

뇌기반 진화적 STEAM 교육이 초등학생의 과학 흥미와 과학 창의성에 미치는 영향

정경욱 · 임채성[†]

The Effect of Brain-Based Evolutionary STEAM Education on Scientific Interest and Scientific Creativity in Elementary School Students

Jeong, Kyung-Wook · Lim, Chae-Seong[†]

국문 초록

본 연구에서는 STEAM 교육이 증시하는 과학에 대한 흥미와 과학적 창의성을 더 효과적으로 신장시키기 위해, 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)을 STEAM 교육에 적용하여, 새로운 ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 교수·학습 프로그램을 개발하였다. 경기도 소재 S 초등학교 4학년 학생 90명을 대상으로 한 이 연구는, 비교반(45명) 학생들에게는 교과서·지도서 기반 STEAM 교육 수업을, 실험반(45명) 학생들에게는 뇌기반 진화적 STEAM 교육을 실시하였고, 수업 전후에 과학 흥미 검사와 과학 창의성 검사를 각각 시행하여 그 결과를 좌우·전후 비교분석을 통해 정량적으로 검증하였다. 또한, 정량적 검사로 드러나지 않는 특성들을 분석하기 위해 학생 관찰지, 면담일지를 추가로 분석하여 정성적 연구를 병행하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 과학 흥미 변인에 대하여 독립 표본 검증(좌우비교)을 시행한 결과, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램이 교과서 기반 STEAM 교육 수업보다 상대적으로 과학 학습에 대한 흥미는 높이고, 불안을 감소시킨다는 것을 알 수 있었다. 둘째, 과학 흥미 변인에 대하여 종속 표본 검증(전후 비교)을 시행한 결과, 사전·사후 점수 간에 유의미한 차이가 없었던 교과서 기반 STEAM 교육에 반해, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램은 수업 전후에 따라 과학에 대한 흥미가 향상되는 것을 알 수 있었다. 셋째, 과학 창의성 변인에 대한 독립 표본 검증(좌우비교)을 시행한 결과, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램이 교과서 기반 STEAM 교육 수업보다 학생의 과학 창의성 점수와 독창성 점수를 높이는 데 더 효과적인 것으로 검증되었다. 넷째, 과학 창의성 변인에 대한 종속 표본 검증(전후비교)을 시행한 결과, 두 가지 교수·학습 방법 모두 수업 전후에 따라 학생의 독창성, 유용성, 과학 창의성 점수를 효과적으로 향상시킨 것으로 나타났다. 이러한 연구 결과를 토대로, 과학 교육과 STEAM 교육 연구에 관한 함의들을 논의하고자 한다.

주제어: 뇌기반 진화적 접근법, STEAM, 과학 흥미, 과학 창의성, 과학 교수학습 모형, 과학교육

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop an evolutionary STEAM education program based on the brain and to analyze its effects on scientific interest and scientific creativity of elementary school students. Four different topics based on four scientific fields (Physics, Chemistry, Biology and Earth Science) were derived from the science textbook under the 2015 revised curriculum to build a brain-based evolutionary STEAM education program. The research subjects were 90 fourth graders of S-elementary school located in Gyeonggi Province, Korea and they were divided into an experimental group of 45 students and a comparative group of 45 students. The main findings of this study are as follows. First, according to the independent samples *t*-test of scientific interest, no statistically significant difference were found between the two groups, but the brain-based evolutionary STEAM education had meaningful effect on improving ‘interest in scientific learning’ and ‘anxiety about scientific learning’. Second, according to the paired samples *t*-test of scientific interest, the experimental group had significantly improved ‘interest in science’ but on the other hand, there was no effect on the comparative group. Third, scientific creativity and originality of the experimental group were significantly higher after the class than that of the comparative group. Fourth, although there were some significant differences between the two groups in scientific creativity after the class, both groups had improved scientific creativity between the results of pre and post test. Based on these results, we discuss implications for science education and STEAM education research.

Key words: brain-based evolutionary approach, STEAM, scientific interests, scientific creativity, science teaching and learning model, science education

I. 서 론

오늘날 사회는 과학·기술의 발달에 따라 급변하고 있고, 미래 사회의 혁신은 하나의 학문에 의하기보다 서로 다른 학문 간의 융합으로 인해 사회 전반에 큰 변화를 불러 일으킬 것으로 기대하고 있다(장영록 등, 2015). 이에 우리나라 교육부에서도 2015 개정 교육과정 총론 주요 사항으로 우리 사회에 필요한 인재상을 ‘인문학적 상상력과 과학·기술 창조력을 갖추고, 바른 인성을 겸비한, 다양한 지식을 융합하여 새로운 가치를 창출할 수 있는 창의 융합형 인재’로 제시하여 창의적이고 융합적인 사고 체계를 기를 수 있는 교육을 강조하고 있다(교육부, 2015a).

이러한 시대적 요구에 근거하여 교육부는 창의적 융합 인재와 세계적인 과학기술 인재를 체계적으로 육성하기 위해 초·중등 수준에서 과학, 기술에 기반을 둔 융합인재교육(STEAM 교육)을 추진하고 있는데, STEAM 교육에서는 국가적인 인재 양성을 위해 과학·기술에 대한 흥미를 높이고, 융합적 사고와 창의적 문제해결 능력을 배양할 수 있는 학습 내용 및 교수·학습 방법의 필요성을 강조하고 있다(교육부, 2015b). 또한, STEAM 교육의 특징은 ‘자연현상과 사물에 대하여 흥미와 호기심을 가지고, 과학의 핵심 개념 및 탐구 능력을 함양하여, 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기른다.’라는 과학 교과의 목표 달성을 기반으로 하는데, 이러한 현행 과학교육의 내용을 기초로 한 STEAM 교육은 학생들의 과학·기술에 대한 흥미와 이해를 높이고 과학적 창의성을 배양할 수 있는 적절한 교육이 될 수 있다(백운수 등, 2012).

그러나 현재 STEAM 교육과 관련한 선행연구를 분석해 보면, 대부분이 STEAM 교육을 활용한 프로그램 개발 및 적용이거나 일반적 창의성에 관한 분석이 많고, 과학·기술에 대한 흥미와 영역 특수적인 과학 창의성을 배양하기 위한 STEAM 교육 수업의 구체적인 교수·학습 방법에 관한 연구는 충분히 이뤄지지 않고 있다(김덕호 등, 2014; 김지원과 원효현, 2014; 류계정과 이길재, 2013; 이석진 등, 2017; 이은주, 2015; 최은영, 2017). Koren *et al.* (2005)의 연구 결과는 창의성을 발휘하게 하는 데 교수·학습 방법의 중요성을 이야기하고 있고,

Bradley (1999)와 Wenglinsky (2005)는 다른 어떤 변인보다 교수·학습의 질을 좌우하는 가장 중요한 변인으로 교사의 교수·학습 방법과 전략을 강조하기에, 앞으로 과학·기술에 대한 흥미와 과학 창의성을 향상시키는 STEAM 교육을 연구함에 있어 수업의 주체가 되는 교사와 학생의 지도·학습 모형에 주목할 필요가 있다.

최근 뇌과학 연구의 비약적 발달로 인간의 사고 및 학습 과정에 대해 더욱더 과학적이고 체계적인 방법의 연구가 진행되면서 학생의 뇌 기능에 기초를 둔 뇌기반 교수·학습 프로그램들이 국내외 연구자들에 의해 개발되어 소개되고 있다(임채성, 2009, 2012; Jensen, 2000; Kwon *et al.*, 2009; Sousa, 2001). 교육 신경학적 입장에서 살펴보면, 이러한 뇌기반 교육은 모든 학습은 뇌에서 이루어진다는 것을 대전제로 하면서, 특정 경험을 통해 뇌의 각 영역과 네트워크들을 적절히 자극할 수 있도록 교수·학습 프로그램을 설계하는 것을 목표로 한다(권용주와 이준기, 2010; 임채성, 2012).

뇌는 특정 영역별로 독립적으로 기능하지 않는다. 변연계는 정서와 이성의 상호작용을 담당하며, 대뇌의 좌뇌와 우뇌도 상호작용을 하는 등 뇌의 여러 영역이 다양한 비중으로 통합적으로 기능하기 때문에, 이러한 이유로 특정 기능을 중점으로 하는 교과 간의 분절된 학습은 뇌의 기능에 역행하는 학습이라고 할 수 있다(김두정, 2010). 이에 STEAM 교육은 여러 과목과 기능을 융합하여 교육하는 통합교육의 역할을 하고 있으므로, 뇌의 통합적인 기능을 고려한 뇌기반 교수·학습 모형의 STEAM 교육 프로그램이 설계되어야 할 것으로 생각된다. 특히, STEAM 교육의 통합·융합적 특성을 고려하면서도, STEAM 교육이 중요하게 생각하는 과학·기술에 대한 흥미와 과학적 창의성을 더 효과적으로 신장시키기 위해, 학습자의 정의적 요소와 창의적 과학 문제해결 과정을 중시한 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)(임채성, 2009)을 STEAM 교육에 적용해 볼 필요가 있다.

선행연구 검토 결과, 이미 여러 연구 결과들이 뇌기반 진화적 접근법을 적용한 과학 수업의 효과성에 대해 이야기하고 있으나, 이러한 선행연구들은 주로 하나의 단원을 선정하여 그 효과를 알아보는 연구로 진행되어 있고, 그 효과성에 관한 연구

가 ‘자유 탐구’나 ‘생명’ 영역에 한정되어 있다(김소영 등, 2016; 박형민 등, 2015). 또한, 과학의 여러 분야(‘운동과 에너지’, ‘물질’, ‘생명’, ‘지구와 우주’)별 주제를 골고루 적용한 STEAM 교육에 뇌기반 교수·학습 방법이 구체적으로 효과성이 있는지에 관한 연구는 국내에서 류제정과 이길재(2013)의 연구 외에 거의 없는 실정이다.

이에 본 연구에서는 STEAM 교육을 단순히 2015 개정 교육과정에서 제시한 학습준거들에 따라 진행한 것이 아니라, 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)(임채성, 2009)을 STEAM 교육에 적용하여 ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 프로그램을 개발하였고, 이를 통해 학생들이 실제 과학자처럼 창의적 문제를 해결하는 데 필요한 세 가지 핵심 영역(정의적·행동적·인지적) 및 진화적 요소(다양화, 추정·평가·실행, 확장·적용)들을 직접 경험하게 하여 과학 흥미와 과학 창의성이 향상될 수 있게끔 STEAM 교육을 진행하였다. 이를 바탕으로 본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 현재 과학 교과서(2015 개정 교육과정) 내 STEAM 교육 주제를 바탕으로 ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 교수·학습 프로그램을 개발한다.

둘째, ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 프로그램이 초등학생의 과학 흥미와 과학 창의성에 어떠한 영향을 미치는지를 교과서·지도서 기반 STEAM 교육 수업과 비교하여 조사·분석한다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구는 경기도 동두천시에 소재한 공립 S초등학교 4학년, 총 90명을 대상으로 하였으며, 연구 대상은 비교반 45명(남학생 21명, 여학생 24명), 실험반 45명(남학생 23명, 여학생 22명)으로 이루어져 있다. 전출입이나 특수아동에 해당하는 학생은 연구 대상에서 제외하였다. S초등학교는 접경 지역에 위치하여 주변에 학원 및 과외 시설이 부족하고, 이에 따라 S초등학교의 학생들은 과학 학습의 많은 부분을 학교 교육에 의존한다. 실험반과 비교반 모두 한 학교에서 표출하였으므로 학교 환경적인 요인 및 주변 여건은 유사하다.

2. 연구설계

본 연구는 실험연구로서 기본적으로 통제집단 사전·사후 검사 설계 방법을 사용하였고, 프로그램의 효과성에 대한 검증을 검사 시기별로도 확인하기 위해 단일집단 사전·사후 검사 설계 방법을 추가로 사용하였다. 담임과 관리자의 재량권을 활용하여 탄력적인 교육과정을 구성하여, 해당 초등학교의 정규 교육과정 운영 시간 내에 사전·사후 검사와 STEAM 교육 수업을 진행하였다.

사전 검사를 시행한 후 약 4주간 총 8차시에 걸쳐 연구자가 모든 수업을 직접 진행하였는데, 비교반은 2015 개정 교육과정에 따른 과학 교과서 내 STEAM 교육 관련 차시 수업을 진행하였고, 실험반에는 뇌기반 진화적 접근법에 따른 STEAM 교육 프로그램 수업을 진행하였다. 수업 처치가 끝난 이후 교수·학습 프로그램의 효과를 검증하기 위해 사후 검사를 시행하였다(Table 1).

3. 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램 개발 과정

1) 과학 교과서(2015 개정 교육과정) 내 STEAM 교육 요소 분석

3~4학년 과학 교과서는 하나의 단원을 ‘재미있는 과학’, ‘과학 탐구’, ‘과학과 생활’, ‘단원의 마무리’의 네 단계로 구성하여, 학생들이 과학적인 지식 생성 활동을 경험하게 하면서 과학 교과의 핵심 역량을 함양할 수 있도록 안내하고 있다(교육부, 2018). 단원의 각 단계를 살펴보면, 1차시에서는 재미있는 과학으로 학생들의 과학적 흥미와 관심을 유도하고 있고, 2~8차시에서는 과학 탐구 활동을 통해 과학을 경험하게 하며, 9~10차시에서는 단원 내용과 관련된 융합인재교육(STEAM 교육) 활동을 하게 한 다음, 마지막 차시에서는 경험한 내용을

Table 1. Research design

비교반	O ₁	X ₁	O ₂
실험반	O ₁	X ₂	O ₂

O₁: 과학 흥미, 과학 창의성 사전 검사.
 X₁: 과학 교과서 기반 STEAM 교육 수업.
 X₂: 뇌기반 진화적 STEAM 교육 수업.
 O₂: 과학 흥미, 과학 창의성 사후 검사.

정리 및 평가하여 학생들이 무엇을 알게 되었는지를 스스로 확인할 수 있게끔 과정이 구성되어 있다 (Table 2). 이와 같은 과학 교과서 체제에서, 융합인재교육(STEAM 교육) 요소를 포함하고 있는 부분은 ‘과학과 생활’단계이다. ‘과학과 생활’단계는 상황에 따라 차이를 증감하여 진행할 수 있으나, 기본적으로 2차시로 되어 있고, ‘상황제시-창의적 설계-감성적 체험’이라는 큰 틀에서 활동들이 구성되어 있다.

2) 교수·학습 프로그램의 STEAM 교육 주제 선정

현재 ‘뇌기반 진화적 접근법’에 따른 과학 수업의 효과’를 알아보기 위한 선행연구들은 주로 ‘자유탐구’나 ‘생명’ 영역에 한정되어 있어, 많은 연구가 하나의 단원을 선정하여 그 효과를 알아보는 연구로 진행되었다(김소영 등, 2016; 김지은 등, 2015; 백자연 등, 2015; 임라미와 임채성, 2018). 하지만 본 연구는 STEAM 교육에 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형을 적용하여 그 효과를 알아보기 위한 것이고, STEAM 교육은 과학 기술 기반 교육이면서 교과 융합적인 특징을 갖고 있기에, 본 연구자는 과학 분야(‘운동과 에너지’, ‘물질’, ‘생명’, ‘지구와 우주’)별 주제를 골고루 적용할 필요가 있다고 판단하였다.

이에 본 연구자는 4학년 2학기 5개 단원 중 과학 분야별로 1개씩, 총 4개의 단원을 선정하여 각 단원 내 ‘과학과 생활’단계의 STEAM 교육 주제를 추출해 프로그램을 구성하였다. ‘물의 여행’ 5단원은 ‘물질’과 ‘지구와 우주’ 2개의 과학 분야가 통합된 단원이므로(교육부, 2018) STEAM 교육 주제 선정에서 제외하였다.

3) 교수·학습 프로그램을 위한 모형 선정

뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습

모형(ABC-DEF)은 인간의 뇌 구조·기능과 Darwin적 진화 메커니즘에 맞추어 과학 학습 활동이 이루어질 때 학생들이 창의적으로 과학 문제를 해결(CPS)할 수 있음을 강조하고 있다(임채성, 2012). 즉, ABC-DEF모형은 뇌 구조·기능을 토대로 과학 교수·학습을 정의적(affective), 행동적(behavioral), 인지적(cognitive) 요소로 구성하고, 각 요소 안에 Darwin적 진화 메커니즘에 따른 ‘다양화(diversifying) → 선택·실행·평가(estimating·evaluating·executing) → 확장·적용(furthering)’ 활동을 포함하여, 학생들이 정의적 요소로부터 출발해서 창의적으로 문제를 해결할 수 있도록 설계한 수업 모형인 것이다.

이러한 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)은 학생 스스로 과학 문제를 찾아내고, 해결하며, 그 결과의 의미를 스스로 탐색하게 하는 자유탐구 수업 방식에 적용하는 것이 가장 적합하다(임라미와 임채성, 2018). 그러나 ‘과학과 생활’단계에 제시된 학습 내용은 교과서 내 다른 단계에서 제시되는 학습 내용보다 문제의 제시가 비교적 구체적이지 않고 포괄적이며, 학습 내용의 제시가 생활 속 문제 상황만 간략하게 제시하는 것에서 끝이 난다. 따라서, 본 연구자는 뇌기반 진화적 접근법의 근간을 흔들지 않는 선에서 ABC-DEF모형을 ‘과학과 생활’단계의 STEAM 교육 주제에 적합하게 적용할 수 있다고 판단해 이를 적용한 교수·학습 프로그램을 개발하게 되었다.

4. 검사 도구

본 연구에서 개발한 프로그램의 효과를 알아보기 위하여 두 집단에 과학 흥미 검사, 과학 창의성 검사를 시행하였다.

1) 과학 흥미 검사

본 연구에 활용된 과학 흥미 검사지로 김효남 등(1998)이 개발한 ‘과학과 관련된 정의적 영역 평가 문항’ 중 ‘흥미’ 영역에 해당하는 15문항을 초등과학교육 석·박사 전공자 5인 및 현장 교사 4인에게 타당도 검사를 의뢰하여 협의를 거쳐 본 연구에 맞게 재구성하였고, 도구의 신뢰도를 조금 더 높이기 위하여 상대적으로 제거지수가 높은 문항 2개를 제거하여 신뢰도 검증을 거쳐 총 13문항을 사용하였다. 결과적으로 본 연구에 사용한 과학 흥미 검사

Table 2. Grade 3-4th science textbook unit outline

재미있는 과학	과학 탐구	과학과 생활	단원 마무리
1차시	2~8차시	9~10차시	11차시
- 단원의 내용과 관련된 ‘재미있는 활동’ 소개	- 교육과정에 제시된 목표에 도달하기 위한 과학 탐구 활동	- 단원과 관련된 실생활 소재를 제시하여 융합(STEAM 교육) 활동	- 단원에서 배운 내용을 학습자 스스로 정리해 보는 활동

지 전체 문항(13개)에 대한 신뢰도(Cronbach's α)는 0.907이다. Table 3은 과학 흥미 검사지의 문항 구성이다.

2) 과학 창의성 검사

과학 창의성 검사는 STEAM 교육 수업 후 학생들이 적은 '새롭게 알고 싶거나, 더 알고 싶은 내용'에 대해 임채성(2014)이 개발한 '과학 창의성 평가 공식'을 부분 적용하여 시행하였다.

임채성(2014)이 개발한 '과학 창의성 평가 공식'은 과학 창의성을 두 핵심 요소인 독창성과 유용성의 곱으로 측정하는데, 두 요소 모두를 충족시켜야 창의적이라고 할 수 있기에 합이 아닌 곱으로 계산한다. 이에 따라 본 연구에서는 위의 공식을 부분 적용하여, 안내된 채점 기준을 바탕으로 독창성과 유용성을 채점자들이 주관적으로 평가하였고, 두 점수의 곱으로 과학 창의성을 측정하였다.

유용성 요소의 경우, 평가자의 주관에 개입될 여지가 있어 더욱 일관된 점수를 산출하기 위해 김민주와 임채성(2020)의 '유용성 요소 채점 기준안'을 재구성하여 본 연구에 맞게 유용성 채점 기준을 설정하였으며, 교사 4인이 채점한 점수의 평균값을 사용하였다.

5. 자료 처리 방법

본 연구에서 개발한 '뇌기반 진화적 STEAM 교육' 프로그램의 효과를 통계적으로 검증하기 위해 통계분석 프로그램 IBM SPSS Statistics 19를 사용하였다. 비교반과 실험반의 수업 처치 효과 차이를 검증하기 위해 사전·사후 검사 각각에 대해 독립표본 t -검증을 실시하여 좌우 점수 비교를 하였고, 비교반과 실험반 각 집단 내의 검사 시기별 수업

처치 효과를 확인하기 위해 사전·사후 검사 간 종속 표본 t -검증을 실시하여 전후 점수 비교를 하였다. 또한, 정량적 검사지로 드러나지 않은 특성들을 심층적으로 파악하기 위해 연구에 필요한 내용을 교사의 관찰 기록지를 바탕으로 면담하고 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램 개발 결과

1) 교수·학습 프로그램의 STEAM 교육 내용 요소

뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램의 학습 주제는 현재 과학 교과서 내 '과학과 생활'단계의 STEAM 교육 학습주제와 동일하다. 총 4개의 STEAM 교육 주제로 이루어진 이 프로그램은 학생들이 4개의 단원(과학 4학년 2학기 1단원~4단원)에 대한 학습이 전부 이루어진 상태에서 투입되었으며, 수업 처치는 오직 등교수업(코로나19로 인해 등교수업과 원격수업이 병행했던 시기) 때만 이루어져 총 4주 동안 진행되었다. STEAM 교육은 실생활 문제해결을 위해 과학(S), 기술(T), 공학(E), 인문·예술(A), 수학(M) 중에서 반드시 2개 이상의 교과나 내용 요소를 포함해야 하는데(장영록 등, 2015), 프로그램 개발을 위해 선정된 각 단원 '과학과 생활'단계 STEAM 교육 내용을 분석한 결과, 모든 주제가 Table 4와 같이 2개 이상의 STEAM 내용 요소를 포함하고 있었다.

2) 교수·학습 프로그램의 학습 개요

비교반에 투입한 STEAM 교육 수업은 과학 교과서 내 제시된 학습 활동 순서에 따라 학습준거틀(백운수 등, 2012)을 적용하여 '상황제시 → 창의적 설계 → 감성적 체험' 단계로 수업을 진행하였고, 실험반의 뇌기반 진화적 STEAM 교육 수업은 임채성(2009, 2012)의 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)을 적용하여 수업을 진행하였다.

뇌기반 진화적 STEAM 교육은 ABC-DEF모형에 따라, 학생 스스로 흥미나 호기심이 생기는 문제를 선정하는 정의적 요소(A), 그 문제를 해결하는 방

Table 3. The number of questionnaires on scientific interest

하위 요소	문항수(개)
과학에 대한 흥미	2
과학 학습에 대한 흥미	3
과학 관련된 활동에 대한 흥미	2
과학 관련된 직업에 대한 흥미	3
과학 학습에 대한 불안	3
계	13

Table 4. Analysis of the contents of STEAM education in the program

차시	단원	과학 분야	학습주제	STEAM 내용 요소
1~2/8	1. 식물의 생활	생명 (Biology)	식물의 특징을 활용한 생활용품 설계하기	S: 식물의 특징 활용하기 T: 스마트기기 이용하기 E: 설계하기 A: 그리기
3~4/8	2. 물의 상태 변화	물질 (Chemistry)	물의 상태 변화를 이용해 가습기 만들기	S: 물의 상태 변화 이용하기 E, A: 가습기 구상도 그리기 및 가습기 만들기
5~6/8	3. 그림자와 거울	운동과 에너지 (Physics)	거울로 재미있는 장난감 만들기	S: 빛의 반사 성질 이해하기 A: 다양한 장난감 만들기 M: 각도, 도형 이해하기
7~8/8	4. 화산과 지진	지구와 우주 (Earth science)	지진에 안전한 건물 모형 만들기	S: 지진 이해하기 T, E: 건물 모형 재료, 구조 이해하기 A: 모형 만들기 및 전시하기 M: 측정하기

Table 5. Comparison table for the learning-step of the comparative and experimental groups

구분	비교반		실험반	
	STEAM 학습준거틀	뇌기반 요소	진화적 단계	STEAM 학습준거틀
학습 단계	상황제시	정의적 요소(A)	다양화(D)	상황제시
			추정·평가·실행(E)	창의적 설계
			확장·적용(F)	감성적 체험
창의적 설계	행동적 요소(B)	다양화(D)	창의적 설계	
		추정·평가·실행(E)	창의적 설계	
		확장·적용(F)	감성적 체험	
감성적 체험	인지적 요소(C)	다양화(D)	창의적 설계	
		추정·평가·실행(E)	창의적 설계	
		확장·적용(F)	감성적 체험	

법을 탐색하여 실행하는 행동적 요소(B), 실행학습을 통해 알게 된 것들을 친구들에게 소개하면서 학습한 내용을 스스로 인지하는 인지적 요소(C)의 흐름으로 이루어졌으며, 각 요소마다 진화적 단계(DEF)를 포함하여 수업을 구성하였다. Table 5는 비교반과 실험반에 투입한 수업의 학습 단계를 대조한 결과이다.

총 4개의 STEAM 교육 주제, 8차시 수업으로 이루어진 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램은 주제별로 2차시씩 시간 배분을 하였으며, 2차시씩 블록타임제 수업으로 진행하였다. 이는 교육과정에 따라 2차시씩 배정된 교과서 기반 수업과의 시간적 등가성을 맞추기 위함이었으며, STEAM 교육의 특성상 활동의 흐름 유지를 위해 주제별로 블록타임제 수업이 적절하다고 판단하였다. 또한, 학생의 흥미와 호기심을 유발하는 학습 문제를 선정(A-DEF)할 때는, 주어진 STEAM 교육 학습주제와 관련된 문제를 탐색할 수 있도록 안내하여 수업을 진행하였다. 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램의 개요는 Table 6~9와 같다.

3) 교수·학습 프로그램 개발에 대한 검토

뇌기반 진화적 STEAM 교육 수업을 효과적으로 진행하기 위하여 현장 교사 5인과 초등과학교육 석·박사 전공자 5인 및 전공 교수 1인에게 이 프로그램에 대한 타당도 검사를 의뢰하였다. 총 11인에게 배포한 타당도 검사지를 회수한 뒤, 11인의 검사지를 바탕으로 타당도를 검증한 결과를 살펴보면 아래 Table 10과 같다. 이 교수·학습 프로그램의 전체적인 타당도는 60점 만점에 평균 합계 점수가 56.55점으로 비교적 높게 나타났다. 따라서 본 프로그램의 전반적인 타당도는 적절하다고 판단할 수 있다.

Table 10과 같이 타당도 검증을 마친 후에, 초등학교 4학년 23명(1개 학급)을 대상으로 파일럿 테스트를 시행하여 검토와 수정·보완을 반복적으로 거친 뒤, 최종적으로 교수·학습 프로그램 개발을 완성하였다.

2. 초등학생의 과학 흥미에 미치는 영향

1) 비교반과 실험반의 과학 흥미 차이 검증

본 연구에 참여한 비교반과 실험반의 과학 흥미

Table 6. Lesson plan for brain-based evolutionary STEAM education program (Biology)

뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램(생명 분야, ‘식물의 생활’ 단위)			
차시	학습 단계	교수 · 학습 내용	주 STEAM 내용 요소
1/8	D	- 흥미나 호기심이 생기거나, 해결하고 싶은 생활 속 불편한 점들을 탐색하여 나열한다.	㉓: 식물의 특징 ㉔: 스마트기기 활용 ㉕: 생활 속 불편한 사항
	A E	- 해결했을 때 가장 유용하거나, 가치 있을 것이라고 기대되는 생활 속 불편한 점 한 가지를 선택한다.	
	F	- 자신이 선택한 생활 속 불편한 점을 식물의 특징과 연계하여 구체화하고 몰입한다.	
- 학생들이 평소에 관심 가졌던 생활 속 문제 상황을 스스로 제시할 수 있게끔 안내한다.			
2/8	D	- 식물의 특징을 활용한 다양한 생활용품들을 탐색하고, 생활용품을 설계하기 위한 다양한 표현 방법들을 제시한다.	㉓: 식물의 특징 ㉔: 설계하기 ㉕: 그리기
	B E	- 생활용품의 설계 표현 방법들을 비교 · 평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택하여 설계한다.	
	F	- 설계에 사용한 표현 방법 중 개선할 점을 찾아내어 보완하고, 표현 방법을 활용할 수 있는 것들을 자신이 관심 있는 것 중에 더 찾아본다.	
- 생활용품을 설계하기 위한 방법적인 면에서도 개방적인 분위기를 조성한다.			
3/8	D	- 설계 · 표현하는 과정에서 알아낸 식물의 특징들을 모두 제시한다.	㉓: 식물의 특징
	C E	- 설계하면서 알게 된 식물의 특징들을 친구들에게 소개하면서 적용한 식물의 특징을 비교 · 평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택한다.	
	F	- 알게 된 식물의 특징들을 다른 상황이나 대상에 확장 · 적용할 수 있는지 찾아본다.	
- 생활용품을 소개하고 상호 평가하는 과정에서 알게 된 것들을 정리하도록 지도한다.			

Table 7. Lesson plan for brain-based evolutionary STEAM education program (Chemistry)

뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램(물질 분야, ‘물의 상태 변화’ 단위)			
차시	학습 단계	교수 · 학습 내용	주 STEAM 내용 요소
1/8	D	- 흥미나 호기심이 생기는 가슴기들을 탐색하여 나열한다.	㉓: 물의 상태 변화 ㉔: 실제 가슴기 탐색 및 분석
	A E	- 가장 유용하거나 가치 있을 것이라고 기대되는 가슴기를 한 가지 선택한다.	
	F	- 자신이 선택한 가슴기를 물의 상태 변화 특징과 연계하여 구체화하고 몰입한다.	
- 가슴기 만들기 상황을 바로 제시하지 않고, 준비된 여러 가슴기를 실제로 보면서 흥미로운 가슴기를 스스로 탐색할 수 있게끔 안내한다.			
3/8	D	- 가슴기를 만들기 위한 다양한 방법들을 탐색하고, 증발이 잘 일어나기 위한 모양과 재료들을 제시한다.	㉓: 증발 특징 ㉔, ㉕: 가슴기 구상도 그리기 및 가슴기 만들기
	B E	- 가슴기 만드는 방법들을 비교 · 평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택하여 만들기 시작한다.	
	F	- 가슴기 만드는 방법 중 개선할 점을 찾아내어 보완하고, 가슴기를 만든 방법을 활용할 수 있는 것들을 자신이 관심 있는 것 중에 더 찾아본다.	
- 가슴기를 어떤 모양으로, 재료로 만들지에 대해서 자유롭게 의견을 교환하게 한다.			
4/8	D	- 가슴기를 만드는 과정에서 알아낸 증발의 특징들을 모두 제시한다.	㉓: 증발 특징
	C E	- 가슴기를 만들면서 알게 된 증발의 특징들을 친구들에게 소개하면서 가슴기를 비교 · 평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택한다.	
	F	- 알게 된 증발의 특징들을 다른 상황이나 대상에 확장 · 적용할 수 있는지 찾아본다.	
- 가슴기를 소개하고 상호 평가하는 과정에서 알게 된 것들을 정리하도록 지도한다.			

Table 8. Lesson plan for brain-based evolutionary STEAM education program (Physics)

뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램(운동과 에너지 분야, ‘그림자와 거울’ 단원)			
차시	학습 단계	교수·학습 내용	주 STEAM 내용 요소
	A	D - 흥미나 호기심이 생기는 거울을 이용한 장난감들을 탐색하여 나열한다.	㉓: 거울 특징 ㉔: 거울 장난감 탐색 및 분석
		E - 가장 유용하거나 가치 있을 것이라고 기대되는 거울 장난감을 한 가지 선택한다.	
		F - 자신이 선택한 거울 장난감을 거울의 특징과 연계하여 구체화하고 몰입한다.	
		- 거울 만드는 상황을 바로 제시하지 않고, 학생들이 평소 흥미로웠던 거울을 탐색하게 한다.	
5/8	B	D - 거울 장난감을 만들기 위한 다양한 방법들을 탐색하고, 거울의 특징을 잘 활용하는 방법들을 제시한다.	㉓: 빛의 반사 ㉔: 다양한 거울 장난감 만들기 ㉕: 각도, 도형 이해하기
		E - 거울 장난감을 만드는 방법들을 비교·평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택하여 만들기 시작한다.	
		F - 거울 장난감을 만드는 방법 중 개선할 점을 찾아내어 보완하고, 만든 방법을 활용할 수 있는 것들을 자신이 관심 있는 것 중에 더 찾아본다.	
		- 아크릴 거울을 이용해 다양한 구조, 방법으로 거울 장난감을 만들 수 있도록 지도한다.	
6/8	C	D - 거울 장난감을 만드는 과정에서 알아낸 거울의 특징들을 모두 제시한다.	㉓: 빛의 반사
		E - 거울 장난감을 만들면서 알게 된 거울의 특징들을 친구들에게 소개하면서 거울 장난감을 비교·평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택한다.	
		F - 알게 된 거울의 특징을 다른 상황이나 대상에 확장·적용할 수 있는지 찾아본다.	
		- 거울 장난감을 소개하고 상호 평가하는 과정에서 알게 된 것들을 정리하도록 지도한다.	

Table 9. Lesson plan for brain-based evolutionary STEAM education program (Earth science)

뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램(지구와 우주 분야, ‘화산과 지진’ 단원)			
차시	학습 단계	교수·학습 내용	주 STEAM 내용 요소
	A	D - 흥미나 호기심이 생기는 지진에 안전한 건물 모형들을 탐색하여 나열한다.	㉓: 지진 특징 ㉔, ㉕: 건물 모형 재료, 구조
		E - 가장 유용하거나 가치 있을 것이라고 기대되는 지진 안전 건물 모형을 한 가지 선택한다.	
		F - 자신이 선택한 지진 안전 건물 모형을 지진의 특징과 연계하여 구체화하고 몰입한다.	
		- 건물 모형 만들기 상황을 바로 제시하지 않고, 흥미로운 건물 모형 구조를 먼저 탐색하게 한다.	
7/8	B	D - 지진을 잘 버티는 방법들을 탐색하고, 지진 안전 건물 모형을 만들기 위한 다양한 방법들을 제시한다.	㉕: 모형 설계하기 ㉔: 모형 만들기 ㉕: 측정하기
		E - 건물 모형과 만드는 방법들을 비교·평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택하여 만들기 시작한다.	
		F - 건물 모형을 만드는 방법 중 개선할 점을 찾아내어 보완하고, 만든 방법을 활용할 수 있는 것들을 자신이 관심 있는 것 중에 더 찾아본다.	
		- 모형을 만들 때 이쑤시개, 스티로폼 공, 마시멜로 등 다양한 재료를 활용할 수 있도록 안내한다.	
8/8	C	D - 지진 안전 건물 모형을 만드는 과정에서 알아낸 지진을 잘 버티는 건물 모형의 특징들을 모두 제시한다.	㉓: 지진 특징 ㉔: 지진 안전 모형 ㉕: 모형 전시
		E - 건물 모형을 만들면서 알게 된 지진을 잘 버티는 건물 모형의 특징들을 친구들에게 소개하면서 건물 모형을 비교·평가하고, 가장 유용하거나 가치 있는 것을 선택한다.	
		F - 알게 된 지진을 잘 버티는 건물 모형의 특징들을 다른 상황이나 대상에 확장·적용할 수 있는지 찾아본다.	
		- 완성된 건물 모형을 소개하고 평가하는 과정에서 알게 된 것들을 정리하도록 지도한다.	

Table 10. The result of the program validity verification (N=11)

평가 영역 및 요소	타당성 정도	총점(55점 만점)	평균	표준편차
프로그램의 교수방략	적용성	46	4.18	.41
	개발 방향성	51	4.64	.51
	구체성	48	4.36	.81
	일관성	54	4.91	.30
	효과성	52	4.73	.47
뇌기반 진화적 접근	정의적	54	4.91	.30
	행동적	54	4.91	.30
	인지적	52	4.73	.47
	진화적	52	4.73	.47
STEAM 교육	흥미	53	4.82	.41
	실생활 창의적 문제해결	53	4.82	.41
	융합성	53	4.82	.41
합계		622	56.55	

수준의 동질성을 확인하기 위하여, 과학 흥미 사전 점수에 대한 독립 표본 t-검증을 실시하였다. 비교

반과 실험반의 과학 흥미 총점은 각각 41.89점과 42.04점이었고, 두 집단의 총점 점수에 대한 통계적 유의성 검증 결과, 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 또한, 과학 흥미의 하위 요소인 ‘과학에 대한 흥미’, ‘과학 학습에 대한 흥미’, ‘과학 관련된 활동에 대한 흥미’, ‘과학 관련된 직업에 대한 흥미’, ‘과학 학습에 대한 불안’ 5개 모두에서도 Table 11 과 같이 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 없는 것($p>.05$)으로 나타났다. 따라서, 수업 처치 전에 비교반과 실험반 두 집단의 과학 흥미 수준은 동일한 것으로 분석되었다.

Table 11의 사후 검사에 대한 독립 표본 t-검증 결과를 살펴보면, 프로그램 적용 후 비교반과 실험반의 과학 흥미 총점은 40.02점과 43.29점이었고, 두 집단의 총점 점수에 대한 통계적 유의성 검증 결과, 사전 검사 때와 마찬가지로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 다만, 과학 흥미의 하위 요소 중에서는 일부 요소들이 통계적으로 유의한 차이를 나타냈는데, ‘과학 학습에 대한 흥미’ 요소에 대하여 유의성 검증 결과는 $t=2.77$ 로서 1% 수준에서 고도로 유의함을 나타냈고, ‘과학 학습에 대한 불안’ 요소에 대해서 유의성 검증 결과 $t=2.12$ 로서 5% 수준에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 11. The results of independent samples t-test on scientific interest (N=45)

과학 흥미 하위 요소	집단	사전 검사			사후 검사		
		평균(표준편차)	t	p	평균(표준편차)	t	p
과학에 대한 흥미	비교반	3.09(1.02)	.30	.763	3.20(0.81)	1.79	.077
	실험반	3.16(1.08)			3.52(0.90)		
과학 학습에 대한 흥미	비교반	3.18(0.81)	.86	.390	3.06(0.74)	2.77	.007**
	실험반	3.35(1.04)			3.53(0.89)		
과학 관련된 활동에 대한 흥미	비교반	3.44(0.85)	-.06	.952	3.39(1.15)	-.16	.875
	실험반	3.43(0.91)			3.36(0.84)		
과학 관련된 직업에 대한 흥미	비교반	2.59(1.08)	-.82	.416	2.42(1.00)	.11	.914
	실험반	2.41(0.89)			2.44(0.91)		
과학 학습에 대한 불안 ^a	비교반	3.84(1.01)	.06	.950	3.47(0.80)	2.12	.037*
	실험반	3.85(1.08)			3.87(0.98)		
과학 흥미(총점)	비교반	41.89(9.18)	.08	.938	40.02(8.07)	1.88	.063
	실험반	42.04(9.86)			43.29(8.40)		

* $p<.05$, ** $p<.01$.

^a. 부정형 문항.

따라서, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램의 효과를 교과서 기반 STEAM 교육 수업과 비교하여 상대적으로 분석해 보면, 학생의 전체적인 과학 흥미 수준을 높이는 데는 더 효과적이지 않았지만, 상대적으로 과학 학습에 대한 흥미는 높이고, 불안을 감소시키는 효과가 있었다는 것을 알 수 있었다. 이는 임채성(2009)이 과학 교수·학습 과정에 큰 영향을 미치는 첫 단계로서 흥미와 호기심을 유발하는 정의적 요소가 중요함을 주장하였는데, 이러한 정의적 요소로부터 출발한 학습 단계가 ‘과학 학습에 대한 흥미’를 높이는 데 유의미한 영향을 끼친 것으로 분석된다. 또한, 관찰일지와 면담 결과를 바탕으로 학생들의 ‘과학 학습에 대한 불안’이 줄어든 이유를 분석해 보면, 다양화(D)단계 활동에서 학생들이 자신이 원하는 표현 방법(그림 그리기, 발표하기, 글쓰기 등)으로 의견을 자유롭게 냈었는데, 이렇게 자유로운 표현 방법으로 다양한 의견을 낼 수 있었던 것이 학생의 과학 학습에 대한 불안감을 감소시킨 요인인 것으로 추정된다. 그러나 본 수업에서는 진화적 학습 단계의 특성상 ‘다양하게 탐색하여 나열하기(D)’에 초점을 맞추었기 때문에, ‘표현방법’이라는 변인이 어떻게 ‘과학 학습에 대한 불안’에 영향을 주었는지에 대해서는 후속 연구가 필요하다.

2) 검사 시기별 과학 흥미 차이 검증

각 집단의 사전·사후 과학 흥미 검사에 대한 중속 표본 t-검증 결과는 Table 12와 같다. 교과서 기반 STEAM 교육 수업을 받은 비교반은 비록 모든 사전·사후 차이 값이 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났으나, ‘과학에 대한 흥미’ 요소는 평균이 약간 향상되었고, 그 외 나머지 요소와 과학 흥미 총점에 대해서는 모두 평균이 약간 하락하였다. 하지만 이는 박혜원과 신영준(2012)의 연구 결과와는 약간 다른 양상인데, 박혜원과 신영준(2012)이 개발한 STEAM 교육 수업은 과학 흥미 하위 요소의 전 영역에서 유의미한 효과를 나타냈다고 보고하였다. 이 선행연구에서 개발한 STEAM 교육 학습 내용은 ‘생명’ 분야의 ‘우리 몸’ 단원과 관련된 것으로, 연구는 1개의 단원에 한정하여 진행되었다. 이러한 점을 고려하면 선행연구에서 다른 STEAM 교육 내용이 학생들의 생활과 밀접한 우리 몸과 관련한 내용이어서 이러한 결과 차이가 나타난 것으로 판단된다.

뇌기반 진화적 STEAM 교육 수업을 받은 실험반의 경우, ‘과학 관련된 활동에 대한 흥미’ 요소만 평균이 0.08점 하락하였고, 그 외 나머지 요소와 과학 흥미 총점에 대해서는 모두 평균이 약간 향상되었다. 향상된 항목 중에서는 ‘과학에 대한 흥미’ 요

Table 12. The results of paired samples t-test on scientific interest

(N=45)

집단	과학 흥미 하위 요소	사후-사전 대응차		t	p
		평균(표준편차)			
비교반	과학에 대한 흥미	0.11(1.46)		0.51	0.612
	과학 학습에 대한 흥미	-0.13(1.17)		-0.72	0.473
	과학 관련된 활동에 대한 흥미	-0.06(1.32)		-0.28	0.778
	과학 관련된 직업에 대한 흥미	-0.17(1.39)		-0.82	0.416
	과학 학습에 대한 불안 ^a	-0.36(1.26)		-1.93	0.060
	과학 흥미(총점)	-1.87(12.69)		-0.99	0.329
실험반	과학에 대한 흥미	0.37(1.17)		2.09	0.042*
	과학 학습에 대한 흥미	0.18(1.14)		1.05	0.300
	과학 관련된 활동에 대한 흥미	-0.08(0.89)		-0.59	0.561
	과학 관련된 직업에 대한 흥미	0.02(1.27)		0.12	0.905
	과학 학습에 대한 불안 ^a	0.02(1.16)		0.13	0.895
	과학 흥미(총점)	1.24(9.90)		0.84	0.404

* p<.05.

^a. 부정형 문항.

소만 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($t=2.09, p<.05$), 그 외 항목에 대해서는 전부 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서, 사전·사후 수준 간에 별 차이가 없었던 비교반에 반해, ‘뇌기반 STEAM 교육’ 프로그램을 적용한 실험반의 경우, 과학 흥미의 하위 요소인 ‘과학에 대한 흥미’의 사후 점수가 사전 점수보다 약간 더 높았으며, 통계적으로도 유의한 차이를 나타낸 것으로 분석되었다.

3. 초등학생의 과학 창의성에 미치는 영향

1) 비교반과 실험반의 과학 창의성 차이 검증

뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램이 교과서 기반 STEAM 교육 수업 방식에 비해 얼마나 효과적인가를 검증하기 위해서 비교반과 실험반의 독립 표본 t -검증을 시행하였다. 사전 검사에서의 과학 창의성 평균 점수는 비교반과 실험반이 각각 26.32점과 27.92점으로 나타났는데, 두 집단의 과학 창의성 평균 점수에 대한 통계적 유의성 검증 결과는 Table 13과 같이 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 과학 창의성의 두 요소인 독창성과

유용성의 요소 모두 사전 검사에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 STEAM 교육 수업을 하기 전에 비교반과 실험반의 과학 창의성, 독창성, 유용성 수준은 동일한 것으로 분석되었다.

이어서 사후 검사에서의 과학 창의성, 독창성, 유용성 수준을 살펴보면, 비교반과 실험반의 사후 과학 창의성 평균 점수는 각각 31.99점과 37.22점으로 두 집단의 평균 점수에 대한 통계적 유의성 검증 결과는 $t=3.12$ 로서 1% 수준에서 고도로 유의하였다. 또한, 수업 처치 후 실험반의 독창성 평균 점수가 비교반의 점수보다 더 높은 것으로 나타났고, 통계적으로 유의미하기에, 본 연구에서 개발한 ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 프로그램을 적용한 수업이 교과서 기반 STEAM 교육 수업보다 과학 창의성과 그 하위 요소인 독창성 점수를 높이는 데 효과적인 것으로 검증되었다.

이는 선행연구 중, STEAM 교육 프로그램 개발에 뇌기반적 요소(IDU)만 고려한 류제정과 이길재(2013)의 연구 결과와 맥락을 같이 한다. 이 선행연구에서는 창의성을 검사하기 위한 도구로서 TTCT (Torrance Test of Creative Thinking) 도형 검사를 사용하여 본 연구의 과학 창의성 검사 결과와 동일하다고 볼 수는 없으나, 선행연구의 뇌기반 STEAM 교수·학습 프로그램 또한 초등과학영재와 초등 일반학생의 독창성, 제목의 추상성, 전체 창의성(TTCT 도형 검사)에 유의미한 영향을 준다고 보고하였었다.

위 결과를 교사의 관찰일지와 면담일지를 바탕으로 정성적으로 추가 분석해 보면, 독창성 요소와 과학 창의성에서만 유의미한 차이가 나타난 이유는 진화적 단계 활동을 통해 학생들이 다양하게 생각하면서, 새로운 생각을 할 수 있는 색다른 경험을 했기 때문이라고 생각한다. 다만, 류제정과 이길재(2013)의 ‘뇌기반 STEAM 교수·학습 프로그램’ 또한 창의성과 관련한 변인에서 유의미한 결과를 나타냈기에, 본 연구의 ‘뇌기반 진화적 교수·학습 프로그램’의 진화적 요소에 따른 창의성 신장 효과가 선행연구의 ‘뇌기반 STEAM 교수·학습 프로그램’에 비해 얼마나, 어떻게 차이가 있는지 그에 관한 후속 연구가 필요하다.

2) 검사 시기별 과학 창의성 차이 검증

각 집단의 사전·사후 과학 창의성 점수에 대한

Table 13. The results of independent samples t -test on scientific creativity (N=45)

검사 시기	집단	평균(표준편차)	t	p
독창성	사전 검사	비교반 4.80(1.11)	-1.09	.278
		실험반 5.06(1.16)		
	사후 검사	비교반 5.34(0.83)	-2.66	.009**
		실험반 5.83(0.89)		
유용성	사전 검사	비교반 5.34(0.73)	-.76	.452
		실험반 5.47(0.73)		
	사후 검사	비교반 5.97(0.79)	-1.35	.181
		실험반 6.18(0.74)		
과학 창의성	사전 검사	비교반 26.32(7.59)	-.94	.348
		실험반 27.92(8.41)		
	사후 검사	비교반 31.99(8.46)	-3.12	.002**
		실험반 37.22(7.39)		

** $p<.01$.

Table 14. The results of paired samples *t*-test on scientific creativity (N=45)

집단	사후-사전 대응차		<i>t</i>	<i>p</i>
	평균(표준편차)			
비교반	독창성	0.54(1.42)	2.57	.014*
	유용성	0.62(1.22)	3.42	.001**
실험반	과학창의성	5.67(11.58)	3.28	.002**
	독창성	0.77(1.32)	3.90	.000**
	유용성	0.72(1.03)	4.72	.000**
	과학창의성	9.31(11.05)	5.65	.000**

* $p < .05$, ** $p < .01$.

종속 표본 *t*-검증 결과는 Table 14와 같다. 비교반의 수업 전후 점수 차는 독창성 0.54점, 유용성 0.62점, 과학 창의성 5.67점으로 나타났으며, 세 항목 모두 통계적 유의성을 검증한 결과, 각각 $t=2.57$, $t=3.42$, $t=3.28$ 로 고도로 유의하였다. 또한, 실험반의 수업 전후 점수 차는 독창성 0.77점, 유용성 0.72점, 과학 창의성 9.31점으로 나타났으며, 세 항목에 대한 통계적 유의성을 검증한 결과, 각각 $t=3.90$, $t=4.72$, $t=5.65$ 로 모두 1% 수준에서 고도로 유의하였다.

두 집단의 독창성, 유용성, 과학 창의성 사전·사후 평균 점수 차이가 모두 유의미하기에 이를 토대로 수업의 효과를 비교·분석해 보면, 교과서 기반 STEAM 교육 수업을 받은 비교반의 경우 사후 과학 창의성 점수가 사전 점수보다 5.67점 더 높게 나타났고, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 수업을 받은 실험반의 경우, 사후 과학 창의성 점수가 사전 점수보다 9.3점 더 높게 나타났다. 이는 두 집단에 실시한 두 가지 방식 수업 모두 과학 창의성 점수를 높이는 데 효과적이었다는 것을 뜻하는데, STEAM 교육 자체가 학생의 창의성 향상에 유의미한 영향을 끼칠 수 있다고 주장한 김덕호 등(2014)의 연구와 밀접하게 관련된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 STEAM 교육의 융합적 특성을 고려하면서, STEAM 교육이 중시하는 과학·기술에 대한 흥미와 과학적 창의성을 더 효과적으로 신장시키기 위해, 학습자의 정의적 요소와 창의적 과학 문

제해결 과정을 중요하게 생각하는 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)(임채성, 2009)을 STEAM 교육 적용하여 그 효과를 알아보기 위한 것이다. 이에 따라 본 연구에서는 현재 과학 교과서(2015 개정 교육과정) 내 STEAM 교육 주제를 바탕으로 ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 교수·학습 프로그램을 개발하여, 그 프로그램이 초등학생의 과학 흥미와 과학 창의성에 어떠한 영향을 미치는지를 교과서·지도서 기반 STEAM 교육 수업과 비교하여 조사·분석하였다. 본 연구의 주요 결과를 바탕으로 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, ‘뇌기반 진화적 STEAM 교육’ 교수·학습 프로그램을 개발하였다. 현재 과학 교과서(2015 개정 교육과정) 내 ‘과학과 생활’단계의 학습주제 중에서 과학 분야(생명, 물질, 운동과 에너지, 지구와 우주)별 주제 1가지씩을 추출한 뒤, 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 교수·학습 모형(ABC-DEF)을 적용하여 총 8차시 분량의 교수·학습 프로그램을 개발하였다. 이러한 결과는 과학·기술에 대한 흥미, 융합적 사고력, 창의적 문제해결력을 중요시하는 STEAM 교육의 교수·학습 방법 및 모형에 좋은 기초자료를 제공했으리라 생각한다.

둘째, 과학 흥미 변인에 대하여 독립 표본 검증(좌우비교)을 시행한 결과, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램이 교과서 기반 STEAM 교육 수업보다 상대적으로 과학 학습에 대한 흥미는 높이고, 불안을 감소시킨다는 것을 알 수 있었다. 이것은 학습의 첫 단계로서 긍정적 감성 상태와 흥미와 호기심을 유발하는 정의적 요소가 중요함을 의미한다고 할 수 있다.

셋째, 과학 흥미 변인에 대하여 종속 표본 검증(전후 비교)을 시행한 결과, 사전·사후 점수 간에 유의미한 차이가 없었던 교과서 기반 STEAM 교육에 반해, 뇌기반 진화적 STEAM 교육 프로그램은 수업 전후에 따라 과학에 대한 흥미가 향상되는 것을 알 수 있었다. 그동안 STEAM 교육은 과학·기술에 대한 흥미와 동기 유발을 강조하고 있었다. 그러나 본 연구를 통해, 과학·기술에 대한 흥미를 신장시키는 보다 더 효과적인 다양한 STEAM 교육 수업 방법 개발이 필요해 보인다.

넷째, 과학 창의성 변인에 대한 독립 표본 검증(좌우비교)을 시행한 결과, 본 연구에서 개발한 ‘뇌기반 STEAM 교육’ 프로그램이 교과서 기반 STEAM

교육 수업보다 학생의 과학 창의성 점수와 독창성 점수를 높이는 데 더 효과적인 것으로 검증되었다. 이는 뇌기반 진화적 STEAM 교육 수업의 ‘진화적 단계’에 따른 활동이 학생의 독창성을 더 향상시킨 것으로 판단되어, 결과적으로 학습의 진화적 요소가 학생의 과학 창의성을 신장시킬 수 있다는 점을 시사한다.

다섯째, 과학 창의성 변인에 대한 종속 표본 검증(전후비교)을 시행한 결과, 두 가지 교수·학습 방법 모두 수업 전후에 따라 학생의 독창성, 유용성, 과학 창의성 점수를 효과적으로 향상시킨 것으로 나타났다. 비록 과학 창의성을 향상시키는 효과성에 있어서는 두 수업 간에 차이가 있었지만, 두 집단에 공통적으로 적용된 STEAM 교육의 융·통합적인 특성으로 인해 두 수업 모두 학생의 과학 창의성에 유의미한 영향을 끼친 것으로 분석된다.

본 연구에서 얻은 결론을 바탕으로 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 융합·통합교육으로서의 STEAM 교육이 아직은 교과 사이의 체계적 연계성이 부족하고, 형식적인 융·통합에 머물러 있는 것이 현실이다. ‘뇌기반 진화적 접근법’은 생물학적 발달단계를 고려한 뇌에 근거하여 과학교육에 접근하고 있는데, 앞으로 이처럼 융·통합적인 뇌에 관한 관심을 바탕으로 학생의 융합적 사고력을 배양하기 위한 다양한 교수·학습 방법 개발이 필요하다.

둘째, 본 연구에서 사용한 STEAM 교육 주제는 과학 분야별 주제를 1가지씩 골고루 사용하였다. STEAM 교육은 그 특성상 실생활과 관련된 융·통합적인 주제를 다루고 있지만, 그 융·통합된 내용의 교과 구성 배율 및 방법에 따라 학습의 효과가 얼마든지 달라질 수 있기에 이러한 요인이 학생에게 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구가 필요하다.

셋째, 본 연구에서 개발한 뇌기반 진화적 접근법에 따른 STEAM 교육은, STEAM 교육에 적용할 수 있는 여러 수업 방법 및 모형 중 한 가지였을 뿐이다. 그렇기에 앞으로도 STEAM 교육의 목표 달성을 위한 여러 효과적인 수업 방법 및 모형 개발이 필요하며, 수업 방법 및 모형 간 효과성 비교·분석 등 이에 대한 심층적인 후속 연구와 이러한 과정을 거쳐 개발된 STEAM 교수·학습 모형의 적극적 활용이 요구된다.

참고문헌

교육부(2010). 2011년 업무계획 보고 자료.

교육부(2015a). 초·중등학교 교육과정 총론. 교육부 고시 제2015-74호[별책1].

교육부(2015b). 2015 개정 과학 교육과정. 국가 교육과정 정보센터.

교육부(2018). 과학 4-2 교사용 지도서. (학)비상교육.

권우중, 이준기(2010). 분류 지식의 생성과 이해 형태 학습을 통한 학생들의 두뇌활성 변화. 한국과학교육학회지, 30(4), 487-497.

김덕호, 고동국, 한명재, 홍승호(2014). STEAM 프로그램을 적용한 과학수업이 초등학생의 창의성과 과학교과 흥미도에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 34(1), 43-54.

김두정(2010). 뇌 과학: 학교 교육과 교육과정에서의 시사점. 교육과정연구, 28(3), 127-145.

김민주, 임채성(2020). 초등과학영재학생의 과학창의성과 다중지능의 관계-생명 영역을 중심으로. 초등과학교육, 39(3), 369-381.

김소영, 임채성, 김성하, 홍준의(2016). ‘식물의 한 살이’ 단원에서 속성 배추를 활용한 뇌기반 진화적 접근법이 초등학생의 흥미에 미치는 영향. 초등과학교육, 35(3), 336-347.

김재영, 임채성, 백자연(2014). 뇌 기반 진화적 접근법을 적용한 초등학교 학생의 과학 자유탐구에서 행동 영역 분석. 초등과학교육, 33(3), 579-587.

김지원, 원효현(2014). 초등학교 STEAM 교육의 창의성 효과에 대한 메타 분석. 한국교육평가학회지, 27(4), 965-985.

김지은, 임채성, 김성하, 홍준의(2015). 정의적 영역 중심의 뇌기반 진화적 접근에 따른 ‘생물과 환경’단원에 대한 초등 학생들의 활동 분석. 생물교육, 43(4), 464-472.

김진수(2012). STEAM 교육론. 양서원.

김홍정, 홍옥수, 조향숙, 임성민(2013). 융합인재교육(STEAM) 실시에 따른 과학에 대한 흥미와 자기주도적 학습능력의 변화 분석. 학습자중심교과교육연구, 13, 269-289.

류제정, 이길재(2013). 뇌 기반 STEAM 교수-학습 프로그램이 초등과학영재와 초등일반학생의 창의성과 정서지능에 미치는 효과. 초등과학교육, 32(1), 36-46.

박형민, 김재영, 임채성(2015). 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 야외학습이 초등학생들의 흥미와 성취도에 미치는 영향. 초등과학교육, 34(2), 252-263.

박혜원, 신영준(2012). 융합인재교육(STEAM)을 적용한 과학수업이 자기효능감, 흥미 및 과학 태도에 미치는 영향. 생물교육, 40(1), 132-146.

- 백운수, 박현주, 김영민, 노석구, 박종윤, 이주연, 정진수, 최유현, 한혜숙(2011). 우리나라 STEAM교육의 방향. *학습자중심교과교육연구*, 11(4), 149-171.
- 백운수, 박현주, 김영민, 노석구, 이주연, 정진수, 최유현, 한혜숙, 최종현(2012). 융합인재교육(STEAM) 실행 방향 정립을 위한 기초연구. *한국과학창의재단 연구 보고서*.
- 백자연, 임채성, 김재영(2015). 뇌기반 진화적 접근법에 따른 과학 자유탐구에 대한 초등학교 학생의 인식. *초등과학교육*, 34(1), 109-122.
- 윤종현(2011). 융합인재교육(STEAM)을 위한 과학 교과서. *교과서연구*, 65, 24-28.
- 이석진, 김남숙, 이윤진, 이승진(2017). 융합인재교육(STEAM)의 창의성과 문제해결력 효과에 관한 메타 분석-연구방법 및 연구자를 중심으로-. *한국과학교육학회지*, 37(1), 87-101.
- 이은주, 김재영, 임채성(2015). 초등 과학 창의성에 대한 교사와 학생 인식 분석. *한국초등과학교육학회 학술대회*, 69, 49.
- 이종승(2009). *교육·심리·사회 연구방법론*. 교육과학사.
- 임라미, 임채성(2018). 뇌기반 진화적 접근법을 적용한 초등학생 수준별 자유탐구 안내자료 개발 및 효과. *초등과학교육*, 37(3), 233-253.
- 임채성(2009). 뇌기반 진화적 과학 교수학습 모형의 개발. *한국과학교육학회지*, 29(8), 990-1010.
- 임채성(2012). 뇌기반 진화적 접근법에 따른 창의적 과학 문제해결 지도모형 개발. *생물교육*, 40(4), 429-452.
- 임채성(2014). 과학창의성 평가 공식의 개발과 적용. *초등과학교육*, 33(2), 242-257.
- 장영록, 민영경, 김주현, 임동욱, 김석희, 신연옥, 손미현, 오우상(2015). *눈에 보이는 STEAM교육*. 한국과학창의재단.
- 정진수, 민영경, 박청담, 홍후조, 권혁수, 이경진, 민부자, 박기석, 임유나, 임혜진(2013). 융합인재교육(STEAM) 교육과정 총론 연계 방안 연구. *한국과학창의재단 연구 보고서*.
- 최은영(2017). 학습자의 창의성 발현을 위한 미술과 중심 STEAM프로그램 효과성 분석. *미술교육연구논총*, 48, 187-223.
- Bradley, A. (1999). Zeroing in on teachers: Quality counts '99. *Education Week*, 18(17), 46-52.
- Jesen, E. (2000). *Brain-based learning 2nd Ed.* Turning Point Publishing.
- Koren, Y., Klavir, R., & Gorodetsky, M. (2005). Students' multi-modal re-presentations of scientific knowledge and creativity. *The Journal of Creative Behavior*, 39(3), 191-212.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H., & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 69, 391-397.
- Martin, M. O., Mullis, I. V., Foy, P., & Stanco, G. M. (2012). TIMSS 2011 international results in science. *International Association for the Evaluation of Educational Achievement*. Herengracht 487, Amsterdam, 1017 BT, The Netherlands.
- Mullis, I. V., Martin, M. O., Foy, P., & Arora, A. (2012). TIMSS 2011 international results in mathematics (pp. 139-171). TIMSS & PIRLS International Study Center.
- Mumford, M. D. (2003). Where have we been, where are we going? Taking stock in creativity research. *Creativity Research Journal*, 15(2-3), 107-120.
- National Research Council (2011). *Successful K-12 STEM education: Identifying effective approaches in science, technology, engineering, and mathematics*. National Academies Press.
- Sousa, D. A. (2001). *How the brain learns*. Corwin Press.
- Weisberg, R. W. (2006). *Creativity: Understanding innovation in problem solving, science, invention, and the arts*. John Wiley & Sons.
- Wengilnsky, H. (2005). *Using technology wisely: The keys to success in schools*. Teachers College Press.

정경옥, 서울교육대학교 대학원 학생(Jeong, Kyung-Wook; Graduate Student, Seoul National University of Education).

† 임채성, 서울교육대학교 교수(Lim, Chae-Seong; Professor, Seoul National University of Education).