



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](#)

교육학석사 학위논문

아인슈타인 논문에서 드러난 물리학  
이론의 특성과 물리교육적 함의

- 보편성(Universality)을 중심으로 -

The Characteristics of Physics Theory  
Revealed in Einstein's Research Papers and  
Its Implications for Physics Education  
- Focusing on Universality -

2019 년 2 월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

이 은 예

아인슈타인 논문에서 드러난 물리학  
이론의 특성과 물리교육적 함의  
- 보편성(Universality)을 중심으로 -

The Characteristics of Physics Theory  
Revealed in Einstein's Research Papers and  
Its Implications for Physics Education  
- Focusing on Universality -

지도교수 이 경 호

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함  
2018 년 12 월

서울대학교 대학원  
과학교육과 물리전공  
이 은 예

이은예의 석사 학위논문을 인준함  
2019 년 1 월

위 원 장	<u>전 동 렬</u>	(인)
부위원장	<u>송 진 응</u>	(인)
위 원	<u>이 경 호</u>	(인)

## 국 문 초 록

과학은 다양한 측면에서 정의된다. 예를 들어, 과학 지식의 형성 측면에서 과학은 “보편적 진리나 법칙을 발견하는 것을 목적으로 한 체계적 지식”이라고 정의할 수 있다. 따라서 보편적인 것이 과학 지식의 형성 과정에서 구체적으로 어떻게 고려되며, 어떠한 방식으로 드러나는지를 살펴보는 것은 과학의 본성을 이해하는데 중요한 일이라고 본다. 한편, 과학교육에서는 과학의 본성에 대한 교육을 오래 전부터 강조하고 있다. 그러나 과학교육 연구에서 과학의 보편성은 무엇이며, 이러한 보편성을 어떻게 가르쳐야 하는지에 관한 연구는 찾아보기 어렵다. 이에 본 연구는 우선, 과학의 보편성이란 무엇인지에 관하여 알아보고자 하였다. 특히 과학의 여러 분야 중 보편적 지식을 추구하는 대표적 학문인 물리학에서 보편성의 구체적인 특징을 찾고자 하였다. 그리고 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 인식을 살펴보고, 이를 통해 물리교육적 함의를 탐색하고자 하였다.

연구의 진행 과정과 결과는 다음과 같다. 먼저 물리학의 보편성의 구체적인 특징을 아인슈타인의 일반 상대성이론 논문에서 찾고자 하였다. 그 이유는 아인슈타인은 자연 법칙이 보편적이라고 확신을 가졌던 대표적인 물리학자이며, 보편성의 추구과정을 통하여 일반 상대성이론을 발전시켰기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 아인슈타인의 일반 상대성이론 논문을 통해서 아인슈타인이 추구했던 보편성의 특징을 발견하고자 하였다. 한편, 아인슈타인은 상대성이론 뿐 아니라 양자 역학에도 가장 근본적인 아이디어를 제시한 물리학자이다. 그래서 본 연구에서는 아인슈타인의 일반 및 특수 상대성이론 논문과 더불어 광전 효과 논문에서

나타나는 보편성의 특징도 함께 찾아보았다.

아인슈타인의 논문에서 드러나는 보편성의 특징을 질적 내용 분석방법을 사용하여 보편성 추구의 시작, 보편성의 내용과 보편성 추구의 방식, 세 측면에서 살펴보았다. 먼저 일반 상대성이론 논문을 분석하고, 이 결과를 바탕으로 특수 상대성이론 논문과 광전 효과 논문을 분석하였다. 연구 결과 세 논문에서 보편성의 특징이 공통적으로 드러났으며, 그 특징은 다음과 같았다. 첫째, ‘보편성의 추구’는 기존 물리 지식의 결합이나 모순에서 오는 불편함으로 인해 시작되었음이 드러났다. 둘째, ‘보편성의 내용’으로 좌표계와 무관한 물리법칙, 좌표계에 무관한 불변량, 적용 대상과 무관한 물리법칙 등이 드러났다. 셋째, ‘보편성을 추구하는 방식’은 다음의 특징이 있는 것으로 나타났다. 우선, 기존 물리 지식이 가지는 결함을 구체적으로 지적하고, 기존 물리 지식 중에서 보편적으로 존중받아야 할 것은 수용하였으며, 새로운 주장은 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 주장이 되도록 하였다.

다음으로 현직 물리 교사 10명을 대상으로 물리학의 보편성에 대한 인식을 알아보았다. 이를 위해 물리학의 보편성의 특징, 물리학과 특수 및 일반 상대성이론 발전 과정에서 보편성 추구의 역할, 그리고 고등학교 물리교수학습에서 보편성의 추구 과정과 내용의 지도 필요성에 대해 설문하였다. 교사 대부분은 적용 대상과 무관한 물리법칙에 해당되는 내용을 물리학의 보편성으로 인식하고 있었다. 한편, 보편성을 사람의 이해와 관련하여 인식하는 교사도 있었다. 그리고 보편성의 추구가 물리학의 발전 과정에서 중요한 역할을 한다고 인식한 교사가 많았다. 이와 같은 응답의 이유로 그들은 적용 대상과 무관한 물리법칙에 해당되는 내용을 주로 언급하였다. 이러한 인식을 갖고 있는 교사들은 모두 고등학교 물리교수학습에서도 보편성의 추구 과정과 그 내용을 지도해야 한다고 보았

다. 또한 특수 및 일반 상대성이론의 발전 과정에서도 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사들이 많았다. 그러나 이들의 응답 내용과 아인슈타인의 논문에서 드러난 보편성의 특징을 비교해보면 보편성의 역할에 대한 교사들의 인식은 부분적이었다.

요약하면, 본 연구에서는 아인슈타인의 논문에서 드러난 보편성의 구체적인 특징을 찾을 수 있었다. 특히 상대성이론의 형성에 있어 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다는 것을 알 수 있었다. 그리고 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 이해를 돕기 위한 여러 가지 방안들(예를 들어, 보편성의 추구 과정과 내용을 바탕으로 한 상대성이론에 대한 교사 교육과 교재 및 교과서 개발)이 필요함을 확인하였다.

**주요어 : 아인슈타인, 원전 논문, 물리학 이론의 특성, 보편성, 상대성 이론, 물리교사**

**학 번 : 2017-25572**

# 목 차

I. 서 론 .....	1
1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
2. 연구 문제 .....	4
II. 이론적 배경 .....	6
1. 과학의 보편성 .....	6
2. 물리학 분야에서 아인슈타인의 주요 업적 .....	9
3. 과학의 보편성과 과학교육 .....	13
III. 아인슈타인 논문에서 드러난 보편성의 특징 .....	15
1. 연구 방법 .....	15
2. 연구 결과 .....	19
2.1 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성 .....	19
2.2 특수 상대성이론 논문에서 드러난 보편성 .....	30
2.3 광전 효과 논문에서 드러난 보편성 .....	38
3. 요약 .....	47
IV. 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 인식 .....	49
1. 연구 방법 .....	49
2. 연구 결과 .....	53
3. 요약 .....	71

V. 결론 및 논의 .....	73
1. 요약 및 결론 .....	73
2. 논의 및 제언 .....	78
참고문헌 .....	80
부    록 .....	87
Abstract .....	92



## 표 목 차

[표 III-1]	.....	22
[표 III-2]	.....	33
[표 III-3]	.....	41
[표 IV-1]	.....	52
[표 IV-2]	.....	54
[표 IV-3]	.....	56
[표 IV-4]	.....	59
[표 IV-5]	.....	61
[표 IV-6]	.....	62
[표 IV-7]	.....	65
[표 IV-8]	.....	68
[표 V-1]	.....	75
[표 V-2]	.....	76

## 그림 목 차

[그림 Ⅲ-1]	.....	16
[그림 Ⅲ-2]	.....	19
[그림 Ⅲ-3]	.....	30
[그림 Ⅲ-4]	.....	38
[그림 Ⅳ-1]	.....	50

## 부 록 목 차

[부록 1]	.....	87
--------	-------	----

# I. 서론

## 1. 연구의 배경 및 목적

과학은 목적·방법·대상 등에 대한 관점, 인식론적·존재론적 입장과 전공 등에 따라 서로 다른 의미로 정의될 수 있다(조희형 외, 2014). 과학 지식의 형성 및 특징에 따른 과학의 정의도 여러 가지가 있을 수 있지만, 과학은 “보편적 진리나 법칙을 발견할 목적으로 한 체계적 지식”이라고 정의할 수 있다(국립국어원, 2018). 이 정의에서의 ‘보편적’이라는 단어의 사전적 의미는 “두루 널리 미치는, 또는 그런 것., 모든 것에 공통되거나 들어맞는, 또는 그런 것”이다(국립국어원, 2018). ‘보편적’에 대응되는 영어 단어인 ‘universal’을 옥스퍼드 사전에서는 “명시적 또는 암묵적으로 전체를 확장하거나 포함하는 경우, 특히 특정 그룹 전체나 전체 세계; 포괄적, 완전한; 광범위하게 발생하거나 존재하며, 전체에 퍼져 있는”으로 기술하고 있다(Oxford English Dictionary, 2018). ‘universal’은 아리스토텔레스의 ‘보편자(katholou, καθόλου)’ 개념을 보에티우스가 ‘universalis’로 번역한데서 유래되었다(조대호, 2010, 재인용). 아리스토텔레스의 정의에 따르면 ‘보편자’는 ‘본성상 여럿에 공통적으로 속하는 것’으로 ‘사람’이나 ‘동물’이 그렇듯이 여럿에 적용되는 공통적인 술어를 가리킨다(조대호, 2017).

과학교육 분야에서는 과학의 본성에 대한 교육이 지속적으로 강조되어 왔다(Kimball, 1967-1968; Meichtry, 1993; AAAS, 1990, 1993; 조희형, 박승재, 1994; NRC, 2000; Lederman, 2007). 이와 관련하여 과학 지식이 다른 분야의 지식과는 다른 어떠한 특징을 지니는지에 대한 연구가 다양

한 측면에서 이루어지고 있다(McComas, Clough & Almazroa, 1998; Lederman et al, 2002; Schwartz & Lederman, 2002; Bartholomew, Osborne & Ratcliffe, 2004; Reeves, Chessin & Chambless, 2007). 하지만 과학의 본성에 관한 연구에서 과학의 정의 자체에 등장하는 주된 특징이라 할 수 있는 ‘보편성’에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 특히 ‘보편적’인 것이 과학 지식의 형성 과정에서 구체적으로 어떻게 고려되며, 어떤 방식으로 드러나는지 살펴보는 것은 과학의 본성을 이해하는데 있어서 중요한 일이라고 본다.

한편, 과학의 본성과 관련된 교수학습에서 Lederman(1992)은 교사의 역할이 중요하다고 여겼다. 또한 조희형과 박승재(1993)도 훌륭한 과학 교사는 과학의 본성에 대한 충분한 지식을 가져야 한다고 보았다. 이런 측면에서 과학의 본성에 대한 이해에 있어 과학의 ‘보편성’에 대한 과학 교사의 이해는 매우 중요하다고 볼 수 있다.

따라서 본 연구에서는 먼저 과학의 ‘보편성’이란 무엇인지에 관하여 알아보려고 하였다. 특히 과학의 여러 분야 중에서도 보편적 지식을 추구하는 대표적인 학문인 물리학에서 보편성의 구체적인 특징을 찾고자 하였다. 물리학은 17세기 초반 데카르트를 필두로 하여 추구된 소위 ‘보편 과학(mathesis universalis)’의 전통 하에서 발전된 고유한 특징을 보여준다(김형효, 1982).

특히 20세기에 들어와서 물리학 전반에 영향을 미친 아인슈타인은 자연 법칙이 보편적이라는 확신을 가졌던 대표적인 물리학자이다(Einstein, 1984). 아인슈타인은 궁극적으로 완전히 포괄적이고 통합된 이론을 원하였고(Holton, 1995), 이를 추구하고 물리학 분야의 최고의 성취 중 하나인 일반 상대성이론을 만들었다. 따라서 본 연구자는 아인슈타인이 일반 상대성이론을 설명하는 자신의 논문(Einstein, 1916)에서 ‘보편성’을 어떻

게 다루고 있는지 알아보고자 하였다.

그리고 아인슈타인이 ‘보편성’을 추구하는 모습이 다른 논문에서도 드러나는지, 만약 드러난다면 그 특징은 어떠한지도 함께 살펴보기로 하였다. 아인슈타인은 상대성이론 뿐 아니라 양자 역학의 발전에도 큰 기여를 한 물리학자(Dirac, 1963; Rigden, 2005; Fröhlich, 2008; Stone, 2008)이므로, 특수 상대성이론 논문(Einstein, 1905)과 양자 역학을 여는 핵심적인 아이디어가 담긴 광전효과 논문(Einstein, 1905) 또한 분석 대상으로 하였다.

다음으로 물리학의 ‘보편성’과 물리교수학습을 연결하는 단계로써 물리학 이론의 ‘보편성’에 대한 물리 교사의 인식이 어떠한지 알아보았다. 물리 교사들의 인식을 물리학 전반의 ‘보편성’에 대한 일반적 인식, 상대성이론과 관련된 ‘보편성’에 대한 인식, 그리고 고등학교 물리교수학습에서 ‘보편성’과 관련된 내용의 교육 필요성에 대한 인식으로 나누어 살펴보았다. 그리고 이를 통해 물리학의 ‘보편성’과 상대성이론의 ‘보편성’이 지닌 물리교육적 함의를 찾고자 하였다.

## 2. 연구 문제

본 연구는 먼저 과학의 정의에서 나오는 보편성의 구체적인 특징에 대해 알아보고자 하였다. 과학 분야 중 보편적 지식을 추구하는 대표적 학문인 물리학의 이론 형성 과정에서 보편성이 어떻게 고려되며, 어떻게 드러나고 있는지를 통해 보편성의 구체적인 특징을 찾고자 하였다. 앞서 언급하였듯이 아인슈타인은 자연 법칙이 보편적이라는 확신을 가졌던 물리학자이며, 보편성을 추구하여 물리학 분야의 최고의 성취 중 하나인 일반 상대성이론을 만들었다. 따라서 아인슈타인의 주요 논문에서 나타난 보편성의 구체적인 특징을 찾고자 하였다.

### 2.1 아인슈타인 논문에서 드러난 보편성의 특징

첫 번째 연구의 구체적인 문제는 다음과 같다.

첫째, 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징은 무엇인가?

둘째, 특수 상대성이론 논문과 광전 효과 논문에서도 보편성이 중요하게 드러나는가? 그렇다면 그 보편성의 특징은 무엇인가?

다음으로 연구 1에서 밝힌 물리학의 보편성의 특징에 대한 물리교육적 함의를 탐색하는 한 가지 시도로 물리학의 보편성에 대한 현직 물리 교사들의 인식을 알아보고자 하였다. 구체적으로 (1) 물리 교사들은 물리학의 보편성을 무엇으로 인식하고 있는지, (2) 물리학 이론과 특수 및 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 역할에 대한 인식은 어떠한지

에 대해 살펴보았다. 그리고 고등학교 물리교수학습에서 보편성과 관련된 내용 지도의 필요성에 대한 인식도 함께 알아보았다.

## 2.2 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 인식

두 번째 연구의 구체적인 문제는 다음과 같다.

물리 교사들은

첫째, 물리학의 보편성의 특징을 어떻게 인식하고 있는가?

둘째, 물리학의 이론과 특히 특수 및 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 역할을 어떻게 인식하고 있는가?

셋째, 고등학교 물리교수학습에서 물리학의 보편성 추구과정과 그 내용의 지도에 대해 어떻게 인식하고 있는가?

## II. 이론적 배경

### 1. 과학의 보편성

과학 지식의 특징은 여러 측면에서 다양하게 나타나는데, 과학 지식의 적용 범위와 관련한 부분에서도 특징을 찾을 수 있다. Kuhn(1977)은 좋은 과학 이론이 지니는 특징으로 ‘정확성, 일관성, 넓은 적용 범위, 단순성, 그리고 다산성’의 5가지를 제시하였는데, 이 중 ‘넓은 적용 범위’에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.

Third, it should have broad scope: in particular, a theory's consequences should extend far beyond the particular observations, laws, or subtheories it was initially designed to explain. (Kuhn, 1977, p.322)

이론이 기존에 설명하도록 고안된 것들을 넘어서는 귀결을 제공하는 것을 넓은 적용 범위의 조건으로 볼 수 있다. 그리고 Chalmers(1990)는 과학 지식이 지닌 특징 가운데 일반성을 강조하는데, 그가 말하는 일반성은 다음과 같다.

고대인들에게 알려진 유클리드 기하학과 반사의 법칙 또는 좀 더 최근에 알려진 뉴턴의 역학과 아인슈타인의 상대성이론을 논쟁의 여지가 없는 과학적 지식의 예로 드는 경우, 이러한 주장들의 일반성을 인정하는 것은 어려운 일이 아니다. 기하



학의 정리들은 목공 작업, 토지 측량, 천문학에 똑같이 적용되며 뉴턴 역학은 혜성의 운동 뿐 아니라 진자의 진동에도 적용된다. (Chalmers, 1990, pp.47-48)

다음은 과학의 보편성에 관한 학자들의 설명의 예이다. 강석진과 노태희(2014)는 “과학은 설명력(explanatory power)이 가장 큰 이론을 높이 평가한다”를 과학적인 주장의 특징 중 하나로 제시한다. 여기서 설명력이 가장 큰 이론은 설명할 수 있는 관찰의 수가 다양하고 많은 이론을 뜻한다. Holton(1995)은 과학의 진보를 새로운 통합에 의해 더 넓은 범위의 현상을 설명할 수 있는 포괄성의 증가로 보았다. 최무영(2008)은 좋은 과학 이론은 넓은 범위의 관측 결과를 설명할 수 있어야 하는, 즉 보편성이 있어야 한다고 말한다. 그리고 그는 과학의 발전을 더 보편적인 이론 체계를 구성하는 과정으로 보았다.

홍성욱(2004)은 과학자 사회는 “뉴턴의 법칙은 지구는 물론 달에서도, 아니 안드로메다 성운에서도 참인 법칙이다”와 같이 과학의 보편성을 믿는다고 말한다. 이러한 측면은 과학자들의 말에서도 분명히 드러나는데, Mach(1933)는 자연을 이해하기 위해 다양성을 뛰어넘어 자연 현상들 속에서 늘 현존하는 동질적 요소들을 찾아야 한다고 하였다. 늘 현존하는 동질적 요소를 찾는다는 것은 자연에 존재하는 보편적인 것을 찾는 것이라 할 수 있겠다. Einstein(1984)은 직접적으로 자연 법칙은 보편적이라고 밝히고 있다.

일반 대중은 조심스럽게 과학적 발견의 세부 사항들을 따라올 수 있을 것이다. 이 과정에서 적어도 하나의 크고 중요한 확신을 습득할 수 있다. 즉, 인간의 사고는 의지할만 하며, 자연

법칙은 보편적이라는 확신이 바로 그것이다. (Einstein, 1984, p.180)

이상에서 살펴본 것처럼 과학의 보편성은 과학의 중요한 특징으로 다루어지며, 주로 적용 범위와 관련하여 설명되어진다. 그래서 ‘하나의 과학 지식이 여러 상황에 적용되는 것’이 과학의 보편성으로 간주되고 있다.

## 2. 물리학 분야에서 아인슈타인의 주요 업적

아인슈타인은 20세기 물리학 전반에 영향을 끼친 물리학자로 1999년 타임지가 선정한 20세기 위대한 인물 100인 중 한 명이기도 하다. 유명한 인물을 공정하게 평가하는 것은 어려울 때가 많지만, 아인슈타인은 그가 한 작업들로 인해 위대함의 표준이 된다(Rigden, 2005). 특히 아인슈타인은 1905년에 박사학위 논문을 포함하여 5편을 논문을 잇달아 냈으며, 이들은 모두 물리학 각 영역의 근본적인 문제를 다루고 있어 20세기 물리학에 큰 영향을 주었다. 그래서 1905년을 기적의 해라고도 한다.

What Einstein did in 1905 has impacted not only twentieth century but also science in general, actively shaping subsequent scientific endeavors. Two revolutions occurred in physics during the twentieth century. Both had broad and deep implications. The first was the result of Einstein's June paper on special relativity, which required the restructuring of our ideas about space and time, the most basic concepts of physics. This revolution was completed in 1915, again by Einstein, with his general theory of relativity. The second revolution was quantum mechanics, which took form between 1925 and 1927. Einstein's March paper is a pillar supporting the edifice of quantum mechanics. Finally, the April and May papers brought statistical fluctuations into statistical physics and influenced that field's subsequent development. (Rigden, 2005, pp.4-5).

아인슈타인의 1905년 3월 논문은 맥스웰의 빛의 이론의 무제한적인 타당성에 도전하고 빛 양자의 존재를 제안하여 혁명적인 논문으로 여겨진다(Stachel, 2005). 플랑크가 빛의 에너지 속성을 설명하기 위해 양자를 도입하긴 했지만, 플랑크의 양자 개념은 빛 자체에 적용된 것이 아니라 공동 내부에서 복사 방출 진동자들에 한해 적용된 것이었다(Rigden, 2005). 그러나 아인슈타인은 에너지 양자 개념을 빛 자체의 속성으로 보았으며, 이를 적용하여 광전 효과의 실험 결과를 훌륭하게 설명해낸다. 그래서 3월 논문을 광전 효과 논문이라고 흔히 부른다. 그러나 이 논문의 빛 입자론 논문으로, 빛 입자론 의미는 광전 효과를 한참 넘어선다(Rigden, 2005).

1905년 4월 논문 ‘분자의 크기에 대한 새로운 규정’은 아인슈타인의 박사학위 논문으로, 논문의 주제는 원자론에 대한 아인슈타인의 믿음을 확인시켜 준다(Rigden, 2005). 이 논문에서 아인슈타인은 분자의 크기와 아보가드로 수를 구하기 위해 고전 유체역학과 확산 이론을 사용한다. 그 결과를 용해된 설탕 분자에 적용하여 설탕 분자의 크기와 아보가드로 수를 구한다(Stachel, 2005). 다음으로 5월 논문은 브라운 운동에 대한 것이다. 아인슈타인은 먼저 액체 속에 떠 있는 작은 부유입자들과 용해된 분자들이 묽은 용액의 삼투압과 관련하여 동일하게 작용함을 보여 박사 논문에서의 작업을 부유입자에 적용한다. 이를 통해 부유 입자들의 확산 계수를 구하게 되고, 이 확산을 부유 입자의 무작위 운동의 결과로 봄으로써 부유입자의 평균 변위 공식을 얻는다. 이로부터 부유 입자와 크기와 평균 변위의 예측값을 구체적으로 제시한다. 이 두 논문을 통해 원자의 존재가 확실해지고, 원자에 대한 회의주의자들의 목소리를 잠재우게 되었다(Rigden, 2005).

1905년 6월 논문은 특수 상대성이론 논문으로 아인슈타인이 1897년 아라우에서 물리학의 근본 전제인 상대운동의 원리와 전자기 이론 사이에 문제가 있다고 생각한 데서 시작되었다(홍성욱 외, 2004). 이 논문에서 아인슈타인은 문제 해결을 위해 먼저 시각을 동기화 시키는 방법에 대해 논하는데, 이로부터 이어지는 과정에서 그 동안 절대적인 개념이었던 시간과 공간이 상대적인 것임이 밝혀진다. 또한 시간과 공간이 하나로 통합되는 것임을 보임으로써 새로운 세계관을 제시한다. 특수 상대성이론 논문은 전기동역학의 문제를 해결하고자 쓰여졌으나 운동학에 관한 부분이 관심을 끌었고, 물리학을 넘어 다양한 분야에 영향을 주었다(Rigden, 2005). 그리고 논문의 논리적 귀결로 1905년 9월 논문이 나오게 되며, 9월 논문에서 전혀 다른 것으로 보이던 에너지와 질량이 하나로 합쳐진다. 그 결과가  $E=mc^2$ 이며, 이것은 가장 유명한 방정식으로 타임지의 표지에도 등장한다(Crease, 2009).

그 후 아인슈타인은 중력에 대한 뉴턴의 서술과 자신의 특수 상대성이론 사이의 모순을 알게 되며(Einstein, 1956), 이를 해결한 결과가 바로 일반 상대성이론이다. 아인슈타인 스스로 가장 행복한 생각이라고 밝힌 등가 원리로부터 문제 해결의 실마리를 찾게 되고, 물리적 전략-대응 원리, 에너지·운동량 보존 원리와 수학적 전략-일반 공변성을 통해 장 방정식을 도출하게 된다(Gutfreund & Renn, 2015). 이로써 질량에 의한 시공간의 곡률이 관측자에게는 중력의 효과로 나타나는 것이며, 시공간의 구조 자체가 중력의 전달 매체임을 밝혀냄으로써 모순을 해결하게 된다(Einstein, 1956). 이는 특수 상대성이론의 평평한 4차원 시공간을 넘어 굽은 시공간으로 가도록 요구함으로써 우리의 물리학적 그림의 진화에 정말로 중요한 기여를 한다(Dirac, 1963). 또한 아인슈타인은 일반 상대성이론 논문에서 그동안 설명하지 못했던 수성의 근일점 이동을 정확하

게 설명한다. 그리고 중력장 하에서 빛의 휘어짐을 예측하는데, 1919년 Eddington의 관측으로 확인이 된다. 상대성이론이 발표된 이후, 우주에 대한 이해 역시 한층 성숙해지고 깊어지게 되었다(Einstein, 1956).

이렇게 아인슈타인은 20세기 물리학의 두 기둥인 상대성이론과 양자역학 모두에 큰 영향을 끼쳤을 뿐 아니라, 그가 한 다른 작업들도 해당 영역의 발전에 영향을 주었다.

### 3. 과학의 보편성과 과학교육

과학의 본성에 대한 이해는 그 중요성이 강조(Meichtry, 1993)될 뿐 아니라 과학교육의 핵심적인 목표 중 하나이다(Kimball, 1967-1968; Lederman, 2007). 그리고 이는 미래 세대를 위한 과학교육에서 다시 강조되고 있으며(AAAS, 1990, 1993; 전승준 외, 2018), 우리나라의 2015 개정 과학과 교육과정(교육부, 2015)에도 과학의 본성과 관련된 내용이 각 과목에 제시되어 있다.

AAAS(1990)는 과학의 본질에 대한 이해를 위해 과학적 세계관에 대한 교육을 제안하며, 과학의 보편성으로 인해 ‘세상은 이해 가능하다’를 첫 번째로 제시하고 있다.

과학은 또한, 보편적이라는 말에 내포된 것처럼, 우주는 그 안에서는 어디에서나 기본적인 규칙이 동일한 광활한 단일 시스템이라고 가정한다. 우주의 한 곳에서 연구하여 얻어진 지식은 다른 곳에서도 동일하게 적용된다. 예를 들어 지구의 지표 부근에서 떨어지는 물체의 운동을 설명하는 운동과 중력의 원리가 달과 행성들의 운동을 똑같이 설명할 수 있다. 오랫동안 몇 번의 원리가 수정을 거쳐 같은 원리가 다른 힘과 - 그리고, 작은 핵자로부터 무거운 별까지, 뿔단배부터 우주선까지, 총알에서 광선까지 모든 것의 움직임에 적용되어 왔다. (AAAS, 1990, p.2)

그리고 Wenning(2006)은 “All laws of science are universal and not merely local.”을 예비 물리교사들이 과학의 본성을 가르치기 위해 알아

야 할 내용으로 제시하였다. 또한 Wellington & Ireson(2012)은 과학 지식의 본질적인 측면의 하나로 보편성을 다음과 같이 설명하였다.

Science is not value-free? Agreed ... but some scientific facts, laws and theories are independent of people and society. Newton's Second Law works in Iran as well as it does in North America. The kinetic theory of particles can be applied globally.(Wellington & Ireson, 2008, p.11)

“일단 검증된 과학적 사실, 법칙, 이론, 원리 등은 지구적, 우주적, 보편적(이영희, 2017, 재인용)”이라는 것이다.

과학 교사는 과학의 보편성을 포함한 과학의 본성에 대해 잘 이해해야 하며, 이를 교육해야 하는 것이다. 과학의 본성에 대한 이해를 높이기 위해서는 명시적인 수업이 암시적인 수업보다 효과적이다(Meichtry, 1992; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000a, b). 특히 백성혜와 남초이(2010)는 교과서에 제시된 구체적인 내용으로 구성된 과학의 본성에 대한 명시적 수업이 예비 과학교사들의 인식 변화에 긍정적인 효과를 가져왔음을 보였다. 한편, 과학의 본성에 대한 이해는 과학 개념의 이해에도 영향을 준다(Songer & Linn, 1991; 차정호, 윤정현, 노태희, 2005; 윤지영, 백성혜, 2015). 특히 과학 개념과 직접적으로 관련 있는 과학의 본성을 바탕으로 한 수업을 한 경우 해당 개념에 대한 이해도가 높아졌다(신은정, 2012; 선수형, 2014).

따라서 본 연구자는 과학의 보편성에 대한 이해를 돕는 수업은 구체적인 사례와 연결하여 진행하여야 할 것으로 본다. 특히 이러한 수업은 과학의 보편성에 대한 이해 뿐 아니라 해당 내용에 대한 이해도 높일 것이다.



### Ⅲ. 아인슈타인 논문에서 드러난 보편성의 특징

연구 1에서는 이론의 형성 과정을 살펴봄으로써 물리학 이론의 보편성의 특징을 찾고자 하였다. 이에 20세기 물리학 전반에 영향을 끼쳤으며, 자연 법칙이 보편적이라고 확신한 아인슈타인의 주요 논문에서 보편성의 구체적인 특징을 살펴보고자 하였다.

#### 1. 연구 방법

이 연구의 연구 대상과 연구 절차는 다음과 같다.

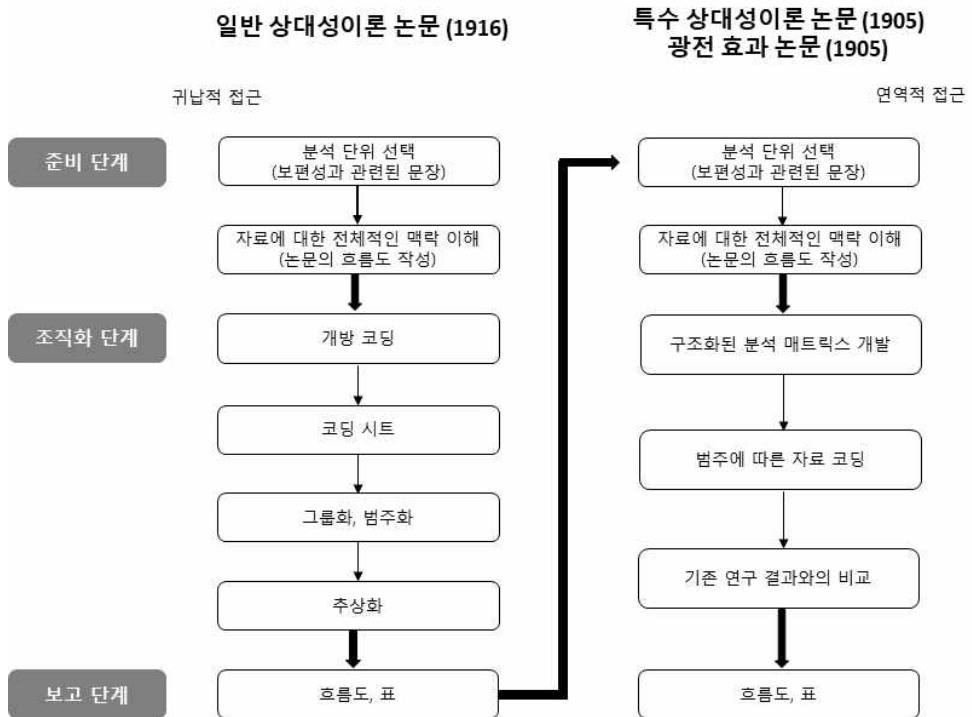
##### 1.1 연구 대상

본 연구는 아인슈타인이 이론을 형성해 가는 과정이 담긴 원전 논문을 연구 대상으로 하였다. 보편성을 추구하여 얻은 최고의 성취 중 하나인 일반 상대성이론 논문을 먼저 연구 대상으로 정하였다. 그리고 상대성이론의 또 다른 논문인 특수 상대성이론 논문과 양자 역학의 핵심 아이디어가 담긴 광전 효과 논문도 연구 대상으로 하였다. 이렇게 아인슈타인의 주요 세 논문에서 보편성의 구체적인 특징을 찾고자 하였다.

##### 1.2 연구 절차

연구의 형식적 절차는 Elo & Kyngäs(2008)의 질적 내용분석 방법에

기초하여 이루어졌으며(Fig. 1), 외연적 의미와 내재적 의미 모두를 코딩하도록 하였다(Graneheim & Lundman, 2004).



[그림 III-1] 연구에서 사용한 질적 내용분석 방법(Elo & Kyngäs, 2008)

먼저 일반 상대성이론의 논문 분석은 귀납적 접근으로 이루어졌다. 준비 단계(preparation phase)에서 내용의 분석 단위를 보편성이 드러나는 문장으로 하였고, 보편성 추구의 시작(Why), 보편성의 내용(What), 보편성 추구의 방식(How)의 측면에서 살펴보았다. 그리고 논문의 전체적인 맥락 속에서 자료를 이해하기 위해 논문의 흐름도를 작성하였으며, 최대한 충실하게 논문의 내용을 논문 전개 과정대로 나타내고자 하였다. 조직화 단계(organising phase)에서는 원전 논문을 읽으면서 개방 코딩을 하였고, 선택된 내용들의 각 코딩 결과를 바탕으로 그룹화, 범주화 시켰

다. Elo & Kyngäs(2008)는 그룹화와 범주화를 구별된 단계로 보았다. 그러나 본 연구에서는 그룹화 단계에서 자료들 사이의 비교를 통해 다른 그룹과 차별화되는 범주화 작업이 함께 이루어져, 그룹화와 범주화를 동시에 진행되는 단계로 보았다(Dey, 1993). 이러한 단계를 거치면서 추상화가 이루어졌으며, 조직화 단계는 논문을 반복적으로 읽으면서 진행되는 순환적인 과정이었다. 마지막 보고 단계(reporting phase)에서는 논문에서 드러난 보편성의 특징을 표로 정리하였고, 이를 토대로 앞서 작성한 흐름도를 보편성의 추구 과정에 초점을 맞춰 재정리하였다. 그리고 흐름도에 보편성의 특징별로 부여된 번호를 삽입하여 흐름도와 표를 연결지어 볼 수 있도록 하였다.

다음으로 특수 상대성이론 논문과 광전 효과 논문에서도 보편성이 중요하게 드러나는지, 그렇다면 그 보편성의 특징은 어떠한지 연역적 접근 방법(Elo & Kyngäs, 2008)에 기초하여 분석하였다. 두 논문도 내용의 분석 단위를 보편성 추구의 시작(Why), 보편성의 내용(What), 보편성 추구의 방식(How)과 관련된 문장으로 하였으며, 전체 맥락 속에서 자료를 이해하기 위해 논문의 흐름도를 작성하였다. 다음으로 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징을 나타낸 결과표를 구조화된 분석 매트릭스로 사용하여 이에 따라 두 논문의 내용을 코딩하였다. 그리고 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징과 각 논문에서 드러난 보편성의 특징을 비교하였다. 그 후 특수 상대성이론 논문과 광전 효과 논문 각각의 보편성의 특징을 표로 작성하고, 논문의 전개 과정에 기반하여 흐름도를 보편성이 드러나는 과정에 맞게 재정리 및 보편성의 특징 결과표와 연결지어 볼 수 있도록 각 특징별 번호를 삽입하였다.

### 1.3 자료 분석

논문을 분석하고 결론을 도출하는데 있어 본 연구자 외에 물리교육 전문가 1인과 물리학 박사 1인이 함께 참여하여 연구의 타당성을 확보하고자 하였다(Denzin, 1970). 흐름도 작성과 개방 코딩 및 그룹화, 범주화 과정에서 연구자들 사이의 충분한 의견 교환을 통해 합의에 이르도록 하였으며, 구체적인 합의 과정과 내용은 다음과 같다.

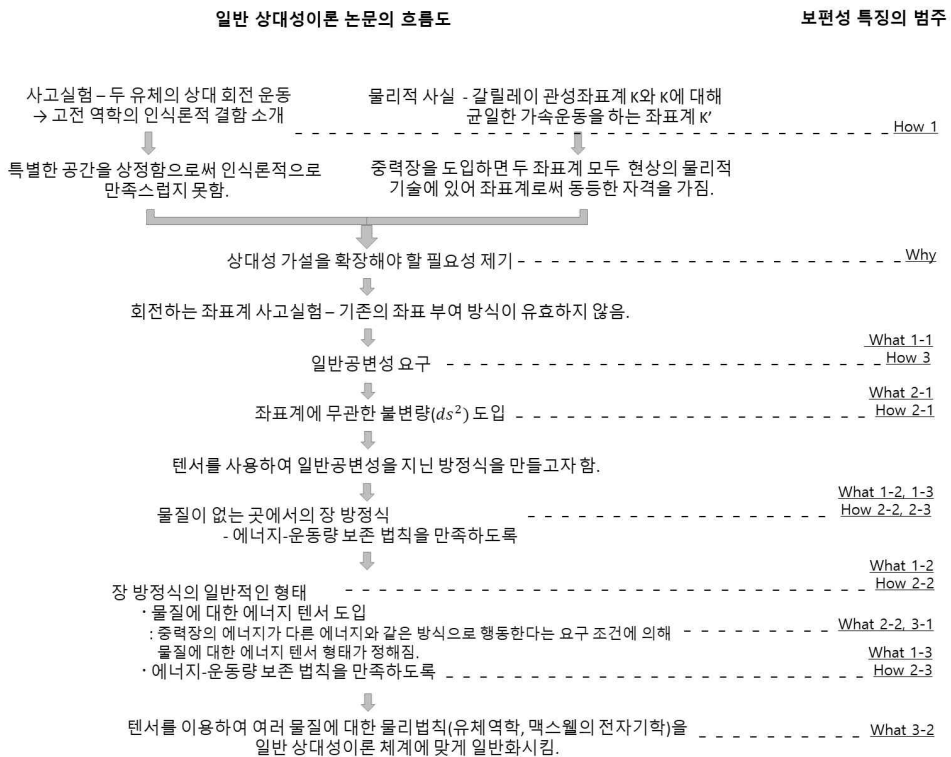
흐름도 작성시 준비 단계에서는 논문의 과정 전체를 나타내는 것으로 하였으나 내용 분석 후 결과 보고 단계에서는 보편성의 추구 과정에 초점을 맞춰 수정하기로 하였다. 그리고 각자 개방 코딩 후 선택된 분석 단위의 적합성과 부여된 코드의 적절성에 대한 논의를 하였고, 선택된 내용의 특징이 잘 드러날 수 있도록 그룹화, 범주화 작업을 하였다. 보편성 추구의 시작(Why)과 관련한 부분에서는 연구자들 사이에 이견이 없었다. 보편성의 내용(What) 부분에서는 처음 그룹화, 범주화를 할 때 물리량과 물리법칙으로 나누기로 하였으나 물리법칙에 두 가지 특징이 들어있어 각각을 다른 그룹으로 분류하기로 하였다. 한편 보편성의 추구 방식(How)은 연구자들이 모여 논문과 흐름도를 함께 보면서 세부 특징을 찾았다.

또한 연구 결과에 대해 다른 동료 연구자들과 논의, 검토하는 과정을 거쳐 연구의 신뢰도를 높이고자 노력하였다(Merriam & Tisdell, 2016).

## 2. 연구 결과

### 2.1 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성

논문의 전체 맥락 이해를 위해 흐름도를 작성하였고, 논문의 전개 과정에 따라 보편성이 드러나는 과정을 중심으로 구성하였다(그림 III-2). 논문의 주요 흐름을 화살표를 사용하여 연결하였으며, 전개 과정에서 동일한 역할을 하는 내용은 나란하게 배치하였다. 그리고 보편성의 특징(Why, What, How)에 대한 코딩 결과를 점선으로 연결하여 오른쪽에 표시하였다.



[그림 III-2] 일반 상대성이론 논문의 흐름도

일반 상대성이론 논문의 전개 과정은 다음과 같다. 먼저 아인슈타인은 고전 역학에 내재되어 있는 인식론적 결함이 드러나는 사고 실험을 제시함으로써 상대성 가설을 확장해야 필요성을 제기한다. 또한 이를 뒷받침하는 물리적 사실으로써 가속하는 승강기 사고 실험을 제시한다. 이를 통해 정지해 있는 좌표계와 가속하는 좌표계가 현상의 물리적 기술에 있어 좌표계로써 동등한 자격을 갖는다고 말한다. 그리고 회전하는 좌표계에서 길이와 시간을 측정하는 사고 실험을 제시하여 고전적인 좌표 부여 방법이 유효하지 않음을 보인다.

아인슈타인은 이러한 문제를 “자연의 일반적인 법칙은 모든 좌표계에서 성립하는 방정식으로 표현되어야 한다”는 일반공변성(general covariance)을 요구함으로써 해결하고자 한다. 문제 해결을 위한 첫 단계로 인터벌(interval- $ds^2 = \sum_{\sigma\tau} g_{\sigma\tau} dx_{\sigma} dx_{\tau}$ )을 얻고, 메트릭( $g_{\sigma\tau}$ )은 시공간에 대한 함수로 중력장을 기술하는 물리량으로 간주할 수 있음을 말한다. 다음으로 일반공변성을 지니는 이론을 만드는데 있어 핵심 아이디어는 텐서라는 물리량을 사용하는 것임을 밝히고, 텐서에 대한 몇 가지 규칙을 제시한다. 그리고 텐서를 사용하여 물질이 없는 곳에서의 장 방정식을 먼저 만든다. 그 후 물질을 포함한 중력에 관한 장 방정식의 일반 형태를 만듦으로써 일반공변성을 지닌 방정식을 완성한다. 이 때 장 방정식으로부터 에너지-운동량 보존 법칙이 도출될 수 있도록 장 방정식을 만든다. 그리고 장 방정식이 물질에 대한 운동방정식을 제공해 준다는 것을 보이고, 유체역학과 맥스웰의 전자기학도 텐서를 사용하여 일반 상대성이론의 체계에 적합하도록 일반화시킨다.

일반 상대성이론 논문의 이러한 전개 과정에서 드러난 보편성은 무엇

인지(What), 보편성 추구는 왜 시작되었는지(Why), 보편성 추구의 방식은 어떠한지(How)에 대한 분석 결과는 다음과 같다(표 III-1).

[표 III-1] 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징

보편성 추구의 시작(Why)	보편성의 내용(What)	보편성 추구의 방식(How)
<p><b>상대성 가설(원리)를 확장해야 할 필요성</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고전 역학에 내재되어 있는 한 가지 근본적인 인식론적 결함 때문</li> <li>- 중력장을 도입하면 관성 좌표계와 가속좌표계가 현상의 물리적 기술에 있어 좌표계로써 동등한 자격을 갖기 때문</li> </ul>	<p><b>1. 좌표계와 무관한 물리법칙</b></p> <p>1-1. 일반공변성을 요구 : 일반적인 자연 법칙은 모든 좌표계에서 성립하는 방정식으로 표현됨.</p> <p>1-2. 장방정식</p> $\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_\alpha} \Gamma_{\mu\nu}^\alpha + \Gamma_{\mu\beta}^\alpha \Gamma_{\nu\alpha}^\beta = -\kappa(T_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}T) \\ \sqrt{-g} = 1 \end{cases}$ <p>1-3. 에너지-운동량 보존 법칙</p> $\frac{\partial(t_\mu^\sigma + T_\mu^\sigma)}{\partial x_\sigma} = 0$	<p><b>1. 기존 물리 지식의 결함을 구체적으로 지적</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고전 역학의 인식론적 결함을 지적함.</li> </ul>
	<p><b>2. 좌표계에 무관한 불변량</b></p>	<p><b>2. 기존 물리 지식 중에서 보편적으로 존중받아야 할 것을 선택</b></p> <p>2-1. 특수 상대성이론의 인터벌 불변을 가져옴.</p> <p>2-2. 물리법칙이 2계 미분까지 되는 것을 받아들여 장 방정식도 2계 미분의 형태로 만들고자 함.</p> <p>2-3. 에너지-운동량이 보존되는 것을 전제로 함.</p>
	<p><b>3. 적용 대상과 무관한 물리법칙</b></p>	<p><b>3. 새로운 주장에 관해서는 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 주장이 되도록 함.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 일반공변성을 요구함.</li> </ul>



### (1) 보편성 추구의 시작(Why)

아인슈타인은 고전 역학의 인식론적 결함이 드러나는 사고실험을 먼저 소개한다. 모든 것이 동일한 두 유체 덩어리( $S_1, S_2$ )가 서로 멀리 떨어진 공간에서 자유롭게 떠있고, 각각의 유체 덩어리가 다른 유체 덩어리에 회전하는 운동만이 존재하는 상황을 제시한다. 이 때  $S_1$ 의 표면이 구형이라면  $S_2$ 의 표면은 왜 회전타원면이 되는지를 묻는다. 그리고 이 질문에 답할 때 경험적으로 관찰 가능한 사실로 말해야 인식론적으로 만족스러운 것이라고 말한다. 그런데 고전 역학은 관찰 가능하지 않은 특별한 공간을 상정하여 이 질문에 답하게 되므로 인식론적으로 만족스럽지 못하다는 것을 지적한다.

Newtonian mechanics does not give a satisfactory answer to this question. It pronounces as follows:—The laws of mechanics apply to the space  $R_1$ , in respect to which the body  $S_1$  is at rest, but not to the space  $R_2$ , in respect to which the body  $S_2$  is at rest. But the privileged space  $R_1$  of Galileo, thus introduced, is a merely factitious cause, and not a thing that can be observed. It is therefore clear that Newton's mechanics does not really satisfy the requirement of causality in the case under consideration, but only apparently does so, since it makes the factitious cause  $R_1$  responsible for the observable difference in the bodies  $S_1$  and  $S_2$ . (Einstein, 1916, p.149)

즉, 아인슈타인은 선택적으로 특별한 공간으로 간주할만한 것은 존재하

지 않으며 물리 법칙은 어떠한 운동을 하는 좌표계에도 적용되어야만 한다고 말한다. 그리고 이를 토대로 자연스럽게 상대성 가설을 확장해야만 하는 필요성을 제기한다.

Of all imaginable spaces  $R_1$ ,  $R_2$ , etc., in any kind of motion relatively to one another, there is none which we may look upon as privileged a *priori* without reviving the above-mentioned epistemological objection. *The laws of physics must be of such a nature that they apply to systems of reference in any kind of motion.* Along this road we arrive at an extension of the postulate of relativity. (Einstein, 1916, p.149)

또한 상대성 가설 확장의 필요성을 지지해주는 물리적 사실인 가속하는 승강기 사고 실험을 덧붙인다. 갈릴레이 관성좌표계  $K$ 와 이에 대해 균일한 가속 운동을 하는 좌표계  $K'$ 에서 물체의 운동을 관찰하는 상황을 제시한다. 이 때 가속좌표계  $K'$ 에 중력장을 도입하면, 가속좌표계  $K'$ 에서 본 물체의 역학적인 운동 모습은 관성좌표계  $K$ 에서 경험하는 것과 동등하다는 점을 설명한다. 따라서 두 좌표계 모두 현상의 물리적 기술에 있어 좌표계로써 동등한 자격이 있음을 말한다.

In addition to this weighty argument from the theory of knowledge, there is a well-known physical fact which favours an extension of the theory of relativity. (Einstein, 1916, pp.149-150)

This view is made possible for us by the teaching of experience as to the existence of a field of force, namely, the gravitational field, which possesses the remarkable property of imparting the same acceleration to all bodies. The mechanical behaviour of bodies relatively to  $K'$  is the same as presents itself to experience in the case of systems which we are wont to regard as “stationary” or as “privileged”. Therefore, from the physical standpoint, the assumption readily suggests itself that the systems  $K$  and  $K'$  may both with equal right be looked upon as “stationary”, that is to say, they have an equal title as systems of reference for the physical description of phenomena. (Einstein, 1916, p.150)

이렇게 아인슈타인은 고전 역학이 지닌 인식론적 결함으로 발생하는 문제로 인해 상대성 가설을 확장해야 하는 필요성을 제기하고, 여기에서 보편성 추구가 시작된다.

## (2) 보편성의 내용(What)

아인슈타인의 문제 해결 과정에서 드러난 보편성의 내용은 3가지로 범주화할 수 있었다. 첫째, 좌표계와 무관한 물리법칙의 추구(What 1)이다. “자연의 일반적인 법칙은 모든 좌표계에서 성립하는 방정식으로 표현되어야 한다”는 일반공변성을 요구하는데서 이러한 특징이 드러난다.

So there is nothing for it but to regard all imaginable systems of co-ordinates, on principle, as equally suitable for the description of nature. This comes to requiring that:-

*The general laws of nature are to be expressed by equations which hold good for all systems of co-ordinates, that is, are co-variant with respect to any substitutions whatever (generally co-variant).* (Einstein, 1916, p.153)

그리고 그 결과로 나온 장 방정식 또한 모든 좌표계에서 성립하는 방정식이 된다. 또한 에너지-운동량 보존 법칙을 텐서를 사용하여 나타내는 부분에서도 좌표계와 무관한 물리법칙의 추구가 드러난다.

둘째, 좌표계에 무관한 불변량의 추구(What 2)이다. 회전하는 좌표계로부터 기존의 좌표 부여 방식이 유효하지 않음을 확인하고 특수 상대성이론에서 4차원 시공간 상의 거리 개념에 해당하는 인터벌 ( $ds^2 = -dX_1^2 - dX_2^2 - dX_3^2 + dX_4^2$ )을 도입한다. 그리고 “국소” 좌표계 뿐 아니라 임의의 좌표계까지 고려하여 좌표계에 무관한 인터벌 ( $ds^2 = \sum_{\sigma\tau} g_{\sigma\tau} dx_{\sigma} dx_{\tau}$ )을 얻는데서 이러한 특징이 드러난다.

To the “linear element” in question, or to the two infinitely proximate point-events, there will also correspond definite differentials  $dx_1 \dots dx_4$  of the four-dimensional co-ordinates of any chosen system of reference. If this system, as well as the “local” system, is given for the region under consideration, the  $dX_{\nu}$  will allow themselves to be represented

here by definite linear homogeneous expressions of the  $dx_\sigma$ :-

$$dX_\nu = \sum_{\sigma} a_{\nu\sigma} dx_\sigma \dots (2)$$

Inserting these expressions in (1), we obtain

$$ds^2 = \sum_{\sigma\tau} g_{\sigma\tau} dx_\sigma dx_\tau \dots (3)$$

where the  $g_{\sigma\tau}$  will be functions of the  $x_0$ . There can no longer be dependent on the orientation and the state of motion of the “local” system of co-ordinates, for  $ds^2$  is a quantity ascertainable by rod-clock measurement of point-events infinitely proximate in space-time, and defined independently of any particular choice of co-ordinates. (Einstein, 1916, p.155)

그리고 물질에 대한 에너지( $T_\mu^\sigma$ )도 텐서로 나타내어 에너지-운동량이 좌표계에 무관한 불변량이 되도록 한다.

마지막으로 적용 대상과 무관한 물리법칙(What 3)의 추구이다. 이는 아인슈타인이 중력장의 에너지 성분( $t_\mu^\sigma$ )이 다른 종류의 에너지와 같은 방식으로 행동할 것이라고 요구하는데서 드러난다. 그리고 이 요구 조건에 의해 물질에 대한 에너지 텐서의 형태( $T_\mu^\sigma$ )가 결정된다.

It must be admitted that this introduction of the energy-tensor of matter is not justified by the relativity postulate alone. For this reason we have here deduced it from the requirement that the energy of the gravitational field shall act gravitatively in the same way as any other

kind of energy. (Einstein, 1916, p.185)

또한 유체역학과 맥스웰의 전자기학이 일반 상대성이론의 체계에 맞도록 일반화가 가능하다는 것을 보이는 부분에서도 적용 대상과 무관한 물리 법칙의 추구가 드러난다.

The mathematical aids developed in part B enable us forthwith to generalize the physical laws of matter (hydrodynamics, Maxwell's electrodynamics), as they are formulated in the special theory of relativity, so that they will fit in with the general theory of relativity. (Einstein, 1916, p.187)

### (3) 보편성 추구의 방식(How)

아인슈타인이 일반 상대성이론을 만들어가는 과정에서 보편성을 어떻게 추구해 가는지 그 방식이 드러났으며, 3가지로 범주화할 수 있었다. 먼저 아인슈타인은 기존 물리지식의 결함, 즉 고전 역학에 내재된 인식론적 결함을 지적(How 1)한다. 그러나 결함만을 지적하는 것이 아니라 기존 물리지식에서 보편적으로 존중받아야 할 것은 선택하여 취한다(How 2). 특수 상대성이론의 성공적 결과인 인터벌을 도입하고, 기존의 물리법칙이 2계 미분까지로 표현되는 것을 받아들여 장 방정식을 2계 미분의 형태로 만든다. 또 장 방정식을 만들 때 에너지-운동량이 보존되도록 하는데서 이러한 특징(How 2)이 드러난다.

But the strongest reason for the choice of these equations lies

in their consequence, that the equations of conservation of momentum and energy, corresponding exactly to equations (49) and (49a), hold good for the components of the total energy. (Einstein, 1916, p.185)

마지막으로 아인슈타인은 일반공변성의 요구를 독자들이 자연스럽게 것으로 받아들일 수 있도록 하고자 한다.

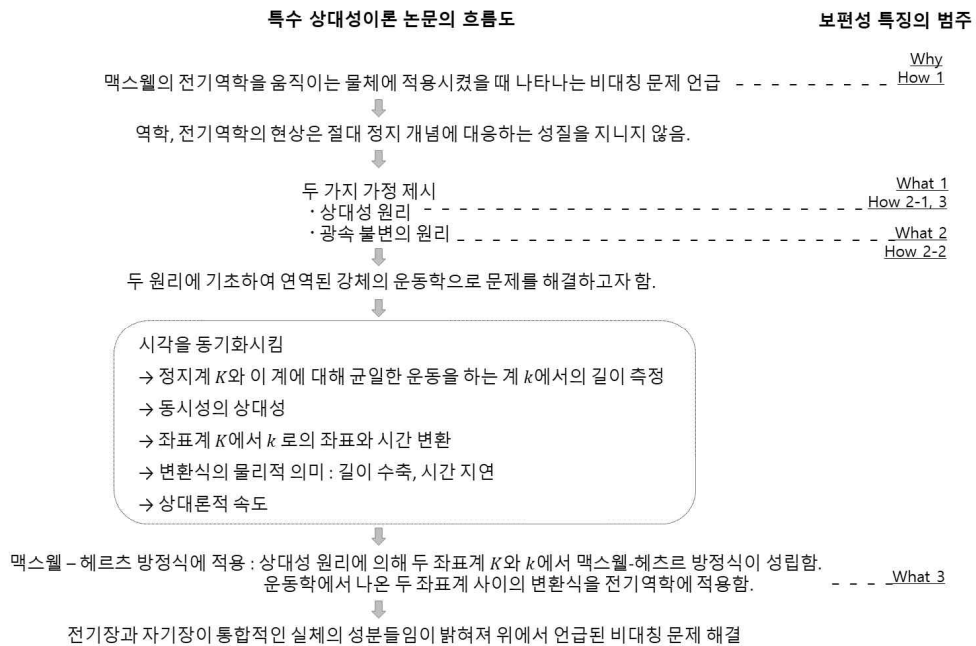
but my main object is to develop this theory in such a way that the reader will feel that the path we have entered upon is psychologically the natural one, and that the underlying assumptions will seem to have the highest possible degree of security. (Einstein, 1916, p.154)

이렇게 아인슈타인은 새로운 주장을 함에 있어서 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적 주장이 되도록 하고 있다(How 3).

위와 같이 아인슈타인이 일반 상대성이론을 만들어가는 과정 곳곳에서 보편성의 특징이 드러났다. 고전 역학의 인식론적 결함을 지적하면서 보편성 추구의 시작이 분명하게 나타나며, 이를 풀어나가는 과정에서 보편성의 구체적 내용을 알 수 있었다. 또한 보편성을 추구하는 방법적인 면에서도 보편성이 중요한 기준이 되는 것을 볼 수 있었다. 일반 상대성이론 논문에 대한 이상의 분석을 바탕으로 특수 상대성이론 및 광전 효과 논문을 분석한 결과를 살펴보면 다음과 같다(Ⅲ-3, 4절).

## 2.2 특수 상대성이론 논문에서 드러난 보편성

특수 상대성이론 논문의 흐름도(그림 III-3)도 일반 상대성이론 논문과 같은 방식으로 보편성이 드러나는 과정을 논문의 전개 과정에 따라 화살표로 연결하였다. 논문에서 중요 역할을 하는 두 관성좌표계 사이의 변환식에 관한 일련의 과정은 하나의 흐름으로 보아 흐름도의 상자 안에 배열하였다. 보편성의 특징(Why, What, How)에 대한 코딩 결과도 일반 상대성이론 논문과 같이 점선으로 연결하여 오른쪽에 배열하였다.



[그림 III-3] 특수 상대성이론 논문의 흐름도

특수 상대성이론 논문의 전개 과정은 다음과 같다. 아인슈타인은 당시에 잘 알려져 있던 맥스웰의 전기 역학을 움직이는 물체에 적용시켰을 때 발생하는 비대칭 문제를 언급하며 논문을 시작한다.



It is well known that Maxwell's electrodynamics—as usually understood at present—when applied to moving bodies, leads to asymmetries that do not seem to attach to the phenomena.  
(Einstein, 1905, p. 140)

이 문제로부터 역학과 전기역학에서 절대 정지 개념에 대응하는 현상이 존재하지 않음을 지적한다. 그리고 두 가정, 상대성 원리와 광속 불변의 원리를 제시한다. 이를 기반으로 좌표계와 시계, 그리고 전자기적 과정 간의 관계를 고려하여 문제를 해결하고자 한다.

먼저 서로 다른 위치에 놓여 있는 시계의 시각을 동기화 시키는 방법에 대해 논하고 이로부터 명확하게 동시성의 정의를 얻어낸다. 그리고 앞서 가정한 두 원리에 근거하여  $x$ 축을 따라  $x$ 가 증가하는 방향으로 균일한 운동을 하는 막대의 길이를 막대와 함께 움직이는 계와 정지한 계에서 측정하는 상황을 제시하고, 이를 통해 동시성의 상대성을 말한다. 그리고 정지한 계  $K$ 에서 사건의 장소와 시간을 나타내는 좌표  $x, y, z, t$ 와 여기에 대응하는  $K$ 에 대해 균일하게 움직이는 계  $k$ 의 좌표  $\xi, \eta, \zeta, \tau$  사이의 관계식을 찾는다. 이 관계를 통해 움직이는 강체와 움직이는 시계에 관해 얻은 방정식이 갖는 물리적 의미 즉, 길이 수축, 시간 지연을 설명하고 상대론적 속도를 구한다.

이렇게 두 원리에서 이끌어낸 운동학의 필수 법칙들을 전기역학에 적용하여 움직이는 계  $k$ 에서의 전기력 벡터(전기장), 자기력 벡터(자기장)와 정지계  $K$ 의 전기력 벡터, 자기력 벡터 사이의 관계를 구한다. 그 결과 전기장과 자기장은 별개가 아닌 통합적인 실체의 성분의 것임이 드러나고 이로써 처음에 언급된 통상적 해석에서의 비대칭 문제가 해결된다.

구체적으로 특수 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 내용(What), 보편성 추구의 시작(Why)과 보편성의 추구 방식(How)에 대한 분석 결과는 다음과 같다(표 III-2).

[표 III-2] 특수 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징

보편성 추구의 시작(Why)	보편성의 내용(What)	보편성 추구의 방식(How)
<p>맥스웰의 전기역학을 움직이는 물체에 적용시켰을 때 나타나는 비대칭 문제</p> <p>도체와 자석 사이의 전기역학적 상호작용에서</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관찰할 수 있는 현상</li> <li>: 두 물체의 상대적인 운동에만 의존함.</li> <li>- 통상적인 해석</li> <li>: 두 물체 중 어느 것이 운동하는지에 따라 명확한 차이가 발생함.</li> </ul>	<p>1. 좌표계와 무관한 물리법칙</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상대성 원리</li> <li>: 역학 법칙이 성립하는 모든 기준계에서 전기역학 법칙과 광학 법칙도 성립함.</li> </ul> <p>2. 좌표계에 무관한 불변량</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 광속 불변의 원리</li> <li>: 빛은 진공에서 방출하는 물체의 운동 상태와 무관하게 일정한 속도 <math>c</math>로 전파됨.</li> </ul> <p>3. 적용 대상과 무관한 물리법칙</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 운동학에서 나온 변환식은 전기역학에도 적용됨.</li> </ul>	<p>1. 기존 물리지식의 결합을 구체적으로 지적</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 움직이는 물체에 맥스웰의 전기역학을 적용시킬 때 나타나는 비대칭을 지적함.</li> </ul> <p>2. 기존 물리지식 중에서 보편적으로 존중받아야 할 것을 선택</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2-1. 상대성 원리</li> <li>2-2. 맥스웰 방정식 → 광속 <math>c</math> 불변</li> </ul> <p>3. 새로운 주장에 관해서는 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 주장이 되도록 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 상대성 원리가 전기역학 법칙과 광학 법칙에도 동일하게 적용됨.</li> </ul>

### (1) 보편성 추구의 시작(Why)

아인슈타인은 도체와 자석 사이의 전기역학적 상호작용을 예로 들어 맥스웰의 전기역학을 움직이는 물체에 적용시켰을 때 나타나는 비대칭을 설명한다. 먼저 도체와 자석의 상대적인 운동에 의해 관찰되는 현상은 두 물체 중 어느 것이 운동하는지에 관계없이 도체에 전류가 발생하는 것으로 동일함을 언급한다. 그러나 이에 대한 통상적인 해석은 어느 물체가 운동하고, 어느 물체가 정지해 있느냐에 따라 전류 발생에 대한 설명에 있어 명확한 차이가 있음을 지적한다.

Let us recall, for example, the electrodynamic interaction between a magnet and a conductor. The observable phenomenon depends here only on the relative motion of conductor and magnet, while according to the customary conception the two cases, in which, respectively, either the one or the other of the two bodies is the one in motion, are to be strictly differentiated from each other. For if the magnet is in motion and the conductor is at rest, there arises in the surroundings of the magnet an electric field endowed with a certain energy value that produces a current in the places where parts of the conductor are located. But if the magnet is at rest and the conductor is in motion, no electric field arises in the surroundings of the magnet, while in the conductor an electromotive force will arise, to which in itself there does not correspond any energy, but which, provided that the relative motion in the two cases considered is the

same, gives rise to electrical currents that have the same magnitude and the same course as those produced by the electric forces in the first-mentioned case. (Einstein, 1905, p.140)

이를 통해 절대 정지 개념에 부합하는 현상은 역학과 전기역학에 존재하지 않는다는 결론을 내고, 이로부터 추측할 수 있는 가정(상대성 원리)을 내세워 논문을 전개한다. 이렇게 관찰되는 하나의 현상에 대한 두 가지 해석의 비대칭에서 오는 불편함으로 인해 보편성의 추구가 시작된다.

## (2) 보편성의 내용(What)

아인슈타인은 문제를 해결하기 위해 두 가지 가정을 제안한다. 하나는 상대성 원리로 역학 법칙이 성립하는 모든 기준계에서 전기역학 법칙과 광학 법칙이 성립한다고 가정한다. 이 부분에서 좌표계와 무관한 물리법칙의 추구(What 1)가 드러난다.

Examples of a similar kind, and the failure of attempts to detect a motion of the earth relative to the “light medium”, lead to the conjecture that not only in mechanics, but in electrodynamics as well, the phenomena do not have any properties corresponding to the concept of absolute rest, but that in all coordinate systems in which the mechanical equations are valid, also the same electrodynamic and optical laws are valid, as has already been shown for quantities of the first order. (Einstein, 1905, p.140)

또 다른 가정인 광속 불변의 원리는 방출되는 물체의 운동 상태와 관계 없이 빛이 일정한 속도로 전파되는 것을 의미하는 것으로 좌표계에 무관한 불변량을 추구(What 2)함을 확인할 수 있다. 그리고 운동학에서 나온 두 관성좌표계 사이의 변환식을 전기역학에도 적용하여 앞에서 언급된 문제를 해결하고자 한다. 여기에서 적용 대상과 무관한 물리 법칙의 추구(What 3)가 드러난다.

We have now derived the required propositions of the kinematics that corresponds to our two principles, and will now proceed to show their application in electrodynamics. (Einstein, 1905, p.156)

If we apply the transformations derived in §3 to these equations in that we refer the electromagnetic processes to the coordinate system introduced there, which moves with velocity  $v$ , we obtain the following equations: (Einstein, 1905, p.156)

### (3) 보편성 추구의 방식(How)

특수 상대성이론 논문은 기존 물리지식의 결함인 맥스웰의 전기 역학을 움직이는 물체에 적용시켰을 때 발생하는 비대칭 문제를 지적(How 1)하면서 논문을 시작한다. 그러나 맥스웰 방정식으로부터 나오는 광속 불변을 채택하는데서 기존 물리지식에서 보편적으로 존중받아야 할 것은 선택

하여 취하는 모습을 볼 수 있다(How 2). 또한 기존의 상대성 원리도 존중하여 받아들이는데, 여기서 그치지 않고 이를 더 일반화시킨다. 그리고 일반화를 할 때 역학 법칙이 성립하는 기준계에서는 전기역학 법칙과 광학 법칙도 성립한다는 추측이 나올 수 있다고 말한다.

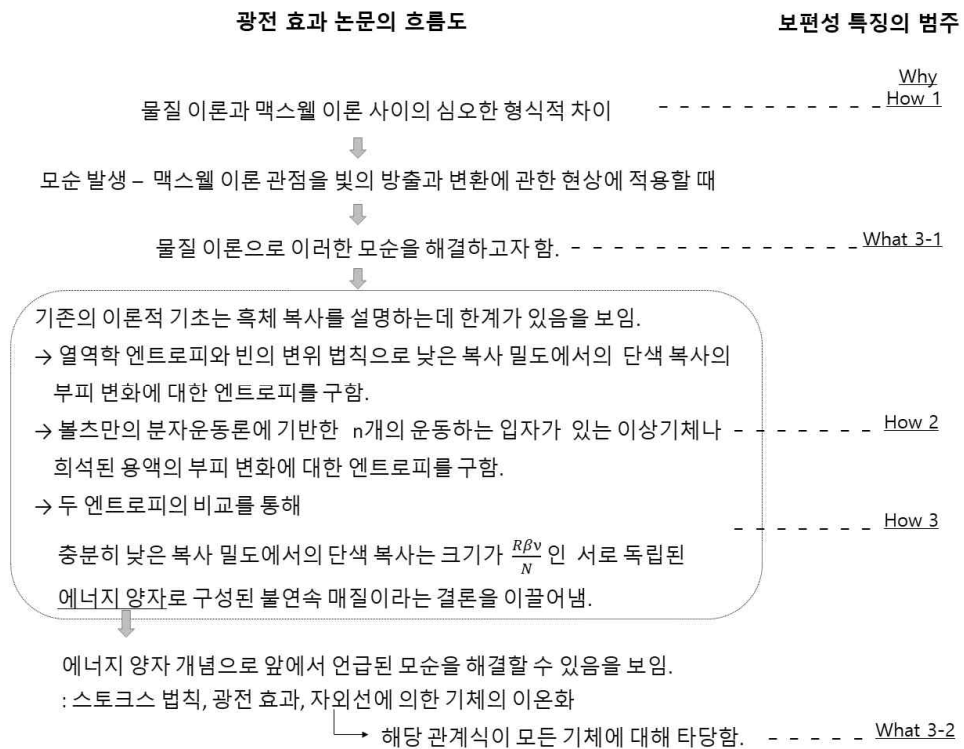
but that in all coordinate systems in which the mechanical equations are valid, also the same electrodynamic and optical laws are valid, as has already been shown for quantities of the first order. (Einstein, 1905, p.140)

그럼으로써 새로운 주장이 누구나 자연스럽게 받아들일 수 있는 보편적인 주장이 되도록 한다(How 3).

특수 상대성이론에서도 일반 상대성이론에서 드러난 보편성의 구체적인 특징들이 모두 드러났다. 다만, 보편성의 추구가 일반 상대성이론처럼 논문 전반에 걸쳐 드러나지는 않고, 문제를 제기하는 부분, 문제 해결 과정의 처음과 마지막 부분에서 두드러지게 나타났다.

## 2.3 광전 효과 논문에서 드러난 보편성

광전 효과 논문의 흐름도는 그림 III-4와 같으며, 앞의 두 논문과 동일한 방식으로 흐름도를 작성하였다. 특수 상대성이론 논문과 마찬가지로 광전 효과 논문에서도 논문의 핵심인 에너지 양자를 도출하기까지의 일련의 과정은 흐름도에서 상자 안에 배치하였다.



[그림 III-4] 광전 효과 논문의 흐름도

광전 효과 논문의 전반적인 흐름은 다음과 같다. 아인슈타인은 물질 이론<sup>1)</sup>과 맥스웰 이론<sup>2)</sup> 사이에 심오한 형식적 차이가 있음을 지적하면서 논

1) 물질세계를 입자(particle)의 상호 작용으로 보는 관점



문을 시작한다.

A profound formal distinction exists between the theoretical concepts which physicists have formed regarding gases and other ponderable bodies and the Maxwellian theory of electromagnetic processes in so-called empty space.

(Einstein, 1905, p.367)

그리고 광학적 현상을 잘 설명하는 맥스웰 이론의 관점을 빛의 방출과 변환에 관한 현상에 적용을 하면 모순이 발생한다는 것을 언급하며 이를 해결하고자 한다.

빛의 방출과 변환에 관한 현상 중 먼저 흑체 복사에 대해 살펴보면, 이를 고전 통계역학과 맥스웰의 전자기학을 기반으로 하여 설명할 경우 자외선 파탄에 이르게 됨을 보인다. 그리고 플랑크의 흑체 복사 이론도 긴 파장과 높은 복사 밀도의 극한의 경우 앞에서 보인 고전 통계역학과 맥스웰의 전자기학을 기반으로 한 것과 같게 됨을 설명한다. 따라서 기존의 이론적 기초는 긴 파장과 높은 복사 밀도에서는 유용하나, 짧은 파장과 낮은 복사 밀도에서는 유용하지 않음을 보인다. 다음으로 열역학의 엔트로피와 빈의 변위 법칙을 이용하여 낮은 복사 밀도에서의 단색 복사의 부피 변화에 대한 엔트로피를 얻는다. 이를 통해 낮은 복사 밀도에서의 단색 복사의 엔트로피가 이상기체나 희석된 용액의 엔트로피와 마찬가지로 같은 법칙에 의해 부피에 따라 변한다는 것을 확인한다. 따라서 볼츠만 원리에 기반하여  $n$ 개의 운동하는 입자가 있는 이상기체나 희석된 용액의 부피변화에 대한 엔트로피를 구하고 단색 복사의 부피 변화에 대한

---

2) 물질세계를 연속체인 장(field)의 동력학으로 보는 관점

엔트로피와 비교한다. 이를 통해 충분히 낮은 밀도에서의 단색 복사는 크기가  $R\beta\nu/N$ 인 서로 독립된 에너지 양자로 구성된 일종의 불연속매질이라는 결론을 이끌어낸다. 그리고 이 결과를 이용하면 다른 빛의 방출과 변환에 관한 현상들-스토크스 법칙, 광전효과, 자외선에 의한 기체의 이온화-을 잘 설명할 수 있음을 보여준다.

광전 효과 논문에서 드러난 보편성의 구체적인 특징(Why, What, How)은 다음과 같다(표 III-3).

[표 III-3] 광전 효과 논문에서 드러난 보편성의 특징

보편성 추구의 시작(Why)	보편성의 내용(What)	보편성 추구의 방식(How)
<p><b>물질 이론과 맥스웰 이론 사이의 심오한 형식적 차이</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물질 이론                             <ul style="list-style-type: none"> <li>: 무게를 지닌 물체의 에너지는 유한한 수많은 원자와 전자를 포괄하는 합으로 나타냄.</li> </ul> </li> <li>- 맥스웰 이론                             <ul style="list-style-type: none"> <li>: 빛을 포함하여 모든 순수한 전자기적 현상의 에너지를 연속적인 공간함수로 간주함.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>맥스웰 이론 관점을 빛의 방출과 변환에 관련된 현상에 적용할 때 경험과 모순됨.</b></p>	<p><b>3. 적용 대상과 무관한 물리법칙</b></p> <p>3-1. 물질 이론으로 빛의 방출과 변환 현상을 설명하고자 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>: 충분히 낮은 밀도에서의 단색 복사의 부피 변화에 대한 엔트로피</li> </ul> $S - S_0 = \frac{E}{\beta\nu} \ln\left(\frac{v}{v_0}\right)$ <ul style="list-style-type: none"> <li>: 볼츠만의 분자운동론에 기반한 <math>n</math>개의 운동하는 입자가 있는 이상기체나 희석된 용액의 부피 변화에 대한 엔트로피</li> </ul> $S - S_0 = R\left(\frac{n}{N}\right) \ln\left(\frac{v}{v_0}\right)$ <p>⇒ 두 식을 같은 것으로 봄.</p> <p>3-2. 기체(이온화 없이 상당한 흡수를 보이지 않는 모든 기체)의 종류에 관계없이 아래 관계가 성립함.</p> $j = \frac{L}{R\beta\nu}$ <p>(자외선에 의해 기체가 이온화될 때 실험테스트의 또 다른 결과)</p>	<p><b>1. 기존 물리 지식의 결합을 구체적으로 지적</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 물질 이론과 맥스웰 이론 사이의 심오한 형식적 차이를 지적함.</li> </ul> <p><b>2. 기존 물리 지식 중에서 보편적으로 존중받아야 할 것을 선택</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 볼츠만의 분자운동론</li> </ul> <p><b>3. 새로운 주장에 관해서는 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 주장이 되도록 함.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 볼츠만의 분자운동론이 복사에도 동일하게 적용됨.</li> </ul>

### (1) 보편성 추구의 시작(Why)

아인슈타인은 물질 이론과 맥스웰 이론 사이의 심오한 형식적 차이에 대해 먼저 언급한다. 물질 이론은 무게를 지닌 물체의 에너지를 유한한 수많은 원자와 전자를 포괄하는 합으로 나타내는 반면에, 맥스웰 이론은 빛을 포함한 모든 순수한 전자기적 현상의 에너지를 연속적인 공간함수로 분포하는 것으로 나타내고 있음을 말한다.

While we consider the state of a body to be completely determined by the positions and velocities of a very large, yet finite, number of atoms and electrons, we make use of continuous spatial functions to describe the electromagnetic state of a given volume, and a finite number of parameters cannot be regarded as sufficient for the complete determination of such a state. According to the Maxwellian theory, energy is to be considered a continuous spatial function in the case of all purely electromagnetic phenomena including light, while the energy of a ponderable object should, according to the present conceptions of physicists, be represented as a sum carried over the atoms and electrons. The energy of a ponderable body cannot be subdivided into arbitrarily many or arbitrarily small parts, while the energy of a beam of light from a point source (according to the Maxwellian theory of light or, more generally, according to any wave theory) is continuously spread an ever increasing volume. (Einstein, 1905, pp.367-368)

또 연속적인 공간함수로 작동되는 빛의 파동이론이 순수한 광학 현상-회절, 반사, 굴절, 분산-을 설명함에 있어서는 탁월성이 입증되었음에도 불구하고 빛의 방출과 변환에 관한 현상에 적용될 때 경험과 모순이 되는 것을 지적한다.

In spite of the complete experimental confirmation of the theory as applied to diffraction, reflection, refraction, dispersion, etc., it is still conceivable that the theory of light which operates with continuous spatial functions may lead to contradictions with experience when it is applied to the phenomena of emission and transformation of light. (Einstein, 1905, p.368)

아인슈타인은 이러한 모순을 해결하고자 하며, 여기에서 보편성의 추구가 시작된다.

## (2) 보편성의 내용(What)

아인슈타인은 흑체복사, 형광, 자외선에 의한 음극선 생성, 그리고 빛의 방출과 변환에 관련되는 다른 현상들과 연관된 관찰들을 빛에너지가 공간에 불연속적으로 분산되어 있다고 가정하면 더 쉽게 이해할 수 있다고 먼저 밝힌다.

It seems to me that the observations associated with blackbody radiation, fluorescence, the production of cathode

rays by ultraviolet light, and other related phenomena connected with the emission or transformation of light are more readily understood if one assumes that the energy of light is discontinuously distributed in space. (Einstein, 1905, p.368)

여기에서 아인슈타인이 물질 이론으로 빛의 방출과 변환에 관한 현상을 설명하고자 함을 볼 수 있다. 그리고 낮은 복사 밀도에서 단색 복사의 부피 변화에 대한 엔트로피와 볼츠만의 분자운동론에 기반한 이상기체나 희석된 용액의 부피 변화에 대한 엔트로피를 비교하여 빛이 에너지 양자로 구성된 불연속매질이라는 결론을 내린다.

In Sec. 4, we found the following expression for the dependence of the entropy of monochromatic radiation on the volume  $S - S_0 = (E/\beta\nu) \ln(v/v_0)$ .

If one writes this in the form

$$S - S_0 = (R/N) \ln[(v/v_0)^{(N/R)} \cdot (E/\beta\nu)],$$

and if one compares this with the general formula for the Boltzmann principle  $S - S_0 = (R/N) \ln W$ , one arrives at the following conclusion:

...

Monochromatic radiation of low density (within the range of validity of Wien's radiation formula) behaves thermodynamically as though it consisted of a number of independent energy quanta of magnitude  $R\beta\nu/N$ . (Einstein,

1905, p.372)

이 부분에서도 흑체 복사 문제를 물질 이론(볼츠만의 분자운동론)으로 해결하는 모습이 보인다. 이렇게 아인슈타인이 물질 이론을 흑체 복사에 적용할 수 있었던 것은 물질 이론을 적용 대상에 구애받지 않는 것으로 간주하였기 때문이다(What 3). 그리고 에너지 양자를 자외선에 의한 기체의 이온화에 적용하였을 때 나온 관계식이 기체(이온화 없이 상당한 흡수를 보이지 않는 모든 기체)의 종류에 관계없이 성립한다고 말하는 부분에서도 적용대상과 무관한 물리법칙의 추구(What 3)가 드러난다.

### (3) 보편성 추구의 방식(How)

광전 효과 논문도 앞의 두 논문과 같이 기존 물리지식의 결함-물질 이론과 맥스웰 이론 사이의 심오한 형식적 차이-을 구체적으로 지적한다(How 1). 그러나 그 문제를 볼츠만의 분자운동론으로 해결할 수 있다고 말한다.

In the following, this equation will be interpreted in accordance with the principle introduced into physics by Herr Boltzmann, namely that the entropy of a system is a function of the probability its state. (Einstein, 1905, p.371)

이렇게 문제 해결을 위해 볼츠만의 분자운동론을 선택하는 부분에서 아인슈타인이 기존 물리지식 중에서 보편적으로 존중받아야 할 것은 선택하여 받아들이고 있음을 알 수 있다(How 2). 또한 이러한 모습은 볼츠만의 분자운동론이 이상기체나 희석된 용액에 적용된 것과 같이 당연히 흑체 복

사 현상에도 적용될 수 있다는 것을 보여준다. 이는 아인슈타인이 새로운 주장을 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 주장이 되도록 하고 있음을 보여주는 것이라고 할 수 있다.(How 3).

광전 효과 논문에서도 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 구체적인 특징이 나타났다. 특히 여기에서는 적용 대상과 무관한 물리 법칙을 추구(What 3)하여 광전 효과 논문의 핵심인 에너지 양자를 유도하게 되었다.



### 3. 요약

본 연구는 물리학 이론의 보편성의 구체적인 특징을 아인슈타인의 논문에서 찾는 것이었다. 아인슈타인의 논문 세 편에서 드러난 보편성의 특징은 다음과 같다. 첫째, 보편성의 추구는 기존 물리지식이 지닌 결함이나 모순에서 오는 불편함으로부터 시작된다(Why). 둘째, 논문에서 드러난 보편성의 구체적인 내용(What)은 (1) 좌표계와 무관한 물리법칙(What 1), (2) 좌표계에 무관한 불변량(What 2), (3) 적용 대상과 무관한 물리법칙(What 3)이다. 셋째, 보편성 추구의 방식(How)은 (1) 기존 물리지식의 결함 지적(How 1), (2) 기존 물리지식 중에서 보편적으로 존중받아야 하는 것을 수용(How 2), (3) 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 것을 새롭게 도입하는 것(How 3)이다. 이와 같이 이론을 형성하는 과정에서 보편성이 그 기준이 되고 있다.

각각의 논문별 특징을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 일반 상대성이론 논문은 고전 역학의 인식론적 결함으로부터 상대성 가설을 확장해야 하는 필요성을 제기한다(Why, How 1). 그리고 이를 일반공변성을 요구함으로써, 즉 좌표계와 무관한 물리법칙의 추구로 해결하고자 한다(What 1, How 3). 이를 바탕으로 문제를 해결하는 과정에서 좌표계에 무관한 물리량인 인터벌을 얻는다(What 2, How 2). 그리고 텐서를 사용하여 에너지-운동량 보존을 만족하는 2계 미분 형태의 장 방정식을 만든다(What 1, How 2). 이 때 물질에 대한 에너지도 텐서 형태로 나타낸다(What 2, 3). 이렇게 일반 상대성이론 논문의 과정 전반에서 보편성의 특징이 드러났다.

특수 상대성이론 논문은 맥스웰의 전기역학을 움직이는 물체에 적용시켰을 때 발생하는 비대칭 문제를 해결하고자 한다(Why, How 1). 이를

해결하기 위해 두 가지 가정-상대성 원리, 광속 불변의 원리-을 도입한다(What 1, 2, How 2, 3). 그리고 두 가정으로부터 이끌어낸 운동학의 두 관성좌표계 사이의 변환식을 전기역학에 적용한다(What 3). 그 결과 전기장과 자기장이 통합적인 실체의 성분들이 밝혀지면서 문제를 해결하게 된다. 특수 상대성이론 논문은 특히 문제를 제기하는 부분, 문제 해결 과정의 시작과 마지막 부분에서 보편성의 특징이 나타났다.

광전 효과 논문은 물질 이론과 맥스웰 이론 사이의 심오한 형식적 차이를 언급하며, 맥스웰 이론 관점을 빛의 방출과 변환에 관한 현상에 적용시켰을 때 발생하는 모순을 지적한다(Why, How 1). 이 문제를 물질 이론으로 해결하고자 하여 흑체 복사에 볼츠만의 분자운동론을 적용한다(What 3, How 2, 3). 그 결과 에너지 양자가 도출되며, 이를 통해 다른 빛의 방출과 변환에 관한 현상도 설명할 수 있게 된다. 광전 효과 논문의 핵심 내용인 에너지 양자를 도출하는데 있어 가장 중요한 동인은 적용 대상과 무관한 물리법칙(What 3)의 추구였다.

이렇게 일반 상대성이론 논문 뿐 아니라 특수 상대성이론 논문과 광전 효과 논문에서도 보편성을 추구하였으며, 보편성의 구체적인 특징이 드러났다.

## IV. 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 인식

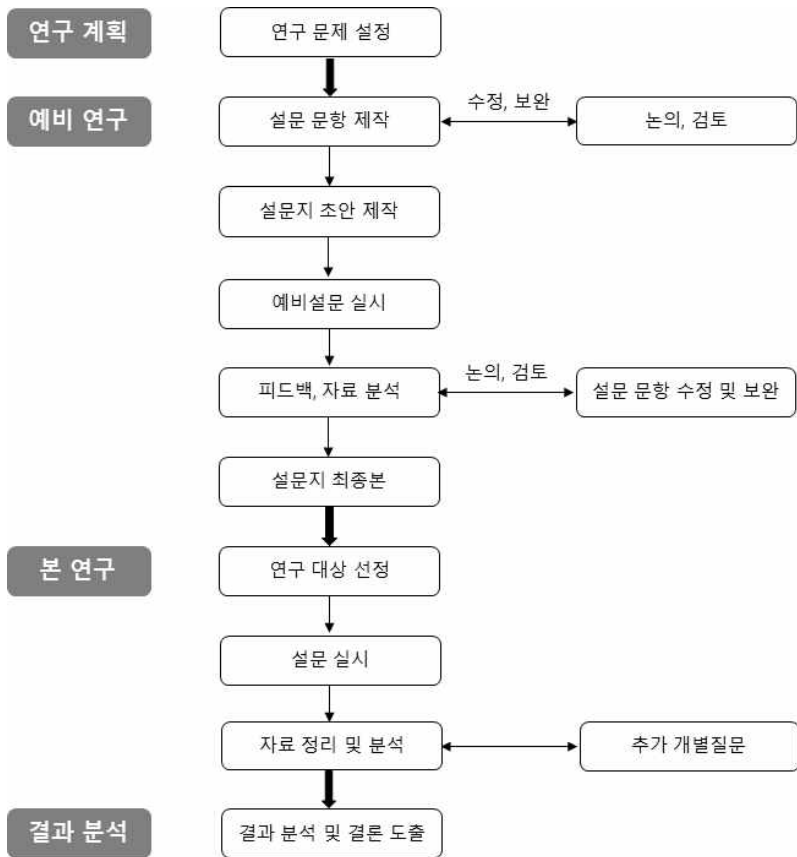
연구 2에서는 물리학의 보편성에 대한 현직 물리 교사들의 인식을 살펴보고자 하였다. 인식 조사를 위한 설문지를 제작하여 현직 고등학교 물리 교사를 대상으로 설문을 실시하였고, 응답 내용을 분석하였다.

### 1. 연구 방법

연구 2의 연구 절차와 연구 대상은 다음과 같다.

#### 1.1 연구 절차

물리 교사들이 물리학의 보편성에 대해 어떻게 인식하고 있는지를 알아보기 위한 연구 과정은 그림 IV-1과 같다.



[그림 IV-1] 물리 교사의 인식 연구 과정

### (1) 연구 계획

먼저 교사들의 인식 조사를 위한 설문지의 방향성을 수립하고 연구 문제를 설정하였다.

### (2) 예비 연구

설정된 연구 문제에 따라 기초 자료 조사 항목과 설문 문항이 담긴 설문지 초안을 만들었으며, 이는 공동 연구자들과의 여러 번에 걸친 검토

와 논의를 통해 수정, 보완되었다. 이렇게 제작된 설문지 초안으로 대학원 석·박사 과정 중에 있는 예비·현직 물리교사 여덟 명에게 예비 설문을 실시하였고, 설문 문항 수정 및 보완에 대한 의견도 함께 받았다. 예비 설문과 피드백 자료 분석 결과를 토대로 공동 연구자들과 문항을 수정, 보완하여 설문지를 완성하였다.

### (3) 본 연구

본 연구에서는 일반계 고등학교 물리 교사 다섯 명, 과학·영재고등학교 물리 교사 다섯 명을 대상으로 온라인 설문을 실시하였다. 교사들의 응답 내용을 분석하는 과정에서 교사의 인식을 알기 어려운 경우에는 추가적으로 해당 내용에 대해 개별 질문을 하여 교사의 인식을 파악하고자 하였다.

### (4) 결과 분석

응답 내용의 문항별 분석을 통해 교사들의 인식이 어떠한지 살펴보았다. 연구의 타당도를 높이기 위해 본 연구자 외에 물리교육 전문가 1인, 현직 물리 교사(박사과정) 1인이 연구 계획부터 결과 분석까지 함께 참여하였으며(Denzin, 1970), 연구 결과에 대해 다른 동료 연구자들과 논의, 검토하였다(Merriam & Tisdell, 2016).

## 1.2 연구 대상

일반계 고등학교 물리 교사 다섯 명, 과학·영재 고등학교 물리 교사 다섯 명을 연구 대상으로 하였다. 설문에 교사 경력, 학교별 경력, 교육

과정별 강의 횟수를 기입할 수 있는 기초 자료 조사 항목을 포함하였다.

[표 IV-1] 연구 대상의 구성

구분	교육경력			학교별		상대성이론 강의 경험	
	0~5년	6년~10년	11년 이상	일반고	과고· 영재고	유	무
인원 (명)	1	7	2	5	5	10	0

## 2. 연구 결과

현직 물리 교사들의 물리학의 보편성에 대한 인식을 알아보기 위해 개방형 설문을 실시하였다. 설문지(부록 1)는 총 다섯 문항으로 이루어졌으며, 각 문항별 질문에 본인의 생각을 리커트 척도(4단계)로 표시하고 그 이유를 서술하도록 구성하였다. 각 문항과 응답 내용은 다음(2.1절~2.5절)과 같으며, 연구 참여자를 일반고 교사는 H1~H5, 과학·영재고 교사는 S1~S5로 표기하였다.

### 2.1 물리학의 보편성에 대한 인식

1번 문항은 물리학의 보편성에 대한 인식을 알아보기 위한 것으로 먼저 ‘물리학은 보편지식 체계를 추구하는 학문이다’<sup>3)</sup>는 정의를 제시하고 이에 대한 동의 여부와 함께 이유를 작성하도록 하였다. 그리고 교사들이 생각하는 물리학에서의 보편적인 원리나 법칙을 적고, 그 중 하나를 골라 이유를 설명하도록 하였다. 이를 통해 교사들이 인식하고 있는 물리학의 보편성 특징은 무엇인지 알아보고자 하였다.

제시된 물리학의 정의에 대한 동의 여부와 그 이유는 표 IV-2와 같으며, 동의하는 교사가 일곱 명, 그렇지 않은 교사는 세 명이었다.

---

3) 최무영(2008)이 정의한 것으로, 정의의 출처가 교사의 응답에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단하여 설문지에서는 출처를 밝히지 않음.

[표 IV-2] 제시된 물리학 정의에 대한 동의 여부와 이유

응답 현황(명)	이유	응답자
매우 그렇다	(3) 여러 이론을 하나로 통합하였기 때문에	H1
	좌표 변환을 관찰자에 무관한 물리법칙이 되도록 하는 과정에서 상대론이 나왔기 때문에	H1
	물리학의 지식 체계가 구체적인 여러 사실들을 아우를 수 있는 보편지식을 추구하려는 과정에서만 들어짐	S2, S4
그렇다	(4) 물리학이 자연을 기술함	S5
	물리학은 자연 현상의 근본 원리를 다룸	S3
	우주 전체를 아우르는 원리와 법칙을 지향한다고 생각함	H3
	우주를 구성한 모든 것에 하나의 원리가 있고, 역학, 전자기학은 인간이 나눠놓은 기준일 뿐이라고 생각함	H5
아니다	(2) 자연과학이므로 물질적 세계에 대한 지식을 추구함	H4
	보편지식 체계의 추구는 고전역학으로 제한되며, 현대물리는 전문지식임	H2
전혀 아니다	(1) 보편적이라는 말의 사전적 의미는 물리학의 한 특성을 설명한다고 할 수 있으나, 학문의 대상이 정의에 포함되어있지 않기 때문에 정의로서 충분하지 않음	S1

물리학이 보편성, 보편지식을 추구하는 과정에서 발달했기 때문에 제시된 정의에 동의한다는 교사는 네 명이었고, 그 중 교사 H1은 본인이 제시된 정의에 동의하는 이유를 다음과 같이 구체적 사례를 들어 설명하였다.

물리학이 발달하는 과정에서 보편성을 추구한 사례가 있기 때문이다. 전기 현상과 자기 현상을 하나로 보고 전자기학으로



통합한 게 모자라 나중에는 약한 상호작용까지 통합하여 전자기 약력이라는 체계 하나로 설명하기도 했고, 고전역학과 전자기학 간 구조를 살펴보다가 좌표 변환을 누가 보는 물리법칙이 같도록 하는 과정에서 상대론까지 나온 사례가 좋은 예라고 생각한다. (교사 H1)

그리고 다른 세 명의 교사는 자연과 자연 현상의 근본 원리가 보편적이라고 생각하기 때문에 제시된 정의에 동의한다고 하였다.

제시된 정의에 동의하지 않는다고 한 이유로는 본인이 생각하는 물리학의 정의와 달라서(교사 H4), 제시된 정의에 학문의 대상이 포함되지 않아서(교사 S1)가 있었다. 그리고 교사 H2는 보편지식을 대부분의 사람들이 알 수 있는 것으로 보아 동의하지 않는다고 하였다.

다음으로 물리학에서 보편적인 원리 또는 법칙이라고 생각하는 것과 그 이유에 대한 교사들의 응답 내용은 표 IV-3과 같다.

[표 IV-3] 물리학에서 보편적인 원리 또는 법칙과 이유

보편적인 원리 또는 법칙 (복수 응답)		응답자	이유 (한 가지 선택)	응답자
보존법칙		H1, S1, S2, S3, S4	기본적인 원리로 받아들여지고 있음	S1, S2, S4
상대성 이론	상대성 원리	H1, S4, S5	상대성 원리의 정의가 보편성 의 의미를 나타냄	H1
	광속 불변의 원리	S5		
	상대성 이론	H3		
고전 역학	고전역학의 원리, 법칙	H2	$F=ma$ 의 경우 물체에 힘이 작 용하면 물체가 가속운동한다는 것은 대부분의 사람들이 위 식 을 알지 못해도 동의하는 개념	H2
	뉴턴의 운동 법칙	S3, S5	어떤 운동이든 (속도가 광속에 비해 느린 경우) 모두 적용가능	S3
	양자 역학	H3		
양자 역학	파울리 배타 원리	S5	다양한 상황의 현상들을 보편 적인 하나의 틀로 설명하는 배 타 원리는 보편적인 원리라고 생각함	S5
	불확정성 원리	H4	모든 상황에서도 성립하는 원 리이기 때문에, 이것은 미시세 계에서 피할 수 없는 원리임	H4
표준 모형		H3	표준모형은 우주 만물을 이루는 기본 입자와 상호작용을 탐구하기 때문에	H3
물질의 기본 물질		H5	모든 물질의 구성부터 모든 것이 시작했다고 생각하기 때문에	H5
대칭의 원리		S2	어떤 전제 없이 사람들이 경험 또는 직관적으로 받아들일 수 있기 때문에	S2
열역학 법칙		S4, S5		
해밀턴 원리		S5		
페르마 원리		S5		
입자·파동 개념		H1		

보편적인 원리 또는 법칙으로 보존 법칙(5명)이 가장 많이 언급되었는데, 그 이유는 보존 법칙은 기본적인 원리로 받아들여지고 있기 때문이라고 하였다.

보존법칙은 자연의 원리 중 가장 상위의 개념으로, 이는 법칙을 넘어서서 공리나 신념 수준으로 받아들여지고 있기 때문이다. 보존법칙에 위배되는 것처럼 보이는 사례가 발견되어도 보존법칙에 대한 의심 보다는 개념을 수정하거나 추가하여 새로운 법칙을 세워 보존법칙이 여전히 유효한 논리체계를 유지하며, 이러한 방식이 현재까지도 논리적으로 타당하고 이해와 적용에 효과적인 지식 체계를 구축하는데 핵심적인 역할을 하고 있다. (교사 S1)

다음으로 많이 언급된 것은 상대성 원리(3명)였는데, 교사 H1은 그렇게 생각하는 이유를 상대성 원리의 의미가 보편적의 의미와 가장 잘 맞기 때문이라고 하였다. 그리고 교사 S3, S5, H4는 각각 뉴턴의 운동 법칙, 파울리 배타 원리, 불확정성 원리를 언급하였는데, 그 이유는 여러 상황에 적용할 수 있는 원리이기 때문으로 동일하였다.

모든 사물은 부피(체적)을 갖는다. 이러한 이유에 대해서 생각해본다면 그것은 사물은 그것을 이루고 있는 입자들(페르미온)이 서로 같은 양자상태를 갖지 못하기 때문이다. 이는 파울리 배타 원리로 설명할 수 있다. 지구, 우주에 있는 모든 물체는 이러한 배타 원리를 만족한다. 또한 원자 속에서 전자의

행동 모두 배타 원리를 만족한다. 따라서 원자의 오비탈이 결정되고, 물질의 자성(반자성, 상자성, 강자성 등)이 결정된다. 이처럼 단편적인 현상을 하나로 대응하여 설명하지 않고 다양한 상황의 현상들을 보편적인 하나의 틀로 설명하는 배타 원리는 보편적인 원리라고 생각한다. (교사 S5)

그리고 물질의 구성과 관련하여 표준 모형, 물질의 기본 물질이 보편적인 원리 또는 법칙으로 언급되었으며, 이외에 상대성 이론, 광속 불변의 원리, 양자역학, 대칭의 원리, 열역학 법칙, 해밀턴 원리, 페르마 원리, 입자·파동 개념이 언급되었다.

처음 제시된 정의에 대한 동의 여부와 관계없이 물리학에서 보편성을 떠는 원리 또는 법칙이 있다고 인식하고 있었다.

## 2.2 물리학의 발전 과정에서 물리학의 보편성 추구의 중요성에 대한 인식

2번 문항은 물리학에서 보편성 추구의 역할에 대한 인식을 알아보기 위한 것으로, 보편성의 추구가 물리학의 발전 과정에서 중요한 역할을 했다고 생각하는지와 함께 그 이유를 적도록 하였다.

물리학의 발전 과정에서 보편성을 추구하는 것이 중요한 역할을 했다고 생각한 교사는 여덟 명, 그렇지 않다고 생각한 교사는 두 명이었다 (표 IV-4).

[표 IV-4] 물리학의 발전 과정에서 물리학의 보편성 추구의 중요성에 대한 인식

응답 현황(명)	이유	응답자
매우 그렇다	(6) 물리학의 목적은 근본 원리를 밝히는 것	S3
	여러 이론을 하나로 통합하고자 한 것	H1
	여러 현상을 하나의 원리 또는 법칙으로 설명하고자 한 것	S5
	에너지 보존 법칙의 보편성을 추구하는 과정에서 라그랑지안, 해밀토니안 등 고전 역학을 새롭게 이해할 수 있는 실마리를 찾을 수 있었다고 생각함	S4
	모든 사람들이 보편적으로 생각하고 그 현상을 설명하고 활용하기 위해서 나타난 논리적 체계가 물리학임	S2
	진리 탐구의 열정을 불러일으킴(신이 창조한 세계의 질서를 발견한다는 있다는 점에서)	H4
그렇다	(2) 여러 이론을 하나로 통합하고자 한 것	H3
	여러 현상을 하나의 원리 또는 법칙으로 설명하고자 한 것	H5
아니다	(2) 모든 사람이 다 알 수 있도록 보편화할 필요 없음	H2
	자연의 원리가 어떤 모습인지 알 수 없음	S1
전혀 아니다	(0)	

물리학의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 판단한 이유로 물리학은 여러 이론을 하나로 통합하고자 했기 때문(2명), 여러 현상을 하나의 원리 또는 법칙으로 설명하고자 했기 때문(2명)이 언급되었다. 그리고 보편성을 추구하는 과정에서 세계관의 변화를 가져왔으며, 고전 역학을 새롭게 이해할 수 있는 실마리를 찾을 수 있었다고 덧붙여 설명하였다.

전기와 자기를 통합할 수 있는 맥스웰 방정식을 통해 빛도 전자기파임을 알게 되었다. 즉, 전기 또는 자기에 국한된 이론이 아니라 이를 통합할 수 있는 보편성을 추구하는 과정에서 세상을 보는 새로운 관점과 이해를 하게 되었다. (교사 H3)

에너지 보존 법칙의 보편성을 추구하는 과정에서 라그랑지안, 해밀토니안 등 고전 역학을 새롭게 이해할 수 있는 실마리를 찾을 수 있었다고 생각한다. (교사 S4)

그리고 물리학은 자연의 근본 원리를 밝히는 것이 목적이기 때문에 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 생각한 교사도 있었는데, 이는 1번 문항의 응답 내용과 동일하였다. 물리학의 보편성을 사람들이 자연스럽게 받아들이는 것으로 인식한 교사 S2는 ‘물리학은 모든 사람들이 보편적으로 생각하고 그 현상을 설명하고 활용하기 위해서 나타난 논리적인 체계’이기 때문에 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 응답했다. 이외에 종교적 동기로 신이 창조한 세계의 질서를 발견할 수 있기에 보편성의 추구가 진리 탐구의 열정을 불러일으켜 중요한 역할을 한다고 본 교사도 있었다.

보편성의 추구가 물리학의 발전 과정에서 중요한 역할을 하지 않는다고 인식한 교사 중 교사 S1은 보편성을 추구함으로써 물리학이 얻게 된 이점은 인정하였지만, 자연의 원리가 어떠한 모습인지 알 수 없으므로 보편성의 추구를 학문의 목적으로 삼을 수 없다고 하였다.

보편성의 추구가 학문의 체계를 아름답게 만드는 것은 인정하지만, 그것이 학문의 목적이 되는 것은 말도 안 되는 이야기

이다. 자연의 원리가 보편적이지 않다면 그것을 탐구하는 학문 또한 그럴 것이다. (교사 S1)

그리고 대부분의 사람들이 아는 것을 보편성으로 인식한 교사 H2는 보편성의 추구를 모든 사람이 다 알 수 있도록 하는 것으로 보았기 때문에 보편성의 추구가 중요한 역할을 하지 않는다고 보았다.

1번과 2번 문항의 응답을 통해 드러난 교사들의 물리학의 보편성 특징에 대한 인식은 표 IV-5과 같다.

[표 IV-5] 1번과 2번 문항에서 드러난 물리학의 보편성 특징에 대한 교사들의 인식

물리학의 보편성 특징		응답자
적용 대상과 무관한 물리법칙	여러 현상을 하나의 원리 또는 법칙으로 설명할 수 있는 것	H4, H5, S1, S2, S3, S4, S5
	여러 이론을 하나로 통합하는 것	H1, H3, S5
좌표계와 무관한 물리법칙	관찰자에 무관하게 물리법칙의 구조가 같은 것	H1
	사람들이 자연스럽게 받아들이는 것	H2, S1, S2
	사람들이 잘 아는 것	H2

### 2.3 특수 상대성이론의 발전 과정에서 물리학의 보편성 추구의 중요성에 대한 인식

3번 문항에서는 구체적으로 특수 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의

추구가 갖는 역할의 중요성에 대한 인식을 알아보고자 하였다.

보편성의 추구가 특수 상대성이론의 발전 과정에서 중요한 역할을 했다고 인식한 교사는 일곱 명, 그렇지 않다고 인식한 교사는 세 명이였다 (표 IV-6).

[표 IV-6] 특수 상대성이론 발전 과정에서 물리학의 보편성 추구의 중요성에 대한 인식

응답 현황(명)	이유 (복수 응답)	응답자	비고
매우 그렇다 (6)	상대성 원리	H3, H4 S4, S5	좌표계와 무관한 물리법칙 좌표계에
	광속 불변의 원리	H3, S5	무관한 불변량
	관성계에서 모든 이론에 적용되는 좌표 변환의 사용	H1	적용 대상과 무관한 물리법칙
	관성계에서 나타나는 모든 운동을 설명하려는 시도	S5	
	설명 범위의 확장 (S2)		
그렇다 (1)	광속에 가깝게 매우 빠른 상황에서 적용될 수 있는 원리를 추구하고자 발 전한 이론	S3	
아니다 (2)	광속 불변을 제외하고는 보편성에 의해 발전되었다고 볼 수 없음	H5	좌표계에 무관한 불변량
	특수 상대성이론의 내용을 모르는 사람이 많기 때문에	H2	
전혀 아니다 (1)	학문의 성격을 미리 정해놓고 이론 을 발전시켰다는 발상 자체가 잘못 되었다고 생각함	S1	



특수 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 생각한 이유로 특수 상대성이론의 두 가지 가정인 상대성 원리(4회), 광속 불변의 원리(3회)가 많이 언급되었다. 그리고 고전 역학과 전자기학 모두에 적용되는 좌표 변환을 사용하고자 한 것 자체를 보편성의 추구로 인식한 교사도 있었다. 보편성의 추구가 특수 상대성이론의 발전 과정에서 중요한 역할을 했다고 생각하게 된 이유로 제시된 이 세 가지는 앞선 연구 1의 특수 상대성이론 논문에서 드러난 보편성 내용(What)의 특징과 동일하다.

특수 상대성이론이라는 하나의 틀로부터 관성계에서 나타나는 모든 운동을 설명하려고 시도한 것 자체가 특수 상대성이론이 ‘보편성’을 추구했다고 생각한다. 더불어 ‘상대성 원리’와 ‘광속 불변의 원리’ 두 원리로부터 시간과 공간이 새롭게 정의되고, 다시 이러한 시공간의 개념으로부터 물리학을 기술하게 된 점은 특수 상대성이론이 가진 ‘보편성’이 중요한 역할을 했음을 증명한다. (교사 S5)

이외에 관성계의 모든 운동을 설명하려고 시도하였기 때문에, 광속에 가까운 빠른 속도에 적용될 수 있는 원리를 추구하였기 때문에 보편성의 추구가 중요한 역할을 한 것이라는 답변이 있었다. 그리고 그동안 설명하지 못했던 것을 보편적으로 설명할 수 있게 하였기 때문에 중요하다고 인식한 교사가 있었으나 특수 상대성이론과 관련한 구체적인 내용은 설명하지 못하였다.

한편, 교사 H5는 광속 불변을 보편성의 추구로 보았으나 이외에는 보편성 추구에 의해 발전되었다고 볼 수 없어 특수 상대성이론의 발전 과

정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 하지 않았다고 보았다. 그리고 교사 H2는 특수 상대성이론의 내용을 모르는 사람이 많기 때문에 보편성의 추구가 중요한 역할을 하지 않았다고 하였다. 이는 교사 H2의 보편성에 대한 인식에 따른 것이다. 교사 S1은 학문의 성격을 미리 정해놓고 이론을 발전시킨다는 것 자체를 잘못된 것으로 인식하였다. 이는 2번 문항에서 밝힌 바와 같이 교사 S1이 자연의 원리가 어떠한 모습을 지니는지 모른다고 인식하고 있기 때문으로 보인다.

#### 2.4 일반 상대성이론의 발전 과정에서 물리학의 보편성 추구의 중요성에 대한 인식

4번 문항은 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구의 중요성에 대한 인식을 알아보기 위한 것이었다.

일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식하고 있는 교사는 아홉 명, 그렇지 않다고 생각한 교사는 한 명이었다(표 IV-7). 이는 교사들이 보편성 추구가 물리학과 특수 상대성이론 발전 과정에서보다 일반 상대성이론의 발전 과정에서 중요한 역할을 했다고 인식하고 있음을 나타낸다.

[표 IV-7] 일반 상대성이론 발전 과정에서 물리학의 보편성 추구의 중요성에 대한 인식

응답 현황(명)	이유	응답자	비고
매우 그렇다	관찰자의 상태에 무관하게 물리법칙이 성립하도록 하는 좌표 변환 관계를 만들고자 함	H1	좌표계와 무관한 물리법칙 (What)
	가속좌표계에서 관찰자와 무관한 물리법칙의 추구	H4	
	등가 원리	H3, S4, S5	보편성 추구의 시작 (Why)
	많은 모순 해결	S2	
그렇다	관성계 뿐만 아니라 가속좌표계에서도 성립하는 물리법칙 추구	S3	좌표계와 무관한 물리법칙 (What)
	중력을 질량에 의한 공간 왜곡에 의한 것으로 봄으로써 모든 상황에 보편적으로 적용 가능해짐	H5	
	특수 상대성이론보다 포괄적으로 현상 설명	H2	
아니다	(0)		
전혀 아니다	(1) 특정 이론의 발전과 무관하다.	S1	

일반 상대성이론은 관성좌표계만이 아니라 가속좌표계를 포함하여 관찰자의 운동 상태와 무관한 물리법칙을 추구하였기 때문에 보편성의 추구가 중요한 역할을 한다고 인식한 교사가 많았다. 또한 보편성을 추구하였기 때문에 가속 운동하는 상황을 중력이 작용하는 상황과 동등하게 (등가 원리) 볼 수 있게 된 것이라고 하였다. 이러한 인식은 연구 1의 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징 중 좌표계와 무관한 물리법칙(What 1)과 보편성 추구의 시작(Why)에 해당하는 것이다. 이 밖에

중력이 질량에 의한 공간왜곡 때문에 나타나게 되었다는 것을 통해 모든 상황에 보편적으로 적용할 수 있게 되어 보편성의 추구가 어느 정도 중요한 역할을 했다고 인식한 교사가 있었다. 그리고 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 생각한 이유로 많은 모순을 해결하였기 때문이라고 응답한 교사도 있었으나, 일반 상대성이론과 관련한 구체적 사례는 제시하지 않았다. 교사 H2는 2번, 3번 문항에서와 달리 특수 상대성이론과 비교하여 일반 상대성이론이 더 포괄적으로 현상을 설명하므로 보편성이 추구되었다고 하였다.

한편, 교사 H1은 보편성의 추구와 상대성이론 사이의 관계를 알지 못하였다가 대학원에서 관련 강의를 수강하면서 알게 되었다고 하였다.

물리1 교육과정을 통해 학교 현장에서 나누는 이야기는 가정과 결과 정도이다. 아마 대학원에서 000 박사님 같은 분을 만나 상대론 강의에 참여하지 못했다면 보편성이 상대론의 발달에서 상당히 중요한 특성인지 인식하지 못하고 여전히 가정과 결과 정도가 중요하다고 생각해서 ‘아니다’ 쪽으로 선택했을 듯하다. 대학원에서 관련 수업을 듣지 않았다면 보편성 추구와 상대론 간 관계가 특별히 없다고 했을 것이다. 물리학 발달 과정에서 현상을 통합하고 간결하게 만드는 작업이 많았지만 일반상대론이야말로 앞에서 적어놓은 다른 물리학 발달과 정보보다 보편성이 더 중요한 것 같다. (교사 H1)

이렇게 일반 상대성이론 발전 과정에서 보편성 추구가 중요한 역할을 한다는 인식이 높은 가운데 교사 S3는 물리학에서보다 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성 추구의 중요성에 대해 한 단계 낮추어 응답하였

다. 이에 대해 일반 상대성 이론이 보편성과 관련하여 어떠한 문제가 있는지 알지 못하여 한 단계 낮추었다고 하였다.

물리학이 발전하는 과정에서 보편적으로 적용되어 오던 원리를 특정한 현상에서 적용할 수 없을 때 이를 그냥 넘기지 않고 큰 문제로 삼았습니다. 이전의 원리를 수정하거나 새로운 패러다임으로 교체하는 계기가 되는 사건들이 많았습니다.

특수 상대성이론은 속도가 광속에 가깝게 매우 빠른 상황에서도 적용할 수 있는 원리를 추구하여 발전한 이론이라고 생각하지만, 일반 상대성 이론은 기존의 이론에서 어떤 문제(보편성의 문제)가 있었기 때문에 발전한 이론인지를 개인적으로 잘 알지 못하여 한 단계 낮게 답변하였습니다. (교사 S3)

교사 S1은 3번 문항에서와 동일하게 보편성의 추구는 특정 이론의 발전과 무관하므로 중요한 역할을 하지 않는다고 인식하고 있었다.

## 2.5 고등학교 물리교수학습에서 물리학의 보편성 추구 과정과 내용 지도의 필요성에 대한 인식

5번 문항에서는 고등학교 물리교수학습에서 물리학의 보편성 추구 과정과 내용의 지도 필요성에 대한 인식을 알아보하고자 하였다.

물리학의 보편성 추구 과정과 내용을 지도하는 것이 고등학교 물리교수학습에서 중요한 역할을 한다고 인식하고 있는 교사는 여덟 명, 그렇지 않다고 인식하고 있는 교사는 두 명이였다(표 IV-8).

[표 IV-8] 고등학교 물리교수학습에서 물리학의 보편성 추구 과정과 내용 지도의 필요성에 대한 인식

응답 현황(명)	이유	응답자
매우 그렇다	문제풀이보다 물리학 이론이 보편성을 띠게 된 과정이 중요	S2
	(3) 보편성에 대한 이해가 물리에 대한 이해를 위해 매우 중요	S4
	물리학이 가지는 ‘보편성’을 추구하는 과정과 내용만으로도 학생들은 물리학에서의 특징을 배우고 확장해 나갈 수 있을 것	S5
그렇다	상대론에서 보편성 추구의 교육이 중요하나, 현재 교육상 비중 있게 다루지 못함	H1
	(5) 물리학에서는 전 우주를 포괄하는 보편성이 필요하겠지만 학교 수업에서는 학생이 발 딛고 있는 현실(지역적 특수성, 개인적 특수성 고려)을 반영한 수업이 되어야 한다고 생각함	H3
	어떤 보편적인 법칙을 추구하는 물리학의 특징을 가르칠 수 있으나 고등학교 수준에서는 어떤 추상적 원리보다는 구체적인 과학지식이 필요함	H4
	해당 내용을 배운 학생들이 물리학이라는 학문의 발전에 기여할 수 있기 때문	S3
	물리학의 발전에 기여하지 않더라도, 학생들에게 과학적 사고방식을 심어줄 수 있기 때문	H5
아니다	(1) 물리학이 세상의 진리를 가르친다는 것이 흥미로울 수 있다고 생각함	H2
	현대의 물리는 보편성으로 보기에 어려움 심도 있는 과정으로 점점 발전해 가고 있는 물리의 모든 내용을 굳이 물리의 개념이 잡혀있지 않는 고등학생을 대상으로 가르칠 필요 없음	H2
전혀 아니다	(1) 이와 같은 방식의 절대적 신봉은 결정적인 순간 과학의 발전을 가로막는 장애물이 될 수 있음 이러한 논의는 과학사적으로 접근 가능한 주제에서 다룰 법하고, 개념의 전체적인 이해와 구조화가 완성된 이후에나 교수학습이 가능함	S1

물리학, 특수 상대성이론과 일반 상대성이론의 발전 과정 모두에서 보편성의 추구가 중요하다고 인식한 교사들은 고등학교 물리교수학습에서도 이러한 보편성의 추구 과정과 내용의 지도가 중요하다고 인식하고 있었다. 그러나 그 이유는 교사마다 조금씩 달랐다. 교사 S4는 보편성의 추구 과정과 내용을 통해 물리학에 대한 이해를 넘어선 것을 경험할 수 있어 꼭 필요하다고 하였고, 교사 S5는 구체적인 사례를 들어 중요성을 설명하였다.

나는 보편성에 대한 이해가 물리에 대한 이해를 위해 매우 중요하다고 생각하는데, 이는 물리학 자체가 보편성의 학문이라고 생각하기 때문이다. 무엇보다 무상한 세상 속에서 변하지 않는 어떤 것에 대한 이해를 통해 자연 현상에 대한 경이로움을 느낄 수 있기 때문에 꼭 필요하다고 본다. (교사 S4)

물리학은 다른 학문과는 다르게 하나의 현상을 하나의 설명으로 끝내지 않고, 서로 연관되어 있으며, 대응되는 부분이 굉장히 많다. 수학적 대칭성으로부터 동등한 물리적 해석을 할 수 있으며(역학적 감쇠진동과 전기적 감쇠진동의 수학적 대칭성으로부터 질량을 인덕턴스(inductance)와 대응시킬 수 있고, 이는 관성이라는 하나의 개념으로 이해할 수 있다.), 하나의 체계로부터 다른 체계를 동일한 방식으로 이해할 수 있다(병진 운동에 대한 개념을 회전 운동에 대한 개념으로 확장(?)할 수 있다). 따라서 물리학이 가지는 ‘보편성’을 추구하는 과정과 내용만으로도 학생들은 물리학에서의 특징을 배우고 확장해

나갈 수 있을 것이다. (교사 S5)

한편 교사 H1, H3, H4는 고등학교 물리교수학습에서 보편성의 추구 과정과 내용의 지도가 중요하다고 인식하였으나, 이는 2번, 3번, 4번 문항에서의 응답보다 한 단계 낮은 것이었다. 구체적인 이유는 조금씩 달랐지만 고등학교 학습의 현실적인 측면을 고려한 결과였다. 이는 과학·영재교 교사 S2, S4, S5의 2번에서 5번까지의 응답에서 매우 그렇다로 인식한 것과는 차이가 있었다.

교사 H2는 앞선 문항에서와 같은 이유로 보편성의 추구 과정과 내용이 고등학교 물리교수학습에서 중요하지 않다고 인식하고 있었다. 한편, 교사 S1은 보편성의 추구로 현대 물리의 이론이 발전한 것은 인정하나 이에 대한 우려를 나타냈으며, 고등학교 물리교수학습에서 이에 대한 것은 과학사적인 접근에서만 가능하다고 보았다.

현대물리학의 많은 영역에서 큰 틀에서 보편성의 추구를 통한 이론의 완성이 이루어지고 있으나, 이와 같은 방식의 절대적 신봉은 결정적인 순간 과학의 발전을 가로막는 장애물이 될 수 있다. 그리고 애초에 이러한 논의는 과학사적으로 접근 가능한 주제에서 다룰 법하고, 개념의 전체적인 이해와 구조화가 완성된 이후에나 교수학습이 가능하다. (교사 S1)



### 3. 요약

본 연구는 물리학의 보편성에 대한 물리 교사의 인식을 알아보기 위한 것이었다. 설문에 응한 10명의 교사들은 모두 물리학에서 보편성이 드러난다고 인식하고 있었다. 아홉 명의 교사는 적용 대상과 무관한 물리법칙을 물리학의 보편성의 특징으로 인식하고 있었다. 이 중 한 명의 교사는 이것 외에 좌표계와 무관한 물리법칙도 보편성의 특징으로 인식하고 있었다. 또 아홉 명의 교사 중 두 명의 교사는 사람들이 자연스럽게 받아들이는 것도 물리학의 보편성의 특징으로 함께 인식하고 있었다. 한 명의 교사는 물리학의 보편성을 사람들이 자연스럽게 받아들이는 것, 사람들이 잘 아는 것으로 인식하고 있었다.

물리학의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사는 여덟 명이었으며, 주로 적용 대상과 무관한 물리법칙의 추구를 그 이유로 언급하였다. 물리학의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사는 한 명을 제외하고 특수 상대성이론 발전 과정에서도 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식하였다. 그 이유로 특수 상대성이론의 두 가정인 상대성 원리(좌표계와 무관한 물리법칙)와 광속 불변의 원리(좌표계에 무관한 불변량)가 많이 언급되었다. 관성계의 모든 이론에 적용되는 좌표 변환(적용 대상과 무관한 물리법칙)도 이유로 언급되었다. 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사는 아홉 명으로 가장 많았으며, 그 이유로 등가원리(보편성 추구의 시작)와 가속좌표계에서도 성립하는 물리법칙(좌표계와 무관한 물리법칙)이 주로 언급되었다. 특수 및 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식은 하였으나 구체적인 이유를 언급하지 않은 경우도 있었다.

고등학교 물리교수학습에서 보편성을 추구한 과정과 내용의 지도가 중요하다고 인식한 교사는 여덟 명으로, 물리학의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사들과 동일하였다. 그렇게 생각한 이유로 물리학의 특징인 보편성에 대한 이해가 물리학의 이해를 도울 수 있다는 것이 주로 언급되었다. 다만 일반계 고등학교 교사 세 명은 물리학과 특수 및 일반 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 매우 중요하다고 인식하였으나 이 문항에서는 한 단계 낮은 중요하다고 응답하였다. 그 이유는 고등학교가 처해 있는 여러 현실적인 사항을 고려했기 때문이었다.

한편, 위와 다른 인식을 나타낸 두 명의 교사 중 한 명은 보편성의 정의를 사람들이 잘 아는 것으로 인식하고 있는 교사였다. 또 다른 한 명은 자연의 실재에 대해 알 수 없다고 인식하고 있는 교사였다. 이 두 명의 교사는 물리학 이론의 발전 과정과 물리교수학습에서 보편성이 중요한 역할을 하지 않는다고 인식하고 있었다.

## V. 결론 및 논의

### 1. 요약 및 결론

첫 번째 연구에서는 아인슈타인의 일반 상대성이론 논문, 특수 상대성이론 논문과 광전 효과 논문을 분석하여 물리학 이론의 보편성의 특징을 찾고자 하였다. 세 편의 논문에서 드러나는 보편성의 특징을 보편성 추구의 시작(Why), 보편성의 내용(What)과 보편성 추구의 방식(How)의 세 측면에서 살펴보고, 그 특징은 다음과 같다. 첫째, 기존 물리지식의 결합이나 모순에서 오는 불편함으로 인해 보편성의 추구가 시작(Why)되고 있었다. 둘째, 보편성의 구체적인 내용(What)으로 (1) 좌표계와 무관한 물리법칙(What 1), (2) 좌표계에 무관한 불변량(What 2), (3) 적용대상과 무관한 물리법칙(What 3)이 드러났다. 셋째, 보편성을 추구하는 방식(How)은 (1) 기존 물리지식의 결합 지적(How 1), (2) 기존 물리지식 중에서 보편적으로 존중받아야 하는 것을 수용(How 2), (3) 새로운 주장은 누구나 자연스럽게 받아들일만한 보편적인 주장이 되도록 하는(How 3) 것으로 보편성이 중요한 기준 역할을 하고 있었다. 이렇게 세 편의 논문에서 보편성의 구체적인 특징을 찾을 수 있었다.

두 번째 연구에서는 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 인식을 설문문을 통해 알아보려고 하였고, 일반계 고등학교 물리 교사 다섯 명, 과학·영재고등학교 물리 교사 다섯 명을 대상으로 설문문을 실시하였다. 먼저 설문문에 응한 교사 대부분이 적용대상과 무관한 물리법칙을 물리학의 보편성의 특징으로 인식하고 있었으며, 좌표계와 무관한 물리법칙도 함께 언급한 교사가 있었다. 그리고 보편성을 사람들이 자연스럽게 받아들

이는 것, 사람들이 잘 아는 것으로 인식하고 있는 교사도 있었다. 물리학의 발전 과정에서 보편성 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사가 많았으며, 그 이유로는 적용 대상과 무관한 물리법칙에 해당되는 내용이 주로 언급되었다. 이러한 인식을 갖고 있는 교사들은 고등학교 물리교수 학습에서도 물리학의 특징인 보편성에 대한 이해가 물리학의 이해를 도울 수 있기 때문에 보편성의 추구 과정과 내용의 지도가 중요하다고 인식하였다.

한편, 보편성의 특징을 사람들이 잘 아는 것으로 인식하고 있는 교사와 자연의 실재가 어떠한지 알 수 없다고 인식하고 있는 교사는 물리학에서 보편성의 특징이 나타난다고 인식하고 있었지만, 보편성의 역할에 대해서는 중요하지 않다고 인식하고 있었다.

상대성이론 발전 과정에서의 보편성의 역할에 대한 인식을 연구 1의 결과와 비교하면 다음과 같다(V-1, 2).

[표 V-1] 특수 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징과 물리 교사들의 인식 비교

	논문	교사 인식 내용	응답자
보편성 추구의 시작(Why)	· 맥스웰의 전기 역학을 움직이는 물체에 적용시켰을 때 나타나는 비대칭 문제		
	좌표계와 무관한 물리법칙	· 상대성 원리 · 관성계에서 모든 이론에 적용되는 좌표변환의 사용	H3, H4, S4, S5 H1
보편성의 내용(What)	좌표계에 무관한 불변량	· 광속 불변의 원리	H3, S3, S5
	적용 대상과 무관한 물리법칙	· 강체의 운동학을 전기역학에 적용 · 관성계에서 나타나는 모든 운동을 설명하려는 시도	S5

[표 V-2] 일반 상대성이론 논문에서 드러난 보편성의 특징과 물리 교사들의 인식 비교

	논문	교사 인식 내용	응답자	
보편성 추구의 시작(Why)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상대성 가설의 확장 필요성</li> <li>- 고전역학의 인식론적 결함</li> <li>- 등가 원리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 등가 원리</li> </ul>	H3, S4, S5	
보편성의 내용(What)	좌표계와 무관한 물리법칙	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 일반공변성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 관찰자의 상태에 무관하게 물리법칙이 성립하도록 하는 좌표변환을 만들고자 함</li> </ul>	H1
		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 장 방정식</li> <li>· 에너지-운동량 보존 법칙</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 가속좌표계에서 관찰자와 무관한 물리법칙의 추구</li> </ul>	H4, S3
	좌표계에 무관한 불변량	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 인터벌</li> <li>· 물질의 에너지 텐서</li> </ul>		
	적용 대상과 무관한 물리법칙	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중력장의 에너지는 다른 종류의 에너지와 같은 방식으로 행동</li> <li>· 유체역학, 맥스웰의 전자기학도 일반 상대성이론 체계에 적합하도록 일반화시킴</li> </ul>		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중력의 보편 적용</li> <li>· 포괄적인 현상 설명</li> <li>· 많은 모순 해결</li> </ul>	H5

표 V-1을 보면 특수 상대성이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식한 교사들은 그 이유로 상대성 원리와 광속 불변의 원리를 주로 언급하였다. 하지만 특수 상대성이론 논문에서 제기된 문제를 해결을 하는데 중요한 역할을 한 두 원리-상대성 원리와 광속 불변의 원리-를 모두 인식한 교사는 두 명이었으며, 보편성 추구의 시작과 관련한 응답은 없었다. 일반 상대성이론 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요한 역할을 했다고 인식하는 교사들은 주로 일반 상대성이론의 형성에 있어 핵심적 역할을 한 등가 원리와 일반공변성에 대한 것을 그 이유로 언급하였다(표 V-2). 하지만 등가 원리와 일반공변성을 모두 인식한 교사는 없었으며, 일반공변성을 제외하고 보편성의 내용(What)적인 측면은 거의 언급되지 않았다. 또한 두 이론의 발전 과정에서 보편성의 추구가 중요하다고 인식은 하였으나 구체적인 이유를 언급하지 않은 경우와 교사 개인의 관점에 의해 보편성 추구의 중요성을 전혀 인식하지 못한 경우도 있었다. 이를 통해 상대성이론에서 드러나는 보편성에 대한 교사들의 인식이 부분적이거나 제한적임을 알 수 있었다.

본 연구는 아인슈타인이 물리학 이론을 형성하는데 있어, 특히 상대성이론의 형성에서 보편성 추구가 중요한 역할을 했다는 것을 밝혔다. 그리고 이러한 맥락에서 물리학의 보편성에 대한 물리 교사들의 이해를 도울 수 있는 방안들-예를 들어, 보편성의 추구 과정과 내용을 바탕으로 상대성이론에 대한 교사 교육과 교재 및 교과서 개발-이 필요함을 확인하였다.

## 2. 논의 및 제언

본 연구는 아인슈타인 논문을 통해 물리학 이론의 형성 과정에서 보편성이 어떻게 고려되며, 어떠한 방식으로 드러나는지를 살펴보았다. 이러한 연구는 보편성의 구체적인 특징을 파악하였다는데 의의가 있다. 그러나 본 연구는 보편성의 특징을 아인슈타인의 주요 논문에서만 살펴보았으므로 여기에서 제시한 특징 외에 다른 특징이 있을 수 있다. 따라서 다음과 같은 후속 연구가 필요하다.

첫째, 본 연구에서 살펴본 것 이외의 물리학자들의 업적들에서 보편성의 특징을 찾아볼 필요가 있다. 우선 아인슈타인의 다른 업적들에서 보편성이 어떻게 추구되는지 살펴봐야 할 것이다. 이 때 보편성을 추구한 아인슈타인에 대한 온전한 이해를 위해 논문 뿐 아니라 아인슈타인의 철학이 담긴 연구 과정 전체도 함께 살펴봐야 하겠다. 또한 물리학에서 나타나는 보편성의 전반적인 특징을 알기 위해 다른 물리학자의 업적에 대한 연구도 이루어져야 하겠다.

둘째, 하나의 주제에 대한 이해가 어떻게 변화되었는지를 과학사적으로 살펴볼 필요가 있다. 그 과정에서 보편성의 역할을 구체적으로 알 수 있을 것이며, 보편성의 특징도 함께 찾을 수 있을 것이다. 예를 들어, 중력에 대한 이해의 변화 과정을 살펴봄으로써 보편성의 역할과 그 특징을 찾을 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구는 물리학의 보편성의 특징만 찾은 것이므로 전반적인 과학의 보편성의 특징으로 보기에 부족한 면이 있다. 따라서 다른 과학 분야에서 보편성은 어떻게 추구되는지, 어떠한 방식으로 드러나는지 살펴볼 것을 제안한다.



본 연구는 물리학의 보편성에 대한 교사의 인식 조사를 통해 물리교육에의 시사점을 찾을 수 있었다. 따라서 이러한 시사점을 바탕으로 물리교육 개선을 위한 다음의 후속 연구를 진행할 필요가 있다고 본다.

첫째, 이 연구는 10명의 물리 교사를 대상으로 설문을 실시한 것으로 본 연구 결과가 물리 교사의 인식을 대표한다고 보기는 어렵다. 따라서 물리학의 보편성에 대한 물리 교사의 인식을 자세히 파악하기 위해 폭넓은 설문 조사와 심층적인 사례 연구가 이루어져야 하겠다.

둘째, 본 연구 결과 물리학의 보편성과 상대성이론에서 보편성의 역할 및 특징에 대한 교사의 인식이 부분적임을 알 수 있었다. 따라서 이에 대한 물리 교사들의 이해를 도울 수 있는 여러 방안들에 대한 연구가 필요하다. 예를 들어 보편성의 추구 과정과 내용을 바탕으로 한 상대성이론에 대한 교사 교육과 관련 교재 및 교과서 등이 개발되어야 할 것이다.

셋째, 보편성의 추구 과정과 내용을 바탕으로 한 상대성이론의 고등학교 교수학습 자료 개발이 필요하다. 지식을 제대로 이해하기 위해서는 그것의 맥락을 함께 이해하여야 한다(MacIntyre, 1984). 상대성이론은 그 형성에 있어 보편성의 추구가 중요한 역할을 하였다. 그러므로 상대성이론에 대한 이해를 돕기 위해서는 보편성의 추구 과정과 내용을 중심으로 한 교수학습이 이루어져야 한다. 따라서 이러한 교수학습을 위한 구체적인 자료가 개발되어야 하겠다.

## 참 고 문 헌

- 강석진, 노태희. (2014). **과학의 본성: 어떤 과학을 가르칠 것인가?**. 서울: (주)도서출판 북스힐.
- 교육부. (2015). **2015 개정 과학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호. 국립국어원. (2018, 12월). **표준국어대사전**. 검색 [http://stdweb2.korean.go.kr/search/List\\_dic.jsp](http://stdweb2.korean.go.kr/search/List_dic.jsp)
- 김형효 역. (1982). **방법서설·성찰·정념론·철학의 원리 외**. R. Decartes 의 Discours de la méthode, meditationes de prima philosophia, traité des passions l'âme, principia philosophiae etc. 서울: 주식회사 삼성출판사.
- 백성혜, 남초이. (2010). 과학의 본성에 대한 명시적인 수업이 예비 과학 교사들의 인식 변화에 미치는 효과. **과학철학**, 13(1), 83-106.
- 선수형. (2014). **과학의 본성을 바탕으로 한 수업이 학생의 산 염기 개념 형성에 미치는 효과**. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 신은정. (2012). **과학의 본성에 대한 이해가 예비화학교사들의 산 염기 개념 학습에 미치는 영향: 전제조건을 중심으로**. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 윤지영, 백성혜. (2015). 과학의 본성을 적용한 수업이 초등학생의 산과 염기 개념 형성에 미치는 영향. **청람과학교육연구논총**, 21(2), 26-42.
- 이영희. (2017). **과학의 본성**. 파주: 교육과학사.
- 전승준 외. (2018). **모든 한국인을 위한 과학**. 서울: 한국과학창의재단
- 조대호. (2010). 아리스토텔레스의 보편자 이론- 『형이상학』 VII권 13장과 『범주론』의 이론과 그 현재성. **한국헤겔학회**, 28, 441-469.

- 조대호 역. (2017). **형이상학**. Aristoteles의 Metaphysics. 서울: 도서출판 길.
- 조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영. (2014). **과학교육론**. 파주: 교육과학사.
- 조희형, 박승재. (1993). 과학 교직원과 과학 교사상에 대한 문헌 연구 및 실태 조사. **한국과학교육학회지**, 13(3), 377-388.
- 조희형, 박승재. (1994). **과학론과 과학교육**. 서울: 교육과학사.
- 차정호, 윤정현, 노태희. (2005). 중학생의 과학 지식의 본성에 대한 이해와 개념 이해 및 학습 전략 사이의 관계. **한국과학교육학회지**, 25(5), 563-570.
- 최무영. (2008). **최무영 교수의 물리학 강의**. 서울: 도서출판 책갈피.
- 홍성욱. (2004). **과학은 얼마나**. 서울: 서울대학교출판부.
- 홍성욱 외. (2004). **뉴턴과 아인슈타인 : 우리가 몰랐던 천재들의 창조성**. 파주: 창비
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000a). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: *A critical review of the literature*. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000b). The influence of history of science courses on student's views of nature of science. *Journal of Research in science teaching*, 37(10), 1057-1095.
- American Association for the Advancement of Science(AAAS). (1990). *Science for all Americans: Prpject 2061*. New York: Oxford University Press. (박병윤, 권경훈 역. 모든 사람을 위한 과학. 서울: 한국과학창의재단)

- American Association for the Advancement of Science(AAAS). (1993). *Benchmarks for science literacy: Project 2061*. New York: Oxford University Press. (김중복 역. 과학소양을 위한 단계별 기준. 서울: 한국과학창의재단)
- Bartholomew, H., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (2004). Teaching pupils “idea-about-science”: Five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88(5), 656-682.
- Chalmers, A. F. (1990). *Science and its fabrication*. Milton Keynes: Open University Press. (신일철, 신중섭 역. 현대의 과학철학 2. 파주: 도서출판 서광사)
- Crease, R. P. (2009). *A brief guide to the great equations: The hunt for cosmic beauty in numbers*. New York: W. W. Norton & Company, Inc.
- Denzin, N. K. (1970). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods*. New York: McGraw-Hill.
- Dey, I. (1993). *Qualitative data analysis: A user-friendly guide for social scientists*. London: Routledge.
- Dirac, P. A. M. (1963). The evolution of the physicist's picture of nature. *Scientific American*, 208(5), 45-53.
- Einstein, A. (1905). Über einen die erzeugung und verwandlung des liches betreffenden heuristischen gesichtspunkt. *Annalen der Physik*, 17, 132-148. (Reprinted in English translation. Concerning an heuristic point of view toward the emission and transformation of light. *American Journal of Physics*, 33(5), 367-374).

- Einstein, A. (1905). Zur elektrodynamik bewegter körper. *Annalen der Physik*, 17, 891-921. (Reprinted in English Translation. *The collected papers of albert Einstein*, Volume 2, Princeton, NJ: Princeton University Press, pp. 140-171).
- Einstein, A. (1916). Die grundlage der allgemeinen relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 49, 769-822. (Reprinted in English translation. The foundation of the general theory of relativity. *The collected papers of albert Einstein*, Volume 6. Princeton, NJ: Princeton University Press. pp. 146-200).
- Einstein, A. (1956). *The meaning of relativity*. Princeton, NJ: Princeton University Press. (고중숙 역. 상대성이란 무엇인가. 파주: 김영사)
- Einstein, A. (1984). *Out of my later years (2nd ed.)*. New York: Kensington Publishing Corp. (이중철 역. 나의 노년의 기록들. 서울: 지훈출판사)
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of Advanced Nursing*, 62(1), 107-115.
- Fröhlich, J. (2008). Einstein and ħ: Advances in quantum mechanics. In P. L. Galison, G. Holton, & S. S. Schweber (Eds.). *Einstein for the twenty-first century: His legacy in science, art, and modern*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- 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.
- Gutfreund, H., & Renn, J. (2015). *The road to relativity: The history*

- and meaning of Einstein's "The foundation of general relativity" featuring the original manuscript of Einstein's masterpiece.* Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Holton, G. (1995). *Einstein, history, and other passions.* Woodbury, NY: AIP Press.
- Kimball, M. E. (1967-68). Understanding the nature of science: A comparison of scientists and science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 5, 110-120.
- Kuhn, T. S. (1977). *The essential tension: Selected studies in scientific tradition and change.* Chicago: The University of Chicago.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conception of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. Abell, & N. Lederman (Eds.). *Handbook of research on science education.* New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Mach, E. (1933). *Die mechanik in ihrer entwicklung: Historisch-kritisch dargestellt (9th ed.).* Darmstadt:

- Wissenschaftliche Buchgesellschaft. (고인석 역. 역학의 발달: 역사적·비판적 고찰. 과주: (주)도서출판 한길사)
- MacIntyre, A. (1984). *After virtue: A study in moral theory (2nd ed.)*. (이진우 역. 덕의 상실. 서울: 문예출판사)
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In W. F. McComas (Ed.). *The nature of science in science education: Rationals and strategies*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Meichtry, Y. J. (1992). Influencing student understanding of the nature of science: Data from a case of curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching, 29(4)*, 389-407.
- Meichtry, Y. J. (1993). The impact of science curricula on student views about the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching, 30(5)*, 429-443.
- Merriam, S., & Tisdell, E. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation (4th ed.)*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- National Research Council(NRC). (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, D. C.: National Academy Press. (서혜애, 오필석, 홍재석 역. 국가과학교육기준: 미국의 과학교육기준. 서울: 교육과학사)
- Oxford University Press. (2018, Dec). *Oxford english dictionary*. Retrieved from <http://www.oed.com>

- Rigden, J. S. (2005). *Einstein 1905: The Standard of Greatness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Reeves, C., Chessin, D., & Chambless, M. (2007). Nurturing the nature of science. *The Science Teacher*, 74(8), 31-35.
- Schwartz, R. S., & Lederman, N. G. (2002). "It's the nature of the beast": The influence of knowledge and intentions on learning and teaching nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(3), 205-236.
- Songer, N., & Linn, M. (1991). 'How do student's views of science influence knowledge integration?', *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 761-784.
- Stachel, J. (2005). *Einstein's miraculous year*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Stone, A. D. (2008). Einstein's unknown contribution to quantum theory. In P. L. Galison, G. Holton, & S. S. Schweber (Eds.). *Einstein for the twenty-first century: His legacy in science, art, and modern*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Wellington, J., & Ireson, G. (2012). *Science learning, science teaching (3rd ed.)*. New York: Routledge.
- Wenning, C. J. (2006). A framework for teaching the nature of science. *Journal of Physics Teacher Education, Online*, 3(3), 3-10.



[부록 1] 인식 조사 설문지

안녕하세요.

본 설문지는 현직 물리교사들의 물리학에 대한 인식을 연구하려는 목적으로 제작되었습니다.

본 설문이 연구에 어떻게 활용되었는지, 또 연구 결과를 알고 싶으신 분께는 연구 종료 후 결과물을 보내드리겠습니다.

선생님들께서 대답해 주신 내용은 연구의 목적으로만 소중하게 사용될 것입니다. 문항별로 선생님의 생각을 자세히 적어주시면 연구에 많은 도움이 될 것입니다.

그리고 연구 과정에서 응답 내용에 대한 확인 등이 필요한 경우 연락드리고자 선생님의 이메일 주소 작성을 부탁드립니다.

끝으로 본 연구에 협조해 주셔서 대단히 감사합니다.

서울대학교 물리교육전공 이은예 드림

1. 경력 :  5년 미만  5년 이상 ~ 10년 미만  
 10년 이상 ~ 15년 미만  15년 이상 ~ 20년 미만  
 20년 이상

2. 학교급별 경력

- 중학교 - (      년)  
 고등학교 - 일반고 (      년), 과학고·영재고 (      년),  
특성화고(      년), 기 타 (      )

3. 교육과정별 고등학교 물리 강의 경험

- 2009 개정 교육과정 이전 물리 1 - (      회)  
 2009 개정 교육과정 이전 물리 2 - (      회)  
 2009 개정 교육과정 물리 1 - (      회)  
 2009 개정 교육과정 물리 2 - (      회)  
 고급 물리 - (      회)

4. 이메일 주소 :

1. 다음은 물리학에 대한 여러 정의 중 하나를 나타낸 것입니다.

▶ 물리학은 보편지식 체계를 추구하는 학문이다.

(1) 위에 있는 정의에 동의하십니까?

1	2	3	4
전혀 아니다	아니다	그렇다	매우 그렇다

(2) (1)과 같이 답한 이유를 구체적으로(자세하게) 적어주시기 바랍니다.

(3) 물리학에서 보편적인 원리나 법칙에는 무엇이 있다고 생각하십니까?

(4) (3)에서 답하신 것 중 한 가지를 골라 그것이 보편적인 원리 또는 법칙이라고 생각하신 이유를 구체적으로(자세하게) 적어주시기 바랍니다.

2. ‘보편성’을 추구하는 것이 물리학의 발전 과정에서 중요한 역할을 한다고 생각하십니까?

(1)

1	2	3	4
전혀 아니다	아니다	그렇다	매우 그렇다

※ 전혀 아니다, 아니다에 표시하신 경우 (2)번에, 그렇다, 매우 그렇다에 표시하신 경우 (3)번에 답변해 주시기 바랍니다.

(2) (1)과 같이 답한 이유를 구체적으로(자세하게) 적어주시기 바랍니다.

(3) (1)과 같이 답한 이유를 구체적인 사례를 들어 적어주시기 바랍니다.

3. 특수 상대성 이론의 발전 과정에서 ‘보편성’을 추구하는 것이 중요한 역할을 하였다고 생각하십니까?

(1)

1	2	3	4
전혀 아니다	아니다	그렇다	매우 그렇다

(2) (1)과 같이 답한 이유를 구체적으로(자세하게) 적어주시기 바랍니다.

4. 일반 상대성 이론의 발전 과정에서 ‘보편성’을 추구하는 것이 중요한 역할을 하였다고 생각하십니까?

(1)

1	2	3	4
전혀 아니다	아니다	그렇다	매우 그렇다

(2) (1)과 같이 답한 이유를 구체적으로(자세하게) 적어주시기 바랍니다.

5. ‘보편성’을 추구하는 과정과 내용(예: 보편적 물리법칙의 발견 등)을 가르치는 것이 고등학교 물리교수학습에서 중요한 역할을 한다고 생각하십니까?

(1)

1	2	3	4
전혀 아니다	아니다	그렇다	매우 그렇다

(2) (1)과 같이 답한 이유를 구체적으로(자세하게) 적어주시기 바랍니다.

설문에 응해주셔서 감사합니다.

## Abstract

# The Characteristics of Physics Theory Revealed in Einstein's Research Papers and Its Implications of Physics Education – Focusing on Universality –

Eunye Lee

Physics, Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

Science is defined in a variety of aspects. For instance, it can be defined as “systematic knowledge based on the purpose of discovering universal truth or laws” from the perspective of formation of scientific knowledge. Therefore, it is considered important to explore how specifically something universal is considered in the process of formation of scientific knowledge and how it is exposed to understand the nature of science. Since a long time ago, science

education has emphasized on teaching the nature of science. But it is difficult to find research on what the universality of science means in the study of science education and how such universality should be taught. In this regard, this research tried to investigate the meaning of universality in science. In particular, this research aimed to explore the characteristics of universality in detail from the typical study that pursues universal knowledge in physics. In addition, this research tried to examine physics teachers' understanding of the universality of physics and to explore the implications for physics education.

The process and results of this research are as follows: First, this research tried to find the specific characteristics of universality in physics from the research paper on the general theory of relativity by Albert Einstein. We focused on Einstein's works since Einstein is a representative physicist who had confidence that the law of nature was universal, and he developed the general theory of relativity through the process of pursuing universality. Therefore, this research tried to discover the characteristics of universality, which were pursued by Einstein, through his research paper on the general theory of relativity. Einstein is the physicist who presented the most basic idea for not only the theory of relativity but also quantum mechanics. As such, this research looked for the characteristics of universality in Einstein's research papers on the general and special theories of relativity as well as the research paper on photoelectric effect.

Using the qualitative content analysis method, the characteristics of

universality shown in Einstein's research papers were investigated in three aspects: the beginning of the pursuit of universality, the content of universality, and the method of pursuing universality. The research paper on the general theory of relativity was first analyzed. Based on these results, the research papers of the special theory of relativity and photoelectric effect were analyzed. As the results, the three research papers showed common characteristics of universality as follows: First, it was revealed that "the pursuit of universality" was started due to inconvenience caused by defects or contradiction of the existing physics knowledge. Second, as for "the content of universality," frame-independent laws of physics, frame-independent physical quantities(invariants), and object-independent laws of physics were identified. Third, in "the method of pursuing universality," the following characteristics were discovered: defects of the existing physics knowledge were pointed out in detail, existing physics knowledge that needed to be regarded as universal was accepted, and new arguments were developed universal that everyone would naturally accept.

Second, 10 current physics teachers were recruited to investigate their understanding of physics universality. They were surveyed on the characteristics of physics universality, the role of the pursuit of universality in the development process of physics and the special and general theories of relativity, and the necessity of teaching the process and content of pursuing universality for teaching and learning physics in high school. As a result, most teachers recognized the



laws of physics irrelevant to the object of application as physics universality. Some teachers, however, recognized universality by relating it to understanding humans.

Many teachers considered the pursuit of universality an important role in the development process of physics. For this reason, the content applied to the laws of physics, irrelevant to the object of application, was mentioned most. All the teachers who had such understanding thought that it was required to include the process and content of the pursuit of universality in teaching and learning of physics in high school. Moreover, many teachers thought that the pursuit of universality played a crucial role in the development process of the special and general theories of relativity. Comparing the responses and the characteristics of universality shown in Einstein's research papers, however, the role of universality was partially recognized by the teachers.

In summary, this research was able to identify the specific characteristics of universality shown in Einstein's research papers. In particular, it was revealed that the pursuit of universality had an important role in forming the theories of relativity. Furthermore, this research revealed that it was required to develop various measures to help physics teachers understand physics universality. For instance, developing teacher education program and developing teaching materials and textbooks on the theory of relativity based on the process and content of pursuing universality.

keywords : Einstein, original paper, characteristics of physics  
theory, universality, theory of relativity, physics  
teacher

*Student Number* : 2017-25572