

# 기본물리상수에 대한 고등학교 물리교사의 인식 수준 및 교육적 활용 인식 연구

김성원\* · 이수정 · 최성연<sup>1</sup>

이화여자대학교 · <sup>1</sup>Univ. of Michigan

## Level of High School Physics Teacher's Understanding of Fundamental Physical Constants and Their Educational Application

Kim, Sung-Won\* · Lee, Soo Jung · Choi, Sung-Youn<sup>1</sup>

Ewha Womans University · <sup>1</sup>University of Michigan

**Abstract:** The purpose of this study is to explore how high school physics teachers perceive and understand fundamental physical constants as well as how they explain them and what methods they currently use in class. This study developed a questionnaire survey to recognize physics teachers' level of understanding of fundamental physical constants, which were measured by many scientists and contributed the to generation and improvement of scientific theories. Those questionnaire surveys were conducted among 130 high school physics teachers in Seoul, Gyeonggi, and Incheon. Among them, 124 participated in the survey and six were interviewed. The content of the survey consists of three parts: (i) basic questions about teachers, (ii) questions to measure the teachers' understanding of fundamental physical constants, and (iii) questions about the educational use of fundamental physical constants. The survey was distributed via e-mail, and respondents submitted their responses via e-mail as well. Semi-structured interviews were conducted for 30 minutes each, and all interviews were recorded, transcribed and analyzed twice.

**Key words:** fundamental physical constant, teacher's understanding, educational application

### I. 서 론

#### A. 연구의 필요성 및 목적

나는 과학에 인식론적 이정표가 세워져 있는 철학적으로 확실한 길은 없다고 믿는다. 우리는 정글 속에서 시행착오를 통해 길을 찾아가고, 그 과정을 통해 우리의 길을 만들어 간다. 우리의 일은 갈림길에서 이정표를 찾는 것이 아니라, 다른 사람을 위한 이정표를 세우는 것이다(Born, 1943, p.44).

물리학자 막스 보른은 과학자의 역할을 시행착오를 통해 이정표를 세우는 것이라고 말한다. 다시 말해 과학의 과정은 시행착오를 통해 지식을 탐구하는 과정이라고 할 수 있다. 기본 전하량을 알기 위해 시행되었던 여러 실험들처럼 역사적으로도 많은 시행착오를 통해 과학 지식이 구성되어 왔음을 알 수 있다. 그 과

정에서 과학적 현상의 관찰과 측정은 과학 이론이 형성되는데 중요한 역할을 해왔다. 권순애(2009)는 측정활동이 과학기술연구, 일상생활, 국제교육 등 인간의 모든 활동에 기초가 되어왔으며 과학 발전은 이러한 측정활동을 바탕으로 이루어지며, 자연현상을 과학적으로 설명하는데 있어서 가장 기본적인 요소라고 말한다. 이러한 과학자들의 노력은 일찍이 고대부터 이루어 졌으며, 노력의 결과로서 지구, 달, 태양의 크기 측정 그리고 이들 사이의 거리들을 정확히 측정할 수 있게 되었다. 이러한 측정활동은 과학이론의 정량화를 가능하게 하고, 이를 통해 과학자들은 자연계의 여러 가지 상수들을 만들어내고 이론을 발전시켜왔다(서정아, 박승재, 2003). 물리학에서 사용되는 기본물리상수는 자연에서 관찰되는 양이나 물리학의 이론방정식에 포함되는 양들 중에서 기본적으로 변하지 않는 값이라고 정의할 수 있다(브리태니커 백과, 2010). 이러한 상수가 만들어 지고 그 값이 확정되기 까지 많

\*교신저자: 김성원(sungwon@ewha.ac.kr)

\*\*2011.02.10(접수) 2011.06.04(1심통과) 2011.08.20(2심통과) 2011.08.22(최종통과)

\*\*\*이 논문은 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU)으로부터 지원받아 수행되었습니다(R32-20109).

은 노력과 시간이 소요되었으며 이러한 노력은 계속 해서 반복되고 있으며, 여러 가지 시점에서 검토가 이루어지고 있다(Karshenboim, 2005a; 2005b; Saichou, 1997). 이처럼 물리상수는 물리학을 이해하는데 중요한 이정표 역할을 하고 있다는 점에서 물리학의 학습이나 물리학 연구에서 중요한 요소임을 알 수 있다.

현 교육과정에서도 고등학교 물리 교과에서 기본물리상수와 관련된 내용을 다루고 있으며, 해당 교과서에 그 수치, 크기, 단위, 차원, 기호들이 일목요연하게 정리되고 있다. 그러나 상수 값이 발견되고 확정되기까지의 과학자의 연구 과정과 노력에 대한 내용이나, 물리상수가 물리학에서 갖는 의미에 대한 설명은 부족하다. 또한, 학교현장에서도 여러 평가 문항에서 물리 기본상수는 물리 문제를 풀이하기 위해 주어지는 값으로 이용되는데 그치고 있는 실정이다. 이처럼 물리 기본상수가 지니는 물리학에서의 중요성에 비해 교육현장에서의 활용도는 기대에 미치지 못하고 있음을 알 수 있다. 더욱이 물리상수에 대한 교수학습 측면에서의 연구도 이성목(1988)의 연구를 제외하고 약 20여 년 동안 진행된 것이 거의 없는 것으로 조사되고 있다. 따라서 물리학에서 중요한 의미를 갖는 물리상수의 교육적 활용에 대한 현황과 활용 방안에 대한 연구들이 필요하다.

이에 본 연구에서는 교육 현장에서 그 크기만 생각하던 기본물리상수의 의미를 넘어서 기본물리상수가 확정되는 과정에서의 과학자의 노력, 과학적 탐구 방법, 기본물리상수가 지니는 물리적 의미들을 포함하는 기본물리상수의 확대된 정보를 이용하여 물리 학습의 효과를 높이는데 반영하고자 한다. 나아가 그것을 교육현장에 반영함으로써 학생들이 과학자와 과학의 발전 과정을 이해하고 과학 학습을 보다 흥미롭게 할 수 있게 될 뿐 아니라 기본물리상수에 관련된 물리 개념 또는 이론의 이해 능력을 자연스럽게 향상시킬 수 있는 교육적 발판을 마련하고자 한다.

이를 위해 물리 기본상수의 기본 특성을 조사하여 물리 기본상수를 구성하는 구성요인을 정의하고, 각각의 요소가 지니는 상대적인 중요도를 비교하고자 한다. 그리고 물리 교사 설문 조사 및 심층면담을 통해 고등학교 물리교사가 가지고 있는 기본물리상수에 대한 인식수준과 교육적 활용에 대한 인식을 탐색함으로써, 앞으로 물리 교육에서의 물리 기본상수의 교육

적 활용 방안에 대한 연구의 계기가 되고자 한다.

## B. 연구 문제

기본물리상수에 대한 고등학교 물리교사의 인식 수준을 알고 교육적 활용 방안을 탐색하기 위해 다음의 연구문제를 설정하였다.

연구문제 1. 고등학교 교과서에는 기본물리상수가 어떻게 제시되어 있는가?

연구문제 2. 기본물리상수에 대한 고등학교 물리교사들의 인식 수준은 어떠한가?

연구문제 3. 기본물리상수의 교육적 활용에 대한 고등학교 물리교사들의 인식과 교수-학습 과정에서의 활용 방안은 어떠한가?

## II. 이론적 배경

### 1. 기본물리상수의 개념과 중요성

인간의 자연에 대한 관심을 바탕으로 자연현상에 대한 이해가 점차 늘어나게 됨에 따라 시간과 공간의 어느 곳에서도 변하지 않는 자연적이고 기본적인 물리량이 알려지게 되었고, 이 물리량들을 가리켜 기본물리상수라고 부른다(박종철, 1989). 기본물리상수는 처음에는 어느 특정한 물리이론이나 물리현상을 기술 하는데 사용되다가 점차로 여러 분야에 일반적으로 통용될 수 있다는 사실이 새롭게 확인함에 따라 모든 과학기술에 기반이 되는 핵심적인 위치를 차지하게 되었다.

물리학에서 기본적으로 사용되는 기본물리상수로는 빛의 속도, 기본 전하량, 전자의 정지질량, 양성자의 정지질량, 아보가드로 상수, 플랑크 상수, 만유인력 상수, 볼츠만 상수가 있으며(〈표 1〉참고), 이 상수들을 적절히 결합시키면 원자물리학에서 사용되는 여러 가지 기본 상수 즉, 뢰드베리 상수, 미세구조 상수, 보어 마그네톤 등을 나타낼 수 있다(이충희, 1989). 이러한 물리 기본상수는 우주의 어느 곳에서도 시간과 공간에 따라 변하지 않으며 물리 법칙의 기초를 이룬다.

기본물리상수의 정확한 측정값은 다음의 두 가지 측면에서 중요하다. 첫째, 물리학의 여러 기본이론에서 기본물리상수는 자연 현상을 예측하는데 있어 중요한 정량적인 정보를 제공한다. 따라서 물리 세계를

**표 1**  
기본물리상수(이충희, 1989)

기본물리상수	기호
빛의 속도	$c$
기본 전하량	$e$
전자의 정지질량	$m_e$
양성자의 정지질량	$m_p$
아보가드로상수	$N_A$
플랑크상수	$h$
만유인력 상수	$G$
볼츠만 상수	$k$

정량적으로 표현하기 위해서는 기본물리상수의 정밀한 측정값을 아는 것이 중요하다.

둘째, 물리기본상수를 확정하기 위한 많은 실험과 측정 과정을 통해 과학 이론이 성립하고 이를 바탕으로 자연 현상이 예측될 수 있었다. 다시 말해 물리기본상수는 겉으로 나타나는 양적인 측면에서의 중요성을 넘어서 과학의 방법과 발전 과정을 이해하는 데에 중요한 역할을 담당한다.

## 2. 기본물리상수의 구성요소

기본물리상수의 정보를 인식하는데 필요한 구성요소를 찾기 위해 기본물리상수가 제시된 대학 수준의 물리교재와 고등학교 물리Ⅱ의 내용에 분석을 통해 기본물리상수가 가지고 있는 정보들을 수치, 크기, 단위, 차원, 기호, 탄생배경 및 측정실험, 물리적 의미로 총 7가지 요소로 구분할 수 있었다. 이 중에서 기호는 기본물리상수를 나타내는 약속된 문자적 표현 방식으로서, 물리적 속성을 갖지 않으므로 구성요소에서 제외하고, 나머지 6개의 요소를 기본물리상수를 설명하

**표 2**  
'만유인력 상수( $G$ )'의 구성요소

구성 요소	내용
수치	6.67428
크기	$10^{-11}$
단위	$N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$
차원	$M^{-1}L^3T^{-2}$
탄생배경 및 측정실험	1797년, 영국의 물리학자 캐번디시(Cavendish)가 비틀림 저울 장치를 이용하여 최초로 측정함
물리적 의미	질량을 가진 두 질점 사이의 인력의 크기를 결정하는 비례상수로 활용됨

는 구성요소로 지정하였다. 특히 '탄생배경 및 측정실험'을 통해 시행착오를 통한 과학의 탐구 과정을 이해할 수 있으며, 상수가 지니는 '물리적 의미'를 통해 물리학에서의 이정표 역할을 이해할 수 있다. 예를 들어 만유인력 상수의 구성요소를 나타내면 <표 2>와 같다. 본 연구에서는 기본물리상수 구성요소의 타당성을 검증하기 위하여 20년 이상의 연구경력을 가진 물리학자 12명에게 구성 요소의 구분 및 각각의 내용에 대한 의견을 조사하고 그 내용을 반영하여 연구를 진행하였다. 각각의 구성요소의 타당도 평균은 5점 리커트 척도에서 4.1점 이상으로 양호하게 나타났다.

## Ⅲ. 연구방법

본 연구에서는 기본물리상수의 교육적 활용 실태를 탐색하기 위하여 문헌연구를 통해 기본물리상수를 구성하는 구성요소를 찾고, 이를 바탕으로 고등학교 물리 교과서의 내용을 분석하였다. 나아가 계층적 분석 과정(Analytic Hierarchy Process, AHP)을 통해 각각의 기본물리상수 별로 강조되는 구성요소의 상대적 중요도를 결정하였다. 또한, 기본물리상수에 대한 고등학교 물리교사들의 인식 수준을 알아보기 위하여 설문조사와 면담을 시행하였다.

### A. 고등학교 물리 교과서 내용 분석

교과서는 학교 현장에서 과학지식 및 정보를 습득하기 위한 1차적인 도구인 동시에 수업내용 선정의 구체적인 기준이 되므로 교수 및 학습의 중심적인 위치를 차지한다(이은지, 2007). 본 연구에서는 교과서 내용 분석을 위해 지학사, 금성출판사, 천재교육, 교학사, 대한교과서, 중앙교육연구소, 상문연구사, 상문사 총

**표 3**  
교과서 분석 대상 (출판사)

지학사	금성출판사	천재교육	교학사	대한교과서	중앙교육연구소	상문연구사	상문사
A	B	C	D	E	F	G	H

8종의 교과서를 선정하고(〈표 3〉참조), 10개의 기본물리상수의 내용에 대한 하위 구성요소—수치, 크기, 단위, 차원, 기호, 탄생배경 및 측정실험, 물리적 의미—가 물리 교과서에서 어떻게 다루어지고 있는지 분석하였다. 마지막으로 기본물리상수의 교육적 활용 현황과 활용 방안 모색을 위해 교사 면담을 시행하였다.

### B. 기본물리상수 인식 수준 조사

검사도구는 연구자들이 정의한 구성요소에 기초하여 개발되었으며, 검사지의 타당도를 검증하기 위해 물리교육 분야 전문가(박사과정 이상) 5명과 물리교사(8년 경력 이상) 12명의 검토를 거친 후 수정, 보완되었다. 현직 교사를 연구 대상으로 한 연구는 기본물리상수가 대부분 고등학교 물리 교과와 직접 관련이 있으므로 고등학교 물리 교사를 대상으로 그 범위를 제한하였다. 설문 대상 물리 교사는 서울·경기·인천 소재 고등학교 홈페이지를 통해 단순 무선 표집 방법을 통해 추출되었다. 전화로 연구자 소개, 연구 목적, 설문 내용 및 소요시간을 설명한 후, 참여자가 참여 여부를 결정하면 이메일을 통해 설문을 발송하고 다시 이메일을 통해 회신을 받는 방식으로 설문을 진행 하였다. 서울·경기·인천의 물리교사 177명에게 설문에 대한 승낙을 받고 설문지를 이메일로 송부하였다. 연구에 참여한 교사의 인원은 서울 물리교사 44명, 경기도 물리교사 49명, 인천 물리 교사 31명, 총 124명(〈표 4〉 참고)이었으며 설문지의 회수율은 70%였다. 설문 결과는 교사 면담을 위한 기초 자료로도 활용되었다.

설문조사에 사용된 검사도구는 문항 내용에 따라 크게 세 가지의 영역으로 나누어진다. 첫 번째 영역은 교사의 기본 사항에 대한 것으로 성별, 근무지역, 학교유형, 연령, 교육경력, 총 5개의 문항으로 구성되어 있다. 두 번째 영역은 10개의 물리상수에 대한 교사들의 인식 정도를 파악하기 위한 문항으로, 각 기본물리상수 당 6개의 요소에 대한 내용지식 수준을 표시하도록 하였다. 마지막 영역은 기본물리상수의 교육

**표 4**  
설문지 참여 교사 정보단위: 명(%)

성별	남	98 (79.0)
	여	26 (21.0)
	전체	124 (100.0)
근무지역	서울	44 (35.5)
	경기	49 (39.5)
	인천	31 (25.0)
	전체	124 (100.0)
학교유형	일반계	114 (91.9)
	특수목적계	10 (8.1)
	전체	124 (100.0)
교육경력	5년 미만	14 (11.3)
	5년~10년	22 (17.7)
	11년~15년	24 (19.4)
	16년~20년	24 (19.4)
	21년 이상	40 (32.3)
	전체	124 (100.0)

과 학습에 대한 교사들의 인식을 알아보기 위한 것으로, 15개의 문항이 있다. 이 영역에서는 기본물리상수에 대한 관심 정도, 학습 및 학습에 대한 기대 효과 인식, 물리교사·자연계 고등학생에게 요구되는 기본물리상수의 인식 범위를 확인하고자 하였다. 검사도구 구성 영역은 〈표 5〉와 같다.

Likert 척도(5점)로 구성된 기본물리상수의 인식에 대한 설문문항의 신뢰도를 분석하기 위해 9개의 문항을 다시 물리 상수에 대한 관심 정도를 묻는 2문항과 학습 및 학습에 대한 효과 인식 7문항의 두 그룹으로 나누었다. 신뢰도 분석 결과, 관심 정도와 관련한 문항의 Cronbach- $\alpha$ 계수의 값은 .562이 나왔고, 학습과 관련한 문항의 Cronbach- $\alpha$ 계수의 값은 .767이 나왔다. 문항을 제거했을 때 Cronbach- $\alpha$ 계수의 값이 크게 상승되는 문항이 없으므로 9개 문항을 기본물리상수에 대한 인식을 조사하는 문항으로 사용하였다. 신뢰도 분석 결과는 〈표 6〉에 나타내었다.

기본물리상수의 내용 지식에 대한 인식 정도를 파

**표 5**  
 검사도구 구성 영역

영역	내용	응답 유형
기본사항	성별, 근무지역, 학교유형, 연령, 교육경력	선택형
기본물리상수 인식수준	빛의 속도	수치 크기 단위 차원 탄생배경 및 측정실험 물리적 의미
	기본전하량	
	전자의 정지질량	
	양성자의 정지질량	
	플랑크상수	
	아보가드로상수	
	볼츠만 상수	
	만유인력 상수	
기체 상수		
퀴드베리 상수		
인식정도	관심정도 학습 및 학습에 대한 효과 인식 학습 실태, 학습 내용, 호기심·동기 유발, 이해력 향상, 학업성취도 향상, 학생 및 교사가 알아야할 내용 지식	Likert 척도

**표 6**  
 인식 영역 문항의 신뢰도 분석 결과

문항내용	문항번호	평균	표준편차	Cronbach- $\alpha$ 계수
관심 정도	1	3.92	.802	.562
	2	2.67	.917	
	3	3.87	.650	
학습 및 학습에 대한 효과 인식	4	3.60	.855	.767
	6	3.19	.923	
	7	3.54	.887	
	8	3.56	.904	
	9	3.81	.859	
	10	3.16	.896	

악하기 위한 문항은 주어진 기본물리상수에 대해 각각 6개의 구성 요소에 대해 인식 여부를 표시하도록 하였다. 각 상수에 대해 모두 알고 있다고 표시한 경우를 6점 만점으로 하여 합한 다음 평균값을 구하여, 기본물리상수 하나 당 인식 정도를 산출하였다. 인식에 대한 문항 중 관심 정도, 학습 및 학습에 대한 효과 인식의 문항은 빈도분석을 통해 분석을 하였다.

**C. 기본물리상수의 교육적 활용 현황 및 활용 방안 탐색**

기본물리상수의 교육적 활용 현황 및 활용 방안을 탐색하기 위하여 교사 면담을 시행하였다. 교사 면담은 기본물리상수에 대한 구성요소별 인식을 비롯하여 기본물리상수의 지도 실태와 수업 방법에 대한 실질적인 교사의 경험과 기본물리상수의 교육적 활용 가능성에 대한 내용으로 진행되었다. 면담에 참여한 교사는 총 6명으로 설문 조사 시에 면담을 수락한 교사를 중심으로 섭외하였다(표 7) 참고).

면담 내용은 모두 전사되었으며 전사한 자료를 1차와 2차, 총 2번의 코딩작업을 통해 교사들의 구체적인 경험을 해석하고자 하였다. 1차 코딩작업에서는 전사

표 7  
심층면담 참여 교사 정보

교사	성별	근무지역	학교유형	경력	학력
가	여	인천	일반계	23년	박사
나	여	서울	일반계	10년	석사
다	여	경기	일반계	7년	학사
라	남	경기	일반계	23년	석사
마	여	서울	일반계	13년	박사
바	남	경기	일반계	16년	학사

한 자료를 반복적으로 읽으면서 기본물리상수에 대한 교사들의 인식과 지도실태를 파악하기 위해 핵심적인 단어 또는 문장을 추출해내는 과정을 진행하였다. 2차 코딩작업에서는 1차 코딩작업에서 추출한 내용을 바탕으로 하여 응답 내용의 공통점과 차이점을 찾고, 분류 및 비교·분석하는 작업을 수행하였다.

#### IV. 연구결과 및 해석

##### A. 고등학교 물리 교과서 분석

우리나라 제 7차 개정 교육과정에는 특별히 물리상수에 대한 기준이 마련되어 있지 않다. 현재 고등학교에서 사용되고 있는 총 8종의 물리 I, 물리 II 교과서를 분석한 결과 본 연구에서 다루는 10개의 기본물리상수는 고등학교 물리 II 교과서 내용에 모두 포함되어 있으며, 고등학교 물리 I 교과서는 플랑크상수를 제외한 나머지 기본물리상수는 다루고 있지 않았다. 또한 기본물리상수의 구성요소 중 차원의 개념은 제 6차 교육과정의 물리 II 교과서 내용에 포함되는 개념이었으나 제 7차 교육과정에서 사용되는 교과서에서는 모두 찾아 볼 수 없었다. 대부분의 물리상수는 심화단계인 물리 II에서 배울 수 있도록 물리 II의 교과서의 내용에 제시되어 있었다. 또한 현재 관련 이론 뿐 아니라 측정실험의 내용까지 자세히 나온 것은 만유인력상수와 유도식이 나온 볼츠만 상수, 기체 상수에 불과하였으며 대부분의 기본물리상수가 이름, 기호, 수치, 크기 정도로만 주어졌으며 세부내용은 다루고 있지 않았다. 물리 II 교과서 분석 결과는 <표 8>에 나타내었다. <표 8>에서 '기술된 내용'은 오른쪽 칸에 소개된 교과서들에 동일하게 기술되어 있다.

##### B. 기본물리상수의 내용 지식에 대한 고등학교 물리교사의 인식 수준 측정

기본물리상수의 내용 지식에 대한 고등학교 물리교사들의 인식 수준을 측정하기 위하여 기본물리상수가 가지는 6개의 구성요소로 질문지를 구성하였다. 기본물리상수에 따라 구성요소의 중요도가 다르므로 계층분석과정 방법을 이용하여 구성요소들의 상대적 중요도에 대한 가중치를 결정하였다. 이 방법은 전문가들의 요소들의 상대비교로 이루어진 행렬들의 각 성분을 기하 평균하여 얻은 성분으로 구성된 통합행렬로부터 최대고유치와 이에 대응하는 고유벡터를 구하는데 여기서 구한 고유벡터가 가중치가 된다(Saaty, 1990). 전체적으로 여섯 개 요소 중에서 '물리적 의미'가 많은 비중을 차지하며 다음에 '크기'와 '단위'가 같은 비중을 나타냄을 알 수 있다(<표 9> 참고). 이때, 일관성 지수는 0.0366 이며 이는 상당히 양호한 편이다. 일관성 지수는 완전한 일관성을 가지는 경우에 0으로 주어지며 일관성이 적어질수록 그 값이 커지게 되는데, 보통 0.1이 넘으면 상대적 가중치의 추정도가 낮아져서 채택하지 못하게 된다.

이 상대적 중요도는 구성 요소들의 우선순위를 알 수 있을 뿐만 아니라 인식수준을 계량화할 경우에 중요한 의미를 갖는다. 예를 들어 만유인력상수에서 6.67428이라는 수치보다는  $10^{-11}$ 이라는 크기가 대략 두 배정도 더 중요하다는 의미이기 때문에 종합적인 인식수준을 계산할 때 크기의 가중치를 수치의 가중치의 대략 두 배로 하였다.

본 연구에서 선택한 10개의 기본물리상수의 내용 지식에 대한 고등학교 물리교사들의 인식정도를 파악하기 위해 각 물리상수마다 수치, 크기, 단위, 차원, 탄생배경 및 측정실험, 물리적 의미의 총 6개의 요소

표 8 물리 II 교과서 분석 결과

기본 물리 상수	제시된 소단원	기술된 내용	소개된 교과서
c	전기장과 자기장	맥스웰의 이론에 의해 유전율( $\epsilon_0$ ), 투자율( $\mu_0$ )을 이용한 전자기파의 속도, 즉 진공 중에서의 빛의 속도를 유도함.	B, F, H
		맥스웰이 이론적으로 전자기파의 속력을 제시하고, 그 속력이 바로 빛의 속력임을 밝히게 된 것을 설명함.	A, C, E, G
		해당 단원에서 빛의 속도와 관련된 내용 없음.	D
e	원자의 구조	밀리컨의 기름방울 실험 장치를 사용하여 기본 전하량을 발견하게 되었음을 실험장치 그림과 함께 제시하여 설명함.	A, B, C, D, E, F, G, H
m <sub>e</sub>	원자의 구조	기본전하량을 측정한 후 비전하 공식에 대입하여 전자의 정지질량 값의 측정됨을 설명함.	A, B, C, D, E, F, H
		해당 단원에서 전자의 정지질량과 관련된 내용 없음.	G
m <sub>p</sub>	원자핵의 구성입자	원자핵 발견이후 원자핵을 구성하는 양성자와 중성자의 발견을 설명하면서 양성자의 정지질량에 대해 언급함.	G
		해당단원에서 양성자의 정지질량과 관련된 내용 없이 수치와 크기, 단위까지만 제시함.	A, B, C, D, E, F, H
h	보어의 원자모형	‘집중탐구’에서 플랑크상수와 관련된 소개가 따로 제시되어 있음.	B
		교과서 본문내용에서 플랑크상수와 관련된 내용이 자주 언급되고 있으나 자세한 설명 없이 수치, 크기, 단위 정도로만 제시됨.	A, C, D, E, F, G, H
N <sub>A</sub>	기체분자의 운동	1 mol에 포함된 기체 분자의 수라는 설명과 함께 제시됨.	E
		아보가드로수를 언급하면서 수치, 크기, 단위까지 제시함.	A, C, D, F, G, H
		아보가드로수라는 물리량의 명칭을 언급하지 않고 N <sub>0</sub> (N <sub>A</sub> )는 1 mol의 분자 수라고 표현, 수치, 크기, 단위 제시하지 않음.	B
k	기체분자의 운동	기체의 운동에너지를 구하는 과정을 통해 $\kappa=R/N_0$ 임을 유도함	A, B, C, D, F, G, H
		기체의 운동에너지를 구하는 과정과 공식에는 볼츠만 상수, $\kappa$ 가 포함되어 있으나 따로 제시한 설명 없음.	E
G	만유인력 법칙	캐번디시의 비틀림 저울을 통한 만유인력 상수의 측정 설명이 제시됨. (비틀림 저울 삽화 포함)	A, B, C, D, E, F, G, H

표 9 물리 상수의 구성요소별 상대적 중요도

수치	크기	단위	차원	탄생배경 및 측정실험	물리적 의미	계
0.073	0.142	0.165	0.172	0.176	0.271	1.000

에 대해 본인이 알고 있는지 표기하도록 하였다. 그 결과를 <표 10>에 나타내었다. 각 항목의 수치는 주어진 상수에 대해 각 요소에 대해 안다고 표시한 교사의 수를 나타낸 것이며 이들 수의 단순 평균치와 전문가들에 의해 산출된 상대적 가중치를 적용한 평균치도 나타냈다. 124명의 교사가 모두 안다고 표시했을 경우의 평균치는 6이 되어야 한다. 평균점수가 가장 높

은 상수는 빛의 속도, 기본 전하량, 만유인력 상수의 순으로 나타났으며, 이는 물리교사들의 역학 영역 내용지식 수준에 대한 인식이 높기 때문에 역학 영역 물리 상수의 내용지식 수준에 대한 인식이 높은 것이라 판단된다. 또한 평균점수가 가장 낮은 상수인 쿼드베리 상수, 볼츠만 상수, 기체 상수의 순으로 나타나 현대물리나 열물리 영역의 물리상수의 내용 지식의 수

준에 대한 인식이 비교적 낮은 것으로 보인다. 그리고 물리상수의 요소별 인식 수준은 단위, 물리적 의미, 차원, 크기, 수치, 탄생배경 및 측정실험의 순서이었는데 이는 <표 9>에서 보인 물리전문가들의 상대적 중요도 순서와는 차이가 있다. 물리 전문가들은 물리적 의미와 탄생배경 및 측정실험을 더 중요하다고 판단하고 있다. 또한 상수별로 인식요소의 순서가 다를 수 있는데 전자나 양성자의 질량은 다른 요소보다도 단위에 대한 인식이 제일 높았다. 이는 그 상수의 명칭에서 나타나는 특성으로 이해할 수 있다. 그리고 상수의 단위로부터 차원을 쉽게 유추할 수 있음에도 불구하고 단위에 비해 차원에 대한 교사의 인식이 낮음은 물리량의 차원에 대한 의미에 크게 비중을 두고 있지 않고 있음을 알 수 있다.

### C. 기본물리상수의 교육적 활용에 대한 고등학교 물리교사의 인식

**표 10**  
물리교사들의 기본물리상수의 내용 지식에 대한 인식 수준

물리상수	수치	크기	단위	차원	측정실험	물리적인의미	평균*	평균(가중치)**
$c$	101	113	120	118	94	114	5.3226	5.3687
$e$	103	104	119	96	106	116	5.1935	5.2513
$m_e$	80	101	116	97	85	98	4.6532	4.7189
$m_p$	59	78	112	87	58	89	3.8952	4.0236
$h$	89	94	99	87	76	107	4.4516	4.5250
$N_A$	91	104	103	81	58	100	4.3306	4.3377
$k$	57	67	79	65	55	93	3.3548	3.5213
$G$	89	102	111	101	105	111	4.9919	5.0917
$R$	70	54	85	73	60	91	3.4919	3.6087
$R_\infty$	40	44	72	57	53	80	2.7903	2.9932
요소평균치***	0.6282	0.6944	0.8194	0.6952	0.6048	0.8056		

\* 각 행의 수치를 합한 후에 6×124로 나누었음. 최대값은 6.0000 임.  
 \*\* 각 행의 수치에 가중치를 적용하여 합한 후에 6×124로 나누었음. 최대값은 6.0000 임.  
 \*\*\* 각 열의 수치를 합한 후에 10×124로 나누었음. 최대값은 1.0000 임.

**표 11**  
관심 정도

문항내용	응답 내용					전체 응답수
	매우 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다	
나는 물리상수에 대해 관심이 있다.	-	5 (4)	27 (21.8)	59 (47.6)	33 (26.6)	124 (100)
나는 학생들이 물리상수에 대해 관심을 가지고 있을 것이라 생각한다.	9 (7.3)	50 (40.3)	40 (32.3)	23 (18.5)	2 (1.6)	124 (100)

### 1. 관심 정도

기본물리상수에 대한 교사들의 관심 정도를 알아보기 위해, 현직 물리교사들의 기본물리상수에 대한 관심 유무, 교사의 관점에서 본 물리를 배우는 학생들의 기본물리상수에 대한 관심 유무, 기본물리상수에 대한 자료 검색 경험 유무, 검색 이유, 검색 경로, 기본물리상수의 자료 중 보완되어야 할 점에 대해 124명의 설문 응답과 6명의 교사의 면담 응답을 통해 알아 보았다.

먼저, 물리교사와 학생들의 관심의 정도에 대한 결과는 <표 11>에 있다. 대부분의 교사들은 기본물리상수에 대해 대체적으로 관심을 가지고 있으나 학생들은 거의 관심이 가지고 있지 않을 것이라고 생각하고 있었다.

이와 관련하여 교사와 면담한 내용을 살펴보면 면담에 참여한 6명의 교사들은 물리기본상수가 지니는 물리적 의미에 관심은 있지만, 물리적 의미 외에 이

논문에서 정의하고 있는 물리상수의 내용 지식의 정확성에 대해서는 자신감이 낮음을 알 수 있었다. 가 교사는 물리상수들이 각각 물리적 의미를 포함하고 있기 때문에 관심을 가지고 있다고 응답하였다. 그러나 그는 물리상수의 내용 지식 정확성에 대해서는 자신감이 없었다. 다 교사는 물리 전공자로서 기본적인 내용을 알고는 있지만 가 교사와 마찬가지로 내용에 대한 효능감이 높게 나타나지는 않고 있다. 다 교사는 기본물리상수에 관련된 내용을 교수하든 안하든 물리를 전공한 사람으로서 물리상수의 중요성을 인식하고 있기 때문에 관심 있게 보고 있다고 말하였다.

“단순한 숫자가 아니라 상수마다 그 상수 나름의 물리적인 의미가 있으니까 물론 수업 시간에 강조는 안하더라도, 나름대로 관심 가지고 보고 있어요.” (가 교사)

“가르치든 안 가르치든 교사는 좀 알고 있어야 된다고 생각을 해서 보고는 있죠, 개인적으로. 물리를 전공했으니까 어느 정도 아는 건 당연한 건데, 뭐 다 알지는 못하고, 대부분의 교사들도 아마 저랑 비슷한 수준일 거 같은데? 그래도 교과서에 나온 내용 정도는 좀 보고 있어요.” (다 교사)

한편 설문 결과와 같이, 교사의 관점에서 본 학생

들의 관심 정도는 교사 본인의 관심도보다 낮음을 면담에 참여한 교사의 응답을 통해서도 확인할 수 있었다. 면담에 참여한 대부분의 교사가 “간혹 물리상수에 관심이 있는 학생들이 질문을 하는 경우는 있지만 그것은 극소수의 학생일 뿐이며, 대부분의 학생은 기본 물리상수 뿐 아니라 물리상수라는 것 자체에 대해 관심을 보이지 않는다(바 교사).”는 반응을 보였다.

다음, 자료검색의 여부에 대한 결과는 <표 12>이다. 설문에 응한 124명의 교사 중 88.7%에 해당하는 110명의 교사가 기본물리상수에 대한 자료를 검색해 본 경험이 있다고 응답하였다.

자료검색 경험이 있는 교사들의 자료 검색 이유는 학생들에게 설명을 해주기 위한 것 보다는 대부분 교사 자신의 궁금증을 해결하기 위한 목적이었으며, 그 밖에 정기고사 출제 시 정확한 실험적 근거를 제시하기 위한 목적이었다. 자료를 검색한 경로로는 관련 도서가 52.7%로 가장 많았고, 이와 관련하여 검색 도서 종류에 대한 질문에 바 교사는 대학교 재학 당시 사용했던 전공서적을 자주 이용한다는 응답을 하였다. 관련 도서에 이어 설문 응답자 중 37.3%의 교사들이 접근이 쉬운 인터넷을 이용하여 기본물리상수에 대한 자료검색을 하고 있다고 응답하였다

기본물리상수에 대한 자료 중 보완되어야 할 점에 41.8%의 교사들은 물리상수의 자료 중 관련분야 전문가의 알기 쉬운 설명의 부족과 이에 대한 보완,

표 12  
기본물리상수 관련 자료 검색경험

단위: 명(%)

문항내용	응답 내용		전체 응답수
자료검색 경험의 유무	있다. 110(88.7)	없다 14(11.3)	124(100)
검색 이유	학생들에게 설명을 해주기 위해	45(40.9)	110(100)
	학생의 질문에 답을 해주기 위해	12(10.9)	
	개인적인 궁금증 해결을 위해	52(47.3)	
	기타	1(.9)	
검색 경로	관련 도서	58(52.7)	110(100)
	인터넷 검색	41(37.3)	
	동료 교사 혹은 관련 분야 전문가	11(10.0)	
	관련 분야 전문가의 알기쉬운 설명	46(41.8)	
보완되어야 할 점	관련 도서	22(20.0)	110(100)
	여러 가지 과학 자료 (과학 뉴스, 생활 속 과학자료 등)	39(35.5)	
	기타	3(2.7)	

35.5%의 교사들은 기본물리상수에 대한 내용을 담은 여러 가지 과학자료—과학사, 최신 과학 뉴스, 생활 속 과학자료—의 보완으로 응답하였다. 또한 물리상수의 여러 자료 중에서도 물리상수를 얻는 방법, 실험의 과정과 정확하게 결정되기까지의 역사적 변천에 관련한 자료가 보완되어야 할 것을 기타의견으로 제시하였다.

## 2. 학습 및 학습 효과에 대한 인식

교사들의 기본물리상수의 학습 및 학습 효과에 대한 인식을 알아보기 위해 학습 실태, 중요성 인식, 학습내용의 수준과 분량, 학습 효과에 대한 질문을 하였다. 첫 번째는 현재 교사들이 수업시간에 학생들에게 기본물리상수에 대해 설명해주는가에 대한 학습 실태를 파악하기 위한 문항으로 그 결과는 <표 13>에 나타내었다. 연구에 참여한 교사의 72.6%에 해당하는 90명의 교사가 수업중 학생들에게 기본물리상수에 대한 설명을 하고 있었다.

설문에 응답한 교사들이 학생들에게 제공하고 있는 기본물리상수에 대한 설명은 물리상수에 대한 교사의 인식 수준에 따라 교수 내용의 수준이 달라진다고 인식하고 있었다.

“제가 능력이 되고, 제가 이해하고 있는 거는 한번씩 언급을 하는 편이에요. 내가 잘 알고 있는 거는 더 설명해주고, 모르는 거는 괜히 설명하면 안 하니만 못하니까.(웃음) 상수에 대해 설명을 다 한다고는 할 수 없을 거 같아요.” (라 교사)

두 번째 질문은 기본물리상수 학습의 중요성에 대한 교사들의 인식을 알아보기 위한 것이다. 기본물리상수 학습에 대한 중요성을 전체 교사의 62.9%에 해당하는 교사들이 인지하고 있었으며 물리상수에 대한

학습이 물리를 공부하는 학생에 있어서 중요하다는 것을 교사들이 인식을 하고 있었다. 그러나 그 중요성을 학생들에게 인식시키는 것이 쉽지는 않다고 말하고 있다(가 교사). 또한, 학생들이 기본물리상수의 중요성을 인식하지 못하는 이유는 기존의 학습 방법이 기본물리상수의 의미와 탐구 방법 보다는 상수 그 자체의 값과 단위를 암기하고, 그 값을 문제 해결에 이용하는 활동이 대부분이라는 점을 지적하기도 하였다(가 교사).

바 교사는 물리상수에 대해 학부 과정에서 배웠음에도 불구하고 수업중 학생들에게 설명하기에는 물리상수의 개념에 대한 교사 본인의 인식 수준이 낮기 때문에 어려움이 있으며, 라 교사는 물리상수까지 가르치기에는 기존의 물리 II 교과와 학습량이 많기 때문에 물리상수의 내용을 집중해서 가르칠 수 없음을 덧붙여 말하였다. 마 교사는 학교에서의 시행하는 평가 유형 자체가 물리상수의 세부내용을 알아야 풀 수 있는 것이 아니라 그 물리상수의 값을 이용해 정량적으로 푸는 문제가 출제 되고 있기 때문에 학생들에게 직접적으로 교수하고 있지는 않지만 기초학문을 배우는 학생들에게 물리상수의 학습이 병행되는 것에 대해 긍정적인 반응을 보였다.

기본물리상수의 학습 및 학습 효과에 대한 세 번째 질문은 기본물리상수에 대한 교과서 또는 교사의 설명이 학생들이 만족할 수 있을 만큼 충분한지를 묻는 것이었다. 그리고 탄생배경 및 측정실험, 물리적 의미와 같은 세부적인 내용이 교과서 내용에 포함되는 것에 대한 교사들의 생각을 확인해 보는 것이었다. <표 14>를 통해 알 수 있듯이 현재의 학습 내용에 대한 부분은 설문에 응한 교사의 37.9%가 기본물리상수에 대한 학습내용이 학생들이 만족할 수 있을 만큼 충분하지 않다고 생각하고 있었다. 또한 물리상수에 대한 세부적인 내용이 학습내용으로서 교육과정이나 교과

표 13  
기본물리상수에 대한 학습 실태 및 중요성

단위: 명(%)

문항 내용	응답 내용					전체 응답수
	매우 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다	
기본물리상수에 대해 설명을 해주는 편이다.	1 (.8)	7 (5.6)	26 (21)	75 (60.5)	15 (12.1)	124 (100)
기본물리상수에 대한 학습이 중요하다고 생각한다.	2 (1.6)	8 (6.5)	36 (29)	57 (46)	21 (16.9)	124 (100)

서의 내용에 포함되는 것에 대해서 57.3%의 교사가 긍정적인 반응을 보였다.

이 두 문항에 대해 면담에 참여한 교사들은 여러 의견들을 제시하였다. 다 교사는 교과서에 읽을거리로서 기본물리상수에 관련한 내용이 포함되면 훨씬 학생들의 학습에 있어 긍정적으로 도움이 되겠지만 자세한 내용이 포함되면 학생들에게 부담을 주게 되므로 학생들에게 역효과가 날 가능성이 있다고 하였다. 가 교사는 현 교육과정상 현재의 교과서 수준이나 교사의 설명이 적절하게 제시되고 있는 것이 옳은 것이며 더 자세한 설명을 하면 교육과정을 벗어나게 되는 것이라고 하였다. 나 교사는 현재의 교육내용보다 전문적으로 깊게 들어갈 경우 학생들의 흥미를 떨어뜨리게 될 가능성이 있을 것이라는 이야기를 하였다.

네 번째는 기본물리상수의 학습 효과를 세 가지 측면—호기심 및 동기유발, 관련 물리개념의 이해, 학업성취도—으로 나누어서 교사들의 인식을 확인해보는 것으로 그 결과는 <표 15>에 나타내었다. 기본물리상수의 학습이 호기심 및 동기 유발에 효과적인 것인가에 대한 질문에 대해 설문에 참여한 전체 교사수의 절반이 넘는 56.4%의 교사가 도움이 될 것이라고 응답하였다.

바 교사는 과학사를 이용하여 물리상수를 설명해

준다면 학생들에게 부담 없이 다가갈 수 있기 때문에 물리에 대한 호기심이나 동기 유발에 도움이 될 것이라고 설명한다.

기본물리상수와 관련되어 있는 물리 개념을 이해하는데 물리상수의 학습이 도움이 되겠는가에 대해서는 전체 교사의 70.2%에 해당하는 87명의 교사가 도움이 될 것이라는 생각을 가지고 있었으며, 면담에 참여한 6명이 교사들 역시 도움이 될 것이라는 긍정적인 반응을 보여주었다. 나 교사는 물리 개념의 완벽한 이해를 위해서는 기본물리상수의 인식은 필수적이라고 하였으며, 마 교사는 기본물리상수와 관련된 개념을 이해하고 있다면 관련 법칙을 좀 더 수월하게 이해할 수 있을 것이라고 말하였다.

기본물리상수의 학습이 물리 교과의 학업성취도 향상에 도움이 될 것인가에 대한 문항에 대해 설문 결과와 같이, 기본물리상수의 학습이 물리의 개념을 이해하는 것에는 도움이 되겠지만, 학업성취도와 관련지어 봤을 때 상수는 이미 문제에 주어져 나오는 값이고 그 값을 이용하여 공식에 대입해서 해결만하면 되기 때문에 굳이 배경지식을 알지 않아도 될 것이라는 서로 유사한 이유를 제시하며 교사들은 물리상수의 학습과 물리 교과의 학업성취도 사이에는 상관관계가 없을 수도 있다는 점을 지적하고 있다. 이는 평가 영

**표 14**  
기본물리상수 관련 학습 내용의 수준과 분량에 대한 인식

단위: 명(%)

문항 내용	응답 내용					전체 응답수
	매우 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다	
물리상수의 학습 내용이 학생들이 만족할 수 있을 만큼 충분하다고 생각한다.	1 (.8)	46 (37.1)	37 (29.8)	32 (25.8)	8 (6.5)	124 (100)
물리상수의 세부적인 내용이 정규 수업 또는 교과서에 포함되기를 원한다.	3 (2.4)	11 (8.9)	39 (31.5)	58 (46.8)	13 (10.5)	124 (100)

**표 15**  
기본물리상수의 학습 효과

단위: 명(%)

문항 내용	응답 내용					전체 응답수
	매우 그렇지 않다	그렇지 않다	보통이다	그렇다	매우 그렇다	
물리상수에 대한 학습이 호기심과 동기 유발에 효과적일 것이라 생각한다.	2 (1.6)	13 (10.5)	39 (31.5)	54 (43.5)	16 (12.9)	124 (100)
물리상수에 대한 학습이 관련 물리 개념을 이해하는데 효과적일 것이라 생각한다.	2 (1.6)	6 (4.8)	29 (23.4)	63 (50.8)	24 (19.4)	124 (100)
물리상수에 대한 학습이 물리 교과의 학업성취도 향상에 도움이 될 것이라 생각한다.	5 (4.0)	53 (42.7)	24 (19.4)	36 (29.0)	6 (4.8)	124 (100)

역에서 기본물리상수가 수학적 계산을 위한 값으로 주로 활용되고 있다는 한계에 기인한다. 다시 말해 기본물리상수는 물리의 개념을 이해시키는데 여러모로 활용될 수 있음에 비해, 평가에서는 기본물리상수를 통한 개념의 확인 보다는 수학 공식에의 활용에만 제한적으로 이용되고 있어 앞으로 학습평가에서 다양하게 활용되어야 함을 알 수 있다.

다음으로 기본물리상수의 구성요소 중 물리 교사로서 알아야할 물리상수에 대한 내용 지식과 교사의 관점에서 본 고등학생이 알아야할 물리상수에 대한 내용지식을 비교해보았다. 본 문항은 다중응답이 가능한 문항으로 빈도분석을 하여 응답 비율이 높은 순으로 그 구성요소의 중요도를 판단하였으며, 그 결과는 <표 16>에 나타내었다.

물리교사에게 요구되는 물리상수에 대한 인식 범위를 묻는 문항에 물리상수의 구성요소 중 물리상수의 물리적 의미, 단위, 탄생배경 및 측정실험, 기호, 크기, 차원, 수치의 순으로 응답 빈도수가 많았고, 이것은 자연계 고등학생에게 요구되는 인식 범위와 약간의 차이를 보이고 있다. 교사들에 대한 요구가 대체적으로 70%이상을 나타내는 것으로 보아, 물리교사는 기본물리상수의 구성요소에 대해 전반적으로 인식하고 있어야함을 의미하는 것으로, 그 중에서도 96%에 해당하는 119명의 교사가 선택한 상수의 물리적 의미는 물리교사로서 학생들을 지도하기 위해서 인지하고 있어야 할 필수적 요소인 것으로 보인다. 면담에 참여한 6명의 교사의 응답 역시 설문 결과와 비슷한 반응을 나타내었다.

그러나 교사의 관점에서 본 자연계 고등학생에게 요구되는 인식 범위를 보면 물리교사에게 요구되는 인식 범위와 달리 물리적 의미, 단위, 기호가 다른 구성요소에 비해 높은 응답 비율을 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 이 3가지 구성요소는 물리학을 학습하는

학생 또는 앞으로 이공계로 진학하게 될 학생으로서 인식하고 있어야하는 부분이지만, 수치와 크기는 문제를 풀 때 주어지는 값이므로 학생들이 인식하고 있어야 할 필수 요소는 아니라고 한 바 교사의 응답과 맥락을 함께 한다고 볼 수 있다. 또한 바 교사는 탄생배경 및 측정실험은 학생들에게 하나의 읽을거리로서 주어져야 할 것이지, 학생들이 명확하게 인지하고 있지 않아도 큰 문제가 될 것이 없을 것이라 덧붙여 이야기 하였다. 기본물리상수의 구성요소 중 차원의 개념은 현재의 7차 교육과정에 없으므로 다른 요소들에 비해 그 중요성이 떨어지는 것으로 보인다.

그리고 물리 전문가들이 제시한 물리중요도 순서(<표 9> 참조)와 비교해 볼 때, 물리적 의미를 우선 순위에 놓은 것은 동일하나 교사들은 물리상수의 단위에 상당히 무게를 두고 있어서 탄생배경이나 측정실험을 차 순위에 둔 물리 전문가들의 생각과는 차이가 있다.

#### D. 기본물리상수의 교육적 활용 현황

연구에 참여한 교사들은 현재 모두 기본물리상수에 대해 학생들에게 가르치고 있었으나 교사들의 교수 방식에는 약간씩 차이가 있음을 알 수 있었다. 이에 교사들의 응답을 세 가지의 교수방법으로 구분할 수 있었다. 첫 번째는 개념만 확인하고 넘어가는 수준의 간략한 교수방법, 두 번째는 기본물리상수를 통한 어림활동 교수방법, 세 번째는 과학사를 이용한 교수방법이다.

첫 번째 교수 방법은 가 교사와 라 교사가 주로 사용하는 것으로, 기본물리상수에 대한 세부적인 내용은 언급하지 않고 교과서에 제시된 물리상수의 내용 수준에 맞추어 간단하게 소개하여 학생들이 잠깐 주목을 할 수 있도록 지도하는 것이다. 가 교사와 라 교사는 기본물리상수에 대해 자세히 설명을 해줄 경우

**표 16** 물리교사와 자연계 고등학생이 알아야할 기본물리상수에 대한 내용 지식

단위: 명(%)

문항내용	응답 내용						
	수치	크기	단위	차원	기호	탄생배경/ 측정실험	물리적 의미
물리교사가 알아야할 내용 지식	88 (71.0)	96 (77.4)	118 (95.2)	89 (71.8)	100 (80.6)	107 (86.3)	119 (96)
교사의 관점에서 본 자연계 고등학생이 알아야할 내용지식	49 (38.7)	66 (54.0)	95 (74.2)	49 (41.1)	87 (70.2)	49 (45.2)	103 (80.6)

학생들이 상수값을 암기하려고 하며, 그로 인해 물리 교과에 대한 흥미가 떨어질 가능성이 있고 또한 물리 상수의 세부 내용이 포함되면 어려워질 수 있다는 이유를 들어 물리상수에 대한 설명은 간단한 소개에 그치고 기본물리상수가 나와도 그리 집중하지 않는다고 하였다.

두 번째 교수방법을 사용하는 나 교사와 마 교사는 기본물리상수의 교수 방식에 대한 연구자의 질문에 다음과 같이 응답하였다.

“저는 설명을 한다든지 문제를 풀어줄 때 기본물리 상수 값 중에서도 뒤에 붙는 차수를 한 번씩 보게 해요. 그 값을 보면 어느 정도의 크기인지 대충 감이 오잖아요. 그럼 나중에 쿨롱 상수라든지 그런게 나왔을 때 다시 이야기하면서 대소비교를 할 수 있게. 예를 들어서 음, 전기력이랑 만유인력 비교를 하게 한다든지. 그냥 버릴 수 있는 내용을 이렇게 이용하는 거예요. 주어진 값을 보고 어느 정도의 스케일인지, 그게 무슨 의미가 있는지를 파악할 수 있게. 사실 수능도 상수를 대입하고 계산하고 그렇게 만나오니까. 물리에 대한 감을 잡을 수 있게 가르쳐요.” (나 교사)

“수치도 소수점 몇 째 자리까지 그렇게 정확히는 몰라도 될 거 같고, 수치같은 거보다는 스케일정도는 알아야 될 거 같아요. 10의 몇 승 정도의 스케일인가. 아 차원하고, 차원을 알면 단위도 이해하는 거니까. 저는 차원이 교과서에는 나오지 않지만 개인적으로 가르치거든요. 이과 애들한테. (중략) 예를 들면, 플랑크상수 설명 할 때 뭐 플랑크상수가 갖는 의미하고, 그 뒤에 지수가  $10^{-34}$ 이니까 얼마나 작은가 정도를 좀 강조해 주면 이제 양자개념을 설명할 때 조금 감이 올 수도 있으니까 그걸 좀 강조하는 편인데, 보면 애들 중에도 관심 있게 듣는 애들은 꽤 있는 거 같아요.” (마 교사)

나 교사와 마 교사는 기본물리상수의 구성요소 중에서도 ‘크기’에 집중하여 교수한다고 이야기 하였다. 교수-학습 상황에서 학생들이 기본물리상수의 크기에 집중하게 하여 물리적 의미를 파악하고 물리적 감각을 키울 수 있도록 지도한다는 교사들의 교수방법을 통해 연구자는 송진웅과 김혜선(2001)이 주장하

는 어림활동과 유사한 점이 있다는 것을 발견하였다. 송진웅과 김혜선은 어림을 측정 가능한 어떤 양에 대해 사용한 근거 또는 증거를 바탕으로 측정과정을 거치지 않은 채 근사적 값을 구하는 과정으로 정의하고 있으며 그들은 물리학습에 있어 어림은 과학세계와 실세계를 연결을 시켜주며, 물리적 사고의 본질적 측면이며, 자연과학의 정성적 이해를 강조하는 구성주의적 경향과 정량적 값의 결정을 전통적으로 강조하는 대표적인 정밀과학인 물리학의 만남이라고 주장한다. 또한 Khuz(1971)는 어림 활동을 하면서 학생들이 물리량의 값을 경험적으로 이해하고 물리적 감각을 기를 수 있다고 하였고, Schofield(1989)는 측정치에 대한 어림능력은 학생들의 이해정도를 보여주는 것이라 주장하였다. 그러므로 어떤 물리현상을 이해하기 위해서 정확한 계산을 거쳐 정량적으로 접근하기보다, 주어진 상수의 값 또는 다른 물리량들을 통해 정확하게 정량적인 계산을 하지 않더라도 대강의 값 또는 측정값의 크기를 추정해봄으로서 물리적 의미를 생각하지 않고 기계적으로 문제를 해결하는 학생들에게 물리적 현상의 의미를 파악하고 물리적 감각을 키워 물리개념 또는 물리이론을 정성적으로 이해하는데 도움을 줄 수 있는 것이 그들의 주장과 유사한 맥락이라고 할 수 있다.

세 번째는 다 교사와 바 교사처럼 과학사를 이용하여 기본물리상수를 교수하는 방법이다. 과학사와 관련된 교수 방법은 모든 교사들이 언급을 하였음에도 불구하고 직접 사용하고 있는 교사는 다 교사와 바 교사 뿐이었다. 다 교사와 바 교사를 제외한 다른 교사들은 기본물리상수의 지도 방법에 대해 과학사를 이용하여 수업 중 하나의 흐름으로 학생들에게 기본물리상수에 대한 내용이 전달되었으면 좋겠다고 제안을 하였다. 과학사는 지식이 형성되고 검증되는 방법 및 과정을 알게 해 줄 뿐 아니라 그러한 과정이 선택되고 이용되는 사회 문화적 상황을 설명하는 기능을 한다(강경희, 허명, 2005). 또한 Matthews(1994)는 과학의 본성을 이해하고 학생 개인의 사고 발달과 과학적 사고의 발달의 접목 등의 이유를 제시하며 과학사의 교육을 강조하였으며, 훌륭한 과학교사는 과학의 다른 연결 분야에 대한 광범위한 이해를 갖고 다양한 실험 방법을 행할 수 있으며, 논리학자, 철학자이며 동시에 학생들에게 갈릴레오, 뉴턴, 다윈 등과 같은 천재들의 개인적 오류, 삶, 업적들에 대해 이야기 해주

는 역사가라고 묘사하였다.

바 교사는 과학사를 도입하여 기본물리상수를 가르치면 기존의 딱딱했던 물리수업이 좀 더 흥미진진한 물리수업이 될 수 있다고 하였으며, 이러한 수업은 기본물리상수의 과학사로부터 관련 물리개념 또는 물리법칙 등으로 자연스럽게 이어져 학생들의 이해력 향상에 도움을 주며, 폭 넓은 과학지식을 가질 수 있는 수업이 될 것이라고 강조하였다.

다 교사는 물리상수에 따라 다르지만 주로 과학사를 통한 물리상수의 교수방법을 사용한다고 이야기하였고, 교과서에 실험이 제시된 상수인 경우에는 측정 실험에 관련한 내용을 설명하고 있다고 하였다.

면담에 참여한 6명의 교사들의 응답을 분석한 결과 이들은 여러 교수방법을 활용하고 있지만, 공통적으로 나타난 특징은 학생들에게 기본물리상수 학습의 중요성을 강조하지 않는다는 것이었다. 교사들은 개념의 설명 뿐 아니라 물리량의 크기를 파악하여 물리적 감각을 기를 수 있도록 해주고, 과학사를 통해 기본물리상수를 접할 수 있게 해주는 하지만, 수업시간에 물리상수에 대한 부분에는 큰 비중을 두지 않고 있으며 학생들이 쉽게 접근하여 이해하고 지나갈 수 있도록 지도하고 있다고 하였다.

## V. 결론 및 제언

기본물리상수는 물리학에서 이정표로서 학문의 발전에 중요한 역할을 한다. 또한, 기본물리상수를 알아내는 과정 자체가 과학 탐구의 과정이기도 하다. 이런 점에서 고등학교 물리 교과서를 비롯하여 물리교재에서 중요하게 다루어지고 있으며, 교사들 역시 그 중요성을 인식하고 있었다. 이에 본 연구에서는 기본물리상수의 교육적 활용 방안을 탐색하기 위하여 문헌연구를 바탕으로 기본물리상수에 대한 교사 인식 및 교육적 활용 현황을 조사하였다.

먼저 기본물리상수에 대한 정보를 수치, 크기, 단위, 차원, 탄생배경 및 측정 실험, 물리적 의미로 구분하고 각 요소별 내용을 정의하였다. 면담에 참여한 교사들의 면담 내용에서 기본물리상수를 이용한 교수전략이 학생들의 호기심을 자극하고, 물리라는 학문이 암기의 대상이 아니라 탐구의 과정인 동시에 그 의미를 받아들이는데 도움이 될 것이라는 기대를 만족하기 위해서는 기본물리상수를 교수하는데 있어서 상수

의 탄생배경 및 탐구 실험 과정, 나아가 그 상수가 지니는 물리적 의미로 접근할 필요가 있다.

각 상수별로 강조되어야 하는 요소가 무엇인지를 고려하여 고등학교 물리 교과서의 내용을 분석하였다. 분석 결과 만유인력 상수, 기본 전하량을 제외하고는 대부분의 상수에 대한 기술이 수치, 크기, 단위에 한정되어 있음을 알 수 있었다. 그리고 계층적 분석과정을 통해 각 요소의 상대적 중요도를 고려하여 교사들의 물리 상수에 대한 인식 수준을 계량화하여 기본 물리 상수별, 요소별 인식 수준을 측정하였다. 설문 조사에 의하면 고등학교 물리 교과서에 나오는 대표적인 기본물리상수 10개에 대해 고등학교 물리 교사는 기본 전하량에 대해 5.31/6.00으로 가장 높은 인식 수준을 보였고, 루드베리 상수에 대해 2.78/6.00으로 가장 낮은 점수를 보였다. 과학 교과서의 내용을 살펴보다라도 기본 전하량과 관련하여 원자의 구조와 관련하여 밀리컨의 기름방울 실험 과정이 비교적 자세하게 다루어지고 있는 반면에, 루드베리 상수와 관련한 빛의 스펙트럼에 대한 내용은 간단하게 언급되어 있다. 그러나 루드베리 상수가 보어의 원자모형에 주는 의미나 빛에너지의 양자화와의 관련성을 고려하면, 루드베리 상수의 물리학적 의미에 대한 내용을 제공할 필요가 있다.

그리고 과학 지식적 측면에서의 인식 수준이 교수 효능감에 영향을 준다는 교사 면담 내용을 고려할 때, 교사들의 각각의 기본물리상수에 대한 인식의 중요성이 더욱 강조된다. 따라서 교사 스스로의 관심과 더불어 교사들에게 기본물리상수를 구성하는 또 다른 측면으로서 과학자들의 탐구 과정과 노력, 물리학에서의 의미 등의 내용이 강조될 필요가 있다.

교사들 역시 면담을 통해 교사용 지도서나 교과서와는 차별되는, 학생들이 참고로 읽을 수 있는 자료집이 필요하다고 생각하고 있었다. 기본물리상수를 중심으로 교과서 내용을 구성하는 데에는 한계가 있지만, 교수-학습 전략으로서 기본물리상수를 이용하여 이를 구성하는 구성요소를 중심으로 기본물리상수가 갖는 의미를 찾아가는 과정이 학생들에게 과학 탐구의 방법으로서 활용될 수 있을 것이다.

특히 기본 물리 상수의 정보를 구성하는 요소 중 물리 전문가들은 물리적인 의미와 탄생배경 및 측정 실험을 중요시한 반면, 물리교사들은 물리적 의미와 함께 단위도 물리 교사나 학생들이 중요하게 알아야

할 요소로 의견을 주었다. 실제로 교사의 인식수준에서도 물리 상수의 단위를 제일 잘 인식하고 있었으며 측정 실험에 대한 인식수준은 상당히 낮았다.

마지막으로 면담 조사를 통해 교사의 교수 전략을 기본물리상수의 개념만 간략하게 소개하는 교수 전략, 개념 설명에서 더 나아가 기본물리상수를 이용한 어림 활동을 지도하는 교수 전략, 과학사적인 도입을 통해 기본물리상수를 탐구하는 과정을 강조하는 교수 전략으로 구분할 수 있었다. 전략을 선택하는데 있어 교사 자신의 배경 지식을 이유로 설명하기도 하지만, 교과서에서 제공하는 내용의 범위나 시간상의 한계를 말하기도 하였다. 모든 기본물리상수를 교수하는데 있어서 이를 구성하는 6개 구성 요소를 강조하는 데는 물리적 한계, 내용적 중요도의 차이가 존재한다. 따라서 계층적 분석과정을 통해 제안하고 있는 중요도에 따라 선택적으로 강조할 구성 요소를 선정할 수 있을 것이다. 또한, 과학 탐구의 과정을 교수하는데 있어 기본물리상수를 활용하는 전략을 사용할 수 있다.

## 국문 요약

본 연구는 기본물리상수의 교육적 활용 실태를 탐색하기 위하여 문헌연구를 통해 기본물리상수를 구성하는 구성요소로 수치, 크기, 단위, 차원, 탄생배경 및 측정실험, 물리적 의미를 제안하고, 각각의 측면에서 고등학교 물리 교과서의 내용을 분석하였다. 나아가 계층적 분석과정(Alytic Hierarchy Process, AHP)을 통해 각각의 기본물리상수 별로 강조되는 구성요소의 상대적 중요도를 결정하였다. 이를 바탕으로 기본물리상수에 대한 고등학교 물리교사들의 인식 수준을 알아보기 위해 검사도구를 개발하여 서울, 경기, 인천 소재 고등학교 물리교사 124명을 대상으로 기본물리상수에 대한 인식 수준과 교수-학습에의 적용에 대한 인식을 설문조사하였다. 또한, 설문 내용에 대한 심층적인 이해와 구체적인 교수 전략을 알아보기 위하여 교사 6명과의 면담을 시행하였다. 면담 결과 교사들의 기본물리상수에 대한 인식과 구체적인 교육적 활용 실태를 알 수 있었다.

## 참고 문헌

강경희, 허명 (2005). 과학사 도입 수업이 과학성

취도와 태도에 미치는 효과 - 7학년 '생물' 영역을 중심으로. 한국과학교육학회지, 25(7), 765-772.

김재영 역(2000). Saichou, T. (1997). 물리 상수는 어떻게 생겨났을까. 도서출판 아카데미서적.

권순애 (2009). 중학교 과학 교과서에 나오는 유도단위에 대한 9학년 학생들의 이해도. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위 논문.

박종철 (1989). 기본물리상수와 측정표준. 측정표준, 12(1), 6-10.

브리태니커 백과. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/458656/physical-constant>

서정아, 박승재 (2003). 중학생의 속력과 밀도에 대한 어림 및 측정활동이 관련사항 이해와 능력함양에 미치는 영향. 새물리, 46(6), 305-313.

송진웅, 김혜선 (2001). 기본물리량 어림의 정확성 및 방법에 대한 탐색. 한국과학교육학회지, 23(3), 229-238.

이성묵 (1988). '태양상수 측정' 지도의 의의와 방법 -사범대학과 고등학교 교육 및 산업분야 응용을 연관시킨 물리교과 내용 개발의 한 모형. 한국과학교육학회지, 8(1), 73-79.

이은지 (2007). 제 7차 교육과정에 따른 중·고등학교 과학교과서의 STS 내용분석 - 생물영역을 중심으로-. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위 논문.

이충희 (1989). 기본물리상수와 첨단기술. 측정표준, 12(1), 2-4.

Born, M. (1943), Experiment and Theory in Physics, Cambridge University Press, p.44.

Karshenboim, S G. (2005a). Fundamental physical constants: Looking from different angles. Canadian Journal of Physics, 83(8), 1, 767-811.

Karshenboim, S. G. (2005b). Fundamental physical constants: Their role in physics and metrology and recommended values. Physics-Uspokhi, 48(3), 255.

Khuz, K. S. (1971). Visualizing large numbers. American Journal of Physics, 39, 452.

Matthews, M. R. (1994). Science Teaching: The Role of History and Philosophy of Science. New York: Routledge.

Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process, *European Journal of Operational Research*, 48, 9-26.

Schofield, B. (1989). Use of apparatus and measuring instruments. In Dept. of Education

& Science, *Science at Age 13: A Review of Assessment of Performance Unit Survey Findings, 1980-84*, (pp. 55-74). London: Her Majesty's Stationery Office Books.