

RESEARCH ARTICLE

Development and Application of STEAM Integrated Teaching Materials Using Night Safety Equipment Making in High School Science Classes

Se-Hwan Yoon^{ORCID}, Kwang-Su Ryu^{*ORCID}

Department of Physics Education, Korea National University of Education

고등학교 과학 수업에서 야간 안전용품 만들기를 이용한 STEAM 융합교육 수업자료 개발 및 적용

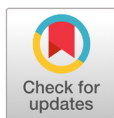
윤세환^{ORCID}, 류광수^{*ORCID}

한국교원대학교 물리교육과

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

Abstract

The purpose of this study was to develop the science-focused STEAM integrated teaching materials on the theme of making night safety products for use in high school science classes, and to apply them in practice in order to analyze their effects on learners. The materials were developed based on the PDIE model, which is widely used for STEAM lesson design, following four stages: preparation, development, implementation, and evaluation. In the preparation stage, the scientific topic was set as reflection of light, and the lesson theme was determined as making night safety products using the concept of retroreflection. During the development stage, a four-session lesson plan was created, including a teaching guide, multimedia resources, and student activity sheets. In the implementation stage, the lessons were applied to first-year pre-service teachers at a university. In the evaluation stage, a survey was conducted immediately after the lessons to assess learning effects and student responses. The results showed that the overall satisfaction score was 4.3 out of 5, and the affective domain score was 4.2 out of 5, indicating generally high levels of satisfaction with the program. These findings suggest that the activity of making night safety products is effective not only for learning scientific concepts but also for enhancing integrative thinking and affective achievement.

Keywords: STEAM, science class, reflection of light, retro-reflection

OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2025, Vol. 15, No. 3, 451-467<https://doi.org/10.31216/BDL.2025.15.3.8>**Received:** September 07, 2025**Revised:** September 24, 2025**Accepted:** September 25, 2025© 2025 Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

21세기 4차 산업혁명으로 도래한 정보기술사회에서는 단순한 지식의 암기와 적용을 넘어, 다양한 분야와 요소가 복합적으로 얹힌 다면적 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제를 해결하는 데에는 개인의 능력만으로는 한계가 있기 때문에, 현대 사회는 협력에 기반한 문제 해결 능력을 갖춘 새로운 인재를 요구하고 있다(Ryu et al., 2019). 이에 따라 초·중등 교육은 타인과 협력하는 자세, 자기 주도적 학습 태도, 창의성, 시민적 책무성 등을 강조하는 방향으로 총체적인 변화를 필요로 하고 있다(Seong, 2017). 이러한 시대적 요구에 부응하는 교육적 접근이 바로 융합교육이며, 이는 2000년대 중반 미국에서 등장한 STEM 교육으로부터 시작되었다. STEM은 과학(Science), 기술(Technology), 공학(Engineering), 수학(Mathematics)의 첫 글자를 딴 용어로, 융합교육을 대표하는 새로운 개념으로 주목받았다. 그러나 STEM은 인문학적·예술적 요소를 고려하지 못하는 한계가 있었고, 이를 보완하기 위해 예술(Art)을 포함한 STEAM 융합교육이 제안되었다(Yakman & Kim, 2007).

Yakman과 Kim은 STEAM의 준거틀로 상황 제시, 창의적 설계, 감성적 체험을 제시하였는데, 상황 제시는 학습내용을 학생 자신의 삶과 관련이 있는 실생활 문제로 인식하게 하고 몰입의 동기를 부여하고, 창의적 설계는 학생이 스스로 문제를 정의하고 창의적인 아이디어로 문제를 해결해나가는 활동을 말한다. 마지막으로, 감성적 체험은 학습과정에서 학생들이 느끼는 흥미와 몰입, 성패의 가치, 도전의지 등 다양한 경험과 성찰을 강조한다. 이러한 지향점은 학습자의 전인적 성장을 추구하는 2015 개정 교육과정과도 일맥상통한다. 선행연구에 따르면, STEAM 융합교육은 교과 내용의 실생활 관련성을 높이고 학습자의 흥미를 증진시키는 데 효과적이며(Kim & Chae, 2016), 스토리텔링, 실제 자료 활용, 시각적 재구성 등의 활동을 통해 학습자의 기억력과 창의성 향상에도 긍정적 영향을 미치는 것으로 확인되었다(Kim & Won, 2016; Rinne et al., 2011). 이와 같은 효과로 인해 자유학기제, 영재교육, 동아리 활동 등에서 STEAM 수업이 주목받고 있으며, 교사 대상 연수와 학습공동체 활동도 활발하게 이루어지고 있다(Jung & Shin, 2018; Kim et al., 2021).

그러나 연구 필요성을 고려하면 몇 가지 한계가 드러난다. 첫째, 최근 국내 STEAM 교육 연구 동향을 분석한 문헌검토에 따르면, STEAM 관련 실증적 연구는 대부분 초등 및 중학교 수준에 집중되어 있으며, 고등학교 수준에서의 수업자료 개발과 실제 적용 사례는 매우 제한적인 것으로 나타났다(Kim et al., 2024). 둘째, 개발된 자료가 있더라도 정의적 영역에 대한 효과를 체계적으로 평가한 사례는 드물다. 정의적 영역은 흥미, 태도, 가치관, 감정, 신념 등을 포함하는 중요한 교육 목표 영역으로, 인지적 성취와 더불어 학습 몰입과 끈기를 좌우한다(Kang, 2019).

문제는 우리나라 학생들의 과학 관련 정의적 영역 수준이 국제적으로 낮은 수준을 유지하고 있다는 점이다. 예를 들어, 최근 PISA 2022에서는 과학을 주 영역으로 다루면서 인지적 성취뿐만 아니라 학생들의 동기, 태도, 흥미 등 정의적 특성에 대한 조사가 이루어졌다. 그 결과, 한국 학생들의 인지적 성취도는 OECD 평균보다 높았으나 정의적 특성에서는 우려할 만한 지표가 보고되었다(OECD, 2023). 특히 한국 학생들 중 약 20%가 삶의 만족도가 낮다고 응답하였으며(OECD, 2023), 과학과 관련된 자기효능감 또한 낮은 경향을 보였다(Kim, 2024). 또한 TIMSS는 매 주기마다 정의적 영역을 조사하는데, 최근 5주기(TIMSS 2003~2019) 데이터를 분석한 연구에 따르면 한국 학생들의 과학 학습에 대한 흥미와 태도는 국제 순위에서 여전히 매우 낮게 나타났다. 특히 초등학교에서 중학교로 진급하면서 과학에 대한 정의적 태도가 부정적으로 변화하는 경향이 두드러지게 보고되었다(Seo et al., 2023). 이외에도 최근 국내 연구에서도 초·중·고 학교급이 높아질수록

과학 교과에 대한 정의적 태도와 흥미가 점차 감소하는 경향이 확인되었다(Jeong et al., 2022). 이러한 결과는 국내 학생들의 과학 학습과 관련된 정의적 발달이 여전히 중요한 도전 과제를 보여준다. 따라서 STEAM 융합 프로그램은 학생들의 흥미와 정의적 성취를 향상시킬 수 있는 중요한 대안이 될 수 있으며(Mun & Kim, 2022), STEAM 프로그램을 통해 학습자의 인지적 발달뿐만 아니라 정의적 발달까지 함께 추구할 필요가 있다.

본 연구에서 다룬 수업 주제의 적합성은 사회적 요구와 교과적 친숙성에서 찾을 수 있다. 청소년의 야간 활동 안전 문제는 최근 사회·문화적 맥락에서 중요한 이슈로, 성인에 비해 안전 인식이 낮은 청소년에게 교육적으로 실질적인 의미를 지닌다. 더불어 빛의 반사 단원은 여러 학년에 걸쳐 반복 학습되는 친숙한 과학 개념으로, 이를 실생활의 안전 문제와 연계하면 학습자가 기존 지식을 바탕으로 문제 해결을 경험할 수 있다. 따라서 재귀반사를 활용한 야간 안전용품 만들기는 과학 개념 이해와 실질적 문제 해결 역량을 동시에 함양할 수 있는 적절한 STEAM 수업 주제라 할 수 있다.

이러한 주제를 바탕으로 본 연구는 STEAM 융합교육 수업 개발에 널리 활용되는 PDIE 모델을 적용하여 수업자료를 개발하였다. 준비 단계에서는 전문가 협의를 통해 수업 소재를 빛의 반사로 확정하고, 주제를 재귀반사 개념을 활용한 야간 안전용품 제작으로 선정했으며, 2015 개정 교육과정을 토대로 성취 기준을 마련하였다. 개발 단계에서는 수업지도안, 멀티미디어 자료(PPT), 학습 활동지를 제작하였고, 수업지도안은 STEAM 준거틀에 따라 상황 제시, 창의적 설계, 감성적 체험, 성취 경험의 단계로 구성된 4차시 분량으로 설계되었다. 실행 단계에서는 대학교 1학년 예비교사들을 대상으로 실제 수업을 운영하였으며, 평가 단계에서는 수업 직후 설문조사를 통해 학습자의 반응과 학습 효과를 분석하였다. 설문은 수업 만족도, 정의적 영역 발달, STEAM 요소 반영 정도를 확인하기 위해 리커트 척도와 체크 방식으로 이루어졌다.

따라서 본 연구의 목적은 빛의 반사를 소재로 한 고등학교 과학 수업용 STEAM 융합교육 자료를 개발하고 실제 수업에 적용하는 것이다. 특히, 적용을 통해 학습자의 인지적·정의적 발달에 미치는 영향을 분석함으로써, 개발된 수업자료가 과학교육 현장에서 가지는 교육적 의미와 활용 가능성을 검증하고자 한다.

Theoretical Backgrounds

STEAM Integrated Model

Fig. 1은 기존의 STEM 통합 모형에서 A(인문·예술)를 추가한 STEAM 통합 모형의 종류를 나타낸 것이다(Yakman, 2008). 모형 1은 다학문적 통합(연계형), 모형 2는 간학문적 통합(통합형), 모형 3은 탈학문적 통합(융합형)을 나타내는데, 모형 1의 연계형은 연계의 중심에 놓여있는 교과에 따라 S-STEAM, T-STEAM, A-STEAM 등으로 변형될 수 있다. 본 연구는 과학 수업에서 사용할 수업자료를 개발하는 것이 목적이므로 과학 중심의 S-STEAM 모형을 사용했다. 이는 수업의 중심은 과학적 요소(S)이고, 이외의 요소(T, E, A, M)는 과학적 요소와 관련짓는 방식으로 수업에 포함됨을 의미한다.

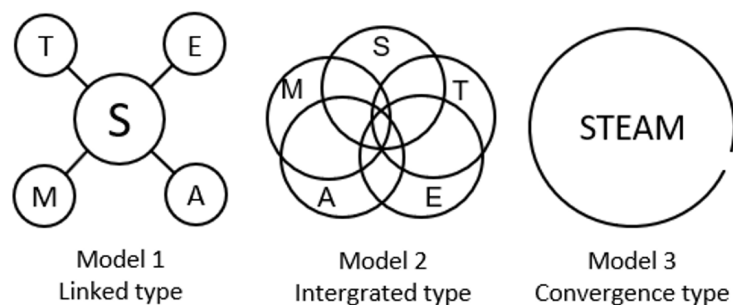


Fig. 1. Type of the STEAM integrated model (Yakman, 2008)

PDIE Model

PDIE 모형은 준비-개발-실행의 3단계로 교수-학습자료를 개발하는 PDI 모형(Preparation-Development-Implementation; PDI)과 분석-설계-개발-실행의 5단계로 교수-학습자료를 개발하는 ADDIE 모형(Analysis-Design-Development-Implementation-Evaluation; ADDIE)을 통합해 각 모형의 장점을 살려 준비-개발-실행-평가의 4단계로 구성된 모형(Preparation-Development-Implementation-Evaluation; PDIE)으로써, 초·중·고 모든 학교 수준에서 STEAM 융합교육 수업자료 개발에 매우 효과적인 모형으로 널리 사용되고 있다(Kim, 2011b). 본 연구 역시 STEAM 융합교육 수업 자료를 효과적으로 개발하기 위한 절차로 PDIE 모형을 사용했다. PDIE 모형은 소개한 바와 같이 준비(Preparation), 개발(Development), 실행(Implementation), 평가(Evaluation) 순서의 4단계 구조를 이루며 단계별 세부사항은 Fig. 2와 같다. 첫째, 준비 단계에서 연구자는 학습 소재와 주제를 선정하고, 2015 개정 교육과정을 토대로 STEAM 융합교육 성취 수준을 설정한다. 둘째, 개발 단계에서 수업 지도안, 멀티미디어 자료, 활동지를 수업 자료로 개발한다. 셋째, 실행 단계에서 개발된 수업자료를 사용한 수업을 실시한다. 넷째, 평가 단계에서는 실행 단계에서 개발된 수업자료를 경험한 학습자들의 평가 및 피드백을 반영해 개선한다.

Process	
Preparation	·Topic selection ·Analysis of 2015 Revised curriculum ·Selection of STEAM Convergence education achievement standard
Development	·Learning materials development - Develop a teaching guidance plan - Develop a multi-media material - Develop a learning activity paper
Implementation	· Giving a class
Evaluation	· Evaluation - Evaluation and feedback by learner - Improvements

Fig. 2. Procedure of the PDIE model

Methods

STEAM Program Development Process

본 연구는 PDIE 모형을 기반으로 야간 안전용품 만들기가 수업 주제인 STEAM 융합교육 수업자료를 개발 및 적용하였다. 따라서 연구 방법도 PDIE 모형을 따라 준비, 개발, 실행, 평가 4가지 단계의 순서로 진행하였다. 수업자료 개발 과정에서 타당도를 확보하기 위해 각 과정마다 과학 교육 전문가 2인, 교사 2인이 논의 및 검토를 진행하였다.

Preparation

현재 고등학교 현장에서 고교학점제가 도입됨에 따라 주로 학기 말에 운영되고 있는 자율적 교육과정(혹은 수업량 유연화) 기간에서 다학문간 융복합적 수업을 요구하고 있는데, 이는 STEAM 교육이 지향하는 바와 일맥상통하고, 실제로 해당 기간에 STEAM 프로그램을 개발 및 실시해 학생들의 높은 만족도와 함께 실생활 문제해결, 진로 체험, STEAM 태도 등이 긍정적으로 향상됨을 확인한 선행연구 사례를 확인할 수 있었다(Kwon et al., 2022). 다만, 해당 연구에서는 수소연료, 기후위기, 데이터사이언스, 적정기술, 바리스타를 주제로 진행하였고, 이외에는 STEAM 요소를 골고루 추구해 개발된 프로그램 선행 연구가 없음에 착안해 2015 개정 교육과정을 토대로 수업 소재인 빛의 반사 개념과 관련지어 융합 교육에 적합한 주제를 선정한 결과 ‘야간 안전용품 만들기’로 선정했다. 야간 안전사고는 지속적으로 발생하고 있는 사회적 문제로서 최근에는 웰빙(Well-Being)과 건강한 삶에 대한 관심이 맞물려 달리기, 자전거 타기, 트래킹 등 여가 및 레저 목적으로 남녀노소 무관하게 야간 활동이 늘고 있다(Jiang et al., 2025). 이에 따른 야간 안전사고 발생할 확률이 높아질 우려가 있으며, 야외 활동에서 청소년의 사고율이 성인보다 높음을 고려하면(Swedler et al., 2024) 이 문제는 학생들에게 일상과 관련성이 높은 사회적 문제로서 융합 수업 주제로 적합하다고 판단하였다. 그리고 야간 안전 문제 해결 방안의 일환으로 빛의 반사를 활용하는 방법을 함께 탐구할 수 있도록 수업을 구성하면 유익할 것으로 판단하였다. 그 이유는 빛의 반사에 대한 개념은 교육과정 내에서 초·중·고 모든 학교 급에 반복적으로 등장함에도 불구하고 학생들이 다양한 오개념을 형성해 쉽게 개선되지 않는다는 보고가 있고(Yoon et al., 2021), 또한 빛의 반사는 학생들에게 일상에서 친숙한 소재로 흥미를 유발할 수 있으므로 오개념 개선과 흥미 유발 관점에서 학습 가치가 높아 STEAM 융합교육 수업 소재로 적합하다고 생각하였다.

다만, 야간 안전용품 제작에 활용할 과학 개념으로 제안하는 재귀반사(Retro reflection) 개념은 입사한 방향으로 되돌아가는 반사를 의미하는데, 2015 개정 교육과정에 성취기준에 직접적으로 제시되지 않는다(Ministry of Education, 2015). 그럼에도 불구하고 일상에서 이미 재귀 반사를 활용한 물품을 많이 목격할 수 있고, 2015 개정 교육과정의 성취기준 [12물리 I 03-02]에 제시된 파동의 전반사를 이해하기 위한 학습 과정에서 충분히 설명할 수 있다고 생각하였다. 또한 빛의 반사는 중학교 과학 교과에서 이미 학습한 내용임을 고려한다면 고등학교에서는 모든 학년의 학생에게 좋은 주제로 판단하였다. 해당 수업 주제와 관련지어 학습할 수 있는 각 STEAM 영역의 세부 사항은 Table 1과 같이 선정하고 분류했다.

Table 1. STEAM contents classification

Domain	Content
S	Retro-reflection principle based on reflection of light
T	Understanding materials with retro-reflection technology
E	Making safety goods using principle of thermal transfer printing
A	Designing and decorating safety goods
M	Expecting and drawing schematic of retro-reflection light path

선정한 주제의 각 STEAM 요소에 부합하는 2015 개정 교육과정의 성취기준을 선별해 야간 안전용품 만들기 수업에 필요한 STEAM 융합교육 성취기준을 만들었다. 영역별로 살펴보면 과학(S)은 물리학 I의 파동과 정보통신, 생활과 과학의 아름다운 생활 영역에서 내용 요소로 선정하고 그에 따른 성취 기준을 사용했다.

동일한 방식으로 기술(T) 및 공학(E)은 기술 활용, 공학의 세계 영역에서, 인문·예술(A)은 표현 영역에서, 수학(M)은 기하 영역에서 각각 내용 요소를 선정하여 성취 기준을 분류했다. 세부 사항은 Table 2와 같다.

Table 2. STEAM convergence education achievement standard

Program name	Making Safety Goods at Night	School level	High school Grades 1-3	Class time	Total 4 class time
Related subject	Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics				
2015 Revised Curriculum	Science	Content element	Wave		
		(Achievement criteria)			
		[12Physics□03-02]	I can explain the optical communication process using the principle of reflection of light.		
		Content element	Beautiful Life		
		(Achievement criteria)			
		[12Lifesandscience02-05]	I can explain the scientific principles and concepts related to the material, function, etc. of clothing.		
	Technology/ Engineering	[12Lifeandscience02-07]	I can set up specific situations in your daily life and design clothes suitable for your purpose and function.		
		Content element	Technology Utilization		
		(Achievement criteria)			
		[9Technologyandhomeeconomics05-02]	I can investigate the safety of changes in the home and society and understand the prevention and coping method.		
		[9Technologyandhomeeconomics05-06]	I can find problems in my life, come up with ideas, and solve them creatively using diffuse and collectivistic thinking techniques.		
		Content element	Engineering World		
	Art	(Achievement criteria)			
		[12Engineering02-03]	I can understand the principles of materials and new materials engineering, grasp the trend, explore and experience cases in which principles are applied.		
		Content element	Expression		
		(Achievement criteria)			
	Mathematics	[12Artcreation01-05]	I can visualize ideas with sketches, modeling, etc.		
		[12Artcreation01-07]	I can systematically plan the stage and sequence of production.		
		[12Artcreation02-04]	I can compare each other's feelings and thoughts about aesthetic objects and clarify my own reaction.		
		Content element	Geometry		
		(Achievement criteria)			
		[9Mathematics04-01]	I can understand points, lines, planes and angles, and explain the location relationship of points, straight lines and planes.		
		[10Mathematics02-04]	I can understand the parallel and vertical conditions of the two straight lines.		
		[12Practicalmathematics02-03]	I can draw various angles and plots of three-dimensional figures.		

Development

수업 자료는 Yakman & Kim (2007), Park et al. (2012)의 STEAM 준거들을 적용하여 4차시 과정(상황제시-창의적 설계-감성적 체험-성취의 경험)으로 설계 및 제작하였다. 총 4차시의 지도안을 제작하였고, 멀티미디어 자료와 활동지도 함께 제작하였다. 구체적 지도안과 자료는 연구 결과에서 제시하였다.

Implementation

개발한 수업자료를 검증을 위한 수업은 고등학교를 갓 졸업한 초등 및 중등교육 전공의 대학교 1학년 예비교사를 수업 대상으로 선정해 실시하였다. 구체적으로는 초등교육과 2명, 영어교육과 1명, 수학교육과 1명, 물리교육과 14명, 화학교육과 5명, 생물교육과 1명, 지구과학교육과 3명, 가정교육과 1명, 컴퓨터교육과 2명, 환경교육과 2명 총 32명이 학생 역할로 투입되었다. 연구에 투입된 참여 학생 32명 모두 해당 수업이 연구를 위한 목적임을 안내하고, 학생들의 수업 과정 및 결과, 수업 후 설문조사 내용이 연구에 활용될 수 있음을 동의받아 진행하였다. 연구자는 교사 역할을 맡아 개발한 수업 지도안, 멀티미디어 자료, 학습 활동지를 모두 사용하며 수업을 진행했다.

수업은 지도안과 같이 총 4차시를 진행하고, Fig. 3과 같이 비대면 수업으로 진행하였다. 수업 과정 중 포함된 실험 활동은 교사가 시범 실험하는 모습을 보임으로써 학습자가 간접적으로 탐구할 수 있도록 안내했다.

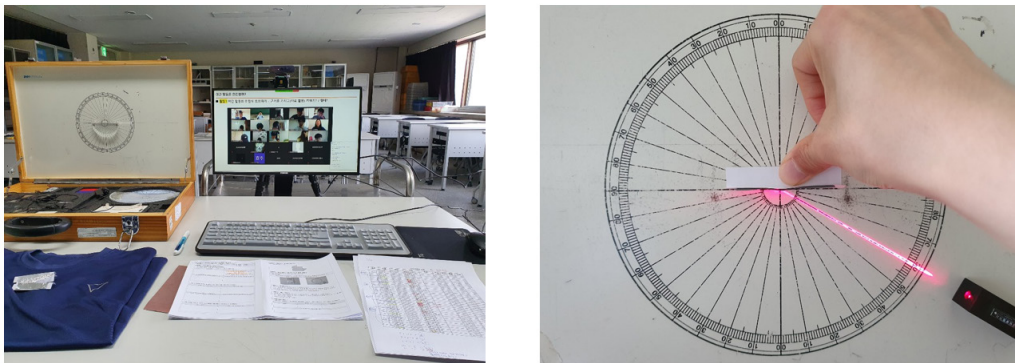


Fig. 3. Class scene using Zoom and experiments on the phenomenon of light reflection

Evaluation

실행 단계에서 진행한 수업을 마친 후, 평가 단계에서는 수업에 투입된 대상에게 설문조사를 통해 프로그램의 효과를 확인하고자 계획하였다. 설문조사에 사용한 설문지는 선행 연구에서 개발된 STEAM 프로그램 학습자 평가 검사지와 정의적 영역 학습자 평가 검사지(Kang et al., 2015)를 토대로 연구 목적에 맞게 수정하였다. 설문지의 주요 내용은 개발된 수업자료를 활용한 STEAM 융합교육 수업에 대한 만족도, 정의적 영역에 대한 질문으로 이루어졌다. 질문에 대한 응답은 리커트 척도를 사용해 각 문항을 1점(전혀 그렇지 않다)부터 5점(매우 그러하다)까지 평가할 수 있도록 구성했다. 또한 STEAM 요소 체감도 평가를 추가해 학생들이 실제 수업에서 체감한 STEAM 요소 여부 체크 및 이유를 서술할 수 있도록 하였다. 또한 제작한 설문지의 내용 타당도를 확보하기 위하여 과학교육 전문가 2인과 현직 교사 2인의 검토를 거쳐 문항을 수정·보완하였다. 그렇게 완성한 설문지 원본은 Fig. 4와 같다. 앞서 기술한 바와 같이 개발한 수업자료를 검증하기 위한 수업

에 대학교 1학년 예비교사 32명이 학생 역할로 투입되었고, 수업 종료 후 32명 모두에게 Fig. 4의 설문지 응답을 받을 수 있었다. 투입된 학생들의 설문 응답을 토대로 결과를 분석하였다.

융합교육(STEAM) 수업 후 설문조사 (주제 : 야간 안전용품 만들기)

전공 _____ 교육과 _____

1. 수업 만족도 평가
본 프로그램을 참여하는 과정에서 자신이 느낀 만족도 수준으로 가까운 것에 ○를 표기해주세요.

번호	평가항목	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그려 하다	매우 그려 하다
1	개발된 학습 자료는 STEAM 융합교육에 적합하다.	1	2	3	4	5
2	수업시간이 충분하여 과학, 수학에 이해도가 높았다.	1	2	3	4	5
3	개발된 학습 자료는 학습 내용의 이해를 돕기 위해 적절했다.	1	2	3	4	5
4	재귀반사와 회로와 과학을 이해하는데 도움이 되었다.	1	2	3	4	5
5	야간 안전용품 만들기를 통해 STEAM을 이해하기 쉬웠다.	1	2	3	4	5
6	실습이 이론보다 이해하기 쉬웠다.	1	2	3	4	5
7	야간 안전용품을 제작하는 과정에서 흥미와 재미를 느꼈다.	1	2	3	4	5
8	야간 안전용품을 제작하는 과정에서 자발적으로 참여하였다.	1	2	3	4	5
9	완성된 야간 안전용품이 정상적으로 작동하여 만족스럽다.	1	2	3	4	5

2. 정의적 영역 평가
본 프로그램을 참여하는 과정에서 자신이 느낀 정의적 요소의 수준에 가까운 것에 ○를 표기해주세요.

평가항목	번호	평가요소	의미	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	보통	그려 하다	매우 그려 하다
개념적 차단	1	자기존중	후조견적으로 타인의 생각을 따르지 않 고, 논리적으로 자신의 생각을 표명하는 태도	1	2	3	4	5
	2	자기성찰	타인과 회의를 회상등을 통해, 자신의 생 각을 타인의 생각과 비교, 대조하는 태도	1	2	3	4	5
	3	자기조절	타인과 회상등을 할 때, 자신의 감정을 조절하는 태도	1	2	3	4	5
대인관계 차단	4	배려	타인과 회상등을 할 때, 기본적인 예 의를 지키는 태도	1	2	3	4	5
	5	공감	자신의 생각과 일치하지 않는 타인의 생각에 대해 후조견적 비판을 하지 않 고, 타인의 생각을 존중하는 태도	1	2	3	4	5
	6	소통	다양한 생각을 가진 타인과 의견을 통해 자신의 생각을 확장하려는 태도	1	2	3	4	5
사회, 문화, 공동체와의 관계 차단	7	책임	사회 구성원으로서 사회적 역할에 대한 의무와 책임을 깨닫는 태도	1	2	3	4	5
	8	정리	사회적 질서와 문명 조성을 위해 공평 한 절차를 존중하는 태도	1	2	3	4	5
	9	일여	학업과 생활을 조화롭게 하기 위해 있는 인내의 역량을 함양하는 태도	1	2	3	4	5
자연 환경적 문제와의 관계	10	아름다움	대상이 가진 아름다움에 대해 민감하게 인식하고, 이를 내면화하거나 실현하려 는 태도	1	2	3	4	5

3. STEAM 요소 체감도 평가

본 프로그램에서 자신이 느낀 STEAM 요소에 (○/X)를 표기하고, 그렇게 생각한 이유를 써주세요.

항목	번호	STEAM 요소	O / X	이유
필수	1	S(Science, 과학)		
필수	2	T(Technology, 기술)		
필수	3	E(Engineering, 공학)		
필수	4	A(Arts, 인문·예술)		
필수	5	M(Mathematics, 수학)		
선택	6	좋은 점(자유로운)		
선택	7	아쉬운 점(자유로운)		



SCIENCE TECHNOLOGY ENGINEERING ARTS MATHEMATICS

설문에 응해주셔서 감사합니다. :)

Fig. 4. Survey paper

Results

Development of STEAM Teaching Materials

Teaching Guidence Plan

Yakman & Kim이 제시한 STEAM 준거틀을 토대로 수업 설계에 적합하게 개발된 STEAM 준거틀(Park et al, 2012)을 사용해 총 4차시의 STEAM 융합 수업지도안을 만들었다(Table 3). 해당 준거틀은 상황제시-창의적 설계-감성적 체험-성취의 경험 총 4단계로 구성되어 있는데, 먼저 상황제시(Context Presentation) 단계에서는 사회적 문제의 일환으로 야간 안전사고 문제를 제시하고 그 위험성을 학생들이 논의함으로써 학습 주제가 학습자 본인의 삶과 관련이 있음을 인식해 문제의식과 학습동기를 유발할 수 있도록 구성했다. 또한 이 문제에 대한 과학적 해결 방법을 모색하는 과정에서 정반사, 난반사, 재귀반사 현상을 비교하는 탐구실험을 진행함으로써 재귀반사의 원리를 이해하고, 일상생활에서 활용되고 있는 다양한 사례를 찾아 공유할 수 있도록 했다. 창의적 설계(Creative Design) 단계에서는 재귀반사를 활용한 야간 안전용품을 학습자가 개성과 창의성을 담아 디자인할 수 있도록 구성했다. 특히, 디자인은 초안 제작 후에 동료들에게 공유하고 피드백을 받아 이를 반영한 최종안으로 개선할 수 있도록 강조했다. 감성적 체험(Emotional Touch) 단계에서는 창의적 설계 단계에서 구상한 최종안을 바탕으로 학습자 자신만의 야간 안전용품 제작에 도전하고 몰입할 수 있도록 구성했다. 성취의 경험(Fulfilling Experience) 단계에서는 완성한 야간 안전용품 평가와 더불어 주어진 문제 상황에 대한 다방면적 관점에서 해결책을 모색하고, 마무리로 본 수업에 대한 자기점점 및 성찰, 동료 평가를 할 수 있도록 구성했다.

Table 3. Teaching guidance plan

Making Safety Goods at Night			
Course	Science, Technology, Engineering, Art, Mathematics		Class time 1 - 4
Learning goal	Attitude	I can listen to other people's opinions and take them critically when communicating, and expand my thoughts.	
	Exploration	I can recognize the problems that may encounter in my daily life, and seek solutions from various perspectives as well as science.	
	Knowledge	I can understand the principle of retro-reflection, and distinguish it from other kinds of reflections.	
	Scientific Capacity	Scientific communication ability, Scientific exploration ability, Scientific problem solving ability, Scientific participation and lifelong learning ability	
Learning process	Teaching-Learning Activities		Preparation and Notes
Context Presentation (1 class)	[Activity 1] Discussing the dangers of night accidents ▪ Social Problems – Night Accidents(News Video, Relevant Statistics, etc.) - search and organize data related to night accident issues and present them in a group activity. - organize your own opinions and group presentations, compare and expand your thoughts. - discuss what is needed to prevent night accidents. [Activity 2] Drawing up a light path of retro-reflection ▪ Find how to collect light effectively - introduce concepts of reflective law of light, and regular, diffused, retro-reflection. - expect and draw up light path of retro-reflection in a mathematical point of view. - STEAM elements : S, M [Activity 3] Exploration experiment – Compare Multiple Reflections ▪ Compare light path – Observation with a changing angles - observe and draw the light path of regular, diffused, retro-reflection from various angles by using laser. - discuss the similarities and differences between the three types of reflections. ▪ Compare Brightness – Observation with a Changing Directions - compare the brightness oof regular, diffused, retro-reflection in different directions by using lighting. ▪ Explore – Principles and Features of Retro-Reflection - organize the scientific features and principles of retro-reflection within a group, and present to another group. - Introduce materials containing retro-reflection, and understand the operating principle. - STEAM elements : S, M		□ PC, PPT, Internet connection, Learning activity paper □ Teacher acts as a moderator of a discussion □ Angulator, Aluminum foil, Retro-reflective tape, Laser.
Creative Design (2 class)	[Activity 4-1] Making safety goods at night - Design ▪ Imagine Night Safety goods that are Easy to Use in Daily Life - identify lifestyle and environment related to one's usual night activities. - when considering one's situation, select the necessary items and come up with designs that reflect functionality, artistry and individuality. - present and share the design draft and improve it to the final draft with feedback from other students. - STEAM elements : S, A		□ Learning activity paper, Sketch tools
Emotional Touch (3 class)	[Activity 4-2] Making safety goods at night - manufacture ▪ Introduce Thermal Transfer Printing(TTP) Technology - Introduce and describe the TTP required to attach retro-reflective tape. - guide the method of attaching tape and emphasize the need to be careful not to get burned by iron when attaching it. ▪ Make Night Safety goods - produce nightly safety goods according to the design drawings that you have completed. If necessary, the design may be changed on the spot during manufacture. - STEAM elements : T, E, A		□ Night safety goods preparation (Different for Individuals)
Fulfilling Experience (4 class)	▪ Evaluate Night Safety goods - reveal the completed night safety goods and explain the intention of that. - announce own appreciation of the completed product. - view the output of other students and share their appreciation. [Activity5] Proposing a multi-faceted problem solution ▪ Night Safety Accident Problem Solution - seek and present solutions to the problem in science technology, legal system, social culture, and professional aspects. - record and organize your own opinions and the contents of each group's presentation, compare and expand your thoughts. ▪ Organizing Learning in the class ▪ Self evaluation and peer review		□ Learning activity paper, Finished goods

Multi-media Material

멀티미디어 자료는 파워포인트(PPT) 형태로 개발했다. 이 자료는 수업 지도안의 흐름과 내용에 맞춰 제작되었으며 학생들의 활동 및 이해를 도울 수 있도록 뉴스 동영상, 통계 자료, 그림 및 사진 등을 적극적으로 활용하였다. 제작된 자료의 예시는 Fig. 5와 같다.

아간 활동은 안전한가?
■ 활동1 아간 활동의 위험성 토의하기 - 근거를 가지고(자료 활용) 검색 키워드? / 형태?

위험한 아간 활동 자판기-한 해 300명 사망
뉴스, 통계자료 등 활용

Q. 안전한 아간 활동을 위해 필요한 것은?

아간 안전 활동 만들기
■ 활동4 설계-제작 활동-활동 요령

1. 설계 2. 제작 3. 결과물 평가

책의 앞면, 디자인, 표지, 일러스트 그리기
표지 - 앞면, 뒷면, 옆면 - 최종판본 만들기
(아간 안전 활동 자판기, 한 해 300명 사망)

디자인에 맞춰 만들기
가운데에 띠 만들기
(특수지 활용)

다방면적 문제 해결책 생각해보기
■ 활동5 과학기술 / 법률제도 / 사회문화 / 직업적 측면에서 아간 안전 문제 해결책 제안하기

현실상황에서 가능한지, 상상력에 초점을 두고 구체적인 아이디어를

과학기술적 측면 법률제도적 측면 사회문화적 측면 직업적 측면

현물 표지판 활용 스마트카드, 차량지 지문장치

분리형 아간 안전 교육 실시 (단방향만 제공, 화면은 못 보기)

개인안전 장비 혹은 구조물 개발

Fig. 5. Example of multi-media materials

Learning Activity Paper

학습 활동지 역시 수업 지도안의 흐름과 내용에 맞춰 제작했다. 학습 활동지의 역할은 학습자에게 학습 활동을 제시 및 안내하고, 각 활동에서 본인의 생각과 동료의 생각을 기록 및 비교할 수 있도록 제작하여 효과적인 토의 활동과 협력을 돕는다. 개발된 자료의 예시는 Fig. 6과 같다.

활동2 - 제귀 반사 활동 만들기
제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동3 - 활동 1의 결과물 만들기
제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동4 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동5 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동6 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동7 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동8 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동9 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동10 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동11 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동12 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동13 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동14 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동15 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동16 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동17 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동18 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동19 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동20 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동21 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동22 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동23 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동24 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동25 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동26 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동27 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동28 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동29 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동30 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동31 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동32 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동33 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동34 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동35 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동36 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동37 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동38 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동39 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동40 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동41 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동42 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동43 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동44 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동45 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동46 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동47 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동48 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동49 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동50 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동51 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동52 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동53 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동54 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동55 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동56 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동57 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동58 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동59 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동60 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동61 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동62 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동63 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동64 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동65 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동66 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동67 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동68 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동69 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동70 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동71 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동72 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동73 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동74 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동75 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동76 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동77 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동78 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동79 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동80 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동81 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동82 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동83 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동84 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동85 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동86 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동87 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동88 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동89 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동90 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동91 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동92 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동93 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동94 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동95 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동96 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동97 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동98 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동99 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

활동100 - 제귀 반사, 제귀 반사의 움직임을 그려보라.

Fig. 6. Examples of learning activity paper

Class Results

수업 결과물의 예시는 Fig. 7과 같다. Fig. 7의 윗부분은 학습 활동지 결과물로서, 수업에 참여한 학습자들이 활동 1,5에서 토의 내용을 정리하며 자기 생각과 동료들의 생각을 비교하며 자신의 생각을 확장하는 용도로 사용한 예시를 수록했다. 또한 활동 4에서 자신의 아이디어를 반영한 야간 안전용품 디자인 초안을 만들고, 동료들의 의견을 반영한 최종안을 완성한 예시도 담겨있다. Fig. 6의 아랫부분은 완성품 결과물로, 최종안을 바탕으로 각자의 개성이 담긴 야간 안전용품을 만든 사례다. 완성된 야간 안전용품은 장갑, 마스크, 양말, 우산, 티셔츠 등 학습자들이 본인에게 필요한 물건의 종류로 다양하게 나타났다.

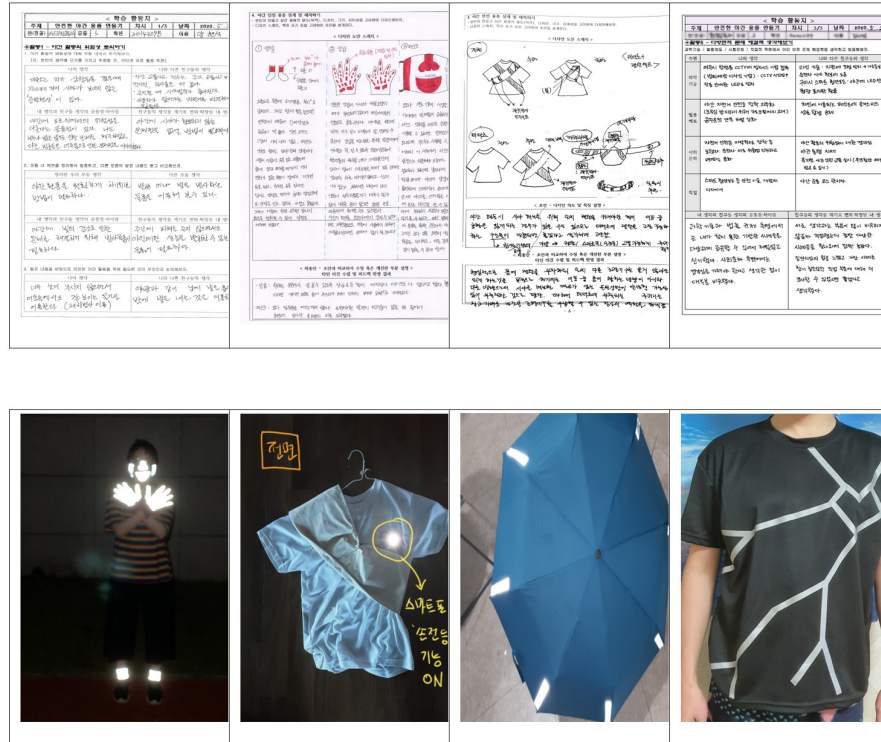


Fig. 7. Examples of outputs: learning activity papers and finished goods

Class Satisfaction Evaluation

Table 4는 개발된 자료를 사용한 수업에 대한 수업 만족도 평가 결과를 나타낸다. 전체 평균이 5점 만점 중에 4.33점으로 나타나 전반적으로 높은 만족도를 보였다. 세부적으로 살펴보면, 야간 안전용품 제작 과정에서 자발적 참여(4.59점), 완성품에 대한 만족(4.50점), 과제 수행 용이성·학습자료 적절성·학습내용 이해도(4.41점) 항목이 평균보다 높게 나타났다. 반대로, 실습에 대한 이해도(3.88점) 항목은 상대적으로 다소 낮은 만족도가 나왔는데, 이는 학생들과의 인터뷰 결과 처음 야간 안전용품 디자인 및 제작 과정의 이해가 다소 힘들었다는 응답과 일치하였다. 이는 비대면으로 실시되어 동료 학습자 및 교사와의 상호작용 기회가 대면 상황보다 제한적이었기 때문으로 짐작된다.

Table 4. Class satisfaction evaluation (N=32)

Number	Evaluation items	Average (5 points Perfect score)	Standard deviation
1	Developed materials are suitable for convergence education(STEAM).	4.22	0.76
2	There was no difficulty in carrying out the assignment because of enough class time.	4.41	0.78
3	The developed materials were appropriate to help understand learning contents.	4.41	0.70
4	It helped me understand the principle and process of retro-reflection.	4.41	0.74
5	It was easy to understand STEAM through making night safety goods.	4.22	0.93
6	Practice was easier to understand than theory.	3.88	0.99
7	I felt interest and fun in the process of producing night safety goods.	4.29	0.87
8	I voluntarily participated in the process of producing night safety goods.	4.59	0.65
9	I was satisfied that the night safety goods made by myself are working properly.	4.50	0.71
Average		4.33	

STEAM Elements Evaluation

Table 5는 개발된 자료를 사용한 수업의 STEAM 요소 평가 결과를 나타낸 것이다. STEAM 영역을 골고루 학습할 수 있었다는 응답이 전반적으로 많았다. 다만 공학적 요소(E)와 수학적 요소(M)를 체크한 비율이 다른 영역에 비해 현저히 낮게 나타남을 알 수 있다. 먼저 공학적 요소가 낮게 나온 이유는 인터뷰 결과 공학적 요소와 기술적 요소를 구분하기 힘들고 이를 유사한 개념으로 인식하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 수학적 요소가 없다고 응답한 이유는 예비교사들이 재귀반사 광경로를 작도하는 활동에서 기하 영역에 대한 사고활동을 했음에도 불구하고, 해당 활동을 수학적으로 인식하지 못한 것으로 확인하였다. 즉, 활동 2는 재귀반사 광경로를 작도할 때 추상적인 상황에서 광경로를 그려보는 활동으로 구성되어있는데, 이를 구체적인 조건 하에 광경로를 그리고 각도를 계산하는 문제로 활동에 변화를 준다면 주어진 문제를 해결하기 위해 학생들은 각 반사면에서 입사광과 반사광 사이의 각도 관계를 정확히 고려하며 광경로를 찾게 되므로 기하 관점에서 수학적 요소를 체감할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 5. STEAM Elements that can learn in class

Number	Evaluation items	Number of students checked(N=32)
1	Science	32(100%)
2	Technology	32(100%)
3	Engineering	22(68.8%)
4	Art	25(78.1%)
5	Mathematics	16(50%)

Affective Elements Development Evaluation

Table 6은 개발된 자료를 사용한 수업에 대한 정의적 요소 발달 평가 결과를 나타낸 것이다. 여기서 정의적 영역의 각 항목에 대한 정의는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 설문조사지에 기술함으로써 학습자가 각 항목을 이해하고 평가할 수 있도록 했다. 평가 결과 전체 평균이 5점 만점 중에 4.23점으로 나타나 학습자의 정의적 요소 발달에 전반적으로 도움이 된다는 평가를 확인할 수 있었다. 세부적으로는 배려(4.44점), 공감(4.38점), 자기조절·아름다움(4.28점), 소통(4.25점) 항목이 평균보다 높다는 것을 확인하였고, 반대로 자기 존중(4.06점) 항목은 상대적으로 다소 낮은 만족도를 보였다. 자기 존중은 타인의 의견을 무조건적으로 따르지 않고 자신의 생각을 논리적으로 표현하는 태도를 의미하므로 비판적 사고방식과 일맥상통한다. 이는 인터뷰 결과 학

습자가 토의 활동에서 동료 학습자의 의견을 들었을 때 자신의 의견과 크게 다르지 않아 비판적 사고를 사용할 기회가 부족했음을 확인하였다. 그러므로 수업 내 활동을 구성할 때 토의 및 협력 뿐만 아니라, 토론할 수 있는 기회를 부여해 각자의 생각이 옳다고 주장하고 충돌시킴으로써 상대방을 논리적으로 설득하는 활동을 포함시킬 필요가 있음을 알 수 있었다.

Table 6. Affective elements development evaluation (N=32)

Number	Evaluation items	Average (5 points Perfect score)	Standard deviation
1	Self-respect: Attitude to express one's thoughts logically, not unconditionally following others' thoughts.	4.06	1.03
2	Self-reflection: Attitude of comparing and contrasting one's thoughts through communication with others.	4.16	0.83
3	Self-control: Attitude of controlling one's emotions When communicating with others.	4.28	0.72
4	Consideration: Attitude to keep basic manners when communicating with others	4.44	0.70
5	Empathy: Attitude of respecting other people's thoughts without unconditional criticism of them that does not match one's own thoughts.	4.38	0.82
6	Communication: Attitude to expand one's thoughts through discussion with others who have diverse ideas	4.25	0.87
7	Responsibility: Attitude to realize the duties and burdens of social tasks as members of society.	4.13	0.82
8	Justice: Attitude to consider fair procedures to maintain order and balance in society	4.13	0.78
9	Participation: Attitude to explore socially valuable future jobs based on what one have learned.	4.16	0.87
10	Beauty: Attitude to sensitively recognize, internalize or realize the beauty of the object.	4.28	0.57
Average		4.23	

Free Opinions

Table 7은 예비교사들의 자유 의견을 정리한 결과를 나타낸 것이다. 정리한 결과는 크게 체험한 STEAM 융합교육 수업에 대한 좋은 점과 개선이 필요한 점으로 분류할 수 있었다. 긍정적인 의견으로는 단일 교과 수업 보다 STEAM 융합수업에서 흥미와 재미를 더 크게 느낄 수 있었고, 핵심 개념을 명확히 이해할 수 있었다는 의견이 많았다. 수업 참여자간 상호작용이 원활하게 이루어졌으며, 직접 만든 야간 안전용품을 실생활에서 유용하게 사용할 수 있어서 좋다는 의견도 확인할 수 있었다. 또한, 동일한 문제를 다양한 관점에서 접근하는 STEAM 교육을 실제로 경험해본 것이 유의미한 기회였다는 의견도 보였다. 부정적인 의견으로는 의사소통이 제한적이고 직접 실험을 하지 못한 것에 대한 아쉬움이 드러났으며, 이렇게 생각한 이유로는 비대면 방식을 원인으로 지목하였고, STEAM 요소 사이의 유기적 연관성이 부족했다는 응답도 있었다.

Table 7. Free opinions on STEAM class

Category	Opinion (number of students in brackets is the number of students with duplicate answers)
good parts of the STEAM class	· Interesting and funnier than a single subject class. (10) · understand the characteristics of retro-reflection by experiment with different kinds of reflections. (6) · Good interaction between teachers and students, students and students. (5) · The output is satisfactory and can be used normally (4). · It was beneficial to experience STEAM education where one problem can be discussed from various perspectives. (3) · It was a non face-to-face class, but I felt like face-to-face class. (3)
Parts requiring improvement Of the STEAM class	· Lack of communication due to non face-to-face methods. (4) · It was a pity that I couldn't do the experiment myself because of the non face-to-face class. (3) · Lack of association between STEAM elements. (1)

Discussion

본 연구에서 개발한 야간 안전용품 만들기 STEAM 융합교육 수업 자료는 학습자의 높은 수업 만족도와 정의적 영역 발달에 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 특히 창의적 설계와 감성적 체험 단계에서 학습자들은 산출물 제작과 동료 피드백 과정에 직접 참여함으로써 흥미와 몰입을 경험하였으며, 이는 예술 기반 활동이나 STEAM 설계가 학습자의 몰입, 창의성, 장기적 학습 유지에 긍정적으로 작용한다는 기존 연구 결과와 일치한다(Aguilera & Ortiz-Revilla, 2021; Hardiman et al., 2019; Rinne et al., 2011). 이러한 결과는 통합 STEM/STEAM 교육이 학습 동기, 창의성, 일부 학업 성취에 긍정적 영향을 줄 수 있음을 보고한 여러 메타분석 및 종합 연구와도 맥락을 같이한다(Cao et al., 2025; Chen et al., 2025; Perales et al., 2024; Singh et al., 2024; Wu et al., 2022). 나아가 생활 속 사회적 문제, 즉 본 연구의 경우 야간 안전 문제를 기반으로 한 수업 설계가 과학 개념의 의미를 확장하고 학습의 지속 의도를 강화하는 데 효과적임을 시사한다.

한편, 학습자들이 수학(M) 요소를 상대적으로 낮게 인식한 점은 주목할 만하다. 이는 예술적 제작 활동이 중심이 되거나 교사가 정량적 사고를 충분히 강조하지 못할 경우 수학적 실천이 부각되지 않는다는 선행연구 결과와 일치한다(Park et al., 2016; Jho et al., 2016; Singh et al., 2024; Tang et al., 2025). 본 연구에서도 반사각 계산이나 정량적 비교와 같은 수학적 사고가 활동 과정에 포함되었으나, 이를 핵심 학습 목표로 명시적으로 강조하지 못한 탓에 학습자들의 수학적 요소 인식이 약화된 것으로 해석된다. 따라서 광경로 작도 과제를 조건부 문제 해결 형태로 변형하여 학습자가 반사·굴절 각도 계산을 반드시 수행하고, 그 결과를 근거로 재료 선택이나 설계 결정을 내리도록 하는 보완이 필요하다. 즉, 학습자가 수학적 요소를 보다 명확히 경험할 수 있도록 수업 내용과 자료의 개선이 요구된다.

또한 본 연구는 몇 가지 한계점을 지닌다. 첫째, 실제 목표 집단인 고등학생이 아닌 초·중등 예비교사(대학교 1학년)를 대상으로 수업이 진행되었다는 점이다. 선행연구에 따르면 교사의 사전 준비 정도와 도구 활용 자신감에 따라 STEAM 효과가 증폭되거나 약화될 수 있으므로, 예비교사 대학생을 대상으로 확인한 교육적 효과는 실제 고등학생보다 긍정적으로 나타났을 가능성이 있다(eCampusNews, 2024; Montero-Izquierdo et al., 2024). 둘째, 연구가 비대면 환경에서 이루어져 실시간 상호작용과 즉각적 피드백 기회가 제한적이었다는 점이다. 이는 Table 7의 예비교사 자유의견 응답에서도 확인된다. 셋째, 2025년부터 시행되는 2022 개정 교육과정에 따라, 2015 개정 교육과정을 기반으로 개발한 성취기준은 2025년 이후 고등학교 2·3학년에만 적용 가능하다는 점이다. 따라서 향후 연구에서는 2022 개정 교육과정의 성취기준을 반영하고, 실제 고등학교 학생을 대상으로 대면 혹은 혼합형 수업을 통해 효과를 검증할 필요가 있다.

종합적으로, 본 연구는 적절히 구조화된 STEAM 수업이 학습자의 인지적·정의적 발달을 동시에 촉진할 수 있음을 보여주었다. 그러나 수학적 추론이 명시적으로 포함되지 않을 경우, 학습자가 수학적 요소(M)를 STEAM의 본질적 구성 요소로 인식하지 못할 가능성이 있음을 확인하였다. 따라서 후속 연구에서는 조건부 과제 설계와 수학적 계산 점검 절차를 포함하여 수업자료를 보완하고, 이를 실제 고등학교 현장에서 적용·검증하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

Conclusions

본 연구는 고등학교 과학 수업에서 활용 가능한 야간 안전용품 만들기 주제의 STEAM 융합교육 수업 자료를 개발하고, 이를 예비교사를 대상으로 적용·평가하여 교육적 효과를 검증하였다. 연구 결과, 수업 만족도는 5점 만점에 평균 4.33점으로 높게 나타났으며, 정의적 영역 발달 또한 평균 4.23점으로 확인되었다. 이를 통해 학습자의 흥미, 배려, 공감, 소통 능력이 향상되는 등 긍정적 효과가 나타났으며, 생활 밀착형 주제를 기반으로 한 과학 중심 STEAM 수업이 인지적 이해뿐 아니라 정의적 성장까지 촉진할 수 있음을 보여주었다.

다만 학습자들의 수학(M) 요소 체감도가 낮았고, 실제 고등학생이 아닌 예비교사를 대상으로 수업이 이루어졌다는 점은 본 연구의 한계로 남는다. 따라서 후속 연구에서는 수학적 요소를 보다 강화하고, 실제 고등학생을 대상으로 교육적 효과를 재검증하며 자료를 보완할 필요가 있다.

결론적으로 본 연구는 과학 개념을 사회적 문제 해결 맥락과 연결한 STEAM 수업이 학습자의 과학적 이해와 정의적 성장을 동시에 촉진할 수 있음을 확인하였다. 나아가, 본 연구에서 개발한 STEAM 융합교육 수업 자료를 실제 고등학교 현장에 적용할 경우, 학습자가 사회 문제를 탐구하는 과정에서 자신과의 관련성을 인식하고 학습 동기와 흥미를 증진시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이는 과학 개념 학습을 넘어 학생들의 사회적 문제 해결 역량을 함양하는 데에도 기여할 수 있을 것이다

Conflicts of Interest

The authors declared no conflicts of interest.

References

- Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic literature review. *Education Sciences*, 11, 331.
- Cao, X., Lu, H., Wu, Q., & Hsu, Y. (2025). Systematic review and meta-analysis of the impact of STEM education on students learning outcomes. *Frontiers in Psychology*, 16, 1579474.
- Chen, B., Chen, J., Wang, M., & Kirschner, P. A. (2025). The effects of integrated STEM education on K12 students' achievements: A meta-analysis. *Sage Journals*, 58(3), 123-145.
- Park, H., Byun, S., Sim, J., Han, H., & Baek, Y. (2016). Teachers' perceptions and practices of STEAM education in South Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1739-1753.
- Hardiman, M. M., JohnBull, R. M., Carran, D. T., & Shelton, A. (2019). The effects of arts-integrated instruction on memory for science content. *Trends in Neuroscience and Education*, 14, 25-32.
- Jeong, E., Park, J., Lee, S., Yoon, H., Kim, H., Kang, H., Lee, J., & Jeong, J. (2022). A Qualitative Study on the Cause of Low Science Affective Achievement of Elementary, Middle, and High School Students in Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 42(3), 325-340.
- Jho, H., Hong, O., & Song, J. (2016). An analysis of STEM/STEAM teacher education in Korea with a case study of two schools from a community of practice perspective. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1843-1862.

- Jiang, C., Zhang, X., Feng, S., & Li, H. (2025). Engaging in physical activity in green spaces at night is associated with mental well-being and happiness. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22, Article 5678.
- Jung, K. H., & Shin, Y. J. (2018). A case study on STEAM lesson through the teachers' learning community. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38, 147-160.
- Kang, H. S., Lee, S. Y., Kim, H. K., Lee, S. H., Kwak, Y. S., & Shin, Y. J. (2019). The effects of national science leading school programs on students' positive experiences about science and teachers' perceptions of curriculum implementation factors affecting PES. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 39, 279-293.
- Kang, S. J., Paik, S. H., Choi, S. W., Kim, K. C., Lim, B. D., Choi, S. K., ... Choi, E. S. (2015). A Study on the Development of Teachers for the Balanced Development of Curriculum Education Specialty and Personality Education Specialty. Korea National University of Education Policy Research Project.
- Kim, H. B., & Chae, D. H. (2016). The development and application of a STEAM program based on traditional Korean culture. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12, 1925-1936.
- Kim, H., & Jung, S. (2019). A comparative analysis of STEAM activities in high school integrated science textbooks. *Journal of Field Science Education*, 13, 133-146.
- Kim, J. W., & Won, H. H. (2016). The effect of creativity in STEAM education by meta-analysis. *Korean Journal of Educational Research*, 54, 169-195.
- Kim, J. Y. (2024). Exploring influencing factors at student and teacher/school levels on science self-efficacy using machine learning and multilevel latent profile analysis. *SAGE Open*, 14(4), 1-16.
- Kim, K., Lee, K., & Kwon, O. N. (2024). A systematic literature review of the empirical studies on STEAM education in Korea: 2011–2019. In Y. Li, Z. Zeng, & N. Song (Eds.), *Disciplinary and Interdisciplinary Education in STEM (Advances in STEM Education)*, pp. 103–117. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-52924-5_6
- Kim, Y., Lee, Y., & Kim, G. (2016). Analysis of perceptions and educational needs of elementary and secondary school teachers regarding advanced professional development in STEAM education. *Journal of Home Economics Education Research*, 22, 51-70.
- Kim, Y., Lee, Y., & Kim, G. (2016). An analysis of perceptions and educational needs of elementary and secondary school teachers regarding advanced STEAM education training. *Journal of Technology Education Research*, 22, 51-70.
- Kwon, H., Kim, E., Kim, J., Min, J., Bae, S., Son, M., ... Ham, H. (2022). Development of Convergence Education (STEAM) Program for High School Credit System. *Journal of Science Education*, 46, 93-108.
- Ministry of Education, Republic of Korea. (2015). 2015 Revised National Curriculums: Science. Ministry of Education.
- Montero-Izquierdo, A. I., Jeong, J. S., & González-Gómez, D. (2024). A future classroom lab with active and gamified STEAM proposal for mathematics and science disciplines: Analyzing the effects on pre-service teacher's affective domain. *Heliyon*, 10, 35911.
- Mun, J., & Kim, S.-W. (2022). STEAM Education in Korea: Enhancing Students' Abilities to Solve Real-World Problems (STEAM R&E programme). *Journal or Report of KOFAC Programme*.
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*. OECD Publishing.
- Park, H. J., Byun, S. Y., Sim, J. H., Baek, Y. S., & Jeong, J. S. (2016). A study on the current status of STEAM education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36, 669-679.

- Park, H. J., Kim, Y. M., Noh, S. G., Lee, J. Y., Jeong, J. S., Choi, Y. H., Han, H. S., & Beak, Y. S. (2012). Components of 4C-STEAM education and a checklist for the instructional design. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 12, 533-557.
- Perales, F. J., & Aróstegui, J. L. (2024). The STEAM approach: Implementation and educational, social and economic consequences. *Arts Education Policy Review*, 125(2), 59-67.
- 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.
- Ryu, S. A., Yang, S. H., Kwak, Y. S., Kim, M. S., Kim, T. H., & Lee, S. M. (2019). A study on the evaluation method for the promotion of convergence education (STEAM). *Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity*, 1-24.
- Seo, et al. (2023). Trends and Characteristics of Affective Attitudes in Mathematics and Science Over the Past 20 Years Based on TIMSS. Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Seong, T. J. (2017). Suggestions for the human character and education in the era of the fourth industrial revolution. *Korean Journal of Educational Research*, 55, 1-21.
- Singh, M., Azad, I., Qayyoom, M. A., & Khan, T. (2024). A study on perceptions and practices of STEAM-based education with university students. *Social Sciences & Humanities Open*, 10, 101162.
- Swedler, D., Ali, B., Hoffman, R., Leonardo, J., Romano, E., & Miller, T. (2024). Injury and fatality risks for child pedestrians and cyclists on public roads. *Injury Epidemiology*, 11, 15.
- Tang, M., Wijaya, T. T., Li, X., Cao, Y., & Yu, Q. (2025). Exploring the determinants of mathematics teachers' willingness to implement STEAM education using structural equation modeling. *Scientific Reports*, 15, 6304.
- Wu, C.-H., Liu, C.-H., & Huang, Y.-M. (2022). The exploration of continuous learning intention in STEAM education through attitude, motivation, and cognitive load. *International Journal of STEM Education*, 9, 35.
- Yakman, G. (2008). STEAM Education: An Overview of Creating a Model of Integrative Education. PATT-19 Conference, Netherlands.
- Yakman, G., & Kim, J. S. (2007). BADUK to Teach Purposefully Integrated STEM/STEAM Education. 37th Annual Conference International Society for Exploring Teaching and Learning, Atlanta, USA, (Oct. 11-13, 2007).
- Yoon, H. G., Lee, I. S., & Park, J. S. (2021). Pre-service elementary teachers' visual modeling process for reflection of light. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 41(1), 19-32.

Authors Information

Yoon, Se-hwan: Korea National University of Education, Graduate Student, First Author.

<https://orcid.org/0000-0002-8269-9032>

Ryu, Kwang-su: Korea National University of Education, Professor, Corresponding Author.

<https://orcid.org/0000-0003-2952-8741>