

STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램의 효과에 관한 연구

이혜숙¹⁾ · 민주영²⁾ · 한혜숙³⁾

본 연구는 STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램을 개발, 적용하여 이 프로그램이 중학교 2학년 학생들의 수학 학습 및 진로 선택에 어떤 영향을 미치는지에 대해서 조사하였다. 본 연구에서 개발한 STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램은 학생들이 수학적 개념을 과학, 기술·공학, 실생활과 연계하여 학습할 수 있도록 설계되었다. 연구 결과에 의하면 STEM 기반 교수-학습 프로그램은 학생들의 수학 교과에 대한 정의적 특성(자기조절력, 가치인식, 자신감)과 문제해결력을 향상시키는데 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 이와 더불어 STEM 기반 교수-학습 프로그램은 학생들이 이공계 분야로 진로를 설정하거나 탐색하도록 하는데 긍정적인 역할을 한 것으로 나타났다.

주요용어 : 문제해결력, 정의적 특성, 진로 선택, STEM 교육

I. 서론

우리는 일상생활 속에서 다양한 문제 상황을 접하게 되는데 우리가 접하는 대부분의 문제들은 단편적인 지식을 활용하는 수준에 머물지 않고 다양한 분야의 지식을 상호 유기적으로 사용하고 적용할 줄 아는 능력을 요구한다. 따라서 학교 교육은 단편적인 지식의 주입이 아닌 주어진 상황에 따라 필요한 지식을 융합하여 적용할 수 있는 능력의 배양을 목표로 해야 한다. 이를 위해 교육 전반에 걸쳐 경험의 다양성을 추구하고 삶에의 적용을 이끌어내기 위한 통합교육이 강조되고 있고, 수학교육에서도 수학 영역 내에서 수학적 지식과 이들 사이의 관계를 이해하는 수학 내적 연결성과 함께 현실 세계 및 타 교과와 수학적 대상 사이의 관계를 이해하는 수학 외적 연결성 강조를 미래 수학교육의 방향으로 제시하고 있다(NCTM, 1989, 2000). 특히, 수학 외적 연결성의 경우 다양한 상황에서 수학적 지식을 이해하고 적용하는 능력뿐 아니라 수학이라는 학문의 가치나 유용성 인식에 대한 학생들의 신념

1) 이화여자대학교 (hsllee@ewha.ac.kr)
2) 이화여자대학교 (minmath@ewha.ac.kr)
3) 단국대학교 (hanhs@dankook.ac.kr), 교신저자

과도 밀접하게 관련되어 있으므로 수학 교과에 대한 학생들의 정의적 성취가 낮은 우리나라의 교육 현장에서 더욱 중요하게 다루어져야 할 부분이다. NCTM(2000)에서는 수학에 대한 학생들의 이해를 향상시키기 위해서 타 교과를 이용한 문제 및 문제 상황을 적극적으로 활용할 것을 제안하였다. 예를 들면, 과학과 사회 교과 관련 내용은 측정, 자료, 대수 학습의 기회를 풍부하게 제공하고 예술과 컴퓨터 그래픽 관련 내용은 기하학적 도형의 모양, 대칭성, 닳음, 변환을 이해할 때 사용할 수 있고, 환경 관련 내용은 큰 수에 대한 탐구, 측정 및 자료 분석과 통계 학습을 위한 실질적인 문맥으로 활용할 수 있다고 하였다. 수학이 서로 다른 주제들 안에서 연결될 때 수학 교과에 대한 학습뿐 아니라 서로 다른 내용 영역들의 학습 또한 풍부해지며 수학이 실제적이고 유용한 학문으로 이해될 수 있다(NCTM, 1989).

최근 국내외적으로 많은 관심을 받고 있는 통합/융합교육은 수학 외적 연결성을 보다 적극적으로 반영하기 위한 효과적인 교육 모델이 될 수 있다. 수학 교과를 포함하고 있는 통합/융합교육 유형으로는 수학-과학통합교육, 수학-과학-기술통합교육인 MST(mathematics, science, technology; MST), 과학-기술-공학-수학통합교육인 STEM(science, technology, engineering, mathematics; STEM), STEM 교육에 예술(Arts)을 포함시킨 STEAM(science, technology, engineering, arts, mathematics; STEAM) 등이 있다.

이러한 통합/융합교육에 대한 효과를 알아보기 위해서 초, 중, 고등학생뿐 아니라 대학생들을 대상으로 다양한 선행연구(예. 박조령, 고상숙, 2011; 송정범, 신수범, 이태욱, 2010; 송정범, 이태욱, 2011; 신은주, 2005; 염규아, 2007; 이혜숙, 임해미, 문종은, 2010; 홍영기, 2009; Elliott et al., 2001; Hurley, 2001; Satchwell & Loep, 2002)가 수행되었는데 선행연구 결과에 의하면 STEM 영역에 대한 통합/융합교육은 통합되는 교과에 대한 인지적, 정의적 측면에 긍정적인 영향을 주며 비판적 사고력의 향상에도 도움이 된 것으로 나타났다. 예를 들면, 박조령과 고상숙(2011)의 연구에서 수학-과학통합교육은 학생들이 수학적, 과학적 개념을 인지하고 발전시켜 나가는데 효과적이었고, 특히 학생들의 점진적 수학적 과정 및 수학의 가치 인식에도 긍정적인 영향을 준 것으로 나타났다. Elliott 외(2001)의 연구에서는 수학-과학통합교육을 받은 대학생들은 전통적인 수학 수업을 받은 학생들에 비해서 비판적 사고력(critical thinking skill)이 다소 높은 것으로 나타났으며 학생들의 수학 교과에 대한 태도 또한 더 긍정적인 것으로 나타났다. Satchwell과 Loep(2002)는 수학-과학-기술 교과를 통합한 교육과정을 운영한 결과 중학생들의 수학, 과학 교과목의 성취도가 향상되었다고 보고하였다. STEM 교과의 통합/융합교육이 학생들의 이공계 진로를 유도하는데 긍정적인 영향을 미친다는 연구 결과도 보고되었다. 영국의 경우 “The National HE STEM Program” 등의 프로그램을 통해 학생들의 과학기술 교육에 대한 흥미를 증진시키고, 고등교육에서의 STEM 관련 전공자의 증가를 위한 학생 지원과 교사 교육에 막대한 예산을 투입하였고, 그 결과 영국의 대학 진학 시험인 A-level 시험에서 STEM 교과에 응시하는 학생들의 수가 증가함이 보고되었다(옥현주, 2011).

우리나라 학생들은 TIMSS나 PISA와 같은 국제학업성취도 검사에서 중, 고등학생들의 수학, 과학 교과에 대한 지식은 최상위 수준을 유지하고 있다. 그러나 수학, 과학 학습에 대한

부정적인 인식과 이공계 기피 현상은 여전히 큰 문제로 자리매김을 하고 있으며 해결책을 찾기 위해서 여러 가지 시도가 이루어졌지만 커다란 실효를 거두지 못한 채 인문계 고등학교에서 자연계열을 선택하는 학생의 수와 대학수학능력시험에서 자연계열 응시자의 수는 지속적인 감소 추세를 보이고 있는 실정이다(김용훈, 2010). 따라서 최근에는 수학, 과학 교과에 대한 학생들의 흥미와 이해를 높이고 이공계 기피 현상을 해결하여 과학기술의 발전 및 국가경쟁력의 강화에 기여할 수 있는 창의적인 과학기술 인재를 양성하기 위한 교육 방안이 마련되어야 한다는 주장이 제기되었다.

따라서 본 연구에서는 STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램을 개발하여 중학생들에게 실제로 적용함으로써 그 프로그램이 중학생들의 수학 학습과 진로 선택에 어떤 영향을 미치는지에 대해서 구체적으로 알아보려고 한다.

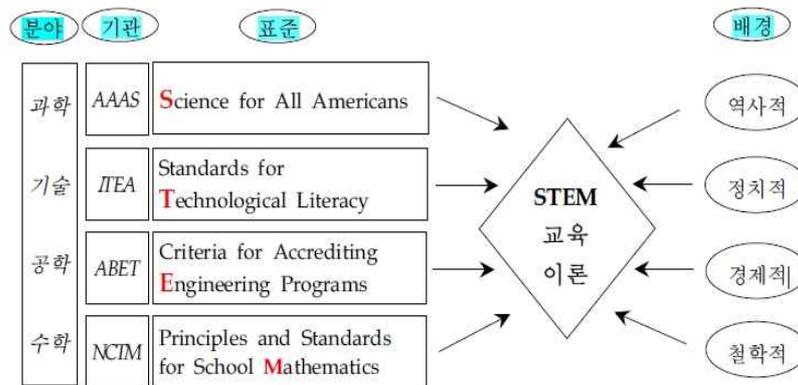
II. 이론적 배경 및 선행연구

1. STEM 교육

교육 전반에 걸쳐 경험의 다양성을 추구하고 삶에 적용을 이끌어내기 위한 통합교육의 중요성이 강조됨에 따라서 수학교육에서도 수학 영역 내에서의 연결성과 함께 타 분야와의 연결성을 강조한 교육을 미래 수학교육의 방향으로 제시하고 있다(NCTM, 1989, 2000). 수학과 관련된 통합교육은 다양한 형태로 존재하고 있으나 최근 많은 관심을 받고 있는 유형은 STEM/STEAM 교육이다. STEM 교육은 기존의 수학-과학-기술통합교육인 MST(mathematics, science, technology; MST)교육에 공학(engineering)교과가 추가되어 과학-기술-공학-수학의 네 영역을 통합하여 교육을 하려는 시도이다(김진수, 2007). STEM이라는 용어는 1990년대 미국 NSF에서 과학, 기술, 공학, 수학 교육과정을 일컫는 약칭으로 사용하기 시작하여 STEM 분야의 통합교육을 의미하는 용어로 사용되어진다.(Bybee, 2010). 미국에서는 국가 경쟁력 강화에 토대가 되는 수학, 과학 교과에 대한 학생들의 성취를 향상시키고 급격하게 감소하고 있는 STEM 관련 분야의 인재를 양성하기 위해서 STEM 통합 교육이 시작되었고(van Langen & Dekkers, 2005), 2011년에 NRC(National Research Council)에서는 미국의 STEM 교육의 목표를 다음과 같이 제시하였다.

- 목표1. STEM 분야로 진로 및 직업을 선택하는 학생의 수를 증가시키고 STEM 분야에서 여성 및 소수민족 학생의 참여를 확대하는 것
- 목표2. STEM 전문 인력을 확대하고 STEM 직종에서 여성 및 소수민족의 참여를 확대하는 것
- 목표3. 모든 학교급 학생들의 STEM 소양을 증진시키는 것

STEM 교육은 다양한 측면에서 학생들에게 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. National Science Board(2007)에 따르면 어릴 때부터 STEM 교육을 받은 학생들은 문제해결력, 비판적 태도, 창의적이고 분석적인 사고력, 학교 교육과정을 실생활에 연결시키는 능력을 발달시킬 수 있다. Morrison(2006)은 STEM 교육은 학생들을 더 나은 문제해결자, 혁신가, 발명가로 만들며 학생들이 더 자립적이고 논리적으로 사고하며 기술적 소양을 갖추게 할 수 있다고 주장하였다. STEM 교육의 다양한 긍정적인 측면에 대한 논의가 지속됨에 따라 STEM 교육의 이론을 도출하기 위한 노력들이 있어왔다. Berry, Reed, Ritz, Lin, Hsiung와 Frazier (2005)는 통합교육의 이론과 실제에 관한 연구를 수행하였는데 STEM 교육의 중요성을 구성주의 철학에 의한 관점으로 보았고, 공학 활동(engineering activity)을 통한 과학, 기술, 수학교육의 통합을 모색하여 STEM 교육의 개념과 상관관계 등을 제시하였다. 2005년에 Virginia Tech 대학원에서는 기술교육 프로그램에 STEM 교육 전공이 신설되어 STEM 교육의 기초 강좌 1단계에서는 과학(S), 기술(T), 공학(E), 수학(M) 교과목의 본질(nature)에 대한 해당 내용을 다루고, 2단계에서는 STEM 교육과 관련된 철학적·경제적·역사적 배경을 다루고 이를 바탕으로 3단계에서는 STEM 교육의 본질(nature of STEM education)을 도출하도록 강좌가 구성되어 있다(김진수, 2007). 이를 토대로 김진수(2007)는 [그림1]과 같이 STEM 교육 이론을 도출하기 위한 모형(안)을 고안하였으며, 보다 정교화된 교육 이론 모형을 만들기 위한 연구가 필요하다고 제안하였다.



[그림1] STEM 교육 이론을 도출하기 위한 모형(김진수, 2007, p. 13)

국내에서 수행된 STEM 교육과 관련된 선행연구로는 STEM 교수-학습 자료 및 프로그램 모형 개발과 관련된 연구(김은정, 남동수, 이태욱, 2012; 문대영, 2008; 배선아, 2009; 배선아, 2011; 배선아, 금영충, 2009; 서보현 2012; 송정범, 2010; 이소이, 노태천, 2011; 최유현, 문대영, 강경균, 이진우, 이주호, 2008; 최유현 외, 2011), STEM 교육이 학습자에게 미치는 영향에 관한 연구(문대영, 2009; 배선아 2011; 서보현 2012; 정의석, 나승일, 2012; 송정범,

2010; 송정범, 신수범, 이태욱, 2010; 양지나, 2009; 유규선, 전오성, 2011; 최유현 외, 2008), STEM 교육에 대한 교사들의 인식과 요구를 분석한 연구(방성혜, 2012; 배선아, 금영충, 2010; 안혜령, 2011; 오희진, 2012; 이동운, 김기수, 이창훈, 2011; 이효녕 외, 2012; 장기영, 2009)등으로 나누어 볼 수 있다. STEM 교수-학습 자료 개발 또는 모형 개발과 관련해서 다양한 연구들이 수행되었지만 STEM 교수-학습 자료 개발과 관련된 연구들은 기술/공업 교과를 중심으로 수행된 연구와 로봇을 활용한 프로그램 개발에 대한 연구들이 주를 이루고 있는 것으로 나타났다. 비록 몇몇 연구자들은(예. 김은정, 남동수, 이태욱, 2012; 송정범, 신수범, 이태욱, 2010) 수학 교과를 중심으로 한 STEM 교수-학습 자료 개발 및 그 효과성에 대한 연구를 수행하였지만 대체적으로 수학 교과를 중심으로 수행된 연구는 미비한 수준으로 나타났다. STEM 교육이 학습자에게 미치는 영향에 관한 연구에서는 주로 학생들의 문제해결력을 포함한 STEM 관련 교과에 대한 지식이나 학습 태도를 포함한 정의적 특성에 대해서 살펴보았다. STEM 교육에 대한 교사들의 인식과 요구를 분석한 연구에서는 STEM 관련 교과 교사들을 대상으로 STEM 교육에 대한 인식, 필요성 인식, 적용 경험, STEM 교육의 활성화를 위한 개선 또는 요구 사항 등에 대해 조사한 설문조사 연구가 대부분으로 나타났다. STEM 교육에 대한 교사들의 인식과 요구를 분석한 연구 결과에 따르면 교사들은 STEM 교육에 대한 필요성은 인식하고 있으나 그 준비에 대해 개인적, 체계적 부족함을 느끼고 있으며, 특히 교과 통합 교수-학습 프로그램 개발의 필요성에 주목하고 있었다.

2. 수학 교과에서 통합/융합교육에 관한 선행연구

수학 교과를 포함하고 있는 통합/융합교육 유형으로는 수학-과학통합교육, 수학-과학-기술통합교육인 MST(mathematics, science, technology; MST), 과학-기술-공학-수학통합교육인 STEM(science, technology, engineering, mathematics; STEM), STEM 교육에 예술(Arts)을 포함시킨 STEAM(science, technology, engineering, arts, mathematics; STEAM) 교육 등이 있다. 이러한 통합/융합교육에 대한 효과를 알아보기 위해서 초, 중, 고등학생뿐 아니라 대학생들을 대상으로 다양한 선행연구(예. 박조령, 고상숙, 2011; 송정범, 신수범, 이태욱, 2010; 송정범, 이태욱, 2011; 신은주, 2005; 염규아, 2007; 이혜숙 외, 2010, 홍영기, 2009; Elliott et al., 2001; Hurley, 2001; Satchwell & Loep, 2002)가 수행되었고, 여러 연구 결과에 의하면 수학 교과에서의 통합/융합교육은 학생들의 수학 학습에 대한 성취도 향상뿐 아니라 정의적 특성 및 문제해결력을 포함한 사고력을 발달시키는데 도움이 된 것으로 나타났다.

박조령과 고상숙(2011)의 연구에서 수학-과학통합교육은 학생들이 수학적, 과학적 개념을 인지하고 발전시켜나가는 데 효과적이었고, 특히 학생들의 점진적 수학화 과정 및 수학의 가치 인식에도 긍정적인 영향을 준 것으로 나타났다. Elliott 외(2001)의 연구에서는 수학-과학 통합교육을 받은 대학생들은 전통적인 수학 수업을 받은 학생들에 비해서 비판적 사고력

(critical thinking skill)이 다소 높은 것으로 나타났으며 학생들의 수학 교과에 대한 태도 또한 더 긍정적인 것으로 나타났다. 이혜숙, 임혜미, 문종은(2010)은 수학-과학통합교육 연구를 위한 기본원리들을 추출하고 이러한 이론적 배경을 토대로 수학-과학통합교육을 위한 수업설계모형을 제시하였으며, 제시한 수업설계모형에 따른 사례연구를 수행하였는데 수학-과학통합교육이 수학 학습에 대한 효과를 높일 수 있음을 제안하였다. Satchwell과 Loep(2002)는 수학-과학-기술 교과를 통합한 중학교 교육과정 운영 효과에 대한 연구를 수행하였고, 연구 결과에 의하면 중학생들의 수학, 과학 교과목의 성취도가 향상된 것으로 나타났다.

송정범, 신수범, 이태욱(2010)은 교육용 로봇을 활용한 STEM 통합교육이 초등학생들의 수학 교과에 대한 태도 수준 향상에 미치는 영향을 조사하기 위해서 초등학교 1학년 학생들을 대상으로 연구를 실시하였고, 연구 결과에 의하면 교육용 로봇을 활용한 STEM 통합교육은 초등학생들의 수학 교과에 대한 태도 수준 신장에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그 이후 송정범과 이태욱(2011)은 초등학교 6학년 학생들을 대상으로 교육용 로봇을 활용한 STEM 통합교육이 초등학생들의 수학, 과학 학업성취 및 교과 태도에 미치는 효과를 알아보기 위한 연구도 실시하였는데 그들은 STEM 통합교육은 초등학생들의 수학 교과에 대한 태도 수준뿐만 아니라 수학 학업 성취도 긍정적인 영향을 미친다고 보고하였다.

이외의 수학 교과에서 통합교육에 관한 선행연구로는 수학과 음악, 수학과 미술 교과 통합과 관련된 연구들이 수행되었는데 윤정은(2006)은 수학과 음악교육 통합 활동이 유아에게 미치는 영향에 관한 연구에서 유아들의 소리탐색 및 듣기, 감상하기, 노래 부르기, 신체 표현하기 등과 같은 음악교육 활동 속에 자연스럽게 수학교육활동이 통합적으로 이루어질 때 유아의 수학 접근 태도와 문제해결능력이 향상된 것으로 보고하였다. 김명숙(2011)이 수행한 연구에서는 수학과 미술 교과의 통합 활동이 유아의 공간 능력과 기하 영역에 대한 이해도 및 수학적 태도에 긍정적 영향을 준 것으로 나타났다.

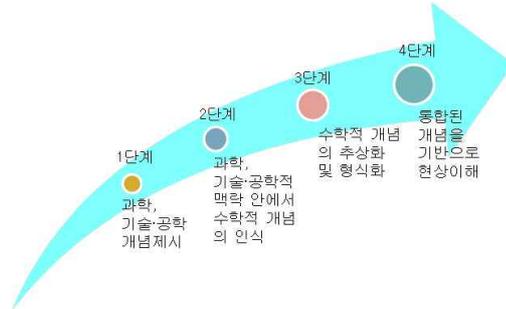
III. STEM 교육에 기반을 둔 수업 설계

1. 수업설계를 위한 수업모델(모형) 제시

1) STEM 기반 교육을 위한 수업설계모형

이혜숙 외(2010)는 수학-과학통합교육을 강조하는 문헌 연구를 통해서 수학-과학통합교육의 여섯 가지 기본 교수학적 원리(principles)를 추출했으며, 그 결과를 종합하여 수업설계모형을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 그들이 제시한 수업설계모형을 토대로 [그림2]와 같은 수업설계모형을 개발하였다. 수업설계모형은 STEM 기반 수업의 교수학적 설계를 위한 틀

로서, 수업모듈의 전체적인 목적, 단계별 학습 목표, 단위 수업설계 및 학습 자료의 개발 방향을 제시한다.

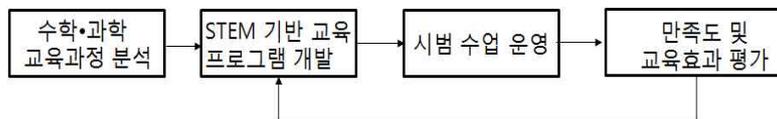


[그림2] STEM 기반 수업설계모형

수업설계의 1단계는 과학, 기술·공학에 관련된 개념을 제시하고 개념을 탐구하는 단계이다. 이 단계에서는 수학적 개념과 통합할 과학, 기술·공학적 개념을 학생들이 직관적으로 탐구할 수 있도록 수업이 구성되어야 한다. 2단계는 1단계에서 제시한 과학, 기술·공학 맥락 안에서 학생들이 수학적 개념을 인식하는 단계이다. 이 단계에서는 학생들이 과학, 기술·공학 맥락 속에서 수학적 개념을 추출할 수 있도록 수업 활동이 구성되어야 한다. 3단계는 과학, 기술·공학 개념과 관련된 수학적 개념을 점진적으로 형식화하고 추상화하는 단계이다. 이 단계에서는 이전의 1단계와 2단계 보다 수업에서 수학을 다루는 비중이 높아지게 되므로 수업은 수학 중심의 통합을 위한 형태로 구성해야 한다. 4단계는 과학, 기술·공학 개념과 수학적 개념에 대한 통합적 이해를 토대로 현상을 이해하는 단계이다. 이 단계에서는 형식화된 수학적 지식과 심화된 과학, 기술·공학 지식을 통하여 현상을 이해할 수 있도록 학생들의 능력과 안목을 넓힐 수 있는 과제로 구성한다.

2) STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램 개발 절차

STEM 기반 교육 프로그램을 개발하기 위해서 중등학교의 수학·과학 교과 교육과정을 분석한 후, 이를 근거로 기술·공학과 연계하여 STEM 기반 교육프로그램의 방향과 내용을 정하였다. 프로그램을 개발한 후 시범 수업을 운영하여 학생들로 하여금 만족도 및 교육 효과에 대한 조사를 실시하였고, 그 결과는 프로그램 수정에 반영되었다.



[그림3] STEM 기반 교육프로그램 개발 절차

2. 교수-학습 자료 개발 과정

1) 수업주제 선정

본 연구에 참여한 학생들은 STEM 기반 수학·과학 탐구활동 프로그램에 모두 참여하고 있으므로 연구자들은 과학 담당 교사와 함께 수학, 과학 교과와 교육과정을 분석하여 수학, 과학 탐구 시간에 다루기에 적절한 학습 주제/내용을 추출하였다. <표1>과 같이 생물, 물리, 화학, 기술·공학 교과 내용과 관련된 4개의 수업주제를 선정하였고, 각 주제별 STEM 수업설계모형에 따른 구체적인 교수-학습 내용은 <표2>와 같다.

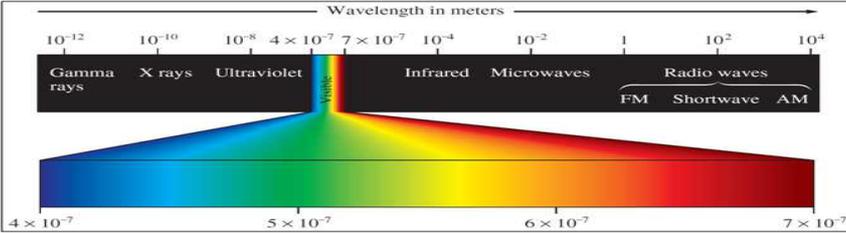
<표1> 수업주제의 개요 및 관련 수학 내용

통합대상 과목	주제	관련 수학 내용
생물	생식세포를 만들기 위한 진핵생물의 세포 분열 형태 중 하나인 감수분열 속의 수학적 원리 탐구	• 도형의 변환(답음변환, 합동 변환)
물리	운동량 보존 실험 속의 수학적 원리 탐구	• 속력, 속도, 변화량
화학	과장에 따라 전자기파를 순서대로 분류한 빛의 스펙트럼 속의 수학적 원리 탐구	• 분류(classification) : 빛의 파장에 따른 색 분류
기술·공학	DNA 구조와 미생물의 관계 탐구	• 일대일 대응 관계

<표2> STEM 수업설계모형에 따른 각 주제별 교수-학습 내용

과목	단계	학습 내용
생물	1단계	과학, 기술·공학 개념 제시
		생식세포를 만들기 위한 진핵생물의 세포 분열인 감수분열에 대한 탐구 • 탐구활동 : 감수분열
	2단계	과학, 기술·공학적 맥락 안에서 수학적 개념의 인식
		도형의 합동변환과 답음변환에 대한 탐구 • 탐구활동 1 : 평행광선에서 모델과 스크린이 평행관계 • 탐구활동 2 : 한 점에서 발사된 광선에서 모델과 스크린이 평행관계 • 탐구활동 3 : 평행광선에서 모델과 스크린이 비 평행관계 • 탐구활동 4 : 한 점에서 발사된 광선에서 모델과 스크린이 비 평행관계
		수학적 개념의 추상화 및 형식화
3단계	도형의 합동변환과 답음변환에 대한 형식화 • 합동변환 • 답음변환	
4단계	통합된 개념을 기반으로 현상 이해 삼각형의 답음비를 활용한 고층건물의 높이 측정 • 경사계(Inclinometer) 제작	
물리	1단계	과학, 기술·공학 개념 제시
		물체의 충돌 전과 후의 운동량 보존에 대한 탐구 • 탐구활동 1 : 운동량 보존 실험 • 탐구활동 2 : 충격량 실험[충격량= 힘 X 작용한 시간]

STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램의 효과에 관한 연구

	2단계	<p>과학, 기술·공학적 맥락 안에서 수학적 개념의 인식</p> <p>물체의 속도 변화량으로 충돌 전, 후 운동량 관계 탐구하기</p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐구활동 1 : 충돌 전과 충돌 후 물체의 속도와 질량으로 운동량 표현하기 • 탐구활동 2 : 충돌 전 물체의 운동량 합과 충돌 후의 물체의 운동량 합은 같음을 실험을 통해서 검증하기
	3단계	<p>수학적 개념의 추상화 및 형식화</p> <p>충돌 전, 후의 운동량 합이 같음을 형식화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 물체의 운동량 $Momentum = \vec{P} = m\vec{v}$ • $P_{before} = P_{after}$
	4단계	<p>통합된 개념을 기반으로 현상 이해</p> <p>공기주머니가 설치된 자동차에서는 공기주머니가 힘이 작용하는 시간을 길게 함으로써 운전자에게 작용하는 충격(힘)을 줄일 수 있음을 실험을 통해서 확인할 수 있음.</p>
	1단계	<p>과학, 기술·공학 개념 제시</p> <p>빛의 굴절과 스펙트럼에 대한 탐구</p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐구활동 : 프리즘을 이용한 분광실험
화학	2단계	<p>과학, 기술·공학적 맥락 안에서 수학적 개념의 인식</p> <p>빛의 굴절각도와 색의 관계 탐구</p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐구활동 1 : 복합광인 빛을 프리즘을 통해 단색광으로 분류하기 • 탐구활동 2 : 색과 파장의 관계를 실험을 통해 검증하기
	3단계	<p>수학적 개념의 추상화 및 형식화</p> <p>빛은 일반적으로 파장에 따라 가시광선, 적외선, 자외선으로 크게 분류함</p> <ul style="list-style-type: none"> • 파장에 따른 가시광선의 색 분류  <ul style="list-style-type: none"> • 적외선은 파장이 0.75 - 3μm(마이크로미터, 10⁻⁶m)인 근적외선, 3 - 25 μm인 적외선, 25 μm 이상의 원적외선으로 나뉨 • 자외선의 파장은 395 - 100nm(나노미터, 10⁻⁹m)으로 UVA, UVB, UVC로 나뉨
	4단계	<p>통합된 개념을 기반으로 현상 이해</p> <ul style="list-style-type: none"> • 불꽃반응으로 나타난 금속원소의 색에 따라서 아주 먼 거리에 있는 별이 어떤 금속원소로 구성되어 있는지 예측함 • 선 스펙트럼을 이용하면 불꽃색이 비슷한 원소도 구별함
	1단계	<p>과학, 기술·공학 개념 제시</p> <p>DNA 구조와 미생물의 관계 탐구</p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐구활동 : 전기영동사진을 이용한 토양 속 박테리아 확인 실험
기술·공학	2단계	<p>과학, 기술·공학적 맥락 안에서 수학적 개념의 인식</p> <p>박테리아와 DNA 구조와의 관계 탐구</p> <ul style="list-style-type: none"> • 탐구활동 1 : 토양 시료로부터 DNA 추출 • 탐구활동 2 : DNA 전기영동 사진으로 박테리아의 존재성 확인 실험
	3단계	<p>수학적 개념의 추상화 및 형식화</p> <ul style="list-style-type: none"> • 같은 종의 박테리아는 같은 DNA 구조임을 탐구함으로써, 박테리아의 종과 그에

	상응하는 DNA 구조들 간의 관계가 일대일 대응 관계임을 실험을 통해서 확인함
4단계	통합된 개념을 기반으로 현상 이해
	• 길이의 단위로 μm (마이크로미터)를 사용하여 미생물에는 세균, 바이러스, 곰팡이, 원생동물, 조류, 기생충 등이 있으며 지구환경 보전과 지구의 자정작용에 있어서 미생물의 중요성 확인함

2) 교수-학습 내용의 예시

앞서 제시한 수업설계모형에 따라 학생들이 4개의 학습주제를 탐구할 수 있도록 총 4차시 분량의 교수-학습 자료가 개발되었다. 각 차시의 학습 내용은 150분 동안 진행되도록 고안되었다. 본 절에서는 수학과 생물 교과를 통합한 교수-학습 내용의 사례를 통해서 본 연구에서 수행한 STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램의 내용에 대해서 설명하고자 한다.

(1) 수업주제

생물체를 이루는 세포가 분열할 때 생물의 특징을 결정하는 유전자가 들어 있는 염색체의 복제과정과 세포분열과정 속에서 제시된 평면도형의 합동과 닮음이라는 수학적 개념을 탐구한다.

(2) 학습목표

학생들은 동물세포의 감수분열과정에 내재된 과학적 현상을 수학적 개념으로 표현할 뿐만 아니라, 탐구한 수학적 개념을 추상화, 형식화하여 실생활 속의 문제해결에 활용할 수 있다.

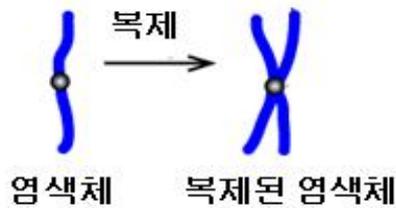
(3) 학습내용

- 1단계: 과학, 기술·공학 개념 제시

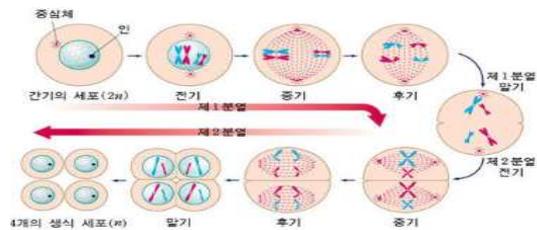
1단계는 과학, 기술·공학과 관련된 개념을 제시하여 수학적 개념과 통합할 과학, 기술·공학 개념을 학생들이 직관적으로 탐구하는 단계로 [그림4]와 같이 영국 하틀풀에서 태어난 쌍둥이 여아 렉스마이와 다르시의 생김새를 통해서 학생들이 직관적으로 생물학적인 쌍둥이의 개념을 이해하고, 할머니 벨린다 리크(40세), 증조할머니 준 리크(58세), 고조할머니 헬렌 칼린(85세)과의 생김새 속에서 생물학적인 닮음의 개념을 직관적으로 이해할 수 있도록 한다. 동물세포의 감수분열과정인 제1분열과정 전기에 나타난 염색체의 복제과정과 세포분열 준비기인 간기의 세포($2n$)와 제2분열이 끝난 4개의 생식세포(n)와의 관계를 통해서([그림5], [그림6]참조) 수학적 개념(닮음, 합동)에 통합할 생물학적 개념을 직관적으로 탐구하게 한다.



[그림4] 우리는 5세대 가족~ 쌍둥이의 탄생을 축하해요
(출처-데일리메일, <http://www.asiatoday.co.kr/news/view.asp?seq=382191>)

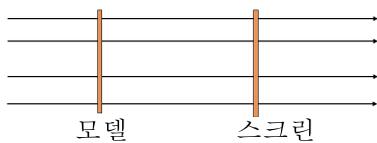


[그림5] 염색체의 복제

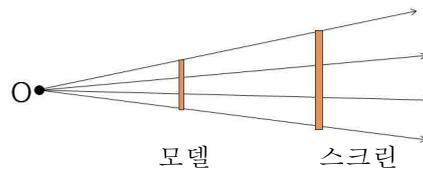


[그림6] 동물세포의 감수분열과정

- 2단계: 과학, 기술·공학적 맥락 안에서 수학적 개념의 인식
2단계는 과학, 기술·공학적 맥락에 내재된 수학적 개념을 추출하여 인식하는 단계로 동물 세포의 감수분열과정 속에 나타난 합동과 닮음의 관계를 [그림7], [그림8]처럼 모델과 스크린의 관계를 이용하여 수학적 개념인 도형의 합동변환 및 닮음변환에 대해서 학생들이 탐구할 수 있도록 한다.



[그림7] 합동변환



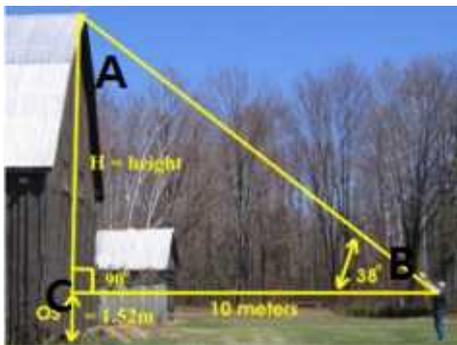
[그림8] 닮음변환

- 3단계: 수학적 개념의 추상화 및 형식화
3단계는 1, 2단계를 통해서 발전된 수학적 개념의 형식화 및 과학, 기술·공학적 개념의 이해를 심화시키는 단계로 도형의 합동변환과 닮음변환이라는 개념에서 발전하여 삼각형의 합동 조건인 'SSS, SAS, ASA'와 같은 합동의 기본 개념을 수학적으로 형식화한다. 마찬가지로 평면도형에서의 닮음의 성질인 '대응하는 변의 길이의 비는 일정하다'와 '대응하는 각의

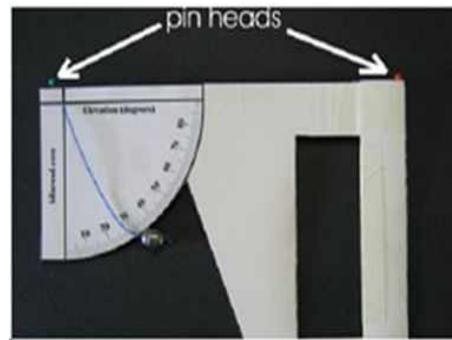
크기는 서로 같다' 등의 수학적 개념을 추상화하고 형식화한다.

• 4단계: 통합적 개념을 기반으로 현상 이해하기

4단계는 1~3단계를 통해 학습된 과학, 기술·공학적 개념과 수학적 개념 이용하여 학습자가 실생활과 연계하여 융합적인 안목으로 새로운 현상을 파악하고 이해할 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 학생들은 건물의 높이를 측정하는 과제가 주어지는데 현재까지 보편적으로 사용하고 있는 고층건물의 높이를 측정하는 방법은 건물의 그림자 길이를 관측하여 건물의 높이를 측정하는 방법인데 이 방법은 건물이 뺄뺄하게 들어서서 바닥점이 보이지 않거나 그림자를 찾을 수 없는 도시지역 건물의 높이를 측정할 수 없다는 한계점을 갖고 있다. 이를 극복할 수 있는 방법을 모색하는 것이 이 단계의 주요한 학습과제이다. 이 과제를 해결하기 위해서 학생들은 닳음비에 대한 수학적 이해를 토대로, 건축공학에서 토목계측기로 사용되는 경사계(inclinometer)를 제작하여 [그림9]와 같이 10m 이상 되는 건물의 높이를 측정할 수 있는 새로운 방법을 다음과 같은 단계로 탐구한다.



[그림9] 건물의 높이측정
(<http://www.phschool.com>)



[그림10] 경사계

[단계 1] 고층건물의 높이를 측정하기 위해서 [그림10]과 같은 경사계를 제작한다.

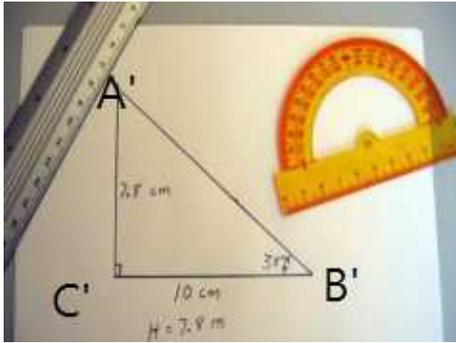
[단계 2] 제작한 경사계를 활용하여 [그림9]와 같이 건물로부터 10m 떨어진 곳에서 $\triangle ABC$ 를 측정한다.

[단계 3] 측정된 각 $\triangle ABC$ 를 각도기와 자를 이용하여 [그림11]과 같이 밑변이 10cm이고 두 양끝각의 크기가 90° , $\triangle ABC$ 인 직각삼각형을 작도한다.

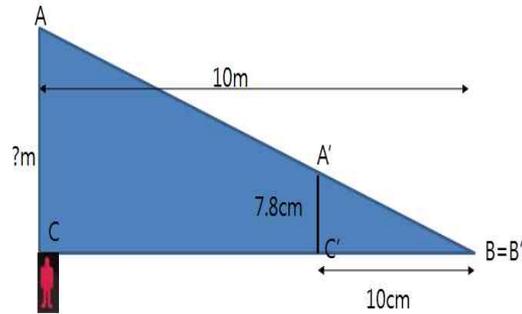
[단계 4] [그림12]와 같이 두 쌍의 대응각의 크기가 같은 닳은 삼각형을 얻는다.

$$\triangle ABC \sim \triangle A'B'C'$$

[단계 5] 닳음비는 $10 : 1000 = 1 : 100$ 이 되어 구하고자하는 선분 AC의 길이는 7.8m가 됨을 알 수 있다.



[그림11] 직각삼각형 작도



[그림12] 닮은 삼각형 구하기

앞서 제시한 학습 활동을 통해서 학생들은 염색체의 복제과정과 세포분열과정인 합동과 닮음의 관계로부터 도형의 합동과 닮음의 개념을 추출하고 더 나아가 '삼각형의 합동조건'과 '평면도형에서의 닮음의 성질'의 개념을 추상화, 형식화하고 다시 통합된 개념을 기반으로 새로운 현상을 이해하고 문제를 해결하는 경험을 하게 된다. 이러한 일련의 학습 과정을 통해서 학생들은 융합적 사고력과 수학적 안목을 기를 수 있을 것이다.

IV. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구는 서울시 강북 소재 A구청에서 지원하는 B대학교의 수학, 과학 탐구 프로그램에 참여한 중학교 2학년 학생 50명(남학생 26명, 여학생 24명)을 대상으로 이루어졌다. 프로그램의 참여자는 서류 및 면접 심사를 거쳐서 선정되었기 때문에 대부분의 학생들은 수학, 과학 교과 학습에 대한 관심과 열정을 가지고 있었고, 학업 성취도는 중상위권에 속했다. 연구에 참여한 50명의 학생들은 강북에 소재한 11개 중학교에 재학중이었고 각 가정의 사회·경제적 수준은 중상위 수준이었다.

2. 검사도구

1) 정의적 특성 설문지

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 중학생들의 수학 교과에 대한 정의적 특성에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 박선화, 김명화, 주미경(2010)이 개발한 정의적 특성 조사 설문지를 활용하여 사전과 사후에 설문조사를 실시하였다. 그들은 개발한 정의적 특성 조사 설문지는 흥미, 자신감, 가치인식, 자기조절력, 수학불안의 5개의 요인으로 구성되었고, 반응양식

은 ‘전혀 그렇지 않다(=1점)’, ‘그렇지 않다(=2점)’, ‘그렇다(=3점)’, ‘매우 그렇다(=4점)’로 Likert-4점 척도이다. 정의적 특성의 각 하위 요소에 대한 정의는 <표3>과 같다.

<표3> 수학에 대한 정의적 특성의 하위 요소의 정의(박선화 외, 2010, p. 38)

하위 요소	정의
흥미	교과나 학습주제 등에 대해 주관적으로 느끼는 선호도 및 학습활동에 참여함으로써 발생하는 즉각적인 재미
자신감	목표달성에 필요한 행동 과정을 조직하고 행하는 자신의 능력에 대한 믿음으로, 특정한 시간에 주어진 특정 과제를 잘 수행할 수 있는 지에 대한 인식
가치인식	사회적 맥락이나 학습자 자신의 삶의 맥락과의 관계 속에서 수학의 기능과 유용성에 대한 평가
자기조절력	개인적 목표설정과 설정한 목표를 성취하기 위한 행동조정으로 장기적 목표 달성을 위해 바람직한 행동을 추구하고 그렇지 않은 행동은 억제하여 충동적이거나 즉각적이지 않고 스스로 문제를 신중하게 계획, 해결, 평가하려는 경향성
수학불안	수학 교과 자체 또는 수학과 관련된 일이나 문제 등에 대하여 긴장하고 두려워 하거나 걱정하고 염려하는 심리 상태

설문지는 흥미 10문항, 자신감 10문항, 가치인식 8문항, 자기조절력 2문항, 수학불안 7문항으로 구성되었다. 설문검사의 신뢰도는 문항내적합치도 계수인 Cronbach α 로 구하였고, 사전, 사후 검사에 대한 각 요인별 신뢰도는 <표4>와 같이 나타나 검사도구는 요인별로 모두 문항의 내적일관성을 유지하며 검사도구의 신뢰도는 높다고 할 수 있다.

<표4> 설문검사의 신뢰도

요인	문항 수	Cronbach α (사전)	Cronbach α (사후)
흥미	10	.819	.780
자신감	10	.804	.812
가치인식	8	.973	.984
자기조절력	2	.840	.952
수학불안	7	.950	.971

2) 학생 면담

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들의 수학 교과에 대한 정의적, 인지적 성취 및 진로 선택 등에 미치는 영향을 보다 심도 깊게 알아보기 위해서 본 연구에 참여한 50명의 학생들 중 무작위로 여학생 4명과 남학생 4명을 선정하여 소집단 면담을 실시하였다. 중학생들의 경우 동성 집단에서 더 편하고 솔직하게 이야기하는 성향이 있어서 면담 대상자들을 여학생 집단과 남학생 집단으로 나누어 면담을 진행하였다.

3. 자료수집 및 분석

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들의 수학에 대한 인지적, 정의적 특성, 진로 선택 등에 미치는 영향을 알아보기 위해서 사전, 사후 정의적 특성 설문지, 학생들의 학습 활동지, 면담 과정이 녹화된 비디오테이프, 연구자의 면담 기록지 등의 자료를 수집하여 분석하였다.

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들의 수학에 대한 정의적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 정의적 특성 설문조사가 연구의 시작과 끝에 약 15분 동안 실시되었다. 사전 설문에 참여한 학생은 50명이었으나 일부 문항에 대해 무응답을 하거나 사후 검사에 참여하지 않은 학생을 제외한 총 41명의 사전, 사후 설문에 대한 응답 결과가 분석되었고, 응답 결과는 각 요인별로 대응표본 t-검정을 사용하여 분석하였다.

사후 정의적 특성 검사를 실시하고 1주일 후에 8명의 학생을 성별에 따라 2개의 소집단으로 나누어 반구조화된 면담이 진행되었다. 소집단 면담은 각 집단별로 1시간 40분정도가 소요되었으며 면담의 내용은 학생들의 동의하에 비디오로 녹화하였고 분석을 위해서 모든 내용을 전사하였다.

V. 연구결과

1. 각 요인별 정의적 특성 설문 분석 결과

사전, 사후 설문 조사에 대한 정의적 특성의 각 요인별 대응표본 t-검정 결과는 아래의 <표5>와 같다.

<표5> 사전, 사후 설문에 대한 정의적 특성의 각 요인별 대응표본 t-검증 결과

요인	사전 설문	사후 설문	t	p
	Mean(SD)	Mean(SD)		
흥미	2.91(.436)	2.95(.494)	-1.209	.234
자신감	3.03(.427)	3.30(.457)	-6.846	.000
가치인식	3.00(.647)	3.32(.785)	-6.159	.000
자기조절력	2.98(.632)	3.33(.755)	-5.367	.000
수학불안	1.79(.613)	1.95(.753)	-4.960	.000

흥미 요인의 경우는 비록 사후 검사에서 평균이 더 높게 나타났으나 사전, 사후검사 간에 유의미한 차이는 없는 것으로 나타났다($t = -1.209$, $p = .234$). 자신감($t = -6.846$, $p = .000$), 가치인식($t = -6.159$, $p = .000$), 자기조절력($t = -5.367$, $p = .000$)의 경우 사전, 사후 검사에서 유의미한 차이

가 있는 것으로 나타나 STEM 프로그램이 수학 교과에 대한 학생들의 자신감, 가치인식, 자기조절력을 향상시키는데 긍정적인 영향을 준 것으로 볼 수 있다.

수학불안의 경우는 평균이 낮을수록 수학불안이 높지 않은 긍정적인 결과로 해석해야 하므로 STEM 기반 교수-학습 프로그램 참여 후에 학생들의 수학불안은 더 높아졌으며, 사전, 사후 수학불안의 평균 차이도 유의미한 것으로 나타났다($t=-4.960$, $p=.000$). 학생들은 STEM 프로그램을 통해서 평소에 접해보지 않은 유형의 과제나 문제를 해결해야 하는 경험을 하였는데 학생들이 이러한 경험에 많이 노출되지 않다 보니 익숙하지 않은 유형의 과제나 문제가 주어졌을 때 당혹감이나 불안감을 느끼는 것이 수업 중 종종 관찰되었다. 학생들의 이러한 경험이 수학불안을 일시적으로 증가시킨 요인으로 추측된다. 하지만 수학불안은 평균이 2.5보다 낮을 경우 수학불안이 높지 않은 긍정적인 결과로 해석할 수 있으므로 STEM 프로그램에 참여한 이후에도 학생들의 수학불안은 낮은 것으로 나타났다.

정의적 특성의 요인 중에서 사전, 사후 검사의 평균 차이가 가장 큰 것은 자기조절력으로 나타났고, 그 다음으로는 가치인식, 자신감 순이었다. 학생들에게 도전적인 과제를 제시하고 스스로 문제해결 과정을 계획하고 해결하도록 한 경험이 학생들의 자기조절력을 향상시키는데 긍정적인 영향을 미친 것으로 추측되고, 수학적 개념을 과학, 건축, 기술공학과 같은 타분야 및 일상생활의 문제 장면과 통합하여 학습하도록 한 경험이 학생들이 수학의 가치를 인식하게 하는데 도움이 된 것으로 해석된다. STEM 기반 교수-학습 프로그램에서는 학생 스스로 다양한 방법으로 문제를 해결하도록 격려하고, 학생들이 발견한 문제해결 방법이나 아이디어에 대해서 학생 간 활발한 의사소통 활동을 하도록 유도하며 타인의 의견을 존중하고 배려하는 수업 문화를 형성하려고 시도하였다. 그러한 학습 환경이 학생들이 수학에 대해서 자신감을 갖도록 하는데 긍정적인 역할을 한 것으로 추측된다. 이는 학생 면담을 통해서도 확인할 수 있었다.

2. 소집단 면담 결과

1) 정의적 측면

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들의 정의적 특성에 미치는 영향에 대해서 보다 면밀하게 파악하기 위해서 정의적 특성에 관한 몇 가지 질문을 하였다.

정의적 측면에서 STEM 기반 교수-학습 프로그램에 참여한 이후에 가장 많이 변화된 부분에 대해서 묻는 질문에 학생들은 수학의 가치인식, 자신감과 흥미 향상과 관련된 대답을 하였다. 8명의 학생 중 5명은 수학이 일상생활이나 다른 분야에 어떻게 적용되는지를 알 수 있었다고 하였고, 1명은 수학에 대한 자신감이 많이 생겼다고 하였다. 나머지 2명의 학생은 흥미를 들었는데 그 중 한명은 수학을 공부하며 과학에 대한 흥미도 많이 생겼다고 하였다. 다음은 연구자와 학생들이 나눈 대화의 일부이다.

<여학생 집단 면담 내용 중>

- R: 이 프로그램을 통해서 여러분의 수학 학습에 대한 태도라든지, 수학에 대한 흥미나 자신감, 수학을 대한 생각에 있어서 그 전과 달라진 점이 있다면 이야기를 해볼까요?
- S1: 솔직히 학교에서 배우는 수학은 대학진학이나 그런 거에 쓰고 아니면 특정사람들만.. 쓴다고 생각 했었는데 실생활에도 이것저것 이렇게 포함되어 있는 게 수학이니까 대학만 가면 수학 끝이다 이런 게 아니라 살아가면서 계속 해야 된다는 생각이 많이 들었어요.
- R: 그러면 S1 학생은 그 동안 수학이 일상생활에는 전혀 사용되지 않는다고 생각한거야?
- S1: 아니요. 일상생활에 수학이 왜 필요하냐고 하면 건물도 짓고 하니까 수학을 배운다고 하잖아요. 그때 생각할 때는 건물 대충 지어서 살면 되지 그랬었는데 여기서 이런 걸 배우면서 수학의 깊은 걸 알게 되었던 것 같고 수학이 되게 일상생활에도 많이 사용되면서 사람들이 살면서 되게 많이 도움을 주는 과목인 것 같아요.
- R: S2와 S3 학생은 어때?
- S2: 저도 S1과 비슷한데요. 수학이 일상생활에서 어떻게 쓰이냐고 하면 돈 계산 할 때만 쓰이지 이렇게 생각했는데.. 진짜 건물이 아니어도 조그만 것들을 만들 때도 구조라던가 크기나 이걸 이렇게 만들었을 때 뭐 어떻게 예측이 되는지 이런 거에 다 수학이 쓰이잖아요. 그래서 의외로 수학이 없으면 못하는 게 되게 많구나 라는 생각이 들었어요.
- S3: 수학이 재미있는 면이 있긴 한데 앞에서 말한 것처럼 쓸데가 많아 보이진 않았거든요. 솔직히 예를 들면 연립방정식 세울 데가 많아 보이진 않았는데요. 그런데 제가 생각하지도 못한 부분에서 수학이 쓰이는 경우가 많더라구요. 그래가지고 수학에 대한 흥미가 좀 더 늘어난 것 같아요.

위의 대화에서도 알 수 있듯이 S3 학생의 경우는 수학의 유용성이나 수학에 대한 가치 인식이 수학에 대한 흥미를 증진시키는 촉매제의 역할을 한 것으로 나타났다.

<남학생 집단 면담 내용 중>

- R: 이 프로그램을 통해서 여러분의 수학 학습에 대한 태도라든지, 수학에 대한 흥미나 자신감, 수학을 대한 생각에 있어서 그 전과 달라진 점이 있다면 이야기를 해 볼까요?
- S5: 저는 수학에 대해서 자신감이 많이 생긴 것 같아요. 어.. 옛날에는 수학을 해도 제 답에 확신이 없었는데 이제 여기서 여러 가지 하니까 자신감이 생겨요.
- R: S5 학생은 자신감이 많이 생겼다고 했는데 어떤 활동들이 S5 학생이 자신감을 갖게 하는데 도움이 된 것 같아?
- S5: 학교에서는 선생님이 알려준 공식을 외워서 문제를 풀고, 공식이 생각이 안 나면 틀

려서 수학에 별로 자신감이 없었는데 여기서 제가 직접 수학 공식도 찾아내고 문제를 풀 때도 혼자 힘으로 해결하려고 노력하다 보니까 수학 공부에 자신감이 많이 생긴 것 같아요.

S6: 저는 수학을 공부하면서 수학에 흥미가 생긴 것도 있지만 과학에도 흥미가 생긴 것 같아요.

R: 음 수학을 공부하면서 과학에 흥미가 생겼어? 왜 그렇다고 생각해?

S6: 수학에서 배우는 내용들이 그 다음에 과학시간에 배우는 내용과 연관된 부분이 되게 많고 그러다보니까 과학 활동에 수학시간에 배웠던 내용을 생각도 하게 되고 그런 과정을 통해서 이제 수학을 하면서도 과학을 볼 수 있고 과학에 대한 흥미도 높아졌어요.

R: 과학을 공부하면서도 수학에 대한 흥미도 높아진거니?

S6: 네..과학을 공부하면서 수학 시간에 배웠던 내용이 나와서 더 재미있었고 과학 실험을 할 때도 수학에서 배운 내용들이 나오니까 수학이 이런 곳에도 쓰이는구나 하는 생각이 들었어요.

S5 학생은 학교에서 수학을 아주 잘하는 편도 아니고 자신감도 없었다고 하였다. 그러나 이 프로그램의 참여를 통해서 무엇보다 수학에 대해서 자신감이 생긴 부분을 가장 만족스럽게 생각하고 있었다. S5 학생은 문제를 해결하기 위해서 스스로 공식도 유도해보고 자신이 알고 있는 다양한 개념들을 적용하여 문제를 해결한 성공의 경험이 S5 학생이 수학에 대해서 자신감을 갖게 하는데 큰 영향을 미친 것으로 보인다. S6 학생의 경우는 STEM 교육을 통해서 수학뿐 아니라 과학에 대한 흥미도 향상된 것으로 나타났고, 더불어 수학에 대한 가치의 인식에도 STEM 프로그램이 긍정적인 역할을 한 것으로 보인다.

2) 인지적 측면

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들의 수학학습(인지적 측면)에 어떤 영향을 미쳤는지에 대해서 묻는 질문에 학생들은 이 프로그램을 통해서 창의적 사고력, 수학적 개념을 다양한 측면에서 사고하고 이해하는 능력, 다양한 방법으로 문제를 해결하는 능력을 키울 수 있었다고 응답하였다. 다음은 이 질문에 대한 연구자와 학생들의 대화의 일부이다.

<여학생 집단 면담 내용 중>

R: 이 프로그램이 여러분이 수학을 공부하는데 어떻게 도움이 된 것 같아요?

S2: 학교에서는 그냥 이론이나 문제 푸는 것만 배운다면 이 프로그램에서는 그게 어떤 식으로 적용되는지 이런 것도 배우고 문제를 풀 때도 생각을 많이 하게 해주었어요. 예전에는 문제가 잘 풀리지 않으면 가끔 화내고 짜증도 났었는데 지금은 더 많이 생각하려고 노력해요. 그리고 문제를 여러 가지 방법으로 풀도록 한 게 좋았어요.

...(중략)

- R: 혹시 수업시간에 했던 활동 중에 가장 기억에 남는 것이 있다면 무얼까?
S3: 저는 여러 가지 실험과 만들기를 통해서 배우고 또 보다 많은 시간에 걸쳐 배우니까 수학이 더 이해가 잘 되었어요. 사실 학교에서는 시간이 부족해서 단순히 선생님이 설명만 하시고 마는데 여기서는 제가 직접 실험도 하고 만들기도 하니까 더 이해가 잘 되는 것 같아요.

<남학생 집단 면담 내용 중>

- R: 이 프로그램이 여러분이 수학을 공부하는데 어떻게 도움이 된 것 같아요?
S7: 어 일단 수업을 할 때 실질적으로 실험이나 활동을 중심으로 할 수 있기 때문에 학교에서 쉽게 접할 수 없는 것들을 접할 수 있는 기회가 있다는 게 좋았어요.
R: 그럼 그런 실험이나 탐구 활동이 수학적 개념을 이해하는데 도움이 되었어?
S7: 수학시간에 직접 활동을 통해서 배우니까 수학적 개념을 좀 더 이해하기 쉬워서 좋았어요.
R: 혹시 학교 수학 시간에 실험이나 탐구활동을 해 본 경험이 있니?
S7: 없었던 것 같아요.
S5: 저희는 내심, 외심을 배울 때 삼각형 종이 접는 걸로 했었는데 지루했어요. 그냥 선생님이 하라는 대로 잠깐 하고 말았어요.
R: 그럼 S5 학생은 이 프로그램에서 했던 활동들은 어땠어?
S5: 저는 경사계 만드는 활동이 재밌었는데 경사계는..어..다른 걸 심화시켜가지고 여러 가지 실습을 하는데 실제로 측정도 하고..그런 활동이 재미있고 수학을 이해하는데도 더 도움이 되는 것 같아요.
R: 이 프로그램에서 어떤 측면이 수학을 공부하는데 가장 도움이 되었던 것 같아?
S6: 저는 다양한 방면으로 생각할 수 있게 된 것 같은데요. 그 전 같은 경우에는 교과서를 본다는가 아니면 수학 문제집을 볼 때 주어진 공식을 쓰면 쉽게 나오니까 그런 방식을 이용하려고 했는데 이 프로그램에서는 다른 거랑 연관시켜서 생각하게 되고 그러니까 창의력 같은 게 더 많이 길러진 것 같고 수학을 보는 눈이 더 넓어진 것 같아요.

학생들과의 대화에서도 알 수 있듯이 많은 학생들이 실험이나 만들기와 같은 체험 활동을 통해서 수학적 개념을 더 잘 이해할 수 있었다고 응답하였다. 그러나 단순히 수학적 개념이나 원리를 보여주는 활동보다는 학습한 수학적 개념이나 원리를 보다 확장시킬 수 있는 범위에서 또는 수학 외적 상황에서 학생들 스스로 실험하고 탐구하고 체험해보는 경험이 수학적 원리를 이해하는데 더 도움이 된 것으로 보인다. 즉 주어진 수학적 개념을 동영상이나

실험/탐구 활동을 통해서 과학, 기술공학, 실생활 등 다양한 측면과 연계하여 학습한 경험과 학생들이 다양한 방법으로 사고하고 문제를 해결하도록 한 경험이 학생들의 수학적 개념의 이해와 더불어 수학적 개념을 다각도에서 볼 수 있는 수학적 안목의 형성과 문제해결력의 향상에 긍정적인 영향을 미친 것으로 보인다.

3) 진로 선택 측면

STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들의 STEM 관련 분야로 진로를 탐색하거나 선택하는데 어떤 영향을 미쳤는지에 대해서 알아보기 위해서 학생들의 장래희망이 무엇이었고 그 꿈이 지금은 어떻게 변했는지에 대해서 질문을 하였다. 면담에 참여한 대부분의 학생들에게서 공통적으로 나타난 특징은 이 프로그램을 통해서 학생들은 자신이 갖고 있던 꿈을 좀 더 구체화 할 수 있게 되었다는 점을 들었다. 면담에 참여한 8명의 학생 중 1명의 남학생을 제외하고는 학생들의 꿈이 바뀌거나 좀 더 구체화된 것으로 나타났다. 학생들은 자신이 무엇에 흥미가 있고 구체적으로 어떤 분야로 진로를 선택하고 싶은지에 대해서 스스로 알 수 있는 기회가 되었다고 하였다⁴⁾. S6 학생의 경우는 그 동안은 막연하게 의사가 되는 것이 꿈이었는데 이 프로그램을 통해서 과학에 대해 많은 흥미가 생겨 의사보다는 생명공학자가 되어 생명공학에 대해서 연구를 해보고 싶다고 하였다. S5 학생의 경우는 그 동안은 꿈이 없었으나 이번 기회를 통해서 과학에 많은 흥미가 생겼고, 특히, 유기화학에 많은 관심이 생겨서 그 쪽 분야에 대해서 더 공부를 해보고 싶다고 하였다. S3 학생은 아이들을 가르치는 것이 재미있고 수학을 공부하는 것도 재미있어서 수학교사가 되는 것이 꿈이었는데 이번 기회를 통해서 수학이라는 학문에 대해서 더 많은 관심과 흥미가 생겨 좀 더 전문적으로 수학을 공부해서 수학자가 되고 싶다고 하였다. S2 학생은 초등학교 교사가 되는 것이 꿈이었다고 한다. 그러나 이 프로그램을 통해서 수학과 과학이 우리에게 아주 유용한 학문이라는 것을 알게 되었고, 흥미도 많이 생겨서 비록 수학, 과학을 아주 잘 하지는 못하지만 그 쪽 분야로 진로를 선택하고 싶다고 말하였다.

학생들이 수학, 과학 분야로 진로를 설정하는데 가장 큰 영향을 주었던 것이 무엇인지를 묻는 질문에 모든 학생들이 비슷한 응답을 하였다. 학교 수업을 통해서 경험할 수 없거나 그저 교과서에서만 보았던 수학, 과학 탐구/실험 활동들을 직접 체험해보니 수학, 과학에 대해서 더 많은 흥미와 호기심이 생겼고, 특히 수학, 과학 교과에 대한 유용성이나 가치의 인식이 학생들이 진로를 탐색하고 방향을 설정하는데 큰 영향을 준 것으로 보인다. 학생들은 학교 수업 시간에도 그런 경험들을 할 수 있기를 희망한다고 하였다. 이러한 수학, 과학 분야에 대한 흥미와 관심, 가치인식이 학생들이 이공계 계열로 진로를 설정하는데 매우 긍정적인 영향을 미친 것으로 추측된다.

4) 본 연구에 참여한 학생들은 수학뿐 아니라 과학 프로그램도 동시에 참여하였으므로 학생들의 진로 방향을 설정하는데 있어서 수학뿐 아니라 과학 프로그램의 영향도 클 것으로 추측된다.

VI. 결론

본 연구에서는 STEM 기반 수학 교수-학습 프로그램이 중학생들의 정의적, 인지적 특성 및 진로 탐색에 미치는 영향에 대해서 살펴보았다. 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

먼저, 통합교육과 관련된 선행연구 결과(예. 송정범, 이태욱, 2011; 박조령, 고상숙, 2011)와 유사하게 STEM 기반 교수-학습 프로그램은 학생들의 수학에 대한 정의적 특성을 향상시키는데 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 특히, 정의적 특성의 하위 요소인 자기조절력, 가치인식, 자신감 요소에서 사전과 사후 검사에서 유의미한 차이가 있는 것으로 나타나 STEM 기반 교수-학습 프로그램은 학생들의 자기조절력을 향상시키고 수학에 대한 가치인식 및 수학 학습에 자신감 향상에 긍정적인 영향을 준 것으로 보인다. 인터뷰 결과에 의하면 수학적 개념을 실생활 및 과학, 건축, 기술공학과 같은 다양한 분야와 통합하여 학습한 경험이 학생들로 하여금 수학에 대한 가치를 인식하고 더불어 수학적 개념의 이해 및 문제 해결력을 기르는데 도움이 된 것으로 나타났다. 따라서 교사는 학생들에게 수학 내적 상황 뿐 아니라 다양한 수학 외적 문제 상황 속에서도 수학이 어떻게 적용되고 있고 왜 그러한 학습이 의미가 있는지를 학생 스스로 인식할 수 있는 기회를 제공하는 것이 필요하다.

또한 면담에 참여했던 대부분의 학생들이 실험이나 만들기와 같은 직접적인 체험활동을 통한 학습의 긍정적인 측면에 대해서 자주 언급하였다. 비록 수학이라는 학문은 고도로 추상화된 학문이지만 학생들은 눈으로 보고 손으로 느끼고 체험하는 경험을 통해서 무엇을 배우고 있고 왜 배워야 하는지에 대해서 이해하며 다양한 현상을 수학적으로 파악할 수 있는 안목을 형성할 수 있을 것이다. 게다가 그러한 경험은 학생들의 사고를 더욱 추상화 시킬 수 있는 기틀을 마련할 수 있다. 따라서 학생들의 수학 교과에 대한 정의적, 인지적 성취를 향상시키기 위해서 통합/융합교육의 형태가 아니더라도 전통적인 수학 수업에서도 학생들이 단순히 보고 듣는 형태가 아닌 직접 손으로 행하고 탐구해 볼 수 있는 경험을 제공할 필요가 있다.

둘째, National Science Board(2007)에서는 STEM 교육의 효과 중 하나로 학생들의 문제 해결력의 향상을 들고 있는데 본 연구를 통해서 이를 확인할 수 있었다. 면담에 참여한 대부분의 학생들이 이 프로그램을 통해서 문제해결력이 많이 향상되었다고 응답하였으며 학생들의 문제해결능력에 있어서의 변화는 수업 중에 관찰되기도 하였다. 학생들의 문제해결력에 긍정적인 영향을 준 요인으로는 실험이나 탐구 및 다양한 문제 상황 또는 문제 제시라는 의견도 있었지만 다양한 방법으로 문제를 해결하도록 한 교수법이 학생들의 문제해결력 향상에 가장 큰 영향을 준 요인으로 파악되었다. 연구의 초반에 학생들에게 주어진 문제를 다양한 방법으로 해결하도록 요청하였을 때 학생들이 거부감을 보이기도 하였으나 점차 이러한 과정에 익숙해짐에 따라 연구 기간 동안 학생들은 보다 적극적으로 다양한 방법으로 문제를 해결하려고 노력하는 모습을 보였고, 자신만의 새로운 방법으로 문제를 해결한 성공의

경험을 맛 본 학생들은 오히려 문제해결에 더 많은 자신감과 관심을 보이는 것이 관찰되었다. 따라서 학생들의 문제해결력을 기르기 위해서는 학생들에게 다양한 측면에서 문제를 분석해보고 접근해보는 경험 및 다양한 방법으로 문제를 해결할 수 있는 기회를 제공하는 것이 필요하다.

셋째, STEM 기반 교수-학습 프로그램이 학생들이 이공계 분야로 진로를 설정하는데 긍정적인 역할을 한 것으로 보인다. 비록 본 연구에 참여한 학생들은 중학생이므로 향후 그들의 진로는 다양한 분야로 변경될 수 있다. 그러나 지속적으로 학생들에게 수학이나 과학이라는 학문에 대해 흥미와 관심을 갖게 교육할 수 있다면 지금 우리 사회가 겪고 있는 이공계 기피 현상을 조금이나마 줄일 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다. STEM 기반 교수-학습 프로그램은 학생들로 하여금 수학, 기술·공학을 포함한 과학 분야에 대한 흥미나 관심을 유발시킬 수 있는 하나의 수단이 될 수 있다. 모든 수학 수업을 STEM 교육과 같은 형태로 진행하기는 어렵겠지만 적어도 수학을 배우면서 학생들이 수학에 대해서 흥미나 가치를 인식할 수 있도록 교사의 노력이나 실천이 필요하다.

참고 문헌

- 김명숙(2011). 수학과 미술의 통합 활동이 유아의 공간과 기하능력 및 수학적 태도에 미치는 영향. 전남대학교 교육대학원 석사학위 논문.
- 김용훈(2010). 이공계 기피현상 분석을 통한 과학기술자의 사회적 위치 재구조화 정책 방안 연구. 인적자원관리연구, 17(2), 183-202.
- 김은정, 남동수, 이태욱(2012). STEM 기반 교육용 로봇을 활용한 초등학생 대상 수학 학습 프로그램 개발. 한국컴퓨터정보학회 동계학술대회 논문집, 20(1), 127-130.
- 김진수(2007). 기술교육의 새로운 통합교육 방법인 STEM 교육의 탐색 한국기술교육학회지, 7(3), 1-29
- 문대영(2008). STEM 통합 접근의 사전 공학 교육 프로그램 모형 개발. 공학교육연구, 11(2), 90-101.
- 문대영(2009). 초등학생들의 공학에 대한 태도 및 공학 문제 해결에 대한 사례연구: STEM 통합 접근 교육 프로그램 적용을 통해. 한국실과교육학회지, 22(4), 51-66.
- 박선화, 김명화, 주미경(2010). 수학에 대한 정의적 특성 향상 방안 연구, 한국교육과정평가원 연구보고 RRI 2010-9.
- 박조령, 고상숙(2011). 수학과 화학 통합교육의 실행을 위한 교수, 학습의 실제-중학교 1학년 학수단원을 중심으로-. 한국수학교육학회, 수학교육논문집, 25(3), 497-524
- 방성혜(2012). 통합교육과 STEM교육에 대한 중등교사의 인식. 경북대학교 교육대학원 석사학위 논문.
- 배선아(2009). 공업계열 전문계 고등학교 전기·전자·통신 분야의 활동 중심 STEM 교육

- 프로그램 개발. 박사학위논문, 한국교원대학교.
- 배선아(2011). 중학교 전기전자기술 영역의 활동 중심 STEM 교육프로그램 개발 및 적용. 대한공업교육학회지, 36(1), 1-22.
- 배선아, 금영충(2009). 공업계열 전문계 고등학교 활동 중심 STEM 교육프로그램 개발 모형. 실과교육연구, 15(4), 345-368.
- 배선아, 금영충(2010). 공업계열 전문계 고등학교 화공 분야의 STEM 교육에 대한 화공교사들의 인식과 요구. 대한공업교육학회지, 35(1), 44-67.
- 서보현(2012). 창의적 설계와 과학탐구과정 기반의 STEM 교육 프로그램 개발 및 적용. 경석사학위논문, 경북대학교 대학원.
- 성의석, 나승일(2012). 통합적 STEM 교육이 일반고등학교 학생의 과학 및 기술교과 자기효능감과 공학 태도에 미치는 효과, 한국기술교육학회지, 12(1), 255-274.
- 송정범(2010). STEM 통합교육을 위한 교실친화적 로봇교육 모형 및 프로그램 개발에 관한 연구. 한국교원대학교 대학원 박사학위논문
- 송정범, 신수범, 이태욱(2010). 교육용 로봇을 활용한 STEM 통합교육의 효과성 연구. 한국컴퓨터정보학회논문지, 15(6), 81-89.
- 송정범, 이태욱(2011). 교육용 로봇을 활용한 STEM 통합교육이 학업성취, 교과태도에 미치는 효과. 정보교육학회논문지, 15(1), 11-22
- 신은주(2005). 등가속도 운동에서 미적분의 기본 아이디어 학습 과정에 관한 사례연구. 대한수학교육학회, 수학교육학연구, 15(4), 419-444.
- 안혜령(2011). 통합교육과 STEM교육에 대한 초등교사의 인식. 경북대학교 석사학위 논문.
- 양지나(2009). 3D CAD를 이용한 STEM 기반 교육프로그램이 초등학생의 공간능력에 미치는 영향. 석사학위논문, 청주교육대학교.
- 염규아(2007). 중학교 수학/과학 통합 교육을 통한 중학교 일차 함수 개념 지도 방안. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 오희진(2012). 과학교사의 STEM 교육에 대한 관심도와 STEM-PCK 변화 분석. 박사학위논문. 경북대학교 대학원.
- 옥현주(2011). 영국의 STEM 교육 동향과 시사점. 교육정책포럼 제 215호.
- 유규선, 전오성(2011). 고교생을 대상으로 한 STEM 교육의 적용 사례 연구. 공학교육연구, 14(6), 48-50.
- 윤정은(2006) 수학과 음악교육 통합 활동이 유아의 수학 접근태도와 문제해결능력에 미치는 영향. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- 이동윤, 김기수, 이창훈(2011). STEM 교육에 대한 기술교사의 인식과 요구. 한국기술교육학회지, 11(2), 159-180.
- 이소이, 노태천(2011). STEM 교육을 위한 기술 수업 설계 모형. 한국기술교육학회지, 11(3), 1-20.
- 이효녕, 손동일, 권혁수, 박경숙, 한인기, 정현일 외(2012). 통합 STEM 교육에 대한 중등 교

- 사의 인식과 요구. 한국과학교육학회지, 32(1), 30-45.
- 이혜숙, 임혜미, 문중은(2010). 수학과학통합 교육의 설계 및 실행에 대한 연구, 한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육>, 49(2), 175-198.
- 장기영(2009). 교과 통합 기반의 발명 교사 연수 프로그램에 대한 교사들의 인식 변화. 석사학위논문, 서울교육대학교 교육대학원.
- 최유현, 김용익, 이명훈, 김인용, 남승권, 임윤진 외(2011). 기술기반 STEM 교육 교재 개발 방안에 대한 연구. 한국실과교육학회지, 24(3), 79-97.
- 최유현, 문대영, 강경균, 이진우, 이주호(2008). STEM 기반 발명영재교육 프로그램 개발과 적용 효과. 한국기술교육학회, 8(2), 143-164.
- 홍영기(2009). 수학, 과학 교과의 주제중심 통합프로그램의 효과. 한국통합교육과정학회, 통합교육과정연구, 3(2), 42-66.
- Berry, R.Q., Reed, P.A., Ritz, J. M., Lin C.A., Hsiung S., Frazier, W. (2005). STEM Initiatives: Stimulating students to improve science and mathematics achievement. *The Technology Teacher*. 64, 23-29.
- Bybee, R. W.(2010). Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.
- Elliott, B., Oty, K., McArthur, J., & Clark, B. (2001). The effect of an interdisciplinary algebra/science course on students' problem solving skills, critical thinking skills and attitudes towards mathematics. *International Journal of Mathematics Education in Science and Technology*, 32(6), 811 - 816.
- Hurley, M.(2001). Reviewing integrated science and mathematics: The search for evidence and definitions from new perspectives. *School Science and Mathematics*, 101, 259 - 268.
- Morrison, J., (2006). *TIES STEM education monograph series: Attributes of STEM education*. Baltimore, MD: TIES. Retrieved from <http://www.tiesteach.org/>
- NCTM.(1989). *Curriculum and Evaluation Standards for School Mathematics*. Reston, VA : Author.
- NCTM.(2000). *Principles and Standards for School Mathematics*. Reston, VA : Author.
- National Research Council.(2011). *Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. Committee on Highly Successful Science Programs for K-12 Science Education. Board on Science Education and Board on Testing and Assessment, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC; The National Academies Press.
- National Science Board.(2007). *National action plan for addressing the critical needs of the U.S. science, technology, engineering, and mathematics education system*.

- Washington, D.C.: National Science Foundation. Retrieved from www.nsf.gov/nsb
- Satchwell, R. & Loepp, F.(2002). Designing and Implementing an Integrated Mathematics, Science, and Technology Curriculum for the Middle School. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3). 41-66
- van Langen, A., & Dekkers H.(2005). Cross-National Differences in Participating in Tertiary Science, Technology, Engineering and Mathematics Education. *Comparative Education*. 41(3), 329-350.

A study on the effects of STEM based approach for teaching and learning mathematics

Lee Heisook⁵⁾ · Min Juyoung⁶⁾ · Han Hyesook⁷⁾

Abstract

The purposes of the study were to develop STEM instructional materials for teaching and learning mathematics and to investigate how the STEM based approach affects on students' learning of mathematics in cognitive and affective domain and career choice. STEM instructional materials were designed for learning of mathematical concepts in the contexts of science, technology, and engineering as well as real world. According to the results of the study, STEM instructional materials for teaching and learning mathematics were effective for improving students' problem solving ability and affective achievement such as self-regulation, self-efficacy, and value of mathematics. In addition, STEM program played a positive role in tempting students' career choice into science and engineering fields including mathematics.

Key Words : Problem-Solving Ability, Affective Domain, Career Choice, STEM Education

5) Ewha Womans University (hsllee@ewha.ac.kr)

6) Ewha Womans University (minmath@ewha.ac.kr)

7) Dankook University (hanhs@dankook.ac.kr), Corresponding author