

# 창의적 설계 기반의 수업 설계 및 적용

김희목<sup>1</sup> · 지찬수<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>한국과학기술원, 대전광역시 34051

<sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부, 춘천시 24341

## Instructional Design and Application Based on Creative Engineering Design

Hee Mok Kim<sup>1</sup> · Chan Soo Jee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Global Institute for Talented Education, KAIST, Daejeon 34051

<sup>2</sup>Division of Science Education, Kangwon National University, Chuncheon 24341

### 요약

2011년부터 국가 과학교육의 지향점을 창의·융합적 사고를 기반으로 하는 융합인재교육(STEAM)으로 설정하면서부터 다양한 STEAM기반의 교수학습 모형과 프로그램들이 개발되고 현장에 적용되기 시작하였다. 그러나 STEAM 교육자료 개발 및 활용이 이루어지고 있음에도 불구하고 현장의 다양한 교수·학습 자료의 요구, 교사 연수, 교육과정 개선 등이 요구되고 있다. 융합인재교육의 수업은 그 동안의 과학수업에서 현상의 본질을 탐색하거나 가설을 검증하기 위해 중요하게 사용된 탐구(Inquiry)의 방법뿐만 아니라 과제(Task) 혹은 문제(Problem)를 해결하기 위해 해결과정과 방법에 대한 설계(Design)를 요구하고 있다. 이 연구에서는 이 점을 고려하여 탐구와 공학적 설계를 기반으로 하는 중학생을 위한 STEAM 교육 모형의 개발을 시도하였으며, 과학교육 및 융합인재교육의 방법에 대한 새로운 사례를 제시하고자 하였다.

주제어: 창의적 공학 설계, 융합인재교육, ECB 모형

### 서론

최근 과학기술사회는 급변하고 있으며, 예측이 어렵고 복잡한 사회 현안의 대두와 융합기술기반의 혁신이 가속화되고 있다. 이러한 변화에 따라 미래 인재의 핵심역량 또한 과학 지식과 전문성에서 창조성과 융합적 사고로 전환되고 있다(정현철 외, 2014). 미국은 교육개혁의 일환으로 기준 운동

(Standard Movement)을 시작하여 국가적 차원에서 교과와 기준을 설정해 왔다. 최근에는 2013년 과학적 소양을 갖춘 시민의 양성을 목표로 차세대 과학기준(Generation Science Standards; NGSS)을 발표한 바 있다. NGSS의 주요 구성 내용으로 '수행기대(Performance Expectation)' 및 '과학과 공학의 실천(Science and Engineering Practices)', '핵심 개념(Disciplinary Core Ideas; DCIs)', '학문 간 교차개념(Cross Cutting Concepts)'의 3가지 차원을 중심으로 과학교육 틀(A Framework for K12 Science Education)을 제시하였다(이윤하 외, 2014).

우리나라 과학교육 현장에서도 창의성과 문제해결력을 지

\* 교신저자 이메일 주소: csjee@kangwon.ac.kr

▶접수: 2019. 07. 22. / 수정: 2019. 08. 27. / 통과: 2019. 08. 29.

향하는 교육이 주목받기 시작했으며, 창의적 문제해결(Creative Problem Solving; CPS) 모형, 문제기반학습(Problem Based Learning; PBL) 모형 등의 다양한 교수학습모형이 시도되었다. 또한 2011년부터 국가 과학교육의 지향점을 창의·융합적 사고를 기반으로 하는 융합인재교육으로 설정하면서부터 다양한 STEAM기반의 교수학습모형과 프로그램들이 개발되고 현장에 적용되기 시작하였다(이효녕, 2013).

융합인재교육에서는 여러 학문의 지식들이 자연스럽게 융합된 실생활의 문제들에 대한 해결력을 학습자가 기를 수 있도록 하는 것을 목적으로 하고 있으며, 이러한 목적을 달성하기 위하여 융합인재교육의 수업과정에 포함되어야 할 학습 준거들로서 상황제시, 창의적 설계, 감성적 체험을 제시하고 있다(백운수 외, 2011). 상황제시 및 감성적 체험은 학습자가 선택하기 보다는 제공된 상황을 인식하고 내면화하는 과정으로 볼 수 있으나, 창의적 설계는 상황제시 및 감성적 체험에 비하여 학습자가 능동적으로 주어진 상황에 대해 구체적으로 고민하고 해결해 나가야 하는 상황으로 볼 수 있다. 따라서 수업의 단계에서 창의적 설계는 학생이 스스로 문제를 해결하는 방법을 찾아가는 단계에 해당되며, 보다 세부적으로 학습자의 사고과정(Thinking Process) 및 생각을 외부로 표출하여 효과적으로 문제를 해결하기 위한 방법을 설계하는데 목적이 있다고 할 수 있다.

그러나 교사들은 창의적 설계를 위한 수업 계획과 실천을 어렵게 느끼고 있으며(박상우 외, 2016; Bamberger & Cahill, 2013), 설계의 순환성과 제한조건의 제시, 수학적 사고의 적용 등 공학적 성격의 설계 특징이 수업 계획과 실천에서 잘 이루어지지 않고 있다(김지숙, 2013; Kelley et al., 2010; Sidawi, 2009). 또한 설계 과정에서 제작 활동은 목적 없이 이루어져 교사들은 STEAM 수업에 대해 부정적 인식을 갖고 있는 것을 알 수 있다(정광순, 2015). 또한 STEAM 수업을 위한 교수설계 이론의 제시가 미비하다고 하였다(김민정 외, 2014). STEAM 교육 연구의 주된 내용은 프로그램 개발로 STEAM 교육의 차별화된 교수설계를 위한 이론적 제시는 부족한 상황이며(곽혜정과 류희수, 2016), 프로그램 개발 절차와 수업 모형, STEAM 수업의 준거에 따른 체크리스트가 제공되고는 있으나 이러한 교수설계 안내는 교사의 수업 실천을 구체적인 수준에서 제시하지 못하고 있다(심재호 외,

2015; 이광원, 2016). 따라서 융합인재교육이 실시되는 수업 현장의 어려움을 해소하고 그 실효성을 높이기 위해서는 교육현장에 적합하며 구체적인 융합인재교육의 모형과 수업 전략이 제시되어야 할 필요가 있다. 특히 과학탐구 중심의 융합인재교육이 이루어지는 학습상황에서, 학습자가 주어진 상황에 대한 문제를 구체적 기술하고 해결해 나가야 하는 창의적 설계 단계를 지도할 수 있는 교사를 위한 수업전략과 학생을 위한 활동절차에 대한 안내가 필요하다.

과학탐구 중심의 융합인재교육에서 창의적 설계 기반의 수업을 위한 모형을 개발하기 위해서는 창의적 설계에 대한 의미를 재정의할 필요가 있다. 설계에 대한 사전적 정의를 살펴보면, 계획을 세우는 것 또는 계획 자체를 의미한다. 또한, 그 목적에 따라 실제적인 계획을 세워 도면 따위로 명시하는 것도 설계라고 하고 있다. 박기용(2007)는 설계란 인공물의 현존 상태를 더 나은 상태로 변화시키거나 존재하지 않는 인공물을 새롭게 고안하는 목적 지향적인 행위라고 정의하며, 발견·분석 등 과학적 행위와는 구분되는 발명·혁신 행위라고 정의하였다. Eggert(2005)는 설계란 고객이 요구하는 기능을 갖춘 제품의 형태를 결정해 가는 일련의 의사결정 과정이자 활동이라고 정의하며 기능을 형태로 만들어 내는 과정을 설계라고 하였다. 또한 설계과정을 문제 형성, 대안 생성, 대안 분석, 대안 평가의 네 단계로 정의하였다.

Lumsdaine et al.(1999)는 공학에서의 설계는 어떤 기기, 제품, 장비, 프로그램, 시스템, 구조, 공정 및 건설 등의 문제를 팀 또는 개인이 해결하기 위하여 생각하는 모든 아이디어를 공학 설계라고 정의하였다. 또한 설계의 질은 설계를 평가하고 결함에 대한 수정과 보완하는 작업을 거치기 때문에 의사소통이 원활히 이루어져야 설계의 질이 높아질 수 있다고 하였다. 이진상과 김강(2012)은 공학 분야에서 문제를 해결하기 위해서는 창의성이 필요하며, 문제의 해결이란 공학적 시스템의 개발, 설계, 제작 및 사용을 의미한다고 하였다. 창의성은 의미 있는 공학적 시스템을 개발하는 것에서 시작되며, 체계적인 공학 설계 위에 창의성이 결합되어 창의적 공학 설계가 수립된다고 하였다. 따라서 창의적 공학 설계의 핵심은 체계적 공학 설계와 창의적 사고를 어떤 방식으로 접목시키느냐 하는 것이며, 공학 설계의 모든 단계에서 창의적인 사고와 판단이 이루어져야 올바른 창의적 공학 설계가 될 수 있다고

하였다.

선행연구 결과들을 종합하면 융합인재교육에서의 설계는 학습자가 STEAM 수업상황에서 수업의 목표를 달성하기 위하여, 특정 기능을 갖춘 산출물의 형태를 결정하기 위한 의사 결정 과정 또는 활동으로 재정의할 수 있다.

창의적으로 문제를 해결하기 위해서는 먼저 문제에 대한 개념을 정확하게 이해할 필요가 있다. 창의적 문제해결의 특징과 관련하여 Jonassen(1997)은 문제를 잘 구조화된 문제(Well-structured Problem)와 비구조화된 문제(Ill-structured Problem)로 구분한 바 있다. 잘 구조화된 문제는 전형적으로 문제의 해결책과 그 해결 방법이 분명한 문제로 학교 교육에서 다루는 문제해결 학습은 대부분 잘 구조화된 문제를 중심으로 이루어지고 있다. 반면에 비구조화된 문제란 우리가 일상생활에서 끊임없이 부딪치는 문제로 분명하지 않고 그 해결책 또한 다양한 문제를 의미한다. 이와 같이 현실의 삶에서 해결해야 하는 문제는 대부분이 비구조화된 문제이며, 이러한 문제를 해결하는 데는 학교 교육은 큰 도움이 되지 못한다는 비판이 있다(Jonassen, 1997; Smith & Ragan, 2005). 공학적 설계 기반의 프로젝트는 비구조화된 문제가 제시되어야 할 필요가 있으며, 이러한 문제의 구조 정도와 맥락은 학습자의 창의적 설계 활동의 과정과 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 융합인재교육의 창의적 설계 문제는 비구조화된 설계 문제로 제시될 필요가 있으며 “핵심 개념과 원리를 중심으로 한 통합된 융합인재교육의 구성”, “실생활과 관련된 해결이 가능한 비구조화된 문제 제시”, “설계과정에서의 제약 조건이 포함”, “맥락이 풍부한 문제 설계”, “개인적 또는 사회적 가치”, “학생들의 감수성 자극”의 요소들이 고려되어야 한다(최소영, 2017).

미래의 복합적인 문제해결에서 필요한 창의성과 문제해결력을 키우기 위해서는 융합인재교육은 더욱 중시될 수 있다(백윤수 외, 2011). 그러나 STEAM 교육자료 개발 및 활용이 이루어지고 있음에도 불구하고, 현장의 다양한 교수-학습 자료의 요구, 교사 연수, 교육과정 개선 등이 요구되고 있다. 특히, 기존의 과학수업과 달리 융합인재교육에서 새롭게 요구하는 수업의 틀과 방법은 현장 교사들에게 과제로 남게 된다. 융합인재교육의 수업의 가장 큰 특징은 그 동안의 과학수업에서 현상의 본질을 탐색하거나 가설을 검증하기 위해 중요

하게 사용된 탐구(Inquiry)의 방법뿐만 아니라 과제(Task) 혹은 문제(Problem)를 해결하기 위해 해결과정과 방법에 대한 설계(Design)를 요구하고 있다. 문제해결과정과 방법에 대하여 과학교사에게 융합인재교육은 수업의 개발과 적용의 과정에서 익숙하지 않은 영역일 수 있으며, 자칫 형식적인 절차로서 수행될 우려가 있다. 이 점을 고려하여 이 연구에서는 탐구와 공학적 설계를 기반으로 하는 중학생을 위한 STEAM 교육 모형의 개발을 시도하였고, 과학교육 및 융합인재교육의 방법에 대한 새로운 사례를 제시하였으며, 개발한 프로그램을 실제 중학교 수업에 적용하여 수업 만족도를 분석하고자 한다.

이 연구의 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 공학적 관점을 활용한 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램은 어떻게 구성되는가?

둘째, 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램 수업에 참여한 학생들의 산출물 도출과정의 양상은 어떠한가?

셋째, 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램 수업에 참여한 학생들의 수업 만족도와 통제집단 학생들의 수업 만족도에는 차이가 있는가?

## 이론적 배경

### 1. 공학적 관점(ECB모델)을 활용한 창의적 설계

일반적인 융합인재교육 수업 상황, 혹은 문제기반학습(PBL)이나 창의적 문제해결(CPS)의 과정에서 학습자는 문제를 해결하기 위한 다양한 방법을 통해 문제를 설계한다. 예를 들면 학생들은 문제를 해결하기 위해 서로 간의 토론과 논의를 통해 직관적으로 아이디어를 내며 아이디어에 대한 평가를 내리고 정교화하는 과정을 거치기도 하며, 문제와 유사한 자신만의 경험이나 사례를 들어 문제를 해결하기 위한 아이디어를 유추하는 과정을 거치기도 한다. 그러나 이러한 과정에서 만들어진 문제해결방법은 지나치게 비효율적이거나 비현실적이며, 변칙적 요소가 가미되거나 때로는 영향을 미치는 변인이 너무 다양하여 결과를 예측하기 어려운 상황이 발생

한다. 또 다른 관점에서 어떠한 교사들은 수업에서 문제해결의 목적을 명료화하고, 문제해결에 사용될 재료와 도구의 용도를 제한하여 제한된 창의성을 통한 최적화된 문제해결방법을 찾으려 요구하기도 한다.

언급한 두 상황에 대해 공학 분야에서는 전자를 직관적 개념 설계 기법으로 정의하고, 후자를 창의적 설계 기법으로 정의하고 있다. 특히 창의적 설계의 접근방법으로 공리적 설계(Axiomatic Design)의 관점에서는 문제를 해결하기 위한 설계들 중에는 좋은 설계와 그렇지 못한 설계가 있으며, 어떤 설계가 좋은지를 판단할 수 있는 일련의 법칙이 존재한다는 가정을 두고 있다. 즉, 설계를 '설계를 통해 이루고자 하는 요구사항(기능요구, Functional Requirement, FR)들과 그것을 이루기 위한 물리적인 요소(설계파라미터, Design Parameter, DP)들 간의 상호작용'이라고 정의하고 있다(홍을표, 2009). 즉, 설계란 기능적 영역과 물리적 영역의 사상과정이며, 좋은 설계란 두 영역간의 사상이 효율적으로 이루어진 설계를 의미하며, 두 영역이 효율적으로 사상되는 설계는 유일하지 않을 수도 있다고 가정한다. 이와 관련하여 서남표(2002)는 두 영역이 효율적으로 사상된 좋은 설계의 기준을 독립공리(Independence Axiom)와 정보공리(Information Axiom)로 제안하였다.

**공리 1: 독립공리 - 기능요구의 독립성을 유지하라.** (Maintain the independence of the functional requirements(FRs)).

**공리 2: 정보공리 - 설계대상의 정보량을 최소화하라.** (Minimize the information content of the design).

독립공리는 설계의 목적을 특성화하는 최소한의 기능요구를 정의하고, 기능요구들 사이의 독립성을 유지해야 한다는 것을 의미하며, 정보공리는 설계과정을 최적화시켜 효율성을 유지해야 한다는 것을 의미한다. 언급한 바와 같이 융합인재교육에서 창의적 설계를 하나의 준거(들)로 제안하고 있지만, 창의적 설계는 문제해결을 위한 다양한 관점을 내포할 수 있으며, 문제의 성격에 따라 공학적 관점에서 설계의 과정은 때때로 가치 있는 문제해결과정의 유용한 도구가 될 수 있다. 교육적 상황을 떠나 일상을 비롯한 연구 및 산업 활동의 상황

에서 창의적 설계는 다양한 형태로 요구되고 있다. 즉 창의적 설계는 자연계에서 일어나는 모든 문제해결의 과정을 기본으로 하며, 복잡한 현상들의 집합으로 구성되어 있다. 즉, 융합인재교육의 상황에서 학생들이 해결해야 할 문제 상황 또한 단순한 규칙들의 집합으로 분해함으로써 창의적 설계를 적용할 수 있다. 창의적 설계 과정에서 요구되는 최적 산출물(FRs)에 대한 독립 공리가 유지되기 위해서는 설계파라미터(DP: Design Parameter)인 물리적 요소들 간의 상호작용이 첫 번째 공리를 만족시켜야 하며, 식(1)과 같이 설계 방정식으로 표현할 수 있다(홍을표, 2009).

$$FR=A DP \text{ ----- (1)}$$

FR(functional requirement): 기능요구 - 설계를 통해 이루고자 하는 요구사항들

DP(Design Parameter): 설계파라미터 - FR을 이루기 위한 물리적 요소들

A: 설계행렬 - 기능요구와 설계파라미터의 관계를 나타내는 설계행렬

여기서 FR은 독립적인 여러 개의 기능요구로 구성된 기능요구 벡터이며, DP는 FR을 만족하도록 정의되는 설계파라미터 벡터, A는 FR과 DP의 관계를 나타내는 설계행렬을 의미한다. 한편, 공학적 관점에서 창의적 공학설계는 2개의 중요 단계를 거쳐 이루어지는데, 개념설계와 제품설계가 그것이다. 개념설계 단계에서는 기능이 첫 번째 고려 대상이다. 제품의 필수요건을 충족시킬 수 있는 잠재적인 여러 가지의 개념들이 창조된다. 일반적으로 개념설계의 폭이 넓을수록 실현 가능한 제품이 탄생될 가능성이 커진다.

전진완(2002)은 개념설계와 제품설계의 과정에서 설계요소들은 고정되어 있지 않으며, 선택(Selection)과 재생산(Reproduction)이라는 반복을 거치면서 진화를 거듭하고 있음을 밝히고 있다. 더불어 가변적이고 다차원적인 블록으로 구성되는 설계요소를 반영한 창의적 설계의 프레임워크로 ECB(Elementary Cell Block)를 제안하였다. ECB는 기계적(Mechanical) 구조를 설계하기 위한 요소로서 진화적 연산 접근법(Evolutionary Computation Approaches)에서 빌딩블록의 역할을 수행한다. 각 요소들은 진화 알고리즘의 개



표 1. ECB의 구성인자와 역할(전진완, 2002에서 수정)

인자	역할
파라미터(Parameter)	실제 대상 부품의 치수와 속성 등의 정보
함수(Function)	ECB가 가지는 각종 기능을 정의
상조인트(Virtual Joint)	대상 부품들이 가지는 고유한 조립법칙을 정의

념을 이용하여 발생을 시작하고 평가와 선택의 과정을 거쳐서 각각의 적합도에 따라 우수한 방법은 선택되고 이들은 재생산 과정을 통해서 좀 더 적합한 해를 만들어 내도록 유도한다. ECB들은 대상이 되는 실제 제품의 모든 정보를 실제로 가지고 있어야 한다. 표 1은 기본 ECB의 구조와 정보들을 나타내며, 파라미터, 함수, 가상 조인트의 3종류의 인자로 구성된다. ECB의 구성인자들을 식(1)에 적용하여 기계적 구조설계를 적용하기 위한 사상과정으로 활용할 수 있다.

문제해결을 위한 새로운 방법을 얻기 위해서는 기능요구와 설계파라미터의 광역적 탐색이 필요하다. 즉, 일반적인 방법의 선택과 재생산 과정으로는 문제해결의 보다 나은 방법을 찾는 데 한계가 존재하기 때문에 좀 더 좋은 문제해결방법을 만들기 위해서는 패러다임 전환의 과정이 필요하다. 생물학적 진화의 관점을 적용하면 새로운 문제해결의 방법으로 구조적 진화(Structural Mutation)와 요소적 진화(Element

Mutation)를 들 수 있다(그림 1).

구조적 진화는 ECB들로 이루어진 설계 대상의 구조가 재구성되는 과정이다. 이로써 새로운 객체가 태어나는 것이다. 요소적 진화는 각각의 ECB들의 속성들이 변화하는 과정이다. 이와 같은 진화의 방법들은 문제를 새로운 관점에서 해결하기 위한 새로운 방법으로 활용이 가능하다. 그림 1의 우측 그림은 두 가지 진화 방법을 설명한다. 구조적 진화에서는 새로운 대상을 설계하기 위하여 새로운 조각들이 기존의 구조에 추가되거나 제거되거나 함으로서 구조가 재조직된다. 요소적 진화에서는 새로운 대상을 설계하기 위해서 일부 조각의 속성이 변화한다. 두 종류의 진화 과정은 수많은 객체들이 매 세대를 형성하며, 진화하는 가운데 발생하며, 이 과정을 학습자가 문제해결의 과정에 적용할 때 창의적인 문제해결을 위한 설계가 가능하다.

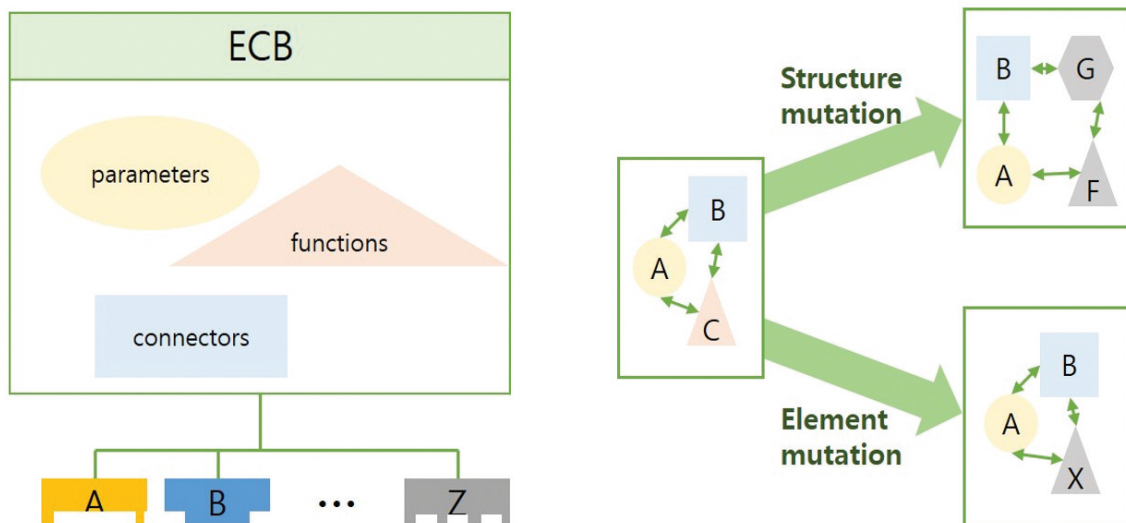


그림 1. ECB의 구조 및 진화(좌: ECB의 구조, 우: 구조적 진화와 요소적 진화)(전진완, 2002에서 수정).

## 연구 방법

### 1. 연구 대상 및 절차

이 연구를 통해 개발된 프로그램을 강원도 원주시 소재 중학교 1학년 2개 학급(A반 30명, B반 30명)을 대상으로 2일 간에 걸쳐 각 1차시씩 수업을 실시하였다. A반은 창의적 공학 설계를 적용하지 않은 STEAM 수업을 진행하였고, B반은 창의적 설계 모형을 적용한 STEAM 수업이 진행되도록 함으로써 새로운 수업방식이 학생들의 과학에 대한 태도 및 만족도에 미치는 영향을 분석하고자 하였다.

이 연구에서는 탐구와 공학적 설계를 기반으로 STEAM 교육 모형을 개발하고, 이 결과를 바탕으로 “창의적 설계 기반의 STEAM Project”교재를 개발하였다(김희목 외, 2016). 개발한 교재는 크게 두 개의 장으로 나뉘며, 첫 번째 장은 융합 인재교육과 창의적 설계의 새로운 관점에 대한 설명으로, 두 번째 장은 창의적 설계를 적용한 STEAM 교육 프로그램들로 구성된다. 프로그램들의 주제는 모두 4가지이며, 각각의 주제는 “아슬아슬 스파게티 탑 쌓기”, “내가 만드는 新弓”, “라아네크의 청진기”, “화학전지 DIY”이다. 각 프로그램은 학생

을 위한 워크북과 교사를 위한 교사용 지도서로 구성되어 있다. 개발한 프로그램들 중에서 중학교 1학년 과학과 교육과정에 가장 적합할 것으로 판단되는 “내가 만드는 新弓”을 선정하여 수업현장에 적용하였다. 현장적용을 위하여, 수업을 담당할 교사를 대상으로 1일간 창의적 설계 기반의 STEAM Project에 대한 오리엔테이션을 실시하였으며, 2일간 학생들을 대상으로 수업을 진행하도록 하였다. 프로그램 개발 및 적용을 위한 연구 절차는 그림 2와 같다.

### 2. 수업 모형 개발 및 적용

이 연구에서는 과학탐구 중심의 STEAM 교육자료를 개발하고, 개발한 교육자료를 학교현장에 적용하여 그 효과를 분석하는 과정으로 진행하였다. 창의적 설계 모형을 적용한 STEAM 프로그램은 2016년 5월부터 12월까지 8개월간 과학영재교육기관 대학의 연구원 및 과학기술특성화대학의 석·박사 과정 연구원, 중학교 및 고등학교 교사 등으로 구성된 교육자료 개발 협의회의 지속적인 회의를 통해 개발하였다. STEAM 교육 프로그램 개발 및 수행 경험이 있는 과학교육 및 영재교육전문가 3인이 중학생 수준에 적합한 STEAM 교

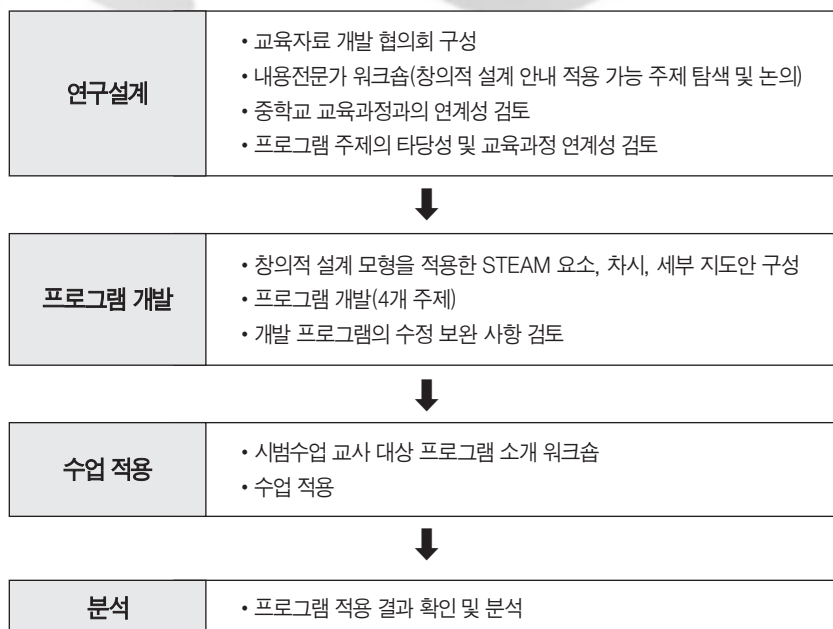


그림 2. 연구 절차.

육 프로그램의 주제를 선정하기 위해 중학교 과학과 교육과정 분석 및 STEAM 관련 국내외 선행연구 사례들을 분석하였다. 이를 바탕으로 개발할 프로그램의 주제들을 선정하고 이 공계특성화대학 석·박사 과정생으로 구성된 교과내용 전문가 4인이 창의적 설계를 적용한 수업모형을 개발할 수 있는 주제인지를 검토하도록 하였다. 프로그램의 개발 과정에서 현직 교사와 과학교육 및 영재교육 전문가, 내용 전문가로 구성된 협의회를 통해 프로그램 주제의 타당성, 교육과정과의 연계성, 차시 구성, 창의적 설계 기반의 STEAM 프로젝트 구현 가능성 등 전반에 관련된 사항을 논의하였다. 프로그램 개발 후 최종적으로 협의회에서 프로그램의 개선사항을 수정 보완하였으며, 이후 수업을 진행할 교사의 검토를 바탕으로 프로그램을 일부 수정하였다.

이 연구에서는 “내가 만드는 新弓”을 과학탐구 중심의 STEAM 수업으로 진행하였으며, 창의적 설계 모형을 적용한 학급의 학생들에게는 창의적 설계에 대한 개념과 예시를 설명하였고, 통제집단 학급의 학생들에게는 창의적 설계에 대한 개념과 예시를 설명하지 않았다. 수업은 2~4명의 학생들을 한 개의 팀으로 구성하여 팀 프로젝트의 형식으로 수업을 진행하였다. 수업을 담당할 교사는 10년 이상의 교직경력이 있는 과학교사로 선정하였으며, 새로운 수업방식이 수업현장에 잘 적용될 수 있도록 과학교육 전문가 2인이 창의적 설계 모형을 적용한 STEAM 수업에 대해 충분히 숙지하도록 안내하였다.

중학교 1학년 과학과 교육과정에는 힘과 운동 단원을 다룬다. 따라서 학생들의 선행 개념을 고려하여 개발한 4개의 프로그램 중 학생들의 선행 개념과 가장 밀접한 “내가 만드는 新弓”을 학교 수업에 적용하였다. 또한 “내가 만드는 新弓” 프로그램은 개발된 프로그램들 중에서 창의적 설계 개념을 적용하여 교사가 수월하게 설명할 수 있고, 학생들의 명확한 산출물을 확인할 수 있는 장점이 있다. “내가 만드는 新弓” 프로그램에서는 오랜 기간 여러 지역에 걸쳐 사용되어 온 활의 재료적, 구조적 특성을 분석하여 과학적 원리를 익히고, 이를 바탕으로 목적에 맞는 활을 공학적 설계과정을 통해 제작하는 활동을 하도록 하였다. 간단한 도구라도 목적에 맞게 재료와 구조를 선택하는 과정을 체험하며 STEAM 교육을 창의적 공학 설계와 함께 학습하는 것이 목적이다. 이러한 목적에 따라 수업지도안을 부록2와 같이 개발하였다.

차시별 프로그램의 구성은 다음과 같다. 1차시(문제인식)는 활의 형태와 용도를 익히기 위한 과정으로 시대적, 역사적으로 다양한 활의 특징에 대해 재료적, 구조적 특성을 조사해 보도록 하였다. 이 과정을 통해 과학적 원리가 실생활에 쓰이는 어떻게 공학적 설계에 활용되는지 살펴보고, 학생들이 이러한 과정을 친숙하게 느낄 수 있도록 하였다. 2차시(해결방안탐색)는 1차시에서 확인한 활의 구성 요소들을 간단한 탐구활동을 통하여 확인하는 과정으로 구성하였다. 활 쏘는 과정을 관찰하고 이 과정에서 에너지 전환이 이루어짐을 확인하고, 멀리 날아가는 활을 쏘기 위해 탄성력과 운동에너지가 커야 함을 체득하도록 하였다. 또한 활의 제작 재료에 따라 활의 탄성이 다를 뿐 아니라, 활의 내구성도 변하는 것을 탐구를 통해 확인하도록 하였다. 3차시(문제해결)는 활쏘기에 관련된 요소들을 각각 확인할 수 있도록 미션을 주며, 앞의 2개의 미션은 정량적 확인이 가능하도록 제시하고, 마지막 미션은 활이 물체에 가할 수 있는 ‘파괴력’을 확인하는 방법을 스스로 고민하며 해결하도록 하였다. 미션 1은 활의 내구성, 미션 2는 적은 힘을 가하고도 멀리까지 화살을 보낼 수 있는 탄성을 고려하여 재료와 구조를 선택하도록 구성하였다. 주어진 미션에 적합하도록 공학적 설계를 변형시키며 익히는 시간으로 미션에 따라 활의 재질과 재료를 달리하며 요소적 진화를 체험할 수 있도록 하였다. 4차시(평가 및 환류)에서는 활쏘기 대회를 진행하며, 스스로 만든 활이 의도에 맞게 제작되었는지 확인하고, 경쟁심과 성취감을 느낄 수 있도록 하였다. 이 과정이 끝나면 설계를 수정, 보완하는 시간을 주어 다시 창의적 공학 설계를 경험하도록 하고, 활동을 통해 공학적 설계가 사용자의 특성에 따라서도 달라져야 함을 생각하는 기회를 주어 결국 공학이 사람의 편리를 위한 활동임을 알도록 하였다. 최종적으로 창의적 공학 설계의 과정을 정리하며 新弓제작의 주제를 마무리할 수 있도록 하였다. 이 연구에서 수업현장에 적용한 “내가 만드는 新弓” 프로그램은 STEAM 교육의 준거인 ‘상황제시-창의적 설계-감성적 체험’을 충실히 반영하고 있으며, 각 차시에는 학생들이 창의적 설계 기반의 학습활동을 통해 ‘설계 대상의 문제 정의-설계 대상의 모델링-설계 대상의 진화 및 평가’를 수업에 주어진 문제를 요소적 진화와 구조적 진화를 통해 해결할 수 있도록 학습활동을 제시하였다. 개발된 STEAM 프로그램은 학생용 활동지와 교사용 지도서 두 가지 형식으로 개발되었으며, 교사용 지도서에는

표 2. 활동 보고서 구성

구분	내용
과제 수행 목표	활에 대한 과학적 원리에 대한 이해를 바탕으로 공학적 설계 방법을 체험하고, 활을 제작할 수 있다. 활을 설계·제작한 후 대회에 참가하여 자신이 만든 활을 이용하여 화살을 쏘는 과정을 통해 창의성과 도전정신을 기를 수 있다.
활의 목표 성능	학생이 설계하고 제작할 활의 목표 성능을 기술
재료 특성	활을 제작할 때 학생이 사용한 재료의 특성을 기술
활의 구성인자(ECB)	설계한 활의 재료적, 구조적 측면에서의 특성을 기술, 설계도 스케치
개선한 활의 재료 특성	개선한 활을 제작할 때 학생이 사용한 재료의 특성을 기술
개선한 활의 구성인자(ECB) 및 목표 성능	개선한 활의 재료적, 구조적 측면에서의 특성을 기술, 설계도 스케치 활의 목적(튼튼한 활, 효율이 좋은 활, 정확도가 높은 활, 파괴력이 높은 활)을 재료적, 구조적 측면에서 기술
평가	학생이 제작한 활을 다른 학생들의 활과 재료적, 구조적 측면에서 공통점과 차이점을 비교 기술
정리	학생이 전문가(공학자)가 되었을 때 활을 어떻게 만드지에 대한 계획 기술

주제개요, 학습목표, 창의적 설계 방안, STEAM 단계 요소, 수업지도 방안, 차시별 계획표, 평가 계획, 활동지 작성 예시, 자료에 사용된 삽화 출처가 포함되어 있다.

### 3. 결과 분석

창의적 공학 설계에 대한 학생들의 인식 변화를 알아보기 위하여 STEAM 수업을 통하여 학생들이 만든 활과 작성한 활동지에 대한 분석을 실시하였다. 학생 산출물 평가하고 분

석하기 위하여 이경학(2011)이 과학 수행형 과학적 창의성 평가 도구(TATSC) 개발과 과학 영재교육대상자 선발에 적용 방안 연구에서 제안한 학생용 보고서를 “창의적 설계 기반의 STEAM Project: 내가 만드는 新弓”에 적합하도록 수정하여 이를 수업에 사용하였다(표 2).

학생들이 제출한 보고서를 바탕으로 과학교육 및 영재교육 전문가 3인이 창의적 설계 기반의 수업이 학생들의 탐구활동 수행에 있어서 필요한 목적물을 설계하고, 제작하는 데 도움이 되었는지를 분석하였다. 특히 활동지에 학생들이 기술

표 3. 수업 만족도 설문 문항의 내용 및 구성

요인	문항 수	평가항목	내용
내용	6	수업 주제의 흥미	수업에 제시된 주제가 흥미 있었다.
		동기 유발의 적절성	생활에서 썼던 도구의 원리를 알아가며 공부하는 것이 흥미 있었다.
		STEAM교육 내용의 만족성	과학수업이지만 다른 과목 내용과 연관성이 있어 좋았다.
		수업 내용의 이해도	배운 내용으로 작품을 만들어보는 것이 “활의 원리”를 이해하는 데 도움이 되었다.
		실생활과 근접성	이번 수업으로 활의 원리를 생활에 활용할 수 있게 되었다.
		수업 자료의 적절성	활에 대한 이해를 도울 수 있는 수업자료의 종류와 내용이 적절하였다.
방법	3	실험, 실습 수업방법에 흥미	실험이나 실습중심 수업방법이 재미있고 이해가 쉬웠다.
		STEAM교육방법의 독창성	다른 과목의 수업과 방법과 차이가 있었다.
		STEAM교육방법의 선호도	나는 이런 수업 방법을 계속 받고 싶다.
평가	1	평가에 대한 Feedback	활동지가 수업활동을 정리하거나 안내해주는 데 많은 도움이 되었다.



한 창의적 설계 부분에 해당하는 “활의 초기 설계 시 설계 안의 구조적 특징”의 재료적 측면, 구조적 측면을 얼마만큼 많이 상세히 기술하였는지와 그 외 학생들의 설계안에 대한 설명의 구체성 등을 분석하였다. 분석과정에는 영재교육 전문가 2인 및 연구자 1인이 참여하였다.

이 연구에서는 프로그램 참여 학생에 대한 STEAM 수업 만족도를 조사하였다. 학생 만족도 조사를 위하여 초등학교 5학년 ‘전기회로’ 단원의 STEAM교육이 과학에 대한 태도 및 만족도에 미치는 영향 연구(황광석, 2013)의 설문지 일부 수정하였고, 영재교육 전문가 2인 및 연구자 1인이 만족도 검사지의 수업 적용을 위한 타당성을 검토하였다. 만족도 검사지는 수업의 내용, 방법, 평가요인을 구분되며 모두 10문항으로 구성하였다. 설문지는 크게 STEAM 수업의 내용, 방법, 평가에 대한 학생의 만족도를 묻는 문항을 묻는 문항으로 구성되어 있다. 응답 형식은 Likert 5점 척도를 사용하였으며 영역별 설문 문항의 구성은 다음과 같다(표 3).

## 연구 결과

### 1. 창의적 설계 기반 학습활동의 재구성

창의적 설계 기반의 STEAM Project 프로그램(김희목 외, 2016)을 공학적 관점(ECB모델)을 활용한 창의적 설계 이론에 반영하여 학습 프로그램을 재구성하면 다음과 같다. 창

의적 설계를 통해 ‘내가 만드는 新弓’수업을 재설계하는 과정의 전체적인 개략도는 그림 3과 같다. 학생들은 프로젝트 수행에 앞서 효과적인 설계활동을 위해 초기조건과 달성조건을 설정하게 된다. 이는 이후의 수업활동의 과정에서 제작 대상인 활이 보여주는 성능이 활 설계 시의 요소 및 구조와 어떠한 관계를 갖는지를 분석하고 예측하기 위해 필수적인 과정이라고 할 수 있다. 즉, 활의 최대 응력을 60 Mpa로 제한하고, 제한된 조건에서 화살이 직선거리로 20 m 이상 날아갈 수 있도록 달성조건이 설정되고, 이를 활의 모양과 주어진 재료들 그리고 이를 구성하는 재료들의 속성들이 결정될 필요가 있다. 이러한 초기조건과 구성 요소들을 ECB로 모델링하면, 각 대상 부품들의 ECB와 ECB가 가지는 속성들을 정의할 수 있다.

학생들은 설계요소를 부품의 속성과 설계의 자율성에 따라 다양하게 세분화하거나 확장할 수 있다. 만약 설계요소를 활대와 활시위로 구분한다면, 첫 번째로 설계대상 부품의 치수와 속성에 대해 활의 전체 길이, 활대의 길이, 두께, 넓이, 무게 등을 비롯하여, 활시위의 두께, 재질 등을 파라미터로 제시할 수 있다. 두 번째로 부품의 각종 기능을 튼튼한 활, 효율이 좋은 활, 정확도가 높은 활, 파괴력이 높은 활 중 어떤 활을 만들지에 따른 요인 결정 등의 함수로 제시할 수 있다. 마지막으로 대상 부품들 간의 가상조인트를 활대와 활대 간의 결합 법칙 활대와 활시위 간의 조합 법칙 등으로 가능한 다양한 설계안을 구성할 수 있다(표 4).

이 과정을 통해 학생들 혹은 프로젝트 팀들은 각자의 최적

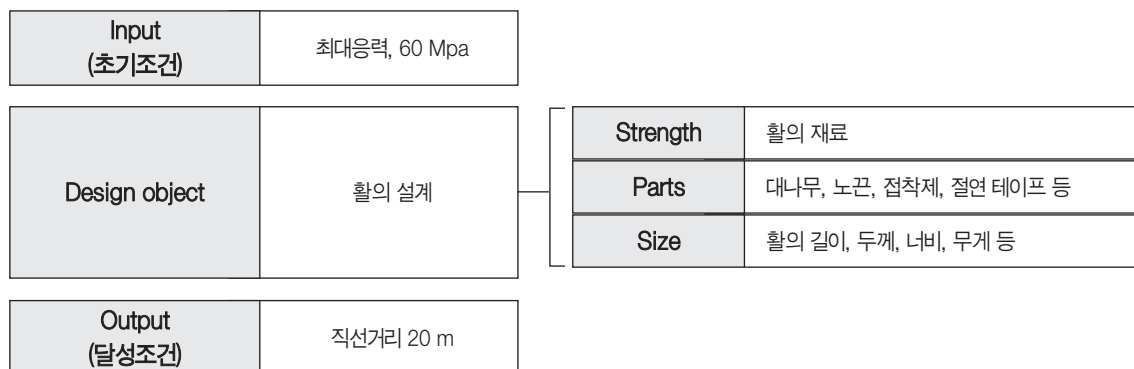


그림 3. ECB모델을 활용한 창의적 설계 기반 학습활동의 재구성.

표 4. 활 설계 요소의 ECB 모델링

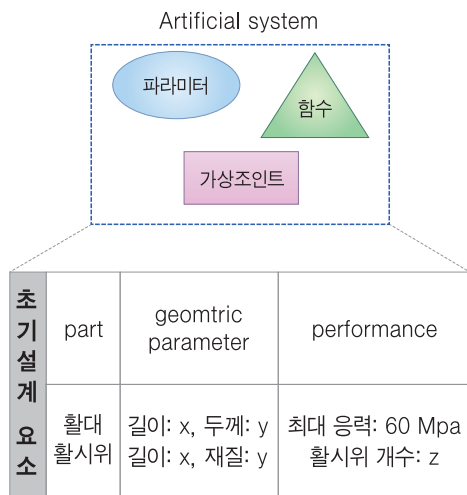
인자	요소1 (활대)	요소2 (활시위)
파라미터 (Parameter)	활의 전체 길이 활시위의 재질, 길이, 두께	활대의 재질, 길이, 두께, 넓이, 무게 기타 등등 활시위의 수, 기타 등등
함수 (Function)	파괴 응력계수 결정 탄성계수 결정 탄성 계수가 높지 않은 활(진동이 적은) 결정 무게 결정, 기타 등등	파괴 응력계수 결정 탄성계수 결정 탄성 계수가 높지 않은 활(진동이 적은) 결정, 기타 등등
가상조인트 (Virtual Joint)	활대와 활대의 결합 활대와 활시위의 결합	활시위와 활대 간의 조합 활시위의 활시위 간의 조합

안이라고 결정한 설계안을 구체화할 것이다. 그러나 실제적 설계의 과정에서 이들은 이론적 모델과 실제적 산출물(혹은 기능, 성능) 간의 괴리로 인한 갈등을 겪게 되며, 이러한 갈등은 ECB 재설계의 과정에서 구조적, 요소적 진화를 요구하게 된다. 그림 4는 활을 구성하는 요소의 ECB와 실제적 모델과의 간극을 보여주고 있다.

즉, 최적의 안이라고 결정한 모델이 결과적으로 주어진 목표를 달성하기에 적합하지 않거나 혹은 구체화 과정에서 보다 개선되거나 혁신적인 변화가 요구되는 상황이 발생할 경우, 이들은 구조적 진화(Structural Mutation)와 요소적 진화

(Element Mutation)의 과정을 통해 보다 정교하고 최적화되어 문제를 해결하기 위한 적합한 모델로 수정하게 된다. 지금까지의 과정을 통해서 만들어진 설계안과 산출물 들은 평가를 통해 선택된다. 달성목표에 따라 평가의 방법은 다양할 수 있으나 일반적으로 각각의 적합도 함수에 따른 순위를 기반으로 평가를 수행할 수 있다. 예를 들면 다음의 2가지 방법으로 순위를 결정하고 평가할 수 있다.

- ① 구조적 진화, 요소적 진화에 해당하는 각각의 항목들에 모든 순위를 더해서 하나의 값으로 순위 매김을 하는 방법



재 설계 요소	요소적 진화	part	geomtric parameter	performance
	구조적 진화	무게추	크기: x, 재질: y	활의 토크: k
	활대	길이: x, 두께: y	최대 응력: 60 Mpa	
	활시위	길이: x, 재질: y	활시위 개수: z	

그림 4. 이론적 ECB와 실제적 설계 대상 간의 관계.

$$G(c) = G(c)_{STRUCTURAL} + G(c)_{ELEMENT}$$

- ② Pareto Ranking법으로 순위 매김 시 구조적 진화와 요소적 진화에 해당하는 항목들의 우수한 객체들만을 뽑아서 평가하고 우수하지 못한 객체들은 순위 매김 시 평가 대상에서 미리 없애버리는 방법

## 2. 수업 적용 및 분석 결과

### 가. 산출물 도출 과정 분석

개발한 프로그램의 수업은 실험집단과 통제집단의 학생들을 대상으로 모두 2차시에 걸쳐 진행하였다. 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램 수업을 적용한 실험집단을 대상으로 창의적 설계에 대한 설명과 보고서 양식이 제공되었다. 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램 수업에 참여한 학생들의 산출물 도출과정의 양상이 어떠한지를 확인하기 위하여 팀별로 제출된 학생의 활동지를 구성 내용의 순서에 따라 분석하였다. 교사가 수업에 앞서 제시한 “과제 수행 목표”, “활의 목표

성능”부분은 분석 대상에서 제외하고, 활을 제작할 때 학생이 사용한 재료의 특성을 기술하도록 한 “재료 특성”영역과 설계한 활의 재료적, 구조적 측면에서 특성과 설계도를 스케치하도록 한 “활의 구성인자(ECB)”영역에 대한 학생의 기술 결과를 분석하였다.

첫째, 활을 제작할 때 학생들이 사용한 재료의 특성을 기술하는 “재료 특성” 영역에서 대부분의 학생들은 재료 입력란에 이 수업에서 제공한 준비물을 기록하였고, 여섯 팀 중 두 팀은 활의 길이를 보고서에 기입하지 않았다. 활의 목표 성능인 투과력이 좋은 활을 만들기 위한 목표를 달성하기 위해서는 ECB를 고려하여 활의 제작에 필요한 재료의 수량과 각 재료의 속성 그리고 재료간의 조합이 고려되어야 하나, 이 결과에 따르면 학생들은 설계에 대한 이해가 부족한 것으로 보인다. 이러한 결과는 학생들의 창의적 설계에 대한 이해를 돕기 위한 설명과 창의적 설계에 대한 이해를 돕기 위한 공학적 관점에서의 개념설계 실습이 부족했기 때문인 것으로 판단된다.

둘째, 활의 구성인자(ECB) 기술 항목에 대하여 실험집단 학생들은 파라미터(활대 및 활시위의 치수와 강도, 활대들을

재료적 측면	구조적 측면
	<p>대박 2개를 이런식으로 이어붙임.</p> <p>그리고 테이프를 강하게 감.</p> <p>노끈 연결.</p> <p>★ 활을 굽히도록 노끈을 묶음.</p> <p>안쪽리미트 → 테이프를 감음.</p> <p>끝!</p>

그림 5. 창의적 설계 기반의 STEAM Project 수업을 적용한 학급의 구성인자 기술사례 1.

재료적 측면	구조적 측면	기타
나무블럭 2개 (가장자리에) 줄 1개	가장자리에 각각 1개씩 나무블럭 (줄의 탄성을 위해서)	
나무블럭 2개 (중간에), 대나무 2개 접침	파괴력 ↑ 위해 중간에 나무블럭 ↓ 접침	
대나무 2개 이어붙임, 줄 접침	길게 날라가기 위해	

그림 6. 창의적 설계 기반의 STEAM Project 수업을 적용한 학급의 구성인자 기술사례 2.

결합할 접착테이프의 접착력 등), 함수(화살, 활대, 활시위, 접착제의 기능), 가상조인트(주어진 재료들의 결합 방법)등을 구체적으로 범주화하고 결합하여 다양한 조합의 산출물 제작을 시도하는 것을 확인할 수 있었다. 학생들은 보고서에 재료적 측면과 구조적 측면을 기술하였으며, 설계도에서 학생들의 아이디어를 구체적으로 표현하려는 시도를 찾아볼 수 있었다(그림 5).

활의 설계 시 고려한 재료적 측면 항목에 대해 학생들은 “나

무블럭 2개(가장자리에), 줄1개, 나무블럭 2개(중간에), 대나무 2개 접침, 대나무 2개 이어붙임, 줄접침”의 내용을 기술한 것을 확인할 수 있었다. 구조적 측면에 대해 기술하도록 요구한 질문에 대하여 학생들은 “가장자리에 각각 1개씩 나무블럭(줄의 탄성을 위해서), 파괴력 향상을 위해 중간에 나무블럭을 넣고 접침, 멀리 날라가기 위해”등의 다양한 설명을 확인할 수 있었다. 구조적 측면을 기술하는 과정에서 실험집단 6개의 팀 중에서 1개의 팀을 제외한 5개 팀의 보고서에서 “탄



구분	실험집단	통제집단
산출물 사례		

그림 7. 창의적 설계 기반의 STEAM Project 수업을 적용한 학급의 산출물 사례.



성, 탄성력, 파괴력, 멀리”등의 용어를 사용하여 구조적 측면에서 본인들이 물리학의 용어를 사용하여 달성하고자 하는 목적을 설명하려는 노력을 확인할 수 있었다(그림 6).

학생들에게 주어진 재료를 이용하여 활을 만드는 가장 간단한 방법은 활대 한 개를 사용하여 활시위 한 줄을 활대의 양쪽 끝단에 묶는 방법이다. 그러나 실험집단 학생들은 활을 설계하고 제작하는 과정에서 제공된 활대나 활 시위를 2개 이상 길게 연결하여 활 및 활시위의 길이를 변경하거나, 활대와 활시위를 두 개 이상 덧대어 그 두께가 두꺼워지도록 활을 설계하고 제작함으로써 활의 설계에서 요소적 진화를 이루어 내는 것을 확인할 수 있었다. 또는 주어진 젠가 블록을 이용하여 화살이 발사될 때 활에 생기는 토크의 영향을 상쇄하기 위하여 무게추(나무 블록)를 활에 달아줌으로써 구조적 진화를 이루어 내는 것을 확인할 수 있었다.

셋째, 실험집단과 통제집단의 학생들은 팀별로 제작한 활을 이용하여 활의 성능을 알아보는 활동을 진행하였다. 학생들이 제작한 활이 일정한 거리에서 어느 정도의 종이 투과도가 있는지에 대한 평가를 위한 활동을 진행하였다. A4 종이를 15장에서 시작하여 그 양을 점차 늘려가며 누가 만든 활이 가장 투과력이 좋은지를 순위를 매기는 활동을 진행하여, 학생들이 제작한 활에 대한 성취감을 느낄 수 있도록 하였다.

한편 화살의 종이 투과도는 활의 성능과 관계가 있겠으나, 당겨진 활시위의 거리, 화살이 얼마나 정확히 직선으로 나아가는지의 정도, 학생이 본질적으로 갖고 있는 체격적 조건 등의 다양한 변수들로 인하여 종이 투과도에 따른 활의 성능을 평가할 수는 없었다. 이 프로그램에서 학생들이 제작한 활은 그림 7과 같다.

창의적 설계 기반의 STEAM 수업에서 학생들은 활의 기능과 목적을 이해하고, 주어진 사물을 이용하여 원하는 목적물을 제작하는데 도움을 줄 수 있는 것으로 보인다. 기능적 영역과 물리적 영역의 사상과정에 대한 가이드 역할을 하는 창의적 설계 기반의 수업은 학생들이 탐구활동을 수행하는 과정에서 필요한 목적물을 고안하거나 제작할 때 유용한 수단으로의 활용 가능성을 확인하였다.

## 나. 만족도 분석

창의적 설계 기반의 STEAM Project를 통한 수업에 참여한 학생들의 수업 참여 만족도 조사 결과는 표 5와 같다. 내용, 방법, 평가의 각 영역별 만족도는 이론적 평균(3.0)보다 높은 만족도를 나타냈다. 또한 모든 질문 내용에 대하여 창의적

표 5. 수업 만족도

영역	내용	실험집단 (n=30)		통제집단 (n=30)		전체 (n=60)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차
내용	수업에 제시된 주제가 흥미 있었다.	4.55	0.63	4.35	0.69	4.45	0.66
	생활에서 썼던 도구의 원리를 알아가며 공부하는 것이 흥미 있었다.	4.31	0.66	4.08	0.80	4.20	0.73
	과학수업이지만 다른 과목 내용과 연관성이 있어 좋았다.	4.28	0.84	4.08	0.80	4.18	0.82
	배운 내용으로 작품을 만들어 보는 것이 “활의 원리”를 이해하는 데 도움이 많이 되었다.	4.48	0.57	4.15	0.67	4.33	0.64
	이번 수업으로 활의 원리를 생활에 활용할 수 있게 되었다.	4.38	0.78	4.00	0.80	4.20	0.80
	활에 대한 이해를 도울 수 있는 수업자료의 종류와 내용이 적절하였다.	4.34	0.77	4.12	0.71	4.24	0.74
방법	실험이나 실습중심 수업방법이 재미있고 이해가 쉬웠다.	4.66	0.48	4.35	0.69	4.51	0.60
	다른 과목의 수업과 방법과 차이가 있었다.	4.38	0.78	3.96	0.87	4.18	0.84
	나는 이런 방법으로 계속 수업받고 싶다.	4.76	0.51	4.23	0.76	4.51	0.69
평가	활동지가 수업활동을 정리하거나 안내해주는 데 많은 도움이 되었다.	4.45	0.63	4.04	0.87	4.25	0.78

설계 기반의 STEAM Project를 적용한 집단에서 높은 만족도를 나타냈다.

수업 내용 영역의 하위 영역을 살펴보면, ‘수업에 제시된 주제가 흥미 있었다’ 문항에 대하여 통제집단이 4.35, 실험집단이 4.55로 높은 점수를 보였고, 수업 방법 영역의 하위 영역에서는 ‘실험이나 실습중심 수업방법이 재미있고 이해가 쉬웠다’ 문항에 대하여 통제집단이 4.51, 실험집단이 4.66의 만족도를 보였다. 또한 실험집단의 학생들은 ‘나는 이런 방법으로 계속 수업받고 싶다’는 의견에 대해 매우 높은 점수(4.76)를 보였다. 이는 STEAM을 통한 교육이 학습자의 과학에 대한 흥미와 관심에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 연구 결과들과도 일치하는 것으로 판단된다(이효녕, 2013).

## 결론 및 제언

이 연구의 목적은 변화하는 미래사회의 요구에 부합하는 융합인재교육을 목적으로 하는 창의적 설계 기반의 수업 설계 및 적용이다. 이를 위하여 이 연구에서는 창의적 설계 기반의 STEAM Project 교육프로그램 개발을 위해 문헌연구를 비롯한 교육프로그램 개발 협의회, 전문가 협의회 등의 다양한 과정을 거쳤다. 또한 개발한 교육프로그램의 효과를 알아보기 위하여, 학교현장에 적용하였고, 수업에 대한 만족도를 확인하였다.

첫째, 공학적 관점을 활용한 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램은 다음과 같다. 문제인식 단계에서는 학생들이 프로그램의 주제와 관련하여 재료적 구조적 특징과 더불어 역사적으로 다양한 사례에 대해 알아볼 수 있도록 구성하였다. 해결방안탐색 단계에서는 문제인식 단계에서 확인한 목적물의 구성요소들을 간단한 탐구활동을 통하여 확인하는 과정으로 구성하였다. 이 단계에서는 학생들이 기대하는 산출물 성능이 목적물의 설계 과정에서 각 요소 및 구조의 관계에 대해 분석하고 예측할 수 있도록 초기조건과 달성조건을 설정하도록 하였다. 이러한 학습활동의 구성은 학생들이 제한된 조건과 재료들을 선택하여 최적 산출물을 설계하고 제작할 수 있도록 돕는 역할을 한다. 그러나, 학생들이 각자 최적이란다고 구체화한 설계안이 이론적 모델과 상이할 수 있으므로, 문제해결 단계에서는 ECB모델의 인자들(파라미터, 함수,

가상조인트)과 요소들을 학생들이 구분하여 기술할 수 있는 활동지를 제공하여 개선된 설계안을 효율적으로 도출할 수 있도록 하였다. 학생들이 산출물의 재료 특성 및 활의 구성인자(ECB)를 기술하는 과정을 통하여 창의적 설계의 개념을 이해하고 적용하는 방법을 숙지할 수 있는 활동 보고서 양식을 제공하였으며, 보고서 양식은 창의적 설계의 개념을 이해할 수 있도록 과제 수행 목표, 목적물의 목표 성능 및 구성인자(ECB) 항목들로 구성하였다. 특히, 학생들이 활의 목표성능을 달성하기 위해 고려해야 할 “목적물의 구성인자(ECB)”들의 기능과 역할에 대해 구체적인 내용을 작성할 수 있도록 보고서를 구성하고 수업에서 설명함으로써 융합인재교육 수업에서 구체적인 문제해결의 과정과 방법을 익힐 수 있도록 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램을 제시하였다. 궁극적으로는 학생들이 요소적 진화와, 구조적 진화 측면에서 어떻게 목적물을 디자인할 수 있을지 고민하도록 하여, 산출물을 도출하는데 필요한 창의적 설계 역량을 키우기 위한 수업을 구성하였다.

둘째, 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램 수업에 참여한 학생들의 산출물 도출과정의 양상은 다음과 같다. 활의 제작 시 실험집단의 학생들이 사용한 재료의 특성을 기술하도록 한 “재료 특성” 영역과 설계한 활의 재료적, 구조적 측면에서 특성과 설계도를 스케치하도록 한 “활의 구성인자(ECB)” 영역에 대한 학생의 활동 보고서를 분석하였다. 보고서에 나타난 “재료 기술” 영역의 결과로부터 공학적 관점에서의 창의적 설계에 대한 이해가 부족한 학생들을 위한 창의적 설계에 대한 이해와 충분한 개념설계 실습의 필요성을 확인할 수 있었다. 한편 구성인자(ECB) 기술 항목에 대하여 실험집단 학생들은 파라미터, 함수, 가상조인트 등을 구체적으로 범주화하고 결합하여 다양한 조합의 산출물 제작을 시도하였으며, 학생들은 활의 설계 과정에서 요소적, 구조적 진화를 이루어 낼 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 활동 보고서에서 학생들은 제작할 활의 재료적 측면과 구조적 측면을 기술하였으며, 설계도에는 학생들의 아이디어를 구체적으로 표현하려는 시도를 찾아볼 수 있었다.

셋째, 창의적 설계 기반의 STEAM 프로그램 수업에 참여한 학생들의 수업 만족도와 통제집단 학생들의 수업 만족도에는 차이는 다음과 같다. 통제집단의 학생들에 비해 실험집단의 학생들은 ‘창의적 설계 기반의 STEAM Project’수업에서 만족

도가 높게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 학생들은 수업에서 제시된 주제에 대하여 흥미로워했으며, 실험이나 실습중심의 수업에 대해 매우 만족하였다. 또한 이러한 수업을 앞으로도 계속되었으면 하는 요구를 보였다. 실생활에 밀접한 프로젝트 형태의 과학수업, 공학적 문제해결 전략이 포함된 과학수업에 대해 학생들은 만족하였다.

이 연구의 결과는 효과적인 STEAM 수업의 개발과 적용을 위해 다음과 같이 활용될 수 있다. 첫째, 창의적 설계 기반의 STEAM 교육프로그램은 일상에서 비구조화된 문제를 해결할 수 있도록 돕는 창의적 설계 기반의 수업모형으로 활용될 수 있다. 둘째, 창의적 설계 기반의 STEAM수업은 학생들의 탐구 활동 수행 과정에서 필요한 목적물을 설계하고, 제작하는 데 도움이 될 수 있다.

반면, 이 연구는 다음과 같은 제한점이 있다. 첫째, 이 연구에서 제안된 수업 사례는 창의적 설계 기반의 STEAM project 수업을 위해 교사와 학생들을 위한 창의적 설계에 대한 개념의 이해와 연습이 선행된 상태에서 이루어진 사례로, 모든 수업 환경에서 일반화하는 것에 한계가 있다. 둘째, 이 연구는 창의적 설계 기반의 융합인재교육 수업 모형의 학습자 효과성 검증에 위해 원주시의 중학교 1학년 학생들을 대상으로 연구를 수행하였기 때문에 다른 지역의 중학생들을 대상으로 적용했을 때 다른 결과를 보일 수 있다.

## ABSTRACT

Since the government set STEAM as intention point of national science education based on creativity and integrated thinking ability, various teaching learning models and programs based on STEAM began to be developed and applied to field. However, teaching materials, teacher trainings and improvement of curriculums are insufficient so far, even though STEAM teaching materials have been developed and utilized. A STEAM class require not only inquiry methods, which are used in science classes until now for investigation of essence of phenomena or verification of hypotheses, but also designs and processes for resolution of task or problem. In this research, we tried to develop STEAM teaching models based on inquiry and engineering design for middle school

students, and propose some new cases about teaching methods of science and STEAM.

**Key words:** Creative Engineering Design, STEAM(Science, Technology Engineering, Art, Mathematics), ECB Structure

## 참고문헌

- 김지숙 (2013) STEAM 관련 통합교육 프로그램의 내용 분석: 초등실과를 중심으로. 실과교육연구 19(2): 71-88.
- 김희목, 김보근, 류춘렬, 김범준, 김찬빈, 노희건, 배민석, 박혜정, 권진영, 김중현, 한미영 (2016) 창의적 설계 기반의 STEAM Project. KAIST 과학영재교육연구원.
- [http://gifted.kaist.ac.kr/bbs/board.php?bo\\_table=dissertation&wr\\_id=89](http://gifted.kaist.ac.kr/bbs/board.php?bo_table=dissertation&wr_id=89).
- 박혜정, 류희수 (2016) 융합인재교육(STEAM) 연구 동향 분석. 과학교육연구지 40(1): 72-89.
- 박기용 (2007) 교수설계 모형과 실천 간의 차이와 원인 분석. 교육공학연구 23(4): 1-30.
- 박상우, 정원우, 박영관 (2016) 과학사와 융합인재교육의 적용 실태와 과학사를 활용한 설계 기반의 융합인재교육 수업에 대한 초등교사들의 인식. 과학교육연구지 40(2): 166-188.
- 백윤수, 박현주, 김영민, 노석구, 박종윤, 이주연, 정진수, 최유현, 한혜숙 (2011) 우리나라 STEAM 교육의 방향. 학습자중심교과교육연구 11(4): 149-171.
- 서남표 (2002) 공리적 설계. 동명사.
- 심재호, 이양락, 김현정 (2015) STEM, STEAM 교육과 우리나라 융합인재교육의 이해와 해결 과제. 한국과학교육학회지 35(4): 709-723.
- 이광원 (2016) 교과 연계를 통한 통합형 STEAM 수업 구성-사회과 모의 선거 활동을 중심으로. 학습자중심교과교육연구 16(6): 113-137.
- 이건상, 김강 (2012) 창의적 공학설계방법론 교육에 관한 연구. 한국공학교육학회지 15(4): 94-100.
- 이경학 (2011) 과학 수행형 과학적 창의성 평가도구(TATSC) 개발과 과학영재교육대상자 선발에 적용 방안. 전남대학교 박사학위논문.
- 이윤하, 윤희정, 송주연, 방담이 (2014) 통합개념을 중심으로 한 싱가포르, 캐나다와 미국의 과학교육과정 내용 요소 분석. 한국과학교육학회지 34(1): 21-32.
- 이효녕 (2013) STEM/STEAM 교육의 이해와 적용. 북스힐.
- 전진완 (2002) 창의적 설계를 기반으로 한 기계구조 자동설계 시스템. 국민대학교 석사학위논문.
- 정광순 (2015) 초등학교 STEAM 수업 활성화 방안 논의. 학습자중심

- 교과교육연구 15(2): 99-119.
- 정현철, 류지영, 허남영, 백민정, 이종열, 김미진 (2014) 미래 창조경제에 기여할 과학영재 발굴·육성방안 연구. KAIST 과학영재교육연구원 연구보고서.
- 최소영 (2017) 초등 STEAM 교육의 창의적 설계 활동을 위한 교수설계 원리 개발 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 홍을표 (2009) 공리적 설계와 기능모델을 이용한 개념설계 기법에 관한 연구. 한양대학교 박사학위논문.
- 황광석 (2013) 초등학교 5학년 '전기회로' 단원의 STEAM교육이 과학에 대한 태도 및 만족도에 미치는 영향. 한국교원대학교 석사학위논문.
- Bamberger YM & Cahill CS (2013) Teaching design in middle-school: instructors' concerns and scaffolding strategies. Journal of Science Education and Technology 22(2): 171-185.
- Eggert R (2005) Engineering Design. Pearson Prentice Hall.
- Jonassen DH (1997) Introductory design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. Educational Technology Research and Development 45(1): 65-94.
- Kelley TR, Brenner DC & Pieper JT (2010) Two approaches to engineering design observations in sTEM education. Journal of STEM Teacher Education 47(2): 5-40.
- Lumsdaine E, Lumsdaine M & Shelnutt JW (1999) Creative Problem Solving and Engineering Design. McGraw-Hill.
- Sidawi M (2009) Teaching science through designing technology. International Journal of Technology and Design Education 19(3): 269-288.
- Smith PL & Ragan TJ (2005) Instructional Design (3rd ed.). John Wiley & Sons.





## 부록 1. 활동 보고서

## Report

## ‘내가 만드는 신궁(新弓)’ 활동 보고서

원주 OO중학교 1학년 ( )반 성명 ( )

## 1. 과제 수행 목표

목표	활에 대한 과학적 원리에 대한 이해를 바탕으로 공학적 설계 방법을 체험하고, 활을 제작할 수 있다. 활을 설계·제작한 후 대회에 참가하여 자신이 만든 활을 이용하여 화살을 쏘는 과정을 통해 창의성과 도전정신을 기를 수 있다.
----	--

## 2. 활의 목표 성능

Goal 1	( )N의 힘에도 부러지지 않는 활 설계하기
Goal 2	( )m이상 화살이 날아갈 수 있는 활 설계하기

## 3. 활의 초기 설계 시 사용한 재료는 어떤 특징을 지니고 있었나요?

구분	내용
재료	
길이	
두께	
너비	
무게	
( )cm를 당겼을 때 저장되는 탄성에너지	

## 4. 활의 초기 설계 시 설계안의 특징은 무엇이었나요? 해당되는 내용을 아래의 표에 표시(✓)하고, 설계안을 그리고 그림의 각 부위에 대한 설명도 하세요.

재료적 측면	구조적 측면	기타

[그림]

--

5. 활의 기능개선을 위해 활을 다시 설계했을 때에는 어떤 요소(재료, 구조, 성능 등)를 변경 혹은 개선했나요? 그 내용을 간략히 기술해 주세요.

1) 재료의 규격과 수량 면

구분	내용
재료	
길이	
두께	
너비	
무게	
( )cm를 당겼을 때 저장되는 탄성에너지	

2) 구조적인 특징

[그림]

3) 목표 성능 면

목적	재료적 측면	구조적 측면	기타
튼튼한 활			
효율이 좋은 활			
정확도가 높은 활			
파괴력이 높은 활			

- 4) 내가 만든 결과물은 다른 학생들의 활과 비교하여 어떤 차이가 있나요? 설명해 봅시다.

활(또는) 화살의 특징		
구분	공통점	차이점
재료		
길이		
두께		
너비		
무게		
그 밖의 특징		

- 5) 발표내용 정리: 내가 활을 만드는 공학자가 되어, 이번 경험을 바탕으로 다시 활을 설계해야 한다면, 활을 어떤 방법으로 어떻게 만들어야 할지 생각해 보고, 그 계획을 간단히 아래의 표에 작성해 봅시다.

--

표 5. 내가 만드는 新弓 프로그램의 2차시 지도(안)

학습과정	교수·학습 활동	학습자료 및 유의점	교사자료
도입(10분)	<b>SEA</b> 활의 구조 분석을 통해 목적에 맞는 활 만들기 <b>Co</b> 지난 차시에 조사한 활의 구조를 과학적, 기술적으로 분석하고 이를 효과적으로 설계하여 미션을 수행할 수 있는 활 만들기 활동을 안내한다. ① 활의 내구성 ② 적은 힘으로 멀리 화살을 날릴 수 있는 활 <b>tip</b> 지난 차시에 학생들이 작성한 활동지를 바탕으로 활의 요소와 기능을 연관짓도록 안내한다.	학생활동지	지난차시 학생활동지  PPT
전개(80분)	<b>ST</b> 활에 숨겨져 있는 과학적 원리 찾기 <b>Co</b> 활 설계와 관련된 과학내용을 제시되는 동영상과 활의 구조를 연관지어 안내한다. ① 재질에 숨겨진 원리 ② 구조에 숨겨진 원리 <b>SEAM</b> 미션을 수행할 활 설계 <b>Co</b> 모듈별로 앞서 주어진 내용을 활용하여 미션에 맞는 활을 설계하도록 안내한다. 미션 1. 30 N의 힘에도 부러지지 않는 활 제작하기 2. 30 cm를 당겼을 때 50 g 인 화살이 120 m를 날아갈 수 있는 활 설계하기 3. 활의 파괴력 측정 방법 구상하기 <b>tip</b> 각각의 미션에 따라 어떻게 다른 설계를 했는지 구체적으로 드러나도록 발표시키고, 왜 그렇게 설계했는지 과학적 원리나 기술적 조건을 들어 설명할 수 있도록 안내한다. ① 설계한 활의 재질에 숨겨진 원리 ② 설계한 활의 구조에 숨겨진 원리 <b>tip</b> 각 모듈별 발표 보드를 준비하고 다른 조에서 포스트 잇을 활용하여 보완 사항을 조언하도록 한다. <b>CD</b> 모듈별로 과학적 의사소통 과정을 통하여 창의적으로 활을 설계하고 그 과정을 발표한다. <b>SEA</b> 미션을 수행할 활 제작 <b>Co</b> 모듈별로 앞서 발표한 내용과 보완할 사항을 적용하여 미션에 맞는 활을 제작한다. <b>tip</b> 설계한 내용을 직접 제작하며, 문제나 오류가 발생할 시 이를 반영하여 수정 설계, 제작할 수 있는 충분한 시간을 제공한다.	활을 제작할 수 있는 다양한 재료를 미리 준비  설계를 발표할 수 있는 보드 준비  활을 제작하는 과정에서 칼이나 가위 사용시 주의하도록 안내한다.  활은 위험한 무기 처럼 타인을 다치게 할 수 있으므로 제작한 활을 쓰거나 휘두르는 위험한 행동을 하지 않도록 주의시킨다.	동영상 활 제작 재료 간단한 활 모형  PPT
정리(10분)	<b>SEA</b> 평가 및 수정, 보완 다른 모듈의 발표를 듣고 보완할 내용을 알려주며, 평가하여 목적에 부합하는 최적의 설계를 뽑는다.	발표를 경청하도록 유도한다.	PPT

**S** : Science 과학, **T** : Technology 기술, **E** : Engineering 공학, **A** : Art 예술, **M** : Math 수학

**Co** : Context 상황 제시

**CD** : Creative Design 창의적 설계, 주어진 상황에서 창의성, 효율성, 경제성, 심미성을 발현하여 최적의 방안을 찾아 문제를 해결하는 종합적인 과정

**ET** : Emotional Touch 감성적 체험, 학습에 대한 긍정적 감정을 하는 것이다. 학습에 대한 흥미 자신감, 지적 만족감, 성취감 등을 느끼고 성공의 경험을 동기유발, 욕구, 열정, 몰입의 의지가 생기고 개인적 의미를 발견하여 선순환적인 자기주도적 학습이 가능하게 하는 모든 활동과 경험 (3차시에 적용됨)

### 부록 3. STEAM 수업 만족도 검사지

#### 수업 만족도 검사지

이 검사는 여러분이 “내가 만드는 신궁”에 대한 수업 만족도를 알아보고자 하는 것으로 보다 효과적이고 효율적인 수업을 위한 연구 자료로 활용하고자 하는 것입니다.

이 질문지의 각 문항에는 틀린 답이나 맞는 답은 없습니다. 여러분이 받은 수업의 모습만을 생각하면서 주의 깊게 읽고, 나의 생각과 가장 가까운 것에 1개만을 골라 ‘✓’ 표시해 주시기 바랍니다. 모든 문항에 빠짐없이 그리고 솔직하게 응답해주시기 바랍니다.

번호		내용	매우 그렇다	그렇다	모르 겠다	아니다	전혀 아니다
1	내용	수업에 제시된 주제가 흥미 있었다.	①	②	③	④	⑤
2		생활에서 썼던 도구의 원리를 알아가며 공부하는 것이 흥미 있었다.	①	②	③	④	⑤
3		과학수업이지만 다른 과목 내용과 연관성이 있어 좋았다.	①	②	③	④	⑤
4		배운 내용으로 작품을 만들어 보는 것이 “활의 원리”를 이해하는데 도움이 많이 되었다.	①	②	③	④	⑤
5		이번 수업으로 활의 원리를 생활에 활용할 수 있게 되었다.	①	②	③	④	⑤
6		활에 대한 이해를 도울 수 있는 수업자료의 종류와 내용이 적절하였다.	①	②	③	④	⑤
7	방법	실험이나 실습중심 수업방법이 재미있고 이해가 쉬웠다.	①	②	③	④	⑤
8		다른 과목의 수업과 방법과 차이가 있었다.	①	②	③	④	⑤
9		나는 이런 수업 방법을 계속 받고 싶다.	①	②	③	④	⑤
10	평가	활동지가 수업활동을 정리하거나 안내해주는 데 많은 도움이 되었다.	①	②	③	④	⑤