JDCS
디지털콘텐츠학회논문지
Journal of Digital Contents Society
Vol. 27, No. 10, pp. 2899-2914, Oct. 2026

Check for updates

초등학생의 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 및 3D 메타버스 기반 프로그래밍 수업 성취도 간의 관계: 마인크래프트를 중심으로

김 대 유[1] · 김 승 현[2*]
[1]한국교원대학교 컴퓨터교육과 박사과정 [2]한국교원대학교 컴퓨터교육과 부교수

The Relationship Between Elementary School Students' Spatial Sense, Computational Thinking, and Programming Achievement in a 3D Metaverse Environment: A Study Using Minecraft

Dae-Yu Kim[1] · Seung-Hyun Kim[2*]
[1]Doctor's Course, Department of Computer Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea
[2]Associate Professor, Department of Computer Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea

[요 약]

본 연구는 초등학생의 공간 감각과 컴퓨팅 사고력(CT) 성취 및 3D 산출물 구현 간의 관계를 3D 메타버스 기반 프로그래밍 학습 맥락에서 규명하고자 하였다. 이를 위해 비교집단이 없는 단일집단 사전-사후 설계를 채택하여, 초등학생 128명을 대상으로 8차시 마인크래프트 프로젝트 수업을 실시하고, 이들의 공간 감각, 사전·사후 CT 점수, 3D 산출물을 분석하였다. 공간 감각은 사전 CT(r = .658), 사후 CT(r = .592), 3D 산출물 점수(r = .321) 모두와 유의미한 정적 상관을 나타냈다. 위계적 회귀분석 결과, 공간 감각은 사전 CT를 통제한 상태에서도 사후 CT에 대해 통계적으로 유의한 추가 설명력을 보였으나(ΔR^2 = .067, p < .001), 사전 CT 검사의 낮은 신뢰도(α = .522)를 고려할 때 이 추정치는 신중하게 해석할 필요가 있다. 3D 산출물 성취도에 대한 독립적 예측력은 유의하지 않았다(ΔR^2 = .019, p = .105). 이러한 결과는 공간 감각이 3D 메타버스 기반 프로그래밍에서의 인지적 성취를 설명하는 유의미한 변인일 가능성을 시사하나, 실제 산출물 구현에 대한 독립적 기여는 확인되지 않았다.

[Abstract]

This study examined the relationship among elementary school students' spatial sense, computational thinking (CT), and programming achievement and 3D artifact performance in a 3D metaverse environment. Using a one-group pretest-posttest design without a control group, an eight-session programming project using Minecraft was implemented with 128 elementary school students. Participants' spatial sense, pretest and posttest CT scores, and 3D artifacts were analyzed. Spatial sense showed significant positive correlations with pretest CT (r = .658), posttest CT (r = .592), and 3D artifact scores (r = .321). Hierarchical regression analysis revealed that spatial sense made a statistically significant additional contribution to posttest CT scores beyond pretest CT performance (ΔR^2 = .067, p < .001), although this estimate should be interpreted with caution because of the low reliability of the pretest CT measure (α = .522). However, its independent predictive effect on 3D artifact outcomes was not statistically significant (ΔR^2 = .019, p = .105). These findings suggest that spatial sense is a meaningful predictor of cognitive achievement in 3D metaverse-based programming, although its independent contribution to practical programming artifact performance was not supported.

색인어 : 컴퓨팅 사고력, 공간 감각, 3D 프로그래밍, 메타버스, 마인크래프트

Keyword : Computational Thinking, Spatial Sense, 3D Programming, Metaverse, Minecraft

http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2026.27.10.2899

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 06 July 2026; **Revised** 28 July 2026
Accepted 13 August 2026

***Corresponding Author; Seung-Hyun Kim**
Tel: ※ 개인정보 표시제한
E-mail: kimsh@knue.ac.kr

Ⅰ. 서 론

1-1 연구 배경 및 필요성

1) 연구 배경

지능정보사회로의 전환에 따라 SW·AI 교육의 중요성이 강조되면서, 2022 개정 교육과정에서는 정보 교육 시수를 확대하고 실천적 문제 해결 역량으로서의 컴퓨팅 사고력(Computational Thinking, 이하 CT) 함양을 핵심 목표로 제시하고 있다[1]. 그동안 초등 정보 교육 현장에서는 엔트리(Entry)나 스크래치(Scratch)와 같은 2D 블록 기반 프로그래밍 도구를 활용하여 학습자의 논리적 사고력을 신장시키려는 노력이 이루어져 왔으며, 기초적인 프로그래밍 개념 형성에 긍정적인 성과를 거두었다[2],[3]. 최근에는 이러한 교육적 흐름을 확장하여 학습자의 몰입감과 실제적 문제 해결 경험을 강화하기 위한 방안으로 로봇 기반 피지컬 컴퓨팅 교육과 마인크래프트(Minecraft)와 같은 3D 메타버스 기반 프로그래밍 교육이 주목받고 있다[4],[5].

한편, 선행연구에 따르면 로봇 활용 교육뿐만 아니라 텍스트 기반 프로그래밍 언어를 활용한 코드 탐색 및 이해 과정에서도 학습자의 공간 능력에 따른 성취도 격차가 이미 보고되고 있다[6]. 이러한 관찰 결과는 프로그래밍 학습이 순수 논리적 사고뿐만 아니라 공간 감각과 본질적으로 밀접한 관계가 있음을 시사한다. 3D 메타버스 환경에서는 여기에 더해 X, Y, Z축으로 구성된 입체적 공간 좌표 체계와 시점 변화에 대한 이해가 추가로 요구되므로, 공간 감각이 요구되는 수준과 범위가 2D 환경에 비해 한층 확장될 가능성이 있다. 즉 공간 감각은 2D와 3D 프로그래밍 환경 모두에서 작용하는 일반적 요인이지만, 3D 환경에서는 그 개입의 정도와 양상이 더욱 복합적으로 나타날 수 있다는 것이 본 연구의 전제이다. 이러한 맥락에서 본 연구는 공간 감각을 학습자의 사전 인지 특성으로 가정하고, 이것이 마인크래프트 기반 3D 프로그래밍 수업에서의 컴퓨팅 사고력 성취 및 3D 산출물 구현 수준을 예측하는지를 검토하는 데 초점을 둔다. 즉, 본 연구의 논리 방향은 '교육 프로그램이 공간 감각을 자극하여 CT를 향상시키는가'가 아니라, '학습자의 사전 공간 감각 수준이 3D 프로그래밍 환경에서의 인지적·실천적 성취를 차별적으로 예측하는가'를 규명하는 데 있다.

2) 연구의 필요성

하지만 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 혹은 프로그래밍 학습과의 관계는 대학생 이상의 고등교육 학습자를 대상으로 한 해외사례가 일부 보고되었으나[7], 국내 연구 사례는 거의 찾아볼 수 없으며 특히 인지 발달 단계에 있는 초등학생을 대상으로 학습자의 인지적 특성인 공간 감각이 프로그래밍 수행 및 학습 성과에 미치는 영향을 실증적으로 분석한 연구는 극히 제한적이다.

또한, 메타버스 기반 프로그래밍과 같이 공간적 사고가 요구되는 학습 환경에서는, 학습자의 공간 감각이 단순한 선행 능력을 넘어 실제 문제 해결 과정에서 작용하는 중요한 요인일 가능성이 있지만 이에 대한 체계적인 분석은 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 마인크래프트 기반 프로그래밍 프로젝트 수업을 적용하여, 초등학생의 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물 성취도 간의 관계를 분석하고자 한다. 나아가 사전 컴퓨팅 사고력을 통제한 상태에서 공간 감각이 사후 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물에 미치는 독립적인 영향력을 분석함으로써, 공간 감각이 어떠한 역할을 하는지 보다 정교하게 규명하고자 한다.

이를 통해 3D 메타버스 기반 프로그래밍 교육에서 학습자의 인지적 특성을 고려한 교수·학습 설계의 필요성을 제시하고, 공간 감각 수준에 따른 맞춤형 교육 전략 수립을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

1-2 연구 목적

본 연구의 목적은 초등학교 5학년 학생을 대상으로 교육용 마인크래프트를 활용한 3D 프로그래밍 프로젝트 수업을 실시하고, 학습자의 사전 공간 감각이 컴퓨팅 사고력 성취 및 3D 산출물 구현 수준을 예측하는지를 실증적으로 검토하는 데 있다. 여기서 공간 감각은 교육 처치에 의해 변화되는 결과 변인이 아니라, 학습자가 수업 이전부터 보유한 인지적 특성으로서 사후 성취의 차이를 설명하는 예측 변인으로 설정된다.

이를 통해 메타버스 기반 프로그래밍 교육에서 공간 감각의 중요성을 확인하고, 학습자의 개별적인 인지적 특성을 고려한 효과적인 교수·학습 지원 전략 및 맞춤형 비계 설정을 위한 기초 자료를 제공하는 데 최종적인 목적이 있다.

1-3 연구 문제

본 연구의 목적을 달성하기 위해 설정한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 마인크래프트 활용 프로그래밍 프로젝트 수업 전후로 초등학생의 컴퓨팅 사고력 점수는 유의미한 변화를 보이는가?

둘째, 초등학생의 공간 감각은 사전·사후 컴퓨팅 사고력 및 실제 3D 산출물 성취도와 어떠한 상관관계를 갖는가?

셋째, 학습자의 사전 컴퓨팅 사고력을 통제한 상태에서, 공간 감각은 사후 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물 성취에 대하여 독자적인 예측력을 갖는가?

II. 이론적 배경

2-1 컴퓨팅 사고력(Computational Thinking)

1) 컴퓨팅 사고력의 개념 및 구성 요소

컴퓨팅 사고력(Computational Thinking, 이하 CT)은 Wing[8]이 현대 사회를 살아가는 모든 이들이 갖추어야 할 필수 역량으로 제시하면서 교육계의 핵심 화두로 부각되었다. Wing은 CT를 컴퓨터 과학의 기본 개념에 기초하여 문제를 해결하고 시스템을 설계하며 인간의 행동을 이해하는 사고 과정으로 정의하였다. 이는 단순히 특정 프로그래밍 언어의 문법을 익히는 기술적 차원을 넘어, 복잡한 문제 상황을 마주했을 때 이를 컴퓨터가 효과적으로 실행할 수 있는 형태로 재구성하는 보편적인 사고 능력을 의미한다[8],[9].

CT의 구성 요소에 대해서는 여러 학자와 기관에 따라 다양하게 정의되고 있으나, 공통적으로 추상화(Abstraction)와 알고리즘적 사고(Algorithmic Thinking)를 핵심적인 축으로 간주한다. 국제교육공학회(ISTE)와 미국컴퓨터과학교사협회(CSTA)는 CT를 문제 분해, 데이터 수집 및 분석, 추상화, 알고리즘 및 절차, 자동화 등을 주요 요소로 제시한 바 있다[10].

이 중 추상화는 문제의 복잡성을 줄이기 위해 불필요한 세부 사항은 제거하고 문제 해결에 핵심적인 본질만을 추출하여 모델을 만드는 인지적 과정이며, 알고리즘적 사고는 추상화된 모델을 바탕으로 문제를 해결하기 위한 일련의 순차적인 절차나 규칙을 설계하는 능력을 의미한다[11]. 또한, 이러한 일련의 과정을 통해 도출된 해결책을 컴퓨터와 같은 정보처리 주체가 수행할 수 있도록 최적화하고 자동화하는 과정이 CT의 본질적인 실행 단계가 된다. 최근 초등 정보교육에서는 이러한 CT의 요소들을 실제적인 프로그래밍 활동과 연결하여 학습자의 논리적 추론 및 창의적 문제 해결력을 신장시키는 데 주력하고 있다[12].

2) 컴퓨팅 사고력 평가 및 3D 산출물 분석

이러한 CT의 평가 도구에 관해서는 국내외에서 다양한 연구가 이루어졌다. Tang 등[13]은 CT 평가 관련 연구 96편을 분석하여 평가 유형을 지필 평가, 수행 평가, 프로젝트/포트폴리오, 설문(태도 및 인식)으로 분류하고 대부분 CT 평가가 '프로그래밍 능력' 중심으로 편중되었으며 신뢰도 및 타당도 보고 부족 문제를 지적했다.

Brennan과 Resnick[14]은 CT를 컴퓨팅 개념, 컴퓨팅 실천, 컴퓨팅 관점의 세 가지 차원으로 확장하여 정의하며 프로젝트 포트폴리오 분석, 산출물 기반 인터뷰, 디자인 시나리오의 세 가지 접근 방법을 병행할 것을 제시했다. 이에 따라 본 연구에서는 단순 지필 평가 방식이 아니라 지필 평가, 3D 산출물 분석, 설문 조사를 병행하였다.

국내에서도 컴퓨팅 사고력을 객관적으로 측정하기 위한 평가 도구 개발 및 방법론에 관한 연구가 다각도로 이루어져 왔다. 김성식 등[15]은 대학생을 대상으로 문제 해결 중심의 프로그래밍 교육 환경에서 활용할 수 있는 지필 검사 및 자기보고식 평가도구를 개발하였으며, 이정훈[16]은 컴퓨팅 사고력의 다차원적 특성을 반영하기 위한 과정 중심 평가 방안을 제시한 바 있다.

하지만 이러한 선행연구들은 대부분 평가 대상이 중고등학생 이상이므로 인지 발달 단계에 있는 초등학생에게 그대로 적용하기에는 난이도와 문항 적절성 면에서 한계가 있다. 또한, 자기보고식 평가는 학습자 스스로의 주관적 판단에 의존함에 따라 실제 역량과 응답 사이에 괴리가 발생하거나 객관적인 성취 수준을 파악하기 어렵다는 제한점이 존재한다.

이에 본 연구에서는 초등학교 5학년 학습자의 발달 단계를 고려하고, 지필 검사 형태의 객관적 역량 측정을 위해 한국교육학술정보원(KERIS)에서 실시한 2017년도 소프트웨어 교육 연구학교 현황 및 효과성 분석 연구[17]에서 개발한 CT 사전·사후 검사지를 활용하였다. 해당 도구는 초, 중, 고 학교급별 수준에 맞게 CT 사전·사후 검사지를 제공하고 있어 본 프로젝트 수업을 통한 CT의 변화를 실증적으로 파악하기에 적합하다고 판단하였다.

2-2 메타버스

1) 메타버스의 개념 및 교육적 활용

메타버스(Metaverse)는 초월을 의미하는 그리스어 접두사 Meta와 우주를 뜻하는 Universe의 합성어로, 비영리 기술 연구 단체인 ASF(Acceleration Studies Foundation)에서는 메타버스를 가상으로 확장된 물리적 현실과 물리적으로 지속 가능한 가상공간의 융합으로 정의하였다[18]. 또한 이를 네 가지 유형인 증강현실(Augmented Reality), 라이프로깅(Lifelogging), 거울세계(Mirror Worlds), 가상세계(Virtual Worlds)로 분류하였는데, 이 중 본 연구의 학습 환경인 마인크래프트는 현실과는 독립적으로 존재하는 완전한 가상공간에서 아바타를 통해 활동하는 '가상세계'에 해당한다. 가상세계는 물리적 법칙을 재구성할 수 있는 유연성과 높은 실재감을 제공하며, 특히 학습자가 스스로 환경을 구축하고 문제를 해결해 나가는 구성주의적 학습을 지원하기에 용이한 특성을 보유하고 있다.

메타버스의 교육적 활용은 실제 교육 현장에서도 점진적으로 확산되는 추세이다. 이동국 등[19]에 의하면 초·중등 학생들의 상당수가 수업 내에서 메타버스를 경험하고 있으며, 특히 단순 체험을 넘어 창작 및 프로그래밍 활동이 주요 활용 분야로 조사되었다. 이는 메타버스가 전통적인 강의식 수업 보조 도구를 넘어, 학습자가 주체적으로 문제를 해결하고 결과물을 생성하는 실천적인 프로그래밍 학습 환경으로 안착하고 있음을 시사한다.

2) 마인크래프트 활용 프로그래밍의 특징

마인크래프트 에듀케이션 환경에서의 프로그래밍은 3차원 좌표계(X, Y, Z)를 기반으로 하여, 추상적인 논리 구조를 가상

세계 내의 입체적인 실체로 구현한다는 점에서 차별화된 특징을 지닌다. 학습자는 블록을 배치하거나 게임 속에서 프로그래밍을 보조해주는 역할을 하는 에이전트를 이동시키기 위해 절대좌표와 상대좌표의 개념을 이해하고 활용해야 한다[5].

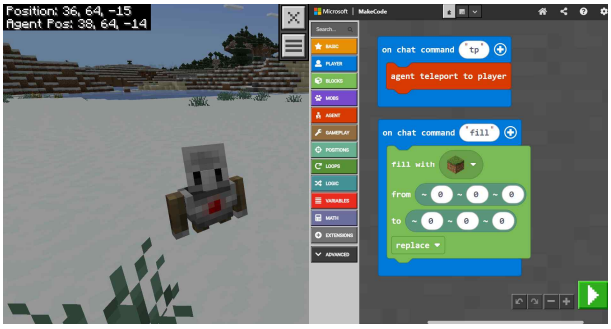


그림 1. 에이전트와 좌표를 사용한 블록코딩
Fig. 1. Block coding using agents and coordinates

기존의 엔트리나 스크래치와 같은 2차원 블록 코딩 환경은 화면상의 객체 이동과 논리적 순차성을 중심으로 구성되며, 객체의 이동과 배치가 평면(X, Y) 상에서 이루어지므로 공간 감각이 개입하는 차원이 비교적 단순한 편이다. 반면, 마인크래프트 기반의 3D 프로그래밍은 동, 서, 남, 북, 위, 아래의 입체적 설계를 필수적으로 동반하며, X, Y, Z축 전체에 걸친 좌표 전환과 시점 변화에 대한 이해를 요구한다. 이는 학습자로 하여금 논리적 사고를 필요로 하는 컴퓨팅 사고력과 더불어 구조물의 입체적 공간 배치를 동시에 고려해야 하는 복합적인 인지 부하를 경험하게 한다. 따라서 3D 메타버스 환경에서의 프로그래밍은 텍스트 기반 환경에서 이미 보고된 공간 감각의 영향이 더욱 확장되고 복합적인 형태로 나타날 가능성이 있으며, 본 연구는 이러한 가능성을 탐색적으로 살펴보고자 한다.

2-3 공간 감각

1) 공간 감각의 정의 및 하위 요소

공간 감각(Spatial Sense)은 연구자에 따라 공간 능력(Spatial Ability), 공간 기술(Spatial Skills) 등 다양한 용어로 정의되어 왔다. 먼저 Linn과 Petersen[20]은 공간 능력을 기호적이며 비언어적인 정보를 정신적으로 표상하고 변형, 생성, 회상하는 인지적 능력으로 정의하였다. 이들은 공간 능력의 하위 요소를 공간 지각(Spatial perception), 정신적 회전(Mental rotation), 공간 시각화(Spatial visualization)의 세 범주로 구분하여 체계화하였다.

반면 Tartre[21]는 공간 감각을 시각적 관계를 이해하고 조작하며, 이를 재구성하거나 해석하는 과정을 수반하는 정신적 기술로 정의하였다. 특히 Tartre는 공간 감각의 하위 요소로 대상물 자체를 정신적으로 변형하는 공간 시각화(Spatial visualization)와 관찰자의 시점 변화를 통해 위치 관계를 파악하는 공간 방향(Spatial orientation)을 제시하였다. 이는 3차원 가상 공간에서 구조물을 설계하고 에이전트를 제어해야 하는 마인크래프트 프로그래밍 환경의 인지적 특성을 설명하는 데 중요한 이론적 근거가 될 수 있다.

국내의 경우, 제7차 수학과 교육과정[22]에서 '공간 감각'이라는 용어가 공식적으로 도입되었으며, 이는 도형에 대한 직관적 이해와 조작 능력을 포괄하는 개념으로 현재까지 통용되고 있다. 이에 본 연구에서는 선행 연구 및 국내 교육과정의 명칭을 준용하여 학습자의 공간 인지 역량을 '공간 감각'으로 명명하고, Tartre[21] 및 조영선[23]의 분류에 따라 공간 시각화와 공간 방향을 하위 요소로 설정하여 분석을 진행하였다.

2) 초등학생의 공간 인지 발달

조영선[23]은 초등학교 4, 5, 6학년 학생들을 대상으로 공간 감각 실태를 조사한 결과, 학년이 올라감에 따라 공간 감각의 전체 성취도가 유의미하게 향상됨을 확인하였다. 이는 아동의 인지적 성숙과 함께 학교 교육과정 내에서의 다양한 학습 경험이 축적된 결과로 해석된다.

본 연구의 대상인 5학년은 공간 시각화와 공간 방향 능력이 유사한 수준에서 균형을 이루는 특성이 있다. 그러나 3차원 입체물을 머릿속에서 변형하는 정신적 변환이나, 복잡한 배경 속에서 위치 관계를 파악하는 위치 감각에서는 고학년 학생들도 어려움을 겪을 수 있다. 또한 동일 학년 내에서도 공간 감각의 개인차가 크게 나타나는데, 이는 일률적인 프로그래밍 교육 처치 하에서도 학습자마다 서로 다른 인지적 부하를 경험하고 성취도의 격차가 발생할 수 있음을 시사한다.

2-4 공간감각과 컴퓨팅 사고력의 관계

1) 공간 감각과 학습 성취의 관계

학습자의 공간 감각은 장기적인 학업 성취와 전문성 발달을 예측하는 핵심적 인지 변인으로 주목받고 있다. Wai 등[24]은 약 40만 명의 표본을 대상으로 한 50년 이상의 종단 연구 데이터를 분석하여, 청소년기에 측정된 공간 능력이 향후 STEM 분야에서의 고등 학위 취득 및 직업적 성공을 결정짓는 핵심 지표임을 입증하였다. 특히 공간 감각이 SAT의 언어 및 수리 점수를 통계적으로 통제한 상태에서도 STEM 성취를 유의미하게 설명하는 독자적인 예측력을 가짐을 밝혀냈다.

2) 공간 감각과 컴퓨팅 사고력의 상호작용

한편 학습자의 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 또한 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다[7],[25]. 국외 선행연구들에 따르면 학습자의 공간 감각은 프로그래밍 역량과 높은 상관을 보일 뿐만 아니라, 프로그래밍 학습의 성패를 가늠할 수 있는 핵심적인 예측 지표로 기능한다. 특히 Bockmon 등[26]은 대학생을 대상으로 한 예측 모델 연구를 통해 사전 공간 감각이 학기 말 프로그래밍 성취를 예측하는 데 있어 기존의 프로

그래밍 지식보다 더 높은 예측 지표임을 확인하였다.

하지만 이러한 선행 연구들은 해외 사례에 국한되어 있고 인지 발달 단계에 있는 초등학생들을 대상으로 한 연구 사례는 제한적이다. 또한 기존 연구들은 대부분 지필 평가 혹은 프로그래밍 테스트를 활용하여 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 간의 관계를 규명했지만, 3D 환경에서의 산출물을 바탕으로 분석한 사례는 매우 미비한 실정이다. 특히 마인크래프트와 같은 환경은 3차원 좌표계와 시점 변화를 기반으로 하기에 학습자는 코드의 정확성 뿐만 아니라 구조물의 공간적 배치 등을 복합적으로 고려해야 한다. 이는 단순히 지필 검사 점수로는 포착하기 어려움에 따라 본 연구는 실제적인 3D 산출물 분석을 통해 공간 감각이 3D 프로그래밍에 미치는 실질적인 영향을 확인하고자 한다.

Ⅲ. 연구 방법

3-1 연구 설계 및 모형

1) 연구 설계

본 연구는 마인크래프트를 활용한 3D 프로그래밍 프로젝트 수업 전후 초등학생의 컴퓨팅 사고력 변화를 확인하고, 학습자의 공간 감각이 실제적인 학습 성취에 기여하는지 확인하고자 한다. 이를 위해 단일집단 사전-사후 검사 설계를 채택하였다. 본 설계는 동일한 학습자 집단을 대상으로 교육 처치 전후의 변화를 확인하는 동시에, 학습자의 공간 감각에 따른 학습 성과를 분석하는 것을 목표로 한다[27].

2) 연구 모형

본 연구는 학습자의 사전 공간 감각이 3D 메타버스 프로그래밍 수업 이후의 성취 결과를 예측하는지를 검토하는 데 있다. 이는 교육 프로그램이 공간 감각 자체를 향상시키는지를 검증하는 인과적 처치 모형이 아니라, 학습자의 개인차 변인으로서의 공간 감각이 성취 차이를 설명하는 인지적 예측 모형임을 전제한다. 이에 따라 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물 간의 관계를 확인하는 동시에, 사전 컴퓨팅 사고력을 통제한 상태에서 공간 감각의 순수한 추가 설명력을 검증하기 위한 모형을 설정하였다.

연구 모형의 주요 변인은 다음과 같다. 첫째, 학습자의 기존 컴퓨팅 사고력의 영향을 제거하기 위해 컴퓨팅 사고력 사전 점수를 통제 변인으로 설정하였다. 둘째, 본 연구의 핵심 관찰 대상인 공간 감각 점수를 독립 변인으로 설정하였다. 셋째, 교육 처치 후의 인지적 성과와 실천적 성과를 다각도로 확인하기 위해 컴퓨팅 사고력 사후 검사와 3D 산출물 성취도를 각각 종속 변인으로 설정하였다.

본 연구의 분석은 사전 컴퓨팅 역량에 의한 설명력을 먼저 산출한 뒤, 공간 감각의 투입에 따른 설명력의 증분을 확인하는 위계적 회귀분석 구조[28]를 취하며, 이를 도식화하면 그림 2와 같다.

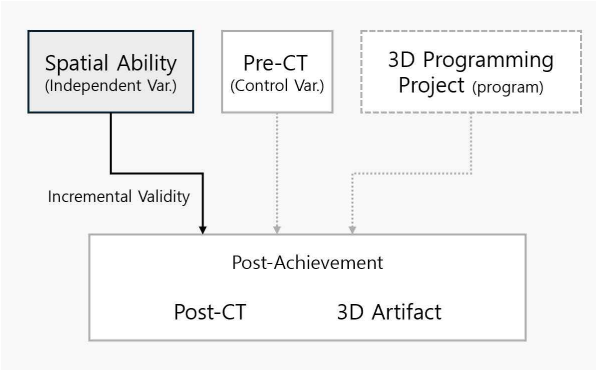


그림 2. 위계적 회귀분석을 사용한 연구모델
Fig. 2. Research model for hierarchical regression analysis

3-2 연구 대상

본 연구를 위해 대구광역시 소재 D 초등학교 5학년 6개 학급 학생 154명을 대상으로 프로젝트 수업을 실시하였다. 이 중 결석 등으로 인해 발생한 결측치 26명의 데이터는 분석에서 제외하고 사전·사후 검사 및 8차시 프로젝트의 최종 3D 산출물을 성실히 제출한 학생 128명의 데이터를 최종 분석 대상으로 선정하였다.

연구 대상 학습자들은 1학년 시기부터 매년 17차시의 창의적 체험활동 시간을 활용해 엔트리, 스크래치 등 블록 기반 프로그래밍과 로봇 활용 피지컬 컴퓨팅 교육을 받았다는 공통적인 배경을 지니고 있다. 따라서 이들은 2차원 평면 기반의 프로그래밍에 대한 이해도가 높은 편이다. 또한 3, 4학년에서 교육용 마인크래프트의 기본적인 조작 및 가상 세계 탐험 경험을 가지고 있어 도구 활용에는 능숙한 상태이다.

반면, 마인크래프트 내에서 메이크코드를 활용한 좌표 기반 건축 프로그래밍 경험은 전무하여 본 연구의 교육 처치에 따른 컴퓨팅 사고력 향상 및 공간 감각의 영향력을 확인하기에 적합한 표본이라 할 수 있다.

3-3 측정 도구

본 연구에서는 학습자의 인지적 특성과 학습 성취도를 다각도로 측정하기 위해 공간 감각 검사, 컴퓨팅 사고력 지필 검사, 그리고 프로젝트 3D 산출물 분석 루브릭의 세 가지 도구를 활용하였다.

1) 공간 감각 검사

학습자의 공간 감각을 측정하기 위해 조영선[23]이 개발하고 타당화한 초등학생용 공간 감각 검사지를 활용하였다. 본 도구는 공간 시각화(정신적 회전, 정신적 변환, 도형 배경

지각) 15문항과 공간 방향(위치 감각, 방향 감각, 거리 감각) 15문항 등 총 30문항으로 구성되어 있다. 각 문항은 정답 시 1점, 오답 시 0점으로 채점되며 총점은 30점이다. 본 연구에서의 신뢰도(Cronbach's α)는 .815로 나타나 높은 수준의 내적 일관성을 확보하였다.

2) 컴퓨팅 사고력 검사

학습자의 컴퓨팅 사고력을 측정하기 위해 한국교육학술정보원(KERIS)[17]에서 개발한 초등학생용 컴퓨팅 사고력 검사지를 사용하였다. 본 도구는 사전 검사와 사후 검사로 이루어져 있고 분석(6문항), 모델링(6문항), 구현(4문항), 일반화(1문항)의 4개 역량을 측정하는 총 17개 문항으로 구성되어 있다. 신뢰도 분석 결과, 사전 검사의 Cronbach's α는 .522, 사후 검사는 .687로 나타났다. 하위 역량별 분석을 추가로 실시하였으나, 각 역량당 문항 수가 1~6문항으로 적어 Cronbach's α가 문항 수에 비례하여 낮게 산출되는 통계적 특성상 하위 역량별 신뢰도는 도구의 내적 일관성을 적절히 반영하지 못하는 것으로 판단되었다. 이에 본 연구에서는 전체 17문항 기준의 총점 신뢰도를 기준으로 분석을 진행하였다.

신뢰도 분석 결과 사전 및 사후 검사 모두 다소 낮은 수치를 기록하였으나, 사후검사(.687)가 사전검사(.522)에 비해 높게 나타난 것은 8차시 수업을 통해 학습자들의 CT관련 반응이 일정 수준 수렴된 결과로 해석할 수 있다. 다만 사전검사의 낮은 신뢰도는 해당 점수를 통제 변인으로 투입한 위계적 회귀분석에서 측정오차를 증가시켜 회귀계수와 설명력의 추정이 불안정해질 가능성이 있으므로, 분석 결과는 이러한 제약을 감안하여 해석할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 지필 평가의 한계를 보완하기 위해 실제적인 프로그래밍 수행력을 측정하는 3D 산출물 분석 데이터를 병행하여 분석에 활용하였다.

3) 3D 산출물 분석 루브릭

마인크래프트 프로젝트를 통해 구현된 3D 산출물의 완성도와 코딩 활용 수준을 객관적으로 평가하기 위해 별도의 분석 루브릭을 개발하여 적용하였다. 평가 대상은 학생들이 마인크래프트 내부에서 프로그래밍을 활용해 각자 건축한 '우리 학교' 월드이며, 건축의 구현 단계(건물 3개 동 건축, 각 동의 토대 및 창문 구현, 기타 프로그래밍을 활용한 추가 요소 구현 등)를 기준으로 하였다. 루브릭은 총 9단계의 세부 항목으로 구성되었으며, 수행 수준에 따라 최소 0점에서 최대 16점으로 채점하도록 설계되었다. 각 단계의 세부 평가 항목, 배점 기준, 수행 수준별 예시는 표 1과 같다. 이를 통해 지필 평가로는 포착하기 어려운 3D 산출물 점수를 정량화하였다.

본 루브릭의 평가 구조는 단계별 건축 구현의 완수 여부를 중심으로 설계되었다. 이는 8차시라는 제한된 수업 시간 내에 초등학생이 도달가능한 수행 수준을 기준으로 구성한 것으로, 북관(신관)·본관·남관의 3개 동 건축, 각 동의 토대와 창문 구현, 프로그래밍을 활용한 추가 시설 구현의 순으로 난이도가 점증하도록 설계하였다. 따라서 본 루브릭의 점수는 학습자가 3D 프로그래밍을 통해 구조물을 얼마나 완성했는가를 반영한다.

표 1. 3D 산출물 점수 루브릭
Table 1. 3D architecture score rubric

Step	Detail	Max. Point
1	Build all floors of the North Building	2
2	Add windows to the North Building	2
3	Build the foundation of the Main Building	1
4	Build all floors of the Main Building	2
5	Build the foundation of the South Building	1
6	Build all floors of the South Building	2
7	Add windows to the South Building	2
8	Add windows to the Main Building	2
9	Additional facilities(1 point per coded structure)	2

Note. For items with a maximum of 2 points – 0: Not attempted, 1: Partially completed, 2: Fully completed. For items with a maximum of 1 point (Steps 3 and 5) – 0: Not attempted, 1: Fully completed. For Step 9, a "coded structure" refers to any structure built using coordinate-based block-coding commands. Examples include a playground, a canopy, a fence, and a garden.

채점은 컴퓨터교육 전공, 교육 경력 10년의 연구자 1인과 교육용 마인크래프트 활용 수업 경험이 있는 현직 교사 1인, 총 2인의 평가자가 독립적으로 실시하였다. 평가자들은 사전에 루브릭 기준 및 채점 예시를 공유하고 조정 회의를 거쳐 채점 기준을 통일하였다. 전체 128개 산출물에 대한 두 평가자의 채점 결과를 바탕으로 급내상관계수(ICC)를 산출한 결과 ICC = .992(95% CI[.990, .994])로 나타나 평가자 간 신뢰도가 매우 우수한 수준임을 확인하였다[29]. 이후 두 평가자 간 점수 차이가 발생한 항목에 대해서는 협의를 통해 최종 점수를 합의·확정하였다. 아울러 루브릭 문항 간 내적 일관성을 검토하기 위해 Cronbach's α를 산출한 결과 .902로 나타나 평가 도구의 내적 일관성이 매우 우수함을 확인하였다.



그림 3. 학생 프로젝트 결과 예시
Fig. 3. An example of student's project result

3-4 프로젝트 수업

1) 프로젝트 수업 개요

본 연구에서는 초등학생의 공간 감각과 컴퓨팅 사고력의 상호작용을 확인하기 위해 마인크래프트 에듀케이션 1.21 버전을 활용하여 '블록코딩으로 우리 학교 건설하기' 프로젝트 수업을 개발하였다. 본 프로젝트의 적용은 2025년 11월부터 2026년 2월까지 총 8차시 동안 진행되었으며, 2022 개정 실과(정보) 교육과정의 성취기준인 '[6실05-01] 컴퓨터를 활용한 생활 속 문제해결 사례를 탐색하고 일상생활 속 문제를 해결하기 위한 알고리즘을 다양한 방법으로 표현한다'를 근거로 재구성하였다.

본 프로젝트의 핵심 특징은 대규모 건축물인 학교를 주제로 설정하여 학습자가 블록을 하나씩 직접 설치하는 수동 방식으로는 해결하기 어려운 과제를 부여한 점이다. 이를 통해 학습자가 3D 프로그래밍을 활용해야 할 필요성과 유용성을 체감하도록 설계하였다.

본 프로젝트에서 공간 감각이 요구되는 구체적인 장면은 다음과 같다. 첫째, 학습자는 실제 학교 건물의 3차원 구조를 머릿속에서 입체적으로 표상한 뒤 X·Y·Z 좌표계로 변환하여 건물을 생성하고 에이전트 이동 경로를 설계해야 하며, 이 과정에서 공간 시각화 능력이 직접적으로 요구된다. 둘째, 동·서·남·북·위·아래의 방향 개념을 활용하여 에이전트를 원하는 위치로 이동시켜야 하므로, 공간 방향 감각이 필수적으로 개입된다. 셋째, 건물 외벽·창문 등의 구조물 형태를 코딩 블록의 수치(가로·세로·높이)로 전환하는 과정에서, 공간 감각과 알고리즘적 사고가 통합적으로 요구된다.

이와 같은 과제 구조에서 컴퓨팅 사고력(CT)의 각 요소는 다음과 같이 연계된다. 문제 분해는 학교 건물 전체를 북관(신관)·본관·남관의 하위 구조물로 나누는 설계 단계에서 적용된다. 추상화는 건물의 형태를 좌표값과 블록 수치로 단순화하여 코드로 표현하는 과정에서 요구되며 알고리즘적 사고는 에이전트가 특정 좌표로 이동하여 블록을 채우는 반복 절차를 블록코드로 설계할 때 발현된다. 자동화는 반복문을 활용하여 동일한 구조를 효율적으로 생성하는 코딩 과정에 해당한다. 즉, 본 프로젝트는 3D 공간 감각과 CT의 핵심 요소가 유기적으로 결합되도록 설계된 통합적 학습 과제이다.

2) 전문가 검토를 통한 타당성 검증

개발된 교육 프로그램의 내용 타당도를 확보하기 위해 관련 분야 전문가 9인을 대상으로 검토를 실시하였다. 전문가 집단은 초·중등 교사들로 컴퓨터교육 및 AI교육 전공 박사과정 2명, 석사학위자 및 석사과정 5명, 교육용 마인크래프트 활용 경험이 풍부한 학사학위자 2명 등 총 9명이며 평균 교직 경력 7.8년의 전문가들로 구성하였다.

리커트 5점 척도 기준으로 받은 전문가 검토 결과, 프로젝트 수업 설계 적합성 및 각 차시별 내용 정합성에서 모두 4.6점 이상의 점수를 받아 연구 목표를 위한 프로젝트 수업이 적절하게 이루어진 것으로 평가되었다. 다만, 전문가들은 다음과 같이 학교 현장에 적용 시 고려해야 할 주요 제언을 제시하였다.

표 2. 내용 타당도 검사를 위한 전문가 프로필
Table 2. Profile of experts for content validity

No.	Major	Degree / Status	Exp. Years	Position
1	AI Education	Master's Student	5	ES
2	Computer Education	Master's Student	1	ES
3	Computer Education	Bachelor of Ed.	3	ES
4	Computer Education	Master's Student	10	ES
5	Elementary Comp. Ed.	Master's Degree	14	ES
6	Science Education	Bachelor of Ed.	1	ES
7	Computer Engineering	Ph.D. Candidate	15	ES
8	Computer Education	Ph.D. Student	8	HS
9	Elementary Comp. Ed.	Master's Student	13	ES

Note. ES: Elementary School, HS: High School.

먼저 학습 내용의 난이도에 관해 3차원 좌표계의 개념이 초등학교 5학년 수준에서는 다소 어려울 수 있으며, 특히 상대좌표와 절대좌표를 다루는 과정에서 학습자에게 과도한 인지적 부담이 발생할 가능성을 우려하였다. 따라서 추상적 수치 학습보다는 에이전트의 이동 및 보조 블록을 통한 시각적 보완 방법 교육을 강화하였다.

또한 학습자 간 개인차 해소를 위한 전략이 필요하다는 지적이 있었다. 프로그래밍 학습의 특성상 과제 수행 속도와 이해도에 있어 학습자 간 편차가 크게 나타날 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요함을 지적하였다. 따라서 학습 속도 차이를 해결하기 위해 조기 완수자를 위한 추가 도전 미션과 느린 학습자를 위한 단계별 예제 가이드를 확충하여 개별 맞춤형 학습이 가능하도록 하였다.

마지막으로 명확한 평가 기준의 필요성을 지적하였다. 8차시라는 제한된 시간 안에 유의미한 3D 산출물을 도출하기 위해서 핵심적인 기능 구현 여부를 판단할 수 있는 구체적이고 명확한 성취 기준이 제시되어야 한다는 의견이 있었다. 이에 따라 단계별 건축 목표와 학습가이드를 제시하도록 교수·학습 과정을 수정하였다.

3) 교수·학습 단계 및 차시 구성

전문가 검토 결과를 반영한 프로젝트는 총 8차시로 구성되었으며, 구체적인 교수·학습 단계는 다음과 같다.

첫째, 사전 준비 단계에서는 연구 대상자의 기초 역량을 파악하기 위해 공간 감각 검사 및 컴퓨팅 사고력 사전 검사를 실시하였다.

둘째, 도입 단계(1차시)에서는 마인크래프트의 기본 인터페이스를 익히고, 절대좌표와 상대좌표의 개념을 학습하였다.

셋째, 기초 단계(2, 3차시)에서는 마인크래프트 내 프로그래밍 보조도구인 에이전트(Agent)를 조작하는 방법과 건축에 필요한 기본 블록코딩 명령어(에이전트 이동, 채우기 등)

를 실습하였다.

넷째, 설계 단계(4차시)에서는 학교 건물의 구조를 분석하고, 효율적인 건축을 위한 알고리즘을 교사 지도하에 설계하였다.

다섯째, 구현 단계(5~8차시)에서는 설계한 알고리즘을 바탕으로 실제적인 3D 학교 건축 프로젝트를 수행하였다.

마지막으로 마무리 단계에서는 컴퓨팅 사고력 사후 검사를 실시하고 최종 마인크래프트 월드 3D 산출물을 수합하였으며 학습자의 반응을 탐색적으로 확인하기 위해 연구자가 구성한 인식 설문지를 활용하였다.

3-5 자료 분석 방법

본 연구에서 수집된 자료는 통계 분석 프로그램인 jamovi(Version 2.6.44)를 활용하여 분석[30]하였으며, 구체적인 분석 방법은 다음과 같다.

첫째, 학습자의 공간 감각 수준과 사전·사후 컴퓨팅 사고력, 그리고 마인크래프트 프로젝트 수업 3D 산출물 성취도의 전반적인 경향성을 파악하기 위해 각 변인의 평균(M)과 표준편차(SD)를 산출하는 기술통계 분석을 실시하였다.

둘째, 8차시의 마인크래프트 활용 프로그래밍 프로젝트 수업 전후 초등학생의 컴퓨팅 사고력 점수 변화를 확인하기 위해 대응표본 t-검정을 실시하였다.

셋째, 공간 감각과 컴퓨팅 사고력, 그리고 3D 산출물 성취도 간의 상호 관련성을 탐색하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다.

넷째, 학습자의 사전 역량을 통제한 상태에서 공간 감각이 최종 학습 성취에 미치는 독자적 영향력을 규명하기 위해 위계적 회귀분석을 실시하였다. 1단계에서는 통제 변인으로 컴퓨팅 사고력 사전 점수를 투입하고 2단계에서 핵심 독립 변인인 공간 감각 총점을 추가로 투입하여 사후 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물 성취도에 대한 설명력의 증분(ΔR^2)과 표준화 계수(β)를 확인하였다[27]. 또한 공간 감각의 하위 요소별 영향을 확인하기 위해 같은 위계적 회귀분석을 공간 감각 총점 대신 공간 감각의 하위 요소별(공간 시각화, 공간 방향) 점수를 투입하여 분석하였다.

Ⅳ. 연구 결과

4-1 기술통계 및 교육 효과 분석

1) 기술통계 분석

본 연구의 주요 변인인 공간 감각 역량, 사전·사후 컴퓨팅 사고력, 그리고 마인크래프트 프로젝트 3D 산출물의 전반적인 성취 수준을 파악하기 위해 기술통계 분석을 실시하였다. 먼저 공간 감각 분석 결과는 표 3과 같다.

표 3. 공간 감각 분석 결과(N=128)
Table 3. Spatial sense analysis results (N=128)

	Spatial Visualization	Spatial Orientation	Total
Number of questions	15	15	30
Average	8.35	7.16	15.52
Standard Deviation	3.00	3.23	5.58

학습자의 사전 공간 감각 역량을 분석한 결과, 30점 만점에 전체 평균은 15.52점(SD = 5.58)으로 나타났다. 하위 요인별로 살펴보면, 공간 시각화 영역은 15점 만점에 평균 8.35점(SD = 3.00)을 기록하였다. 반면 공간 방향 영역은 15점 만점에 평균 7.16점(SD = 3.23)으로 나타나 시각화 영역에 비해 상대적으로 낮은 정답률을 보였으나 이는 검사 후반부에 배치된 공간 방향 문항들에 대해 학습자들이 제한 시간 내에 응답해야 했던 제한조건이 반영된 결과로 보인다. 그럼에도 불구하고 두 요인 모두 표준편차가 3.0 이상으로 나타나 학습자 간 공간 감각의 개인차가 뚜렷하게 드러남을 알 수 있다.

다음으로 사전·사후 컴퓨팅 사고력 분석 결과는 표 4와 같다. 사전 검사 평균은 8.27점(SD = 2.63)이었으나, 8차시 프로젝트 수업 실시 후 사후 검사 평균은 9.13점(SD = 3.15)으로 상승하였다. 사후 검사에서 표준편차가 증가한 것은 교육처치 이후 학습자 간 컴퓨팅 사고력 성취의 격차가 발생했음을 시사하며, 이는 공간 감각과 같은 개별 인지 특성이 성취도 차이를 설명할 수 있는 요인이 될 수 있음을 시사한다.

표 4. 사전·사후 컴퓨팅 사고력 분석 결과
Table 4. Pre and post computational thinking test result (N=128)

	Pre-CT Test	Post-CT Test
Number of questions	17	17
Average	8.27	9.13
Standard Deviation	2.63	3.15

마지막으로 마인크래프트 활용 3D 산출물 분석 결과는 16점 만점에 평균 9.20점(SD = 4.73)으로, 본 연구에서 측정한 다른 변인들에 비해 표준편차가 상대적으로 크게 나타났다. 이는 3차원 가상 세계 내에서의 실천적 프로그래밍 수행이 학습자의 인지적 역량 및 과제 몰입도에 따라 다양하게 나타났음을 의미한다.

2) 대응표본 t-검정

다음으로 마인크래프트 활용 프로그래밍 프로젝트 수업 전후 초등학생의 컴퓨팅 사고력 점수의 변화를 확인하기 위해 대응표본 t-검정을 실시하였다.

분석에 앞서 차이값에 대한 정규성 가정을 검토하기 위해 Shapiro-Wilk 검정을 실시한 결과, 유의확률이 .146으로 나타나 유의수준 .05하에서 정규성 가정을 위배하지 않는 것으로 확인되었다. 이에 따라 모수 검정인 대응표본 t-검정을 적

용하는 것이 통계적으로 타당함을 확인하였다.

분석 결과, 전체 컴퓨팅 사고력 점수는 사전 검사(M = 8.27, SD = 2.63)에 비해 8차시의 프로젝트 수업을 실시한 후 사후 검사(M = 9.13, SD = 3.15)에서 통계적으로 유의미하게 증가하였다(t (127) = -3.75, p < .001). 사전 점수와 사후 점수의 평균 차이는 0.86점이었으며, 교육의 실질적인 임팩트를 나타내는 효과 크기(Cohen's d)는 0.33으로 산출되어 작은 수준의 교육 효과가 있는 것으로 나타났다. 다만 비교집단이 없는 단일집단 설계상 이를 수업 처치만의 인과적 효과로 단정하기는 어렵다. 그럼에도 8차시라는 비교적 짧은 처치 기간을 고려할 때, 마인크래프트 기반 3D 프로그래밍 활동이 초등학생의 컴퓨팅 사고력 향상과 관련이 있을 가능성을 시사하는 결과로 해석할 수 있다.

3) 수준별 3D 산출물 대표 예시

수준별 산출물의 질적 특성을 탐색적으로 살펴보기 위해 3D 산출물 점수를 기준으로 상위 집단(13점 이상, N=45)과 하위집단(6점 이하, N=43)을 선정하고, 각 집단에서 해당 집단의 평균 점수에 가장 가까운 학생의 산출물을 대표 사례로 제시하였다.

상위 집단 대표 사례(3D 산출물 점수 14점)의 경우, 그림 4와 같이 북관·본관·남관 3개 동 건물이 모두 구현되었으며

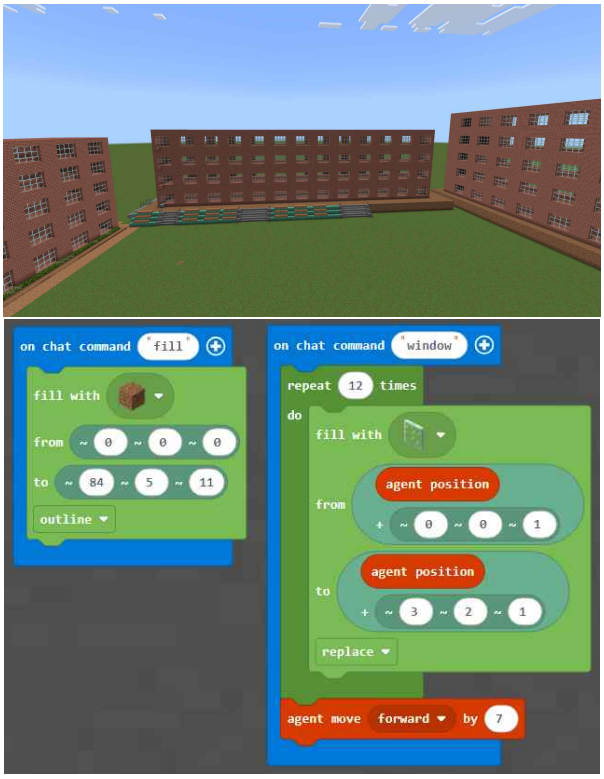


그림 4. 3D 산출물 상위 집단 대표 사례
Fig. 4. Representative of the higher group in the 3D architecture

각 동의 토대와 창문이 코딩을 사용하여 완전히 생성되었다. 코딩 측면에서는 상대좌표와 건물의 크기를 활용하여 건물을 정확하게 생성했으며 반복구조를 사용하여 창문을 효율적으로 생성하였다.

하위 집단 대표 사례(3D 산출물 점수 4점)의 경우, 그림 5와 같이 3개 동 중 2개 동의 기본 골조만 구현되었으며 창문 및 추가 시설 구현에는 이르지 못하였다. 코딩 측면에서는 상대좌표와 건물 크기를 활용한 건물 골조 생성은 성공하였으나 반복문을 활용하여 창문을 생성하는 코드는 미완성된 것으로 보인다.

이러한 수준별 산출물의 차이는 동일한 교육 처치 하에서도 학습자 간 3D 프로그래밍 수행 양상이 구체적으로 어떻게 달라질지를 보여주는 예시로 이해될 수 있다.

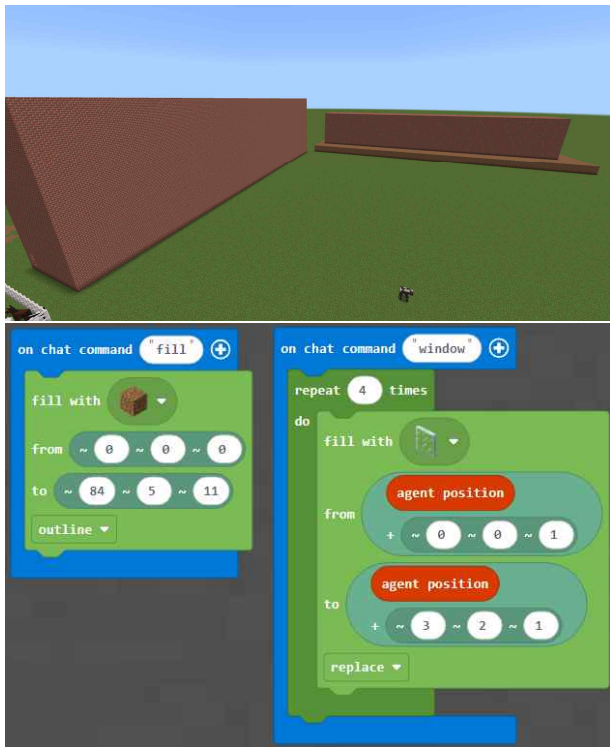


그림 5. 3D 산출물 하위 집단 대표 사례
Fig. 5. Representative of the lower group in the 3D architecture

4-2 변인 간 상관관계 분석

본 연구에서는 학습자의 공간 감각이 컴퓨팅 사고력 및 실제 3D 산출물 구현과 어떠한 관계를 맺는지 확인하기 위해 Pearson 상관분석을 실시하였다. 변인 간 상관계수를 산출한 결과는 표 5와 같다.

1) 공간감각과 컴퓨팅 사고력 간의 관계

학습자의 사전 공간감각과 컴퓨팅 사고력(CT) 간의 상관

관계를 분석한 결과, 공간감각 총점은 CT 사전검사(r = .658, p < .001) 및 사후검사(r = .592, p < .001) 모두 유의미한 높은 수준의 정적 상관관계를 나타냈다. 공간감각의 하위 요소별로 살펴보면, 공간 시각화와 공간 방향 점수 모두 CT 사전검사(각각 r = .582, r = .596, p < .001) 및 사후검사(각각 r = .515, r = .543, p < .001)와 유의미한 상관을 보였다. 이는 공간 감각이 컴퓨팅 사고력과 공통된 인지 자원을 공유하고 있을 가능성을 시사한다.

2) 각 변인과 3D 산출물 간의 관계

마인크래프트 월드 내 학교 건축물의 완성도를 평가한 3D 산출물 성취도와 타 변인 간의 관계를 분석한 결과는 다음과 같다. 첫째, 공간감각 총점과 3D 산출물 성취도는 유의미한 정적 상관관계를 보였다(r = .321, p < .001). 하위 요소 중에서는 공간 시각화(r = .336, p < .001) 능력이 공간 방향(r = .241, p = .006) 능력에 비해 실제 산출물 성취와 더 높은 상관을 나타냈다.

다음으로 컴퓨팅 사고력과 3D 산출물 성취도의 관계를 분석한 결과, 사전 CT 점수와는 유의미한 정적 상관(r = .331, p < .001)을 보였으나, 사후 CT 점수와는 상대적으로 낮은 수준의 상관(r = .176, p = .046)을 나타냈다. 이러한 결과는 학습자의 기초적 논리 추론 역량이 프로젝트 수행의 밑바탕이 됨을 보여주는 동시에, 수업을 통해 습득한 3D 프로그래밍 지식이 실제 구현으로 전이되는 과정에는 추가적인 인지적 기제가 개입됨을 시사한다. 특히 사후 CT 점수보다 공간감각 점수가 3D 산출물 성취도와 더 높은 단순 상관을 보인 점은 주목할 만하나, 위계적 회귀분석 결과 공간감각의 독립적 예측력은 유의하지 않았다는 점에서 이 상관이 곧 독립적 예측력을 의미하지는 않음을 함께 고려해야 한다.

4-3 위계적 회귀분석

본 연구에서는 학습자의 사전 컴퓨팅 역량을 통제한 상태에서 공간 감각이 학습 성취에 미치는 순수한 영향력을 확인하기 위해 위계적 회귀분석을 실시하였다. 분석은 사후 컴퓨팅 사고력과 3D 산출물 성취도를 각각 종속변인으로 하여 진행되었다.

1) 사후 컴퓨팅 사고력에 대한 기여도

사후 컴퓨팅 사고력에 대한 위계적 회귀분석 결과는 표 6과 같다. 통계적 가정 검정 결과 잔차의 독립성은 Durbin-Watson 값이 1.88로 나타나 기준값(≈2)에 근접하여 충족되었으며, 다중공선성은 VIF 값이 1.76으로 기준치(5 미만)를 충족하였다. 또한 Shapiro-Wilk 검정 결과(p = .642)가 .05보다 커 정규성 가정도 충족된 것으로 판단된다.

표 6. 사후 컴퓨팅 사고력 예측을 위한 위계적 회귀분석 결과
Table 6. Hierarchical regression analysis for predicting post-CT (N=128)

Predictor	Model 1			Model 2		
	B	β	t	B	β	t
(Intercept)	3.172	–	4.30***	2.402	–	3.30**
Pre-CT	0.721	0.602	8.47***	0.450	0.376	4.19***
Spatial Sense	–	–	–	0.194	0.344	3.83***
R	0.602			0.656		
R^2	0.363			0.430		
Adjusted R^2	0.358			0.421		
ΔR^2	–			0.067		
F for ΔR^2	–			14.70***		

Note. *p < .05, **p < .01, ***p < .001, Estimate(B): Unstandardized coefficient; β: Standardized Estimate.

위계적 회귀분석 결과, 1단계 모델인 사전 CT 점수의 설명력은 36.3%로 나타났다(R^2 = .363, p < .001). 2단계 모델에서 공간 감각 총점을 추가로 투입한 결과, 전체 설명력은 43.0%로 유의미하게 상승하였다.

이때 공간 감각에 의한 설명력 증분(ΔR^2)은 .067로 나타나, 사전 역량을 통제하더라도 공간 감각이 사후 컴퓨팅 사고

표 5. 상관관계 분석 표 (N=128)
Table 5. Correlation result matrix (N=128)

	CT_Pre	CT_Post	Spatial Sense_Total	Spatial Visualization	Spatial Orientation	3D Architecture Score
CT_Pre	–					
CT_Post	r = 0.602*** p < .001	–				
Spatial Sense_Total	r = 0.658*** p < .001	r = 0.592*** p < .001	–			
Spatial Visualization	r = 0.582*** p < .001	r = 0.515*** p < .001	r = 0.887*** p < .001	–		
Spatial Orientation	r = 0.596*** p < .001	r = 0.543*** p < .001	r = 0.903*** p < .001	r = 0.602*** p < .001	–	
3D Architecture	r = 0.331*** p < .001	r = 0.176* p = 0.046	r = 0.321*** p < .001	r = 0.336*** p < .001	r = 0.241** p = .006	–

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

력 성취에 대하여 6.7%p의 제한적이지만 통계적으로 유의한 추가 설명력을 갖는 것으로 나타났다($p < .001$). 다만 통제 변인으로 투입된 사전 CT 검사의 신뢰도가 Cronbach's α = .522로 일반적 기준에 미치지 못하는 수준임을 고려할 때, 이 추정치는 측정오차로 인한 불안정성을 내포하고 있을 가능성이 있어 해석에 신중을 기할 필요가 있다. 최종 모델의 표준화 계수(β)를 살펴보면 사전 CT 점수(β = .376, $p < .001$)와 공간 감각 총점(β = .344, $p < .001$) 모두 사후 성취에 정적 영향을 미치는 것으로 나타났다.

2) 3D 산출물 성취도에 대한 기여도

3D 산출물 성취도에 대한 위계적 회귀분석 결과는 표 7과 같다. 통계적 가정 검정 결과 잔차의 독립성은 Durbin-Watson 값이 1.84로 나타나 기준값(≈2)에 근접하여 충족되었으며, 다중공선성은 VIF 값이 1.76으로 기준치(5 미만)를 충족하였다. 그러나 Shapiro-Wilk 검정 결과($p < .001$)는 .05보다 작아 정규성 가정은 위배되는 것으로 나타났다. 이에 본 연구에서는 순위기반 회귀분석이나 부트스트랩 신뢰구간 추정과 같은 비모수적 접근을 대안으로 고려하였으나, 본 연구의 표본 크기(N = 128)가 중심극한정리를 적용하기에 충분히 크며, Knief와 Forstmeier의 연구[31]에 따르면 회귀분석 모델이 정규성 위배에 대해 비교적 강건하기 때문에 도출된 통계 수치를 최종 분석에 활용하였다. 이와 관련하여 정규성 위배는 회귀계수의 점 추정치 자체보다는 유의확률(p값)의 정확성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 공간 감각 투입에 따른 설명력 증분(ΔR^2 = .019)은 이미 p = .105로 통계적으로 유의하지 않은 수준에서 산출되었으므로, 정규성 위배로 인한 p값의 미세한 왜곡이 존재하더라도 이것이 "공간 감각의 독립적 예측력이 유의하지 않다"는 본 연구의 핵심 결론을 뒤집을 정도의 강건성 문제로 이어지지는 않을 것으로 판단된다. 다만 정규성 가정의 위배는 유의확률의 정확도뿐 아니라 표준오차 추정에도 부분적인 영향을 미칠 수 있으므로, 본 회귀모형의 강건성에는 일정한 한계가 따른다는 점을 인정할 필요가 있다. 따라서 3D 산출물 성취도에 대한 공간 감각의 독립적 예측력이 "유의하지 않았다"는 결과는 공간 감각의 기여가 전무하다는 확정적 증거로 해석되기보다는, 본 연구의 분석 조건 하에서 통계적으로 유의한 증거가 확인되지 않았다는 수준으로 신중하게 받아들여져야 한다.

표 7. 3D 산출물 성취도 점수 예측을 위한 위계적 회귀분석 결과
Table 7. Hierarchical regression analysis for predicting 3D architecture score (N=128)

Predictor	Model 1			Model 2		
	B	β	*t*	B	β	*t*
(Intercept)	4.263	–	3.25**	3.654	–	2.69**
Pre-CT	0.597	0.331	3.94***	0.382	0.212	1.91
Spatial Sense	–	–	–	0.154	0.181	1.63
R	0.331			0.358		
R^2	0.110			0.128		
Adjusted R^2	0.103			0.114		
ΔR^2	–			0.019		
F for ΔR^2	–			2.66		

Note. *$p < .05$, **$p < .01$, ***$p < .001$, Estimate(B): Unstandardized coefficient; β: Standardized Estimate.

1단계 모델인 사전 CT 점수는 산출물 성취도를 11.0% 유의미하게 예측하였다(R^2 = .110, $p < .001$). 2단계에서 공간 감각 총점을 추가 투입했을 때 전체 설명력은 12.8%로 상승하였으며, 설명력의 증분(ΔR^2)은 .019으로 산출되었다.

다만, 공간 감각의 투입에 따른 설명력의 유의미한 증가는 확인되지 않았다(p = .105). 최종 모델에서 각 독립변수의 영향력을 살펴보면 사전 CT 점수(β = .212, p = .058)와 공간 감각 총점(β = .181, p = .105) 모두 통계적 유의수준인 .05에는 도달하지 못하였다. 이러한 결과는 지필 평가 중심의 인지적 성취와 달리, 실제적인 3D 산출물 구축 과정에서는 학습자의 사전 역량과 공간 감각이 상호 독립적이기보다 고도로 통합된 공통 인지 기제로 작용했을 가능성이 있기 때문인 것으로 보인다. 또한 실제 산출물 제작 시에는 컴퓨팅 사고력 및 공간감각 등 인지적 역량 외에도 학습자의 과제 집착력, 도구 조작의 숙련도, 시각적 비계의 활용 정도 등 다양한 외생 변인이 복합적으로 관여함에 따라 공간 감각만의 순수한 기여도가 희석되었을 가능성이 있다. 결과적으로 본 모델은 3D 환경에서의 프로그래밍 역량이 단일 지능 요인이 아닌, 기초 논리력과 공간 감각이 유기적으로 상호작용하며 발현되는 통합적 성격의 역량임을 보여준다.

4-4 3D 프로그래밍 학습에 대한 학습자 인식 분석

본 프로젝트 수업이 종료된 후, 학습자들이 체감한 학습의 난이도와 이해정도 등을 확인하기 위해 추가 설문을 실시하였다. 설문은 리커트 5점 척도로 구성되었으며, 주요 분석 결과는 다음과 같다.

1) 학습 동기 및 과제 집착력

분석 결과, 학습자들은 마인크래프트 기반 프로그래밍 활동에 대해 매우 높은 흥미와 끈기를 보였다. '건축물을 짓는 코딩 수업은 즐거웠다(Q1, M = 4.33)'와 '어려운 문제가 생겨도 끝까지 해결해서 건축물을 완성하고 싶었다(Q3, M = 4.36)'는 문항에서 높은 점수를 기록하였다. 이는 3D 메타버스 환경에서의 학습 경험이 초등학생의 내적 동기 및 과제 집착력과 관련되어 있을 가능성을 시사한다.

2) 컴퓨팅 사고력 요소의 유용성 체감

프로그래밍 개념의 이해와 유용성 측면에서도 긍정적인 반응이 확인되었다. 특히 '반복 실행 코드를 사용하면 효율적이라는 것을 깨달았다(Q13, M = 4.37)' 문항에서 높은 점수가 확인되었는데 이는 대규모 학교 건축 프로젝트를 수행하는 과정에서 학습자들이 프로그래밍의 핵심 가치인 자동화와 효

율성에 대한 체감과 관련되어 있을 가능성을 보여준다. 또한 '코딩 블록(반복, 조건 등)을 사용하여 건축물을 짓는 방법이 이해되었다(Q5, M = 3.81)', 'x, y, z 좌표 개념을 이해하고 에이전트를 원하는 위치로 이동시킬 수 있다(Q10, M = 3.79)'와 같은 이해도 확인 질문에 대해서도 비교적 양호한 점수를 확인했다.

3) 공간 프로그래밍 전이 과정의 어려움

반면, 공간 정보를 프로그래밍으로 치환하는 문항에서는 상대적으로 낮은 점수가 도출되었다. '건물을 짓기 위해 건물의 모양을 머릿속으로 미리 그려볼 수 있다(Q11, M = 3.87)'에 비해, 이를 실제 코딩으로 옮길 수 있냐는 '머릿속으로 상상한 입체 건물의 모양을 코딩 블록(좌표값 등)으로 옮길 수 있다(Q9, M = 3.49)' 질문에는 낮은 점수를 확인했다. 또한 '코딩을 하다가 오류(버그)가 생겼을 때, 무엇이 잘못되었는지 찾아내는 과정이 재미있었다(Q12, M = 3.47)'라는 질문 역시 낮은 점수를 나타내어 학생들이 프로젝트 수업 과정에서 겪은 어려움을 짐작하게 한다.

Ⅴ. 논의 및 결론

5-1 결과에 대한 논의

1) 3D 메타버스 환경의 컴퓨팅 사고력 신장 효과

첫 번째 연구 문제는 마인크래프트 활용 프로그래밍 프로젝트 수업 전후로 초등학생의 컴퓨팅 사고력 점수에 유의미한 변화가 나타나는가였다. 분석 결과, 본 연구에서 실시한 8차시의 마인크래프트 활용 프로그래밍 프로젝트 수업은 초등학생의 컴퓨팅 사고력 향상과 관련이 있을 가능성을 시사한다. 대응표본 t-검정 결과, 학습자의 컴퓨팅 사고력 전체 점수는 사전 검사 대비 사후 검사에서 통계적으로 유의미하게 상승하였으며(p < .001), 효과 크기(d = 0.33)는 Cohen의 기준에 따라 작은 수준에 해당한다. 다만 비교집단이 없는 단일집단 설계상 이 변화를 수업 처치만의 효과로 단정하기는 어려우며, 효과 크기 또한 작은 수준임을 감안하여 해석할 필요가 있다. 그럼에도 8차시라는 단기 처치 기간을 고려할 때, 3차원 메타버스 환경이 학습자의 몰입감을 높이고 가상 세계 내 구조물 구축 경험이 컴퓨팅 사고력 향상과 관련될 가능성을 시사하는 결과로 볼 수 있다.

이는 사후 설문에서 '반복 실행 코드를 사용하면 효율적이라는 것을 깨달았다(Q13, M = 4.37)'는 문항이 높은 점수를 기록한 것과 연관지을 수 있다. 마인크래프트에서의 대규모 건축 과제 수행 경험이 프로그래밍의 핵심 가치인 자동화와 효율성에 대한 체감과 관련되어 있을 가능성을 시사한다. 이러한 점에서 3D 메타버스 환경은 추상적인 알고리즘 개념을 구체적인 시각적 결과물과 연결하는 학습 맥락을 제공함으로써, 컴퓨팅 사고력의 학습 전이를 지원하는 환경으로서의 가능성을 지닌다고 볼 수 있다.

2) 공간 감각과 컴퓨팅 사고력의 상호 관계

두 번째 연구 문제는 초등학생의 공간 감각이 사전·사후 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물 성취도와 어떠한 상관관계를 갖는가였다. 상관분석 결과, 학습자의 공간 감각은 컴퓨팅 사고력 사전 점수(r = .658) 및 사후 점수(r = .592)와 밀접한 정적 상관관계를 나타냈으며, 3D 산출물 성취도와도 유의미한 정적 상관이 확인되었다(r = .321, p < .001). 이러한 결과는 공간 감각과 컴퓨팅 사고력이 문제 해결 과정에서 상당 부분 공통된 인지 자원을 공유하고 있음을 시사한다.

학습자가 마인크래프트에서 에이전트를 조작하여 건축물을 세우는 과정은 컴퓨팅 사고와 공간 감각이 동시에 요구되는 통합적 사고의 과정이다. 우수한 공간 감각은 복잡한 알고리즘을 시각적으로 모델링하는 데 유리한 인지적 토대를 제공하는 것으로 해석되며, 이는 3D 메타버스 환경에서 공간 감각과 컴퓨팅 사고력이 서로 긴밀하게 연결된 역량임을 시사한다.

3) 사후 CT 및 3D 산출물 성취도에 대한 공간 감각의 독자적 역할 검토

세 번째 연구 문제는 사전 컴퓨팅 사고력을 통제한 상태에서 공간 감각이 사후 컴퓨팅 사고력 및 3D 산출물 성취도에 대해 독자적인 예측력을 갖는가였다. 위계적 회귀분석 결과, 공간 감각은 사후 CT 점수에 대해서는 유의미한 추가 설명력을 가진 반면(ΔR^2 = .067, p < .001), 3D 산출물 성취도에 대해서는 독립적인 예측력이 통계적으로 유의하지 않았다(ΔR^2 = .019, p = .105). 다만 3D 산출물에 대한 이 회귀모형은 정규성 가정이 위배된 상태에서 도출되었으므로, 이 비유의 결과 역시 공간 감각의 기여가 전무함을 의미하기보다는 신중한 해석이 필요함을 함께 밝혀둔다. 이러한 공간 감각이 지필 기반의 인지적 성취는 예측하지만 실천적 산출물 성취는 독립적으로 예측하지 못하는 결과는 공간 감각의 역할이 측정 방식과 과제 특성에 따라 달리 발현될 수 있음을 시사한다.

한편, 공간 감각 총점 기준의 비대칭적 패턴(사후 CT에는 유의, 3D 산출물에는 비유의) 자체에 대해서는 다음과 같은 해석이 가능하다.

첫째, 루브릭의 측정 초점 문제이다. 본 연구의 3D 산출물 루브릭은 건물 구현의 완수 여부를 단계적으로 평가하는 구조로 설계되었다. 이러한 루브릭은 학습자가 블록코딩으로 구조물을 얼마나 완성했는가를 측정하지만, 좌표 활용의 정밀성이나 공간 배치의 입체적 정교함 등 공간 감각의 질적 차원을 직접적으로 포착하기 어렵다. 따라서 루브릭이 공간 감각보다 과제 집착력이나 수업 참여도에 더 민감하게 반응했을 가능성이 있으며, 이는 공간 감각의 독립적 기여가 통계적으로 분리되지 않은 원인 중 하나일 수 있다.

둘째, 공간 감각과 사전 CT 간의 높은 상관으로 인한 공유분산 문제이다. 본 연구에서 공간 감각과 사전 CT의 상관계수는 r = .658(p < .001)로 높은 수준이며, 위계적 회귀분석에서 사전 CT를 1단계에 투입한 후 공간 감각을 추가할 경우

두 변인의 공유 분산이 이미 1단계에서 설명되어 공간 감각의 고유 분산이 축소될 수 있다. 3D 산출물에 대한 전체 설명력이 12.8%에 불과하고 두 예측변인 모두 최종 모델에서 유의하지 않게 된 것(사전 CT β = .212, p = .058; 공간 감각 β = .181, p = .105)은 이러한 공유 분산 문제를 반영한다. 반면 사후 CT 모델에서는 전체 설명력이 43.0%로 높아 두 예측변인 모두 유의한 독립 기여를 보인 것은, 사후 CT가 공간 감각과 보다 강하고 구분 가능한 방식으로 연결되어 있음을 시사한다.

셋째, 외생변인의 복합적 개입이다. 3D 산출물은 지필 CT 검사와 달리 학습자의 과제 집착력, 도구 조작 숙련도, 시각적 비계의 활용 정도 등 다양한 비인지적 요인이 최종 점수에 영향을 미친다. 본 연구에서 전문가 검토 의견을 반영하여 제공한 보조 블록 등의 시각적 비계는 공간 능력이 낮은 학습자의 인지적 부하를 완화하였을 수 있으며, 이는 집단 내 공간 감각의 변별력을 약화시켰을 가능성이 있다.

종합하면, 사후 CT에 대한 공간 감각의 유의한 예측력은 탐색적 증거로서 의미 있으나, 3D 산출물에 대한 비유의 결과는 공간 감각의 영향이 없다는 것을 뜻하기보다는 현재의 루브릭 구조와 분석 모형 하에서 독립적 기여가 통계적으로 분리되지 않았음을 의미한다. 향후 연구에서는 공간적 정밀성을 직접 평가하는 루브릭을 개발하고, 공간 감각과 CT의 공유 분산을 보다 정교하게 분리할 수 있는 분석 설계를 도입할 필요가 있다.

5-2 결론 및 제언

1) 결론

본 연구는 초등학교 5학년 학생 128명을 대상으로 마인크래프트 활용 3D 프로그래밍 프로젝트 수업을 실시하고, 학습자의 공간 감각이 컴퓨팅 사고력 성취 및 3D 산출물 구현과 맺는 관계를 분석하였다. 세 가지 연구 문제에 대한 핵심 결론은 다음과 같다.

첫째, 8차시의 마인크래프트 프로그래밍 프로젝트 수업 전후에 학습자의 컴퓨팅 사고력 점수가 통계적으로 유의미하게 향상되었다(p < .001, d = 0.33). 다만 효과 크기는 작은 수준에 해당하며, 비교집단이 없는 단일집단 설계상 이를 수업 처치만의 인과적 효과로 단정하기는 어렵다. 8차시라는 단기 처치 기간을 고려할 때, 3D 메타버스 환경이 컴퓨팅 사고력 향상과 관련될 가능성을 시사하는 결과로 해석하는 것이 적절하다.

둘째, 공간 감각은 사전·사후 CT 점수 및 3D 산출물 성취도 모두와 유의미한 정적 상관을 나타냈다(r = .658, r = .592, r = .321, 모두 p < .001). 위계적 회귀분석에서 사전 CT를 통제한 후에도 공간 감각은 사후 CT에 대해 제한적이지만 통계적으로 유의한 추가 설명력을 보였다(ΔR^2 = .067, p < .001). 이는 공간 감각이 3D 메타버스 환경에서의 지필 기반 인지적 학습 성취와 관련될 가능성을 시사하는 탐색적 증거이나, 단일집단 설계의 구조적 한계와 사전 CT 검사의 낮은 신뢰도(a = .522)를 고려할 때 이 결과를 확정적 예측력의 근거로 단정하는 데는 신중을 기해야 한다.

셋째, 3D 산출물 성취도에 대해서는 공간 감각의 독립적 설명력 증분이 통계적으로 유의하지 않았다(ΔR^2 = .019, p = .105). 이 결과는 해당 회귀모형에서 정규성 가정이 위배되었다는 분석상의 제약을 함께 고려하여, 공간 감각의 독립적 기여가 없다는 확정적 근거로 단정하기보다는 신중하게 해석할 필요가 있다. 단순 상관 수준에서는 정적 관련성이 확인되었으나(r = .321, p < .001), 위계적 회귀 모형에서 공간 감각의 독립적 기여가 나타나지 않은 것은 과제 완수 여부 중심의 루브릭의 측정 초점이 공간 감각의 질적 차원을 직접 포착하지 못할 가능성, 공간 감각과 사전 CT의 높은 상관(r = .658)으로 인한 고유 분산 축소 가능성, 그리고 과제 집착력·도구 숙련도 등 외생변인의 복합적 개입 가능성을 복합적으로 시사한다. 이 비대칭적 결과는 향후 공간 감각의 측정 방식 및 루브릭 설계를 정교화하는 후속 연구의 필요성을 제기한다.

종합하면, 공간 감각은 3D 메타버스 환경에서의 지필 기반 CT 성취에 대해 제한적이지만 통계적으로 유의한 추가 설명력을 갖는 변인으로 나타났다(ΔR^2 = .067, p < .001). 그러나 실제 3D 산출물 성취도에 대한 독립적 예측력은 통계적으로 유의하지 않았으며(ΔR^2 = .019, p = .105), 이는 산출물 제작 과정에 과제 집착력·도구 조작 숙련도 등 다양한 외생변인이 복합적으로 작용하기 때문으로 해석된다. 따라서 본 연구의 결과 전반은 단일집단 설계와 측정 도구의 신뢰도 제약을 고려하여 탐색적 수준의 예비 증거로 해석하는 것이 타당하다. 공간 감각의 사후 CT에 대한 기여 가능성과 3D 산출물에 대한 비대칭적 패턴 모두, 측정 모형과 분석 설계를 정교화한 후속 연구를 통해 재검증될 필요가 있다.

2) 교육적 제언

본 연구 결과를 바탕으로 향후 3D 메타버스 기반 프로그래밍 교육의 효과적 운영을 위해 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 학습자의 공간 감각 수준을 고려한 맞춤형 비계 설계가 필요하다. 본 연구에서 공간 감각이 사후 컴퓨팅 사고력 성취에 대해 제한적이지만 통계적으로 유의한 예측력을 갖는 것으로 나타난 만큼, 공간 인지 역량이 부족한 학습자들을 위해 3차원 좌표계 가이드라인, 시각적 보조 블록 등 공간적 추상화를 돕는 구체적 교수·학습 장치가 교육 프로그램 설계 단계에서부터 체계적으로 포함되어야 한다.

둘째, 프로그래밍 교육 평가 체계를 다변화해야 한다. 지필 평가 방식만으로는 3D 공간 내에서의 실천적 구현 역량과 공간적 추론 능력을 온전히 측정하는 데 한계가 있다. 따라서 실제 3D 산출물에 대한 평가 등을 병행하여 학습자의 3D 공간에서의 컴퓨팅 역량을 포착할 수 있는 평가 모델 도입이 필요하다.

셋째, 공간 감각과 컴퓨팅 사고력을 통합적으로 함양할 수 있는 융합형 교육 과정 개발이 요구된다. 3D 메타버스는 공

간과 논리를 유기적으로 결합할 수 있는 학습의 장이다. 따라서 단순히 코딩 문법을 가르치는 것에 그치지 않고 건축, 기하, 설계 등 공간 인지력을 자극하는 활동을 프로그래밍 수업과 결합하여 학습자의 전반적인 문제 해결 역량을 균형 있게 발달시킬 필요가 있다.

3) 연구의 제한점

본 연구는 다음과 같은 몇 가지 제한점을 가지며 이를 바탕으로 후속 연구를 위한 제언을 하고자 한다.

첫째, 본 연구는 비교집단이 없는 단일집단 사전-사후 설계를 채택하였으므로 내적 타당도 측면에서 다음과 같은 한계를 지닌다. 우선, 사전 검사 실시 자체가 학습자의 CT 관련 민감도를 높여 사후 검사 점수 상승에 영향을 미쳤을 가능성을 배제하기 어렵다. 또한 8차시 수업 기간 동안 학습자의 자연적 인지 성숙 및 교육과정 내 다른 학습 활동이 CT 점수 변화에 기여했을 가능성도 존재하여 본 연구에서 관찰된 CT 점수 향상을 마인크래프트 기반 수업 처치만의 인과적 효과로 단정할 수 없다. 이에 후속 연구에서는 통제집단을 포함한 실험설계 또는 준실험설계를 적용하여 처치 효과를 보다 엄밀하게 검증할 필요가 있다.

둘째, 본 연구는 대구광역시 소재의 특정 초등학교 5학년 학생 128명을 대상으로 수행되었으므로 연구 결과를 전체 초등학생으로 일반화하는 데에는 신중을 기해야 한다. 특히 연구 대상자들은 1학년 시기부터 매년 17차시의 블록 기반 프로그래밍(엔트리·스크래치) 및 로봇 활용 피지컬 컴퓨팅 교육을 체계적으로 받아온 특수한 배경을 지니고 있으며, 3·4학년에서는 교육용 마인크래프트의 기본 조작과 가상 세계 탐험 경험도 보유하고 있다. 이러한 풍부한 사전 정보교육 경험은 다음과 같은 측면에서 일반화에 제약을 가한다. 먼저 연구 대상자들의 높은 사전 CT 수준은 공간 감각과 CT의 관계를 탐색하는 데 있어 천장 효과의 가능성을 완전히 배제하기 어렵게 한다. 그리고 마인크래프트 조작 경험 덕분에 도구 적응에 소요되는 인지적 부하가 일반 학습자에 비해 낮았을 가능성이 있으며, 이는 공간 감각의 영향력이 실제보다 축소되어 나타났을 가능성을 시사한다. 따라서 후속 연구에서는 정보 교육 경험이 상대적으로 적은 학습자 집단이나 다양한 학교급·지역을 대상으로 연구를 확장하여 본 연구 결과의 범용적 적용 가능성을 검증할 필요가 있다.

셋째, 본 연구에서 활용된 컴퓨팅 사고력 지필 검사 도구는 사전검사 Cronbach's α = .522, 사후검사 α = .687로 나타났다. 사전검사는 일반적 수용 기준(.60)에 미달하며, 사후검사도 권장 기준(.70)에는 미치지 못하는 낮은 수준이다. 특히 사전 CT 검사가 본 연구의 핵심 통제 변인으로 사용된 만큼, 낮은 신뢰도로 인한 측정오차는 위계적 회귀분석에서 공간 감각의 독립적 설명력(ΔR^2 = .067) 추정의 안정성에 영향을 미쳤을 가능성을 배제하기 어렵다. 사전 CT 검사의 낮은 내적 일관성은 통제변인의 측정오차를 증가시켜 사전 컴퓨팅 사고력의 영향이 충분히 통제되지 않았을 가능성을 내포한다. 이에 따라 공간 감각의 회귀계수와 독립적 설명력이 실제보다 크게 추정되었을 가능성을 배제할 수 없으므로, 관련 결과는 탐색적 수준에서 신중하게 해석할 필요가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 보완하기 위해 3D 산출물 분석 결과를 병행하였으나, 향후 연구에서는 초등학생을 대상으로 신뢰도 및 타당도가 충분히 검증된 CT 측정 도구를 활용하거나, 문항 수준의 개선을 통해 보다 안정적인 측정이 이루어지도록 할 필요가 있다. 또한 8차시라는 단기적 처치 기간을 넘어 장기적인 추적 검사를 통해 공간 감각과 컴퓨팅 사고력 간의 종단적 변화를 관찰하는 연구가 이어져야 할 것이다.

넷째, 본 연구는 동일 학교 내 6개 학급을 대상으로 수행되었으므로 학급 단위의 군집효과가 존재할 가능성을 배제할 수 없다. 동일 학급 학생들은 학급 분위기, 좌석 배치에 따른 또래 상호작용 등 공유된 맥락의 영향을 받을 수 있으며, 이는 개인 수준의 분석에서 관찰값 간 독립성 가정에 영향을 줄 수 있다. 본 연구는 개인 수준의 인지적 특성(공간 감각)과 성취도 간의 관계를 규명하는 데 초점을 두었으며 표본 내 학급 수(6개)가 다층모형 적용을 위한 일반적 권장 기준에는 미치지 못하여 군집 구조를 반영한 분석을 실시하지 않았다. 따라서 본 연구에서 보고된 효과의 크기는 학급 간 차이가 일부 반영된 추정값일 가능성이 있으며, 후속 연구에서는 더 많은 학급과 학교를 포함한 설계를 통해 다층모형 등으로 군집효과를 통계적으로 통제하는 것이 바람직하다.

마지막으로, 본 연구는 마인크래프트라는 특정 플랫폼에 국한되어 진행되었다. 3D 메타버스 환경은 플랫폼의 특성(인터페이스, 에이전트 유무 등)에 따라 학습자의 인지적 부하가 다르게 나타날 수 있으므로, 다양한 메타버스 도구 간의 비교 연구를 통해 공간 감각의 범용적인 영향력을 확인하는 노력이 필요하다.

참고문헌

[1] Ministry of Education, 2022 Revised Curriculum (No. 2022-33), 2022. https://ncic.re.kr/

[2] M. Y. Lee and S.-J. Chun, “A Study on Improving Logical Thinking Ability of Elementary School Students with Entry and Scratch,” *Korean Journal of Elementary Education*, Vol. 28, No. 1, pp. 173-185, 2017. https://doi.org/10.20972/KJEE.28.1.201703.173

[3] D. Lee, S. Lee, and Y. Lee, “A Study of Domestic Programming Education in Elementary School Based on Systematic Literature Review,” *The Journal of Korean Association of Computer Education*, Vol. 25, No. 6, pp. 35-50, 2022. https://doi.org/10.32431/kace.2022.25.6.003

[4] S.-J. Kang and S.-H. Moon, “Effects of an SW Education Program Using Robots for Real-Life on Creative Problem Solving Abilities of Elementary School Students,” *The*

Journal of Education, Vol. 39, No. 1, pp. 47-65, 2019. https://doi.org/10.25020/je.2019.39.1.47

[5] J.-M. Bae and J.-K. Kim, "The Effect of Metaverse-Based Programming Classes Using Minecraft on Creative Problem-Solving Skills, Learning Commitment, and Academic Achievement of Specialized High School Students," *CNU Journal of Educational Studies*, Vol. 45, No. 1, pp. 5-35, 2024. https://doi.org/10.18612/CNUJES.2024.45.1.5

[6] S. J. Jones and G. E. Burnett, "Spatial Skills and Navigation of Source Code," in *Proceedings of the 12th Annual SIGCSE Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, Dundee, Scotland, pp. 231-235, 2007. https://doi.org/10.1145/1268784.1268852

[7] S. Jones and G. Burnett, "Spatial Ability and Learning to Program," *Human Technology*, Vol. 4, No. 1, pp. 47-61, 2008. https://doi.org/10.17011/ht/urn.200804151352

[8] J. M. Wing, "Computational Thinking," *Communications of the ACM*, Vol. 49, No. 3, pp. 33-35, 2006. https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

[9] J. M. Wing, "Computational Thinking and Thinking about Computing," *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, Vol. 366, No. 1881, pp. 3717-3725, 2008. https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118

[10] International Society for Technology in Education (ISTE) and Computer Science Teachers Association (CSTA). Operational Definition of Computational Thinking [Internet]. Available: https://cdn.iste.org/www-root/Computational_Thinking_Operational_Definition_ISTE.pdf.

[11] C. Selby and J. Woollard. Computational Thinking: The Developing Definition [Internet]. Available: https://eprints.soton.ac.uk/356481/.

[12] K. Kim and J. Y. Lee, "Analysis of the Effectiveness of Computational Thinking-Based Programming Learning," *The Journal of Korean Association of Computer Education*, Vol. 19, No. 1, pp. 27-39, 2016. https://doi.org/10.32431/kace.2016.19.1.004

[13] X. Tang, Y. Yin, Q. Lin, R. Hadad, and X. Zhai, "Assessing Computational Thinking: A Systematic Review of Empirical Studies," *Computers & Education*, Vol. 148, 103798, 2020. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103798

[14] K. Brennan and M. Resnick, "New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking," in *Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association*, Vancouver, Canada, 2012. https://scratched.gse.harvard.edu/ct/files/AERA2012.pdf

[15] S. Kim, Y. J. Kim, A. Jo, and M.-W. Lee, "Development of a Tool for Computational Thinking Assessment in Problem-Solving Programming Education: Paper Type Inspection and Self-Report Questionnaire," *The Journal of Korean Association of Computer Education*, Vol. 22, No. 3, pp. 89-99, 2019. https://doi.org/10.32431/kace.2019.22.3.008

[16] J. Lee and J. Cho, "Process-Oriented Evaluation Method for Computational Thinking," *Journal of Digital Convergence*, Vol. 19, No. 10, pp. 95-104, 2021. https://doi.org/10.14400/JDC.2021.19.10.095

[17] W. K. Lee, J. M. Kim, I. K. Yoon, and J. H. Seo, Analysis of Status and Effectiveness of 2017 Software (SW) Education Research Schools, KERIS, Daegu, Technical Report CR 2017-11, 2017. https://www.keris.or.kr/main/ad/pblcte/selectPblcteRRInfo.do?mi=1138&pblcteSeq=11542

[18] J. Smart, J. Cascio, and J. Paffendorf. Metaverse Roadmap: Pathways to the 3D Web [Internet]. Available: https://www.metaverseroadmap.accelerating.org/.

[19] D. Lee, D. Kim, and S. Byeon, "Analysis of the Status and Perception of Elementary and Secondary School Students on the Metaverse in Education," *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, Vol. 22, No. 12, pp. 443-458, 2022. https://doi.org/10.22251/jlcci.2022.22.12.443

[20] M. C. Linn and A. C. Petersen, "Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability: A Meta-Analysis," *Child Development*, Vol. 56, No. 6, pp. 1479-1498, 1985. https://doi.org/10.2307/1130467

[21] L. A. Tartre, "Spatial Orientation Skill and Mathematical Problem Solving," *Journal for Research in Mathematics Education*, Vol. 21, No. 3, pp. 216-229, 1990. https://doi.org/10.2307/749375

[22] Ministry of Education, The 7th National Curriculum (No. 1997-15), 1997. https://ncic.re.kr/

[23] Y. S. Jo and Y.-O. Chong , "A Survey on the Spatial Sense Ability of Elementary School Students," *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, Vol. 16, No. 3, pp. 359-388, 2012. https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201210554376392

[24] J. Wai, D. Lubinski, and C. P. Benbow, "Spatial Ability for STEM Domains: Aligning over 50 Years of Cumulative Psychological Knowledge Solidifies Its Importance," *Journal of Educational Psychology*, Vol. 101, No. 4, pp. 817-835, 2009. https://doi.org/10.1037/a0016127

[25] J. Parkinson and Q. Cutts, "Investigating the Relationship Between Spatial Skills and Computer Science," in

Proceedings of the 2018 ACM Conference on International Computing Education Research, Espoo, Finland, pp. 106-114, 2018. https://doi.org/10.1145/3230977.3230990

[26] R. Bockmon, S. Cooper, J. Gratch, J. Zhang, and M. Dorodchi, "Can Students' Spatial Skills Predict Their Programming Abilities?" in *Proceedings of the 2020 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, Trondheim, Norway, pp. 446-451, 2020. https://doi.org/10.1145/3341525.3387380

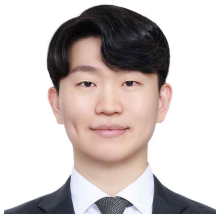
[27] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 4th ed. Thousand Oaks, CA: SAGE Publications, 2014.

[28] J. Cohen, P. Cohen, S. G. West, and L. S. Aiken, *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences*, 3rd ed. New York, NY: Routledge, 2003. https://doi.org/10.4324/9780203774441

[29] T. K. Koo and M. Y. Li, "A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research," *Journal of Chiropractic Medicine*, Vol. 15, No. 2, pp. 155-163, 2016. https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012

[30] The Jamovi Project. Jamovi(Version 2.6.44) [Internet]. Available: https://www.jamovi.org/

[31] U. Knief and W. Forstmeier, "Violating the Normality Assumption May Be the Lesser of Two Evils," *Behavior Research Methods*, Vol. 53, No. 6, pp. 2576-2590, 2021. https://doi.org/10.3758/s13428-021-01587-5



김대유(Dae-Yu Kim)

2014년 : 대구교육대학교 컴퓨터교육과 (초등컴퓨터교육 학사)
2020년 : 대구교육대학교 교육대학원 (초등컴퓨터교육 석사)
2016년～2022년: 대구해서초등학교
2022년～2026년: 대구다사초등학교
2026년～현 재: 한국교원대학교 컴퓨터교육과 박사과정
※관심분야 : 메타버스, 컴퓨팅 사고력, 공간 감각 등



김승현(Seung-Hyun Kim)

2004년 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2017년 : 한국과학기술원 전산학부 (공학박사-정보보호)
2004년～2021년: 한국전자통신연구원 정보보호연구본부 책임연구원
2021년～현 재: 한국교원대학교 컴퓨터교육과 부교수
※관심분야 : 컴퓨터교육, 에듀테크, 정보보호 등