



## 과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형 개발 및 적용

이효녕<sup>1</sup>, 권혁수<sup>2</sup>, 박경숙<sup>1\*</sup>, 오희진<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>경북대학교, <sup>2</sup>공주대학교

### Development and Application of Integrative STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) Education Model Based on Scientific Inquiry

Hyonyong Lee<sup>1</sup>, Hyuksoo Kwon<sup>2</sup>, Kyungsuk Park<sup>1\*</sup>, Hee-Jin Oh<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Kyungpook National University, <sup>2</sup>Kongju National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 11 December 2013  
 Received in revised form  
 23 January 2014  
 22 February 2014  
 25 February 2014  
 Accepted 26 February 2014

##### Key words:

integrative STEM education,  
 integrated education, scientific  
 inquiry, design-based learning,  
 science education, technology  
 education, mathematics  
 education

#### ABSTRACT

Integrative STEM education is an engineering design-based learning approach that purposefully integrates the content and process of STEM disciplines and can extend its concept to integration with other school subjects. This study was part of fundamental research to develop an integrative STEM education program based on the science inquiry process. The specific objectives of this study were to review relevant literature related to STEM education, analyze the key elements and value of STEM education, develop an integrative STEM education model based on the science inquiry process, and suggest an exemplary program. This study conducted a systematic literature review to confirm key elements for integrative STEM education and finally constructed the integrative STEM education model through analyzing key inquiry processes extracted from prior studies. This model turned out to be valid because the average CVR value obtained from expert group was 0.78. The integrative STEM education model based on the science inquiry process consisted of two perspectives of the content and inquiry process. The content can contain science, technology, engineering, and liberal arts/artistic topics that students can learn in a real world context/problem. Also, the inquiry process is a problem-solving process that contains design and construction and is based on the science inquiry. It could integrate the technological/engineering problem solving process and/or mathematical problem solving process. Students can improve their interest in STEM subjects by analyzing real world problems, designing possible solutions, and implementing the best design as well as acquire knowledge, inquiry methods, and skills systematically. In addition, the developed programs could be utilized in schools to enhance students' understanding of STEM disciplines and interest in mathematics and science. The programs could be used as a basis for fostering convergence literacy and cultivating integrated and design-based problem-solving ability.

## 1. 서론

### 1. 연구의 필요성

최근 들어 여러 선진 국가들은 과학기술 분야의 창의적이고 융합적인 지식을 창조할 수 있는 인재를 양성하는데 교육의 목표를 두고 있다. 이러한 인재 양성을 위하여 국가 수준의 교육과정이나 교육기준을 개정하고 초·중·고 수준에서 STEM 분야의 통합 교육을 강조하고 있다(Berlin & Lee, 2005; Department for Education, 2013a, 2013b; NRC, 2011, 2012, 2013).

미국의 경우 STEM 관련 교과와 학업 성취도, 흥미, 소양 등의 증진과 함양 등을 위해 STEM 교육 프로그램 개발과 교사 연수에 국가적 투자를 늘리고 있다(NAE, 2005; NCES, 2009; NRC, 2013; U.S. Department of Education, 2009). 미국의 차세대 과학교육 프레임워크(Framework for K-12 Science Education)와 차세대 과학교육기준

(Next Generation Science Standards)을 살펴보면 실생활 중심의 문제 해결과정에 초점을 두고 있으며, 과학과 공학의 연계가 핵심적인 개정 내용이다. 과학 교육의 주요 교과 내용 분야로 '공학, 기술과 과학의 적용(Engineering, Technology, and the Applications of Science)'을 새롭게 제시하여 과학교육과 공학/기술 분야의 연계를 다루는 설계 기반의 STEM 교육의 내용을 포함하고 있다(NRC, 2012, 2013).

미국 이외의 유럽 국가들도 STEM 교육을 강조하고 있다. 핀란드의 경우 실생활과 연결과 과학, 수학, 공학교육을 강조하였고 1996년부터 대학과 산업체를 연계하는 LUMA 프로젝트를 통해 보다 많은 투자를 하고 있다. 이 결과 핀란드는 PISA의 과학 성취도에서 상위권을 보여 주고 있다(Kim *et al.*, 2008; OECD, 2007). 노르웨이는 전 생애에 걸친 STEM 교육을 실시하고자 'Math, Science, and Technology for the Future(2010-2014)'를 추진하였고, 네덜란드는 이공계 진로 유도를 목표로 Master Plan(2011-2016)을 실행하여 유아, 초·중·고학생들의 STEM에 대한 관심과 학업성취도 향상을 위해 노력하고 있다(MOE, 2013).

\* 교신저자: 박경숙(kpark1@knu.ac.kr)

\*\* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2010-0026873).

\*\*\* 이 논문은 2013 경북대학교 과학교육연구소의 일부 지원을 받아 수행된 연구임.

\*\*\*\* 이 글은 Lee *et al.*(2012)의 일부 내용을 재구조화한 논문이며, 저자로부터 전제 허가를 받았다.

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2014.34.2.0063

Kim *et al.* (2011)은 STEM 교육의 국제적인 경향을 정리하고 시사점을 도출했다. 외국의 경우 이공계 기피 현상에 대응하기 위하여 초·중·고등학교에 실생활과 밀접한 공학을 도입하여 수학, 과학교육을 강조하고 있고, 학생들의 이공계에 대한 흥미유발을 위해 노력하고 있다.

우리 정부에서도 '7대 과학기술 강국'으로의 도약을 위해 체계적인 과학기술 인재 양성과 과학문화 확산에 투자를 하고 있다. 특히, 창의적인 인재 양성과 미래 과학기술 분야의 국가 경쟁력 확보를 위해 초·중·등 수준에서는 융합인재교육(Science, Technology, Engineering, Arts, & Mathematics; STEAM) 교육을 강화한다고 발표하였다(MEST, 2010, 2011). 즉, 암기식 교육을 줄이고, 실생활과 밀접한 체험 활동을 강조하여 학생들의 과학기술에 대한 이해와 흥미 더불어 잠재력을 키울 수 있는 프로그램을 개발하고 있다(KOFAC, 2012a, 2012b; MEST, 2012). 융합인재교육(STEAM)은 STEM 교육에서 강조하고 있는 설계 기반 학습(design-based learning)을 강조하고 있고, Arts의 요소가 포함되어 인물·예술 분야까지 포함하고 있다(KOFAC, 2012a; MOE, 2013).

STEM 교육은 일반적으로 기술/공학과 관련된 과학, 수학 교육을 통합하는 형태로 다루어져 왔다(Bybee, 2010; Merrill & Daugherty, 2010). 하지만 과학 교과 측면서의 내용적, 방법적인 특성을 구체적으로 반영하는데 미흡하다. 이 연구에서는 과학 탐구와 기술/공학적인 설계 기반의 문제 해결을 잘 드러낼 수 있는 Sanders(2006, 2009)의 정의를 기초로 하여 모형을 개발한다.

Sanders(2006, 2009)는 통합적(integrative)이라는 용어를 사용하여 '통합적 STEM 교육'(Integrative STEM Education)을 정의하였다. 통합적 STEM 교육은 공학적인 설계 과정을 통해서 과학, 수학을 보다 효과적으로 교육하고자 한다. 즉, 학생들이 통합적 STEM 교육을 통해 과학, 수학 지식을 적용한 실생활 문제 해결을 경험하고, 이를 통해 과학, 수학 교과에 대한 이해와 흥미를 향상시키는데 초점을 둔다.

공학적인 설계(Engineering Design)는 분석(analysis)과 종합(synthesis)으로 구분하여 설명할 수 있다(Burghardt & Hacker, 2004; Hacker & Burghardt, 2004; Kwon & Park, 2009). 분석은 설계 과정에 과학, 수학, 기술 등의 지식을 사용하는 것을 핵심으로 하고, 종합에서는 문제의 답(예, 산출물의 제작)을 찾기 위해 주어진 정보의 통합과 모델링/시작품 제작의 응용 과정을 포함한다. 공학적인 설계 기반의 문제 해결을 통해 얻어진 과학, 수학, 기술 관련 지식들은 STEM과 관련된 교과 지식의 전이(knowledge transfer)를 증가시키고, 통합적 지식의 응용에 대한 이해를 높여준다(Burghardt & Hacker, 2004; Carroll, 1997; Hacker & Burghardt, 2004; Kwon & Park, 2009; Kwon, Park & Lee, 2009; Smith & Burghardt, 2007).

우리나라 학생들은 과학에서 기초 탐구와 통합 탐구 과정요소를 초·중·고등학교부터 학습한다. 그러나 문제해결 과정을 포함한 공학적인 설계 과정은 잘 다루어지고 있지 않다. 탐구 과정과 설계 과정이 정확하게 일치하지는 않지만 서로 상응하여 설명될 수 있다(Lewis, 2006). 이 연구에서 개발하려는 STEM 교육 모형은 공학적인 설계 과정의 핵심 요소(설계, 제작, 테스트, 적용)와 과학 탐구 과정 요소(관찰, 분류, 변인 통제, 자료 변환, 등)를 사용한다.

STEM 교육 모형 개발에 관한 선행 연구를 살펴보면, Moon(2008)은 초·중·등학생들을 위하여 사전공학교육 STEM 프로그램을 개발하였고, Bae와 Geum (2010b), Bae (2011)는 공업계 고등학생들과 중학

교 학생들에게 적용 가능한 활동 중심의 STEM 교육 프로그램 모형을 개발하였다. 또한 Cho *et al.*(2011)은 화학 영역을 중심으로 STEM 발명 교육 프로그램을 개발하였고, Lee와 Rho(2011)는 기술/공학적인 문제 해결을 중심으로 STEM 교육 프로그램을 개발하였다.

다음으로 STEAM 교육 모형 개발에 관한 선행 연구로는 큐빅 모형(Kim, 2011)과 Ewha-STEAM 융합 모형(Kim *et al.*, 2012)이 있다. 큐빅 모형은 '학문 통합 방식', '학교급', '통합 요소'라는 세 개의 축으로 구성되어 있고, STEAM 교육의 체계적인 이해와 적용을 위해 이론적인 틀을 제시하고 있으며, 융합 인재가 갖추어야 할 핵심 지식, 핵심 역량을 기초로 방향성과 융합 요소를 도출하였다.

국외의 경우는 Yakman(2008)이 제시한 STEAM 피라미드 모형이 있다. 이 모형은 과학, 기술, 공학, 예술(예, 미술, 언어, 교양, 철학, 심리학, 역사 등)과 수학의 내용 영역을 구분하여 포함하고 있다.

앞선 선행 연구를 살펴보면, 과학 교육의 특성을 반영한 STEM/STEAM 교육 모형 개발이 미흡하다. 따라서 이 연구에서는 과학 교과 측면에서 융합 교육을 활성화하고, 과학 탐구와 설계 기반의 문제해결에 초점을 둔 우리나라 교육 환경에 적합한 STEM 교육 모형을 개발한다.

## 2. 연구의 목적

이 연구의 주요 목적은 과학 탐구와 공학적인 설계 기반의 통합적 STEM 교육 모형을 개발하는 것이다. 이 교육 모형은 과학을 중심으로 하는 STEM 교육 프로그램 개발을 위한 틀(framework)과 절차 및 프로그램 예시까지 제안하는 것을 연구 내용으로 한다.

## 3. 용어의 정의

### 가. 통합적 STEM 교육

통합적 STEM 교육(Integrative STEM Education)은 과학, 기술, 공학, 수학으로 구성된 STEM 교과 중 두 가지 이상의 교과 사이의 내용과 과정을 체계적이고 의도적으로 통합하는 교육 접근 방식으로 적어도 기술 또는 공학의 한 영역을 포함해야 한다(Sanders, 2006, 2009, 2011). 통합적 STEM 교육은 기술/공학적인 설계 기반의 학습에 초점을 두고 있으며, 학교에서 STEM 영역 이외의 언어, 사회, 예술, 체육 등의 교과와 통합을 통해 더 활성화 되고 효과가 더 향상될 수 있다(Sanders & Wells, 2011). NSF에서도 STEM이 수학, 자연과학, 공학, 컴퓨터와 정보과학이라는 범위뿐만 아니라 심리학 같은 사회과학과 경제학, 사회학, 정치학의 범주도 포함하고 있다고 정의한다(NCES, 2009).

### 나. 융합인재교육(STEAM) 교육

MEST(2010)는 교육과 과학기술의 융합 시너지를 활용한 세계적 과학기술인재를 양성하기 위해 초·중·등 수준에서부터 STEAM 교육을 강화한다고 발표하였다. 이에 따라 한국과학창의재단은 STEAM 교육을 '융합인재교육'으로 명칭을 확정하였다. 융합인재교육(STEAM)은 미국을 비롯한 많은 선진 국가에서 과학 기술 분야의 인재 양성을 위해 실시하고 있는 STEM 교육에 Arts(예술) 부분이 통합된 교육 접

근 방식이다. 이는 Sanders(2009, 2011)의 ‘통합적 STEM 교육’에서 추구하는 방향과 일치하며, STEM 교육과 다르게 Arts(인문-예술) 부분이 구분되어 강조되어 있다. 이 연구에서 제시하는 교육 모형은 Arts에 대한 부분이 통합되어 있지만, 과학 교과를 중심으로 주제를 선정하고 의도적으로 과학과의 특성을 반영시키고 있으므로 ‘통합적 STEM 교육’으로 일반화하여 사용하였다.

## II. 연구의 방법

과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형을 개발하기 위해 STEM 교육 관련 문헌과 프로그램을 분석한 후 하위 요소를 도출하여 모형을 개발하고 내용 타당도 검증의 절차를 거쳤다. 선행 연구에서 과학기술 공학수학의 내용과 탐구 및 문제해결 과정을 분석한 후 STEM 교육 모형에 포함되어야 할 요소를 선정하여 모형의 준거를 제시하였다. 설정된 준거에 따라 과학 탐구 중심의 모형을 구성하여 과학교육, 기술교육, 수학교육, STEM 교육 전문가의 타당도 검증을 받아 최종 모형과 틀을 설정하였으며, 개발된 모형과 틀을 적용하여 교육 프로그램을 개발하였다. 구체적인 연구의 방법을 제시하면 다음과 같다.

### 1. 문헌연구

과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형을 구성하기 위하여 1991년부터 2011년 2월까지 게재된 국내외 통합교육, STEM 교육 관련

프로그램 및 이에 관한 학술지 논문과 학위논문을 수집하였다. 검색은 ERIC과 한국교육학술정보원 등에서 문헌 검색의 주제어(key word)로 통합 교육, 수과학 통합, 과학 통합, 주제중심통합, STS, Integration, Integrated education, Integrative education, TSM, MST, STEM education, Design & Technology 등을 사용하였다. 검색된 논문 중에서 이론적 배경을 구축하기 위해 수과학 통합, 통합교육, STS 통합 등에 관한 메타연구 논문과 과학 탐구 중심의 통합적 STEM 교육 모형을 설정하기 위해서 과학과 통합된 교과 영역, 탐구 및 문제해결 과정, 설계 과정을 진술한 학술지 논문 146편과 학위논문 14편, 보고서 1편을 검토하였다(Table 1). 국내의 학위 논문은 STEM 교육을 핵심적인 연구 주제로 다루고 있는 논문을 대상으로 하였다. 문헌 조사 시점에 이미 학위 논문의 일부 또는 전부가 학술지에 게재된 경우에도 학술지의 경우 일반적으로 지면이 한계가 있어서 상세한 개발 과정, 연구 결과, 개발된 프로그램 등이 포함되어 있지 않기 때문에 중복해서 분석하였다.

문헌자료의 분석은 통합교육에 대한 분석과 같은 방법으로 교과 영역, 연구 대상, 연구 내용의 3가지 측면으로 구분하여 분석하였다. 추가적으로 미국의 STEM 교육의 초기 산출물인 TSM(Technology, Science and Mathematics) 프로그램(LaPorte & Sanders, 1996), ITEEA(International Technology and Engineering Educator Association)에서 개발한 ‘Engineering by Design’ 프로그램을 분석하여 각 프로그램의 특징이 모형에 반영될 수 있도록 하였다(ITEEA, 2009).

Table 1. The Selected journals of domestic and foreign periodical literature

Domestic literature	Number of journals	Foreign literature	Number of journals
Journal of the Korean Association for Research in Science Education	16	Journal of Research in Science Teaching	12
Journal of Korean Earth Science Society	4	International Journal of Science Education	9
Journal of Korean Elementary Science Education	13	Science Education	8
Journal of Curriculum Integration	6	Mathematics Teaching	3
Mathematical Education	12	Journal of Science Education and Technology	2
Korean Journal of Technology Education	3	School Science and Mathematics	5
Journal of Korean Institute of Industrial Education	2	Science Scope	4
Journal of Korean Practical Arts Education (ISSN : 1229-0467)	4	International Journal of Technology and Design Education	12
Journal of Korean Practical Arts Education (ISSN : 1226-8658)	6	Journal of Technology Education	9
Journal of Engineering Education Research	2	Technology and Engineering Teacher	14
Dissertation, Report(1)	11	Dissertation	4
Total	79	Total	82

## 2. 전문가 타당성 평가

이 연구에서 개발된 STEM 교육 모형은 문헌 분석 결과에 근거하여 연구팀 세미나를 거쳐 1차 모형의 초안을 완성하였고, 모형 구축 후 전문가 집단으로부터 내용 타당도 평가를 받았다. 2011년 1월부터 7월 까지 매주 1회 정도의 세미나를 거쳐 모형을 완성하였으며, 완성된 모형에 대해 전문가 면담(focus group interview)을 3차에 걸쳐서 실시하여 내용을 수정·보완하였다. 타당도를 평가한 전문가 그룹은 통합교육 또는 STEM 교육 연구를 수행한 경험이 있는 전문가 9인과 통합교육을 실천하고 있는 석·박사학위 과정의 현직교사 8명으로 구성하였다. 참여한 분야는 과학교육 2명, 수학교육 2명, 기술교육 2명, 미국의 STEM 교육 3명이며, 현직교사는 과학교사 7명, 수학교사 1명이다.

1, 2차 전문가 인터뷰에는 13인의 전문가가 참여하였고, 3차 전문가 인터뷰에는 미국의 STEM 교육 전문가 3인을 포함하여 17명이 참석하였다. 전문가 면담에 추가하여 이 연구에서 제시하는 모형에 대한 내용 타당도를 검증하기 위해 Lawshe(1975)의 내용타당도 비율(CVR: content validity ratio)을 사용하여 계산하였다. 내용 타당도 조사 내용은 ‘과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형의 정의(개념)’, ‘모형의 구성 요소’, ‘모형의 단계와 세부 요소’로 3가지 항목으로 구분하였다. 내용타당도 평가는 전문가 그룹 17명 중 국외 전문가 3명과 과학교사 2명을 제외한 12명에게 의뢰하였다. 내용타당도를 구하기 위한 전문가의 수가 12명이므로 최소 CVR 값은 0.56을 기준으로 타당성 여부를 판단하였으며, 5단계 리커트 척도의 설문지 중 4점(약간 타당하다)과 5점(매우 타당하다)에 응답한 비율을 가지고 계산하였다(Lawshe, 1975).

## 3. STEM 교육 프로그램의 개발 및 적용

개발된 STEM 교육 모형을 적용하여 초·중등학교의 현장에서 사용할 수 있는 6개의 STEM 교육 프로그램을 개발하였다. 프로그램의 주제는 과학적 탐구와 공학적 설계를 통해 문제 해결을 경험할 수 있고 학생들의 흥미를 유발할 수 있고 실생활과의 관련성에 초점을 두었다. 개발하는 차시는 학교 교육 현장의 실정을 고려하여 한 주제에 기본적으로 6차시로 결정하였다. 개발 시기는 교육 모형의 개발과 동시에 진행하여 2011년 10월까지 완료하였으며, 개발 기간 동안 1~2주에 1회 정도의 연구팀 세미나를 통하여 체계적으로 개발하고 수정·보완하였다. 세미나에는 모형 개발에 참여한 전문가 3인과 석·박사학위 과정의 현직교사 8명이 참여하였다. 1차 초안이 완성된 후에 2011년 5월부터 프로그램별로 학교 학생들에게 예비 투입을 실시하였다. 예비 투입을 통하여 학생들의 과학 탐구 수행의 정도, 공학적 설계 기반의 STEM 교육 프로그램 이해 정도, 단계별·차시별 시간 소요, 교과 내용 수준, 학생들의 반응 등에 대한 정보를 수집하여 수정·보완하였다.

2011년 6월에는 국외의 STEM 교육 전문가(교수) 3인과 STEM 교육 관련 국내 전문가와 현장 교사 5인을 대상으로 프로그램을 시연하고 자문을 받았다. 2011년 12월에 현장 교사들을 대상으로 실시한 STEAM 교육 직무 연수에 적용한 후 피드백을 받고 STEM 교육프로그램을 최종적으로 개발하였다. 개발된 프로그램은 K 교육청과 D 교육청의 위탁을 받아 2012년, 2013년 융합인재교육 기초과정 직무 연수 및 학교 현장에 적용하였다.

## III. 연구의 결과

### 1. 문헌 분석의 결과

가. STEM 교육의 이론적 배경, 연구의 역사적 고찰 및 동향

#### 1) 이론적 배경

공학 설계 기반의 STEM 교육은 인간의 심리학적 기능을 행동, 인지적 혹은 개인적 요인, 역동적 상호작용을 통해 설명한 사회인지이론(social cognitive theory)에서 이론적 배경을 찾아볼 수 있다(Bandura, 1986, 1991, 1997, 2001; Burney, 2008; Wang & Lin, 2007).

STEM 교육은 사회적 과정으로써의 교수학습과 자기효능감(self-efficacy)에 초점을 두고 있다. 자기효능감은 특정 과제를 수행하는 개인의 능력에 대한 자신감의 정도를 의미하는 것으로, 지각된 자기효능감은 학습의 성취도에 긍정적으로 작용한다(Bandura, 1986, 1997).

선행 연구 결과에 의하면, STEM 교육은 자기효능감 향상에 매우 효과적이다. 특히 STEM 관련 지식의 사용과 적용에 자신감을 향상시키고 STEM 관련 직업 선택에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 조사되었다(Austin, 2009). 또한 STEM 교육은 사회적 상호작용과 협동에 바탕을 두고 있다(Fitzgerald, 2004; Frazier & Sterling, 2008; Hutchinson, 2002). Kolodner *et al.* (2003)는 설계 과정이 학생들의 협동 능력을 향상시킨다는 연구 결과를 보여주었고, Venville *et al.* (2004)는 STEM 교육의 가장 큰 장점은 학생들의 창의성과 협동 능력을 향상시키는 것이라고 강조하였다.

학생들은 교과 지식을 단편적으로 기억하는 것보다 문제 해결과정을 통해 습득하면 오래 기억할 수 있다. 문제 해결과정을 통해 스스로 지식을 구성할 수 있고, 학습자에게 의미 있고, 흥미 있는 학습과정을 경험할 수 있다(Bybee, 1985; Kim & Lee, 2003; Lou *et al.*, 2010). 아울러 Vygotsky의 인식론적 측면에서 살펴 보면 STEM 교육에서 교사는 학생들이 문제 해결에 능동적으로 참여할 수 있도록 유도하고 학생과의 상호작용을 통해 흥미를 유발하고 의미 있는 협동학습이 될 수 있도록 도와주는 존재이다. 공학적 설계 기반의 문제를 해결할 때 교사가 주도적으로 진행하는 것이 아니라 학생들의 지식과 경험을 바탕으로 다양한 접근 방법을 통해 문제를 해결할 수 있도록 안내하거나 도와주며, 학생들이 테스트와 재설계 과정에서 경험할 수 있는 실패를 통해 배울 수 있도록 격려하는 것이 중요하다.

#### 2) STS 교육

과학 교육과 STEM 관련 통합의 동향은 STS(Science-Technology-Society) 교육에서 찾아 볼 수 있다. STS는 1960년 후반에 미국에서 시작된 대표적인 통합 교육이다. STS란 용어는 Ziman(1980)의 저서 ‘Teaching and Learning about Science’에서 처음 사용되었고, 과학 내용을 기술, 사회와의 상호작용을 통해 가르치는 것을 의미한다. STS 교육에서 학생들은 사회 속에서 인간이 발달시킨 기술의 이로운점, 문제나 이슈 등에 대해 학습하고 이와 연관된 과학 지식을 통합적인 관점에서 이해하게 되며, 과학적, 기술적 소양을 함양하게 된다(Bybee, 1987, 2000; Choi, 1994, 1996; Hofstein, 1988; Yager, 1992).

우리나라에서는 1990년대 이후에 STS의 개념, STS 프로그램 분석, STS 프로그램의 적용과 효과, STS에 대한 인식 조사 등의 다양한 연구가 이루어졌다(Choi, 1997; Hong, 2001; Kwon, 1991). 6차 교육과정에는 실생활과 연관된 과학, 기술, 사회의 주제를 다루는 공통과학 교과가 신설되었고, 7차 교육과정에서 제시된 과학과 교과의 성격과 교육 목표에 ‘환경과 실생활 문제를 스스로 발견하고 해결하려는 태도를 기르도록 한다.’ ‘과학이 기술의 발달과 사회의 발전에 미치는 영향을 바르게 인식한다.’ 등의 항목이 명시되어 있어 STS 교육의 철학이 반영되었음을 알 수 있다(MOEHRD, 1999, 2001).

### 3) MST, TSM, IMAST 교육

국제기술교육학회(ITEA)에서 제시한 기술적 소양 기준(Standard for Technological Literacy)은 기술교육을 통해 전달될 교육내용이 20개의 기준으로 제시되고 있다(ITEA, 2000). 이 기준 중 기술의 특성을 규정하면서 과학, 수학, 사회 등과 같은 다른 학문과의 연계와 통합적 노력을 함께 설명하고 있으며 기술교육의 현장에서도 이와 관련된 적극적인 실천이 있어왔다(Kwon *et al.* 2009). 또한 미국 국가과학교육 기준(NRC, 1996, 2000, 2002, 2012, 2013) 및 학교 수학의 원리와 기준(NCTM, 1989, 1991, 1995, 2000)에서도 기술, 과학, 수학의 관련성에 대해 언급하고 주요 기준으로 제시하고 있다. 미국에서는 MST(Mathematics, Science and Technology), TSM(Technology, Science and Mathematics), IMAST(Integrated Mathematics, Science and Technology) 등의 명칭으로 학문을 통합시키려는 시도가 이루어졌으며 1990년대부터 버지니아 공대를 중심으로 STEM 교육의 명칭으로 과학, 기술, 수학, 등의 학문 간의 통합적 노력에 대한 체계적인 시도가 이루어졌다(Sanders, 2006).

MST는 학생들이 수학, 과학, 기술적 지식을 응용하여 실제 세계와 연관된 문제를 해결할 수 있는 교육과정으로 구성되고(Lomask, 1996; NYSDE, 1995), 설계(design)와 문제해결 과정을 포함한 체험활동 중심으로 되어 있다. MST는 주로 비행기, 배, 낙하산 만들기, 질병의 전이, 기어 시스템, 묘목, 생명 직업 탐구, 생명윤리 등의 주요 주제를 중심으로 뉴욕주에서 수학, 과학, 기술 통합 프로그램으로 적용되었다.

LaPorte & Sanders(1996)는 파워보트, 복합 빔, 캐빈수송, 자기부상, 식물기르기, 로켓의 6개의 주제를 중심으로 TSM 프로그램을 개발하였다. TSM 프로그램은 설계하기-제작하기-평가하기의 기술공학적 설계 과정 단계를 통해 각 각의 주제와 관련된 기술, 과학, 수학의 개념을 학습할 수 있도록 하였다(LaPorte & Sanders, 1993, 1996). TSM은 기술, 과학, 수학 교육과정의 내용을 통합하여 수학, 과학, 기술 교과에 대한 흥미, 호기심, 수행 중심, 문제 해결력을 기르고(Kwon & Lee, 2008) 현실세계의 문제를 해결하기 위하여 활동중심의 체험 활동을 위주로 설계 과정을 경험하여, 궁극적으로는 수학적, 과학, 기술적 교양을 기르기 위한 통합 프로그램이다(Sanders, 2011).

끝으로 Illinois State University에서 개발한 IMAST(Integrated Mathematics, Science and Technology)는 6-8학년 대상의 프로그램으로 건강, 식량, 생산, 쓰레기 관리, 에너지 변형, 제조, 예측, 동물 거주지, 인류 정착지, 체제, 통신회로 등 10개의 주제로 구성되어 있다(Center for Mathematics, Science, and Technology, 2011).

### 나. 우리나라의 STEM 교육 연구

우리나라에서는 Kim(2007)에 의해 STEM 교육이 소개되었고 초기 STEM 교육 연구는 실과와 기술교육 중심의 프로그램(예, MST, TSM) 개발과 적용이 주를 이루었다. STEM 교육에 대한 선행 연구를 살펴보면 프로그램 개발에 관한 연구(Bae, 2009; Bae & Geum, 2010b; Byeon, 2010; Choi *et al.*, 2008; Jang, 2008; Jang, 2009; Moon, 2008; Song, 2010; Yang, 2009)와 인식 조사 연구(Bae & Geum, 2010a; Lee, 2011)가 주를 이루고 있다. Choi *et al.*(2008)는 STEM 프로그램이 영재 학생들의 정의적 영역에 미치는 효과에 관한 연구를 하였고, Moon(2008)은 STEM을 기반으로 한 예비 공학프로그램이 학생들의 공학에 대한 태도 형성에 어떠한 영향을 미치는지에 관한 연구를 하였다. 또한 Bae와 Geum(2010a)은 공업계열 고등학교 회공교사의 STEM 교육에 대한 인식조사를 실시하였다.

우리나라의 STEM 연구와 외국의 STEM 연구를 종합해보면 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 과학과 수학의 탐구활동보다 기술교육 중심의 프로그램이 주를 이루고 있다. STEM 교육에서 핵심 영역인 과학 및 수학의 학습과 탐구 활동 등은 중요하게 다루어지지 않는다. 과학의 핵심인 과학 탐구 보다는 과학의 개념, 원리 등의 단편적인 지식의 적용을 강조한 프로그램이 주를 이루고 있다.

둘째, 일반 교과에서 강조하고 있는 문제 중심 학습의 경우 비구조화된 문제 해결을 위해 관련 지식을 통합적으로 활용하여 해결책을 제시한다. 복잡한 실생활 문제 해결과 유사하도록 조직되고 집중된 경험학습이다(Torp & Sage, 2002). 그러나 통합적 STEM 교육에서는 교과 내용과 과정이 의도적으로 구성되며, 설계와 제작의 단계가 체계적으로 반영되는 설계 기반의 문제해결 학습이다(Sanders, 2006, 2009). 다시 말하면, 문제를 해결하는 방법과 학습의 과정 중에 명확한 과학적, 기술공학적, 수학적 지식과 방법이 미리 계획되어 있어야 하며, 설계와 제작의 단계에 관련 교과의 내용이 체계적으로 적용되어야 주어진 문제를 잘 해결할 수 있도록 구성되어 있는 것이다(Lee *et al.*, 2012). 이 연구에서는 STEM 관련 교과의 내용과 과학, 기술, 공학, 수학의 문제해결 과정을 과학 탐구를 중심으로 포괄할 수 있는 통합적 STEM 교육 모형을 제안하였다.

## 2. 과학 탐구 중심의 통합적 STEM 교육 모형

통합적 STEM 교육이 과학 교과 중심으로 실행되기 위해서는 과학, 수학, 기술 교과의 내용과 과정을 통합할 수 있는 다른 접근 방법이 필요하다. 이 연구에서 도출된 과학 탐구 중심의 통합적 STEM 모형은 선행 연구와 관련 문헌 분석을 통하여 도출된 결과를 바탕으로 내용과 문제 해결 과정의 두 가지 하위 요소로 구성하였다(Figure 1). 이 둘 두 가지 하위 요소는 과학 탐구를 중심으로 새로운 지식과 경험의 생성을 위해 상호작용하며 서로 연계되어 있다(Lee *et al.*, 2012).

이 모형은 공학적 설계와 과학 탐구를 중심으로 구성되어 있으며, 문제를 해결해 나가면서 과학, 기술, 공학, 수학, 예술의 내용 지식을 체계적으로 학습하고, 설계와 제작의 과정을 통해 과학적 탐구의 방법과 기능을 학습하거나 적용하게 된다.

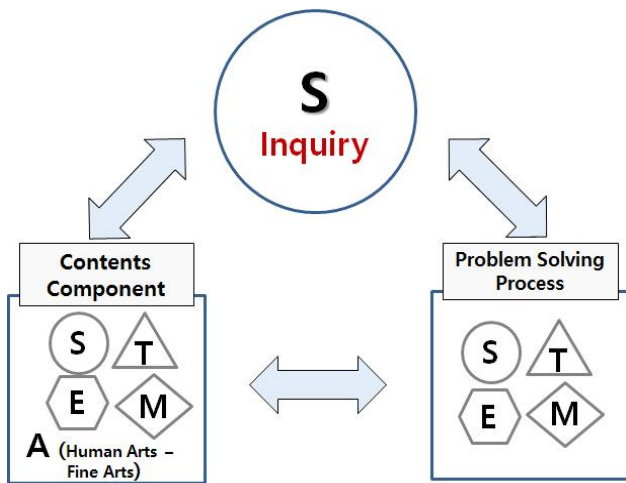


Figure 1. Scientific Inquiry-based integrative STEM education model (Lee et al., 2012, p. 136)

설계를 통해 과학을 가르치는 것(teaching science through designing technology)은 설계 기술을 통한 과학(science by designing technology), 기술교육을 통한 과학(science through technology curricula) 등 다양한 용어로 사용되지만, 이러한 용어는 학생들이 과학을 학습하는데 있어서 기술적인 ‘설계와 제작’이라는 공통된 요소를 포함한다(Apedoe et al., 2008, Hughes, 2009; Lou et al., 2011; Roth, 1991; Sanders, 1999). 이 연구의 모형에서는 과정의 요소에 제작 활동이 반드시 포함되도록 한다. 이 모형의 구체적인 요소를 설명하면 다음과 같다.

가. 내용 요소

이 모형에서 내용 요소는 과학, 기술, 공학, 수학, 예술(Arts)로 구성되어 있다. 여기에서 예술은 언어(language arts), 체육(physical arts), 순수 예술(fine arts) 등과 연계된 학교의 다양한 교과(예, 사회, 역사, 음악, 미술, 체육 등)를 포함하기 때문에 Arts를 ‘인문-예술’이라 표시하였다. 과학, 수학, 기술의 내용 요소는 2009 개정 과학과 교육과정에서 제시된 개념, 지식 등을 기초로 한다. 공학은 “자연 세계의 산물을 인간에게 유용하게 변화시키기 위하여 과학적 원리와 기술적 방법을 응용하여 제품과 공정을 설계하고 개발하는 학문”으로 정의(Moon, 2008, p. 92) 될 수 있으므로 기술 교과 보다는 좀 더 전문화된 영역의 내용 (예, 전자 공학, 건축 공학 등) 요소와 설계를 통한 체계적이고 반복적인 문제해결 과정을 연계 시키는 수준에서 적용된다(NRC, 2012). 학생들의 수준보다 너무 어렵거나 전문적인 공학의 개념이나 지식은 지양하도록 한다. 아울러, 공학 설계나 설계 기반의 문제 해결 과정은 이 모형의 ‘내용 요소’가 아닌 ‘문제 해결 과정’의 핵심 요소로 적용된다.

나. STEM 교과의 문제해결 과정

1) 과학 탐구 과정

과학적 탐구는 자연 현상에 대한 의문을 관찰, 사고, 추리, 실험 등을 통해 현상을 조사하고 의문을 해결하는 통합적 과정이다(NRC, 1996, 2000). 이렇게 자연 현상을 이해하기 위해 조사하고 과학 지식을

생성하는 과정을 탐구 과정이라고 한다(Kwon et al., 2013; NRC, 2000, 2013). 우리나라 과학과 교육과정에서는 과학 탐구 과정에 따른 탐구 능력을 제시하고 있다(MEST, 2007, 2008, 2009). 기초 탐구 과정에는 초등학교 3학년부터 도입되는 관찰, 측정, 분류, 예상, 추리, 의사소통 등과 같이 비교적 간단한 탐구가 포함되며, 통합 탐구 과정은 문제인식, 가설설정, 변인통제, 자료해석, 결론도출, 일반화와 같은 높은 수준의 통합적 사고를 필요로 하는 유형의 탐구로 나누어진다. 기초 탐구 과정은 학생들이 학습 후에 새로운 상황으로 쉽게 적용할 수 있고, 통합 탐구의 경우 학습 하는데 시간이 걸리지만 지속될 수 있는 능력이며, 여러 분야에서 효과적으로 발휘될 수 있다(Lee et al., 2012).

탐구로서의 과학 수업은 내용과 과정의 유기적 관계, 즉 내용을 지닌 과정을 강조하며(Racow, 1986; Roth, 1993, 1995), 과학과 교수·학습 과정에서는 과학 지식과 과학의 과정을 분리하는 것이 아니라 과학 지식을 가르칠 때에는 과학 지식이 형성되고 검증되는 과정을 동시에 다루어야 한다(Chiappetta & Koballa, 2002; NRC, 1996, 2000). 이 모형에서는 공학적 설계에 필요한 지식, 개념, 원리 등을 학습하여 설계를 통한 문제해결에 의도적으로 학습한 지식을 적용할 수 있도록 구성한다. 아울러, 조건을 충족하는 최선의 산출물이나 결과물을 성공적으로 제작할 수 있도록 도구나 재료의 선택, 특성 파악 및 분석을 기초 또는 통합 탐구를 통해 실시한다.

2) 기술·공학적 문제해결 과정

설계(Design)를 중심으로 한 문제해결의 과정은 새로운 기술이나 제품의 개발에 자주 사용되고 있는 전략이다(ITEA, 2000). 또한 공학 분야에서 설계는 하나의 목적을 이루기 위한 의사결정의 과정으로 과학, 수학, 공학을 함께 적용해 원하는 문제를 해결하는 전략으로 인식되고 있다(Burghardt & Hacker, 2004; Fortus et al., 2004; Pearson, Young, 2002; Poster et al., 2006). 공학기술교육 분야에서는 공학적 설계 과정이 교사들을 위한 수업의 좋은 방법이자 학습을 위한 좋은 하나의 과정이기도 하여 공학기술 분야의 교사들에게 꼭 필요한 교수 방법으로 강조되고 있다(Burghardt & Hacker, 2004; Daugherty, 2009).

Karsnitz et al.(2009)는 기술을 인간의 설계된 세계(Human-designed world)를 이해하고 우리 개인, 사회, 그리고 환경에 미치는 그 영향을 이해하는 학문으로 보았다. 또한 ITEA(2000)는 기술에 대한 바람직한 이해, 건전한 태도, 실천적 능력이 우리 사회에 꼭 필요한 교양으로 기술적 교양(Technological literacy)이라고 명명하였다. Petroski(1996)는 기술은 예측과 분석의 과정보다는 문제해결의 과정에 더욱 집중하고 많은 시행착오를 겪을 수 있다고 보고 있으며, 이러한 기술적 문제해결의 과정에 설계는 좋은 방법이나 기술적 활동의 본질이라고 하였다(ITEA, 200, 2003; NAE, 2002, 2004, 2005). Harms & Janosz(2012)는 공학은 기술과 마찬가지로 인간이 만들어온 세상을 이해하고 창조하는 방식이며 과학, 기술, 수학 등의 지식들을 인간의 삶을 보다 향상시키기 위해 유용한 제품, 과정, 시스템을 만드는 것이라고 하였다. 특히 공학적 방법은 과학적 탐구와 수학적 분석과 다른 점으로 그 가격, 재료, 방법적 측면에서 최선의(best) 혹은 최적의(optimal) 해결책을 찾는 것이라고 하였고(Burghardt & Hacker, 2004), 공학은 재료와 구조, 에너지 문제와 같은 보다 높은 수준의 수학, 과학적 노력이 요구된다고 언급하였다(Petroski, 1996).

기술과 공학의 본질에 충실한 문제해결과 설계 과정이 교육적 상황에서 자주 사용하면서 이를 보다 체계적으로 적용하려는 활발하게 이루어지고 있다. 국제기술공학교육자협회(ITEEA)는 설계 과정에 기반한 STEM 교육 프로그램인 ‘Engineering by Design’을 개발하여 왔다. 개발된 프로그램은 몇 가지 특징을 가지고 있다. 이 프로그램은 학습자가 지식을 만들어 나간다는 구성주의 철학의 바탕 위에 기준 기반 교육과정(Standard-based Curriculum)의 프로그램을 강조하고 있다. 실제로 개발된 모든 프로그램은 수학, 과학, 기술, 등의 학교 교과과의 교육기준에 근거를 하고 개발되었다(Lee *et al.*, 2012). 또한, 목적적 과제 분석을 하여 성취 기준 중심의 평가 상위 모형을 만드는 Backward Design을 제시하였고(Wiggins & McTighe, 1998), 그 과정은 목표 설정, 평가계획수립, 교육과정과 수업활동 계획의 단계로 이루어진다. 이러한 교육 프로그램은 문제 중심 학습의 단계를 적용하고 있으며, 공학 설계 단계를 문제정의, 가능한 해결책 탐색, 가능한 해결책들의 평가, 고객(clients)과 아이디어에 대한 의사소통의 4가지로 제시하고 있다. 공학 설계 단계를 거치면서 교사는 학생들에게 설계하려는 것(object)에 적절한 원리와 지식을 알려주고, 설계 과정에 수학과 과학의 원리를 사용하여 논리적으로 접근할 수 있으며, 문제에 대해 자유롭게 표현할 수 있도록 해야 한다(Lee *et al.*, 2012).

기술공학의 설계 과정은 학자마다 다양한 단계를 제시하고 있으며 이 단계들이 수업 전략으로서 또는 학습의 과정으로서 이용되고 있다. Karsnitz *et al.*(2009)은 12단계의 설계 과정을 제시하고 있다(Figure 2). 이 과정은 수학 분야에서 다루는 Polya(1957)의 문제해결 과정의 핵심 요소와 유사하다. 수학적 문제해결은 문제의 이해, 계획의 수립, 계획의 실행, 반성 네 단계로 이루어지며, 첫 번째 단계는 해결하고자 하는 문제와 조건을 파악하고 그 문제의 조건을 분석해 보는 단계이다. 두 번째 단계는 유사한 문제의 관련성(또는 경험)을 파악하여 문제를 재진술하고, 문제의 핵심 개념을 탐색하는 것이다. 세 번째는 문제 해결에 풀이 계획을 실행하고 단계별로 점검하는 것이며, 마지막 단계는 결과와 논증 과정에 대한 검토와 문제의 적용 가능성을 확인하는 것이다. 이처럼 Polya(1957)의 수학적 문제해결 과정의 공통적인 요소가 기술공학적 설계 중심의 문제해결 과정에 반영된 것이다.

기술공학의 설계는 해결해야 할 문제를 정의하는 것에서부터 출발한다. 문제를 정확하게 정의하기 위해서는 주의 깊은 관찰이 요구되는데, 팀원들은 문제를 분류하고 해결책을 제한하는 방법으로 문제를 분석한다. 문제가 명확해지면, 브레인스토밍 단계를 거치게 되는데 이는 조원들 각자가 아이디어를 내고 해결책을 분류하여 정리한다. 다음 단계에서는 주어진 문제와 유사한 사례 또는 연구 결과에 대해 조사하여 아이디어를 수집한다. 가능성 탐색의 단계는 주어진 문제와 이전 단계에서 수립한 세부적 실행 요소들이 일치할 수 있는지를 검토한

후, 더욱 구체적인 해결 전략을 수집한다. 구체적인 해결 전략이 완성되면 그 전략을 도면으로 표현하고 프로토타입(prototype 또는 시작품)을 만든다. 제작된 프로토타입과 설계의 일치, 구동의 원활성, 설계도면의 수정이 요구되는 지 등을 평가한 후, 모든 요소가 갖추어진 결과물을 제작한다. 마지막으로, 결과물에 대한 발표의 시간을 가지고, 설계도를 포함한 보고서에 기술 설계 과정의 내용이 모두 포함 되도록 작성한다. 이 과정은 문제의 분석 및 정의 과정과 해결전략 제시 방법, 그리고 설계와 제작의 과정 및 수정하여 최종결론에 이르는 전체적인 과정에 대해 종합적인 토론을 하게 된다(Lee *et al.*, 2012).

이 연구에서 제시한 공학적 설계 기반의 문제해결 과정은 문헌 조사와 기존의 프로그램의 분석을 통해 그 단계를 4단계로 압축하였다. 공학적 설계 과정의 본질을 반영하면서 학교 현장에서의 적합성을 고려하여 체계적으로 적용할 수 있도록 4단계(분석-설계-제작-평가)로 구분하고, 각 단계별로 세부 요소를 정하였다.

### 3) 모형에 근거한 프로그램의 개발틀(framework)

과학 탐구 과정과 기술 공학적 문제해결 과정을 분석해 보면 공통적인 요소를 찾아볼 수 있다. 첫째, 문제(상황) 또는 조건을 인식하고 일반화하는 과정에 이르기까지 지식 생성이나 발견의 과정적 측면이 강조되고 있다. 둘째, STEM 교과를 학습할 내용은 실제 세계(real world)에서 일어나는 문제와 소재에 초점이 맞추어져 있다. 학생들에게 학문의 체계와 학습의 위계를 강조하는 것이 아니라 학습의 목표를 실생활과 연관된 문제를 해결하는 것에 두고 있다. 셋째, 과학 탐구 과정과 기술 공학적 문제해결 과정은 실험과 실습을 통하여 문제를 파악하고 해결한다. 과학에서 실험은 과학 지식과 탐구 과정을 학습하는 중요한 방법이다. 기술 공학에서도 실습은 문제를 해결하는 기본적인 과정이며, 설계와 제작의 단계를 필수적으로 포함한다. 이러한 세 가지 공통 요소를 반영하여 모형의 단계를 설정하였다. 이 연구에서 문제해결 과정은 과학, 기술 공학, 수학의 탐구 과정 및 문제해결 과정을 통합하여 분석(Analysis)-설계(Design)-제작(Build)-평가(Assessment)의 4단계로 구성하고, 영어 첫 자를 따서 'ADBA Model' 이라고도 부를 수 있다(Lee *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013). 이 모형의 단계에 따라 구체적 수행 내용인 세부 요소를 개발하였다(Table 2).

분석 단계에서는 주어진 문제 상황을 조건과 함께 이해하고 분석한다. 제시되는 문제는 설계를 통해 문제를 해결할 수 있으며, STEM 교과와 개념, 원리 등을 기초로 해당 교과와의 교육과정과 관련된 것이다. 특히, 학생 주도적인 문제해결 활동하며, 학생들의 흥미와 동기 부여를 위해 필요를 공감할 수 있는 주제나 소재를 중심으로 문제 상황을 구성한다(Lee *et al.*, 2012).

설계 단계에서는 문제를 해결하기 위해 관련된 자료를 수집하고

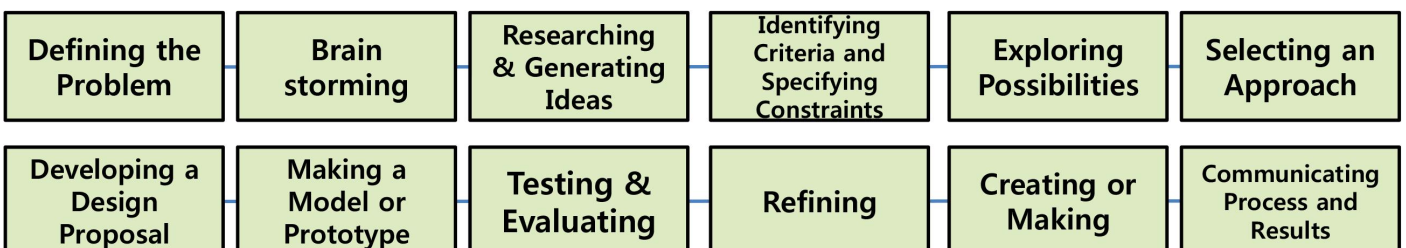


Figure 2. Technological/Engineering design process (Karsnitz *et al.*, 2009, p. 36)

Table 2. Stages, components, contents of scientific inquiry-based integrative STEM education model (Lee *et al.*, 2012, p.142)

Stage	Components	Contents			Process skills		
		Science(S)	Technology/ Engineering(T/E)	Mathematics(M)	S	T/E	M
Analysis	Identify and analyze problem						
	Collect data						
Design	Develop Idea						
	Design						
Build	Build						
	Test						
	Improve						
Assessment	Present, Communicate, Assess						

문제해결의 아이디어를 협의하며, 문제해결을 위해 필요한 과학적, 수학적, 기술/공학적 개념, 원리, 지식 등에 대해 학생들이 탐구, 조사 활동을 실시한다. 이러한 활동을 통해 학습한 지식은 최선의 문제해결안을 도출하는데 적용되며, 학생들의 상호 간 소통과 협의 과정을 통해 설계를 실시한다. 이 단계에서는 STEM 영역과 관련된 지식의 습득 뿐 아니라 과학 탐구 기능, 수학이나 기술/공학적 내용에 대해 학습할 수 있다(Lee *et al.*, 2013).

제작 단계는 전 단계에서 실시한 설계를 바탕으로 프로토타입(시작품)을 만들고, 테스트를 하여 문제의 해결 여부를 판단한다. 이 과정에서 문제점이 발견되면 재설계와 시작품 제작의 과정을 반복하여 개선할 수 있도록 한다.

마지막 평가 단계에서는 학생들이 문제를 해결한 후, 결과(산출물)와 해결 과정을 중심으로 구두 또는 포스터 발표를 실시한다. 이러한 발표를 통하여 학생들은 서로 다양한 문제해결의 접근 방법에 대해 비교하고 협의할 수 있는 기회를 제공한다. 교사는 학생들이 산출물을 제작하는 과정에서 과학, 수학, 기술 등의 개념이나 원리를 얼마나 잘 이해하고 적용하였는지에 대해 초점을 두고 다양한 방법(예, 산출물, 학생 발표, 작동 시연 대회, 개념 평가 등)을 통해 학생들의 성취에 관한 정보를 수집하여 피드백을 제공할 수 있다(Lee *et al.*, 2012). STEM 교육 활동에서의 문제해결 과정은 대부분 팀별로 이루어지는 협동 학습이기 때문에, 설계를 통한 문제해결의 작은 성과를 평가하고 문제해결에 대한 성공의 체험이 중요한 요소이다.

다. 타당도 검증 결과

이 연구에서 개발한 모형에 대해 세 가지 영역으로 나누어 전문가의 내용 타당도 검사를 실시하였다. 12명의 전문가에게 내용타당도 검증을 실시하였으므로, 내용 타당도 비율, 즉 CVR(Content Validity Ratio) 값은 0.56을 기준으로 타당성 여부를 판단하였다(Lawshe, 1975). 각 영역은 과학 탐구 기반의 STEM 교육 모형의 개념(정의), 모형의 구성요소, 모형의 단계와 세부 요소를 기술하고 5점 리커트 척도로 점수를 부여하도록 하였다. 조사 항목에 대한 평균, 표준편차, CVR값은 <Table 3>과 같다. 타당성을 조사한 모든 항목에서 최소값 이상을 나타냈으며, 제시된 모형이 조사 항목 별로 적합하며 타당한

것으로 판단할 수 있다.

Table 3. Results for evaluation of content validity

Items	Mean	SD	CVR
Concept and definition of the developed STEM Education Model	4.50	0.67	0.83
Components of the Model (e.g., contents, process skills)	4.42	0.67	0.83
Stages and sub-components of the Model	4.17	0.72	0.67

3. 모형을 적용한 프로그램의 개발 결과

이 연구에서 개발된 모형을 적용하여 실제 교육 현장에서 적용할 수 있는 6개의 STEM 교육 프로그램을 개발하였다(Lee *et al.*, 2012). 개발된 교육 프로그램은 초등학생과 중학생을 대상으로 개발되었고, 학교급의 차이는 교육과정을 기준으로 하였다. 프로그램에서 적용되는 개념은 학교급의 수준에 따라 추가하거나 삭제함으로써 적용 대상의 학교급을 조정할 수 있다. 개발된 프로그램은 6차시 기준으로 개발하였으며 학교 현장의 상황과 사정에 따라 차시를 조정할 수 있으며, 프로그램에 참여하는 학생수는 3~4명을 기준으로 하였다.

개발된 프로그램은 일반 학교 현장뿐만 아니라 과학 영재, 발명 수업 등의 교육에서도 활용될 수 있도록 주제를 선정하였다. 학생들이 분석-설계-제작-평가의 과정을 수행하면서 주제 속에 포함된 과학, 기술·공학, 수학의 개념과 원리를 탐구 또는 학습하여 적용할 수 있도록 하였다. 아울러, 개발된 학생용 활동지를 통해 수행의 과정을 기록하고 발표·토론하는 활동을 공유함으로써 의사소통능력을 향상시키고, 성공이나 실패의 경험을 공유하고 모듈별로 서로 다른 접근 방법과 다른 개념의 적용을 통해 문제 해결 능력을 향상시킬 수 있도록 하였다.

6개의 개발된 프로그램의 주제는 ‘날아라 공기도넛! 넘어져라 팻! 팻!’, ‘보다 튼튼한 다리 구조물 만들기’, ‘태양광 프로펠러 자동차’, ‘레이저 라우터 게임’, ‘투석기 만들기’, ‘호버크래프트’이며, 프로그램의 개요는 다음과 같다(Lee *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2013).



- 날아라 공기도넛! 넘어져라 팻!팻!: 이 프로그램은 공기를 핵심 주제로 한다. 공기의 힘은 아주 약하기도 하지만 태풍이나 토네이도의 경우 나무를 뿌리째 뽑거나 간판을 쓰러뜨릴 만큼 무서운 힘을 가지고 있다. 이러한 공기에 대해 과학적으로 탐구하고 이를 바탕으로 공기대포를 설계하고 제작함으로써 과학에 대한 흥미를 높이고 이와 관련된 개념 학습을 할 수 있다. 공기대포를 제작하는 과정에서 도형, 수와 연산, 공기의 흐름에 관한 파스칼과 베르누이 법칙 등을 학습하고 적용할 수 있으며, 도전 과제를 통하여 규칙의 준수, 의사소통 능력 등을 함양할 수 있다.
- 보다 튼튼한 다리 구조물 만들기: 이 프로그램은 힘과 구조를 주요 주제로 하며, 1994년 10월 21일 무너진 성수 대교를 동기 부여로 제시한다. 성수 대교는 철골 구조물로 만들어졌으나 부실 시공으로 인하여 다리 위의 하중을 견디지 못하고 무너졌다. 이 프로그램은 다리의 종류, 구조물에 대한 기초적인 내용을 학습을 하고 구조물에 작용하는 힘, 힘의 균형, 분산 등에 대해 스파게티면을 이용하여 과학적으로 탐구한다. 최종적으로 보다 가벼우면서 튼튼한 다리 구조물을 설계한 뒤 제작한다. 제작한 다리 구조물의 형태와 구조에 대해 추를 사용하여 테스트를 실시하고 재설계와 수정보완을 한다. 비용의 계산, 여러 가지 힘(응력, 변형력 등), 무게와 변형률과의 관계 그래프 그리기 등 과학, 수학의 개념과 원리 등을 학습할 수 있다.
- 태양광 프로펠러 자동차: 이 프로그램은 태양광 에너지와 자동차에 대해 다루고 있다. 화석 연료의 문제점과 위기 상황에 대해 다루고 태양광 및 무공해 대체 에너지에 대해 조사한다. 학생들은 태양광을 이용한 자동차를 설계하여 태양 에너지, 에너지의 변환, 자동차의 구조 등에 대해 학습한다. 과학적 탐구를 통해 에너지, 에너지의 변환, 관련 변인 등에 대해 기초적인 지식을 학습한 후에 조건에 적합하고 창의적이고 심미성을 갖춘 태양광 프로펠러 자동차를 설계 및 제작한 후에 도전 과제를 실시한다. 이 프로그램을 통해 수학(전기에너지-태양전지판 거리 관계 그래프 등), 과학 개념(전기에너지, 빛에너지, 에너지 전환 등) 등을 산출물의 제작에 적용할 수 있고 협동심, 의사소통력, 배려심 등을 향상시킬 수 있다.
- 레이저 라우터 게임: 이 프로그램은 레이저 광통신과 네트워크 구성을 주요 주제로 하고 있다. 컴퓨터, 스마트폰 등의 등장으로 통신 기술과 IT 산업이 발달하고 세계가 하나의 네트워크 체제로 구성되어 가고 있다. 학생들은 레이저의 성질, 빛의 특성(예, 직진, 반사, 굴절 등), 렌즈/거울을 통과하는 레이저의 자취에 대해 과학적 탐구를 실시하고 수학에서의 도형의 특징, 기술 및 공학에서의 정보 통신에 대한 내용을 적용하여 설계하고 제작한다. 도전 과제를 통해 학생들의 흥미를 높이고 과학적 개념(반사, 굴절 등)을 수학(입사각, 반사각 등)적으로 분해하는 등의 문제 해결력을 향상시킬 수 있다.
- 투석기 만들기: 이 프로그램의 핵심 소재는 투석기이다. 투석기는 학생들에게 인기 있었던 영화(예, 반지의 제왕) 속에서 찾아

볼 수 있으며, 사정거리가 길고 관통력이 강하여 파괴적인 공성 무기이다. 학생들은 먼 거리의 목표물을 명중할 수 있는 투석기를 설계하여 제작하는 활동을 통하여 탄성력, 지렛대의 원리, 물체의 운동, 투석체의 무게에 따른 발사 거리 등에 대해 과학적인 탐구를 실시한다. 아울러, 힘, 운동, 속력 등 수학과 과학의 기본 개념뿐만 아니라 포물선 운동에 작용하는 힘과 운동, 이차함수 등까지 확장하여 다룰 수 있다.

- 호버크래프트: 이 프로그램의 핵심 소재는 호버크래프트이다. 호버크래프트는 압축 공기를 뿜어내면서 육지와 수면 위를 다닐 수 있는 에어쿠션선이다. 호버크래프트는 팬을 돌려 에어쿠션을 생성하여 지면 효과를 통해 선체를 띄우게 된다. 학생들을 이러한 원리를 학습하고 일상 생활에서 쉽게 찾을 수 있는 재료(예, 우드락, 지퍼백 등)의 특성을 파악한 후 호버크래프트를 설계하고 제작한다. 학생들은 호버크래프트와 관련된 과학적 개념과 원리, 하중, 중력, 전기 회로, 모터의 작동, 프로펠러의 원리 등을 탐구하며, 무게 중심, 속력 계산 등 수학 개념을 적용할 수 있다.

개발된 프로그램 중에 기존의 STEM 교육에서 많이 사용하고 있는 ‘자동차를 소재로 통합적 STEM 교육 모형을 적용하여 개발한 ‘태양광 프로펠러 자동차’ 교육 프로그램을 예시로 제시한다.

태양광 프로펠러 자동차는 생활 속에서 쉽게 접할 수 있는 자동차와 최근 친환경 에너지에 대한 내용을 다루고 있다. 사람과 물자의 수송을 위해 탄생한 자동차는 처음 발명된 이래로 다양하게 발전하였고 사람의 생활을 매우 편리하게 만들어 주고 있다.

그러나 편리함을 제공하는 자동차는 부정적인 측면도 가지고 있다. 자동차 운행을 위하여 사용하는 화석 연료로 인하여 공기가 오염되고, 지구 온난화의 원인이 되는 탄소를 배출하여 기후 변화에도 영향을 주고 있으며, 화석 연료는 양이 한정되어 있기 때문에 새로운 에너지원의 개발이 필요하다. 따라서 학생들은 이 주제를 통하여 환경, 에너지, 자동차와 관련된 개념과 원리 등을 탐구할 수 있다(Lee et al., 2012). 학생들에게 주제와 관련된 STEM 교과(과학, 실과, 기술, 수학)의 내용을 체계적으로 안내할 수 있도록 2007 개정 및 2009 개정 교육과정의 내용을 분석하였다(Figure 3).

초중고 학교급을 대상으로 2007, 2009 개정 교육과정을 분석한 결과, 문제 상황에 제시되는 조건(예, 직진하고 빨리 가는 자동차)에 부합하는 태양광 자동차 제작에 필요한 다양한 과학, 수학, 기술 공학의 내용 요소를 포함하고 있다. 학교급 별로 적용되는 관련 개념을 선별하면 초등학교는 물론 중·고등학교 과학, 수학, 기술의 개념을 학습하는데 적합한 소재임을 확인할 수 있다.

구체적으로 살펴보면, 이 프로그램에는 에너지, 마찰력, 속력, 전기 회로, 태양의 고도, 계절의 변화, 대기 오염 등과 관련된 과학적 개념이 포함되어 있고, 태양전지판의 작동과 관련하여 태양광의 입사 각도와 전지판의 면적에 따른 에너지의 변화에 관한 기초 탐구, 태양광 에너지가 프로펠러를 작동시키는 에너지 전환 탐구, 무게 중심에 따른 운동 원리 탐구, 자동차의 운동과 관련된 다양한 변인 탐구(예, 무게 중심), 재질의 특성에 따른 마찰력 탐구 등의 과학적 탐구 활동을 포함하고 있다.

수학적인 요소로는 무게 중심, 도형, 그래프 작성 및 해석, 소수의

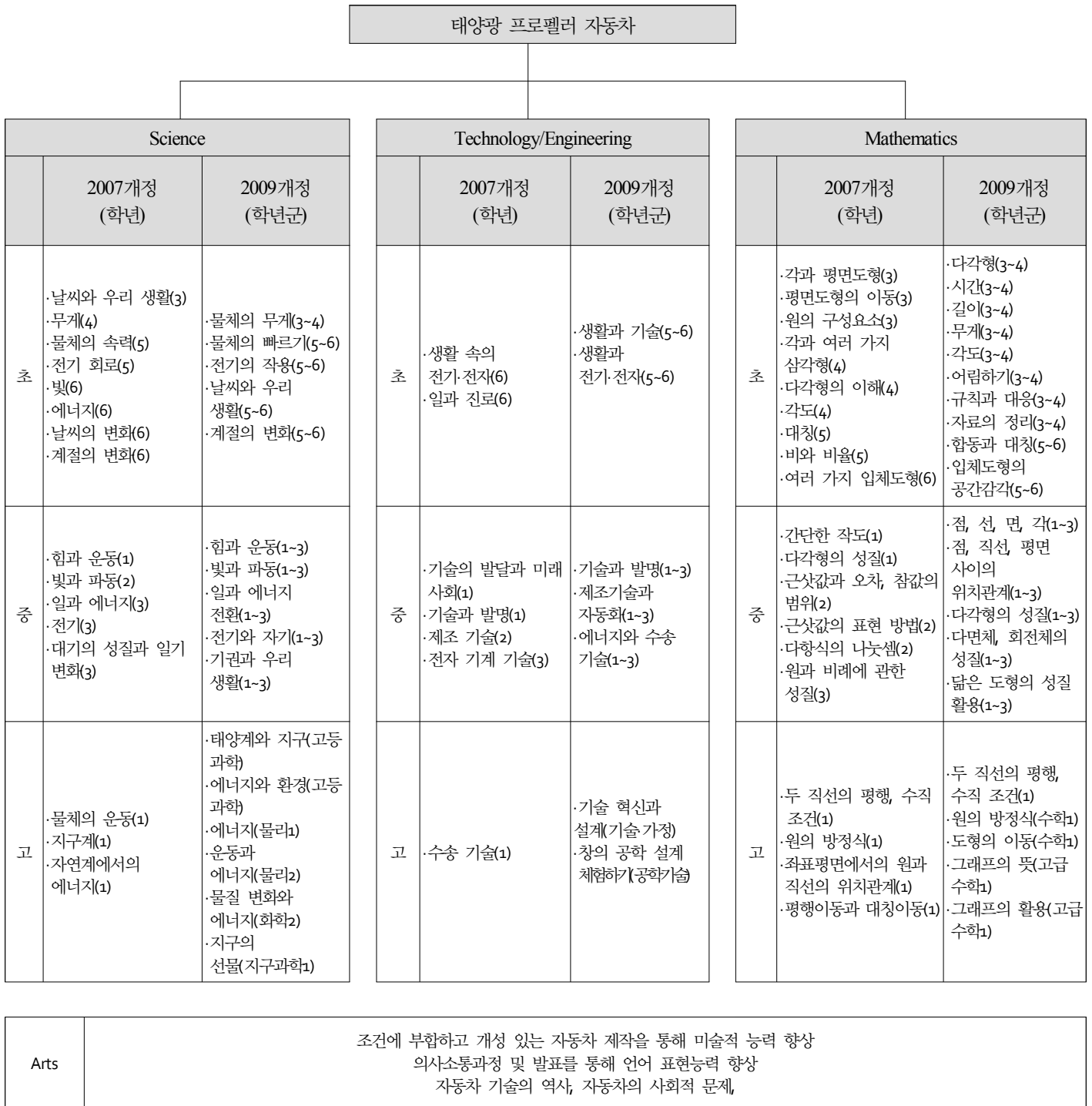


Figure 3. Relevance of the developed program to 2007/2009 revised national curriculum (revised from Lee et al., 2012)

연산이 있다. 기술 및 공학적인 요소로는 자동차의 구조, 동력 전달, 조향 장치, 축과 바퀴의 제작, 자동차의 설계(예, 외부 모양, 부품 배치 등), 설계 및 제작 과정에서 사용하는 다양한 기구 사용, 자동차 성능 확인 및 테스트, 재설계 및 문제점 개선 방안 탐색 등이 포함되어 있다. 아울러, 인문-예술적인 요소로는 미적인 요소를 고려한 자동차 설계, 언어를 통한 발표, 의사소통과 상호작용, 자동차 기술의 역사적 변천, 미래 자동차의 구성, 화석 연료의 사용에 따른 사회 문제 등을 포함하고 있어서, 적용하는 학교 현장에 따라 다양한 인문-예술-사회적인 요소를 포함할 수 있다.

과학 탐구 기반의 STEM 교육 모형을 적용하여 개발된 프로그램을

‘내용 요소’와 ‘문제해결 과정’으로 구분하여 정리하면 Figure 4와 같다. 이 프로그램은 자동차를 설계하고 직접 제작하여 평가하는 과정을 통해 문제해결 과정에 필요한 개념과 지식의 학습, 적용 및 문제 해결의 경험을 공유할 수 있도록 개발되었다. 분석 단계에서 제시하는 문제 상황은 화석 연료의 사용에 따른 문제점과 자원의 한계, 오일 피크, 유류비 인상에 따른 학생들의 개인 용돈 감소, 대체 에너지 등의 내용이 될 수 있다.

‘움직이는 자동차’가 문제해결의 구체적인 산출물이 되기 때문에 제시된 조건에 부합하는 최선의 안을 도출하여 문제를 해결하는 디자인 도전 과제 형식으로도 구성할 수 있다. 문제 상황의 조건을 다르게

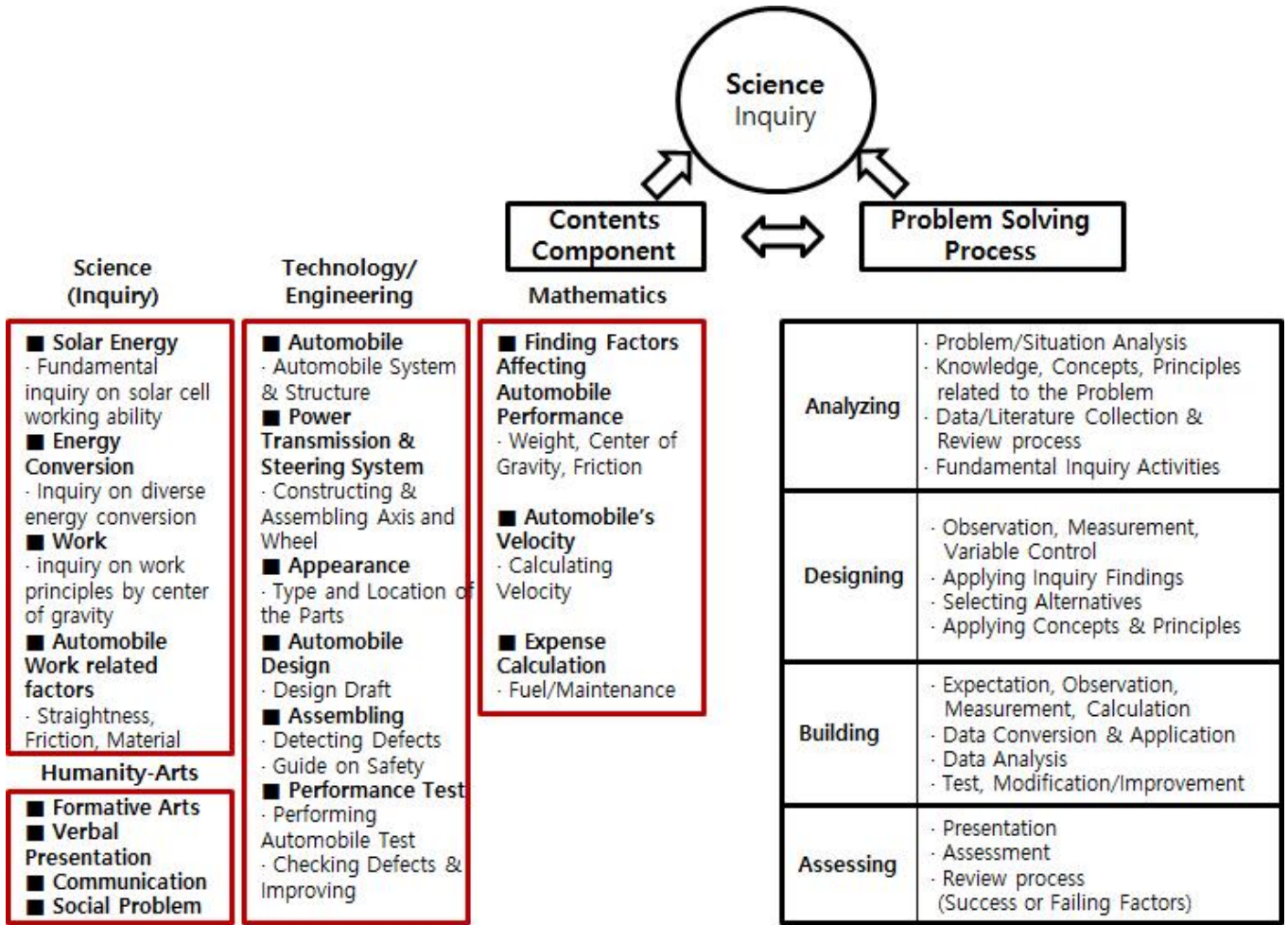


Figure 4. Analysis of the developed program according to the components of the model

하면 학생들이 탐구하거나 조사하여 설계에 적용하는 지식, 개념이 다르게 된다.

분석 단계에서 학생들은 문제 상황에 대한 충분한 이해가 필요하고 문제 상황에 등장하는 전문 용어들에 대하여 이해가 부족할 경우 용어에 대한 설명이 필요하다. 학생들이 제작한 자동차가 가져야 할 조건을 분명하게 이해하도록 설명하는 것이 필요하다(Lee et al., 2012).

다음으로 설계 단계는 ‘자료 수집’, ‘아이디어 협의’, ‘설계’의 순차적 세부 요소로 이루어지는데, 자료 수집 단계에서는 태양 전지판-전기 스탠드를 이용한 탐구 활동과 스프링클러-팩고무 찰흙을 이용한 탐구 활동을 통하여 자동차 설계에 반영시킬 변인을 탐구한다.

아이디어 협의 단계에서는 자동차의 모양과 각 부품의 배치를 어떻게 할 것인가를 결정하도록 하였다. 설계 단계에서는 각 팀별로 결정한 최선의 안을 바탕으로 자동차의 모양을 스케치하고 중요한 부분에 대하여 왜 그렇게 설계를 하였는지 발표를 한다. 이 과정에서 의사소통 능력은 매우 중요한 요소로 작용하며, 스케치하기 전 탐구 활동과 아이디어 협의가 충분히 이루어지도록 구성하였다.

제작의 단계에서는 학생들이 전 단계에서 설계한 자동차를 실제로 제작하며, 1차 제작 후 성능 테스트를 거쳐 개선할 점을 찾아낸 후, 협의개선 방법 찾기 - 제작의 과정을 반복해서 거치게 된다. 제작에 필요한 다양한 도구와 기구를 안전하게 사용할 수 있도록 교사가 실험실 안전주의 사항 및 규칙에 대해 안내하도록 한다.

평가 단계는 학생들이 제작한 자동차를 이용하여 도전 과제를 수행

하고 그 결과를 바탕으로 점수를 부여하여 순위를 정하게 된다. 그 후 처음부터 마지막까지의 전 과정에 대한 자료를 만들어서 발표하고 질문과 응답을 통하여 활동을 하면서 습득한 지식이나 탐구 방법을 정착시킬 수 있도록 하였다.

이렇게 태양광 프로펠러 자동차를 제작하는 과정에서 학생들은 태양 전지판의 작동 원리를 탐구할 수 있다. 자동차의 주행에 영향을 주는 변인을 탐구하고 설계와 재설계를 통하여 과학적인 탐구 과정 요소 및 학습한 지식을 적용하여 문제해결력을 높일 수 있다. 또한, 설계와 제작에 필요한 데이터를 수집하여 그래프로 나타내고 해석하는 능력을 향상시킬 수 있고, 다른 학생들과 의사소통을 활발하게 하면서 사회성, 협동심, 상호존중, 의사결정, 의사소통, 발표 능력 등을 함양할 수 있다(Lee et al., 2012).

#### IV. 결론 및 제언

이 연구의 목적은 과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형을 개발하고 그 모형을 적용하여 개발된 프로그램의 대표적인 예시를 제시하는 데 있다. 이 모형은 과학, 기술, 공학, 수학, 예술의 내용 요소와 문제해결 과정으로 구성되어 있다. 이들 요소들은 STEM 교육 과정에서 서로 상호작용하며 문제해결을 효과적으로 달성할 수 있다. 이 모형을 적용하여 프로그램을 개발하기 위한 개발팀은 분석-설계-제작-평가의 4단계로 구성되어 있고, 단계에 따라 구체적 수행 내용인 세부 요소

가 개발되었다. 이 모형은 과학과 중심의 STEM 교육이고, 과학 탐구에 초점을 두고 있다. 통합적인 문제를 해결해 나가면서 관련된 과학, 기술, 공학, 수학, 예술의 내용 지식을 체계적으로 배우고, 설계와 제작이 포함된 문제 해결 과정을 통해 탐구의 방법과 기능을 아울러서 학습하게 되는 것이다.

과학 교육 분야에서는 과학과의 내용 지식도 중요하게 다루고 있지만 과정으로서의 과학이 강조되고 있다. 과정을 중요시하는 과학은 과학 지식을 구성하고 검증하는 과학적 탐구 방법과 과정을 의미한다(Cho & Park, 1995; Kwon *et al.*, 2013). 이 모형에서는 내용 요소와 문제해결 과정이 효과적으로 상호 작용을 함으로써 문제해결을 잘 수행할 수 있고, STEM 교육에서 목표로 하는 정의적 측면의 효과를 거둘 수 있다. 과학적 탐구를 통해 학생들이 문제해결에 필요한 지식, 개념, 법칙 등을 도출해낼 수 있고, 그것들을 설계와 문제해결에 적용함으로써 적용된 지식의 가치나 유용성을 경험할 수 있다.

선행 연구에 의하면 과학적 탐구에 의해서 과학에 대한 긍정적 태도가 함양되며, 과학에 대한 긍정적 태도를 가질 때 더욱 능동적으로 과학적 탐구 활동을 수행할 수 있다. 이는 과학 뿐 아니라 STEM 관련 교과와 지식과 탐구에 관한 선행 연구 결과에서도 동일하게 나타난다(Pearson & Young, 2002).

국외의 선행 연구 결과에 의하며 STEM 교육은 과학 학습에 대한 흥미(태도) 증진(LaPorte & Sanders, 1993; Minogue & Guentensberger, 2006; Norton, 2006; Puntambeckar & Kolodner, 2005; Sanders, 2006, 2009; Scarborough & White, 1994; Venville *et al.*, 1998)에 기여하며, 과학, 기술, 수학 영역에 대한 긍정적인 태도를 함양한다(Apedoe *et al.*, 2008; Kolodner *et al.*, 2003; Rowell *et al.*, 1999; Wender, 2004). 과학/수학 학습에 대한 동기 및 필요성의 인식을 향상(Everett *et al.*, 2000; Kwon & Lee, 2008; McGinnis *et al.*, 2006)시키고, 창의성, 협동 능력, 의사소통 능력 향상에 도움을 준다(Fitzgerald, 2004; Frazier & Sterling, 2008; Hutchinson, 2002; Kolodner *et al.*, 2003; Venville *et al.*, 2004). 아울러, 인지적인 측면에서도 과학, 수학, 기술 영역에 대한 이해와 학습에 기여하는 것으로 분석되었다(Bisogno & JeanPierre, 2008; De Romero *et al.*, 2006; Farior *et al.*, 2007; Fitzgerald, 2004; Mingue & Guentensberger, 2006; Murray & Bertelmay, 2005; Roth, 1996, 2001; Sanders, 2006, 2009; Simm *et al.*, 1995; Venville *et al.*, 1998; Rogers *et al.*, 2007). 그러므로, 이 모형에서 핵심적으로 다루는 ‘과학적 탐구’와 ‘내용 요소’가 적용된 설계 기반의 문제해결 과정은 다양한 측면의 정의적 효과를 유발 할 수 있을 것이다.

국가의 미래 경쟁력의 핵심은 과학기술 분야의 융합 인재를 양성하는 것이다(MOE, 2013). 미래 학자들은 과학 또는 기술 자체만을 강조하는 시대는 끝났으며, 미래는 꿈과 감성이 중요한 사회라고 하였다(Jensen, 2001). 예술과 디자인이 과학기술공학 분야와 결합될 때 경제는 놀라운 시너지 효과를 발휘할 수 있다고 한다(Florida, 2002). 이 연구에서 개발한 STEM 교육 모형은 학생들이 과학, 기술, 공학, 수학과 사회 그리고 예술 영역까지 융합하여 과학 탐구와 설계 기반의 통합적 접근을 통해 문제해결을 경험할 수 있다. 이러한 프로그램은 창의적 인재나 융합형 인재 양성에 기여하며, 문제해결 과정에서의 흥미와 즐거움의 경험을 통해 장기적으로 과학기술 분야의 인재 양성과 진출에도 기여할 것이다.

이 연구에서 개발한 모형, 프로그램의 개발틀 및 STEM 교육 프로

그램은 우리나라 융합인재교육(STEAM)이 실시되기 이전에 수행되었던 연구의 성과물이다. 이는 우리나라의 과학, 기술, 공학, 수학, 예술 교육을 통합적으로 접근하려는 학문적인 연구 기반과 학교 현장에 적합한 통합적 접근 시도에 활용될 수 있을 것으로 기대한다. 과학적 탐구를 기반으로 하는 STEM 또는 STEAM 교육의 기본 방향을 제시하고 관련된 교수학습 자료 개발, 교사 연수프로그램 개발 등을 위한 이론적인 틀을 제공할 것이다. 더욱이 교수 전략 구상, 프로그램의 운영과 평가 등에 대한 의미 있는 준거를 제공하며, 과학, 기술, 수학과 교육과정의 개정과 교과의 재구조화를 추진하는데 이론적 근거와 통합적 관점에 기초하여 미래 인재가 갖추어야 할 핵심 역량을 개발하는데 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

개발된 교육 프로그램은 우리나라 학생들의 융합적 소양의 함양과 과학, 수학, 기술/공학 등의 교과 관련 흥미와 문제해결력을 증진시키기 위해 실시하고 있는 융합인재교육의 확산에 기여하고 대표적인 프로그램으로 사용될 수 있는 것이다. 개발된 프로그램은 방과 후(창의적 체험) 활동, 교과 시간, 교과 내 등의 다양한 학교급과 수업 상황에 적용될 수 있으며, 학교 현장에서의 활용을 통해 STEM 또는 STEAM 교과와 관련된 흥미, 이해도, 자기효능감 등의 향상에 기여할 수 있어 장차 이 분야의 진로 선택을 유도하며 과학과 기술공학 계열의 인력양성에 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

## 국문요약

통합적 STEM 교육은 과학, 기술, 공학, 수학의 내용과 과정을 체계적이고 의도적으로 통합하려는 공학적 설계기반 학습을 말하며, 다른 교과와 통합을 통해 더욱 발달할 수 있다. 이 연구는 과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 프로그램의 개발과 효과 검증을 위한 기초연구이며, STEM 교육 관련 문헌 연구를 통해 STEM 교육의 가치와 핵심 요소를 분석하고 과학 탐구 기반의 통합적 STEM 교육 모형의 개발 및 모형을 적용하여 개발한 대표적인 예시 프로그램을 제시하는 것이다. 모형에 포함될 요소를 확정하기 위해 문헌 분석을 실시하였고, 선행 연구에 포함된 내용과 탐구 과정을 분석하여 통합적 STEM 교육 모형을 구성하였다. 전문가의 내용 타당도 분석 결과 CVR 값의 평균은 0.78로 구성된 모형은 내용 타당도가 있는 것으로 판단되었다. 이 STEM 교육 모형은 내용과 탐구 과정의 두 가지 측면으로 나누어진다. 내용의 측면은 실생활 문제에서 경험할 수 있는 과학, 기술, 공학, 수학 그리고 인문사회와 예술적 소재까지 포괄할 수 있으며, 탐구 과정은 설계와 제작을 기반으로 한 문제해결 과정이다. 탐구 과정은 과학 탐구를 기반으로 하여 기술공학적 문제해결 과정을 적용할 수 있도록 구성하였다. 학생들은 실생활 문제를 분석하고, 설계하고 제작하는 과정에서 STEM 교과에 대한 흥미를 향상시킬 수 있고 문제에 포함된 지식과 탐구의 방법과 기능을 체계적으로 학습할 수 있다. 개발된 프로그램은 학교 현장에서 활용되어, STEM 교과에 대한 이해도 증진과 과학, 수학에 대한 흥미를 높이고, 과학기술 기반의 융합적 소양과 설계 기반의 문제해결력을 배양하는 데 기여할 수 있을 것이다.

**주제어:** 통합적 STEM 교육, 통합 교육, 과학적 탐구, 설계 기반 학습, 과학 교육, 기술 교육, 수학 교육

## References

- Apedoe, X. S., Reynolds, B., Ellefson, M. R., & Schun, C. D. (2008). Bringing engineering design into high school science classrooms: The heating/cooling unit. *Journal of science education and technology*, 17(5), 454-465.
- Austin, C. Y. (2009). Factors influencing African American high school students in career decision-making self efficacy and engineering related goal intentions. Unpublished doctoral dissertation, University of Minnesota.
- Bae, S. (2009). The development of activity-centered STEM education program of electricity, electronics, and communication area in industrial technical high school. Unpublished doctoral dissertation. Korea National University of Education, Chungbuk, Korea.
- Bae, S. (2011). The development and application of activity-centered STEM education program of electric technology area in middle school. *The Journal of Korean Institute of Industrial Education*, 36(1), 1-22.
- Bae, S., & Geum, Y. (2010a). The recognition and needs of chemical industry teachers about STEM education of chemical industry area in industrial technical high school. *The Journal of Korean Institute of Industrial Education*, 35(1), 44-67.
- Bae, S., & Geum, Y. (2010b). Development model of activity-centered STEM education program in industrial technical high school. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 15(4), 345-368.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bandura, A. (1991). Social cognitive theory of self-regulation. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 248-287.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Bandura, A. (2001). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Annual Review of Psychology*, 52, 1-26.
- Berlin, D. F., & Lee, H. (2005). Integrating science and mathematics education: Historical analysis. *School Science and Mathematics*, 105(1), 15-24.
- Bisogno, J., & JeanPierre, B. (2008). Virtual bridge design. *Science Scope*, 26-33.
- Brooks, J. G., & Brooks, M. G. (1999). *In search of understanding: The case for constructivist classrooms*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- Burghardt, M. D., & Hacker, M. (2004). Informed design: A contemporary approach to design pedagogy as the core process in technology. *Technology Teacher*, 64(1), 6-8.
- Burney, V. H. (2008). Applications of social cognitive theory to gifted education. *Roeper Review*, 30, 130-139.
- Bybee, R. W. (1985). *NSTA yearbook: science/technology/society*. Washington, DC.: National Science Teachers Association.
- Bybee, R. W. (1987). Teaching about science-technology-society(STS) : View of science education in the United State. *School Science and Mathematics*, 87(4), 274-285.
- Bybee, R. W. (2000). Achieving technological literacy: A national imperative. *The Technology Teacher*, 60(1), 23-28.
- Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30-35.
- Byeon, S. H. (2010). Development and application of invention educational program for students' creativity. Unpublished master's thesis. Seoul National University, Seoul, Korea.
- Carroll, D. R. (1997). Bridge engineering for the elementary grades. *Journal of Engineering Education*, 86(3), 221-226.
- Center for Mathematics, Science, and Technology. (2011). *Integrated Mathematics, Science, and Technology (IMaST) Modules*. Retrieved February 27, 2011, from <http://cemast.illinoisstate.edu/>.
- Chiappetta, E. L., & Koballa, T. R. (2002). *Science instruction in the middle and secondary schools*. Upper Saddle River, New Jersey: Merrill.
- Cho, H. (1994). *Science-Technology-Society and science education*. Seoul, Korea: Kyoyookbook Publishing Company.
- Cho, H., & Park, S. (1995). *The theory of science and science education*. Seoul, Korea: Kyoyookbook Publishing Company.
- Cho, J., Choi, Y., & Kim, S. (2011). Development of integrative STEM invention education program model of chemical area. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 17(1), 165-188.
- Choi, B. S., & Lee, S. W. (2004). The development of TSM integration program for making hands-on activity in the elementary school: Centered on making a model boat. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 17(3), 191-205.
- Choi, K. (1996). *Understanding and application of STS education*. Seoul, Korea: Kyohak Publishing Company.
- Choi, K. (1997). An analysis of STS material and activity in the middle school science textbooks published by the sixth curriculum. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 17(4), 425-433.
- Choi, Y., Moon, D., Kang, K., Lee, J., & Lee, J. (2008). The Development and the effect of educational program based on STEM for the inventively gifted. *The Korean Journal of Technology Education*, 8(2), 143-164.
- Congress of the United States of America[CUSA]. (2009). *American recovery and reinvestment act of 2009*. Washington DC: Author.
- Daugherty, J. L. (2009). Engineering professional development design for secondary school teachers: A multiple case study. *Journal of Technology Education*, 21(1), 5-19.
- De Romero, N., Slater, P., & DeCristofano, C. (2006). Design challenges "ELL-elementary". *Science Children*, 34-37.
- Department for Education (2013a), *The national curriculum in England Framework document*. Retrieved from <http://www.education.gov.uk/>.
- Department for Education (2013b), *Reform of the national curriculum in England*. Retrieved from <http://www.education.gov.uk/>.
- Everett, L. J., Imbrie, P. K., & Morgan, J. (2000). Integrated curricula: Purpose and design. *Journal of Engineering Education*, 89(2), 167-175.
- Farrior, D., Hamill, W., Keiser, L., Kessler, M., LoPresti, P., McCoy, J., Pomeranz, S., Potter, W., & Tapp, B. (2007). Interdisciplinary lively application projects in calculus courses. *Journal of STEM Education*, 8(3&4), 50-61.
- Fitzgerald, M. (2004). Cereal box design: An interdisciplinary graphics activity. *Techdirection*, 22-25.
- Florida, R. (2002). *The Rise of Creative Class*. NY: Basic Books.
- Fortus, D., Dershimer, C. R., Krajcik, J. S., & Marx, R. W. (2004). Design-Based Science and Student Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 1081 - 1110.
- Frazier, W., & Sterling, D. (2008). Motor mania: Revving up for technological design. *The Technology Teacher*, 5-12.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting mathematics education*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Hacker, M., & Burghardt, M. D. (2004). *Technology education: Learning by design*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Harms, H. R., & Janosz, D. A. (2012). *Pre-Engineering*. New York: McGraw Hill
- Hofstein, A. (1988). Discussions over STS at the fourth IOSTE symposium. *International Journal of Science Education*, 10(4), 357-366.
- Hong, J. (2001). The effects of decision-making centered - STS(Science -Technology -Society) classes on the students' attitudes towards science and perceptions about STS. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 21(2), 422-432.
- Hughes, B. (2009). How to start a STEM team. *The Technology Teacher*, 69(2), 27-29.
- Hutchinson, P. (2002). Children designing & engineering: Contextual learning units in primary design and technology. *Journal of Industrial Teacher Education*, 39(3), 122-145.
- International Technology and Engineering Educators Association[ITEEA]. (2009). *The overlooked STEM imperatives: Technology and engineering*. Reston, VA: Author.
- International Technology Education Association[ITEA]. (2000/2002/2007). *Standards for technological literacy: Content for the study of*

- technology. Reston, VA: Author.
- International Technology Education Association[ITEA]. (2003). *Advancing excellence in technological literacy: Students assessment, professional development, program standards*, Reston, VA: Author.
- Jang, K. Y. (2009). *The changes of teacher perceptions on professional development program about multi-subject integration-based invention*. Unpublished master's thesis. Seoul National University, Seoul, Korea.
- Jang, S. (2008). *Creative invention problem solving based on STEM*. Seoul, Korea: Korean Intellectual Property Office(KIPO).
- Jensen, R. (2001). *Dream society*. IL: Glencoe/McGraw-Hill.
- Jung, Y. (1997). *A Study on Freudenthal's mathematising instruction theory*. Unpublished doctoral dissertation. Seoul National University, Seoul, Korea.
- Karsnitz, J. R., O'Brien, S., & Hutchinson, J. P. (2009). *Engineering design: An instruction*. New York: Delmar.
- Kim, B. Y. & Lee, Y. S. (2003). A study of mathematical problem solving in Korea. *Journal of the Korean Society of Mathematical Education*, 42(2), 137-157.
- Kim, J. (2007). Exploration of STEM education as a new integrated education for technology education. *The Korean Journal of Technology Education*, 7(3), 1-29.
- Kim, J. (2011). A cubic model for STEAM education. *The Korean Journal of Technology Education*, 11(2), 124-139.
- Kim, J., Byeon, S., Shin, J., Lee, G., & Bae, I. (2011). *Recent trends of education in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) in the U.S.(Report 2012-001)*, Seoul, Korea: Korea Institute of Science & Technology Evaluation and Planning.
- Kim, K., Kim, S., Kim, N., Park, S., Kim, J., Park, H., & Jung, S. (2008). *Characteristics of achievement trend in Korea's middle and high school students from International Achievement Assessment(TIMSS/PISA) (REE 2008-3-1)*. Seoul, Korea: Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Kim, S., Chung, Y. L., Woo, A. J., & Lee, H. (2012). Development of a theoretical model for STEAM education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(2), 388-401.
- Kim, Y., & Baylor, A. L. (2006). A social cognitive framework for designing pedagogical agents as learning companions. *Educational Technology Research and Development*, 54(6), 569-596.
- Ko, J., Do, J., Cho, J., Kim, M., Choi, I., Song, M., & Kim, S. (2007). *National assessment of educational achievement in 2005: The result analysis of the mathematics achievement test(RRE 2007-3-4)*. Seoul, Korea: Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle school science classroom: putting learning by design into practice. *Journal of Learning Science*, 12(4), 495-547.
- Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity[KOFAC]. (2012a). *Teacher training program for STEAM education*. Seoul, Korea: Author.
- Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity[KOFAC]. (2012b). *Introduction of STEAM education policy*. Seoul, Korea: Author.
- Kwon, H., & Lee, H. (2008). Motivation issues in the Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education: A meta-analytic approach. *Secondary Education Research*, 56(3), 125-148.
- Kwon, H., & Park, K. (2009). Engineering design: A facilitator for Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) education, *Journal of Science Education*, 33, 207-219.
- Kwon, H., Park, K., & Lee, H. (2009). Research trends on the integrative efforts in technology education: Reviews of the relevant journals, *Secondary Education Research*, 57(1), 245-274.
- Kwon, J. S. (1991). Problems of discipline centered science education and a method of the utilization of everyday materials in science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 11(1), 117-126.
- Kwon, Y., Nam, J., Lee, K., Lee, H., & Choi, K. (2013). *Science education: From thinking to learning*. Seoul, Korea: Bookshill Publishing Company.
- LaPorte, J. E., & Sanders, M. (1993). Integrating technology, science, and mathematics in the middle school. *The Technology Teacher*, 52(6), 17-21.
- LaPorte, J. E., & Sanders, M. (1996). *Technology science mathematics: Connection activities binder*. Vol. 52. Peoria, IL: Glencoe/McGraw-Hill.
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575.
- Lee, D. (2011). *The need for STEM Education, awareness and demand for technology teachers*. Unpublished master's thesis. Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- Lee, H., Kwon, H., Nam, J., Park, K., Seo, B., Son, D., Oh, Y., Oh, H., Lee, S., Lee, Y., & Jung, H. (2012). *The understanding and application of science inquiry and design-based STEM/STEAM education*. Seoul, Korea: Bookshill Publishing Company.
- Lee, H., Park, K., Kwon, H., & Seo, B. (2013). Development and implementation of engineering design and scientific inquiry-based STEM education program. *Korean Journal of Teacher Education*, 29(3), 301-326.
- Lee, S., & Rho, T. (2011). The development of instructional design model for STEM integrated approach in technology education. *The Korean Journal of Technology Education*, 11(3), 1-20.
- Lewis, T. (2006). Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum? *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 255-281.
- Lomask, M. (1996). *Extended performance tasks for Mathematics, Science & Technology(ERIC Document Reproduction Service No. ED 402 346)*.
- Lou, S-J., Shih, R-C, Diez, C. R., & Tseng, K-H. (2011). The Impact of Problem-Based Learning Strategies on STEM Knowledge Integration and Attitudes: An Exploratory Study among Female Taiwanese Senior High School Students. *International Journal of Technology and Design Education*, 21(2), 195-215.
- Lou, S-J., Shih, R-C., Tseng, K-H., Diez, C. R., & Tsai, H-Y. (2010). How to Promote Knowledge Transfer through a Problem-Based Learning Internet Platform for Vocational High School Students. *European Journal of Engineering Education*, 35(5), 539-551.
- Mcdermott, R., & Webber, V. (1998). When is math or science? In J. Greeno, & S. Goldman(eds). *Thinking practices* (pp. 321-340) Marwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Association.
- McGinnis, J., McDuffe, A., & Gradber, A. (2006). Perceptions of making connections between science and mathematics in a science methods course. *Journal of Elementary Science Education*, 18(2), 13-30.
- Merill, C., & Daugherty, J. (2010). STEM education and leadership: A mathematics and science partnership approach. *Journal of Technology Education*, 21(2). 21-34.
- Ministry of Education and Human Resources Development[MOEHRD]. (1999). *National middle school curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Human Resources Development[MOEHRD]. (2001). *National high school curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2007). *2007 Revised national science curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2008). *National middle school curriculum(III): Mathematics, Science, Technology · Home Economics*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2009). *2009 Revised national high school curriculum*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2010). *The 2011 policy report of MEST*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2011). *The 2nd national plan for fostering science-technology human resources*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education and Science Technology[MEST]. (2012). *The 2012 policy report of MEST*. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education[MOE]. (2013). *The introduction and policy direction*

- of STEAM education. Seoul, Korea: Author.
- Minogue, J., & Guentensberger, T. (2006). Paper tower: Building students' understanding of technological design, *Science Scope*, 18-20.
- Moon, D. Y. (2008). The Development of pre-engineering educational program model based on STEM integration approach. *Journal of Engineering Education Research*, 11(2), 90-101.
- Murray, J., & Bartelmay, K. (2005). *Inventors in the making*. Science and Children, 40-44.
- National Academy of Engineering[NAE]. (2002). *Diversity in engineering: Managing the workforce of the future*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Academy of Engineering[NAE]. (2004). *The engineer of 2020: Visions of engineering in the new century*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Academy of Engineering[NAE]. (2005). *Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Center for Education Statistics[NCES]. (2009). *Students who study science, technology, engineering and mathematics(STEM) in postsecondary education.(NCES 2009-161)*. Washington, DC: U.S. Department of Education.
- National Council of Teachers of Mathematics[NCTM]. (1989). *Curriculum and evaluation standards for school mathematics*. Reston, VA: Author.
- National Council of Teachers of Mathematics[NCTM]. (1991). *Professional standards for teaching mathematics*. Reston, VA: Author.
- National Council of Teachers of Mathematics[NCTM]. (1995). *Assessment standards for school mathematics*. Reston, VA: Author.
- National Council of Teachers of Mathematics[NCTM]. (2000). *Principles and Standard for School mathematics*. Reston, VA: Author.
- National Research Council[NRC]. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council[NRC]. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (2002). *Technically speaking: Why all Americans need to know more about technology*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (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 Research Council[NRC]. (2012). *A Framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- National Research Council[NRC]. (2013). *Next generation science standards*. Washington, DC: The National Academies Press.
- New York State Department of Education[NYSDE]. (1995). *Principles of engineering: A MST approach to technology education*. Albany. Author.
- Norton, S. J. (2006). The use of design practice to teach mathematics and science. *International Journal of Technology and Design Education*, 18(1), 19-44.
- OECD. (2007). *PISA 2006 Science Competencies for tomorrow's world. Volume 1: Analysis*. Paris: OECD.
- Park, H. (2003). *The development of activity-centered MST program through making solar cell car for fifth and sixth grade elementary school*. Unpublished master's thesis. Korea National University of Education, Chungbuk, Korea.
- Pearson, F., & Young, A. T. (Eds). (2002). *Technically speaking: Why all Americans need to know more about technology*. Washington, DC: National Academy Press.
- Petroski, H. (1996). *Invention by design: How engineers get from thought to thing*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Polya, G. (1957). *How to solve it*. Garden City, NY: Doubleday Co. Inc.
- Poster, A. L., Roessner, J. D., Oliver, S., & Johnson, D. (2006). A systems model of innovation processes in university STEM education. *Journal of Engineering*, 95(1), 13-24.
- Project the Lead Way[PTLW]. (2011). *Biomedical sciences*. <http://www.pltw.org/>.
- Puntambekar, S., & Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185-217.
- Racow, S. J. (1986). *Teaching science as inquiry*. Bloomington, In: Phi Delta Kappa Educational Foundation.
- Rogers, M. A., Volkmann, M. J., & Abell, S. K. (2007). Science and mathematics: A natural connection. *Science and Children*, 60-61.
- Roth, W-M. (1991). Learning Science through technological design. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 768-790.
- Roth, W-M. (1993). Problem-centered learning for the integration of mathematics and science in a constructivist laboratory: A case study. *School Science & Mathematics*, 93(3), 13-122.
- Roth, W-M. (1995). *Authentic school science : knowing and learning in open-inquiry school laboratories*. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publisher.
- Roth, W-M. (1996). Learning to talk engineering design: Results from an interpretive study in a grade 4/5 classroom. *International Journal of Technology and Design Education*, 6(2), 107-135.
- Roth, W-M. (2001). Learning science through technological design. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 768-790.
- Rowell, P. W., Gustafson, B. J., & Guilbert, S. M. (1999). Characterization of technology within an elementary science program. *International Journal of Technology and Design Education*, 9(1), 37-56.
- Sanders, M. (1999). Technology education in the middle level school: Its role and purpose. *NASSP Bulletin*, 83(608), 34-44.
- Sanders, M. (2006). A rationale for new approaches to STEM education and STEM education graduate programs. Paper presented at the 93rd Mississippi Valley Technology Teacher Education Conference, Nashville, TN.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Sanders, M. (2011). An introduction to integrative STEM education. *International Seminar for integrative STEAM Education*, Daegu, Korea.
- Sanders, M., & Wells, J. (2011). *Integrative STEM Education definition*. Available: <http://www.soe.vt.edu/istemed>.
- Scarborough, S. R., & White, C. (1994). PHYS-MA-TECH: An integrated partnership. *Journal of Technology Education*, 5(2), 31-39.
- Sinn, J., Walthour, S., & Haren, D. (1995). Technology-based math and science applications. *The Technology Teacher*, 55(2), 16-24.
- Smith, K. L., & Burghardt, D. (2007). Teaching engineering at the K-12 level: Two perspectives. *The Technology Teacher*, 66(7), 20-24.
- Song, J. B. (2010). *A Study on the development of classroom-friendly robot-education model and program for the STEM integration education*. Unpublished master's thesis. Korea National University of Education, Chungbuk, Korea.
- Torp, L. T. & Sage, S. M. (2002). *Problems as possibilities: Problem-based learning for K-16 education*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development.
- U.S. Department of Education. (2009). *Race to the top program executive summary*. Washington DC: Government Printing Office.
- Venville, G. Rennie, L., & Wallace, J. (2004). Decision making and sources of knowledge: How students tackle integrated tasks in science, technology, and mathematics. *Research in Science Education*, 34, 115-125.
- Venville, G., Wallace, J., Rennie, L. J., & Malone, J. (1998). The integration of science, mathematics, and technology in a discipline-based culture. *School Science and Mathematics*, 98(6), 294-302.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*, M.I.T. Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wang, S., & Lin, S. (2007). The application of social cognitive theory to web-based learning through NetPorts. *British Journal of Educational*

- Technology, 38(4), 600-612.
- Wender, I. (2004). Relation of technology, science, self-concept, interest, and gender. *Journal of Technology Studies*, 30(3), 43-51.
- Wiggins, G., & McTighe, J. (1998). *Understanding by design*. Alexandria, VA: Association of Supervision and Curriculum Development.
- Yager, R. E. (1990). The Science/technology/society movement in the United States: Its origin, evolution, and rationale. *Social Education*, 54(4), 198-201.
- Yager, R. E. (1992). A STS approach to human biology instruction affects, achievement and attitude of elementary science majors. *The America Biology Teacher*, 54(6), 349-355.
- Yakman, G., (2008). *STΣ@M Education: an overview of creating a model of integrative education*. Pupils Attitudes Towards Technology 2008 Annual Proceedings. Netherlands.
- Yang, J. (2009). *The effect of 3D CAD based STEM education on spatial visualization ability of elementary school's students*. Unpublished master's thesis. Chongju National University, Chungbuk, Korea.
- Ziman, J. (1980). *Teaching and learning about science and society*. Cambridge University.