

RESEARCH ARTICLE

Development and Application Effect of STEAM Education Program Based on System Thinking for the Science Core High School Students

Hyegyeong Shin¹ · Jooyoung Eom¹ · Hyonyong Lee^{1,2*}

¹Kyungpook National University

²KNU Science Education Research Institute

과학중점학교 고등학생을 위한 시스템 사고 기반 STEAM 프로그램의 개발 및 적용 효과

신혜경¹ · 엄주영¹ · 이효녕^{1,2*}

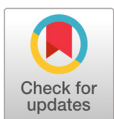
¹경북대학교 · ²경북대학교 과학교육연구소

*Corresponding Author: hlee@knu.ac.kr

ABSTRACT

Science-focused schools are specialized general high schools with science and math completion units of more than 45% of the total curriculum units, and the Ministry of Education recommended operating 25 hours out of 50 hours of science and math experience activities in STEAM. This study aims to develop a STEAM program to improve system thinking for high school students in science-focused schools and apply it to high school students in E science-focused schools to analyze changes in system thinking before and after the program was introduced to verify its effectiveness. As a quantitative test, 273 first- and second-year students were interviewed on the system thinking measurement test. In addition three chief teachers were interviewed as a qualitative test. As a qualitative tool for measuring the effectiveness of the developed program, word association, analysis of relationships between words, and causal map were prepared, and thick data were collected through individual interviews of four sophomores in the science core class. The results indicated that the pre-education program and main program developed under the themes of 'Global Warming' and 'Air Energizer' indicated having a positive effect on improving system thinking ability and achieved significant improvements in qualitative tools such as 'connecting relationships between words', 'creating causal map', and 'providing a feedback loop.' It is intended to contribute so that education using the programs to improve the system thinking of high school students in science-focused schools can be further activated.

Key words: Science core school, system thinking, convergence education, STEAM



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2023, Vol. 13, No. 2, 147-160.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20230009>

Received: March 07, 2023

Revised: June 20, 2023

Accepted: June 20, 2023

© 2023. 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

우리나라는 미래 사회에 필요한 우수한 과학기술 인재 양성을 위해 과학·수학 교육과정을 특성화한 일반 고등학교인 과학중점학교를 설립하였다. 과학중점학교의 교육과정은 총 교과 이수 단위의 45% 이상을 과학·수학 이수 단위로 구성하였으며, 특히 50시간의 과학·수학 체험 활동 중 25시간을 STEAM 기반 교육으로 운영할 것으로 권장하였다(RMSCS, 2021b). 과학중점학교는 STEAM 교육을 각 학교의 자율적인 재구성을 통해 중장기적으로 실행하기 때문에, 이를 지원하기 위한 프로그램 개발의 중요성이 대두되고 있다. 그러나 실질적인 지원 부족으로 인해 교사들의 부담은 커지고 수업의 질적 향상도 기대하기 힘든 실정이다. 과학중점학교의 우수한 프로그램이 학교 현장에서 유지되고 지속적으로 발전하기 위해서는 그 특성을 고려한 프로그램의 개발과 안내가 필요하다(Hong, 2021; RMSCS, 2021a).

과학중점학교에서 강조하는 STEAM 교육은 학교 현장에서 급변하는 시대적인 요구에 따라 미래가 원하는 창의융합형인재로 성장시키기 위한 핵심 역량을 기르는 데에 중요한 역할을 수행하고 있다(MOE, 2013, 2015). 이러한 STEAM 교육 프로그램의 개발과 실행은 고등학교에서 가장 저조한 통계를 보인다(Kwon, et al., 2022). 더욱이, 교육부에서 융합인재교육(STEAM) 중장기 계획[2018~2022]을 발표했음에도 불구하고 관련 연구는 2018년부터 감소하는 추세를 보인다(Ham, 2020). 이는 시대의 요구에 역행하는 것이며 추가적인 융합인재교육(STEAM) 프로그램의 개발과 현장 보급의 양적 증가가 요구된다.

STEAM 교육에 대한 최신 연구에 따르면 고등학교 교사들은 수업 운영의 어려움으로 인한 교육과정의 재구성을 응답했다(Kim & Kim, 2023). 따라서 STEAM 교육의 비중이 높은 교육과정을 가진 과학중점학교는 원활한 운영을 기대할 수 있을 것이다. 또한, Mun et al. (2017)의 학교 유형별 STEAM R&E 프로그램 도입 전·후 변화에 관한 연구에 의하면 과학중점학교는 사전 검사에서는 인지적, 정의적, 사회적 영역에서 과학고등학교와 영재학교 학생들에게 뒤처졌으나 사후검사에서는 가장 큰 상승세를 확인할 수 있었다. 과학중점학교 사전·사후 변화의 폭이 인지적, 정의적 영역에서 가장 컸으며 사후검사의 결과는 과학고등학교와 영재학교 학생들을 능가하였다. 과학중점학교에서 시행되는 교육과정이 긍정적인 영향을 미친다는 것과 학생의 학업 능력 향상의 가능성을 늘 염두에 두어야 한다는 것을 확인할 수 있었다. 발전 가능성을 보여준 과학중점학교를 위한 STEAM 프로젝트를 직접 수행할 기회를 제공할 방안이 더 많아져야 할 것이다(Hong, 2021; Mun et al., 2017; RMSCS, 2021a, 2021b, 2021c).

이러한 STEAM 교육의 효과성을 높이기 위해서 시스템 사고 기반 STEAM 교육이 필요하다. 시스템 사고는 전체를 이해하기 위하여 부분과 부분 간의 상호작용과 그 영향까지 고려하는 사고 방법이며 융합적인 문제해결을 위한 핵심적인 사고 능력이다(Jeon et al., 2015; Moon et al., 2007, 2012; O'Connor et al., 1997; Park et al., 2014; Song et al., 2015). 시스템 사고 능력의 증진은 STEAM 교육의 핵심적인 능력인 융합적 사고에 긍정적인 영향을 미칠 수 있으며, 그로 인해 다각적인 시각에서 다양한 문제해결 방법을 고안할 수 있게 된다(Lee et al., 2011; Moon et al., 2004; Park et al., 2014; Senge, 1996).

이 연구의 목적은 과학중점학교의 특징을 고려하여 시스템 사고 향상을 위한 교수·학습 자료를 개발하고, 개발된 프로그램의 적용 전·후 시스템 사고 변화를 분석하여 학생들의 시스템 사고 향상에 도움이 되는지 시사점을 도출하는 것이다. 지구온난화, 공기소화기에 대한 시스템 사고 기반 STEAM 프로그램을 개발하여 과학중점학교 학생들에게 적용하고, 학생들의 시스템 사고에 미치는 변화를 양적 검사 도구인 시스템 사고 측정 검사지와 질적 검사 도구 및 면담을 통해 분석하였다. 이 연구의 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 내용은 다음과 같다.

첫째, 과학중점학교의 고등학생을 위한 시스템 사고 기반의 STEAM 교수·학습 자료를 개발한다.
둘째, 개발된 프로그램 적용에 대한 전·후 시스템 사고 변화를 분석한다.

Methods

Research Participants

연구 대상은 도 소재지의 E 과학중점학교 1, 2학년 학생을 대상으로 진행하였으며 양적 검사는 273명, 질적 검사는 18명이다. 본 프로그램 적용에 앞서 프로그램의 완성도를 높이기 위해 프로그램 예비 적용 및 수정·보완을 실시하였다. 프로그램 예비 적용은 2021년 6월에 과학중점학교인 E고등학교의 2학년 15명을 대상으로 진행하였으며 이 중 9명은 과학중점반 학생으로, 6명은 일반반 학생으로 운영하였고, 4차시의 탐구 위주로 구성하였다. 이후 본 프로그램의 적용은 2021년 7월에 석학추진특강을 운영하여 간격을 4주로 설정하였고, 4차시를 예비 프로그램에 참여한 학생 중 동의한 과학중점반 8명을 대상으로 투입하였다. 학생용 학습지를 이용하여 단어 연상, 단어 간 관계 연결, 인과지도를 분석하고, 동의를 얻은 4명을 면담하였다.

Instruments

1. Words Association

연상 단어 나열은 주제와 관련하여 떠오르는 단어와 수업을 통해 새롭게 알게 된 단어를 나열하는 것으로, 학생들이 시스템의 구성요소를 얼마나 파악하고 있는지를 알아보고자 하였다. Ben-zvi-Assaraf & Orion (2005b)에 따르면 단어의 연상은 시스템에 대한 이해를 측정하는데 활용할 수 있기 때문에 시스템과 관련된 많은 단어를 떠올린다는 것은 더 복잡한 관계를 생각할 가능성을 의미한다고 볼 수 있다(Park et al., 2014).

2. Analysis of Relationships between Words

단어 간 관계 분석은 시스템 사고를 위한 개념과 그 과정, 그리고 시스템에 대한 이해를 알기 위한 질적 연구 도구로(Ben-zvi-Assaraf & Orion, 2005a, 2005b) 시스템에 대한 이해를 정량적으로 분석하고 측정하는데 활용할 수 있다(Park et al., 2014; Im et al., 2014). 요소 간의 관계를 형성하는 능력이 시스템 사고에 영향을 미친다는 선행 연구들에 의해 단어 간 관계 분석을 통해 시스템 사고 중 인과적 사고의 폭이 확장된다고 할 수 있다(Park et al., 2014). 이 연구에서는 모든 관련 단어를 제공하던 기존의 프로그램과 달리 과학과의 8과목을 모두 배우는 과학중점학교의 교육과정 특성(RMSCS, 2021a, 2021c)과 학교급에 맞추어 15개의 단어를 선정하고 추가로 학생들이 단어를 연상하여 단어 간 관계를 분석하였다. 빙하와 빙봉의 차이점을 알고, 제트기류와 극소용돌이(polar vortex)를 통해서 지구온난화를 설명할 수 있도록 구성하였다.

3. Causal Map

인과지도는 화살표로 원인과 결과를 나타내는 것으로 시스템의 구성요소, 요소 간의 관계, 상호작용 관계의 방향성, 순환이 일어나는 과정에 대해 이해도를 알아보기 위한 문항이다. 인과지도의 분석을 통해 시스템의 특성을 파악하는 연구방법이 Senge (1996)에 의해 소개되면서, 시스템의 특성을 이해하는 독립적인 분석 도구로 활용되고 있다(Lee et al., 2011; Moon et al., 2004; Richmond, 1993). Liangzen (2006)의 교수·학습 자료를 활용하여, 정적(+), 부적(-) 관계를 각각 눈덩이 효과(강화 고리), 안정 효과(균형 고리)로 표현하여 이해를 도왔다.

4. Interview

면담은 정보제공자와 연구자의 대화를 통해 자료를 수집하는 방법이다(Chae et al., 2003). 학생 대상 면담은 시스템 사고 측정 검사지나 학습지의 질적 검사 도구의 도입 후에 더 심층적인 정보를 얻고자 실시하였다. 프로그램 적용 전·후의 변화를 비교하고, 오개념을 과학개념으로 변경하거나 시스템 고리가 끊긴 부분을 연결하였다. 교사 대상 면담은 과학중점학교에 대한 전반적인 이해와 프로그램 개발에 필요한 실질적인 정보를 전문가 집단으로부터 도출하였다. 인터뷰 분야와 세부 내용은 Fig. 1과 같다.

항목	내용
재직 기간 및 전공	전공, 전체 교직과 E고등학교의 재직 기간이 어떻게 되시나요?
운영 실태	과학중점학교의 목표인 ‘일반고등학교의 과학교육 강화로 우수 과학인재 육성’이라는 목표가 달성되었다고 보시나요? 과학·수학 체험활동 50시간 중 STEAM형 25시간을 어떤 식으로 구성하시나요?
상황 진단 및 어려운 점	프로그램 운영이 원활하다고 생각하시나요? 아니라면 운영 시 어려운 점에는 어떤 것이 있나요?
개선점	운영의 어려운 점에 따른 개선점은 어떤 것이 있나요?
시사점	프로그램 제공 시 활용 의향이 있으신가요?

Fig. 1. Domain and contents of teacher interview

Development of System Thinking-based STEAM Program

과학중점학교 고등학생을 위한 시스템 사고 기반 STEAM 프로그램의 개발 및 적용 효과 분석 과정은 Fig. 2와 같다. 선행 연구 분석 및 문헌 조사는 학술지에 출판된 연구를 중심으로 기관에서 발행한 보고서와 학위 논문, 그리고 관련 서적에 대해서 ‘시스템 사고’, ‘STEAM’, ‘과학중점학교’라는 키워드를 중심으로 수집하였다. 그 중 후속 연구에 대한 제언으로 Kang et al. (2008)가 인과지도의 구축에서 강조한 피드백 고리를 완성할 수 있는 프로그램의 개발을 주목하였다. 피드백 고리는 인과지도에서 정적(+)의 연결 과정은 원인이 결과의 상황을 더 강화하는 방향으로 작용하는 경우, 부적(-)의 연결 과정은 약화하는 방향으로 작용하는 경우로 정의할 때 닫힌 원모양을 만드는 것으로 시스템 사고 적용의 필수 요건이다(Kang et al., 2008; Moon et al., 2004).

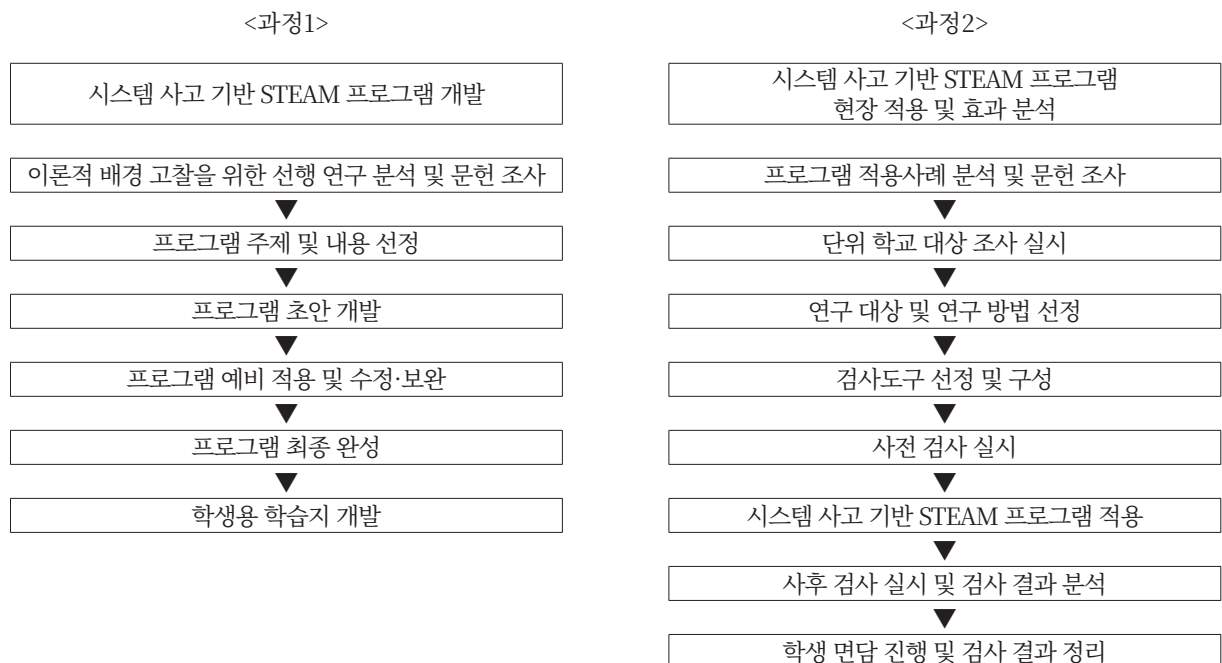


Fig. 2. Procedure of study

1. Development of Pre-educational Program

사전 교수·학습 활동을 개발하기 위하여 EBS(Korea Educational Broadcasting System, 한국교육방송공사)의 방송콘텐츠 <지식채널e>의 자료를 수집하였다. <지식채널e>는 직관적이고 몰입도 있는 내용 전달이 가능한 쇼트폼 콘텐츠이며 어려운 이론부터 우리 삶과 관련 있는 다양한 내용을 최대한 쉽고 흥미롭게 전달하는데 목적이 있기에 참고하였다(Han & Yun, 2023). <지식채널e>와 환경부 지정 우수환경도서 ‘교실 밖, 펄떡이는 환경 이야기’(Tateyama et al., 2016)’를 참고하였고, 기후 변화는 아직 오지 않은 미래로서 차순위 과제가 아니라, 학생들부터 미리 교육받고 대응해야 할 시급한 공동의 과제이므로(Chung et al., 2021; McNeill & Vaughn, 2012), 사전 프로그램의 주제는 ‘지구온난화’로 선정하였으며 1차시에 거쳐 진행된다.

또한 과학과의 8과목(물리학 I·II, 화학 I·II, 생명과학 I·II, 지구과학 I·II)을 모두 배우는 과학중점학교의 교육과정 특성(RMSCS, 2021a, 2021c)을 고려하여 지구온난화를 Hartmann et al. (2000)의 성층권 polar vortex와 연계하여 제시하였다. EBS의 <지식채널e>에서 관련 영상은 지구 온도가 1도 더 높아지면 일어나는 현상과 빙붕이 빙하 붕괴의 가속화에 미치는 영향에 대한 것을 적용하였다(Han & Yun, 2023; Tateyama et al., 2016). 개발된 프로그램의 상세 내용은 Fig. 3과 같다.

수업 단계	교수·학습 활동
도입	프로그램 배경과 내용 소개 - 시스템 사고 및 STEAM 소개 - 지구온난화와 극소용돌이의 과학적 용어 정의
전개	<지식채널e> 영상 시청 - 영상 시청과 함께 연상 단어 작성 및 교사 설명 - 연상 단어 나열 단어 간 관계 분석 작성 인과지도 설명 및 문항 작성
정리	작성된 인과지도 발표 및 토의, 교사의 정리

Fig. 3. Instructional activities of the pre-educational program

2. Development of Main STEAM Program

본 프로그램 개발을 위하여 Uchiyama et al. (2015)와 Uchiyama & Shimada (2016)의 vortex ring 그래프 자료와 Kim et al. (2020)의 선행 연구를 참고하여 주제를 ‘공기소화기’로 선정하였다. 공기소화기는 기압의 과학적 개념을 적용하여 공기 소화기를 설계하여 제작하는 데 초점을 두고 있다. 제작된 공기 소화기 내부에 압력차를 발생시키면 vortex ring (회오리)이 생성되어 이 기체 소화제가 먼 거리까지 이동하면서 촛불을 끄는 과제가 문제해결 프로젝트이다. 이 프로그램의 기체 소화제로 형성된 vortex ring은 기존 소화기에서 발생하는 제트 흐름보다 소화 가스를 더 먼 거리로 운반할 수 있다는 연구결과(Chiba et al. 2015)를 반영하였다. 또한 지구 온난화를 성층권의 극소용돌이(polar vortex)를 통해서 설명하는 Hartmann et al. (2000)의 연구 결과를 토대로, 좁고 빠르게 강력한 와류(vortex)라는 흐름에 대한 내용을 기초적인 과학적 개념으로 적용하였다.

고등학생의 수준에서 시스템 사고의 개념을 이해하고, 물리학 I·II, 화학 I·II, 생명과학 I·II, 지구과학 I·II의 8과목을 모두 이수하는 과학중점학교의 특성을 반영하여 본 프로그램을 구성하였다. 프로그램은 총 4차시로 진행되며, 본 프로그램에서 설계하고 제작할 공기소화기의 완성도를 높이기 위해서 ‘간이 공기소화기’의 설계와 제작을 먼저 할 수 있도록 구성하였다. 공기소화기 제작은 옆면, 앞면, 구멍의 모양과 크기를 모두 고려하여 설계해야 하지만 간이 공기소화기는 구멍의 크기만 상이하게 하도록 지도하였다. 이 연구에서 사용한 ADBAS 모형은 분석(Analysis) - 설계(Design) - 제작(Build) - 평가(Assessment) - 시스템 사고(Systems

thinking)의 순환적 모형으로 문제 해결 방법을 더욱 견고히 하는 과정에 초점을 두고 있다(Park et al., 2014). 특히, 제작 단계에서 학생들이 한 번에 결과물을 내는 것보다는 유체역학이나 간이 공기소화기에서 학습한 내용을 바탕으로 숙고하여 재설계와 재제작의 경험을 할 수 있도록 개발하였다.

학생 활동지는 개념 정리와 탐구 활동으로 구분할 수 있으며 4차시에 걸쳐서 개념 학습과 정리, 단어 간 관계 연결, 인과지도 연습과 작성, 성찰을 통한 수업 정리 및 자기 평가로 구성된 워크북의 형태로 개발되었다. 프로그램 예비 적용과 피드백을 통해 시스템 사고 기반 STEAM 프로그램을 수정·보완하였다. 중학생을 대상으로 한 Kim et al. (2020)의 연구를 학교급을 고등학생으로 변경시키고, 과학중점학교의 교육과정을 반영하여 지구온난화와 공기소화기를 주제로 한 4차시의 프로그램의 최종안을 완성하였다.

Results

Effects of Pre-educational Program

개발된 사전 활동 프로그램은 지구 온난화의 주제를 통해 시스템 사고에 대해 이해하고, 시스템 사고와 관련된 산출물(예, 인과 지도)을 실습하여 도출하는 데 초점을 두고 있다. 인과지도에 대한 결과를 살펴보면, 학생 B, C, D는 사전 교육 프로그램 투입 전에는 인과지도 고리를 형성하지 못하였지만, 투입 후에는 완성하는 모습을 보여주었다. 투입 전보다 투입 후에 작성한 과학적 개념의 수가 증가하는 경향을 보이며 세부 내용은 Table 1과 같다.

Table 1. Comparison of students' score in the pre-educational program between pre-test and post-test

	Pre-test				Post-test			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Word association	7	10	6	7	21	29	15	10
Analysis of relationships between words	3	6	6	3	11	12	13	7
Causal map	5	6	8	15	13	12	15	9
Cause & effect loop in the causal map	1	0	0	0	2	3	2	1

사전 교육 활동 프로그램의 효과를 살펴보기 위해 학생 B의 결과를 정리하면 다음과 같다. 학생 B는 사전 교육 프로그램 투입 후 같은 내용에 대해서 단계를 세분화하여 표현했으며 정확한 설명을 위한 과학적 개념을 이용하는 모습을 나타냈다. 사전 프로그램 투입 전에는 단어 연상하기에서 10개의 단어를, 투입 후에는 29개, 교사와의 면담 후에는 총 32개의 단어를 연상하였다. 연상한 단어를 바탕으로 단어 간 관계 연결하기 활동에서는 사전 프로그램 전에는 6개, 투입 후에는 12개, 면담을 통해서는 23개의 관계 연결을 진행하였다. 학생 B는 프로그램 투입 전(Fig. 4 좌측 그림)에는 '제트기류가 약화되면 기후변화', '태양복사에너지 방출량 감소가 지속되면 기후변화' 등을 서술하였고, 사전 교육 프로그램 투입 후에는 단계를 더 세분화하여 '태양복사에너지가 많아지면 온도 상승', '반사도가 작아지면 온도 상승', '기후변화가 심하면 온도 변화 증가', '이산화탄소 많아지면 온실효과 상승' 등으로 표현하였다.

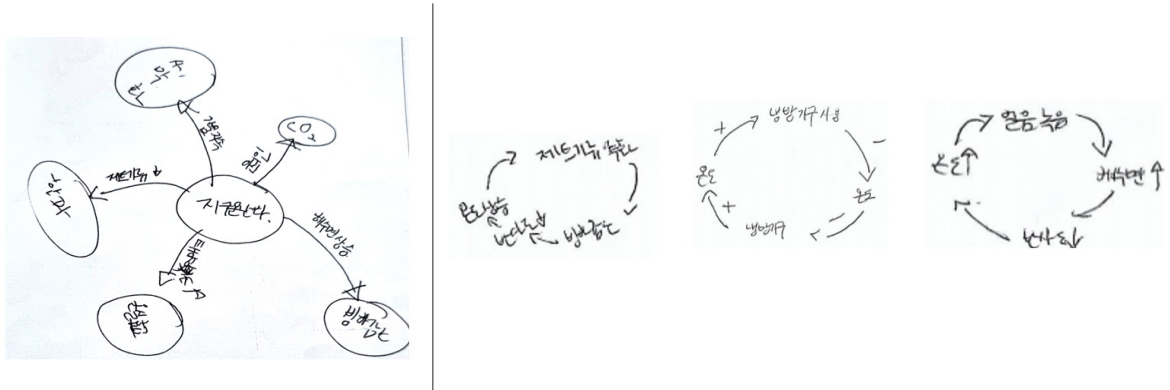


Fig. 4. Causal map of student B : pre (left), post (bright)

인과지도는 학생 B가 사용한 단어의 수가 투입 전에는 6개에서 투입 후에는 12개로, 면담 후에는 35개로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 인과지도 고리 형성은 사전 프로그램 투입 전에는 완성하지 못했지만, 투입 후에는 3개를, 면담 후에는 총 9개의 피드백 고리를 완성하였다. 사전에 작성한 인과지도를 살펴보면, ‘제트기류 → 난방기구 사용 → 한파(전체-)’라고 표현한 부분이 있다. 이 부분을 프로그램 투입 후에는 좀 더 정확한 표현을 위해서 ‘제트기류 약화 → 빙하 감소 → 반사도 감소 → 온도 상승 → 제트기류 약화 → ...’와 ‘얼음 녹음 → 해수면 상승 → 반사도 감소 → 온도 상승 → 얼음 녹음 → ...’으로 표현하였다. 이 중 ‘얼음’이라는 단어를 과학적 개념인 ‘빙하’로 변화하기 위해 학생과의 개별 면담을 진행하였다. 면담의 핵심적인 내용은 다음과 같다.

(학생 B) 온도 상승하면 얼음이 이제 녹아서 해수면이 상승하고 마지막에 반사도가... 빙하가 많으면 그 빙하가 하얀색이니까 빛 반사에서 열방출을 한다고 영상에서 나와가지고... 해수면이 상승하면 그만큼 녹은 거니까 반사도가 낮아져서 지구의 온도가 다시 높아지고...

(교사) 그치 그치 얼음 말고 뭐로 표현할 할 수 있을까?

(학생 B) 빙하요. 빙하가 녹으면...(중략)

다음으로 이 연구에서 개발된 본 프로그램은 공기소화기를 주제로 vortex ring과 사전 교육 프로그램의 극소용돌이(polar vortex)의 관계성을 생각해보도록 유도하였다. 특히 vortex ring과 극소용돌이의 메커니즘 측면에서 빠르고 강한 흐름이라는 공통점을 중심으로 용어를 이해하고 문제해결에 적용할 수 있도록 지도하였다. 공기소화기 제작은 공기소화기의 옆면의 모양과 공기소화기 앞면의 구멍의 크기를 설계할 때 유체역학을 고려하도록 안내하였다. 수업 차시별 상세 내용은 Fig. 5와 같다.

차시	활동 내용
분석	1
	<유체역학과 간이 공기소화기> S M System Thinking
	- 압력과 기압의 개념 이해
	- 생활 속 압력 체험
설계 및 제작	1
	<유체역학과 간이 공기소화기> S T E A M System Thinking
	- 유체역학을 고려한 간이 공기소화기 설계
	- 간이 공기소화기 제작
	- 간이 공기소화기의 성능을 시스템 사고를 통해 이해
	2
	<공기소화기 설계와 제작> S T E A M System Thinking
	- 공기소화기 설계
	- 공기소화기 제작
	- 공기소화기 성능을 시스템 사고를 통해 이해
	3
	<공기소화기 테스트 및 내용 정리> S T E A M System Thinking
	- 시스템 사고를 통해 문제 해결
	- 공기소화기 재설계 후 완성
	- 공기소화기의 과학적 원리 이해
평가	3
	<공기소화기 테스트 및 내용 정리> S T E A M System Thinking
	- 공기소화기로 화재 진압
	- 단위 인과지도 작성

(과학: S, 기술: T, 공학: E, 인문/예술: A, 수학: M, 시스템 사고: System Thinking)

Fig. 5. Contents of developed educational program

Effects of developed STEAM Program

본 프로그램을 적용한 후 학생들의 시스템 사고에 대한 변화 양상을 분석하기 위해 인과 지도 작성, 면담 등을 통해 분석하였다. 인과지도의 경우, 모든 학생이 본 프로그램 투입 전에는 인과지도 고리를 만들지 못하였다. 특히 학생 D는 인과지도 작성에서 목종으로 응답하였다. 본 프로그램 투입 후, 모든 학생들이 작성한 과학적 개념의 수가 증가하였으며, 세부 내용은 Table 2와 같다.

Table 2. Comparison of students' score in main program between pre-test and post-test

	Pre-test				Post-test			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Word association	4	4	3	4	24	8	11	13
Analysis of relationships between words	2	4	3	1	12	12	12	4
Causal map	4	4	9	0	12	11	12	8
Cause & effect loop in the causal map	0	0	0	0	0	5	3	0

모든 학생들은 시스템 사고 관련하여 프로그램 투입 전, 후에 긍정적인 변화를 나타내고 있다. 예를 들어 학생 C의 단어 연상 결과를 보면, 본 프로그램 투입 후에 과학적 개념의 사용이 증가한 것을 확인할 수 있다 (Fig. 6). 학생 C는 본 프로그램 투입 전에는 연상 단어를 3개, 투입 후에는 11개, 교사와의 면담 후에는 14개를 작성하였다. 이를 통해서 단어 간 관계 연결하기를 본 프로그램 투입 전에는 3개, 투입 후에는 12개, 면담 후에는 14개를 작성하였다. 작성된 관계 연결을 응용하여 인과지도를 작성했으며 사용한 단어의 수는 투입 전에는 9개, 투입 후에는 12개, 면담 후에는 19개로 증가하였다.

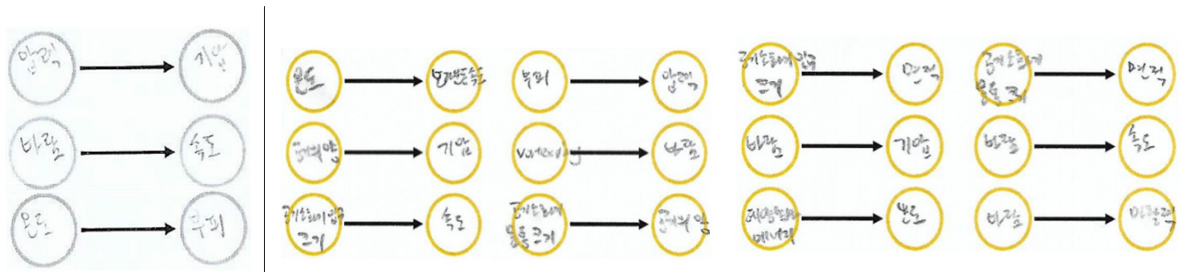


Fig. 6. Word connection of Student C : Pre (left), Post (right)

또한 학생 C는 본 프로그램 투입 전에는 ‘불(화재) → 산소 → 산소 차단 → 공기소화기’, ‘불(화재) → 발화제 → 마른 나무’, ‘불(화재) → 발화점 → 임계온도’라고 표현하였다. 유체역학의 개념이 도입되지 않은 모습을 보였지만 프로그램 투입 후에는 ‘온도 상승 → 분자운동속도 상승 → 온도 상승 → ...’, ‘공기소화기 입구 크기 증가 → 면적 증가 → 속도 감소’ 등을 작성한 것을 확인할 수 있다. 정리하면 본 프로그램 투입 전에는 피드백 고리를 형성하지 못했으나 투입 후에는 유체 역학과 공기소화기의 원리를 인과지도를 통해서 표현하였으며 Fig. 7과 같이 피드백 고리도 완성하였다.

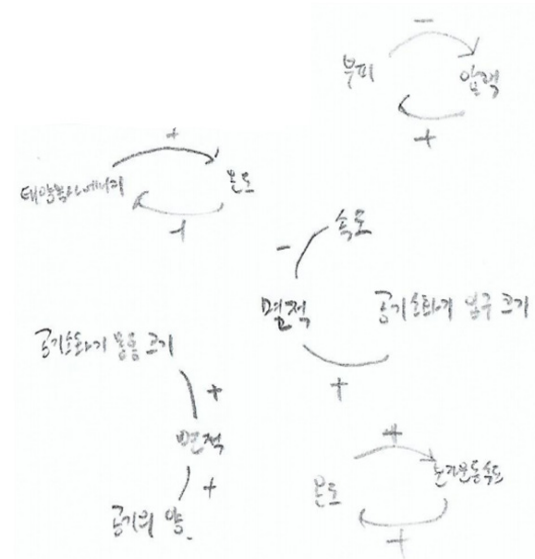
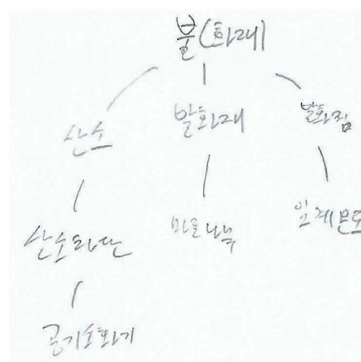


Fig. 7. Causal map of student C : pre (left), post (right)

시스템 사고 기반 STEAM 프로그램의 이해도와 효과성에 대한 면담은 다음과 같다. 면담 내용을 보면 학생 C는 과학적 개념과 원리를 적용하여 산출물을 제작하였고, 공기의 이동과 vortex가 만들어지는 인과 관계 및 사고의 흐름을 명확하게 인식하고 있었다. 또한 면담 과정을 통해 문제해결에 대한 참여 동기, 태도 등 정의적 측면에서도 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

(학생 C) 이게 원리가 뒤에서 빵 쳐서 앞으로 밀려 들어가면서 동그라미 구멍을 나가면서 짹 밀려가는 방식 이잖아요? 효율적으로 사용할 수 있는 상태가 사다리꼴이라고 생각했어요. 왜냐면 때렸을 때 많은 공기가 앞으로 나가고, 앞쪽은 좁으니까 멀리 나갈 수 있는 거죠.

(교사) 응. 이걸 과학적 용어를 도입해서 말해볼까?

(학생 C) 그 뒤에 칠 때보다 앞에 쪽에 면적이 더 작으니까 그로 인해서 바람이 나갈 때 압력이 높아지고 압력이 높아지니까 공기가 나갈 때 멀리 나갈 수 있는 거죠.

Conclusions and Discussions

이 연구의 목적은 과학선도학교인 과학중점학교 고등학생을 위해 시스템 사고가 적용된 STEAM 프로그램을 개발하고 적용하여 그 효과성을 투입 전·후의 변화 분석을 통해 검증하는 것이다. 이 연구 결과를 바탕으로 결론을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 과학중점학교 고등학생을 시스템 사고를 향상시키기 위해 지구온난화를 주제로 사전 교육 프로그램을 개발하고 적용하였다. 사전 교수·학습 활동 프로그램을 통해 시스템 사고를 이해하는 데 기여하였고 특히 인과 지도를 통해 시스템 사고를 적용하였다. 본 프로그램은 공기소화기를 주제로 학교급에 맞추어 제트 기류, 극소용돌이, 빙봉 등의 과학적 개념과 원리를 적용하였다. 일부 학생들이 인과 고리를 완벽하게 완성하지 못하였지만 면담을 통해 확인한 결과, 대부분의 학생들은 개발된 프로그램을 통해 시스템 사고를 변화를 나타냈다. 이 연구를 통해 개발된 사전 교육 프로그램과 시스템 사고를 적용한 STEAM 프로그램은 과학중점학교 학생들의 시스템 사고력 향상에 기여하고 있으며, 학교 교육에서 시스템 사고의 필요성(Mambrey et al., 2020; Monat & Gannon, 2015; Zangori & Koontz, 2017)에 기여할 수 있는 프로그램이 개발되었다. 또한 학생들과의 면담을 통해 정의적인 측면(예, 동기)에도 기여한다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 STEM/STEAM 교육이 학생들의 동기, 태도 등을 향상시킬 수 있다는 최근의 선행 연구 결과를 뒷받침할 수 있는 결과이다(Akpınar & Yalçın 2021; Dökme et al., 2022; Lane et al., 2022).

둘째, 현직 교사 면담을 통해 과학중점학교에 대한 운영 실태를 확인하고 이해도를 증진하였다. 그동안 과학중점학교에 대해 심층적으로 조사한 질적 연구는 수행이 미비하였으므로(Kwak et al., 2019), 이 연구에서 면담을 포함한 질적 연구 수행 결과는 그 의미를 부여할 수 있고 앞으로 과학중점학교를 대상으로 프로그램 개발에 대한 대표적인 사례를 제시한다. 과학중점학교의 운영 실태에 대해 핵심적인 내용은 다음과 같다. 교육과정 운영에 있어서 STEAM 형 프로그램의 개발이 강조되고 있지만 해당 교육청 차원에서 체계적으로 지원하거나 보급하는 노력이 미비하다. 다른 프로그램과 비교하여 STEAM형 프로그램은 대부분 학교 자체적으로 개발 또는 적용하고 있는데, 주로 체험형 학습의 형태로 운영되는 것을 확인할 수 있었다. 과학중점학교 교사들은 과학중점학교에 적합한 STEAM형 프로그램의 개발 필요성을 인식하고 있었지만, 업무 과중으로 인해 개발에 대한 부담이 느끼고 있었다. 이 연구에서 체계적 과정을 거쳐 검증된 프로그램 제공 시 활용 의향에 대해서는 모든 교사가 긍정적인 반응을 보였으며 이는 선행 연구에서도 동일한 경향이 확인되었다(Byun et al., 2019; Hong, 2021; Kwak et al., 2021; RMSCS, 2021a, 2021c).

셋째, STEAM 형 프로그램의 적용 시 학생들의 오개념에 대해 분석하고 과학적 개념으로 변화하기 위해 학생 면담을 진행하였다. 이때, 면담 과정에서 피드백의 고리를 모든 학생이 완성시킬 수 있도록 하였다. 지

필로 작성된 활동지에서 알 수 없었던 내용을 면담을 통해 알 수 있었다. 예를 들어 지구온난화를 정부의 정책이나 서식지의 변화와 연결하는 등 다양한 답변을 보다 자세하게 확인할 수 있었다. 면담을 통해 모든 학생들은 피드백의 고리를 1개 이상 완성하였다. 사전 교수·학습 활동 프로그램을 통해 시스템 사고에 대해 이해를 시키고 본 프로그램을 적용하였고, 1대 1 개별 면담을 통해 학생들의 시스템 사고의 적용 방법에 대해 맞춤형으로 지도하고 학생들의 개념 이해 정도를 정확하게 파악할 수 있었다. 학생들 수준에서 생소하거나 적용하기 다소 어려운 사고 방법이나 지식에 대해 개별 면담을 통해 효과적으로 학습시키고 학생들의 개념이나 원리의 이해 정도를 명확하게 확인할 수 있었다. 프로그램의 적용에 있어서 개별적인 면담과 같은 과정이나 피드백을 제공하는 단계를 통하여, 학생의 사고력, 추리력, 모형을 통한 현상 이해력을 향상시킬 수 있다는 것을 이 연구를 통해 확인하였다(Jeon et al., 2022; Zangori et al., 2017).

이 연구의 결론에 기초하여 다음과 같이 제언할 수 있다. 첫째, 이 연구에서는 과학중점학교를 위한 선행연구를 조사한 결과 과학중점학교를 위한 프로그램 개발의 필요에 비해 연구 진행이 미비함을 알 수 있었다. 과학에 흥미가 있는 학생들에게 창의적 인재 역량을 높일 수 있는 교육과정을 제공할 수 있는 과학중점학교는 일반계 고등학교의 발전을 위해 프로그램의 개발 및 보급을 지원하고 지속적으로 개선하기 위해 STEAM에 관한 질적 연구가 더 활성화되어야 한다(Mun et al., 2017).

둘째, 이 연구는 과학중점학교 고등학생들의 시스템 사고 능력 변화에 초점을 두고 수행되었다. 적용한 학생들은 도 소재지의 학교를 대상으로 하였으므로, 광역시 소재지나 다른 도 소재지 등 다양한 학교를 대상으로 실시하거나 대상 학년을 다르게 하는 등 학교 단위, 지역 단위의 차이를 확인하고, 그에 따른 교육적 시사점을 도출하는 것을 제안한다.

셋째, 시스템 사고 및 STEAM에 관한 선행 연구들을 분석한 결과, 학생들을 위한 시스템 사고력을 향상시키기 위한 STEAM 형 프로그램의 개발과 적용이 부족하며, 특히 지구과학의 개념과 원리 및 특성을 반영하여 지구과학을 중심으로 개발한 STEAM 프로그램 비율이 낮은 것으로 나타났다(Park et al., 2014). 이에 후속 연구로 설계 기반의 문제해결과정에서 활용 가능한 시스템 사고 기반의 다양한 프로그램을 개발하고, 특히 과학중점학교 학생들을 위해 과학기술에 대한 흥미와 관심을 유발하기 위한 STEAM 프로그램의 개발과 확산에 관한 연구를 제안한다(Krauskopf, 2010; Savasci, 2014).

Acknowledgements

This article is a condensed form of the first author's master's thesis from Kyungpook National University.

References

- Akpınar, D., & Yalçın, S. A. (2021). Exploring the effect of STEM education on the motivations and epistemological beliefs related to science among talented and gifted students. *Open Journal for Educational Research*, 5, 317-332.
- Baek, Y. S., Park, H.-J., Kim, Y., Noh, S. G., Park, J.-Y., Lee, J., Jeong, J.-S., Choi, Y. H., & Han, H. (2011). STEAM Education in Korea. *Korean Association For Learner-Centered Curriculum And Instruction*, 11(4), 149-171.
- Ben-zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005a). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53, 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*, 42, 518-560.
- Byun, Y. K. & Park, K. A. (2019). An Analysis of Research Trends related to Science Core School. *Korean Association For Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 19, 629-649.
- Chae, D. H, Park, H., & Lee, S. (2003). *The Qualitative Approach to Science Education*. Seoul: Bukseu Hil.
- Chiba, Y., Torikai, H., & Ito, A. (2015). Section B Fire and Explosion-Extinguishment Characteristics of a Jet Diffusion Flame with Inert-Gas Vortex Ring. In *Progress in Scale Modeling, Volume II: Selections from the International Symposia on Scale Modeling, ISSM VI (2009) and ISSM VII (2013)* (pp. 115-125). Springer International Publishing.
- Chung, S.-I., Choi, H., Kim, M., & Shin, D. (2021). Elementary and Secondary School Teachers' Polar Literacy. *The Korean Earth Science Society*, 42, 734-751.
- Dökme, İ., Açıksoz, A., & Ünlü, Z. K. (2022). Investigation of STEM fields motivation among female students in science education colleges. *International Journal of STEM Education*, 9, 8.
- Ham, H. (2020). Research trends of STEAM education program. *Korean Association For Learner-Centered Curriculum And Instruction*, 20, 567-586.
- Han, Y., & Yun, H. (2023). A time series analysis on the reproduction of knowledge information in broadcast content using text mining focusing on the case of EBS <knowledge channel e>. *Korean Association for Broadcasting & Telecommunication Studies*, 37, 206-253.
- Hartmann, D. L., Wallace, J. M., Limpasuvan, V., Thompson, D. W., & Holton, J. R. (2000). Can ozone depletion and global warming interact to produce rapid climate change?. *Proceedings of the National Academy of Science*, 97, 1412-1417.
- Hong, O. (2021). A study on the development model and continuous operation plan of science core school in preparation for the introduction of the high school credit system. *Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity*.
- Im, Y. G., & Lee, H. (2014). Development and analysis of effects of writing educational program for improving system thinking ability. *Korean Association For Learner-Centered Curriculum And Instruction*, 14, 407-427.
- Jeon, J., & Lee, H. (2015). The development and application of steam education program based on systems thinking for high school students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 35, 1007-1018.
- Jeon, J., Lee, H., & Lee, H. (2022). Development and application of instrument for level scale of the systems thinking ability about carbon cycle. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 42, 397-415.
- Krauskopf, S. (2010). A life-cycle assessment of biofuels. *Science Teacher*, 77, 35-40.
- Kim, H., & Kim, S. (2023). Survey of current status of STEAM education and perception on future STEAM education. *Brain, Digital, & Learning*, 13, 95-116.
- Kim, J. (2011). A cubic model for STEAM education. *The Korean Journal of Technology Education*, 11, 124-139.
- Kim, M. H., & Kim, B. K. (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, 64-75.
- Kim, S. W., Chung, Y. L., Woo, A. J., & Lee, H. J. (2012). Development of a theoretical model for STEAM education. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 32, 388-403.
- Kim, Y., Jeon, J., Eom, J., & Lee, H.. (2020). Developing systems thinking-based STEAM programs and analyzing its effects on middle school students. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 41, 75-91.

- Kwak, Y., Shin, Y., Kang, H., Lee, S., & Lee, S. (2019). Qualitative inquiry of features of science core schools on students' positive experiences about science. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 39, 525-534.
- Kwon, H., Kim, D., Kim, E., Kim, J., Min, J., Bae, S., ... Ham, H. (2022). Development of convergence education (STEAM) program for high school credit system. *Journal of Science Education*, 46, 93-108.
- Lane, C., Kaya-Capocci, S., Kelly, R., O'Connell, T., & Goos, M. (2022). Fascinating or dull? Female students' attitudes towards STEM subjects and careers. *Frontiers in Education*, 13, 959972.
- Lee, H. (2014). Systems Thinking Scale Development and Validation for High School Students(Unpublished Doctoral Dissertation). Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea.
- Lee, H. Kwon, Y.-J., Oh, H. J., & Lee, H. (2011). Development and application of the educational program to increase high school students' systems thinking skills - Focus on global warming -. *The Korean Earth Science Society*, 32, 784-797.
- 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, 995-1006.
- Lee, Y. S., Oh, Y. B., & Kim, W. K. (2017). Feasibility study of design thinking for systematization of educational building of STEAM -Focused on analysis of a case study of the STEAM teacher's association in 2016-. *The Korean Society Of Design Culture*, 23, 481-495.
- Liangzen, S. J. (2006). *How would You Achieve Your Dream?(8. System Thinking)*. Seoul: Haneon.
- Mambrey, S., Schreiber, N., & Schmiemann, P. (2020). Young students' reasoning about ecosystems: The role of systems thinking, knowledge, conceptions, and representation. *Research in Science Education*. Advance online publication. doi:10.1007/s11165-020-09917-x.
- McNeill, K. L., & Vaughn, M. H. (2012). Urban high school students' critical science agency: Conceptual understandings and environmental actions around climate change. *Research in science education*, 42, 373-399.
- Min, K., Min, J., Hwang, Y., & Kim, S.-W. (2017). Changes in high school students' creative leader competency through STEAM R&E. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 37, 825-833.
- Ministry of Education [MOE]. (2013). *STEAM Education*. Sejong: Ministry of Education.
- Ministry of Education[MOE]. (2015). *General Guideline of the National Curriculum for Elementary and Secondary Education*. Sejong: Ministry of Education.
- Monat, J. P., & Gannon, T. F. (2015). What is systems thinking? A review of selected literature plus recommendations. *American Journal of Systems Science*, 4, 11-26.
- Moon, B. C., & Kim, H. G. (2007). A study on the abilities and characteristics of the systems thinking for pre-service elementary teachers. *Korean System Dynamics Review*, 8, 235-252.
- Moon, B. C., & Sond, J. Y. (2012). The effects of the teaching and learning strategy for systems thinking education in elementary students. *Korean System Dynamics Review*, 13, 81-99.
- Moon, B. C., Woo, J. J., Kyung, J., Koh, Y. K., Youn, S., Kim, H., & Oh, K. (2004). Related conceptions to earth system and applying of systems thinking about carbon cycle of the preservice teachers. *The Korean Earth Science Society*, 25, 684-696.
- 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.

- Park, H., Kim, Y., Noh, S. G., Lee, J., Jeong, J.-S., Choi, Y. H., Han, H., & Yoon, S. B.. (2012). Components of 4C-STEAM education and a checklist for the instructional design. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 12, 533-557.
- Platz, J. (2007) How do you turn STEM into STEAM? add the Arts! Retrieved from <http://www.oaae.net/index.php/en/resources/educator/stem-to-steam>.
- Research Group on the Management of Science Core School [RMSCS]. (2021a). 2020 Finding Best Cases for Science Core School. Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity.
- Research Group on the Management of Science Core School [RMSCS]. (2021b). Management of Science Core School and STEAM Guide. Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity.
- Research Group on the Management of Science Core School [RMSCS]. (2021c). 2020 100 Questions and 100 Answers from Science Core School. Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity.
- Richmond, B. (1993). System thinking: critical thinking skills for the 1990's and beyond. *System Dynamic Review*, 9, 113-134.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *the Technology Teacher*, 68, 20-26.
- Savasci, F. (2014). Carbon goes to.... *Science Activities*, 51, 33-43.
- Senge, P. M. (1996). *The fifth discipline: Fieldbook*. Broadway Business, New York, USA, 212 p.
- Sim, J., Lee, Y., & Kim, H. K. (2015). Understanding STEM, STEAM education, and addressing the issues facing STEAM in the Korean context. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 35, 709-723.
- Sohn, T. W. (1995). Articles: Theoretical backgrounds of learning organization and system thinking. *The Hanyang Journal Of Economic Studies*, 16, 109-131.
- Song, J. Y., Moon, B. C., & Kim, J. (2015). The development and application of the teaching-learning program for systems thinking learning in elementary science classes. *The Korean Society of Earth Science Education*, 8, 318-331.
- Tarnoff, J. (2010). STEM to STEAM—recognizing the value of creative skills in competitiveness debate. Retrieved from http://www.huffingtonpost.com/join-tarnoff/stem-to-steeam-recognizing_b_756519.html
- Tateyama, Y., Oh, C. K., & Kwon, H. S.. (2016). *Outside the Classroom, a Fluttering Environment Story*. Seoul: Smart Junior.
- Uchiyama T., Nakano, M., & Degawa, T. (2015). Numerical Simulation of the Behavior for a Vortex Ring Convecting along the Axis of a Rotating Field. *Fluid Mech Open Acc* 2: 107.
- Uchiyama, T., & Shimada, S. (2016). Numerical simulation of the interactions between a vortex ring and solid particles suspended above a horizontal wall. *Powder Technology*, 301, 966-980.
- Zangori, L., & Koontz, J. A. (2017). Supporting upper-level undergraduate students in building a systems perspective in a botany course. *Journal of Biological Education*, 51, 399-411.
- Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P., & Sadler, T. D. (2017). Student development of model - based reasoning about carbon cycling and climate change in a socio - scientific issues unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 54, 1249-1273

Authors Information

Shin, Hyegyong: Kyungpook National University, Graduate Student, First Author

Eom, Jooyoung: Kyungpook National University, Assistant Professor, Co-author

Lee, Hyonyong: Kyungpook National University & KNU Science Education Research Institute, Professor, Corresponding Author