Algodoo 시뮬레이션을 활용한 초등 예비교사의 광학 현상 탐구 활동 분석

박정우

An Analysis of Inquiry Activities Performed by Pre-service Elementary Teachers to Learn Optical Phenomena Using Algodoo Simulations

Park Jeongwoo

국문 초록

본 연구에서는 Algodoo 시뮬레이션을 활용한 예비교사의 탐구 활동을 분석하여 그 특징을 이해하고 이를 통해 초등 예비교사를 위한 광학교육에 대한 교육적 시사점을 얻고자 하였다. 연구에는 교육대학의 1학년 학생 79명이 참여하였다. 학생들의 활동은 표상재생산, 확인실험, 탐구실험으로 구분할 수 있었다. 표상재생산을 수행한 학생들은 잘 알려진 권위 있는 표상을 시뮬레이션으로 나타냈으며 주요 특징을 포착하여 표상하였다. 확인실험을 수행한 학생들은 이론적 배경 조사를 통해 이미 알고 있는 개념을 확인하기 위한 실험을 수행하였으며, 주로 단순 탐구를 수행하였다. 탐구실험을 수행한 학생들은 현재 자신이 알지 못하는 것들을 시뮬레이션을 사용해 탐구하였으며 일반물리 이상에서 다루는 광학 현상에 대한 탐구를 수행한 학생도 있었다. 이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 Algodoo를 활용한 자유로운 탐구 활동에서 학습자는 다양한 수준의 탐구 활동을 수행한다는 것을 확인하였다. 또한, Algodoo를 활용한 다양한 수준의 탐구 활동 예를 제시하고 Algodoo를 활용한 탐구 활동의 장단점과 이를 개선할 방안을 논의하였다.

주제어: 광학, 탐구, 시뮬레이션

ABSTRACT

This study attempted to understand the characteristics of pedagogic activities performed by pre-service elementary school teachers. To this end, it applied Algodoo simulations to analyze the actions of students and obtain educational implications for optical learning. The study's participants comprised 79 first-year students enrolled in a teacher training college. Their activities could be classified as representation reproductions, verification experiments, and inquiry experiments. Students who performed representation reproduction exercises replicated renowned and authoritative exemplars, apprehending and demonstrating their principal features through simulations. Students performing verification experiments attempted to validate previously learned optical concepts by reviewing the relevant theoretical contexts. Such students primarily conducted simple experiments. Students accomplishing inquiry experiments used simulations to explore phenomena they did not know. Some of them even investigated optical phenomena beyond the domain of general physics. The above results confirmed that free optical experiments performed using Algodoo can effectively denote starting points for learners to engage in activities at varying levels. Additionally, students require assistance from instructors in addressing queries about the application of the principles and models related to optics. This study suggests ways in which instructors

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2019S1A5B5A07091669).
2022.06.23(접수), 2022.07.01(1심통과), 2022.07.19(2심통과), 2022.07.24(최종통과)
E-mail: jeongwooid@jejunu.ac.kr(박정우)

should help students at each level of activity. Additionally, the paper presents examples of varying levels of inquiry-related activities available on Algodoo. It also discusses the advantages and disadvantages of performing inquiry-based activities on Algodoo and suggests ways of enhancing the learning achieved through this platform.

Key words: optics, inquiry, simulation

I. 서 론

복잡한 현상에 관한 기술 또는 복잡한 현상을 단순화한 것을 흔히 우리는 모형이라 부른다(Rouse & Morris, 1986). 과학자는 특정한 이론의 맥락에서 관심의 대상이 되는 자연 현상의 특정한 유형을 표상하고 설명할 수 있는 개념 체계를 구성하는데(Halloun, 2007), 학습자도 실제 세계를 설명하기 위해 이러한 자신만의 모형을 생성하고 모형을 사용하여 현상을 예상한다(Giere, 1991). 예상은 실제 세계의 결과인 자료와 비교되어, 예상과 자료가 일치하는 경우에 모형은 설명력을 얻고 강화되고 예상과 자료가 일치하지 않으면 학습자의 모형은 수정된다(Giere, 1991). 이처럼 실제 세계의 관측과 평가를 통해 얻은 자료와 모형을 통한 예상을 비교하고 이를 통해 모형을 평가하고 수정해 나가는 것이 모형 구성의 본질이지만(Giere, 1991), 많은 모형 구성 수업에서는 여러 현실적인 이유로 실제 세계의 관측과 측정을 통한 자료 획득 과정이 나타나지 않는 경우가 많다(박정우, 2017).

실제 세계는 너무 복잡하고 다양하기 때문에 과학자들은 현상을 단순화한 예시 현상(exemplar phenomenon)을 만들고 이에 대한 모형을 구성하며, 이를 통해 다른 현상을 예상한다(Gilbert, 2005). 복잡한 현상에서 주요 변인들을 선정하고 다른 변인들을 무시하여 단순한 예시 현상으로 만드는 일은 상당한 전문성을 필요로 한다. 따라서 여러 연구자들은 학생들의 모형 구성을 지원하기 위한 방법의 하나로 복잡한 현상 대신 적절한 예시 현상을 제공하기도 한다. 몇몇 연구에서는 심장 펌프 모형(강은희 등, 2012)이나 지각 비유 종이 모형(박수경, 2015) 등의 비유 모형이나 잘 설계된 실험 영상(양찬호 등, 2016)을 실제 현상을 대신하는 예시 현상으로 학생에게 제공하였으며, 학생들은 이와 같은 예시 현상을 관찰하며 목표 모형에 가까운 모형을 구성하는 데 성공하기도 하였다.

특정한 목적에 따라 주요한 변인들만 남겨지도록 개발된 컴퓨터 시뮬레이션은 학생들의 모형 구성을 위한 좋은 예시 현상으로 활용될 수 있다(Park *et al*., 2019). 일례로 물체의 위치를 옮겨가며 볼록렌즈에 의한 상의 위치를 관찰할 수 있도록 개발된 PhET의 시뮬레이션에서 자이델 수차는 무시되고 물체의 한 점에서 나온 빛은 모두 근축 광선처럼 굴절한다(PHET, 2022, May 20). 학생들은 이러한 시뮬레이션의 이상화된 조건 내에서 독립변인에 해당하는 무언가를 변화시키며 종속변인에 해당하는 무언가를 관찰하고, 둘의 관계에 대한 모형을 만들어 볼 수 있다. 하지만 이러한 표준화된 탐구 또는 단순탐구는 지침서만 따라하면 학급의 누구라도 정답을 얻을 수 있어 '바보라도 할 수 있는' (Kirschner, 1992) 실험이며, 과학자의 활동인 참탐구(authentic inquiry)의 특징을 담아내지 못한다는 비판을 받기도 한다(Chinn & Melhotra, 2002). 실제로 교실 현장에 적용되는 실험은 표준화된 실험이나 단순탐구 형태의 실험이 대부분이며(Wellington, 2002), 이상화되고 단순화된 예시 현상인 시뮬레이션을 통한 탐구와 참탐구는 일면 모순되어 보이기도 한다.

Algodoo는 Algoryx Simulation AB에서 개발한 2D 시뮬레이션 소프트웨어이다. 이 프로그램은 다양한 도구(톱니, 레이저, 모터, 빗면 등)를 통해 간단히 시각적으로 다양한 물리적 상호작용을 설계하고 실험할 수 있는 환경을 제공한다. 최근 Algodoo를 탐구의 도구 또는 시뮬레이션 개발 도구로 사용하고자 하는 몇몇 연구들이 진행 중이다. 김병조(2017)는 초등과학교과서 내의 성취기준을 바탕으로 무지개 만들기, 태양열 조리도구 만들기, 중력 실험하기, 롤링볼 만들기의 5개 주제에 관하여 Algodoo를 사용한 단순탐구를 제안하였으며, 학생들의 창의적 문제 해결력 향상에 도움이 되었다고 보고하였다. Algodoo는 단순탐구의 도구로 사용될 뿐만 아니라 학생들 자신의 모형을 드러내는 도구로 사용되기도 하였다. 김지선과 김중복(2018)의 연구에 따르면 학생들은 전기회로 모형을 설명하기 위한 비유 모형을 드러내고 동작시켜 보기 위하여

Algodoo를 사용했으며, 이를 통해 자신의 비유모형을 수정해 갔다.

Algodoo에서는 물체가 움직이는 환경을 조절할 수 있다. 예를 들어 Algodoo 내 환경은 공기 저항과 마찰력이 작용하는 복잡한 현실에 가까운 환경이 될 수도 있고, 중력만이 작용하거나 중력도 작용하지 않는 공간 등으로 이상화될 수도 있다. 소프트웨어 내의 환경을 적절히 조절하여 이상화 정도를 달리한 다양한 형태의 물리 환경은 학생들의 모형 구성을 지원하는 하나의 예시 현상으로 활용될 수 있을 것이다. 최근 장기간의 자유 탐구 등을 통해 과학자의 탐구인 참탐구를 학교현장에 도입하고자 다양한 노력이 시도되고 있다. 하지만 복잡한 실제의 현상에서 학생들은 변인을 찾기 어려워하거나 어떤 것을 보아야 하는지 등에 다양한 어려움을 겪기도 한다. 적절히 변인이 제거된 Algodoo 내의 가상 물리 공간은 학생의 탐구에 대한 어려움을 줄여주며, 비교적 과학적 모형에 가까운 모형을 구성할 수 있는 예시현상을 구현하도록 도울 수 있다. 이를 위해서 가상공간 내에서의 탐구의 가능성과 한계에 관한 연구가 선행될 필요가 있다.

Algodoo는 가상공간에서 물체의 역학적 상호작용만을 구현해왔던 기존의 Interactive Physics 등의 소프트웨어와 달리 유체와 광학 현상을 구현할 수 있다는 특징을 가진다. 특히 광학의 경우에는 Algodoo와 같이 자유도가 높으면서도 시각화된 정보를 표현해주는 시뮬레이션 소프트웨어를 찾아보기 힘들며, 실제 실험을 통해 광선 하나하나의 경로를 관찰하거나 제어하기 쉽지 않다. 또한, 기존에 개발된 다양한 시뮬레이션 프로그램은 학생들이 변화시킬 수 있는 변인이 다양하지 않으므로 단순 탐구로 활용되기 쉽다는 한계를 가지기도 한다. 광학은 크게 기하광학, 파동광학, 양자광학으로 구분할 수 있는데 정규교육과정에서는 주로 기하광학과 파동광학을 다룬다(Matthews, 2014). 2015 개정 교육과정(교육부, 2015)에 따르면, 우리나라 초등 과학교육과정에는 기하광학 즉, 평면거울에서의 빛의 반사, 그림자와 빛의 직진, 프리즘과 빛의 분산, 렌즈와 빛의 굴절에 관한 내용을 다루고 있으며, 빛의 진행 경로를 직접 그려보는 수행평가를 활용하기를 권하고 있다. 초등교사들은 광학 영역을 수업하는 데 많은 어려움을 겪고 있는데(김윤화와 유준희, 2019), 특히 예비 초등교사들은 빛의 진행 경로를 일관성 있게 표현하는 데 많은 어려움을 겪고 있다(윤혜경 등, 2021; Bendall *et al.*, 1993; Heywood, 2005). 이처럼 2015 초등 과학교육과정에 포함되어 있는 그림자, 거울, 렌즈 등을 다루는 실험을 지도하거나 이와 관련된 적절한 교수 학습 활동을 개발 및 실행하기 위해 초등교사는 기초적인 광학 현상을 광선 다이어그램을 통해 정확하게 이해할 필요가 있다. 이러한 점을 고려할 때, 빛의 진행 경로를 관찰할 수 있으며 기하광학 영역에 대한 실험이 가능한 Algodoo 시뮬레이션을 활용하는 것은 예비교사의 광학 이해에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 이에 본 연구에서는 광학 현상에 대한 예시 현상을 구현할 수 있는 Algodoo 내의 가상현실에서 학생의 탐구활동을 유형화하고 분석하여 그 특징을 이해하고 시뮬레이션을 사용한 광학교육에 대한 교육적 시사점을 얻고자 하였다.

II. 이론적 배경

국내에서 Algodoo를 사용한 교수학습 자료의 개발과 관련된 논문은 한국학술지인용색인(KCI)과 구글스칼라(Google Scholar)의 데이터베이스를 활용해 검색하였다. 2022년 2월 11일 기준 한국학술지인용색인(KCI)에서 '알고두'와 'Algodoo'의 키워드로 검색한 결과 1건의 관련 논문이 검색되었으며, 구글스칼라(Google Scholar)에서 '한국어웹'으로 검색범위를 제한한 뒤, '알고두'의 키워드로 검색한 결과 150건의 문헌이 검색되었다. 제목 및 초록을 검토하여 Algodoo와 관련된 문헌인지를 판단하였으며, 최종적으로 Algodoo와 관련되어 총 1건의 논문이 출판되었고, 2건 연구가 학술대회에서 발표되었음을 확인할 수 있었다. 각 연구의 제목과 Algodoo의 활용 방법 및 관련 주제를 정리한 내용은 아래와 같다.

김지선과 김중복(2018)은 Algodoo 프로그램을 비유물을 생성해 내기 위한 한 방법으로 사용하였다. 학생들은 현상을 설명하기 위한 모델을 구성할 때 역학적인 모델을 구성하는 경우가 많기 때문에, Algodoo의 역학적 상호작용 환경은 학생의 역학적 모델 구성에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 김지선과 김중복(2018)의 연구에서는 전기회로의 모델 구성을 지원하기 위한 한 방법으로 Algodoo를 학생들에게 제공하였으며, 학생들은 자신의 모델

을 동적으로 구현하기 위해 Algodoo를 이용하였다. 따라서 전기회로라는 전기 관련 주제를 다루었지만, Algodoo 환경 내에서 학생들은 자신의 모형들 구성하기 위해 전기 관련 개념들이 아닌 중력, 부력 등의 다양한 역학적 개념들을 활용하였으며, 모델을 작동시키기 위해 회전하는 톱니를 사용하거나 구조를 변경하는 등의 공학적 개념을 활용하기도 하였다. 김병조(2017)는 2009 초등 과학교육 과정을 분석하여 Algodoo와 관련된 5개(거울과 그림자, 렌즈의 이용, 물체의 바르기, 색과 빛, 생활과 기술)의 교육과정 영역을 추출하였다. 이 연구에서는 목표 현상을 학생들에게 알려주고 Algodoo로 이를 재현하는 방식을 사용하였으며, 이때 빛의 굴절, 반사와 같은 광학적 개념과 중력, 부력 등의 역학적 개념, 그리고 이들을 종합하여 골드버그 장치 등을 만드는 활동을 제안하였다. 활동을 적용한 결과, 학생들은 Algodoo를 활용한 활동 자체에 대한 흥미뿐만 아니라 컴퓨터 및 시뮬레이션에 대한 긍정적인 생각을 가지게 되었으며, Algodoo 프로그램의 편의성과 효율성에 대해 언급하기도 하였다. 정재훈과 이태욱(2013)은 2009 개정 초등과학 교육과정을 분석하여 Algodoo 프로그램을 활용할 수 있는 15개 주제, 28차시의 활동을 개발하였으며 마찰력에 대한 활동을 구체적으로 소개하였다. 이 중 광학과 관련된 개념은 광섬유와 스펙트럼의 주제에서 다루었으며, 내용으로는 반사와 굴절에 대해 배우기, 프리즘을 사용하여 빛의 색깔 알기, 빛의 혼합색 알기, 실생활 관련 주제 시뮬레이션을 제안하였다.

국외에서 Algodoo를 사용한 교수 학습 자료의 개발과 관련된 논문은 구글스칼라(Google Scholar)의 데이터 베이스를 활용해 검색하였다. 구글스칼라(Google Scholar)에서, ‘algodoo education optics’의 키워드로 검색한 결과 총 69건의 문헌이 검색되었다(2021년 2월 13일 기준). 제목 및 초록을 검토하여 Algodoo와 관련된 연구를 선정하고 내용을 확인하였다. 역학과 관련된 교수학습안을 제안하거나 적용한 연구가 많았으며, 구체적으로는 Algodoo로 포물선 운동(da Silva *et al.*, 2014a), 빗면(Euler & Gregorcic, 2019), 도르레(Aini & Bunawan, 2020), 궤도운동(Gregorcic & Bodin, 2017), 영구기관(Koreš, 2012), 아르키메데스의 원리(Çelik *et al.*, 2014), 브라운 운동(da Silva *et al.*, 2014b) 등에 대한 교수학습안을 개발하거나 적용하였다. Gregorcic & Bodin (2017)는 Algodoo를 활용할 수 있는 6가지 방법을 제안하였는데 그 방법은 ‘시각화’, ‘문제 해결 도구’, ‘실제 실험할 수 없는 주제에 대한 현상과 과정 조사’, ‘학생 프로젝트 활동’, ‘물리적 컴퓨터 모델링’, ‘과학센터(공공환경)에서 활용’이었다. 이 중 총 5건의 연구에서 광학과 관련된 교수학습 자료를 개발 및 소개하거나 적용하였다. Gregorcic & Bodin (2017)는 하트 모양의 렌즈에서의 굴절과 파장과 굴절률 변화에 따른 변화에 관한 활동을 제안하였고, Vliora *et at.* (2018)은 볼록, 오목 렌즈에서 평행광의 굴절에 대한 활동을 소개하였다. Zang (2012)는 프리즘을 이용한 빛의 분산과 합성 활동을, Antunes Júnior (2015)는 광통신 관련 활동을 제안하였다. 광학과 관련되어 가장 많은 활동을 소개한 연구는 Jenč (2016)가 수행하였으며, 레이저 미로게임. 반사의 법칙, 잠망경(반사), 직각 거울 반사, 구면 거울(구심과 초점), 물방울 무지개, 스넬의 법칙, 프리즘의 편각, 렌즈의 모양(양면 볼록, 평면 볼록, 매니스커스 렌즈)과 굴절과 관련된 활동을 소개하고 이론적으로 논의하였다.

선행 연구 조사 결과, Algodoo를 활용한 교수학습 자료는 역학뿐만 아니라 광학과 관련된 교수학습 자료도 다수 개발된 것을 확인할 수 있었다. 특히 초등 과학교육과정과 관련된 광학 개념인 평면거울에서의 반사, 수면에서의 굴절, 볼록・오목 렌즈에서 평행광의 굴절, 프리즘을 사용한 빛의 분산, 빛의 혼합뿐만 아니라 중등교육과정이나 대학에서 다루는 프리즘의 편각, 물방울 무지개, 스넬의 법칙 등과 관련된 개념을 Algodoo를 사용해 시각화할 수 있음을 확인하였다. 또한, 학생들은 Algodoo를 문제 해결 도구로 사용하여 이러한 광학 개념들과 관련된 학생 프로젝트 활동을 수행할 수 있음도 확인하였다.

III. 연구 방법

1. Algodoo를 활용한 교수학습 자료 개발

본 연구에서는 학습자가 자유롭게 탐구할 수 있는 환경을 제공하고자 1, 2단계로 교수 학습 자료를 개발하였다. 1단계에서는 광학의 기본 개념들을 학습하면서 동시에 Algodoo의 사용법을 익히도록 구성하였다. 1단계에서 학습한 광학 개념들은 추후

2단계에서 탐구를 수행하기 위한 기초 개념으로 활용될 수 있도록 광학 개념들을 바탕으로 구성하였다. 광학의 기초 개념들과 Algodoo의 사용법을 연결하여 각 활동에서 한 개 이상의 사용법을 사용할 수 있도록 구성하였으며, 활동이 진행되면서 이전에 학습한 사용법을 지속적으로 활용할 수 있도록 활동을 구성하였다. 2단계에서는 자신이 탐구하고자 하는 광학의 한 주제를 선정하여 자유롭게 탐구하고 설명하도록 하였다.

2019년 2학기에 교육대학 3개 학급을 대상으로 파일럿 적용을 실행하였다. 실행 결과 학생들은 광학과 관련된 몇 개의 주제를 Algodoo로 가시화하기도 하였으며 구체적으로는 망원경, 안경, 광케이블 등의 원리를 설명하는 자료를 만들었다. 일부 학생들은 단순히 화려하게 움직이기만 하는 꾸미기에 치중한 골드버그 장치를 만들기도 하였다. 화려하게 움직이는 골드버그 장치 등을 만드는 것도 공학적이고 창의성이 요구되며, 미술과의 융합이라는 여러 의미가 있다. 하지만 이러한 활동은 본 연구에서 수행하고자 하는 참 탐구나 단순 탐구 또는 모델링과 직접적인 연관성을 찾기 어렵기 때문에 본 연구에서는 광학의 특정한 개념과 관련 있는 활동을 학생이 수행할 수 있도록 2단계 활동에 구체적인 추가 질문을 추가하였다. 구체적으로는 관련된 광학 지식, 만들면서 새로 알게 된 것에 관해 설명하도록 하면서, 특정 광학 개념과 관련 있는 것을 Algodoo로 만들어 보도록 유도하였다.

파일럿 결과를 바탕으로, 과학교육 전문가 2인과의 논의를 통해 1단계 활동을 개선하였다. 기존 개발된 1단계 활동은 Algodoo 사용법의 안내에 중심을 맞추어 개발되었기 때문에 광학 개념이 점차 심화 되는 방식으로 수업이 설계되지는 않았다. 예를 들어 기존에 개발된 활동에서는 빛의 굴절을 학습하기 이전에 렌즈에서의 굴절을 다루었는데, 빛의 굴절에서는 굴절률이 다른 하나의 경계면에서의 굴절만을 다루는 반면, 렌즈에서의 굴절은 두 개의 경계면에서 굴절이 일어난다. 따라서 개념적으로는 렌즈에서의 굴절 이전에 굴절의 법칙을 학습하는 것이 개념을 심화시켜간다는 관점에서 적절하다고 볼 수 있다. 따라서 광학 개념이 점차 심화되어 갈 수 있는 형태로 수업을 재구조화하였다. 또한, 복잡한 면에서의 굴절을 다룬 활동에서는 실생활과 연계된 문제를 해결하는 하나의 예를 소개하였는데, 유리로 만들어진 원통형의 물통에 물이 들어있을 때와 물이 들어있지 않을 때의 빛의 굴절을 Algodoo로 재현해 보고 설명해보는 것을 제안하였다. 이 활동은 단순히 개념을 학습하는 것이 아니라 개념을 일상생활의 문제에 적용하고 탐구해 볼 수 있는 하나의 활동의 예를 보여주는 것이며, 이 활동은 추후 2단계의 자유로운 자신만의 탐구를 수행하는 것을 돕는 하나의 예시로 학생에게 작용할 수 있을 것으로 기대하였다. 최종적으로 개발된 교수학습 과정의 흐름은 아래의 Table 1과 같다.

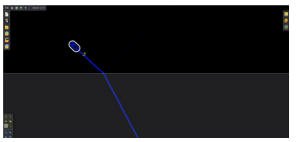
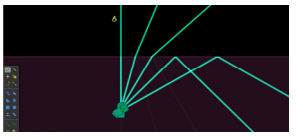
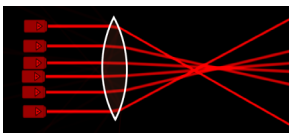
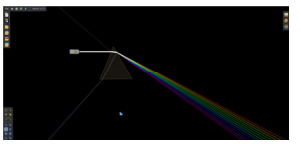
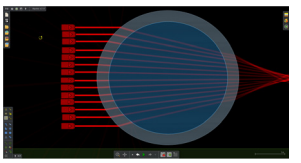
2. 연구 참여자 및 자료 수집

교육대학의 1학년 학생 79명(남 34명, 여 45명)이 연구에 참여하였다. 이 학생들은 모두 1학년 교양과목 수강생들이었으며 음악교육, 미술교육, 체육교육을 심화 전공으로 하는 학생들이었다. 1단계 활동은 2시간 동안 수행하였으며, 2단계 활동은 과제로 제출하도록 안내하였다. 1단계 활동에서 학생들은 활동을 따라 하면서 Algodoo 사용법에 익숙해졌으며, 빛의 굴절, 반사, 분산 등의 광학 개념을 학습하였다. 2단계 활동은 자유롭게 광학 관련 현상을 Algodoo로 만들어 과제로 제출하도록 안내하였으며, Algodoo로 개발한 자료와 그것을 설명하는 ppt 파일을 같이 제출하도록 하였다.

3. 분석 방법

본 연구에서는 컴퓨터 프로그램을 사용하여 학생들이 양자역학을 가시화하는 과정에서 나타나는 학생의 활동을 분석한 박정우(2021)의 연구에서 사용한 분석틀을 본 연구의 맥락에 맞게 수정 및 보완하여 사용하였다. 박정우(2021)의 연구는 컴퓨터 프로그램을 사용한 자유로운 실험 환경이라는 점에서 본 연구와 유사한 맥락에서 수행되었고, 자유로운 컴퓨터 활용 실험 환경에서 나타나는 다양한 학습자의 수준 및 특징을 잘 드러내 주었으며, 박정우(2021)의 연구에서 나타난 학습자의 탐구 특징을 본 연구에서도 유사하게 찾아볼 수 있었기 때문에 이 분석틀을 사용하였다. 박정우(2021)의 연구에서 학생들은 자유로운 컴퓨터 프로그램 사용환경에서 표상전환, 확인실험, 탐구실험을 수행하였는데, 수식을 그래프로 전환하거나, 변인에 따른 그래프의 변화를 관찰할 수 있는 자료를 만들어 자신이 아는 지식을 확인하거나 이전에 알지 못하던 지식

Table 1. Teaching and learning sequence

단계	내용 및 특징		
	Algodoo 화면	광학 개념	Algodoo 사용법
1			다운 및 설치, 새장면, 장면저장
		굴절	레이저 포인터 툴, 평면 툴, 회전 툴
		전반사	복사, 붙여넣기
		볼록렌즈, 오목렌즈, 초점, 굴절률, 굴절률과 두께에 따른	스케치 툴, 이동 툴, 스케일 툴, 원 툴, CSG(절단), 매터리얼(굴절률)
		프리즘에서 빛의 분산	다각형 툴, 레이저 색상변경
		복잡한 굴절면에서 빛의 굴절 (예, 원형 유리 물병)	원 툴, CSG(절단), 매터리얼(굴절률), 삭제
2	Algodoo를 이용해 광학(빛)과 관련된 현상 또는 과학 개념을 자유롭게 설명하라. 제출하는 PPT 자료에는 다음의 내용을 포함하라. 1. 자신이 만든 자료에 대한 설명. 2. 관련된 광학 지식 3. 만들면서 새로 알게 된 것 4. Algodoo의 장단점.		

을 탐구하였다. 이때, 탐구실험은 확인실험과 표상전환 활동을 포함했으며 확인실험은 표상전환 활동을 포함했다는 점에서 각각의 활동 유형은 3가지 수준으로 구분될 수 있었다.

컴퓨터 시뮬레이션을 사용하는 본 연구의 맥락에서는 표상의 전환이 수식에서 그래프로 일어나지는 않았으며, 그림으로 이미 그려진 광선 다이어그램을 시뮬레이션을 사용해 그리는 것으로 나타났다. 표상도구는 다르지만 최종 결과 이미지가 유사하다는 점에서 본 연구에서는 표상전환 대신 표상재생산이라는 용어를 사용해 이 유형을 명명하였다. 확인실험과 탐구실험은 박정우(2021)의 연구에서 정의한 것처럼, 변인에 따른 변화를 Algodoo로 구현하여 알고 있는 지식을 확인하거나 이전에 알지 못하던 지식을 탐구하는 것으로 각각 정의하였다. 또한, 새로운 자료를 만들지 않고 Table 1의 활동에서 다룬 내용을 그대로 제출한 학생이 소수 나타났는데, 이 학생들은 기타로 분류하였다. 최종적으로 본 연구에서 사용한 분석틀은 Table 2와 같다. 표상재생산은 제일 낮은 수준의 활동으로 판단하였으며 확인실험, 탐구실험으로 갈수록 활동의 수준이 높아지는 것으로 판단하였다.

본 연구에서는 학생들이 제출한 Algodoo의 장면 파일과 학생들이 제출한 과제를 함께 분석하여 학생의 활동을 분류하고 각 유형별 특징을 도출하였다. 한 학생이 여러 주제의 활동을 수행한 경우, 각각의 활동을 사례로 명명하고 사례별로 분석하였다. 79명의 학생이 총 180개 사례의 활동을 수행하

Table 2. Analysis Framework

수준	활동 유형	특징
1	표상재생산	광선 다이어그램을 시뮬레이션을 사용해 재생산
2	확인실험	기존에 알고 있던 지식을 확인
3	탐구실험	이전에 알지 못하던 지식을 탐구

였다. 학생은 평균적으로 2.27개 사례에 대한 활동을 수행하였으며, 1개의 사례만을 수행한 학생은 29명(36.7 %), 2개의 사례를 수행한 학생은 25명(31.6 %), 3개의 사례를 수행한 학생은 11명(13.9 %), 4개의 사례를 수행한 학생은 8명(10.1 %), 5개의 사례를 수행한 학생은 3명(3.8 %), 7개의 사례를 수행한 학생은 3명(3.8 %)이었다. 자료의 초기 분석은 연구자 1인이 수행하였으며, 이후 과학교육 연구자 2인과의 논의를 통해 분석의 정당성을 검토하였다. 다른 의견이 나타나는 경우, 최종 합의를 이를 때까지 논의를 통해 이견을 조율하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

학생의 활동을 Table 2의 분석틀을 사용해 분석한 결과는 Table 3과 같다. 79명이 180사례의 활동을 수행하였으며 이 중, 표상재생산은 64사례, 확인실험은 40사례, 탐구실험은 50사례 수행되었다.

Table 3. Type of Activity

활동 유형	사례 수
표상재생산	64
확인실험	40
탐구실험	50
기타	26

1. 표상재생산

64개의 사례에서 Algodoo 프로그램을 사용해 표상재생산을 수행하였다(Table 4). 다수의 학생들(64개의 사례 중 40개의 사례, 62.5 %)이 굴절망원경(18개의 사례), 반사망원경(13개의 사례), 무지개(9개의 사례)에 대한 표상재생산을 수행하였으며, 일부 학생들은 색수차(4개의 사례), 오목 거울의 초점(3개의 사례), 볼록 거울의 초점, 평면 거울에서의 반사, 잠망경, 카메라(각 2개의 사례)와 광섬유, 프리즘, 원형 물통에서의 전반사, 현미경, 햇무리, 일식, 월식, 포물면 및 타원에서의 반사(각 1개의 사례)에 대한 표상을 재생산하기도 하였다.

Table 4. Representation Reproduction

내용	사례 수
굴절망원경	18
반사망원경	13
무지개	9
색수차	4
오목거울의 초점	3
볼록거울의 초점	2
평면거울에서의 반사	2
잠망경	2
카메라	2
광섬유에서의 전반사	1
프리즘에서의 전반사	1
원형 물통에서의 전반사	1
현미경	1
햇무리	1
일식	1
월식	1
포물면에서의 반사	1
타원에서의 반사	1

직접 표상을 재생산하는 것은 학생이 표상에 대한 주인의식을 가지고 표상에 대한 깊은 이해에 도움을 주기도 한다(Ainsworth, 2011). 이 학생들은 아래와 같이 자신이 표상재생산을 통해 만들어 낸 자료가 확실한 결과라고 믿고 있었으며, 표상재생산 활동을 통해 관련 개념을 확실히 이해하고 잘 기억할 수 있게 되었다고 설명하였다.

학생 A: 여러 가지 광학 현상들을 재현해 보며 그 현상들의 원리를 정확하게 파악할 수 있다. 평소에 어려워했던 현상들을 알고두 내에서 만들면서 더 친근하게 다가갈 수 있다.

학생 B: 초등학교 때 처음 배울 당시 너무 헷갈렸다. […] 어느 것이 빛을 퍼뜨리는지, 모으는지 확실하게 머릿

속에 저장하게 되었다.

이 학생들은 인터넷이나 교과서에서 흔히 찾아볼 수 있는 정적 표상인 광선 다이어그램을 Algodoo 시뮬레이션을 사용해 표상하였다. Fig. 1은 반사망원경에 대한 표상재생산을 수행한 학생이 제출한 자료에서 발췌한 것이다. 이 학생은 Fig. 1(a)와 같이 웹상에서 반사망원경의 원리를 설명하는 광선 다이어그램을 찾았으며, 이를 시뮬레이션을 사용해 나타내고자 하였다. 종이에 그림을 그릴 때와는 달리 반사의 법칙과 스넬의 법칙 등의 광학 법칙이 비교적 엄격하게 적용되는 시뮬레이션 맥락에서 학생들은 원하는 표상을 생성하기 위해서 렌즈나 레이저 거울의 위치나 회전을 조정하여야 했으며 이러한 조정은 매우 섬세한 조작을 요구하였다.

학생 C: 빛이나 렌즈 위치 배치에 있어 정말 세밀한 조작을 요구한다. 미세한 조작을 제대로 하지 못한 경우 우리가 알고 있는 현상이 나타나지 않아 시뮬레이션을 실패할 확률도 다소 높다.

학생 D: 굉장히 굉장히 복잡하고 예민하고 어렵습니다.

따라서 학생들은 정확히 같은 모양의 표상으로 재생산하기는 어려웠으며, 목표 다이어그램의 주요 특징들을 포착하여 표상을 재생산하였다. Fig. 1(a)와 Fig. 1(b), (c)에서 반사경의 모양이나 평면거울과 반사경 사이의 거리 등은 서로 다른 것을 확인할 수 있다. 하지만 반사경에 평행한 두 빛이 입사하여, 평면거울과 접안렌즈 사이에서 광선이 한번 교차한 뒤 접안렌즈를 통해 다시 평행하게 나가는 것이 Fig. 1(b)에 잘 표상된 것을 확인할 수 있다(학생 E).

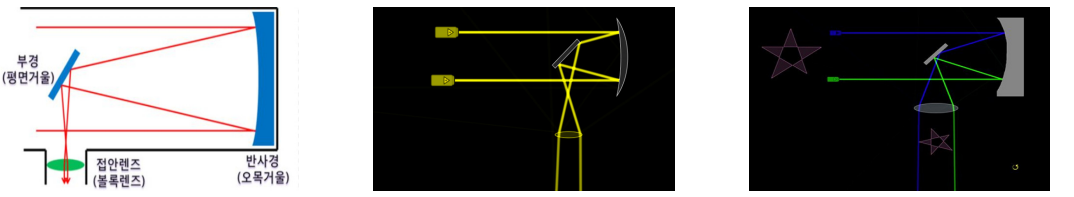
이렇게 전환되어 만들어진 표상을 학생들은 자세히 관찰하고 해석하여 새로운 발견을 하기도 하고 이를 바탕으로 이론적 배경에서 언급한 것들을 설명하기도 한다. 하지만 이를 해석하기 위한 적절한 과학적 모형을 갖고 있지 않은 경우, 비과학적 설명을 하기도 하였다. Fig. 1(c)와 같이 반사망원경을 표상한 학생은 두 개의 별 그림을 추가하고 별이 축소되어 보인다고 설명하기도 하였다(학생 F).

학생 F: 큰 별이 실제 별이고 오목렌즈가 접안렌즈 역할을 해서 작은 별이 상으로 보인다.

이 학생은 망원경을 통해서 별이 작게 보인다고 자신의 표상을 해석하여 설명하였는데, 이는 멀리 있는 물체를 확대해 보는 망원경의 원리와 모순된다(Jenkins, 1976). 이러한 비과학적 설명은 Fig. 1(c)에서 볼 수 있듯, 상 형성에 대한 대표적인 학생의 비과학적 모형인 상 투영 개념(물체에서 나온 하나의 광선이 상을 형성한다)에서 근거하였음을 확인할 수 있다(박정우, 2019; Galili, 1996).

2. 확인실험

Algodoo 프로그램을 사용해 확인실험을 수행한 학생들은 40개의 사례를 생성하였다(Table 5). 학생들은 굴절률, 파장, 입사각, 렌즈나 망원경의 종류 등을 변경하면서 굴절각, 전반사 유무, 초점 거리, 색수차, 분산, 합성광의 색 등을 측정하였다. 구체적으로 학생들은 렌즈의 유무에 따른 원시나 근시의 교정, 색에 따른 빛의 합성(각 6개의 사례), 굴절률에 따른 굴절각(5개의 사례), 입사각에 따른 굴절각(4개의 사례),, 굴절률에 따른 전반사, 표면의 특징에 따른 반사(각 3개의 사례), 평면에서 파장에 따른 굴적각, 망원경의 종류에 따른 색수차, 굴절률에 따른 색수차, 빛의 파장에 따른 전반사(각 2개의 사례), 수정체의 굴절률 변화에 따른 초점거리(백내



(a) (b) (c)

Fig. 1. Representation Reproduction; (a) represents the diagram in the reference webpage(Science Korea, 2022), (b) and (c) represent diagrams reproduced by pre-service teachers using Algodoo.

장), 바늘구멍 사진기에서 구멍의 크기에 따른 상의 선명도, 프리즘에서 파장에 따른 굴절, 프리즘에서 굴절률에 따른 분산, 입사각에 따른 분산(각 1개의 사례)에 대한 확인실험을 수행하였다. 19명의 학생들이 총 15가지 유형의 실험을 실시한 것으로 났는데 이를 통해 예비교사들이 각자의 관심이나 흥미에 따라 매우 다양한 실험을 수행할 것을 알 수 있다.

Table 5. Verification experiment

내용	사례 수
렌즈의 유무에 따른 원시나 근시의 교정	6
색에 따른 빛의 합성	6
굴절률에 따른 굴절각	5
입사각에 따른 굴절각	4
굴절률에 따른 전반사	3
표면의 특징에 따른 반사(난반사와 정반사)	3
평면에서 파장에 따른 굴절각	2
망원경의 종류에 따른 색수차	2
굴절률에 따른 색수차	2
빛의 파장에 따른 전반사	2
수정체의 굴절률 변화에 따른 초점거리(백내장)	1
바늘구멍 사진기의 구멍 크기에 따른 상의 선명도	1
프리즘에서 파장에 따른 굴절	1
프리즘에서 굴절률에 따른 분산	1
입사각에 따른 분산	1

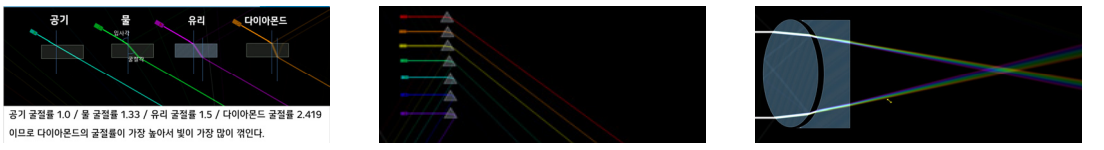
확인실험을 수행한 학생들의 자료의 예는 Fig. 2에서 확인할 수 있다. Fig. 2(a)는 굴절률에 따른 굴절각의 변화에 대한 자료이며(학생 G), Fig. 2(b)는 프리즘에서 빛의 파장(색)에 따른 굴절각의 차이에 대한 자료이고(학생 H), Fig. 2(c)는 굴절률에 따른 색수차에 대한 자료이다(학생 I). 이 유형의 학생들은 이론적 배경의 고찰을 통해 종속변인이 어떻게 변화할 것인지를 알고 있었으며, 대부분 하나의 독립 변인과 종속 변인을 설정하고 독립 변인의 변화에 따른 종속 변인의 변화를 관찰하였으므로 단순 탐구(simple experiments)를 수행한 것으로 해석할 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002). 이 시뮬레이션 상에서 학생들은 독립 변인을 원하는 만큼 변화시키면서 변화를 관찰할 수 있었으며 이를 통해 기존에 알고 있거나 문헌에 나온 광학 지식을 이해할 수 있게 되었다고 하였다.

> 학생 G: 조건을 조금씩 변화시키면서 그에 따른 결과의 차이를 어렵지 않게 관찰할 수 있다.
> 학생 I: 광학 현상을 내가 직접 조작하며 확인할 수 있어서 매우 유용했다. 렌즈의 두께, 굴절률, 반사율, 매질의 특성 등을 바꾸어 가며 변화를 관찰하는 과정은 단순 암기를 했던 광학 지식을 자연스럽게 이해할 수 있도록 해 주었다.

하지만 모든 학생이 자신의 원하는 확인실험을 성공적으로 수행하지는 못하였다. Fig. 2(c)와 같이 색지움렌즈에 대한 확인실험을 수행한 이 학생은 볼록렌즈와 오목렌즈의 굴절률을 바꿔가면서 색수차를 관찰하였는데, 색수차가 줄어드는 것은 관찰하였지만 최종적으로 색수차를 없애는 데는 성공하지 못하였다(학생 I). 그리고 그 이유를 아래와 같이 시뮬레이션의 기능적 한계 때문이라고 지적하였다.

> 학생 I: 알고두에서는 크라운과 플린트유리의 재질을 구현할 수 없어 색수차를 많이 줄이지는 못하였다. 하지만 볼록렌즈의 굴절률을 낮출수록, 오목렌즈의 굴절률을 높일수록 초점이 한 곳으로 모이는 것을 확인할 수 있다.

하지만 크라운과 플린트 유리의 재질은 단순히 굴절률만 찾아 적어 넣으면 구현할 수 있기 때문에



(a) (b) (c)

Fig. 2. Verification experiment; (a) represents the material of the case about refraction angle according to refractive index, (b) represents the material of the case about refraction angle according to the wavelength of the light in a prism, (c) represents the material of the case about chromatic aberration according to refractive index.

이는 시뮬레이션의 기능적 한계는 아니다. 학생이 확인실험을 성공하지 못한 것은 색 지움 렌즈에 대한 학생의 비과학적 이해에서 기인한 것으로 판단할 수 있다. 두 장의 렌즈로 만드는 색 지움 렌즈는 두 파장의 빛이 한 점에 모이게 만들 수는 있지만 백색광의 모든 파장의 빛을 한 점에 모이게 할 수는 없다. 두 파장의 빛을 한 점에 모이게 하려면 두 개의 렌즈가, 세 파장의 빛을 한 점에 모이게 하려면 세 개의 렌즈가 필요하다. 보통 두 개의 렌즈를 사용하는 경우 붉은색과 파란색의 두 빛이 한 점에 모이게 색지움렌즈를 만들기 때문에 녹색 등 다른 색의 빛은 그 점에 모이지 않는다(Jenkins, 1976). 이처럼 확인 실험에서도 학생의 과학적 개념이 시뮬레이션의 활용과 확인 실험의 성공적 수행에 중요한 영향을 미침을 확인할 수 있다. 이와 관련된 학생의 어려움은 다음과 같은 학생의 설명에서 확인할 수 있다.

> 학생 I: 창작자의 의도대로 움직이지 않을 때, 어디가 잘못된 것인지 찾기가 어렵습니다.

3. 탐구실험

Algodoo 프로그램을 사용해 탐구실험을 수행한 학생들은 50개의 사례를 생성하였다(Table 6). 탐구실험의 사례에서 각각의 탐구 문제가 매우 다양하게 나타났기 때문에 특징이 유사한 것들을 묶어 Table 6에 나타냈다. 전형적이지 않은 렌즈의 초점거리에 대한 탐구가 12개의 사례, 분산된 빛의 합성에 대한 탐구가 10개의 사례, 렌즈, 프리즘, 거울 등의 합성 초점거리에 대한 탐구가 9개의 사례, 프리즘의 특징에 따른 빛의 분산에 대한 탐구가 9개의 사례, 기존 교수-학습 과정에서 다룬 내용에 대한 추가 탐구가 4개의 사례, 프리즘이나 원형 렌즈를 사용해 광선을 원래 위치로 굴절시킬 수 있는지에 대한 탐구가 2개의 사례, 그리고 렌즈의 구면수차, 렌즈에서의 반사, 물질에 따른 빛의 투과, 프리즘을 사용한 평행광 등에 대한 탐구가 각각 1개의 사례씩 나타났다.

Table 6. Inquiry experiment

내용	사례 수
전형적이지 않은 렌즈의 초점거리에 대한 탐구	12
분산된 빛의 합성에 대한 탐구	10
렌즈, 프리즘, 거울 등의 합성 초점거리에 대한 탐구	9
프리즘의 특징에 따른 빛의 분산에 대한 탐구	9
기존 교수-학습 과정에서 다룬 내용에 대한 추가 탐구	4
프리즘이나 원형 렌즈를 사용해 광선을 원래 위치로 굴절시킬 수 있는지에 대한 탐구	2
렌즈의 구면수차에 대한 탐구	1
렌즈에서의 반사에 대한 탐구	1
물질에 따른 빛의 투과에 대한 탐구	1
프리즘을 사용한 평행광에 대한 탐구	1

앞서 언급하였듯이 결과를 간략하게 나타내기 위해 편의상 Table 6에서는 50개의 탐구실험 사례를 유사한 것끼리 10개의 유형으로 묶어 나타냈지만, 탐구실험에서 모든 사례의 탐구 주제는 서로 다르게 나타났다. 예를 들어, 렌즈, 프리즘, 거울 등의 합성 초점거리에 대한 탐구(9사례)를 살펴보면, '오목렌즈로 퍼뜨린 빛을 볼록렌즈로 모을 수 있는가?', '프리즘의 굴절률을 높이면 무슨 일이 일어나는가?', '평면-오목 렌즈를 두 개 마주보게 놓으면 빛은 어떻게 굴절하는가?', '평면-볼록 렌즈를 두 개 마주 보게 놓으면 빛은 어떻게 굴절하는가?', '볼록 렌즈에 사각 렌즈를 삽입하면 빛은 어떻게 굴절하는가?', '볼록렌즈와 오목렌즈를 각 2개 식 사용하는 경우 어떤 배열이 초점거리가 제일 짧아지는가?', '프리즘, 볼록렌즈, 오목렌즈를 결합하면 빛은 어떻게 굴절하는가?', '프리즘, 볼록렌즈, 오목렌즈, 거울을 결합하면 빛은 어떻게 굴절하는가?', '오목렌즈와 볼록렌즈를 결합하면 빛은 어떻게 굴절하는가?'와 같이 서로 다른 주제에 대한 탐구실험을 수행한 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 이 유형에서는 각자의 관심이나 흥미에 따라 매우 다양한 탐구실험이 수행되었음을 알 수 있다.

Fig. 3은 렌즈의 모양에 따른 초점거리와 구면수차에 대한 학생의 탐구실험을 보여준다(학생 J). Fig. 3(a)에서 학생은 렌즈의 모양을 초승달 모양에서 구형까지 바꿔가면서 실험하고 다음과 같이 렌즈의 모양에 따라 초점거리가 달라짐을 설명한다.

> 학생 J: 렌즈의 모양이 반원에서 초승달로 변할수록 초점거리가 길어졌다.

이후, 이 학생은 Fig. 3(b), (c), (d)와 같이 렌즈의 초점거리와 수차에 대한 추가 실험을 수행했다. 렌즈의 방향을 뒤집으면서 초점거리와 수차를 관찰

하고 렌즈를 뒤집을 경우 초점거리는 변하지 않지만 구면수차는 달라지는 것을 발견한다. 이를 바탕으로 학생은 아래와 같이 일반물리학에서는 다루지 않고, 3~4학년 전공과목인 광학에서 다루는 현상을 Algodoo로 구현하였다(Halliday *et al.*, 2013; Jenkins, 1976; Serway & Vuille, 2014). 하지만 왜 이런 현상이 나타나는지에 대한 설명을 추가적으로 제시하지는 못했다.

학생 J: 같은 모양의 렌즈를 좌우로 뒤집어도 초점거리는 거의 비슷하다. […] 가장 바깥쪽에서 오는 빛의 꺾인 정도는 렌즈의 모양에 따라 차이가 있었다. 레이저와 가까운 쪽 렌즈가 평평한 경우, 레이저가 더 많이 꺾인 것을 확인할 수 있었다. 레이저와 가까운 쪽이 평평한 렌즈가 구면수차가 안 좋은 렌즈이다.

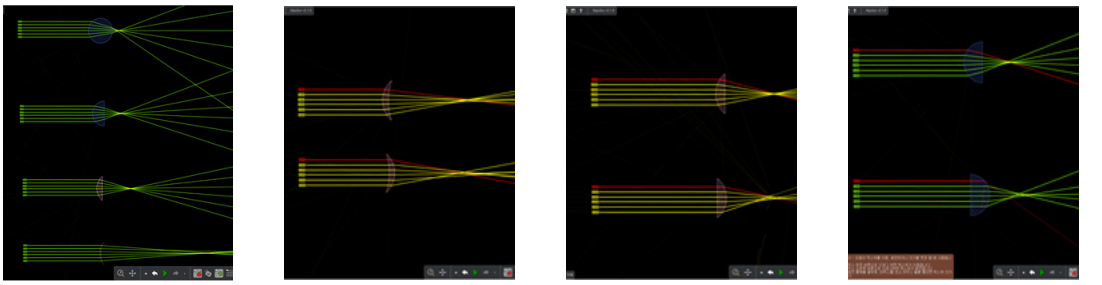
이 유형의 학생들은 궁금한 것을 즉시 시뮬레이션상에서 구현하여 확인하는 즉시적 탐구(Instant inquiry)를 수행하였다고 볼 수 있다(Haglund *et al.*, 2015). Fig. 4는 5개의 탐구실험을 수행한 한 학생의 예를 보여준다. 이 학생은 궁금한 것을 즉시 만들어 확인해볼 수 있었다(학생 K).

학생 K: 알고두 프로그램을 활용하면 원할 때 언제든지 마음대로 여러 요인을 변화시키며 다양한 사례들의 실험을 할 수 있다는 것이 가장 큰 장점이라고 생각합니다.

이 학생은 평면-오목 렌즈의 방향을 뒤집으면 빛을 모을 것이라 생각하고 Fig. 4(a)의 탐구실험을 수행하였지만 그렇지 않음을 실험을 통해 확인하였다.

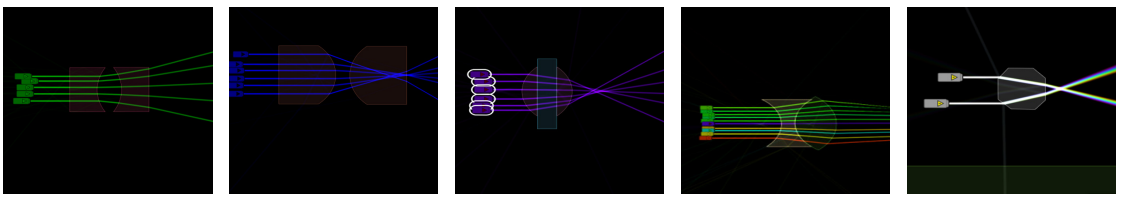
학생 K: 처음에는 빛이 마주 보는 두 개의 렌즈를 통과하면 첫 번째 렌즈에서는 빛이 퍼지고, 두 번째 렌즈에서는 빛이 모일 것이라고 생각했습니다. 하지만 결과를 본 후 오목렌즈 성질의 렌즈 두 개를 마주 보게 위치시켜도 빛의 굴절은 오목렌즈에서의 굴절과 같게 나타난다는 것을 알게 되었습니다.

Fig. 4(b)에서는 평면-볼록 렌즈에 대해 같은 실험을 수행하고, Fig. 4(c)에서는 렌즈 사이에 사각 렌즈를 넣어보기도 하고, Fig. 4(d)에서는 렌즈 두 개를 결합하고, Fig. 4(e)에서는 특이한 모양의 물체를 만들어 빛이 분산되는지를 확인한다. 이때 학생은 어떻게 될 것인지를 예상하고 그렇게 되었는지 그렇게 되지 않았는지를 단순히 확인하는 형태로



(a) (b) (c) (d)

Fig. 3. Inquiry experiment; (a) shows the focal length according to the shape of the lens, (b), (c) and (d) represents the focal length and the spherical aberration according to the shape of the lens.



(a) (b) (c) (d) (e)

Fig. 4. Verification experiment; (a) represents the material of the case about refraction angle according to refractive index, (b) represents the material of the case about refraction angle according to the wavelength of the light in a prism, (c) represents the material of the case about chromatic aberration according to refractive index.

결론 내렸다.

학생 K: 처음 팔각형 모양의 렌즈를 만들고 빛을 쏠 때, 빛의 굴절은 오목렌즈에서의 굴절 모형도 볼록렌즈에서의 굴절 모형도 아닌, 규칙이 없는 모형으로 굴절이 나타날 것이라 생각했습니다. 하지만 결과는 볼록렌즈에서의 빛의 굴절과 비슷한 결과가 나타났습니다.

V. 결론 및 제언

본 연구에서는 Algodoo 시뮬레이션을 활용한 초등예비교사의 자유로운 활동을 분석하여 그 특징을 이해하고 이를 통해 광학교육에 대한 교육적 시사점을 얻고자 하였다. 연구에는 교육대학의 1학년 학생 79명이 참여하였다. 이 학생들은 개발된 교수-학습 과정에 참여하여 자유롭게 광학 현상에 대한 자료를 Algodoo를 사용해 만들고 이를 설명하는 보고서를 제출하였다. 학생들은 총 180개의 사례를 제작하여 제출하였다. 학생들의 활동을 표상재생산, 확인실험, 탐구실험으로 구분하여 그 특징을 살펴보았다.

연구 결과 총 180개의 사례 중, 표상재생산은 64개의 사례, 확인실험은 40개의 사례, 탐구실험은 50개의 사례에서 나타났다. 표상재생산을 수행한 학생들은 이론적 배경을 공부하며 찾은 광선 다이어그램을 시뮬레이션 내에서 구현하였다. 이 학생들은 주로 잘 알려진 권위 있는 표상인 망원경과 무지개의 원리를 설명하는 표상에 대한 전환을 수행하였다. 광학의 여러 법칙이 작용하는 시뮬레이션 환경에서 학생들은 자유롭게 렌즈나 프리즘 등을 움직이면서 원하는 형태의 결과물을 시뮬레이션에 나타내기 위해 노력하였다. 이 학생들은 정확히 같은 모양으로 표상을 전환하기보다는 주요 특징 등을 포착하여 표상을 재생산하였다. 또한 시뮬레이션을 사용해 자신이 만든 자료를 바탕으로 새로운 해석을 시도하기도 하였는데 일부 학생들은 비과학적인 설명을 하기도 하였다.

확인실험을 수행한 학생들은 이론적 배경 조사를 통해 이미 알고 있는 개념을 확인하기 위한 실험을 수행하였으며, 대부분 하나의 독립 변인을 변화시키며 하나의 종속 변인을 관찰하는 단순 탐구를 수행하였다. 종속 변인의 변화가 학생이 의도한 대로 나타난 경우에 학생은 개념을 더 잘 이해하게 되었다고 인식하였다. 하지만 일부 학생은 확인 실험을 성공적으로 수행하지 못했다. 이 학생들이 확인실험에 성공하지 못한 것은 관련 과학적 개념의 부재에 의한 것이었지만 학생은 그 이유를 시뮬레이션의 기능적 한계 때문으로 인식하고 확인실험을 성공시키기 위해 더 노력하지 않았다.

탐구실험을 수행한 학생들은 이론적 배경 조사에서 찾아낸 것이 아니라 자신이 이전에 알지 못했던 것들을 시뮬레이션을 사용해 탐구하였다. 이 유형에서는 궁금한 것들을 바로 확인해보는 즉시적 탐구가 나타났으며, 일부 사례에서는 일반물리학의 수준을 넘어서는 광학 현상들을 발견하기도 하였다. 학생들은 시뮬레이션을 조작하며 관찰하고 어떤 현상이 발생하는 조건 등은 잘 찾아냈지만, 현상이 나타나는 원인을 이론적으로 설명하지는 못하고 탐구를 마무리했다.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서 도출한 시사점은 다음과 같다. 첫째, Algodoo를 사용한 자유로운 맥락에서의 광학 실험은 학습자가 다양한 수준의 활동을 할 수 있는 맥락을 제공하였으며, 학생은 이렇게 만든 자료를 바탕으로 광학 현상을 더 잘 이해할 수 있었다. 학생들은 표상재생산을 통해 광학 관련 개념을 잘 이해하고 기억할 수 있게 되었다고 설명하였으며, 확인실험을 통해 기존에 암기만 했던 광학 지식을 이해할 수 있게 되었다고 하였고, 탐구실험을 통해 궁금한 것을 시뮬레이션 상에서 구현하여 확인하였다는 점에서 이를 확인할 수 있다. 특히 Algodoo의 사용 맥락은 광학개념에 대한 이해가 부족한 교육대학 학생들(권경필, 2014; 이지원, 2021)이 광학과 관련된 탐구나 실험을 시작할 수 있는 계기를 제공하였다. 교수자의 특별한 개입이 없는 자유로운 본 연구의 맥락에서 학생들은 표상재생산, 확인실험, 탐구실험의 다양한 활동을 수행하였다. 또한 각 수준의 활동 내에서 광선 다이어그램의 주요 특징을 포착하고 자신이 만든 표상을 해석하여 새로운 발견을 하거나, 변인을 변화시키면서 변화를 관찰하며 기존에 알고 있던 지식을 확실히 하기도 하고, 알지 못하던 새로운 현상을 탐구하여 일반물리학 수준 이상에 과정에서 학습하는 광학 관련 현상을 관찰하고 특정 사건이 발생하는 조건 등을 찾아내기도 하였다.

둘째, Algodoo를 활용한 실험은 과학적인 원리

및 모형을 사용해 그 현상이 나타나는 이유를 설명하도록 하는 데는 제한적으로 작용하며 교수자는 이를 위한 추가적인 지원을 제공할 필요가 있다. 학생들은 표상재생산을 통해 얻은 자신의 자료를 관찰하며 새로운 설명을 만들어 냈지만, 과학적이지 않은 학생 개인의 모형에 근거한 설명은 비과학적인 설명을 만들어냈다. 또한 학생의 과학적 개념의 부재로 인해 덜 엄격하게 구현된 시뮬레이션 내의 확인실험이 학생이 원하는 대로 실행되지 않을 때, 학생은 그 원인을 자신의 이해가 아닌 시뮬레이션 탓으로 돌렸으며, 탐구실험에서는 원인에 대한 이론적 설명이 나타나지 않았다. 따라서 교수자는 표상재생산 활동에서 드러난 비과학적인 학생의 모형을 개선할 수 있는 새로운 탐구 문제를 학생에게 제공하고, 잘 작동하지 않는 확인실험을 통해 학습자에게 필요한 과학적 지식을 파악해야 하며, 피상적인 해석으로 마무리되는 탐구실험에서 원리에 대한 탐구가 일어날 수 있도록 추가적인 탐구 또는 탐색적 질문을 제안할 필요가 있다. 예를 들어 교사는 Algodoo를 사용한 표상재생산 활동에서 물체의 상 형성에 대한 비과학적 모형이 드러난 학생에게 렌즈를 반 가리면 상의 모양이 어떻게 변할지를 생각해 보게 하는 등의 탐구 문제를 제공함으로 학생의 과학적 이해를 도울 수 있을 것이다 (Galili, 1996). 또한 Algodoo로 두 개의 렌즈로 모든 색깔 빛의 초점을 같게 만들 수 있는지에 대한 확인실험을 수행한 학생에게는 두 개의 렌즈를 사용해 몇 개의 색깔 빛을 한 초점으로 모을 수 있는지, 어떤 색깔의 빛을 주로 한 점에 모으는지 등을 질문할 수 있을 것이다. 이를 통해 색지움렌즈에 대해 더 구체적인 이론적 배경을 찾아본 학생은 확인실험을 잘 작동하도록 수행할 수 있을 것이다. Algodoo를 사용한 탐구실험에서 렌즈를 뒤집었을 때 초점거리는 변하지 않고 구면수차가 달라지는 것을 알게 된 학생에게는 입사광이 렌즈의 중심에서 멀어질수록 굴절면의 법선은 어떻게 바뀌는지를 관찰하고 스넬의 법칙을 사용해 빛이 어떻게 굴절할지 그려보도록 하는 추가적인 탐구를 제안할 수 있을 것이다. 이러한 추가적인 탐구를 통해 학생은 이 현상에 대해 피상적인 이해를 하는 것이 아니라 스넬의 법칙 등과 같은 이론 또는 원리를 바탕으로 자신의 설명모형을 구성할 수 있는 기회를 얻을 수 있을 것이다.

최근의 과학의 급속한 발달은 학습자가 다양한 도구를 사용해 탐구할 수 있는 맥락을 제공해준다. 하지만 많은 경우 그 도구가 잘 사용되지 않거나 과학교육맥락과 관계없이 사용법만 안내되거나 모든 문제가 해결될 것처럼 장점만이 과장되어 소개되기도 한다. 다양한 도구의 현장 적용을 위해서는 교사나 예비교사가 도구를 경험할 수 있는 기회가 제공되어야 하며 이를 사용할 수 있는 특정한 과학수업의 맥락이 같이 제공될 필요가 있으며, 실제 적용을 통해 도구의 장점과 한계점이 명확히 논의될 필요가 있다. 본 연구에서는 광학교육의 맥락에서 사용할 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션을 예비교사에게 적용하고 그 도구의 장점과 한계 그리고 교수학습적인 시사점에 대해 논하였다. 기하광학 전반에 대한 예비교사의 활동을 분석한 본 연구 결과는 평면거울에서의 빛의 반사, 프리즘에서의 분산, 렌즈에서의 빛의 굴절 등 초등과학교육에서 다루는 구체적인 광학 개념과 관련된 Algodoo 활용 교수-학습 자료의 개발 및 적용에 대한 추후 연구로 확장될 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서 사례별로 제안한 교수자를 위한 대처 및 지도 방안은 추후 연구를 통해 그 효과성을 확인하고 더 구체화 될 수 있을 것이다. 이처럼 본 연구의 결과는 추후 연구를 통해 확장될 수 있을 것이며, 다양한 시뮬레이션 도구를 다양한 과학적 맥락에 어떻게 적용할 수 있는지에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

강은희, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 이신영, 김희백 (2012). 심장 혈액 흐름의 모형 구성 과정에서 나타난 소집단 상호작용과 소집단 규범. 한국과학교육학회지, 32(2), 372-387.

교육부(2015). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호 [별책9]. 교육부.

권경필(2014). 빨대의 굴절상 삽화에 대한 초등 예비 교사들의 이해 분석. 교사교육연구, 53(4), 815-824.

김병조(2017). 알고두 시뮬레이션을 활용한 교수학습 자료 개발 및 적용. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회 논문집, 21(1), 131-134.

김지선, 김중복(2018). 알고두 프로그램을 이용한 전기회로 비유 생성 활동에서 나타난 초등과학영재 학생들의 비유물의 변화 과정. 초등과학교육, 37(2), 161-172.

김윤화, 유준희(2019). 자생적 온라인 교사 공동체의 질

문분석을 통한 초등교사의 과학 교수 관련 어려움 탐색: 인디스쿨의 물리 관련 질문 게시글을 중심으로. 한국과학교육학회지, 39(1), 73-88.

박수경(2015). 지질구조에 대한 모델링기반 학습에서 나타나는 논증패턴과 정신모형 수준에 대한 분석. 한국과학교육학회지, 35(5), 919-929.

박정우(2017). 볼록렌즈가 상을 만드는 원리에 대한 과학적 모형의 사회적 구성 프로그램 개발 및 적용. 한국광학회지, 28(5), 203-212.

박정우(2021). 그래프 표상 프로그램을 활용한 대학생의 양자역학 시각화. 새물리, 71(2), 186-199.

양찬호, 김수현, 조민진, 노태희(2016). 물질의 입자성에 대한 모형 구성 과정에서 나타나는 소집단 토론과 전체 학급 토론의 특징. 한국과학교육학회지, 36(3), 361-369.

윤혜경, 이인선, 박정우(2021). 빛의 반사 현상에 대한 초등 예비교사의 시각적 모델링 과정. 한국과학교육학회지, 41(1), 19-31.

이지원(2021). 빛의 굴절에 대한 초등예비교사의 개념이해와 지도계획의 어려움 분석. 한국과학교육학회지, 41(1), 11-17.

정재훈, 이태욱(2013). Algodoo 시뮬레이션 교수 학습 프로그램 설계. 한국컴퓨터정보학회 학술발표논문집, 21(2), 199-201.

Aini, N., & Bunawan, W. (2020). The development of two-tier multiple choice tests to assess student's conceptual understanding in physics learning assissted by ALGODOO. INPAFI (Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika), 8(4), 33-41.

Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. Science, 333(6046), 1096-1097.

Antunes Júnior, E. L. Q. (2015, May 20). The optics from the sociocultural and epistemological perspective: A didactic experience in physics teaching. https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/132040/000982738.pdf?sequence=1

Bendall, S., Goldberg, F., & Galili, I. (1993). Prospective elementary teachers' prior knowledge about light. Journal of Research in Science Teaching, 30(9), 1169-1187.

Çelik, H., Uğur, S. A. R. I., & Harwanto, U. N. (2014). Developing and evaluating physics teaching material with ALGODOO (PHUN) in virtual environment; Archimedes' principle. The Eurasia Proceedings of Educational and Social Sciences, 1, 178-183.

Chinn, C. A., & Melhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. Science Education, 86(2), 175-218.

da Silva, S. L., da Silva, R. L., Junior, J. T. G., Gonçalves, E., Viana, E. R., & Wyatt, J. B. (2014a). Animation with Algodoo: A simple tool for teaching and learning physics. arXiv preprint arXiv:1409.1621.

da Silva, S. L., Junior, J. T. G., da Silva, R. L., Viana, E., & Leal, F. F. (2014b). An alternative for teaching and learning the simple diffusion process using Algodoo animations. arXiv preprint arXiv:1412.6666.

Euler, E., & Gregorcic, B. (2019). Algodoo as a Microworld: Informally Linking Mathematics and Physics. In G. Pospiech, M. Michelini, & B. S. Eylon (Eds.), Mathematics in Physics Education (pp. 355-385). Springer.

Haglund, J., Jeppsson, F., Hedberg, D., & Schönborn, K. J. (2015). Students' framing of laboratory exercises using infrared cameras. Physical Review Special Topics: Physics Education Research, 11(2), 020127.

Halloun, I. (2007). Modeling theory in science education. Springer Science & Business Media.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). Fundamentals of physics. John Wiley & Sons.

Heywood, D. S. (2005). Primary trainee teachers' learning and teaching about light: Some pedagogic implications for initial teacher training. International Journal of Science Education, 27(12).

Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. International Journal of Science Education, 18(7), 847-868.

Giere, R. (1991). Understanding Scientific Reasoning. Orlando, Holt, Rinehart, and Winston, Inc.

Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education Visualization in science education. In J. K. Gilbert (Ed.), Visualization in Science Education (pp. 9-27). Springer.

Gregorcic, B., & Bodin, M. (2017). Algodoo: A tool for encouraging creativity in physics teaching and learning. The Physics Teacher, 55(1), 25-28.

Jenč, M. (2016). Use of the Algodoo program in teaching physics. Unpublished doctoral dissertation, Západočeská University, Plzen, Cesko.

Jenkins, F. A., & White, H. E. (1976). Fundamentals of optics. New York, Mcgraw-Hill College, Chapter 9.

Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. Science & Education, 1(3), 273-299.

Koreš, J. (2012). Using Phun to Study "Perpetual Motion" Machines. The Physics Teacher, 50(5), 278-279.

Matthews, M. R. (2014). International handbook of research in history, philosophy and science teaching. Dordrecht, Springer, Chapter 4.

Park, J., Shin, M., Shim, H., Lee, G., & Lee, S. (2019). Developing a science simulation program to teach the concept of balance in physics: Its development and application for gifted Korean elementary students of science. The Journal of Social Sciences Research, 5(5), 975-984.

PHET. (2022, May 20). Geometric Optics. https://phet.colorado.edu/en/simulation/legacy/geometric-optics

Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. Psychological bulletin, 100(3), 349-363.

Science Korea, (2022, May 20). Newton's Reflecting Telescope. https://m.blog.naver.com/PostView.naver?blogId=jtg777&logNo=10100216188&targetKeyword=&targetRecommendationCode=1

Serway, R. A., & Vuille, C. (2014). College physics. Cengage Learning.

Vliora, E., Mouzakis, C. Kalogiannakis, M. (2018). Teaching Light Refraction Using Algodoo Application. Open Education: The Journal for Open and Distance Education and Educational Technology, 14(2), 76-94.

Wellington, J. (2002). Epilogue. In J. Wellington (Ed.), Practical work in school science: Which way now? (pp. 282-284). New York: Routledge.

Zang, M. (2012). The Algodoo simulation kit: Description and examples, Unpublished dissertation University of Würzburg, Bayern, German.

† 박정우, 제주대학교 교수(Park, Jeongwoo; Professor, Jeju National University).