



# 고등학생을 위한 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 개발 및 적용 효과

전재돈, 이효녕\*  
경북대학교

## The Development and Application of STEAM Education Program based on Systems Thinking for High School Students

Jaedon Jeon, Hyonyong Lee\*  
Kyungpook National University

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 20 July 2015  
Received in revised form  
5 August 2015  
25 October 2015  
20 December 2015  
25 December 2015  
Accepted 28 December 2015

#### Keywords:

systems thinking,  
STEAM,  
high school student,  
watermill,  
ADBAS model

### ABSTRACT

In the 21st century, in a Knowledge-Based Information Society, systems thinking is a very important human resources skill in science and technology, which is required in STEAM education in order to understand and solve complex problems. The purposes of this study are: (1) to develop a STEAM education program based on systems thinking; (2) to investigate the effects of the program on students' systems thinking. The systems thinking-based STEAM education program was developed on the basis of 'ADBAS' model (Park & Lee, 2013), and focused on the theme of watermill. A total of 60 high school students participated in this study. The results of this study showed that quantitatively as well as qualitatively, systems thinking skills improved after the treatment. In conclusion, the program we developed in this study can contribute in improving high school students' systems thinking skills and creative problem-solving abilities. The findings of this study may provide useful insights into cultivating human resources with systems thinking skills and creative problem-solving abilities.

## 1. 서론

2001년 이공계 학문의 위기가 언론을 통해 등장한 이후, 지속적으로 지적되던 이공계 기피 현상에 대한 본격적인 연구가 수행되어 이공계 위기가 단순한 우려가 아닌 심각한 사회 문제로 대두되었다(Han, 2004; Kim, 2001). 이공계열 직업에 대한 학생들의 인식을 조사한 결과 이공계열 직업에 대하여 불안정한 인식을 가지고 있으며 부정적으로 생각하는 등의 문제가 있는 것으로 나타났다(Jung & Kim, 2014; Kim, Park & Kim, 2012; Kim *et al.*, 2013; Lee & Park, 2010). 특히 한국교육개발원 교육통계연구센터의 대학교 지원을 자료에 따르면, 2001년 이전 40% 이상의 학생들이 이공 계열(의·약학 제외)을 지원해 인문 계열(인문, 사회, 교육 영역)보다 10% 이상 높게 나타났다. 그렇지만 '이공계 위기'를 기점으로 2002년 이후 이러한 차이는 역전되어 최근 10년 이상 이공 계열이 인문 계열보다 10% 이상 낮은 지원율을 보여 이러한 문제가 지속되고 있음을 알 수 있다(Center for Educational Statistics, 2014). 이와 같은 상황에서 국가 경쟁력을 키워나가기 위해서는 이전과는 다른 새로운 돌파구가 요구되는 것이다.

미래 우리나라의 성장 동력 창출을 위해 창의적 과학기술 인재 양성을 통한 인재강구 구현이 절실히 요구되는 상황에서, 교육과 과학기술의 연계를 통한 시너지 효과를 높이기 위한 인재 육성체계 구축 목적으로 『제2차 과학기술 인재 육성·지원 기본계획('11~'15)』이 진행되고

있다. 이는 융합인재교육(STEAM)의 강화를 통해 현재 매우 낮은 과학, 수학, 기술 및 공학 영역의 흥미를 끌어올려 창의적 과학기술 인재의 저변을 확대하기 위한 것이다(Ministry of Education, Science and Technology, 2012b). 이를 위해 한국교육개발원, 한국과학창의재단 등 다양한 기관에서 융합인재교육 프로그램 개발 연구를 진행하고 있으며, 교사 연수, 교사연구회 등을 통해서도 학교 현장에 맞는 프로그램들이 개발·보급되고 있다.

융합인재교육은 이공계 위기 현상을 극복하고 국가경쟁력 확보를 위해 이공계열 융합형 인재 양성의 측면을 강조하고 있다. 미국의 경우 2009년 시행된 'Educate to Innovate' 캠페인의 핵심 내용과 대통령 과학기술 자문위원회(PCAST: President's Council of Advisors on Science and Technology) 보고서를 살펴보면, STEM 교육을 국가 핵심 교육 정책으로 강화하고 모든 시민들에게 이를 확대해야 한다고 강조하고 있다(PCAST, 2012). 그 밖의 다양한 외국 STEM 교육에서도 과학, 수학, 기술 관련 과목의 흥미도와 학생들의 기술적 소양(technological literacy)의 함양을 강조하고 여러 교과에서 활용이 가능한 상황적 지식 및 실생활 문제 해결 능력의 증진을 지향하고 있다(Kim, 2007). Barnes(1989)와 Dyrenfurth(1987)는 기술적 소양에 대한 연구에서 기술적 소양의 하위 영역에 문제 해결 능력이 포함되어 있음을 제시하였다. 특히, Lee(1992)는 이와 함께 기술적 소양의 하위 영역으로 시스템 분석 및 종합과 같은 시스템 사고 과정을 포함하고 있음을

\* 교신저자 : 이효녕 (hleee@knu.ac.kr)

\*\*이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2012R1A1A2043627).

\*\*\*이 논문은 전재돈의 2014년도 석사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.6.1007

제시하였다. 또한 Baker(1988)는 기술적 소양에 대하여 창의성에 기초한 다양한 영향력과 처리 과정(process)을 이해하는 능력을 강조하여 부분을 전체의 역동적인 흐름으로 바라보는 시스템적 관점이 포함되었음을 알 수 있다(Choi & Ryu, 2007).

우리나라의 경우 2011년부터 융합인재교육을 실시하고 있다. 융합인재교육의 학습준거들을 살펴보면 학생들은 창의적 설계를 통해 제시되는 융합적 문제를 해결하고 성공의 경험을 통해 감성적 체험을 경험할 수 있는 교수-학습을 강조하고 있다(Ministry of Education, 2013). 국외의 STEM 교육에서 기술적 소양과 문제 해결 능력을 강조하고 있는 것과 마찬가지로 우리나라 역시 이를 강조하고 있음을 알 수 있으며, 이러한 측면에서 우리나라의 융합인재교육을 발전시켜 나가기 위해서는 시스템과 시스템 사고 능력을 강조할 필요가 있다(Park & Lee, 2014).

시스템(system)은 ‘어떤 대상을 구성하는 여러 요소 간의 동역학적 상호작용에 따라서 하나의 전체로 유지되는 단일 복합체’로 정의한 Bertalanffy(1968)의 ‘일반 시스템 이론(GST: General System Theory)’에서 그 학문적 기원을 찾을 수 있다. 이후 시스템은 다양한 학문 영역에서 연구가 진행돼 왔으며, 인문 사회 영역에서는 인간 및 학습자의 사고 과정과 접목하여 시스템 사고 능력(Systems Thinking Skills)에 대한 연구가 수행되고 있다. 최근 교육 분야에서는 고등 사고 능력(Higher Order Thinking)인 시스템 사고를 하나의 유형으로 구분하여 관련 연구가 진행되고 있다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2005b, 2010a, 2010b; Kali, Orion & Eylon, 2003; Kim & Kim, 2002; Sohn, 1995). ‘부분의 단순 합이 전체를 이룬다’는 근대 과학의 기계론을 뛰어넘어, 시스템 사고는 ‘전체를 이해하기 위하여 부분과 부분 간의 상호작용까지도 고려하여 사고’하는 것을 말한다(Mayer & Kumano, 1999; O'Connor & McDermott, 1997). 단선적인 사고를 뛰어 넘는 시스템 사고는 문제 상황을 전체적으로 바라보고, 문제 상황을 구성하고 있는 각 요인들에 대한 체계적인 이해를 바탕으로 근본적인 해결 방안을 도출할 수 있게 된다는 측면에서 문제 해결 능력의 핵심 요소로 연구되었다(Senge, 1990). 21세기 지식 기반 정보화 사회를 주도적으로 이끌어 가기 위해 종합적 사고 능력이 부각됨에 따라 더욱 주목받고 있다(Kim, 2006).

융합인재교육의 경우 창의적 설계를 통한 융합적인 문제 해결을 강조하고 있기 때문에(Ministry of Education, 2013), 융합형 인재들에게는 시스템 사고 능력의 함양이 요구되며 이에 대한 체계적인 연구가 필요하다. 그러나 국내의 경우 시스템 사고에 대하여 학생들을 대상으로 수행된 연구는 매우 미비하며, 특히 융합인재교육과 관련하여 Park & Lee(2014), Lee(2012)의 연구 외에는 매우 부족한 실정이다. Park & Lee(2014)의 연구에서는 중학교 영재학생을 대상으로 시스템 사고를 적용한 융합인재교육 프로그램을 적용하여, 시스템 사고 능력이 양적·질적으로 향상된 것을 확인할 수 있었고 시스템 사고를 활용하여 융합인재교육 프로그램을 운영하는 경우 창의적 설계를 통한 문제 해결을 보다 체계적으로 진행할 수 있게 됨을 확인하여 보다 많은 프로그램 개발이 필요함을 제안하였다. 융합인재교육에서 강조하는 창의적 설계, 문제 해결 능력과 시스템 사고 능력의 관련성을 고려할 때, 시스템 사고를 접목한 융합인재교육은 보다 체계적이고 적절한 교육이 이루어질 수 있을 것이다. 따라서 이 연구에서는 시스템 사고를 적용한 융합인재교육 프로그램을 개발하고, 이를 고등학교 학생들에게 적용

해 그 효과를 확인하고자 한다. 이를 위해 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 시스템 사고 능력을 신장시킬 수 있는 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 개발한다.

둘째, 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 고등학교 학생들에게 적용해 시스템 사고 능력에 대한 효과를 확인한다.

## II. 연구 방법

이 연구에서는 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 개발하고 효과를 검증하고자 한다. 따라서 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 개발하고 고등학생들을 대상으로 프로그램을 적용하는 두 단계로 연구가 진행되었다.

### 1. 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 개발

융합인재교육 프로그램 개발을 위해 관련 선행 연구를 조사하여 기존의 융합인재교육 프로그램, 시스템 사고, 이론적 모형, 주제 등에 대한 정보를 수집하였다. 아울러, 실제 학생들의 학교 급에 따른 수준을 반영한 적절한 프로그램을 개발하기 위하여 2007 개정 교육과정(Ministry of Education and Human Resources Development, 2007)과 2009 개정 교육과정(Ministry of Education, Science and Technology, 2012a)의 분석을 병행하였다. 선행 연구 및 교육과정의 분석 결과를 토대로 고등학생들의 수준에 적합한 프로그램 주제와 모형을 선정하여 프로그램을 개발하였다.

프로그램 개발을 체계적이고 효과적으로 수행하기 위해, Park & Lee(2014)의 ‘ADBAS 모형(Analysis - Design - Build - Assessment - Systems thinking Model)’을 활용하여 프로그램 개발을 실시하였다. 이 모형은 Ministry of Education(2013)의 융합인재교육 학습 준거(들)과 기존 Lee, Park, Kwon, & Seo(2013)의 STEM/STEAM 교육을 위한 ADBA 모형을 바탕으로 시스템 사고를 포함하여 창의적 설계를 통한 문제 해결을 진행하는 프로그램을 개발할 수 있도록 고안된 모형이다(Figure 1). ‘분석(Analysis)’ 단계에서는 어떤 문제 상황의 이해와 조건을 고려한 설계를 통해 이에 대한 해결 방안을 탐색하는 단계로,

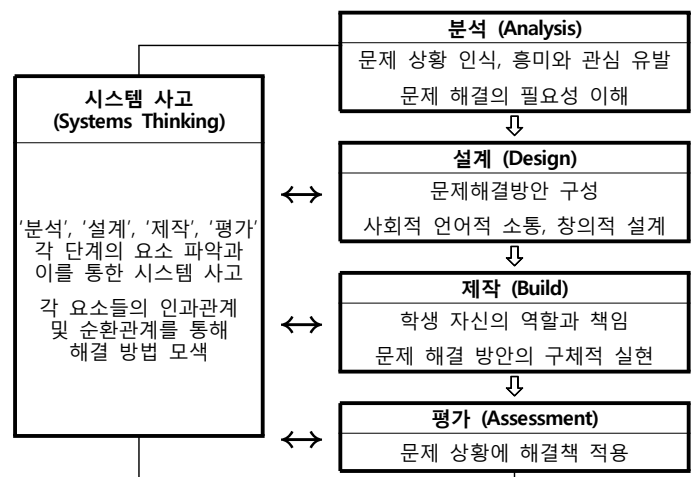


Figure 1. ADBAS model (Park & Lee, 2014, p. 427)

Table 1. The information of pilot experiment

투입시기	대상	인원	시간
2013년 1학기	일반계고 1~2학년	26명	4시간
2013년 1학기	일반계고 1~2학년	40명	4시간
2013년 2학기	일반계고 1~2학년	20명	4시간
2013년 2학기	일반계고 1~2학년	40명	4시간
2013년 여름학기	중등 과학 영재 2학년	13명	8시간

STEM 교과와 교육과정에 제시된 개념과 원리를 기본으로 진행되고 융합인재교육 학습준거(틀)의 ‘상황 제시’에 해당한다. 이 과정에서 학생들은 스스로 문제 해결의 필요성을 느끼고 학습에 적극적으로 참여할 동기를 가지게 된다. 학습준거(틀)에서 ‘창의적 설계’에 해당하는 단계는 ‘설계(Design)’와 ‘제작(Build)’ 단계이다. ‘설계’ 단계에서는 관련된 자료를 수집하고 아이디어를 협의하며, 문제 해결을 위해 필요한 지식의 탐구 및 학습을 통해 최선의 해결안을 도출한다. 학생들이 이 과정을 체계적으로 수행하는 동안 이미 알고 있거나 학습한 내용을 체계적으로 반영하기 위해 노력하는 한편, 모둠원과의 상호작용을 통해 스스로의 생각을 발전시킬 수 있다. ‘제작’ 단계에서는 설계에 기초한 시작품을 제작하고 이를 통해 문제 해결의 가능성을 판단한다. 제작된 시작품의 테스트를 통해 문제점을 분석하고 재설계 및 제작을 반복하여 개선한다. 학생들 스스로의 의견과 생각을 확인해 볼 수 있는 단계로 제작해 나가는 동안 다양한 문제 상황을 추가로 만날 수 있어 이를 해결하기 위해 노력하게 된다. 이 단계에서는 문제해결의 결과인 산출물을 통해 융합인재교육 학습준거(틀)에서의 ‘성공의 경험’을 통한 감성적 체증을 할 수 있게 된다. ‘평가(Assessment)’ 단계에서는 문제 해결 과정에 대하여 발표해 다양한 문제 해결 아이디어를 비교하고 협의할 수 있도록 하고 한 문제 상황에 대한 하나의 산출물이 아닌 다양한 학생들의 다양한 산출물을 통해 사고를 확장하고 궁극적으로 새로운 문제에 대한 도전이 가능하도록 한다. ‘시스템 사고(Systems thinking)’ 단계는 문제 상황을 해결하기 위해 진행된 ‘분석’, ‘설계’, ‘제작’, ‘평가’의 모든 단계에서 대상을 접근하고 문제를 해결하는 동안 관련 요인들을 분석하는데 활용할 수 있도록 병렬적으로 구성되어 있다. 각 단계에서 시스템적으로 분석된 요인들은 그들 사이의 인과관계와 상호작용에 기초하여 정리할 수 있게 되며, 이를 활용하여 궁극적으로 체계적인 상황 인식과 문제 해결이 가능하게 된다. 특히 이러한 과정이 한번으로 마무리 되는 것이 아니라 재설계-제작 과정을 반복적으로 진행하며, 발생하는 다양한 문제를 시스템 사고로 접근하여 해결해 나갈 수 있다. 최종 평가 이후 추가적으로 ‘시스템 사고’ 단계를 수행할 수도 있는데, 이를 통해 학생들이 융합인재교육을 통해 얻게 된 지식과 경험을 단편적으로 학습하는 것을 넘어, 이를 시스템적으로 정리해 인과관계와 상호작용을 바탕으로 체계적인 정리 및 마무리가 진행될 수 있다(Park & Lee, 2014; Lee et al., 2014).

프로그램은 선행 연구 및 목표의 적절성을 고려하여 주제를 선정하고 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 모형에 기초하여 개발하였다. 개발된 프로그램은 중학교 영재 학생 및 고등학생에게 예비 투입을 실시하였고 이 과정에서 수집된 피드백을 바탕으로 수정·보완을 실시하였고(Table 1), 관련 전공 대학원생과 현직 교사들을 대상으로 프로그램을 직접 체험할 수 있는 세미나를 개최하여 최종적으로 수정·보완을 실시하였다. 프로그램의 모든 내용들을 협의하는 예비 투입 및 세미나를 진행하였고 이러한 과정에서 발견된 문제들을 세밀하

Table 2. Rectification through pilot experiment

	프로그램 초안	프로그램 최종안	비고
산출물	물레방아의 동력을 활용한 발전 장치	물레방아의 동력을 활용한 오토타마, 자동차 등 기계 장치	창의성, 독창성, 심미성
과학 학습 내용	에너지 전환 개념 중심	회전운동 내용 추가 (돌림힘, 각속도 등)	실생활 속 회전 운동
설계 과정	재료의 제한 사항을 두지 않은 자유로운 설계	한정된 예산, 재료 내에서 효율적인 설계	경제성

Table 3. Basic information of subjects

학년	빈도	퍼센트	성별	빈도	퍼센트
1학년	12	26.7	남	25	55.6
2학년	33	73.3	여	20	44.4
합계	45	100.0	합계	45	100.0
장래희망			선택과목		
의약학 계열	11	24.4	과학	12	26.7
기계공학 계열	13	28.9			
건설공학 계열	2	4.4	수학	2	4.4
생화학 계열	10	22.2			
교육 계열	7	15.6	영어	31	68.9
기타	2	4.4			
합계	45	100.0	합계	45	100.0

게 검토하고 반영하여 최종적으로 융합인재교육 프로그램을 개발하였다(Table 2).

## 2. 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 적용 및 분석

### 가. 연구대상

이 연구에서 개발된 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램의 효과를 검증하기 위해 K시 K고등학교 1~2학년 학생 60명을 대상으로 연구의 목적을 충분히 설명하고, 연구 참여에 동의하는 학생에 한하여 연구를 진행하였다. 프로그램의 원활한 투입 및 운영을 위해 해당 고등학교 자체에서 개설한 융합인재교육 캠프를 통해 연구에 참여를 희망하는 학생들을 모집하였다. 개발된 프로그램을 직접 경험할 수 있고 교내 활동으로 진행된다는 측면에서 과학, 기술/공학, 수학에 관심이 높은 학생들이 다수 지원하였으며, 연구 참여 동의 및 캠프 동안 수업에 성실하게 참여하는 것에 동의한 60명이 최종적으로 연구에 참여하였다. 이 학생들에게 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 15시간(1박2일 각 8시간, 7시간)을 적용하고, 적용 전·후에 시스템 사고 양적 검사 도구와 질적 검사 도구를 투입하여 자료를 수집하였다. 프로그램의 적용을 위해 융합인재교육 프로그램 개발자 중심으로 수업을 진행하였고 해당 학교 행사 담당 교사가 보조 교사로 함께 참여하여 수업을 보조하였다. 이 중 수업에 끝까지 참여하고 검사에 성실히 응답한 학생 45명을 대상으로 분석을 진행하였다. 이들에 대한 기초 정보를 정리하면 Table 3과 같다.

### 나. 검사 도구

이 연구에서는 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램이 학생

Table 4. Reliability of systems thinking questionnaire

영역	문항 번호	문항 수	신뢰도(내적 일관성)	
			영역별	전체
시스템 분석	8, 9, 13, 15	4	.708	.840
정신모델	7, 17, 18, 20	4	.604	
개인숙련	3, 6, 10, 19	4	.647	
공유비전	4, 11, 12, 14	4	.614	
팀 학습	1, 2, 5, 16	4	.723	

들의 시스템 사고에 미치는 효과를 분석하였다. 이를 위해 기존에 중등 학생을 대상으로 개발된 검사 도구를 적용하여 효과를 검증하였다. 시스템 사고를 측정하는 검사 도구는 Lee, Kwon, Park, & Lee(2013)이 개발하고 Lee & Lee(2013)가 고등학생을 대상으로 타당도를 재검사한 도구를 활용하였다. 시스템 사고를 검사하기 위한 도구의 경우 기존에는 인과지도 작성과 같은 질적인 도구가 대부분이기 때문에 (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2005b, 2010a, 2010b; Kali, Orion & Eylon, 2003; Lee & Kim, 2005; Lee *et al.*, 2011) 많은 수의 학습자를 대상으로 연구하기에는 무리가 있고 관련 연구 영역의 확장에도 한계가 있었다. 하지만 학생들의 시스템 사고를 체계적으로 확인할 수 있는 양적 검사지가 개발되었고 이 연구에서는 해당 검사지를 투입하여 분석하였다.

이 검사 도구는 ‘시스템 분석’, ‘정신모델’, ‘개인숙련’, ‘공유비전’, ‘팀 학습’ 등 5개 하위 요인에 대하여 각 4문항씩 총 20문항으로 구성된 검사 도구이다. Lee, Kwon, Park, & Lee(2013)에 의하면 ‘시스템 분석’은 “다양한 관점을 고려할 수 있는 사고 능력”으로 정의하고(p. 997) 시간에 따른 변화, 시간 지연 및 피드백 등을 고려할 수 있는 정도를 나타낸다. ‘정신 모델’은 “끊임없는 외부와의 상호작용을 통해 나타나는 사고의 변화”로 정의 하였는데(p. 998), 어떤 상황에서 물체를 바라볼 때 주위 환경을 반영하고 인식하는 정도를 나타낸다. ‘개인 숙련’은 “스스로의 비전 설정과 비전의 달성을 향해 나아가는 과정에서 변화하는 모습”으로 정의하였다(p. 998). 이는 개인의 미래 비전에 관한 것으로 상황을 단선적으로 인식하는 것이 아니라 지속 가능하게 인식하는 정도를 나타낸다. ‘공유비전’은 “집단의 비전 형성과 리더가 갖추어야 할 리더십”으로 정의하였는데(p. 998), 리더의 입장에서 얼마나 조직을 시스템적으로 바라보고 끌어낼 수 있는 정도를 나타낸다. 마지막 ‘팀 학습’은 “집단에서 팀원 간의 상호작용과 그 과정에서의 변화”로 정의 하였는데(p. 999), 개인 및 집단의 목표에 도달하기 위해 팀 구성원들과의 상호작용 정도를 나타낸다. 이에 대하여 검사 내적 일관성을 확인한 결과 Cronbach  $\alpha$  계수 값이 0.6 이상으로 신뢰도를 확인하였다(Table 4).

이러한 양적 결과를 보완하기 위해 Lee & Kim(2009)의 ‘물 순환’에 대한 시스템 사고 분석지를 수정한 Park & Lee(2014)의 질적 검사를 함께 활용하였다. 이 분석지는 총 4개의 문항으로 구성되어 있으며, 첫 문항에서는 물 순환과 관련된 개념들을 나열하고 이를 과학적 기준에 맞게 나누어 보는 활동을 한다. 다음 문항에서는 첫 문항의 개념들을 자유롭게 연결 지어 관계를 작성하도록 하는 문항으로 구성되어 있다. 세 번째 문항에서는 물 순환과 관련된 단어를 보기로 주고, 이를 둘 이상 활용하여 문장을 서술하도록 하는 문항이며, 마지막으로 이렇게 작성된 문장을 활용하여 원인과 결과에 따른 인과지도를 작성하도록 구성되어 있다.

이 검사를 차례대로 진행하는 동안 학생들은 시스템의 구성요소를 파악하고 그 역동적 관계를 이해하며, 인과관계에 따른 문장 서술 및 인과지도 작성을 하게 된다. 이를 통해 시스템 사고의 3대 요소인 인과적 사고, 시간적 사고 및 피드백 사고에 대한 전반적인 부분을 분석할 수 있으며, 시스템 사고 검사 양적 도구와 병행하여 학생들의 시스템 사고 능력을 체계적으로 확인할 수 있다(Im & Lee, 2014; Kim, 2009; Lee, Kwon, Park, & Lee, 2013; Park & Lee, 2014).

다. 자료 분석

프로그램에 참여한 60명 전체를 대상으로 사전검사를 시행하였고 수업에 끝까지 참여하지 않은 2명을 제외한 58명을 대상으로 사후검사를 시행하였다. 58명에 대하여 기초 분석을 시행해 중복응답, 미응답, 불성실한 응답을 보인 13명을 추가로 제외하여 총 45명을 최종 연구 대상으로 분석하였다. 프로그램의 효과를 검증하기 위해 사전 사후 응답의 유의미한 차이가 있었는지를 확인하기 위해 95%의 유의 수준에서 단일집단 대응표본 *t*-검정을 실시하여 확인하였다. 시스템 사고 질적 자료 분석의 경우, 과학적이고 인과적인 개념의 개수, 개념 간 연결이 이루어진 개수 및 작성된 문장의 수를 파악하였고, 인과지도에 사용된 개념의 개수와 함께 인과지도 순환의 복잡성, 순환성을 파악하였다. 이에 대해서 사전 사후의 차이를 파악하기 위해 비모수 통계검정 방법인 Wilcoxon 부호 순위 검정법(Wilcoxon matched pairs signed ranks test)을 통해 확인하였다. 통계적 분석은 SPSS ver.21.0을 활용하였다.

III. 연구 결과

1. 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 개발

다양한 융합인재교육과 시스템 사고 교육 프로그램과 관련된 선행 연구를 분석한 결과, 프로그램의 주제로 ‘물레방아’를 선정하였다. 물레방아는 인류가 자연력을 그대로 활용하지 않고 도구를 활용하여 동력을 발생시킨 최초의 기계 장치로 그 역사적 의의가 크다. 아울러 동서양을 막론하고 물레방아는 물의 역학적 에너지를 활용하기 위해 다양한 형태로 진화되어 왔는데, 이러한 배경에는 발생 지역의 지질학적 환경과 기후적 요인이 시스템적으로 영향을 주었기 때문이므로 지구 시스템의 학습에도 적절한 것으로 판단하였다(Greene, 2000; Lucas, 2005; Morton & Lewis, 2005; Wilson, 2002). 이처럼 물레방아는 과학 기술의 측면을 뛰어넘어 역사를 비롯한 인문 예술의 다양한 영역을 아우를 수 있는 주제이기 때문에 융합인재교육 프로그램의 소재로 선정하여 개발을 진행하였다.

물레방아를 주제로 프로그램을 개발하고 현재 고등학생들에게 적용하기 위해, 2007 개정 교육과정과 2009 개정 교육과정을 분석하여 관련 개념을 추출한 결과는 Table 5와 같다.

프로그램을 개발하기 위하여 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 모형인 ADBAS 모형에 각 내용 요소를 고려하여 작성한 물레방아 프로그램 개요는 Figure 2와 같다.

프로그램은 50분을 한 차시로 하여 총 6 차시로 제작되었으며, 프로그램 개요, 교수학습 지도안, 교사용 지도서, 학생 활동지, 읽기자료,

Table 5. Relevance of the developed program to national curriculum

학교급	과학	수학	기술/공학	예술	
2007 개정 교육 과정	중학교	· 힘과 운동 · 물질의 세 가지 상태 · 상태 변화와 에너지 · 일과 에너지 · 대기의 성질과 일기 변화	· 최대공약수, 최소공배수 · 입체도형의 겹넓이와 부피 · 닮은 도형의 성질 · 피타고라스의 정리 · 원에서 현, 접선에 대한 성질 · 원과 비례에 관한 성질	· 기술의 발명 · 제조 기술 · 생애 설계와 진로 탐색 · 건설 기술	[국어] · 듣기, 말하기 - 정보를 전달하는 말 듣기, 말 하기 - 설득하는 말 듣기, 말 하기 - 사회적 상호작용의 말 듣기, 말 하기 · 작품의 수용과 생산의 실제 - 시(시가), 소설(이야기), 극, 수필, 비평  [사회] · 우리가 살아가는 곳 · 우리 지역의 자연환경과 생활 모습 · 경제생활과 경제문제  [음악·미술] · 이야기를 음악으로 만들어 표현하기 · 자유로운 발상을 통해 주제 표현하기 · 미술 작품의 특징을 분석하고 감상하기
		초등학교	[3~4학년군] · 원의 구성 요소 · 각도  [5~6학년군] · 약수와 배수 · 입체도형의 공간감각 · 원주율과 원의 넓이	[5~6학년군] · 기술과 발명의 기초 · 창의적인 제품 만들기 · 일과 직업의 세계 · 진로 탐색과 진로 설계	[국어] · 듣기, 말하기 · 상황 이해와 내용 구성, 표현과 전달, 추론과 평가 · 다양한 갈래의 문학 - 시(시가), 소설(이야기), 극, 수필, 비평
2009 개정 교육 과정	중학교	· 힘과 운동 · 일과 에너지 전환 · 수권의 구성과 순환	· 최대공약수, 최소공배수 · 점, 선, 면, 각 · 원의 현과 접선에 대한 성질 · 원주각의 성질	· 진로 탐색과 생애 설계 · 기술의 이해 · 문제해결과 발명 · 에너지와 동력	[사회] · 경제생활의 이해
		고등학교	[과학] · 에너지와 문명 · 에너지 문제와 미래  [물리] · 시간, 공간, 운동 · 에너지의 발생 · 힘과 에너지의 이용  [지구과학] · 환경오염 · 기후 변화	[수학] · 평면좌표 · 원의 방정식  [기초 수학] · 수의 연산 · 삼각비	[기술·가정] · 기술 혁신과 발명 · 창의 공학 설계 · 융합적 문제해결 체험 활동  [공학 기술] · 공학 기술의 발달 과정 · 창의적 문제해결 능력의 개발 · 기계 공학의 세계 · 융합적 공학 문제해결 · 공학 기술 관련 창의적 문제해결의 실제

평가 문항 등으로 구성되어 있다(Jeon, 2014). 1~2 차시는 분석 단계로 물레방아에 대한 예술적 탐구를 실시하여 문학, 역사, 순수 예술 등 다양한 영역에서 물레방아를 학습하게 된다. 1차시에는 문학작품과 역사적 자료들을 중심으로 물레방아에 대한 예술적 요소를 탐구하도록 한다. 문학 작품 등에 묘사된 내용을 토대로 물레방아에 대해 구상해보고 직접 디자인 하는 과정을 통해 물레방아에 대한 대략적인 구조와 명칭을 학습할 수 있도록 하였다. 이와 함께, 각 구조에 대한 기술/공학적인 분석을 토대로 각 구조의 기능을 체계적으로 학습할 수 있게 하였다. 이러한 과정에서 교사는 학생들에게 특정 대상을 시스템적으로 바라볼 수 있도록 안내하고, 다양한 보조 자료를 제시하도록 한다.

2차시에서는 학습한 물레방아에 대한 기술/공학적인 영역의 구조와 기능에 대하여 과학 및 수학적인 측면에서 분석하고, 관련된 개념들에 대해 학습하고 복습할 수 있도록 제시되고 있다. 현행 2009 개정 과학과 교육과정에서는 회전운동과 관련한 개념을 다루고 있지 않지만, 물레방아를 설계하고 제작하기 위해서는 회전 운동에 대한 이해가 요구되기 때문에 회전운동 개념을 포함한 과학적, 수학적 원리를 학생들이

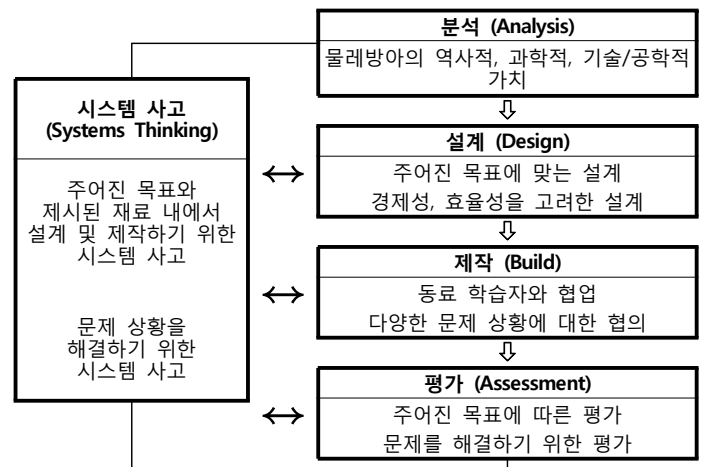


Figure 2. ADBAS model of watermill

의 수준에 적합하게 제시하였다. 또한, 기술/공학적인 측면에서 물레방아의 동력 및 동력 활용 장치에 대한 학습을 진행한다. 이러한 과정에서

Table 6. Specific contents about the watermill STEAM program based on systems thinking

차시 구성	차시 명	차시 구성	내용
1	물레방아를 찾아서	문학 작품 속 물레방아 찾기	소설 물레방아, 민요 등에서 등장하는 물레방아 조사
		물의 순환과 물레방아	물의 순환에서 장소에 따른 물레방아의 다양한 형태 조사
		물레방아, 시스템적으로 바라보기	물레방아의 기능과 구조를 인과관계에 따라 조사 분석
2	물레방아에 숨어 있는 힘과 에너지	실생활에서 물레방아의 동력 활용 조사	과거 물레방아, 맷돌 등의 사례 조사
		물레방아에 숨어있는 과학적 원리	회전운동에 기초하여 각속도와 돌림힘 학습
		회전운동 : 수학적, 물리적 접근	식을 활용한 각속도와 돌림힘의 이해
3	물레방아 자동차 설계하기	실생활과 회전운동	실생활에서 각속도와 돌림힘 원리가 적용된 사례 조사
		물레방아 및 동력 전달 장치 설계하기	앞서 학습한 내용을 바탕으로 창의적 설계
		물레방아 자동차 설계도 발표	장치의 인과관계에 따른 동작 가능 여부의 시스템 사고 실시
4	물레방아 자동차 제작하기	재료의 사용의 경제적 접근	작품을 제작하기 위해 사용되는 재료 목록 구성 및 예산 운영
		물레방아 자동차 제작하기	설계를 바탕으로 재료를 활용하여 시작품 제작
5	물레방아 자동차 완성하기	시스템적으로 문제 발견하기	제작 중에 발생하는 문제를 인과관계에 따라 발견
		시스템적으로 문제 해결하기	문제와 관련된 요인들의 인과관계를 시스템 적으로 분석하고 해결
6	물레방아 자동차 대회 실시	물레방아 자동차 완성하기	시작품의 문제를 해결하여 최종 산출물 제작(또는 재설계 및 제작)
		물레방아 자동차 대회	최종 산출물을 활용한 최종 발표 및 자동차 작동
		물레방아 인과지도 작성	전체 프로그램을 통해 학습한 물레방아 관련 내용으로 인과지도 작성


**정리** 설계와 시스템 사고

- 물레방아를 설계하는 동안 학습자 스스로 시스템 사고를 사용할 수 있도록 안내한다.
- 설계를 하지 않고 제작한 경우, 재료의 특성을 충분히 파악하지 못하고 설계한 경우, 제작가능성, 경제성 등 다양한 요인을 충분히 고려하지 않고 설계 및 제작 한 경우 등 다양한 사례를 제시한다.
- 이들 통해 설계의 중요성을 강조하며, 더 나아가 설계에서 여러 요인들이 시스템적으로 상호작용하여 결과가 나타나는 것에 대해 알 수 있도록 한다.
- 이런 과정을 통해 학습자는 여러 요인을 시스템적으로 바라보게 되고, 기초적인 시스템 사고를 실시하게 된다.

교수학습 TIP

- 다양한 요소의 상호작용을 고려하며 시스템 사고를 이용한 설계의 경우 보다 제작에서 실패를 줄여줄 수 있음을 강조한다. 실질적으로 모든 요소를 파악하며 제작하기 힘든 만큼, 교사가 다양한 예를 제시하며 고려해야 할 요소들을 제공하는 것도 좋은 방법이다.
- 다음은 선택 부품 설계를 담당하는 디자이너의 면담 중 일부로 설계의 중요성을 볼 수 있다.

... 우리는 제작소에서 만들어진 설비를 이용하여 신박하게 들어가는 부품들을 설계하게 됩니다. 이때, 신박한 부품들을 까맣고 낮은 부품은 제작재로 처리되기 때문에, 우리는 디자이너들이 어떻게 디자인하는지 너무 상관없고 에너지의 밀도 및 예산 밀도에 도움이 됩니다. 테크닉(기술)의 본질은 생각하면 쉬워요. 다만 많이 실패를 할 수 있어야 합니다. 그렇지 않으면 개성이 끝나는 것과 마찬가지입니다.



설계를 하지 않은 경우



재료의 특성을 고려하지 않은 경우



재료의 특성을 잘 고려한 예



오토마타를 제작한 경우

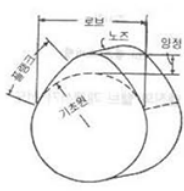
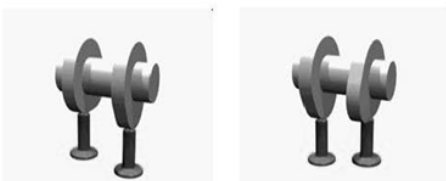


3차시	주제	창의적 물레방아 설계 및 제작
<b>교사용 필수정보 6. 동력 전달 방법</b>		
<p><b>1. 캠 (cam)<sup>16)</sup></b></p> <p>기계공학에서 캠(cam)은 동력 전달 장치의 하나로 회전 운동을 직선 운동으로 또는 그 반대로 바꾸는 기계요소이다.</p> <p>원동축의 정속(定速) 회전에 대응하여 종종 링크를 포함한 경로를 지나가게 하여 왕복직선 운동과 왕복 각운동을 부여하는 데는, 다양한 영역에서 적절한 방법으로 쓰인다. 임의의 경로를 더듬는 운동을 가장 재빠르게 행하게 하는 데에는 여러 동력 전달 방법 중 캠 장치가 가장 효율적이다. 캠 장치는 평면 캠과 입체 캠으로 분류할 수 있다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>캠의 구성<sup>18)</sup></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>캠(cam)의 구성 방식<sup>17)</sup></p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>&lt;평면캠&gt;</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>&lt;입체캠&gt;</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">캠의 종류<sup>19)</sup></p>		

Figure 3. Example of guidance resources(left) and reference materials(right) for teachers

인간과 자연, 기계 장치, 동력 전달, 지구 시스템과 같은 다양한 영역의 시스템 사고가 이루어질 수 있도록 운영된다. 특히 교사는 과학, 수학, 기술/공학적 개념을 단순히 개별적으로 다루는 것이 아니라 서로 시스템적으로 연계되어 있다는 사항을 강조하고 학생들이 인식할 수 있도록 안내한다.

3~5차시는 설계 및 제작을 반복적으로 통합하여 실시하게 된다. 학생들은 주어진 목표에 따라 물레방아를 설계 후 제작하게 되어 완성된 작품에 대한 분석을 실시하게 된다. 설계하고 제작하여 작품을 완성하는 일련의 과정에서 발생하는 다양한 문제 상황을 시스템적으로 바라보고 시스템 사고를 적용하여 해결할 수 있도록 지속적인 피드백을

제공하도록 하였다. 학생이 어떠한 구조를 설계하고 제작할 때, 왜 이렇게 생각하고 도출했는지 이유를 인과관계에 따라 묻는 것을 통해 보다 쉽게 학생들이 시스템 사고를 할 수 있도록 안내할 수 있다. 또한, 수업 시수가 충분한 경우 처음 제작한 시작품을 자체적으로 분석하고 평가하여 개선 사항을 도출하고, 이를 시스템적으로 반영하여 재설계 후 수장보관을 진행하여 더 완성도 높은 작품을 제작하도록 구성하였다.

마지막 6차시는 평가 단계로 학생들이 제작한 물레방아를 평가하게 되며 활동 전반에 대한 내용을 인과지도로 작성하여 프로그램 동안 활용한 시스템 사고를 정리할 수 있는 시간을 제시하였다. 교사는 이러

활동안내지				
차시	3/6	단 원	창의적 물레방아	모듬명
주제	물레방아자동차 설계하기			
일시	월	일	교시	학년 반
활동목표	· 물레방아의 동력으로 움직이는 자동차를 설계할 수 있다.			
<b>활동내용</b>				
※ 물레방아의 동력으로 움직이는 자동차를 제작하여 다음과 같은 과제를 해결하여 본다.				
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p style="text-align: center;">&lt; 도전 과제 &gt;</p> <p style="text-align: center;">직선으로 주행할 수 있다. 보다 긴 거리를 주행할 수 있다. 보다 경제적으로 제작할 수 있다.</p> </div>				
1. 물레방아의 동력으로 나갈 수 있는 자동차를 만들기 위해 다음과 같은 과정으로 생각해 본다.				
1) 도전과제를 고려하여 목적에 맞게 물레방아를 디자인해본다.				
물레방아 디자인				

2차시	주제	창의적 물레방아 설계 및 제작
<b>학생용 읽기자료 3. 축바퀴(토크)<sup>45)</sup></b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 축바퀴(wheel and axle) - 힘을 증대시키는 기본적인 기계 구성요소.</li> <li>- 축바퀴 배열</li> </ul>		
		<p>최초의 축바퀴는 아마 무거운 짐이나 우물의 두레박을 들어 올리는 데 사용되었을 것이다. 작동원리는 그림에서처럼 하나의 축에 부착된 크고 작은 기어로 설명할 수 있다. 축을 돌리기 위해 반지름 R인 큰 기어에 가해진 힘 F는 반지름 r인 작은 기어에 걸리는 더 큰 힘 W를 극복할 정도로 충분해야 한다. 힘 증폭률 또는 기계적 확대율은 두 힘의 비율(W : F)과 같고 두 기어의 지름 비(R : r)와도 같다. 이때 반지름과 힘이 가해지는 회전체의 축방향으로 가해지는 물리량을 토크(<math>\tau</math>)라고 한다. 이를 식으로 나타내면 <math>T = r \times F</math>와 같고 이때 각 물리량의 방향을 나타내면 다음과 같다.</p>

Figure 4. Example of activity sheets(left) and reference materials(right) for students

한 평가 과정에서 충분한 피드백을 제시해줄 수 있도록 자료를 정리하고, 대표적인 인과지도를 제시하여 학생들이 보다 쉽게 시스템 사고를 할 수 있도록 한다. 프로그램의 운영에 따라서 3~5차시의 설계 및 제작은 재설계 및 재제작을 통해 6차시 이상으로 확장하여 운영할 수 있도록 구성하였다(Table 6).

기존 융합인재교육 프로그램에서는 창의적 설계를 통한 문제 해결을 강조하고 있지만, 실제 그 과정을 구체적으로 접근하는 방식을 제시하고 있지는 않다. 이 연구에서 완성된 프로그램은 분석, 설계, 제작, 평가 및 시스템 사고 단계를 체계적으로 거쳐, 융합인재교육에서 강조하는 창의적 문제 해결 능력을 배양할 수 있도록 구성하였다. 특히, 학생들이 대상을 분석하거나 문제를 발견하고 해결해나가는 과정에서 시스템 사고를 활용하여 체계적으로 접근할 수 있도록 구성하여 학생들이 융합인재교육을 보다 체계적이고 여러 학문의 연계성에 초점을 두고 학습할 수 있도록 안내하였다. 그밖에도 학생들은 물레방아의 인문학적 가치, 과학적 개념, 수학적 해석, 기술/공학적인 원리를 학습하는 한편, 주어진 조건과 재료의 한계 상황을 시스템적으로 파악하고 물레방아를 직접 설계, 제작하는 과정에서 창의적 문제 해결, 협동, 시스템 사고를 효과적으로 다룰 수 있도록 강조하였다. 이러한 흐름에 따라 수업의 전반적인 내용을 간략히 요약한 교수학습 지도안을 구성하고, 이를 바탕으로 교사가 체계적으로 수업을 진행할 수 있도록 교사용 지도 자료와 참고 자료를 제시하였다(Figure 3). 또한, 학생들의 체계적인 학습을 도와주기 위해 학생용 활동지 및 읽기 자료를 포함하여 프로그램을 완성하였다(Figure 4).

Table 7. Effect of the developed program on systems thinking (quantitative)

요인	구분(N)	평균(M)	표준편차(SD)	t
시스템 분석	사전(45)	3.428	.499	-4.207*
	사후(45)	3.878	.516	
정신 모델	사전(45)	3.228	.543	-3.286*
	사후(45)	3.561	.410	
개인숙련	사전(45)	3.800	.604	-2.191*
	사후(45)	4.050	.470	
공유비전	사전(45)	3.789	.569	-2.000*
	사후(45)	4.017	.510	
팀 학습	사전(45)	3.533	.718	-1.877
	사후(45)	3.811	.685	
총점	사전(45)	3.556	.371	-4.025*
	사후(45)	3.863	.354	

\* $p < .05$

## 2. 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 검증

시스템 사고 기반 융합인재교육 프로그램이 학생들의 시스템 사고 능력에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 7과 같다.

학생들의 시스템 사고 능력은 시스템 사고 기반 프로그램을 투입하기 전과 비교하면 모든 영역에서 평균값이 상승하였다. 이에 대하여 통계적으로 유의미한 효과인지 알아보기 위해 t-검증을 실시한 결과 ‘개인숙련’, ‘공유비전’, ‘시스템 분석’과 ‘정신 모델’ 영역에서는 95% 유의 수준에서 유의미한 효과인 것으로 나타났다. ‘팀 학습’ 영역에서는 사후 검사(3.811)에서 사전 검사(3.533)보다 높은 결과가 나타났지만 통계적으로 유의미한 효과는 나타나지 않았다. 시스템 사고 총점에



Table 8. Effect of the developed program on systems thinking (qualitative)

문항	항목	구분(N)	평균(M)	표준편차(SD)	Z
단어 연상	연상 개념 수	사전(36)	8.778	4.330	-2.416*
		사후(36)	10.306	4.695	
개념 간 관계	개념 집단 수	사전(36)	2.778	1.098	-1.054
		사후(36)	2.972	1.000	
문장 생성	문장 수	사전(36)	3.306	2.026	-1.912*
		사후(36)	3.889	1.785	
인과 지도	개념 집단 수	사전(36)	5.278	2.362	-2.611*
		사후(36)	6.222	2.294	
	개념 순환 수	사전(36)	2.556	0.969	-1.409
		사후(36)	2.778	0.929	
총점	문장 수	사전(36)	0.500	0.655	-1.414
		사후(36)	0.611	0.728	
		사전(36)	3.594	1.255	-3.465*
		사후(36)	4.028	1.251	

\*p<.05

< 물의 순환 >

승화 태양 비 응결 눈, 바다, 강, 물, 수증기, 여 역류

집단 이름	기준	단어
	물이 변하는 순서	태양, 열
	물이 변하는 순서	응결, 증발

< 물의 순환 >

물, 증발, 응결, 비, 강, 눈, 우박, 물, 계곡, 열, 수증기, 태양, 육지, 물, 빙하

집단 이름	기준	단어
	물이 흐르는 방향	산, 바다, 계곡
	물이 변하는 순서	태양, 열
	물이 변하는 순서	응결, 증발
	물이 흐르는 방향	바다, 강, 수증기
	물이 변하는 순서	응결, 증발, 육지

Figure 5. Pre-(upper) and post-answer(lower) of student A in word generation

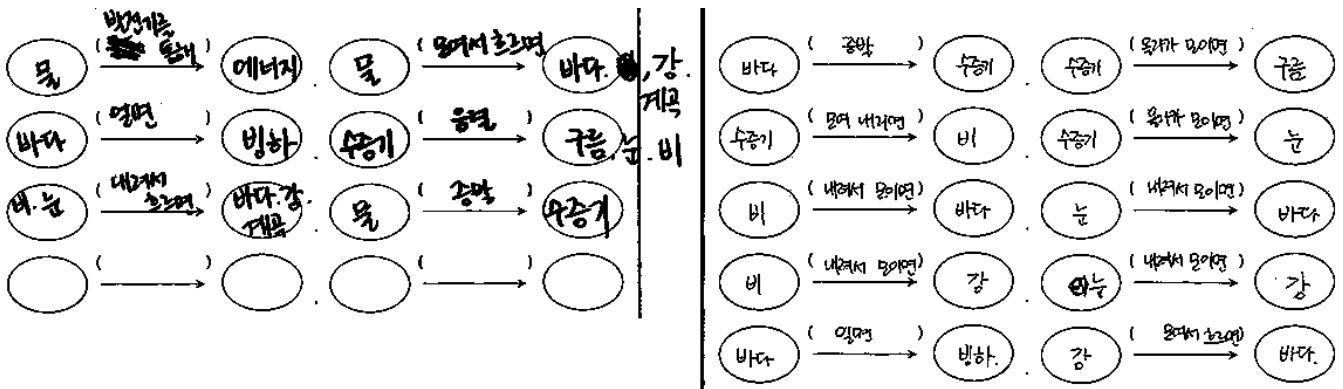


Figure 6. Pre-(left) and post-answer(right) of student B in word association

서는 유의 수준 95%에서 통계적으로 유의미한 효과를 확인할 수 있었다. 추가적으로 프로그램을 학습한 이후 양적 자료를 바탕으로 시스템 사고 능력이 향상된 36명의 고등학생을 대상으로 질적 검사 결과를 분석하였다. 프로그램을 학습한 학생들의 질적 자료에 기초한 시스템 사고 능력의 변화를 확인하기 위해 단일집단 사전·사후 Wilcoxon 부호 순위 검정을 실시한 결과는 Table 8과 같다.

단어 연상 문항의 경우 사전에는 평균 8.778개의 단어를 기록하였으나 프로그램을 학습한 사후에는 10.306개로 증가하였고 Wilcoxon 부호 순위 검정 결과 유의확률 95% 수준에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 연상 개념 개수의 차이가 가장 크게 나타나는 경우 9개까지 증가한 학생도 있었다. 연상한 개념을 집단으로 구분하는 항목에서는 사전 평균 2.778개의 집단에서 사후 2.972개의 집단으로 증가하였지만 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지는 않았다. 연상 개념 수가 상승한 인원은 21명으로 전체 36명 중 58.3%가 상승하였고, 개념 집단의 수가 상승한 인원은 12명으로 33.3%가 상승한 것으로 나타났다. 단어 연상 문항에 대하여 A 학생의 응답 예시는 Figure 5와 같다.

A 학생의 경우 사전에는 2개 집단에 대하여 총 11개 개념을 작성하였고 사후에는 5개 집단에 대하여 총 15개의 개념을 작성하였다. 사후에는 ‘우박’, ‘계곡’과 같은 개념들이 추가로 등장하였으며, 프로그램과 관련한 ‘물시계’, ‘물레방아’의 개념도 추가되었다. 집단을 구분하

는 경우, 사전에는 연상한 개념 모두를 과학적으로 구분하지 못하고 2개 집단에 대해서 4개의 개념만을 분류하였지만, 사후에는 더 체계적인 기준에 따라 5개의 집단을 구성하고 13개의 개념을 구분한 것을 확인할 수 있었다.

개념 간 관계에 대한 문항에서는 사전 평균 5.028개의 관계를 기록하였고 사후에는 5.111개로 증가하였지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다. 연결 개수가 증가한 인원은 16명(44.4%)으로 확인되었다. 가장 많은 연결의 증가가 나타난 학생 B의 경우 사전 6개에서 사후 10개로 증가하였다(Figure 6). 사전에는 ‘물·모여서 흐르면·바다, 강, 계곡’, ‘비, 눈·내려서 흐르면·바다, 강, 계곡’과 같이 비교적 포괄적으로 작성하였으나, 사후에는 각 경우에 대하여 직접적인 인과 관계에 따라 체계적으로 작성한 것을 확인할 수 있었다.

개념 사이의 인과관계를 고려하여 문장을 생성하는 문항에서는 사전 평균 3.306개의 문장을 작성하였으나 사후에는 3.889개로 증가하여 유의확률 95% 수준에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다. 작성 문장의 개수가 증가한 인원은 총 17명(47.2%)이었다. 문장 생성 문항에 대하여 학생 C, D의 응답 예시는 Figure 7과 같다. 학생 D의 경우 사전에 총 5개의 문장을 작성하였는데, ‘태양 빛은 강한테 비가 내리지 않는다.’, ‘우물이 말라서 인간이 마실 물이 없어진다.’ 등 과학적인 인과관계가 부족한 문장이 포함된 것을 확인할 수 있다. 하지만 사후에서는 7개의 문장을 작성하였는데, ‘태양이 내리쬐면 우물이 마





주제를 선정하였고 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 개발하였다. 이 연구에서 개발된 프로그램은 2007, 2009 개정 교육과정의 내용 분석과 융합인재교육 학습준거(틀)에 대한 핵심 내용을 반영하였다. 또한 Park & Lee(2014)의 ADBAS 모형을 토대로 시스템 사고를 적용할 수 있도록 개발하였다. 물레방아를 주제로 개발된 프로그램은 물레방아의 인문학적 가치, 과학적 개념, 수학적 해석, 기술/공학적인 원리를 학습할 수 있도록 구성하였다. 다양한 영역의 개념, 원리를 적용하여 물레방아를 직접 설계, 제작, 테스트, 재제작, 평가하는 과정을 통해 학생들의 창의적 문제 해결력, 협동 능력, 시스템 사고력 등이 향상되도록 개발되었다.

둘째, 개발된 프로그램을 고등학교 1~2학년 학생에게 투입하여 시스템 사고에 대한 변화를 확인한 결과, 시스템 사고 양적 검사에서는 5개 하위 영역 중 ‘팀 학습’ 영역을 제외한 ‘개인숙련’, ‘공유비전’, ‘시스템 분석’ 및 ‘정신 모델’ 등 4개 영역에서 통계적으로 유의미한 효과를 확인하였다. 또한, 시스템 사고 질적 검사 결과 전체 문항에 대하여 사전보다 사후에서 높은 점수가 나타났고, 단어 연상 문항의 연상된 단어 수, 문장 생성 문항의 생성 문장 수 및 인과지도 작성 문항에서 활용 개념 수는 통계적으로 유의미한 효과를 확인하였다.

시스템 사고의 경우 국내의 연구는 물론 외국의 연구에서도 교육 프로그램을 통하여 다양한 학생들의 시스템 사고 능력을 향상시킬 수 있다는 연구가 진행되었는데(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2005b, 2010a, 2010b; Kali, Orion & Eylon, 2003; Kim & Kim, 2002; Sohn, 1995), 이 연구에서도 선행 연구와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 ‘팀 학습’ 영역에서는 통계적으로 유의미한 변화를 확인할 수 없었다. 협동학습이나 토론 학습을 할 때 학생들은 초기에 비해 몇 번의 반복을 거쳐 상호 간에 의견을 나누는 방법과 목표 달성을 위해 효과적으로 협의하는 과정을 습득하게 되며, 이는 시스템 사고를 향상하는 데 중요한 요소이다(Lee, Kwon, Park, & Lee, 2013; Meadows, 2008; O'Connor & McDermott, 1997; Senge, 1996, 2012). 이 연구에서는 60명의 고등학생을 대상으로 개발된 프로그램을 투입하였고, 1학년과 2학년을 고르게 분배하여 모둠을 구성하였다. 이와 함께 15차시라는 비교적 짧은 시간 동안 수업이 진행되어 학년이 서로 다른 학생들이 상호작용을 하기에는 다소 무리가 있었을 것으로 보이며 이러한 영향으로 ‘팀 학습’ 영역의 상승이 미비한 것으로 분석되었다.

시스템 사고 질적 검사 분석 결과는 양적 결과와 마찬가지로 시스템 사고 융합인재교육 프로그램을 학습한 이후 유의미한 효과가 있는 것으로 나타났다. 분석한 모든 학생은 적어도 1개 문항 영역 이상에서 상승한 것을 확인할 수 있었고, 둘 이상의 영역에서 상승한 학생도 35명으로 나타났다. 하나의 시스템과 관련하여 많은 개념(요인)을 형성하고 이를 인과관계에 기초하여 연결할 수 있다는 것은 그렇지 않은 학생들보다 더 시스템을 잘 이해하고 있다고 판단할 수 있다. 이러한 인과적인 관계에 기초하여 문장을 작성하고 인과지도를 그려봄을 통해 학생들은 자신이 이해하고 있는 시스템을 체계적으로 표현하고 다시 인식할 수 있다는 측면에서 학생들의 시스템 사고 수준을 확인할 수 있는 좋은 자료이며, 다양한 선행연구에서도 이미 이러한 측면에 대한 시스템 사고 능력의 논의가 이루어져 왔다(Im & Lee, 2014; Kwon et al., 2011; Lee et al., 2011; Lee & Kim, 2009; Moon et al., 2004; Park & Lee, 2014). 이 연구에서는 양적 검사 결과와 질적 검사 결과가 같이 상승하여 다양한 시스템 사고 선행 연구와 동일한

결과가 나타남을 확인하였다. 특히 이 프로그램을 학습한 일부 학생들은 사후 인과지도에서 물의 순환과 관련하여 3개 이상의 지구계 하위 영역들이 관련되는 복잡하고 복합적인 순환을 완성할 수 있었다. 이러한 결과는 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램의 학습을 통해 학생들이 개별적으로 학습한 개념들을 인과적으로 연결하여 고차적인 시스템 사고를 하고 있다고 볼 수 있으며, 다양한 선행연구 결과와도 일치한다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005a, 2005b, 2010a, 2010b; Kali, Orion & Eylon, 2003).

## 2. 제언

앞서 제시했던 결론에 기초하여 이 연구에 대한 제언을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 고등학생을 대상으로 연구를 진행한 결과 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램이 시스템 사고 능력의 향상에 영향을 준 것으로 확인할 수 있었기 때문에, 다양한 프로그램을 개발할 필요가 있다. 학생들이 살아가는 환경 속에서 접할 수 있는 다양한 시스템 요소를 활용하여 융합인재교육 프로그램을 개발하고, 실제 활용할 수 있도록 보급한다면, 학생들의 시스템 사고 능력 신장을 가능하게 할 것이고, 이는 국가에서 요구하는 융합인재교육의 목표에 다가서는 밑거름이 될 수 있을 것이다. 특히, 2016학년도부터 전국적으로 실시되는 자유학기제는 이와 같은 효과적인 융합인재교육 프로그램을 체계적으로 적용할 수 있는 교육과정의 변화로 다양한 관련 연구를 통해 발전해 나갈 수 있도록 하여야 할 것이다.

둘째, 프로그램의 효과를 확인한 결과 집단의 활동과 관련된 하위 요인 중 시스템 사고 능력의 하위 요인인 ‘팀 학습’ 항목에서 통계적으로 유의미한 효과가 나타나지 않았다. Ro & An(2012)은 융합형 인재가 갖추어야 할 능력으로 소통을 강조하였고, 2015년 시행되는 PISA에서는 ‘협업에 의한 문제 해결’ 평가 항목이 추가되어 집단과제 해결을 통해 개인 능력뿐만 아니라 집단 내 의사소통의 중요성도 강조되고 있는 점(Greiff, Holt & Funke, 2013)을 고려할 때, 보다 체계적이고 구체적인 진단을 통해 그 원인을 파악할 필요가 있을 것이다.

셋째, 이 연구에서 얻은 결과의 일반화를 위해 다양한 학생들을 대상으로 더 많은 연구가 진행될 필요가 있다. 이 연구에서 개발된 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램의 시스템 사고에 대한 효과를 단일집단 사전-사후 검증으로 분석하였기 때문에 설계에 초점을 두고 있는 다른 프로그램과 비교하여 차이를 확인할 수 없었다. 각기 다른 모형을 기반으로 개발되는 프로그램들의 개별적이고 특정한 교육 효과를 확인하기 위해서는 다른 변인을 가능한 통제하여 다수의 프로그램을 적용하는 실험적 연구가 수행될 필요가 있을 것이다. 이 연구에서 확인된 고등학생의 시스템 사고 능력의 향상을 바탕으로 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램의 교육적 가치를 확인하였기 때문에 영재 고등학교, 과학 고등학교 등의 다양한 특수 고등학교 및 중학교, 영재교육 영역에서도 연구가 확장되어야 할 것이며, 이를 통해 다가올 미래 사회를 대비한 융합인재교육의 발전을 기대할 수 있을 것이다.

## 국문요약

21세기 지식 기반 정보화 사회에서 융합인재교육이 요구하는 과학

기술 인재는 복잡한 문제 현상을 이해하고 해결하기 위해서 시스템 사고 능력이 중요하게 요구된다. 이 연구는 시스템 사고를 기반으로 한 융합인재교육 프로그램을 개발하고, 고등학생에게 적용하여 시스템 사고에 미치는 효과를 검증하는 데 그 목적이 있다. Park & Lee(2014)의 ADBAS 모형을 적용하고 물레방아를 주제로 개발된 프로그램을 고등학생 60명을 대상으로 투입하여 효과를 검증하였다. 그 결과 시스템 사고 능력에 대하여 양적 효과와 질적 효과 모든 측면에서 향상된 것을 확인하였다. 따라서 학생들의 시스템 사고 능력과 창의적 문제 해결 능력을 위해 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 투입하기에 적절한 것으로 판단되며, 교육 현장에서 융합인재를 양성 하는데 활용될 수 있을 것으로 기대 된다.

**주제어** : 시스템 사고, 융합인재교육, 고등학생, 물레방아, ADBAS 모형

## References

- Baker, D. R. (1988). Technological literacy: The essential criteria for a definition. Unpublished doctoral dissertation, Oklahoma state University.
- Barnes, J. L. (1989). Producing a technologically literate citizen. Technological Literacy IV: Proceedings of the Fourth National Technological Literacy Conference, 315-316.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005a). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005b). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010a). Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010b). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: foundations, development, applications*. New York: George Braziller.
- Center for Educational Statistics. (2014). Korean Educational Statistics Service. Retrieved August, 18, 2014, from <http://kess.chedu.kr/index>
- Choi, Y., & Ryu, C. (2007). Analyzing Preceding Research on the Concepts and Elements of Technological Literacy. *The Korean Journal of Technology Education*, 7(2), 141-153.
- Dyrenfurth, M. J. (1987). International perspectives on technological literacy. *Technological Literacy: The Roles of Practical Arts and Vocational Education*, 291-956.
- Greene, K. (2000). Technological Innovation and Economic Progress in the Ancient World: M.I. Finley Re-Considered. *The Economic History Review*, 53(1), 29-59.
- Greiff, S., Holt, D. V., & Funke, J. (2013). Perspectives on problem solving in educational assessment: Analytical, interactive, and collaborative problem solving. *Journal of Problem Solving*, 5, 71-91.
- Han, K. H. (2004). Reinterpretation of the Crisis in Science-and-Technology Sector and Self-reflection of Engineers. *Korean Journal of Sociology*, 38(4), 73-99.
- Im, Y.-G., & Lee, H. (2014). Development and Analysis of Effects of Writing Educational Program for Improving System Thinking Ability. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 14(12), 407-427.
- Jeon, J. (2014). The Development and Application of STEAM Education Program based on Systems Thinking for the High School Students. Unpublished master's thesis. Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Jung, J., & Kim, Y. (2014). A Study on Elementary Students' Perceptions of Science, Engineering, and Technology and on the Images of Scientists, Engineers, and Technicians. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 34(8), 719-730.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, S. B. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the Earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-556.
- Kim, D.-H. (2005). Introspective Reflection on Applying Systems Thinking: Toward an Incremental Systems Thinking. *Journal of Governmental Studies*, 11(2), 63-85.
- Kim, H., Park, S., & Kim, Y. (2012). A Comparative study of Middle School Students' Images and Perceptions of Scientist, Technician and Engineer. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 32(1), 64-81.
- Kim, J. (2007). Exploration of STEM Education as a New Integrated Education for Technology Education. *The Korean Journal of Technology Education*, 7(3), 1-29.
- Kim, J. K. (2006). A Study on a Teaching Method for the Development of Students' Essay Writing Abilities. Unpublished master's thesis. Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Kim, J.-S., Kim, Y.-M., Kim, H.-J., & Lee, C.-H. (2013). Analysis of Elementary School Students' Perception and image of Engineers, Scientists and Technicians. *The Korean Journal of Technology Education*, 13(1), 67-92.
- Kim, M., & Kim, B. (2002). A Comparative Study of the Trends of Current Science Education and the System Thinking Paradigm. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 22(1), 64-75.
- Kim, T.-Y. (2001). The crisis of science and engineering disciplines. Retrieved August, 1, 2014, from <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=110&oid=005&aid=0000064499>
- Kwon, Y.-J., Kim, W.-J., Lee, H., Byun, J.-H., & Lee, I.-S. (2011). Analysis of Biology Teachers' Systems Thinking about Ecosystem. *BIOLOGY EDUCATION*, 39(4), 529-543.
- Lee, C.-S. (1992). A Study on the Characteristics of Technologically Literate People through Technology Education. *The Journal of Vocational Education Research*, 11(1), 79-90.
- Lee, H., & Kim, S.-H. (2009). The Recognition Characteristics of Science Gifted Students on the Earth System based on their Thinking Style. *Journal of Science Education*, 33(1), 12-30.
- Lee, H., & Lee, H. (2013). Revalidation of Measuring Instrument Systems Thinking and Comparison of Systems Thinking between Science and General High School Students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(6), 301-326.
- Lee, H., & Park, K. (2010). Elementary School Students' Images of Scientists and Engineers. *Journal of Korean Practical Arts Education*, 16(4), 61-82.
- Lee, H., Kwon, H., Park, K., & Lee, H. (2013). An Instrument Development and Validation for Measuring High School Students' Systems Thinking. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 33(5), 955-1006.
- Lee, H., Kwon, H., Park, K., & Oh, H.-J. (2014). Development and Application of Integrative STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) Education Model Based on Scientific Inquiry. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 34(2), 63-78.
- Lee, H., Kwon, Y., Oh, H.-J., & Lee, H.-D. (2011). Development and Application of the Educational Program to Increase High School Students' Systems Thinking Skills - Focus on Global Warming -. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 32(7), 784-797.
- Lee, H., Park, K. S., Kwon, H. S., & Seo, B. (2013). Development and Implementation of Engineering Design and Scientific Inquiry-based STEM Education Program. *Korean Journal of Teacher Education*, 29(3), 301-326.
- Lee, J.-H. (2012). A Study on the Utilization of System Dynamics for STEAM Education. 2012 The Korean Association of Computer Education

- Conference, 16(1), 143-147.
- Lucas, A. R. (2005). Industrial Milling in the Ancient and Medieval Worlds: A Survey of the Evidence for an Industrial Revolution in Medieval Europe. *Technology and Culture*, 46(1), 1-30.
- Mayer, V. J., & Kumano, Y. (1999). The role of system science in future school science curricula. *Studies in Science Education*, 34, 71-97.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems*. Washington, DC: Chelsea green.
- Ministry of Education and Human Resources Development. (2007). 2007 Revised national science curriculum. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education, Science and Technology. (2012a). Science Curriculum. Notification No. 2011-361 of the MEST. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education, Science and Technology. (2012b). The 2nd national plan for fostering science-technology human resources. Seoul, Korea: Author.
- Ministry of Education. (2013). STEAM education. Ministry of Education. Seoul, Korea: Author.
- Moon, B.-C., Jeong, J.-W., Kyung, J.-B., Hoj, T.-K., Youn, S.-T., Kim, H.-G., & Oh, K.-H. (2004). Related Conceptions to Earth System and Applying of systems Thinking about Carbon Cycle of the Preservice Teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25(8), 684-696.
- Morton, W. S., & Lewis, C. M. (2005). *China: Its History and Cultur*(4th Ed.). New York: McGraw-Hill.
- O'Connor, J., & McDermott, I. (1997). *The art of systems thinking: Essential skills for creativity and problem solving*. London: Thorsons.
- Park, B.-Y., & Lee, H. (2014). Development and Application of Systems Thinking-based STEAM Education Program to Improve Secondary Science Gifted and Talented Students' Systems Thinking Skill. *Journal of Gifted/Talented Education*, 24(3), 421-444.
- President's Council of Advisors on Science and Technology[PCAST] (2012). Report to the President - Engage to Excel: Producing One Million Additional College Graduates with Degrees in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. Retrieved August, 20, 2014, from <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-engage-to-excel-v11.pdf>
- Ro, S.-W., & An, D.-S. (2012). A Study on Direction of Development in STEAM Education. *The Journal of Educational Research*, 10(3), 75-96.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline*. New York: Doubleday.
- Senge, P. M. (1996). *The fifth discipline: Fieldbook*. New York: Crown Business.
- Senge, P. M. (2012). *Schools that learn(Updated and Revised): A fifth discipline fieldbook for education, parents, and everyone who cares about education*. New York: Doubleday.
- Sohn, T.-W. (1995). Theoretical Backgrounds of Learning Organization and System Thinking. *The Hanyang journal of economic studies*, 16(2), 109-131.
- Wilson, A. (2002). *Machines, Power and the Ancient Economy*. *The Journal of Roman Studies*, 92, 1-32.