

## 수학사를 활용한 융합적 프로젝트기반학습(STEAM PBL)의 설계 및 효과 분석

이 민 희\* · 임 해 미\*\*

본 연구는 최근 중요성이 부각되고 있는 STEAM 교육의 사례 연구로서 STEAM에 적합한 수업 자료 개발, 교수 학습 방법의 제안, 효과 분석을 통한 STEAM의 가능성 탐색을 목적으로 한다. STEAM 교육의 소재는 수학과 과학이 분리되기 이전의 수학사를 기반으로, 과학(S)은 24절기, 태양의 고도, 천체의 운동, 기술(T)은 그래픽 계산기를 이용한 탐구, 공학(E)은 해시계의 설계 원리 탐구 및 제작, 예술(A)은 수학사 문헌 탐구 및 수학의 심미적 가치에 대한 이해, 수학(M)은 삼각함수와 관련된다. 또한 STEAM의 특성과 문헌 연구를 토대로 프로젝트기반학습이 STEAM 교육에 적합할 것으로 보고 융합적 프로젝트기반학습을 설계하여 STEAM PBL이 융합적 지식 형성과 수학적 가치를 포함하는 수학적 태도와 21세기 역량 신장에 효과적인지에 중점을 두어 분석하였다. 수업을 분석한 결과, 학생들이 팀원 간의 협력, 의사소통과 표현, 비판적 사고를 토대로 문제해결을 하는 모습이 많이 포착되었으며, 수업을 통해 수학적 가치를 포함한 수학적 태도가 긍정적인 방향으로 변화된 것으로 나타났다

### 1. 서론

2009 개정 교육과정에서 추구하는 인간상은 ‘세계 속에서 자신의 능력을 발휘하여 진로를 개척하고 국가와 지구 공동체의 발전에 기여할 수 있는 사람’으로 자주인, 창의인, 문화인, 세계인으로서 갖추어야 할 요소들을 교육하여 미래 사회가 요구하는 창의적 인재를 양성하는 것을 목적으로 한다(교육과학기술부, 2010a). 미래 사회의 문제를 해결하기 위해서는 여러 영역에 대한 융합적 문제해결력이 요구되며, 적절한 융합 교육이 요구되는데, 2010년 말 교육과학기술부는 과학 기술에 대한 흥미와 이해를 높이고 융합적 사고와 문제해결능력을 배양할 수 있도록 학습

내용을 핵심역량 위주로 재구조화하기 위한 계획을 제시하면서 초·중등 STEAM 교육을 강조하였으며(교육과학기술부, 2010b), 2011년에는 STEAM 교육을 ‘융합인재교육’으로 명명하였다(교육과학기술부, 2011b).

미국, 영국, 핀란드, 이스라엘, 네덜란드 등의 국가에서 여러 분야의 학문에 대한 통합적 접근 및 문제해결이 가능한 융합적 인재양성을 위해 시도한 STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematic) 교육은 이후 예술(Arts) 영역이 추가되어 STEAM 교육으로 확장되었는데(김성원 외, 2012), Yakman(2008)은 STEAM을 ‘수학의 언어에 기초하고 있으며, 공학과 예술을 통해 해석되는 과학과 기술’인  $ST \Sigma @ M$ 으로 정의한 바 있다.

의미 있는 STEAM 교육을 위해서는 현재 학

\* 이화여자대학교 대학원(hussy1213@nate.com)

\*\* 한국교육과정평가원(rimhm@kice.re.kr), 교신저자

생이 가지고 있는 교과 지식과 소양을 바탕으로 어떤 분야를 통합할 것인지를 결정하고, 교수 학습 자료를 개발하며, STEAM의 특성에 맞게 수업을 설계, 실행해야 할 것이다. 본 연구에서는 과학의 초기 형태가 철학의 테두리 안에서 각종 자연 현상에 대해 철학자, 예술가, 기술자들이 하나로 통합된 틀, 즉 총체적 관점에서 접근하는 방식으로 이루어졌고, 이후 자연 현상의 주요 세부 영역에 대한 탐구 과정에서 하위 분야가 세분화되었다는 점을 염두에 두어, 수학과 과학이 분리되기 이전의 수학사를 STEAM 교육의 소재로 활용하고자 한다. 또한 STEAM 교육은 융합적 지식이 요구되는 문제 상황에서 학생들이 연구자로서 능동적인 역할을 수행하며 결과물을 설계하고 만들어낸다는 점에서 프로젝트기반학습이 STEAM 교육에 적합할 것으로 보고 융합적 프로젝트기반학습(STEAM Project-Based Learning, 이하 STEAM PBL)을 설계하여, 수학사를 소재로 한 STEAM이 융합적 지식 형성과 수학적 가치를 포함하는 수학적 태도에 어떤 영향을 주었는지, PBL은 미래 학생들이 갖추어야 할 팀원 간의 협력, 비판적 사고 등을 포함하는 21세기 역량 신장에 효과적인지 중점을 두어 분석하고자 한다.

## II. 이론적 배경

### 1. 융합적 프로젝트기반학습(STEAM PBL)

산업기반사회에서 정보기반사회로 변화하면서 21세기를 살아갈 학생들에게는 테크놀로지 활용 능력, 잘 정의되지 않은 통합교과적인 문제를 팀이 협력하여 해결하는 능력이 요구되고 있다(Griffin et al, 2012). 또한 학제간 협동 작업을 통해 새로운 이론을 발견, 발명하며 새로운 이론

을 창출하려는 움직임이 일어나고 있으며, 이러한 시대적 변화에 대응하기 위해 교육과정을 개혁할 필요성이 대두되었다(이정모, 2005).

Berlin(1991)은 학문간 연계와 관련하여 fused, integration, connections, cooperation, interrelated, correlated, cross-disciplinary, interdisciplinary, multi-disciplinary, trans-disciplinary interdependent, alliance, interaction, linked, unified 등 15가지 이상의 용어가 관련 연구에서 사용되고 있다고 하였다. 최근 학문간 결합과 관련하여 통섭(consilience), 연계(connection), 통합(integration), 융합(convergence)이라는 용어가 주로 사용되고 있는데, 최재천(2007)은 통섭이란 원래 학문은 변하지 않고 학문간 경계를 더불어 넘나드는 것이라고 하였으며, 김진수(2012)는 연계란 서로 다른 학문을 단순히 연관 지어 통합하는 것, 통합은 서로 다른 학문을 물리적으로 일부만 통합하는 것, 융합이란 서로 다른 학문을 화학적으로 완전히 통합하는 것이라고 정의하였다. 이 용어들 가운데 STEAM에서 추구하는 바는 ‘융합’에 해당한다.

김성원(2012)은 STEAM 교육을 흥미와 이해를 높이고 과학 기술 기반의 융합적 사고와 문제해결력을 배양하는 교육으로 정의하면서, 전문가 의견을 종합하면 STEAM이 <표II-1>과 같이 인지적 영역, 탐구기능적 영역, 정의적 영역의 세 부분으로 구성된다고 하였는데, 해결해야 할 문제 전체를 관통하는 big idea는 프로젝트기반학습 전반에 걸쳐 학습을 이끌어가는 driving question, big question 등과 동일한 의미를 갖는다(Thomas, 2000, GLEF, 2003).

또한 김진수(2012)는 STEAM 교육에서 수학과 과학의 개념과 원리, 기술과 공학을 통한 설계와 제작, 이때 예술적 감성과 디자인이 결합되어 산출물이 도출될 수 있다고 하였으며, 이를 통해 학습자가 수학과 과학에 대한 흥미를 높이고 관

<표 II-1> STEAM의 구성(김성원, 2012)

영역	세부 설명
인지적 영역	여러 학문을 통합하는 big idea에 대한 이해
	관련 교과 지식 영역 등에 대한 이해
	단순한 도구가 아닌 각 교과 본성에 대한 이해
탐구 기능적 영역	관련 과학 기술의 조작, 그리기 등 실제 구현 능력
	창의적 설계 과정으로 나아가기 위한 과정에서 행해지는 기능들
	주장에 대한 근거 제시, 근거 타당성, 합리적 비판
	민주적 의사소통 능력
	연계적 사고 능력
	비판적 사고
정의적 영역	가치와 실용성에 대한 반성적 태도
	도출한 결과 및 산출물에 대해 타인과 의사소통하는 태도
	협동성
	성실성
	프로그램 내용과 연계된 태도적 측면

련된 기술, 공학, 예술적 요소를 배울 수 있다고 보았다. 이는 프로젝트기반학습의 강조점 및 과정과 일맥상통한다.

프로젝트기반학습(Project-Based Learning, 이하 PBL)은 해결 방법이 잘 정의되지 않은 과제로부터 잘 정의된 결과물을 산출하는 것으로, 학생들이 프로젝트를 수행하기 위해 다양한 과정과 방법을 사용하기 때문에 매우 동적인 학습이 이루어질 수 있다. 학생들에게 주어지는 정보는 매우 풍부하지만, 정보를 어떻게 사용할 것인지 등에 대한 지시 사항은 최소한으로 주어진다. 풍부한 정보 제공은 학습의 질과 학생의 참여 수준에 직접적인 영향을 주는데, 여기에는 기초 정보, 그래프, 그림, 일반적이거나 구체적인 기대되는 결과, 담화 등이 포함된다. 또한 PBL은 교실에서 이루어져온 단기간의 분절된 교사 중심적 수업으로부터 장기간의 통합교과적이며 실세계의 문제를 다루는 학생 중심적 수업으로의 변화를 이끌어낸다. PBL은 다양한 학문의 통합을 촉진

시키는 역할을 하며, 중등교육에 중등교육 이후의 실재를 연계해준다는 점에서 STEAM 교육에 적합하다(Capraro & Slough, 2009).

## 2. 수학과 수학적 가치

수학에 대한 가치는 수학을 가르치고 배우는 이유와도 관련이 있는 것으로 STEAM 교육의 비인지적 영역에서 추구하는 바이기도 하다. 수학을 도입한 STEAM PBL은 21세기 역량 기술의 신장과 더불어 실용적 가치, 도야적 가치, 심미적 가치, 문화적 가치와 같은 수학적 가치를 높이는 데 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

수학에 대한 가치는 수학을 가르치고 배우는 이유와도 관련이 있는 것으로 2007 개정 교육과정에서 이어 2009 수학과 교육과정에서도 수학 교육목표, 교수·학습방법, 평가 영역에서 정의적 태도와 통합하여 제시하고 있다(교육과학기술부, 2007; 교육과학기술부, 2011a). 2007 개정 교육과정에서는 수학의 가치를 실용적 가치, 도야적 가치, 심미적 가치, 문화적 가치로 세분화하여 제시하였다. 수학에 대한 가치를 문화적 현상으로서의 수학이라는 용어를 사용하면서 분류한 White(1959)는 네 가지로 범주화하여 분류하였다. 수학은 인식론적인 가치, 사회적 가치, 정의적 가치, 기술적 가치가 있는 것으로 분류하였다(Bishop, 1988, 재인용). 이후 Bishop(1988; 2008)은 수학의 가치를 세 가지로 범주화하고 각각 하위요소 두 가지로 분류하여 제시하였다. 첫 번째 범주로 수학은 인식론적 가치가 있는 것으로, 수학을 통해 가설적 추론과 근거 설명, 추상적이고 논리적인 사고를 할 수 있게 하는 합리주의적 관점과, 유추적인 사고를 통해 자료들을 구체화, 대상화, 기호화할 수 있는 객관주의적 관점으로 분류하여 제시하였다. 두 번째 범주로는 수

학을 개인적으로 어떻게 연결시키는지에 대한 개인적 지식 측면의 가치를 조정하는 능력과 그러한 능력이 진보되는 측면으로 분류하여 제시하였다. 즉, 환경을 이해하는 것을 넘어 능숙하게 예측할 수 있는 조정의 측면이 있으며 지식의 일반화에 대한 점증적인 탐구로 성장하는 진전의 측면으로 분류하여 제시하였다. 마지막 범주로 수학은 사회적으로 가치 있는 것으로 다양하고 보편화된 사실들을 개개인이 근거를 공유할 수 있도록 하는 공개적인 것이어야 하며, 또한 공개성과는 상반된 것으로 신비성을 분류하여 제시하였다. 신비성이란 수학이 추상적이지만 그 안에 많은 수학적 상황이 녹아져 있음을 의미하는 것으로 수학적 내용이 발생되었던 그 맥락의 이해를 통해 수학적 가치를 이해하여야 한다는 의미로 구분하였다. 즉 수학의 문화·역사적 가치를 제시하였다.

수학의 역사적 가치의 측면으로 수학교육에 수학사를 통합하여 교수·학습해야 할 이유를 Fauvel(1991)는 다양하게 제시하였다. 수학의 역사적 가치는 학습에 대한 동기를 부여하고 증대시킬 수 있고, 수학에 대한 인간적 측면을 제공할 수 있으며, 수학적 개념이 어떻게 발전하게 되었는지에 대하여 학생들의 이해를 도울 수 있다. 또 학생들의 수학에 대한 관점이나 인식을 변화시킬 수 있고, 과거와 현대에 어떤 가치를 갖는지 비교할 수 있으며 수학적 탐구의 기회를 제공할 수도 있다. 이러한 탐구를 바탕으로 수학에 대한 흥미와 관심을 충족시키는데 도움이 될 수 있으며 다양한 교과들의 교육과정을 가로질러 줄 수 있는 기회를 제공하기도 한다. 따라서 수학과 또는 역사를 수학에 적용함으로써 학생들의 인지적 측면 뿐 아니라 정의적 측면을 자극하고 발전시킬 수 있으며 나아가서는 다양한 교과를 통합·융합할 수 있는 기회를 제공하기도 한다.

### 3. 21세기 역량

STEAM PBL의 성공적인 수행을 위해서는 21세기 미래 사회에서 요구하는 역량 기술이 요구되는데, 이와 관련하여 Stanley(2011)는 21세기 역량 기술을 협동, 표현, 비판적 사고와 문제해결이라는 세 가지 범주를 제시하였다. 21세기 미래 사회가 요구하는 능력들은 수학교육뿐만 아니라 어느 분야에서도 필요한 것으로, 각 교육 분야에서는 요구되는 능력들을 이해하고 이를 토대로 교육방향을 설정하여 교육현장에 적용해야 한다.

미래 사회에 요구되는 능력은 학생들이 지식을 얼마나 가지고 있는가 보다는 자신이 가진 지식을 통해 무엇을 할 수 있는가에 더욱 초점을 둔다(Silva, 2009). 다양한 형태의 수많은 정보들을 자신이 가진 지식과 통합하여 선택하고 분석하며 해석하여 새로운 아이디어를 창출 할 수 있어야 하는 것보다 일맥상통한다고 할 수 있다. 미래 사회에 요구되는 능력들에 대한 연구들은 먼저 21세기에 필요한 기능들이 무엇인지 조사하기 위해 설문조사를 통한 연구들이 있다. Casner, & Benner(2006)는 고등학생과 대학생들을 대상으로 미래사회에 필요한 기능들이 무엇인지 조사하여 분석하였다. 그 결과 언어나 글로 자신의 의사를 표현하는 의사소통 능력, 팀워크와 협동적 능력, 전문가적 기질과 직업 윤리를 이해하는 것, 비판적인 사고와 문제해결력, 리더십, 창의성과 혁신성을 갖추는 것 등을 21세기에 필요한 기능이라고 답하였다. 이후 Binkley, Erstad, Herman, Raizen, & Ripley(2010)은 21세기 미래 사회의 능력들을 네 가지 범주로 분류하여 정리하였다. 네 가지 범주는 각각 사고하는 방법, 일(공부)하는 방법, 일(공부)을 하기 위한 수단들, 실세계에서의 삶이다. 사고하는 방법은 창의적이고 현실적이어야 하며 비판적인 사고와 문

제해결능력, 의사결정능력과 메타인지를 포함하는 것으로 사고하는 방법을 잘 이해하고 있는 능력이 미래 사회에 필요한 능력의 범주 중 첫 번째이다. 일(공부)하는 방법은 의사소통 능력과 협력과 팀워크에 필요한 능력을 갖추는 것을 의미하는 것으로 두 번째 범주에 해당된다. 일(공부)하기 위한 수단으로는 정보 소양, 테크놀로지적 소양으로 이 소양들을 통해 미래 사회에 필요한 능력을 갖추는 것을 의미하는 것으로 세 번째 범주에 해당된다. 마지막 범주는 삶과 직업, 개인적 사회적 책임을 가지고 세상에 적응하면서 살아가는 삶을 의미한다. Shultz, & Zedeck(2011)도 21세기 필요한 기능들을 지적이고 인지적인 능력(분석과 추론, 문제해결), 정보 수집 능력, 의사소통 능력(말하고 듣고 쓰기), 계획하고 조직하는 능력(전략 계획하기, 조직하고 조절하기), 갈등을 해결할 수 있는 능력, 다른 사람들과 협동하기 등으로 분류하여 제시하였다. DeSeCo(Definition and Selection of Competencies) 프로젝트에서는 핵심 역량을 환경과 효과적으로 상호작용하기 위해 언어, 테크놀로지 등의 도구를 사용할 수 있는 개인의 능력, 다양한 사람들과 상호작용하는 능력, 사회적 맥락에서 그들의 삶을 위해 책임감을 가지고 독자적으로 행동할 수 있는 능력으로 보았다. (OECD, 2005).

Stanley(2011)는 Markham, Larmer & Ravitz(2003)과 Larmer, Ross & Mergendoller(2009)에 의해 제시된 21세기 역량을 분석하여 협력, 표현, 비판적 사고와 문제해결이라는 세 가지 범주로 분류하여 제시하였는데, 그 내용은 <표 II-2>와 같다.

21세기 미래 사회가 요구하는 역량은 수학교육 뿐 아니라 어떤 분야에서도 필요한 것이며 특히 이러한 인재를 양성해야 하는 각 교육 분야에서 요구되는 역량을 이해하고 이를 토대로 교육방향을 설정하여 실제 교육현장에 적용해야

할 것이다.

<표 II-2> 21세기 역량(Stanley, 2011)

범 주	구체적 역량
협력 ( <i>Collaboration</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 그룹 활동을 하는 동안 과제에 집중하여 자신들이 하는 일에 대한 질적인 책임을 다하기</li> <li>• 그룹에서 다른 구성원들을 이해하고 양질의 산출물을 만들어 내기 위해 서로 도우며 책임 공유하기</li> <li>• 논의와 의사결정이 용이하게 되도록 전략 사용을 적용하거나 촉진하기</li> <li>• 우선순위인 목표와 과제를 확인하고 계획을 세우며 진행 정도를 모니터링 하는 것에 의해 기획하고 조절하기</li> <li>• 다른 구성원들의 아이디어, 의견, 능력, 가치와 감정들을 존중하기</li> </ul>
표현 ( <i>Presentation</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 아이디어를 조직하고 상황에 맞는 적절한 내용 개발하기</li> <li>• 효과적인 표현 능력 사용하기</li> <li>• 효율적인 내용전달을 위해 미디어나 시각적인 요소를 첨가하여 장안하기</li> <li>• 청중들의 반응이나 이해를 이끌어내기 위해 적절한 표현 조정하기</li> <li>• 질문에 적절히 답변하기</li> </ul>
비판적 사고와 문제해결 ( <i>Critical Thinking and Problem Solving</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 문제에서 제시된 조건이나 이슈들을 명확히 인식하고 정의하기</li> <li>• 다양한 자료들로부터 관련 있는 정보들을 모으고 그 정보들의 질을 평가하기</li> <li>• 설득력 있는 결론과 해결을 위해 정보들을 조직, 분석, 종합하기</li> </ul>

### III. 연구 방법

#### 1. 연구목적과 연구문제

의미 있는 STEAM 교육을 위해서는 어떤 소재를 활용하여 어떤 교수 학습 방법으로 수업할 것인지, 그 수업이 STEAM 교육이 목표하는바 즉, 융합적 지식의 생성과 정의적 태도의 신장에 어떤 영향을 주는 지에 대한 다양한 경험적 증

거와 축적이 우선되어야 한다. 본 연구는 STEAM 교육의 하나의 사례 연구로서 STEAM에 적합한 수업 자료 개발, 교수 학습 방법의 제안, 효과 분석을 통한 STEAM의 가능성 탐색을 목적으로 한다.

본 연구에서는 역사적으로 수학과 과학(여기서는 특히 천문학)이 통합되어 있으며, 학생들이 수학적 가치를 비롯한 학문의 가치를 인식할 수 있는 절기 변화와 해시계(sundial)를 STEAM 교육의 내용으로 선정하였다. 수업은 학생들이 능동적으로 탐구하고 협력을 통해 결과물을 산출하는 프로젝트기반학습 즉, STEAM PBL의 방법을 따랐다. 수업에서는 문제해결을 위해 그래픽 계산기 등의 공학 도구를 활용하며, 원리 탐구를 위해 직접 모형을 제작하도록 하였다. 수업의 소재로 활용한 수학사는 수학적 가치를 포함하여 학문적 가치를 인식하는 데 기여할 수 있으며, PBL은 융합적 지식 형성과 학생들의 21세기 역량에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것이라 보고 STEAM PBL을 설계, 실행하고 그 결과를 분석하였다. 본 연구의 목적에 따른 연구문제는 다음과 같다.

**【연구문제 1】** STEAM PBL은 융합적 지식 형성과 팀원 간의 협력, 표현, 비판적 사고와 문제 해결을 포함하는 21세기 역량 신장에 어떤 영향을 주었는가?

**【연구문제 2】** 수학을 소재로 한 STEAM PBL은 수학적 가치를 포함하는 수학적 태도에 어떤 영향을 주었는가?

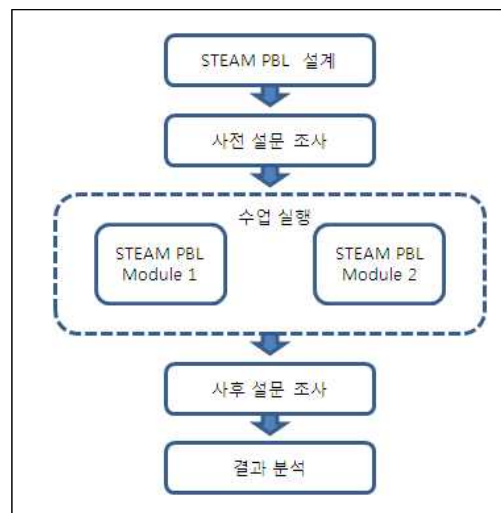
## 2. 연구대상

본 연구는 2012년 2학기 경기도에 소재한 남녀 공학 인문계 고등학교에서 ‘심화과학반’을 수

강한 1학년 학생 18명 중 모든 수업과 설문에 참여한 학생 16명을 대상으로 한다. 이 학생들은 고등학교 1학년 과정의 역함수, 삼각함수는 배우지 않았으나, 중학교 과정의 삼각비는 학습한 상태였다. STEAM PBL 수업 활동 시 모듈별 4~5명을 한 모듈로 하여 네 개의 모듈로 수업을 진행했으며, 연구자 중 1인이 직접 수업하였다.

## 3. 연구 절차 및 방법

본 연구는 수학을 활용한 STEAM PBL을 설계하고, 수업 실행 전후에 수학적 가치를 포함하는 수학적 태도 변화를 파악하기 위해 설문 조사를 실시하였다. 수업 실행 중에는 학생들의 담화, 행동을 중심으로 융합적 지식의 형성, 21세기 역량 변화를 분석하였다. 수업 실행이 끝난 후에는 설문 조사, 학생들의 결과물, 수업 과정을 연구문제와 관련지어 분석하였다. 본 연구의 대략적인 개요는 [그림 III-1]과 같으며, 각 단계에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.



[그림 III-1] 본 연구의 절차

첫째, STEAM PBL의 내용은 수학과 과학 교

과의 현행 교육과정 및 교과서 분석과 문헌 연구를 통해 설계하였고, 수학교육 전문가 1인, 과학 내용 전문가 2인, 현직 고등학교 수학 교사 1인의 자문을 거쳐 수업 활동지를 수정·보완하였다. 수업은 고대 천문수학서인 주비산경의 내용을 토대로 24절기와 태양의 고도를 다루는 Module 1과 태양의 고도를 토대로 시간을 측정하는 해시계의 원리를 탐구하는 Module 2의 두 부분으로 구성하였다.

둘째, 수학적 가치를 포함하는 수학적 태도에 대한 설문 문항은 수학의 가치 관련 연구물과 TIMSS 2007 학생 설문(김경희 외, 2007)을 토대로 작성하였다. 이 설문조사는 수업 전과 후에 동일한 설문지를 사용하여 비교 분석하였다.

셋째, 수업 실행의 개요는 다음과 같다. 수업은 3주 동안 매 주 1회씩 150분간 진행하였는데, 이 시간은 고등학교 정규 수업시간을 기준으로 하면 총 9차시에 해당한다. 학생들은 탐구 과정에서 그래픽계산기를 활용하였으며, 모듈별로 논의하여 문제를 해결하고 그 결과를 기록하여 전체 학생들에게 발표하였다. 이때 모듈 별로 설계 노트를 작성하여 발표하도록 하였으며, 다른 학생들은 발표하는 학생의 의견에 질문을 하도록 하여 학생들 사이의 협력 및 의사소통, 비판적 사고가 드러나도록 하였다. STEAM PBL 수업의 구체적 과정은 다음 <표 III-1>과 같다.

본 수업에 필요한 그래픽 계산기의 조작에 대하여 학생들이 사전 지식이 없었기 때문에 Module 1의 도입에 앞서 활동에 필요한 계산기 조작에 대한 정보를 제공하였다. 이때 그래픽 계산기는 Voyage 200 7대와 TI-92 9대를 사용하였다.

넷째, 모든 수업이 끝난 후, 두 명의 학생들의 반구조화된 면담을 실시하였다. 면담은 면담을 희망하는 학생 중 남학생, 여학생 각 1명을 대상으로 하였으며 수업에 대한 반성적 질문을 반구

<표 III-1> 차시별 수업 내용

구분	차시별 내용	
I 차시	1차시	사전 설문 및 학습 내용 안내
	2차시	그래픽 계산기
	3차시	24절기 탐구
	4차시	태양의 고도
	5차시	현재 자료와 비교분석
II 차시	6차시	해시계의 원리
	7차시	평면 해시계 탐구
	8차시	양부일구 탐구 및 제작
	9차시	사후 설문 및 인터뷰

구조화된 형태로 진행하고 분석하였다.

다섯째, 모든 수업 과정과 면담은 비디오로 녹화하였고 전사하여 분석하였다. 각 모듈별로 녹화, 전사된 자료를 이용하여 21세기 역량인 학생들의 협동능력, 표현력, 비판적 사고와 수학적 문제해결력이 어떻게 나타나는지 학생들의 언어와 행동을 코드화하여 분석하였는데, 21세기 역량은 Stanley(2011)이 제시한 내용을 토대로 분석했다. 분석틀은 다음 <표 III-2>와 같다.

<표 III-2> 21세기 역량 분석틀

범주	구체적 능력
협력	모듈 내에서 해야 할 일을 서로 나누어 하기(C1)
	전략을 논의하거나 다른 의견을 낼 수 있도록 촉진하기(C2)
	서로 설명하거나 질문하는 활동(C3)
	친구들의 의견 존중하기(C4)
표현	자신의 생각을 명확하게 표현하기(P1)
	시각적 요소를 부가하여 내용전달하기(P2)
	전체 학생들에게 발표할 때 학생들의 이해를 위한 표현하기(P3)
	질문하기와 질문에 답하기(P4)

비판적 사고와 문제해결	문제에서 의미하는 것을 이해하기 (PB1)
	주어진 정보를 통합하여 정리하기 (PB2)
	의견을 모으고 종합, 분석하기 (PB3)

#### 4. STEAM PBL 설계

김진수(2012)는 STEAM 교육에서 과학은 탐구와 실험, 원리, 개념 중심이므로, 기술과 공학에서 강조하는 설계와 만들기 중심의 창의적 문제해결이 결합되어야 진정한 STEAM 교육이 가능하다고 하였으며, 이 과정에서 예술적 감성과 디자인은 필수적이라고 하였다. 또한 STEAM 교육은 최종적으로 산출물을 도출해야 하며, 이를 통해 학생들은 과학, 수학에 대해 흥미와 이해도를 높일 수 있고, 관련 내용인 기술, 공학, 예술적 요소까지도 배울 수 있다고 하였다. 본 연구도 동일한 취지에서 <표 III-3>과 같이 STEAM PBL의 내용을 설계하였다.

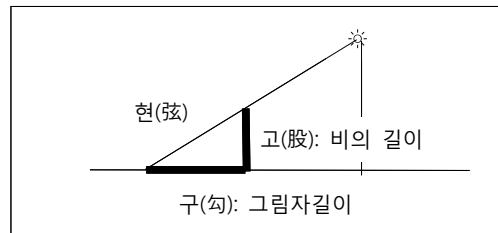
<표 III-3> STEAM PBL 내용 설계

영역	세부 요소
<b>S</b>	24절기, 태양의 고도, 천체의 운동
<b>T</b>	그래픽 계산기를 이용한 탐구
<b>E</b>	해시계의 설계 원리 탐구 및 제작
<b>A</b>	수학사 문헌 탐구, 수학의 심미적 가치에 대한 이해
<b>M</b>	삼각함수

##### 가. Module 1의 설계

Module 1에서는 고대 천문수학서인 주비산경(차중천, 2000)과 이민희, 임해미(2012)의 연구를

토대로 24절기와 태양의 고도를 다루었다. 우선 24절기의 의미와 특징을 조사하고, 주비산경에 제시된 각 절기별 주비의 길이(8자, 약 242.4cm)에 대한 그림자의 길이 계산([그림 III-2] 참조)을 토대로 태양의 고도를 계산하도록 하였다.



[그림 III-2] 그림자 길이 측정

한 예로, 동지의 그림자 길이는 1장 3자 5치인데, 1장은 303cm, 1자는 30.30cm, 1치는 3.03cm이므로, 그림자의 길이를 현재의 길이로 환산하면 409.05cm가 된다. 이때, 태양의 고도는 주비의 길이에 대한 그림자 길이의 비이므로 탄젠트 값( $242.4/409.05$ )은 약 0.5925가 되며, 탄젠트의 역함수를 이용하면 태양의 고도가 약  $30.65^\circ$ 임을 알 수 있다.

각 절기별 태양의 고도를 계산한 뒤에는 주비산경에서 주비의 그림자 길이를 조사한 지역인 화북지방 위도  $34^\circ 48'$  과 유사한 위도를 갖는 우리나라 부산(위도  $35^\circ 5' 5''$ )의 2012년 태양의 고도와 태양의 적위를 한국천문연구원의 자료를 토대로 조사하도록 하였다. 동지의 경우, 부산 지역에서 태양의 고도는  $31^\circ 13' 18.3''$ 로 주비산경에서 측정된 값을 토대로 계산한  $30.65^\circ$ 와 거의 유사함을 알 수 있다(한국천문연구원, 2012).

이 활동을 통해 학생들은 과학과 관련하여 24절기, 절기별 태양의 남중고도, 태양의 적위, 태양의 운동 등에 대해 학습할 수 있으며, 수학과 관련하여 삼각비, 삼각함수, 삼각함수의 역함수에 대해 학습하게 된다. 탐구 과정에서 그래픽



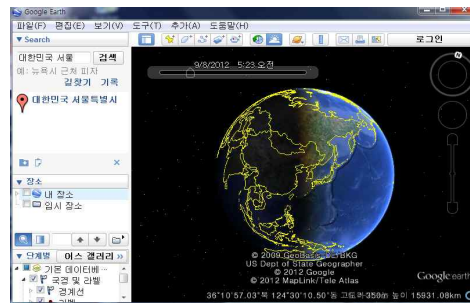
계산기를 활용하며, 천문 수학서인 주비산경을 다룸으로써 수학의 가치와 심미성을 느낄 수 있는 계기가 될 것으로 보인다. Module 1은 본격적인 PBL이 시작되는 Module 2의 준비 단계로 볼 수 있다.

#### 나. Module 2의 설계

Module 2에서는 태양의 고도 변화를 통해 시간을 측정하는 해시계의 설계 원리를 탐구하였다. 특히 해시계의 설계 원리를 토대로 새로운 해시계를 설계해보는 창의적인 활동으로 확산하는 것이 Module 2의 궁극적인 목표이다. 학생들에게 PBL의 과제로 첫째, 우리나라의 해시계 중 천평일구, 평면해시계, 양부일구의 설계 원리를 탐구하기 둘째, 이를 토대로 새로운 해시계를 설계해보는 것을 제시하였다. 관련 학습 자료 구성을 위해 해시계와 관련된 동서양 문헌 및 해시계 설계 관련 웹 자료를 조사하고(이은성, 1982; 이해주, 2002; 문중양, 2006; 박상표, 2008; Bailey, 2003; Bond, 2010, Sundials on the internet, 2013), 관련 교육과정(김희수 외, 2003; 교육과학기술부, 2012a; 2012b)을 분석하였다.

Module 2를 통해 학생들은 과학과 관련하여 천구의 북극, 남극, 적도, 시간권, 자오선 등을 포함하는 지평좌표계, 천구에서의 태양의 운동과 이에 따른 시간의 변화를 학습하게 된다. 수학과 관련해서는 삼각함수의 활용, 삼수선의 정리 등을 배울 수 있다. 학생들은 다양한 해시계의 원리를 탐구함으로써 동양수학사의 가치와 우수성을 느낄 수 있을 것으로 보인다. 활동의 주요 단계는 다음과 같다.

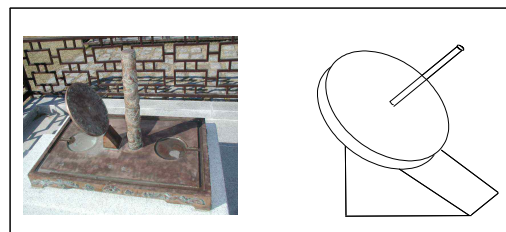
첫째, 지구의 자전에 의해 밤과 낮이 변화하는 현상을 Google Earth를 통해 확인하도록 하였다. 학생들은 Google Earth의 시간 스크롤바를 이용하여 지구의 자전 방향과 자전에 의한 밤낮의 변화를 직접 관찰한다.



[그림 III-3] Google Earth를 통한 관찰

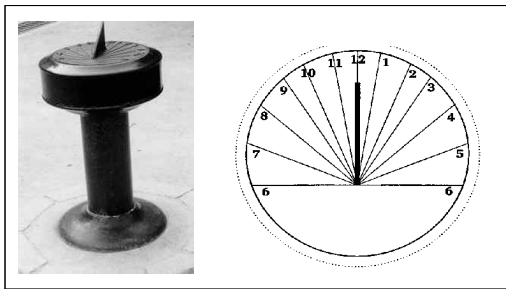
둘째, 우리나라 해시계 중 하나인 천평일구와 평면해시계의 설계 원리에 대해 탐구한다. 천체의 실제 운동과 관측자 입장에서의 천체의 운동에는 차이가 있는데, 해시계는 관측자 입장에서의 지평좌표계를 토대로 제작된다. 해시계는 태양의 일주 운동으로 생기는 그림자의 위치 변화를 이용한 시계로, 인간이 만든 가장 오래된 시계이다. 초기의 해시계는 지면에 수직으로 세운 막대와 간단한 눈금으로 이루어졌으나, 계절에 따라 눈금이 벗어나는 결점이 있었다. 지구는 24 시간에 360° 회전을 반복하기 때문에 1시간당 시간 변화는 15°이다. 지면에 수직으로 막대를 세우고 그 주위를 24등분하여 선을 그으면 간단한 해시계가 된다. 그러나 이것을 그대로 사용할 수 있는 곳은 북극뿐이며, 보통은 자전축과 평행이 되도록 막대를 놓아야 한다.

천평일구는 [그림 III-4]와 같이 수평면에 대해 시반을 그 지역의 위도만큼 기울여 놓은 것으로, 시반이 이미 기울어져있기 때문에 시반에서 시각 구분선은 15° 간격으로 일정하게 나타내면 된다.



[그림 III-4] 천평일구와 시반

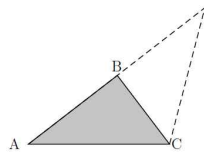
그러나 평면해시계는 시반이 기울어져있지 않기 때문에 [그림 III-5]와 같이 시각 구분선 사이의 간격이 일정하지 않으며 재계산하여 선을 그어야 한다. 덕수궁에 있는 평면해시계는 규표가 직각삼각형 형태인데, 직각삼각형 규표의 사이각은 해시계가 위치한 지역의 위도와 일치하도록 만들어져있으며, 규표의 그림자로 나타나는 시각 사이의 구분선은 그 간격이 일정하지 않다.



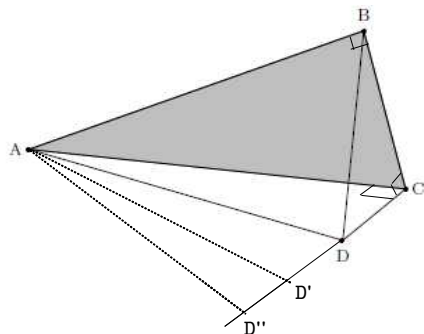
[그림 III-5] 평면해시계와 시반

평면해시계의 설계 원리는 다음과 같다. 우선, [그림 III-6]의 삼각형 ABC는 평면해시계의 규표이다. 이때, 선분 AC는

시반의 중심에 위치하도록 하고, 선분 AB는 나침반을 이용하여 북쪽에 놓는다. 점 B의 위치는 선분 AB의 연장선 위에 어디에든 놓을 수 있지만, 여기서는 시각 구분선



[그림 III-6]



[그림 III-7] 평면해시계의 원리

사이의 각을 찾기 위해 각 ABC를 직각으로 두기로 한다. 이때, 각 BAC는 그 지역의 위도를 나타내며,  $\lambda$ 라고 둔다. 이후 계산에서는 우리나라의 위도를 반영하여  $\lambda$ 에  $37.5^\circ$ 을 대입하기로 한다.

한편, 평면해시계에서 직각삼각형 ABC의 그림자는 [그림 III-7]과 같이 직각삼각형 ACD로 나타난다. 이때, 각 ACD와 각 BCD는 모두 직각이므로 삼각형 ACD와 BCD도 직각삼각형이 된다. 이때, 각 ACD가 직각인 이유는 삼수선 정리에 의해 설명된다. 고등학교 1학년은 삼수선의 정리를 학습하기 전이지만, 이 부분에 대해서는 간단한 증명과 예시를 통해 직관적으로 이해할 수 있는 수준에서 교사가 언급해줄 필요가 있다. 이때, 선분 AD가 선분 AB의 그림자가 되며, 시간이 흐르면 AB의 그림자는 AD, AD', AD'' 등으로 위치가 변화될 수 있다. 이때 각 CAD, CAD', CAD''를 구하면 시각구분선을 정확하게 그을 수 있다.

삼각형 BCD는 천평일구의 시반과 동일한 각도로 놓여있다고 볼 수 있는데, 천평일구에서 시각 구분선은  $15^\circ$  간격으로 일정하게 나타내므로 각 CBD를  $\omega$ (이때,  $\omega$ 는  $15^\circ$ 의 배수)로 둘 수 있다. 시간이 흐름에 따라 각 CBD는  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,...로 변화되며, 이때 시각구분선 사이의 각 CAD, CAD', CAD'',...도 함께 변화된다. 이 각을  $\phi$ 라 두면, 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$[1] \frac{BC}{AC} = \sin \lambda \quad (\text{이때, } \lambda \text{는 위도})$$

$$[2] \frac{CD}{BC} = \tan \omega \quad (\text{이때, } \omega \text{는 } 15^\circ \text{의 배수})$$

$$[3] \frac{BC}{AC} \frac{CD}{BC} = \frac{CD}{AC} = \tan \phi = \sin \lambda \tan \omega$$

$$[4] \phi = \tan^{-1}(\sin \lambda \tan \omega)$$

따라서 평면해시계의 첫 번째 시간구분선에

해당하는 각  $\phi$ 는  $\tan^{-1}(\sin 37.5^\circ \cdot \tan 15^\circ)$ 이 되며, 그래픽 계산기를 이용하여 값을 구할 수 있다.

셋째, 24절기와 시간을 함께 나타내는 양부일구의 설계 원리를 탐구하고, 직접 모형을 제작하는 과정을 통해 새로운 해시계를 설계하는 아이디어를 도출한다.

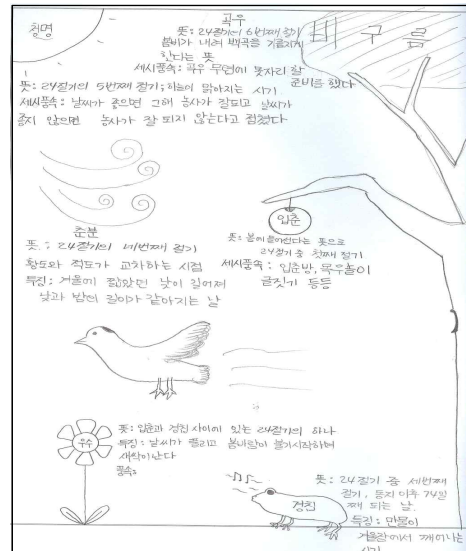
## IV. 연구 결과

### 1. STEAM PBL과 21세기 역량

본 연구에서는 수학, 수학사, 과학(천문학 또는 지구과학), 테크놀로지 등을 융합하여 학습 내용을 구성하고 PBL 과정에서 나타나는 21세기 역량, 수업을 통한 수학적 가치를 포함한 태도 변화를 분석하였다. 우선 Module 1에서는 주비산경에서 제시된 자료들을 토대로 주비의 길이와 각 절기별 주비의 그림자 길이를 환산하고 두 길이의 관계를 산점도와 회귀곡선으로 나타내어 봄으로써 삼각함수 중 탄젠트함수의 그래프에 대한 학습을 할 수 있도록 하였다. 그리고 태양의 고도를 찾아내기 위해서 탄젠트함수의 역함수를 이용하였다. 이때 계산되는 태양의 고도의 값들은 호도법으로 표현되어 학생들은 호도법에 대한 학습의 기회도 제공하였다. 또한 이 활동들의 기반이 되는 24절기에 대한 학생들의 조사활동도 실시하였다. 학생들이 24절기를 조사하고 각 모듈별로 정리하여 발표하였다. 이때 한 모듈에서는 [그림 IV-1]과 같이 정리하고 발표함으로써 전체 학생들의 흥미를 이끌고 정보를 통합하여 명확하게 표현하였으며 시각적 요소를 부가하여 내용을 전달하였다(P1, P2).

또 자료를 정리하면서 구성원 간의 역할을 분담하고 합의하는 과정을 거쳤다(C1). 즉 21세기

역량 중 ‘그룹 활동을 하는 동안 과제에 집중하여 자신들이 하는 일에 대한 질적인 책임을 다하기, 다른 구성원들의 아이디어, 의견, 능력, 가치와 감정들을 존중하기, 효율적인 내용전달을 위해 미디어나 시각적인 요소를 첨가하여 창안하기, 청중들의 반응이나 이해를 이끌어내기 위해 적절한 표현 조정하기’가 발현되었다.



[그림 IV-1] 24절기 정리

학생들이 절기별 주비의 그림자 길이를 환산하면서 규칙성을 발견하여 24절기의 모든 그림자 길이를 계산하지 않고 활동을 하였다.

학생 A : 우선 환산하는 것은 그냥 계산하면 되는 것 같아.

학생 B : 그림 나는 밑에서부터 한다.

학생 A : 그림 우리 환산한 걸로 탄젠트 구하자 우리 할 수 있어. 내가 입춘까지 영진이가 우수부터 청명, 네가 하지부터 곡우.

학생 A : 야! 규칙이 30.05인 거 같은데?

학생 B : 야, 우리가 각자 구한 값들을 다 불러보고 규칙을 보자.

학생들 : 아, 맞아. 30.05씩 변한다.

이때 학생들은 서로 자신이 해야 할 일을 나누어 하고 서로 맞추어 보면서 규칙을 찾고 그 다음 단계로 문제를 해결해 나갔다. 21세기 역량 중 그룹 활동을 하는 동안 과제에 집중하여 자신이 하는 일에 대한 책임을 하는 협동의 과정이 나타났다. 그러나 모듈의 구성원 4명 중 2명의 주도로 문제해결이 이루어졌다.

학생들은 주비의 길이에 대한 준비 그림자의 길이의 비를 탄젠트 값으로 계산하고 그래픽계산기를 이용하여 [그림 IV-2]와 같이 태양의 고도를 계산하였다.

Angle	Tan Value
$\tan(.639578)$	.743888
$\tan(.694655)$	.833192
$\tan(.760113)$	.950667
$\tan^1(.83919)$	.698185
$\tan^1(.760113)$	.649942
$\tan^1(.694655)$	.60713
$\tan^1(.639578)$	.569014
$\tan^1(.936631)$	.752689

[그림 IV-2] 태양의 고도 구하기

이때 학생들은 아직 역함수를 학습하지 않은 상태이기 때문에 역함수의 의미는 교사가 설명하였다. 그러나 모든 학생들이 역함수의 의미를 확실히 이해하지 못하였으나 모듈별 토론을 통해 학생들 스스로 서로 부족한 내용은 알려주면서 학습을 진행하였다.

학생 F : 역함수가 분수로 하는거야?

학생 E : 아니 그게 아니라  $x$ 랑  $y$ 의 역할을 바꾸는 거야. 봐봐  $\tan^{-1}(0.2066)$  이렇게 하면 1.1453 인거 같아.

학생 F : 아 나 뭔지 알겠다. 탄젠트 값에 따라서 각도가 달라지는 거 맞지?

이때 학생 E는 다른 구성원들을 이해하고 양질의 산출물을 위해 개선하도록 돕는 행동을 함으로써 21세기 역량 중 협동에 해당하는 역량을 드러냈으며 자신의 생각을 명확하게 전달하는

것에 있어 표현 능력도 나타내었다(C3, P1).

또 태양의 고도와 탄젠트 값들을 산점도로 나타내고 이들 사이의 관계를 나타내는 그래프를 독립변수와 종속변수를 학생들이 지정하여 그래픽계산기를 통해 그려봄으로써 삼각함수 중 탄젠트 함수의 그래프를 대한 이해를 할 수 있었다.

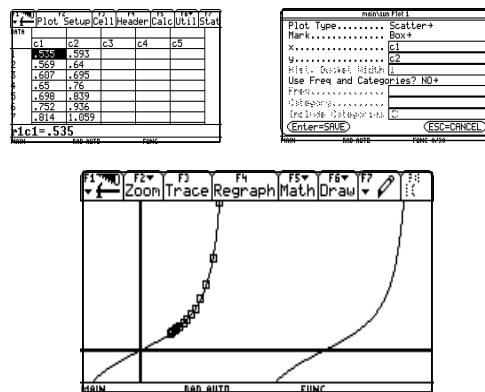
학생 G : 이 각도를  $x$ 로 변수로 하고 탄젠트를  $y$ 변수로 해보자.

학생 H : 아니지. 우리가 구한 세 개를 모두 사용해야 하는 거 아니야?

학생 G : 아니, 우리가 각도랑 탄젠트와의 관계를 알아야 하니까 이 두 개만 쓰면 될 것 같아.

학생 F : 태양의 고도를  $c_1$ , 탄젠트를  $c_2$ 로 놓고 변수로 하면 된다구.

다음 [그림 IV-3]은 학생들이 그래픽계산기를 통해 삼각함수 그래프를 그려보고 이해하는 과정을 나타낸 것이다.



[그림 IV-3] 그래픽 계산기 화면

이후 학생들이 준비산경에서 제시된 자료를 토대로 계산한 태양의 고도와 현재 준비산경 자료와 같은 위도를 갖는 부산에서의 절기별 태양의 고도 자료를 비교하고 논의해 봄으로써 학생들은 동양수학과 천문학의 위대함을 느낌과 동

시에 과거의 자료와의 오차발생 원인에 대한 토론을 하였다.

학생 G : 아직 잠깐, 우리 부산의 자료랑 비교해보기로 했잖아.

학생 E : 우리 보면서 생각을 좀 해보자.

학생 F : 지금은 또 사회 시간 같아. 중국자료랑 비교하니까, 근데 갈수록 값이 더 커져.

학생 H : 지역의 크기 차이 때문에 그런 거 아닌가? 하하, 중국이 땅이 더 넓으니까.

학생 G : 주비산경은 옛날 것이니까 오차가 많아서 그런 것 아닌가?

학생 H : 아니면 지구의 자전축이 예전에 비해 바뀐 거 아닌가?

학생 G : 그런가? 그렇다고 이렇게 오차가 절기별로 차이가 다를까?

학생 E : 적위 때문인가?

학생 G : 야, 근데 땅이 평평한 거 아닌데 그냥 평평하다고 하고 재어서 그런 거 아니야?

학생 H : 너희 여태까지 생각하거나 토의한 것들을 정리해보자.

학생들은 고대 중국에서 개천설을 따랐고 지역의 위도를 고려하지 않아 각 절기별 태양의 고도의 차이가 존재함을 정확하게 찾지는 못하였다. 그러나 학생들 개개인이 자신의 의견을 표현하고 서로 존중하였으며 여러 의견을 모으고 종합하려는 시도를 하였다(C4, PB3). 따라서 21세기 역량 중 표현과 비판적 사고 및 문제해결 능력이 발현된 것으로 분석된다.

Module 2는 천평일구와 평면해시계의 원리에 대하여 탐구하고 평면해시계와 양부일구는 직접 제작하는 활동을 시행하였다. 천평일구의 원리에 대한 탐구 전에 천체의 운동, 태양의 고도에 대한 내용을 교사가 설명하여 학생들이 효율적으로 탐구할 수 있도록 활동지의 발문을 단계적으로 제시하여 학생들의 논리적 사고를 촉진하였다.

학생 E : 북극에서만 평평한 시계를 놓았을 때 그대로 읽을 수 있다고 했잖아 그러면 위도가 서울, 그러니까 대충 37도면 해시계를 평평한 것으로 놓으면 안 될 것 같아.

학생 G : 이야 똑똑한데!

학생 H : 수평면에 대해서 각도니까 이 각도는 90도이고 이 각도는 그냥 위도일 것 같아.

학생 G : 네가 반론해봐.

학생 E : 여기 공식에 넣어보니까 맞네.

학생 F : 근데 난 시반이 왜 기울었는지 모르겠어.

학생 E : 그러니까 우리가 시반이 그냥 평평하면 우리나라나 다른 나라에서는 그대로 시간을 읽을 수 없는 거야. 이 해시계의 시반이 기울어야 그대로 시계를 읽을 수 있는 거야.

학생들은 서로 자신의 의견을 표현하고 모둠구성원들의 의견을 존중하면서 서로 질문하고 답하며 협동은 물론 비판적 사고를 하며 논리적인 표현을 하는 양상을 보였다(C4, P1).

그러나 천평일구의 원리에 대한 발표를 하는 과정에서 한 학생이 발표하는 학생에게 질문을 하였지만 그 질문에 대한 답을 하기 보다는 감정적으로 대응하는 측면을 보여 다른 모둠에서 자신의 모둠 의견과 다른 의견을 제시하는 것을 받아들이는 소양은 수업에서 다양한 의사소통 활동을 경험하도록 하여 자연스럽게 길러주어야 할 것으로 보인다(P3, P4).

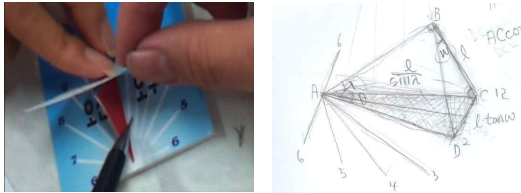
발표학생 : (그림을 칠판에 직접 그리며) 알아보시겠어요? 이게 자전축, 이게 적도이고 이 쪽이 우리나라라고 가정하면, 이 삼각형은 해시계를 말하는 것인데 이 삼각형이 랑요 삼각형이 닮음이에요.

학생 : 왜요?

발표학생 : 그럼 직접 나와서 말해보세요.

평면해시계의 시반에서 시간을 구분하는 선을 결정하는 것은 삼각함수의 합성이라는 수학적

내용을 내포한다. 이 원리를 학생들이 탐구하여 발견하여 시간대 별 시간구분선의 각도를 직접 계산하도록 하는 활동을 제시하였다. 또 원리 탐구를 위해 학생들 각자 평면해시계 모형을 제작해 보았다.



[그림 IV-4] 평면해시계의 원리 탐구

평면해시계 시반의 시간 구분선을 결정하는 각도들을 찾는 과정에서 학생들은 교사의 도움을 다른 활동보다 많이 필요로 하였다. 그러나 학생들은 활동지에 제시된 질문을 체계적으로 해결해 나가면서 원리를 발견하였다.

학생 C : 우리가  $\angle DBC$  를 아는 거야?

학생 B : 지금은 우리가 알지만...시간마다 오메가가 다르니까...

학생 A : 탄젠트 오메가가...

오 이거 약분되니까 진짜 간단하게 나오네.

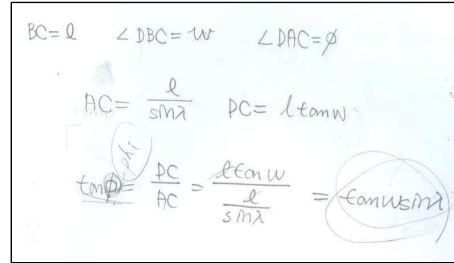
학생들 : 아, 그러네.

학생 B : 그럼 우리 구한 거네.

학생 C : 그럼 우리가 시간선을 구하는 방법을 알았잖아.

학생 B : 그런데 지금 우리가 적은 건 너무 지저분하니까 뒤에다 다시 정리해서 적자.

학생들은 자신들이 찾아야 할 원리를 정확히 인식하고 해결하였으며 서로를 격려했다(C4). 또 원리를 찾은 후에는 전체 발표를 위해 효과적으로 다시 표현하고자 [그림 IV-5]와 같이 설계 노트를 작성하였다.



[그림 IV-5] 평면 해시계 시간 구분선 원리

각 모듈별로 평면 해시계의 원리를 발표하고 교사의 정리 후 양부일구 모형을 만들어 보면서 시반의 시간선과 규표에 대한 원리를 다시 생각해 보는 기회를 제공하여 본 수업의 목적이 무엇이고 학습해야 할 내용이 무엇인지 인식하도록 하였다([그림 IV-6] 참조).



[그림 IV-6] 해시계(양부일구) 제작

본 수업에서 모듈별 토론을 하거나 그래픽계 산기를 사용하여 문제를 해결해 가는 과정에서 수업 초반에는 친한 친구나 옆 구성원 둘이 문제를 해결하고 논의를 하였지만 점차 문제 상황이 복잡해지면서 모든 구성원이 토론을 하는 경향을 보였다. 또 서로 의견을 존중하고 그 의견을 바탕으로 발전시키려고 하였으며 설계노트를 모듈별로 작성하면서 구성원들 사이에서 자신의 장점을 부각시켜 분담하려는 경향도 나타났다. 그러나 수업 중간 중간 모듈에서 일부 학생들의 주도로 진행되는 경우도 발견되었고 전체 발표하는데 있어 비판적 질문에 답하지 않는 경우도

관찰되었다. 따라서 미래사회에 적응할 수 있는 역량을 키우기 위해서는 학교 현장에서부터 이러한 점들을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

## 2. STEAM PBL과 수학적 태도

본 연구에서 제시하는 STEAM PBL 수행을 통해 학생들의 수학적 태도의 변화를 알아보고자 동일한 설문문항으로 사전, 사후 조사하였다. 이 설문은 수학의 역사적 가치, 사회적 가치, 문화적 가치, 실용적 가치에 대한 학생들의 인식을 묻는 설문으로 5점 리커트 척도로 구성하였다. 각 문항에 대한 내용은 다음 <표 IV-1>와 같다.

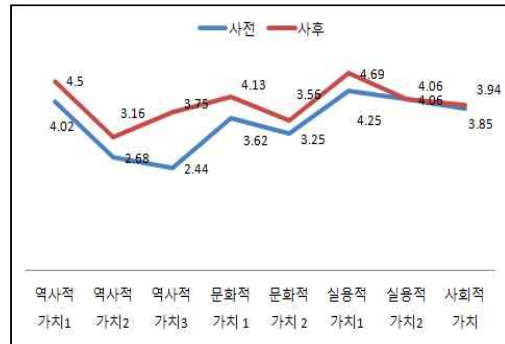
<표 IV-1> 설문 문항

범주	문항내용
역사적 가치	역사적 가치의 인식 정도
	동양수학사에 대한 지식 정도
	동양수학사에 대한 자부심 정도
문화적 가치	문화적 가치의 인식 정도
	수학과 인류문화의 관련 정도
실용적 가치	실용적 가치의 인식 정도
	타학문과의 연관성에 대한 인식 정도
사회적 가치	사회적 가치의 인식 정도

학생들의 수학의 가치에 대한 설문을 사전, 사후로 실시하고 설문 결과의 변화를 5점 척도(매우 그렇지 않다=1, 그렇지 않다=2, 보통이다=3, 그렇다=4, 매우 그렇다=5) 중 평균으로 비교 분석하였다. 또 모든 수업이 종료되었을 때 수업에 적극적으로 참여한 학생 E와 학생 G를 대상으로 수학의 가치와 STEAM PBL 수업에 대해 반구조화된 면담을 실시하였다.

먼저 설문 조사결과를 보면, 본 수업에 참여한 학생들의 학업성취는 높은 편에 해당되므로 큰

변화로 수학의 가치에 대한 인식이 변화되지는 않았지만 비교적 긍정적인 변화를 나타내었다. 각 문항에 대한 평균 척도 점수의 변화를 나타내면 다음 [그림 IV-7]과 같다.



[그림 IV-7] 설문 분석

수학에 대한 역사적 가치의 변화가 문화적 가치, 실용적 가치, 사회적 가치의 변화보다 더 큰 비율로 긍정적 변화를 나타내었다. 이는 본 수업의 소재로 수학사를 도입한 것이 영향을 미친 것으로 판단된다. 실용적 가치의 변화가 역사적 가치보다 상대적으로 크게 향상되지 않은 이유는 본 수업에 참여한 학생들은 수학에 대한 성취가 비교적 높은 학생들이므로 수학의 실용성을 어느 정도 인식하고 있었을 것으로 보인다.

학생들의 인터뷰에서도 본 수업이 어떤 측면에서 흥미 있고 좋았는지 묻는 질문에 동양수학사의 가치를 인식하게 된 점과 수학이 다른 학문과 연결되면서 실용적이라는 측면에서 좋았다는 답을 하였다.

학생 E : 저는 우리나라 수학은 발달이 안 되었고 생각하고 있었는데 우리나라 수학이나 동양수학 역사에 대해서 좀 많이 알게 된 것 같아요.

학생 G : 원래 역사 시간이나 수업 시간에 거의 강의식으로 하니까 양구일부는 그렇구나 해 시계는 그렇구나 하고 그냥 따분하게만

생각했는데, 이 수업을 통해서 수학적인 면이 정말 많다는 것을 알게 되었고 하나 하나 식에 대입하면서 해보니까 많은 노력을 통해서 이런 것들이 만들어졌다는 것을 알게 되어서 좋았어요. 또 수학은 그냥 피타고라스? 이런 것만 생각해서 안 좋은 인식이 있었는데 지금 배우는 것은 그래도 편한 내용이구나 알게 되었어요.

또한 본 수업에서 모듈별로 문제를 해결하고 산출물을 만들기 위해 토론을 하도록 한 것에 대하여 어떤 점을 느끼게 되었는지 묻는 질문에 시간이 지날수록 좀 더 동료 구성원들의 의견을 종합하여 문제를 해결하고 본인이 생각하지 못한 아이디어를 서로 공유하여 지루하지 않고 더 많이 학습할 수 있었다고 답하였다.

학생 E : 어, 애들 생각을 공유할 수 있어서 좋았고 다른 친구들 생각, 그러니까 제가 생각하지 못했던 것들을 친구들이랑 같이 생각해서 더 배울 수 있었던 것 같아서 좋았어요. 그리고 서로 친구들의 의견을 잘 존중해 준 것 같아요.

학생 G : 처음에는 여자는 여자끼리 남자는 남자끼리 하다가 점점 시간이 지나면서 서로 모르는 것은 같이 도와주면서 이해할 수 있게 해서 좋았던 것 같아요.

본 수업은 크게 두 가지 Module로 이루어진 STEAM PBL 과제로 환산 차시가 총 9차시에 해당되는 수업이다. 다양한 주제에 대한 수업이 아니고 장기간에 걸쳐 실시한 수업이라 할 수 없지만 학생들의 수학에 대한 가치의 인식정도는 수업 전과 수업이 종료된 시점에서 긍정적 변화가 나타났다. 즉 수학사를 활용하여 과학과 테크놀로지, 공학을 융합한 수업은 학생들의 수학에 대한 가치를 인식하여 수학적 태도가 긍정적으로 변화할 수 있도록 할 수 있음을 알 수 있었다.

학생들의 인터뷰에서는 기존 강의식 수업은 지식을 전달받는 것이었지만 본 수업을 통해 수학의 가치를 더욱 인식할 수 있었고 여러 분야의 학문이나 사회상과 연결된다는 것을 직접 인식하게 된 점을 강조하여 답하였다. 이는 수학을 중심으로 다른 교과를 융합하여 수학의 가치를 인식하고 수학에 대한 흥미를 향상시키며 프로젝트 기반 수업을 통해 미래 사회에 필요한 역량을 강화할 수 있음을 나타내는 것이라 할 수 있다. 따라서 수학교과가 학문 자체의 목적에서 벗어나 도구적 목적으로 인식되고 있는 현실에서 수학교과가 다른 교과와 연결성이 있고 실생활에서나 사회적 현상에 포함될 수 있음을 학생들이 인지하도록 하는 수업자료 개발 및 보급이 필요할 것이다.

## V. 결론

융합적 지식을 갖춘 인재는 여러 분야의 지식을 통합적으로 바라보는 안목뿐만 아니라 협력적 상황에서 다양한 분야의 전문가와 팀워크를 이루어 문제를 해결하는 협력적 문제해결력을 갖추어야 한다. OECD 주관의 국제학업성취도 평가 PISA에서는 여섯 번째 주기인 PISA 2015부터 협력적 문제해결력 영역을 추가하여 매주기마다 평가할 예정이다(OECD, 2012). 21세기를 살아갈 학생들에게 요구되는 역량을 구체화하고 이를 신장시킬 필요성에 대한 인식은 2003년 OECD DeSeCo Project에서 구체화되어 우리나라의 2009 개정교육과정에 영향을 주었다. 이러한 변화에 부응하기 위해서는 우리나라 교육과정에 STEAM PBL이 광범위하게 도입될 필요가 있다. 본 연구에서는 수학사를 활용한 STEAM PBL에 대한 9차시 수업을 설계, 실행한 결과, 학생들의 21세기 역량과 수학적 태도가 긍정적인 방향으



로 변화되었음을 알 수 있었다.

Robert Root-Bernstein은 저서 『Spark of genius』에서 모든 학문분야에서 창조적 사고와 표현은 직관과 감정에서 비롯되며 직관적인 생각도구는 학문에 공통적으로 사용되므로, 학문을 개별 교과로 가르치기보다 모든 지식을 망라하고 아우를 수 있는 교과목 통합을 통해 한 학문과 다른 학문을 이어줄 수 있는 직관적 통찰을 길러주는 교육이 필요하다고 역설하였다(박종성 역, 2009). 다양한 정책적 시도가 이루어지고 있는 현 시점에서, STEAM PBL을 확대되기 위해서는 다양한 형태의 수업 사례를 개발하고 검증하는 등, 학교 교육에 STEAM 교육을 폭넓게 활용하기 위한 연구가 활성화 되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- 교육과학기술부(2007). **교육인적자원부고시 제 2007-79호에 따른 고등학교 교육과정 해설**.
- 교육과학기술부(2010a). **교육과학기술부고시 제 2009-41호에 따른 고등학교 교육과정 해설 총론**.
- 교육과학기술부(2010b). **창의인재와 선진과학기술로 여는 미래 대한민국**. 2011년 업무보고. 2010. 12. 17.
- 교육과학기술부(2011a). **수학과 교육과정**. 교육과학기술부 고시 제 2011-361호 [별책 8].
- 교육과학기술부(2011b). **융합인재교육(STEAM) 사업 대전 지역 설명회 개최**. 보도자료 2011. 7. 13.
- 교육과학기술부(2012a). **초등학교 교사용 지도서 과학 5-1**.
- 교육과학기술부(2012b). **초등학교 교사용 지도서 과학 6-1**.
- 김희수, 정남식, 신동원, 박정웅, 이정식, 한홍열, 박용선(2003). **지구과학 II**. (주)천재교육.
- 김경희, 권석일, 김선희, 김지영, 진여울(2007). **수학·과학 성취도 추이변화 국제비교 연구 (TIMSS 2007) 본검사 시행 보고서**. 한국교육과정평가원. 연구보고 RRE 2007-2-1.
- 김성원(2012). **융합인재교육(STEAM) 학습 평가 모형 개발**. 한국과학창의재단, **STEAM 융합인재교육 인재 학술대회 프로시딩**. pp. 49-63.
- 김성원, 정영란, 우애자, 이현주(2012). **융합인재교육(STEAM)을 위한 이론적 모형 제안**. **한국과학교육학회지**, 32(2). pp.388-401.
- 김진수(2012). **STEAM 교육론**. 과주: 양서원.
- 문중양(2006). **우리역사 과학기행**. 서울: 도서출판 동아시아.
- 박상표(2008). **조선의 과학기술**. 서울: 현암사.
- 박종성 역(2009). **생각의 탄생**, 서울: 에코의 서재.
- 이민희, 임해미(2012). **그래픽계산기를 이용한 주비산경의 탐구**. **2012 한국수학교육학회·한국수학사학회 춘계 연합학술대회 프로시딩**.
- 이은성(1982). **해시계의 歷史와 그 原理**. **동방학지**, 33.
- 이정모(2005). **미래 융합과학기술의 틀과 인지과학**. **과학사상**, 1. pp.22-42.
- 이혜주(2002). **양부일구의 모형 제작과 활용 효과에 대한 연구**. 서울교육대학교 교육대학원, 석사학위 논문.
- 차종천 (2000). **구장산술 주비산경 (九章算術 周髀算經)**, 범양사출판부.
- 최재천(2007). **지식의 통섭**. 서울: 이음.
- 한국천문연구원(2012). <http://www.kasi.re.kr>
- Bailey, R. (2003). *Designing a Sundial from scratch*, <http://www.walkingshadow.info/Publications/Scratch.pdf>
- Berlin, D. F. (1991). *Integrating science and mathematics teaching and learning. A bibliography*. Columbus, OH: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics and

- Environmental Education.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., & Ripley, M (with M. Rumble). (2010). *Defining 21st century skills and assessments (Draft White Paper 1)*. Melbourne, Australia: Assessment and Teaching of 21st Century Skills. <http://cms.education.gov.au/NR/rdonlyres/19B97225-84B-4259-B423-4698E1E8171A/115804/definimg21stcenturyskills.pdf>
- Bishop, A. J.(1988). Mathematics education in its cultural context. *Educational Studies in Mathematics, 19*, 179-191.
- Bishop, A. J.(2008). Values in mathematics and science education: similarities and differences. *The Montana Mathematics Enthusiast, 5*(1), 47-58.
- Bond, C. R.(2010). *Sundial Design*. <http://www.crbond.com/papers/sundial.pdf>
- Capraro, R. M. & Slough, S. W. (2009). *Project-Based Learning : An Integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Approach*. Sens Publishers.
- Casner-Lotto, J., & Benner, M. (2006). *Are they really ready for work? Employers' perspectives on the basic knowledge and applied skills of new entrants into the 21st century workforce*. New York: The Conference Board, Inc., the Partnership for 21st Century Skills, Corporate Voices for Working Families, & the Society for Human Resource Management.
- Fauvel, J.(1991). *For the learning of mathematics, 11*(2), 3-6.
- George Lucas Educational Foundation (2003). *Instructional Module : Project-Based Learning*. <http://www.glef.org>
- Griffin, P., McGaw, B. & Care, E. (2012). *Assessment and Teaching of 21st Century Skills*. Springer.
- Larmer, J., Ross, D., & Mergendoller, J. R. (2009). *PBL Starter kit, To the point Advice, Tools and Tips for your First Project in Middle or High School*. Buck Institute for Education.
- Markham, T., Larmer, J. & Ravitz, J. (2003). *The Project Based Learning : A Guide to Standards-focused Project based learning for middle and high school teachers*. Buck Institute for Education.
- OECD(2005). *The Definition and Selection of Key Competencies*. Executive Summary.
- OECD(2012). *PISA 2015 Collaborative Problem Solving Framework : Second Draft*. 34th meeting of the PISA Governing Board. Paris: OECD.
- Shultz, M. M., & Zedeck, S. (2011). Predicting lawyer effectiveness: Broadening the basis for law school admission decisions. *Law and Social Inquiry, 36*(3), 620 - 661.
- Silva, E. J.(2008). Measuring Skills for 21st-Century Learning. *The Phi Delta Kappan, 90*(9), 630-634.
- Stanley, T. (2011). *Project-Based Learning for Gifted Students: A Handbook for the 21st-Century Classroom*. TX: Prufrock Press.
- Sundials on the internet(2013). <http://www.sundials.co.uk/projects.htm>
- Thomas, J. D. (2000). *A Review of research on project based learning*. San Rafael. CA: The Autodesk Foundation.
- Yakman,G.(2008). STΣ@M Education : An overview of creating a model of integrative education, PATT. [http://www.steamedu.com/2088\\_PATT\\_Publication.pdf](http://www.steamedu.com/2088_PATT_Publication.pdf).

## A Design and Effect of STEAM PBL based on the History of Mathematics

Lee, Minhee (The Graduate School of Education, Ewha Womans university)

Rim, Haemee (Korea Institute for Curriculum and Evaluation)

This study is a case study of STEAM education. We have developed teaching and learning materials, suggested teaching method, and analysed the result for exploring the potential and effect of STEAM. The content of this study is based on the history of mathematics. Science (S) is related to the 24 divisions of the year, the height of the sun, the movement of heavenly bodies. Technology (T) is related to the exploration with graphic calculators. Engineering (E) is related to design sundial and research on the design principles. Art (A) is related to literature review about mathematical history, the understanding of the value of the mathematics. Mathematics (M) is related to the trigonometric functions. We have considered that Project-Based Learning is proper teaching and learning for STEAM education, we have designed the STEAM PBL and analysed the results focused on the developing integrative knowledge, mathematical attitude including mathematical value, the competencies of 21 century. The result of this study is as follows. We find that STEAM education activates students' collaboration, communication skills and improves representation and critical thinking skills. Also STEAM education makes positive changes of students' mathematical attitudes including the values of the mathematics.

Key Words : STEAM(융합인재교육), PBL(프로젝트기반학습), history of mathematics(수학사), 21 century skills(21세기 역량), sundial(해시계), trigonometric function(삼각함수)

논문접수 : 2013. 1. 31

논문수정 : 2013. 2. 26

심사완료 : 2013. 3. 15