

Development of STEAM Integrated Teaching Materials using Solid Crystal Structure

Jong-In Kim¹⁾, Kwang-Su Ryu^{*1)}

¹⁾Department of Physics Education, Korea National University of Education

고체의 결정구조를 이용한 STEAM 통합 교육 수업 자료 개발

김종인¹⁾, 류광수^{*1)}

¹⁾한국교원대학교 물리교육과

<ABSTRACT>

In this study, we developed the STEAM integrated teaching materials using solid crystal structures and examined the effects of this class on the learners. The STEAM teaching materials were developed based on the PDIE model as follows. First, through the preparation process, the subject was selected and the curriculum was analyzed. Second, the curriculum proposal, multimedia materials, and activity sheets were produced through the development process. Finally, the preliminary class and the main class were executed twice to evaluate the learners and the instructors. As a result, it was found that the learners were satisfied with the program with 4.68 points in the preliminary class and 4.80 points in the class, out of the total score of 5 out of 5 points. In addition, even in the case of the instructors, the satisfaction with the program was high.

Key words : STEAM program, solid, crystal structure

I. Introduction

현대 사회에 있어서는 단순 지식기반 교육 보다는 과학 기술에 대한 흥미를 높이면서, 융합적 사고와 더불어 문제를 해결할 수 있는 능력이 더 강조되고 있다(Ministry of Education, Science and Technology, 2010). 그러므로 단일 교과 내용으로만 수업하는 것이 아니라 다른 과목 간의 연계를 강화하고 예술적

인 기법을 접목하여 수업 하는 것이 중요하다고 인식되고 있고, 이러한 통합적 교육을 토대로 학습자가 다양한 학습 경험을 갖도록 하는 것이 중요하게 생각되고 있다. 또한, 다양한 융합교육을 통해 학생뿐 아니라 교사의 수업에 대한 만족도 및 전문성 향상에 큰 도움이 된다고 보고되고 있다.

예술을 제외한 융합교육은 2000년대 중반 미국의 학교 교육에서 통합교육을 뜻하는 STEM 교육이란 이름으로 처음으로 시작되었다. STEM 교육은 과학

* Corresponding Author : Kwang-Su Ryu, ksryu@knu.ac.kr

Received September 2, 2019; Reviewed September 10, 2019 Corrected September 17, 2019; Accepted September 20, 2019

© 2019. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

(Science), 기술(Technology), 공학(Engineering), 수학(Mathematics) 과목들의 첫 글자를 따서 만든 융합 교육의 새로운 표현이다. 그 후 Yakman 등은 STEM 교육에 예술(Art)을 포함한 STEAM 교육을 주장하였고, 이 STEAM 통합교육을 통하여 교과내용에 대한 실생활과의 관련성을 더욱 높일 수 있고 흥미도 높아지는 수업을 할 수 있다고 보고하였다(Yakman & Kim, 2007). 또한, 학습자 입장에서는 STEAM 교육이 다음과 같은 효과들을 통해 기억력을 유의미하게 향상시키는 것으로 밝혀졌다(Rinne et al., 2011). 그 효과들은 정보 및 스킬시연, 유의미 학습능력, 더 많은 정보를 만들어내는 능력, 실제 재료를 활용하는 능력, 자신의 학습내용에 대한 스토리텔링 능력, 학생들이 의미 구축에 쏟는 노력의 양, 학습에 대한 정서적 자극정도, 그림을 활용한 학습내용 재구성 등이다. 이렇듯, STEAM 교육 프로그램은 교사들의 가르침을 더욱 재미있게 만들고, 예술 관련 활동을 통합하게 되면 교육과정을 즐기고, 수업을 보다 성공적으로 진행 할 수 있으며, 교사와 학생 모두 흥미를 느끼게 되고 보다 많은 창의적 사고를 교수-학습 과정에 도입할 수 있다(Sousa & Pilecki, 2011). 그리고 STEAM 교육을 통해 학생들은 수업에서의 참여태도가 적극적으로 변화되고 학습을 주도하고 학습에 대한 주인의식을 가지게 되었다는 것을 알 수 있으며, 지속적인 교육을 통해 이러한 태도들이 더 강화되는 것으로 보인다. 그리고 이러한 자발적인 교수협업체 구성 및 학생들과의 긴밀한 의사소통을 통해서 교사의 자기 효능감 역시 높아졌다는 것을 확인할 수 있었다(Im, 2013).

과학교육에서 STEAM 교육은 자연스러운 학습과 자기주도적으로 학습을 유도할 수 있으며, 실생활과 연관된 새로운 소재를 다룸으로써, 학습자들의 흥미와 재미를 이끌 수 있다고 보고하였다(Lee et al., 2013). 마찬가지로, STEAM 프로그램은 학교에서 다양하게 활용되고, 친숙하고 쉽게 접할 수 있는 것을 소재로 한 수업자료의 개발이 필요하다고 강조하였다(Lee, 2012). 이렇듯, 과학교육에 있어서 STEAM 교육 프로그램은 학습자들의 과학개념 이해와 수업 만족도에도 매우 긍정적인 영향을 준다. 특히, 프렉탈 구조와 같이 어려운 과학 개념일 지라도 STEAM 교육 프로그램을 적용하여 창의적 산출물을 만드는

과정에서 새로운 사실에 접근해가는 추리 능력의 발달이 자연스럽게 이루어진다는 것을 확인하였다(Moon, 2018). 그러므로 과학교과의 여러 부분에서 많은 STEAM 통합 교육 프로그램의 개발이 이루어져야 하겠다.

과학교과에서 물체의 상태와 광석을 이야기할 때 고체라는 개념을 다루지만, 고체의 특징에 대한 자세한 내용은 다루지 않고 있다. 일반적으로, 고체는 주기적인 원자들의 배열을 가지는 결정 구조를 가지고 있고 이것들에 의해 다양한 물리적 성질들이 결정된다. 그러나 이를 이해하기 위해서는 어려운 과학적 개념들의 학습이 선행되어야 하기에 교과수업에서 다루기에는 다소 어렵다.

그래서 본 연구에서는 고체의 결정 구조를 친숙하고 쉽게 이해시킬 수 있는 새로운 STEAM 통합교육 자료를 개발하였다. 본 STEAM 프로그램은 기존의 STEAM 프로그램 개발 모형에 근거하여 자료를 개발되었으며, 준비 과정을 통해서 주제를 선정 및 교육과정 분석을 하였으며, 개발 과정을 통해서 교육과정안 및 멀티미디어 자료, 활동지 등을 제작하였다. 그리고 예비 수업 및 본 수업을 진행하여 학습자와 수업자의 평가와 만족도를 조사하였다. 특히, 설문지를 통하여 학습자에게 본 프로그램이 STEAM 교육의 5가지 핵심요소를 포함하고 있는지의 여부와 수업의 만족도를 조사하였다.

II. Theoretical Backgrounds

고체의 결정구조를 이용한 STEAM 통합 교육 자료를 개발하기 위해 PDIE 모형을 활용하였다(Kim, 2011). PDIE 모형은 기존의 PDI 모형과 ADDIE 모형을 통합하여 각각의 모형의 장점을 모아놓은 모형으로써, 초·중등학교의 STEAM 교육을 위한 수업자료 개발에 매우 적합하다고 알려져 있다. 구체적으로, PDIE 모형은 준비(Preparation), 개발(Development) 실행(Implementation), 평가(Evaluation)라는 총 4단계의 순서로 이루어져 있다. 단계별 구체적인 내용은 [Figure 1]과 같다. PDIE 모형의 준비단계에서는 요구 분석을 통해 주제를 선정하고 STEAM 교육과정,

학습 준거를 설정하였다. 그리고 개발 단계에서는 수업을 실시하기 위한 수업 과정안 및 멀티미디어 수업자료, 학습 활동지 개발 등의 자료를 제작하며, 실행 단계에서는 실제 수업을 실시하는 단계이다. 그리고 평가 단계에서는 학습자와 수업자의 평가를 분석하고 프로그램을 수정 및 개선할 수 있다.

Process	
Preparation	- Requirements Analysis·Topic selection - STEAM Curriculum Analysis - Selection of Learning Criteria
Development	- Teaching and learning materials development · Develop a course plan · Develop multimedia class materials · Development of learning activity
Implementation	- Lessons and project learning
Evaluation	- Evaluation · Evaluation by learner, evaluation by employer · Modifications and improvements

[Figure 1] PDIE step-by-step detailed procedure of the procedure model

III. Materials and Methods

PDIE 모형에 근거한 고체 결정구조를 이용한 STEAM 융합 교육 자료의 구체적인 개발과정은 다음과 같다.

1. Preparation

1) Topic Selection

주제 선정을 위하여 전문가 및 교사, 예비 교사들이 참여하였으며, 2015 개정 교육과정을 토대로 주제를 선정하였다. 주제는 고체의 결정 구조와 관련한 것으로 정했으며, STEAM 수업 내에 들어가는 내용

영역을 전문가 및 교사, 예비 교사와의 협의를 통해서 각각의 STEAM 영역으로 <Table 1>과 같이 분류하였다.

<Table 1> STEAM program: content area classification

Domain	Content
S	Molecular structure, Types of chemical bonds, Features of Mineral
T	Idea concept, Creating a light lamp, repeating structure use
E	Principle of LED lamp
A	Practical design, Making a sculpture
M	The volume of the sphere, Periodic characteristics

2) STEAM Curriculum Analysis

분류한 영역별 내용들을 바탕으로 2015 개정 교육과정을 분석하여 내용영역과 관련되어 교과목별 STEAM 프로그램의 성취수준을 <Table 2>와 같이 선정하였다. 과목별로는 과학은 고체지구, 물질의 구조, 물질의 성질을 내용요소로 하여 2015 개정 교육과정에 제시된 성취 수준으로 분류하였다. 이와 동일한 방식으로 기술 및 공학은 기술의 활용, 공학의 세계, 미술은 표현, 수학은 기하, 국어는 듣기·말하기 방법의 다양성, 대화하기를 내용요소로 하여 성취기준을 분류하였다.

2. Developement

1) Topic Selection

교과 내용영역과 관련되어 선정된 STEAM 프로그램의 성취수준을 토대로 고등학생에게 적합한 교육내용 요소를 중심으로 차시별 학습 내용 및 STEAM 요소에 맞게 <Table 3>과 같이 STEAM 준거들을 제작하였다. 이는 학생들이 교육 내용 요소를 중심으로 흥미를 갖고 다양한 문제를 해결해 나가는 과정을 체득할 수 있도록 제작되었다.

<Table 2> Level of achievement of the STEAM program by subjects related to content area

Program name	Making crystal structure mood lamp	School level	High school Grades 1-3	Class time	Total 4 class time
Related subject	Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics, Korean				
2015 Revised Education Curriculum	Science	(Content element) Solid earth			
		(Achievement criteria)			
		[9과01-03] We can observe the main characteristics of geochemical minerals and explain that the rocks are composed of various minerals.			
		(Content element) Structure of matter			
		(Achievement criteria)			
		[12화학I03-07] It can be explained that the physical and chemical properties are related to the molecular structure.			
	Technology/Engineering	(Content element) the nature of a substance			
		(Achievement criteria)			
		[12화학II01-07] Solids can be classified according to the type of chemical bond and a simple crystal structure can be explained.			
		(Content element) Utilization of technology			
		(Achievement criteria)			
		[6설05-04] Design and produce creative products using various materials. [9기가05-06] Finding ideas for life problems and solving them creatively using diffuse and convergent thinking techniques.			
	Art	(Content element) The world of engineering			
		(Achievement criteria)			
		[12공학02-09] Understanding the principles of materials and new material engineering, identifying trends, and explore and experience examples of application principles.			
		(Content element) expression			
		(Achievement criteria)			
		[9미02-04] It is possible to search and effectively express the formative elements and principles appropriate to the characteristics of the subject and the expression intention. [9미03-04] The exhibition can be planned in various ways considering the features of art works, viewers, exhibition places and so on. [12미02-02] It can be expressed creatively by various application of molding element and principle.			
	Mathematics	(Content element) Geometry			
		(Achievement criteria)			
		[12실수02-02] Understand mathematical principles related to plane and solidity in works of art. [12실수02-05] Outputs can be made using planar and stereoscopic shapes. [9수04-09] The width and volume of the solid figure can be obtained.			
	Korean	(Content element) Diversity of listening and speaking methods, conversation(Principle of conversation, language manners),			
		(Achievement criteria)			
		[9국01-02] Having a conversation that sympathizes with the person's feelings and responds appropriately.			
		[9국01-03] Preparing and interviewing questions that are relevant to the purpose.			
		[9국01-04] Solving a problem reasonably by exchanging opinions in a discussion. [10국01-01] Understanding the different ways of listening and speaking depending on the individual and group, then listening and speaking.			

<Table 3> STEAM standards for students

Teaching and Learning Contents		Course	STEAM Element
Present situation	○ Design your own room lamp using a table tennis ball ▪ Understanding the crystal lattice structure of solids ▪ Learn the basic type of grid ▪ Learn about the features of the cubic crystal structure	Technology Art Science	S, T, A
Creative Design	○ Create your own crystal structure ▪ Learn about various crystal structures through Internet search ▪ Make your own crystal structure using a table tennis ball ○ Making crystal structure mood lamp ▪ Designing mood lamps based on crystal structure ▪ Making crystal structure mood lamp	Technology Art Science Mathematics	S, T, A, M
Emotional experience	○ Enjoying the mood lamp, and presentation the lamp ▪ Enjoying the mood lamp ▪ Share your thoughts and feelings with your friends after listening ▪ Modify the edit to find a better idea	Science Art Korean	S, A

2) Learning Content Selection and Organization

STEAM 수업을 통해서 고체 결정의 구조와 특징에 대해 살펴보고 다양한 고체 결정의 성질에 대해 알아보도록 한다. 그리고 이러한 고체의 결정구조 특징을 토대로 탁구공을 이용하여 나만의 결정구조 무드 등을 만들 수 있도록 학습내용을 선정하고 조직하였다. 선정된 주제를 통해서 학생들이 결정 구조의 특징에 대해 흥미를 갖고 다양하고 창의적인 결정구조 무드 등을 만들면서 융합적인 학습이 일어날 수 있도록 총 4차시 프로그램을 개발하였다. 차시별 교수학습 과정안은 <Table 4>와 같다.

3) Multimedia Teaching Material Development

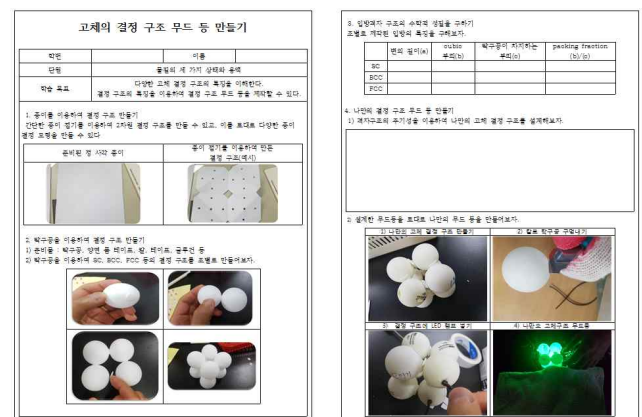
멀티미디어 수업자료는 PPT로 개발되었다. 개발된 PPT 수업자료는 단계별 학습 내용을 포함하고 있어, 학생들이 PPT를 통해 학습 내용을 효과적으로 이해할 수 있도록 다양한 동영상, 사진자료 등이 포함되어 있다. PPT 수업 자료는 총 20장으로 구성이 되어 있으며, 고체의 결정구조 이해하기(1차시) 슬라이드 10장, 나만의 결정구조 만들기(2~3차시) 슬라이드 10장으로 구성이 되어 있으며, [Figure 2]와 같이 개발되었다.



[Figure 2] Examples of multimedia class materials

4) Learning Worksheet Development

학습자가 학습 과정에 따라 STEAM 프로그램에 참여하기 위해 학습 안내 등을 포함한 활동지 자료를 개발하였다. [Figure 3]은 개발된 활동지 예시이다.



[Figure 3] STEAM program activity site

<Table 4> STEAM program : course plan

Creating a Crystal Structure Mood Lamp			
Course	Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics, Korean	Class time	1 - 4
Education Curriculum	○ Science [12화학II01-07] Solid crystal structure - Solids can be classified according to the type of chemical bond and simple crystal structures can be explained. ○ Science [12화학I03-07] Properties of Solid Molecules - Physical and chemical properties can be explained to related to molecular structure. ○ Engineering [9기가05-06-01] Creating mood lamps - Ideas can be conceived to solve technical problems in everyday life, and creative problems are solved using divergent and convergent thinking techniques. ○ Art [12미02-02] Designing mood lamps - Formative elements and principles can be creatively expressed by various applications. ○ Korean [10국01-01] Discussion - Understanding the different ways of listening and speaking depending on the individual and group.		
Learning Objectives	○ Understand the properties and properties of solid crystals. ○ Cubic lattice and various lattice structures can be described. ○ Various crystal structures can be made using ping pong balls. ○ You can make your own mood lamp using the ping pong ball crystal structure.		
Learning process	Teaching and Learning Activities		Preparation and Notes
Present situation (1 class)	○ Designing Internal Mood Lamps Using Table Tennis Balls ▪ Understanding the Crystal Structure of Solids - Understanding that the crystal structure of a solid consists of a base and a lattice. ▪ Learning the basic types of grids - Learning about 2D grid basics and create 2D grid using confetti - Learning about the 3D grid primitive types and learn about their characteristics. ▪ Learning about the features of the cubic crystal structure - exploring the various types of cubic structures that exist around Learning about the features of various cubic structures - Discuss the fixing points or advantages of a friend's lamp.		□ To guide to a better understanding of cyclic characteristics when creating a two-dimensional grid structure.
Creative Design (2-3class)	○ Creating Your Own Crystal Structure ▪ Exploring the various decision structures through Internet search on the Internet - Searching for various decision structures using Internet - Studying on the Characteristics and Properties of the Crystal Structure searched ▪ Making a crystal structure using a table tennis ball - Using the retrieved crystal structure, creating a crystal structure that can be regular and periodic ○ Designing crystal structure mood lamp ▪ Designing mood lamps based on crystal structure - Design a crystal structure mood lamp that can identify various crystal structures and suitably fit into my room ▪ Making crystal structure mood lamp - Fabricating crystal structure lamps using LED lamps and various colored paper in the design decision structure		□ Tablet PC, Internet router □ ping pong ball, double-sided foam tape, glue, scissors, ruler, LED bulb, etc.

Emotional experience (4 class)	○ Reviewing and presenting the produced mood lamp ▪ Presenting the produced mood lamp - Enjoying the crystal mood lamps produced with your friends - Watching the designed crystal structure with your friends - Listening to each person's motivation, production process and characteristics ▪ Presenting your thoughts or feelings after listening and sharing with your friends (peer review) - Talking about good things or things to praise - Talking about things that need to be fixed or missed ▪ Adding edits - Cleaning up any modifications or additions and using them in the following designs	
-----------------------------------	---	--

3. Implementation

개발된 STEAM 수업을 토대로 수업을 실시하였다. 수업 과정은 예비수업과 본 수업으로 진행을 하였으며, 예비 수업을 토대로 개선 사항을 수정 보완하여 본 수업을 실시하였다.

1) Preliminary Class

예비 수업은 대학교 1학년의 예비 교사를 대상으로 실시되었으며, 초등교육과, 생물교육과, 물리교육과, 화학교육과, 지구과학교육과 학생 총 48명을 대상으로 진행이 되었다[Figure 4]. 6인 1조를 중심으로 수업이 진행되어 되었으며, 멀티미디어 수업자료를 이용하여 수업을 진행하였다. 예비 수업을 통해서 수업 시수의 시간 안배 및 학습 과정안과 멀티미디어 수업 자료를 수정하여 본 수업에 적용할 수 있도록 하였다.



[Figure 4] STEAM class photos
(left: preliminary class, right: actual class)

2) Actual Class

본 수업은 예비 수업은 고등학교 1학년 19명을 대상으로 수업을 실시하였다[Figure 4]. 본 수업은 예

비 수업의 문제점을 보완하여 수업을 진행하였다. 그리고 고등학교 1학년 학생들이 흥미를 쉽게 흥미를 가질 수 있도록 고체 결정 구조이해에 관련된 내용의 난이도를 수정을 하여 실시하였다.

4. Evaluation

평가단계에서는 개발된 수업자료를 활용하여 실시한 본 수업을 바탕으로 프로그램 관련 설문조사 등을 토대로 수업자료를 최종적으로 수정하고 개선하였다.

1) Preliminary Class Satisfaction Survey

수업 실시 후 예비교사를 대상으로 <Table 5>와 같이 프로그램 만족도 검사지를 이용하여 평가를 실시하였다. 만족도 검사지는 기존의 STEAM 프로그램의 학습자 평가 검사지를 토대로 제작하였다(Kim, 2013). 설문지는 크게 학생들의 STEAM 프로그램에 대한 요소별 만족도를 묻는 질문과 STEAM 프로그램 요소의 포함 여부를 묻는 질문, 기타 의견으로 이루어져 있다. 구체적으로, 만족도 검사지는 리커트 5점 척도로 제작되었다. 척도는 아주 그렇다(5점)과 매우 아니다(1점)으로 총 5단계로 9개 문항을 제작하였다. 그리고 결정구조 무드 등 만들기 수업이 얼마나 STEAM 수업 프로그램의 각 영역을 충실히 융합하여 진행이 되는지를 설문을 통해 조사하였다. 설문은 수업에서 STEAM 프로그램을 통해 학습할 수 있었다고 생각하는 영역을 체크하도록 하였으며, 체크 하거나 하지 않은 경우 그 이유를 쓰도록 하였다.

<Table 5> STEAM program satisfaction survey

Evaluation item		Disagree	↔	Agree		
		①	②	③	④	⑤
1	The developed teaching materials are suitable for STEAM (Science, Technology, Engineering, Mathematics, Art) classes.					
2	There was enough time for class so there was no difficulty in the assignment.					
3	The STEAM program developed is considered to be appropriate for understanding the crystal structure of solids.					
4	The developed classes helped me understand the basic types of cubic lattice.					
5	It was easy to understand STEAM through making crystal structure mood.					
6	The process of making a crystal structure mood lamp was fun.					
7	It was interesting to produce crystal-structured mood lamps.					
8	Participation was voluntary because of interest in making crystal structure mood lamps.					
9	Made mood lamp works correctly and satisfies.					
Check the areas where you could learn from the 「Solid Crystal Structure」 STEAM program and briefly describe why.						
10	Area	check	Reason for checking			
	Science					
	Technology					
	Engineering					
	Art					
	Mathematics					
11 Please write down your opinion about this class briefly.						

2) Actual Class Satisfaction Survey

예비 수업 실시 후 어려운 내용적 요소를 수정하고 본 수업 실시하였다. 그리고 이를 토대로 프로그램 만족도 검사지를 이용하여 평가를 실시하였다. 그리고 본 수업에서도 STEAM 프로그램을 통해 학습할 수 있었다고 생각하는 영역을 체크하도록 하였다.

3) Teacher Evaluation

STEAM 프로그램을 진행한 수업자의 수업에 대한 의견 및 수업 소감을 조사하였다.

IV. Results and Discussions

예비 교사들을 대상으로 한 만족도 조사에서 본 STEAM 프로그램의 만족도 결과는 5점 만점에 전체 평균점수가 4.68로 만족도가 상당히 높다는 것을 알 수 있었다<Table 6>. 각 문항별로 살펴보면, 과제를 수행함에 있어서 어려움이 없었으며, 결정구조 무드등을 제작하는 과정에 대한 만족도가 매우 높게 나왔

<Table 6> Pre-service teacher satisfaction survey results. (N=48)

Num ber	Evaluation items	Average (5 points Perfect score)	Stand ard deviat ion
1	Developed class materials are suitable for STEAM (Science, Technology, Engineering, Mathematics, Art) classes.	4.65	0.56
2	There was no difficulty in carrying out the task because there was enough class time.	4.73	0.76
3	I think the developed program is appropriate to help me understand the solid crystal structure.	4.61	0.64
4	The developed classes helped us to understand the basic types of cubicle.	4.65	0.56
5	It was easy to understand STEAM through the making of crystal-structured mood lamps.	4.57	0.84
6	The process of making crystal structure mood lamps was fun.	4.76	0.56
7	I was interested in making crystal-structured mood lamps.	4.71	0.71
8	I was interested in making crystal structure mood lamps and participated voluntarily.	4.69	0.62
9	It is satisfactory that the manufactured mood lamp operates normally.	4.76	0.60
Average		4.68	

다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, <Table 7>에서와 같이 결정구조 무드등 만들기 수업이 얼마나 STEAM 수업 프로그램의 각 영역을 충실히 융합하여 진행이 되는지에 대한 설문 결과는 대체로 STEAM의 모든 영역을 융합적으로 학습할 수 있다고 평가하였다. 그러나 STEAM 요소 중에서 공학적인 요소를 체크한 비율이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 학생들이 기술적인 요소와 공학적 요소를 명확하게 구분하기 어렵기 때문인 것으로 조사되었다.

<Table 7> STEAM area that can learn in class (preliminary class)

Number	Evaluation items	Number of students checked(N-48)
1	Science	48
2	Technology	41
3	Engineering	34
4	Art	47
5	Mathematics	43

추가적으로, 자유 의견란에서는 예비 교사들의 다양한 의견을 얻을 수 있었다. 얻어진 의견은 크게 STEAM 프로그램의 장점과 개선할 점으로 나뉠 수 있었다<Table 8>. 구체적으로, 재미있었으며, 결과물이 예쁘다는 의견이 각각 6명, 3명으로 가장 많았다.

<Table 8> Free opinions on STEAM Classes (preliminary class)

Category	Opinion (number of students in brackets is the number of students with duplicate answers)
The good part of the STEAM program	· I was able to learn various areas. (2)
	· I could easily understand what I learned during high school. (2)
	· The program was fun and enjoyable. (6)
	· The result was beautiful. (3)
Things to improve in the STEAM program	· It was good because it was an experience-oriented class. (1)
	· The contents were somewhat difficult. (3)
	· The table tennis ball was not easy to use. (2)

소수의 의견으로는 고체의 결정과 관련된 내용을 쉽게 이해할 수 있다는 의견과, 다양한 영역을 학습할 수 있다는 의견도 있었다. 하지만 탁구공을 붙이는 과정이 다소 섬세한 과정을 요구하기 때문에 이러한 부분이 어렵다고 하는 의견이 있었다. 그래서 본 수업에서는 STEAM의 이론적인 부분을 더욱 보완하였고, 실습부분에서는 탁구공을 더욱 단단하게 고정하기 위해 글루건을 추가로 사용하였다.

본 수업을 실시한 결과, 고등학생들의 STEAM 프로그램의 만족도 결과는 5점 만점에 전체 평균점수가 4.80로 나타났다<Table 9>.

<Table 9> Results of the high school student satisfaction survey in the class (N=19)

Number	Evaluation items	Average (5 points Perfect score)	Standard deviation
1	Developed class materials are suitable for STEAM (Science, Technology, Engineering, Mathematics, Art) classes.	4.79	0.54
2	There was no difficulty in carrying out the task because there was enough class time.	4.84	0.50
3	I think the developed program is appropriate to help me understand the solid crystal structure.	4.74	0.65
4	The developed classes helped us to understand the basic types of cubicle.	4.79	0.54
5	It was easy to understand STEAM through the making of crystal-structured mood lamps.	4.79	0.54
6	The process of making crystal structure mood lamps was fun.	4.79	0.54
7	I was interested in making crystal-structured mood lamps.	4.79	0.54
8	I was interested in making crystal structure mood lamps and participated voluntarily.	4.79	0.54
9	It is satisfactory that the manufactured mood lamp operates normally.	4.84	0.50
Average		4.80	

이는 예비 교사를 대상으로 한 예비 수업에서 나온 결과 보다 소폭 향상되었음을 알 수 있었으며, 수업에 대

한 전반적인 만족도가 매우 높음을 알 수 있었다. 그리고 본 수업에서도 STEAM 프로그램을 통해 학습할 수 있었던 요소에 대한 설문 결과를 분석해보면 예비 수업과 마찬가지로 대체로 모든 영역을 융합적으로 학습할 수 있다고 평가하였다<Table 10>. 그러나 여전히 공학적인 요소는 포함되어 있지 않다고 생각하는 학생들이 소수 있었다. 자유 의견란에서는 예비 교사들과 마찬가지로 재미있다는 의견이 다수 있었다<Table 11>.

<Table 10> STEAM area that can learn in class (actual class).

Number	Evaluation items	Number of students checked(N-19)
1	Science	19
2	Technology	15
3	Engineering	9
4	Art	19
5	Mathematics	10

<Table 11> Free opinions on STEAM Classes (actual class)

Category	Opinion (number of students in brackets is the number of students with duplicate answers)
The good part of the STEAM program	· The program was fun. (4) · It was good to be able to make various crystal structures. (1) · The explanation was kind.(1)
Things to improve in the STEAM program	· The table tennis ball was not easy to use. (1)

STEAM 프로그램을 진행한 수업자의 수업에 대한 의견 및 수업 소감을 조사하였다. 평가 결과를 보면 수업자는 개발된 STEAM 프로그램이 고체의 결정구조와 관련된 내용을 학습하기에 효과적이라고 평가하였다. 하지만 인터넷 검색을 통한 나만의 결정 구조를 디자인하는 것이 생각보다 쉽지 않음을 확인할 수 있었다. 제작된 결정구조는 기존에 멀티미디어 자료 및 활동지에 안내된 결정 구조에서 내에서 크게 벗어나지 않음을 확인할 수 있었다.

V. Conclusions

고체 결정구조를 이용한 STEAM 프로그램은 PDIE 모형에 근거하여 자료를 개발되었으며, 준비 과정을 통해서 주제를 선정 및 교육과정 분석을 하였으며, 개발 과정을 통해서 교육 과정안 및 멀티미디어 자료, 활동지 등을 제작하였다. 그리고 2회에 걸쳐 예비 수업 및 본 수업을 실행하였으며, 학습자 및 수업자의 평가를 진행하였다. 이러한 과정을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 개발된 STEAM 프로그램은 고등학교 학생들이 고체의 결정구조와 관련하여 융합 교육을 할 수 있도록 구성이 되었고, 학생들도 쉽게 고체의 결정구조를 이해할 수 있도록 수업자료를 제작하였다.

둘째, 개발된 프로그램에 대한 학습자의 평가 결과를 보면 프로그램에 대한 만족도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 예비교사들을 대상으로 한 예비 수업의 경우에는 프로그램 만족도에 대한 평균이 5점 만점 중 4.68이었으며, 고등학교 1학년을 대상으로 한 본 수업의 경우에는 4.80로 나타났다. 수업자의 평가 결과 역시 만족도가 높은 것으로 확인이 되었다.

셋째, 개발된 결정구조 무드 등 만들기 수업은 학습자가 STEAM 각 영역에 대해 융합적으로 가능한 것으로 확인되었다. 예비 수업과 본 수업의 학습자는 결정 구조 무드 등 만들기 수업을 통해서 대부분의 학생들이 모든 영역에서 학습할 수 있다고 답변하였다. 소수에 해당하는 기술과 공학의 경우에는 두 영역을 구분하기가 쉽지 않기 때문에 두 영역을 함께 고려한다면 기술과 공학 영역 역시 학습 가능하다는 것을 확인할 수 있다.

References

- Ministry of Education, Science and Technology (2010). *The future of Korea with talented people and advanced science and technology. 2011 business report*. Seoul: Ministry of Education, Science and Technology.
- Yakman, G. & Kim, J. (2007). *Using BAKUK to teach purposefully Integrated STEM/STEAM*

education. 37th Annual Conference International Society for Exploring Teaching and Learning, Atlanta, Georgia.

- Rinne, L., Gregory, E., Yarmolinskaya, J., & Hardinman, M. (2011). Why arts integration improves long-term retention of content. *Mind, Brain, and Education*, 5(2), 89-96.
- Sousa, D. A. & Pilecki, T. J. (2011). *From STEM to STEAM: Using Brain-Compatible Strategies to Integrate the Arts*. USA: Corwin.
- Im, S. M. (2013). *STEAM Effectiveness Analysis Research Report*. The Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity.
- Lee, J. W., Yeum, U. J., Kim, J. W., Lee, K. H., & Kim, J. B. (2013). Development and Application of STEAM Program on 'LED' Themes for Elementary Students. *School Science Journal* 7(2), 85-97.
- Lee, C. J. (2013). *A Development of Class Material for STEAM Integrated Education Subtitle: Making LED doorplate*. Unpublished master's thesis, Incheon National University.
- Moon, J. H. (2018). *Development and Application Effects of STEAM Program to Make Creative Output Utilizing Repeat Structure*. Unpublished master's thesis, Jeju National University.
- Kim, J. S. (2011). *Development of PDIE model for teaching material of STEAM integrated education*. Korean Institute of Industrial Education Conference.
- Ministry of Education (2015). *2015 Revised Curriculums*. Seoul: Ministry of Education.
- Kim, K. Y., Ham, H. I., & Kim, K. S. (2015). The Development of STEAM Program with the Unit "Energy and Transportation Technology" on the Subject of Technology·Home Economics, *Korean Institute of Industrial Educators*, 38(1), 29-48.
- Kittel, C. (2014). *Introduction to Solid State Physics*. USA: Wiley.

[저자의 소속과 직위]

김종인 : 한국교원대학교, 대학원생, 제1저자

류광수 : 한국교원대학교, 교수, 교신저자