

중등 과학 영재학생들의 시스템 사고력 향상을 위한 융합인재교육 프로그램의 개발 및 적용

박 병 열

경북대학교

이 효 녕

경북대학교

융합인재교육은 다양한 교과 영역에서 추출된 내용들이 체계적이고 밀접하게 연계되어 있으므로 이러한 체계를 효과적으로 파악할 수 있는 시스템적 사고를 필요로 한다. 이 연구의 목적은 시스템 사고력을 향상시킬 수 있는 융합인재교육 프로그램을 개발하고, 중등 과학영재에게 적용하여 교육적 효과를 탐색하는 데 있다. 융합인재교육과 시스템 사고에 대한 문헌조사를 바탕으로 프로그램 모형을 제작하였고, 모형을 기초로 하여 ‘로켓’을 주제로 한 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램을 개발하였다. 연구의 대상은 광역시 소재 대학 부설 과학영재교육원 소속 중등 과학영재 1학년 100명, 2학년 13명으로 총 113명이다. 수업 처치 전·후의 시스템 사고 능력 검사를 통해 단일집단 사전·사후 대응표본 t -검증 및 서술 문항에 대한 내용 분석을 실시하였다. 그 결과, 학생들은 시스템사고와 관련하여 단어연상, 개념 간 관계형성, 문장의 생성, 인과지도 그리기 능력이 향상되었고, 시스템 사고의 구성요인인 정신모델, 개인숙련, 팀 학습, 시스템 분석, 공유비전의 다섯 가지 항목에 대해 모두 통계적으로 유의미한 향상이 나타났다. 이 연구를 통해 개발된 ‘로켓’을 주제로 한 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램은 학생들의 시스템 사고 능력의 향상에 효과가 있었다. 개발된 프로그램은 일반 학교 현장에서 충분히 적용될 수 있으며, 이를 적극적으로 활용한다면 시스템 사고 능력과 융합적 문제해결능력을 지닌 인재를 육성하는데 기여할 수 있을 것이다.

주제어: 시스템 사고, 과학영재, 융합인재교육, 문제해결과정, 로켓, 프로그램 개발, 프로그램 적용

I. 서 론

1. 연구의 필요성

우리나라의 과학과 교육과정은 학생들의 창의적 문제해결력의 배양을 지속적으로 강조하

교신저자: 이효녕(hlee@knu.ac.kr)

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

고 있다(교육과학기술부, 2009, 2010, 2011; 교육부, 2013). 현대 사회에서 우리가 접하게 되는 문제들은 매우 복잡하며, 구성 요소들 간의 서로 밀접한 연관을 맺고 있는 경우가 많다(김만희, 김범기, 2002). 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 복잡한 시스템적 현상이나 변화, 그리고 그 구성요소들의 관계를 효과적으로 파악할 수 있는 고등사고능력인 시스템 사고의 함양이 요구된다(권용주 외, 2011; 김도훈, 이미숙, 홍영교, 최현아, 2006; 김만희, 김범기, 2002; 문병찬, 김해경, 2007; 문병찬 외, 2004; 이효녕, 권용주, 오희진, 이현동, 2011). 시스템(system)이란 필요한 기능을 실현하기 위하여 관련 요소를 어떤 법칙에 따라 조합한 집합체라 할 수 있으며 조직, 체제, 체계, 계와 같은 용어들과 함께 사용되고 있다. 이처럼 시스템의 구조와 기능은 그 시스템을 이루는 구성요소들이 조합된 법칙에 의해 규정되며, 구성요소들 사이의 상호작용에 의해 시스템의 성격이 결정된다(Bertalanffy, 1968).

시스템 사고(systems thinking skill)는 시스템과 달리 현상을 이해하고 그것을 바탕으로 문제를 해결하기 위한 수단적 사고로 그 안에 포함된 부분들 사이의 순환적·인과적 관계를 포함한 상호 연관을 인식하는데 초점을 두고 있다. 시스템을 구성하는 요소들은 시스템 내에서 각각의 역할을 수행하게 되고, 그에 따른 결과가 다른 구성요소의 역할을 결정하는 역동적인 관계가 이루어짐으로써 시스템은 유지된다. 시스템 내에서 구성요소들이 상호작용하는 과정에는 순환적 요소, 인과적 요소, 시간적 요소, 공간적 요소 등을 포함하며, 하나의 구성요소가 여러 기능을 하거나 다양한 규모로 존재할 수도 있다(권용주 외, 2011; 손태원, 1995; Ben-Zvi Assaraf, Orion, 2005a, 2005b). 이러한 복잡한 시스템의 구조를 효과적으로 이해하기 위해서는 시스템 내에 존재하는 구성요소들 간의 관계를 파악하는 것이 중요하다(이효녕, 김승환, 2009). 즉, 대상의 구성요소를 독립적으로 간주하는 것이 아니라 대상을 구성하는 요소와 요소들의 관계, 그리고 대상과 환경의 관계까지도 아우를 수 있는 거시적인 관점을 필요로 한다.

시스템 사고는 이미 정치학, 사회학, 경제학 등 다양한 학문과 산업에 적용되어 사회적 문제를 해결하는데 사용되고 있고, 교육의 영역에서도 목표의 변화와 함께 시스템 사고 교육의 필요성이 대두되고 있다(김만희, 김범기, 2002; 손태원, 1995; Ben-Zvi Assaraf, Orion, 2005a, 2005b, 2010a, 2010b; Kali, Orion, Eylon, 2003). 특히, 과학교육 영역에서는 시스템과 시스템 사고에 관련된 연구가 많이 진행되고 있다. 미국의 경우를 살펴보면, The Science Curriculum Improvement Study(SCIS) 교육과정을 통해 일찍부터 학생들에게 계를 이루는 부분들 사이에 존재하는 관계의 중요성을 파악하는 능력을 강조하였다(Karplus, Thier, 1969). 이러한 내용은 2013년 발표된 미국의 차세대 과학 기준(NGSS: Next Generation Science Standards)에도 반영되어 있으며, 학문간 교차개념(CCs)이라는 관점을 통해 교과 내에서 뿐만 아니라 서로 다른 교과들 사이에 있을 수 있는 상호작용을 시스템의 관점에서 다루고 있다(NRC, 2013). 김진숙 외(2013)가 수행한 초·중등 교육과정 연계성에 대한 국제비교 연구에 따르면, 싱가포르에서는 과학과 교육과정에서 기본적으로 다루어야 할 다섯 가지 영역 안에 순환, 시스템, 그리고 상호작용을 포함하고 있으며, 핀란드의 과학 교육목표에서도 개인과 환경 간의 상호작용 및 영향에 관한 개념을 중요시 하고 있다. 캐나다의 과학과 교육과

정에서는 여섯 가지 기본 개념 중 하나로 시스템과 상호작용을 제시하고 있으며, 투입과 산출, 계의 구성요소, 그리고 요소들의 관계와 반응을 중요하게 다루고 있다. 이와 같이 국외에서는 시스템과 시스템 사고에 대한 교육을 위해 국가적 차원에서 교육과정에 그 내용을 반영하고 있다.

국내의 시스템과 관련된 선행연구를 살펴보면, 김만희와 김범기(2002)가 현대 과학교육의 패러다임이 이전의 분석적 사고에서 시스템 사고로 전환되고 있으며 이를 적극적으로 도입할 필요성을 강조하였고, 이후 과학 교육의 관점에서 시스템과 관련된 여러 연구들이 진행되어 왔다(권용주 외, 2011; 김동환, 2005; 김윤지, 정진우, 2009; 문병찬, 김해경, 2007; 문병찬 외, 2004; 이효녕, 김승환, 2009; 이효녕 외, 2011; 이효녕 외, 2013). 체계, 권역, 지구 시스템 등이 강조되면서 제 7차 과학과 교육과정에서부터 지구계의 개념이 등장하였고, 2009 개정 교육과정에서는 시스템으로서의 지구계를 생태계, 소화계, 순환계와 관련지어 이해하며, 계의 구성요소와 상호작용 등을 강조하고 있다(교육과학기술부, 2011). 그러나 이러한 내용은 일부 교과에 한정되어 실제 사회에서 접할 수 있는 문제와는 다소 거리가 있으며, 문제를 해결하는 과정에서 사용될 수 있는 시스템 사고 기법에 대해서는 상세하게 다루지 않고 있다. 권용주 외(2011)에 따르면 중·고등학교 생물 교사들은 생태계에 대해 시스템적으로 이해하기 보다는 분석적으로 이해하고 있으며, 시스템 사고에 대한 교육 및 교육 자료의 개발 그리고 시스템 사고 능력의 측정과 개선에 관한 다양한 접근에 대한 연구가 필요함을 강조하였다. 이러한 시스템 사고의 교육적 중요성에 비해 시스템 사고의 교육을 위한 프로그램은 그 다양성과 수의 측면에서 많이 부족한 실정이다. 따라서 실생활과 사회문제를 효과적으로 해결하는데 적용할 수 있는 시스템 사고 교육을 위한 프로그램의 개발이 필요하다.

융합인재교육(STEM: Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics)은 최근 우리나라에서 창의적 인재를 양성하기 위한 교육적 방안으로 등장한 융합교육의 한 유형으로, 1980년대 후반 이후부터 미국에서 강조되어 온 STEM(Science, Technology, Engineering, and Mathematics) 교육에 그 기반을 두고 있다. 융합인재교육은 주입식·암기식 교육에서 벗어나 과학기술에 대한 흥미와 이해를 향상시키고 융합적 사고와 문제해결능력을 배양하기 위해 과학, 기술, 공학, 예술, 수학의 내용(contents)과 과정(process)을 체계적으로 통합하는 교육 방식이다(이효녕, 2011; Sanders, 2009; Yakman, Lee, 2012). 2013년부터 시작된 우리나라의 제3차 과학기술 기본계획에 따르면, 잠재력과 가능성을 보이는 학생들에게 영재교육의 기회를 확대하고, 융합인재교육을 통해 과학적 창의성과 예술적 감성을 갖춘 융·복합 미래인재를 양성하고 활용하는 것을 그 목표로 하고 있다(교육부, 2013; 미래창조과학부, 2013b). 특히, 2013년부터 2017년까지 우리나라의 영재교육의 청사진을 제공하는 제 3차 영재교육종합진흥 계획(서예원 외, 2012)에 따르면 미래사회에 적합한 인재육성을 위해 영재학생들의 다양한 분야에 대한 개방적인 태도와 융합적·종합적·고차원적 사고력을 배양하고, 도전적인 학습활동을 통해 창의성을 증진할 수 있는 교육 프로그램의 요구를 강조하고 있다. 더불어 미래창조과학부는 대학 부설 영재교육원과 같은 영재교육기관에 융합형 교육과정을 도입하여 융합형 프로그램을 확대 개편할 계획을 발표하여 현재 진행되고 있다(미래창조과학부, 2013a). 영재교

육에 있어서 이러한 동향의 핵심은 국가 과학기술분야의 인력 양성을 위해 과학영재교육에 STEAM을 확대 적용한다는 것이다.

과학영재를 대상으로 하는 교육 프로그램의 설계는 과학의 학문적 특성뿐만 아니라 영재라는 학습자의 특수한 성격을 적절히 접목시켰을 때 그 효과를 기대할 수 있다(이희택, 심규철, 김여상, 2008). 과학 영재들을 위한 프로그램은 문제를 중심으로 다루어져야 하며, 문제를 발견하고 그것을 해결하는 과정에서 탐구를 직접 경험할 수 있도록 하는 것이 중요하다(김중순, 2001). 최근 한국교육개발원이나 한국과학창의재단 등의 교육기관을 주축으로 여러 교과 영역과 소재를 바탕으로 영재를 위한 융합인재교육 프로그램들이 개발되고 있으며, 융합인재교육을 위한 다양한 연구가 수행되었다(교육과학기술부, 한국과학창의재단, 2012, 2013; 한국교육개발원, 2012). 이후 지금까지 지역교육청과 현장교사 및 연구원들의 노력으로 수많은 교육 프로그램들이 만들어지고 있으나, 이러한 프로그램들은 융합적 특성을 파악하고 이해하는데 도움이 되는 시스템 사고의 적용이 미흡하고 문제해결을 위한 시스템 사고의 활용은 거의 다루고 있지 않다. 또한 과학 영역 중에서도 지구과학의 소재나 내용을 중심으로 한 프로그램의 수가 상대적으로 부족하여 과학영재에게 지구과학에 대한 흥미와 이해를 높이는 데에는 한계가 있다. 이에 지구과학과 관련된 과학기술을 소재로 한 융합인재교육 프로그램을 개발하여 과학영재에게 지구과학에 대한 관심을 증진시키고, 학생들의 잠재된 창의성을 일깨워 줄 필요가 있다.

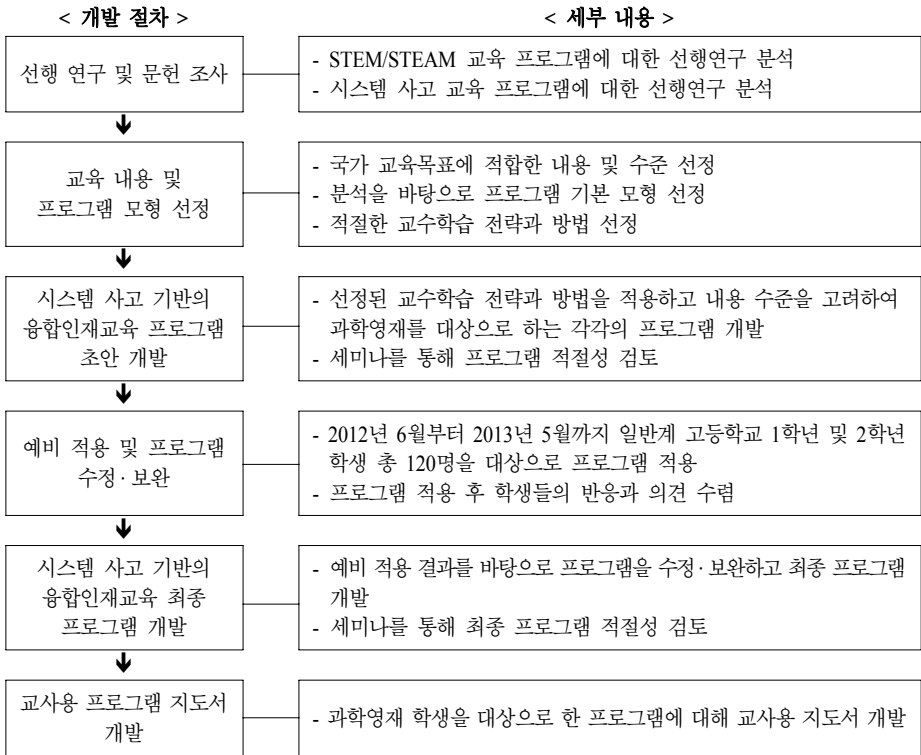
융합인재교육에서는 둘 혹은 그 이상의 교과 영역이 복합적으로 제시되기 때문에 학생들은 이들의 상호 관계를 전체적으로 바라볼 수 있어야 한다. 시스템 사고는 학생들이 문제 상황에 처했을 때 그것을 해결하기 위한 다양한 방법들을 생각하고, 그와 관련된 여러 가지 요인들의 영향을 고려하는 과정에서 효과적으로 적용될 수 있다. 그러한 관점에서 시스템 사고와 융합인재교육의 접목은 최근 우리나라에서 추구하고 있는 교육의 목표인 ‘융합적 사고와 문제해결력의 배양’을 더욱 효과적으로 달성할 수 있도록 하는 대안으로 볼 수 있을 것이다. 따라서 이 연구에서는 시스템 사고를 바탕으로 한 융합인재교육 프로그램을 개발하고 그에 대한 교육적 효과에 대해 알아보고자 하였으며 구체적인 연구문제를 ‘개발된 프로그램이 중등 과학영재 학생들의 시스템 사고 능력의 향상에 영향을 미치는가?’로 설정하였다.

II. 연구 방법 및 절차

연구 방법 및 절차는 프로그램의 개발과 개발된 프로그램의 적용으로 구분하여 기술하였다.

1. 프로그램의 개발

시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램의 개발을 위해 융합인재교육 및 시스템 사고 분야의 전문가인 교수 1명, 박사과정 1명, 석사과정 2명으로 팀을 구성하여 진행하였다. 프로그램의 개발 절차는 다음 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 개발 절차

가. 선행 연구 조사

융합인재교육에 적합한 프로그램을 구성하기 위해 STEM/STEAM 주제의 교수학습 모형에 대한 연구, 프로그램 개발 및 적용에 대한 연구를 국내 학술지와 문헌을 중심으로 조사하였다. 또 시스템 사고의 개념과 방법을 적절히 반영하기 위해 시스템 사고를 적용한 프로그램 개발 및 적용에 대한 연구들을 조사하였다. 교육 대상의 수준을 고려하기 위해 해당 학년의 ‘과학’, ‘기술’, ‘공학’, ‘수학’, 등의 교과에 대한 2009년 개정 교육과정(교육과학기술부, 2011) 분석도 함께 진행하였다.

나. 교육내용 및 프로그램 모형 선정

교육 주제와 방향의 설정을 위해 국가에서 추진하고 있는 교육 목표와 정책에 대한 내용을 상세히 분석하였고, 융합인재교육 및 시스템 사고 분야의 교수 1명, 박사과정 1명, 석사과정 2명이 세미나를 통해 내용과 수준의 적합성을 결정하였다. 그 결과, 2002년 8월부터 시작된 ‘나로호 발사 프로젝트’에 대한 전 국가적인 관심의 증대와 1차 발사(2009년), 2차 발사(2010년)의 실패를 딛고 3차 발사(2013년)에 성공한 사례가 시스템 사고를 적용하기에 적합

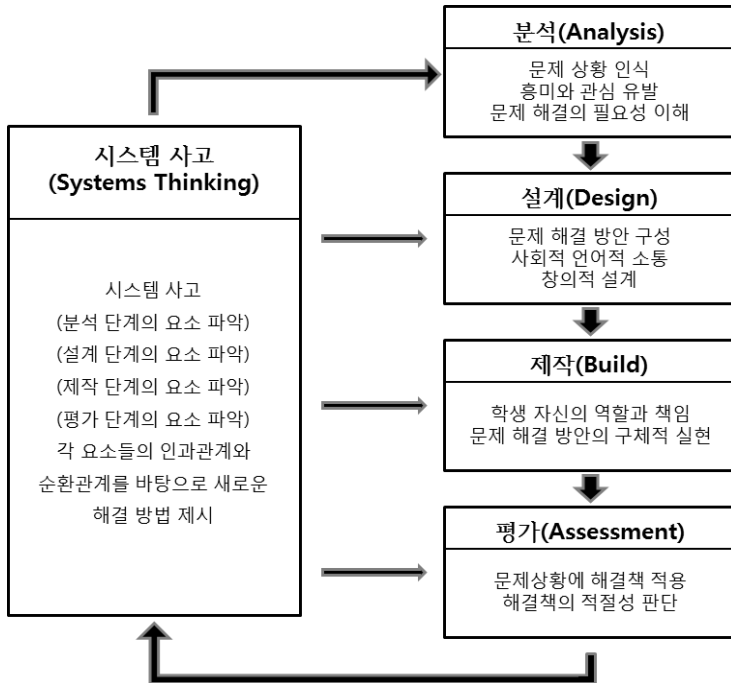
하다는 판단 하에 ‘로켓’을 융합인재교육의 주제로 선정하였다. 우선적으로 프로그램 주제인 ‘로켓’에 관련된 교육과정 내용을 분석하였고, 분석된 교육과정 내용 요소와 교과 영역을 정리하면 <표 1>과 같다.

<표 1> ‘로켓’에 관련된 2009년 개정 교육과정 내용 요소

학교급	과학	수학	기술/공학	인문·예술
초등학교	[3~4학년군] ·물체의 무게 ·물체와 물질	[1~2학년군] ·입체도형의 모양 [3~4학년군] ·다각형 ·시간, 길이, 무게, 각도 측정	[5~6학년군] ·창의적인 제품 만들기 ·일과 직업의 세계	[국어] ·상호 작용과 관계 형성 ·가치와 중요성 ·표현하기와 고쳐 쓰기 ·공감적 듣기와 문제 해결 ·발표와 토론의 이해
	[5~6학년군] ·물체의 빠르기 ·연소와 소화	[5~6학년군] ·원기둥과 원뿔 ·비와 비율		·비판적 듣기와 평가 ·매체의 특성과 글쓰기의 원리 ·정보전달의 표현전략
중학교	·힘과 운동 ·일과 에너지 전환 ·여러 가지 화학 반응 ·외권과 우주개발 ·과학과 인류 문명	·작도 ·다각형의 성질 ·다면체, 회전체의 성질	·문제해결과 발명 ·제조 기술 체험과 문제해결 활동 ·에너지와 동력	
고등학교	[과학] ·태양계의 역학 ·뉴턴의 운동법칙 ·달출속도		[기술·가정] ·창의 공학 설계 ·융합적 문제해결 체험 활동	[사회] ·사회 변화와 우리 생활 ·대한민국의 발전과 오늘의 우리 ·자원의 개발과 이용
	[물리1] ·시간, 공간, 운동 ·힘과 에너지의 이용	[기초 수학] ·수의 연산 ·다항식의 계산 ·피타고라스의 정리 ·삼각비(삼각함수)	[공학 기술] ·창의적 문제해결 능력의 개발 ·융합적 공학 문제해결	[미술] ·주제 표현 ·표현 방법 ·조형 요소와 원리 ·미술과 언어 ·분석과 해석 ·미술과 통합
	[물리2] ·힘과 운동 [화학2] ·물질의 상태 ·반응 속도 [지구과학1] ·우주 탐사			

프로그램의 모형은 교육부에서 제시한 STEAM 교육을 위한 학습준거틀인 ‘상황 제시’, ‘창의적 설계’, ‘성공의 경험’의 세 요소를 반영하여 이효녕 외(2012)가 개발한 과학 탐구와 창의적 설계 기반의 ADBA 모형을 수정한 ADBAS 모형을 적용하였다. 이 모형은 기존의 분석(Analysis) - 설계(Design) - 제작(Build) - 평가(Assessment)의 단계에 시스템 사고(Systems

thinking)의 단계를 추가한 순환적 모형으로, 기존의 분석 - 설계 - 제작 - 평가 과정 동안 시스템 사고를 통해 문제 해결방법을 더욱 견고히 하는 과정을 거치게 된다. 학생들은 시스템 사고를 바탕으로 문제 상황에 영향을 미치는 다양한 요인들에 대해 고려하고, 재설계, 재제작, 그리고 재평가를 통해 시스템 사고의 효과를 체험하게 된다. 프로그램의 개발에 적용된 단계의 전체적인 흐름을 그림으로 나타내면 다음 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 모형

분석 단계는 STEAM 학습준거들의 요소 중 ‘상황 제시’에 해당하며, 학생들이 문제 상황을 인식하고 문제 해결의 필요성을 이해할 수 있도록 하는 단계이다. 이때 학생들이 충분히 흥미와 관심을 가질 수 있도록 주제를 제시하고 실생활이나 현상에 초점을 두고 내용을 구성하여야 한다. 설계 단계는 STEAM 학습준거들의 요소 중 ‘창의적 설계’에 해당하며, 학생들이 문제를 해결하기 위한 방안을 구성하는 단계로 과학, 기술·공학, 수학적 탐구기능과 기술들이 창의적으로 적용될 수 있다. 학생들은 문제 해결 방법을 계획하면서 의사의 표현, 아이디어에 대한 비판, 수용, 협의 등과 같은 과정을 통해 사회적·언어적 소통 능력과 표현 능력을 기를 수 있다(이영은, 2012). 제작 단계에서는 설계한 내용을 반영하여 실제 해결책을 제시하는 단계로 학생들 각자의 역할과 책임이 강조되며, 수공적 기술이나 인과 관계를 통한 판단이 중요하게 적용된다(서보현, 2012; 이영은, 2012). 평가 단계는 학생들이 직접 구

안한 해결책을 문제 상황에 실제로 적용하고 그 결과에 대해 분석함으로써 해결 방법이 문제를 해결하는데 적합한지를 판단하는 단계이다. 학생들은 문제를 해결하기 위해 수행하는 분석, 설계, 제작, 평가의 각 단계에서 문제 해결에 영향을 줄 수 있는 요소들을 분석하고 이러한 요소들을 통제하여 시스템적으로 문제를 해결하는 과정을 거치게 된다. 이러한 시스템 사고의 적용을 통해 학생들은 요소들의 상호작용 관계와 피드백의 결과에 초점을 맞추어 더 높은 수준의 문제해결력에 도달하게 된다(이효녕 외, 2013).

다. 프로그램 초안 개발

모형을 기초로 중등 과학영재를 위한 프로그램 초안을 개발하였다. ‘로켓’을 주제로 창의적 설계를 위한 시스템 사고 기법을 학생들이 활용하도록 구성하였으며, 과학, 기술, 공학, 예술 그리고 수학 영역에 대한 개념과 탐구방법을 적절히 반영하였다. 개발된 프로그램은 총 6차시로 구성되었고, 개발과정 동안 1~2주에 1회 정도의 정기적인 세미나를 통해 내용 구성의 적합성, 타당성 및 활동의 안전에 관해 협의하였다.

라. 예비 적용 및 프로그램 수정·보완

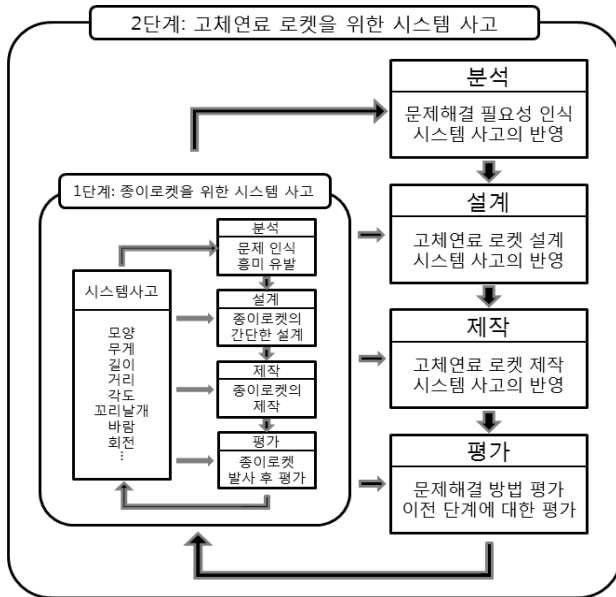
중등 과학영재를 대상으로 프로그램을 적용하기에 앞서, 프로그램의 질적 수준과 견고성을 높이기 위하여 예비 적용을 시행하였다. 일반계 고등학생을 대상으로 총 4회 적용하였으며, 예비 적용 후 학생들의 반응과 의견을 수렴하여 프로그램을 수정·보완하는 과정을 거쳤다. 구체적인 예비 적용 일정은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 프로그램 예비 적용 일정 및 대상

시기	대상	인원	시간
2012년 6월 2일 ~ 6월 16일	일반계고 1~2학년	30명	8시간
2012년 9월 8일 ~ 10월 27일	일반계고 1~2학년	24명	8시간
2013년 4월 13일 ~ 4월 27일	일반계고 1~2학년	40명	8시간
2013년 5월 25일	일반계고 1~2학년	26명	4시간

마. 최종 프로그램 개발

예비 적용 결과와 학생들의 다양한 반응을 반영하여 프로그램을 수정·보완하였으며 그 결과, 로켓을 주제로 시스템 사고 기반의 융합인재교육(STEAM) 프로그램 최종안이 개발되었다. 개발된 프로그램의 구조를 제시하면 다음 [그림 3]과 같다.



[그림 3] 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 구조

개발된 프로그램은 크게 두 단계의 시스템 사고 과정을 포함한다. 학생들은 첫 번째 단계에서는 종이로켓을 주제로 분석 → 설계 → 제작 → 평가 과정을 경험해보고, 시스템 사고를 적용하여 재분석 → 재설계 → 재제작 → 재평가하는 활동을 하게 된다. 이 과정에서 종이로켓이 날아가는데 영향을 미치는 다양한 요인들을 찾고, 종이로켓이 더욱 잘 날아가도록 요인들을 조작하는 방법을 터득하게 된다. 두 번째 단계에서는 고체연료를 추진제로 사용하는 로켓을 만드는 과정으로 첫 번째 단계에서 시스템 사고를 통해 얻은 지식을 활용하게 된다. 이 단계에서도 로켓을 다시 설계하고 제작하는 과정을 거치며, 이전 단계나 과정에서 있었던 경험적 지식들을 시스템적으로 적용하게 된다. 이와 같이 프로그램을 통해 학생들은 문제를 해결하는 과정에서 시스템 사고의 반복적인 활용을 경험할 수 있도록 구조화 하였다.

바. 교사용 지도서 개발

이 연구를 통해 개발된 프로그램을 학교 현장 혹은 학생들을 대상으로 하는 다양한 수업 활동에 활용할 수 있도록 교사용 지도서를 함께 개발하였다. 교사용 지도서에는 프로그램 진행에 필요한 재료 목록, 주의사항, 효과적인 교수 방법 사례, 교사용 참고 내용 등을 포함한다. 이 프로그램에서는 화학 약품을 다루는 활동을 포함하므로, 학생들의 안전에 대한 유의사항을 강조하였다.

2. 개발된 프로그램의 적용

가. 연구 대상

이 연구에서 수행한 프로그램의 적용 대상은 광역시 소재 대학부설 과학영재교육원 소속 융합반 1학년 학생 100명과 지구과학 전문반 2학년 학생 13명으로 총 113명이다. 개발된 프로그램을 융합반 5개 반, 전문반 1개 반을 대상으로 각각 8시간 동안 수업을 진행한 후 단일 집단 사전·사후 검사(대응표본 t -검증)를 실시하였다. 총 113명의 학생 중 해당 수업에 한번이라도 참여하지 않은 학생 및 설문에 불성실하게 응답한 학생들을 제외한 104명(1학년 92명, 2학년 12명)을 분석 대상으로 하였으며, 통계적 분석을 위해 IBM SPSS Statistics ver 21.0을 사용하였다.

나. 검사 도구

연구를 위해 사용된 시스템 사고 능력 검사 도구는 주관식 4문항과 객관식 20문항으로 이루어져 있다. 주관식 문항은 이효녕과 김승환(2009)이 개발한 ‘물 순환’에 대한 시스템 사고 분석지를 수정하여 적용하였다. 첫 번째 문항은 물의 순환과 관련하여 떠오르는 단어를 나열하는 단어연상에 대한 문항으로 학생들이 시스템의 구성요소를 얼마나 파악하고 있는지를 알아보고자 하는 문항이다. 주어진 주제에 대해 연관된 단어를 떠올리는 능력은 시스템을 이루는 구성요소를 파악하는 능력과 관련이 있다. 시스템의 구성요소를 파악하는 것은 시스템 내에서 일어나는 요소들 간의 동적인 관계를 이해하는데 기본적인 요건이다(Bertalanffy, 1968). 학생이 떠올린 단어가 해당 주제의 구성요소가 아니라 다른 시스템의 구성요소인 경우에도 요소간의 관계를 파악하는데 긍정적인 영향을 미칠 수 있다(Kali et al., 2003; Meadows, 2008). 따라서 시스템과 관련된 많은 단어를 떠올릴 수 있다는 것은 더욱 복잡하고 많은 관계를 생각할 수 있는 가능성을 제시한다고 볼 수 있다. 두 번째 문항은 개념들을 자유롭게 나열하고 각 개념들 사이의 관계를 적도록 하는 문항으로 시스템을 구성하는 요소들의 동적인 관계를 다루고 있다. 개념 간의 관계를 형성하는 능력은 시스템을 분석하는 수준에서 시스템을 이해하고 시스템 내의 구성요소들 간의 관계를 파악하는 능력에 해당한다. 이것은 시스템 사고의 3대 요소인(김동환, 2009; 임영구, 2013) 인과적 사고, 시간적 사고, 피드백 사고 중에서 인과적 사고에 영향을 준다. 이 문항을 통해 학생들이 시스템을 구성하는 각각의 요소를 단순히 정적인 것으로 보지 않고 원인과 결과 그리고 그 동적인 과정까지 얼마나 고려할 수 있는지를 알 수 있다.

세 번째 문항은 물의 순환과 관련된 20개의 단어를 제시하고 그 중 두 개 이상을 사용하여 여러 문장을 생성하는 문항으로 시스템 구성요소들 간의 상호작용이 일어나는 과정을 얼마나 파악하고 있는지 알아보는 문항이다. 이 문항이 두 번째 문항과 다른 점은 개념이 제한적으로 제시되어 있으며 문장으로 서술해야 한다는 것이다. 또한 하나의 개념을 반복적으로 사용하여 문장을 만들 수 있다. 개념을 사용하여 문장을 형성하는 것은 개념들 간의 관계를 명확하게 이해하고 있을 때 가능하며, 두 개 이상의 개념을 사용할 때는 보다 고차원적인 사

고를 요구한다. 또한 학생들이 작성한 문장을 통해 시스템 내에서 요소들 간에 일어나는 동적인 관계의 방향성을 올바르게 파악하고 있는지도 알아 볼 수가 있다. 네 번째 문항은 개념과 화살표를 사용하여 원인과 결과에 따른 인과지도를 작성하는 문항으로 시스템의 구성요소, 요소들 간의 관계, 상호작용 관계의 방향성, 순환이 일어나는 과정에 대해 학생들이 얼마나 파악하고 있는지를 알아보기 위한 문항이다. 인과지도는 개념들 사이의 관계, 방향성, 순환성 등을 구조적으로 나타낸 지도로써 학생들이 얼마나 시스템을 잘 이해하고 있는지 쉽게 파악할 수 있다. 복잡한 인과지도는 그 만큼 구성요소의 관계를 많이 표현하고 있으므로 복잡한 사고를 대변하지만, 과학적으로 올바른 관계의 표현을 전제로 한다(Ben-Zvi Assaraf, Orion, 2010a). 선행 연구들(김도훈 외, 2006; 문병찬 외, 2004; 이효녕, 김승환, 2009)에서와 마찬가지로 시스템 사고를 기반으로 한 인과지도를 그리는 능력의 향상은 시스템 사고능력 향상의 결과로 볼 수 있다.

Ben-Zvi Assaraf와 Orion(2005b)은 단어의 연상과 문장의 연결은 시스템에 대한 이해를 측정하는데 활용할 수 있고 인과지도는 구성요소의 관계를 얼마나 파악하고 있는지 측정하는데 적절하다고 하였다. 이 연구에서 다루고 있는 주관식 문항의 경우, 물의 순환에 대해 다루고 있지만 시스템의 특성을 파악하고 시스템 사고의 과정을 평가하는 문항으로 이루어져 있으므로 학생들의 전·후 시스템 사고 능력의 측정에 적절하다고 판단하였다.

객관식 문항은 이효녕 외(2013)가 고등학생을 대상으로 시스템 사고를 측정하기 위해 개발한 것을 사용하였다. 이 도구는 5개의 하위 요인인 ‘정신모델’, ‘개인숙련’, ‘팀 학습’, ‘시스템 분석’, ‘공유비전’으로 구성되어 있다. 정신모델은 개인의 생각이나 관념을 통제하고 주변 환경과의 상호작용을 받아들이는 사고의 틀을 말한다. 개인숙련은 여러 가지 상황에서 습득한 지식이나 능력을 목표의 달성을 위해 활용하는 과정에서 개인이 변화하는 모습을 의미한다. 팀 학습은 집단의 비전을 위해 구성원이 서로 협력하여 효율적으로 목표를 성취해 나가는 상호작용을 말한다. 시스템 분석 요인은 어떠한 변화가 다른 요소와 상호작용을 일으키며 전반적인 시스템의 변화를 가져올 때, 이러한 시스템의 변화를 직관적으로 파악할 수 있는 능력을 의미한다. 마지막으로 공유비전은 개개인의 공유된 비전속에서 형성된 집단의 비전, 그리고 그것을 이끌어내는데 필요한 리더십을 의미한다(이효녕 외, 2013; Meadows, 2008; Senge, 1996). 이 검사지는 5개의 하위 요인별로 4문항 씩 구성되어 총 20문항으로 이루어져 있고, 검사지의 신뢰도(Cronbach's α)는 각 요인별로 정신모델이 .604, 개인숙련이 .647, 팀 학습이 .723, 시스템 분석이 .708, 공유비전이 .614이며 전체 신뢰도는 0.840이다(이효녕 외, 2013).

III. 연구 결과

연구 결과는 프로그램의 개발 결과와 개발된 프로그램의 적용 결과로 구분하여 제시하였으며, 개발된 프로그램의 적용 결과는 ‘단어연상’, ‘개념 간 관계’, ‘문장 생성’, ‘인과지도’의 주관식 문항과 ‘시스템 사고 능력 검사’의 객관식 문항으로 구분하여 제시하였다.

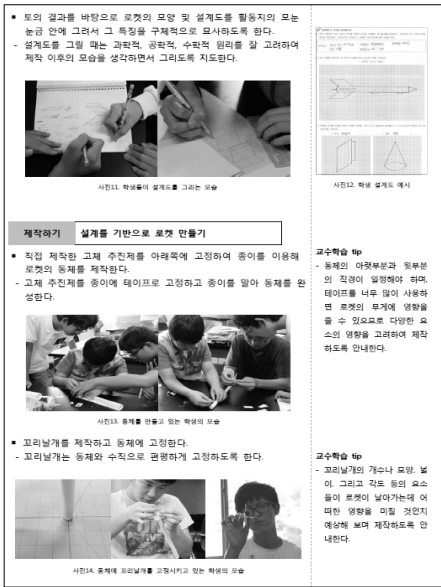
1. 프로그램의 개발 결과

이 연구를 통해 학생들의 시스템 사고력을 향상시키기 위한 융합인재교육 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 고체연료 로켓을 주제로 하고 있으며, 총 6차시 분량의 내용과 활동으로 구성되어 있다.

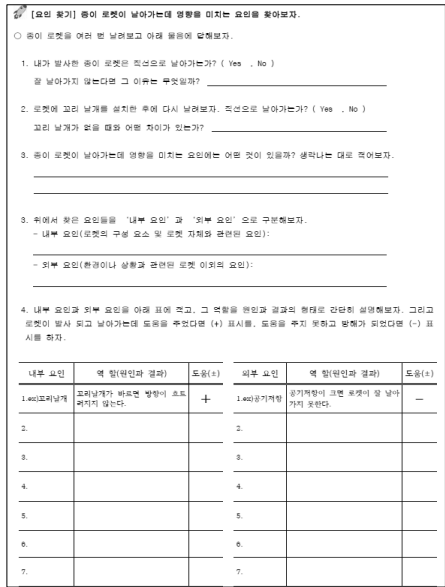
1차시의 주제는 ‘로켓의 역사와 끝든 레코드’로 우리나라에서 발사한 나로호와 관련된 내용을 통해 학생들의 흥미를 유도하고, 로켓에 대한 연구의 필요성을 인식시킨다. 그리고 보이저 우주 탐사선에 탑재된 끝든 레코드의 의미와 로켓의 역사에 대해 다루고 간단한 종이 로켓을 활용한 탐구활동을 한다. 학생들은 각자의 종이로켓을 날려보며 날아가는 모양과 형태를 관찰하면서 로켓이 날아가는데 영향을 미치는 여러 가지 요인들을 생각해보게 된다. 개개인이 만든 종이로켓은 길이, 굵기, 무게, 모양 등이 모두 다르므로 다른 학생의 것과 비교하고 여러 번 날려봄으로써 요인들의 관계까지도 파악하는 경험을 하게 된다. 2차시에서는 1차시에서 만든 종이로켓에 대한 과학적 접근과 시스템 사고를 통해 재설계 과정을 거쳐 문제를 해결하는 경험을 가진다. 학생들은 더욱 잘 날아가는 종이로켓을 만들기 위한 방법으로 나뉜 시스템 사고를 수행하게 되고 다양한 요인들의 인과관계, 순환관계에 대해서도 파악할 수 있다. 예를 들면, 튼튼하게 만들기 위해 접착테이프를 많이 사용할 경우 튼튼하게 만들 수는 있지만 무게가 무거워지는 결과를 초래하고, 곧게 날아가도록 하기 위해 꼬리날개를 크게 만들면 무게중심이 바뀌어버리는 등의 과정을 직접 경험하면서 학생들은 주어진 문제를 해결하기 위해 다양한 요인을 고려해야 한다는 점을 깨닫게 된다. 3차시에서 학생들은 고체 추진연료를 활용한 더욱 고차원의 로켓을 설계·제작하고 쏘아 올려 본다. 이때 1, 2차시에서 습득한 로켓에 대한 과학적 원리들을 적용할 수 있으며, 추진연료를 사용하게 되면서 로켓의 발사하는데 영향을 미치는 요인의 수가 증가하여 더욱 복잡한 시스템 사고를 필요로 한다.

4차시에서는 앞서 경험했던 시스템 사고를 적용하여 고체연료 로켓의 성능과 관련된 시스템적 요인들을 분석한다. 종이로켓을 다시 만드는 과정에서 다루었던 무게, 길이, 꼬리날개의 개수와 면적 등과 같은 로켓자체와 관련된 요인뿐만 아니라 바람이나 발사방향 및 각도 등과 같은 외부의 요인들까지도 고려하여 이전보다 더 잘 날아가는 로켓을 구상할 수 있도록 내용을 구성하였다. 5차시에서는 시스템 사고를 바탕으로 도출된 여러 가지 처방들을 적용하여 문제점들을 보완하고 재설계 과정을 거쳐 로켓을 다시 제작하여 쏘아 올리게 된다. 2차시에서 경험했던 문제해결방법을 반복하여 적용함으로써 학생들이 시스템 사고를 자연스럽게 습득할 수 있도록 하였다. 6차시에서는 설계와 재설계의 과정에서 있었던 문제해결 방법들에 대해 평가하고 다른 학생들과 공유하는 시간을 가진다. 단순히 문제를 해결하는 것에 그치는 것이 아니라 처방에 대한 결과를 되짚어보는 과정을 통해서 학생들은 어떠한 문제해결방법이 효과적이었는지 판단하고 다시 한 번 요인들의 관계를 생각해 볼 수 있다. 나아가 다른 학생들과 문제해결 과정과 결과를 공유함으로써 자신이 생각하지 못한 혹은 적용하지 못한 해결책들의 가능성을 생각해 볼 수 있도록 하였다.

아무리 잘 개발된 프로그램이라도 현장에서 잘 활용될 수 있어야 하며, 교사가 지도하기 어려우면 교육의 목적을 잘 이루어내기가 어렵다. 따라서 개발된 프로그램을 교육 현장에서 학생들에게 효과적으로 적용할 수 있도록 교사용 지도서의 개발도 함께 수행되었다. 교사용 지도서는 크게 9가지 요목으로 구성되도록 하였으며 구체적으로는 1] 단원 개요, 2] 차시 주제 및 내용의 소제목, 3] 수업지도안, 4] 교수학습 활동, 5] 교사용 필수정보, 6] 학생용 읽기 자료, 7] 평가, 8] 참고도서 및 사이트, 9] 학생용 활동지로 구성되어 있다. 교수학습 활동에서는 차시 별 수업의 목표와 진행 단계, 그리고 세부적인 활동과 교수학습 tip에 대한 내용으로 구성되어 있으며, 실제 수업 상황의 예시들을 사진과 함께 다루고 있다. 교사용 지도서의 일부 내용 및 학생용 활동지의 일부를 제시하면 각각 다음 [그림 4] 및 [그림 5]와 같다.



[그림 4] 교사용 지도서 일부



[그림 5] 학생용 활동지 일부

프로그램의 전반에 걸쳐 융합인재교육의 요소가 고루 다루어 질 수 있고, 상호 밀접한 연계성을 가지도록 내용을 구성하기 위해 노력하였다. 또 시스템 사고는 고등사고능력으로 학생들이 아직 많이 접해보지 않은 사고 기법이므로 수업 상황에 학생들이 바로 적용하기에 힘든 부분이 존재한다. 그렇게 때문에 프로그램의 전체적인 흐름을 통해 시스템 사고를 반복적으로 적용해 볼 수 있도록 내용을 구성하였다. 개발된 프로그램의 차시별 주제 와 내용을 정리하면 <표 3>과 같다.

<표 3> 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 차시별 주제 및 내용

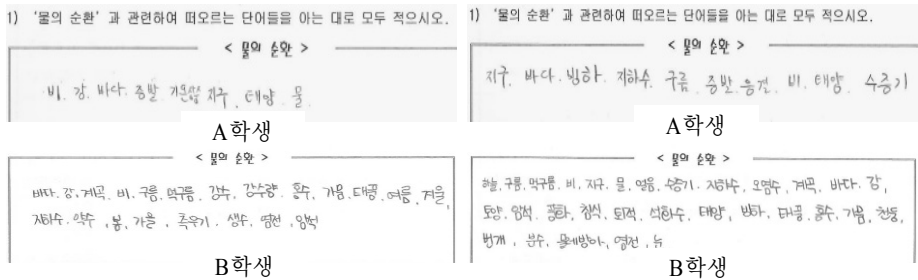
차시	주제 및 내용
1차시	<p><로켓의 역사와 골든 레코드></p> <ul style="list-style-type: none"> - 나로호 발사의 감동을 느껴보자 - 모집 안내문을 보고 ‘로켓 개발 드림팀’을 구성하자 - ‘골든 레코드’의 의미와 용도에 대해 알아보자 - 로켓 역사 카드를 통해 로켓의 역사를 분석하고 골든 레코드를 구성하자 - 종이로켓을 만들어보자 - 종이로켓이 날아가는데 영향을 미치는 요인을 찾아보자
2차시	<p><종이로켓의 시스템과 뉴턴의 운동법칙></p> <ul style="list-style-type: none"> - 종이로켓의 요인을 바탕으로 인과지도를 그려보자 - 로켓을 중심으로 시스템 사고하기 - 보다 더 잘 날아갈 수 있는 종이로켓을 만들어보자 - 뉴턴의 운동법칙에 대해 탐구해보자 - 뉴턴의 운동법칙을 우주로켓에 적용해보자
3차시	<p><로켓 만들고 발사하기></p> <ul style="list-style-type: none"> - 고체 추진제를 만들어보자 - 로켓을 설계해보자 - 지금까지 설계한 로켓을 직접 만들어보자 - 로켓이 어떤 특징을 가지고 있는지 다른 친구들에게 설명하고 쏘아 올려보자 - 쏘아올린 로켓을 평가해보자 - 좋은 로켓, 효율적인 로켓은 어떤 로켓일까?
4차시	<p><효율적인 로켓을 만들기 위한 시스템 사고></p> <ul style="list-style-type: none"> - ‘효율적인 로켓’을 정의해보자 - 로켓을 구성하는 요소들의 역할을 파악해보자 - 외부요인들의 영향을 파악해보자 - 인과지도를 그려보자 - 시스템 사고를 통해 로켓을 수정·보완해보자
5차시	<p><로켓 다시 만들고 발사하기></p> <ul style="list-style-type: none"> - 로켓을 다시 설계해보자 - 지금까지 설계한 로켓을 다시 만들어보자 - 명료한 평가를 위한 기준을 설정해보자 - ‘고도 측정기’를 만들어보자 - 로켓이 어떤 특징을 가지고 있는지 다른 친구들에게 설명하고 쏘아 올려보자 - 쏘아올린 로켓을 평가해보자
6차시	<p><성공요인 분석과 기사화하기></p> <ul style="list-style-type: none"> - 기자회견을 개최하고, 질문 및 응답을 예상해보자 - 각 ‘로켓 개발 드림팀’은 대중들 앞에서 기자회견을 열자 - 기자회견 결과를 바탕으로 뉴스 보도를 위한 기사를 작성해보자

2. 개발된 프로그램의 적용 결과

가. 단어연상

단어연상에 있어서는 33명의 학생들이 사전에 비해 사후에 연상한 단어의 개수가 증가하

였는데, 사전의 평균 단어 개수가 11.8개였던 것에 비해 사후에는 15.4개로 약 30.5%가 증가하였다. 증가한 단어의 개수가 많은 경우는 10개가 증가한 학생도 있었다. 사전과 사후에 두 학생(A, B)이 작성한 응답의 예[그림 6]를 보면, A학생의 경우, 사전에는 ‘비’, ‘강’, ‘바다’, ‘증발’, ‘기온상승’, ‘지구’, ‘태양’, ‘물’의 8개의 단어를 기술하였으나, 사후에는 ‘지구’, ‘바다’, ‘빙하’, ‘지하수’, ‘구름’, ‘증발’, ‘응결’, ‘비’, ‘태양’, ‘수증기’의 10개의 단어를 기술하여 증가된 모습을 보였다. B학생의 경우에는 사전에 21개로 기술한 단어의 수가 사후에는 30개로 9개가 증가하였다. 학생들은 사전 검사에서 물의 순환과 관련하여 주로 수권과 기권에 대한 단어들을 많이 연상하였으나 사후에는 그 밖의 생물권, 지권, 외권과 관련된 다양한 단어들을 추가로 기술하는 경우가 있었다. 이와 같이 학생들이 사전에 비해 사후에 더 많은 양의 단어를 생각할 수 있다는 것은 시스템의 요소를 그만큼 더 잘 파악하고 있다고 볼 수 있다.

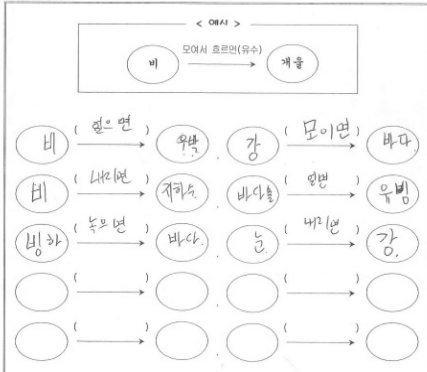


[그림 6] 단어연상 문항에 대한 두 학생(A, B)의 사전(좌)과 사후(우) 응답

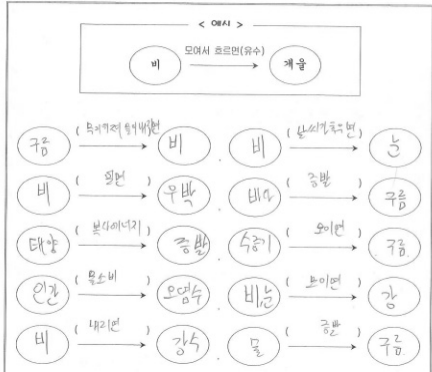
나. 개념 간 관계

개념 간 관계에 대한 문항에서는 37명의 학생이 긍정적인 향상을 보였으며, 사전 검사에서 기술된 개수가 평균 7.1개였던 것이 사후에는 평균 9.1개로 약 36%가 증가하였다. 단어연상과 마찬가지로 사후에 지구계의 각 권역이 비교적 균형적으로 제시되었고, 관계의 서술에 있어서도 조금 더 구체적이고 다양한 용어와 조건을 추가적으로 사용하는 경향이 있었다. 결과에 따르면 사후에 학생들이 지구계의 다른 하위시스템 요소들 사이에서 관계를 형성하는 사례가 증가하였는데, 이는 시스템의 복잡한 관계까지도 생각할 수 있는 능력이 증가했다고 볼 수 있다. 요소들 간의 관계를 형성하는 능력이 시스템 사고에 중요한 영향을 미친다는 선행연구들(손태원, 1995; Ben-Zvi Assaraf, Orion, 2005a, 2005b, 2010a; Kali et al., 2003)로 미루어 볼 때, 이러한 결과는 시스템 사고의 요소인 인과적 사고의 폭이 확장된 사례라고 할 수 있다. 예를 들어, [그림 7]은 한 학생의 개념 간 관계 문항에 대한 응답으로 사전에는 8개의 개념을 사용하여 6개의 관계를 형성하고 있으며, 그 개념들은 모두 수권을 구성하는 요소이다. 그러나 사후 검사에서는 21개의 개념을 사용하여 10개의 관계를 형성하고 있다. 특징적으로 ‘태양’, ‘복사에너지’, ‘인간’, ‘물 소비’와 같은 수권 이외의 구성요소와 과정에 대해 기술하고 있는 것을 확인할 수 있다.

- 2) '물의 순환' 과 관련하여 1번에서 떠올린 단어들을 다음 예와 같이 두 개념 사이의 관계를 통하여 연결하시오.



- 2) '물의 순환' 과 관련하여 1번에서 떠올린 단어들을 다음 예와 같이 두 개념 사이의 관계를 통하여 연결하시오.



[그림 7] 개념 간 관계 문항에 대한 한 학생의 사전(좌)과 사후(우) 응답

다. 문장 생성

문장을 생성하는 세 번째 문항에서는 29명의 학생이 긍정적인 향상을 보였다. 학생들이 서술한 문장의 개수는 사전에 평균 4.1개이던 것이 사후에는 5.9개로 약 43.9%가 증가하였다. 그 내용상의 특징으로는 사전에는 문장의 형식이 단순하고, 제시된 단어 중에서 한 문장에 사용되는 단어의 수가 적으며, 문장 내에 관계의 수도 적다. 또한 한번 사용한 단어는 반복적으로 사용하지 않는 경향이 있었고, 지구계의 다른 하위시스템 간의 관계에 대한 서술이 많지 않다. 그러나 사후 검사에서는 문장의 길이가 비교적 길고, 문장의 형식이 상대적으로 복잡하며, 한 문장 내에서도 여러 개의 관계를 포함하는 경우를 볼 수 있었다. [그림 8]은 문장 생성 문항에 대한 한 학생의 예로 사전에 비해 사후에서 개념들의 관계에 대해 좀 더 시스템적으로 사고하고 있음을 알 수 있다.

- 3) 아래에 제시된 단어들은 '물의 순환' 과 관련된 것이다. 이 중 적당한 단어를 두개 이상을 사용하여 한 문장으로 만들어 보시오. 이 때, 하나의 단어를 2회 이상 사용할 수 있습니다.

< 예시 >

① 지구 ② 인간 ③ 동물 ④ 바다 ⑤ 빙하 ⑥ 별 ⑦ 토양 ⑧ 암석
 ⑨ 지하수 ⑩ 구름 ⑪ 증발 ⑫ 응결 ⑬ 비 ⑭ 태양 ⑮ 오염수 ⑯ 물소비
 ⑰ 우물 ⑱ 강수 ⑲ 물결 ⑳ 수증기

< 예시 >

① 지구 ② 인간 ③ 동물 ④ 바다 ⑤ 빙하 ⑥ 별 ⑦ 토양 ⑧ 암석
 ⑨ 지하수 ⑩ 구름 ⑪ 증발 ⑫ 응결 ⑬ 비 ⑭ 태양 ⑮ 오염수 ⑯ 물소비
 ⑰ 우물 ⑱ 강수 ⑲ 물결 ⑳ 수증기

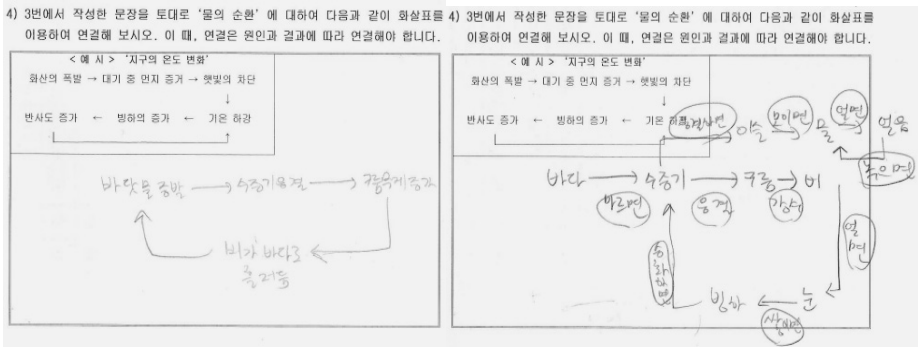
예시 : 비가 내리자 지하면 스며들면 지하수가 된다.
 지구에는 인간들이 살고 그 인간들 물음에 순한다.
 비가 내리자 토양 밑으로 스며들기 위하여 강수가 된다.
 인간 활동으로 인해 물소비가 늘어나서 오염수도 많아졌다.
 태양의 열을 흡수시켜 하늘에서 응결되면 구름이 된다.

예시 : 비가 내리자 지하로 스며들면 지하수가 된다.
 지구에는 인간이 살아있고 인간은 물이 없으면 안되고, 물소비를
 증가시키며 물음에도 큰 영향을 미치고 있다.
 구름은 물이 응결하여 수증기가 되고 그 수증기들이 응결하면 생수된다.
 인간들은 지하에 있는 지하수를 사들여 위해 구름을 만들었다.
 태양으로 비가 스며들면 강수가 된다.
 비가 내기 내린 물은 B 대서 증발되거나 하천에서 다시 안다.
 구름이 무거워져서 물이 되어서 내리는 것이 비이다

[그림 8] 문장 생성 문항에 대한 한 학생의 사전(좌)과 사후(우) 응답

라. 인과지도

인과지도 문항에서는 총 24명의 학생이 긍정적인 향상을 보였다. 인과지도에 대한 분석은 사용된 개념의 수, 사용된 순환 고리의 수, 인과관계의 적합성, 지구계의 각 권역에 해당하는 다양한 개념의 사용 등을 기준으로 수행하였다. 사전 검사에서 학생들은 평균 7.6개의 개념을 사용하여 단선적인 인과관계를 주로 다루었으며, 개념 간의 인과관계를 구체적으로 제시하는 경우가 드물게 나타났다. 그러나 사후 검사에서는 평균 11.7개의 개념을 사용하였고 관계는 20개 이상의 개념을 사용하여 다양한 인과관계를 표현하였다. 또한 학생들은 하나의 개념에 대해서 다른 권역에 미치는 영향까지 고려하는 모습을 보였고, 그 관계를 사전에 비해 구체적으로 제시하였다. 예를 들면, [그림 9]는 인과지도 문항에 대한 한 학생의 응답으로 사전 검사에서 ‘바다’, ‘비’, ‘바닷물’, ‘수증기’, ‘구름’의 5개의 개념과 ‘홀리튬’, ‘증발’, ‘응결’, ‘무게증가’의 4개의 과정을 이용하여 하나의 순환 고리를 기술하고 있다. 그러나 사후 검사에서는 ‘바다’, ‘비’, ‘수증기’, ‘구름’이외에 ‘눈’, ‘이슬’, ‘얼음’, ‘물’, ‘빙하’와 같은 개념을 추가로 사용하였고, ‘증발’, ‘응결’이외에 ‘승화하면’, ‘모이면’, ‘쌓이면’, ‘녹으면’, ‘얼면’ 등의 과정을 사용하여 두 개의 순환 고리를 기술하고 있다. 인과지도는 시스템 사고를 반영하고 있으므로 이것은 학생의 시스템 사고 능력이 증가하였음을 볼 수 있다.



[그림 9] 인과지도 문항에 대한 학생의 사전(좌)과 사후(우) 응답

마. 시스템 사고 능력 검사

시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램 수업에 참여한 학생의 시스템 사고 측정을 위한 객관식 문항의 사전·사후 검사를 분석한 결과는 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> 시스템 사고 능력 사전·사후 검사 대응표본 t-검증 결과

구분	N	구분	평균(M)	표준편차(SD)	t	p
정신모델	104	사전	3.76	.74	-2.35	.020*
		사후	4.01	.80		
개인숙련	104	사전	4.25	.59	-2.49	.013*
		사후	4.46	.65		
팀 학습	104	사전	4.17	.73	-2.22	.028*
		사후	4.38	.68		
시스템 분석	104	사전	4.06	.71	-2.93	.004**
		사후	4.34	.69		
공유비전	104	사전	4.19	.60	-2.72	.007**
		사후	4.42	.61		

* $p < .05$, ** $p < .01$

시스템 사고의 각 하위 요인에 대해 정신모델은 사전 검사 평균이 3.76, 표준편차가 .74이고 사후 검사에서 평균이 4.01, 표준편차는 .80으로 평균의 차이는 0.25로 나타났다. 정신모델은 개인이 외부의 환경과 상호작용하면서 형성되는 사고의 틀로서 경험을 통해 역동적으로 변화할 수 있다(Senge, 1996). 학생들은 프로그램에 통해 하나의 개념이나 주제에 대해 다양한 관련 요소들을 생각해 보는 활동을 하고, 그러한 요소들이 서로에게 미치는 영향을 고려하는 경험을 하였다. 이러한 경험은 그러한 사고를 스스로에게 적용해 볼 수 있는 기회를 주고 일상생활 속에서 자신과 관련된 여러 가지 것들에 대해 생각해보도록 한다는 점에서 긍정적인 효과를 가져왔다고 볼 수 있다.

개인숙련에 있어서는 사전 검사의 평균이 4.25로 나타났고 표준편차는 .59이며 사후 검사에서의 평균은 4.46, 표준편차는 .65로 평균의 차이가 0.21로 나타났다. 시스템은 어떤 형태로든 목표를 지향하는 특성이 있다. 이 목표를 달성하기 위해 개인은 스스로 내적·외적인 동기를 부여하고 노력을 기울이게 된다. 방법에 대한 선택과 시도, 그리고 결과에 대한 판단을 통해 피드백 사고를 하게 되고 이것은 학생의 시스템 사고에 중요한 기여를 한다(Meadows, 2008). 프로그램 내에서 로켓을 쏘아 올리기 위한 목표를 달성하기 위해 학생이 스스로를 통제하고 동기를 부여하는 활동들이 이러한 개인숙련의 향상에 큰 도움이 되었다고 할 수 있다.

팀 학습 요인에서는 사전 검사에서의 평균이 4.17, 표준편차가 .73이고 사후 검사의 평균은 4.38, 표준편차는 .68으로 평균의 차이는 0.21이었다. 조직에는 반드시 공동의 목표가 있고 공동의 목표를 달성하기 위해서는 개개인의 스스로에 대한 노력뿐만 아니라 전체를 위한 노력도 중요하다(Meadows, 2008; Senge, 1996). 개발된 프로그램은 4명이 각자 전문가의 역할(분석전문가, 설계전문가, 제작전문가, 발사전문가)로 나뉘어져서 한 팀을 이루어 진행되는 조별 활동으로 구성원들이 화합하여 서로의 능력을 최대한 발휘할 수 있도록 하는 것이 중요하게 작용한다. 각자 역할을 부여하여 책임을 맡은 상태에서 문제 상황을 해결하도록 한 결과가 팀 학습의 향상에 긍정적으로 작용한 것으로 보인다.

시스템 분석은 사전 검사에서 평균이 4.06, 표준편차가 .71이고 사후 검사에서는 평균이 4.34, 표준편차가 .69로 사전과 사후의 평균 차이는 0.28로 나타났다. 시스템 분석은 시스템을 구성하는 요소들의 복합적인 상호 관계를 파악하는 능력으로 로켓을 만든 후 로켓이 날아가는데 영향을 미치는 요인들을 다양하게 분석하는 활동을 통해 향상될 수 있었다. 다른 하위요인들 보다 신뢰수준이 가장 높게 나온 것은 요인을 분석하고 영향을 고려하는 활동을 반복적으로 여러 번 수행했기 때문에 그에 대한 결과로 신뢰수준이 다소 높게 나온 것으로 보인다.

공유비전은 사전 검사에서 평균 4.19, 표준편차 .60으로 나타났고 사후 검사에서는 평균이 4.42, 표준편차는 .61로 사후에서의 평균이 0.23만큼 높게 나타났다. 공유비전은 조직에서 리더의 역할에 부합하는 요인으로 공동의 비전을 제시하고 대화와 협력을 통해 구성원들의 동기를 이끌어 내는 능력이다. 과제집착력이 높은 영재의 특성으로 인해 프로그램을 진행할수록 학생들은 로켓을 잘 쏘아 올리고자 하는 의욕이 상승하였고, 그 의욕이 공유비전의 향상에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 결과적으로 정신모델과 개인숙련, 그리고 팀 학습에 있어서는 95%의 신뢰 수준, 시스템 분석과 공유비전에서는 99%의 신뢰 수준을 보이고 있다. 즉, 모든 요인에서 평균의 차이에 대해 95%의 수준에서 통계적으로 유의미한 차이를 보이고 있으며, 이러한 통계적 분석 결과로 볼 때, 시스템 사고의 모든 하위 요인에서 프로그램의 효과를 확인할 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

개발된 프로그램의 주제는 고체연료 로켓이며, 선행 연구들과 현행 국가교육과정(교육과학기술부, 2011)을 바탕으로 융합인재교육의 융합적 요소를 추출·반영하여 구성하였다. 내용의 흐름은 ‘상황 제시 → 창의적 설계 → 성공의 경험’의 체계(교육부, 2013)를 따르고 있으며, 창의적 설계를 중심으로 한 ‘분석(Analysis) - 설계(Design) - 제작(Build) - 평가(Assessment)’의 모형(이효녕 외, 2012)에 시스템 사고(Systems thinking) 과정을 결합하여 학생들이 반복적으로 시스템 사고를 경험할 수 있도록 두 단계로 내용을 구성하였다. 융합인재교육은 그 특성상 주제나 내용 간의 연계성의 측면에서 관련 교과와의 유기적이고 자연스러운 내용 연결이 매우 중요하다(교육부, 2013; 이효녕 외, 2012). 개발된 프로그램은 시스템 사고를 적용하여 교과 내용 간의 유기적인 연결뿐만 아니라 사고의 확장을 통한 문제해결과정에 긍정적인 영향을 미친다는 점에서 그 의의가 있다. 로켓은 현대는 물론, 미래를 위한 우주개발의 일환으로 많은 국가에서 막대한 투자를 통해 성장하고 있는 산업이다. 우리나라에서도 나로호 발사를 시작으로 우주산업 육성과 미래 인재의 양성을 위해 로켓을 주제로 개발한 프로그램은 중요한 시사점을 도출할 수 있다.

연구를 통해 개발된 시스템 사고 기반의 융합인재교육 프로그램은 학생들의 시스템 사고 향상에 통계적으로 유의미한 효과가 있었다. 프로그램 적용 전·후에 대한 검사 분석 결과, 학생들은 프로그램을 경험한 이후에 주어진 주제에 대해 지구계의 다양한 권역에 속하는 보

다 많은 수의 단어를 연상할 수 있었고, 해당 개념들 사이의 관계를 더욱 잘 파악하는 모습을 보였다. 개발된 프로그램에 참여한 학생들 중 적어도 한 가지 이상의 문항에서 향상을 보인 학생이 총 104명 중에서 70명이었고, 두 가지 이상의 문항에서 향상을 보인 학생은 그 중 40명이었다. 많은 수의 단어를 연상한다는 것은 시스템을 구성하는 요소들을 보다 잘 파악하고 있다고 볼 수 있으며, 개념들 사이의 많은 관계를 생각할 수 있다는 것은 시스템 내의 구성요소들이 어떻게 상호작용하는지 더욱 잘 알고 있다는 것을 말해준다. 이러한 결과는 같은 형태의 문항을 사용하여 시스템 사고능력을 측정한 선행연구들(권용주 외, 2011; 문병찬 외 2004; 이효녕, 김승환, 2009; 이효녕 외 2011; 임영구, 2013)로 볼 때, 학생들의 시스템 사고가 향상되었음을 나타낸다. 그리고 주어진 단어를 사용하여 문장을 생성하고, 단어들 사이의 관계를 복합적으로 생각할 수 있는 능력이 향상되었다. 뿐만 아니라, 원인과 결과에 따른 인과지도를 그리는 과정에서 하나의 개념에 대해 다각적인 시각에서 여러 가지 상황을 고려하고 복합적으로 사고하는 능력을 가지게 되었다. 문장을 생성하고 인과지도를 그리는 것은 시스템에 대한 분석을 바탕으로 구조화하고 조직화 하는 능력이 요구된다. 이러한 결과는 고차원적인 사고능력의 함양을 위한 프로그램이 효과를 가질 때 학생들은 개별적으로 존재하는 개념들이 연결되어 순환하는 시스템 사고가 향상된다는 Ben-Zvi Assaraf and Orion(2005a, 2005b, 2010a, 2010b)과 Kali et al.(2003)의 연구 결과와도 일치한다.

객관식 문항의 분석 결과를 정리하면 정신모델과 개인숙련, 팀 학습에 있어서는 95% 유의 수준에서, 그리고 시스템 분석과 공유비전에 있어서는 99%의 수준에서 그 능력의 향상을 보이고 있다. 학생들은 초기에 시스템 자체에 대해서는 그 개념을 어느 정도 알고 있었으나, 시스템 사고나 혹은 시스템 사고 과정에 대해서는 학습 경험이 거의 없었다. 그러나 학생들은 이 프로그램을 통해 문제를 해결하는 과정에서 여러 가지 요인들의 복합적인 영향을 반복적으로 생각하면서 대상을 시스템적으로 바라볼 수 있는 능력이 향상된 것으로 보인다. 실제로 어떤 학생들은 문제와 관련성이 매우 낮은 요소의 영향까지 고려하는 모습을 보였고, 이러한 사례는 시스템 사고에 있어서 그 폭과 깊이가 심화되었다는 것을 말해준다. 학생들의 높은 시스템 사고 능력은 STEAM 교육의 핵심적인 능력인 융합적 사고에 직접적으로 영향을 미칠 수 있으며(권용주 외, 2011; 문병찬 외 2004), 그로 인해 다각적인 시각에서 문제를 바라보고 다양한 문제해결방법을 고안할 수 있게 된다(Senge, 1996). 이러한 결과는 고등 학생을 대상으로 시스템 사고 향상을 위해 교육프로그램을 적용한 이효녕 외(2011)의 연구에서 학생들의 시스템 사고가 향상되었다는 것과 일치하는 결과를 보여준다. 또한 시스템 사고의 교육을 통해 학생들의 사고의 폭과 깊이가 확장될 수 있다는 김도훈 외(2006)의 연구 결과와도 같은 결론을 내릴 수 있다.

이 연구에 기초하여 다음과 같이 제언할 수 있다. 첫째, 이 연구에서는 프로그램 개발을 위해 시스템 사고 및 융합인재교육을 위한 선행연구들을 분석하였다. 그 결과, 학생들을 위한 시스템 사고에 대한 교육 프로그램이 매우 부족한 실정이며, 과학 또는 지구과학 영역을 중심으로 한 융합인재교육 프로그램 비율이 낮은 것으로 나타났다. 이에 따라 문제해결과정에 활용 가능한 시스템 사고를 기반으로 한 다양한 프로그램의 개발이 필요하며, 과학기술

에 대한 학생들의 흥미와 관심을 유발하기 위해 과학 및 지구과학을 중심으로 한 융합인재교육 프로그램의 개발이 요구된다. 둘째, 이 연구는 중등 과학영재를 대상으로 개발된 프로그램의 효과를 검증하였다. 개발된 프로그램의 효과를 좀 더 명확하게 하기 위해서는 다양한 학습자를 대상으로 적용해 볼 필요가 있다. 따라서 학습자의 특성을 반영한 다양한 수준의 프로그램을 추가 개발하여 학교 급 및 학생수준에 따른 효과에 대한 연구를 통해 프로그램의 효과를 일반화 할 필요가 있다. 셋째, 이 연구를 통해 시스템 사고를 적용한 융합인재교육 프로그램을 개발하였다. 지금까지는 융합인재교육과 시스템 사고가 결합된 프로그램은 거의 없는 실정이다. 시스템 사고는 문제해결과정에서 피드백 관계를 통해 최선의 해결책을 찾아가는 방법의 일환으로 이를 통해 학생들은 문제해결능력을 향상시킬 수 있다. 융합적 사고와 창의적 문제해결력을 기르기 위해 이러한 시스템 사고를 기반으로 하는 융합인재교육 프로그램 개발에 대한 연구가 다양한 영역에서 꾸준히 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 권용주, 김원정, 이효녕, 변정호, 이일선 (2011). 생태계에 대한 생물교사의 시스템 사고 분석. **한국생물교육학회지**, 39(4), 529-543.
- 교육과학기술부 (2009). **2010년도 교육과학기술부 업무 보고: 교육과학기술 선진화로 세계 일류국가 도약**. 교육과학기술부. 2009.12.22.
- 교육과학기술부 (2010). **2011년도 교육과학기술부 업무 보고: 창의인재와 선진과학기술로 여는 미래 대한민국**. 교육과학기술부. 2010.12.17.
- 교육과학기술부 (2011). **2009개정 교육과정 해설**. 서울: 교육과학기술부.
- 교육과학기술부, 한국과학창의재단 (2012). **2012 융합인재교육 STEAM 학술대회 자료집**. 서울: 교육과학기술부.
- 교육과학기술부, 한국과학창의재단 (2013). **2013 융합인재교육 STEAM 학술대회 자료집**. 서울: 교육과학기술부.
- 교육부 (2013). **STEAM으로 꿈과 끼를 키우다: STEAM 교육 현황 및 정책방향**. 교육부 STEAM 정책 자료.
- 김도훈, 이미숙, 홍영교, 최현아 (2006). 청소년의 시스템 사고 교육을 통한 창의성의 기반이 되는 사고의 확장 효과 분석. **한국시스템다이나믹스연구**, 7(1), 51-65.
- 김동환 (2005). 시스템사고의 적용에 관한 내면적 성찰: 점진적 시스템 사고의 모색. **정부학연구**, 11(2), 63-85.
- 김만희, 김범기 (2002). 현대 과학교육의 동향과 시스템사고 패러다임의 비교 연구. **한국과학교육학회지**, 22(1), 64-75.
- 김윤지, 정진우 (2009). 지구계 교육과 소재로서 순환에 대한 이해. **한국과학교육학회지**, 29(8), 951-962.
- 김중순 (2001). 프로젝트 활동이 초등학교 학생의 문제해결력 및 창의성에 미치는 효과. **영**

재교육연구, 11(2), 1-21.

김진숙, 박순경, 최정순, 이효녕, 송지윤, 박영미 (2013). **초·중등학교 교육과정 연계성에 대한 국제비교**. 서울: 한국교육과정평가원.

문병찬, 김해경 (2007). 예비초등교사들의 시스템사고 능력 및 특성에 대한 연구. **한국시스템다이내믹스연구**, 8(2), 235-252.

문병찬, 정진우, 경제복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호 (2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스템의 관련개념과 시스템 사고의 적용. **한국지구과학회지**, 25(8), 684-696.

미래창조과학부 (2013a). **27개 대학부설 영재교육원, 융합인재 양성에 나선다**. 미래창조과학부. 2013.5.23.

미래창조과학부 (2013b). **제3차 과학기술기본계획('13~'17)**. 서울: 미래창조과학부.

서보현 (2012). **창의적 설계와 과학탐구과정 기반의 STEM 교육 프로그램 개발 및 적용**. 경북대학교 석사학위논문.

서예원, 이재분, 유경재, 정영옥, 박지은, 이경숙, 채현정, 신민, 김수겸, 강운정, 이균호 (2012). **제3차 영재교육진흥종합계획 수립 연구**. 서울: 한국교육개발원.

손태원 (1995). 학습조직과 시스템 사고의 이론적 배경. **경제연구**, 16(2), 109-131.

이영은 (2012). **창의적 설계와 과학 탐구 기반의 융합인재교육 프로그램이 중학생의 흥미, 자기효능감 및 진로 선택에 미치는 효과**. 경북대학교 석사학위논문.

이효녕 (2011). STEAM 교육 시행을 위한 미국의 STEM 교육 고찰. **과학창의**, 161(2), 8-11.

이효녕, 권용주, 오희진, 이현동 (2011). 고등학생들의 시스템 사고 향상을 위한 교육프로그램 개발 및 적용: 지구온난화를 중심으로. **한국지구과학회지**, 32(7), 784-797.

이효녕, 권혁수, 김미랑, 김용기, 남정철, 박경숙, 박병열, 서보현, 손동일, 오영재, 오희진, 이성수, 이영은, 전재돈, 정현일, 조현준, 한인기 (2012). **과학탐구와 창의적 설계 기반의 STEM/STEAM 교육의 이해와 적용: 융합인재교육의 현장 적용을 위한 I-STEAM 교육 프로그램**. 서울: 북스힐.

이효녕, 권혁수, 박경숙, 이현동 (2013). 고등학생들의 시스템 사고 측정을 위한 측정 도구 개발과 타당화. **한국과학교육학회지**, 33(5), 995-1006.

이효녕, 김승환 (2009). 과학 영재 학생들의 사고양식에 따른 지구시스템에 대한 인지 특성. **과학교육연구지**, 33(1), 12-30.

이희택, 심규철, 김여상 (2008). 고등학교 과학영재를 위한 지구과학 영역 해파 실험모듈 개발 및 활용. **영재교육연구**, 18(1), 139-165.

임영구 (2013). **시스템 사고력 향상을 위한 글쓰기 교육 프로그램의 개발 및 효과 분석**. 경북대학교 박사학위논문.

한국교육개발원 (2012). **영재를 위한 융합인재교육(STEAM) 프로그램**. 서울: 한국교육개발원.

Bertalanffy, L. (1968). *General system theory*. NY: George Braziller.

- 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*, 42(5), 518-560.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010a). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010b). 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.
- 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.
- Karplus, R., & Thier, H. (1969). *A new look at elementary school science; science curriculum improvement study*. Chicago: Rand McNally.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems*. Washington, DC: Chelsea green.
- National Research Council[NRC] (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *Technology Teacher*, 68(4), 20-26.
- Senge, P. M. (1996). *The fifth discipline: Fieldbook*. New York: Broadway Business.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the U.S. as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 32(6), 1072-1086.

= Abstract =

Development and Application of Systems Thinking-based STEAM Education Program to Improve Secondary Science Gifted and Talented Students' Systems Thinking Skill

Byung-Yeol Park

Kyungpook National University

Hyonyong Lee

Kyungpook National University

In STEAM education, contents that has been extracted from a variety of areas, so it can work closely and systematically. Therefore STEAM education requires systems thinking that can be grasped effectively these different disciplines. The purposes of this study are to develop a STEAM program based on systems thinking, and apply the program to the secondary science gifted student in order to investigate the educational effect. A model of the Program developed from previous research and theoretical contents of systems thinking and STEAM. A draft of the STEAM program was developed on the theme of "rocket". A total of 113 students was participated in this study. 100 seventh and 13 eighth graders were enrolled at seigy. A single group pre-post test paired t-test was conducted on them in systems thinking skills. Result of applying the program to the students as follows. The systems thinking ability was improved after the application of the program. 'Mental Model', 'Personal Skill', 'Team Learning', and 'System Analysis', 'Shared Vision' emerged for both improved significantly. In conclusion, the STEAM program based on system thinking improves students' systems thinking skills. This program of results can be helpful in cultivate human resources with the problem solving ability based on system thinking and STEAM literacy by used in public education curriculum.

Key Words: Systems thinking, Science gifted, STEAM education, Problem solving process, Rocket, Program development, Program application

1차 원고접수: 2014년 4월 11일
수정원고접수: 2014년 6월 24일
최종게재결정: 2014년 6월 24일