

생성형 AI 시대의 교과 교육과정을 위한 교수-학습 방법 분석 및 실행 방안 연구 : 과학과 빛의 입자와 파동 단원을 중심으로

박 소 민* · 홍 후 조**

A Study on the Analysis and Implementation of Teaching-Learning Methods for the Curriculum in the Generative AI Era : Focusing on the Particles and Waves of Light Unit in Science

Park Somin · Hong Hoojo

〈Abstract〉

The current application of Generative AI in education requires enhancing skills and competencies for both instructors and students in the Age of Digital Formation. The knowledge, skills, and attitudes necessary for individualized education should be cultivated in schools, along with the ability to develop AI-compatible learning resources. Today's educational environment aligns with the demands of the Generative AI Era. Consequently, there is a need for an educational system that promotes critical thinking and creativity while connecting students to the global context. This study examined the teaching and learning processes, along with educational exploration, to understand the properties of light particles and waves within a competency-based science curriculum. The analysis and research findings aimed at devising a competency-based teaching-learning method for students' understanding of light particles and waves are as follows: First, unit analysis confirmed the significance of competency-oriented education and facilitated the structuring of units on light and waves. Second, qualitative content analysis outlined the procedures for applying conceptual knowledge and functions in experiential learning, as well as the process of feedback delivery. Third, the study highlighted the need for a meticulous approach to inducing problem recognition through inquiry and discussion activities, ensuring that students, when exploring and recognizing problems independently, do not develop misconceptions.

Key Words : Science Curriculum, Competency, Light and Wave, Content Analysis, 2015 Revised Curriculum, 2022 Revised Curriculum

* 고려대학교 교육학과 석박사통합과정(제1저자)

** 고려대학교 교육학과 교수(교신저자)

I. 서론

1.1 연구의 목적 및 필요성

오늘날 생성형 AI의 적용과 응용은 디지털 포메이션 시대의 교육에서 교수자와 학습자의 역량과 성장을 요구하고 있다. 학교교육은 AI를 학습 소재로 다루는 역량과 함께 맞춤형 교육을 위한 지식, 기술, 태도를 준비할 수 있어야 한다. 또한, 학교는 교수-학습 활동에서 다양한 경험학습을 통해 학습자가 스스로 선택하고 집중할 수 있는 교과 교육과정의 질적 향상을 이루어야 할 것이다. 학교교육의 교수-학습은 생성형 AI 시대의 교육환경에 맞게 이루어져야 하며, 실생활과 연계하여 창의력과 비판적 사고를 함양할 수 있는 교육체제가 필요하다[1, 2]. 이에 이 연구에서는 과학적 탐구 능력, 과학적 사고력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등을 함양하기 위해 과학교육의 성격 및 내용, 방법에 대한 변화를 함께 살펴보고자 한다[3-5].

본 연구는 미래사회에서 학습자에게 필요로 하는 역량을 키울 수 있는 과학교육에서, 빛의 성질을 연구하고 이용하는 학문 분야인 광학에 대한 접근을 알아보고자 한다. 빛은 전자기파라는 파동성과 광자라는 입자성의 이중성을 가지고 있어 광학 관련 분야에서는 파동성의 특성을 이용하거나 입자성의 특성을 이용한다. 기하광학은 빛이 직선으로 진행한다고 간주하고, 반사와 굴절 등의 현상을 이용하여 거울이나 렌즈에서의 상의 형성을 연구하는 분야이다. 특히, 빛을 광선으로 취급하는 기하광학, 파동으로 취급하는 간섭과 회절, 입자적인 측면과 파동적인 측면을 동시에 이용하는 영상 물리학이 있다.

학습자는 역량 중심의 교과교육을 통해 개개인의 성장과 함께 학습을 스스로 구성할 수 있는 학습경험이 필요하다. 이에, 역량 중심 과학교육과정에서 빛의 입자와 파동에 대한 성질을 이해하는 교수-학습 및 교육 탐구 내용을 실제적인 선행연구와 문헌을 통해 살펴보고자 한

다. 이를테면, 학습자가 각 단원의 핵심 질문에 접근하고 해결하는 과정에서 역량적 교과교육의 의미를 발견할 수 있어야 한다. 학습자는 교수자의 세심한 탐구활동 진행에 따라 바람직한 학습 모델을 구축할 수 있어야 한다.

한편, 본 연구는 중·고등학교 과학과 교과 교육과정을 대상으로 하며, 2022 개정 교육과정 교과용 도서가 개발 중이므로 각론의 내용 체계 및 성취기준을 중심으로 학습자가 무엇을 할 수 있어야 하는지, 즉 역량적 측면에서 연구 초점을 맞춰 분석하고자 한다. 본 연구의 특징적인 차별성은 중학교 과학I, 고등학교 물리학I, 물리학II에 걸쳐 분석한 자료를 토대로 과학 계열 전문 교과인 고급물리학 교과와 연계된 위계 있는 탐구활동에 접근하는 데 있다. 특정 학교에서 사용하는 교과목이 아닌, 학문적 위계와 연계가 전문적으로 이루어질 수 있는 여건 확장성 체제에서 연구를 시도하였다.

1.2 연구의 내용

생성형 AI에 대한 관심은 2022년부터 시작되어 이제는 학교교육에서 교과 역량과 함께 변화와 혁신을 요구하고 있다[6, 7]. 이러한 AI 활용과 교육의 결과로, 교과교육에서 무엇이 이루어져야 하는지, 교과교육의 방향을 설정하는 것이 필요하게 되었다. 교수자는 교과 역량 중심 교육과정을 설계하는 데 필요한 학습의 방향을 미리 확인하고, 달성해야 할 목표로서 학습자의 역량을 도출할 수 있어야 한다. 이는 교과 교육과정 개발의 시작이자, 교과 교육과정의 도달점이 된다. 학교교육은 궁극적으로 교과 교육과정의 내용이 지향하는 방향과 습득해야 할 교육내용을 명확한 맥락 있는 수업과 평가를 통해 학습이 이루어져야 한다[8, 9].

본 연구는 2015 개정 과학과 교육과정이 제시하고 있는 탐구활동을 중학교 과학I, 고등학교 물리학I, 물리학II에 걸쳐 분석한 자료를 토대로, 과학계열 전문교과인 고급물리학과 연계된 위계 있는 탐구활동의 가능성을 유추하고자 한다. 이를 위해 빛의 입자와 파동에 관한 영역을

학습하는 학습자의 이해를 제고할 수 있는 역량 중심의 교수-학습 방법에 대한 방안을 구안하고자 한다.

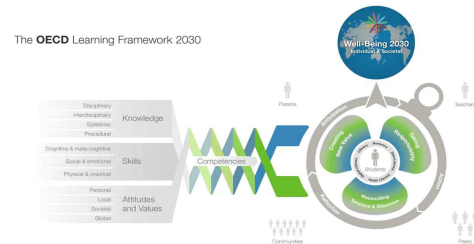
연구 문제

위와 같은 연구목적을 달성하기 위한 연구의 문제는 아래와 같다.

첫째, 2015 개정 과학과 교육과정에서 빛의 입자와 파동에 관한 영역의 탐구활동은 어떠한 내용과 구성으로 교수-학습이 이루어지고 있는가?

둘째, 2022 개정 과학과 교육과정에서 빛의 입자와 파동에 관한 영역은 역량적 측면에서 어떠한 내용과 구성으로 교수-학습이 이루어질 수 있을까?

적으로 실행되고, 교수-학습 활동이 이루어질 수 있도록 교수자와 학습자의 역량과 특성을 지속적으로 탐색하고 있다. OECD 교육 2030 프로젝트의 학습프레임워크는 다음과 같다[10].



〈그림 1〉 OECD 교육 2030 프로젝트의 학습프레임워크[10]

II. 이론적 배경

학교교육은 생성형 AI 시대에 요구되는 역량을 필요로 하며, 교수자는 학습자의 성장을 위한 수업 준비와 실행이 필요하다.

이 장에서는 시대적으로 학습자에게 필요한 역량과 관련된 교수-학습 설계 및 구성의 중요성을 과학과 교과 교육과정에서 빛의 입자와 파동 단원을 통해 확인하고, 이론적 배경과 선행연구를 살펴보고자 한다.

2.1 역량 중심 교과교육

우리나라와 OECD 회원국이 참여한 ‘OECD 교육 2030: 미래교육과 역량 프로젝트’는 미래 사회에서 학교교육의 혁신 방향을 설정하고, 학습자가 필요로 하는 역량을 키우기 위해 진행되었다. 또한, OECD DeSeCo 사업에서 규정한 21세기 미래 핵심 역량과 함께 학교교육의 실행에 초점을 맞추어 OECD 교육 2030 프로젝트가 이루어지고 있다.

이러한 방향 설정과 혁신은 의도된 교육과정이 효과

적으로 실행되고, 교수-학습 활동이 이루어질 수 있도록 교수자와 학습자의 역량과 특성을 지속적으로 탐색하고 있다. OECD 교육 2030 프로젝트의 학습프레임워크에서 제시하는 역량은 지식, 기능, 태도 및 가치로 나누어져 있다. 이는 개인과 사회의 웰빙을 추구하면서 학습자의 역량과 교육 혁신을 이룰 수 있는 역량을 강조하고 있음을 알 수 있다. 이러한 역량은 변혁적으로 작용할 수 있는 기제가 되어야 하며, 전통적으로 이어온 학과목 지식과 실행에 필요한 역량과 과정으로 구체화 된다[5].

학교교육은 생성형 AI 시대적 변화와 함께 교수-학습 방법과 교육내용이 디지털 포메이션 시대의 교육에서 요구하는 교육혁신의 방향을 제시하고 있음을 인지하고, 오늘날 우리의 학교교육 상황과 맥락에 맞게 반영할 수 있어야 한다. 2015 개정 교육과정에서는 총론에서 제시한 가치와 교육과정 구성 방향에 맞춰 교과 역량을 설정하였다. 2022 개정 교육과정에서도 이전 교육과정에서 설정한 역량을 교과 교육과정에서 이어가고 있다.

학교교육은 최적의 역량 함양을 위해 교육과정, 수업, 평가의 개선과 실행이 필요하게 되었다. 교수-학습 활동은 단편적인 지식 전달이 아니라, 학습자가 스스로 문제를 해결하면서 과정 중심, 학습량의 적정화, 학습의 질을 확보할 수 있는 역량 중심 교과교육으로 전환되어야 한다. 따라서 역량 중심 교과교육은 학습자 참여형 수업과 과정 중심 평가 운영이 내실 있게 이루어질 수 있는 여

건을 조성하고, 교과 역량의 구성 요소를 균형적으로 결합하여 학습자가 스스로 문제를 해결하는 역량을 도출하고 실행할 수 있어야 한다. 이러한 역량은 학습자의 교과별 수행 능력과 함께 수업과 평가의 정합성을 갖추어야 한다.

국가 교육과정에서 제시한 교과교육의 내용 체계와 성취기준을 중심으로 단원의 핵심 개념과 일반화된 지식을 통해 학문적 맥락과 일반화를 파악하고, 내용 요소와 기능으로 이어지는 성취기준을 통해 학습자의 이해와 응용이 이루어져야 한다. 특히, 과학교과에서 수행을 강조하는 심층학습, 탐구학습, 통합적 연계, 협력학습, 실생활과 연계된 수업, 학생 맞춤형 자기주도적 학습 등은 역량 함양을 위한 교수-학습의 중요한 요소이다.

2.2 빛의 입자와 파동

2015 개정 교육과정의 중학교 '빛과 파동' 단위에서는 학생들이 빛의 경로를 이해하여 물체를 어떻게 보는지 이해하고, 일상생활에서 흔히 보고 사용하는 렌즈와 거울을 통해 빛의 성질을 알고 그 활용에 관심을 갖도록 한다. 또한, 빛의 삼원색을 합성하면 다양한 색을 나타낼 수 있다는 사실을 알게 하며, 거울과 렌즈가 빛의 경로를 변화시키는 도구라는 것을 이해하도록 한다.

고등학교에서는 물리학I, 물리학II에 이어 고급물리학으로 연계된 학문 구조를 이루고 있으며, 일반적인 교과 과정에서는 파동의 성질과 파동의 전달 과정을 이해하도록 한다. 전문교과 선택과정에서는 기하광학, 파동, 영상 물리 등으로 나눈 심화된 학습 내용으로 구성되어 있다.

2015 개정 과학과 교육과정에서 빛과 파동 영역에 대한 학습이 이루어지고 있지만, 관련 선행연구에 따르면 학습자들이 빛과 파동에 대한 개념을 충분히 이해하지 못하고 있으며, 학습 이후에도 개념 정립이 충분하지 않다는 문제가 있다. 이는 빛의 입자와 파동 영역을 학습하는 데 있어 경험적 개념을 이해하고 추상적 개념화를 이루기 위한 역량적 준비가 필요함을 의미한다.

〈표 1〉 2015 개정 과학과 교육과정에서 파동 영역 내용 체계[3]

구분	핵심 개념	일반화된 지식	내용 요소
과학	파동의 종류	음파는 매질을 통해서 전달되는 파동이다. 빛을 비롯한 전자기파는 공간에서 전자기 진동이 퍼져서 나가는 파동이다.	중파, 횡파, 진폭, 진동수, 파형
	파동의 성질	파동의 성질은 반사, 굴절, 간섭, 회절 등이 있다.	빛의 삼원색, 빛의 합성, 평면거울의 상
물리학 I	파동의 성질	파동의 성질은 반사, 굴절, 간섭, 회절 등이 있다.	파동 굴절과 간섭
		파동은 정보를 전달할 수 있다.	전자기파
물리학 II	파동의 성질	파동은 반사, 굴절, 간섭, 회절의 성질을 가진다.	파동 굴절과 간섭
		파동은 정보를 전달할 수 있다.	전자기파

〈표 2〉 2015 개정 과학과 교육과정에서 파동 영역 성취기준[3]

구분	성취기준
과학	<ul style="list-style-type: none"> - 물체를 보는 과정을 빛의 경로를 이용하여 표현할 수 있다. - 물체에서 색이 빛의 삼원색으로 합성되는 것을 관찰하고, 영상 장치의 색이 표현되는 원리에 대해 설명할 수 있다. - 여러 가지 거울과 렌즈로 나타나는 상을 관찰하고 상의 특징을 비교하며, 평면거울에서 상이 생기는 원리에 대해 설명할 수 있다. - 파동의 종류를 횡파와 종파로 나누어 구분하고, 진폭, 진동수, 파형으로 나누어 소리의 특징에 대해 설명할 수 있다.
물리학 I	<ul style="list-style-type: none"> - 파동의 진동수, 파장, 속력에서 관계를 이해하고 매질에 따라 파동이 다르게 속력이 나오는 예를 들어 설명할 수 있다. - 파동의 전반사 원리를 이용한 광통신 과정을 설명할 수 있다. - 다양한 전자기파는 주어진 스펙트럼의 종류를 나누어 사용하는 예를 들어 설명할 수 있다. - 파동의 간섭이 활용되는 예를 찾아 설명할 수 있다. - 빛의 이중성을 이해하고, 영상정보가 기록되는 원리에 대해 설명할 수 있다. - 물질의 이중성을 이해하고, 전자 현미경의 원리에 대해 설명할 수 있다.

물리학 II	<ul style="list-style-type: none"> - 전자기파의 간섭과 회절을 이해하고 이와 관련된 다양한 예를 조사하여 설명할 수 있다. - 파원의 속도에 따라서 파장이 달라지는 것을 알고, 활용되는 예를 들어 설명할 수 있다. - 교류 회로에서 전자기파의 발생 및 안테나를 통한 수신 과정을 설명할 수 있다. - 볼록 렌즈에서 상이 맺히는 과정을 도식을 이용하여 설명하고, 초점과 상의 관계를 정량적으로 구할 수 있다. - 이중 슬릿의 간섭 실험을 활용하여 빛의 파장을 확인할 수 있다. 광전 효과 실험을 통해 빛의 입자성에 대해 설명할 수 있다. - 입자의 파동성을 물질파 이론과 전자 회절 실험을 근거로 설명할 수 있다. - 수소 원자 내에서 전자의 궤도를 고전 역학으로 설명할 수 없음을 불확정성 원리를 사용하여 설명할 수 있다.
--------	---

성취기준	
빛과 파동	<p>[9과10-01] 빛의 반사와 굴절의 원리를 이해하고, 물체를 보는 과정을 빛의 경로를 이용하여 표현할 수 있다.</p> <p>[9과10-02] 평면거울에서 상이 생기는 원리를 설명하고, 일상생활에서 사용되는 거울과 렌즈의 종류를 분류하고 상의 특징을 비교할 수 있다.</p> <p>[9과10-03] 물체의 색을 빛의 반사와 관련지어 설명하고, 영상 장치에서 빛의 합성을 이용하여 다양한 색이 표현되는 원리를 이해할 수 있다.</p> <p>[9과10-04] 파동의 발생과 전달 과정에 대한 이해를 하고, 진폭, 진동수, 파형 등의 소리의 특성에 대한 과학적 용어를 표현할 수 있다.</p> <p><탐구활동></p> <ul style="list-style-type: none"> - 거울과 렌즈에 의한 상의 특징 관찰하기 - 디지털 탐구 도구를 이용하여 소리의 진폭, 진동수, 파형 탐구하기

2022 개정 교육과정에서 중학교 과학 ‘빛과 파동’ 핵심 아이디어로 빛과 소리는 파동의 특성으로 반사, 굴절, 진동 등을 가지며, 그 특성이 편리하고 심미적인 삶에도 도움이 되는 거울, 렌즈, 악기, 색의 구현 등이 있음을 제시하고 있다. 내용 체계를 살펴보면 다음과 같다.

2022 개정 교육과정에서 고등학교 물리학 ‘빛과 물질’ 핵심 아이디어로 빛이 중첩, 간섭, 굴절하고 물질과 상호작용하는 성질은 광학 기기, 정밀 측정, 영상 장치 등 다양한 기술에 활용되고 있음을 제시하고 있다. 내용 체계를 살펴보면 다음과 같다.

<표 3> 중학교 과학 빛과 파동 영역 내용 체계와 성취기준[4]

내용 요소	
지식 이해	<ul style="list-style-type: none"> - 시간과 상 - 반사와 굴절 - 거울과 렌즈 - 빛의 합성과 색 - 파동의 발생과 전달 - 파동의 요소와 소리의 특성
과정 기능	<ul style="list-style-type: none"> - 적절한 변인을 포함하여 탐구 설계하기 - 모형을 만들어 현상을 설명하거나 예측하기 - 과학적 증거에 중심하여 주장하기
가치 태도	<ul style="list-style-type: none"> - 과학의 심미적 가치 - 과학 유용성 - 자연과 과학에 대한 감수성 - 과학 창의성 - 과학 활동의 윤리성 - 과학 문제 해결에 대한 개방성 - 안전-지속가능 사회에 기여 - 과학 문화 향유

<표 4> 고등학교 물리학 빛과 물질 영역 내용 체계와 성취기준[4]

내용 요소	
지식 이해	<ul style="list-style-type: none"> - 중첩과 간섭 - 굴절 - 빛과 물질의 이중성 - 에너지띠와 반도체 - 광속 불변
과정 기능	<ul style="list-style-type: none"> - 물리 현상에서 문제 인식과 가설 설정하기 - 변인을 조작적인 정의를 하여 탐구하고 설계하기 - 다양한 도구와 함께 수학적 사고를 활용하여 정보 수집하고 기술하기 - 증거와 과학적 사고에 근거하여 자료를 분석 평가 추론하기 - 결론을 도출하고 자연 현상 및 기술 상황에 적용하여 설명하기 - 모형을 생성하고 활용하기 - 다양한 매체를 활용하여 표현하고 의사소통하기
가치 태도	<ul style="list-style-type: none"> - 과학의 심미적 가치 - 과학 유용성 - 과학 창의성 - 자연과 과학에 대한 감수성 - 안전 - 지속가능 사회에 기여 - 과학 문제 해결에 대한 개방성 - 과학 활동의 윤리성 - 과학 문화 향유

성취기준	
빛과 물질	[12물리03-01] 빛의 중첩과 간섭을 통해 빛의 파동성을 알고, 이를 이용한 기술과 현상을 예를 들어 설명할 수 있다.
	[12물리03-02] 빛의 굴절을 이용하여 볼록렌즈에서 상이 맺히는 과정을 설명하고, 반도체와 디스플레이 제작 공정에서 중요하게 활용됨을 인식할 수 있다.
	[12물리03-03] 빛과 물질의 이중성이 전자 현미경과 영상 정보 저장 등 다양한 분야에 활용됨을 설명할 수 있다.
	[12물리03-04] 원자 내의 전자는 양자화된 에너지 준위를 가지고 있음을 스펙트럼 관찰 증거를 바탕으로 논증할 수 있다.
	[12물리03-05] 고체의 에너지띠 구조로부터 도체와 반도체의 차이를 알고, 반도체 소자의 원리를 설명할 수 있다.
	[12물리03-06] 모든 관성계에서 빛의 속력이 동일하다는 원리로부터 시간 팽창, 길이 수축 현상이 나타남을 알고, 이러한 지식이 사회에 미친 영향을 조사할 수 있다.
<탐구활동> - 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 관찰하기 - 볼록렌즈에 의한 실상을 관찰하여 상의 위치와 초점거리 찾기	

이상에서 2022 개정 교육과정 중학교 과학의 탐구활동은 2022 개정 교육과정의 주요 특징인 디지털 탐구 도구나 가상 실험 등을 활용하여 정량적이고 다양한 탐구활동 수행과정을 제시하고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 2022 개정 교육과정 고등학교 물리학 탐구활동에서도 디지털 탐구 도구를 활용하여 직접 체험을 수행하고 창의적인 산출물을 설계하는 경험 과정 등의 주요 특징을 살펴볼 수 있다.

2.3 빛의 입자와 파동 선행연구

선행연구를 살펴보면, 빛의 입자와 파동 영역은 학습자가 어려워할 뿐만 아니라 다양한 오개념이 발생할 수 있는 단위이다. 이 영역은 학습자뿐만 아니라 교수자와 비전공자도 빛과 파동에 대한 올바르게 않은 과학적 오개념을 가질 수 있으며, 국내외 연구에서 유사한 혼선된

결과를 찾아볼 수 있다. 빛의 입자와 파동에 관련된 지식은 실생활에서 감각 기관을 통해 경험적으로 선 개념을 형성하는 경우가 많다. 이러한 선 개념은 경험에 의해 형성된 것으로 쉽게 바뀌지 않으며, 새롭게 학습이 이루어져도 이미 형성된 개념을 올바르게 정립하는 것이 요구된다. 아래에서 선행연구를 분석하여 정리한 표를 살펴보면 다음과 같다.

<표 5> “빛의 입자와 파동”에 관한 선행연구 분석

연구자	교사 연구 결과 및 시사점
오원근 의 [11]	교사의 빛과 파동에 대한 과학 개념들도 상황에 의존하는 경향이 있다. 예를 들면, 교사들은 편리를 제시하는 경우 소리의 높낮이와 크기를 구분하지만, 도플러 효과에서는 이를 구분하지 못하거나, 색을 물체의 속성으로 이해하는 경향이 있다. 물리를 전공하지 않은 중·고등학교 과학교사 65명을 대상으로 이들이 가진 빛과 파동의 개념을 조사하여 교사들의 오개념 유형을 분석하고 그 결과를 학생들의 오개념 유형과 비교하였다. 이 연구에서 과학교사는 빛의 직진, 회절, 반사, 그림자의 색 등에 있어서는 학생들보다 오개념을 적게 가지고 있는 것으로 나타났으나, 색, 빛의 산란, 렌즈나 거울에서 상이 맺히는 원리 등에 대해서는 교사들의 절반 정도가 학생들과 유사한 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났다.
이재봉 의 [12]	중학교 교사 10명과 이들 교사에게 배운 328명의 중학교 1학년 학생을 대상으로, ‘빛’ 단원을 수업한 후 광선 추적과 스펙트럼에 대한 개념 검사를 실시하였다. 연구 결과, 대부분의 교사와 학생들은 상이 생기는 근본 원리에 대해 알지 못하였고, 교사와 학생들은 색에 대해 단순 암기를 하고 있는 것으로 나타났다. 이 연구에서 학생과 교사들은 색에 대해 ‘색은 원래 그렇다’고 이해하고 있었으며, 많은 학생들은 색과 빛의 혼합에 대해 단순히 암기하고 있는 것으로 나타났다.
Libark in et al. [13]	6-12학년 학생 286명과 교사 33명, 과학자 및 전문가 8명을 대상으로 가시광선, 자외선, 적외선에 대한 개념 조사를 실시하였다. 대부분의 학생들과 일부 교사들은 어둠 속에서 물체가 보인다고 응답하였으나, 과학자 및 전문가들은 빛이 없는 어둠 속에서 물체를 보는 것이 불가능하다고 응답하는 등, 빛에 대한 인식이 있어서 차이를 보였다. 또한 학생들과 교사들은 자외선과 적외선에 대해 명확한 이해를 가지고 있지 않은 것으로 나타났다.

연구자	예비 교사 연구 결과 및 시사점
김경대 외 [14]	예비 과학교사 93명을 대상으로 파동의 특성, 파동의 중첩, 공명에 대해 어떻게 이해하고 있는지를 분석하고, 이와 관련된 오개념을 파악하였다. 연구 결과, 많은 예비 교사들이 소리의 특성과 파동의 중첩 개념에 대해서는 과학적 이해를 가지고 있었으나, 파동의 진행 속도와 매질의 관계, 그리고 공명과 관련된 구체적인 상황에서는 과학적으로 올바른 응답률이 낮은 것으로 나타났다. 본 연구는 이러한 결과를 바탕으로, 개념학습과 개념 변화를 효과적으로 촉진할 수 있는 체계적인 교수-학습 자료와 수업 전략 개발의 필요성을 제언하고 있다.
김홍정 외 [15]	사범대 재학 중인 예비 물리교사 15명을 대상으로 소집단 토론 활동과 소크라테스 대화법을 주된 교수 방법으로 선정하고, 개념 이해를 조사한 후 탐구 중심 물리 실험 수업을 실시하였다. 정량적 분석 결과, 수업 후 예비 물리교사들의 개념 이해는 전반적으로 향상되었으며, 정성적 분석 결과, 비록 수업 후에도 일부 응답자에게 여전히 오개념이 남아 있었으나, 개념 검사의 모든 하위 개념 범주에서 오개념 유형의 분포가 감소하였음이 나타났다.

연구자	대학생 연구 결과 및 시사점
이재봉 외 [16]	과학 관련 학과를 전공하고 있으며 서울 소재 한 대학에서 일반물리학을 수강하는 대학생 49명을 대상으로 온라인 개념 평가를 실시하였다. 온라인 개념평가를 실시한 연구 결과, 학생들은 유체나 파동 영역에서 특히 많은 오개념을 보이고 있음이 나타났다.
Even et al. [17]	Paris-Sud 대학교에서 학생들에게 기하광학을 가르치기 위해 실험에 바탕을 둔 수업을 개발하였다. 개발된 수업은 3단계로 이루어지는데, 먼저 학생들은 실험을 통해 현상을 발견하고, 교수자로부터 과학적 개념을 학습하며, 자신이 처음 내렸던 결론의 타당성을 검토하고 지식을 강화한다. 이 수업은 10년 동안 학생들에게 적용되었고 피드백을 받았으며, 이 피드백은 실험에 바탕을 둔 수업 접근 방식이 학생들이 쉽게 학습하고 강한 동기를 부여하며 자율성을 높이는 데 효과적임을 보여주었다.
Wittmann et al. [18]	매릴랜드 대학교에서 물리를 전공하는 학생들을 대상으로 개별 인터뷰, 퀴즈, 검사 질문 등을 통해 파동에 대한 이해 정도를 조사하였다. 연구 결과, 학생들이 파동이 매질을 통해 전파된다는 사실과 파동의 중첩이 어떻게 일어나는지 이해하는 데 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다. 일부는 진폭이 큰 파동을 만들 때 더 파동이 더 빨리 움직일 것이라고 응답하는 등 파동을 이해하는 데 어려움을 보였다.

연구자	고등학생 연구 결과 및 시사점
류수경 외 [19]	고등학교 2학년 139명을 대상으로 광전 효과 개념에 대한 비유물을 스스로 만들어보는 모듈별 학습을 실시하였다. 학생들은 모듈원거리 토론을 통해 광전 효과를 설명하기 위해 필요한 개념에 대한 비유물을 개발하였으며, 그 비유물의 적절성과 한계점에 대해 다른 모듈과 토론하였다. 연구 결과, 학생들은 비유물 개발 수업을 통해 올바른 과학 개념을 가지게 되었으며, 비유물 개발 수업이 알고 있는 개념을 정확하게 이해하는 데 도움이 되고, 과학 개념을 수월하게 이해하며 흥미를 유발하여 수업에 적극적으로 참여할 수 있었다. 이러한 연구 결과들에서 탐구활동은 학생들뿐만 아니라 예비 교사들에게도 과학 개념을 변화시키는 효과적인 방법으로 쓰일 수 있다.
Fethers tonhau gh et al. [20]	호주의 고등학교 학생들을 대상으로 빛에 대한 개념을 조사하였다. 연구 결과, 학생들은 공식적인 교육을 받기 이전부터 빛의 근본적인 특징에 대한 생각을 가지고 있었는데, 이는 과학적 개념과 일치하지 않는 것으로 나타났다. 또한 일부 학생들은 빛이 이동하는 거리가 밤인지 낮인지, 또는 사람이 있는지 없는지에 따라 달라진다고 응답하여, 과학적 개념을 가지고 있지 않음이 드러났다.

연구자	중학생 연구 결과 및 시사점
권경필 [21]	과학 교과서에 제시된 현상 중 세 가지 현상(아무런 광학기구 없이 물체를 직접 눈으로 관찰하는 상황, 평면거울에 비친 물체를 관찰하는 상황, 렌즈를 통해 물체를 관찰하는 상황)을 선별하여 학생들에게 제시하였다. 연구 결과, 중학생이 초등학생보다 과학적 개념을 더 많이 사용하고 있었으나, 많은 학생들이 빛의 이동 경로에 대해 불확실한 개념을 가지고 있다는 것이 나타났다.
이형재 외 [22]	중학교 과학 영재 학생 30명을 대상으로 빛에 관한 진단 평가 15문항을 개발 적용하여 학생들의 빛에 대한 지식 상태를 파악하였다. 이 연구에서는 진단 평가를 통해 학생들의 반사, 분산, 회절에 대한 지식 상태의 위계를 파악했으며, 동일 점수의 개별 학생들 간에도 빛에 대한 지식 상태의 위계가 다르다는 것이 나타났다. 이는 학생들이 빛에 대해 이해하는 정도 차이가 존재한다는 것을 보여주었다.

<p>Haagen-Schutz enhofer [23]</p>	<p>무작위로 선발된 7~8학년 학생 32명을 대상으로 백색광에 대한 개념 조사를 실시하였다. 이들 중 20명은 광학에 대해 공식 교육을 받은 학생들이었으며, 12명은 광학에 대한 교육을 받지 않은 학생들이었다. 학생들은 일상생활에서 흔히 접할 수 있는 빛과 같은 일반적인 빛의 특성에 대해 인터뷰를 진행하였다. 연구 결과, 광학에 대한 교육을 받은 학생들 중 소수만이 백색광에 대한 개념을 가지고 있었고, 대부분의 학생들도 적절한 백색광에 대한 개념이 부족하다는 것이 나타났다.</p>	<p>오세일 [27]</p>	<p>초등학교 5학년 학생 16명을 대상으로 빛에 대한 선 개념을 조사한 후, 오개념을 교정하기 위한 수업을 실시하였다. 사용된 수업 전략은 학생들이 과학적 방법으로 자신의 생각을 검증해보도록 하고, 토론을 통해 특수한 상황을 다른 상황으로 일반화시키며, 학생이 사용한 개인 특유의 언어를 과학적 의미로 사용할 수 있도록 구체적이고 정확한 정의를 내리고, 인식할 수 없는 변화를 인식하게 하는 것이었다. 연구 결과, 오개념 교정 수업을 받은 학생들이 과학적 개념으로 많은 변화를 보였음이 나타났다.</p>
<p>Ramada et al. [24]</p>	<p>15세 학생 456명을 대상으로 물체를 보는 방법에 대한 조사를 실시하였다. 대부분의 학생들은 어둠 속에서도 물체를 볼 수 있다고 응답했으며, 자신들이 어두운 곳에서 물체를 보았을 때 처음에는 보이지 않다가 점차 보이게 되었다는 과거의 경험을 그 근거로 들었다. 다시 말해, 학생들은 어둠 속에서 물체를 희미하게 볼 수 있다는 사실을 빛이 존재한다는 것과 연관 짓지 못하고 있었다.</p>	<p>Anders on et al. [28]</p>	<p>'2년에 걸쳐 5학년 학생 227명을 대상으로 빛에 대한 교육을 실시한 후, 빛과 색에 대한 인터뷰를 실시하였다. 대부분의 학생들은 물체가 빛을 반사하여 눈에 들어오는 것이 아니라 물체 자체를 인식하는 것이라고 생각하고 있었다. 또한 색깔을 물체에서 반사된 빛으로 인식하는 것이 아니라 물체의 속성으로 생각하고 있음이 나타났다.</p>
<p>김도완 의 [25]</p>	<p>비유 만들기 활동을 한 적이 없고 과학 성적 평균이 통계적으로 차이가 나지 않는 중학교 2학년 3학급 100명을 대상으로 빛의 반사, 굴절, 회파와 종파의 개념을 학습하기 위해 비유 만들기 학습 자료를 활용한 수업을 실시하였다. 그 결과를 일반적인 개념학습 후 비유물을 만드는 일반 수업반의 결과와 비교하였다. 연구 결과, 일대일 대응 관계를 제시한 비유 만들기 학습 자료가 학생들의 학습에 긍정적인 역할을 하며, 학생들이 과학적 개념을 형성하는 데 도움이 되는 것으로 나타났다.</p>	<p>연구자 교육과정 및 생성형 AI 연구 결과 및 시사점</p>	
<p>연구자</p>	<p>초등학생 연구 결과 및 시사점</p>	<p>조혜진 [29]</p>	<p>과학과 15종, 물리학 I 8종, 물리학 II 5종 교과서 내 빛과 파동 관련 필수 탐구활동을 선정하여 내용 차원과 기능 차원에 따라 분석하였다. 내용 차원에 따른 분류를 통해 탐구활동의 의도된 목적을 살펴보았으며, 기능 차원에 따른 분류를 통해 각 탐구 과정이 어떤 기능과 관련이 있는지 살펴보았다. 연구 결과는 첫째, 학생들이 탐구활동 수행 후 얻게 되는 학습의 형태를 살펴본 결과 전 교과 과정에서 사실학습과 개념 학습이 공통적으로 나타났다. 둘째, 탐구활동의 각 과정이 교육과정에서 제시된 기능과 어떻게 관련되는지를 분석한 결과 전 과정에서 탐구 수행 기능이 공통적으로 강조되었고 가설 설정 기능이 가장 낮은 빈도를 보였다. 셋째, 탐구활동의 단계, 절차, 탐구 방법 등에 대한 유사점과 차이점을 살펴본 결과 탐구활동을 제시 방법이 모두 유사한 것으로 나타났고, 고등학교 탐구활동보다 중학교 탐구활동에서 활동에 필요한 도구를 제시하는 점에서 상대적으로 다양성을 보였다.</p>
<p>Selley [26]</p>	<p>초등학교 4학년부터 6학년까지의 학생들을 대상으로 빛에 대한 개념을 조사하였다. 연구는 1년간격으로 학생들이 그린 그림, 서면 응답, 인터뷰 등을 통해 실시되었다. 연구 결과, 4학년 학생 21명 중 8명은 빛이 눈에서 물체로 나간다고 응답했다. 6학년 학생들 중 2명을 제외한 21명이 눈에서 빛이 나온다고 응답했으며, 빛에 대해 올바른 과학적 개념을 가지고 있지 않은 학생이 많은 것으로 나타났다.</p>		

강남수 [30]	과학 관련 토론 수업에서 생성형 AI 적용의 효과와 생성형 AI 활용에 대한 학생들의 인식을 조사하였다. 고등학교 2학년 학생 20명을 대상으로 정보 탐색 과정에서 생성형 AI를 활용한 토론 수업을 진행하였다. 연구 결과, 생성형 AI를 활용했을 때 토론 활동의 전체 발화 수가 유의미하게 증가하였으며, 담화 요소 또한 윤리적 민감성, 비판적 사고, 다양한 관점 고려, 증거 기반 추론 순으로 증가하였다. 또한, 생성형 AI의 교육적 활용 가능성과 생성형 AI 활용에 대한 학생들의 인식이 긍정적임을 확인하였다.
안성원 [31]	중학교 기술·가정 교과의 수송기술 단위 문제 해결 활동과 연계하여 생성형 AI를 융합한 수업 자료를 ADDIE 모형의 5단계 설계 과정에 따라 개발하였다. 연구 결과, 2022 개정 교육과정, 학습자, 생성형 인공지능 툴(tool), 학습과제 등을 세분화하여 분석하여 생성형 AI를 융합한 기술 교과교육 수업 자료의 구체적인 사례를 제시하였다.
한병래 [32]	STEAM 과학 프로젝트 학습에서 범교과적인 주제를 다루며, 주어진 문제의 이해와 해결책 아이디어 산출에 생성형 AI를 활용하였다. 또한, 학생들은 아이디어를 구현하고 개선하기 위해 메이커스페이스의 도움을 받았으며, 이 과정에서 생성형 AI의 특성을 파악하고 프롬프트에 입력하는 질문의 중요성을 인식하였다. 마지막으로, 생성형 AI를 활용하여 문제 해결책을 작성하는 과정을 경험하였다.

이상에서 교사 중심으로 진행된 선행연구에서 확인할 수 있는 점은 학습자와 마찬가지로 빛과 파동 영역에 대한 명확한 개념 정리가 필요하다는 것이다. 예비 교사의 경우에도 이러한 점은 체계적인 교수·학습과 수업 전략의 필요성을 제기하고 있다. 또한, 대학생, 고등학생, 중학생, 초등학생 순으로 검토·분석한 선행연구에서는 실험 학습의 타당성을 검토하고, 지식을 습득하는 데 올바른 개념을 이해하는 것이 중요함을 확인하였다. 아울러 과학과 교육과정 탐구활동에서는 수행 과정에서 생성형 AI와 같은 디지털 도구를 활용한 다양한 체험이 필요함을 확인할 수 있었다. 이에 본 연구에서는 교과 교육과정

의 지향점을 반영하여 명확하고 맥락 있는 수업으로 이어질 수 있는 교수·학습을 중심으로 연구를 진행하고자 한다.

III. 연구 방법

2015 개정 교육과정은 학교교육에서 학생들에게 길러 주고자 하는 핵심역량을 설정하고, 통합사회, 통합과학 등 공통 과목을 신설하였다. 또한, 개정 교육과정은 핵심 개념과 원리에 중점을 두어 적정화한 학습내용으로 교사 중심의 교실 수업을 학생 활동 중심으로 변경하기 위한 교수 학습과 평가 방법을 제시하였다. 이어서 2022 개정 교육과정에서도 미래 변화에 유연하게 대응할 수 있도록 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도로 교과 교육과정에 역량 개념을 적용하고 있다. 이러한 개정 교육과정은 학문 중심 교육과정에서 찾아볼 수 있으며, 핵심개념과 내용 체계, 역행 설계 모형 등과 함께 이해중심 교육과정, 개념기반 교육과정과 연계할 수 있는 교과역량을 살펴볼 수 있다. 이에 각론에서는 특히 교과(목) 특성이나 내용 요소 등의 구성과 체계를 종합해서 살펴볼 필요가 있다.

이 장에서는 2015 개정 과학과 교육과정의 빛의 입자와 파동 영역에 대한 교과서 분석을 통해, 2022 개정 과학과 교육과정에서도 지향하거나 지양할 교과교육의 쟁점을 찾아내고자 한다. 또한, 변화하는 학교교육에서 이루어지는 교수·학습 방법, 교육 내용, 교육 접근 방법 등을 분석하여 이에 대한 방안 및 개선을 모색하고자 한다.

3.1 분석 대상

2015 개정 과학과 교육과정에서 제시한 내용체계와 성취기준을 중심으로, 교육부에 의해 검정된 중학교 1학년 '과학' 교과서, 고등학교 '물리학 I' 교과서, '물리학 II' 교과서 각 1종을 무작위로 선별하여, 본 연구에서 살펴

보고자 하는 빛의 입자와 파동 영역을 교수-학습 방법 및 이론을 근거로 수업 진행에 대한 구체적인 내용을 내용 체계와 성취기준을 중심으로 검토 분석하고자 한다. 추가적으로, 과학 계열의 전문 교과인 고급 물리학과와의 연계 및 위계성에 대한 부분도 제안하고자 한다.

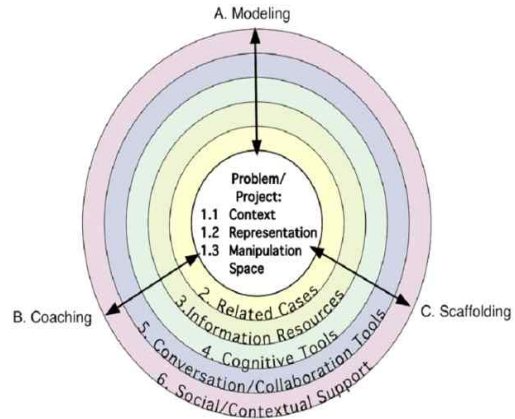
3.2 분석 준거

학습이란 학습자의 경험을 통해 지식을 습득하고 재구성하는 과정이다. 인지적 구성주의는 Piaget의 인지발달 이론에 근거를 두고 있으며, 인지적 활동이 지식을 구성하는 데 핵심적인 역할을 한다. 학습자는 지식과 정보를 습득할 때 스스로 구조화하고 이해한다. 사회적 구성주의는 Vygotsky의 심리발달 이론에 기초를 두고 있으며, 학습자는 선행적 학습과 내부적인 심리 속에서 타인과의 관계를 구성하면서 성장한다. 여기서 학습은 인지적 혼란이나 모순을 겪으면서 동화와 조절을 통해 인지구조가 변화되며, Piaget는 인지발달 단계에 따라 적절한 자극이 주어질 때 효과적인 교수-학습이 이루어진다고 본다[33, 34].

이러한 구성주의는 교수 설계와 방법에 대한 탐구 및 경험학습 이론에 관한 연구로 이어지며, 상호작용하는 학습 환경과 학습자 중심의 테크놀로지의 필요성이 더욱 증가한다[35]. 이와 같은 학습은 객관적인 지식의 전달뿐만 아니라 개인의 경험으로 재구성되면서 학습자 스스로 주체가 되어 이루어진다. 따라서 학습자는 경험적 학습에 적극적으로 참여하면서 스스로 재구성한 지식을 습득하며, 교수 설계에 있어 교수자와 학습자의 구조화뿐만 아니라 교수-학습의 고도화된 설계가 필요하다.

Jonassen[35]의 구성주의 학습 환경 설계 모형을 살펴보면, 모델링, 코칭, 비계 설정을 중심으로 학습 환경을 문제/프로젝트 맥락, 문제/프로젝트 표상, 문제/프로젝트 조작 공간 등으로 구성하고 있다. 또한, 학습 환경 설계 모형은 관련 사례, 정보 자원, 인지적 도구, 대화/협동 도구, 사회적/맥락적 지원 등으로 구성된 구조로 표

현된다. 이러한 학습 환경은 상황, 사회, 구성, 성찰, 능동, 역동, 발전 등의 측면에서 그 특성을 강조한다[36].



〈그림 2〉 구성주의 기반 학습 환경 설계 모델[35]

한편, 학습은 문제 중심 학습, 실제 과제를 활용한 학습 등으로 이루어지며, 학습자 중심으로 구성된다. 이는 구성주의에서 학습자가 스스로 익히는 경험학습을 의미한다. 학습자는 반성적 성찰과 메타인지를 통해 학습이 확장되고 있음을 알 수 있다. 이러한 지식의 습득은 학습자의 경험과 새롭게 익히는 지식이 이전 지식과 상호작용하여 학습 환경을 재구성하는 것이다.

Linderman[37]은 경험이 학습자의 살아있는 교과서라고 하여 학습자의 경험학습의 중요성을 강조하였다. 경험학습은 경험으로부터 이루어지며, 학습자는 경험학습 후 역량, 태도, 방식 등을 새롭게 개발하고 성찰한다[38]. John Dewey[39]는 진정한 교육이란 경험을 통해 이루어진다고 하였다. 이러한 경험학습은 학습자 개개인의 경험이 학습되고 지식과 행동으로 이어지면서 반성적 사고로 성찰하게 된다. 적용되는 학습은 경험학습을 통해 그 내용을 숙지하고 수행하면서 습득하게 된다. 경험학습은 수업 방식에 따라 달라질 수 있는 개념으로, 지식의 습득과 이해가 개개인의 경험학습을 통해 이루어지는 과정의 중요성을 의미한다.

3.3 분석 절차

분석 절차는 각 교과용 도서 지도서에서 제시하고 있는 수업 지도안을 중심으로, 두 가지 측면에서 내용분석을 하고자 한다.

〈표 6〉 내용분석 목록

구분	탐구 목록
1. 실생활에서 경험적으로 검증할 수 있는 관련성이 존재하는가? 그리고 일관성 있는 진행이 이루어지고 있는가?	공간 / 시간 / 물리적 속성
2. 지식의 개념적 이해는 무엇이며, 논리적으로 연계와 위계를 유지할 수 있도록 계열화하였는가?	부류 관계 / 명제 관계 / 정교화 / 논리적 선행요건
3. 수업 탐구의 과정과 경험이 체계적으로 이루어지고 있는가?	수업 탐구의 논리성 / 수업 탐구의 경험
4. 학습을 위한 선행적 준비와 선택이 잘 이루어졌는가?	경험적 선행요건 / 친숙성 / 곤란성 / 흥미 / 내면화 / 발달
5. 선행학습이나 선 개념에 대한 지식이나 기능을 어떻게 활용하고, 환류가 진행되는가?	절차상 순서 / 예상 활용 빈도

첫째, 학문 지식 위주의 개념적 이해와 내용 계열화가 어떻게 유형화될 수 있는지를 정성적으로 기술하려 한다. 분석 항목은 Milla et al.[40]이 제안하고, 조혜진[29]이 일부 수정한 분류를 정리하여 다음 <표 6>과 같이 구성하여 분석하고자 한다.

둘째, 교과서 분석 요소의 기능과 서술은 박현주 외 [41]가 제안한 분석 기록 틀을 활용하여 다음 <표 7>과 같이 구성하여 탐구하고자 한다[42, 43].

〈표 7〉 분석 요소의 분석 기록 틀

분석 요소		분석 기록
문제 인식	교과서 제시	제시된 문제를 이해하는 수준
	학생이 스스로 제시	탐구 시작, 자료를 보고 문제 인식하는 경우, 문제를 정의하는 단계, 문제 인식하는 주체
탐구 설계와 수행	탐구 설계	가설 설정부터 연구 방법까지 직접 계획하는 단계
	탐구 수행	탐구 방법에 따라 연구를 따라해 보거나 직접 수행해 보는 단계
자료의 수집과 분석 및 해석	자료 수집	검색을 통하여 자료를 수집하는 활동
	분석 및 해석	자료를 분석하고 해석, 설명하는 단계
수학적 사고와 컴퓨터 활용	수학적 사고	계산, 규칙성 발견, 표와 그래프 나타내기 등에서 수학적 사고 활용
	컴퓨터 활용	컴퓨터 및 네트워크
모형의 개발과 사용	모형의 개발	모델 또는 모형을 계획, 개발
	모형의 사용	모델 또는 모형을 사용
증거에 기초한 토론과 논증		증거나 증거를 이용한 토론 단계
결론 도출 및 평가	설명과 해결책 설계	과학적 설명 만들기와 해결책 설계
	결과 평가	평가하는 내용
의사소통		수집한 정보 또는 다양한 자료, 결과물에 대해 평가, 소통하기

IV. 연구 결과

앞서 2015 개정 과학과 교육과정에서 제시한 내용 체계와 성취기준을 중심으로 분석한 내용을 토대로, 2022 개정 교육과정의 내용 체계와 성취기준도 함께 교과서에 제시하여, 역량 중심의 학습이 이루어질 수 있도록 연구 내용을 구조화하고 체계화하여 제시하고자 한다.

4.1 분석 대상

2015 개정 과학과 교육과정에서 중학교 과학1, 물리학 I, 물리학II의 빛과 파동 단원을 분석하고자 한다. 중학교 '빛과 파동' 단위에서는 물체에서 반사된 빛이 눈으로 들어올 때 물체를 보는 과정, 영상 장치에서 삼원색의 빛을 이용하여 다양한 색의 빛을 표현하는 방법, 여러 가지 거울과 렌즈에서 생기는 상의 특징을 관찰하고 이해한다. 또한, 파동의 종류를 횡파와 종파로 구분하며, 소리의 특징을 진폭, 진동수, 파형으로 이해한다.



〈그림 3〉 과학1 '빛과 파동' 단위

출처: 과학1, 비상교육

물리학 I의 '파동과 정보 통신' 단위에서는 파동의 물리량 사이의 관계를 다루고, 파동의 굴절 현상, 전반사, 간섭 등 파동의 여러 가지 특성을 학습한다.



〈그림 4〉 물리학 I '파동과 정보통신' 단위

출처: 물리학 I, 비상교육

물리학II의 '파동과 정보 통신' 단위에서는 자연에서 만들어지는 신호들이 전자기파를 통해 전달되는 과정을 설명하기 위해 전자기파의 다양한 성질을 이해한다. 이 단위에서는 교류 회로에서 전자기파의 발생, 안테나에서의 수신, 간섭, 회절, 도플러 효과, 볼록 렌즈에서의 상 형성 등을 학습하며, 전자기파의 활용에 대해 배운다.



〈그림 5〉 물리학II '파동과 정보통신' 단위

출처: 물리학II, 비상교육

이상에서 살펴본 단원은 학습자가 단원의 핵심 질문을 해결하는 과정을 통해 과학적 사고력과 과학적 문제 해결력을 키우고, 탐구 과정을 통해 과학적 탐구 능력과 과학적 사고력을 향상시킨다. 프로젝트 활동과 같은 조사 등을 통해 과학적 문제 해결력을 키우게 된다. 이때, 과학과 교육과정 핵심역량인 과학적 사고력, 과학적 문제 해결력, 과학적 탐구 능력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등과 연계된 교육과정이 이

루어지게 된다. 빛과 파동 단원의 구조와 위계를 표로 정리하면 다음과 같다.

〈표 8〉 빛과 파동 단원 구조 위계

구분	단원	내용
과학1	빛과 파동	여러 가지 거울과 렌즈를 통해 나타나는 상의 특징을 다룸. 파동의 종류를 구분하고, 소리의 특징을 진폭, 진동수, 파형으로 설명할 수 있음.
물리학I	파동과 정보통신	파동의 진동수, 파장, 속력 사이의 관계, 파동의 굴절 현상과 전 반사, 파동의 간섭 등 여러 가지 특징을 이해함.
물리학II	파동과 물질의 성질	전자기파의 간섭과 회절, 굴절, 볼록 렌즈에서의 상의 형성 등을 이용하여 전자기파의 성질을 이해함.

2015 개정 교육과정에서 제시한 성취기준에 따라 교과서를 살펴보면, 중학교 과학1의 탐구활동은 빛의 합성 탐구하기, 거울과 렌즈에 의한 상의 특징 관찰하기이다. 빛과 파동 단원의 학습 지도안 예시는 다음과 같다.

〈표 9〉 빛과 파동 단원 학습지도안

단계	학습 과정	학습 활동 및 내용
도입	중 단원 도입 활동	- 물이 든 어항 뒤에서 고양이의 얼굴이 크게 보이는 이유를 생각해 보게 하며, 학습 과정에서 해결해야 할 질문을 확인한다.
	학습 목표 제시	학습 목표를 확인한다.
	생각 열기 (대 집단 학습)	- 영화관에서는 밝을 때만 옆 사람이 보인다는 상황을 언급하면서, 물체를 볼 때 빛이 어떻게 이동하는지 생각해 보도록 유도하고, 해보기 활동을 소개한다.
전개	해보기 활동 (소집)	[해보기] 물체를 보는 과정을 표현하기 - 밤에 전등이 켜진 실내에서 전등을 볼 때와 책을 볼 때, 빛의 이동을 그림에 화살표로 표현하고, 설명을 쓰게 한다.

단 모둠 학습)		- 두 경우가 어떻게 다른지, 그리고 왜 그렇게 생각하는지를 모둠끼리 토의하도록 한다. ※ 모둠 내 토의 결과를 모둠 칠판에 그림과 글로 표현하게 하고, 모든 모둠의 모둠 칠판을 학습 칠판에 붙여 설명을 듣고 질문에 답변하는 과정을 거친다. 이때, 이 과정을 충분히 안정적으로 진행하면, 이어지는 개념 정리 부분을 학생들이 스스로 쉽게 해나갈 수 있다.
	물체를 보는 과정 (대 집단 학습)	[개념 정리] 1. 광원과 광원이 아닌 것 - 학생들에게 광원과 광원이 아닌 것을 구별할 수 있도록 지도한다. - 여러 가지 물체를 칠판에 적어 놓고, 광원과 광원이 아닌 것으로 분류한 후 “어떤 기준으로 분류했을까요?”라고 물어보며 진행한다. 2. 물체를 보는 과정 - 교사가 직접 설명하기보다는, 학생들이 스스로 표현하고 서로 확인하며 논의하도록 아래와 같이 진행한다. - 해보기 활동에서 학습한 “광원을 볼 때 빛의 경로”와 “광원이 아닌 물체를 볼 때 빛의 경로”를 다른 상황에 적용해 보며 이해하도록 한다. - 스스로 확인하기 활동에서, 3번 “휴대폰의 화면을 볼 때와 테두리를 볼 때” 빛의 이동을 표현하도록 하고, 발표와 질문, 답변을 통해 내용을 정리할 수 있다.
정리 평가	학습 내용 정리	- 이번 차시 학습 내용 정리 [개념 확인] 광원, 물체를 보는 과정에서 빛의 경로
	차시 예고	- 스마트 기기 화면이 다양한 색을 표현하는 원리

출처: 과학1, 비상교육

고등학교 물리학 I의 탐구활동은 빛의 여러 가지 전 반사 관찰, 두 개의 스피커를 이용한 보강·상쇄 간섭 실험이다. 파동과 정보 통신 단원의 학습 지도안 예시는 다음과 같다.

〈표 10〉 파동과 정보통신 단원 학습지도안

단계	학습과정	학습 활동 및 내용
도입	대단원 도입	[파동과 정보 통신과 함께한 사람들-토의 토론] - 자신의 의견을 뒷받침할 자료들을 먼저 조사 정리한 후 토의를 진행한다.
	소단원 도입	[스스로 계획하기] 단원의 연계성과 학습 내용을 확인하며, 소단원 학습을 계획한다. [생각 나누기] - 신기루는 일상생활에서 자주 발생하는 현상이다. 그러나 많은 학생이 신기루가 파동의 굴절로 인해 생기는 현상이라는 것을 인지하지 못한다. 신기루가 생기는 원리를 정확하게 설명하기는 어렵더라도, 직접 관찰했거나 텔레비전이나 신문에서 본 경험을 이야기하고 구체적으로 표현해 보도록 한다.
	학습 목표 제시	- 학습 목표를 확인한다.
	차시 열기	- 연못에 던진 돌이 만드는 파동에 대해 설명한다.
전개	개념 설명	[파동] - 파동은 한 곳에서 발생한 진동이 멀리 퍼져나가는 현상임을 설명한다. - 교과서 그림을 이용하여 파장, 주기, 진동수를 설명한다. [파동의 속력] - 주기와 진동수의 관계를 설명한다. - 파동의 속력을 파장, 주기, 진동수의 관계로 나타낸다. - 줄을 천천히 흔들 때와 빠르게 흔들 때를 비교하여 파장과 진동수의 관계를 설명한다. - 굵기가 다른 줄을 흔들 때를 비교하여 파장과 속력의 관계를 설명한다.
		정리 평가

출처: 물리학 I, 비상교육

고등학교 물리학Ⅱ의 탐구활동은 압전 소자와 이중 코일을 이용한 전파의 송수신 실험이다. 파동과 물질의 성질 단원의 학습 지도안 예시는 다음과 같다.

〈표 11〉 파동과 물질의 성질 단원 학습지도안

단계	학습과정	학습 활동 및 내용
도입	대단원 도입	[파동과 물질의 성질 이야기-토의 토론] - 자신의 의견을 뒷받침할 자료들을 먼저 조사 정리한 후 토의를 진행한다.
	소단원 도입	[스스로 계획하기] 단원의 연계성과 학습 내용을 확인하며, 소단원 학습을 계획한다. [생각 나누기] - 생활 속에서 간섭에 의해 발생하는 현상을 자주 경험할 수 있다. 특히 물 위에 떨어진 기름이 만드는 무지갯빛이나 비눗방울에서 나타나는 무지갯빛은 간섭을 이용해 설명할 수 있다. 구체적인 원리를 알지 못하더라도, 이 현상이 파동의 특성인 간섭에 의해 발생한다는 것을 표현해 보도록 한다.
	학습 목표 제시	- 학습 목표를 확인한다.
	차시 열기	- 빛이 파동이라는 것을 밝힌 최초의 실험에 대하여 설명한다.
전개	개념 설명	[간섭] - 교과서 그림을 이용하여 간섭 현상을 설명한다. [보강 간섭과 상쇄 간섭] - 두 파동이 중첩될 때, 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 생성되는 것을 설명한다. - 두 파동이 중첩될 때, 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 생성되는 것을 설명한다.
정리 평가	학습 내용 정리	- 이번 차시 학습 내용 정리
	차시 예고	- 이중 슬릿의 간섭을 이용한 빛의 파장 측정

출처: 물리학Ⅱ, 비상교육

4.2 내용분석

중학교 과학1, 물리학 I, 물리학II의 빛과 파동 단원의 개념적 이해 및 내용 계열화의 유형이 될 수 있는지 정성적 내용분석 결과를 목록에 따라 구성하여 제시하면 다음과 같다. 첫째, 실생활에서 경험적으로 검증할 수 있는 관련성과 일관성 있는 진행이 이루어지고 있는지에 관한 내용으로, 공간, 시간, 물리적 속성 등 내재된 구성 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 12〉 실생활 경험학습 관련 내용분석

구분	1. 실생활에서 경험적으로 검증할 수 있는 관련성이 존재하는가? 그리고 일관성 있는 진행이 이루어지고 있는가?
과학1	학습 활동을 통해 빛의 합성, 반사, 굴절에 대한 탐구활동을 진행한다. 이 과정에서 학생들은 물체의 색이 빛의 삼원색으로 합성되는 것을 관찰하고, 일상생활에서 흔히 사용되는 영상 장치에서 색이 어떻게 표현되는지 그 원리에 대해 학습한다.
물리학I	거울과 렌즈를 활용해 빛의 성질 중 하나인 반사와 굴절에 대해 학습한다. 빛의 기본 성질을 학습한 학생들은 이를 바탕으로 전 반사에 관한 탐구활동을 심도 있게 이해할 수 있다.
물리학II	학생들은 전자기파가 빛과 같이 회절 및 굴절하며, 빛과 같은 속도로 진행한다는 것을 학습한다. 전자기파가 빛이며, 파동의 성질을 지닌다는 것을 학습한 학생들은 우리 생활에서 이용되는 무선 송수신의 원리를 이해할 수 있다.

둘째, 지식의 개념적 이해와 논리적으로 연계와 위계를 유지할 수 있도록 한 계열화에 대한 내용으로, 부류 관계, 명제 관계, 정교화, 논리적 선행요건 등 내재된 구성 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 13〉 개념적 이해와 계열 관련 내용분석

구분	2. 지식의 개념적 이해는 무엇이며, 논리적으로 연계와 위계를 유지할 수 있도록 계열화하였는가?
과학1	학습 활동은 이론과 모형 학습에 중점을 두고 있으며, 관계 학습에 해당하는 내용도 포함하고 있다.
물리학I	학습 활동에서 사실학습과 개념학습에 이어 관계 학습, 이론, 모형 학습에도 중점을 두고 있음을 알 수 있다.
물리학II	학습 활동에서 관계 학습과 이론, 모형 학습이 다루어지고 있음을 확인할 수 있다.

셋째, 수업 탐구의 과정과 경험이 체계적으로 이루어지고 있는지에 대한 내용으로, 수업 탐구의 논리성, 수업 탐구의 경험 등 내재된 구성을 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 14〉 탐구 과정과 경험 관련 내용분석

구분	3. 수업 탐구의 과정과 경험이 체계적으로 이루어지고 있는가?
과학1	학생들은 평면거울, 오목거울, 볼록거울, 오목 렌즈, 볼록 렌즈에 의해 다양한 상이 생기는 것을 관찰하고, 각 특징에 대해 탐구한다. 이 활동은 사실학습에 해당하는 학습 내용임을 알 수 있다. 또한, 학생들은 거울 또는 렌즈의 종류와 거울 또는 렌즈와 물체 사이의 거리에 따라 상의 모양과 크기가 다르다는 것을 관찰하며, 각 변인의 관계를 학습할 수 있다.
물리학I	학생들은 빛이 진행할 때 성질이 다른 매질 간의 경계선에서 일부는 반사하고 일부는 굴절하는데, 특정한 상황에서 빛이 전반사하는 것을 관찰할 수 있다. 빛의 반사와 굴절 개념을 이미 가진 학생들이 이 활동을 통해 학습하게 되는 개념은 전반사이다. 학생들은 굴절률이 서로 다른 두 매질의 경계면에서 임의의 각도로 빛이 입사할 때, 빛의 반사와 굴절이 일어나는 것을 관찰한다.

물리학II	학생들은 전하가 가속 운동을 할 때 전하 주위의 전기장과 자기장이 변하며, 이 두 장이 함께 변하면서 퍼져나가는 것이 전자기파라는 개념을 이미 알고 있는 상태에서, 전자기파를 의도적으로 발생시키고 무선으로 수신하는 즉, 전파의 무선 송수신 개념을 학습한다. 학생들은 수신기에 연결된 LED에 불이 들어오거나, 실험 결과를 전자기파의 발생과 수신 과정으로 설명할 수 있다.
-------	---

넷째, 학습을 위한 선행적 준비와 선택이 잘 이루어졌는지에 대한 내용으로, 경험적 선행요건, 친숙성, 곤란성, 흥미, 내면화, 발달 등 내재된 구성을 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 15〉 학습 선택 관련 내용분석

구분	4. 학습을 위한 선행적 준비와 선택이 잘 이루어졌는가?
과학1	학생들은 먼저 빨간색, 파란색, 초록색의 화면을 띄우거나 스크린에 비추고, 세 가지 빛을 겹쳐서 관찰하거나 다른 색의 빛을 관찰하도록 절차를 제시한다. 빨간색, 파란색, 초록색 외의 빛을 관찰하면서, 학생들은 삼원색 외의 빛이 삼원색의 합성으로 만들어진 것임을 확인할 수 있다.
물리학I	여러 가지 전반사를 관찰하고, 두 개의 스피커를 이용한 보강-상쇄 간섭 실험을 수행한다. 이 두 탐구활동은 제시된 절차에 따라 학생들이 실험을 실시하고, 그 결과 나타나는 현상을 관찰하는 방식으로 진행된다.
물리학II	학생들은 압전 소자와 이중 코일을 이용한 전파 송수신 실험과 광전지를 이용한 광전 효과 실험, 이 두 가지 활동을 수행한다. 모든 활동에서 학생들은 실험실 환경에서 주어진 절차에 따라 실험 도구를 설치하고, 결과를 관찰한다.

다섯째, 선행학습이나 선 개념에 대한 지식이나 기능을 어떻게 활용하고 환류가 진행되는 내용으로, 절차상의 순서, 예상 활용 빈도 등 내재된 구성을 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 16〉 활용 및 환류 관련 내용분석

구분	5. 선행학습이나 선 개념에 대한 지식이나 기능을 어떻게 활용하고, 환류가 진행되는가?
과학1	학생들은 삼원색을 내는 LED 손전등을 광원으로 사용할 수 있다. 활동 도구로는 빛 합성 장치가 제시되며, 또 다른 탐구 방법으로 그림판 프로그램과 프로젝터를 이용할 수 있다. 컴퓨터 화면에 나타나는 색과 현미경, 여러 색깔의 사인펜을 활용하여 컴퓨터, 프로젝터, 스크린으로 빛의 합성을 관찰할 수 있다. LED 손전등과 빛 합성 장치를 사용하는 활동은 실험실 환경에서 실시하는 것이 더 적합하지만, 스마트 기기를 활용하는 활동은 장소의 제약에서 비교적 자유롭게 할 수 있다. 이를 통해 학생들은 일상 생활에서 흔히 접하는 영상 장치의 색이 빛의 합성으로 이루어진다는 것을 확인할 수 있다.
물리학I	학생들은 스마트폰에 설치된 진동수 발생 어플리케이션, 컴퓨터에 설치된 소리 프로그램, 함수 발생기를 음원으로 사용할 수 있다. 스마트폰과 컴퓨터에서 사용하는 어플리케이션은 실험자들이 쉽게 접근할 수 있다. 소리 측정 측면에서 학생들은 직접 소리를 들어보며 소리가 커지는 지점과 작아지는 지점을 찾아볼 수 있다. 스마트폰에 설치된 소음 측정 프로그램을 사용하여 소리의 간섭 현상이 일어나는 지점을 찾고, 이 프로그램을 통해 소리의 크기를 객관적으로 이해하고 측정할 수 있다. 다만, 사람마다 가청 주파수가 다르기 때문에, 소리의 크기가 커지거나 작아지는 지점이 측정자마다 달라질 수 있다는 제약을 이해해야 한다.

물리학II	<p>학생들은 학습 과정에서 압전소자, 알루미늄 포일, 발광다이오드 또는 네온관을 활용할 수 있다. 이 활동 도구들은 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 재료들이지만, 고전압 발생 장치를 사용하는 실험이므로 실험실 활동에 적합하다고 볼 수 있다. 또한, 학생들은 이 실험을 통해 일상생활에서 흔히 사용되는 무선통신의 원리를 확인할 수 있다. 광전 효과를 확인하기 위해 두 광원과 전류를 측정할 수 있는 도구를 실험에서 사용하게 되는데, 이러한 도구들은 일상생활보다는 실험실 환경에서 더 쉽게 접할 수 있는 도구들로, 이 학습 활동은 과학 지식을 일상생활과 연결 지어 생각하기보다는 과학 지식을 확인하는 실험이 될 수 있음을 보여준다.</p>
-------	--

4.3 기능과 서술 분석

중학교 과학1, 물리학 I, 물리학II의 빛과 파동 단원에서 기능과 서술에 대한 요소별 분석 결과를 목록에 따라 구성하여 제시하면 다음과 같다. 첫째, 문제인식으로, 교과서에서 제시하는 문제를 이해하는 수준과 학생이 스스로 탐구를 시작하거나 자료에서 문제를 인식하는 경우, 문제를 정의하는 단계, 문제를 인식하는 주체 등을 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 17〉 문제인식 기능과 서술 분석

구분	문제인식	
	교과서 제시	학습자 제시
과학1	학습 활동에서 관찰의 편의성을 위해 소리 분석 프로그램이 종파를 횡파 형태로 변환했음을 언급할 필요가 있다. 학생들이 관찰하는 파동은 횡파이지만, 이로 인해 소리가 횡파라는 오개념을 가질 가능성이 있다. 따라서 탐구와 토의 활동을 통해 학생들이 얻은 직접적인 결과를 설명해주거나, 발표를 통해 문제 인식을 유도하는 세심한 과정이 필요하다.	
물리학I		
물리학II		

둘째, 탐구 설계와 수행으로, 탐구 설계는 가설을 설정하고 연구 방법을 계획하는 단계이며, 탐구 수행은 탐구 방법에 따라 연구를 따라 하거나 직접 수행해 보는 단계이다. 이를 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 18〉 탐구 설계와 수행 기능과 서술 분석

구분	탐구 설계와 수행	
	탐구 설계	탐구 수행
과학1	학생들이 빛의 합성을 탐구하기 위해 수행해야 할 절차가 제시되며, 절차를 수행한 후 관찰한 결과를 기록하거나 색칠하는 등 관찰 결과에 대한 자료를 수집하는 활동을 유도할 수 있다. 활동 내용으로는 컴퓨터 모니터를 확대했을 때 나타나는 빛의 색을 관찰하거나, 삼원색을 각각 벽이나 물체에 비추었을 때 어떤 색으로 보이는지, 반사된 빛이 합쳐질 때 어떤 색으로 보이는지를 관찰하는 것이 포함된다.	
물리학I	전반사에 관한 탐구활동으로, 학생들은 프리즘, 물, 공기 등 서로 다른 굴절률을 가진 매질을 통과하는 빛의 반사와 굴절을 관찰하는 활동을 수행할 수 있다.	
물리학II	전자기파 발생기(송신기)와 전자기파 수신기를 만들어 송신기에서 발생한 전자기파를 무선으로 수신하여, 네온관 또는 LED에 불이 들어오는 것을 확인함으로써 전파의 무선 송수신을 확인하는 활동을 수행할 수 있다.	

셋째, 자료의 수집과 분석 및 해석으로, 검색을 통해 자료를 수집하는 활동, 자료 분석하고 해석, 설명하는 단계 등을 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 19〉 자료의 수집과 분석 및 해석 기능과 서술 분석

구분	자료의 수집과 분석 및 해석	
	자료의 수집	자료의 분석 및 해석
과학1	학생들은 탐구활동을 통해 관찰한 여러 가지 색을 하나의 색으로 이루어진 것과 두 가지 이상의 색으로 이루어진 것으로 분류해 보거나, 두 가지 색이 겹친 부분에서 관찰한 빛의 색이 이전과 어떻게 달라졌는지 비교하는 등 관찰한 내용을 분석하고 해석하는 활동을 할 수 있다.	
물리학I	제시된 절차에 따라 탐구활동을 마친 후, 학생들은 공기에서 물로 빛이 입사할 때 입사각과 굴절각의 관계를 정리하거나, 각 매질에서의 빛의 속력을 비교하는 등의 활동을 통해 관찰한 결과를 해석할 수 있다.	
물리학II	학생들은 전자기파를 발생시켰을 때 LED에 불이 들어오는 이유를 설명하는 활동을 통해, 관찰한 내용을 해석하고 그에 대한 설명을 구상할 수 있다.	

넷째, 수학적 사고와 컴퓨터 활용으로, 계산, 규칙성 발견, 표와 그래프를 나타내기 등에서 수학적 사고 활용, 컴퓨터 및 네트워크 활용 등을 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 20〉 수학적 사고와 컴퓨터 활용 기능과 서술 분석

구분	수학적 사고와 컴퓨터 활용	
	수학적 사고	컴퓨터 활용
과학1	영상 장치 또는 컴퓨터 그림판을 활용하여 빛의 합성을 탐구하는 도구로 사용할 수 있으며, 컴퓨터에서 간단한 그래프나 차트를 만들어 수학적 사고를 바탕으로 할 수도 있지만, 수업이 그렇게 전개되지 않을 수도 있다.	
물리학I	학생들은 입사각과 굴절각, 매질 내에서의 빛의 속력 등 수학적으로 표현할 수 있는 개념들을 사용한다. 의미 있는 수학적 사고를 위해 직접적인 계산뿐만 아니라, 과학적 질문에 수학적 개념과 과정을 적용할 수 있는 능력을 포함할 수도 있다.	
물리학II	빛의 세기에 따라 생성되는 전압과 전류 사이의 관계를 그래프로 나타내는 활동을 수학적 사고와 컴퓨팅 도구를 활용하여 유도할 수 있다.	

다섯째, 모형의 개발과 사용으로, 모델이나 모형을 계획, 개발, 사용 등을 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 21〉 모형의 개발과 사용 기능과 서술 분석

구분	모형의 개발과 사용	
	모형의 개발	모형의 사용
과학1	빛의 세기와 전류의 관계를 학습하면서 학생들은 빛의 세기가 크면 전자가 튀어나와 전류가 흐른다는 오개념을 형성할 가능성이 있다. 따라서 실험 활동에서는 가능한 다른 진동수를 가지는 광원을 추가로 제시하고, 빛의 세기가 커질수록 전류의 세기도 커지지만, 한계 진동수에 미치지 않는 광원에서는 빛의 세기가 커도 전자가 방출되지 않는다는 개념을 형성할 수 있도록 실험을 전개할 필요가 있다. 이러한 학습 전개가 모형 개발로 이어질 수 있음을 인식할 필요가 있다.	
물리학I		
물리학II		

여섯째, 증거에 기초한 토론과 논증으로, 증거나 증거를 이용한 토론 단계별 요소를 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 22〉 토론과 논증 기능과 서술 분석

구분	증거에 기초한 토론과 논증
과학1	관찰한 결과를 도대로 영상 장치에서 다양한 색이 표현되는 원리를 토의하거나, 우리가 보는 물체의 색이 나타나는 과정을 토의한 후 발표하거나, 조명의 색에 따라 물체의 색이 다르게 보이는 이유를 토의하는 등, 학생들이 모둠 내에서 상호작용하는 활동을 할 수 있다.
물리학I	학생들은 빛이 굴절하지 않고 전반사가 일어나는 조건을 설명해보거나, 빛의 반사, 전반사와 입사각의 크기, 두 매질에서의 빛의 속력 간의 관계를 토의해보는 활동을 할 수 있다.
물리학II	빛의 세기와 전압, 전류 사이의 관계를 이해했는지를 묻는 문항을 서로 제시함으로써 논증으로 이어질 수 있다.

일곱째, 결론 도출 및 평가로, 과학적 설명 만들기, 해결책 설계 및 평가 등의 내용을 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 23〉 결론 도출 및 평가 기능과 서술 분석

구분	결론 도출 및 평가	
	설명과 해결책 설계	결과 평가
과학1	학생들에게 물체가 렌즈 또는 거울에서 점 점 멀어질 때 상이 어떻게 변하는지 설명하는 활동을 하게 함으로써, 탐구활동의 결과를 직접적으로 학습하도록 유도할 수 있다.	
물리학I	학생들이 빛의 전반사 현상을 관찰했는지, 전반사가 일어날 조건을 설명할 수 있는지를 묻는 질문에 답해보도록 하여, 학습자가 자기 평가를 할 수 있도록 유도할 수 있다. 평가는 탐구 결과에 대한 결론뿐만 아니라 그 과정에 대한 평가도 유의미할 수 있다.	
물리학II	빛의 세기와 전류의 관계, 그리고 빛의 파장과의 관계를 설명하는 활동이 평가로 이어질 수 있음을 보여줄 수 있다.	

여덟째, 의사소통으로, 수집한 정보 또는 다양한 자료와 결과물에 대해 평가하고 소통하는 등의 내용을 기능적 요소 중심으로 분석한 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈표 24〉 의사소통 기능과 서술 분석

구분	의사소통
과학1	동전을 넣으면 동전의 상이 실제보다 작아 보이는 장난감 저급통의 원리에 대해 토의하도록 유도할 수 있다. 탐구활동을 통해 알게 된 평면거울, 오목거울, 볼록거울에 의한 상의 특징을 모둠원에게 설명하는 방식으로 의사소통을 촉진할 수 있다.
물리학I	학생들이 전반사 현상을 이용해 빛을 손실 없이 멀리 보내는 방법에 대해 토의하거나, 전반사가 일어나는 조건에 대해 토의하는 활동을 하도록 유도할 수 있다.
물리학II	탐구활동 이후, 학생들이 자신을 평가할 수 있도록 모둠원들과 협력하며 탐구를 수행하는 과정에서 의미 있는 의사소통을 할 수 있다.

4.4 소결

이 장에서는 과학과 교육과정에서 제시한 내용 체계와 성취기준을 토대로, 교과서에 제시된 내용을 역량 중심으로 구조화하고 체계화하여 제시하였다. 학습자는 각 단원의 핵심 질문을 해결하는 과정에서 과학적 사고력, 문제 해결력, 탐구 능력 등을 키운다. 이때, 과학과 교육과정의 핵심역량과 연계된 교육과정이 이루어져야 하며, 추가적으로 최소 학업 성취수준의 진술문을 작성할 수 있어야 한다. 예를 들면, 과학과 교육과정 평가기준 중 고등학교 물리학 I의 ‘파동과 정보통신’ 단원에서 수행 활동과 판단 근거로, 교사의 현장 적합성 및 전문가의 타당성 검토를 통해 제시된 최소 학업 성취수준 진술문을 살펴보면 다음과 같다[44].

〈표 25〉 파동과 정보통신 학업 성취수준

단원	일반적 특성	수행 활동/판단 근거
파동과 정보통신	- 매질에 따라 파동의 파장과 속력이 달라지는 사례를 조사하고, 광통신 과정에서 전반사가 어떻게 이용되는지 설명한다. - 일상생활에서 전자기파가 사용된 사례와 파동의 간섭이 활용된 사례를 찾아본다. - 빛과 물질의 이중성에 대한 자신의 생각을 표현한다.	- 매질에 따라 파동의 파장과 속력이 달라지는 사례를 조사하는 활동에 참여한다.
		- 광통신 과정에서 전반사가 어떻게 이용되는지 이해한다.
		- 일상생활에서 전자기파가 사용된 사례를 안다.
		- 일상생활에서 파동의 간섭이 활용되는 사례를 찾아보는 활동에 참여한다.
		- 빛과 물질의 이중성에 대해 설명할 수 있다.

따라서 학습자 참여 중심으로 학업 성취수준을 재구성하여, 각 단원의 개념적 이해와 내용 계열화가 이루어지도록 하고, 기능과 서술에 대한 요소들이 함께 구성될

수 있어야 한다. 이를 통해 학습자는 일반적 특성을 보다 효과적으로 학습할 수 있다. 또한, 전문교과인 고급물리학도 앞서 탐구 분석한 과학1, 물리학I, 물리학II과 연계되어 이해 중심의 역량적 탐구활동이 이루어질 수 있는 학습이 필요하다.

V. 결론 및 제언

본 연구는 생성형 AI 시대에서 학생들이 필요로 하는 역량을 키울 수 있는 과학교육에서, 빛의 성질을 연구하고 이용하는 학문 분야인 광학에 대한 접근을 알아보고자 하였다. 이를 위해 빛의 입자와 파동에 대한 성질을 이해하는 교수-학습 및 교육 탐구 내용을 실제적 선행연구와 분석을 통해 살펴보고자 하였다.

본 연구는 연구 문제로부터 도출된 두 가지 측면에서 검토와 분석을 수행하였다. 첫째, 학문 지식 위주의 개념적 이해와 내용 계열화의 유형을 내용분석을 통해 검토하였다. 둘째, 요소별 구분에 따른 기능과 서술을 분석하였다. 본 연구의 중점적인 분석 대상은 2015 개정 과학과 교육과정에서 제시한 내용 체계와 성취기준을 중심으로 한다. 이에 따라 교육부에 의해 검정된 중학교 1학년 '과학' 교과서, 고등학교 '물리학 I' 교과서, '물리학 II' 교과서에서 빛의 입자와 파동 영역을 교수-학습 방법 및 이론을 근거로 수업 전개에 따른 내용을 구조화하고 분석하였다. 이를테면, '물리학 I'의 '파동과 정보 통신' 단위에서는 파동의 물리량 사이의 관계를 다루고, 파동의 굴절 현상, 전반사, 간섭 등 파동의 여러 특성을 학습한다. '물리학 II'의 '파동과 물질의 성질' 단위에서는 자연에서 발생하는 신호들이 전자기파를 통해 전달되는 과정을 설명하기 위해 전자기파의 다양한 성질을 이해하고, 교류 회로에서 전자기파의 발생과 안테나에서의 수신, 간섭, 회절, 도플러 효과, 볼록 렌즈에서 상의 형성 등을 학습하여 전자기파의 활용에 대해 학습이 이루어지고 있음을

확인할 수 있었다.

이에, 빛의 입자와 파동에 관한 내용을 학습하는 학생들의 이해를 제고할 수 있는 역량 중심 교수-학습 방법에 대한 방안을 구안하고자 분석 연구한 결과를 제시하면 다음과 같다.

첫째, 단위 분석 연구로 과학과 교육과정의 과학1, 물리학 I, 물리학 II의 빛과 파동 단원을 살펴보면, 과학1 '빛과 파동' 단위에서는 물체에서 반사된 빛이 눈으로 들어올 때 물체를 보는 과정, 영상 장치에서 삼원색의 빛을 이용하여 다양한 색의 빛을 표현하는 방법, 여러 가지 거울과 렌즈에서 생기는 상의 특징을 관찰하고 파동의 종류를 횡파와 종파로 구분하며 소리의 특징을 진폭, 진동수, 파형으로 학습하고 있음을 확인할 수 있었다.

둘째, 과학1, 물리학 I, 물리학 II에서 빛과 파동 단원의 개념적 이해 및 내용 계열화가 이루어졌는지에 대해 정성적 내용분석을 하였다. 학교급별 과학과 교육과정과 교과서, 수업 지도안을 통해 실생활에서 경험학습이 이루어지고 일관성 있는 수업 전개를 확인할 수 있었으며, 논리적 연계를 통해 계열화가 이루어져 내용이 체계적으로 구성되고 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, 기능과 서술 분석으로 과학1, 물리학 I, 물리학 II의 빛과 파동 단위에서 기능과 서술에 대한 요소별 분석을 하였다. 문제 인식 측면에서는 교과서에서 제시하는 문제를 이해하는 수준과 학생이 스스로 탐구를 시작하거나 자료에서 문제를 인식하는 경우, 오개념을 만들어낼 가능성이 없도록 탐구와 토의 활동을 통해 문제 인식을 유도할 수 있는 세심한 과정이 요구됨을 확인할 수 있었다.

본 연구의 이론적 배경으로 학교교육은 'OECD 교육 2030: 미래교육과 역량 프로젝트'의 방향 설정과 혁신을 통해 의도된 교육과정이 효과적으로 실행되고 교수-학습 활동이 이루어질 수 있는 교수자와 학습자의 역량과 특성에 대하여 탐색하였다. 이를 OECD 교육 2030 프로젝트의 학습프레임워크를 통해 살펴보고, 과학교육과정에서 빛의 입자와 파동 단위와 관련된 선행연구 분석을 통

해 확인하였다. 이를테면, 빛의 입자와 파동 영역은 학습자가 어려워하기도 하지만 다양한 오개념이 나올 수 있는 단원이기에 세심한 교수-학습 준비가 필요함을 인식할 수 있었다. 또한 학습자뿐만 아니라 교수자, 비전공자 등에서도 자칫 빛과 파동에 대한 올바르지 않은 과학적 오개념이 나올 수 있으며, 국내외 연구에서 유사한 혼선된 결과를 찾아볼 수 있음을 알게 되었다.

따라서 생성형 AI의 적용과 응용이 이루어지고 있는 과학교육에서는, 그 핵심역량인 과학적 탐구 능력, 과학적 사고력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등과 연계된 교육과정에서 더욱 정교한 교수 설계가 필요하다. 학습자는 단원의 핵심 질문을 해결하는 과정을 통해 과학적 사고력과 과학적 문제 해결력을 키우고, 탐구 과정을 통해 과학적 탐구 능력과 과학적 사고력을 향상시킨다. 또한, 프로젝트 활동과 같은 조사를 통해 과학적 문제 해결력을 기른다. 이 과정에서 역량 중심 교과교육의 의미를 확인하고, 빛과 파동 단원의 개념적 위계를 정리할 수 있어야 한다.

학교교육은 수업 탐구의 논리성과 경험학습 등 내재된 속성을 중심으로 경험적 선행과 흥미로 이어질 수 있으며, 개념적 지식과 기능이 어떻게 활용되고 환류가 이루어지는지에 대한 절차를 확인할 수 있다. 교과교육에서 교수자는 학습자가 탐구활동을 통해 학습 내용을 심층적으로 이해할 수 있도록, 학습자 개개인의 인지 수준에 맞추어 교수전략을 설계해야 하며, 과학교육의 특색을 반영하고 역량 중심의 학습 활동을 재구성하려는 접근이 필요하다.

연구 결과, 탐구 설계와 수행, 자료의 수집과 분석 및 해석, 수학적 사고와 컴퓨터 활용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가, 의사소통 등에서 기능과 서술이 전반적으로 잘 이루어지고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 학습 전개가 모형 개발로 이어질 수 있도록 세심한 기능적 교수 설계가 필요함도 확인되었다. 나아가, 학교교육이 교수-학습 과정에서 이론과 모형 학습을 통해 사실적 개념학습보다는 생성형 AI 응용과 함께 토론과

실습 등을 통해 단계적으로 전이가 가능한 탐구학습과 실험이 이루어지는 역량 중심 교과교육으로 발전하기를 기대한다.

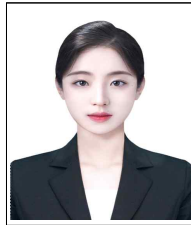
참고문헌

- [1] 교육부, “초 중등학교 교육과정 총론,” 세종: 교육부, 2015.
- [2] 교육부, “초 중등학교 교육과정 총론,” 세종: 교육부, 2022.
- [3] 교육부, “과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호[별책이],” 2015.
- [4] 교육부, “과학과 교육과정. 교육부 고시 제2022-33호[별책이],” 2022.
- [5] 교육부, “과학 계열 선택 과목 교육과정. 교육부 고시 제2022-33호[별책20],” 2022.
- [6] 김경주·조정원, “인공지능윤리교육의 국내 연구 동향 분석,” 디지털산업정보학회 논문지, 제19권, 제4호, 2023, pp.29-44.
- [7] 윤종혁·김은영·최수진·김경자·황규호·박은영, OECD 교육 2030: 미래교육과 역량을 위한 현황분석과 향후 과제, 한국교육개발원, 2016.
- [8] 백남진·온정덕, “빅 아이디어 중심 교과 교육과정에서 내용 체계와 성취기준의 연계 방식 탐구: 캐나다 BC주와 온타리오 주 사회과 교육과정을 중심으로,” 교육과정연구, 제39권, 제1호, 2021, pp.93-122.
- [9] 홍후조, 알기 쉬운 교육과정(제2판), 서울: 학지사, 2018.
- [10] OECD, The Future We Want, The Future of Education and Skills: Education 2030, 2018.
- [11] 오원근·김재우, “물리 전공이 아닌 중등학교 과학교사들의 빛과 파동 개념,” 새물리, 제52권, 제6호, 2006, pp.512-520.
- [12] 이재봉·남경운·손정우·이성목, “광선추적과 스펙

- 트럼에 대한 교사와 중학생의 개념 유형 분석,” 한국 과학교육학회지, 제24권, 제6호, 2004, pp.1189-1205.
- [13] Libarkin, J. C., Asghar, A., Crockett, C., & Sadler, P., “Invisible misconceptions: Student understanding of ultraviolet and infrared radiation,” *Astronomy Education Review*, Vol.10, No.1, 2011, pp.49-60.
- [14] 김경대 · 김지나 · 김광수 · 한병래, “예비 과학교사의 소리 파동 관련 오개념,” *새물리*, 제55권, 제6호, 2007, pp.397-408.
- [15] 김홍정 · 임성민, “탐구기반 물리실험 수업 전후 예비 물리교사의 힘 개념 이해변화에 대한 정량적 및 정성적 분석,” *새물리*, 제61권, 제1호, 2011, pp.26-35.
- [16] 이재봉 · 이성묵, “온라인 개념평가를 활용한 일반물리 수업 방안과 적용,” *새물리*, 제54권, 제4호, 2007, pp.269-277.
- [17] Even, C., Balland C., & Guillet, V., “Learning through experimenting: An original way of teaching geometrical optics,” *European Journal of Physics*, Vol.39, No.6, 2016.
- [18] Wittmann, M. C., Steinberg, R. N., & Redish, E. F., “Making sense of how students make sense of mechanical waves,” *The Physics Teacher*, Vol.37, No.1, 1999, pp.15-21.
- [19] 류수경 · 장현숙 · 최경희, “고등학교 「현대 물리」 단원의 광전 효과 개념에 대한 비유물 개발 수업의 효과,” *교과교육학연구*, 제12권, 제1호, 2008, pp.83-96.
- [20] Fetherstonhaugh, T., & Treagust, D. F., “Students’ understanding of light and its properties: Teaching to engender conceptual change,” *Science Education*, Vol.76, No.6, 1992, pp.653-672.
- [21] 권경필, “초·중학교 학생들의 빛의 이동경로에 대한 개념 및 일관성 비교,” *새물리*, 제61권, 제7호, 2011, pp.643-650.
- [22] 이형재 · 하지선 · 박상태, “평가 문항을 통한 중학교 과학영재 학생들의 빛개념 지식상태 분석,” *영재교육 연구*, 제21권, 제4호, 2011, pp.861-884.
- [23] Haagen-Schutzenhofer, C., “Students’ conceptions on white light and implications for teaching and learning about colour,” *Physics Education*, Vol.52, No.4, 2017.
- [24] Ramada, J., & Driver, R., “Aspects of secondary students idea about light: Children’s Learning in science Project,” Leeds, UK: Centre for Studies in Science and Mathematics Education, 1989.
- [25] 김도완 · 김지나, “빛과 파동에 관한 비유 만들기 학습 자료를 이용하여 중학생이 만든 비유물과 과학 개념의 대응 분석,” *교과교육학연구*, 제16권, 제4호, 2012, pp.1189-1209.
- [26] Selley, N. J., “Children’s ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*,” Vol.18, No.6, 1996, pp.713-724.
- [27] 오세일, “아동의 빛 개념 변화에 미치는 오개념 교정 수업의 효과,” *한국초등과학교육학회지*, 제13권, 제1호, 1994, pp.51-79.
- [28] Anderson, C. W., & Smith, E. L., *Children’s conceptions of light and color: Understanding the role of unseen rays*. East Lansing, MI: Michigan State University, 1986.
- [29] 조혜진, “2015 개정 과학과 교육과정에 따른 중등 교과서 내 빛과 파동 영역 탐구활동 분석,” *이화여자대학교 교육대학원 석사학위논문*, 2019.
- [30] 강남수, “과학 관련 사회적 쟁점(SSI) 토론 수업에서 생성형 AI의 활용이 고등학생의 담화 요소와 생성형 AI 활용에 대한 인식에 미치는 영향,” *한국교원대학교 대학원 석사학위논문*, 2024.
- [31] 안성원, “중학교 수송기술 단원 문제 해결 활동에서 생성형 AI를 활용한 수업자료 개발,” *한국교원대학교 교육대학원 석사학위*, 2024.
- [32] 한병래, “생성형AI를 활용한 STEAM·과학 점핑 프로젝트 초등 학습 사례,” *융합과학기술사회연구*, 제2권,

- 제1호, 2023, pp.27-34.
- [33] Bruner, J. S., *Toward a theory of instruction*, Cambridge, Mass.: Belkapp Press, 1966.
- [34] Vygotsky, L. S., *Mind in society: The development of higher psychological processes* Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- [35] Jonassen, D. H., *Designing constructivist learning environments*, In Reigeluth C.M.(Eds.), *Instructional-Design Theories and Models*, Vol.2, Lawrence Erlbaum, 1999.
- [36] Jonassen, D. H., "Supporting Communities of Learners with Technology: A Vision for Integrating Technology with Learning in Schools," *Educational Technology*, Vol.35, No.4, 1995, pp.60-63.
- [37] Linderman, E. C., "The Meaning of Adult Education, New York: New Republic," 1926. Republished in a new edition in 1989 by The Oklahoma Research Center for Continuing Professional and Higher Education.
- [38] Lewis, L.H. & Williams, C.J., In Jackson, L. & Caffarella, R.S. (Eds.), "Experiential Learning: A New Approach," San Francisco: Jossey-Bass, 1994, pp.5-16.
- [39] Dewey. J., Jeong. H.(Translation), *How We Think*, 1910. by John Dewey. Lifelong Learning Books, 2007.
- [40] Millar, R. H., Le Marechal, J. F., & Tiberghien, A., "Mapping the domain varieties of practical work," In J. Leach & A. C. Paulsen (Eds.), "Practical work in science education: Recent research studies," Denmark: Roskilde University Press, 1999, pp.33-59.
- [41] 박현주 · 배정주 · 조계승, "화학 I 교과서의 학습 목표 및 평가 문항 분석," *대한화학회지*, 제56권, 제4호, 2012, pp.491-499.
- [42] 정병호 · 김병초, "빅데이터 분석의 역량 강화를 위한 거꾸로 교실 설계 연구," *디지털산업정보학회 논문지*, 제13권, 제2호, 2017, pp.127-145.
- [43] Wiggins, G., & McTighe, J., *Understanding by design*(2nd Ed.), Association for Supervision and Curriculum Development, 2005.
- [44] 노은희 · 이광우 · 김진숙 · 신향수 · 변희현 · 주형미 · 김영은 · 지영래, *고교학점제 도입에 따른 고등학교 교과 이수 기준 설정 방안 탐색*, 한국교육과정평가원, 2019.

■ 저자소개 ■



박 소 민
(Park Somin)

2023년 3월~현재
고려대학교 교육학과
석박사통합과정

관심분야 : 교육과정학, 교과교육론
E-mail : belle97@korea.ac.kr



홍 후 조
(Hong Hoojo)

2003년 3월~현재
고려대학교 교육학과 교수
1996년 2월 Univ. of Wisconsin-Madison
Curriculum and Instruction
(교육학박사)
1986년 2월 고려대학교 교육과정학전공
(교육학석사)
1984년 2월 고려대학교 교육학과(문학사)

관심분야 : 학교급별 주제별 대상집단별 교육과정
기준 총론 개발, 교육실제 기반 교육정책
E-mail : educu@korea.ac.kr

논문접수일 : 2024년 7월 27일
수정접수일 : 2024년 8월 16일
게재확정일 : 2024년 9월 01일