

## 개방형 문제 활용이 수학적 창의력과 뇌기능에 미치는 효과

김상정<sup>1)</sup> · 권영민<sup>2)</sup> · 배종수<sup>3)</sup>

오늘날 사회에서는 다양하고, 유연한 사고능력을 가진 창의적인 인재 육성을 필요로 하고 있다. 이에 개방형 문제는 다양한 답을 찾는 과정에서 학습자의 창의력 계발에 효과적인 학습방법으로 생각된다. 이러한 개방형 문제는 두뇌 발달에 어떠한 영향을 미칠 것인가? 최근 두뇌 기능 상태를 고려한 교수-학습 활동 개발의 필요성이 제안되면서 이를 위한 기초 연구로 학습자의 뇌파 측정 및 뇌파를 통한 교육 효과 검증 등이 시도되고 있다. 본 연구에서는 개방형 문제가 수학적 창의력에 미치는 영향과 함께 뇌파 측정을 통해 뇌기능 발달에 미치는 효과를 파악하고자 하였다. 연구 결과 개방형 문제는 학습자의 수학적 창의력과 두뇌 각성, 긍정적인 학습 성향, 두뇌 활동의 효율성을 높이는데 효과적인 문제 유형이었다. 따라서 개방형 문제가 꾸준히 개발되어 학생들에게 다양한 답을 찾는 문제 해결 경험을 제공해야 한다. 또한 개방형 문제를 활용한 수업에도 적극 활용될 필요가 있다. 특히 개방형 문제 해결이 뇌기능에 미치는 긍정적인 효과를 고려해 볼 때, 주의가 낮고, 수학 학습에 소극적인 학습자에게 개방형 문제를 제시하고, 꾸준한 학습 경험을 제공할 필요가 있다.

[주제어] 개방형 문제, 수학적 창의력, 뇌기능

### I. 서 론

오늘날 지식 정보화 사회에서는 기존의 지식을 습득하는 능력보다 새로운 지식을 창출하는 능력을 갖춘 창의적 인재 육성을 필요로 하고 있다. 문제의 이해와 해결과정에서 발현되는 독창적인 사고 능력인 수학적 창의력은 수렴적 사고보다는 확산적 사고를 통해 발현되며 한 가지 정답만을 요구하는 문제보다는 다양한 접근을 허용하는 문제를 해결하면서 함양될 수 있다. 그러나 현재 수학 문제는 하나의 정답을 구하는 문제 유형이 주를 이룬다. 이러한 문제 유형으로는 다양하고, 유연한 사고 능력을 길러주기에 부족함이 많다. 반대로 하나의 정답이 아닌 여러 가지 답을 요구하는 문제 유형은 학습자의 다양한 사고를 발현시키는데 적합할 것이다. 이러한 문제 유형이 개방형 문제이다. 개방형 문제가 수학적 창의력 계발에 효과가 있음은 여러 연구로 검증된 바 있다(문성길, 2001; 백종숙, 2008; 권오남 외, 2005). 그러나 개방형 문제의 효과에 대한 연구가 주로 초등학교 고학년,

1) [제1저자] 서울 이태원초등학교  
2) 교육과학기술부 학교운영지원과 교육연구관  
3) [교신저자] 서울교육대학교 수학교육과

중, 고등학교 수준에서 이루어지고 있어 초등학교 저학년에서의 개방형 문제 적용의 효과에 대한 검증이 필요하다. 이에 초등학교 저학년 학습자에 적합한 개방형 문제를 적용하여 학습자의 수학적 창의력에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

뇌는 사용할수록 발달되고 필요에 따라 스스로 신경망을 발달 생성시키는 가소성과 신경신생의 특성을 갖는다. 개방형 문제는 다양한 답을 생각해 내기 위하여 확산적으로 사고하여 뇌 신경세포 간 활발한 정보 교환을 자극하여 궁극적으로 두뇌 발달에 효과적일 것으로 생각된다. 김용진 외(2000)는 학습자 개인의 두뇌 기능 상태를 고려한 교수-학습 활동 개발의 필요성을 논하면서 이를 위한 기초 연구에 뇌파 측정과 같은 과학적 방법이 많이 활용되기를 제안했다. 개방형 문제가 수학적 창의력에 효과적이라는 연구는 있었으나 두뇌 발달에 어떠한 영향을 미치는 지에 대하여는 연구된 바가 없다. 또한 학습 효과에 대하여 뇌파 분석한 선행 연구는 주로 개별 뇌파 특성에 기초한 단편적 분석에 그친다. 따라서 본 연구에서는 뇌파 간 상호 연관성에 따른 뇌 기능의 종합적 판단으로 개방형 문제의 효과를 분석하고자 하였다. 이러한 종합적인 뇌파 분석 방법을 통해 개방형 문제의 효과에 대한 객관적이고 직접적인 검증이 가능하며 이는 두뇌 기능 상태를 고려한 교수-학습 활동의 개발을 위한 기초 자료가 될 수 있다.

## II. 이론적 배경

### 1. 개방형 문제

#### 가. 개방형 문제의 의미

문성길(2001)은 결과가 미리 정해지지 않는다는 넓은 의미로 개방형 문제를 정의하였다. 권오남 외(2005)는 개방형 문제를 정답이 여러 가지인 문제, 다양한 접근 방식 중 적절한 방식을 선택하고, 그 이유를 설명할 수 있는 문제, 학생들이 정답을 찾아가는 과정에서 다양한 사고를 할 수 있는 문제로 정의하였다. Becker 와 Shimada(2004)는 정답이 유일한 문제에 대비하여 정답이 여러 개인 문제를 개방형 문제라 하였다. 본 연구에서는 Becker와 Shimada(2004)의 정의에 따라 '정답이 여러 개인 문제'를 개방형 문제라 한다.

#### 나. 개방형 문제 유형

본 연구에서는 개방형 문제 유형으로 츠보타코조(坪田耕三)(1993, 정동권 1996 재인용)의 유형에 문제 만들기 유형을 추가하여 1)관계나 법칙을 찾는 문제, 2)분류 문제, 3)수량화 문제, 4)역 문제, 5)조건 부족 문제, 6)구성 활동적 문제 7)문제 만들기의 7가지 문제 유형을 정하였고, 각 문제 유형에 대한 설명은 다음과 같다.

「관계나 법칙을 찾는 문제」는 예컨대, 덧셈구구표를 보여주고 “이 표에 나타나는 규칙을 되도록이면 많이 찾아보시오”와 같은 문제로 대표될 수 있으며 대체로 수량 사이의 함수 관계가 내재하도록 만들어진 문제이다.

「분류 문제」는 동일 범주에 속하는 서로 다른 구체적인 예를 많이 열거하고 그 가운데에서 하나의 대상을 지정하여 그것과 같은 특징을 갖는 것들을 찾아보게 하는 문제로서 이 경우 특징을 파악하는 관점이 다양할수록 많은 해가 도출될 수 있다. 예컨대, 몇 가지

도형을 보여주고 그 중 하나를 지정하여 “이 도형이 지닌 특징을 다양하게 생각해 보고 그것과 같은 특징을 지닌 다른 도형을 알아보시오”와 같은 문제이다.

「수량화 문제」는 정도의 차가 나타나는 장면을 제시하고 그 정도의 차이를 수량화하는 방법을 탐구하도록 하는 것으로서 “순위를 결정하는 방법을 다양하게 생각해 보라”와 같은 문제이다.

「역 문제」는 답을 주고 여러 가지 해답을 찾도록 하는 문제와 같이 방법과 결론 부분을 거꾸로 구성하여 답이 다양하게 나오도록 하는 문제이다. 예를 들면 “10은 무엇과 무엇을 더하면 되는가?”와 같은 문제이다.

「조건 부족 문제」는 서로 다른 조건에 따라 각 경우 답을 하는 문제로 “ $54 < \square 5$ 의  $\square$ 에 알맞은 수는 무엇인가?”와 같은 문제이다.

「구성 활동적 문제」는 실제로 아동으로 하여금 어떤 것을 만들어 보게 하는 활동으로서 “세모 2개, 네모 1개로 다양한 모양을 만들어 보시오”와 같은 문제이다.

「문제 만들기」는 수학적 개념과 원리가 내재된 문제를 만들어 보는 문제로 “ $2+3=5$ 의 식에 알맞은 문제를 만들어 보시오.”와 같은 문제이다.

## 2. 수학적 창의력

남승인(2007)은 수학적 창의력이란 ‘수학적 문제 상황에서 이전에 학습한 지식과 경험을 통합, 재구성하여 기존의 관습적인 방법에서 벗어나 참신하고 다양하면서도 융통성 있게 문제를 해결하려는 성향과 능력’이라 하였다. 이강섭(2003)은 수학적 문제 상황에서 고정된 사고방식을 탈피하여 다양한 산출물을 내는 과정이며 능력으로 정의하였다. 창의력의 하위 요인은 유창성, 융통성, 독창성, 정교성 등이며 한국교육개발원의 수학적 창의력 평가 기준에서도 다음과 같이 평가 준거를 제시하고 있다(한국교육개발원, 1997).

<표 1> 수학적 창의력의 4가지 하위 요인과 평가 준거

구분	정의	평가기준
유창성	문제 상황에 유의미한 답으로서 여러 가지 반응, 아이디어를 낼 수 있는 능력	의미 있는 반응의 개수
융통성	서로 다른 범주의 반응, 아이디어를 낼 수 있는 능력	반응 유형별 가지 수
독창성	다른 사람과는 다른 참신하며, 질적으로도 수준 높은 반응, 아이디어를 낼 수 있는 능력	반응의 상대적 희귀 빈도와 질적인 참신성, 가치
정교성	산출 반응, 아이디어를 보다 구체화하고, 세밀하게 다듬어 일반화할 수 있는 능력	반응의 구체성, 세밀성, 일반화

본 연구에서는 수학적 창의력을 주어진 문제 상황을 이해하거나 해결하는 과정에서 나타나는 다양하고, 독창적인 사고 능력으로 정의하고, 창의력 평가에 있어 유창성, 융통성, 독창성의 3가지 하위요소를 고려하였다.

## 3. 뇌파검사 및 뇌기능

### 가. 뇌파의 특성과 종류

뇌파는 대뇌피질의 신경 세포군에서 발생한 뇌전기 활동의 총화를 체외로 도출하고, 이를 증폭하여 전위를 종축으로 시간을 횡축으로 해서 두피상에서 측정한다(김대식 외, 2001). 다음 <표 2>는 뇌파의 종류와 특성을 나타낸 것이다.

<표 2> 뇌파의 종류와 특성(박병운, 2005)

뇌파의 종류	주파수(Hz)	의식상태
델타( $\delta$ )파	0.1~3	깊은 수면 상태
세타( $\theta$ )파	4~7	수면상태
알파( $\alpha$ )파	8~12	휴식 상태
SMR파	12~15	각성 상태
저 베타( $\beta$ )파	13~20	활성 상태
고 베타( $\beta$ )파	21~30	흥분, 스트레스 상태

#### 나. 뇌기능 분석 방법

뇌기능은 뇌세포간의 정보 교환 시 발생된 전기적 신호에 의해 나타나는 뇌의 발달, 활성 및 균형 상태를 의미한다(Bruce, 1999). 뇌기능 분석은 뇌의 발달 상태, 활성 상태, 균형 상태, 주의 집중 능력, 휴식 능력, 학습 능력 등에 대하여 뇌파를 측정하여 정량적으로 직접 분석하는 방법으로 기존의 뇌파 분석보다 뇌파별 상호 연관성에 따른 뇌의 기능을 세분화하여 분석 평가할 수 있는 지수이다(박병운, 2005). 뇌기능 지수의 세부 설명은 <표 3>과 같다.

<표 3> 뇌기능 지수의 종류와 특성(박병운, 2005)

분석지수	관련주파수	특성
자기조절지수	$\alpha$ 파, SMR, low $\beta$ 파	뇌의 자율신경계 조절 능력 판단, 휴식, 주의력, 집중력 판단
기초운동지수	폐안시 $\alpha$ 파	뇌의 발달 정도와 안정성, 노화 정도 판단
주의지수	$\theta$ 파, SMR	뇌의 각성 정도 판단
활성지수	$\alpha$ 파, 저 $\beta$ 파	뇌의 활성 정도 판단
정서지수	좌 $\alpha$ 파, 우 $\alpha$ 파	정서적 평균 상태 판단
항스트레스지수	$\delta$ 파, 고 $\beta$ 파	육체적, 정신적 스트레스 저항정도 판단
좌우뇌균형지수	좌우 뇌파의 상관성	좌뇌와 우뇌의 균형 정도 판단
브레인지수	모든 주파수	뇌 기능의 종합적인 판단

#### 4. 선행연구의 고찰

권오남 외(2005)는 중학교 1학년 학생을 대상으로 한 연구에서 개방형 문제가 수학적 창의력을 함양하는데 유용한 도구이며 다양한 풀이 방식과 추론을 다루는 과정에서 수학적

의사소통 함양에 유용한 도구라 하였다. 백중숙(2008)은 초등학교 3학년을 대상으로 한 연구에서 개방형 학습활동이 수학적 창의력뿐만 아니라 수학적 성향에도 긍정적인 효과를 줄 수 있는 학습 방법이라 하였다. 오은영(2005)은 초등학교 4학년을 대상으로 한 연구에서 개방형문제가 학습자의 흥미, 자신감 신장에 효과적이라고 하였다. 선행연구가 주로 초등학교 고학년, 중·고등학교 학생을 대상으로 하여 초등학교 저학년 학습자를 대상으로 개방형 문제 활용 효과를 검증할 필요가 있다.

Jausov c(2000)은 창의력 수준과 지능 수준을 구분하여 4개의 집단을 대상으로 문제를 해결할 때의 뇌파 특성을 연구하였다. 창의력 또는 지능이 높은 경우 낮은 집단보다 알파파의 감소량이 적어 두뇌의 정신 활동 수준이 더 적은 것으로 나타났다. 즉 확산적인 답을 요구하는 과제를 해결할 때, 창의력이 높은 집단은 낮은 알파파(7.9~10.0Hz)의 동기화가 많이 나타났고, 지능이 높은 집단은 높은 알파파(10.1~12.9Hz)의 동기화가 많이 일어났다. 독서능력이 낮은 집단은 생리적 노력을 많이 하지만 그 효율성은 적었다. 이는 인지과제 수행의 효율성이 낮을수록 더 많은 뉴런이 사용되고, 더 큰 뇌 전위 진폭이 발생하는 것으로 해석된다(Maxwell 1974; 이인혜 1997 재인용). 박지영(2006)은 과학교육에서 가설검증 학습 후 뇌파 변화를 분석하였는데 실험집단의 알파파가 증가하고, 베타파 감소를 보였다 고 하였다.

학습의 효과를 뇌파 변화로 검증한 선행 연구는 주로 개별 뇌파 특성에 기초한 단편적 분석에 그친다. 따라서 본 연구에서는 뇌파 간 상호 연관성에 따른 뇌 기능의 종합적 판단으로 개방형 문제의 효과를 분석하고자 하였다.

### Ⅲ. 연구 방법

#### 1. 연구대상

본 연구는 서울시 중구에 소재하고 있는 I초등학교 1학년 한 개 학급 24명의 학생 중 연구주제와 뇌파검사의 인체 무해함에 대한 설명 후 학부모의 동의를 얻은 20명의 학생을 대상으로 하였다. 또한 개방형 문제 활용 학습이 뇌기능에 미치는 효과에 대한 교사 요인을 통제하고자 한 반을 연구 대상으로 하였다. 20명의 학생을 임의 배정하여 실험집단 10명, 비교집단 10명으로 구성하였다.

#### 2. 검사도구

##### 가. 사전·사후 창의력 검사

백중숙(2008), 권오남 외(2005)의 수학적 창의력 검사 문항을 참고하여 저학년 수준으로 문항을 수정하였다. 실험반 학교의 동학년 반 20명의 아동을 대상으로 예비검사를 통해 난이도를 고려하여 문항을 선정, 수정한 후 지도교수로부터 내용 타당도를 검증 받았다. 수학적 창의력을 측정하기 위한 사전 검사지와 사후 검사지는 동형 문제로 구성하였다. 신뢰도는 cronbach  $\alpha=.724$ 이다.

##### (1) 검사내용

사전·사후 창의력 검사에 대한 수학과 영역과 문제 해설은 <표 4>와 같다.

<표 4> 사전·사후 창의력 검사 내용

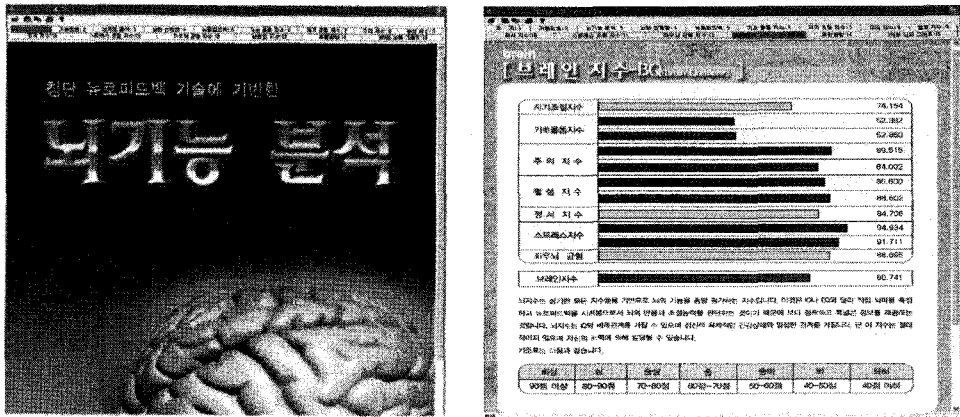
문제	내용영역	주제	문제 해설
1	수와 연산	수식 만들기	주어진 숫자와 수식 기호를 사용하여 원하는 숫자를 만들어 내는 문제로 다양하고 독창적인 식을 만들어 내는지를 측정함
2	수와 연산	문제 만들기	주어진 그림에 알맞은 수학 문장제를 만들어 내는 문제로 다양하고 독창적인 문제를 만들어 내는지를 측정함
3	규칙성과 문제해결	규칙 만들기	자신이 만든 규칙에 따라 숫자를 배열하게 하는 문제로 많은 규칙을 만들어 내는지 측정함
4	도형	모양 만들기	주어진 삼각형 2개를 이용하여 여러 가지 모양을 만들게 하는 문제로 다양하고 독창적인 모양을 만들어내는지 측정함
5	측정	똑같이 나누기	정사각형을 여러 가지 방법으로 똑같이 나누게 하는 문제로 다양하고 독창적인 방법으로 도형을 나누는지를 측정함
6	규칙성과 문제해결	한 줄로 놓기	6개의 숫자(1, 1, 2, 2, 3, 3)를 이웃하지 않게 한 줄로 늘어놓는 방법을 찾게 하는 문제로 다양한 방법을 찾는지를 측정함

(2) 채점기준

수학적 창의력의 하위요소인 유창성, 융통성, 독창성에 따라 점수를 주었다. 유창성은 옳은 반응의 수에 따라 점수를 주고, 융통성은 유형의 가지 수에 따라 점수를 주었다. 독창성은 집단 내 반응 빈도가 20%이상은 0점, 10~20%는 1점, 5~10%는 2점, 5%이하는 3점을 주었다.

나. 사전·사후 뇌파 검사

뇌파 측정은 한국정신과학연구소(Neurofeedback System, braintech Corp., Korea)에서 개발한 '2 channel system 이동식 뇌파 측정기'를 사용하였으며 컴퓨터에 연결하여 뇌파를 측정하고 프로그램에 의해 검사결과 분석도 가능하였다. 사전 검사에서는 단답형 문항을 10분간 해결한 후 뇌파를 측정하였고, 사후 검사에서는 실험집단에는 개방형 문제를, 비교 집단에는 단답형 문제를 10분간 해결하게 한 후 뇌파를 측정하였다. 측정된 뇌파는 뇌기능 분석 프로그램을 통해 자기조절지수, 기초운동지수, 주의지수, 활성지수, 정서지수, 항스트레스 지수, 좌우뇌균형지수, 브레인지수로 정량화 된다. [그림 1]은 뇌파 검사 후 뇌기능 분석 프로그램에 의해 각 지수별 뇌기능을 점수화한 예이다.



[그림 1] 뇌기능 검사 결과의 예

### 3. 연구설계 및 절차

본 연구는 개방형 문제 활용이 수학적 창의력과 뇌기능에 미치는 영향을 검증하기 위하여 준실험설계의 이질통제집단 사전사후검사설계를 적용한다.

실험 집단  $O_1$   $X_1$   $O_2$   
 비교 집단  $O_3$   $X_2$   $O_4$

- $O_1, O_3$ : 사전 수학적 창의력, 뇌파 검사
- $X_1$  : 개방형 문제 해결 학습
- $X_2$  : 단답형 문제 해결 학습
- $O_2, O_4$ : 사후 수학적 창의력, 뇌파 검사

사전검사 후 실험집단은 10명, 비교집단은 10명으로 임의배정 하였다. 아침 자습 시간을 활용하여 실험집단에 개방형 문제 학습지를, 비교 집단에 단답형 문제 학습지를 해결하도록 한다. 문제 해결 시간은 1회 20분씩으로 하고, 주 4회, 2달간 실시하였다. 두 집단은 개별로 문제를 해결 한 후 3인 또는 4인 1조의 소집단 토의 시간을 통해 문제에 대한 답을 비교하였다. 문제 해결 과정에서는 소집단 내에서만 상호작용이 이루어지도록 하였다. 이후 교사는 두 집단의 학습지를 수거하여 채점 후 배부하여 스스로 피드백할 수 있도록 하였다. 실험 후 수학적 창의력 및 뇌파 검사를 실시하였다.

### 4. 개방형 문제 개발

개방형 문제를 정답이 여러 개인 문제로 정의하고, 개방형 문제 유형으로 1)관계나 법칙을 찾는 문제, 2)분류 문제, 3)수량화 문제, 4)역 문제, 5)조건 부족 문제, 6)구성 활동적 문제 7)문제 만들기의 7가지 문제 유형을 정하였다. 개방형 문제 개발의 준거는 다음과 같다. 첫째, 학습자가 흥미를 느낄 수 있는 문제여야 한다. 둘째, 학습자의 수준에 따라 자기 주도적 학습이 가능한 문제여야 한다. 셋째 다양한 수학적 사고를 활성화시키는 문제여야 한다.

본 연구에서는 1학년 2학기 4단원(1. 100까지의 수, 2. 도형 3. 가르기와 모으기 4. 덧셈과 뺄셈)을 선정하여 개방형 문제를 <표 5>와 같이 개발하였다.

<표 5> 교육과정 분석 및 개방형 문제

영역	단원	학습주제	활동주제	문제유형	개방형 문제
수와 연산	1. 100까지의 수	10개씩 묶어세기	10개씩 몇 묶음일까?	구성 활동적 문제	주변에서 10개씩 묶어진 것을 찾아 그려 봅시다.
		99까지의 수 알기	맞춰 봐요!	역 문제	60에서 100까지의 수 중에서 한 수를 생각하여 여러 가지로 나타내봅시다.
		100까지의 수에 대한 순서 알기	짧은 수를 찾아요	분류문제	71과 짧은 수를 <보기>에서 찾아 쓰고, 그 이유를 써봅시다. <보기> 75,81,69,35,17
		두 수의 크기 비교	어떤 숫자가 있을까?	조건부족 문제	0부터 9까지의 숫자 중에 □안에 들어갈 수 있는 숫자들을 모두 쓰세요.

		수 배열 표에서 규칙 찾기	규칙을 찾아라!	관계나 법칙을 찾는 문제	100까지의 수 배열표에서 규칙을 찾아봅시다.
		규칙에 따라 수 배열하기	요건 모를 걸!	관계나 법칙을 찾는 문제	규칙에 따라 □안에 알맞은 숫자를 쓰고 규칙을 써보세요.
도형	2. 여러 가지 모양	두 크기비교	어떤 숫자가 있을까?	조건 부족 문제	0부터 9까지의 숫자 중에서 □ 안에 들어갈 수 있는 숫자들을 모두 쓰시오.
		동그라미 모양 찾기	동그라미 나라	구성활동적 문제	동그라미 모양을 찾아 그려보세요.
		세모 모양 찾기	세모 나라	구성 활동적 문제	서로 다른 세모 모양을 그려보세요.
		새로운 모양 만들기	새로운 모양을 만들어요	구성활동적 문제	네모, 세모 모양을 이용하여 새로운 모양을 만들고 이름을 쓰세요.
		규칙찾기	무늬를 꾸며요1~2	관계나 법칙을 찾는 문제	다음 표에 규칙을 만들어 색칠하세요.
수와 연산	3. 10을 가르기와 모으기	10 가르기	10 가르기	역 문제	여러 가지 방법으로 10을 두 수로 갈라보시오.
		10 모으기	여러 가지 방법으로 해결해요1	역 문제	구슬 6개를 가지고 있습니다. 구슬치기를 하여 몇 개를 더 따면 10가 되는지 답을 쓰고, 여러 가지 방법으로 설명하시오.
		문제해결	여러 가지 방법으로 해결해요2	역 문제	나와 동생이 꿀떡 10개를 나누어 먹으려고 합니다. 내가 동생보다 2개 더 먹는다면 나와 동생은 각각 몇 개씩 먹는 것입니까?
		10 가르기와 모으기	문제를 만들어요.	문제 만들기	구슬을 10개씩 실에 꿰어 놓았습니다. 그림을 보고 수학 문제를 만드세요.

영역	단원	학습주제	활동주제	문제유형	개방형 문제
수와 연산	4. 덧셈과 뺄셈	두수의 덧셈	10을 만들자1	구성활동적 문제	수막대 두 개를 모아 10을 만들려고 합니다. 모은 수막대에 따라 알맞게 색칠하고, 식도 쓰세요.
		세수의 덧셈	10을 만들자2	구성활동적 문제	수막대 세 개를 모아 10을 만들려고 합니다. 모은 수막대에 따라 알맞게 색칠하고 식도 쓰세요.
		두수의 뺄셈	3을 만들자.	구성활동적 문제	수막대로 뺄셈을 하여 3을 만들려고 합니다. 알맞게 색칠하고, 식도 쓰세요.
		덧셈과 뺄셈	세 수의 계산	구성활동적 문제	수막대로 덧셈과 뺄셈을 하여 4를 만들어 봅시다.
		세수의 계산식	세 수의 계산	역 문제	보기와 같이 다음 주어진 기호와 숫자를 이용하여 답이 6이 되는 세 수의 계산식을 만드세요.
		덧셈식	나뭇잎	역 문제	은행잎을 13장 모으고, 단풍잎을 5장 모았



	문제해결	모으기		습니다. 모은 나뭇잎이 모두 몇 개인지 답을 쓰고, 여러 가지 방법으로 설명하시오.
	빨셈식 문제해결	나의 동화책	역 문제	우리 집에는 동화책이 26권 있습니다. 그 중 4권을 친구에게 빌려주었습니다. 남아 있는 책을 몇 권인지 답을 쓰고, 여러 가지 방법으로 설명하시오.
	덧셈식 문제해결	독서 통장	역 문제	나의 독서통장 점수는 30포인트입니다. 친구는 60포인트를 모았다고 합니다. 몇 포인트를 더 모아야 친구와 점수가 같아 지는지 답을 쓰고, 여러 가지 방법으로 설명하시오.
	덧셈식과 빨셈식	퀴즈!퀴즈!	문제 만들기	다음 그림을 보고 여러 가지 수학 문제를 만드시오. <그림> 두 가지 색의 네모, 세모 모양

#### IV. 결과 및 논의

##### 1. 결과 분석

가. 연구문제 1 - 개방형 문제 학습 집단과 단답형 문제 학습 집단 사이에 수학적 창의력의 차이가 있는가?

다음 <표 6>은 집단 간 실험 전후 창의력 점수와 집단 간 창의력 점수의 변화를 t-검정한 결과이다. 사후 수학적 창의력 검사 결과 유의도  $p=.046<.05$  이므로 유의수준 .05에서 두 집단 사이에는 통계적으로 유의미한 차가 있는 것으로 나타났다. <표 7>과 같이 유창성의 경우  $p=.050$ 로 통계적으로 유의미한 차가 나타났으며 융통성의 경우  $p=.031$ 로 유의미한 차이를 보였다. 독창성의 경우  $p=.141$ 로 통계적으로 유의미한 결과를 얻지 못하였다.

이는 개방형 문제 학습이 수학적 창의력 향상에 효과적임을 뜻한다. 학습자는 한 가지 정해진 답을 구하는 단답형 문제보다 다양한 답을 요구하는 개방형 문제 학습에서 다양하고, 유연한 사고 능력을 기를 수 있다.

<표 6> 창의력의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
전체	실험집단	10	7.52 (2.95)	.032 (.975)	10.93 (4.21)	2.319 (.046 <sup>*</sup> )
	비교집단	10	7.48 (2.66)		7.8 (4.51)	

\*  $p<.05$

<표 7> 창의력 요소의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
유창성	실험집단	10	3.81 (1.15)	-.064 (.951)	5.22 (1.68)	2.264 (.050)*
	비교집단	10	3.85 (1.16)		3.78 (1.97)	
융통성	실험집단	10	2.35 (.54)	.350 (.734)	2.90 (.87)	2.554 (.031)*
	비교집단	10	2.25 (.54)		2.15 (.90)	
독창성	실험집단	10	1.35 (1.40)	-.095 (.926)	2.82 (1.95)	1.616 (.141)
	비교집단	10	1.38 (1.38)		1.87 (1.91)	

\*p<.05

나. 연구문제2- '개방형 문제 학습 집단과 단답형 문제 학습 집단 사이에 뇌기능의 차이가 있는가?

(1) 브레인지수의 변화에 대한 검증

브레인지수는 뇌파 검사 결과 측정된 뇌기능 지수 전체를 종합한 평가 지수이다. 사후 뇌파 검사 결과 실험집단과 비교집단의 브레인지수는 유의도 p=.073으로 통계적으로 유의미한 차를 보이지 않았다.

<표 8> 브레인지수의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
브레인지수	실험집단	10	76.30 (5.14)	.811 (.439)	74.00 (5.12)	2.029 (.073)
	비교집단	10	74.30 (4.06)		69.70 (7.36)	

\*p<.05

<표 9> 브레인지수의 평가표(단위 : 점)

구분	40이하	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90이상
브레인 지수	최저	하	중하	중	중상	상	최상

(2) 자기조절지수의 변화에 대한 검증

자기조절지수는 정서적인 균형 상태와 경향성을 보는 지수로, 뇌의 건강 상태와 활동

정도의 가장 기본적인 척도로 휴식(알파( $\alpha$ )파), 주의력(SMR파), 집중력(저 베타( $\beta$ )파)의 세 가지 기본 상태에 대한 뇌의 자율조절 능력을 말한다. 자기조절지수에서 집단간 통계적으로 유의미한 차( $p=.888$ )를 보이지 않았다. 이는 개방형 문제가 전반적인 뇌의 자율 조절 능력에 영향을 주지 않음을 의미하지만, 휴식 상태에 있어서는 주의할 만한 양상을 보였다.

휴식상태( $p=.165$ )의 경우 통계적으로 유의미한 차를 보이지 않았지만 실험집단은 사전검사 비해 사후검사에서 휴식 능력이 향상된 반면 비교집단은 사전검사에 비해 사후검사 결과 휴식 능력이 저하되었다. 휴식 상태는 알파( $\alpha$ )파를 만들어내는 능력으로 개방형 문제가 단답형 문제에 비해 알파( $\alpha$ )파 활성화에 영향을 주는 것으로 보인다. 이는 개방형 문제 학습 집단의 학습 태도가 안정화 되었고, 학습 지구력이 향상되었음을 의미한다. 한 가지 문제에 대해 여러 가지의 답을 구하는 개방형 문제 학습은 다양한 답을 인정하여 학습자의 심리적 부담을 감소시키고, 다양한 답을 찾는 과정에서 학습자가 즐거움을 느낀 것으로 보인다.

<표 10> 자기조절 지수의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
자기조절 지수	실험집단	10	80.00 (12.12)	.123 (.905)	79.10 (17.23)	.145 (.888)
	비교집단	10	79.50 (11.18)		77.90 (15.10)	
휴식	실험집단	10	30.40 (7.12)	-.985 (.350)	33.80 (8.19)	1.510 (.165)
	비교집단	10	32.50 (6.98)		29.40 (5.44)	
주의력	실험집단	10	25.80 (3.36)	-.666 (.522)	24.00 (5.21)	-.832 (.427)
	비교집단	10	27.30 (6.18)		25.90 (5.07)	
집중력	실험집단	10	27.00 (7.26)	.781 (.455)	28.70 (6.80)	.241 (.815)
	비교집단	10	24.70 (5.46)		27.80 (8.51)	

\*  $p < .05$

<표 11> 자기조절지수의 평가표(단위 : 점)

구분	40이하	40-60	60-80	80-100
자기조절지수	극저	저	보통	최상

(3) 기초운동지수의 변화에 대한 검증

기초운동지수는 알파( $\alpha$ )파의 주파수와 진폭, 연령비로 결정되며 뇌의 발달 및 노화 정도와 안정도 순발력 정도를 나타내는 뇌 기능 지수이다. 집단간 기초운동지수(좌)( $p=.617$ )와

기초울동지수(우)( $p=.896$ ) 는 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이는 개방형문제가 기초울동지수에는 영향을 미치지 않음을 의미한다.

<표 12> 기초울동지수의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
기초울동지수(좌)	실험집단	10	80.90 (8.89)	1.326 (.218)	78.70 (10.67)	.518 (.617)
	비교집단	10	72.20 (16.60)		76.60 (9.70)	
기초울동지수(우)	실험집단	10	83.50 (11.25)	.884 (.400)	77.20 (4.60)	.134 (.896)
	비교집단	10	77.50 (14.59)		76.20 (20.30)	

\*  $p<.05$

<표 13> 기초울동지수의 평가표

구분	40이하	40-60	60-80	80-100	100이상
기초울동지수	극저	저	보통	상	최상

(4) 주의지수의 변화에 대한 검증

주의지수는 세타( $\theta$ )파를 SMR파로 나누어 뇌의 각성 정도를 판단하는 지수이다. 주의지수(좌)( $p=.007$ ), 주의지수(우)( $p=.023$ )로 유의수준 .05에서 두 집단 간 유의미한 차이를 보였다. 개방형 문제 학습이 각성 시 발생하는 SMR파를 활성화 시키고, 뇌의 각성을 저하시키는 세타( $\theta$ )파를 감소시키는 것을 알 수 있다. 이는 개방형 문제 학습이 학습자로 하여금 확산적으로 사고하도록 하여 뇌의 각성 능력을 높이고 다양한 학습 내용에 대한 관심을 불러 일으켜 전반적으로 학습에 대한 이해를 향상시킬 수 있다는 것을 의미한다.

<표 14> 주의지수의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
주의지수(좌)	실험집단	10	64.30 (11.39)	.096 (.925)	60.30 (8.41)	3.488 (.007 <sup>*</sup> )
	비교집단	10	63.80 (9.72)		50.40 (12.89)	
주의지수(우)	실험집단	10	63.70 (11.17)	-.246 (.811)	60.90 (9.53)	2.743 (.023 <sup>*</sup> )
	비교집단	10	64.80 (6.60)		52.80 (15.23)	

\*  $p<.05$

<표 15> 주의지수의 평가표

구분	40이하	40-60	60-80	80-100	100이상
기초율동지수	극저	저	보통	상	최상

(5) 활성지수의 변화에 대한 검증

활성지수는 좌뇌와 우뇌의 저 베타( $\beta$ )파의 활성화 및 좌우뇌의 전체적인 활성 정도를 나타내는 지수로 사고 능력을 판단할 수 있다. 실험 후 활성지수(좌)( $p=.795$ )와 활성지수(우)( $p=.807$ )로서 유의미한 차이를 보이지 않았다. 이는 개방형문제가 단답형문제에 비해 뇌의 저 베타( $\beta$ )파 활성화에는 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

<표 16> 활성지수의 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
활성지수 (좌)	실험집단	10	75.60 (10.06)	-.228 (.825)	71.90 (11.07)	.268 (.795)
	비교집단	10	76.60 (7.62)		70.90 (12.40)	
활성지수 (우)	실험집단	10	75.90 (9.07)	-.584 (.573)	72.90 (10.89)	-.251 (.807)
	비교집단	10	78.50 (5.87)		73.60 (11.57)	

\*  $p < .05$

<표 17> 활성지수의 평가표(단위 : 점)

구분	20이하	20-40	40-60	60-80	80이상
활성지수	극저	비활성	보통	활성	최상

(6) 정서지수의 변화에 대한 검증

정서지수는 알파( $\alpha$ )파 값으로 정서의 안정과 불안정 상태를 나타낸다. 사후검사 결과 정서지수( $p=.360$ )는 실험집단과 비교집단에서 유의미한 차이를 보이지 않았지만, 정서 성향( $p=.025$ )에 있어서는 유의수준 .05에서 두 집단 간 유의미한 차이를 보였다. 정서 성향은 우뇌의 알파( $\alpha$ )파가 활성화 되었으면 명랑 성향을 좌뇌의 알파( $\alpha$ )파가 활성화 되었으면 우울 성향을 나타낸다. 학습 결과 실험집단이 비교집단에 비해 명랑 성향을 보이며 우뇌의 알파( $\alpha$ )파가 활성화되었다. 이는 개방형 문제 학습 집단이 단답형 문제 학습 집단보다 정서적으로 안정되고, 긍정적인 성향이 강화되었음을 의미한다. 하나의 문제에서 기존 지식과 연관하여 새로운 답을 찾고, 다양한 답이 수용되면서 학습자는 보다 긍정적인 태도를 기른 것으로 보인다.

&lt;표 18&gt; 정서지수에 대한 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
정서지수	실험집단	10	85.60 (3.47)	.765 (.765)	77.30 (5.66)	.965 (.360)
	비교집단	10	83.90 (4.53)		71.90 (15.67)	
정서성향 (명랑-우울)	실험집단	10	3.70 (.67)	-.000 (1.000)	3.90 (.32)	2.689 (.025 <sup>*</sup> )
	비교집단	10	3.70 (.67)		3.20 (.79)	

\* p&lt;.05

&lt;표 19&gt; 정서지수의 평가표

구분	20이하	20-40	40-60	60-80	80이상
정서지수	기능 저하	비활성	보통	활성	최상

## (7) 항스트레스지수의 변화

항스트레스지수는 내적이거나 외적인 환경 요인에서 오는 육체적 정신적 피로에 대한 저항 능력을 나타내는 지수로 델타( $\delta$ )파와 고 베타( $\beta$ )파에 의해 산출한다. 사후검사 결과 항스트레스지수(좌)( $p=.162$ ), 항스트레스지수(우)( $p=.225$ )에 있어 집단 간 유의미한 차는 보이지 않았다. 이는 개방형 문제와 단답형 문제 학습이 육체적, 정신적 피로도에 미치는 영향에는 차이가 없음을 뜻한다.

&lt;표 20&gt; 항스트레스지수에 대한 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
항스트레스 지수(좌)	실험집단	10	77.70 (6.75)	.538 (.604)	83.80 (3.49)	1.523 (.162)
	비교집단	10	76.40 (4.77)		81.20 (5.01)	
항스트레스지수 (우)	실험집단	10	75.30 (7.54)	.645 (.535)	74.50 (10.23)	1.302 (.225)
	비교집단	10	73.40 (6.20)		68.80 (9.04)	

\* p&lt;.05

&lt;표 21&gt; 항스트레스지수의 평가표

구분	20이하	20-40	40-60	60-80	80이상
항스트레스지수	병적 상태	피로	보통	건강	최상

## (8) 좌우뇌균형지수의 변화에 대한 검증

균형지수는 좌뇌와 우뇌의 균형을 보는 지수로 사후검사에서 균형지수( $p=.321$ )는 유의미

한 차를 보이지 않았다. 이는 개방형 문제가 좌우뇌 균형에 영향을 주지 않음을 뜻한다.

<표 22> 좌우뇌균형지수에 대한 변화

구분	집단	N	사전검사		사후검사	
			M (SD)	t (P)	M (SD)	t (P)
좌우뇌균형지수	실험집단	10	74.60 (3.63)	1.172 (.271)	73.70 (9.26)	1.050 (.321)
	비교집단	10	71.60 (8.02)		66.80 (18.50)	

\* p<.05

<표 23> 좌우뇌균형지수의 평가표

구분	40이하	40-55	55-70	70-90	90이상
균형지수	완전 비대칭	비대칭	약간 비대칭	대칭	완전대칭

## 2. 논의

본 연구의 목적은 초등학교 1학년을 대상으로 개방형 문제 학습이 수학적 창의력과 뇌기능에 미치는 효과를 분석하는 것이다.

첫째, 개방형 문제 학습 집단은 수학적 창의력에 있어 유의미한 차이가 있었다. 또한 수학적 창의력의 세부요소에 있어서도 유창성과 융통성은 통계적으로 유의미한 차이를 보였다. 이는 개방형 문제 활용이 수학적 창의력 향상에 효과적이라는 초등학교 중·고학년을 대상으로 한 다른 연구(백중숙, 2009), 중학생을 대상으로 한 연구(권오남 외, 2005)와 결과가 일치할 뿐만 아니라 초등학교 저학년을 대상으로도 개방형 문제 학습이 수학적 창의력 향상에 효과적임을 검증한 것이다.

둘째, 개방형 문제 학습 집단은 단답형 문제 학습 집단에 비해 주의지수에 있어 유의미한 차를 보였다. 개방형 문제 해결과정에서 학습자는 확산적으로 사고하고, 전에 학습한 내용을 연관시키고자 다양하게 생각하게 된다. 이러한 개방형 문제의 특성으로 개방형 문제 학습 집단의 두뇌에서는 세타( $\theta$ )파를 낮추고, SMR파가 활성화되어 주의력이 높아졌다. 두뇌의 각성 상태가 개선되어 다양한 학습에 대한 두뇌 활동이 준비되고, 학습 내용에 대한 빠른 이해 또는 반응을 보일 수 있게 된다. 즉, 개방형 문제는 뇌의 광범위한 각성에 효과적이다.

셋째, 개방형 문제 학습 집단은 정서 성향에 있어서 단답형 문제 학습 집단에 비해 유의미한 차이를 보이며 알파( $\alpha$ )파의 우뇌 성향을 보였다. 개방형 문제 학습을 통해 학습자는 다양한 반응이 수용되어 한 가지 정답이 있는 단답형 문제에 비해 학습 불안이 낮아지는 것으로 보인다. 또한 학습자는 여러 가지 답을 찾는 과정에서 스스로 유의미한 보상을 받으며 학습에 대해 능동적인 태도가 길러질 수 있다. 이는 개방형 교수법에 의한 수업이 수학적 신념에 유의미한 효과가 있었다는 문성길(2000)의 연구와 개방형문제가 학습자의 흥미, 자신감 신장 효과적이었다는 오은영(2005)의 연구와 일치한다. 즉, 개방형 문제 학습이 보다 안정적이고 적극적인 학습 태도에 효과적이다.

넷째 알파( $\alpha$ )파와 관계하는 자기조절지수의 휴식 상태가 개선되었다. 휴식 상태의 개선

은 알파파를 만들어 내는 능력이 향상된 것으로 이는 창의력이 높은 집단의 경우 낮은 알파파(7.9~10.0Hz)의 동기화가 많이 나타났다는 Jausovč(2000)의 연구와 일치한다. 또한 가설검증 학습 후 뇌파 변화를 분석하였는데 실험집단의 알파파가 증가하였다는 박지영(2006)의 연구와 일치한다. 이는 학습자에게 어려운 학습일수록 정신적 노력을 더 많이 요구하고, 알파파의 동기화가 낮아진다는 기존의 주장을 고려해 볼 때(이인혜 1997) 개방형 학습 활동 후 학습자가 적은 노력으로도 학습 효율을 높일 수 있는 상태로 개선된 것으로 보인다.

## V. 결론 및 제언

### 1. 결론

오늘날 사회에서는 빠르게 변화하는 상황에 유연하고 독창적으로 사고할 수 있는 인재 육성을 필요로 하고 있다. 개방형 문제는 정답이 여러 가지인 문제로 학습자는 개방형 문제를 해결하는 과정에서 다양하게 사고하고, 참신한 아이디어를 내놓을 수 있다. 이러한 개방형 문제 유형이 수학적 창의력 향상에 효과적이라면 이는 뇌에 어떠한 영향을 미칠 것인가? 따라서 본 연구는 개방형 문제 해결이 학생들의 수학적 창의력과 뇌기능 발달에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 이러한 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 개방형 문제 해결은 단답형 문제 해결보다 학습자의 수학적 창의력 신장에 효과적이다. 개방형 문제 해결은 기존의 수학적 지식과 경험을 문제 해결에 연결 짓고, 다양하게 사고하도록 하였다. 또한 하나의 답만 있는 것이 아니므로 또 다른 답을 찾기 위해 시도하면서 학생의 수학적 창의력이 신장되었다. 이것은 개방형 문제가 오늘날 사회가 요구하는 창의적 인재를 기를 수 있는 문제 유형임을 시사한다.

둘째, 개방형 문제는 학습 내용에 대한 빠른 이해와 반응에 관련 된 두뇌의 각성 수준 개선에 효과적이다. 개방형 문제 해결과정에서 학습자는 확산적으로 사고하고, 전에 학습한 내용을 연관시키고자 다양하게 생각하게 된다. 이러한 개방형 문제의 특성으로 개방형 문제 학습 집단의 두뇌에서는 세타( $\theta$ )파를 낮추고, SMR파가 활성화되어 주의력이 높아졌다. 두뇌의 각성 상태가 개선되어 다양한 학습에 대한 두뇌 활동이 준비되고, 학습 내용에 대한 빠른 이해 또는 반응을 보일 수 있게 된다.

개방형 문제 학습 집단은 정서지수를 통한 성향 분석에서 단답형 문제 학습 집단에 비해 유의미한 차이를 보이며 알파( $\alpha$ )파의 우뇌 성향을 보였다. 이는 정서에 있어 학습자가 긍정적이고, 적극적인 태도로 변화함을 뜻한다. 개방형 문제 학습을 통해 학습자는 여러 가지 답을 찾는 과정에서 스스로 유의미한 보상을 받으며 학습에 대한 능동성이 길러지는 것으로 보인다. 이는 개방형 교수법에 의한 수업이 수학적 신념 및 태도에 효과가 있다는 선행 연구와 일치하며 개방형 문제 학습이 보다 긍정적이고 적극적인 학습 태도 형성과 관련된 두뇌 발달에도 효과적임을 뜻한다.

개방형 문제 학습으로 알파( $\alpha$ )파와 관계하는 자기조절지수의 휴식 상태가 개선되었다. 휴식 상태의 개선은 알파파를 만들어 내는 능력이 향상된 것으로 이는 개방형 학습 활동 후 학습자는 적은 노력으로도 학습 효율을 높일 수 있는 상태로 두뇌 활동이 개선되었다고 볼 수 있다. 즉, 개방형 문제는 학습자의 학습 효율을 높이는 방향으로의 두뇌 발달에



효과적이다.

이와 같은 연구 결과를 종합해 볼 때 개방형 문제는 학습자의 수학적 창의력, 두뇌 각성, 긍정적인 학습 성향, 두뇌 활동의 효율성을 높이는 효과적인 문제 유형이다. 따라서 개방형 문제 해결뿐만 아니라 개방형 문제를 활용한 수업에도 적극 활용되고, 개방형 문제가 꾸준히 개발되어 학생들에게 다양한 답을 찾는 문제 해결의 경험을 제공해야 한다. 또한 수학적 창의성 및 주의가 낮고, 수학 학습에 소극적인 학습자에게 개방형 문제 학습 경험을 제공하여 학습자의 수학적 창의성, 두뇌 각성 및 긍정적 태도 향상에 도움을 줄 수 있다.

## 2. 제언

첫째, 본 연구는 초등학교 1학년 학생을 대상으로 개방형 문제 해결 후 창의력 효과를 알아보았지만, 개방형 문제를 활용한 수업을 진행하지는 않았다. 저학년 학생을 대상으로 개방형 문제 활용 수업이 창의력에 미치는 효과에 대한 연구가 필요하다.

둘째, 본 연구에서는 수학 학습 효과를 뇌기능 검사로 검증하는 방법을 제안하였다. 뇌기능 검사 결과 비교집단에 비해 유의미한 차이를 보인 뇌기능 지수에 대하여는 그 원인에 대해 개방형문제 유형의 특성에 기초하여 논의가 가능하였으나 유의미한 차이를 보이지 않은 뇌기능 지수에 대하여는 연구가 부족하여 그 원인 분석이 어려웠다. 수학학습의 다양한 주제에 대한 효과 검증 방법으로 뇌기능 분석 방법을 적용한다면 수학 문제 유형이나 수학 학습 방법으로 효과적인 뇌기능에 대한 정보를 얻을 수 있으며 이를 통해 수학 학습이 두뇌 발달에 미치는 영향을 다양한 측면에서 해석할 수 있을 것이다. 또한 이를 두뇌 기능 상태를 고려한 교수-학습 활동 개발의 기초 자료로 삼을 수 있다.

셋째, 형식적 조작기로 변화하는 초등학교 고학년 수준에서 개방형 문제가 뇌기능에 미치는 효과를 분석해보면 보다 의미 있는 결과를 얻을 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- 권오남, 방정숙, 박지현, 조영미 (2005). 개방형 문제 중심의 프로그램이 수학적 창의력에 미치는 효과. *한국수학교육학회지 시리즈A <수학교육>*, 44(2), 307-323.
- 김대식, 최창욱 (2001). *뇌파 검사학*. 서울:고려의학.
- 김용진, 김학현, 박재근, 채희경, 박미아, 강경미, 조선희, 민윤기, 장남기 (2000). 문제풀이 활동에 뇌파 측정에 의한 두뇌 기능 상태의 평가. *한국생물교육학회지*, 28(3), 291-301.
- 남승인 (2007). 수학 창의력 신장을 위한 평가 문항 개발 방안. *한국수학교육학회지 시리즈E <수학교육 논문집>*, 21(2), 271-282.
- 문성길 (2001). 개방형 교수법에 의한 수학지도가 문제해결력과 신념 형성에 미치는 효과. *한국수학교육학회지 시리즈E <수학교육 논문집>*, 11, 159-170.
- 박병운 (2005). *뉴로피드백 입문*. 서울: 한국정신과학연구소.
- 박지영 (2006). 가설생성학습 후에 나타난 초등학교의 뇌파 변화 분석. *한국교원대학교 석사학위논문*.
- 백종숙 (2008). 개방형 학습활동이 수학적 창의력 및 수학적 성향에 미치는 효과. *한국수학교육학회지 시리즈A <수학교육>*, 47(2), 134-154.
- 오은영, 배종수 (2005). 개방형 문제를 이용한 학습에 대한 아동의 태도 연구. *한국초등수학교육학회지*, 9(1), 39-64.
- 이강섭 (2003). 수학과 창의력 평가에서 개방형 문항의 특성과 중학교 학생들의 반응유형에 관한 연구. *한국수학교육학회지 시리즈 E <수학교육논문집>*, 16, 201-215.
- 이인혜 (1997). *정신생리학*. 서울: 학지사.
- 정동권 (1996). 아동의 발전적 사고력을 기르기 위한 open-ended problem의 활용. *인천교육대학교 논문집*, 29(2).
- 한국교육개발원 (1997). *수학 영재 판별 도구 개발 연구 2*. 한국교육개발원.
- Becker, J. P. & Shimada, S. (1995). *The open-ended approach*. New York and Basingstoke: W. H. Freeman And Company. 구광조, 전평국, 박성선, 문성길 역(2004). *개방형 교수법*. 서울: 경문사.
- Bruce, J. F. (1999). *Fisch and sphelmann's EEG primer(3rd Ed)*. New York: Elsevier.
- Jausovč, N. (2000). *Differences in cognitive processes between gifted intelligent, creative, and average individuals while solving complex problems: An EEG study*. *Intelligence*, 28, 213-237.

<Abstract>

## The Effects of Open-ended Problems on Mathematical Creativity and Brain Function

Kim, Sang Jeong<sup>4</sup>); & Kwon, Young Min<sup>5</sup>); & Bae, Jong Soo<sup>6</sup>)

The aim of this study was to find the effects of open-ended problems on mathematical creativity and brain function. In this study, one class of first grade students were allocated randomly into two groups. Each group solved different problems. The experimental group solved the open-ended problems and the comparison group solved the closed-problems. Mathematical creativity was tested by the paper test. And Brain function was tested by an EEG(electroencephalogram) tester.

The results of this study are as follows. Firstly, this study analyzed how the open-ended problems are effective on mathematical creativity. This analysis showed that it had a meaningful influence on the mathematical creativity( $p=0.46$ ). Accordingly, we could find out that open-ended problems make the student connect the mathematical concept and idea and think variously.

Secondly, this study analyzed the effect of open-ended problems on brain function. This analysis showed that it did not have a meaningful influence on the brain function( $p=.073$ ) statistically but the experimental group's evaluation was higher than comparison groups' at the post-test. It also had a meaningful influence on the brain attention quotient(left)( $p=.007$ ), attention quotient(right)( $p=.023$ ) and emotion tendency quotient( $p=.025$ ). As a result of such tests, we could find out that open-ended problems are effective on brain function, especially on the attention ability. With the use of the open-ended problems, students could show quick understanding and response. An emotion tendency is also developed in the process. Because various answers are accepted, the students gain an internal reward at the process of finding an answer. Putting the above results together, we could find that open-ended problem is effective on mathematical creativity and brain function.

Keywords: open-ended problem, mathematical creativity, brain function, EEG

논문접수: 2010. 10. 03

논문심사: 2010. 10. 11

게재확정: 2010. 11. 28

4) chiron00@nate.com

5) kym64@mest.go.kr

6) baejs@snue.ac.kr

<부록 1> 수학적 창의력 검사지

수학적 창의력 검사			점수	유창성	융통성	독창성
1학년 반 번 성별 (남, 여)	이름					

<주의 사항>

1. 각 문제의 답은 자신이 가장 좋다고 생각되는 답을 번호 1), 2), ..., 10)에 최대한 10개까지만 쓰세요.
2. 각 문제에서는 비슷한 답보다 서로 다른 답이 많을수록 더 좋습니다.
3. 누구나 쉽게 생각할 수 없는 독특한 것 일수록 더 좋습니다.
4. 답은 정확하고 자세할수록 좋습니다.

<연 습 문 제>

우리 주변에서 볼 수 있는 동그라미 모양을 찾아 써보세요.  
(보기는 답에서 제외됩니다.)

<보기> 얼굴

1)	2)
3)	4)
5)	6)
7)	8)
9)	10)

1. 다음 기호와 숫자를 사용하여 답이 5가 되는 식을 만드세요. 단, 기호와 숫자는 같은 것이 반복되어도 됩니다.

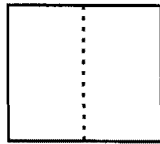
+, -, 1, 2, 3, 4, 5, 6
------------------------

<보기> 1)  $3 + 2 = 5$     2)  $1 + 1 + 3 = 5$   
 ※ 바꾸어 더한 것은 같은 답으로 봅니다.  
 $3 + 2 = 5$ ,  $2 + 3 = 5$ 은 같은 답

- |    |     |
|----|-----|
| 1) | 2)  |
| 3) | 4)  |
| 5) | 6)  |
| 7) | 8)  |
| 9) | 10) |

2. 색종이를 모양과 크기가 똑같이 되도록 나누려고 합니다. 나누는 방법을 나타내세요.

<보기>



1)	2)	3)	4)	5)
6)	7)	8)	9)	10)

3. 규칙에 따라 □안에 숫자를 써 넣으려고 합니다. 규칙을 만들고, 알맞은 수를 쓰세요.

[규칙]

<보기> □ 1 — □ 2 — □ 3 — □ 4    1씩 커진다. \_\_\_\_\_

[규칙]

1)		_____
3)		_____
5)		_____
7)		_____
9)		_____

[규칙]

2)		_____
4)		_____
6)		_____
8)		_____
10)		_____

