creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

교육학석사 학위논문

물리 교과 내용 지식 체계에서 ‘빛’ 의 역할에 대한 탐색

- 『The Evolution of Physics(1938)』 중심으로 -

2022년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리 전공

이 다 민

물리 교과 내용 지식 체계에서 ‘빛’ 의 역할에 대한 탐색

- 『The Evolution of Physics(1938)』 중심으로 -

지도교수 이 경 호

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함
2021년 12월

서울대학교 대학원
과학교육학과 물리전공
이 다 민

이다민 의 석사 학위논문을 인준함
2022년 1월

위 원 장 _____ 전 동 렬 _____ (인)

부위원장 _____ 송 진 웅 _____ (인)

위 원 _____ 이 경 호 _____ (인)

국 문 초 록

빛은 공기와 물을 순환시키는 에너지이기 때문에 많은 과학자는 가장 중요한 생명의 근원으로 여겨진다. 태초에 빛은 존재하였고, 빛의 본질이 무엇인지에 대한 탐구와 연구는 물리학, 철학, 의학 등 여러 분야를 걸쳐 끊임없이 이어져 왔다. 인류는 과학 기술의 진보로 인해 인간의 눈에 보이는 빛에서부터 적외선, 자외선 등을 포함한 보이지 않는 빛을 활용하여 다양한 기술들을 갖게 되었다. 그리고 원자에서 우주까지 엄청난 규모의 자연 현상을 더 잘 이해하기 위한 주요수단이라고 할 수 있다. 즉 빛을 통하여 훨씬 더 풍부한 자연과 우주의 모습을 관찰하고 알아가고 있다.

이에 본 연구에서는 물리학 지식 체계에서 빛의 중요한 역할이 무엇이며, 현 교육과정 물리학 교과 내용에서 어떻게 담아내고 있는지 확인해 보고자 하였다. 또한, 현 과학교육에서 강조되고 있는 과학적 소양 함양을 위한 과학 내용이 어떻게 구성되어야 하는지 대해서도 논의하였다.

빛은 과학자들에게 항상 깊은 영감을 불러일으키는 존재이다. 위대한 과학자 아인슈타인 역시 젊은 시절 빛과 같은 속도로 날아가는 모습을 상상하면서 빛에 대해 고찰하였다. 빛의 고찰로부터 오늘날 위대한 과학 이론을 탄생시킨 아인슈타인의 생각과 관점이 잘 반영된 아인슈타인과 인펠트의 저서 『The Evolution of Physics』(이하, EoP)의 빛과 관련된 내용 지식 체계를 살펴보았다.

학교 교육의 목표는 교육과정에 의해 구체화 되고 교육과정을 통해 실현되므로 교육과정을 개발하고 구성하는 일은 교육내용의 선정 과정을 중심으로 이루어진다. 본 연구에서는 <2015 개정 과학과 교육과정> 선택

교육과정 물리학 I 교과의 빛과 관련된 내용 지식 체계를 분석하고자 하였다.

이에 따라 첫 번째 연구 결과로는, EoP 분석을 통하여 DC 구조도(Tseitlin & Galili, 2005; Galili, 2012)측면에서 빛의 역할을 분석하는 것이었다. 분석 결과, 빛은 물리학의 새로운 관점을 여는 데 중요한 역할을 하는 개념이었음을 확인하게 되었다. 즉, 빛은 역학적 관점(고전적)과 장의 관점(고전적)을 거쳐, 역학적 관점(양자적)으로 이어지는 물리학의 주요 관점과 긴밀한 관련이 있었다. 또한 각 관점에 해당하는 물리학 영역의 핵심 아이디어를 형성하고 연결하는 데 중요한 역할을 하고 있음을 확인할 수 있었다. 더불어, 물리학 지식 체계도를 통해 빛의 역할이 역학적 관점(고전적)과 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적) 3가지 관점을 어떻게 관통하며 주요한 요소들을 연결하는지를 확인할 수 있었다.

두 번째 연구는, <2015 개정 과학과 교육과정> 선택 교육과정 물리학 I의 내용 지식 체계를 분석하는 것이었다. 분석 결과, 교육과정에 담긴 빛의 내용은 빛의 본질을 다루는 내용이라기보다는 빛이 정보 통신 기술에 활용되는 도구로서의 의미를 부각하는 내용임을 확인할 수 있었다. 교과서에서는 단순히 빛의 이중성 개념들이 나열되었고, 전하 결합 소자(CCD), 투과 전자 현미경(TEM) 등 첨단 기술과 관련이 있다는 정도로 언급되었다. 즉, 단편적이고 피상적인 수준의 내용 지식 체계라고 판단되었다. 즉 교과서에서는 빛의 역할이 첨단 기술을 이해하는 수단으로써의 역할로 기술되었다.

주요어 : 2015 개정 교육과정, 빛, 내용 지식 체계, 지식의 구조, 고등학교 물리학 교과서

학 번 : 2019 - 23305

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1

1. 연구의 필요성 ····· 1

2. 연구 문제 ····· 7

Ⅱ. 선행연구 및 이론적 배경 ····· 8

1. ‘빛’ 교육 관련 선행연구 ····· 8

2. 과학적 소양 ····· 12

3. 물리 교과 지식의 구조 ····· 15

Ⅲ. 『The Evolution of Physics』에서 ‘빛’의 역할 ·· 23

1. 연구 방법 ····· 23

1.1 연구 대상 ····· 23

1.2 연구 절차 ····· 27

2. 연구 결과 ····· 33

2.1 『The Evolution of Physics』 DC 구조도 ····· 34

2.2. 『The Evolution of Physics』 내용 지식 체계도 ····· 41

3. 요약 ····· 66

Ⅳ. <2015 개정 교육과정>에서 ‘빛’의 역할 ····· 68
1. 연구 방법 ····· 68
1.1. 연구 대상 ····· 68
1.2. 연구 절차 ····· 81
2. 연구 결과 ····· 87
2.1. < 2015 개정 과학과 교육과정 > 내용 체계 ····· 87
2.2. 2015 개정 교육과정 물리학 I 분석 ····· 98
3. 요약 ····· 116

Ⅴ. 요약 및 논의 ····· 118
1. 요약 ····· 118
2. 논의 ····· 121

참고문헌 ····· 122
Abstract ····· 129

표 목 차

[표 Ⅲ -1] 연구 1의 분석 대상 및 범위 ····· 26
[표 Ⅲ -2] EoP 분석을 위해 추출한 분석 범위 ····· 30
[표 Ⅲ -3] Klassen(2014)의 플롯 구조 ····· 32
[표 Ⅲ-4] 관점별 개념도에 활용된 기호의 정의 ····· 41
[표 Ⅲ-5] EoP의 플롯 구조1 ····· 43
[표 Ⅲ-6] EoP의 플롯 구조2 ····· 46
[표 Ⅲ-7] EoP의 플롯 구조3 ····· 49
[표 Ⅲ-8] EoP의 플롯 구조4 ····· 52
[표 Ⅲ-9] EoP의 플롯 구조5 ····· 54
[표 Ⅲ-10] EoP의 플롯 구조6 ····· 56
[표 Ⅲ-11] 관점에 따른 입자와 파동 개념 ····· 61
[표 Ⅳ -1] 연구2의 분석 대상 및 범위 ····· 78
[표 Ⅳ -2] 교육과정 문서의 '3. 내용 체계 및 성취기준' 의 '가. 내용 체계' ····· 79
[표 Ⅳ -3] 물리학 Ⅰ 교과서 분석 대상 ····· 80
[표 Ⅳ -4] 물리학 Ⅰ 8종 교과서별 단원구성 - Ⅰ. 역학과 에너지 ····· 88
[표 Ⅳ -5] 물리학 Ⅰ 8종 교과서별 단원구성 - Ⅱ. 물질과 전자기장 ····· 90
[표 Ⅳ -6] 물리학 Ⅰ 8종 교과서별 단원구성 - Ⅲ. 파동과 정보통신 ····· 92

그 림 목 차

[그림 Ⅱ -1] 학문-문화 구조도(Discipline-Culture Structure) ····· 21
[그림 Ⅱ -2] 물리학을 구성하는 학문-문화 구조도 ····· 22
[그림 Ⅲ-1] White & Marsh(2006)의 질적 내용 분석 과정 ····· 27
[그림 Ⅲ-2] 모든 내용 지식을 나타낸 DC 구조도 ····· 37
[그림 Ⅲ-3] 빛 중점 내용 지식을 나타낸 DC 구조도 ····· 40
[그림 Ⅲ-4] 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도 : 관점 및 주제어를 중심으로(상세도) ····· 58
[그림 Ⅲ-5] 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도 : 관점 및 주제어를 중심으로(핵심 요약) ····· 59
[그림 Ⅲ-6] 빛에 대한 지식의 발전에 대한 큰 그림. 각 시기에서 지배적인 이론들은 중요한 관점으로 표시 ·· 65
[그림 Ⅳ -1] 2015 개정 과학과 교육과정 '일러두기' ·· 71
[그림 Ⅳ -2] 선택 교육과정 물리학 I의 '1. 성격'과 '2. 목표' ····· 73
[그림 Ⅳ -3] 선택 교육과정 물리학 I의 '3. 내용 체계 및 성취기준' ····· 75
[그림 Ⅳ -4] 선택 교육과정 물리학 I의

‘4. 교수•학습 및 평가의 방향’ ····· 77
[그림 Ⅳ -5] White & Marsh(2006)의 질적 내용 분석 과정
····· 81
[그림 Ⅳ-6] 교육과정 물리학 Ⅰ 내용 구성도 ····· 96
[그림 Ⅳ-7] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 대단원
‘Ⅰ. 역학과 에너지’ 도입 ····· 99
[그림 Ⅳ-8] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 중단원
‘Ⅰ-3. 시공간의 이해’ 도입 ····· 101
[그림 Ⅳ-9] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 소단원
‘01. 특수상대성 이론’ ····· 102
[그림 Ⅳ-10] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 대단원
‘Ⅱ. 물질과 전자기장’ 도입 ····· 104
[그림 Ⅳ-11] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 중단원
‘Ⅱ -1. 물질의 구조와 성질’ 도입 ····· 106
[그림 Ⅳ-12] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 소단원
‘02. 에너지의 준위’ 도입 ····· 107
[그림 Ⅳ-13] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 대단원
‘Ⅲ. 파동과 정보 통신’ 도입 ····· 108
[그림 Ⅳ-14] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 중단원
‘Ⅲ -1 파동과 통신’ 도입 ····· 110
[그림 Ⅳ-15] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 소단원
‘02. 전반사와 광통신’ 도입 ····· 112
[그림 Ⅳ-16] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 소단원

‘03. 전자기파’ 도입 ····· 114
[그림 Ⅳ-17] 물리학 Ⅰ 교과서(미래엔, 2018)의 소단원
‘01. 빛의 이중성’ 도입 ····· 115

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성

1905년 아인슈타인은 1년 동안 특허 사무소에서 근무하면서 빛이 파동이란 논리를 깨는 빛의 입자설에 근거한 광전효과를 설명하는 논문, 분자나 원자의 존재를 실험적으로 검증할 수 있는 이론적 틀을 마련한 브라운 운동에 대한 논문, ‘움직이는 물체의 전기역학에 대하여’라는 제목으로 특수상대성이론에 관한 논문 총 3편을 발표하였다. 3편의 논문 모두 물리학의 근본적인 변화를 이끈 내용이므로 과학자들은 1905년을 기적의 해라고 부르게 되었고, 100년이 지난 2015년 UN은 세계 물리의 해로 지정해 아인슈타인의 업적을 기념한 바 있다. 이때 현대 과학의 기반을 이루고 있는 아인슈타인 이론들의 중심에는 빛이 자리 잡고 있다. 따라서 아인슈타인의 업적을 기리는 의미로, 세계 각국 10만여 명이 참가하는 가운데 그가 말년을 보낸 미국의 프린스턴에서 출발한 빛은 지구 전역을 한 바퀴 돌아 다시 프린스턴으로 돌아가는 빛의 릴레이가 펼쳐졌다. 또한, 2015년 UN은 광학 분야의 업적을 집대성한 이슬람의 과학자 이븐 알 하이삼(Iba al-Haytham)의 저서 『광학의 서(書)』를 출간한 지 1000년이 된 해를 기념하여 ’세계 빛과 광기술의 해 (International Year of Light and Light-based Technologies)’로 지정하였다(고재현, 2020). 그리고 2018년 5월 16일 UN은 1960년에 레이저를 성공적으로 작동시킨 날로 인류가 처음으로 빛을 제어했다는 의미를 부여하여 매년 5월 16일을 세계 빛의 날로 제정하였다. 이처럼 21세기에 들어 빛은 더욱더 인류의 삶과 사회 발전에 중요한 역할을 해왔기 때문에 빛의 중요성이 강조되고

있다.

빛에는 여러 가지 신비한 현상이 있으며 일상생활에서 쉽게 빛과 관련된 자연 현상을 찾아볼 수 있다. 예를 들면 하늘의 색깔은 낮에는 푸르게 보이지만 저녁 시간에는 붉은색으로 보인다. 불가사의한 이런 현상은 빛의 산란을 통해 관찰될 수 있다. 이봉우(2017)는 광학적 현상은 심미적 관점에서 흥미로운 현상을 나타내기 때문에 물리의 어려움을 감소시킬 수 있는 영역이라고 하였다.

외부를 인식하는 결정적인 수단인 빛의 정체에 대해서는 근대 과학의 아버지 아이작 뉴턴을 비롯해 수많은 과학자가 그것을 규명하기 위해 역사상 가장 오랜 시간 동안 되풀이된 과학적 논쟁이자 연구 대상이 되어왔다(이봉우, 2017). ‘빛은 파동인가, 빛은 입자인가?’라는 역사 깊은 논쟁을 비롯해, 빛에는 우리 눈에 보이는 가시광선 말고도 다양한 종류가 있다는 사실 등, 시대의 흐름과 과학의 발달에 따라 빛의 영역은 계속 넓어졌다. 빛은 외부 세계의 인식 수단뿐만 아니라, 오늘날 정보 통신의 시대로 빠르고 정확한 정보를 전달하는 도구로서 광통신의 역할의 중요성은 강조되고, 내시경이나 X-ray 등 기본적으로 모든 의료기기에서 광학적 요소는 빼놓을 수 없는 부분이다. 광 디스크, 광통신 등의 광전자공학에 응용되어 우리 생활에 깊이 관계하고 있으므로 21세기의 첨단기술 분야에서는 ‘빛’이 주역의 역할을 할 수 있다. 이처럼 물리의 여러 분야 중에서 특히 빛은 눈에 보이는 세상뿐만 아니라 보이지 않는 세상까지 과학 탐구의 대상이 되고 있다. 하지만 이러한 빛의 중요성이 두드러지고 있음에도 불구하고 광학은 물리교육에서 소홀하게 다루어져 대부분의 물리 교육과정에서의 내용은 역학과 전자기학이 차지하고 있다(이인호, 2005). 또한, 학생들은 다른 물리 영역과 비교해 ‘빛’과 관련된 내용은 물리학의 주변부로 인식되는 가운데 단순히 공식과 지식을

암기하여 문제를 해결하는 영역으로 인식되고 있다(윤은미, 2013).

한편, 교육과정학은 1918년 Bobbitt의 『The Curriculum』이 출판된 이후 연구 영역으로 자리 잡기 시작하여 현재까지 100여 년이 넘는 역사 속에서 다양한 주제들로 확장하여 성장하였다(박민정 & 성열관, 2011). 그 가운데 교육과정 연구에 있어서 '학교 교육을 통해 교사들은 무엇을 가르치고 학생들은 무엇을 배울 것인가?' 즉, 교육내용에 대한 탐색으로부터 출발하여 지금까지 핵심 문제가 되어 왔다(소경희, 2017). 그러므로 교육과정 문서가 제시하고 있는 교육내용은 교과 전문가들의 의사결정 과정에 의해 선택되거나 배제되어 정선된 내용으로 받아들여지고 가르쳐지므로 교육내용을 선정하고 조직하는 일은 교과과정 개발자들의 가장 중요한 부분이다. 따라서 학교에서 무엇을 가르칠 것인가에 대한 답은 과거부터 지금까지 교육내용이나 지식을 어떤 것으로 보는지에 많은 영향을 받아왔다(임유나 & 홍후조, 2016).

우리나라의 교육개혁에서 기존의 교육과정은 학생들에게 단지 지식을 아는 상태에 그쳐 지식을 적용하거나 활용하는 능력을 길러주기에 적합하지 않았기 때문에 지식 중심에서 역량 중심으로 구성되어야 한다는 필요성이 제기되어 2009 개정 교육과정부터 학생들에게 미래 사회에 적합한 역량을 길러주어야 한다는 것이 강조되어 왔다(백남진 & 온정덕, 2014).

2009 개정 교육과정에 이어 2015 개정 교육과정은 미래 사회의 변화에 대응하기 위한 국가•사회적 요구를 학교 교육과정에 반영하는 가운데 '창의 융합형 인재 양성'을 주된 목표로 삼았다(교육부, 2015). 이러한 방향성을 토대로 2015 개정 교육과정의 비전은 '미래 사회가 요구하는 창의 융합형 인재 양성'과 '학습 경험의 질 개선을 통한 행복한 학습의 구현' 2가지로 정리할 수 있다(황규호, 2015).

창의 융합형 인재 양성 비전을 구현하기 위한 주안점은 '인문•사회•과학 기술 기초 소양을 균형 있게 함양하기 위한 교육과정' 개발이다. 이와 더불어 우리나라 교육의 근본적인 문제점으로 단편 지식의 암기 위주 교육과 문제 풀이 중심 교육의 문제, 과도한 학습량과 지나친 경쟁으로 인한 학습 부담 증가 문제 등이다. 앞서 제기된 문제들을 개선하기 위한 교육과정 개정의 방향을 검토하는 가운데, 기본 과제를 행복한 학습의 구현을 위한 '학습 경험의 질 개선'을 교육과정 개정의 기본 방향으로 설정하였다. 이를 토대로 구체적인 교육과정 개정 과제는 3가지로 정리하였다. 첫째, 교과별 학습 내용을 핵심 개념 중심으로 구조화하여 의미 있는 학습 경험을 가능하게 하고 분절적 단편 지식 중심의 교육과정에 의해 나타나는 학습량 과다의 문제를 근본적이고 실질적으로 개선한다. 둘째, 학습 내용 요소들의 상호관련성을 이해할 수 있도록 학습 내용 조직 방식을 개선하며, 특히 세부 학습 영역을 아우르는 큰 그림에 대한 이해가 가능하도록 교과 내•교과 간 학습 내용의 연계성을 강조한다. 셋째, 교과별 탐구역량과 사고역량을 명료하게 제시하고 이에 대한 체계적인 지도 방법을 안내한다(교육부, 2015).

과학과 교육과정을 살펴보면, '과학' 교과는 자연 현상과 사물에 대해 호기심과 흥미를 갖고, 과학의 핵심 개념에 대한 이해와 탐구 능력의 함양을 통해서 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기르는 취지로 개발이 진행되었다(교육부, 2015).

여기서 과학적 소양(Scientific Literacy)이란 Hurd가 1958년 과학교육과 관련지어 처음 도입한 용어로 '과학자 육성을 위한 엘리트 중심 과학교육'으로부터 '일반인들의 과학에 대한 이해'라는 방향성 가지고 과학교육 운동이 구체화 되었다(신동희, 2004). 과학적 소양의 추구는 과학적 개념 지식 자체를 강조하기보다는 인간의 삶에 과학이 어떤 역할을 하는

것인지에 대한 이해를 강조한다(Bybee, 1997).

과학적 소양은 국내외 과학교육의 중요한 목표로 자리매김하고 있는 가운데 과학적 소양을 위한 과학교육 내용이 무엇으로 구성되어야 하는가에 대한 논의가 다양하게 이루어져 왔다(Bybee, 1997; 이재봉, 2010). 이러한 과학적 소양을 함양하기 위해서는 과학의 본질을 다루는 내용이 흩어지지 않고 조화롭게 구성되어야 한다(홍혜진, 2020).

앞서 언급한 2015 개정은 '학습 경험의 질 개선'이라는 목표를 가지고 교과별 학습 내용을 핵심 개념 중심으로 구조화하고 학습 내용 요소들의 상호관련성을 이해할 수 있도록 학습 내용 조직 방식을 개선 방향을 설정하고 개정되었음에도, 2015 개정 교육과정의 내용 체계는 여전히 지식 위주로 구성되었다는 비판을 받았다(임유나 & 홍후조, 2016). 즉, 이전과 같이 여전히 지식 위주의 구성에 초점이 맞추어져 있으며 분절적이고 단편적으로 내용이 구성되어 있다는 문제는 해결되지 않았다. 또한 < 2015 개정 과학과 교육과정 >은 과학 지식과 과학을 둘러싼 맥락이 단절되는 가운데 교육내용 제시되어 과학적 소양을 고려하는 교육내용으로 구성될 필요가 있다고 하였다(홍혜진, 2020).

한편, 여러 번의 교육과정 개정이 이어져 온 가운데 과학교육 개선과 관련된 연구들이 다양하게 진행됐다. 진행된 연구들은 교육과정을 평가하기 위한 연구의 형태이거나 과학교육의 전반적인 문제를 개선하는 방안에 관한 연구였다. 과학교육에서의 '내용'의 문제 즉, 본질적으로 과학 교과 내용이 구조적으로 가지고 있는 문제점에 관한 연구는 충분하지 않았으며 과학교육에서도 '교육내용'의 의미와 개선 방안을 논의할 필요가 있음을 밝혔다(이재봉, 2010). 또한, 학교 교육에서 지식 교육이 차지하고 있는 비중은 매우 높으므로 지식을 어떻게 보고, 어떻게 가르치고, 어떻게 조직하는가 하는 문제는 교육과정 이론에서의 핵심적인 문

제라고 할 수 있다. 이에 본 연구자는 교육과정 개발 및 연구 가운데 과학 교육과정 부분에서 교육과정이 추구하는 목표를 달성하기 위하여 과학교육의 내용구성과 지식 체계에 관한 본질적인 연구가 다루어져야 한다고 생각하였다.

과학교육의 내용구성과 지식 체계에 관하여 구체적인 대안을 탐색하였다. 한 가지의 시도로 '빛'의 개념을 고찰하여 위대한 이론을 탄생시킨 아인슈타인의 저서이자 상대성이론뿐만 아니라 역학법칙의 변화를 잘 담아내며 물리학의 개념과 원리의 의미를 깊게 생각하여 쓰인 책이라 평가(이서지, 2019)된 『The Evolution of Physics』(이하 EoP) '빛'에 관한 내용구성을 살펴보고자 하였다. 또한, 2015 개정 교육과정에서 빛의 내용구성과 체계를 분석하는 연구를 수행하고자 하였다.

2. 연구 문제

본 연구의 목적은 최근 빛의 중요성은 더욱이 강조되고 있는 시점에 물리교육 측면에서 교육과정의 목표와 방향성에 맞게 빛의 내용이 구성되고 있는가를 중점으로 진행하였다.

첫 번째 연구에서는 '빛'을 고찰하여 위대한 이론을 탄생시킨 과학자 아인슈타인의 관점에서 '빛'의 역할이 무엇인지 확인하고자 하였다.

두 번째 연구에서는 '빛'에 관하여 < 2015 개정 과학과 교육과정 >의 내용 체계를 살펴보는 가운데 '빛'의 역할이 무엇인지 확인하고자 하였다.

본 연구에서는 구체적으로 다음과 같은 연구 방법을 따른다.

첫 번째 연구에서는 아인슈타인과 인펠트의 공동 저서 『The Evolution of Physics』을 분석 대상으로 선정하고, 본문의 내용 지식 체계를 '빛'을 중심으로 살펴보고, 구조도와 지식 체계도를 작성하여 빛의 역할을 파악한다.

두 번째 연구에서는 < 2015 개정 과학과 교육과정 >을 분석 대상으로 선정하고, 선택과정 물리학 I의 내용 체계를 '빛'을 중심으로 살펴보고, 교육과정 물리학 I 내용 구조도를 작성하여 빛의 역할을 파악하고 교과서 8종 가운데 1종을 택하여 구체적으로 내용 지식 체계를 살펴보았다.

이를 토대로 본연구문제는 다음과 같다.

1. 『The Evolution of Physics』의 내용 지식 체계에 있어서 '빛'의 역할은 무엇인가?
2. < 2015 개정 과학과 교육과정 > 선택과정 물리학 I의 내용 지식 체계에 있어서 '빛'의 역할은 무엇인가?

Ⅱ. 선행연구 및 이론적 배경

1. ‘빛’ 교육 관련 선행연구

광학은 역학과 전자기학보다 주변부로 인식되면서 물리교육 측면에서 소홀하게 다루어져 왔다. 이에 따라 빛에 관련하여 학생들과 교사들의 개념에 관한 연구가 활발하게 진행되지 않았고, 7차 교육과정의 중학교 과학1에 ‘빛’ 단원이 도입됨에 따라 관련된 연구가 늘어나기 시작하였다(이인호, 2005). 이에 따라 빛과 관련하여 교육적인 연구는 진행된 연구들은 빛의 개념 및 성질의 인식과 개념 변화에 관한 연구, 빛의 성질 이해하기 위한 실험•수업 개발 연구 등으로 구분할 수 있다.

빛 개념은 파동성과 입자성의 성질을 동시에 가지고 있는 이중성으로 설명되며 본질적으로 추상적이기 때문에 학생들이 이해하는데, 어려움을 겪는다(정혁 외, 2004). 이에 따라 학생들뿐만 아니라 교사들의 빛 개념 인식과 이해에 관한 연구가 진행되어왔다(이재봉, 2004; 이인호, 2005; 김민영, 2015).

이재봉 외(2004)는 중학교 교사 10명과 이들 교사에게 배운 328명의 7학년 학생들을 대상으로 하여, 7학년 교육과정 ‘빛’ 단원을 수업한 후 광선추적과 스펙트럼에 대한 개념 검사를 시행하였다. 연구 결과, 교사 대부분과 학생들은 물체의 상이 생기는 근본원리에 대해 알지 못하였다. 또한, 색에 대하여 학생과 교사들은 ‘색은 원래 그렇다’라고 이해하고, 대부분 학생은 색과 빛의 혼합에 대해 단순히 암기하고 있는 것으로 나타났다.

이인호 외(2005)는 서울 소재 대학교 물리 예비교사 대학생 40명을 대

상으로 하여 빛의 간섭과 회절에 관련된 개념 검사를 진행하였다. 연구 결과, 빛의 간섭과 회절에 관하여 학생들이 가지고 있는 오개념은 직관적 신념, 불확실한 경험, 취약한 기반 지식, 교과서나 교사의 설명 등 외적 요인, 학생들의 행동적인 요인 측면에서 발생한 것을 확인할 수 있었다. 이 가운데 학생들이 빛의 간섭과 회절에 관하여 오개념을 갖게 되는 행동들로는 문제의 상황을 파악하기보다는 공식을 먼저 떠올리고, 정성적인 설명도 공식화하여 개념화하고 있는 것으로 나타났다.

빛의 회절무늬에 대하여 학생들은 문제 상황을 파악하기도 전에 단순히 암기하였던 공식을 먼저 떠올리고 적용하려는 경향이 있음을 확인할 수 있었다. 또한, ‘슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 잘 일어난다.’라는 개념과 ‘회절무늬가 잘 나타난다.’라는 현상을 관련지어 ‘슬릿의 폭이 작으면 회절이 잘 일어나고, 회절이 잘 일어나면 회절무늬가 잘 나타난다’라는 식으로 공식화하여 빛의 회절 현상을 개념화하고 있음이 확인되었다.

김민영 외(2015)는 중학교 2, 3학년 과학 수업을 진행하고 있는 교사 3명과 중학교 2학년 48명, 3학년 54명을 대상으로 빛에 대한 인식 및 이해 정도에 대해 검사를 시행하였다. 연구 결과, 일부 학생들은 빛 없이도 물체를 볼 수 있다고 인지하였으며 광원의 필요성은 어느 정도 인지하고 있었지만, 빛이 물체에 닿아 반사되어 우리 눈에 인지되는 것에 대한 과학적 개념이 정확하게 형성되어 있지 않음이 확인되었다. 또한 적외선과 자외선, 그리고 가시광선의 차이점을 정확하게 구분하지 못함이 확인되었다. 교사의 경우에는 빛이 없다면 물체를 정확하게 인지할 수 없다는 과학적 개념은 있지만, 원리에 대한 논리적인 설명이 부족함이 드러났으며, 대부분은 물체를 인식하는 과정에 대해 올바른 과학적 개념을 형성하고 있지만, 일부 교사의 경우 ‘광원에서 나온 빛이 우리 눈에

닿으면 물체를 인식할 수 있다’ 하는 등의 원리에 대한 정확한 이해가 부족함이 나타났다. 적외선이 이용되는 곳이 무엇인지에 대해 질문하는 모습을 보였고 인간에 눈에 보이지 않는 빛이라는 것은 인지하고 있지만, 적외선에 대한 정확한 이해는 부족한 것을 알 수 있었다. 학생들과 같이 자외선에 대한 정확한 개념 형성이 이루어져 있지 않음이 드러났다.

현재 빛의 성질과 광학적 자연 현상을 효과적으로 학습하고 이해하기 위한 광학실험 개발 및 수업 연구가 진행되었다(윤은미, 2013; 허재혁, 2015).

윤은미(2013)는 간섭과 회절은 빛의 성질의 중요한 개념임에도 불구하고 개념 학습의 어려움을 겪고 있으며 깊은 이해에 도달하지 못하고 있음을 발견하고, 컴퓨터 기반 광학실험을 개발하였다. 서울 소재 대학교 물리교육 전공 대학생 18명의 학생을 9명씩 두 집단으로 나누었다. 실험군에는 컴퓨터 기반 광학실험을, 대조군에는 일반적인 광학실험을 진행하여 실험 방법을 달리하는 가운데 사전검사와 사후 검사를 진행하였고, 두 집단의 차이를 분석하였다. 연구 결과, 보다 학생들이 간섭과 회절 개념이 객관적인 컴퓨터 기반 광학실험을 진행한 집단이 일반적인 광학실험을 진행한 집단보다 과학적으로 정립되었고, 현상과 이론을 연관 짓는 데 효과가 있음을 나타냈다.

허재혁(2015)은 자연 현상에 대한 예시 현상[1)]을 연구함으로써 학생들

---

1) 예시 현상(example phenomenon)
개념을 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 다양한 예가 사용된다. 조광희(2010)는 ‘예’는 실제로 개념의 속성을 포함하는 대표적인 현상이나 사물을 뜻하며, 예를 개념과 관련지어 제시하거나 설명하는 과정까지 언급해야 할 때는 ‘예시’라고 하였다. John(2007)은 ‘예시 현상’은 개념을 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 복잡한 현상을 이상적인 경우를 소개하고 설명하며 평가하기 위하여 복잡한 현상을 이상적인 경우를 상정하여 단순화한 현상이라고 하였다.

의 물리 개념을 연구하고자 하는 가운데 무지개, 달무리[2] 현상은 빛의 일반적인 성질인 반사, 굴절로 설명 가능하며, 코로나[3] 현상은 회절로 설명할 수 있다. 이러한 자연 현상은 실생활 속에서 경험할 수 있는 현상임에도 불구하고 학생들의 이해가 낮은 점을 개선하고자 관련 실험 수업을 개발하였다. 서울 소재 대학교에서 물리교육을 전공하고 있는 대학생 13명을 대상으로 연구를 진행하였다. 연구 결과, 관련 실험을 통해 학생들의 이해도가 개선되고 과학적인 개념이 형성됨을 확인할 수 있었으며, 특히 코로나 예시 현상 실험은 빛의 파동에 의해 나타나는 회절 현상의 이해에 큰 도움을 주었다. 또한, 복잡한 자연 현상을 실험실에서 탐구하고 간단한 원리로 설명할 수 있는 실험으로 학생들의 물리에 대한 흥미와 호기심을 끌어낼 수 있었음이 나타났다.

지금까지 소개된 연구들은 광학 교육 연구에 있어서 학생들과 교사들의 빛의 개념과 개념 변화, 빛의 성질 이해를 위한 교수• 학습에 관한 연구였다. 교육과정에서 있어서 교과의 본질적인 내용 연구의 필요성을 제기하였다. 이에 따라 과학교육에 있어서 빛과 관련된 내용의 범위와 지식 체계 분석에 관한 연구가 진행되어야 할 필요가 있음을 확인하였다.

---

2) 달무리 현상

추운 겨울에는 공기 중의 물방울들이 얼어 빙정이 되기 때문에 물방울에 의한 무지개를 관측하기가 어렵다. 대시 이 빙정에 의해 다른 자연 현상을 관측할 수 있다. 정육각 기둥의 빙정에 의해 달빛이 굴절하여 달 주위에 동그란 빛의 띠가 나타나는 현상을 에일로(Halo) 또는 달무리라고 한다.

3) 코로나 현상

코로나(Corona)는 태양이나 탈의 주변에 나타나는 연속적인 여러 색의 띠이며 공기 중에 퍼져 있는 작은 원형 물방울들에 의해 태양 빛이나 달빛이 회절하여 나타나는 현상이다. (허재혁, 2015)

2. 과학적 소양

우리나라 과학교육 과정은 미국 과학 교육과정에 많은 영향을 받아 개정됐다. 1970년까지 학문 중심 과학교육을 추진해왔던 미국은 똑똑한 많은 영재를 배출하였고 엄청난 과학 기술의 발전으로 이어져 미국이 최대 강대국이 되는 것에 이바지하였다. 하지만 이런 순기능이 있는 반면에 학생 대부분에게 과학이 어렵고 재미없는 과목으로 생각하여 기피 대상의 원인이 되는 역기능을 가지고 있었다. 이러한 문제점으로 1980년대 '과학자 육성 중심 과학교육'에서 '모든 사람을 위한 과학교육'으로 방향성을 바꾸어 최근까지 이어지고 있다. '일반인들의 과학에 대한 이해', 즉 과학적 소양(Scientific Literacy) 함양을 위한 과학교육 운동이 펼쳐졌다. 과학적 소양은 우리나라 과학 교육과정에서는 제5차 과학교육 과정에서 처음 논의되어 현재 2015 개정 교육과정까지 핵심적 주제로 자리매김하고 있다.

1980년대 과학적 소양이 본격적으로 과학교육계에 들어오게 되면서 과학적 소양의 정확한 정의에 관한 연구들이 많이 진행됐고, 그 의미는 시대적으로 변화해 왔다(AAAS, 1989; Hazen & Trefil, 1992; Hurd, 1985; Choi et al., 2011). 많은 연구 가운데 과학적 소양의 공통점으로 다음 3가지로 정리할 수 있다.

첫째 과학에 대한 일정 수준의 개념 이해, 둘째 과학적 활동의 특성에 대한 이해, 셋째 사회와 문화에 대한 과학의 역할이다. 이 세 가지 요소를 잘 갖춘다면 과학적 소양을 갖춘 사람이라고 할 수 있다.

Shamos(1995)는 과학적 소양의 수준을 다음과 같이 설명하였다. 첫 번째, 과학적 소양이 있는데 필요한 과학 용어들을 이해하는 것을 넘어 일

상생활 속에서 등장하는 과학 용어들을 불편 없이 이해할 수 있는 수준으로 ‘문화적인 과학적 소양(cultural scientific literacy)’을 제시하였다. 두 번째, 과학적 용어를 이해하는 것을 넘어서 어떤 상황에서 의미 있게 읽고 대화하고 서술할 수 있는 수준으로 ‘기능적인 과학적 소양(functional scientific literacy)’을 제시하였다. 문화적인 과학적 소양을 갖춘 사람은 일상생활 가운데 언론에서 보거나 들리는 과학적 용어를 보고 듣는 가운데 무슨 의미인지를 ‘아는’ 수준이라면, 기능적인 과학적 소양을 갖춘 사람은 이러한 과학 용어들을 ‘정확하게 활용하는’ 수준이다. 세 번째, 과학과 관련된 일에 대해서 실질적으로 이해하는 사람으로 일반 학생들이 도달하기 어렵고 교사들 역시 객관적으로 평가하기 어려운 수준인 ‘진정한 과학적 소양(true scientific literacy)’을 제시하였다.

이러한 과학적 소양 함양은 시대적 흐름에 따라 그 의미가 조금씩 변화하였고, 현대적 의미의 과학적 소양은 과학 지식의 습득과 더불어 일상생활의 문제 해결 능력뿐만 아니라, 사회적 맥락에서 역할을 하는 시민의 육성을 강조하고 있다(홍혜진, 2020).

과학교육의 목표는 과학교육을 통해 모든 학생이 진정한 과학적 소양을 갖추는 데 있다. 그렇다면 이러한 ‘과학적 소양을 함양하기 위한 과학교육의 내용은 무엇으로 구성되어야 하는가?’에 관한 논의가 다양하게 진행되어왔다. 여러 논의 결과 과학교육계는 과학적 소양을 갖춘 시민을 양성하기 위해서 학생들의 바람직한 과학의 본성(Nature of Science) 이해를 필수적 목표로 교육하고 그러한 과학교육의 내용이 필요함을 시사했다(Bybee, 1997; Driver et al, 1996; Matthew, 2012).

학생들에게 미래 사회에 적합한 역량을 길러주어야 한다는 것이 강조되어 개정된 우리나라 2009 개정 교육과정의 과학적 소양의 성격과 목표는 다음과 같다. 과학의 기본 개념과 과학 탐구 능력과 과학적 태도를

함양하여 창의적이고 합리적으로 일상생활의 문제를 해결하기 위한 것이다(교육과학기술부, 2011). 2009 개정 교과서를 분석한 결과, 과학의 본성 및 가치관을 이해하도록 구성된 내용은 부족하다고 지적하였다(문공주 외, 2012). 2009 개정을 이어 2015 개정 교육과정에도 '과학적 소양' 함양은 과학교육의 중요한 목표로 이어졌다. 2015 개정 교육과정의 과학적 소양은 일상생활의 문제 해결을 넘어 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양의 성격과 목표를 설정하였다(교육부, 2015).

이와 관련하여 본 연구자는 2015 개정 교육과정에서 '빛' 주제가 과학적 소양을 잘 반영한 가운데 내용 지식 체계를 이루어져야 하는 관점으로부터 본 연구를 진행하였다.

3. 물리 교과 지식의 구조

본 연구는 과학교육 개선과 관련된 연구들이 다양하게 진행됐지만, 과학교육에서의 '내용'의 문제 즉, 본질적으로 과학 교과 내용이 구조적으로 가지고 있는 문제점에 관한 연구는 충분하지 않음으로부터 시작되었다. 본질적인 과학 교과 내용의 구성 및 구조에 관한 연구를 진행하고자 '학생들에게 무슨 내용의 범위를 가지고 언제 어떻게 가르칠 것인가?'라는 고민으로부터 교육과정이 추구하는 목표와 방향에 맞게 교육의 내용을 구성하는 것이 필요하다고 판단하였다. 그 가운데 현 2015 개정 과학 교육과정의 목표인 과학적 소양 함양을 위한 과학교육의 내용구성을 제시한다면, Bybee(1997)은 과학교육의 내용으로 과학적 지식 자체를 강조하는 것이 아니라 인간의 삶에서 과학이 어떤 역할을 하는 것인지 이해하도록 하는 것이 강조되어야 한다고 하였다.

이는, 교육의 과정을 '지식의 구조'라는 아이디어로 설명하고, 지식의 구조에 대하여 확장된 입장으로 문화주의 접근 측면으로 '내러티브 사고'를 제시한 Brurner의 주장과 같은 결을 가지고 있다. 따라서 먼저는 Brurner의 『교육의 과정』과『교육의 문화』을 살펴보았다. 또한 물리학 지식의 구조 이해를 위해 구체적으로 제시한 Tseitlin & Galili(2005)와 Galili(2012)의 학문-문화 구조도(DC structure)를 살펴보았다.

3.1 Brurner 지식의 구조 및 내러티브 사고

Brurner(1960)는 구조의 중요성을 강조하는 가운데 '학문 분야는 그 학문의 독특한 기본구조로 되어 있다는 것'에 착안하여 교과에 구조를 제공하는 것이 학문이고, 교과의 구조를 이루는 것은 학문에서 가장 핵심적이고 근본적인 원리, 아이디어라고 하였다. 따라서 교육과정은 이러한 학문의 기본구조를 중심으로 조직되어야 함을 바탕으로, 한 학문 분야의 기본구조를 반영할 수 있도록 교육과정을 설계하는 데는 그 분야를 정확하게 이해할 필요가 있어서 교육과정의 설계에 가운데 유능한 학자와 과학자의 참여 없이는 절대 이룰 수 없다고 주장하였다. 이에 관한 구체적인 브루너『교육의 과정』의 구체적인 내용은 다음과 같다.

" 학교 학습에서도 나중에 학교 또는 학교 이외의 다른 사태에 특수적으로 전이하는 기술을 다소간은 배우게 될 것이다. 학습의 결과가 나중의 일을 보다 효율적으로 하는 또 하나의 길은 편의상 <일반적 전이> 라고 부를 수 있는 것, 다시 말하면 원리와 태도의 전이를 통해서이다. **본질상 일반적 전이는 원래 기술의 학습이 아니라 일반적인 아이디어(개념이나 원리)의 학습과 관계가 있다. 일반적인 아이디어를 학습하고 나면 우리는 그 뒤에 부딪히는 문제들을 이미 학습한 일반적인 아이디어의 한 특수한 사례로 보고, 그 아이디어에 비추어 새로운 문제들을 해결할 수 있을 것이다."**

(Bruner, 1960, p.69)

“ 한 교과의 교육과정은 그 교과의 구조를 나타내는 일반적인 원리를 가장 깊이 이해하고 있는 사람들에 의하여 결정되어야 한다. 특수한 사실이나 기술을 가르치는 것은 몇 가지 근본적인 의미에서 비경제적이다. 첫째로, 그런 방식으로 가르치면 학생들은 이미 학습한 것으로 당면할 사례에 적용하기가 아주 어려울 것이다. 둘째로, 일반적인 원리를 파악하는데 까지 미치지 못하는 학습은 지적인 희열이라는 관점에서 볼 때, 아무것도 주는 바가 없다 …셋째로, 학습에서 얻은 지식을 서로 얽어매는 구조가 없을 때 그 지식은 쉽게 잊어버린다. 서로 단절된 일련의 사실들은 그 기억 수명이 가련하리만큼 짧다. ”

(Bruner , 1960 , p.92)

Bruner의 지식 구조론은 교육의 과정을 ‘지식의 구조’라는 아이디로 설명한 이론으로, 지식 자체의 문제뿐만 아니라 구조의 교육적 차원까지 고려한 1960-1970년대의 교육 과정적 실제가 되었으며 현재까지 재음미의 대상이 되고 있다. 지식 구조론 이후 1980년대 이래로 Brurner는 지식의 구조에 대한 확장된 입장을 제안하며 지식의 구조에 내재한 인식론적 문제를 확장하였고, 지식의 본질을 발견되는 특성과 함께 구성되고 생성되는 측면으로 이해하는 가운데 ‘내러티브 사고’를 Brurner『교육의 문화』에서 소개하였다 (강현석, 1998).

Brurner(1996)는 『교육의 문화』의 저자 서문을 통하여 다음과 같이 서술하였다.

“교육의 문제가 단지 교육과정이나 기준 혹은 평가와 같은 기존의 학교 문제들에 관한 것은 아니라는 점이다. 우리가 학교에서 해결하고자 하는

내용은 사회가 젊은 세대에게 교육적 투자를 통하여 성취하고자 하는 것이 무엇인가 하는 보다 거시적 맥락에서 문제를 고려할 때 의미를 지닌다. **우리가 교육을 어떻게 이해하고 있으며, 종국적으로 어떻게 인식하게 되는가 하는 문제는 공공연한 표면적인 문화 및 그 밖의 모든 문화와 그 문화의 목적을 이해하는 것과의 함수관계에 놓여 있다고 볼 수 있다.”**

(Bruner , 1996 , 저자 서문)

특징적인 것은 기존 Bruner가 주장한 지식 구조의 이론은 모든 학문에는 기저가 되는 핵심적인 개념과 원리, 아이디어들이 구조를 구성하는 일명 패러다임적 사고와는 다른 문화적 접근으로 교육을 이해하는데 필요한 보다 넓은 문화적 맥락으로 바라보아야 한다는 것이다. 또한 이를 토대로 내러티브적 사고[4]을 제안하는 가운데 과학의 이해에도 이를 토대로 ‘내러티브 발견학습’을 제시하였다. 이에 관한 구체적인 브루너 『교육의 문화』의 구체적인 내용은 다음과 같다.

---

4) 내러티브 사고(The narrative tenet)
우리가 다루어야 할 문제는 학교 교과목이나 교육과정이 아니라 세계관을 창조할 수 있도록 도와주는 사고와 감정의 양식이다. 이야기 만들기 즉, 내러티브가 그러한 세계관을 창조하는데 필요한 것이다. 우리가 자신이 누구인가를 파악하고 이해하는 것은 이야기들의 내용이 아니라, 이야기들의 내러티브 전략이다. 첫째, 아이가 그 문화에 관한 이야기, 신화 등에 대해 알고 느껴야 한다. 그것이 정체성을 형성한다. 둘째, 상식은 사실을 통해 상상력을 촉구한다. 교육체계는 하나의 문화 안에서 자라나는 사람들이 그 문화 내에서 하나의 정체성을 찾도록 도와주어야 한다. 그것은 이야기 양식을 통해서 가능하다. 학교는 내러티브 양식을 계발해야 한다. 교육은 단순히 잘 관리된 정보처리에 대한 기술적 사업도 아니고, 교실에 학습이론을 단순히 적용하거나 과목 중심의 성취검사 결과를 사용하는 문제도 아니다. 교육의 하나의 문화에 그 구성원들의 요구를 맞추고, 그 구성원들과 앎의 방식들을 그 문화의 요구에 맞추는 복잡한 추구 과정이다.
(브루너 『교육의 문화』 강현석 역, 2005 , 요약p.109)

“과학은 일관성, 명료성, 검증가능성을 획득하기 위해 논리나 수학을 그 도구로 활용한다. 과학이 즐겨 사용하는 무기들 가운데 하나는 그것이 잘 구성되어 있다면, 오류를 쉽게 찾아내어 반박할 수 있다는 가설이다. 그러나 더 깊이 들어가서 근원적으로 어떤 과학적인 이론이든 그것의 사용에 있어서 Karl Popper가 말했던 것처럼 오류가 드러날 수 있는 가설의 형성으로 이끌 수 있다. 굳이 과학역사가들이 명확히 찾아낸 역사적인 자료들을 거론하지 않더라도, 가설들 속의 수 없이 많은 굉장한 오류들을 찾을 수 있다. **근래에 대중에게 제시된 것은 과학에서의 거대 이론들이 우리가 기대했던 것 보다 더 스토리 같다는 점이다.**”

(Bruner , 1996 , p.310)

“과학 이해에서의 우리의 노력을 **내러티브 형식으로 전환시키는, 즉 다시 말해서 ‘내러티브 발견학습(narrative heuristic)’을 제안하려 한다.** ‘우리’ 라는 말은 과학자들과 우리가 가르치는 교실 속의 학생들 모두를 포괄하는 개념이다. 이것은 우리가 내러티브 형식으로 만들어가는 사건들의 전환으로 구성되어 있고, 또 그것은 우리가 그것들을 바라보는 방식에서 기대되고, 규범에 맞는 그 어떤 것이 되어야 한다는 점을 특히 강조하고 있다. 따라서 우리는 어떤 점이 석연치 않은지, 어떤 것이 잘못되었는지, 그리고 어떤 것이 설명되고 해명돼야 하는지를 쉽게 구별해 낼 수 있다.”

(Bruner , 1996 , p.314)

이러한 Bruner의 교육과정 이론을 간단히 정리하자면 전기 이론에서는 ‘지식의 구조’ 를 강조하는바, 어떤 교과더라도 특정 학문 지식의 구조를 파악의 필요성을 주장하였다. 즉, 학생에게 어떤 일을 처리할 수 있

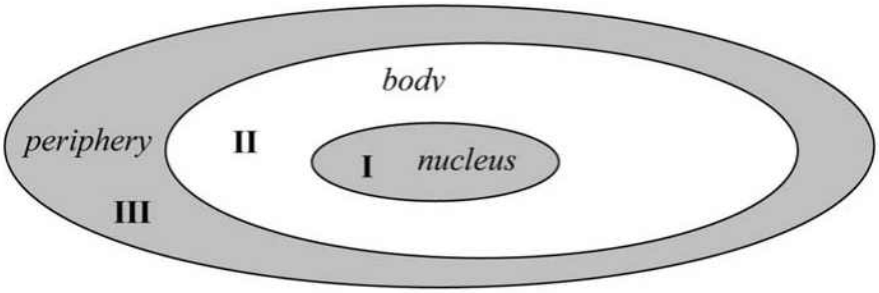
는 수행 능력보다는 이해에 중요성을 강조하였다. 이에 반해, 후기 이론에서는 '내러티브 사고'를 강조하는바, 마음은 인간 문화 속에서 구성되고 실현된다는 문화주의(culturalism)입장에서 새로운 교육과정 이론을 제시하였다. 두 가지 이론은 표면적으로는 다른 것으로 여겨지지만 Bruner의 이론에서 지식의 문제는 과거 지식의 구조로 대표되는 구조주의, 실증주의 문제로만 한정 지어서 이해하는 것이 아니라 구조의 역동적인 측면, 구성적인 측면에 비추어 이해할 때 Bruner가 강조하는 지식의 구성주의와 기능주의, 사회적 맥락의 강조에서도 드러나고 있다. 결과적으로 내러티브 논의는 지식의 구조의 본질을 추구하는 노력이며 지식의 구조와 내러티브 사고는 전•후기 이론의 핵심적인 주제이자 서로를 보강해주는 개념이라고 할 수 있다(강현석, 2009).

결론적으로 Bruner의 전•후기 이론을 바탕으로 교육과정의 개발 및 연구의 방향에 있어서 물리학의 '지식의 구조'를 파악하는 가운데 문화주의 입장에서 '내러티브 사고'를 할 수 있도록 교육내용이 선정되고 구성되어야 한다는 것이다.

3.2 Galili의 DC 구조도

본 연구는 '지식의 구조'와 문화주의(culturalism)입장에서 파생된 '내러티브 사고'의 필요성으로부터 출발하여 빛과 관련된 물리학 교육 내용의 범위와 지식의 모양이 어떠해야 하는지 연구를 진행하였다.

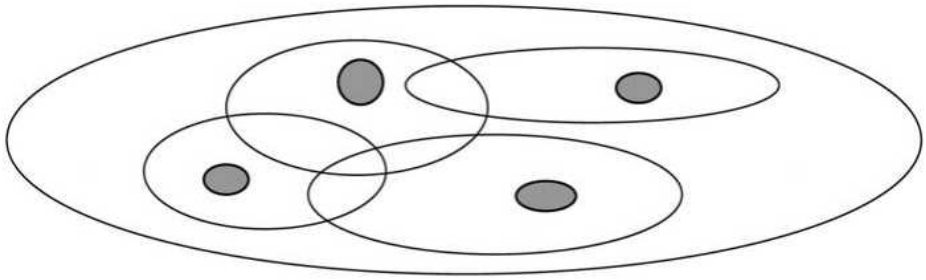
Galili(2012)은 물리학 내용의 지식을 고정적인 지식의 체계가 아니라 내러티브를 통해 역사적으로 변화하는 문화적 관점에서 바라보았다. 이러한 관점은 브루너 『교육과 과정』과 『교육의 문화』에서 강조하고 있는 '지식의 구조'와 '내러티브 사고'의 개념과도 관련이 깊다고 볼 수 있다. Tseitlin & Galili(2005)의 이론을 과학 이론의 문화 내용 지식(Cultural Contents Knowledge)이라고 지칭하며 이러한 관점을 시각적으로 표현한 구조도를 학문-문화 구조도 (Discipline-Culture Structure)라고 부른다. 구조도는 생물학적 세포와 같은 모양이며, 각 이론에서 다루는 내용의 위계질서에 대해 핵(Nucleus), 몸체(Body), 주변부(Periphery) 3가지 차원으로 나누어 표현할 수 있습니다. 구체적인 구조도의 모양은 [그림 Ⅱ-1]과 같다.



[그림 Ⅱ-1] 학문-문화 구조도(Discipline-Culture Structure)

핵(Nucleus)은 각 학문과 이론의 핵심이 되는 가장 중요한 원리, 패러다임, 관점 등을 의미한다. 몸체(Body)는 핵(Nucleus)에서 파생될 수 있는 지식이나 개념, 실험 결과 또는 설명되는 현상 등을 의미한다. 마지막으로 주변부(Periphery)는 핵심 이론으로 선정된 핵(Nucleus)에서 설명될 수 없는 지식이지만 핵(Nucleus) 나 몸체(Body)에 포함된 내용보다 덜 중요시되는 되는 것은 아니다.

특히 Galili(2012)은 물리학은 특정 위계를 다루는 구조들이 모인 것으로, 단일 학문으로서가 아니라 [그림 Ⅱ -2]와 같이 학문-문화 관점으로 이해할 수 있다는 것이다. [그림 Ⅱ -2]에서 이론의 핵(Nucleus)은 색칠한 동그라미로 표현되었으며 핵을 둘러싸고 있는 곡선이 핵(Nucleus)으로부터 파생된 지식 몸체(Body)이다. 그림을 통하여 물리학은 단일 학문이 아니라 각각의 이론이 긴밀하게 연결되는 가운데 상호작용하는 구조를 이루고 있다는 것을 확인할 수 있다.



[그림 Ⅱ -2] 물리학을 구성하는 학문-문화 구조도

Ⅲ. 『The Evolution of physics』에서 '빛'의 역할

1. 연구 방법

첫 번째 연구에서는 빛 주제 과학교육의 내용구성에 대한 구체적인 대안을 탐색하고자 하였다. 대안을 탐색하는 빛을 고찰하여 위대한 이론을 발표한 아인슈타인의 저서 『The Evolution of Physics』(이하 EoP)의 내용구성에 대하여 살펴보았다. 첫 번째 연구의 연구 대상과 연구 절차는 다음과 같다.

1.1 연구대상

『The Evolution of Physics』는 빛을 고찰하여 위대한 이론인 상대성이론을 발표한 과학자 아인슈타인이 인펠트와 함께 쓴 책으로 아인슈타인이 직접 집필한 유일한 책으로, 실제로 해당 책을 번역한 옮긴이도 이를 밝히고 있다.

"지금까지 우리나라에 아인슈타인의 생애와 상대성이론에 관한 책들을 꽤 소개되었지만, 그가 직접 쓴 책은 소개된 바가 거의 없다. 그 이유는 아인슈타인의 저서가 사실 별로 없었기 때문이다. 아인슈타인의 저서로 알려진 것은 『상대성 원리』,『나의 인생관』 그리고 이 책 등 세 권밖에 없다. 『상대성 원리』는 그가 발표한 논문을 모아 발간한 것이고『나의 인생관』은 신문이나 잡지에 기고한 글과 강연문, 편지 등을 모아 만든 책이다. **결국 이 책은 상대성이론을 설명하기 위해 논문의 형식을 빌지 않고 일반인을 상대로 아인슈타인이**

직접 집필한 이유이다. 그럼에도 이제야 이 책이 소개되는 것은 늦은 감이 없지 않다. ”

(Einstein & Infeld, 1938, 옮긴이의 말)

그리고 아인슈타인과 함께 EoP를 집필한 인펠트의 자서전을 통해서도 아인슈타인이 직접 집필한 책임을 확인할 수 있다.

“I was careful to consider all sides of the problem before I discussed it with Einstein. I knew him well enough to understand that he would never lend his name to ghostwriting.
A book with Einstein’ s name would really mean a book written together.
I knew that if the book was have any real historical value I must remain in the background and let Einstein express his views. It was important that the book should express Einstein’ s outlook on science.”

(QUEST AN AUTOBIOGRAPHY, 1980, p.308)

“ The original idea for the material of the book came from Einstein.
His intention was to write a popular book containing the principal ideas of physics in their logical development. His point was that there are amazingly few fundamental ideas in physics and they can all be represented in words.”

(QUEST AN AUTOBIOGRAPHY, 1980, p.308)

또한, 이 책은 물리학의 전문적인 지식을 가진 독자들을 위해 집필된 것이 아니라 물리학에 대한 기초 지식이 없는 일반인을 독자로 하여 고전역학부터 양자역학까지 이야기 형태로 기술되었다. 또한, 물리학의 발전 과정을 하나의 흐름으로 파악할 수 있도록 자연 현상을 제대로 설명할

수 있는 관념 세계가 어떻게 형성되어 왔는가를 보이고자 한 책이다. 이는 책 서문을 통해 직접 다음과 같이 밝히고 있다.

> "We have not written a textbook of physics. **Here is no systematic course in elementary physical facts and theories.** Our intention was rather **to sketch in broad outline the attempts of the human mind to find a connection between the world of ideas and the world of phenomena.** We have tried to show the active forces which compel science to invent ideas corresponding to the reality of our world. …"
>
> (Einstein & Infeld, 1938, p. v)

> **"We had him making up for a complete lack of any concrete knowledge of physics and mathematics by quite a great number of virtues. We found him interested in physical and philosophical ideas** and we were forced to admire the patience with which he struggled through the less interesting and more difficult passages. … **The book is a simple chat between you and us.** You may find it boring or interesting, dull or exciting , but our aim will be accomplished if these pages give you some idea of the eternal struggle of the inventive human mind for a fuller understanding of the laws governing physical phenomena."
>
> (Einstein & Infeld, 1938, p. vi)

따라서 EoP를 통하여 독자들은 아인슈타인의 눈을 통해 어떻게 인류가 자연을 객관적이고 체계적으로 이해하려고 노력해왔는지를 바라볼 수 있다. 또한, EoP는 물리학의 본질을 담고 있는 가운데 자연-인간-물리학의 통합적인 이해를 위한 물리교육에 중요한 교훈을 주고 있으며(Kim & Lee, 2018) 과학의 본성과 과학 지식을 하나의 이야기로 잘 다룬 책(이서지, 2019)으로 평가되었다.

이에 따라 본 연구자는 EoP가 과학교육의 교육내용 선정과 구성에 의미 있는 시사점을 줄 수 있을 것으로 판단하여 분석 대상으로 선정하였다. 분석 범위는 빛을 다루고 있는 내용으로 '2장 역학적 관점의 쇠퇴'의 '4절 빛의 속도', '5절 물질로서의 빛', '6절 색의 수수께끼', '7절 파동이란 무엇인가?', '8절 빛의 파동이론', '9절 빛은 종파인가 횡파인가?', '10절 에테르와 역학적 관점'이다.

'3장 장(場)과 상대성이론'의 '3절 장은 존재하는가?', '4절 장과 에테르', '5절 좌표계의 문제', '6절 에테르와 운동', '7절 시간, 거리, 상대성이론', '8절 상대성이론과 역학'이다.

'4장 양자'의 '3절 광량자', '4절 광 스펙트럼', '5절 물질파'이다.([표 Ⅲ - 1]참고)

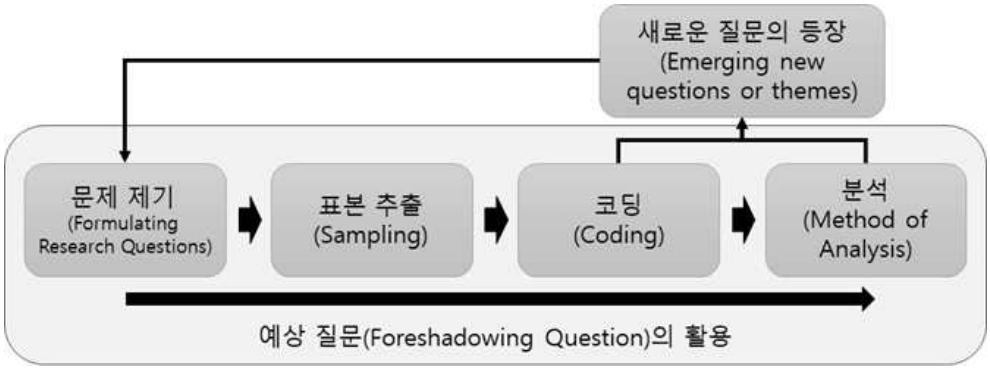
[표 Ⅲ - 1] 연구 1의 분석 대상 및 범위

분석 대상	저자	범위	
The Evolution of Physics	A. Einstein & L. Infeld (지동섭 옮김)	제2장. 역학적 관점의 쇠퇴	4절. 빛의 속도
			5절. 물질로서의 빛
			6절. 색의 수수께끼
			7절. 파동이란 무엇인가?
			8절. 빛의 파동이론
			9절. 빛은 종파인가 횡파인가?
			10절. 에테르와 역학적 관점
		제3장 장(場)과 상대성이론	3절. 장은 존재하는가?
			4절. 장과 에테르
			5절. 좌표계의 문제
			6절. 에테르와 운동
			7절. 시간, 거리, 상대성이론
			8절. 상대성이론과 역학
		제4장 양자	3절. 광량자
			4절. 광 스펙트럼
			5절. 물질파

1.2 연구 절차

본 연구는 분석 대상인 『The Evolution of Physics』의 내용구성을 파악하기 위하여 장기적으로 (2020.6~2021.11) 분석 과정을 거쳤다. 분석 대상의 질적 내용 분석을 위하여 White&Marsh(2006)의 내용 분석 과정([그림 Ⅲ - 1])을 활용하였다.

분석 과정은 크게 문제 제기(Formulating Research Questions), 표본추출(Sampling), 코딩(Coding), 분석(Method of Analysis) 순서로 진행되었으며 예상 질문(Foreshadowing Question)은 본 연구 문제와 구분되며 연구 과정에서 해석학적 순환의 과정을 이끌어 주는 역할을 한다.



[그림 Ⅲ - 1] White & Marsh(2006)의 질적 내용 분석 과정

구체적인 연구 절차는 다음과 같다. 먼저 텍스트 분석에 있어서 세운 예상 질문은 아래와 같다.

예상 질문 1. 내용 지식의 구조는 어떠한가?
예상 질문 2. 내용 지식 중 핵심적인 내용은 무엇인가?

문제제기(Formulating Research Questions)단계는 EoP와 관련하여 진행된 선행연구를 바탕으로 하여 예상 질문을 설정하였다. 첫 번째 예상 질문은 빛을 설명하는 내용 지식의 구조와 관련이 있다. EoP의 힘과 운동 영역을 분석한 홍혜진(2020)과 일반 상대성 이론을 분석한 이경민(2020)을 통해 EoP는 단편적으로 과학의 지식과 이론을 제시한 것이 아니라 전체적인 맥락을 고려하여 기술되어 있는 가운데 내용 사이가 긴밀한 연결 구조로 되어 있음을 시사했다. 따라서 빛 주제를 아인슈타인은 어떤 내용의 지식 구조로 설명하였는지 살펴보기 위하여 Galili(2012)의 학문-문화 구조도(Discipline-Culture Diagram; DC diagram) (이하, DC 구조도) 방법을 따라 내용 구조를 파악하고 DC 구조도를 작성하였다.

두 번째 예상 질문은 빛을 설명하는 내용 지식의 중요성과 관련이 있다. 앞서 첫 번째 예상 질문을 통해 EoP에서 서술하고 있는 전체적인 광학적 현상 내용의 구조를 파악하였다면 이 가운데 빛의 역할을 탐색하기 위해 어떤 내용이 핵심적인 내용인지를 분석하고자 하였다.

소개한 예상 질문을 토대로 질적 내용 분석을 진행하는 가운데 Krippendorff(2004)의 재맥락화, 재해석, 재정의의 반복적이고 순환적인 과정을 거쳤다. 본 연구의 과정은 물리교육 전문가 1인과 물리학 박사 1인, 3인의 동료 연구자와 함께하는 지속적인 논의과정을 통하여 연구의 타당성을 확보하고자 하였다(Denzin, 1970) 또한, 연구 결과에 대한 동료

검증의 과정을 거쳐 신뢰도와 타당도를 확보하도록 하였다(Merriam & Tisdelll, 2016).

표본 추출(Sampling)단계는 문제 제기 단계에서 구체화한 예상 질문에 답을 하기 위해 자료를 추출하는 단계로 본 연구자는 빛 주제와 관련된 3장에 걸쳐 13개의 절을 표본으로 추출하였다. ([표 Ⅲ -2] 참고)

[표 Ⅲ -2] EoP 분석을 위해 추출한 분석 범위

장	범위	선택
제2장. 역학적 관점의 쇠퇴	1절 두 가지 전기 유체	X
	2절 자기유체	
	3절 첫 번째 난제	
	4절. 빛의 속도	O
	5절. 물질로서의 빛	
	6절. 색의 수수께끼	
	7절. 파동이란 무엇인가?	
	8절. 빛의 파동이론	
	9절. 빛은 종파인가 횡파인가?	
	10절. 에테르와 역학적 관점	
제3장 장(場)과 상대성이론	1절 장에 의한 묘사	X
	2절 장이론의 두 가지 기둥	
	3절 장은 존재하는가?	O
	4절. 장과 에테르	
	5절. 좌표계의 문제	
	6절. 에테르와 운동	
	7절. 시간, 거리, 상대성이론	
	8절. 상대성이론과 역학	
	9절. 시공(時空) 연속체	X
	10절. 일반 상대성 이론	
	11절. 승강기의 내부와 외부	
	12절. 기하학과 실험	
	13절. 일반 상대성이론과 그 검증	
	14절. 장과 물질	
제4장 양자	1절. 연속성, 불연속성	X
	2절. 물질과 전기의 기본양자	
	3절. 광량자	O
	4절. 광 스펙트럼	
	5절. 물질파	

코딩(Coding)단계는 추출한 내용 가운데 같은 자료에서 유사하게 사용된 개념이 있는지 확인하고, 이를 통해 만들어진 범주와 구조를 반복해서 비교하는 단계이다. 지속해서 예상 질문에 대답을 확인하는 가운데 새로운 구조의 증거를 발견하였고 개념이 형성되는 과정을 위해서 논리적으로 개념이 발생하는 것에 초점을 둔 개념 메모(concept memos)와 실행 가능한 모델로부터 개념과 점차 통합되는 개념 사이의 관계에 초점을 둔 이론 메모(theory memos)를 이용하여 연구자의 해석과 구조의 이해를 드러낼 수 있도록 하였다.

마지막으로 분석(Method)단계에서는 코딩단계와 통합되어 나타나는 단계로, 앞서 코딩단계에서 개념 메모와 이론 메모를 활용하여 예상 질문에 대한 해답을 찾거나 새로운 질문이 생겨났는지 확인하는 단계이다. 앞서 진행된 연구 단계를 걸쳐 EoP에서 빛 주제 내용을 DC 구조도와 지식 체계도를 작성하였다. 지식 체계도 작성 시에는 선행연구 홍혜진(2020) 흐름도 작성 시 활용하였던 기호를 참고하여 작성하였다.

한편, EoP는 이야기 형식의 특징을 가지고 있으므로 EoP의 질적 이해를 위해 이야기를 분석하는 과정을 추가로 진행하였다.

최근 교육내용의 구성 방법에 있어서 이야기(Story)가 갖는 잠재력이 강조되고 있다(Metz et al, 2007; Klassen, 2009; Klassen, 2010).

Klassen(2014)는 '과학의 이야기(Science story)'의 중요성을 강조하는 가운데 플롯(plot)을 제안하였다. 이를 활용하여 이야기 형식의 특징을 가진 EoP 내용을 분석하였다.

플롯(plot)은 크게 도입(introduction), 절정(climax), 해소(resolution)의 3단계로 구성되어 있다([표 Ⅲ -3] 참고).

[표 Ⅲ -3] Klassen(2014)의 플롯 구조

도입 (Introduction)	절정 (Climax)	해소 (Resolution)
갈등의 시작	갈등의 최대화 및 행동들	갈등의 해결

2. 연구 결과

EoP의 본문을 질적 내용 분석법을 통해 앞서 소개하였던 예상 질문 2가지를 토대로 텍스트 분석이 진행되었다.

예상 질문 1. 내용 지식의 구조는 어떠한가?
예상 질문 2. 내용 지식 중 핵심적인 내용은 무엇인가?

위 2가지 예상 질문에 답을 하며 순환적인 텍스트 분석의 과정은 EoP에서 빛과 관련하여 내용 지식의 특징 이해하고 빛의 역할을 파악하는 데 도움을 주었다. 본 연구 결과는 예상 질문을 통해 도출된 2가지 결과를 설명한다. 연구 결과로는 첫 번째 예상 질문의 결과인 '학문-문화 구조도 (Discipline Culture structure diagram; DC diagram)'와 두 번째 예상 질문의 결과인 '지식 체계도'이다.

2.1 『The Evolution of Physics』 DC 구조도

첫 번째 예상 질문을 통하여 EoP에서 드러난 빛 주제 내용 지식의 구조를 파악하고자 하였다. 내용 지식의 구조를 파악하기 위해서는 Tseitlin & Galili(2005)의 문화 내용 지식 이론을 토대로 시각화한 DC 구조도를 활용하여 결과를 나타내었다. DC 구조도는 앞서 소개한 바와 같이 핵(Nucleus), 몸체(Body), 주변부(Periphery) 영역으로 구성되어 있다.

먼저는 빛(광학적 현상)을 설명하기 위하여 도출된 EoP에서 기술하고 있는 모든 지식의 내용을 DC 구조도에 작성하였으며, 다음으로는 빛을 중점으로 아인슈타인의 관점에서 중요하게 여겨지는 지식의 내용을 선정하여 빛 중점 내용의 DC 구조도를 작성하였다. 빛 중점 내용의 DC 구조도에서는 선행연구로 EoP의 일반 상대론 부분을 DC 구조도를 그렸던 이경민(2020)의 결과를 참고하는 가운데 개념 간의 연결성을 화살표를 이용하여 작성하였다.

빛을 설명하는 모든 지식의 내용 DC 구조도는 다음과 같다([그림 Ⅲ - 1] 참고). Tseitlin & Galili(2005)에서 DC 구조도에서, 핵(Nucleus)은 학문-문화의 정체성을 정의하며, 물리학 영역에서 가장 핵심을 이루고 있는 원리나 패러다임 또는 관점으로 정의하였다. 아인슈타인이 작성한 EoP의 집필한 목적은 저자 서문에서 밝힌 대로 '자연 현상을 제대로 설명할 수 있는 관념 세계가 어떻게 형성되어 왔는가'이다. 이에 따라서 EoP의 DC 구조도 가운데 핵(Nucleus)은 아인슈타인의 바라본 관점으로 선정하였으며, 해당하는 내용은 '역학적 관점(고전적)'과 '장의 관점(고전적)' 그리고 '역학적 관점(양자적)' 3가지로 나눌 수 있다. DC 구조도를 작성에 앞서서 관점의 정의가 필요하다.

'역학적 관점 (고전적)'은 물체와 물체 사이의 힘의 작용에 따라 변화하는

자연 현상을 해석하는 관점이다. 이 관점에 입자와 파동은 완전히 구분되는 실체이며 현상으로 해석된다. 입자이면 입자이고, 파동이면 파동이지 입자이면서 파동일 수 없다.

‘장의 관점(고전적)’은 공간에 펼쳐져 있는 장의 형태에서 발생하는 자연 현상을 해석하는 관점이다. 이 두 관점을 묶어 고전 역학적 관점이라 하였다.

‘역학적 관점(양자적)’은 원자와 같이 아주 작은 물체인 미시세계를 살펴보는 관점으로 고전 역학적(역학적 관점(고전적)과 장의 관점(고전적)) 관점으로 해석될 수 없는 관점이다.

몸체(body)에 해당하는 부분은 핵(nucleus)의 역학적 관점(고전적)에서 파생된 현상과 개념으로 역학적 관점에서 해석될 수 있는 지식의 내용은 ‘광학적 현상’, ‘갈릴레이의 빛의 속도 측정’, ‘뉴튼의 프리즘 실험’, ‘갈릴레이의 관성 법칙’, ‘파동이론’, ‘동시성의 불일치’, ‘특수상대성이론’, ‘마이켈슨-몰리실험’, ‘에테르’이다.

이 중 ‘동시성의 불일치’, ‘특수상대성이론’, ‘마이켈슨-몰리실험’, ‘에테르’는 장의 관점(고전적)이 형성되는 과정에서 파생된 이론이므로 두 구조도의 Body 부분을 겹쳐서 작성하였다. 또한 ‘에테르’의 경우에 ‘역학적 관점(고전적)’에서 ‘장의 관점(고전적)’으로 새로운 관점에 형성되면서 없어지는 내용이기 때문에 이전 선행연구 (Kim & Lee, 2018)에서 약속된 표현으로 작성하였다.

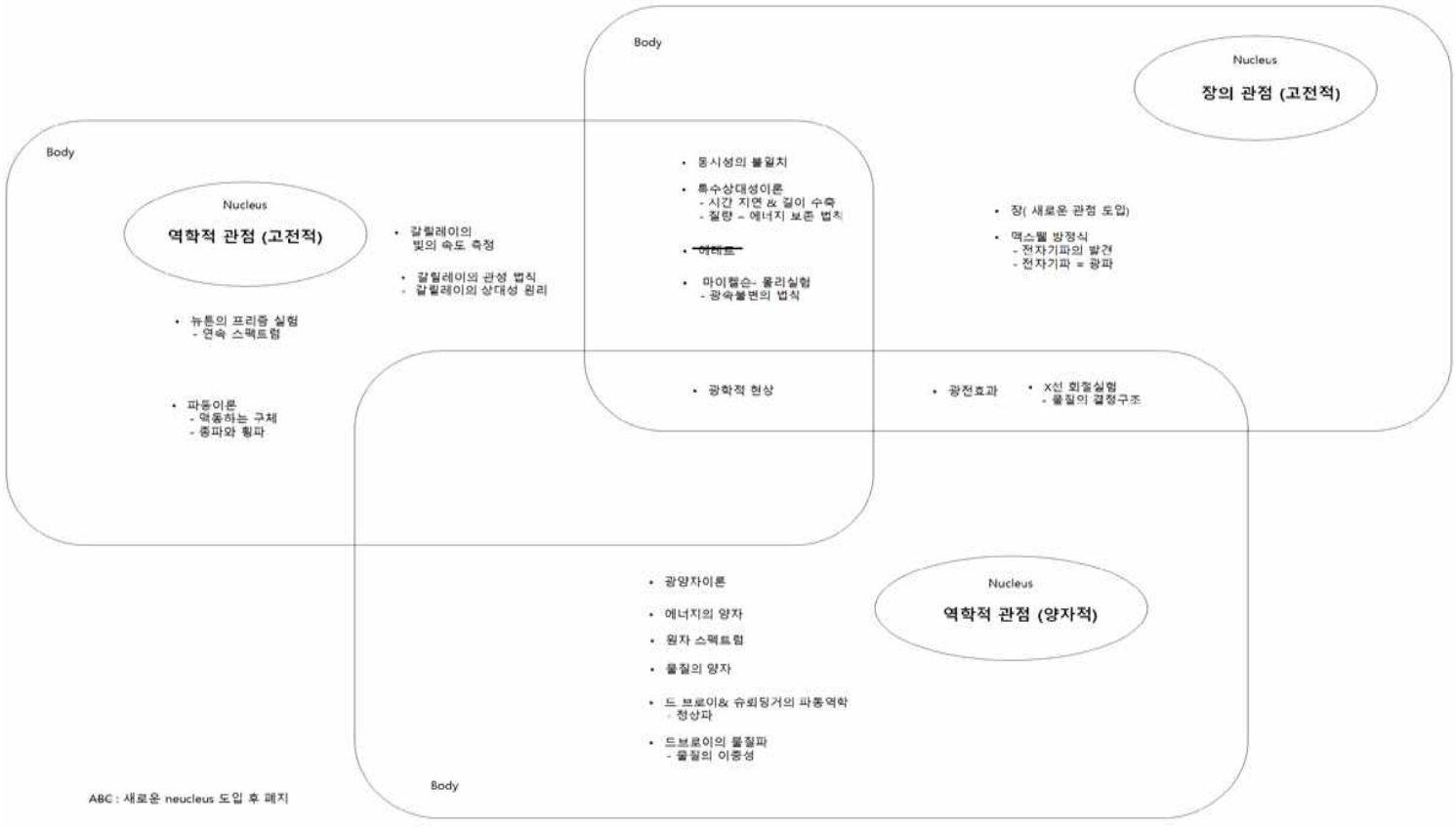
장의 관점(고전적)에서 파생된 지식의 내용은 ‘광학적 현상’, ‘장’, ‘맥스웰 방정식’, ‘광전효과’, ‘X선 회절 실험’입니다. 그 가운데 ‘광전효과’와 ‘X선 회절 실험’은 역학적 관점(양자적)이 형성되었을 때 완벽하게 이해하고 해석될 수 있으므로 장의 관점(고전적)과 역학적 관점(양자적)의 Body 부분을 겹쳐서 작성하였다.

역학적 관점(양자적)에서 파생된 지식의 내용은 ‘광양자 이론’, ‘에너지의 양자’, ‘원자 스펙트럼’, ‘물질의 양자’, ‘드브로이 & 슈뢰딩거 파동역학’, ‘드브로이의 물질파’이다.

빛과 관련된 모든 내용의 DC 구조도를 작성하면 역학적 관점(고전적)과 장의 관점(고전적)은 서로 겹쳐지는 Body가 존재하며, 장의 관점(고전적)과 역학적 관점(양자적) 역시 겹쳐지는 Body가 존재한다. 하지만 역학적 관점(고전적)과 역학적 관점(양자적)은 겹쳐지는 부분은 없다.

결론적으로 각 핵에서 해석되지 않은 현상 또는 파생될 수 없는 지식은 주변부에 해당하는데, 주변부에 있는 현상과 지식은 3가지 관점이 상호작용하여 DC 구조도에 작성하였다. 즉, 역학적 관점(고전적)에서 해석되지 않은 현상이나 파생될 수 없는 지식은 장의 관점(고전적)과 역학적 관점(양자적)에서 포함하여 작성되는 가운데 DC 구조도를 완성하였다. 그리고 세 가지 관점에 모두 공통되는 지식의 내용은 ‘광학적 현상’으로 세 가지 관점에서 모두 해석될 수 있음을 확인하였다.

전체적인 EoP의 DC 구조도를 작성하였을 때는 물리학을 해석하는 3가지 관점이 존재함이 드러났지만, 빛의 역할이 정확히 무엇인지 분명하지 않았으므로 빛을 중심으로 DC 구조도를 표현하였다. ([그림 Ⅲ -2] 참고)



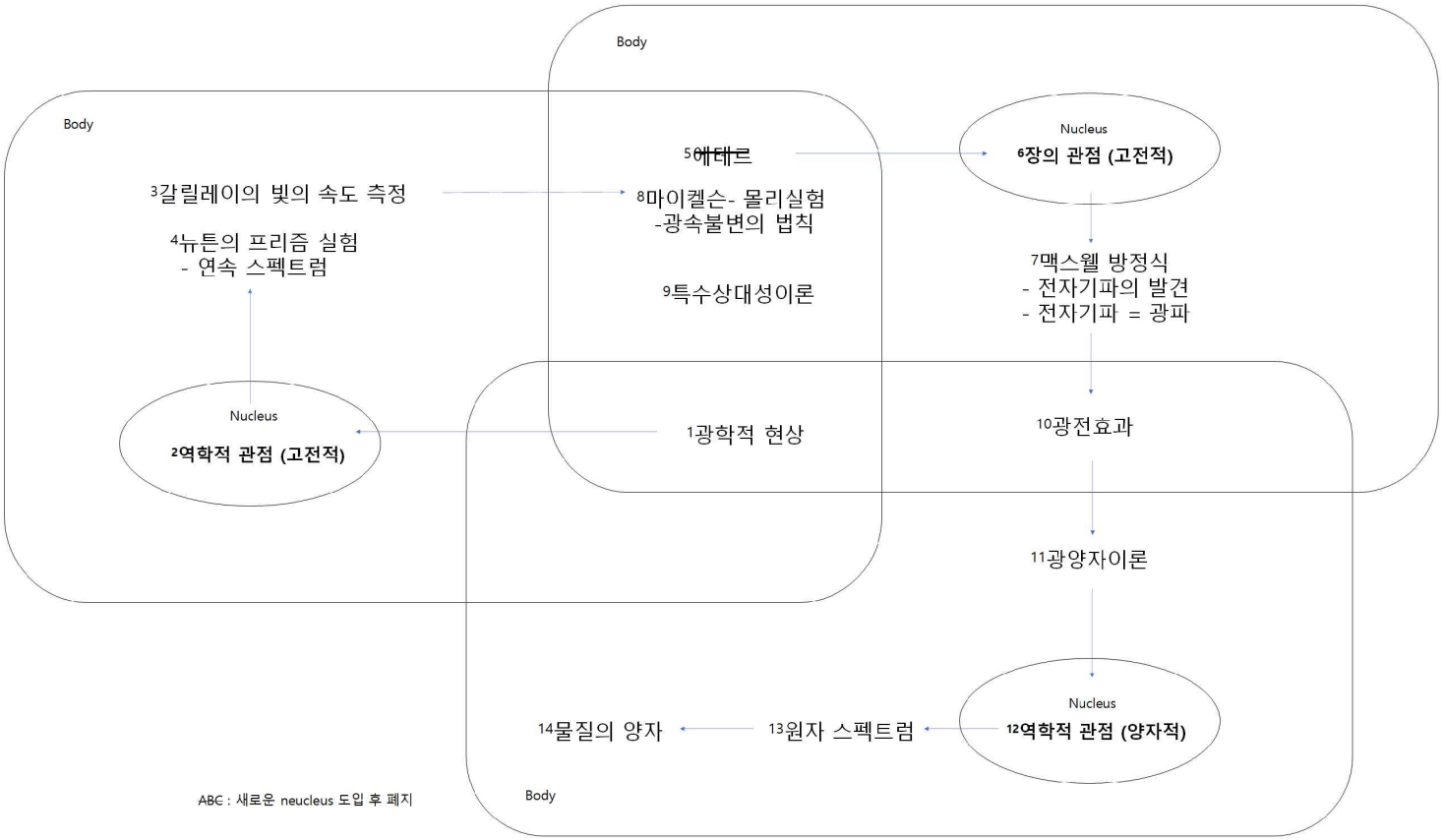
[그림 Ⅲ -2] 모든 내용 지식을 나타낸 DC 구조도

앞서서는 빛과 관련된 모든 내용을 다음 DC 구조도를 작성하였다면, ‘빛’을 중점으로 DC 구조도([그림 Ⅲ -3] 참고)를 작성하는 가운데 화살표를 이용하여 내용의 흐름을 표현하였다. 태초부터 존재하였던 광학적 현상을 인간이 해석하는 가운데 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적) 3가지 관점이 더욱더 분명하였다. 구체적인 DC 구조도의 내용은 광학적 현상을 통하여 역학적 관점(고전적)이 형성되고 역학적 관점(고전적)에서 빛을 탐구하는 대표하는 실험으로는 ‘뉴튼의 프리즘 실험’으로부터 스펙트럼을 이해한 것과, 빛의 속도를 측정하려는 시도로 ‘갈릴레이의 빛의 속도 측정’이다. 이는 ‘마이켈슨-몰리 실험’으로 이어져 에테르의 부정이 증명되고, 빛은 광속불변이고 ‘특수상대성이론’의 결과를 낳았다. 따라서 ‘갈릴레이의 빛의 속도 측정’으로부터 ‘마이켈슨-몰리 실험’을 연결하는 화살표를 작성하였다. 또한 ‘에테르’가 부정됨으로써 역학적 관점이 쇠퇴하게 되고 새로운 관점인 ‘장의 관점(고전적)’이 등장하므로 ‘에테르’로부터 ‘장의 관점(고전적)’을 화살표로 연결하였다.

새롭게 등장한 ‘장의 관점(고전적)’으로부터 ‘맥스웰 방정식’이 등장하고 전자기파를 발견하는 가운데 빛이 전자기파의 일종임이 밝혀진다. 또한 균질한 광파를 통한 실험 ‘광전효과’ 실험을 고안하고 빛의 파동이론의 한계에 도달한다. 빛을 해석하였던 역학적 관점(고전적)에서의 뉴튼의 미립자이론으로부터 에너지 개념을 도입함으로써 ‘광량자 이론’이 탄생하고, 결과적으로 빛의 입자성과 파동성을 인정하는 역학적 관점(양자적)에 도달합니다. 역학적 관점(양자적)으로부터 ‘원자 스펙트럼’의 이해로부터 ‘물질의 양자’를 최종적으로 이해할 수 있으므로 화살표를 이용하여 내용의 흐름을 연결하여 표현하였다.

결론적으로 ‘빛’ 중심의 DC 구조도를 작성하여 빛의 역할이 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 그리고 역학적 관점(양자적) 3가지 관점의 새

로운 영역(관점)을 열며, 각 영역의 핵심 아이디어를 형성하고 연결하는 역할을 하고 있음을 확인하였다. 또한 ‘광학적 현상’을 시작으로 하여 결론적으로는 ‘물질의 양자’에 도달함을 통해 ‘빛’을 통해 물질의 세계를 이해할 수 있음을 확인하였다. 즉, 인류가 보이는 세계부터 보이지 않는 세계까지 그리고, 물질을 조망할 수 있었던 것 역시 근본적으로는 ‘빛’이다.



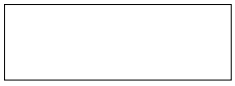
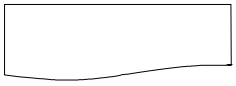
[그림 Ⅲ -3] 빛 중점 내용 지식을 나타낸 DC 구조도

2.2 『The Evolution of Physics』 내용 지식 체계도

두 번째 예상 질문을 통하여 EoP 내용 지식 중 핵심적인 내용은 무엇인가를 살펴보고자 하였다. 앞선 첫 번째 예상 질문을 통하여 DC 구조도를 작성한 결과 EoP에서는 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적) 총 3가지 관점이 드러남을 확인하였다. 이를 토대로 두 번째 예상 질문의 결과로는 세 가지 관점에서 핵심적인 내용이 무엇인지 파악하기 위하여 관점별 개념도를 작성하였다.

지식 체계도를 작성하기에 앞서 활용될 기호의 정의는 다음과 같다. ([표 Ⅲ -4] 참고)

[표 Ⅲ -4] 물리학에서 빛 관련 내용 지식 체계도에 활용된 기호의 정의

이름	기호	정의
준비 기호		흐름도에서 의미 형성을 위한 준비 단계에 해당하는 내용 단위.
처리 기호		흐름도에서 의미 형성의 과정을 보여주기 위해 제시된 내용 단위.
출력 기호		흐름도에서 내용 단위 흐름을 통해 형성된 의미를 포함한 내용 단위.
흐름선		흐름도에서 논리적 흐름을 나타내는 선이며, 각 내용 단위를 연결함.
보조선		논리적 흐름을 보조하기 위해 흐름선에 보조적으로 그리는 흐름선
파선		본 연구에 포함되는 내용이지만, 분석 범위에는 포함되지 않는 내용.

먼저는 EoP의 해당 절 마다 모든 내용을 관점별 내용 지식 체계도를 작성하였다.

전체 내용을 작성 결과, 빛의 속도로 시작하여 결론적으로 물질의 이중성에 내용의 흐름이 유기적으로 연결되어 있음을 확인하였다. 또한 흰색 배경의 사각형 상자는 빛의 성질을 나타내는 부분이며 해당하는 내용은 ‘빛의 직진’, ‘빛의 반사’, ‘빛의 굴절’, ‘빛의 분산’, ‘빛의 회절’이다.

각 절 마다 중요시되는 내용을 굵은 표기로 작성하였다. 이에 해당하는 내용은 ‘광학의 역학적 관점: 미립자의 이론’, ‘ 광학의 역학적 관점 : 파동이론’, ‘ 역학적 관점의 쇠퇴 : 에테르와 역학적 관점의 모순’, ‘ 갈릴레이의 상대성 원리 & 변환 법칙’, ‘새로운 관점의 도입 : 장(場)’, ‘광속불변의 법칙과 역학적 변환(고전변환)의 모순’, ‘특수상대성이론 : 시간지연 & 길이수축’, ‘질량-에너지 보존 법칙’, ‘빛의 이중성 & 물질의 양자’, ‘물질의 이중성’이다. 각각의 내용은 EoP를 플롯(plot) 구조로 분석한 후 각 절의 시작과 끝 즉, 도입과 해소 부분에 해당하는 내용이다. 또한 관점별 개념도의 배치는 플롯 분석을 반영하여 순차적으로 작성하였다. 구체적인 플롯의 내용은 [표 Ⅲ -5] ~ [표 Ⅲ -10]과 같다.

[표 Ⅲ -5] EoP의 플롯 구조1

플롯		내용
Plot 1	도입	갈릴레이의 「두 개의 새로운 과학」 책에 등장하는 빛의 속도에 관한 담화를 빛의 속도는 어떠한지 새로운 갈등 도입.
	절정	갈릴레이가 언급한 새로운 실험 원리를 피조가 이용하여 지상 실험으로 최초로 빛의 속도를 측정 & 이전에 덜 정확하지만, 천문관측으로 빛의 속도를 측정한 뢰머의 실험 방법을 소개.
	해소	우리 시대에는 점점 더 정확한 빛의 속도 측정을 목적으로 마이켈슨에 의해 고안되었고 현재 진공에서의 빛의 속도는 30만km/s로 빛의 속도에 대한 갈등 해소.
Plot 2	도입	광학실험으로부터 알 수 있는 것은 빈 공간에서 공기의 존재 여부와 상관없이 빛은 직진한다는 것임을 밝힘. 하지만 물체가 있으면 어떻게 되는지 새로운 갈등 도입
	절정	직진 운동이 미립자의 운동과 잘 들어맞기 때문에 빛의 직진을 나타내는 모든 현상은 미립자이론을 뒷받침한다. 하지만 굴절을 설명하는 것은 조금 어려움.
	해소	움직이는 입자에 힘을 가하면 입자와 속도가 변화한다. 하므로 빛의 입자 이론이 굴절 현상을 설명하기에 성공적으로 보이지만 유용성과 타당성을 위해 복잡한 사실에 관한 연구가 진행되어야 함을 밝히므로 갈등 해소.
Plot 3	도입	세상에는 여러 종류의 빛이 존재한다는 것을 처음으로 설명한 것은 뉴턴임을 소개하여 프리즘을 통한 빛의 분산의 성질을 소개함으로써 빛의 물질이론을 더 복잡하게(하나의 빛 물질이 있는 것이 아니라 각 색깔에 여러 물질이 있다는 것) 하는 새로운 갈등이 도입됨
	절정	뉴턴의 실험으로 스펙트럼에서 백색광을, 그리고 백색광에서 스펙트럼을 반복적으로 보여줄 수 있음을 확인하여 각 색깔의 미립자가 불변하는 물질과 같다는 이론을 뒷받침.
	해소	완전히 다른 개념에 기초해 있으면서 똑같은 광학 현상을 설명해 주는 또 다른 이론의 출현이 출현을 소개하고, 빛의 물질이론에 대한 갈등 해소.

EoP의 첫 번째 플롯은 갈릴레이의 『두 개의 새로운 과학』책에 등장하는 빛의 속도에 관한 두 학생의 대화를 통해 빛에 관한 내용을 도입한다. 대화 속에서 등장하는 두 학생이 빛의 속도를 측정하는 실험 방법을 소개하고 이는 당시 실험 기술로는 불가능하므로 갈릴레이는 새로운 관점 등장의 필요성을 언급하여 빛의 속도 측정에 관한 여러 실험 방법을 소개한다. 갈릴레이가 언급한 새로운 실험 원리를 피조가 이용하여 지상 실험으로 최초의 빛의 속도를 측정하고 이전에 덜 정확하지만, 천문관측으로 빛의 속도를 측정한 뢰머 실험 방법을 소개한다. 최종적으로 오늘날 가장 정확한 빛의 측정을 마이켈슨에 의해 고안되었으며 진공에서의 빛의 속도는 30만 km/s로 받아들여지고 있음을 통해 갈등은 해소에 이른다. 이처럼 빛에 관하여 수많은 실험이 진행되었고, 실험을 통해 빛의 성질을 알 수 있는 새로운 플롯을 시작한다.

두 번째 플롯은 실험적 사실로부터 출발하여 빈 공간에서의 광학실험이 가능하고 보통의 방에서도 똑같은 효과를 가지고 광학실험이 가능함을 설명하는 가운데 빛의 광학적 사실(빛의 직진성의 성질)을 설명하면서 이야기가 전개된다. 가장 간단한 광학적 사실은 빛이 직진한다는 것과 굴절하는 성질을 통해서 역학적 이론 (물질, 입자, 힘) 개념이 어떻게 광학에 도입되는지, 도입되지 않는 갈등을 소개한다. 빛의 미립자가 유리 표면에 닿으면 물체(유리)의 입자가 미립자에 힘을 작용함으로써 빛의 직진성 성질이 역학적 이론을 뒷 받쳐 줌을 상세히 설명하고 빛의 굴절도 역학적 설명이 가능하므로 갈등이 해소된다. 하지만, 이론의 유용성과 타당한 범위를 정하기 위해 새롭고 복잡한 사실 조사가 필요함을 소개하고 새로운 실마리를 제공함으로써 세 번째 플롯을 예고한다.

세 번째 플롯은 뉴턴의 프리즘 실험을 소개함으로써 색의 수수께끼, 즉 빛의 종류가 하나가 아니라 여러 가지 존재한다는 새로운 갈등을 도입한

다. 색의 분리를 뉴턴의 실험 (프리즘 실험)을 소개하고 역학적 이론으로 설명하고 뉴턴의 프리즘 실험을 통해 스펙트럼에서 백색광을, 백색광에서 스펙트럼을 얻을 수 있음을 증명하고 이는 색깔의 미립자가 불변하는 물질과 같다는 이론을 뒷받침해 줌으로써 갈등이 해소된다. 하지만 광학을 이해하는 미립자이론뿐만 아니라 또 다른 이론의 출현을 암시함으로써 네 번째 플롯을 예고하는 가운데 새 이론에 전제된 가정을 정식화하기 전에 이러한 광학적 문제와 관계가 없는 한 질문에 답해야 하고, 역학으로 되돌아가서 질문을 해야 하는 새로운 갈등을 도입한다.

[표 Ⅲ -6] EoP의 플롯 구조2

플롯		내용
Plot 4	도입	런던과 에덴버러의 소문이 퍼지는 것에 대한 일상생활과 관련지어 파동의 내용을 도입하며, 파동 운동과 입자 운동을 구분해야 하는 새로운 갈등 도입.
	절정	파동의 운동은 물질 상태의 운동이지 물질 그 자체의 운동이 아니며, 입자들은 단지 상하 운동을 할 뿐임. 구체적으로 맥동하는 구체를 예시로 하여 파동의 물리학적 개념을 설명하고 파동 개념을 이용하여 역학으로 환원 가능함을 설명.
	해소	입자의 운동과 파동 그 자체의 운동. 두 가지 운동은 매우 다른 것이지만 예로 든 맥동하는 구체의 경우 두 운동 모두 동일한 직선 위에서 일어난다는 것을 확인하여 갈등 해소.
Plot 5	도입	미립자이론과 다르지만 같은 영역의 사실들을 설명하는 이론(파동이론)이 존재함을 보여줌으로써 빛의 미립자이론과 빛의 파동이론의 갈등 상황을 담화로 소개.
	절정	빛의 직진, 반사, 굴절 현상 모두 빛의 파동이론으로도 설명할 수 있으며, 색이 다르면 파장도 다름을 통해 빛의 분산 현상도 빛의 파동이론으로 설명할 수 있음을 보여줌.
	해소	빛의 회절 현상은 빛의 미립자이론으로 해석하기 어려우므로 19세기 빛의 미립자이론의 패배를 받아들이기로 함으로서 갈등 해소. 하지만 19세기 판결이 최종적인 것은 아님을 밝힘.
Plot 6	도입	모든 광학 현상은 파동이론을 뒷받침하지만, 에테르의 역학적 성질 결정의 새로운 갈등 도입
	절정	에테르의 역학적 성질 경정 문제를 해결하기 위해서는 빛이 종파인가 횡파인가를 아는 것이 문제 해결의 필수적임.
	해소	매우 얇은 전기석을 통해서 빛은 횡파임을 확인하고 에테르는 젤리 같은 성질이라고 가정해야 하며, 역학적으로 설명할 수 없으므로 갈등 해소.

네 번째 플롯에서는 런던과 에던버러의 소문이 퍼지는 일상생활의 예시를 통해 내용이 시작되고, 파동 운동과 입자 운동의 구분의 필요한 새로운 갈등을 도입한다. 파동의 구조와 맥동하는 구체를 이용하여 특징을 설명하는 가운데 파동이 퍼져나가는 속도, 파장의 개념을 소개한다. 입자의 운동과 파동 그 자체의 운동은 매우 다른 것이지만 앞서 소개한 파동 개념은 물리학에서 잘 들어맞으며 물질의 운동으로 환원 가능하므로 일반적으로 역학적 이론으로 간주할 수 있으므로 갈등이 해소되었다. 끝으로 파동의 종류(횡파와 종파)를 소개하고 네 번째 플롯이 마무리된다. 결론적으로, 세 번째 플롯 마지막에서 언급한 광학과 관계없는 질문인 '파동이란 무엇인가?'에 대한 답을 네 번째 플롯에서 소개되었다.

그렇다면 왜 우리가 네 번째 플롯에서 광학 현상을 기술하는 것을 그만두고 파동 개념이 소개되었는지 원래 주제로 돌아감으로써 다섯 번째 플롯이 예고된다.

다섯 번째 플롯에서는 광학 현상 기술을 그만둔 이유는 새로운 빛 이론(빛의 파동이론)의 도입을 위한 것임을 설명함으로써 빛의 파동이론을 소개한다. 앞서 미립자이론에서 관찰된 사실들 역시 파동이론으로 설명될 수 있을지에 대한 새로운 갈등을 도입한다. N과 H와의 담화를 통해서 갈등을 해소하려는 과정을 보여준다. N은 뉴튼의 미립자이론을 믿는 사람이고, H는 호이겐스의 이론을 믿는 사람이다. 대화를 통해 빛의 굴절 현상과 빛의 여러 가지 색의 구성 및 분산의 성질이 모두 빛의 파동이론으로 설명할 수 있음을 보여준다. 따라서 광학 현상을 설명하기에는 빛의 미립자이론과 빛의 파동이론 모두 가능하며 과학적 신념이라기보다는 취향의 문제로 의견이 나누어질 것으로 대화가 정리된다. 하지만 빛의 미립자이론으로는 절대로 설명하기 어려운 빛의 회절현상 때문에 19세기 빛 미립자이론의 패배를 받아들이지만 19세기 판결이 최종적인 것

은 아님을 밝힘으로써 갈등이 해소된다.

여섯 번째 플롯에서는 지금까지 살펴본 광학 현상은 파동이론을 모두 뒷받침, 하지만 역학적 관점에서 아직 하나의 문제가 남아 있음을 소개로 갈등을 도입한다. 즉, 에테르의 역학적 성질을 결정하는 문제이다. 이를 해결하기 위해서 에테르에서 빛이 종파인지 횡파인지를 아는 것이 문제 해결의 필수적임을 소개하고 전기석 실험을 통해 빛의 횡파를 결정한다. 빛이 횡파임을 통해서 에테르는 젤리와 같은 성질로 가정하고 역학적으로 설명하려면 매우 어려움에 직면하게 됨을 밝혀 갈등이 해소된다. 하지만 이러한 문제가 지속해서 제기됨을 예고함으로써 일곱 번째 플롯이 진행된다.

[표 Ⅲ -7] EoP의 플롯 구조3

플롯		내용
Plot 7	도입	빛을 전해주는 매질로서의 에테르의 역학적 성질을 이해하려는 여러 시도는 긴 이야기가 될 것이고, 그보다 더 중요한 것은 에테르는 어디에나 존재해야 한다고 가정해야 하는 갈등 도입.
	절정	광학 현상에서는 에테르와 물질 사이에는 상호작용이 있고 역학적 현상에서는 상호작용이 없다는 모순되는 결론이 도출됨.
	해소	모든 과학에서 자연 현상을 역학적 관점으로 이해하려 할 때 인위적인 물질을 도입해야만 했으며 이에 에테르도 해당하며 새로운 관점의 필요성을 제기하며 갈등 해소.
Plot 8	도입	장의 법칙들에 대한 정량적이고 수학적인 서술은 맥스웰 방정식에 의해 요약되며, 물리학에 있어 가장 중요한 사건임. 맥스웰 방정식이 형태나 특성에 있어서 고전역학과 다른 점은 무엇인지 새로운 갈등 도입.
	절정	맥스웰의 새로운 이론적 사고는 실험적인 사고를 뛰어넘어 전기장과 자기장, 간단히 말해서 전자기장은 실제로 존재함을 보여줌.
	해소	전자기파는 횡파이며 빈 공간에서 전자기파의 속도는 빛의 속도와 같으므로 광학 현상과 전자기 현상은 밀접한 관계임을 밝히며 갈등 해소.
Plot 9	도입	광파는 전자기파라고 해도 광학적 사실에 모순이 없으며, 서로 명백한 연관이 없었던 과학의 두 분야가 같은 이론에 의해 설명됨은 모두 장의 이론으로부터 시작.
	절정	새로운 실체, 역학적으로는 도저히 설명할 수 없는 새로운 개념이 창조되고 장의 개념은 물리학의 지도적 위치를 장악.
	해소	하지만 에테르 역시 장의 이론으로 해석될 수 없으며 더 이상 입자로 이루어진 매질을 나타내는 말이 아님을 밝히고 에테르에 관한 내용은 상대성이론에서 지속

일곱 번째 플롯에서는 빛을 전해주는 매질로서의 에테르의 역학적 성질을 이해하려는 여러 시도는 긴 이야기가 될 것이고, 그보다 더 중요한 것은 에테르는 어디에나 존재해야 한다고 가정해야 하는 새로운 갈등을 도입한다. 광학 현상에서는 에테르와 물질 사이에 상호작용하고 있고 역학적 현상에서는 상호작용이 없는 모순되는 결론이 도출된다. 따라서 모든 과학에서 자연 현상을 역학적 관점으로 이해하려 할 때 인위적인 물질을 도입해야만 하며, 이에 에테르도 해당하며 새로운 관점의 필요성을 제기함으로 갈등이 해소됨과 동시에 여덟 번째 플롯을 예고한다.

여덟 번째 플롯에서는 새로운 관점인 장의 관점을 도입함으로, 장에 관한 정량적이고 수학적인 서술로 맥스웰 방정식을 소개한다. 맥스웰 방정식이 형태나 특성에 있어서 고전역학과 다른 점은 무엇인지에 대한 새로운 갈등이 도입된다. 맥스웰의 새로운 이론적 사고는 실험적인 사고를 뛰어넘어 전기장과 자기장, 즉 전자기장은 실제로 존재함을 보여준다.

맥스웰 방정식은 뉴턴의 법칙(고전역학)처럼 두 개의 분리된 물체를 연결하는 것, 즉 한 곳에서 일어나는 것과 다른 곳의 조건과의 관계를 나타내는 것이 아니라 지금 막 지나간 순간의 바로 옆에 있는 장에만 의존하는 차이점이 존재함을 밝힘으로 갈등이 해소된다. 또한 전자기파는 횡파이며 빈 공간에서 전자기파의 속도는 빛의 속도와 같음으로 광학 현상과 전자기 현상은 밀접한 관계임을 밝혀 내용이 마무리된다.

아홉 번째 플롯에서는 광파는 전자기파라고 해도 광학적 사실에 모순이 없으며, 서로 명백한 연관이 없었던 과학의 두 분야가 같은 이론에 의해 설명됨은 모두 장의 이론으로부터 시작됨을 소개한다. 하지만 초기 장의 개념은 역학적 관점에서 어떤 현상을 설명하기 위한 수단에 불과했으며 새로운 이론(장의 개념)이 고전적 전기 유체 이론의 잘못들을 모두 해결했다거나 고전적 이론이 성취한 업적이 모두 파괴되었다는 생각은 잘못

된 것이다. 하지만 장이론은 물리학의 중요한 개념으로 정착하게 되었고 장이론의 중요성이 드러남으로 역학적 관점은 점차 물러나게 되었다. 에테르의 개념은 공간의 어떤 물리적 성질을 나타내는 것에 불과하며 물리학이 발전함에 따라 여러 번 변화되었고 더 이상 입자로 이루어진 매질을 나타내는 매질이 아님을 밝힘으로 갈등이 해소된다. 하지만 에테르에 관한 내용은 상대성이론에서 지속될 것임을 예고한다.

[표 Ⅲ -8] EoP의 플롯 구조4

플롯		내용
Plot 10	도입	갈릴레이의 관성의 법칙으로 돌아가 관성의 법칙에 대한 문제가 여전히 남아 있는 가운데 좌표계의 새로운 갈등 도입.
	절정	지금까지 우리는 지구에서 살아왔고 기준이 필요한 경우 지구를 기준 좌표계로 삼음으로써 역학법칙을 이용하기 위한 어려움이 존재하지 않았음.
	해소	하지만 그 어떤 것도 절대적이지 않고 각 기준에 따라 다름을 보여주며 고전변환을 소개로 좌표계의 문제 해소.
Plot 11	도입	역학적 현상에 대해 갈릴레이의 상대성 원리는 유효하지만, 비 역학적 현상도 이 원리가 유효한가에 대한 새로운 갈등 도입.
	절정	대표적인 비 역학적 현상을 에테르를 통하여 광원의 운동 여부나 운동 형태와 관계없이 광속은 모든 좌표계에서 일정함을 밝힘.
	해소	에테르의 역학적 구조를 세우는 것이 불가능함이 밝혀졌고, 역학적 관점의 붕괴를 가져오며 에테르의 존재 확인 불가함을 밝히는 가운데 비 역학적 현상이 유효하지 않음으로 갈등 해소.
Plot 12	도입	새로운 2가정 소개하여 상대성이론이 출발함을 전개. (1) 진공 속에서도 빛의 속도는 서로에 대해 상대적으로 등속 운동하는 모든 좌표계에서 같다. (2) 모든 자연법칙은 서로에 대해 상대적으로 등속도 운동하는 모든 좌표계에서 같다. 시계가 무엇인지에 대한 새로운 갈등 도입.
	절정	동시성의 불일치. 운동하는 시계의 리듬 변화와 운동하는 막대기에 있어서 길이의 변화를 설명.
	해소	옛날 물리학자와 현대 물리학자의 대호를 통해 상대성 이론의 관점에서 물체는 빛의 속도 보다 더 큰 속도를 갖는 것은 불가능하며 시간도 상대적임을 밝힘으로 갈등 해소.

열 번째 플롯에서는 갈릴레이의 관성의 법칙으로 돌아가 관성의 법칙에 대한 문제가 여전히 남아 있는 가운데 좌표계의 문제를 새로운 갈등으로 도입한다. 지금까지 우리는 지구에서 살아왔고 기준이 필요한 경우 지구를 기준 좌표계로 삼음으로써 역학법칙을 이용하기 위한 어려움이 존재하지 않았지만, 그 어떤 것도 절대적이지 않으므로 각 기준에 따라 다름을 보여주며, 고전변환을 소개로 좌표계의 문제는 해소된다.

열한 번째 플롯에서는 역학적 현상에 대해 갈릴레이의 상대성 원리는 유효하지만, 비 역학적 현상도 이 원리가 유효한가에 대한 새로운 갈등을 도입한다. 대표적인 비 역학적 현상을 에테르를 통하여 광원의 운동 여부나 운동 형태와 관계없이 광속은 모든 좌표계에서 일정함을 밝힌다. 에테르의 역학적 구조를 세우는 것이 불가능함이 밝혀지고 역학적 관점의 붕괴를 가져오면서 에테르의 존재가 부정된다. 따라서 비 역학적 현상이 유효하지 않음으로 갈등이 해소된다.

열두 번째 플롯에서는 새로운 2가지 가정을 소개하여 상대성이론을 전개한다. 첫 번째 가정은 진공 속에서도 빛의 속도는 서로에 대해 상대적으로 등속 운동하는 모든 좌표계에서 같다는 것이다. 두 번째 가정은 모든 자연법칙은 서로에 대해 상대적으로 등속도 운동하는 모든 좌표계에서 같다는 것이다. 이러한 2가지 가정이 고전변환과 모순되는 점을 밝히는 문제를 도입하므로 시계가 무엇인지에 대한 새로운 갈등을 도입한다. 동시성의 불일치. 운동하는 시계의 리듬 변화와 운동하는 막대기에 있어서 길이의 변화를 설명한다. 옛날 물리학자와 현대 물리학자의 대화를 통해 상대성이론의 관점에서 물체는 빛의 속도 보다 더 큰 속도를 갖는 것은 불가능하며 시간도 상대적임을 밝힘으로 갈등이 해소된다.

[표 Ⅲ -9] EoP의 플롯 구조5

플롯		내용
Plot 13	도입	상대성이론은 이전의 이론의 모순에서부터 시작하였지만, 장의 법칙과 역학법칙은 그 본질이 서로 상당히 다른 방식으로 되어 있는 새로운 갈등 도입.
	절정	전자기장의 방정식은 로렌츠 변환의 불변이고, 역학 방정식은 고전변환에 대해 불변. 하지만 상대성이론은 모든 자연법칙이 로렌츠 변화에 대해서는 불변이지만 고전변환에 대해서는 불변이 아님.
	해소	고전역학을 상대성이론에 모순되지 않고, 어긋나지 않도록 하기 위해서는 고전역학은 작은 속도의 경우에 타당하고 그것은 새로운 이론의 특수한 경우라고 한정하면 갈등 해소.
Plot 14	도입	일정한 강도의 균질한 광파의 작용인 광전효과 실험으로부터 빛의 파동이론으로 설명할 수 없는 새로운 갈등 도입
	절정	뉴턴의 시대에는 에너지의 개념이 없었으므로 도입하면, 균질한 빛은 에너지의 낟알들로 이루어졌다는 가정을 한다면 광전효과를 해석할 수 있음.
	해소	뉴턴의 미립자이론에 에너지 개념을 도입한 새로운 이론이 광량자이론. 광량자 이론이 탄생함으로 갈등 해소.
Plot 15	도입	빛이 파장에 따라 각기 다른 기본 광량자로 이루어져 있다는 가정이 필요한 새로운 갈등을 도입.
	절정	광 스펙트럼을 광자 모델의 언어로 설명할 수 있음을 보이고, 에너지의 양자화를 반영한 보어의 원자 모델은 양자역학 혹은 파동역학의 세계로 끌어내는 디딤돌 역할을 함.
	해소	가시광선 보다 파장의 길이가 훨씬 더 짧은 X선의 경우 파장을 측정하는 방법을 제시함으로 X선 회절 실험을 통해 물질의 결정 구조를 알아볼 수 있음.

열세 번째 플롯에서는 상대성이론은 필요로 나온 이론이지만 장의 법칙과 역학법칙은 그 본질이 서로 상당히 다른 방식으로 되어 있는 새로운 갈등을 도입한다. 전자기장의 방정식은 로렌츠 변환의 불변이고, 역학 방정식은 고전변환에 불변이지만 상대성이론은 모든 자연법칙이 로렌츠 변환에 대해서는 불변이지만 고전변환에 대해서는 불변이 아니다. 고전역학을 상대성이론에 모순되지 않고, 어긋나지 않도록 하기 위해서는 고전역학은 작은 속도의 경우에 타당하고 그것은 새로운 이론의 특수한 경우라고 한정하면 문제가 해결됨을 밝힘으로 갈등이 해소된다.

열네 번째 플롯에서는 일정한 균질한 광파의 작용인 광전효과 실험으로부터 빛의 파동이론으로 설명할 수 없는 새로운 갈등을 도입한다. 뉴턴의 시대에는 에너지 개념이 없었지만 이를 도입하면, 균질한 빛은 에너지 낟알들로 이루어졌다는 가정을 한다면 광전효과를 해석할 수 있게 된다. 따라서 뉴턴의 미립자이론에 에너지 개념을 도입한 새로운 이론이 광량자 이론이며 광량자 이론이 탄생함으로 갈등이 해소된다.

열다섯 번째 플롯에서는 빛이 파장에 따라 각기 다른 기본 광량자로 이루어져 있다는 가정이 필요한 새로운 갈등을 도입한다. 논의 진전을 위해 물질과 복사가 모두 중요한 역할을 하는 몇 가지 물리 현상을 알아보는 가운데 광 스펙트럼을 소개한다. 프리즘과 비슷한 기능이 있지만, 훨씬 정확하고 감도가 좋은 기구인 분광기를 통해 광 스펙트럼을 확인한다. 스펙트럼선은 특정한 파장, 다르게 말하면 특정한 에너지의 광자에 해당하므로 빛이 파장에 따라 각기 다른 기본 광량자로 해석될 수 있음을 보임으로 갈등이 해소된다. 궁극적으로, 광 스펙트럼을 광자 모델의 언어로 설명할 수 있음을 보이고, 에너지의 양자화를 반영한 보어의 원자 모델은 양자역학 혹은 파동역학의 세계로 끌어내는 디딤돌 역할을 하고 있음을 확인할 수 있는 내용으로 전개된다. 끝으로 가시광선 보다 파

장의 길이가 훨씬 더 짧은 X선의 경우 파장을 측정하는 방법을 제시함으로 X선 회절 실험을 통해 물질의 결정 구조를 확인할 수 있음을 소개한다.

[표 Ⅲ -10] EoP의 플롯 구조6

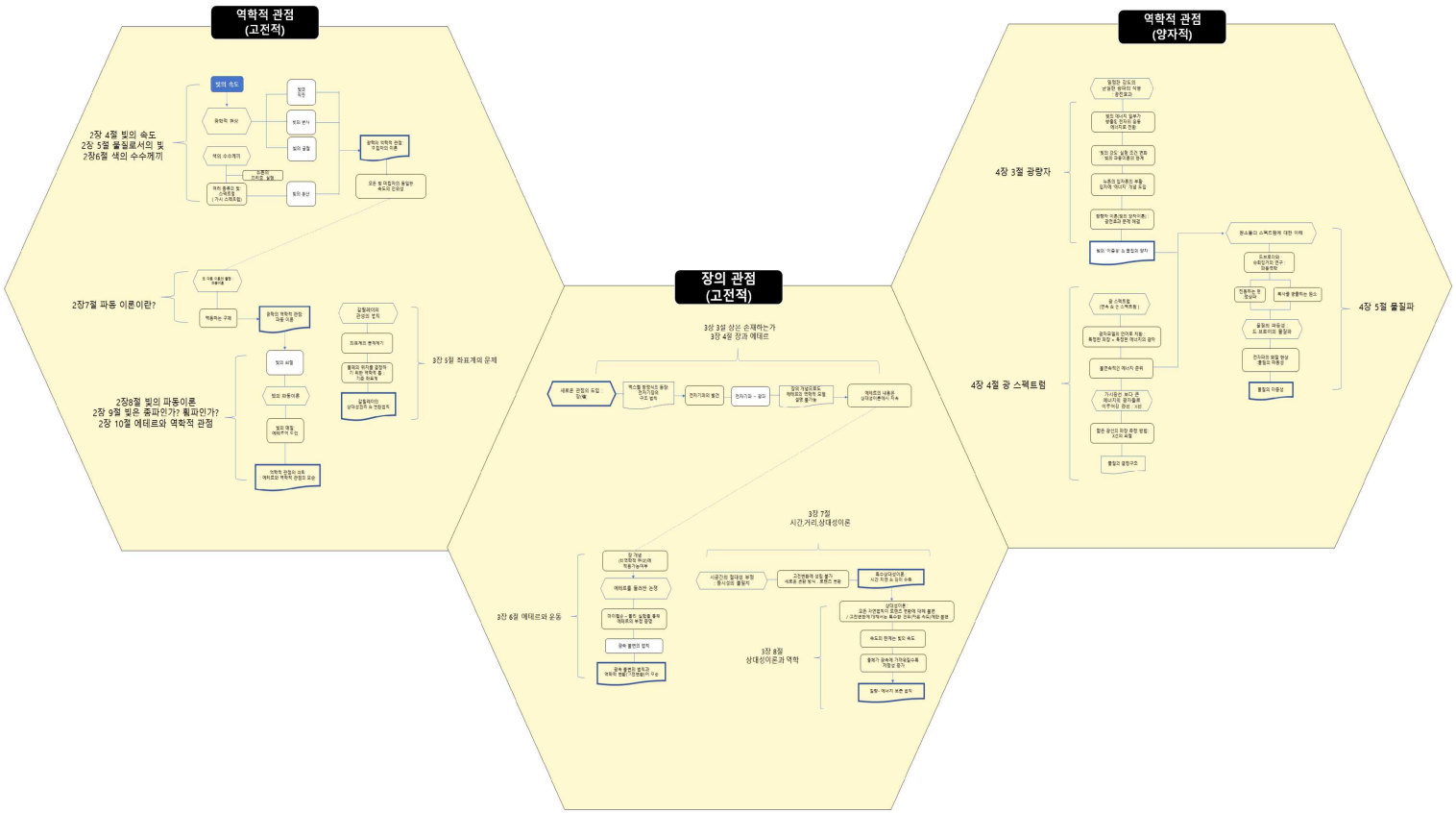
플롯		내용
Plot 16	도입	원소들의 스펙트럼에 어떤 특정한 파장들만이 나타난다는 사실을 이해할 수 있는지 새로운 갈등 도입.
	절정	드브로이는 등속도 운동을 하는 전자들을 파동 개념을 연결하여 물질파의 문제를 다룸. 미립자의 언어를 파동의 언어로 표현 가능함을 보임.
	해소	빛에서도 마찬가지로 물질에서도 변환하여 설명. 원소 스펙트럼을 이해로부터 물질 역시 입자성과 파동성을 가지고 있음을 밝히는 가운데 갈등 해소.

열여섯 번째 플롯에서는 원소들의 스펙트럼에 어떤 특정한 파장들만이 나타난다는 사실을 어떻게 이해할 수 있는가에 대한 새로운 갈등을 도입한다. 드브로이는 등속도 운동을 하는 전자들은 파동 개념을 연결하여 물질파의 문제를 다루고 있으며 미립자의 언어를 파동의 언어로 표현 가능함을 밝힌다. 결론적으로 빛에서도 마찬가지로 물질에서도 변환하여 설명할 수 있음을 보임으로써 원소 스펙트럼을 이해로부터 물질 역시 입자성과 파동성을 모두 가지고 있음을 밝히는 가운데 갈등이 해소된다.

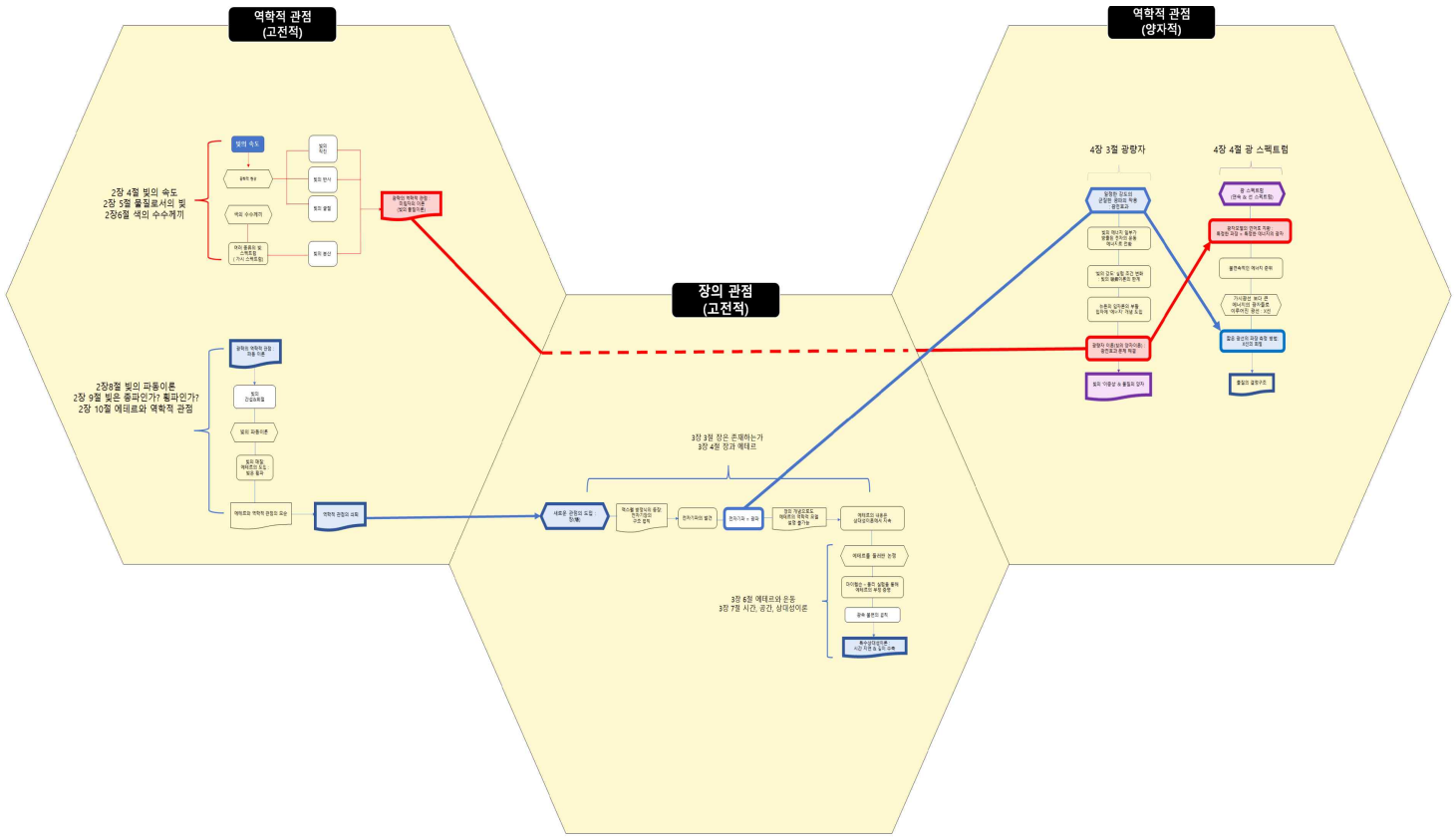
빛과 관련된 EoP의 내용을 분석한 결과 각 플롯에 나타나는 갈등으로부터 해소되는 과정이 단서를 통하여서 문제를 해결하고, 내용이 유기적으로 자연스럽게 연결되어 있음을 확인할 수 있었다. 또한 '빛' 자체에 관한 내용을 기술함으로써 빛의 본질을 독자들이 쉽게 이해하고 접근

할 수 있는 구조로 되어 있음을 확인해 볼 수 있었다. 또한 플롯과 플롯 사이에 실마리를 던져주거나 바로 내용이 이어지지 않더라도 뒤에서 다시 내용을 다룰 수 있음을 열린 결말로 구성함으로써 독자가 지속적인 흥미가 있을 수 있다. 또한, 전체적인 과학적 맥락을 기술하고 있으므로 단편적으로 과학의 이론과 법칙 등이 제시되어 있지 않았다. 어떤 이론이 도출되는 과정을 쉽게 이야기 형식으로 구성되어 있었다. 특히, 일상생활에서 접할 수 있는 예시를 통하여서 독자의 이해를 도울 수 있는 내용으로 구성되어 있다.

EoP의 해당 절 마다 모든 내용을 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(상세도)([그림 Ⅲ -4] 참고)를 작성한 결과 빛에 관한 지식의 내용이 유기적으로 잘 연결되어 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 빛의 특징과 성질, 역할이 명확하게 드러나지 않았으므로 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(핵심 요약)([그림 Ⅲ -5] 참고) 작성하였다.



[그림 Ⅲ -4] 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도 : 관점 및 주제어를 중심으로(상세도)



[그림 Ⅲ -5] 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도 : 관점 및 주제어를 중심으로(핵심 요약)

빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(핵심 요약)([그림 Ⅲ -5] 참고)를 작성한 결과 EoP에 해당하는 절은 ‘2장 역학적 관점의 쇠퇴’에서는 ‘4절. 빛의 속도’, ‘5절. 물질로서의 빛’, ‘6절 색의 수수께끼’, ‘8절. 빛의 파동이론’, ‘9절. 빛은 종파인가 횡파인가?’, ‘10절. 에테르의 역학적 관점’이다. ‘3장 장(場)과 상대성이론’에서는 ‘3절. 장은 존재하는가?’, ‘4절. 장과 에테르’, ‘6절. 에테르와 운동’, ‘7절. 시간, 거리, 상대성이론’에 해당한다. 마지막 ‘4장 양자’에서는 ‘3절. 광량자’, ‘4절 광 스펙트럼’이 해당 내용으로 간추려졌다.

역학적 관점(고전적)에서 빛의 속도로부터 빛의 내용이 시작되고 관측되는 광학적 현상으로부터 빛의 직진, 빛의 반사, 빛의 굴절, 빛의 분산을 확인할 수 있다. 4가지 특징을 광학의 역학적 관점으로 설명할 수 있으며 빛의 미립자이론이 도출된다. 또한 새로운 역학적 관점인 파동이론이 등장하고 빛의 회절 현상은 미립자의 이론으로는 설명되지 않지만, 빛의 파동이론으로는 설명할 수 있다. 또한 앞서 언급한 빛의 직진, 빛의 반사, 빛의 굴절, 빛의 분산은 모두 빛의 파동이론으로 설명할 수 있으므로 빛의 파동이론이 인정된다. 따라서 결론적으로 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(핵심 요약)([그림 Ⅲ -5])에서는 빛의 성질인 입자성과 파동성을 모두 확인할 수 있도록 작성하였다. 여기서 관점에 따른 입자와 파동의 개념은 표[Ⅲ -11] (김홍빈, 2022)을 따라 작성하였다.

[표 Ⅲ -11] 관점에 따른 입자와 파동 개념

	(고전) 역학적 관점 (=고전역학의 관점)	(고전) 장 관점 (=고전장론의 관점)	양자역학적 관점 (=양자역학의 관점[5])
입자	정의: 질량을 가진 물질 성질: 점 같은 존재, 위치와 운동량이 초기조건 및 운동방정식에 의해 결정됨	정의: 질량과 전하량을 가진 물질 성질: 점 같은 존재, 위치와 운동량이 초기조건 및 운동방정식에 의해 결정됨	정의: 붕괴된 파동함수 성질: 점 같은 존재, 위치와 운동량으로 기술되지만, 이 두 값을 동시에 알 수는 없음
파동	정의: 매질의 진동을 통해 공간상에서 에너지가 전달되는 현상 (여기서 매질은 입자들의 집합임) 성질: 공간적으로 퍼져 있음(연속적인 분포), 시간과 공간에 관한 함수로 정의되는 물리량(변위, 압력 등)이 초기조건 및 파동방정식에 의해 결정됨	정의: 전자기장의 진동을 통해 공간상에서 에너지가 전달되는 현상 (여기서 전자기장은 입자들로 환원되지 않는 독립적인 실체임) 성질: 공간적으로 퍼져 있음(연속적인 분포), 시간과 공간에 관한 함수로 정의되는 물리량(전기장과 자기장)이 초기조건 및 파동방정식[6]에 의해 결정됨	정의: 물질의 양자상태에 대한 시공간적 표현 성질: 공간적으로 퍼져 있음(연속적인 분포), 시간과 공간에 관한 함수로 정의되는 파동함수가 초기조건 및 파동방정식[7]에 의해 결정됨

5) 양자역학에는 여러 가지 해석이 존재하고, 각 해석에 따라 입자와 파동의 의미가 다르다. 여러 가지 해석 중에서 코펜하겐 해석이 가장 적절한 해석이라고 말하기는 어렵지만, 오늘날 통상적인 교육과정에서 가장 대표적으로 소개되고 있는 해석이고, 물리학의 역사 속에서도 가장 널리 수용된 해석임에는 틀림없다. 따라서 이 표에서 '양자역학의 관점'은 코펜하겐 해석을 기준으로 정리한 것임을 밝힐 필요가 있다. (따라서 여러 가지 해석을 포괄하는 양자역학의 관점을 논하기 위해서는 좀 더 깊은 연구가 필요할 것이다. 또한, 양자역학의 관점을 '양자론'의 관점과 동일시해서도 안 될 것이다. 일반적으로 '양자론'이라는 말은 '양자장론(quantum field theory)'까지 포함하는 더 넓은 의미로 사용되는데, 양자장론에서 입자와 파동이 어떻게 정의되는가 하는 것은 별도의 연구를 통해 밝혀야 할 문제라고 본다.)

6) 맥스웰의 방정식으로부터 유도된 파동방정식

7) 슈뢰딩거의 방정식

표[Ⅲ -11]에서 담긴 관점이라는 용어들에 설명(김홍빈, 2022)을 요약하면 다음과 같다.

물리학에서 **관점(view)**은 **"물질세계에 대한 지식의 규범을 제공하는 특정한 사고 구조"** 로 정의될 수 있다. 여기서 지식의 규범을 제공한다는 것은 어떠한 지식을 추구할 것인가 하는 질문에 대한 틀을 제공한다는 뜻이다. 예를 들어, 양자역학에서는 "어떤 입자의 위치와 운동량은?" 과 같은 질문을 던지지 않는다. (이것은 고전역학에서는 자연스러운 질문이다) 그러나 양자역학에서는 어떤 입자의 상태를 안다는 것의 의미가 고전역학의 그것과는 다르다는 점에서 지식의 규범이 다르다고 말할 수 있다.

관점에 대한 위의 정의에 따르면 고전역학, 고전장이론(맥스웰의 전자기이론), 양자역학은 각기 서로 다른 관점을 바탕으로 형성된 이론체계로 볼 수 있다. 이 세 가지 관점을 각각 '(고전) 역학적 관점', '(고전) 장 관점', '양자역학적 관점' 이라고 부른다. 여기서 '(고전) 역학적 관점' 은 **'고전역학의 관점'** 과 동일한 표현이다. 즉, (고전) 역학적 관점은 Classical Mechanics' view를 의미하며 이는 아인슈타인이 EoP에서 'mechanical view' 라고 표현한 것과 동일한 표현이다. 비슷하게, '(고전) 장 관점' 은 **'고전장론의 관점'** (classical field theory' s view)을 의미하는데, 고전장론(classical field theory)은 맥스웰의 전자기학과 아인슈타인의 일반 상대론을 포괄적으로 지칭하는 용어이다. 그리고 classical field theory' s view는 EoP에서 'field view' 라고 한 것과 동일한 표현이다.

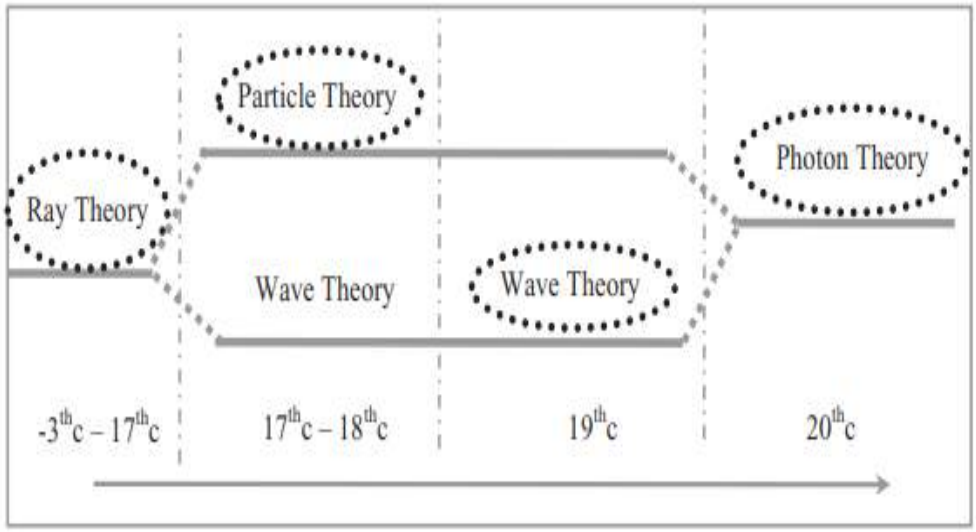
이를 토대로 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(핵심 요약)([그림 Ⅲ -5]) 는 입자성에 해당하는 부분은 붉은색으로 표현하였으며, 파동성에 해당하는 부분은 파란색으로 표현하였다. 빛의 이중성을 인정하는 가운데 이중성에 해당하는 부분은 붉은색과 파란색의 혼합색인 보라색으로 표현하였다. 또한, 빛의 파동성과 입자성이 역학적 관점(고전적)에서는 병렬적으로 드러남을 확인할 수 있다. 하지만 빛의 파동이론이 등장하면서 빛의 매질로 간주하였던 에테르가 역학적 관점의 모순이 존재하므로 역학적 관점이 쇠퇴하고 새로운 장의 관점이 등장하게 된다. 장의 관점(고전적)에서는 빛의 입자성은 드러나지 않고 있어서 이를 점선으로 표현을 하였다. 또한 장의 관점(고전적)에서 가장 중요한 핵심 내용이자 빛의 특징인 전자기파가 광파와 동일함을 하얀색으로 표현하였다. 장의 관점(고전적)에서는 입자성은 드러나지 않고, 파동성만 드러나고 있지만, 일정한 강도의 균질한 광파를 활용한 광전효과 실험을 통해 역학적 관점(양자적)이 등장한다. 광전효과 실험은 빛의 파동성으로 해석할 수 없는 문제에 부딪히게 되고, 역학적 관점(고전적)에서 입자성이 광전효과 문제를 해결한 광량자 이론과 연결된다. 결과적으로 역학적 관점(양자적)에서 입자성과 파동성 2가지 빛의 성질이 인정되어 빛의 이중성을 받아드림을 확인할 수 있다.

결론적으로 EoP에서 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(핵심 요약)를 통하여서 빛은 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적) 3가지 관념 세계가 형성되는 과정을 분명하게 이해할 수 있는 수단이 됨을 확인할 수 있다. 빛의 성질인 입자성과 파동성은 처음부터 공존하였음을 분명하게 이해할 수 있다.

이러한 결과는 광학이 학교 과정에서 서로 다른 깊이에서 배운 3가지 기본 이론을 사용하기 때문에 학문-문화 체계를 확인하는데 편리한 영역

이기 때문에 선택되어 빛의 개념을 분석한 Galili(2014)와 유사한 부분을 확인할 수 있다. 여기서 언급되는 3가지 이론은 광선 이론(Ray Theory of light), 빛의 파동이론(Wave theory of light), 빛의 광자이론(Photons theory of light)이다. 각각은 기하 광학(geometrical optics), 물리 광학(physical optics), 현대 물리(modern physics)에 해당한다.

Galili(2014)가 분석한 빛에 대한 지식의 발전에 대한 그림은 [그림 Ⅲ-6]과 같다. 그림은 각 시대에 중요한 관점으로 선정되어 지배적이었던 이론을 작성하였다. 3세기부터 17세기에는 빛에 대한 탐구가 이루어졌던 시기로 빛의 성질을 아직 발견하기 이전이었다. 그래서 광선 이론(Ray Theory)으로 작성되었고, 17세기에서 18세기에는 빛의 성질을 발견하여 광선 이론이 입자 이론(Particle Theory) 와 파동이론(Wave Theory) 구분되고, 두 가지 이론이 공존하지만 합쳐질 수 없음이 표현되었다. 두 이론 중 좀 더 우세한 이론은 입자 이론(Particle Theory)이었기 때문에 점선 동그라미로 표현되었다. 19세기에는 빛에 대한 파동이론(Wave Theory)이 우세하였기 때문에 입자 이론과 파동이론의 구분된 선이 지속되게 그려져 있지만 우세한 이론이 점선 동그라미로 표현되었다. 19세기까지 공존하였지만 합쳐질 수 없었던 두 가지 이론은 20세기에 와서는 동시에 입자 이론과 파동이론이 인정됨에 따라 광자이론(Photon Theory)가 등장하였음을 표현하였다.



[그림 Ⅲ -6] 빛에 대한 지식의 발전에 대한 큰 그림.
각 시기에서 지배적인 이론들은 중요한 관점으로 표시(Galili, 2014)

결과적으로, EoP에서 분석되어 등장하고 있는 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적)이 등장하는 것과 같은 맥락을 하는 결과임을 확인하였다. 특히 EoP 분석 결과 빛의 입자성과 파동성이 역학적 관점(고전적)에서는 합쳐질 수 없는 이론으로 병렬적으로 작성되었으며, 장의 관점(고전적)에서는 빛의 입자성은 드러나지 않고 빛의 파동성만 드러나며 역학적 관점(양자적)에서는 두 성질 입자성과 파동성이 동시에 인정되는 가운데 드러나는 부분은 Galili(2014)와 동일한 내용 지식 체계를 이루고 있음을 확인하였다.

3. 요약

첫 번째 연구에서는 아인슈타인의 저서 『The Evolution of Physics』를 분석하여 빛의 역할이 무엇인지 알아보고자 하였다.

먼저는 EoP에서 빛과 관련된 지식의 체계가 어떠한지 분석하기 위하여 전체 내용의 DC 구조도를 작성하였고, 빛 중점의 DC 구조도를 작성하였다. DC 구조도를 작성한 결과 자연 현상을 해석하는 데 있어서 물리학의 총 3가지 관점이 필요함이 드러났다. 3가지 관점은 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적)이다.

빛의 역할을 탐색하기 위하여 빛 중점의 DC 구조도 작성을 진행한 결과, 빛은 각각 새로운 관점 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적)을 연결하여 주는 역할을 하고 있음을 확인할 수 있다.

다음으로는 EoP에서 해당하는 핵심 내용이 무엇인지 분석하는 과정이 진행되었고, 물리학에서 빛 관련 지식 체계도를 관점과 주제어를 중심으로 하여 작성한 결과 핵심 내용이 서사적인 구조로 유기적으로 구성되어 있음을 확인하였다. 또한, 빛을 중심으로 파악한 물리학의 지식 체계도(상세도)를 작성한 결과 빛의 속도로부터 물질의 이중성까지 해석할 수 있는 역할이 바로 빛이며, 빛의 성질인 빛의 직진, 반사, 굴절, 분산, 회절 등을 확인할 수 있었다. 또한 관점별로 빛의 특성인 입자성과 파동성이 역학적 관점(고전적)에서부터 공존하였지만 두 가지를 병렬적으로 제시되는 가운데 두 가지 특성을 동시에 인정되지 않았고, 장의 관점(고전적)에서는 빛의 입자성은 드러나지 않고 빛의 파동성만 드러났지만, 역학적 관점(양자적)에 와서는 두 가지 특성이 모두 그대로 존재하며 인정됨이 확인되었다. 즉, 단편적인 빛의 성질과 특성을 기술한 것이 아니라 '관점의 변화'를 서사적 구조로 물리학의 전체적인 맥락과 흐름을 이

해할 수 있도록 내용 지식 체계를 이루고 있으므로 내용 지식이 유기적인 연결성을 보여준다. 따라서 물리학에서 빛의 중요성과 역할이 강조되며, 관점별 빛의 특징인 빛의 입자성과 파동성이 핵심 아이디이다. 빛을 통해 보이는 세계를 넘어 보이지 않는 세계, 물질까지 인류가 해석할 수 있게 됨을 확인되었다.

Ⅳ. <2015 개정 교육과정>에서 ‘빛’의 역할

본 연구의 목적은 2015 개정 고등학교 과학과 교육과정에서 ‘빛’을 다루는 단원들 내용의 구성 및 지식 체계를 중심으로 살펴보고, 현 교육과정에서 ‘빛’의 역할이 무엇인지를 분석한다.

이를 위해 두 번째 연구에서는 현행 교육과정인 < 2015 개정 과학과 교육과정> 가운데 물리학 I을 선정하여, 교육내용 구성을 살펴보고자 하였다.

1. 연구 방법

두 번째 연구에서는 ‘빛’과 관련된 과학교육의 내용 지식 체계를 살펴보고자 내용 구성도를 작성하고자 하였다. 이에 현행 교육과정인 < 2015 개정 과학과 교육과정> 가운데 물리학 I의 내용 지식 체계를 ‘빛’ 중심으로 살펴보는 가운데 교육과정이 반영된 물리학 I의 목차를 살펴보았다. 두 번째 연구의 대상과 절차는 다음과 같다.

1.1 연구 대상

1. <2015 개정 과학과 교육과정 >

학교 교육에서 교사들은 교육과정에 기반하여 수업을 설계하며 학생들의 학습 활동을 지도해나가며 교수활동에 있어서 학교 교육의 기본 체계

로서 교육과정은 큰 영향을 주기 때문에 연구의 대상인 < 2015 개정 과학과 교육과정 >은 현재 국내의 과학교육 활동의 기준이 되고 있다고 할 수 있다.

이에 본 연구자는 <2015 개정 과학과 교육과정> 가운데 선택중심 교육과정 물리학 I을 첫 번째 연구의 분석 대상으로 선정하였으며, 물리학 I의 교육과정 내용구성을 빛을 중심으로 살펴보고자 하였다.

교육과정의 문서는 1. 성격, 2. 목표, 3. 내용 체계 및 성취기준, 4. 교수·학습 및 평가의 방향 총 4가지 목차로 구성되어 있으며 각각 구체적인 내용은 [그림 Ⅳ -1]과 같이 교육과정 문서 '일러두기' 에서 제시하고 있다.

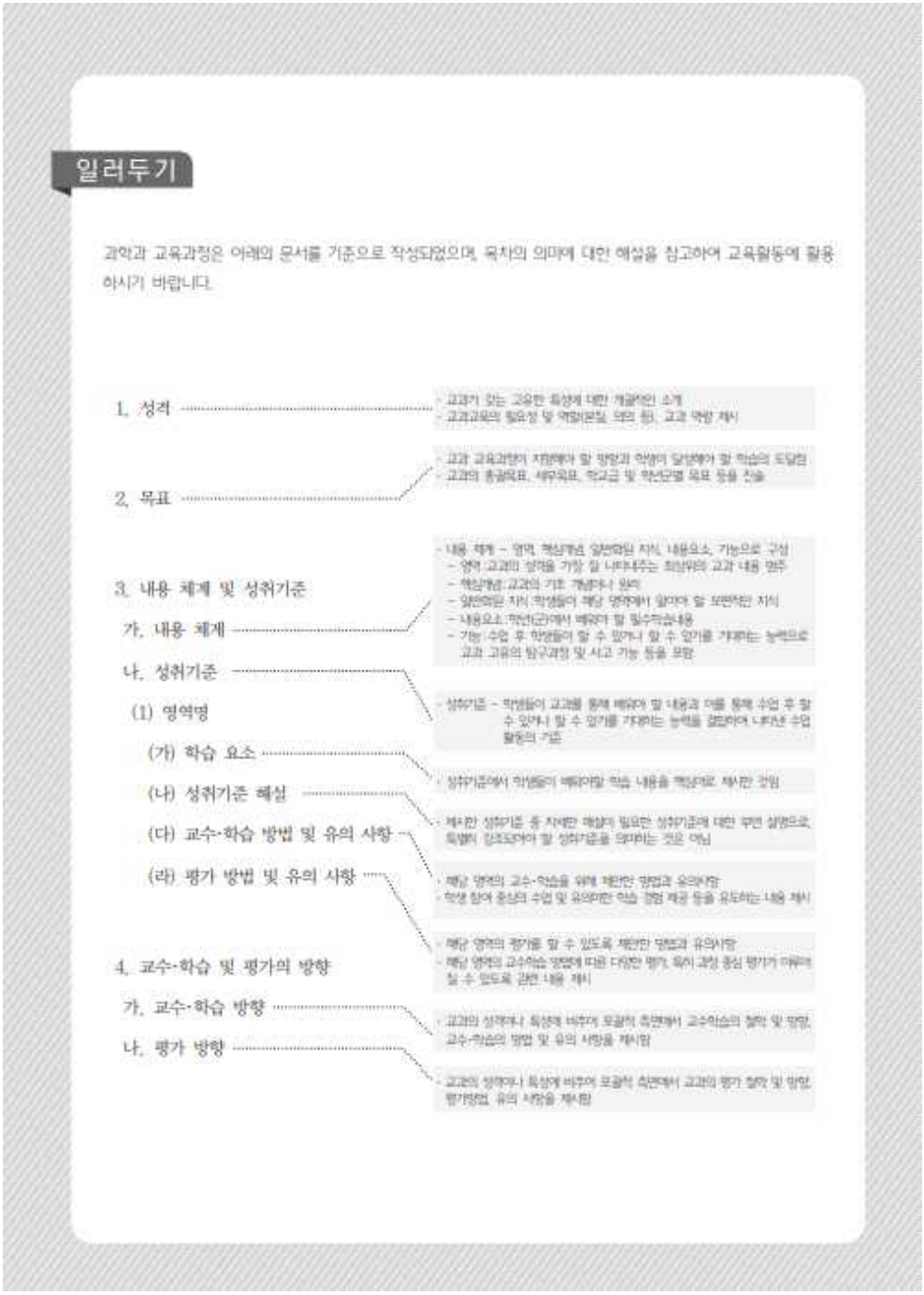
'1. 성격' 에서는 교과가 갖는 고유한 특성에 대한 개괄적인 소개와 교과교육의 필요성 및 역할(본질, 의의 등), 교과 역량을 제시한다.

'2. 목표' 에서는 교과 교육과정이 지향해야 할 방향과 학생이 달성해야 할 학습의 도달점, 교과의 총괄 목표, 세부 목표, 학교급 및 학년 군별 목표 등을 진술한다.

'3. 내용 체계 및 성취기준' 가운데 내용 체계는 영역, 핵심 개념, 일반화된 지식, 내용 요소, 기능으로 구성되어 있으며 영역은 교과의 성격을 가장 잘 나타내주는 최상위의 교과 내용 범주, 핵심 개념은 교과의 기초 개념이나 원리, 일반화된 지식은 학생들이 해당 영역에서 알아야 할 보편적인 지식, 내용 요소는 학년(군)에서 배워야 할 필수 학습 내용, 기능은 수업 후 학생들이 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력으로 교과 고유의 탐구 과정 및 사고 기능 등을 포함한다. 성취기준은 학생들이 교과를 통해 배워야 할 내용과 이를 통해 수업 후, 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력을 결합하여 나타낸 수업 활동의 기준으로 (가) 학습 요소, (나) 성취기준 해설, (다) 교수 • 학습 방법 및 유의 사항, (라) 평가 방법 및

유의 사항으로 나눌 수 있다. 각각의 자세한 설명은 다음과 같다. (가) 학습 요소는 성취기준에서 학생들이 배워야 할 학습 내용을 핵심어로 제시한 것이다. (나) 성취기준 해설은 제시한 성취기준 중 자세한 해설이 필요한 성취기준에 대한 부연 설명으로, 특별히 강조되어야 할 성취기준을 의미하는 것은 아니다. (다) 교수 • 학습 방법 및 유의 사항은 해당 영역의 교수 • 학습을 위해 제안한 방법과 유의 사항과 학생 참여 중심의 수업 및 유의미한 학습 경험 제공 등을 유도하는 내용 제시이다. (라) 평가 방법 및 유의 사항은 해당 영역의 평가를 할 수 있도록 제안한 방법과 유의 사항과 해당 영역의 교수 학습 방법에 따른 다양한 평가, 특히 과정 중심 평가가 이루어질 수 있도록 관련 내용을 제시한다.

'4. 교수•학습 및 평가 방향' 가운데 '가. 교수•학습 방향'은 교과의 성격이나 특성에 비추어 포괄적 측면에서 교수 학습의 철학 및 방향, 교수 • 학습의 방법 및 유의 사항을 제시한다. '나. 평가 방향'은 교과의 성격이나 특성에 비추어 포괄적 측면에서 교과의 평가 철학 및 방향, 평가 방법, 유의 사항을 제시한다.



일러두기

과학과 교육과정은 아래의 문서를 기준으로 작성되었으며, 목차의 의미에 대한 해설을 참고하여 교육활동에 활용하시기 바랍니다.

1. 성격
- 교과가 갖는 고유한 특성에 대한 개괄적인 소개
- 교과교육의 필요성 및 역할(비전), 의의 등, 교과 역량 제시

2. 목표
- 교과 교육과정이 지향해야 할 방향과 학생이 달성해야 할 학습의 도달점
- 교과의 총괄목표, 세부목표, 학교급 및 학년군별 목표 등을 진술

3. 내용 체계 및 성취기준

가. 내용 체계
- 내용 체계 – 영역, 핵심개념, 일반화된 지식, 내용요소, 기능으로 구성
  - 영역 :교과의 성격을 가장 잘 나타내주는 최상위의 교과 내용 범주
  - 핵심개념:교과의 기초 개념하나 원리
  - 일반화된 지식:학생들이 해당 영역에서 알아야 할 보편적인 지식
  - 내용요소:학년(군)에서 배워야 할 필수학습내용
  - 기능 :수업 후 학생들이 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력으로 교과 고유의 탐구과정 및 사고 기능 등을 포함

나. 성취기준
- 성취기준 – 학생들이 교과를 통해 배워야 할 내용과 이를 통해 수업 후 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 능력을 결합하여 나타낸 수업 활동의 기준

(1) 영역명

(가) 학습 요소
- 성취기준에서 학생들이 배워야할 학습 내용을 핵심어로 제시한 것임

(나) 성취기준 해설
- 제시한 성취기준 중 지녀야 해설이 필요한 성취기준에 대한 부연 설명으로, 특별히 강조되어야 할 성취기준을 의미하는 것은 아님

(다) 교수·학습 방법 및 유의 사항
- 해당 영역의 교수·학습을 위해 제안한 방법과 유의사항
- 학생 참여 중심의 수업 및 유의미한 학습 경험 제공 등을 유도하는 내용 제시

(라) 평가 방법 및 유의 사항
- 해당 영역의 평가를 할 수 있도록 제안한 방법과 유의사항
- 해당 영역의 교수·학습 방법에 따른 다양한 평가, 학습 과정 중심 평가가 이루어질 수 있도록 강조한 내용 제시

4. 교수·학습 및 평가의 방향

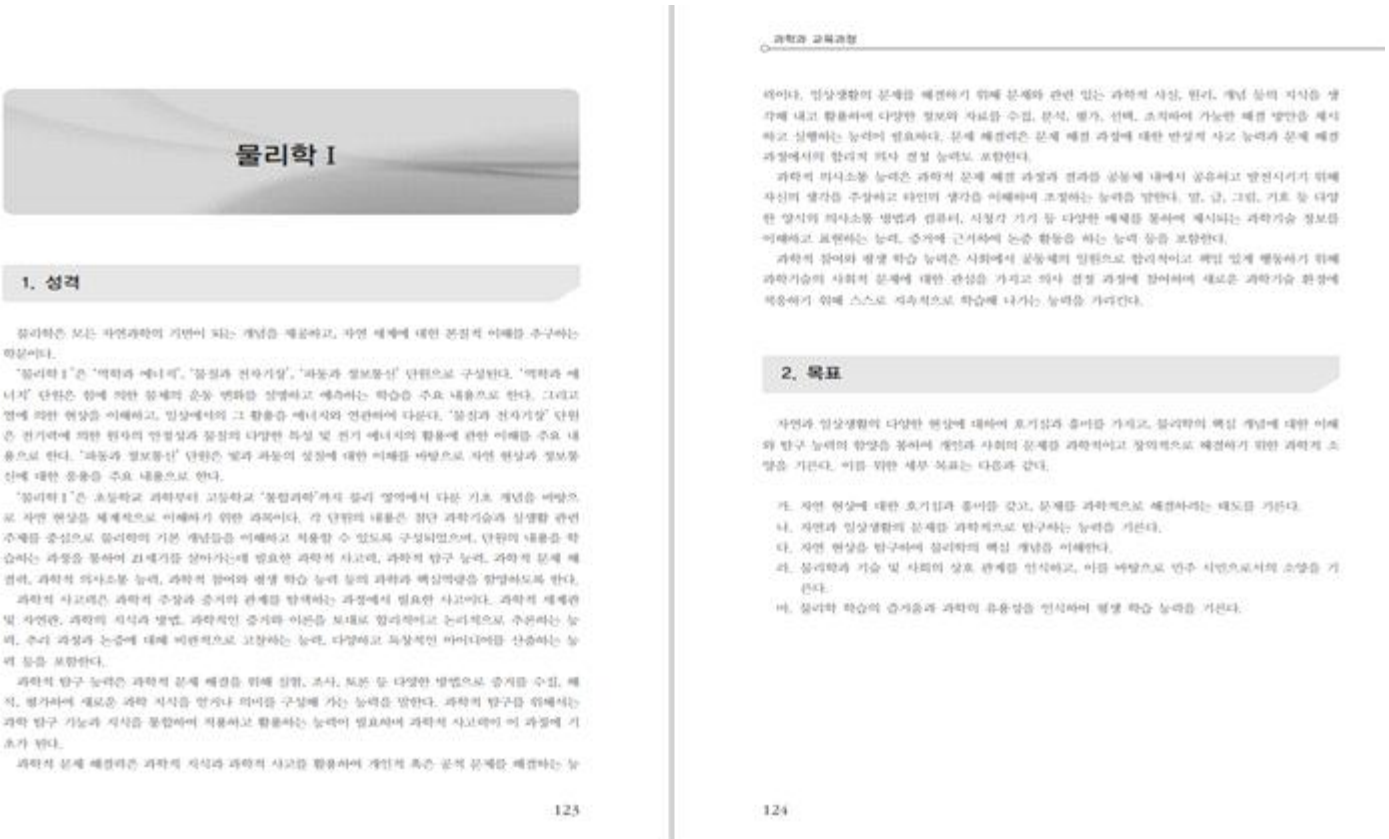
가. 교수·학습 방향
- 교과의 성격에서 특성에 비추어 포괄적 측면에서 교수·학습의 철학 및 방향, 교수·학습의 방법 및 유의 사항을 제시함

나. 평가 방향
- 교과의 성격에서 특성에 비추어 포괄적 측면에서 교과의 평가 철학 및 방향, 평가방법, 유의 사항을 제시함

[그림 Ⅳ -1] 2015 개정 과학과 교육과정 ‘일러두기’(교육부, 2015)

[그림 Ⅳ -2]는 2015 개정 과학과 교육과정 중 선택교육과 정 물리학 I의 ‘1. 성격’과 ‘2. 목표’를 발췌한 것이다.

선택 교육과정 물리학 I에 해당하는 구체적인 내용은 다음과 같다. 교육과정은 물리학 교과의 성격은 ‘모든 자연과학의 기반이 되는 개념을 제공하고, 자연 세계에 대한 본질적 이해를 추구하는 학문 (교육부, 2015)’이라고 명시하고 있다. 또한 물리학 교과의 목표는 ‘자연과 일상생활의 다양한 현상에 대하여 호기심과 흥미를 갖고, 물리학의 핵심 개념에 대한 이해와 탐구 능력의 함양을 통하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기르는 것 (교육부, 2015)’이라고 기술하고 있다.



물리학 I

1. 성격

물리학은 모든 자연과학의 기반이 되는 개념을 제공하고, 자연 세계에 대한 본질적 이해를 추구하는 학문이다.

'물리학 I'은 '역학과 에너지', '물질과 전자기장', '파동과 정보통신' 단원으로 구성된다. '역학과 에너지' 단원은 힘에 의한 물체의 운동 변화를 설명하고 예측하는 학습을 주요 내용으로 한다. 그리고 열에 의한 현상을 이해하고, 일상에서의 그 활용을 에너지와 연관하여 다룬다. '물질과 전자기장' 단원은 전기력에 의한 원자의 안정성과 물질의 다양한 특성 및 전기 에너지의 활용에 관한 이해를 주요 내용으로 한다. '파동과 정보통신' 단원은 빛과 파동의 성질에 대한 이해를 바탕으로 자연 현상과 정보통신에 대한 응용을 주요 내용으로 한다.

'물리학 I'은 초등학교 과학부터 고등학교 '통합과학'까지 물리 영역에서 다룬 기초 개념을 바탕으로 자연 현상을 체계적으로 이해하기 위한 과목이다. 각 단원의 내용은 첨단 과학기술과 실생활 관련 주제를 중심으로 물리학의 기본 개념들을 이해하고 적용할 수 있도록 구성되었으며, 단원의 내용을 학습하는 과정을 통하여 21세기를 살아가는데 필요한 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등의 과학과 핵심역량을 함양하도록 한다.

과학적 사고력은 과학적 주장과 증거의 관계를 탐색하는 과정에서 필요한 사고이다. 과학적 세계관 및 자연관, 과학의 지식과 방법, 과학적인 증거와 이론을 토대로 합리적이고 논리적으로 추론하는 능력, 주어 과정과 논증에 대해 비판적으로 고찰하는 능력, 다양하고 독창적인 아이디어를 산출하는 능력 등을 포함한다.

과학적 탐구 능력은 과학적 문제 해결을 위해 실험, 조사, 토론 등 다양한 방법으로 증거를 수집, 해석, 평가하여 새로운 과학 지식을 얻거나 의미를 구성해 가는 능력을 말한다. 과학적 탐구를 위해서는 과학 탐구 기능과 지식을 통합하여 적용하고 활용하는 능력이 필요하며 과학적 사고력이 이 과정에 기초가 된다.

과학적 문제 해결력은 과학적 지식과 과학적 사고를 활용하여 개인적 혹은 공적 문제를 해결하는 능력이다. 일상생활의 문제를 해결하기 위해 문제와 관련 있는 과학적 사실, 원리, 개념 등의 지식을 생각해 내고 활용하여 다양한 정보와 자료를 수집, 분석, 평가, 선택, 조직하여 가능한 해결 방안을 제시하고 실행하는 능력이 필요하다. 문제 해결력은 문제 해결 과정에 대한 반성적 사고 능력과 문제 해결 과정에서의 합리적 의사 결정 능력도 포함한다.

과학적 의사소통 능력은 과학적 문제 해결 과정과 결과를 공동체 내에서 공유하고 발전시키기 위해 자신의 생각을 주장하고 타인의 생각을 이해하며 조정하는 능력을 말한다. 말, 글, 그림, 기호 등 다양한 양식의 의사소통 방법과 컴퓨터, 시청각 기기 등 다양한 매체를 통하여 제시되는 과학기술 정보를 이해하고 표현하는 능력, 증거에 근거하여 논증 활동을 하는 능력 등을 포함한다.

과학적 참여와 평생 학습 능력은 사회에서 공동체의 일원으로 합리적이고 책임 있게 행동하기 위해 과학기술의 사회적 문제에 대한 관심을 가지고 의사 결정 과정에 참여하며 새로운 과학기술 환경에 적응하기 위해 스스로 지속적으로 학습해 나가는 능력을 가리킨다.

123

과학과 교육과정

2. 목표

자연과 일상생활의 다양한 현상에 대하여 호기심과 흥미를 가지고, 물리학의 핵심 개념에 대한 이해와 탐구 능력의 함양을 통하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기른다. 이를 위한 세부 목표는 다음과 같다.

가. 자연 현상에 대한 호기심과 흥미를 갖고, 문제를 과학적으로 해결하려는 태도를 기른다.
나. 자연과 일상생활의 문제를 과학적으로 탐구하는 능력을 기른다.
다. 자연 현상을 탐구하여 물리학의 핵심 개념을 이해한다.
라. 물리학과 기술 및 사회의 상호 관계를 인식하고, 이를 바탕으로 민주 시민으로서의 소양을 기른다.
마. 물리학 학습의 즐거움과 과학의 유용성을 인식하여 평생 학습 능력을 기른다.

124

[그림 Ⅳ -2] 선택 교육과정 물리학 I의 ‘1. 성격’과 ‘2. 목표’ (교육부, 2015)

[그림 Ⅳ -3]은 2015 개정 과학과 교육과정 중 선택 교육과정 물리학 I의 ‘3. 내용 체계 및 성취기준’을 발췌하였다.

‘3. 내용 체계 및 성취기준’은 ‘가. 내용 체계’와 ‘나. 성취기준’ 2가지로 구분된다.

‘가. 내용 체계’는 앞서 소개한 바와 같이 영역과 핵심 개념, 일반화된 지식, 내용 요소와 기능으로 구성되어 있다.

‘나. 성취기준’에는 성취기준과 이에 대한 학습 요소, 성취기준해설, 교수 학습 방법과 평가 방법에의 유의 사항이 안내되어 있다.

본 연구에서는 빛을 주제로 물리학 교육내용의 구조를 파악하는 가운데 물리 교과에서 드러나고 있는 빛의 역할이 무엇인지를 밝히는 것을 목적으로 하고 있다. ‘3. 내용 체계 및 성취기준’ 가운데 ‘가. 내용 체계’는 교과의 성격을 나타낼 수 있는 최상위의 교과 내용 범위와 교과의 기초 개념 원리, 보편적인 지식, 학생들의 필수 학습 내용, 교과 고유의 탐구 과정 및 사고가 소개되어 있고, ‘나. 성취기준’에서는 단원별 학생들이 교과를 통해 배워야 할 내용과 수업 후, 할 수 있거나 할 수 있기를 기대하는 수업 활동의 기준을 제시하고 있어서 2015 개정 과학과 교육과정 중 선택 교육과정 물리학 I의 내용 체계와 성취기준의 분석을 연구의 주된 분석 대상으로 선정하였다.

3. 내용 체계 및 성취기준

가. 내용 체계

영역	핵심 개념	일반화된 지식	내용 요소	가능
			물리학 I	
힘과 운동	시공간과 운동	시공간의 측정은 상대성이 있다.	• 동시성 • 질량-에너지 등가성	• 문제 인식 • 탐구 설계와 수행 • 자료의 수집·분석 및 해석 • 수학적 사고와 컴퓨터 활용 • 모형의 개발과 사용 • 증거에 기초한 토론과 논증 • 결론 도출 및 평가 • 의사소통
	힘	물체의 운동은 뉴턴 운동 법칙으로 설명된다.	• 뉴턴 운동 법칙	
		운동량은 물체의 충돌 전후에 보존된다.	• 운동량 보존 • 충격량	
	역학적 에너지	마찰이 없는 계에서 역학적 에너지는 보존된다.	• 역학적 에너지 보존	
전기와 자기	전기	두 전하 사이에는 전기력이 작용한다.	• 원자와 전기력 • 에너지 준위	
		물질은 전기적 성질에 따라 도체, 부도체, 반도체로 구분된다.	• 고체의 에너지띠 • 전기 전도성	
	자기	전류는 자기장을 형성한다.	• 전류에 의한 자기장	
		물질은 자기적 성질에 따라 자성체와 비자성체로 구분된다.	• 물질의 자성	
		자기장의 변화는 전기 회로에 기전력을 발생시킨다.	• 전자기 유도	
열과 에너지	에너지 전환	에너지는 전환되는 과정에서 소모되거나 생성되지 않는다.	• 내부 에너지	
		열이 모두 일로 전환되지는 않는다.	• 열효율	
파동	파동의 성질	파동은 반사, 굴절, 간섭, 회절의 성질을 가진다.	• 파동의 요소 • 파동의 간섭	
		파동은 정보를 전달할 수 있다.	• 광통신	
현대 물리	빛과 물질의 이중성	빛과 물질은 입자와 파동의 성질을 모두 가진다.	• 빛의 이중성 • 물질의 이중성	

나. 성취기준

(1) 역학과 에너지

이 단원에서는 물체의 운동과 에너지를 이해함으로써 역학의 기초 개념을 학습한다. 이를 위하여 물체의 운동 상태 변화가 다른 물체와의 상호 작용에 의하여 어떻게 영향을 받는지를 뉴턴의 운동 법칙과 운동량 보존 법칙을 중심으로 다룬다. 또한, 직선 상의 운동을 통해 역학적 에너지 보존을 다루고, 열역학 법칙으로 열에너지 전환 및 열효율을 설명하도록 한다. 한편, 특수 상대성 이론을 통하여 질량-에너지 동등성을 설명할 수 있음을 다루고, 빛의 속도가 일정하므로 관찰자에 따라 시간과 길이가 달라짐을 알게 하여 현대적인 시공간 개념을 이해하도록 한다.

[12물리Ⅰ01-01] 여러 가지 물체의 운동 사례를 찾아 속력의 변화와 운동 방향의 변화에 따라 분류할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-02] 뉴턴 운동 법칙을 이용하여 직선 상에서 물체의 운동을 정량적으로 예측할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-03] 뉴턴의 제3법칙의 적용 사례를 찾아 힘이 상호 작용임을 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-04] 물체의 1차원 충돌에서 충돌 전후의 운동량 보존을 이용하여 속력의 변화를 정량적으로 예측할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-05] 충격량과 운동량의 관계를 이해하고, 일상생활에서 충격을 감소시키는 예를 찾아 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-06] 직선 상에서 운동하는 물체의 역학적 에너지가 보존되는 경우와 열에너지가 발생하여 역학적 에너지가 보존되지 않는 경우를 구별하여 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-07] 열기관이 외부와 열과 일을 주고받아 열기관의 내부 에너지가 변화됨을 사례를 들어 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-08] 열이 모두 일로 전환되지 않는다는 것을 사례를 들어 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-09] 모든 관성계에서 빛의 속도가 동일함을 알고 시간 지연, 길이 수축, 동시성과 관련된 현상을 설명할 수 있다.
[12물리Ⅰ01-10] 질량이 에너지로 변환됨을 사례를 들어 설명할 수 있다.

〈탐구 활동〉

- 역학 수레를 이용한 운동량 보존 실험
- 마찰면에 따른 용수철 진자의 역학적 에너지 감소 비교

(가) 학습 요소

- 가속도, 뉴턴 운동 법칙, 운동량 보존, 충격량, 역학적 에너지 보존, 내부 에너지, 열효율, 시간 지연, 길이 수축, 동시성, 질량-에너지 등가성

[그림 Ⅳ -3] 선택 교육과정 물리학 I의 ‘3. 내용 체계 및 성취기준’(교육부, 2015)

[그림 Ⅳ -4]는 2015 개정 과학과 교육과정 중 선택 교육과정 물리학 I의 ‘4. 교수•학습 및 평가의 방향’을 발췌한 것이다.

‘4. 교수·학습 및 평가의 방향’은 ‘가. 교수·학습 방향’과 ‘나. 평가 방향’으로 구분된다.

‘가. 교수•학습 방향’에서는 물리학 I에서는 물리학의 기본 개념의 이해, 과학의 탐구 능력, 과학적 태도 등을 균형 있게 길러 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등의 과학과 핵심역량을 함양하도록 지도할 수 있는 방향을 제시한다.

‘나. 평가 방향’에서는 ‘물리학 I’에서는 물리학의 기본 개념의 이해, 과학의 탐구 능력, 과학적 태도 등을 균형 있게 평가할 수 있는 방향을 제시한다.

본 연구자는 ‘4. 교수·학습 및 평가의 방향’의 ‘가. 교수·학습 방향’에서 교육과정에서 바라는 교육내용의 방향성에 대하여 파악할 수 있다고 보았으며, 이를 분석의 범위에 포함하였다.

성, 전하 결합 소자(CCD), 전자 현미경

(나) 성취기준 해설

- [12물리 I 03-01] 파동의 속력 변화로 파동의 굴절을 다루고, 렌즈, 신기루 등 다양한 현상을 설명하게 한다.
- [12물리 I 03-04] 파동의 간섭을 활용한 예로 빛이나 소리와 관련된 다양한 현상을 정성적으로 다룬다.
- [12물리 I 03-05] 영상 정보 기록 장치 예로 전하 결합 소자(CCD)를 이용한다.

(다) 교수·학습 방법 및 유의 사항

- 탐구 활동을 통해 파동의 간섭 현상을 경험하게 한다.
- 이 단원은 중학교 1~3학년군의 '빛과 파동', '전기와 자기', 고등학교 '통합과학'의 '물질의 규칙성과 결합'과 연계된다.

(라) 평가 방법 및 유의 사항

- 일상적인 예를 통해 개념의 이해를 평가하는 경우 다양한 예를 조사하여 발표하게 하고 평가할 수 있다.

4. 교수·학습 및 평가의 방향

가. 교수·학습 방향

'물리학 I '에서는 물리학의 기본 개념의 이해, 과학의 탐구 능력, 과학적 태도 등을 균형 있게 길러 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생 학습 능력 등의 과학과 핵심역량을 함양하도록 지도하며, 특히 다음 사항에 주안점을 둔다.

(1) 학습 지도 계획 수립 시 학교의 실정이나 지역의 특성, 학생의 능력, 자료의 준비 가능성 등을 고려하여 학습 내용, 지도의 시기 및 교수·학습 방법을 조정할 수 있다.
(2) 학습 내용은 개념적 체계에 유의하여 '통합과학'이나 '물리학 Ⅱ'와의 연계성을 고려하여 구성하되 학습 내용의 중복이나 비약이 없도록 한다.
(3) 학생 참여 중심의 수업이 이루어질 수 있도록 강의, 실험, 토의, 조사, 프로젝트, 과제 연구, 과학관 견학과 같은 학교 밖 과학 활동 등의 다양한 교수·학습 방법을 적절히 활용하여 지도한다.

(4) 탐구 활동을 수행할 때 단순한 관찰이나 표 및 그래프 작성뿐만 아니라 탐구 문제 설정, 가설 설정, 실험 설계, 증거에 기초한 결론 도출 등과 같은 탐구 기능이 포함되도록 하며, 탐구 수행의 모든 과정에서 의사소통이 원활하게 이루어지도록 하고, 탐구 결과를 발표하고 변론하거나, 설득하거나, 수용할 때에는 논리적인 근거에 따랐음 부도록 한다.
(5) 탐구 활동을 모둠 학습으로 할 때에는 과학 탐구에서 상호 협력이 중요함을 인식시키고, 의사소통을 할 자신의 의견을 명확히 표현하고 다른 사람의 의견을 존중하는 태도를 가지게 한다.
(6) 물리학 및 물리학과 관련된 과학 상식과 사회적 쟁점에 대한 자료를 읽고, 이를 활용한 과학 글쓰기와 토론을 통하여 과학적 사고력, 창의적 사고력 및 의사소통 능력을 함양할 수 있도록 지도한다.
(7) 학생의 지적 호기심과 학습 동기를 유발할 수 있도록 물리학자 이야기, 물리학자, 시사성 있는 물리 내용 등을 활용하며, 개방형 질문을 적극 활용한다.
(8) 과학의 잠정성, 과학적 방법의 다양성, 과학 윤리, 과학·기술-사회의 상호 관련성, 과학적 모델의 특성 등 과학의 본질과 관련된 내용을 적절한 소재를 활용하여 지도하고, 탐구를 통하여 시행착오 및 대담한 가설의 형성 등을 학생들이 경험할 수 있도록 안내한다.
(9) 학생의 흥미를 유발할 수 있으면서 자연 현상과 현대 문명을 이해하는데 중요한 물리 현상을 활용하여 관련된 물리적 개념을 이해하도록 지도하고, 학생의 구체적 조작 활동, 컴퓨터를 활용한 실험과 인터넷과 멀티미디어 등을 적절히 활용한다.
(10) 물리학이 많은 과학 분야의 기초를 제공하며, 자연 세계에 대한 본질적 이해의 기본적 학문임을 인식시키고, 학습 내용과 관련된 최단 과학이나 기술을 다양한 형태의 자료로 제시함으로써 현대 생활에서 최단 과학이 갖는 가치와 잠재력을 인식하도록 지도한다.
(11) 교사 중심의 확인 실험을 지양하고 학생 주도형 탐구 실험이 되도록 지도하며, 탐구 활동에 제시된 내용 이외에 다양한 탐구 활동을 수업에서 활용한다.
(12) 실험의 목적과 방법을 이해하고 실험을 수행할 수 있도록 지도하며, 실험 기구의 사용 방법, 안전 수칙, 사고 발생 시 대처 방안을 사전에 지도하여 사고가 발생하지 않도록 한다. 실험 후 폐기물은 환경 오염을 최소화하도록 처리한다.
(13) 실험 기구나 재료는 충분히 준비하고 실험에 필요한 기자재는 수업을 진행하기 전에 미리 점검한다.
(14) 야외 탐구 활동 및 현장 학습 시에는 사전 답사를 실시하거나 관련 자료를 조사하여 안전한 활동이 되도록 한다.

나. 평가 방향

'물리학 I '에서는 물리학의 기본 개념의 이해, 과학의 탐구 능력, 과학적 태도 등을 균형 있게 평가하며, 특히 다음 사항에 주안점을 둔다.

[그림 Ⅳ -4] 선택 교육과정 물리학 I의 '4. 교수•학습 및 평가의 방향'(교육부, 2015)

[표 Ⅳ -1] 연구 2의 분석 대상 및 범위

분석 대상	분석 범위	
2015 개정 과학과 선택 교육과정 물리학 I	3. 내용 체계 및 성취기준	가. 내용 체계
		나. 성취기준
	4. 교수·학습 및 평가의 방향	가. 교수·학습 방향

연구1의 분석 대상 및 범위를 정리하자면, 본 연구는 <2015 개정 과학과 교육과정> 선택과정 물리학 I에서 다루는 '빛'에 대한 교육내용을 분석하기 위하여 교육과정 문서 목차 중 '3. 내용 체계 및 성취기준'과 '4. 교수·학습 방법 및 평가의 방향' 중 '가. 교수·학습 방향'을 살펴보았다. ([표 Ⅳ -2] 참고)

'3. 내용 체계 및 성취기준'과 '4. 교수 • 학습 방향'에서 '빛'에 관련되는 부분은 영역 기준으로 파동과 현대 물리에 해당한다. 또한 구체적인 내용 요소에는 '전자기파', '빛의 입자성' 해당한다. 해당하는 영역은 굵게 표시하였다.

[표 Ⅳ -2] 교육과정 문서의 '3. 내용 체계 및 성취기준'의 '가. 내용 체계' (교육부, 2015)

영역	핵심 개념	일반화된 지식	내용 요소 물리학Ⅱ	기능
힘과 운동	시공간과 운동	시공간의 측정은 상대성이 있다.	• 등가 원리 • 중력 렌즈 효과 • 블랙홀 • 가속 좌표계	• 문제 인식 • 탐구 설계와 수행 • 자료의 수집·분석 및 해석 • 수학적 사고와 컴퓨터 활용 • 모형의 개발과 사용 • 증거에 기초한 토론과 논증 • 결론 도출 및 평가 • 의사소통
		물체의 운동 변화는 뉴턴 운동 법칙으로 설명된다.	• 등가속도 운동 • 포물선 운동 • 단진자 운동 • 천체의 운동	
	힘	물체 사이에는 여러 가지 힘이 작용한다.	• 힘의 합성과 분해 • 물체의 평형	
전기와 자기	전기	두 전하 사이에는 전기력이 작용한다.	• 전하와 전기장 • 전기력선 • 정전기 유도 • 유전 분극	
		물질은 전기적 성질에 따라 도체, 부도체, 반도체로 구분된다.	• 전기 저항	
	자기	전류는 자기장을 형성한다.	• 전류에 의한 자기장 • 자기력선	
		자기장의 변화는 전기 회로에 기전력을 발생시킨다.	• 유도 기전력	
열과 에너지	에너지 전환	에너지는 다양한 형태로 존재하며, 다른 형태로 전환될 수 있다.	• 열의 일당량	
파동	파동의 성질	파동은 반사, 굴절, 간섭, 회절의 성질을 가진다.	• 파동의 굴절과 간섭	
		파동은 정보를 전달할 수 있다.	• 전자기파	
현대 물리	빛과 물질의 이중성	빛과 물질은 입자와 파동의 성질을 모두 가진다.	• 빛의 입자성 • 입자의 파동성	
	미시세계의 운동	미시세계에는 운동량과 위치를 동시에 정확하게 측정할 수 없다.	• 불확정성 원리	

2. 고등학교 물리학 I 교과서 8종

교과서는 교육과정을 구체화한 자료로써 학교에서의 교수•학습 활동의 근간 이루는 가운데 학생용의 주된 교재이다 (양미경, 1998).

본 연구에서 교육과정의 목표와 내용 과정이 교과서에서는 어떻게 반영되고 구현된 살펴보는 가운데 교육과정의 구성도를 작성하고자 하였다. 그 중 <2015 개정 과학과 교육과정>이 반영된 물리학 I 교과서 8종을 분석하였다.

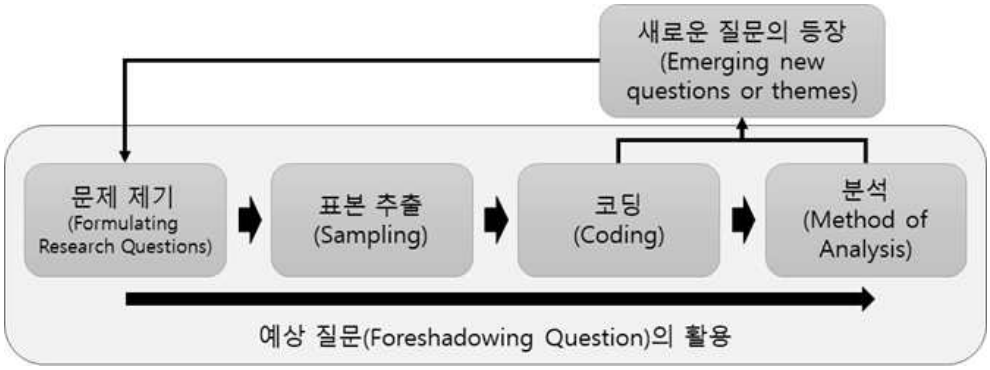
[표 IV -3] 물리학 I 교과서 분석 대상

Code	출판사	저자
A	미래엔	김성진 외 6명
B	비상교육	손정우 외 5명
C	동아 출판	송진웅 외 4명
D	지학사	김성원 외 5명
E	YBM	곽영직 외 3명
F	천재교육	강남화 외 5명
G	교학사	김영민 외 7명
H	금성출판사	이상연 외 4명

1.2 연구 절차

본 연구는 2015 개정 과학과 선택 교육과정 물리학 I의 교육내용에서 나타나는 '빛' 주제의 내용 지식 체계를 파악하기 위하여 질적 내용 분석을 장기적이고 지속으로 진행하였다(2020.9 ~ 2021.11).

본 연구에서는 분석 대상의 질적인 내용 분석을 위하여 White & Marsh(2006) 질적 내용 분석 방법을 활용하였다.



[그림 VI -5] White & Marsh(2006)의 질적 내용 분석 과정

White & Marsh(2006)는 질적 내용 분석의 절차를 문제 제기, 표본추출, 코딩, 분석을 반복적이고 순환적으로 연구가 진행되었다.

분석의 과정은 크게 문제 제기(Formulating Research Questions), 표본추출(Sampling), 코딩(Coding), 분석(Method of Analysis)으로 구성되었다.

문제 제기(Formulating Research Questions)에서는 어떤 문제 제기로 교육 문서를 분석할 것인지 문제를 선언한다. 연구 진행에 앞서 빛이 강조되고 있는 시점에서 물리교육 측면에서 '빛은 어떻게 구성되고 다루어지고 있으며 빛의 역할은 무엇인가?' 라는 문제를 시작으로 교육과정 문서를 분석하였다.

표본추출(Sampling)에서는 내용 분석 단위를 빛과 관련된 내용의 주요 흐름을 나타내는 단어와 문장으로 선정하였다. 그리고 교육과정 문서의 전체적인 구성에서의 빛에 관한 내용을 파악하기 위하여 선정된 분석 단위를 중심으로 교육과정 문서 전체를 검토하였다. 구체적으로 준비 단계에서는 교육과정의 '가. 내용 체계'와 '나. 성취기준'에서 각각 다뤄지는 '빛'에 대한 내용을 연결하였다. '가. 내용 체계' 중 분석의 범위에 해당하는 영역은 '힘과 운동', '전기와 자기', '파동', '현대 물리'이다. 그 가운데 각 영역에서 해당하는 핵심 개념은 '시간과 운동', '전기', '파동의 성질', '빛과 물질의 이중성'이며, 각 핵심 개념에 대한 대단원은 '(1) 역학과 에너지', '(2) 물질과 전자기장', '(3) 파동과 정보통신'이다. 이에 따른 중단원은 '시 공간의 이해', '물질의 구조와 성질', '파동과 통신'이다. 중단원의 명칭은 물리학 I 8종 분석 결과 가장 적합한 교과서 기준으로 작성하였다.

물리학 I 각 단원의 성취기준은 아래와 같으며, 빛과 관련된 성취기준은 굵은 글씨로 표시하였다.

(1) 역학과 에너지

이 단원에서는 물체의 운동과 에너지를 이해함으로써 역학의 기초 개념을 학습한다. 이를 위하여 물체의 운동 상태 변화가 다른 물체와의 상호작용으로 어떻게 영향을 받는지를 뉴턴의 운동 법칙과 운동량 보존 법칙을 중심으로 다룬다. 또한, 직선상의 운동을 통해 역학적 에너지 보존을 다루고, 열역학 법칙으로 열에너지 전환 및 열효율을 설명하도록 한다. 한편, 특수 상대성 이론을 통하여 질량-에너지 동등성을 설명할 수 있음을 다루고, **빛의 속도가 일정하므로 관찰자에 따라 시간과 길이가 달라짐을 알게 하여 현대적인 시공간 개념을 이해하도록 한다.**

[12물리Ⅰ01-01] 여러 가지 물체의 운동 사례를 찾아 속력의 변화와 운동 방향의 변화에 따라 분류할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-02] 뉴턴 운동 법칙을 이용하여 직선상에서 물체의 운동을 정량적으로 예측할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-03] 뉴턴의 제3 법칙의 적용 사례를 찾아 힘이 상호 작용임 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-04] 물체의 1차원 충돌에서 충돌 전후의 운동량 보존을 이용하여 속력의 변화를 정량적으로 예측할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-05] 충격량과 운동량의 관계를 이해하고, 일상생활에서 충격을 감소시키는 예를 찾아 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-06] 직선상에서 운동하는 물체의 역학적 에너지가 보존되는 경우와 열에너지가 발생하여 역학적 에너지가 보존되지 않는 경우를 구별하여 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-07] 열기관이 외부와 열과 일을 주고받아 열기관의 내부 에너지가 변화됨을 사례를 들어 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-08] 열이 모두 일로 전환되지 않는다는 것을 사례를 들어 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-09] 모든 관성계에서 빛의 속도가 동일함을 알고 시간 지연, 길이수축, 동시성과 관련된 현상을 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ01-10] 질량이 에너지로 변환됨을 사례를 들어 설명할 수 있다.

(2) 물질과 전자기장

이 단원에서는 첨단 과학 및 그 응용 분야의 주요 주제인 물질의 전자기적 성질을 학습하게 한다. 이를 위하여 원자의 안정성을 유지하게 하는 전기력을 다룬다. 고체의 전기적 성질을 원자들이 가지고 있는 **불연속적인 에너지 준위와 에너지띠**로 정성적으로 다루고, 이를 통해 고체 물질을 구분하고 다양한 물리적 성질을 비교할 수 있는 탐구 활동을 수행하도록 한다. 전류와 자기장이 서로 독립적인 것이 아니라 상호 작용을 통해 서로 영향을 주고받음을 알게 하고, 전류가 흐르는 도선 주위의 자기장에 대한 이해를 바탕으로 자성체를 이해하도록 한다. 이를 기초로 전류에 의한 자기 작용과 전자기 유도 현상이 일상생활에서 적용되는 다양한 예를 찾아 그 원리를 설명하도록 한다.

[12물리Ⅰ02-01] 전자가 원자에 속박되어 있음을 전기력을 이용하여 정성적으로 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ02-02] 원자 내의 전자는 불연속적 에너지 준위를 가지고 있음을 스펙트럼 관찰을 통하여 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ02-03] 고체의 에너지띠 이론으로 도체, 반도체, 절연체 등의 차이를 구분하고, 여러 가지 고체의 전기 전도성을 비교하는 탐구를 수행할 수 있다.

[12물리Ⅰ02-04] 종류가 다른 원소를 이용하여 반도체 소자를 만들 수 있음을 다이오드를 이용하여 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ02-05] 전류에 의한 자기 작용이 일상생활에서 적용되는 다양한 예를 찾아 그 원리를 설명할 수 있다.

[12물리Ⅰ02-06] 자성체의 종류를 알고 자성체가 활용되는 예를 찾을 수 있다.

[12물리Ⅰ02-07] 일상생활에서 전자기 유도 현상이 적용되는 다양한 예를 찾아 그 원리를 설명할 수 있다.

(3) 파동과 정보통신

이 단원에서는 현대 사회의 정보통신 과정이 대체로 파동을 통하여 정보를 전달하고 기록한다는 것을 학습하도록 한다. 정보의 전달 형태인 파동은 자연계의 신호가 시공간에서 일정한 규칙에 따라 변화하면서 전달되는 과정이므로, 이를 위하여 파동의 여러 속성과 성질을 이해하도록 한다. 특히 20세기 이후에 등장한 현대물리학의 주요 개념인 물질의 이중성을 알게 함으로써, 정보통신에 활용되는 사례를 이해하도록 한다.

[12물리 I 03-01] 파동의 진동수, 파장, 속력 사이의 관계를 알고 매질에 따라 파동의 속력이 다른 것을 활용한 예를 설명할 수 있다.

[12물리 I 03-02] 파동의 전반사 원리를 이용한 광통신 과정을 설명할 수 있다.

[12물리 I 03-03] 다양한 전자기파를 스펙트럼의 종류에 따라 구분하고, 그 사용 예를 찾아 설명할 수 있다.

[12물리 I 03-04] 파동의 간섭이 활용되는 예를 찾아 설명할 수 있다.

[12물리 I 03-05] 빛의 이중성을 알고, 영상정보가 기록되는 원리를 설명할 수 있다.

[12물리 I 03-06] 물질의 이중성을 알고, 전자 현미경의 원리를 설명할 수 있다. (교육부, 2015)

이후 코딩(Coding)에서는 교육과정 문서를 읽으며 중요한 '빛' 관련 내용 중 중요한 내용 및 주요어를 선정하고 분류하는 개방 코딩의 과정을 거쳤다. 특히 문서의 외연적 의미와 내재적 의미 모두를 코딩하도록 하였다(Graneheim & Lundman, 2004). 개방 코딩의 결과를 바탕으로 코딩 시트

를 만들어 결과를 그룹화, 범주화하였다. 특히 이 단계에서는 코딩된 결과를 통해 ‘빛’의 내용구성을 확인하고자 하였다. White & Marsh(2006)는 그룹화와 범주화를 구별된 단계로 보았지만 본 연구에서는 그룹화와 범주화 작업을 동시에 진행하였다(Dey, 2003). 또한, 교육과정 문서를 반복적으로 읽으면서 진행되는 순환적인 과정(Krippendorff, 2009)을 거쳤다.

마지막 분석 결과 보고단계(reporting phase)에서는 교육과정 내용구성의 모습을 확인할 수 있는 ‘내용 구성도’을 정리하였다. 특히 교육과정 내용구성의 특징이 드러날 수 있도록, ‘가. 내용 체계’와 ‘나. 성취기준’에 드러난 교육내용을 교육과정에서 선정하고 있는 내용 요소에 따라 학습 요소를 배치하였다. 이를 통해 교육과정에서 의도하고 있는 교육내용의 구성을 파악하고자 하였다.

본 연구에서는 과학과 교육과정의 전체적인 구성에서 ‘빛’을 어떻게 다루는지 파악하고자 하였다. 또한, 교과서는 교육과정을 구체화한 자료로써 학교에서의 교수•학습 활동의 근간 이루는 가운데 학생용의 주된 교재이다(양미경, 1998). 따라서 2015 개정 교육과정이 반영되어 출판된 연구 진행 당시 출간된 8종의 고등학교 물리학 I 교과서(미래엔, 비상교육, 동아 출판, 지학사, YBM, 천재교육, 교학사, 금성출판사)를 살펴보았다.

본 연구의 과정은 물리교육 전문가 1인과 물리학 박사 1인, 3인의 동료 연구자와 함께하는 지속적인 논의과정을 통하여 연구의 타당성을 확보하고자 하였다(Denzin, 1970) 또한, 연구 결과에 대한 동료 검증의 과정을 거쳐 신뢰도와 타당도를 확보하도록 하였다(Merriam & Tisdelll, 2016).

2. 연구 결과

2.1 < 2015 개정 과학과 교육과정 > 내용 체계

두 번째 연구에서는 교육과정의 ‘빛’에 대한 교육내용의 구성을 파악하기 위하여 3. 내용 체계 및 성취기준’과 ‘4. 교수·학습 방법 및 평가’의 ‘가. 교수·학습의 방향’을 중심으로 물리학 I 교육과정 문서를 살펴보았다. 또한, 교육과정 문서를 통해 분석된 교육내용의 구성을 교육과정 물리학 I 내용 구성도([그림 Ⅳ -6])로 나타내었다. 교육과정 물리학 I 내용 구성도는 본 연구의 분석의 범위에 해당하는 빛에 관한 내용을 중심으로 작성하였다.

교육과정 물리학 I 내용 구성도는 교육과정 문서의 ‘가. 내용 체계’에서 제시하고 있는 영역과 핵심 개념, 그리고 일반화된 지식을 기준으로 순차적으로 작성하였다. 내용 구성도의 작성 과정 중 해당 중 단원명은 2015 개정 교육과정이 반영된 8종 교과서를 토대로 나타내었다.

연구하는 동안 출간된 8종 교과서 분석 결과 대단원명은 모두 같지만 중 단원과 소단원은 교과서마다 차이가 있음을 확인하였다. 따라서 빛과 관련된 중 단원명과 소단원명을 교과서별로 분석하여 표로 정리하였다. ([표 Ⅳ -4], [표 Ⅳ -5], [표 Ⅳ -6] 참고) 분석한 결과 가장 동일하게 중 단원명과 소단원명으로 구성된 교과서를 기준으로 교육과정 물리학 I 내용 구성도를 작성하였다.

8종 교과서 분석에 앞서, 특이한 점은 금성출판사의 경우 소단원명을 질문형식으로 구성하고 있음을 확인하였다.

[표 Ⅳ -4] 물리학 Ⅰ 8종 교과서별 단원구성 - Ⅰ. 역학과 에너지

대단원명	출판사	중 단원	소단원
Ⅰ. 역학과 에너지	미래엔	(3) 시공간의 이해	01. 특수상대성이론
	비상 교육	(3) 시간과 공간	01. 특수상대성이론
	동아 출판	(3) 시공간과 에너지	01. 시간과 공간의 상대성
	지학사	(3) 시공간의 이해	01. 특수상대성이론
	YBM	(3) 시공간과 운동	01. 특수상대성이론
	천재 교육	(3) 특수상대성이론	01. 특수상대성이론
	교학사	(4) 특수상대성이론	01. 특수상대성이론의 가설
	금성 출판사	(3) 시공간과 운동	01. 움직이는 관찰자가 바라보는 물체의 운동은 어떻게 보일까? 03. 움직이는 관찰자가 측정하는 시간과 길이는 어떻게 달라질까?

2015 개정 교육과정을 반영한 8종 교과서 가운데 대단원 I. 역학과 에너지를 분석한 결과 중 단원명으로는 ‘시공간의 이해’, ‘ 시간과 공간’, ‘시공간과 에너지’, ‘시공간과 운동’, ‘특수상대성이론’, ‘시공간과 운동’ 6가지로 구분할 수 있었다. 이 중 동일한 중 단원명으로 구성된 것은‘시공간의 이해’가 미래엔과 지학사 2종 교과서와 ‘특수상대성이론’이 천재교육과 교학사 2종 교과서가 동일하였다.

해당 소단원명으로는 ‘특수상대성이론’, ‘시간과 공간의 상대성’, ‘특수상대성이론의 가설’, ‘움직이는 관찰자가 바라보는 물체의 운동은 어떻게 보일까? & 움직이는 관찰자가 측정하는 시간과 길이는 어떻게 달라질까?’ 4가지로 구분할 수 있었다. 이 중 ‘특수상대성이론’은 미래엔과 비상교육, 지학사, YBM, 천재교육 4종 교과서가 동일하였다.

금성출판사의 경우 앞서 언급한 바와 같이 소단원이 질문 형이라는 점과 빛과 관련된 내용이 다른 교과서와 다르게 소단원 2개로 나누어서 구성하고 있는 특이점을 확인하였다.

분석 결과 대단원 I. 역학과 에너지 기준으로 중 단원명과 소단원명이 동일한 경우가 가장 많은 교과서는 미래엔, 지학사, 천재교육임을 확인하였다.

[표 Ⅳ -5] 물리학 Ⅰ 8종 교과서별 단원구성 - Ⅱ. 물질과 전자기장

대단원명	출판사	중 단원	소단원
Ⅱ. 물질과 전자기장	미래엔	(1) 물질의 구조와 성질	02. 에너지 준위
	비상 교육	(1) 물질의 전기적 특성	02. 원자의 스펙트럼
	동아 출판	(1) 물질의 구조와 성질	02. 원자의 구조와 스펙트럼
	지학사	(1) 물질의 구조와 전기적 성질	02. 에너지 불연속성과 선 스펙트럼
	YBM	(1) 전기	02. 에너지 준위
	천재 교육	(1) 전기	01. 전자의 에너지 준위
	교학사	(1) 물질과 전자	02. 물질의 스펙트럼과 에너지 준위
	금성 출판사	(1) 물질의 구조와 성질	03. 기체 원자에서 방출되는 빛은 어떤 특징이 있을까? 04. 원자 내 전자가 가지는 에너지는 어떻게 분포할까?

2015 개정 교육과정을 반영한 8종 교과서 가운데 대단원 Ⅱ. 물질과 전자기장 분석 결과 중 단원명으로는 ‘물질과 구조와 성질’, ‘물질의 전기적 특성’, ‘물질의 구조와 전기적 성질’, ‘전기’, ‘물질과 전자’, ‘물질의 구조와 성질’ 6가지로 구분되었다. 이 중 동일한 중 단원명으로 구성된 것은‘물질의 구조와 성질’로 미래엔과 동아 출판 2종 교과서와 ‘전기’는 YBM과 천재교육 2종 교과서이다.

해당 소단원명은 ‘에너지 준위’, ‘원자의 스펙트럼’, ‘원자의 구조와 스펙트럼’, ‘에너지의 불연속성과 선스펙트럼’, ‘전자의 에너지 준위’, ‘물질의 스펙트럼과 에너지 준위’, ‘기체 원자에서 방출되는 빛은 어떤 특징이 있을까 & 원자 내 전자가 가지는 에너지는 어떻게 분포할까?’ 7가지로 구분되었다. 이중 ‘에너지 준위’는 미래엔과 YBM 2종 교과서가 동일하였다.

천재교육의 경우 해당 내용 소단원이 타 교과서는 소단원이 두 번째로 구성된 것과 달리, 소단원이 첫 번째 소단원으로 구성되어 있었으며, 금성출판사의 경우 소단원을 더욱 세분화하여 질문형식으로 구성되어 있었고 직접적으로 ‘빛’ 단어를 사용하여 구성하고 있는 특이점을 확인하였다.

분석 결과 대단원 Ⅱ. 물질과 전자기장 기준으로 중 단원명과 소단원명이 동일한 경우가 가장 많은 교과서는 미래엔, YBM임을 확인하였다.

[표 Ⅳ -6] 물리학 Ⅰ 8종 교과서별 단원구성 - Ⅲ. 파동과 정보통신

대단원명	출판사	중 단원	소단원
Ⅲ. 파동과 정보통신	미래엔	(1) 파동과 통신	02. 전반사와 광통신 03. 전자기파 04. 파동의 간섭
		(2) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성
	비상 교육	(1) 파동의 성질과 활용	02. 전반사와 광통신 03. 전자기파의 종류 및 활용 04. 파동의 간섭
		(2) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성
	동아 출판	(1) 파동과 정보의 전달	02. 전반사와 광통신 03. 전자기파 스펙트럼 04. 파동의 간섭
		(2) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성
	지학사	(1) 파동의 성질과 활용	02. 전반사와 광통신 03. 전자기파의 스펙트럼과 이용 04. 파동의 간섭
		(2) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성과 영상정보기록
	YBM	(1) 파동의 성질	02. 파동의 전반사 03. 전자기파 04. 파동의 간섭
		(2) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성

천재 교육	(1) 파동	02. 전반사와 광통신 03. 전자기파의 종류와 이용 04. 파동의 간섭
	(2) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성
교학사	(1) 파동의 성질	02. 물질의 스펙트럼과 에너지 준위
	(2) 전자기파와 통신	01. 빛의 전반사와 광통신 02. 전자기파 스펙트럼
	(3) 빛과 물질의 이중성	01. 빛의 이중성
금성 출판사	(1) 파동의 전파	04. 빛은 어떤 경우에 모두 반사될까? 05. 빛으로 어떻게 통신을 할까? 08. 파동의 간섭 현상을 어떻게 이용할 수 있을까?
	(2) 정보통신의 활용	01. 전자기파는 어떤 성질이 있을까? 02. 전자기파는 어떻게 이용될까? 03. 빛은 파동일까 입자일까?

2015 개정 교육과정을 반영한 8종 교과서 가운데 대단원 Ⅲ. 파동과 정보통신 분석 결과 빛과 관련된 중 단원명은 교학사를 제외한 모든 교과서는 2개에 해당하였고, 교학사의 경우는 3개에 해당하였다.

해당하는 첫 번째 중 단원명은 ‘파동과 통신’, ‘파동의 성질과 활용’, ‘파동과 정보의 전달’, ‘파동의 성질’, ‘파동’, ‘파동의 전파’ 7가지로 구분되었다. 이 중 동일한 중 단원명으로 구성된 것은 ‘파동의 성질과 활용’으로 비상과 지학사 2종 교과서가 동일하였다. 그리고 타 교과서의 경우 파동의 하위 개념으로 전자기파의 내용을 구성하지만, 교학사의 경우 위에 해당하는 내용을 ‘파동의 성질’과 ‘전자기파와 통신’으로 구분하여 내용을 구성하였다.

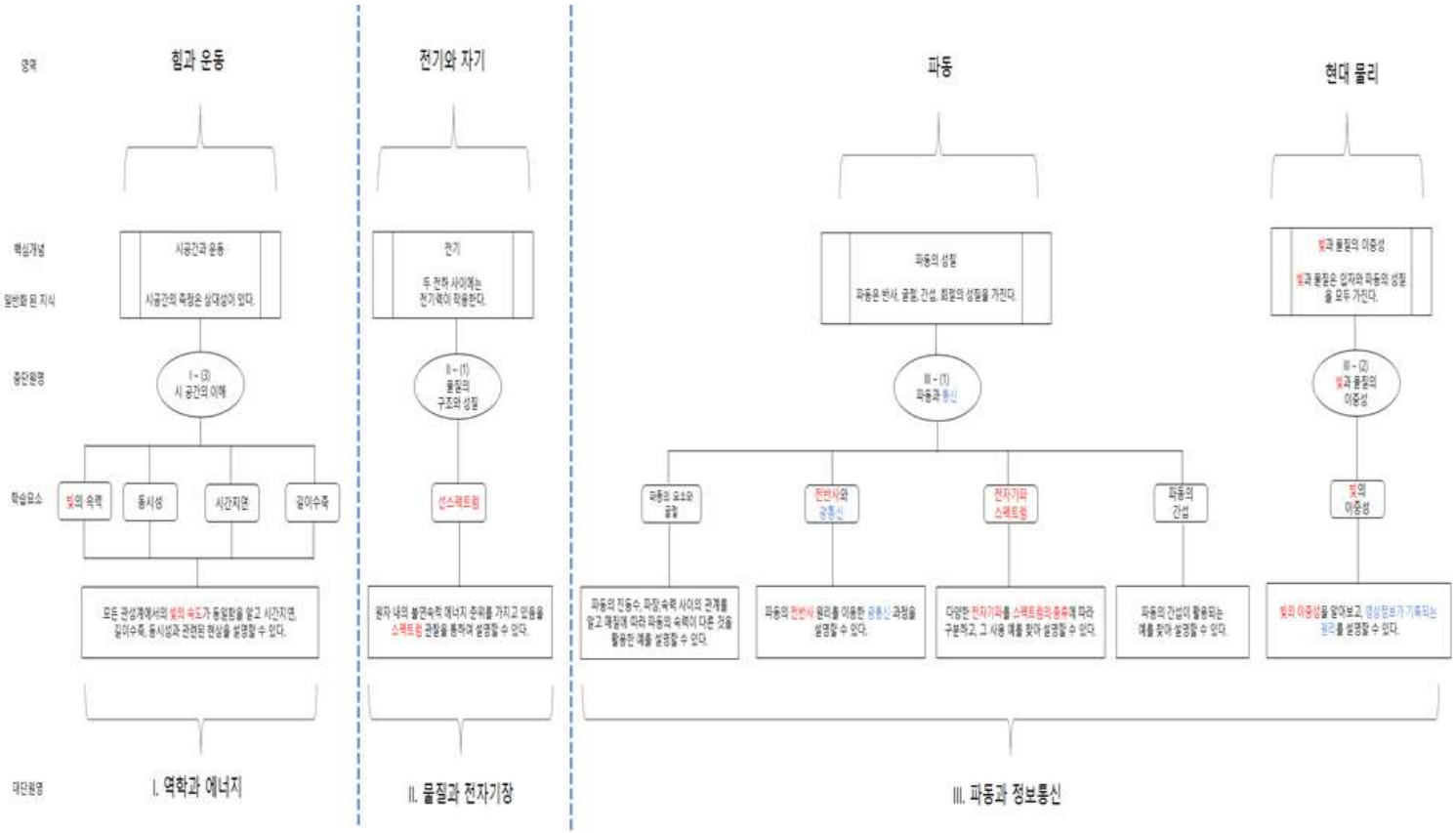
이에 해당하는 소단원은 3개의 단원으로 구성되어 있다. 첫 번째로는 ‘전반사와 광통신’, ‘빛의 전반사와 광통신’, ‘파동의 전반사’ 3가지로 구분되었다. 동일한 소단원명은 ‘전반사와 광통신’으로 미래엔, 비상교육, 동아 출판, 지학사, 천재교육 5종 교과서가 동일하였다. 두 번째로는 ‘전자기파의 종류 및 활용’, ‘전자기파 스펙트럼’, ‘전자기파의 스펙트럼과 이용’, ‘전자기파의 종류와 이용’, ‘전자기파’ 5가지로 구분되었다. 동일한 소단원명은 ‘전자기파’로 미래엔과 YBM 2종 교과서가 동일하였고, ‘전자기파 스펙트럼’으로 동아 출판과 교학사 2종 교과서가 동일하였다. 세 번째로는 ‘파동의 간섭’으로 8종 교과서 모두 동일함을 확인하였다.

해당하는 두 번째 중 단원명은 ‘빛과 물질의 이중성’, ‘정보통신의 활용’ 2가지로 구분되었다. 이 중 동일한 중 단원명은 ‘빛과 물질의 이중성’으로 미래엔, 비상교육, 동아 출판, 지학사, 천재교육, 교학사, YBM 7종 교과서가 해당하였다. 금성출판사의 경우만 ‘정보통신의 활용’에 해당하였다.

이에 해당하는 소단원은 ‘빛의 이중성’, ‘빛의 이중성과 영상정보 기록’, ‘전자기파는 어떤 성질이 있을까? & 전자기파는 어떻게 이용될까? & 빛은 파동일까 입자일까?’ 3가지로 구분되었다. 이 중 동일한 소단원명은 ‘빛의 이중성’으로 미래엔, 비상교육, 동아 출판, 천재교육, 교학사, YBM 6종 교과서가 동일하였다.

분석 결과 대단원 Ⅲ. 파동과 정보통신 기준으로 중 단원명과 소단원명이 동일한 경우가 가장 많은 교과서는 중 단원명은 비상교육, 소단원명은 미래엔 임을 확인하였다.

결과적으로 물리학 Ⅰ 목차 분석 결과 8종 교과서 가운데 가장 공통적인 중 단원명과 소단원명으로 구성된 교과서는 미래엔 교과서임을 확인하였다. 따라서 교육과정 물리학 Ⅰ 내용 구성도의 중 단원명은 미래엔을 기준으로 각각 ‘시공간의 이해’, ‘물질의 구조와 성질’, ‘파동과 통신’, ‘ 빛과 물질의 이중성’으로 작성하였다.



[그림 Ⅳ -6] 교육과정 물리학 Ⅰ 내용 구성도

‘나. 성취기준’에 제시된 단원, 각 단원에서 선정된 학습 요소와 성취기준, 대단원명을 도식의 하단에 배치하였다. 특히 가장 하단에 배치된 칸에는 성취기준과 성취기준 해설을, 교육과정에서 제시하고 있는 구체적인 교육내용을 작성하였다.

핵심 개념, 일반화된 지식, 중 단원명, 학습 요소, 성취기준 내용 가운데 ‘빛’에 대한 내용은 빨간색으로 표현하였고, 첨단 기술 및 정보통신에 해당하는 내용은 파란색으로 표현하였다.

[그림 Ⅳ -6] 교육과정 물리학 Ⅰ 내용 구성도 작성 결과, 빛의 내용은 단원별로 내용이 대단원 Ⅰ 단원부터 대단원 Ⅲ 단원까지 분절적으로 흩어진 가운데 연계성 없이 구성되어 있으며 각 단원의 중요성은 매우 낮음을 확인할 수 있다. 또한 빛 자체에 대한 탐구가 아닌 파동의 한 가지 예시로써, 첨단 기술 및 정보통신을 소개하기 위한 수단으로 구성되어 있음이 확인하였다.

특히 빛의 내용이 많이 구성되어 있음을 확인할 수 있는 대단원 Ⅲ. 파동과 정보통신에서의 학습 요소 ‘전반사와 광통신’이 묶여있는 가운데 ‘파동의 전반사 원리를 이용한 광통신 과정을 설명할 수 있다.’라는 성취기준이 제시되었다. 또한, 학습 요소 ‘빛의 이중성’은 ‘빛의 이중성을 알아보고, 영상정보가 기록되는 원리를 설명할 수 있다.’라는 성취기준이 제시되었다.

따라서 이를 요약하자면 <2015 개정 과학과 교육과정> 물리학 Ⅰ 내용 구성을 살펴보면 빛의 역할을 첨단 기술 및 정보통신의 이해를 위한 수단이라고 할 수 있다.

2.2 2015 개정 교육과정 물리학 I 분석

교육과정과 교과서는 하나의 연속체제(김두정, 1989)이며, 교육과정을 구체화한 자료로써 학교에서의 교수•학습 활동의 근간 이루는 가운데 학생용의 주된 교재(양미경, 1998)이다. 2015 개정 교육과정이 반영된 물리학 I 교과서 중 미래엔을 기준으로 '빛'과 관련된 내용구성을 구체적으로 분석하였다.

먼저 대단원 I. 역학과 에너지의 도입부 내용은 다음과 같다. ([그림 IV-7] 참고)

'뉴턴은 물체의 운동과 힘의 관계를 설명하는 운동 법칙을 완성함으로써 근대 과학 혁명을 이끌었다. 여러 과학자의 노력으로 열과 에너지의 개념이 확립되었고, 아인슈타인은 상대성 원리를 제시하여 시간과 공간에 대한 생각을 바꾸고 물리학을 한 단계 더 높은 수준으로 발전시켰다.

이 단원에서는 우리가 사는 세상에서 일어나는 다양한 운동과 에너지 관련 현상을 이해함으로써 물리학의 기본이 되는 역학의 기초 개념을 학습해 보자. 이를 위하여 뉴턴 운동 법칙, 운동량 보존 법칙, 열과 에너지의 개념, 특수 상대성 이론 등을 알아보자.'

(미래엔, 2018, p. 10-11)

교과서의 대단원 도입에도 빛을 중요한 내용으로 선정하여 소개되고 있지 않다. 또한 단순히 뉴턴의 운동 법칙, 운동량 보존 법칙, 열과 에너지의 개념, 특수 상대성 이론 등 과학의 법칙과 이론 등의 이해를 소개하였다. 하지만 빛의 본질에 대한 이해 없이 대단원에서 소개될 특수 상대성 이론을 완벽하게 이해하는 것은 어렵다.

[그림 Ⅳ -7] 물리학 I 교과서 (미래엔, 2018)의
대단원 'I. 역학과 에너지' 도입

빛과 관련된 보다 구체적인 중 단원과 소단원은 각각 '시공간의 이해'와 '특수 상대성 이론'이다.

중 단원 'I-3 시공간의 이해'에서는 과학역량 활동으로 단원 열기로 도입부를 구성하였다. ([그림 Ⅳ -8] 참고)

구체적인 도입부의 내용과 과학역량 활동은 다음과 같다.

시간과 공간에 대한 생각을 바꾸다

'초현실주의 화가 살바도르 달리는 「기억의 지속」이라는 그림에서 흘러내리는 시계를 통해 시간의 개념을 새롭게 표현했다. 마그리트의 「거울을 보는 남자」라는 그림에는 앞모습이 비쳐야 할 거울에 뒷모습이 비친다. 마그리트는

얼굴의 앞뒤가 뒤섞인 그림을 많이 그렸는데, 물체의 길이가 사라져 앞과 뒤가 합쳐지는 공간의 변화를 표현했다. 또, 상대성이론에 영향을 받은 것으로 알려진 책 『잃어버린 시간을 찾아서』에서 시간이 다른 속도로 흘러가고 서로 엇갈리고 섞인다. 이 책의 작가 마르셀 프루스트는 1921년 물리학자 친구에게 보낸 편지에서 "상대성이론의 논문 한 글자도 이해할 수 없지만, 시간의 개념을 바꾸어 놓았다는 건 알고 있다."라고 적었다.

이렇게 아인슈타인의 상대성 이론은 물리법칙뿐만 아니라 예술, 문화, 사회 등 다양한 분야에 큰 영향을 미치며 사람들의 시간과 공간에 대한 생각을 변화시켜 놓았다.'

〈의사소통 능력〉 '시간이란' 무엇인가? 라는 제목으로 자신의 생각을 글로 써서 발표해 보자.

(미래엔, 2018, p. 70-71)

시간의 개념은 빛의 속도에 대한 정확한 이해로부터 진다. 왜냐하면 빛은 그 어떤 속도 보다 가장 빠르며 불변하기 때문이다. 그렇다면 분명 중 단원 '시공간의 이해'에서도 '빛' 자체를 탐구한 내용이 분명하게 자리 잡고 있어야 하지만 빛의 속도 측정에 대한 과학사적인 내용은 구성되어 있지 않음을 알 수 있다. 중단원에서 도입에서 이야기하고 싶은 바는 특수상대성 이론으로 추측할 수 있다. 특수상대성 이론이 나오게 된 수많은 배경이 존재하지만, 전체적인 맥락을 고려하여 교과서는 집필되지 않았고, 특수상대성의 가정과 결과를 중심으로 단편적인 내용 지식 전달 체계를 이루고 있음을 확인할 수 있다.

[그림 Ⅳ -8] 물리학 I 교과서 (미래엔, 2018)의
중 단원 ‘I-3 시공간의 이해’ 도입

소단원 ‘01. 특수 상대성 이론’에서 학습 목표는 다음과 같다.

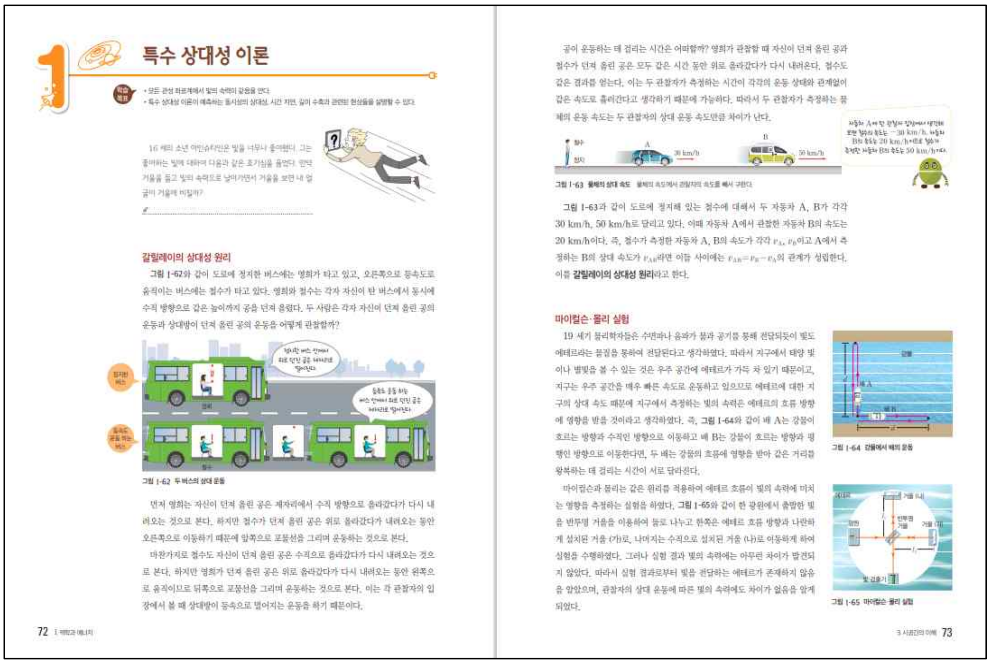
(1) 모든 관성 좌표계에서 빛의 속력이 같음을 안다.

(2) 특수 상대성 이론이 예측하는 동시의 상대성, 시간 지연, 길이 수축과 관련된 현상들을 설명할 수 있다.

소단원을 아인슈타인의 빛에 대한 호기심을 품었다는 내용과 더불어 ‘만약 거울을 들고 **빛의 속력**으로 날아가면서 거울을 보면 내 얼굴이 거울에 비칠까? 라는 질문으로 도입을 구성하였다([그림 Ⅳ -8] 참고).

빛의 속력 측정과 관련하여 역사적으로 많은 과학자의 실험이 존재한다. 하지만 실질적인 빛의 속력 측정 탐구하는 역사 및 과정 등 ‘빛’

을 고찰하는 내용구성이 아니라 단편적으로 지식의 나열하였음을 확인할 수 있다. 빛이 파동성의 성질을 가지고 있으므로 매질의 필요성으로부터 에테르의 개념이 도출되는 설명 없이 마이컬슨•몰리 실험을 통해 에테르는 존재하지 않고, 빛의 속도는 광원이나 관측자의 운동과 상관없이 일정한 값이 측정되므로 궁극적으로 아인슈타인의 특수상대성의 이론 2번째 가정인 광속불변의 원리를 소개하는 결과론적인 내용으로 구성되어 있다. 이는 현 교육과정에서 추구하고 있는 과학적 소양을 함양하는 목표에 적합하지 않은 교과서 내용 지식 체계임을 확인하였다.


1 특수 상대성 이론

• 모든 관성 좌표계에서 빛의 속력이 공통을 안다.
• 특수 상대성 이론이 예측하는 동시성의 상대성, 시간 지연, 길이 수축과 관련된 현상들을 설명할 수 있다.

16 세의 소년 아인슈타인은 빛을 너무나 좋아했다. 그는 좋아하는 빛에 대하여 다음과 같은 호기심을 품었다. 만약 거울을 들고 빛의 속력으로 날아가면서 거울을 보면 내 얼굴이 거울에 비칠까?

갈릴레이의 상대성 원리

그림 I-62와 같이 도로에 정지한 버스에는 영희가 타고 있고, 오른쪽으로 등속도로 움직이는 버스에는 철수가 타고 있다. 영희와 철수는 각자 자신이 탄 버스에서 동시에 수직 방향으로 같은 높이까지 공을 던져 올렸다. 두 사람은 각자 자신이 던져 올린 공의 운동과 상대방이 던져 올린 공의 운동을 어떻게 관찰할까?

그림 I-62 두 버스의 상대 운동

던져 영희는 자신이 던져 올린 공은 제자리에서 수직 방향으로 올라갔다가 다시 내려오는 것으로 본다. 하지만 철수가 던져 올린 공은 위로 올라갔다가 내려오는 동안 오른쪽으로 이동하기 때문에 왕복으로 포물선을 그리며 운동하는 것으로 본다.

마찬가지로 철수도 자신이 던져 올린 공은 수직으로 올라갔다가 다시 내려오는 것으로 본다. 하지만 영희가 던져 올린 공은 위로 올라갔다가 다시 내려오는 동안 왼쪽으로 움직이므로 뒤쪽으로 포물선을 그리며 운동하는 것으로 본다. 이는 각 관찰자의 입장에서 볼 때 상대방이 등속으로 멀어지는 운동을 하기 때문이다.

72 I 역학과 에너지

공이 운동하는 데 걸리는 시간은 어떠할까? 영희가 관찰할 때 자신이 던져 올린 공과 철수가 던져 올린 공은 모두 같은 시간 동안 위로 올라갔다가 다시 내려온다. 철수도 같은 결과를 얻는다. 이는 두 관찰자가 측정하는 시간이 각각의 운동 상태와 관계없이 같은 속도로 흘러간다고 생각하기 때문에 가능하다. 따라서 두 관찰자가 측정하는 물체의 운동 속도는 두 관찰자의 상대 운동 속도만큼 차이가 난다.

그림 I-63 물체의 상대 속도

그림 I-63과 같이 도로에 정지해 있는 철수에 대해서 두 자동차 A, B가 각각 30 km/h, 50 km/h로 달리고 있다. 이때 자동차 A에서 관찰한 자동차 B의 속도는 20 km/h이다. 즉, 철수가 측정한 자동차 A, B의 속도가 각각 v_A, v_B이고 A에서 측정하는 B의 상대 속도가 v_{AB}라면 이들 사이에는 $v_{AB}=v_B-v_A$의 관계가 성립한다. 이를 갈릴레이의 상대성 원리라고 한다.

마이컬슨-몰리 실험

19 세기 물리학자들은 수면과나 음파가 물과 공기를 통해 전달되듯이 빛도 에테르라는 물질을 통하여 전달된다고 생각하였다. 따라서 지구에서 태양 빛이나 별빛을 볼 수 있는 것은 우주 공간에 에테르가 가득 차 있기 때문이고, 지구는 우주 공간을 매우 빠른 속도로 운동하고 있으므로 에테르에 대한 지구의 상대 속도 때문에 지구에서 측정하는 빛의 속력은 에테르의 흐름 방향에 영향을 받을 것이라고 생각하였다. 즉, 그림 I-64와 같이 배 A는 강물이 흐르는 방향과 수직인 방향으로 이동하고 배 B는 강물이 흐르는 방향과 평행인 방향으로 이동한다면, 두 배는 강물의 흐름에 영향을 받아 같은 거리를 왕복하는 데 걸리는 시간이 서로 달라진다.

그림 I-64 갈릴레이 배의 운동

마이컬슨과 몰리는 같은 원리를 적용하여 에테르 흐름이 빛의 속력에 미치는 영향을 측정하는 실험을 하였다. 그림 I-65와 같이 한 광원에서 출발한 빛을 반투명 거울을 이용하여 둘로 나누고 한쪽은 에테르 흐름 방향과 나란하게 설치된 거울 (가)로, 나머지는 수직으로 설치된 거울 (나)로 이동하게 하여 실험을 수행하였다. 그러나 실험 결과 빛의 속력에는 아무런 차이가 발견되지 않았다. 따라서 실험 결과로부터 빛을 전달하는 에테르가 존재하지 않음을 알았으며, 관찰자의 상대 운동에 따른 빛의 속력에도 차이가 없음을 알게 되었다.

그림 I-65 마이컬슨 몰리 실험

3 시공간의 이해 73

[그림 Ⅳ -9] 물리학 Ⅰ 교과서 (미래엔, 2018)의
소단원 ‘01. 특수상대성 이론’

다음으로, 대단원 Ⅱ. 물질과 전자기장의 도입부 내용은 다음과 같다. ([그림 Ⅳ -10] 참고)

‘보어는 새로운 원자 모형을 제안하여 눈으로 보지 못하는 원자 구조를 이

해하는 데 공헌하였다. 또, 보어 원자 모형은 고전역학이 현대 양자역학으로 넘어가는 다리 역할을 하여 물질의 전자기적 성질과 그 현상을 이해하는 밑거름이 되었다.

이 단원에서는 물질의 전자기적 성질을 학습하기 위한 기본 개념으로 원자의 안정성을 유지하게 하는 전기력을 다루고, 원자들이 가지고 있는 에너지 준위와 에너지띠 이론으로 고체의 전기적 특성을 알아보자. 또, 전류에 의한 자기장과 자성체를 이해하고 전자기 유도 현상이 적용되는 예를 알아보자.'

(미래엔, 2018, p.95)

대단원 'Ⅱ. 물질과 전자기장'의 도입에도 빛을 중요한 내용으로 선정하여 소개되고 있지 않았다. 원자 모형 이해의 중요성을 강조하고 있음을 확인하였다. '세상이 무엇으로 이루어져 있는가?'라는 질문은 아주 오래된 질문이다. 세상이 더 이상 쪼개지지 않는 알갱이로 이루어져 있다는 원자론은 고대 그리스에서부터 제기되었고 20세기 초까지만 해도 원자는 여전히 보이지 않는 미지의 덩어리였다. 하지만 물질의 구성인 근본적인 원자를 이해하기 위해서는 원자 모형 이해에 앞서서 빛에 대한 정확한 이해가 있을 때 가능하다. 정확히 말하자면 빛의 양자화 개념을 가지고 원자의 스펙트럼(선스펙트럼)을 이해할 때, 물질의 이해도 분명해질 수 있다는 것이다. 하지만 교육과정과 교과서의 내용 구성은 고등학교 물리학 Ⅰ 이전 중학교 과학교육 내용에서도 빛은 파동의 한 가지 예로써만 다루기 때문에 입자성에 관한 선 개념이 없는 가운데 물질의 구성에 대해서 학습되도록 구성되어 있음을 확인하였다.

중 단원 'Ⅱ -1 물질의 구조와 성질'에서는 과학역량 활동으로 단원 열기로 도입부를 구성하였다. ([그림 Ⅳ -10] 참고)

구체적인 도입부의 내용과 과학역량 활동은 다음과 같다.

[그림 Ⅳ -10] 물리학 Ⅰ 교과서 (미래엔, 2018)의
대단원 ‘Ⅱ. 물질과 전자기장’ 도입

미디어 파사드, 기술과 예술의 만남

‘미디어(Media)’와 건물의 외벽을 뜻하는 ‘파사드(Facade)’가 합쳐진 미디어 파사드는 건물을 입체적인 스크린으로 활용하여 다양한 정보를 대중에게 보여 주는 영상예술을 뜻한다.

건물 외벽에 발광 다이오드(LED, Light Emitting Diode)를 직접 설치해 이미지를 나타나게 하거나 외부에서 건물 벽에 빛을 쪼아 새로운 영상을 만들어 냄으로써 시각적 아름다움뿐만 아니라 정보를 전달하는 역할까지 한다. 미디어 사파드는 건축물의 특징을 파악하고 예술적으로 표현하기 위해 디자인하고 설계하는 과정을 거치므로 조명, 영상, 정보 기술을 한대 접목하는 종합 예술 영상이다.

<탐구 능력> 미디어 파사드에 많이 쓰이는 발광 다이오드가 어떻게 화려하고

다양한 빛을 낼 수 있는지 조사해보자.

(미래엔, 2018, p.96-97)

이러한 도입부를 통해서 실생활 측면에서 빛의 기능을 환기할 수 있고, 흥미를 끌어낼 수 있는 내용구성이라고 생각된다.

특히, 인간이 인공 광원을 발명하기 전에 인간은 나무, 기름, 석탄 등을 연소시켜 발생하는 빛을 사용하였다. 과학의 발전으로 인간이 인위적인 빛을 만듦으로써 일상과 문명에 많은 영향을 끼치고 있으며 그중 하나가 발광 다이오드(LED)라고 할 수 있다. 이러한 눈부신 과학 발전의 혜택을 가장 많이 누고 있는 시대가 현재이고 앞으로도 그 발전의 가능성은 무궁무진하다. 하지만 과학의 첨단 기술 반도체의 원리를 이해하기 이전에 그 시작인 '빛'을 이해하는 것이 먼저라고 판단된다. 즉, 빛의 본질과 성질을 이해할 수 있는 과학교육의 내용이 필요하다. 하지만 앞서 언급한 바와 마찬가지로 빛의 본질과 성질을 이해할 수 있는 내용의 구성이 아니라 물질의 구조를 파악하고, 궁극적으로 첨단 기술을 이해하기 위한 수단으로 구성되어 있음을 확인하였다.

구체적으로 물질의 구성을 중심으로 내용이 구성된 '소단원 '02. 에너지 준위'에서 학습 목표는 다음과 같다.

(1) 여러 가지 스펙트럼의 종류를 설명할 수 있다.

(2) 스펙트럼 관찰로 원자 내의 전자가 불연속적인 에너지 준위를 가지고 있음을 설명할 수 있다. 또한 화려한 네온사인에 대한 소개와 더불어 '구부린 유리관에 헬륨이나 네온, 아르곤과 같은 기체를 넣고 높은 전압을 걸어 전류를 흐르게 하면 기체의 종류에 따라 다른 색의 빛을 낸다. 기체마다 다른 색의 **빛**을 내는 까닭은 무엇일까?'라는 질문으로 도

[그림Ⅳ-11] 물리학I 교과서 (미래엔, 2018)의
중 단원 ‘Ⅱ-1 물질의 구조와 성질’ 도입

입을 소개하고 있다. ([그림 Ⅲ -11] 참고)

에너지 준위를 설명하기 위해서는 스펙트럼의 이해가 필요하므로 위에서 소개한 바와 같이 기체마다 다른 색의 빛을 내는 이유가 무엇인지에 관한 질문을 던지고 스펙트럼을 소개, 스펙트럼의 종류, 러더퍼드 원자 모형의 문제점, 원자의 에너지 준위 내용으로 구성되어 있다.

특히 스펙트럼에 대한 정확한 이해를 위해서는 빛의 성질 중 하나인 빛의 분산에 대한 이해가 있어야 한다. 하지만 2015 개정 과학과 교육과정 중학교 ‘빛과 파동’ 단원에서도 ‘빛의 분산이나 합성이란 용어는 사용하지 않고, 햇빛에는 여러 가지 색의 빛이 섞여 있음을 인식시키도록 한다. 파장에 따른 굴절률의 차이는 빛의 색에 따라 굴절하는 정도가 다르다는 정도 다룬다.’ 라고 성취기준에 제시되어 있다. 따라서 고등학

교 물리학 I에서 근본적인 빛의 성질 및 특징을 먼저 다루지 않고 내용이 구성되어 있음을 확인하였다.

[그림 Ⅳ -12] 물리학 I 교과서 (미래엔, 2018)의
소단원 '02. 에너지의 준위'

마지막으로 대단원 Ⅲ. 파동과 정보통신의 도입부 내용은 다음과 같다. ([그림 Ⅲ -13] 참고)

'맥스웰은 전자기파의 성질을 정리한 물리법칙을 만들었고 헤르츠는 전자기파의 존재를 실험적으로 증명하여 전자기파 연구의 기초를 다졌다. 전자기파는 정보통신 사회에서 다양하게 이용된다.

이 단원에서는 파동의 성질을 이해하고 파동의 형태를 통해 정보를 전

달하고 기록하는 정보통신 과정을 알아보자. 이를 위해 파동의 여러 속성과 전반사, 간섭과 같은 성질을 이해하자. 또, 빛과 물질의 이중성을 이해하고 정보통신에 활용되는 사례를 알아보자.'

대단원 'Ⅲ. 물질과 전자기장'의 도입에도 다른 단원과 차이점은 빛을 직접적으로 언급하고 있지만, 빛 자체에 대한 중요성은 여전히 강조되고 있지 않다. 파동 소재를 중심으로 하여 전체적인 내용을 전개하고 있음을 나타내고 있다.

[그림 Ⅳ -13] 물리학 Ⅰ 교과서 (미래엔, 2018)의
대단원 'Ⅲ. 파동과 정보통신' 도입

대단원 Ⅲ. 파동과 정보통신에서 빛과 관련된 내용은 2개의 중단원에 해당한다. 이는 중 단원 ‘Ⅲ -1 파동의 성질’과 ‘Ⅲ -2 빛과 물질의 이중성’이다.

먼저 중 단원 ‘ Ⅲ -1 파동의 성질’에서는 과학역량 활동으로 단원 열기로 도입부를 구성하였다. ([그림 Ⅳ -14] 참고)

구체적인 도입부의 내용과 과학역량 활동은 다음과 같다.

미술품의 시간을 되돌리는 전자기파

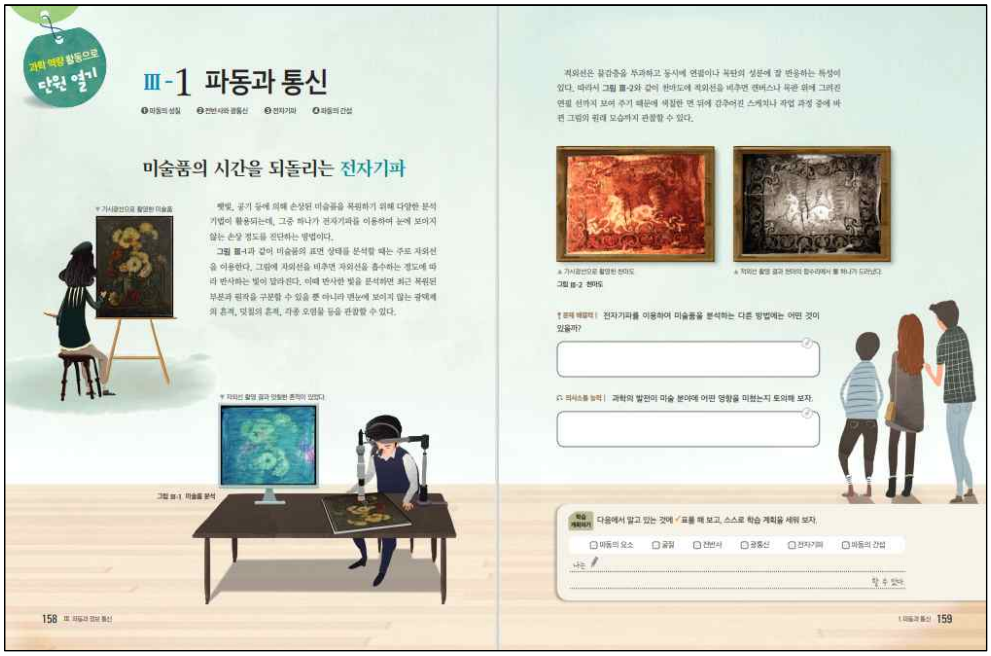
‘햇빛, 공기 등에 의해 손상된 미술품을 복원하기 위해 다양한 분석 기법이 활용되는데, 그중 하나가 전자기파를 이용하여 눈에 보이지 않는 손상 정도를 진단하는 것이다. 미술품의 표면 상태를 분석할 때는 주로 자외선을 이용한다. 그림에 자외선을 비추면 자외선을 흡수하는 정도에 따라 반사하는 빛이 달라진다. 이때 반사한 빛을 분석하면 최근 복원된 부분과 원작을 구분할 수 있을 뿐 아니라 맨눈에 보이지 않는 광택제의 흔적, 덧칠의 흔적, 각종 오염물 등을 관찰할 수 있다.

적외선은 물감층을 투과하고 동시에 연필이나 목탄의 성분에 잘 반응하는 특성이 있다. 천마도에 적외선을 비추면 캔버스나 목판 위에 그려진 연필 선까지 보여주기 때문에 색칠한 면 뒤에 감추어진 스케치나 작업 과정 중에 바뀐 그림의 원래 모습까지 관찰할 수 있다.’

〈문제 해결력〉 전자기파를 이용하여 미술품을 분석하는 다른 방법에는 어떤 것이 있을까?

(미래엔, 2018, p.158-159)

중단원의 내용 도입에서도 빛 자체를 중요하게 소개하기보다는 전자기파의 일종인 빛의 성질을 활용하여 전자기파의 한 종류인 적외선을 소개하고 있으며 핵심역량에서도 전자기파의 이용 내용으로 구성되어 있음을 확인하였다.



[그림 Ⅳ -14] 물리학 Ⅰ 교과서 (미래엔, 2018)의
중 단원 ‘Ⅲ -1 파동과 통신’ 도입

빛과 관련되어 정확하게 해당하는 소단원은 ‘02. 전반사와 광통신’과 ‘03. 전자기파’입니다. ‘01. 파동의 성질’에서는 파동의 굴절 현상의 예시로 빛의 굴절을 간략하게 소개하고 있으며 빛의 성질로 빛의 굴절을 설명하고 있지 않았다.

소단원 ‘02. 전반사와 광통신([그림 Ⅳ -15] 참고)’에서 학습 목표는 다음과 같다.

(1) 파동의 전반사 원리를 설명할 수 있다.

(2) 광통신의 원리와 과정을 설명할 수 있다.

이에 따라 교과서에서는 단편적으로 특정한 상황에서는 빛이 굴절하지 않고 모두 반사되는 현상을 전반사임을 설명하고 최종적으로는 음성, 영상 등의 정보를 담은 전기 신호를 빛으로 전환한 후 빛을 통해 정보를 주고받는 통신 방식인 광통신을 설명하는 내용구성임을 확인할 수 있습니다. 따라서 자연 현상인 광학적 현상 즉, 빛 자체를 탐구하는 내용구성이 아닌 정보통신 및 첨단 기술 이해를 중점으로 구성되어 있음을 확인하였다.

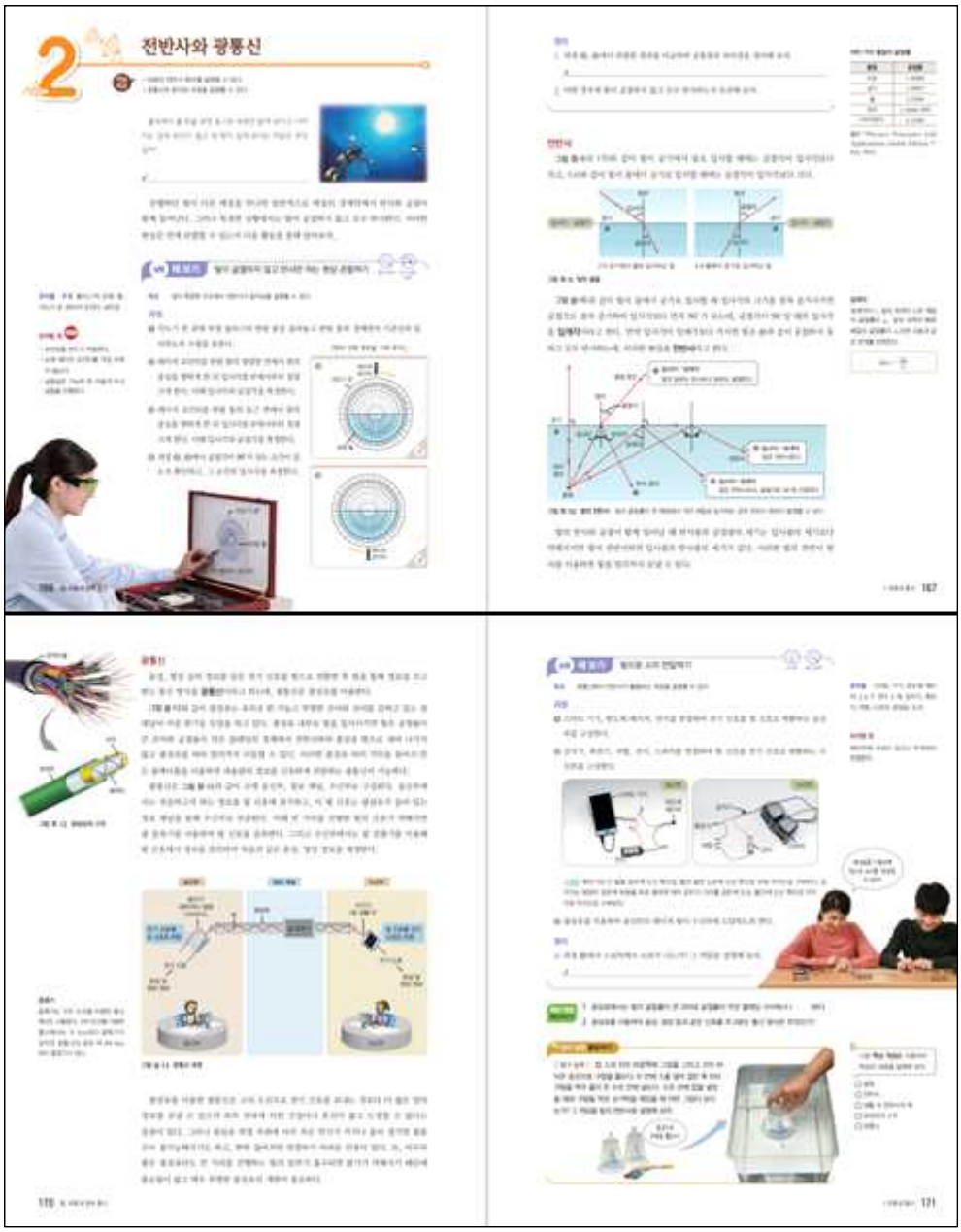
소단원 '03. 전자기파'는 앞 절 '02. 전반사와 광통신'과도 맥락 없이 갑자기 소개된다.

소단원 '03. 전자기파'에서 학습 목표는 다음과 같다.

(1) 전자기파의 종류를 스펙트럼에 따라 구분하고 전자기파의 특징을 설명할 수 있다.

(2) 각 파장별 전자기파의 다양한 활용 사례를 설명할 수 있다.

전자기파가 등장하게 된 과학 전체적인 맥락에 관한 내용은 찾아볼 수 없으며 전자기파의 정의, 맥스웰이 전자기파의 존재를 확인하였고 빛의 속도가 같다는 결과적인 지식이 나열되어 있다. 또한, 파장에 따른 전자기파의 종류를 소개하고 종류별 전자기파의 활용에 대해 중점으로 내용이 구성되어 있음을 확인하였다. 소단원 '04. 파동의 간섭'에서도 파동의 간섭 현상 중 한 가지 예시고 빛의 간섭을 그림과 함께 간략하게 소개할 뿐 구체적인 빛의 간섭 현상을 탐구하는 내용은 존재하지 않았다.



[그림 Ⅳ -15] 물리학 Ⅰ 교과서 (미래엔, 2018)의

소단원 ‘02. 전반사와 광통신’

다음 해당 중 단원 ‘ Ⅲ -2 빛과 물질의 이중성’에서는 과학역량 활동으로 단원 열기로 도입부를 구성하였다. ([그림 Ⅳ -16] 참고)

구체적인 도입부의 내용과 과학역량 활동은 다음과 같다.

사람의 눈을 대신할 전하 결합 소자(CCD)

‘눈은 사람이 가진 감각 기관 중 가장 중요한 기관이다. 우리의 눈은 수정체로 입사된 빛을 망막에서 감지함으로써 사물을 인식하는데, 망막에는 명암을 감지하는 막대 세포와 빛의 색을 감지하는 원뿔 세포와 같은 감광 세포가 있어서 빛의 밝기와 색을 인지할 수 있다. 디지털카메라에 사용되는 전하 결합 소자(CCD, Charge Coupled Device)는 사람의 망막과 같이 빛의 밝기와 색을 전기 신호로 감지하여 영상정보를 받아들인다.’

<사고력> 망막의 감광 세포를 대신해 전하 결합 소자를 사용한다면 세상은 어떻게 보일지 생각해 보자.

<문제 해결력> 최근 선천적인 문제나 질병으로 감광 세포에 이상이 생겨 시력이 퇴화되거나 실명되어 앞을 보지 못하는 사람들을 위해 인공 망막에 대한 연구가 진행되고 있다. 인공 망막의 원리를 조사하여 발표해 보자.

(미래엔, 2018, p.190-191)

빛과 물질의 이중성 단원에서도 중 단원명은 빛을 중요시하고 있지만, 도입부를 보았을 때는 빛 자체를 중심으로 빛의 성질인 입자성과 파동성에 관한 내용을 다룬 것이 아닌 첨단 기술 및 영상정보를 중요시하여 내용이 전개될 것으로 보인다. 과학역량 활동으로도 전하 결합 소자에 관한 활동으로 광학적 현상(자연 현상)을 탐구하는 내용을 중점으로 전개되기보다는 첨단 과학 기술 이해를 중심으로 내용이 전개됨을 확인하였다.

[그림 Ⅳ -16] 물리학 Ⅰ 교과서 (미래엔, 2018)의
중 단원 ‘Ⅲ -2 빛과 물질의 이중성’ 도입

빛과 관련된 소단원은 ‘01. 빛의 이중성([그림 Ⅳ -17] 참고)’이다.

소단원 ‘01. 빛의 이중성’에서 학습 목표는 다음과 같다.

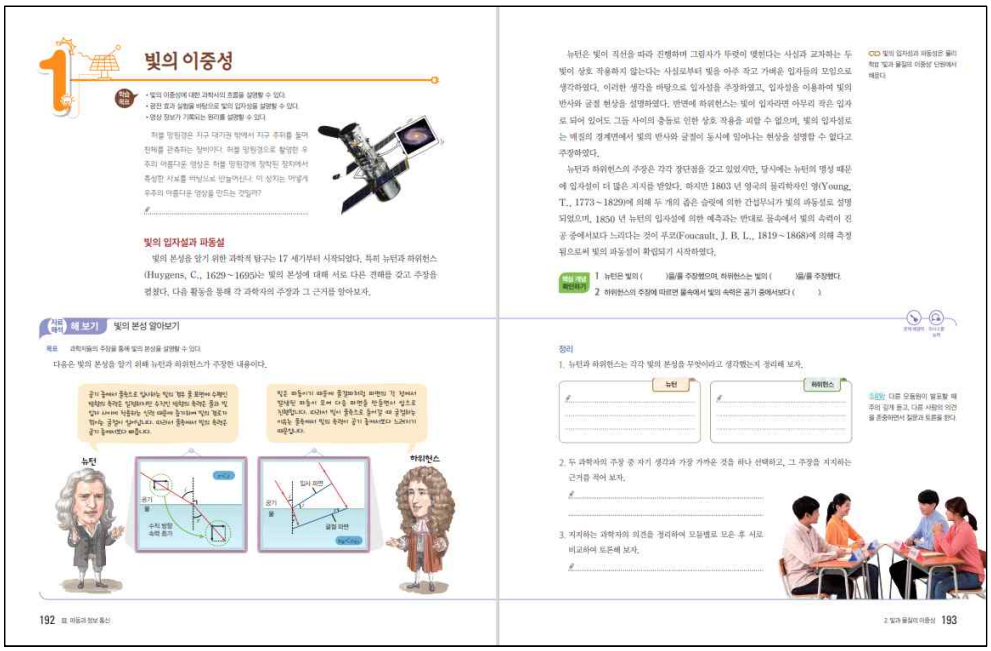
(1) 빛의 이중성에 대한 과학사의 흐름을 설명할 수 있다.

(2) 광전효과 실험을 바탕으로 빛의 입자성을 설명할 수 있다.

(3) 영상정보가 기록되는 원리를 설명할 수 있다.

다른 소단원과 다르게 처음으로 과학사적인 부분을 유일한 단원이라고 할 수 있다. 하지만 8종 교과서 모두 빛의 이중성에 대한 과학사의 흐름으로 교과서를 구성한 것은 아니다. 8종 가운데 총 4종의 교과서가 과학사의 흐름을 서술하였는데 그중 3종은 교과서 내용구성 자체에서 과학사의 흐름을 소개하였고 다른 1종은 소단원의 도입부에서 생각 열기 부분에서 빛의 이중성의 과학사를 간략하게 소개하였다. 빛의 성질인 빛의

입자성과 파동성은 오랫동안 과학자들 사이에서 논쟁이 되어 왔던 만큼 매우 중요한 성질임에도 불구하고 교과서에는 매우 간략하게 소개가 되어 있다. 또한 빛의 입자성에 대해서는 물리학 I에서 처음으로 소개되면 초등, 중등, 고등 '통합과학'을 모두 통틀어서 빛은 파동의 일원으로만 학습하고 이해할 수 있도록 교과가 구성되어 있었다.



[그림 Ⅳ -17] 물리학 I 교과서 (미래엔, 2018)의
소단원 '01. 빛의 이중성' 도입

광전효과와 빛의 이중성을 내용 전개 후 영상정보가 기록되는 원리를 학습하도록 구성되어 있다. 빛의 활용 측면에서 첨단 기술 내용으로 연결될 수 있다고 생각할 수는 있지만 자연스러운 연결로 볼 수는 없다. 마지막으로 첨단 기술에 관한 내용구성으로 빛을 결국 정보통신 및 첨단 기술을 이해하기 위한 수단으로 물리학 I 교과 내용 지식 체계를 구성하고 있음을 확인하였다.

3. 요약

두 번째 연구에서는 <2015 개정 과학과 교육과정> 선택과정 물리학 I의 교육과정 문서를 분석하여 내용 구성도를 작성하였으며, 2015 개정 교육과정을 반영한 교과서 8종 가운데 1종 (미래엔)을 구체적으로 분석하였다.

교육과정 문서를 분석하여 내용 구성도를 작성한 결과 물리학 I의 핵심 개념은 '시공간 운동', '전기', '파동의 성질', '빛과 물질의 이중성'이다. 이 중 빛과 관련된 핵심 개념은 '빛과 물질의 이중성'이다. 하지만 핵심 개념에서는 빛과 물질의 이중성에만 해당하지만, 학습 요소에서는 '빛의 속력', '선스펙트럼','전반사와 광통신', '전자기파 스펙트럼','빛의 이중성'에 해당한다.

'빛의 속력'은 대단원 I. 역학과 에너지에 해당하며 '선스펙트럼'은 대단원 II. 물질과 전자기장, '전반사와 광통신', '빛의 이중성'은 대단원 III. 파동과 정보통신에 해당한다.

따라서 핵심 개념과 학습 요소 간에 유기적으로 연결되어 있지 않고, 관점 변화에 해당하는 내용 지식이 존재하지 않은 지식의 체계성을 가지고 있음을 확인하였다.

또한, 물리학 I 교과의 성격은 초등학교 과학부터 고등학교 '통합과학'까지 물리 영역에서 다룬 기초 개념을 바탕으로 자연 현상을 체계적으로 이해하기 위한 과목이다. 현 물리학 I 내용은 자연 현상인 광학적 현상에 대한 이해보다는 일상생활과 첨단 기술 이해를 중심으로 내용 지식 체계가 이루어졌음이 확인되었다. 특히 대단원 III. 파동과 정보통신의 성취기준을 살펴보면 '파동의 전반사 원리를 이용한 광통신 관정을 설명할 수 있다.', ' 빛의 이중성을 알고, 영상정보가 기록되는 원리를

설명할 수 있다.’ 라고 명시되어 있다. 따라서 교육과정 물리학 I에서 그 자체를 탐구하는 주제가 아닌 파동과 정보통신 및 첨단 기술을 이해하기 위한 수단으로 역할을 하고 있음을 확인하였다.

Ⅴ. 요약 및 논의

1. 요약

본 연구는 빛의 중요성이 강조되고 있는 시점에서 '빛' 주제 관련 교육 연구는 빛의 이해와 개념 변화 연구, 실험 개발로 교수 • 학습 활동에 관한 연구가 주를 이루고 교육내용 구성 연구도 빛 전체 내용구성을 다루는 연구는 찾아보기 어려웠다. 이에 따라 전체적인 빛의 내용 지식 체계를 고려하는 연구가 진행되어야 할 필요성으로부터 시작되었다.

따라서, 물리학 내용 지식 체계를 분석하는 가운데 빛의 역할이 무엇인지 탐색을 목표로 연구를 진행하였다. 이에 따라 중, 고등학생뿐만 아니라 일반인 대상으로 집필한 책이며, 물리학의 본질을 담고 있는 책으로 평가(Kim & Lee, 2018)되고, 또한 과학의 본성과 과학지식을 하나의 이야기로 잘 다룬 책으로 평가(이서지, 2019)되고 있는 아인슈타인과 인펠트의 『The Evolution of Physics』(이하 EoP)의 빛 관련 내용을 분석하였다. 그리고 <2015 개정 과학과 교육과정> 선택과정 물리학 I을 분석하였다. 교육과정을 반영한 8종 교과서 중 1종을 택하여 구체적인 분석을 진행하였다.

첫 번째 연구는 EoP의 내용을 분석하여 DC 구조도를 빛과 관련된 전체 내용을 다음 DC 구조도와 빛 중점으로 그린 DC 구조도를 나타냈었다. DC 구조도 작성 결과 빛의 역할은 새로운 3가지 관점인 역학적 관점(고전적), 장의 관점(고전적), 역학적 관점(양자적)으로 안내하는 연결을 하고 있었음을 확인할 수 있었다. 또한, 관점과 주제어를 중심으로 하여 지식 체계도를 작성하는 연구를 진행한 결과 관절별로 빛의 성질인 빛의

입자성과 파동성이 역학적 관점(고전적)에서는 구분되어 등장하는 가운데 두 성질이 병렬적으로 등장하였다. 즉, 입자면 입자이고, 파동이면 파동이지 입자성을 가지면서 파동성은 가지고 없음을 드러내는 바이다. 장의 관점(고전적)에서 입자성은 드러나지 않지만, 파동성은 드러남이 확인되었다. 역학적 관점(양자적)에서는 빛의 입자성과 파동성 모두 인정되는 가운데 빛의 이중성을 지식 체계도에서는 분명하게 드러났다.

따라서 EoP는 단편적인 빛의 성질들을 기술한 것이 아니라 '관점의 변화'를 서사적인 구조로 물리학의 전체적인 맥락과 흐름을 이해할 수 있도록 내용 지식 체계를 이루어 유기적인 연결성을 가지고 있음을 보여주고 있다. 결과적으로 빛은 각 관점의 등장을 이끌어내는 역할이 분명하게 드러나고 있다. '빛'과 관련된 내용은 주변부로 인식되는 것이 아니라 물리학 전반에 있어서 각 영역을 연결하는 핵심 역할을 하고 있음을 확인하였다.

두 번째 연구에서는 학교 교육을 담당하는 교사와 교과서 개발에 있어서 첫 번째 지침서인 <2015 개정 과학과 교육과정> 가운데 선택과정 물리학 I의 빛 관련 내용 지식 체계를 분석하여 내용 구성도를 작성하였다. 내용 구성도 작성 결과 빛의 내용은 대단원 I. 역학과 에너지부터 대단원 III. 파동과 정보통신까지 흩어져서 체계적으로 지식 체계를 구성하고 있지 못함을 확인하였다. 또한, 관점에 해당하는 지식이 존재하지 않았으며, 물리학 I 교과의 성격은 초등학교 과학부터 고등학교 '통합과학'까지 물리 영역에서 다룬 기초 개념을 바탕으로 자연 현상을 체계적으로 이해하기 위한 과목이다. 이러한 교과 성격에도 불구하고 빛과 관련되어 광학적 현상을 이해하는 내용 지식 체계보다는 일상생활과 정보통신 및 첨단 기술을 이해하는 내용을 중심으로 내용 지식 체계를 이루고 있었다. 즉 교과서에서는 빛의 역할이 첨단 기술을 이해하는 수단으

로써의 역할이라고 할 수 있다. 또한, 2009 개정 교육과정을 반영한 교과서 분석 결과 과학적 소양 함양을 위한 내용구성이 부족하다는 문제점(문공주 외, 2012)에 이어 2015 개정 교육과정 역시 과학적 소양 함양을 위한 내용구성 및 내용 지식 체계가 부족함을 확인하였다.

2. 논의

본 연구는 일반인을 위해 저술된 『The Evolution of Physics』(이하 EoP)와 현 교육과정인 <2015 개정 과학과 교육과정> 선택과정 물리학 I 내용 지식 체계에 대하여 '빛' 주제를 중심으로 살펴보았다. 빛의 전체적인 내용 지식 체계를 분석하는 가운데 빛의 역할이 무엇인지 탐색을 목표로 연구를 진행하였다. EoP의 빛 내용은 단편적인 빛의 성질들을 기술한 것이 아니라 '관점의 변화'를 서사적 구조로 물리학의 전체적인 맥락과 흐름을 이해할 수 있도록 내용 지식 체계를 이루고 있으므로 유기적인 연결성을 보여준다. 이러한 내용 지식 체계를 통하여 빛은 각 관점을 소개하는 역할을 하고 있다. 반면에 현 2015 개정 물리학 I는 핵심 개념과 학습 요소 간에 유기적으로 연결되어 있지 않고, 빛의 내용은 흩어져 있어 체계적인 내용 지식 체계를 형성하고 있지 못함을 보여준다. 따라서 향후 물리학 I 교과서 개발에 있어서 광학적 현상을 바라보는 물리학적 관점을 제시하여 본질적인 '빛'을 탐구하며, 내용 지식 사이 연결을 통한 내용 지식 체계가 필요하다. 현 2015 개정 과학과 교육과정의 추구하는 방향인 과학적 소양 함양을 위해 분절적이지 않고 전체적인 맥락을 고려한 물리교육의 내용이 필요하다. 이런 측면에서 EoP의 내용을 재구성해 보는 등의 추가적인 연구가 필요하다. 특히, 2015 개정 교육과정이 시행되면서 분절적인 과학 개념이 아닌 통합적인 관점에서 세상을 바라보기 위한 목표로 '통합과학' 교과가 새롭게 개설되었다. 빛은 화학의 스펙트럼, 생물의 광합성, 지구과학의 천문분야 등 어느 교과에서도 등장하는 주제이며, 진정한 통합과학 교과에 있어서 핵심 주제이다. 이러한 빛의 주제는 물리학 I 교과서 개발뿐만 아니라 통합과학 교과서 개발에도 의의가 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

강남화, 최호명, 최원석, 임성민, 강태욱, 김익수. (2018). 고등학교 물리학Ⅰ. 서울: ㈜천재교육.

강현석. (1998). 지식의 구조론 이후 Bruner의 교육과정이론 탐구. 교육과정연구, 16(2), 105-128.

강현석. (2009). Bruner의 교육과정 이론에서 지식의 재해석 : 지식의 구조와 내러티브의 관계. 교육철학, 제38집, 1-34.

고재현. (2020). 물리학자 고재현의 광학 이야기 빛의 핵심. (주)사이언스북.

곽영직, 류상호, 김은경, 박종웅. (2018). 고등학교 물리학Ⅰ. 서울: ㈜와이비엠.

교육과학기술부. (2011). 2009 개정 과학과 교육과정. 교육과학기술부 고시 제2011 - 361호.

교육부. (2015a). 2015 개정 교육과정 총론. 교육부 고시 제2015-74호.

교육부. (2015a). 초·중등학교 교육과정 총론. 교육부 고시 제2015-80호 [별책 1].

교육부. (2015b). 2015 개정 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015 - 74호.

국립국어원. (2021, 12월). 표준국어대사전. 검색. https://stdict.korean.go.kr/search/searchView.do

김두정. (1989). 교육과정과 교과서의 관계. 초등교육 연구 3(0)호, 67-76.

김민영, 한신, 박태윤. (2015). 중학교 과학 교사와 학생들의 빛에 대한 인식과 이해 정도 분석. 한국과학교육학회지, 8(3), 267-280.

김성원, 신승희, 오경애, 이승국, 이영미, 장정은. (2018). 고등학교 물리

학 Ⅰ. 서울: ㈜지학사.
김성진, 김대규, 문연호, 안형수, 권경필, 민보경, 박가영. (2018). 고등학교 물리학 Ⅰ. 서울: ㈜미래엔.
김영민, 김익균, 김재권, 김중복, 박병윤, 박종원, 정현주, 한인식. (2019). 고등학교 물리학 Ⅰ. 서울: ㈜교학사.
김홍빈. (2022). 고등학교 물리학 교과서에 기술된 빛의 입자성과 파동성에 관한 설명 분석(학술지 투고논문 작성 중).
문공주, 문지영, 조미영, 정윤숙, 김서원, Krajcik, J. (2012). 21세기 과학적 소양 평가 기준 개발 및 교과서 내용 분석에의 적용. 한국과학교육학회지, 32(5), 789-804.
박민정, 성열관. (2011). 교육과정 연구의 최근 동향 분석 : 2000년 이후를 중심으로. 교육과정 연구, 29(4), 25~46.
백남진, 온정덕. (2014). 역량 기반 교과 교육과정에서 기준과 수행의 의미. 교육과정 연구, 32(4), 17~46.
소경희. (2017). 교육과정의 이해. 파주: 교육과학사.
손정우, 이봉우, 문홍주, 박승호, 이세연, 전병희. (2018). 고등학교 물리학 Ⅰ. 서울: ㈜비상교육.
송진웅, 안종제, 남종민, 김상협, 김민성. (2018). 고등학교 물리학 Ⅰ. 서울: 동아출판(주).
신동희. (2004). 과학교육의 변화 : 과학적 소양의 추구. 국어교육학연구.
양미경. (1998). 교과서 구성의 문제와 발전과제. 교육과정연구, 16(1) 85-123.
윤은미. (2013). 빛의 간섭과 회절 개념 이해를 위한 컴퓨터 기반 광학실험 개발 및 적용. 서울대학교 석사학위 논문.
이경민. (2020). 아인슈타인의 관점에서 바라본 현대물리학 교재의 특

징: ‘일반 상대성이론’ 단원을 중심으로. 서울대학교 석사학위 논문.

이봉우. (2017). 물리 교육관점에서 뉴턴 광학의 탐색. 새물리 67(9), 1086~1094.

이상연, 유천열, 민병도, 박종찬, 최우석. (2018). 고등학교 물리학Ⅰ. 서울: ㈜금성출판사.

이서지. (2019). 아인슈타인은 일반 상대성이론을 어떻게 설명하는가?: ‘학술논문’과 ‘일반인을 위한 저서’를 중심으로. 서울대학교 석사학위 논문.

이인호. (2005). 물리 예비교사들의 빛의 간섭과 회절에 대한 오개념과 원인 분석. 서울대학교 박사학위 논문.

이재봉, 김용진, 백성혜, 이기영 (2010). 과학과 교육내용 개선을 위한 교육과정 내용 관련 쟁점 분석. 과학교육연구지, 34(1), 140-154.

이재봉, 남경운, 손정우, 이성묵 (2004) 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 중학생의 개념 유형 분석. 한국과학교육학회지, 24(6), 1189-1205.

임유나 & 홍후조. (2016). 2015 개정 교육과정의 교과별 교육내용 제시 방식 검토: 내용 체계를 중심으로. 아시아교육연구 (Asian Journal of Education), 17(3), 277-302.

정혁, 정용재, 송진웅. (2004). 빛을 주제로 한 11학년 학생의 과제 유형에 따른 글쓰기 분석. 한국과학교육학회지, 25(5), 1008-1017.

조광희, 송진웅, 서정아. (2010). 과학 교과서의 예시 유형 분석틀 개발. 새물리, 60(3), 283-292.

허재혁. (2015). 무지개, 달무리, 코로나 현상에 대한 예비교사의 과학적 이해 향상을 위한 실험 수업 개발. 서울대학교 박사학위 논문.

홍혜진. (2020). 과학적 소양을 위한 교육내용 구성의 쟁점에 대한 고찰 : ‘과학지식’ vs. ‘과학을 둘러싼 맥락’을 중심으로. 서울대학교 석사학위 논문.

황규호. (2015). 국가 교육과정 개정과 교원 정책의 대응과제. 한국교원교육학회 68차 연차 학술대회 자료집.

AAAS. (1989). Science for all Americans, Washington, DC: American Association for Advancement of Science.

Bruner, J. S. (1960). The process of education. Cambridge, Mass. Harvard University Press.(이홍우 역. 브루너 교육의 과정. 배영사).

Bruner, J.S. (1996). The Culture of Education. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press.(강현석, 이자현 역. 브루너 교육의 문화. 교육과학사).

Bybee, R. W. (1997). Towards an understanding of scientific literacy. In W.Graber & C. Bolte(Eds.), Scientific literacy (pp.37-68). Kiel, Germany: Institute for Science Education(IPN).

Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S.-W., & Krajcik, J. (2011). Re-Conceptualization of Scientific Literacy in South Korea for the 21st Century. *Journal of Research in Science Teaching, 48*(6), 670-697.

Denzin, N. K. (1970). The research act: A theoretical introduction to sociological methods. New York: McGraw-Hill.

Dey, I. (2003). Qualitative data analysis: Auser friendly guide for social scientists. Routledge.

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). Young People’s

Images of Science. Buckingham: Open University Press.

Einstein, A. & Infeld, L. (1938). The Evolution of Physics: From early concepts to relativity and quanta. London: Cambridge University press.

Einstein, A. & Infeld, L. (1938). The Evolution of Physics: From early concepts to relativity and quanta. London: Cambridge University press. (지동섭 역. 아인슈타인이 직접 쓴 물리이야기. 파주: 도서출판 한울).

Galili, I. (2012). Promotion of cultural content knowledge through the use of the history and philosophy of science. Science & Education, 21(9), 1283-1316.

Galili, I. (2014). Teaching optics : A Historico-philosophical perspective. In M. R. Matthews(Ed.), International handbook of research in history and philosophy for science and mathematics education (p. 97- 128). Dordrecht : Springer.

Graneheim, U. H., & Lundman, B. (2004). Qualitative content analysis in nursing research: Concepts, procedures and measures to achieve trustworthiness. Nurse Education Today, 24(2), 105-112.

Hazen, E. M., & Trefil, J. (1991). Science matters: Achieving scientific literacy. New York, NY: Doubleday.

Hurd, P.D. (1985). Science education for a new age: The reform movement. NASSP Bulletin, 69(482).

Infeld, L. (1980). *Quest An AUTOBIOGRAPHY.* American Mathematical Society.

John K. Gilbert. (2007). Visualization in science education, Springer.

Kim, H. & Lee, G. (2018). Reflection and outlook on special relativity education from the perspective of Einstein: Focusing on research papers published in Korea. Journal of the Korean Physical Society, 73(4), 422-435.

Klassen, S. (2009). The construction and analysis of a science story: A proposed methodology. *Science & Education, 18*(3-4), 401-423.

Klassen, S. (2010). The relation of story structure to a model of conceptual change in science learning. *Science & Education, 19*(3), 305-317.

Klassen, S., & Klassen, C. F. (2014). Science teaching with historically based stories: Theoretical and practical perspectives. *In International handbook of research in history, philosophy and science teaching,* 1503-1529.

Krippendorff, K. (2004). *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology.* Beverly Hills CA : SAGE publications.

Matthews, M. R. (2012). Changing the focus: from nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M. S. Khine (Ed.), Advances in nature of science research. Concepts and methodologies (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.

Merriam, S., & Tisdell, E. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation (4th ed.).* San Francisco, CA: Jossey-Bass.

Metz, D., Klassen, S., McMillan, B., Clough, M., & Olson, J. (2007). Building a foundation for the use of historical narratives. Science & Education, 16(3-5), 313-334.

Tseitlin, M., & Galili, I. (2005). Physics teaching in the search for its self. Science & Education, 14(3), 235-261.

White, M. D., & Marsh, E. E. (2006). Content analysis: A flexible methodology. Library trends, 55(1), 22-45.

Abstract

Exploring the role of ‘light’ in the physics curriculum content knowledge system

- Focusing on 『The Evolution of Physics』(1938) -

Damin Lee
Physics, Department of Science Education
The Graduate School
Seoul National University

Since light is the energy that circulates air and water, many scientists have explored light to be the most important source of life. In the beginning, light existed, and research and research on what the essence of light is has been continuously carried out in various fields such as physics, philosophy, and medicine. Due to the advancement of

science and technology, mankind has come to have various technologies using invisible light, including light visible to the human eye, infrared rays, and ultraviolet rays. And it can be said to be a major means of better understanding natural phenomena on a huge scale, from atoms to the universe. In other words, we are observing and getting to know the much richer nature and appearance of the universe through light. Therefore, the purpose of this study was to know what is the important role of light in the physics knowledge system and how it is contained in the current curriculum physics content.

In addition, we discussed how science content should be structured for the cultivation of scientific literacy, which is being emphasized in current science education. Light has always been a source of deep inspiration for scientists. The great scientist Einstein also considered light when he was young, imagining flying at the same speed as light. Therefore, we examined the content knowledge system related to light in Einstein and Infeld's book 『The Evolution of Physics』(henceforth referred to as EoP), which reflects Einstein's thoughts and viewpoints, who gave birth to today's great scientific theories from the consideration of light. Since the goal of school education is specified by the curriculum and realized through the curriculum, the development and composition of the curriculum is centered on the selection process of educational content. This study tried to analyze the content knowledge system related to the light of the <2015 Revision Science and Curriculum> Physics I subject.

Accordingly, the first study result was to analyze the role of light in

the DC structure diagram(Tseitlin & Galili, 2005; Galili, 2012) through EoP analysis. As a result, it was confirmed that light was a concept that played an important role in opening a new perspective in physics. In other words, light was closely related to the main view of physics, which went through the mechanics view (classical) and the field view (classical), leading to the mechanics view (quantum).

In addition, it was confirmed that each point of view plays an important role in forming and connecting the core ideas of the physics field. In addition, it was possible to check how the role of light penetrates the three perspectives of mechanics (classical), field (classical), and mechanics (quantum) and connects major elements through the physics knowledge system diagram. The second study was to analyze the content knowledge system of <2015 Revised Science and Curriculum> Physics I.

As a result of, it was confirmed that the content of light in the curriculum emphasized the meaning of light as a tool used in information and communication technology rather than the content dealing with the nature of light. In textbooks, the concepts of duality of light were simply listed and mentioned to the extent that they were related to advanced technologies such as charge-coupled devices (CCD) and transmission electron microscopy (TEM).

In other words, it was judged to be a fragmentary and superficial level of content knowledge system. In other words, the textbook describes the role of light in physics as a means of creating advanced technology.

keywords : 2015 revised curriculum, light, content knowledge system, structure of knowledge, high school physics textbooks
Student Number : 2019-23305