

A Study on the Neuroscience and Operation in Mathematics Education

Ju-Chang Kim*
Hanbaek Elementary School

<ABSTRACT>

The development of neuroscience has led to the expansion into education, and studies of students' thinking in the field of education have been conducted through objective methods of neuroscience. In this research, we examined the meaningful domestic research that have implications for mathematics education among the neuroscience papers in these educational fields. In elementary school mathematics, we use many manipulative material to understand the contents of mathematics to the students who are in the concrete operational stage. By studying how these dioceses change the students with disabilities, And to explore the implications for neurological study.

Key words : Neuroscience, manipulative material, operation, Mathematics education

Introduction

최근 신경과학의 발달에 맞추어 교육학과 연계하여 연구하는 교육 신경과학이 대두되고 있다(Kim So-hee, 2012). 신경과학 분야에서 많이 연구되는 부분이 학습에 어려움을 가진 학생들(학습 장애)에 대한 연구이다. 이런 연구는 수학 교육에서 객관적인 정보를 제공해 줄 수 있는 긍정적인 역할을 하고 있다.

이에 본 연구에서는 이런 신경과학 논문의 탐색을 통해 수학교육에 주는 시사점을 살펴보고자 하였다. 먼저 수학교육에서 신경과학적 연구 내용을 탐색하고, 교구와 관련된 내용을 중점적으로 알아본다. 교구와 관련한 연구를 탐색하는 것은 수학을 배움에 있어서 예전처럼 단순히 수학적 공식과 지식만을 습득하는 것을 떠나 여러 가지 활동을 통해

학습하는 수학교육의 사조와도 일맥상통하기 때문이다. 또한 이러한 활동들은 학생들의 수학에 대한 흥미와 이해력을 높이고 학교 현장의 교사들 역시 이러한 활동에 많은 관심을 갖고 지도하려는 추세이므로 이러한 교구에 관한 과학적인 근거를 찾는 것이 교수·학습에 도움을 줄 수 있을 것이라 기대한다.

교구는 수학 시간에 사용되는 다양한 교수·학습매체를 통틀어 말하지만 본 연구에서는 손으로 만질 수 있는 도구인 조작 교구(manipulative material)를 의미한다(Kim Soo-mi, 2000). 이런 조작 교구는 무척이나 다양하고 활용법도 다양하다. 현재 적용되고 있는 2009, 2015 개정 교육과정에서는 이전 교육과정에서 교구를 단순하게 활용한 것을 넘어 여러 교구를 개념 학습부터 다양하게 활용하도록 하고 있다. 이에 신경과학과 관련한 교구 활용에 대한 연구를 탐색해보고 수학교육에서 시사점을 탐색해보고

* Corresponding author : Juchang Kim, kjc0007@hanmail.net

Received Mar 07 2018; Reviewed Mar 14 2018 Accepted Mar 15, 2018; Published Mar 30, 2018

© 2018. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

자 한다.

Mathematics education and Neuroscience

최근 신경과학의 발달로 교육학과의 연계성을 통하여 연구하고자 하는 교육 신경과학 분야가 생겨나게 되었다. 신경과학은 교육학과 상보적인 관계를 가지고 있으며(Kim So-hee, 2012), 특히 수학 교육에서 수학의 여러 분야를 신경과학적으로 객관화하고자 하여 이 분야에 많은 관심을 보이고 있다.

신경과학은 교육학에 객관적인 증거를 제시할 수 있으며, 반대로 교육학에서는 신경과학 분야에 연구결과에 대한 교수이론, 교수·학습 전략 등을 제공해 줄 수 있을 것이다. 이에 현재 수학 교육에서 신경과학 분야로 연구되고 있는 내용들 간단하게 탐색해보고자 한다.

Brain region activated in the mathematical activities of students

수학 활동을 함에 있어서 뇌는 한 영역만 활성화되는 것은 아니다.

Kim So-hee,(2012)는 발달적 산술장애 학생에 관심을 두고 연구를 진행하였다. 발달적 산술 장애란 선천적 또는 정규수학학습을 받기 전에 가지고 있는 계산 장애를 의미한다. 또 다른 용어로 난산증으로 불리기도 한다. 산술 장애의 원인으로는 시공간 지각 능력의 결핍이 가장 큰 원인으로 보고 있다. 발달 산술장애 아동과 비장애 학생을 신경과학적 특징을 기초 과제 수행에 차이를 보면 다음과 같은 차이점을 보인다. 수 세기 시에는 좌측 두정엽내구열과 우반구 상측연상회의 비활성화, 수 크기 비교 시에는 좌측 두정엽내구열, 방추상회의 기능부전이 관찰되었다. 또 수 계산 시에는 측두엽이 활성화 되었는데, 그 중에서도 특히 각회의 비활성화되는 것이 비장애 아동과 차이를 보였다. 이외에도 방추상회, 전측대상피질, 우측하전회등 수 계산과 연관된 영역에서 비활성화 되는 것이 관찰되었다. 따라서

각회와 측두-두정피질의 활성화는 수 정보처리 과정과 많은 관계를 가지고 있음을 알 수 있게 하였다. 이것을 통해 알 수 있는 것은 인간의 특정 행동은 뇌의 한 영역만을 활성화 시키는 것이 아니라, 여러 영역의 연관성에 의해 이루어진다는 것이다. 이처럼 수학 활동을 한다는 것은 뇌의 어느 부위만을 집중하여 설명할 수 있는 것이 아니라, 활동의 방법(신체 활동, 교구 등)이나 수학의 영역(수와 연산, 기하, 측정 등)에 따라 활성화 되는 부위가 다르다.

Cho Soo-Hyun(2013)은 초기 수학 능력의 발달과 인지 책략의 변화를 2학년-3학년 학생들을 대상으로 뇌 활동 변화를 f-MRI(functional magnetic resonance imaging, 기능적 자기공명영상)을 이용하여 연구하였다. 이 연구는 학년이 올라감에 따라 인지·행동적변화로서 인지 책략 변화와 수행의 향상, 그와 관련한 뇌 활동의 변화를 관찰하였다. 이 연구에 의하면 학생들의 반복된 연합 학습 훈련은 여러 수학적 지식을 형성, 저장하기에 의미적 기억과 관련된 내측 측두엽과 전측 측두엽의 활동성이 증가한다. 또한 연합 학습에 기초한 의미적 기억 체계를 활용하고 숫자, 수학적 기호의 처리에 효율성을 통해 수학 문제 풀이 수행에 있어서 향상됨을 보여주었다. 학년이 올라감에 따라 수학적 문제 해결 능력이 향상되면서 후측두정엽과 상위 시각 피질등 활동성이 증가될 것으로 예상되는 영역들이 있는 반면에, 의미적 기억 체계와 전전두엽 영역들은 수와 관련된 학습 초기 단계에서는 관여도가 높지만 차후 수학적 지식이 확고해지면서는 자동된 문제 풀이 시스템으로 관여도가 감소할 것으로 예상되는 영역도 있다.

Kwon Jeom-Rae(2007)는 수학 교수·학습에서 학습 감각을 뇌기반 학습을 바탕으로 연구하였다. 이 연구는 수학교실에서 시각적 자료를 주로 사용하는 현실에서 어떤 학습 감각이 더 적절한지에 대해 탐구하였다. 학습 감각은 시각, 청각, 운동적 학습자로 나누어진다. 영역별 선호도를 살펴보면 초등학교는 운동적 학습자보다는 시각, 청각을, 중학교와 고등학교, 대학교는 청각이나 운동적 학습자보다는 시각에 선호도가 높았다. 학교 급별로 보면 시각은 모든 학교 급에서 선호가 높았으며 특히 대학교에서 조

금 더 높았다. 청각의 경우는 초등학생들이 가장 높았다. 학습 감각의 분포를 보면 세 가지 모두 가진 학생은 48%, 2개 이상은 27%, 1개 15.1%, 없는 학생은 9%였다. 여기서 알 수 있는 것이 많은 학생들이 2개 이상은 학습 감각을 가지고 있다는 것이다. 이에 다양한 학습 자료를 제공해 주어야 한다는 것이다.

Kim Yon-Mi(2016)는 수학적 사고력에 관하여 인지기능학적으로 연구하였다. 이에 따르면 수감각과 시공간적 능력은 두정엽에 바탕을 둔다. 또한 이런 뇌의 활동은 개인이 성장과 수학 학습 및 훈련을 하게 되면 두뇌 피질에서도 변화를 나타나게 된다는 것이다.

이러한 연구들은 기존의 연구에서 수학적 활동(학습)을 통해 변화된 내용을 사전·사후 설문지를 통해 결과를 분석하고 있으나, f-MRI나 EEG(electroencephalogram, 뇌파검사) 측정한 객관적 데이터를 바탕으로 분석하고 결론을 도출해 내고 있다. 이는 기존에 수학 학습에 따른 수학적 능력, 수학적 감각, 수학적 사고력에 대해 새로운 접근방법을 제시하고 있는 것이다.

A Study on the mathematics education using neuroscience

연구 내용 측면으로 볼 때, 수학불안증에 대한 연구(Choi-Koh Sang-Sook, Lee Chang-Yeon, 2014; Yun Eun-Jeong, 2014; Han Se-Ho, Choi-Koh Sang-Sook, 2016), 개방형 문제 해결에 따른 수학적 창의력에 대한 연구(Kim Sang-Jeong, Kwon Young-Min, Bae Jong-Soo, 2010), 방정식의 관계적 사고에 대한 연구 및 삼각형 높이에 대한 이해 연구(Lee Mi-jin, Lee Kwang-ho, 2015; 2016), 평면도형 도구 과제에 대한 연구(Yun Ju-Mi, Lee Kwang-ho, 2017)이 있으며, 측정 도구에 따라 EEG(Choi-Koh Sang-Sook, Lee Chang-Yeon, 2014; Yun Eun-Jeong, 2014; Kim Sang-Jeong et al., 2010; Han Se-Ho, Choi-Koh Sang-Sook, 2016), fMRI(Choi-Koh Sang-Sook, Lee Chang-Yeon, 2012), eye tracker(Lee Mi-jin, Lee Kwang-ho, 2015; 2016; Yun Ju-Mi, Lee

Kwang-ho, 2017)을 활용한 연구가 있다.

수학 불안증 감소에 관해서도 여러 연구들이 신경과학을 이용하여 연구되고 있다. Choi-Koh Sang-Sook, Lee Chang-Yeon(2014) 수학 불안증을 EEG 측정과 f-MRI를 활용한 국내외 논문을 소개하고 있으며, 이를 통해 검사지 개발 및 교수·학습적 접근을 통해 수학 불안증 감소를 이야기하고 있다. 또 Yun Eun-Jeong(2014)은 뇌파(EEG)측정을 통해 수학불안이 높은 집단과 수학불안이 낮은 집단 간에 유발 되는 뇌파 활성의 차이를 분석하였고, 이를 통해 수학불안에 관하여 신경과학적으로 설명하고자 하였다. 수학불안을 가진 학생들과 아닌 학생의 뇌파는 델타파 영역을 제외하고는 유의미한 차이를 보이지 않았다. 델타파가 가장 많이 발생한 영역은 우측 전두엽으로 통증이나 정서 및 감정에 관련된 부분이다. 이는 수학불안은 학습적 요소보다는 정서와 관련이 있음을 밝혀냈다. Han Se-Ho, Choi-Koh Sang-Sook(2016)은 심리적 처치프로그램에서 고등학교 학생들의 뇌파반응에 따른 수학불안의 변화를 확인하고자 하였다.

Sang-Jeong et al.(2010)은 뇌파 측정을 이용하여 개방형 문제 활용이 수학적 창의력과 뇌기능에 미치는 효과를 알아보려고 하였다. 서울 지역의 20명의 학생을 실험집단(10명), 비교집단(10명) 나누어 사전, 사후 실험과 뇌파 측정을 실시하였다. 이를 통해 개방형 문제 해결이 단답형 문제보다 학습자의 수학적 창의력 신장에 효과가 있다는 것을 알파(α)파를 높이고, 세타(Θ)파를 낮추는 뇌파의 증감을 통해 효과를 분석하였다.

지금까지 연구들은 EEG나 f-MRI를 이용한 연구들이었다. 하지만 비용이나 불편함이 많아서 일반적인 연구의 제한점이 많다. 특히 f-MRI는 학생들에게 사용하기에 부적합하여 사용이 제한되고 있다. 이에 대한 대안으로 신경과학적으로 사용되는 것으로 아이트래커를 이용한 연구가 각 분야에서 활발하게 이루어지고 있다.

수학교육에서는 Lee Mi-jin, Lee Kwang-ho(2015)은 4학년 학생들이 방정식에 대한 관계적 사고를 형성하는 과정을 시선추적기를 이용하여 연구하였으며, 2017년에는 6학년 학생들이 삼각형 높이를 찾는 과정을 분석하여 삼각형 높이에

대한 이해와 그에 대한 삼각형 유형별, 배치별 인지 부하를 알아보았다. Yun Ju-Mi, Lee Kwang-ho(2017)은 평면 도형의 도형 분류하기 과제를 학생들에게 주어질 때, 길이와 각의 표시 여부가 도형의 개념 이해에 어떤 영향을 주는지 시선추적기를 통해 알아보았다.

Operating in Mathematics Education

초등학생들이 수학을 학습하는데 있어 구체적 교구는 매우 중요한 역할을 한다. 그러나 이 때 교구의 활용에서 활동은 물리적 활동보다는 정신적 활동이 더 중요하다고 할 수 있다. 이러한 정신적 활동이 바로 피아제가 제시한 조작이며 조작의 의미를 정확하게 이해했을 때 정신적 활동을 일어나게 하며 이를 통한 뇌의 활성을 논할 수 있을 것이라 여겨 먼저 조작이 무엇인지에 대한 논의부터 한다.

What is operation?

Operation as a mental activity

교육학에서 많이 사용되는 조작(operation)이라는 용어는 피아제의 이론에서 유래되었다. 피아제는 인간은 나이가 들면서 점차적으로 인지구조를 형성하게 된다고 생각하였다. 또한 이 인지 구조의 형성과정은 감각 운동기, 전조작기, 구체적 조작기, 형식적 조작기로 나눌 수 있다고 설명하고 있다. 이 때, 모든 사람들이 동일한 시점에 도달하는 것이 아니고 조금씩 개인차를 보이나, 이 순서는 동일하다고 이야기한다. 여기서 피아제가 이야기한 조작(operation)은 사고의 본질이며, 사물을 구체적으로 다루는 것과 같이 사고를 통해서 수행하고, 내면화할 수 있는 가역적 행동이라고 설명하고 있다.

하지만, 7차 교육과정에서 조작 교구(manipulative material)를 교육과정에서 도입하면서부터 조작이라는 용어를 여러 논문이나 글에서 의미를 잘못 사용하거나 혼동하여 사용하는 경우가 많다. 조작은 교구를 단순히 물리적으로 만지는 것만을 의미하지 않는다. 많은 사람들이 조작을 정신

적인 사고의 활동으로 인식하는 것이 아니라 단순한 교구의 물리적인 활동으로 이해하는 경우가 빈번하다. 교구를 단순히 물리적으로 만지는 조작(manipulate)과 정신적인 사고의 활동으로써 보는 조작(operation)은 구분되어야 한다.

그렇다면 정신적 사고 활동으로써 조작(operation)의 정의는 무엇일까? Copeland, R. W. (1979)에 의하면 피아제는 4가지의 기능적 특징으로 ‘조작’을 이야기하고 있다.

첫째, 조작은 물리적으로뿐만 아니라 생각을 수행하는 것, 즉 내면화 할 수 있는 행동이다. 둘째, 조작이란 한 방향으로 또는 그 반대 방향으로 일어날 수 있는 되돌릴 수 있는 동작이다. 예를 들어, 1과 1을 더하여 2를 얻고 다시 2에서 1을 빼면 1이 된다. 이것은 반전 또는 부정에 의한 것이다. $+A - A = 0$ or $+1 - 1 = 0$ 과 같은 것으로 가역성은 상호관계이며, 이는 부정이 아닌 질서의 역전이다. 셋째, 조작은 변환 또는 활동임에도 불구하고 보전 또는 불변성의 가정을 필요로 한다. 예를 들어, $4 + 1$ 또는 $3 + 2$ 와 같은 덧셈을 더하는 방식을 변환할 수 있지만 합계는 동일하게 유지된다. 마지막으로 연산은 단독으로 존재하지는 않지만, 덧셈 그룹 및 연관성, 변환성, 전이성과 폐쇄에 대한 규칙과 같은 많은 수학적 구조를 포함하는 더 큰 구조 또는 연산수의 시스템 (예 : 정수)의 일부로 조작의 가역성을 나타낸다고 볼 수 있다.

이처럼 피아제는 조작이 단순히 교구를 만지는 것이 아니라, 조작을 통해 학생들은 자신이 생각한 것을 되돌려서 생각(가역적 사고)을 할 수 있는 것으로 손에 의한 것이 아닌 머리(사고)의 과정이라는 것을 전제로 하고 있다. 이런 가역적 사고는 ‘2015 개정 교육과정’ 초등학교 수학지도서에 총론에도 다음과 같이 다루어지고 있다(Ministry of Education, 2017b, p.67).

나. 가역적 사고

가역적 사고는 어떤 변화가 일어난 상태에서 그 변화를 역으로 돌려 원래의 상태로 되돌릴 수 있는 사고 능력을 말한다. 이는 사고의 방향을 유연하게 바꾸어 변화 이전의 상태를 재구성 할 수 있는 사고이다. 수학적 사고가 성숙하려면 가역적 사고의 능력이 필요하다.

예를 들면, 방정식에서 등식의 좌변과 우변에 있는 항의 위치를 바꿀 때 연산의 기능이 바뀌는 관계를 이해하거나 거꾸로 풀기 방법으로 미지수를 구하는 전략을 사용하는 것 등을 가역적 사고라고 할 수 있다. 가역적 사고는 수학 학습에서 보다 고차원적인 사고로 진행하는 데 필요한 사고이다.

가역적 사고는 피아제가 제시한 조작의 하나의 중요한 의미로 사용되고 있으며 이러한 사고를 발달시키기 위해서 구체적 조작단계에 있는 초등학생들은 도구를 활용하여 이러한 사고를 기를 수 있도록 해야 할 것이다.

Operation manipulatives

2009 개정 교육과정 수학 6학년 지도서에서는 다음과 같이 교수·학습 매체를 설명하고 있다(Ministry of Education, 2015, p.86).

수학과 교수·학습 매체란 수학 학습 내용을 풍부하게 하고 그 효과를 극대화하기 위하여 사용하는 모든 대상, 장치, 모형, 도구, 고안, 출판물, 그림, 표, 시설 등을 말한다. 이렇게 다양한 수학교수 학습 매체를 분류해 보면 1. 교과서 및 기타 인쇄물, 2. 계산기와 컴퓨터, 3. 조작 기구 및 모형(큐브, 타일, 막대, 주사위, 모양 조각, 기하 모형, 수 세기 칩 등), 4. 각종 계기 및 작도 기구 등으로 분류할 수 있다. 특히 초등학교 수학 학습에 주로 사용되는 교구로는 수모형, 연결큐브, 주사위, 모양 조각(pattern block), 바둑돌, 달걀판, 모형시계, 숫자 카드, 그림 카드, 도미노 등이 있다.

이와 같이 교구는 넓은 의미로써 수업시간에 사용되는 여러 교수·학습 매체를 의미하지만, 일반적으로는 만지거나 탐구할 수 있는 구체물인 조작 교

구(manipulative material)를 말한다. Kim Soo-mi(2000)는 조작교구의 특성을 네 가지로 정리하였다. 즉, 조작교구는 첫째, 학생의 지각적 감각에 자극을 주어야 한다. 둘째, 학생이 물리적으로 만질 수 있는 것이어야 한다. 셋째, 이동 및 재배열이 가능해야 한다. 넷째, 기하학적 아이디어를 표현해야 한다. 따라서 일반적인 돈이나 계측 도구도 조작 교구로 볼 수 있으며, 쓰임새나 사용자에 따라 판단되어야 한다고 하고 있다. 이 연구에서도 일반적인 교구 외에도 개념 이해를 위하여 활용되어지는 것으로 4가지 조건이 맞는 것은 조작교구로 인정한다.

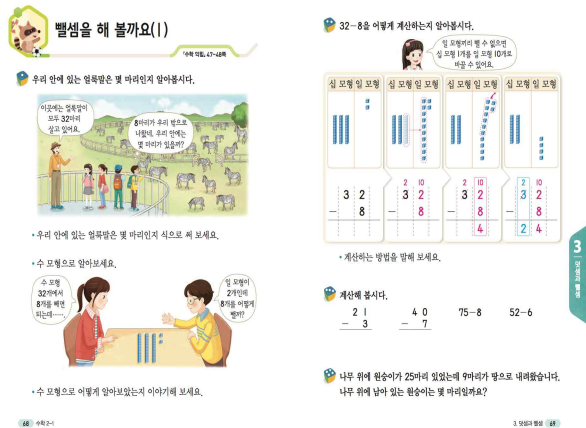
The use of teaching aids in textbooks

2009 개정 교육과정(이하 2009개정)과 2015 개정 교육과정(이하 2015 개정)에서 교구 활용 방법에 대한 차이점을 알기 위해 '2학년 1학기 3단원 덧셈과 뺄셈 단원'을 비교해 보고자 한다. 2009 개정의 경우 [Figure 1]과 같이 수모형은 붙임딱지를 이용한 비형식적 활동을 한 후 제시되고 있다. 이때 학생들이 수모형을 가지고 수모형과 뺄셈의 세로형식 알고리즘을 연결할 수 있도록 제시된 발문에 따라 활동을 할 수 있도록 하고 있다.

[Figure 61] 2009 revised curriculum, 2-1-3. Addition and subtraction, p.88-89

이에 반해 2015 개정의 경우 같은 수모형을 사용하지만, [Figure 2]와 같이 문제 상황에 대한 학생들의 자유로운 생각 후 자신의 계산방법을 먼저 식으로 표현하게 한다. 그리고 수모형을 자신만의 방법으로 활동해 보게 하고 자신이 생각한 것을 이야

기해 보도록 하고 있다. 이때, 학생들이게 자신이 알아본 방법을 다시금 되짚어 생각해 보게 함으로써 가역적 사고를 기르며 정신적 사고활동인 조작을 일어나게 하고 있다. 그리고 세로 형식 알고리즘과 수모형을 위아래로 동시에 제시하여 알고리즘과 교구의 연계성을 높이고 있다.



[Figure 62] 2015 revised curriculum, 2-1-3. Addition and subtraction, p.68-69

Neuroscience research using manipulative material

A Study on the Application of operation manipulatives

조작 교구 활용에 대한 연구는 대부분 정신지체나 주의산만 아동에 대한 연구가 주를 이루고 있다. Shin So-Yeoun, Park Jae-Kook, Kim Young-Mi, Lee Hi-Eun(2007)은 조작교구활동이 ADHD아동의 주의산만행동에 미치는 효과를 검증하고자 연구를 실시하였다. 주의산만행동을 보이는 만 8-9세의 학생 3명을 대상으로 조작교구활동을 통해 학생의 변화를 확인하였다. 실제로 조작활동은 ADHD 아동의 주의 산만 행동 개선이 통합학급에서 측정한 결과 감소하는 효과를 보였다. 또한 특수학급에서도 통합학급 만큼의 큰 폭은 아니지만 감소하였다.

Kim Kwang-suk, Lee Seung-hee(2004)는 정신지체아들이 구체적 조작활동을 하였을 때 수리능력의 향상도를 측정하는 연구를 진행하였다. 여기서

사용된 교구는 프뢰벨에서 나오는 은물을 사용하여 활동하였고, 그 이후 수리영역(수 인지능력, 수 연산 능력, 문장제 문제 풀이 능력)을 측정하였다. 이에 따라 정신지체아들은 수인지 능력이 구체적 조작물을 이용으로 수 개념이 정리되어서 수인지에 대한 향상을 보였다. 또한 수 연산 능력도 향상되는 결과를 보였다. 문장제 문제 풀이 능력의 변화 폭은 높지 않은데 이것은 많은 시일이 필요한 영역이기 때문이라고 예상하였다.

이는 연구들은 장애학생들을 대상으로 한 연구이기는 하지만, 충분히 일반학생에게도 적용이 가능한 내용이다. 다만, 교구를 조작하는 것은 활동이 이루어진 사전, 사후 측정만으로 연구된 것으로 객관적 증거가 부족하다고 할 수 있다. 이에 교구를 조작하기 전후뿐만 아니라 교구를 조작하는 동안의 뇌의 활동을 신경과학적 연구가 필요할 것이다.

Measuring method in Neuroscience Studies on the Application of operation manipulatives

수학교육에서 신경학적 연구를 활용한 방법으로 앞에서 살펴본 것처럼 f-MRI, EEG, 시선추적기가 사용되고 있다. f-MRI, EEG를 이용하여 조작 교구 활용을 연구한다면 교구를 조작하는 동안의 뇌 영상 및 뇌파 분석을 통해 효과를 검증할 수 있을 것이다. 다만, f-MRI가 학생들이 사용에 제약이 되고, 활동 간에 촬영이 불가능하다는 단점이 있다. 이를 대체 할 수 있는 방법으로는 f-NIRS(Functional near-infrared spectroscopy, 기능적 근적외선 분광법)을 이용할 수 있다. 전두엽만 측정하는 f-NIRS는 인간의 행동은 두뇌 신경의 공동 작용에 의한 효과(synergy effect)에 의해 나타나므로(Haken, 1996) 전방전두엽의 기능 상태를 살펴봄으로써 전체 뇌의 기능 상태를 추정할 수 있기 때문이다. f-NIRS를 이용한다면 교구를 활동간 실시간 뇌 영상 및 뇌파 측정을 통해 객관적인 데이터를 확보하고 분석할 수 있을 것이다.

기존의 교구 조작 활동에 대한 연구가 활동 전후를 비교하여 학생의 성취도나 태도의 향상 정도를 판단하여 교구 조작 활동의 의미성을 찾았다. 여기서 더 나아가 신경학적 연구를 실시한다면 활동

간 학생의 인지적 변화를 측정하여 교구 조작 활동에 대한 의미를 찾을 뿐만 아니라, 교구 조작 활동간의 뇌파나 뇌 영상을 분석하여 교구 조작 활동과 수학적 연결성(수학 내, 수학 외)을 고려한 프로그램을 개발할 수 있는 여건을 조성할 수 있을 것이다.

Conclusion

교육 신경과학의 수학적 연구는 기존의 수학 교육 연구에 객관적 증거를 제시한다는 이점을 제시하고 있다. 현재는 장애학생들이나 기초적인 수 개념에 대한 연구가 주를 이루어지고 있지만, 점차적으로 교수·학습 방법, 일반 학생들의 수학 연산 방법 등 연구 분야가 확장되고 있다. 연구를 위해 사용되는 도구도 f-MRI, EEG의 장비에서 시선추적기의 활용으로 다양한 연구 도구가 활용되어지고 있다. 또 f-MRI의 제한점을 보완하기 위해 f-NIRS의 도입이 시도되고 있다. 이러한 노력들이 교육 신경과학에서 수학 분야는 다른 분야에 비해 활성화되어 있지는 않지만, 차후 더 많은 연구가 이루어질 것이며 그러한 방향으로 나아가야 한다.

조작 교구의 이용은 수학 교육에서 연구가 활성화 되어 있는 분야 중 하나이다. 하지만 신경과학의 방법으로 연구가 이루어진 것은 거의 존재하지 않으며, 장애를 가진 학생들에 대해 인지심리학적 연구가 이루어진 것이 유일하다고 할 수 있다.

교구는 장애학생 뿐만 아니라, 일반 학생들에게도 학습하고자 하는 수학 내용을 깊이 생각하고 탐구하게 할 수 있으며, 수학에 대한 흥미를 줄 수 있는 중요한 도구이다. 이러한 교구 활동을 기존의 연구 방식이 아닌 신경학적 접근으로 연구가 이루어진다면, 교구의 효용성과 타 교과와의 연결성을 강화할 수 있을 것이다.

References

- Ministry of Education (2013). Textbook of Elementary School 2-1. Chunjae Education.
- Ministry of Education (2015). Teacher guidebook of Elementary School 6-1. Chunjae Education.
- Ministry of Education (2017a). Textbook of Elementary School 2-1. Chunjae Education.
- Ministry of Education (2017b). Teacher guidebook of Elementary School 2-1. Chunjae Education.
- Choi-Koh Sang-Sook, Lee Chang-Yeon. (2014). Finding the Direction to the Research for Improvement of Mathematics Anxiety. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 17(4), 589-611.
- Kwon Jeom-Rae (2007). Learning senses in teaching and Learning mathematics. *The Korean Society of Mathematics Education: Education of Primary School Mathematics*, Vol. 10, No. 1, 1-13.
- Kim Kwang-suk, Lee Seung-hee (2004). The effects of specific minipulative activities on improvement in mathematical abilities of students with mental retardation. *The Journal of the Korean Association on Developmental Disabilities*. Vol.8, No 2, 15-26.
- Kim Sang-Jeong, Kwon Young-Min, Bae Jong-Soo (2010). The Effects of Open-ended Problems on Mathematical Creativity and Brain Function. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 14(3), 723-744.
- Kim So-hee (2012). Current Practices and Prospect of Educational Neuroscience from the Review of Research on Developmental Dyscalculia. *The Korea Journal of Learning Disabilities*, Vol. 9, No. 2, pp.71-91.
- Kim Soo-mi (2000). A Study on Manipulative Materials in Mathematics Education. *School Mathematics*, Vol. 2, No. 2, 459-474
- Kim Yon-Mi (2016). A Review of the Neurocognitive Mechanisms for Mathematical Thinking Ability. *KOREAN JOURNAL OF COGNITIVE SCIENCE*, 27(2), 159-219.
- Shin So-Yeoun, Park Jae-Kook, Kim Young-Mi, Lee Hi-Eun (2007). The Effect of the Activity of Manipulatives on Attention-Deficient Behaviors of Children with ADHD. *JOURNAL OF EMOTIONAL & BEHAVIORAL DISORDERS*,

23(2), 141-164.

- Yun Eun-Jeong (2014). A Study on Brain Connectivity about Mathematics Anxiety. Korea National University of Education.
- Yun Ju-Mi, Lee Kwang-ho (2017). The Effect of the Indication of Lengths and Angles on Classifying Triangles: Centering on Correct Answer Rate and Eye Movements. *Education of Primary School Mathematics*, Vol. 20, No. 2, 163-175. *
- Lee Mi-jin, Lee Kwang-ho (2015). Elementary Students Formation of Relational Thinking about Equation - Centered for Web-Based Balance -. *School Mathematics*, Vol. 17, No. 3, 391~405.
- Lee Mi-jin, Lee Kwang-ho (2017). Cognitive process and cognitive load about the concept image of triangle altitude in visual image. *Education of Primary School Mathematics*, Vol. 20, No. 4, 305-319.
- Cho Soo-Hyun (2013). Longitudinal Changes in Brain Activity Related to Maturation of Children's Arithmetic Skills and Cognitive Strategy Use. *THE KOREAN JOURNAL OF COGNITIVE AND BIOLOGICAL PSYCHOLOGY*, 25(2), 173-200.
- Han Se-Ho, Choi-Koh Sang-Sook (2016). The Changes of Mathematics Anxiety Shown Brain-Based Measurement through a Remedy Program for High School Students. *Journal of Educational Research in Mathematics*, 26(2), 205-224.
- Copeland, R. W. (1979). How children learn mathematics: Teaching implications of Piaget's research. New York: Macmillan.
- Haken, H. (1996). Principles of brain functioning: A synergetic approach to brain activity, behavior and cognition. Berlin: Springer.