

빛과 그림자 개념 이해를 돕는 3차원 시뮬레이션 콘텐츠 개발 및 적용

이지원 · 윤하영 · 김종복*

한국교원대학교

Developing 3D Simulation Contents for Understanding of Light and Shadow

Ji Won, Lee · Hayoung, Yoon · Jung Bog, Kim*

Korea National University of Education

Abstract : In physics, mental simulation is an important mechanism to understand and create concepts. If students have difficulty in mental simulation, understanding the concept of physics also gets difficult. By providing guide for spatial manipulation to students, 3D simulation contents can help them understand the concept of physics. In this study, the 3D simulation contents developed to help understanding the concept of light going straight and shadow is applied to 20 college students. The results, Hake gain is 0.93, showing high level of understanding about the class. In addition, through mental simulation, students predict the phenomenon well about the new context. This is shown that students' understanding of concept through 3D simulation contents are carried out well.

keywords : 3D simulation contents, mental simulation, 3DCG, straight propagation of light, light and shadow

I. 서론

과학자들은 어떤 현상을 탐구할 때 자신이 알고 있던 과학적 개념을 바탕으로 머릿속에 그림을 그린다. 새로운 공간을 창조하여 그 공간을 변형하기도 하고 회전시키기도 하면서 요소 간 상호작용이 어떻게 일어나는지를 머릿속으로 시뮬레이션한다. 이와 유사하게 학생들도 어떤 물리현상에 관련된 개념을 이해하기 위해서 머릿속으로 그 형태와 상호작용을 그린다. 개체가 물리적 법칙에 따랐을 때 어떠한 상호작용이 일어나며 이를 통해 어떤 현상이 일어날지 역동적으로 시뮬레이션하여 예측한다. 이러한 작용을 멘탈 시뮬레이션이라 하는데, 멘탈 시뮬레이션은 지식을 만들거나 이용할 수 있는 인식론적 장치로서 지식 생성 과정의 중요한 매커니즘이다(Nersessian, 2002; Clement, 2008). 따라서 개념을 제대로 이해하고 이러한 개념에 기반하

여 앞으로 일어날 현상을 정확하게 예측하기 위해서는 멘탈 시뮬레이션이 잘 수행되어야 한다.

멘탈 시뮬레이션의 수행은 개인이 가진 공간능력 (spatial ability)에 영향을 받는다. 정미경과 윤소운 (2012)은 공간능력의 정의에 관한 선행연구를 정리하여 “사물에 대한 공간관계를 이해하고 기억하는 능력, 공간에서 이미지를 조작하는 능력, 복잡한 물리적 체계가 어떻게 부분으로 분리되는지를 아는 능력”으로 정의하였다. 다중지능이론에 의하면 공간능력은 지능의 한 영역이다(Gardner, 1993; Plucker et al., 1996). 이에 따라 영재교육 연구에서는 공간능력검사를 영재판별의 도구로서 사용하기도 한다(Chan, 2010; Lohman, 2005; Lubinski, Benbow, 2006; Wai et al., 2009; Webb et al., 2007). 이러한 공간능력은 과학과 수학학습의 성취도를 예언한다는 많은 연구가 있다(이효녕 등, 2012; Lubinski, 2010; Wai et al., 2009; Johns Hopkins University, 2012). 즉 공간능력이 낮아

*교신저자 : 김종복(jbkim@knue.ac.kr)

*2014년 10월 20일 접수, 2014년 12월 2일 수정원고 접수, 2014년 12월 6일 채택

심상 시뮬레이션을 잘 하지 못해서 과학적 개념을 잘 형성하지 못하거나, 혹은 개념은 잘 이해하였으나 현상을 예측하지 못하는 경우 학업 성취도가 낮을 수 있다. 따라서 공간능력이 낮은 학생들이 겪는 개념 이해나 현상 예측의 어려움을 극복할 수 있는 교육적 방안을 모색하여야 한다.

이러한 교육적 방안의 일환으로 학생들이 멘탈 모델링 과정에서 심상의 회전이나 확대, 대체 등 멘탈 시뮬레이션에 어려움을 겪을 때 보조적인 도구로서 교사가 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 영상으로 보여주는 방법을 사용할 수 있을 것이다. 최근 급격한 기술의 발전에 따라 이러한 외부적 시뮬레이션을 제공하는 3차원 컴퓨터 그래픽, 가상현실, 증강현실 등의 첨단멀티미디어 기술을 이용한 교수·학습 자료의 개발이 국내외적으로 활발하게 이루어지고 있다. 예를 들어 일본에서는 3차원 컴퓨터 그래픽을 이용하여 일반적으로 보이지 않는 것, 보기 힘든 것을 보이도록 하여 이해를 돕는 가시화(可視化) 교수·학습과정을 개발 중에 있다. 이는 과학과 기술에 대한 흥미를 높이고, 물리나 화학 분야에서 어려운 개념에 대한 이해를 돕는데 효과적일 것으로 기대된다. 이에 따라 문부과학성에서는 가시화 기술에 관한 커리큘럼 개발을 지원하고 있다(吉井直子, 2011). 미국에서도 콜로라도 대학 물리교육방법연구팀에 의해 과학 전영역에 걸쳐 상호작용적 시뮬레이션(PhET sims)이 개발되어 세계적으로 폭넓게 사용되고 있다. PhET(Physics Education Technology)의 시뮬레이션 개발 목표는 시뮬레이션을 통한 물리 개념의 탄탄한 이해에 있다(Perkins et al., 2006). 2차원 혹은 3차원 시뮬레이션을 학생들이 직접 컨트롤함으로써 물리적 법칙을 이해할 수 있도록 구성되어 있다. 이 때 개념을 이해시키는 과정에서 학생들이 수행하여야 할 멘탈 시뮬레이션을 외부적 콘텐츠로 제작하여 제공하는 방법에 대하여 두 가지 반론이 제기될 수 있다.

첫째, 외부적 시뮬레이션을 제공한다면 학생들이 스스로 머릿속에서 해야 할 일을 하지 못하기 때문에 오히려 학생들의 자발적인 학습을 방해할 수 있다는 반론이다. 하지만 초기에 개념을 학습하는 시

점에서는 모델링의 어려움을 극복할 수 있는 조력의 한 형태로서 자료를 제공할 수 있다. 특히 공간능력이 낮거나 맥락이 생소하여 멘탈 시뮬레이션을 수행하지 못할 때 큰 도움이 될 수 있다. 이럴 때에는 개념학습의 초기에 시뮬레이션 콘텐츠를 제공하다가 점점 제공 빈도를 줄여나가는 인지적 도제 전략을 사용할 수 있을 것이다.

둘째, 직접 실험이 가능한 경우 굳이 시뮬레이션을 제공할 필요가 있는지에 대해 의문을 가질 수 있다. 하지만 실제 실험보다 시뮬레이션을 제공하는 것이 더 교육적 효과가 높았다는 선행연구(곽원규, 김홍래, 2005; 小松祐貴ら, 2013)들을 살펴보면, 학생들이 실험 결과와 개념을 연결짓지 못하고 별개로 인식하는 경향에 대하여 언급하고 있다. 예를 들어 볼록렌즈의 작용에 의해서 생기는 상의 규칙성을 이해하는 수업에서 단순히 실험만으로는 빛의 경로를 알기 어렵기 때문에 학생들이 광선작도의 규칙성을 이해하지 못하였으나, 증강현실 콘텐츠를 통해 빛의 진행경로를 파악하게 되어 개념을 이해하게 되었음을 보고하였다(小松祐貴ら, 2013b). 즉 시뮬레이션 콘텐츠는 실험보다 좀 더 명확하고 간결하게 가르치고자 하는 개념에 집중하는 장점이 있으므로, 필요한 경우 시뮬레이션 콘텐츠를 실험과 병행하여 사용할 수 있을 것이다. 국내에서도 3차원 컴퓨터 그래픽, 가상현실, 증강현실 등의 첨단멀티미디어 기술을 교육에 도입하는 연구가 오래전부터 시도되어 왔으나 아직은 다양한 콘텐츠가 개발되어 보급되지는 않았다.

이에 따라 이 연구에서는 바늘구멍 사진기의 원리를 통해 빛과 그림자의 개념 이해를 돕는 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 개발하고자 한다. 빛의 직진과 그림자의 생성은 기본적 개념이기 때문에 쉽고 생각하기 쉽지만, 이를 가르치는 교사들조차 잘못되거나 불완전한 이해를 가지고 있는 사람이 많다(김종원 등, 2012; 이지원 등, 2013). 바늘구멍 사진기의 원리를 이해하기 위해서는 유한 크기의 광원이 점광원의 집합이며, 각 점에서 나간 빛이 공간을 어떻게 이동하여 스크린의 어느 지점에 도달하는지, 각 점에서 나간 빛이 모이면 최종적으로 어떤 형태를 갖게 되는지 등을 모두 파악할 수 있

는 공간능력이 필요하기 때문에 오개념이 매우 많은 부분이기도 하다. 이에 따라 김종원 등(2012)과 이지원 등(2013)은 동료교수법을 적용하여 빛의 직진 개념의 이해를 돕는 교수학습자료를 개발하였다. 이 자료에서 가장 중점을 둔 부분은 인지갈등을 유발하는 개념검사문항이 학습자의 모델링을 도울 수 있도록 단계적으로 배치되어 인지적 다리놓기에 의해 개념이해를 용이하게 하도록 구성되어 있다는 점이다. 이에 따라 학생들은 상호토론을 통해 서로의 개념을 확인하고 자신의 개념을 수정해 나간다. 동료교수법은 기본적으로 구성주의적 입장에서 학생들이 자발적으로 개념을 형성해나갈 수 있는 최적의 조력을 제공하는 방향으로 나아간다. 이에 따라 교수자의 직접적 개입은 전통적 수업방식에 비해 매우 적어지게 된다. 하지만 동료교수법에서도 교수자의 개입이 필요한 부분이 있는데 바로 정답 확인 부분이다. 이는 동료교수법의 구성에서 개념검사문항 제시, 투표, 상호토론, 재투표 이후에 최종적으로 서로 논의한 개념이 맞는지 확인하는 부분이다. 정답 확인을 통해 개념을 제대로 형성했는지 확인하고, 불확실했던 부분이 명확해지며, 오개념이 있었다면 바로잡고 다음 개념으로 넘어갈 수 있다. 이 때 빛의 진행과 같은 시각적 형상화가 필요한 개념의 경우에는 교수자와 학습자가 서로의 멘탈 시뮬레이션을 말이나 2차원 그림으로 구현하여 전달하기 어렵다(이지원 등, 2014). 따라서 빛의 진행 ‘과정’을 직접 확인할 수 있는 3차원 시뮬레이션은 학습자의 멘탈 시뮬레이션이 적절하였는지를 확인하고 잘못된 부분을 바로잡아줄 수 있다는 점에서 매우 효과적인 자료 제시 방법이라 볼 수 있다.

따라서 이 연구에서는 첫째, 빛과 그림자 개념 이해를 돕는 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 개발하고, 둘째, 동료교수법 적용 수업에서 정답 확인 시 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 제공하였을 때 빛과 그림자 개념 이해 수준을 파악하고자 한다. 셋째, 새로운 상황을 제시했을 때 학습한 내용을 적용하여 자발적으로 시뮬레이션할 수 있는지 파악하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구에는 다양한 전공의 대학생 20명이 참여하였다. 연구 참여자의 일반특징은 표 1과 같다. 표 1에서 알 수 있는 바와 같이, 전체 연구 참여자의 40%가 인문·사회·예술 교육 계열이고 60%가 자연과학·응용과학 교육 계열이다. 다양한 전공의 대학생을 대상으로 한 이유는 과학적 배경지식과 공간능력의 수준이 다양한 학습자를 대상으로 하여 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 적용하였을 때 물리 개념의 이해 정도를 측정하고자 하기 때문이다.

표 1. 연구 참여자의 일반 특성

		구분	인원수(백분율)
성별		남	9(45)
		여	11(55)
인문·사회· 예술 교육계열		유아교육	2(10)
		초등교육	1(5)
		국어교육	1(5)
		교육	1(5)
		체육교육	3(15)
		계	8(40)
전공		수학교육	2(10)
		기술교육	2(10)
		화학교육	1(5)
자연과학·응용 과학 교육계열		생물교육	4(20)
		지구과학교육	1(5)
		컴퓨터교육	1(5)
		환경교육	1(5)
	계	12(60)	
총 합 계			20(100)

2. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠의 개발

가. 개발절차

물리 개념의 이해를 돕기 위한 3차원 시뮬레이션 콘텐츠의 개발 절차는 그림 1과 같다. 준비단계에서는 수업의 목표와 구성방식을 결정한다. 이 수업에서는 바늘구멍 사진기의 원리를 통해 빛의 직

진 개념을 이해하는 동료교수법(이지원 등, 2013)의 교수학습자료를 활용하였다. 다음으로 동료교수법 교수학습자료에서 3차원 시물레이션 콘텐츠가 필요한 부분과 제시 순서를 결정하였다. 개발 단계에서는 필요한 부분에 적합한 3차원 시물레이션 콘텐츠를 모델링하였는데, 이 과정에는 구성 요소의 배치, 뷰포인트의 선정, 카메라의 이동 경로와 속도의 결정 등이 포함되었다. 모델링에 따라 원형(prototype)이 제작되었고, 이 원형은 물리교육전문가 1인과 과학교육전문가 1인, 콘텐츠 제작 전문가 1인에 의하여 타당도를 검증받았다. 타당도 검사 결과에 따라 빛의 밝기, 광원의 위치, 카메라 이동 경로 등이 조정되었고 2회의 예비 투입 과정을 통해 제작 의도를 참여자가 잘 이해할 수 있는지 확인하는 과정을 거쳐 콘텐츠를 수정하여 최종본을 완성하였다.

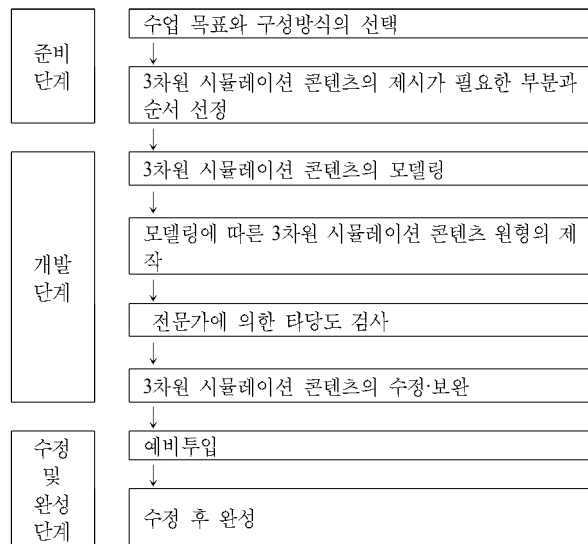


그림 1. 물리 개념 이해를 돕는 3차원 시물레이션 콘텐츠의 개발 절차

나. 개발도구

이 연구에서는 3차원 시물레이션 콘텐츠 설계를 위해 3dsmax(Autodesk 사)를 사용하였다. 이 저작도구는 3차원 모델을 손쉽게 생성할 수 있으며, 뛰어난 시각화 기능을 바탕으로 건축 CG(컴퓨터

그래픽)분야에서 활용성이 매우 높다. 3차원 시물레이션 콘텐츠 제작에 사용한 폴리곤(Polygon)수는 9,655개이며 빛의 표현 재현성을 높이기 위하여 V-Ray3.0을 사용하여 렌더링을 실시하였다. 3차원 시물레이션의 콘텐츠 작성에 사용한 하드웨어는 Intel(R) Pentium(R) G860 CPU@3.00GHz, 4.00GB RAM, 지포스GT630 Graphics이며 이 콘텐츠는 1920X1080의 해상도를 가지고 재생하였다.

다. 개발방향

빛과 그림자 개념 이해를 돕는 3차원 시물레이션 콘텐츠를 개발하는데 있어 중점을 둔 사항은 다음 세 가지이다.

첫째, 빛의 경로를 학생들이 눈으로 볼 수 있는 시각적 정보를 제공하여 구성한다. 즉 빛이 광원에서부터 출발하여 스크린에 도착할 때까지 직진해서 나아가는 중간과정을 시각화하여 표시한다. 일반적으로 빛의 경로는 특별한 환경조건을 구성하지 않는 한 보이지 않는다. 이렇게 보이지 않거나 보기 힘든 것을 시각화하여 제시하는 것은 가상현실, 증강현실, 3DCG 등 시각화를 돕는 콘텐츠 개발의 근원적인 필요성이기 때문이다.

둘째, 유한크기의 광원이 점광원의 집합임을 알 수 있도록 구성한다. 광원에 대한 개념은 매우 중요하게 다루어져야 함에도 불구하고 일반적인 자료에서는 표현의 편의를 위해 물체의 끝점에서만 한 줄기의 빛이 나오는 것처럼 나타내어지기 때문에 오개념을 일으킬 수 있다. 이에 따라 유한크기의 광원이 점광원의 집합임을 잘 드러낼 수 있도록 광원을 각각의 점광원으로 분해하여 각 점에서의 빛의 경로를 시간차를 두고 시각화할 것이다.

셋째, 공간 내에서 빛의 진행 경로의 방향 파악을 돕도록 구성한다. 바늘구멍 사진기는 광원의 모양이 상하좌우 반전되어 스크린에 맺힌다. 따라서 공간의 한 지점에서 출발한 빛이 어떤 경로를 따라 어떤 지점으로 도착하는가를 여러 각도에서 관찰하여 빛의 경로를 공간적으로 파악할 필요가 있다. 이에 따라 뷰포인트와 카메라 이동방향을 다양한

각도에서 구성하였다.

3. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠의 적용

3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 적용한 동료교수법 수업의 모듈은 그림 2와 같다. 기본적 구성은 이지원 등(2013)이 개발한 동료교수법 교수학습 과정을 따른다. 우선 개념검사문항이 제시되면 상호토론 없이 자신의 생각만으로 옳다고 생각하는 선택지의 번호에 해당하는 색깔카드를 들어 투표를 한다. 이때 정답률이 30% 이하이면 학생들이 제시된 개념검사문항을 제대로 이해하지 못했거나, 앞에서 다룬 개념이 아직 명확하게 이해되지 않았다는 것을 의미한다. 따라서 교수자는 문제를 재설명하거나 이전 개념을 일깨워줄 수 있도록 한다. 정답률이 70%가 넘으면 문제가 학습자의 수준에 비해 너무 쉽다는 의미이므로 바로 정답을 확인하고 다음 문제로 넘어간다. 정답률이 30~70%이면 상호토론이 수행된다. 개념검사문항을 고안할 때 정답률이 최대한 이 범위 내에 들도록 고려되었다. 상호토론은 자신이 고른 선택지의 번호에 해당하는 색깔카드를 들고 다른 색깔, 즉 다른 선택지를 고른 학생을 찾아가 왜 그 답을 선택했는지, 자신의 생각은 무엇인지를 설명하고 상대의 설명을 듣는 과정이다. 이 과정에서 불명확했던 개념이 명료해지고 오류가 수정되게 된다. 이에 따라 선택지가 바뀌는 경우가 많은데, 바뀐 생각을 확인하기 위해서 재투표를 시행한다. 재투표 결과 정답률이 70%가 넘으면 정답 확인 과정으로 넘어간다.

동료교수법에서 상호 토론을 통한 동료 교수 이후에 명확한 답과 이에 대한 근거를 제시하지 않으면 오개념이 자리잡을 수 있기 때문에 반드시 확인 과정을 거쳐야 한다. 정답을 확인하는 과정이 지금까지는 간단한 실험이나 간단한 강의로만 수행되었으나 이 연구에서는 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 정답 확인 과정에서 제시하여 각 시뮬레이션이 정답을 맞춘 학생에게는 자신의 멘탈 시뮬레이션을 확인하는 기회가 될 수 있도록 하고, 정답을 맞추지

못한 학생에게는 시뮬레이션의 가이드를 제공하는 역할을 수행하도록 한다. 또한 이지원 등(2013)이 개발한 동료교수법 교수학습 과정은 개념검사문항이 단계적으로 제공되기 때문에 정답확인에서 제시된 3차원 시뮬레이션 콘텐츠는 강의의 역할과 동시에 다음 단계 문제를 풀 수 있는 힌트의 역할을 수행한다.

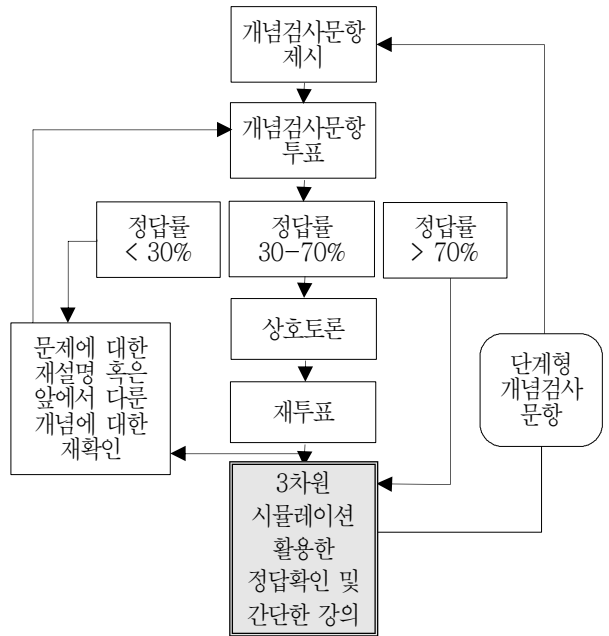


그림 2. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 포함한 수업 모듈

수업에서 사용될 개념검사문항은 총 몇 7개의 문제로 구성되어 있다. 이러한 수업 모듈에 따라 2 시간 동안 수업하며, 순서는 그림 3과 같다.

4. 데이터 수집 및 분석 방법

3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 포함한 수업을 통한 학생들의 개념 이해 정도를 알아보기 위하여 두 가지 방법을 사용하였다. 첫째, 수업의 사전, 사후검사를 실시하여 정답률 Hake gain(1998)을 측정하였다. 사전 검사는 학습자가 수업 전에 가지고 있었던 개념의 이해 정도를 평가하고, 사후 검사는 수업을 통해 배운 개념의 이해 정도를 평가하므로

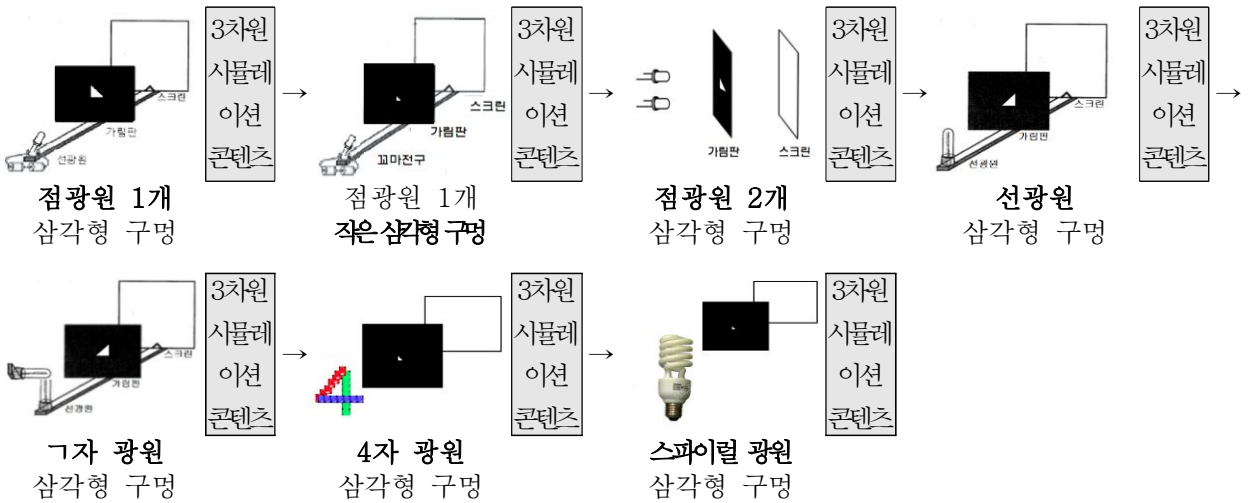


그림 3. 수업 흐름에 따른 콘텐츠 제시 지점과 순서

사전 검사와 사후 검사의 정답률 변화를 비교하면 학습자가 개념을 이해하였는지를 정량적으로 판단할 수 있다. 여기서 Hake gain이란 수업에서 최고로 도달할 수 있는 점수에 대한 실제 변화된 점수 비로서 아래와 같이 구할 수 있다.

$$< g > = \frac{\% < S_{\text{사후}} > - \% < S_{\text{사전}} >}{100\% - \% < S_{\text{사전}} >}$$

보통 Hake gain이 보통 0.7이상이면 우수한 수준, 0.3에서 0.7까지는 보통 수준, 0.3보다 작은 경우는 낮은 수준의 변화로 본다(Hake, 1998). 사전, 사후검사는 각각 4문제씩 개발되었고 사후 검사는 사전검사와 같은 개념을 다루되, 사전 검사와 맥락이 약간 다른 문제를 질문하였다.

둘째, 개념검사문항의 토론 전후 정답률 변화를 측정하였다. 토론 과정에서 학생들은 자신의 멘탈 시물레이션을 외적으로 표상하고 이를 다른 학생들에게 설명하며 정교화하는 과정을 거친다. 이를 통해 개념변화가 일어나고 있는지를 확인할 수 있다. 또, 개념검사문항 중 1, 3, 4, 6번은 사전검사서 동일하게 쓰였는데, 수업이 광원의 종류에 따라 단계적으로 구성되어 있기 때문에 전단계 문제의 확

인 때 제시된 외부적 시물레이션에 의한 학습이 일어나게 되므로 사전검사의 정답률과 토론 전 정답률을 비교하면 각 단계를 통해서 개념 이해가 이루어지고 있는지 알 수 있다.

셋째, 수업시간에 다루지 않은 새로운 맥락의 문제 2개를 수업이 끝난 후 숙제로서 제시하였다. 이를 통해 수업에서 배운 개념을 활용하여 학생들이 스스로 멘탈 시물레이션을 수행한 후 새로운 맥락에서 앞으로 발생할 현상을 예측할 수 있는지 평가하였다. 학생 각각의 반응이 구성원들에게 영향을 받지 않도록 통제하기 위하여 몇 가지 장치를 마련하였다. 첫째, 서로의 답을 볼 수 없도록 답안의 제출은 개별적으로 하도록 하였고, 둘째, 정답 여부가 성적에 포함되지 않는다고 미리 고지하여 성적에의 부담으로 인해 타인의 도움을 받는 것을 방지하였다. 셋째, 개념 이해를 위해 정확한 피드백을 받기 위해서는 수업을 통해 이해한 내용을 솔직하게 표현하여야 한다고 안내하였다.

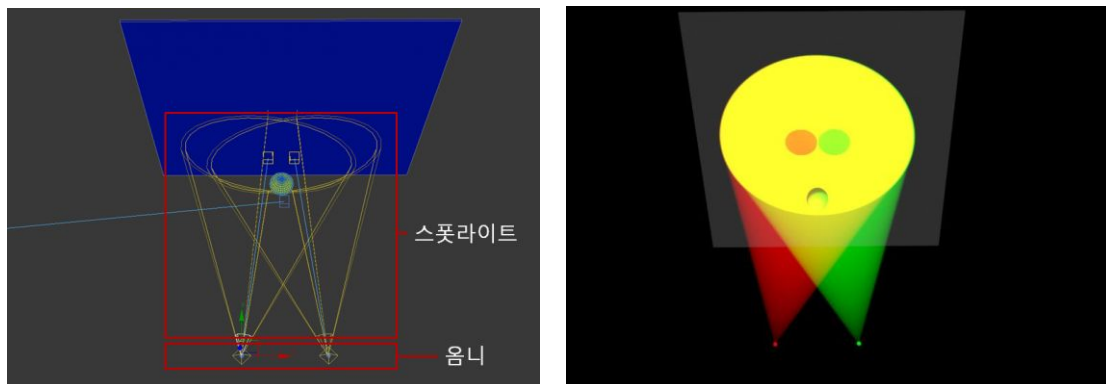


그림 4. 조명의 설정

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 개발된 3차원 시뮬레이션 콘텐츠

가. 빛의 경로를 볼 수 있는 구성

제시된 개념검사문항에서 예측을 요구한 현상을 실험으로 재현하는 것은 간단하다. 하지만 실험을 통해서만 스크린에 어떤 모양이 생겼는지만 확인할 수 있을 뿐, 빛이 어떤 경로를 통해 나아가 그러한 현상을 만들어내는지를 보여주지는 못한다. 학생들은 점광원에서 빛이 사방으로 직진하여 나아간다는 것과 불투명한 물체를 만났을 때 빛이 진행하지 못한다는 것을 현상을 통해 거꾸로 추론하여야 한다.

따라서 3차원 시뮬레이션 콘텐츠에서는 빛이 사방으로 직진하여 나아가는 경로를 직접 보여줌으로서 학생들의 멘탈 시뮬레이션을 돕도록 하였다. 실제로는 보이지 않는 빛의 경로를 보이도록 하기 위하여 각각의 조명에 광원효과를 적용하였고 라이트 사용에 있어서는 옴니라이트(Omni Light)와 스포트라이트(spotlight) 두 종류를 사용하여 빛이 나아가는 방향을 표현하였다. 옴니라이트는 점광원 모양으로 빛이 최초로 발광하는 지점을 표시하기 위해 사용을 하였다. 또한, 빛의 방향의 윤곽을 뚜렷하게 표현하기 위해 스포트라이트를 사용하여 빛의 방향을 표시했다.(그림4).

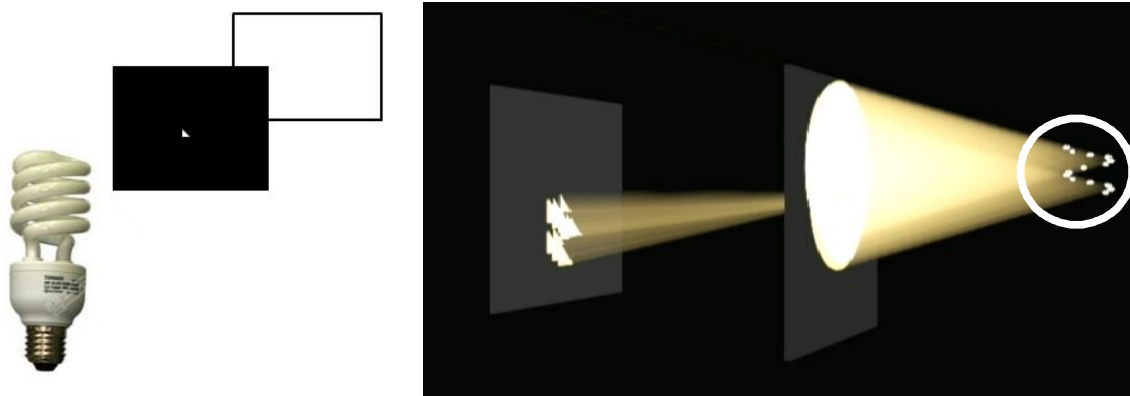


그림 5. 촘촘히 배열한 여러 개의 점광원으로 유한크기의 광원을 표현

나. 유한크기 광원이 점광원의 집합임을 알 수 있는 구성

유한크기 광원이 점광원의 집합임을 학습하여도 이를 머릿속으로 그려내는 것은 쉬운 일이 아니다. 유한크기 광원에서 빛이 어떻게 나오는지, 장애물이 생겼을 때 어떻게 될지를 예측하기 위해서는, 유한크기 광원을 구성하고 있는 각각의 점들을 분해하여 각 점에서의 빛의 진행을 시뮬레이션하지 않으면 안된다. 학생들은 주로 하나의 광원은 크기와 관계없이 단일한 광원으로 취급하여 하나의 큰 점에서 사방으로 나아간다고 생각하기 쉽다. 따라서 유한크기 광원이 점광원의 집합임을 강조하기 위해 분해된 각각의 점들에서 어떻게 빛이 나아가는지 시간차를 두고 시뮬레이션 하였다(그림 5).

다. 공간 내에서 방향 파악을 돕는 구성

유한크기 광원에서 나온 빛이 바늘구멍 사진기를 통과하면 스크린에는 광원의 상하좌우가 반전된 형태가 보인다. 학생들이 실험을 통해 현상 자체는 쉽게 확인할 수 있지만 빛의 경로를 시뮬레이션하지 못하기 때문에 바늘구멍 사진기의 원리를 잘 설명하지 못한다. 즉 유한크기의 광원을 구성하는 각각의 점광원에서 빛이 어떻게 진행되는지를 좀 더

다양한 각도에서 보지 못하면 상하좌우가 왜 반전되는지를 이해하지 못한다. 이에 따라 3차원 시뮬레이션 콘텐츠에서는 여러 각도의 화면을 제시하여 빛이 어떤 식으로 공간 내에서 진행되는지를 보여 주었다.

화면은 4개로 구성되어 있으며 Top뷰포트는 위에서 보는 화면이고 Front는 정면에서, Left는 왼쪽에서 그리고 Perspective는 투시화면 또는 원근 화면이다(그림 6).

시뮬레이션 되는 과정을 다양한 각도에서 표현하기 위한 카메라의 이동 경로는 그림 7과 같다.

예를 들어 처음 상하좌우 반전된 모습을 스크린에서 확인하게 되는 “ㄱ자” 광원 문제의 경우, 그림 8과 같이 점광원이 우측 방향으로 하나씩 켜지면 삼각형 구멍을 통과한 빛이 좌측방향으로 삼각형 모양을 만들어지고, 우측 방향의 끝에서 아래쪽으로 하나씩 광원이 켜지면 스크린에는 오른쪽 위에 삼각형 모양이 만들어지는 것을 시뮬레이션하여 좌우가 어떻게 반전되는지를 알 수 있게 된다.

라. 최종 완성된 3차원 시뮬레이션 콘텐츠

위와 같은 개발 방향에 맞추어 개념검사문항의 단계에 따라 총 일곱 개의 3차원 시뮬레이션 콘텐츠

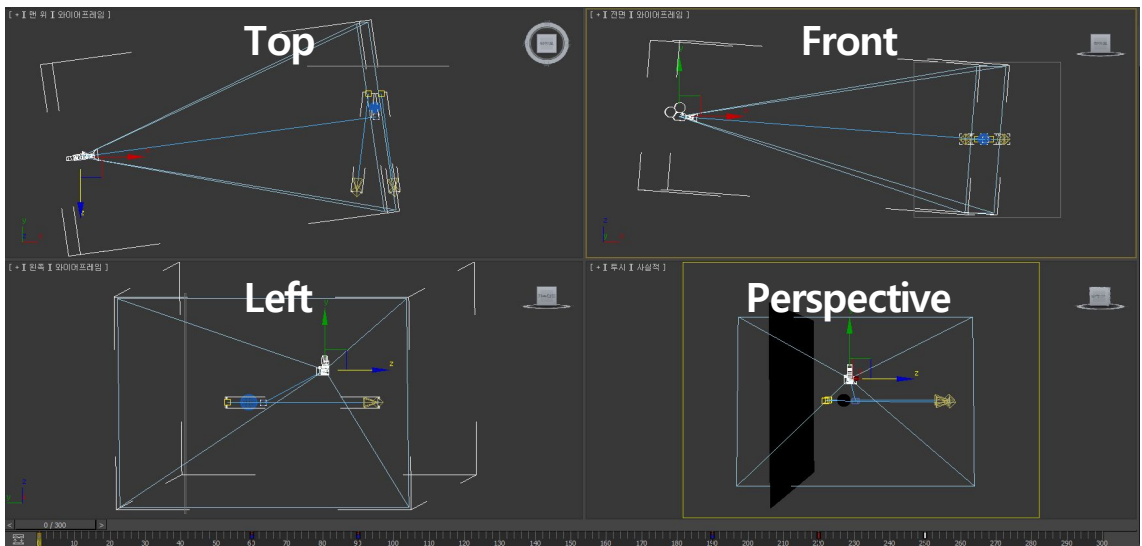


그림 6. 각각의 뷰포인트

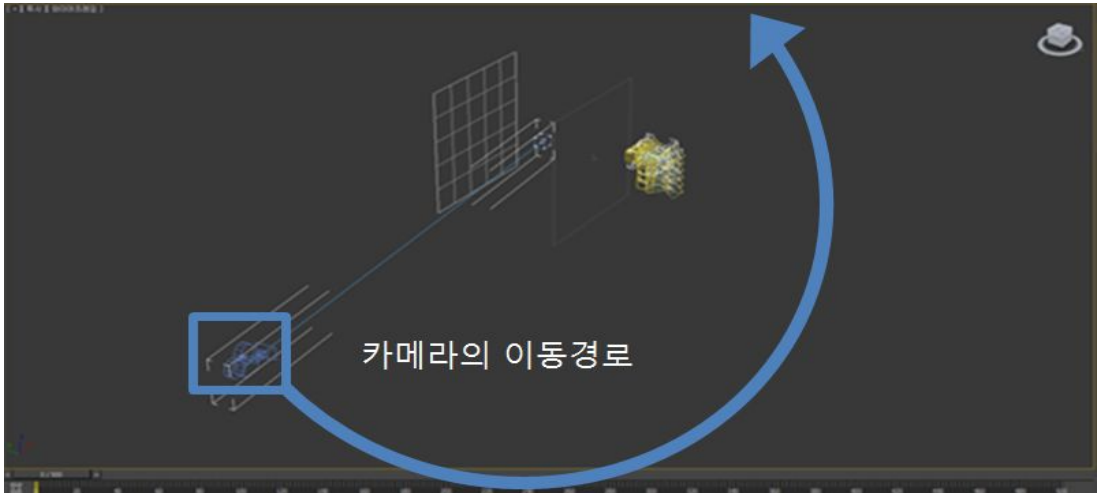


그림 7. 카메라의 이동경로

츠가 개발되었다. 한 예로 “ㄱ자” 광원의 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 그림 9에 제시한다.

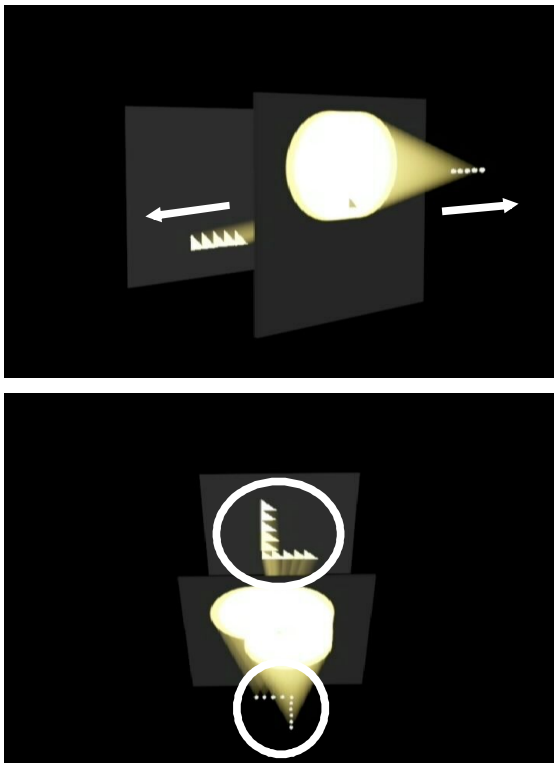


그림 8. 광원과 상하좌우 반전된 모양이 스크린에 생기는 ㄱ자 광원 3차원 시뮬레이션 콘텐츠

2. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 제공하였을 때 물리 개념의 이해 수준

가. 사전·사후 검사 결과

3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 제공하였을 때 학생들의 개념 이해 수준을 알아보기 위하여 사전·사후 검사를 개발하여 제공하였다. 총 4개의 문제로 구성되어 있고, 문제는 개념검사문항의 단계적 접근과 동일한 순서로 배치하였다. 사전검사는 개념검사문항 중 4개의 문제를 사용하였고, 사후검사는 사전검사와 같은 개념을 묻는 다른 맥락의 문제를 제공하였다. 개발된 사전·사후 검사는 표 2와 같다.

개발된 문항을 이용하여 수업 전후로 검사를 실시하였을 때, 사전·사후검사의 학생별 Hake gain을 평균하면 0.93으로 매우 높았다. 이는 Hake gain의 최대값인 1에 거의 근접하는 매우 높은 수준의 gain으로 거의 모든 학생이 수업의 목표를 달성하였다는 의미이다. 또한 그림 10에서 각 문항별 정답률 변화를 살펴보면, 1번 문제를 제외한 사전 검사의 정답률이 매우 낮다. 즉 학생들은 수업 전 빛의 직진에 의한 바늘구멍 사진기의 원리에 대해 거의 이해하지 못하고 있었다. 하지만 사후검사의 정답률이 모두 90%를 넘고 있는 것으로 보아, 수업을 통해 매우 높은 이해의 수준에 도달하였음을 알 수 있다.

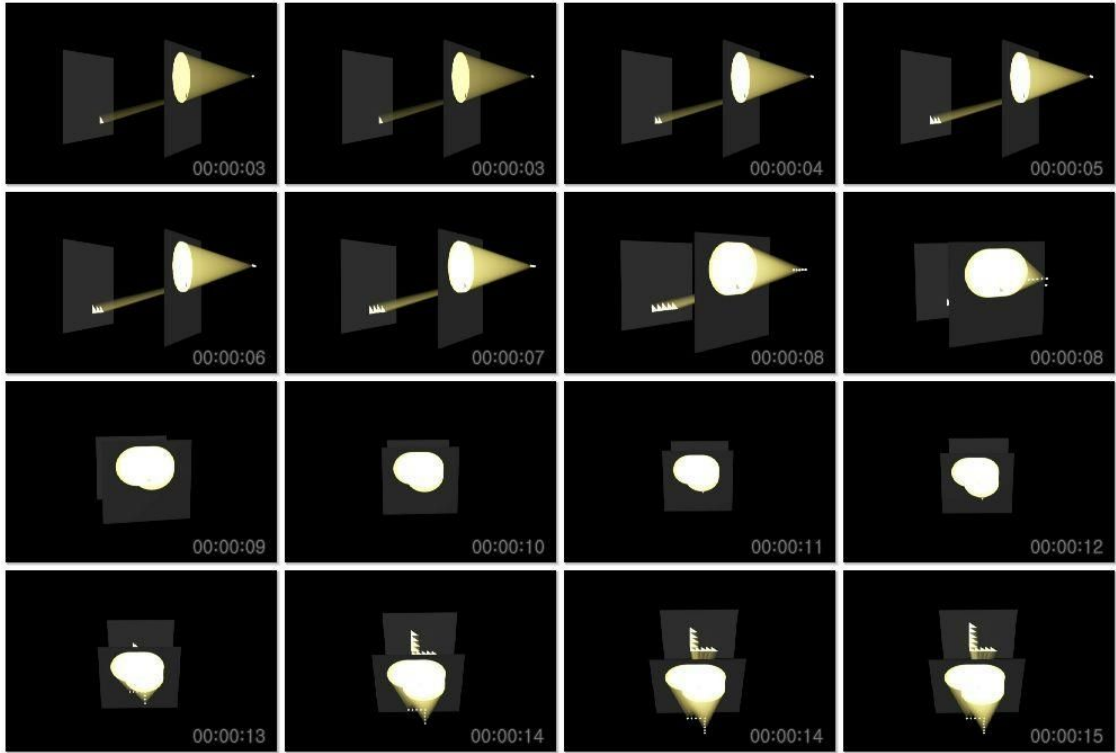


그림 9. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠의 예시

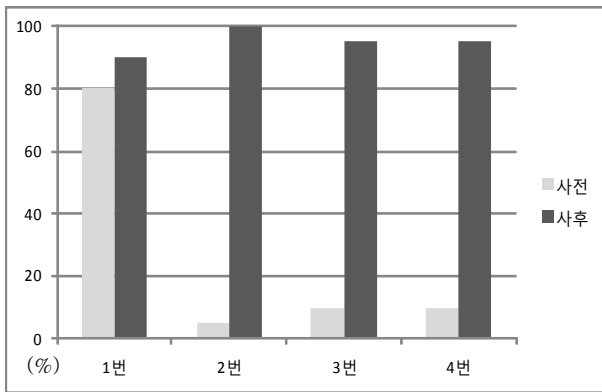


그림 10. 사전·사후 검사 정답률 비교

나. 개념검사문항의 토론 전후 정답률

3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 적용한 동료교수법 수업 중 수행된 개념검사문항에 대한 토론 전후 정답률을 살펴보면(그림 11), 모든 문제에 대해 토론 후에 정답률이 상승한 것을 알 수 있다.

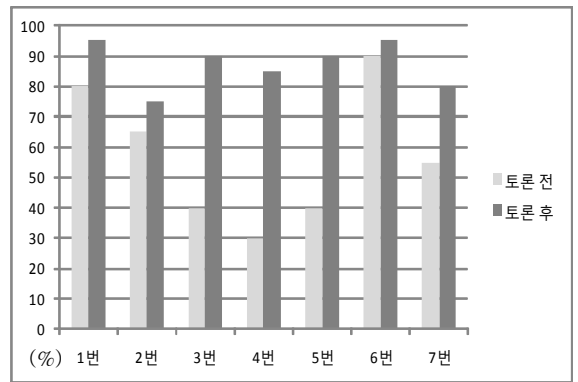


그림 11. 개념검사문항 토론 전후 정답률 비교

토론 전후 정답률 비교를 통해 중요한 특징 두 가지를 알 수 있다.

첫째, 수업이 진행될수록 개념 이해의 정도가 높아져 새로운 상황에서 어떤 현상이 발생할지 잘 예측할 수 있게 되었다. 이는 사전검사문항과 동일한

표 2. 개발된 사전·사후 검사

사전검사 1번	사전검사 2번	사전검사 3번	사전검사 4번
<p>한 변이 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 LED 하나를 켜면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가?</p>	<p>지름 1cm 정도의 원형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 거리와 밝기가 같은 LED 2개를 위 아래로 나란히 놓으면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가? (단, LED 2개는 서로 붙어있지 않다)</p>	<p>한 변이 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 선광원(투명 유리 안에 일자형 필라멘트가 들어 있음)을 놓으면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가?</p>	<p>한 변이 2mm 정도로 아주 작은 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 LED를 이어 붙여 만든 4자형 전구를 놓으면 스크린에는 어떤 모습이 보이겠는가?</p>
<p>LED 가림판 스크린</p>	<p>LED 가림판 스크린</p>	<p>선광원 가림판 스크린</p>	<p>4자형 LED 가림판 스크린</p>
사후검사 1번	사후검사 2번	사후검사 3번	사후검사 4번
<p>한 변과 지름이 각각 1cm 정도인 정삼각형과 원형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 LED를 하나 켜면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가?</p>	<p>지름이 1cm 정도인 원형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 같은 거리에 위치한 빨간색과 초록색 LED를 위 아래로 나란히 켜면, 스크린에는 어떤 모습이 나타나는가? (단, 광원은 서로 붙어있지 않다)</p>	<p>한 변이 1cm 정도인 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 선광원(투명 유리 안에 일자형 필라멘트가 들어 있음)을 가로로 놓으면, 스크린에는 어떤 모습의 그림자가 나타나는가?</p>	<p>한 변이 2mm 정도로 아주 작은 삼각형 구멍이 뚫린 가림판 앞에 다음과 같은 모양의 전구를 놓으면 스크린에는 어떤 모습이 보이겠는가?</p>
<p>가림판 스크린</p>	<p>빨간색 LED 가림판 스크린 초록색 LED</p>	<p>선광원 가림판 스크린</p>	<p>가림판 스크린</p>

문제가 사용된 개념검사문항의 토론 전 정답률이 상승하는 현상을 통해 알 수 있다. 원래 정답률이 높고 아직 수업이 진행되지 않은 상태에서 사전검사 풀이 직후 수행된 1번 문제의 토론 전 정답률을 제외하고, 나머지 문제에서의 토론 전 정답률은 사전검사 정답률보다 높아졌다. 점광원 2개 문제(사전검사 2번)는 사전 정답률이 5%였는데 개념검사 문항(3번)의 토론 전 정답률은 40%로 상승하였다. 선광원 문제(사전검사 3번, 개념검사 4번)도 역시 10% 정답률에서 토론 전 30%로 정답률이 상승하였다. 유한크기의 광원 문제(사전검사 4번, 개념검사 6번)는 가장 큰 변화를 보였는데, 사전검사에서는 정답률이 10%였으나, 토론 전 정답률은 90%로

상승하였다. 이는 앞선 문제로 인한 학습 효과와 더불어, 토론 후 확인에서 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 제시하여 학생들의 멘탈 시뮬레이션을 이해함으로써 올바른 개념이 형성되도록 도왔기 때문으로 해석할 수 있다.

둘째, 동료 간의 토론이 개념 변화에 큰 역할을 하였다. 동료 간 토론이 이루어질 때 학생들은 자신의 주장을 뒷받침하기 위하여 멘탈 시뮬레이션을 동료들이 볼 수 있도록 외적 표상으로 시각화하는 자료를 많이 사용하였다. 초기에는 손짓을 통해 설명하는 것을 시도하였으나, 3차원 시뮬레이션 콘텐츠에 반복적으로 노출되면서, 수업 후반으로 갈수록 그림을 통해 동료에게 자신의 모델을 설명하는

경우가 많아졌다(그림 12).

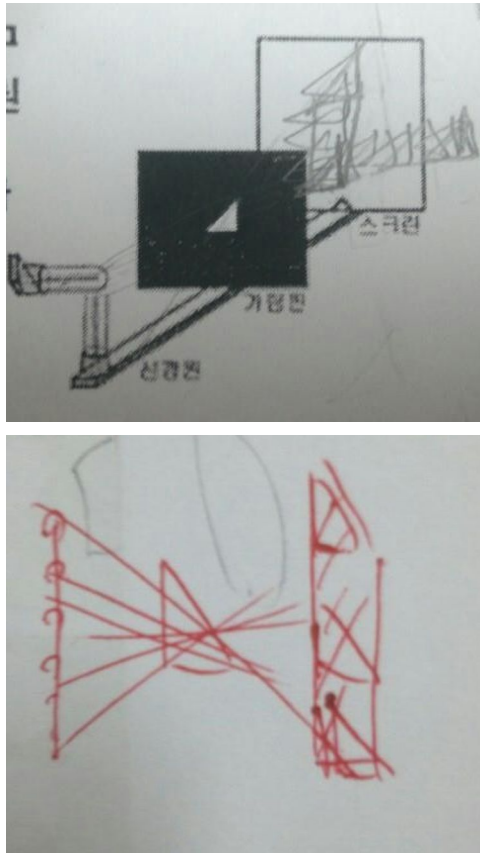


그림 12. 동료 토론에서 동료를 설득하기 위해 그린 그림의 예







3. 새로운 맥락을 제공하였을 때 멘탈 시뮬레이션 양상

사전·사후검사 결과와 토론 전후 정답률 비교를 통해 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 포함한 동료교수법 수업이 개념 이해에 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 사후검사는 수업 직후에 수행되었고 비슷한 맥락의 문제가 제시되었으므로 학생들이 배운 개념에 대해 스스로 멘탈 시뮬레이션을 할 수 있는지를 알아볼 필요가 있다. 이에 따라 수업시간에 다른 것과 다른 맥락의 좀 더 어려운 문제를 해결할 수 있는지를 알아보고자 일주일의 시간간격을 두고 숙제를 제시하였다. 또 현재까지는 모든 문제가 선다형 문항이었지만 수업이 끝난 후, 스스로 멘탈 시뮬레이션이 가능한지 알아보기 위하여 학습자 혼자서 나타난 결과를 완전히 그리도록 하였다. 숙제는 McDermott과 Shaffer(2002)의 물리 튜토리얼에 제시된 문제를 사용하였다.

채점 결과, 1번 문제의 정답률은 95%이고 2번 문제의 정답률은 70%로 나타났다. 선다형 보기가 주어지지 않았음에도 높은 수준의 정답률이 나타난 것으로 보아, 학생들은 바늘구멍 사진기의 원리에 대해 높은 수준의 이해에 도달한 것으로 보인다.

2번 문제의 오답 유형을 살펴보면, 아직 다소 개념이 정착되지 않은 것으로 생각되는 부족한 답변들도 눈에 띈다. 그림 13의 좌측 오답은 광원의 모양이 상하좌우 반전된 것은 맞지만 가림판에 있

표 3. 제시된 숙제 문항(McDermott, Shaffer, 2002).

숙제 1번 문항			숙제 2번 문항		
1. 점광원 앞에 “L자” 구멍이 뚫린 가림판을 놓았다. 스크린에 보이는 모습을 아래 빈 칸에 그리시오.			2. 선광원 세 개를 “F자” 모양으로 놓고 “L자” 구멍이 뚫린 가림판을 놓았다. 스크린에 보이는 모습을 아래 빈 칸에 그리시오.		
					
LED	가림판	스크린	F형 선광원	가림판	스크린

는 구멍을 통과한 빛 또한 반전될 것으로 시뮬레이션 한 것을 알 수 있다. 우측 오답은 가림판의 구멍 모양대로 빛이 통과하는 것도 잘 이해하고 있고, 광원의 모양이 상하 뒤집히는 것도 이해하고 있으나 좌우가 반전되는 것을 제대로 멘탈 시뮬레이션 하지 못한 것을 알 수 있다. 이러한 학생들은 좀 더 여러 가지 상황을 예측해보는 연습과 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 통한 멘탈 시뮬레이션의 반성적 성찰을 통해 과학적 개념 이해에 도달할 수 있을 것으로 생각된다.



그림 13. 숙제 오답의 예시

IV. 결론 및 제언

물리 개념을 잘 이해하고 이를 이용하여 다른 현상을 잘 예측하기 위해서는 멘탈 시뮬레이션이 필요하다. 하지만 한 번도 본 적이 없거나 볼 수 없는 것과 관련된 현상을 머릿속에 떠올리는 것은 어렵다. 또 공간능력이 낮은 경우에도 그러하다. 이와 같은 어려움에 부딪칠 경우 학생들의 개념 이해를 돕기 위해서는 특별한 교육적 장치가 필요하다. 이러한 교육적 방안을 모색할 때 크게 두 가지를 염두에 두어야 한다. 첫째, 낮은 공간능력을 가지고 있어도 개념을 이해할 수 있도록 가공된 자료를 제공하는 것, 둘째, 점진적으로 공간능력을 향상시켜 줄 수 있는 비계로서의 자료를 제공하는 것이다.

이 연구에서는 학생들의 물리 개념 이해를 돕기 위하여 동료교수법 수업 상황에서 정답 확인 시에 사용할 수 있는 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 개발하여 학습에 적용하였다. 다양한 학문적 배경과 공간

능력을 가진 학생들을 대상으로 하였으나 수업의 효과가 매우 높게 나타났다. 개발된 문항을 이용하여 수업 전후로 검사를 실시하였을 때, 사전·사후검사의 학생별 Hake gain을 평균하면 0.93으로 매우 높았다. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠는 학생들에게 어떤 심상을 떠올려, 어떻게 회전시키고, 어떻게 확대시켜야 하는지 등에 대한 어려움을 해결하고 학생들의 개념 형성에 도움을 주어, 학생들이 수업을 통해 매우 높은 이해의 수준에 도달하였음을 알 수 있다. 더불어 외부적 시뮬레이션의 도움을 받아 학생들이 하나의 현상을 예측할 수 있게 된 후에는, 스스로 멘탈 시뮬레이션을 수행할 수 있을 때까지 여러 가지 변형된 맥락을 다양하게 제시하여 주어야 한다. 또한 학습한 물리 개념을 완전히 이해하고 있는지 파악하기 위하여 비슷한 상황에서 새로운 맥락의 난이도가 높은 문제를 제시하였을 때, 정답률이 95%와 70%로 높게 나타나 많은 수의 학생들이 개념을 제대로 이해하였을 뿐 아니라 멘탈 시뮬레이션을 성공적으로 수행할 수 있게 되었음을 알 수 있었다. 이렇게 새로운 맥락에 대해 외부적 시뮬레이션을 제공하였을 때 학생들이 현상 예측 성공률이 높다는 것은 학생들이 자신의 멘탈 모델을 정교화 하였음을 의미한다.

따라서 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 활용한 동료교수법 수업은 모델링 과정에서 시뮬레이션을 제시하여 학생들의 멘탈 시뮬레이션의 이해를 도왔고, 빛과 그림자의 개념을 이해하는데 매우 효과가 높은 방법이었다고 볼 수 있다. 이는 학생들의 공간능력 이해의 향상으로도 이어질 수 있을 것이다. 또한 많은 선행연구에서 밝혀진 것과 같이 본 연구에서도 학생들은 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 매우 흥미 있어 하였고 수업의 참여도 또한 높았다. 이렇듯 3차원 시뮬레이션 콘텐츠는 물리 개념의 이해에 효과적일 뿐만 아니라 첨단멀티미디어 기술이 학습자에게 유용한 점들을 고려하였을 때, 좀 더 많은 수의 콘텐츠가 제작되어 학생들에게 제공되어야 함을 시사하고 있다.

참고 문헌

- 곽원규, 김홍래 (2005). 웹 기반 가상현실 프로그램이 초등학생의 공간시각화 능력 향상에 미치는 효과. *교육연구*, 22, 205-223.
- 김종원, 김규환, 이지원, 황명수, 김중복 (2012). 과학 교사 연수에서의 동료 교수법의 효과 및 교사의 인식. *과학교육연구지*, 36(1), 84-93.
- 김희수 (2002). 웹기반 지구과학교육에서 가상현실 기술의 활용. *한국지구과학회지*, 23(7), 531-542.
- 이지원, 김종원, 김규환, 황명수, 김중복 (2013). 동료 교수법 기반의 과학교사 연수를 위한 단계형 개념검사문항 개발-바늘구멍 사진기의 원리 학습을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 33(2), 229-248.
- 이지원, 김다영, 김중복 (2014). 광선작도 활동을 포함한 동료교수법 교사연수 프로그램의 개발 및 적용 : 빛의 굴절 개념을 중심으로. *과학교육연구지*, 38(1), 1-17.
- 이효녕, 조현준, 박미란 (2012). 공간능력 차이에 따른 학생들의 판 운동 관련 개념에 대한 이해 분석. *한국지구과학회지*, 33(4), 360-375.
- 정미경, 윤소운. (2012). 영재와 공간능력간의 탐색적 고찰: STEM 분야를 중심으로. *한국교육학연구*, 18(3), 135-155.
- 小松祐貴, 渡辺悠也, 桐生徹, 中野博幸, 久保田善彦 (2013a). AR教材活用による「月の見え方」に関する空間認識の変容. *科教年報*, 27(6), 1-6.
- 小松祐貴, 渡邊悠也, 桐生徹, 中野博幸, 久保田善彦. (2013b). AR 技術を使った「凸レンズの働き」教材の開発と評価. *日本理科教育学会北陸支部大会発表要旨集*, 32.
- 坂口隆康, 橋早苗 (2012). 「月の満ち欠け」モデル実験器を用いた思考実験による理解促進: 小学 6 年生の授業実践及び大学生・現場教師への指導を通じて. *日本理科教育学会全国大会要項*, 62, 286.
- 吉井直子, 篠沢和恵, 高田雅美, 城和貴. (2011). 幼児の大画面 3DCG 体験学習会の報告と今後の課題. *年会論文集*, 27, 150-153.
- Chan, D. W. (2010). Developing the Impossible Figures Task to assess visual-spatial talents among Chinese students: A Rasch measurement model analysis. *Gifted Child Quarterly*, 54, 59-71.
- Clement, J. J. (2008). *Creative model construction in scientists and students*. Springer Netherlands.
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Johns Hopkins University (2012). What is spatial ability? <http://cty.jhu.edu/ts/stbability.html>
- Lohman, D. F. (2005). The role of nonverbal ability tests in identifying academically gifted students: An aptitude perspective. *Gifted Child Quarterly*, 49, 111-138.
- Lubinski, D. (2010). Spatial ability and STEM: A sleeping giant for talent identification and development. *Personality and Individual Differences*, 49, 344-351.
- Lubinski, D., Benbow, C. P. (2006). Study of Mathematically Precocious Youth after 35 years: Uncovering antecedents for the development of math-science expertise. *Perspectives on Psychological Science*, 1, 316-345.
- McDermott, L. C. & Shaffer, P. S. (2002). *Tutorial in introductory physics*, 1/E. Prentice Hall.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis

- of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Eds.), *The cognitive basis of science* (pp.133-153). Cambridge: Cambridge University Press.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18-23.
- Plucker, J. A., Callahan, C. M., Tomchin, E. M. (1996). Wherefore art thou, multiple intelligences? Alternative assessments for identifying talent in ethnically diverse and low income students. *Gifted Child Quarterly*, 40, 81-91.
- Wai, J., Lubinski, D., Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology*. 101, 817-835.
- Webb, R. M., Lubinski, D., Benbow, C. P. (2007). Spatial ability: A neglected dimension in talent searches for intellectually precocious youth. *Journal of Educational Psychology*, 99, 397-420.

국 문 요 약

물리에서 멘탈 시뮬레이션은 개념을 이해하거나 생성하기 위한 중요한 매커니즘이다. 만약 학생들이 멘탈 시뮬레이션에 어려움을 겪는다면 물리 개념의 이해 또한 어려워진다. 3차원 시뮬레이션 콘텐츠는 학생들에게 공간적 조작의 가이드를 제공함으로써 물리 개념 이해를 도울 수 있다. 이 연구에서는 빛의 직진 개념의 이해를 돕기 위한 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 개발하여 대학생 20명에게 적용하였다. 적용 결과, Hake gain이 0.93으로 수업에 대해 매우 높은 수준의 이해도를 보였다. 또한 학생들은 새로운 맥락에 대해서도 멘탈 시뮬레이션을 통해 현상을 잘 예측하였다. 이를 통해 3차원 시뮬레이션 콘텐츠를 통해 학생들의 개념 이해가 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

주요어: 3차원 시뮬레이션 콘텐츠, 멘탈 시뮬레이션, 3DCG, 바늘구멍 사진기, 빛의 직진, 빛과 그림자