



SCAMPER 활용 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램 개발 및 적용*

이세연¹, 이진향², 한정혜³

〈〈 요약 〉〉

미래 사회에서는 다양한 교과와 지식과 기술을 통합하여 문제를 해결할 수 있는 융합 역량의 중요성이 강조되고 있으며, 초등에서는 로봇을 활용하여 설계, 제작, 프로그래밍을 통합한 창의적 융합교육이 이루어지고 있다. 그러나 로봇 활용 교육은 수업 운영 시간의 한계로 로봇 프로그래밍 활동에 중점을 두어, 학습자가 대상의 특징을 탐색하고 이를 로봇의 외형과 기능으로 직접 설계하는 창작 활동은 제한적이다. 이에 본 연구에서는 실과, 미술, 과학, 정보(창의적 체험활동) 교과 시간을 연계하여 운영할 수 있도록, SCAMPER 기법을 적용한 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램을 개발하였다. 실험수업 결과, 전체 학생의 컴퓨팅 사고력과 자기효능감은 모두 통계적으로 유의하게 향상되었다. 성별 집단 내 사전·사후 변화를 분석한 결과, 컴퓨팅 사고력과 자기효능감 모두 남녀 학생에서 평균 점수가 증가하는 경향을 보였으며, 통계적 유의성은 남학생의 컴퓨팅 사고력과 여학생의 자기효능감에서 각각 확인되었다. 또한 인터뷰 및 수업 소감문 분석 결과, 학생들은 생체모방 기반 종이 로봇 설계와 프로그래밍 활동을 긍정적으로 인식하였으며, 창의적 설계를 경험하고 학습에 몰입한 것으로 나타났다. 본 연구는 SCAMPER를 활용한 생체 모방 기반 종이 로봇 제작 활동을 초등학교 실과, 미술, 과학 및 정보(창의적 체험활동) 교과 시간과 연결하여 구성함으로써, 수업 운영 시간의 한계를 극복하는 사례를 제시하였다는 점에서 의의가 있다.

주제어 : SCAMPER, 생체 모방, 종이 로봇, 융합교육, 컴퓨팅 사고력, 자기효능감

* 이 논문은 2025학년도 청주교육대학교 대학발전연구과제연구비(CJE2025D009)에 의하여 연구된 것임.

1. 새롬초등학교 교사, asalily1@gmail.com (주저자)

2. 한국교원대학교부설월곡초등학교 교사, sinchi@cberi.go.kr (공동저자)

3. 청주교육대학교 교수, hanjh@cje.ac.kr (교신저자)

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

미래사회는 복합적인 문제를 다양한 지식과 기술을 융합하여 해결할 수 있는 역량을 요구하고 있으며, 학교 교육에서도 교과 간 지식과 기술을 통합하여 실제 문제를 해결하는 융합교육의 중요성이 강조되고 있다. 이에 교육부와 한국과학창의재단(2024)은 「제3차 융합교육(STEAM) 종합계획」을 통해 2022 개정 교육과정의 교과 간 연계와 통합을 반영한 STEAM 교육을 활성화하고, 단순한 교과 연계를 넘어 핵심 교과 역량을 유기적으로 융합하여 문제해결 과정을 경험하는 프로젝트형 수업을 확대하고자 하였다. 이러한 교육적 흐름 속에서 로봇은 설계, 제작, 프로그래밍 활동을 통해 실과와 창의적 체험활동의 정보 영역 등 다양한 교과·영역의 지식과 기술을 실제 문제 해결 과정에 적용할 수 있는 교육 매체로서 활용되고 있다.

선행 연구에서는 햄스터 로봇, 레고 마인드스톰 등 다양한 로봇 교구를 활용하여 SW교육, 곤충 모방, 문제해결 등 여러 주제의 교육 프로그램을 개발·적용하였다(노지예, 2017; 문외식, 유승한, 2010; 허정은, 2024). 그러나 정규 수업 운영상 완성된 로봇을 활용한 프로그래밍 활동에 중점을 두는 경우가 많고, 학습자가 대상의 특징을 로봇의 외형에 반영하여 스스로 구상하고 설계하는 창작 경험은 상대적으로 제한적이었다. 또한 대부분 실과 교과를 중심으로 창의적 체험활동의 정보 교과를 부분적으로 연결하는 형태로 이루어져, 다른 교과를 연계하고 통합한 융합교육 프로그램은 상대적으로 부족하였다.

본 연구에서의 융합교육은 실과, 과학, 미술, 정보(창의적 체험활동) 교과의 지식과 기능을 기존 교육과정에 단순히 병렬적으로 제시하는 것이 아니라, 학년 내에서 반딧불이의 생태를 탐구하고 이를 종이 로봇으로 설계·제작한 뒤 프로그래밍으로 구현하는 일련의 문제 해결 과정을 중심으로 각 교과의 학습 요소를 유기적으로 연결하는 것을 의미한다. 즉, 학습자가 생태적 특성에 대한 이해(과학), 종이 로봇의 설계·제작(미술·실과), 프로그래밍 구현(정보·실과)을 통합적으로 경험하면서 하나의 산출물을 완성하도록 프로그램을 설계하였다.

손경진과 한정혜(2018)는 로봇의 외형을 종이 도안으로 확장하는 활동을 포함한 교육프로그램이 일반적인 로봇 활용 교육프로그램보다 창의적 문제해결력과 로봇에 대한 태도 향상에 효과적임을 보고하였다. 이는 로봇의 외형을 직접 제작하는 창작 활동이 로봇 활용 교육의 교육적 효과를 높일 가능성을 시사한다. 그러나 해당 연구는 정해진 도안을 사용한 외형 확장으로, 학습자가 대상의 특징을 탐색하여 외형을 스스로 설계하는 과정이 충분히 반영되지 못하였다.

따라서 학습자가 대상을 다양한 관점에서 탐색하고, 이를 창의적인 설계 아이디어로 구체화할 수 있도록 지원하는 창의적 발상 기법이 필요하다. SCAMPER는 기존 사물 및 아이디어를 다양한 관점에서 분석하고 이를 새로운 아이디어로 확장하도록 돕는 기법으로, 초등교육의 다양한 교과에서 적용되어 학습자의 창의적 문제해결력과 논리적 사고 등의 향상에 긍정적인 효과가 보고되었다(이준호, 2018; 염정의, 2025). 이에 본 연구에서는 학습자가 반딧불이의 생태적 특성을 탐색하고 그 특징을 로봇의 외형을 종이로 설계·제작하고 기능을 프로그래밍하는 과정을 통해, 다양한 교과의 지식과 기술을 통합적으로 활용할 수 있도록 SCAMPER를 활용한 융합교육 프로그램을 개발·적용하고 그 효과를 분석하고자 하였다.

2. 연구의 방법 및 내용

본 연구는 초등학교 5학년 학생을 대상으로 SCAMPER를 적용한 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램을 개발·적용하고 그 효과를 분석하는 것을 목적으로 하였다. 수업 운영은 실과, 과학, 미술, 정보(창체) 교과의 지식과 기술을 통합적으로 활용할 수 있도록 차시를 설계하였다.

연구 문제는 다음과 같다.

첫째, SCAMPER를 활용한 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램은 초등학생의 컴퓨팅 사고력과 자기효능감 향상에 효과가 있는가?

둘째, SCAMPER를 활용한 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램의 효과는 성별에 따라 차이가 있는가?

셋째, 여러 교과 시간을 연결하여 운영한 SCAMPER를 활용한 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램에 대해 학생과 교사는 어떠한 인식과 반응을 보이는가?

프로그램의 효과를 검증하기 위해 컴퓨팅 사고력과 자기효능감에 대한 사전·사후 검사를 실시하였으며, 학생 및 담임 교사 면담과 수업 소감문을 수집하여 양적 분석 결과를 보완하였다. 이를 통해 SCAMPER를 적용한 종이 로봇 융합교육 프로그램의 교육적 효과를 확인하고, 초등 수업 운영에서 로봇, 프로그래밍, 예술, 생물 등의 융합교육의 가능성을 탐색하고자 하였다.

3. 연구의 제한점

본 연구는 초등학교 5학년 1개 학급 16명을 대상으로 단일집단 사전·사후 설계를 적용하여 2주간 총 8차시에 걸쳐 수행되었다. 이에 따라 프로그램의 효과를 다른 교육적 경험이나 학생의

자연스러운 성장과 완전히 구분하여 해석하는 데 한계가 있으며, 연구 대상과 적용 기간이 제한적이므로 연구 결과를 일반화하는 데 한계가 있다.

II. 이론적 배경

1. SCAMPER

SCAMPER는 Osborn(1953)의 브레인스토밍 체크리스트를 Eberle(1972)가 7가지 약어로 체계화한 창의적 사고 기법으로, 대체하기(Substitute), 결합하기(Combine), 적응하기(Adapt), 수정·확대·축소하기(Modify·Magnify·Minify), 다른 용도로 활용하기(Put to other uses), 제거하기(Eliminate), 재배열·역발상하기(Rearrange·Reverse)로 구성된다. SCAMPER 기법은 기존의 사물이나 아이디어를 다양한 관점에서 바라보며 창의적인 사고를 유도하여 새로운 아이디어를 생성하도록 돕는 대표적인 발상 기법으로 활용되고 있다. 특히 정답이 정해져 있지 않은 문제 상황에서 다양한 해결 방안을 탐색할 수 있도록 지원하며, 학습 목적과 상황에 따라 필요한 요소를 선택적으로 적용할 수 있다는 장점을 가진다.

초등학생을 대상으로 SCAMPER를 적용한 연구는 실과, 사회, 체육, 미술 등 다양한 교과에서 이루어져 왔으며, 창의적 사고력과 문제해결력 등의 향상에 긍정적인 효과를 보고하고 있다. 주요 선행 연구는 <표 1>과 같다.

김진선(2014)은 쓰레기 문제와 같은 환경 문제를 인식하고, 이를 해결하기 위해 물건의 재료를 분해가 용이한 물질로 대체하거나 쓰레기를 연료로 사용하는 방안 등을 모색하는 수업을 진행해 창의적 문제 해결력의 유의미한 향상을 확인했다. 강은지(2016)는 동·식물의 움직임, 나의 감정, 전래동화 속 인물을 한국무용 동작으로 표현하는 과정에서 SCAMPER 기법을 적용해 창의성 발달 교육에서의 활용 가치를 관찰했다. 이준호(2018)는 명령 블록의 중복을 하나의 언어 블록으로 결합하고, 스프라이트의 좌표 크기를 수정하는 등 SCAMPER 기법을 활용한 알고리즘 오류 해결이 논리적 사고력 신장에 긍정적인 효과가 있음을 확인했다. 김영이(2017)는 SCAMPER를 활용하여 의자, 전등갓 등의 생활제품을 디자인하고 모형을 제작하는 실과와 미술 교과를 연계한 융합교육 프로그램을 개발·적용하여 발명 태도 및 흥미의 유의미한 향상을 확인하였으며, 다양한 교과를 연계한 통합적 발명교육 프로그램의 필요성을 제시하였다. 염정의(2025)는 가정 속 의식주 물건의 장단점을 분석하고, 불편함을 개선하기 위한 아이디어 도출

과정에 SCAMPER 기법을 적용하여 발명 태도와 창의적 문제해결력이 통계적으로 유의하게 향상되었음을 검증하였다.

〈표 1〉 초등학생 대상 SCAMPER 적용 교과별 주요 연구

교과	주제	SCAMPER 요소							대상	논문
		S	C	A	M	P	E	R		
사회	환경오염 문제 해결 방안 모색	○	○		○	○			초6	김진선(2014)
체육	한국무용 동작의 창의적 표현과 전래동화 재구성	○	○	○	○	○	○	○	초1~2	강은지(2016)
미술, 실과	생활제품 디자인 개선 및 제작	○	○	○	○	○	○	○	초6	김영이(2017)
실과	블록코딩에서 발생한 알고리즘 오류 해결	○	○	○	○		○	○	초4	이준호(2018)
실과	생활 속 불편 해결 발명품 아이디어 스케치	○	○	○	○	○	○	○	초6	염정의(2025)

이러한 선행 연구는 초등교육에서 SCAMPER가 다양한 단일 교과에서 창의적 사고와 문제 해결을 지원하는 전략으로 활용될 수 있음을 보여준다. 그러나 대부분 하나의 교과 내에서 SCAMPER를 적용하는 데 그치고 있으며, 생체모방 기반 로봇 설계와 같이 대상의 특징을 분석하고 이를 외형과 기능까지 구현하는 융합교육 프로그램 적용 연구는 수업 운영상의 문제 때문에 상대적으로 부족하다. 따라서 수업 운영의 시간적 제한을 극복하기 위하여 다양한 교과를 통합하여 융합교육으로 운영할 수 있는 SCAMPER의 교육적 활용 가능성을 탐색할 필요성이 있다. 이 연구에서는 생체모방 기반 로봇 창작 활동을 실과(로봇), 과학(생물), 미술, 정보(창의적 체험활동)의 교육을 연결하여 융합할 수 있는 교육 프로그램을 개발하고자 한다.

2. 메이커 교육

메이커 교육은 학습자가 다양한 도구, 기술, 재료 등을 활용하여 창의적인 결과물을 만드는 학습자 중심 교육이다(Halverson & Sheridan, 2014). 초등교육에서의 메이커 교육 모형별 주요 관련 연구는 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 초등학생 대상 메이커 교육 모형별 주요 관련 연구

교육모형	교과	주제	대상	논문
TMI	과학	동화 오디오북	초4	김혜란, 최선영(2022)
	창체	열쇠고리, 이름표, 캐릭터 도장 만들기		문세은(2024)
TMSI	창체	에너지 절약 제품 제작	초6	성혜경, 문성환(2022)
	진로	놀잇감 제작	초4	박용숙, 장현진(2022)
	과학	동물 모방 클레이 로봇 제작·촬영하여 VR 전시관 만들기	초3	김혜란, 최선영(2023)
	교과 융합	재활용품 활용한 골드버그 놀이동산	초6	정정은(2023)
	국어	마음 세탁기 만들기		김지민(2024)
	교과 융합	엔트리 인공지능 활용 기후변화 대응 프로젝트 구현		윤주혁, 김경태(2026)
OMCSI	창체	레고블록을 조립·코딩하여 개구리 로봇 제작	초2	권순환, 박정호(2021)

※TMI: Thinking-Making-Improving

※TMSI: Tinkering-Making-Sharing-Improving

※OMCSI: Observing-Making-Coding-Sharing-Improving

선행 연구를 살펴보면 메이커 교육 모형으로는 Martinez & Stager(2013)의 TMI와 메이커 교육에서 산출물의 공유와 피드백이 학습의 핵심 요소임을 반영한 TMSI(황중원 외, 2016)가 가장 널리 활용되고 있다. 권순환과 박정호(2021)는 초등학생의 발달 특성을 고려하여 Tinkering 단계를 Observing(관찰) 단계로 대체하고 Coding(코딩) 단계를 추가하여 ‘관찰하기-만들기-코딩하기-공유하기-개선하기’로 이루어진 OMCSI 모형을 제안하였다. OMCSI 모형은 ‘관찰하기’ 단계에서 대상의 특징을 탐색하여 아이디어를 도출하고, ‘만들기’와 ‘코딩하기’ 단계를 거쳐 이를 피지컬 컴퓨팅으로 구현한 후, ‘공유하기’와 ‘개선하기’ 단계를 통해 결과물을 발전시키는 과정으로 구성된다.

이와 같이 초등교육에서 메이커 교육은 교육 목적과 학습 내용에 따라 적절한 모형을 선택하여 이루어져 왔다. 제작 중심의 학습 주제에서는 TMI 모형이 주로 활용되었으며(김혜란, 최선영, 2022; 문세은, 2024), 산출물의 공유와 피드백을 강조하는 프로젝트 기반 학습에서는 TMSI 모형이 적용되었다(김지민, 2024; 김혜란, 최선영, 2023; 박용숙, 장현진, 2022; 성혜경, 문성환, 2022; 윤주혁, 김경태, 2026; 정정은, 2023). 또한 권순환과 박정호(2021)는 생물의 특징을 관찰하여 이를 WeDo 로봇으로 제작하고 움직임을 구현하는 초등 메이커교육 프로그램을 개발하기 위해 관찰과 코딩 단계를 포함한 OMCSI 모형을 제안하였다. 이는 생물의 특징을 로봇으로 구현하는 교육 프로그램에서는 산출물의 외형을 제작하는 과정과 제작한 산출물의 기능 및 움직

임을 코딩으로 구현하는 과정이 서로 다른 학습 활동으로 이루어지므로, 기존의 Making 단계를 Making과 Coding 단계로 세분화한 것으로 해석된다. 이러한 OMCSI 모형은 생물의 특징을 관찰하고 이를 로봇으로 구현하는 교육 프로그램의 설계에 활용될 수 있다.

3. 로봇 활용 교육

한정혜와 조미현(2009)은 교육용 로봇을 교구로봇, 변신로봇, 교육 서비스로봇으로 구분하였으며 이 중 창작활동을 포함한 교구로봇은 학습 목적에 따라 기능 중심형과 회통 중심형으로 분류하였다. 기능중심형은 로봇 제작과 프로그래밍 기술 교육을 목적으로 하는 로봇이며, 회통 중심형은 로봇 창작 활동을 통해 다양한 교과의 회통적 교육활동에 활용되는 로봇이다. 이 기준에 따라 관련 선행 연구를 보면 햄스터 로봇과 같이 프로그래밍 학습에 중점을 둔 기능중심형과 레고 마인드스톰과 같은 창작 조립형 로봇을 활용하여 다양한 교육영역과 융합된 창의적 활동을 하는 회통중심형으로 구분될 수 있다. Park & Kim(2011)은 학습자가 직접 로봇을 창작하고 다른 학습자와 공유하는 창작로봇(UCR; User Created Robot)의 개념을 제시하였고, 김진오와 한정혜(2011)는 사용자가 창의적으로 제작한다는 의미를 강조하기 위해 창작로봇이라는 용어를 사용하였다.

그러나 초등 수업에서는 레고 마인드스톰과 같이 창작과 프로그래밍을 동시에 할 수 있는 회통중심형은 로봇 부품 등 교구재 관리가 어렵고 창작 활동에 많은 시간이 필요하므로 수업을 운영할 충분한 시수 확보가 필요하다. 따라서 대부분 수업 운영의 편리함에 의해 창작 조립없이 프로그래밍 활동만을 할 수 있는 햄스터와 같은 기능중심형 로봇 활용 수업이 이루어지고 있다. 그리고 일부 연구에서는 타 교과와 연계한 소규모 활동을 함께 구성하여 회통중심형과 기능중심형의 특성을 동시에 포함하는 융합(회통) 연구들이 있다. 이에 초등학교 대상 교구로봇 활용 관련 연구를 기능중심형(프로그래밍 중심), 회통중심형(교과 융합), 기능+회통중심형으로 구분하여 <표 3>과 같이 정리하였다.

기능중심형 연구는 햄스터 로봇과 같은 교구를 활용한 프로그래밍 학습을 통해 컴퓨팅 사고력, 창의성, 몰입 등의 향상을 목표로 하였으나 로봇의 외형을 직접 제작하거나 다양한 교과와 연계하는 융합교육으로 확장하는 데에는 한계가 있었다(노지예, 2017). 기능+회통중심형 연구는 햄스터 로봇에 종이, 자석 등의 재료를 결합하여 로봇의 외형을 확장하고, 이를 과학이나 미술 등 타 교과와 연계하여 프로그래밍 학습과 교과 융합교육을 함께 추구하였다(김학민, 2020; 손경진, 한정혜, 2018; 황정 외, 2020). 회통중심형 연구는 레고 마인드스톰이나 조립형

로봇을 활용하여 학습자가 로봇의 외형과 기능을 설계·제작하고 이를 다양한 교과와 문제 해결 활동과 연계함으로써 창의적 문제해결력, 기술적 문제 해결 성향, 로봇에 대한 태도 등을 향상시키고자 하였다(공복주, 2015; 김성애, 2019; 문외식, 유승한, 2010; 한규정·강신조, 2025; 허정은, 2024). 그러나 회통중심형 연구에 활용되는 조립형 로봇은 비용 부담, 부품 관리에 따른 수업 운영 측면에서 초등교육 현장에 확대 적용되는 데에는 한계가 있다.

〈표 3〉 초등학생 대상 교구로봇 활용 교육 관련 연구

	학습 주제·내용	사용교구	분석 요소	교과	논문
기능 중심형	SW교육	햄스터 로봇	컴퓨팅사고력, 창의성, 몰입	실과	노지예 (2017)
기능 + 회통	내러티브-종이아트기 반 SW교육	햄스터 로봇 + 종이	창의적 문제해결력, 로봇에 대한 태도	실과, 미술	손경진, 한정혜 (2018)
	생활 속 과학 원리 (트램)	햄스터 로봇 + 자석	컴퓨팅사고력	실과, 과학	김학민 (2020)
	미래 도시형 스마트 시티 구축	햄스터 로봇 + 종이	교수학습안 개발 및 적용 가능성 검증	실과, 미술	황정 외 (2020)
회통 (통섭) 중심형	곤충 모방 로봇	레고 마인드 스톰	로봇 제작, 프로그램 흥미, 토의 능력	실과, 과학	문외식, 유승한 (2010)
	멸종위기 동물 보호 인공지능 로봇	레고 스파이크 프라임	창의적 문제해결력	실과, 과학, 국어	한규정, 강신조 (2025)
	나만의 동물 로봇, 놀이공원 꾸미기	조립형 로봇	창의적 문제해결력	실과, 창체	공복주 (2015)
	우리 지역 문제 해결		창의적 문제해결력	실과	허정은 (2024)
	생체 모방 로봇		기술적 문제 해결 성향, 로봇에 대한 태도	실과, 과학	김성애 (2019)

Yang & Do(2025)은 창작로봇을 활용하는 경우 플라스틱 기반 로봇 키트의 높은 비용과 폐기물 문제를 지적하고, 낮은 비용과 손쉬운 창작 활동을 고려할 필요가 있음에 따라 종이와 같은 친숙한 재료와 과학시간에 사용하는 자석을 활용하여 로봇의 외형을 확장했다. 손경진과 한정혜(2018)는 햄스터 로봇에 동물 종이 도안을 결합한 내러티브-종이아트 기반 SW 교육 프로그램을 개발하여 창의적 문제해결력과 로봇에 대한 태도 향상에 긍정적인 효과를 확인하였다. 김학민(2020)은 햄스터 로봇에 자석을 결합해 트램을 만들고 노선을 따라 운행되도록 프로그래밍하는 교육 프로그램을 개발하여 컴퓨팅 사고력의 유의미한 향상을 확인하였다. 황정 외(2020)는 햄스터 로봇에 종이 도안을 결합한 저가형 로봇 키트 기반 교수학습안을 제시했다. 이와 같이

종이, 자석 등 친숙한 재료를 활용하여 로봇의 외형을 확장함으로써 로봇 교육의 접근성을 높이고 창작 활동의 가능성을 제시하였다는 의의가 있다. 그러나 미리 제공된 도안이나 정해진 제작 방식을 활용하였기 때문에 학습자가 자신의 아이디어를 반영하여 로봇의 외형을 직접 설계하는 창작 활동에는 한계가 있었다.

III. 연구 방법

1. 연구 대상 및 기간

초등학교 5~6학년 실과 교과에는 로봇을 대상으로 10차시 내외로 편성되어 있으며, 창의적 체험활동으로 정보 교과를 34시간 편성할 수 있다. 이에 따라 연구 대상은 정규 교과 시간에 로봇 및 프로그래밍 수업을 받은 경험이 없는 5학년 1개 학급 16명(남 10명, 여 6명)으로 선정하였고, 2026년 3월 23일부터 4월 3일까지 2주간 총 8차시에 걸쳐 실시하였다.

2. 교육 프로그램 구성

본 교육 프로그램은 초등학교 5학년 실과 교과 및 정보(창의적 체험활동)의 로봇 및 프로그래밍 영역(4차시)을 중심으로 과학 교과의 생명 영역(2차시), 미술 교과의 표현 영역(2차시)을 융합하여 개발하였다. 이러한 구성은 각 교과의 학습 요소를 하나의 로봇 설계 및 구현 과정 속에서 통합적으로 활용하도록 설계한 것으로, 교과 간 지식과 기능을 실제 문제 해결 과정에서 유기적으로 연결하는 융합교육의 특징을 반영하고 실질적 수업 운영이 가능한 차시를 확보하도록 하였다. 교수학습단계는 OMCSI 모형을 기반으로 구성하였으며, 학습자가 반딧불이를 관찰(Observing)하고, 외형적 특징을 종이 등의 재료로 제작(Making)한 후 움직임 등의 특징을 프로그래밍(Coding)하여 구현하고, 결과를 공유 및 개선(Sharing, Improving)하는 과정을 경험하도록 설계하였다. 또한 각 단계에서 학습자의 창의적 아이디어 생성과 확장을 지원하기 위한 전략으로서 SCAMPER 기법을 적용하였다. SCAMPER는 학생들에게 개별 요소를 직접 교수하기 위한 내용이 아니라 차시별 활동 속에서 각 요소를 자연스럽게 경험할 수 있도록 교육 프로그램을 설계하는 원리로 활용하였다.

반딧불이를 교육 소재로 선택한 이유는 다음과 같다. 첫째, 반딧불이는 초등학생이 일상에서

쉽게 접하기 어려운 생물이면서 발광·움직임·감각 반응 등 관찰 가능한 특성이 명확하여 학습자의 탐구 동기를 자연스럽게 유발할 수 있다. 둘째, 반딧불이의 생태적 특성을 햄스터 로봇의 기능으로 구현하기 용이하다. 예를 들어 반딧불이의 발광 신호는 LED 제어를 통해, 조도 변화에 따른 행동은 빛 감지 센서를 활용한 조건 프로그래밍으로 구현할 수 있다. 이는 학습자가 추상적인 프로그래밍 개념을 자연 현상과 연계하여 이해하는 데 도움을 줄 수 있다. 실제로 MIT 연구진은 반딧불이의 발광 원리에서 영감을 받아 빛으로 위치 추적과 통신이 가능한 초소형 비행 로봇을 개발한 바 있으며(Kim et al., 2022) 이는 반딧불이가 자연 현상과 로봇 기술을 잇는 교육 소재로 활용될 수 있음을 보여준다.

이를 바탕으로 8차시로 구성된 교육 프로그램은 <표 4>와 같다.

<표 4> SCAMPER 활용 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램 구성

차시	교수학습 단계	학습목표	학습주제	학습 방법	수업 자료
1~2 (과학)	O (관찰)	반딧불이의 생태적 특징을 이해하고 미래 곤충 로봇을 구상할 수 있다.	반딧불이 생태와 생체모방	탐구학습	반딧불이 관찰 자료
3~4 (미술)	M (제작)	반딧불이의 특징을 반영한 종이 로봇을 설계·제작할 수 있다.	종이 로봇 제작	제작학습	종이, 철사, 모루, 코팅지 등
5~6 (실과, 정보)	C (코딩)	햄스터 로봇을 활용하여 반딧불이의 특성을 구현할 수 있다.	햄스터 로봇 프로그래밍	문제해결 학습	햄스터 로봇, PC
7~8 (실과, 정보)	S, I (공유 및 개선)	결과물을 공유하고 개선하며 종이로봇을 완성할 수 있다.	발표 및 개선	협력학습	완성한 종이로봇

본 교육 프로그램의 각 차시에는 학습 활동의 특성에 따라 SCAMPER 요소를 선택적으로 반영하였다. 차시별 SCAMPER 요소 적용 내용은 <표 5>와 같다.

1~2차시에서는 반딧불이의 생태를 관찰하여 발광, 서식 환경 등 특징을 이해하고, 소금쟁이, 개미, 장수풍뎅이 로봇 사례를 통해 곤충의 특징이 로봇의 기능에 적용된 사례를 탐색하도록 하였다. 또한 학생들이 곤충의 특징을 바탕으로 미래 곤충 로봇의 활용 방안을 상상하는 묘사글을 작성하는 활동을 포함하여 기존 생체모방 사례의 원리를 자신의 아이디어에 적용(A)하고 곤충의 특징을 새로운 용도로 활용(P)할 수 있도록 하였다.

3~4차시는 반딧불이의 형태와 특징을 종이 로봇으로 구현하기 위한 설계 및 제작 활동으로

구성하였다. 학생들이 반딧불이의 몸체, 날개, 더듬이 등을 표현하는 과정에서 다양한 재료를 표현 의도에 맞게 자유롭게 선택하고 대체(S)하도록 설계하였으며, 표현의 용이성을 위해 반딧불이의 구조를 단순화(M)하고 실제 반딧불이의 구조 중 표현이 어렵거나 불필요한 요소를 제거(E)하며 자신만의 반딧불이 종이 로봇을 완성하도록 하였다.

5~6차시는 햄스터 로봇에 반딧불이의 생태적 특징을 프로그래밍으로 구현하는 활동을 설계하였다. 학생들이 반딧불이의 발광이나 움직임 등의 특징을 햄스터 로봇의 기능에 적용(A)하도록 설계하였다. 또한 햄스터 로봇의 발광, 조도 감지, 이동 기능을 결합(C)하여 반딧불이의 생태를 하나의 코딩 시나리오로 구현하도록 하였다. 또한 구현 과정에서 오류 수정 및 기능 개선을 위해 코딩 시나리오를 반복적으로 수정(M)하도록 하였다.

7~8차시는 완성된 종이 로봇을 시연하고 개선하도록 하였다. 학생들이 교사와 동료 피드백을 통해 로봇의 외형을 수정(M)하고 코드블록을 재배열(R)하여 결과물을 개선하도록 하였다. 현재 초등학생의 경우 학교운영위원회에서 승인한 일부 생성형 인공지능에 한하여 활용이 가능하기 때문에, 1~2차시에 학생들이 작성한 미래 곤충 로봇 묘사 글을 바탕으로 교사가 프롬프트를 작성하여 이미지를 생성하여 자신의 아이디어를 시각적으로 확인하고 곤충 생체모방 로봇에 대한 관심과 흥미를 높이는 자료로 활용하였다.

〈표 5〉 차시별 SCAMPER 요소 적용 내용

차시	학습 활동	창의적 발상 기법						
		S	C	A	M	P	E	R
1~2 (과학)	· 반딧불이 생태 관찰 및 곤충 모방 로봇 사례 탐색 · 나만의 미래 곤충 로봇 묘사 글쓰기			○		○		
3~4 (미술)	· 반딧불이 종이로봇 설계 및 제작	○			○		○	
5~6 (실과, 정보)	· 코딩 시나리오 작성 및 엔트리 코딩 구현		○	○	○			
7~8 (실과, 정보)	· 발표 및 동료 피드백 기반 수정 · AI 생성 이미지와 묘사 글 비교·성찰하기				○			○

3. 연구 도구

본 연구에서는 컴퓨팅 사고력과 자기효능감에 대한 사전·사후 검사를 실시하였다. 컴퓨팅 사고력 검사는 최형신과 김기범(2015)의 검사 도구를 수업 맥락에 맞게 재구성하였으며, 자기효능감

검사는 한혜진(2002)의 검사 문항 일부를 발췌하여 사용하였다. 두 검사 모두 5점 Likert 척도를 사용하였으며, 문항의 적절성과 내용 타당성을 확보하기 위하여 로봇 교육 박사 1인과 초등 현장 교사 2인의 검토를 거쳐 연구 목적과 측정 영역에 적합한 문항을 선정·수정하였다. 자료 분석에는 통계 분석 프로그램인 R을 활용하였으며, 설문 도구의 구성과 신뢰도는 <표 6>과 같다.

〈표 6〉 설문 도구의 구성 및 신뢰도

측정 영역	논문	문항 구성	신뢰도 (Cronbach's α)		척도
			사전	사후	
컴퓨팅 사고력	최형신, 김기범 (2015)	컴퓨팅 사고 개념 실행(11문항) 컴퓨팅 관점(3문항)	.96	.90	5점 Likert
자기효능감	한혜진 (2002)	자기조절 효능감(4문항) 과제난이도 선호(1문항)	.89	.82	

또한 프로그램에 대한 인식과 반응을 확인하기 위하여 프로그램 종료 직후 학생 및 담임교사 인터뷰, 수업 소감문을 활용하여 자료를 수집하였다. 인터뷰는 반구조화 방식으로 실시하였으며, 녹음 후 전사하여 검토하였다. 자료 수집 대상과 주요 질문은 <표 7>과 같다.

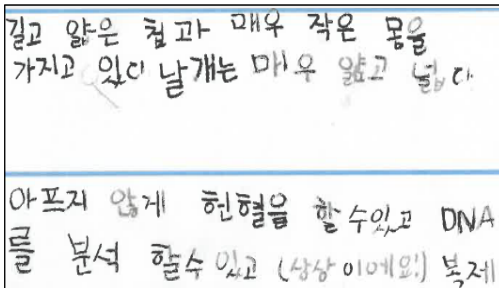
〈표 7〉 자료 수집 대상 및 주요 질문

자료	대상	문항 구성
학생 인터뷰	학생 6명 (남 3, 여 3)	① 반딧불이를 관찰한 후 내가 표현하고 싶었던 특징은 무엇인가? ② 처음 제작 및 코딩 계획과 실제 구현에서 달라진 점은 무엇인가? ③ 수업하면서 가장 좋았거나 새롭게 알게 된 점은 무엇인가? ④ (일부 학생) 방과후 코딩 수업과 비교했을 때 어떤 점이 달랐는가?
교사 인터뷰	담임 교사 1명	① SCAMPER 기법을 적용한 수업에서 학생들의 창의적 사고가 나타난 사례는 무엇인가? ② 생체 모방 종이 로봇 제작 활동이 학생들의 학습 흥미와 프로그래밍 경험에 어떠한 영향을 미쳤는가? ③ 학생들의 로봇 및 프로그래밍에 대한 태도는 어떻게 변화하였는가? ④ 학생들의 성별에 따른 반응이나 변화에 차이가 있었는가? ⑤ 본 프로그램을 학교 교육에서 어떻게 활용하거나 확장할 수 있다고 생각하는가?
수업 소감문	전체 학생 16명	① 지금까지 수업에서 가장 흥미롭거나 기억에 남는 활동은 무엇인가? ② 반딧불이의 특징을 로봇으로 표현하면서 가장 고민했던 점은 무엇인가? ③ 내가 상상한 로봇이 실제로 만들어진다면 어떤 점을 더 개선하고 싶은가? ④ 곤충이나 로봇·코딩 수업에 대해 달라진 생각이 있는가? ⑤ 다음에 다른 곤충으로 종이로봇을 만든다면 어떤 곤충을 선택하고 싶은가? 그 이유는 무엇인가?

IV. 연구 결과

1. 프로그램 적용 및 운영

1~2차시에는 다양한 생체모방 곤충 로봇의 사례를 살펴본 뒤 미래 곤충 로봇을 상상하여 서술하는 활동을 수행하였다. 학습자는 곤충의 움직임, 신체 구조, 감각 기능 등을 로봇의 외형이나 기능에 적용(A)하여 표현하였으며, 곤충의 특징을 생활·의료·환경 분야에 새로운 용도로 활용한 미래 로봇을 구상(P)하였다(그림 1). 이 과정에서 매미의 울음소리를 활용한 알람 로봇, 지네의 구조를 응용한 배관 공사 로봇 등 다양한 아이디어가 나타났다. 학생이 작성한 아이디어는 교사를 통해 생성형 인공지능 이미지로 시각화되었으며(그림 2), 이는 학생이 자신의 아이디어를 구체화하고 후속 제작 활동에 대한 흥미를 형성하는 데 활용되었다.



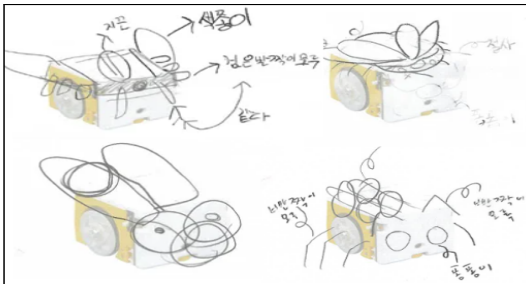
[그림 1] 미래 곤충 로봇 묘사 활동 사례



[그림 2] 미래 곤충 로봇 수업자료 사례

3~4차시에서는 반딧불이의 신체 구조와 생태적 특징을 관찰한 뒤 로봇 설계 스케치를 작성하고(그림 3) 이를 바탕으로 실제 로봇을 제작하였다(그림 4). 학습자는 종이, 철사, 모루, 코팅지 등 다양한 재료를 활용하여 반딧불이의 신체 구조와 발광 특징을 구현하고자 하였다. 특히 LED 불빛의 확산 효과를 고려하여 재료를 대체(S)하거나 결합(C)하는 모습을 보였다. 예를 들어 종이 대신 모루를 활용해 날개를 입체적으로 표현하거나(S), 아이스크림 막대와 코팅지를 결합하여 발광 효과를 강조하는(C) 등 다양한 방식으로 구현하였다. 또한 다리 구조와 크기 표현을 고려하며 철사, 모루, 털실 등 다양한 재료를 활용해 형태를 수정하는 모습도 관찰되었다(M).

이 과정에서 학생들은 반딧불이의 특징을 단순히 재현하는 데 그치지 않고 자신의 아이디어를 반영하여 로봇을 창의적으로 제작하였다. 동일한 햄스터 로봇을 활용하였음에도 재료의 선택과 구현 방식에 따라 다양한 형태의 로봇이 완성되었다.

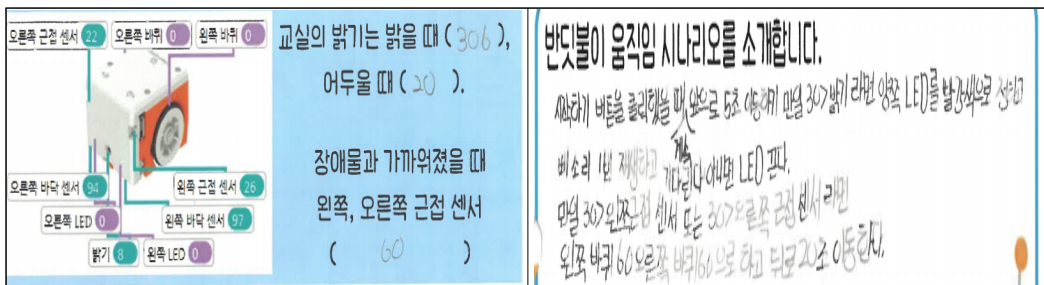


[그림 3] 반딧불이 로봇 설계 스케치 활동 사례



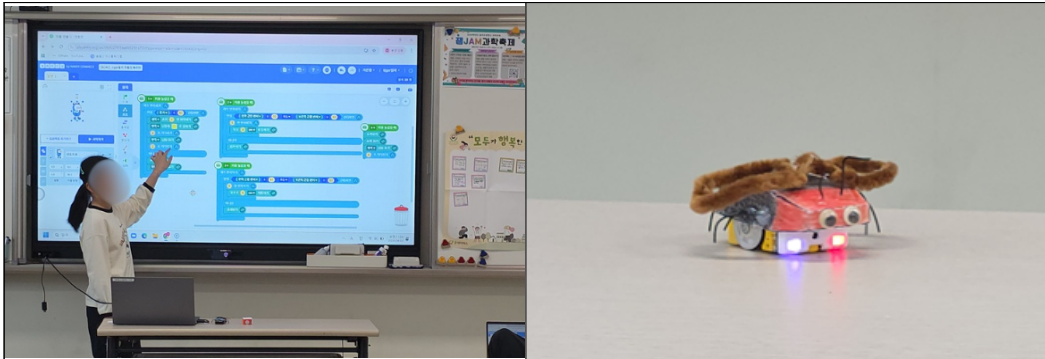
[그림 4] 완성한 학생 로봇들

5~6차시에는 학생들이 반딧불이의 생태적 특징을 햄스터 로봇의 기능으로 구현하기 위해 코딩 시나리오를 작성하고 이를 엔트리 프로그램으로 구현하였다(그림 5). 학생들은 조도 센서와 근접 센서의 기준값을 탐색하고, 교실의 밝기 변화와 장애물 감지와 같은 상황에 따라 로봇이 어떻게 동작할지를 시나리오 형태로 설계하였다. 이후 작성한 시나리오를 바탕으로 반딧불이의 발광과 움직임 등의 특징을 햄스터 로봇의 기능에 적용(A)하여 프로그램을 구현하였으며, 구현 과정에서 센서 값과 동작을 수정(M)하고 발광, 조도 감지, 이동 기능을 결합(C)하여 반딧불이의 생태적 특징을 구현하였다.



[그림 5] 센서 기준값 설정 및 코딩 시나리오 작성 활동 사례

7~8차시에는 학생들이 제작한 반딧불이 로봇의 기능과 설계 의도를 친구들에게 발표하고 작동을 시연하며 서로의 결과물에 대한 의견을 공유하였다(그림 6). 학생들은 자신이 작성한 블록 코딩을 보여주고 작동 시나리오를 설명하며 동료의 피드백을 바탕으로 코드블록을 재정렬(R)하거나 로봇의 외형을 수정(M)하였다. 이러한 과정은 학생들이 자신이 제작한 로봇의 오류를 점검하고 개선 방향을 탐색하는 기회로 작용하였다.



[그림 6] 여학생의 공유 활동 및 로봇 시연 장면

2. 사전·사후 효과 비교

가. 컴퓨팅 사고력 및 자기효능감의 사전·사후 변화

본 교육 프로그램이 초등학생의 컴퓨팅 사고력과 자기효능감에 미치는 전반적인 영향을 검증하기 위해 프로그램 운영 전 실시한 사전 검사와 종료 후 사후 검사 결과를 대상으로 전체 집단 ($n=16$)에 대해 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 실시하였다. 분석 결과는 <표 8>과 같다.

<표 8> 컴퓨팅 사고력 및 자기효능감의 사전·사후 차이

변인	n	사전평균(M) 표준편차(SD)	사후평균(M) 표준편차(SD)	W	p-값
컴퓨팅 사고력	16	3.01 (0.93)	4.46 (0.48)	1	.001
자기효능감		3.71 (0.80)	4.38 (0.58)	11	.006

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

컴퓨팅 사고력의 변화를 살펴본 결과 사전 평균 3.01점에서 사후 평균 4.46점으로 통계적으로 유의미하게 상승한 것으로 나타났다($p=.001$). 자기효능감 또한 사전 평균 3.71점에서 사후 평균 4.38점으로 유의미하게 향상되었다($p<.01$).

나. 성별에 따른 사전·사후 변화 분석

전체 학생을 대상으로 한 사전·사후 변화 분석에 이어, 프로그램 적용 후 성별 집단 내 역량 변화 양상을 살펴보기 위하여 남학생과 여학생을 구분하여 윌콕슨 부호순위 검정(Wilcoxon signed-rank test)을 실시하였다. 분석 결과는 <표 9>와 같다.

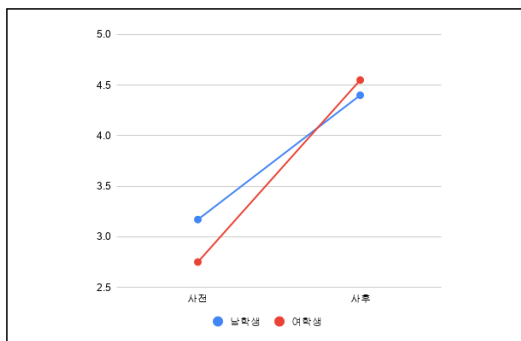
〈표 9〉 성별에 따른 컴퓨팅 사고력 및 자기효능감의 사전·사후 변화

성별	변인	사전평균(M) 표준편차(SD)	사후평균(M) 표준편차(SD)	W	p-값
남학생 (n=10)	컴퓨팅 사고력	3.17 (0.61)	4.40 (0.60)	0	.002**
	자기효능감	3.84 (0.78)	4.24 (0.66)	1	.117
여학생 (n=6)	컴퓨팅 사고력	2.75 (1.34)	4.55 (0.14)	11	.063
	자기효능감	3.50 (0.86)	4.60 (0.38)	0	.031*

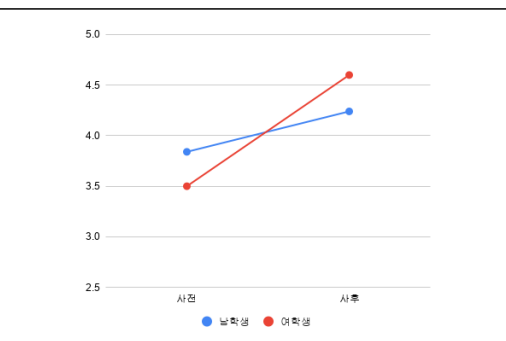
* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

성별에 따른 사전·사후 변화를 분석한 결과 남학생의 컴퓨팅 사고력은 사전 평균 3.17점에서 사후 평균 4.40점으로 통계적으로 유의미하게 향상되었다($p < .01$). 반면 자기효능감은 사전 평균 3.84점에서 사후 평균 4.24점으로 평균은 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다($p > .05$).

여학생의 경우 컴퓨팅 사고력은 사전 평균 2.75점에서 사후 평균 4.55점으로 평균이 증가하였으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며($p > .05$), 자기효능감은 사전 평균 3.50점에서 사후 평균 4.60점으로 통계적으로 유의미하게 향상되었다($p < .05$). 성별에 따른 평균 변화 양상은 [그림 7]과 [그림 8]에 제시하였다.



[그림 7] 컴퓨팅 사고력 사전·사후 성별 비교



[그림 8] 자기효능감 사전·사후 성별 비교

3. 교육 프로그램에 대한 인식과 반응

학생 및 담임교사 인터뷰와 수업 소감문을 분석한 결과, 공통적으로 나타난 반응은 <표 10>과 같다.

<표 10> 학생 및 담임교사의 질적 자료 분석 결과

범주	대표 발화
로봇 제작 및 코딩에 대한 긍정적 인식	“코딩이 재미있어졌다.”(S1, S2, S4, S13, S14, S16) “프로그래밍을 어렵게 느끼던 학생들이 자신이 설계한 대로 로봇이 작동하는 모습을 보며 성취감을 느꼈다. 작은 단위부터 입력하면 결과가 나타난다는 점을 경험하며 코딩이 마냥 어려운 것만은 아니라는 인식으로 바뀌었다.”(담임교사)
생체모방 및 곤충에 대한 관심 증진	“곤충에 대한 관심이 생겼다.” (S7, S8) “제가 원래 곤충을 엄청 싫어하거든요. 그런데 의외로 곤충이 특별한 점도 많고, 종류도 다양하고, 곤충 로봇이 있으면 엄청 도움이 되는구나라고 생각했어요.” (S12) “반딧불이의 발광 원리와 이유에 대해 새롭게 알게 되며 흥미를 보였고, 코딩 활동 중에도 이러한 특징에 대해 서로 이야기하는 모습이 자주 관찰되었다.”(담임교사)
창의적 아이디어 생성 및 표현	“속날개를 표현하고 싶었는데 코팅지가 있는지 몰라서 대신 테이프를 접어서 만들었어요.”(S8) “날개를 색종이로 만드려고 했는데 안 붙을 것 같아서 아이스크림 막대로 바꿨어요.”(S9) “학생들은 다양한 재료를 바꾸어가며 날개와 더듬이 등을 창의적으로 표현하였다. 특히 반딧불이의 습성과 특징을 로봇 기능과 연결하는 과정에서 과학·미술·실과 수업을 함께 연계함으로써, 창작 로봇 수업을 여유 있게 운영할 수 있었고, 학생들도 교과를 연계하여 사고하는 모습이 두드러졌다.”(담임교사)

학생들은 반딧불이 종이 로봇 제작과 코딩 활동을 통해 로봇 제작 및 코딩에 대한 긍정적인 인식을 형성한 것으로 나타났다. 또한 반딧불이의 생태와 특징을 탐구하는 과정에서 곤충과 생체 모방에 대한 관심이 증진되었으며, 이러한 관심은 로봇 설계와 프로그래밍 활동으로 자연스럽게 확장되었다. 특히 학생들은 제작 과정에서 다양한 재료를 다른 재료로 대체하거나 (Substitute), 곤충의 특징과 습성을 로봇의 기능으로 적용하는(Adapt) 과정을 통해 SCAMPER를 활용한 창의적 사고를 전개하는 모습을 보였다. 이러한 결과는 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램이 학생들의 흥미를 유발하는 데 그치지 않고, 생물의 특징을 관찰·분석하여 로봇 설계와 프로그래밍에 적용하는 창의적 사고를 촉진하고 로봇 제작 및 코딩에 대한 긍정적인 태도를 형성하는 데 기여하였음을 보여준다.

V. 결론 및 제언

1. 연구 요약

본 연구는 실과, 과학, 미술, 정보(창의적 체험활동) 시간을 연결하는 SCAMPER 활용 반딧불이 종이 로봇 융합교육 프로그램을 개발하여 초등학교 5학년 학생 16명을 대상으로 적용하고 컴퓨팅 사고력과 자기효능감에 미치는 효과를 분석하였다. 또한 학생 인터뷰, 교사 인터뷰 및 수업 소감문을 통해 프로그램 적용 과정에서 나타난 학습자의 경험과 반응을 함께 살펴보았으며, 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 교육 프로그램 적용 후 학생들의 컴퓨팅 사고력과 자기효능감이 모두 통계적으로 유의하게 향상되었다(컴퓨팅 사고력 $p=.001$, 자기효능감 $p<.01$). 학생들은 반딧불이의 생태적 특징을 탐구하고 SCAMPER를 활용하여 아이디어를 구체화한 뒤 이를 종이 로봇으로 설계·제작하고 프로그래밍으로 구현하는 과정에서 적극적으로 문제를 해결하는 모습을 보였다. 또한 친숙한 재료를 활용하여 자신의 아이디어를 직접 구현하고 결과물을 완성하는 과정에서 성취감과 자신감을 경험하였으며, 담임교사 역시 학생들의 높은 몰입과 적극적인 참여를 확인하였다.

둘째, 성별 집단 내 사전·사후 변화를 분석한 결과, 컴퓨팅 사고력과 자기효능감 모두 남녀 학생에서 사전보다 사후 평균 점수가 증가하는 경향을 보였다. 다만 통계적 유의성은 컴퓨팅 사고력에서는 남학생($p<.01$), 자기효능감에서는 여학생($p<.05$)에서 확인되었다. 여학생의 컴퓨팅 사고력과 남학생의 자기효능감 역시 평균 점수는 향상되었으나, 소규모 표본으로 인해 통계적 유의성을 확보하지 못한 것으로 해석된다.

셋째, 학생 인터뷰, 교사 인터뷰 및 수업 소감문을 분석한 결과, 학생들은 반딧불이의 생태적 특징을 탐구하고 SCAMPER를 활용하여 자신의 아이디어를 종이 로봇과 프로그래밍으로 구현하는 활동을 흥미롭게 인식하였다. 특히 자신의 아이디어가 실제로 작동하는 로봇으로 구현되는 과정을 통해 성취감과 자신감을 경험하였으며, 교사 또한 학생들이 적극적으로 협력하며 문제를 해결하고 창의적으로 아이디어를 표현하는 모습을 긍정적으로 평가하였다.

2. 논의

본 연구는 실과, 과학, 미술, 정보(창의적 체험활동)교과 내용을 통합하고 수업 운영을 연결하여, 생체 모방 종이 로봇 교육에 SCAMPER를 적용하여 학생들의 컴퓨팅 사고력과 자기효능감

에 미치는 효과를 확인하고자 하였다. 연구 결과를 바탕으로 다음과 같이 논의하고자 한다.

먼저, 본 연구에서 컴퓨팅 사고력이 유의하게 향상된 것은 학생들이 반딧불이의 생태적 특징을 탐색하고, 이를 SCAMPER를 활용하여 다양한 관점에서 변형·재구성한 뒤 실제 로봇의 외형과 기능으로 구현하는 과정을 반복적으로 경험하였기 때문으로 해석된다. 특히 OMCSI 모형의 관찰(Observing) 단계에서 생태적 특징을 분석하고, SCAMPER를 활용하여 아이디어를 생성·발전시킨 후 이를 종이 로봇 제작(Making)과 프로그래밍(Coding)으로 연결하는 일련의 과정은 학생들이 문제를 분석하고 해결 방안을 설계하며 수정·보완하는 경험을 자연스럽게 반복하도록 하였다. 이러한 학습 경험이 컴퓨팅 사고력 향상에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단되며, 이는 햄스터 로봇을 활용한 SW 교육 프로그램이 초등학교의 컴퓨팅 사고력을 향상시켰다고 보고한 노지예(2017)의 연구와 맥을 같이한다.

자기효능감이 유의하게 향상된 결과는 학생들이 자신의 아이디어를 실제 결과물로 구현하고, 완성된 로봇이 의도한 대로 작동하는 성공 경험을 반복적으로 축적하였기 때문으로 해석된다. 학생 인터뷰에서도 ‘코딩을 잘 못했었는데 배워서 할 수 있게 되었다.’, ‘로봇이나 코딩 수업이 어렵고 따분했는데 재미있었다.’와 같은 반응이 나타났으며, 교사 역시 학생들이 제작 과정과 결과물 공유 과정에서 높은 몰입을 보였다고 응답하였다. 이는 성공 경험이 자기효능감 형성에 긍정적인 영향을 미쳤음을 보이며, 친숙한 재료를 활용한 제작 활동과 단계적인 성공 경험이 학생들의 자신감을 높이는 데 기여하였음을 시사한다.

종이 로봇 활용 측면에서도 본 연구는 기존 연구와 차별성을 가진다. 손경진과 한정혜(2018), 황정 외(2020)는 미리 제공된 도안을 활용하여 로봇의 외형을 제작하도록 하였으나, 본 연구에서는 학생들이 반딧불이의 생태적 특징을 직접 탐색하고 SCAMPER를 활용하여 자신만의 외형과 기능을 설계하였다. 그 결과 동일한 햄스터 로봇을 활용하였음에도 학생마다 서로 다른 형태와 기능을 갖춘 종이 로봇이 완성되었으며, 이는 학습자 주도의 창의적 설계 활동이 이루어졌음을 보여준다.

성별 집단 분석 결과, 컴퓨팅 사고력과 자기효능감 모두 남녀 학생에서 사전보다 사후 평균 점수가 증가하는 경향을 보였다. 특히 컴퓨팅 사고력은 여학생의 평균 증가폭이 더 크게 나타났으며, 자기효능감 또한 남학생과 여학생 모두 향상되는 모습을 보였다. 다만 통계적 유의성은 컴퓨팅 사고력에서는 남학생, 자기효능감에서는 여학생에서만 확인되었다. 이는 여학생의 컴퓨팅 사고력과 남학생의 자기효능감 역시 긍정적인 변화가 나타났음에도 불구하고 소규모 표본으로 인해 통계적 유의성을 확보하지 못한 결과로 해석될 수 있다. 또한 여학생의 경우 종이 로봇 제작과 프로그래밍 과정에서 동료와 협력하며 자신의 아이디어를 구현하고 공유하는 경험이

자기효능감 향상에 긍정적으로 작용했을 가능성이 있다. 반면 남학생은 코딩 시나리오를 작성하고 오류를 수정하며 반복적으로 문제를 해결하는 과정에서 컴퓨팅 사고력이 향상된 것으로 해석할 수 있다. 다만 본 연구는 소규모 표본을 대상으로 수행되었으므로 성별에 따른 차이를 일반화하기보다는 후속 연구를 통해 추가적인 검증이 필요하다.

또한 본 연구는 5학년의 여러 교과(실과, 과학, 정보, 미술)의 내용과 운영을 연결함으로써, 종이 로봇 융합교육 프로그램에 SCAMPER를 적용할 수 있음을 확인하였다. 기존 연구에서는 SCAMPER를 다양한 교과에서 창의적 사고와 문제 해결을 지원하는 발상 기법으로 활용해 왔으나, 수업 운영까지 고려한 교과 융합교육 프로그램에 적용한 사례는 상대적으로 부족하였다. 본 연구는 생물의 생태적 특성 탐색, 종이 로봇 설계 및 제작, 프로그래밍 활동을 통합한 교육 프로그램에 SCAMPER를 적용함으로써 다양한 교과의 지식과 기술을 연계하고 안정적인 수업 운영을 할 수 있는 융합교육의 가능성을 확인하였다.

본 연구는 생체 모방 기반 종이 로봇과 SCAMPER를 결합한 융합교육 프로그램이 컴퓨팅 사고력과 자기효능감을 함께 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 이는 SCAMPER를 활용한 창의적 설계 활동을 로봇교육과 연계함으로써 융합교육 프로그램의 설계 가능성을 제시하였다는 점에서 이론적 의의를 가진다. 또한 대상의 생태적 특성 탐색, 종이 로봇 설계 및 제작, 프로그래밍을 통합한 학습 과정을 통해, 학교 현장에서 적용 가능한 융합교육 프로그램을 제안하였다는 점에서 실천적 시사점을 제공한다.

3. 연구의 한계점 및 제언

본 연구는 초등학교 5학년 1개 학급을 대상으로 단일집단 사전·사후 설계를 적용하여 단기간 운영되었으므로 연구 결과를 일반화하는 데에는 신중한 해석이 필요하다. 또한 프로그램의 효과를 다른 교육적 경험이나 학생의 자연스러운 성장과 완전히 구분하여 해석하는 데 한계가 있다. 따라서 후속 연구에서는 다양한 학교와 학년을 대상으로 비교집단을 포함한 연구를 수행하고, 장기적인 적용을 통해 프로그램의 교육적 효과를 보다 폭넓게 검증할 필요가 있다.

※ 논문 투고일: 2026. 6. 1. ※ 논문 수정일: 2026. 7. 15. ※ 게재 확정일: 2026. 7. 30.

〈참고문헌〉

- 강은지(2016). 스캠퍼(SCAMPER) 기법을 활용한 초등학교 한국무용교육프로그램 개발 및 적용. 숙명여자대학교 대학원 석사학위청구논문.
- 공복주(2015). 프로젝트 기반 로봇활용교육이 초등학생의 창의적 문제해결력에 미치는 영향. 경인교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 권순환·박정호(2021). WeDO 로봇 활용 초등 메이커 교육 프로그램 개발. **정보교육학회논문지**, 12(2), 335-340.
- 김성애(2019). 기술 교육 기반의 생체 모방 로봇 교육 프로그램 개발 및 적용 효과. **융합정보논문지**, 9(4), 109-117.
- 김영이(2017). 초등 미술교과에 나타난 디자인 요소를 활용한 발명교육 프로그램 개발 및 효과. 대구교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 김지민(2024). 메이커 교육 프로그램을 활용한 초등학생 독후 활동 개발 및 적용. 부산교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 김진선(2014). 초등 사회과 SCAMPER 활용 수업이 창의적 문제 해결력에 미치는 영향. 경인교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 김진오, 한정혜(2011). 창작로봇(UCR) 기반 친환경 r-러닝 서비스 실천방안. **한국 IT 서비스학회지**, 10(3), 21-30.
- 김학민(2020). 과학 원리를 활용한 로봇 교육이 초등학생의 컴퓨팅 사고력에 미치는 영향. 경인교육대학교 교육전문대학원 석사학위청구논문.
- 김혜란, 최선영(2022). 초등과학 수업에서 메이커교육프로그램의 적용 효과·식물의 한살이'단원을 중심으로. **초등과학교육**, 41(2), 432-442.
- 김혜란, 최선영(2023). 초등 과학 수업에서 VR 기술을 활용한 메이커교육 프로그램의 개발과 적용·'동물의 생활'단원을 중심으로. **초등과학교육**, 42(3), 399-408.
- 교육부, 한국과학창의재단(2024). 제3차 융합 교육(STEAM) 종합계획(2025~2029).
- 노지예(2017). 로봇 활용 SW 교육 프로그램의 효과성 검증. 이화여자대학교 대학원 박사학위청구논문.
- 문세은(2024). 레이저 커터를 활용한 초등학생용 메이커교육 프로그램의 개발 및 적용. 부산교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 문외식, 유승환(2010). 곤충형 로봇 제작에 기반한 로봇 교육과정 개발 및 적용. **정보교육학회논문지**, 14(2), 209-218.
- 박용숙, 장현진(2022). 메이커 교육을 활용한 초등학교 교과연계 진로교육 프로그램 개발 및 효과. **한국초등교육**, 33(4), 69-90.
- 성혜경, 문성환(2022). TMSI 모형 기반의 에너지 절약 메이커교육 프로그램이 초등학생의 창의적 문제해결력에 미치는 영향. **에너지기후변화교육**, 12(1), 35-44.
- 손경진, 한정혜(2018). 내러티브-종이아트 활동 기반 로봇활용 SW교육 효과성비교. **한국정보교육학회논문지**, 22(4), 419-425.
- 염정의(2025). 생활문화 발명교육 프로그램이 초등학생의 발명태도와 창의적 문제해결력에 미치는 영향. 부산교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 윤주혁, 김경태(2026). 기후변화 대응을 위한 인공지능 메이커교육이 초등학생의 창의적 문제해결력 및 환경소양에 미치는 영향. **초등교육연구**, 41(1), 143-161.

- 이준호(2018). **초등학교 소프트웨어 교육을 위한 스크래치 기법 프로그램의 개발 및 적용**. 서울교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 정정은(2023). **초등 통합학급에서 실시한 협력교수 기반 메이커교육 프로그램의 효과**. 이화여자대학교 대학원 박사학위청구논문.
- 최형신, 김기범(2015). 스크래치 프로그래밍이 예비교사에게 미치는 영향: 컴퓨팅 사고 및 블록의 텍사노미 활용 평가. **정보교육학회논문지**, 19(2), 225-232
- 한규정, 강신조(2025). 레고 활용 인공지능 로봇 교육 프로그램이 창의적 문제해결력에 미치는 효과. **정보교육학회논문지**, 29(6), 847-857.
- 한정혜, 조미현(2009). r-Learning에서의 로봇보조학습. **정보교육학회논문지**, 13(4), 497-508.
- 한혜진(2002). **자기주장 훈련이 초등학생의 자기효능감 향상에 미치는 효과**. 서울교육대학교 교육대학원 석사학위청구논문.
- 허정은(2024). **로봇 활용 메이커교육에서 학생 주도 학습이 초등학생의 창의적 문제해결력에 미치는 영향**. 서울교육대학교 교육전문대학원 석사학위청구논문
- 황정, 한정혜, 김동호(2020). 저가형 로봇키트를 활용한 현장교육 실행연구-초등 실과 로봇 단원 중심으로. **학교와 수업 연구**, 5(1), 1-13.
- 황중원, 강인애, 김홍순(2016). 메이커 페다고지(Maker Pedagogy)로서 TMSI 모형의 가능성 탐색: 고등학교 사례를 중심으로. 한국교육공학회 학술대회발표자료집, 2016(2), 166-176
- Eberle, B. (1972). Developing imagination through SCAMPER. *The Journal of Creative Behavior*, 6(3), 199-203.
- Halverson, E. R., & Sheridan, K. (2014). The maker movement in education. *Harvard Educational Review*, 84(4), 495-504.
- Kim, S., Hsiao, Y.-H., Chen, Y. F., Mao, J., & Chen, Y. (2022). FireFly: An insect-scale aerial robot powered by electroluminescent soft artificial muscles. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7(3), 6950.
- Martinez, S. L. & Stager, G. S. (2013). *Invent to learn: Making, tinkering, and engineering in the classroom*. Constructing Modern Knowledge Press.
- Osborn, A. F. (1953). *Applied imagination: Principles and procedures of creative problem-solving*. Charles Scribner's Sons.
- Park, I. & J. Kim. (2011). Philosophy and Strategy of Minimalism-based User Created Robots (UCRs) for Educational Robotics-Education, *Technology and Business Viewpoint, International Journal of Robots, Education and Art*, 1(1), 26-38.
- Yang, R., & Yi-Luen Do, E. (2025). Design of Paper Robot Building Kits. arXiv e-prints, arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2510.14914>

〈Abstract〉

Development and Implementation of a SCAMPER-Based Interdisciplinary Education Program Using a Firefly-Inspired Paper Robot

Lee, Seyeon¹, Lee, Jinhyang², Han, Jeonghye³

As convergence competencies grow in importance for future society, elementary education has increasingly adopted creative convergence education through robotics, combining design, fabrication, and programming. However, limited instructional time has led robotics education to focus mainly on programming, leaving little room for students to explore real-world object characteristics and creatively design a robot's appearance and functions accordingly. To address this, this study developed a SCAMPER-based biomimetic firefly paper robot program linking Practical Arts, Art, and Science, with Information Education delivered through Extracurricular Activities.

Experimental instruction produced statistically significant improvements in students' overall computational thinking and self-efficacy. Both male and female students showed increased mean scores on both measures, with significant gains in computational thinking among male students and in self-efficacy among female students. Interview and reflective journal analyses showed that students positively perceived the biomimetic paper robot design and programming activities, reporting meaningful creative design experiences and a strong sense of engagement and flow.

This study demonstrates a practical way to overcome instructional time constraints by linking Practical Arts, Art, Science, and Information Education, showing that SCAMPER-based biomimetic paper robot activities effectively promote computational thinking, self-efficacy, and creative engagement.

Keywords : SCAMPER, Bio-inspired Design, Paper Robot, Convergence Education, Computational Thinking, Self-Efficacy

1. Teacher, Saerom Elementary School, asalily1@gmail.com (Lead Author)

2. Teacher, Wolgok Elementary School Affiliated with Korea National University of Education, sinchi@cberi.go.kr (Co-Author)

3. Professor, Cheongju National University of Education, hanjh@cje.ac.kr (Corresponding Author)