확! 달라진 고등학교 물리교육

DOI: 10.3938/PhiT.21.010

안 종 제

A Very Different High-school Physics Education

요 약

Jongjae AHN

Published in 2009, the high-school physics curriculum's contents have changed very much. In Table 3(Physics I) and Table 9(Physics II), the changes are shown. Whoever teaches or learns physics and whoever evaluates an ability in physics must know the elements of teaching and assessing in the new curriculum. Topics covered in the new textbook have increased greatly, but the number of lessons to teach those topics has not. Thus, lessons must deal with only qualitative information (Physics I) or only basic concepts (Physics II). I propose a change in assessment to increase the number of simple questions asking about simple knowledge (Physics I) or using a basic formula (Physics II). The amount of knowledge treated in the physics course has increased, but it does not fit with the sense of these times. The focus of instruction is changing to a core-competencies-based instruction from knowledge-based training. Therefore, the education community and the scientific community should pool their wisdom to create a synergistic effect in the future.

저자약력

안종제 교사는 교사 경력 28년차이며, 현재 서울소재 공립 고등학교 교사(1987~)로서, 서울대학교 사범대학 물리교육학 석사(2004) 학위 취득 후, 같은 대학 박사과정을 수료(2008)했다. 그 외에 한국교육과정평가원 파견 근무(2006, 2007), 과학 교과서 집필(2001), 물리 교과서 집필(2010, 물리 I, 물리 II), 수석교사(2009, 2010) 활동 및 각종 국가수준 시험문항 출제 및 검토, 교사연수 강사(2011년, 19회) 등의 활동을 하였다. 요즘도 마이크로프로세서를 납땜하고 프로그래밍해서 무언가를 만드는 걸 꿈꾼다.

(jj504@dreamwiz.com)

2009년에 발표된 고등학교 물리 과목의 교육과정은 그 내용이 큰 폭으로 바뀌었다. 바뀐 내용은 표 3(물리 I), 표 9(물리 II)와 같다. 물리를 가르치거나, 배우거나, 실력을 평가해야 하는 사람은 새 교육과정으로 학생들이 배우게 될 수업의 요소와 평가 요소들을 알고 있어야 한다. 교과서가 다루는 내용 요소의 수는 큰 폭으로 늘어났으나 그것을 가르칠 시간 수는 그 정도로 늘어나지 않았다. 그래서 수업은 정성적인 내용만을 다루거나(물리 I) 기본적인 개념만을 다루어야 한다(물리 II). 평가방법은 단순한 지식을 묻는 문항의 수를 늘리거나(물리 I) 기본 수식들을 제공하는 시험 방식(물리 II)을 제한한다. 물리 과목이 다루는 지식의 양이 많아졌다. 이러한 변화는 지식 중심 교육에서 핵심역량 중심으로 수업의 초점이 옮겨가는 시대 상황과 맞지 않는 부분이 있다. 따라서 앞으로 교육계와 과학계가 시너지 효과를 발생시킬 수 있는 지혜를 모아야 한다.

2009 교육과정에서 고등학교 물리 과목(물리 I, 물리 II)이 큰 폭으로 달라졌다. 따라서 물리를 가르치거나 배워야 하는 사람은 그 내용에 대하여 알아야만 할 것이다. 그 밖에도 물리에 관한 능력을 평가해야 하는 사람도 학생들이 어떻게 배울 것인지 알아야 적절한 평가 문항을 만들 수 있을 것이다. 필자는 2012년 3월부터 새 교과서로 학생들을 가르쳐야 하는 교사이므로 어떻게 가르쳐야 할 것인지에 대해서 고민해 보았다. 특히 교육과정이나 교육과정 해설서의 전문을 읽어볼 분들에게 도움이 될 수 있도록 노력하였다.

무엇을 배우게 되는가? (물리 I)

교육과정에서 가장 중요한 내용은 표 1과 같이 가르쳐야 할 내용을 명시해 놓은 부분이다.

이러한 문장만으론 어떻게 가르쳐야 하는지 해석할 때 큰

Table 1. Some of the curriculum (Physics I, Chapter 1.2: a new understanding of space and time, front part). [교육과정의 일부(물리, 단원명: 시공간의 새로운 이해, 앞부분)]

- ① 행성의 운동에 대한 케플러 법칙이 뉴턴의 중력 법칙을 만족하는 것을 이해한다.
- ② 빛의 속도일정, 시간지연, 길이수축, 동시성, 질량-에너지 동등성 등 특수상대성이론의 기본원리에 대해 이해한다.

차이가 날 수 있기 때문에 교육과정 해설서에선 표 2와 같은 설명을 제시한다.

표 1과 표 2만 읽으면 이제 고등학교에서 특수상대성 이론은 배우고 졸업하는 것으로 생각하는 사람이 있을 것이다. 또 어느 물리 교사는 30년 전 쯤 교과서에 있었던 상대성 이론을 재미있게 구성하여 수업할 내용을 구상할 수도 있을 것이다. 그러나 보다 현실성 있는 수업 내용을 알아보기 위해선 가르쳐야 할 분량을 계산해보는 것이 도움이 될 것이다.

물리 I에서 가르치려는 내용 요소를 표로 정리하면 표 3과 같다.

인문계 고등학교의 경우 표 3의 내용을 주당 4~6시간으로 한 학기 동안 가르칠 수 있으나 대부분의 학교는 4~5시간으로 실시할 예정이다. 이때 주당 2시간씩 두 학기 동안 가르치는 경우는 여기서 논의하려는 것에 아무런 영향을 주지 않으므로 논외로 한다. 한 학기는 최대 17주이나 학교 행사나 정기 고사 등의 이유로 실제 수업은 15주 60~75시간으로 이루어진다고 봐야 한다. 따라서 3시간에 내용 요소 2개를 가르치거나 2시간에 내용 요소 1개를 가르쳐야 누락된 내용 없이 진도를 나갈 수 있다.

Table 2. Some of curriculum Cookbook (The corresponding part of table 1, in the 50 minute lessons 3 or 4 times worth). [교육과정 해설서의 일부(표 1에 해당하는 부분, 50분 수업 3~4시간 분량)]

- ① 행성의 운동에 대한 케플러 법칙을 소개하고 뉴턴의 중력 법칙을 알게 하며, 그 과학사적 의미를 이해하게 한다. 그리고 케플러 법칙이 중력 법칙으로 설명될 수 있음을 알게 한다.
- ② 특수상대론이 나오게 된 역사적인 배경과 함께 마이컬슨-몰리 실험을 소개하고, 빛의 속도 일정법칙 등 특수상대론의 기본가설을 이해하게 한다. 공간의 상대성과 시간의 상대성을 도입하고, 특수상대성이론에서 나타나는 현상인 시간지연, 길이수축, 동시성, 질량-에너지 동등성을 소개하고, 이를 뒷받침하는 관측이나 실험의 예를 제시한다.

‘운동량과 충격량’의 경우 이전 교육과정에선 ‘힘과 작용시간의 효과’, ‘충격량과 운동량의 변화’, ‘운동량의 보존’으로 나누어 세 시간에 걸쳐서 지도하던 내용이다. 따라서 이전 교육과정에서 가르치던 내용과 비슷한 내용으로 가르치선 교과서를 다 가르칠 수 없다. 2014년부터 표 3과 같은 내용으로 대학수학능력시험도 치러지게 된다. 그때 출제위원들은 교육과정 해설서를 참고하여 표 2와 같은 내용을 50분 수업 3~4시간 정도에 걸쳐서 배운 학생들임을 감안하여 매우 기본적인 내용으로 정성적인 내용을 묻는 문제를 제작해야 할 것이다.

만일 2014년 대학수학능력시험의 난이도가 기존의 시험처럼 어려우면 전국의 물리교사는 학생이 듣건 말건 일방적으로 교과서 내용을 떠들게 되는 매우 파분한 강의식·주입식 수업을 해야 할 것이다. 학생들은 아마도 물리 수업 시간에 외워야 할 내용이 많아서 수업 시간에 매우 불성실한 자세로

Table 3. Elements of Content (Physics I). [물리 I의 내용 요소]

영역		내용 요소 (42개)
시공간과 우주	시간, 공간, 운동	시간의 측정과 표준, 길이의 측정과 표준, 뉴턴 운동법칙, 운동량과 충격량, 역학적 에너지 보존 법칙
	시공간의 새로운 이해	중력의 발견, 상대성 이론, 블랙홀과 중력렌즈, 우주 모형, 4가지 상호작용과 기본입자
물질과 전자기장	전자기장	전기장과 전기력선, 정전기 유도와 유전 분극, 자기장과 자기력선, 유도전류와 패러데이 법칙
	물질의 구조와 성질	에너지 준위와 빛의 방출, 에너지띠 이론, 반도체, 신소재
정보와 통신	소리와 빛	음파와 초음파, 화음과 소음, 마이크와 전기신호, 광전효과와 광센서, 색채 인식과 영상장치
	정보의 전달과 저장	전자기파의 스펙트럼, 안테나와 무선통신, 광케이블, 교류와 신호조절, 정보저장장치
에너지	에너지의 발생	기전력, 전기 에너지, 발전기, 핵발전, 핵융합과 태양에너지, 태양전지, 여러 가지 발전
	힘과 에너지의 이용	힘의 전달과 돌림힘, 힘의 평형과 안정성, 유체의 법칙, 열역학 법칙과 열기관, 열전달, 상태변화와 기상현상, 전기에너지 이용

Table 4. The goal of the subject Physics I. [물리Ⅰ 과목의 목표]

자연 현상에 대하여 흥미와 호기심을 가지고 탐구하여 물리학의 기본 개념을 이해하고, 과학적 사고력과 창의적 문제 해결력을 길러 자연 현상에 대한 이해와 문제 해결에 필요한 과학적 소양을 기른다.

가. 물리학의 기본 개념을 이해하고, 자연 현상의 탐구와 일상생활의 문제 해결에 이를 적용한다.

나. 과학의 본성에 맞추어 자연을 탐구하는 능력을 기르고, 일상생활의 문제 해결에 이를 활용한다.

다. 자연 현상에 흥미와 호기심을 가지고, 자연 현상과 관련된 문제를 창의적으로 해결하려는 태도를 기른다.

라. 과학·기술·사회의 상호 관계를 인식한다.

Table 5. Elements of instruction for Physics I (a suggestion). [물리Ⅰ 수업의 요소(안)]

1. 기본 개념의 소개와 정성적 이해
2. 기본 개념의 근거가 되거나 관련된 물리적 현상들
3. 물리적 현상에 대하여 기본 개념을 사용한 토론(대화)이나 글쓰기 활동

Table 6. Elements of assessment for Physics I (a suggestion). [물리Ⅰ 평가의 요소(안)]

1. 기본 개념과 설명을 짚짚는 객관식 문항이나 직접 적는 단답형 주관식 문항
2. 기본 개념과 관련된 자연 현상을 바르게 연결할 수 있는지 알아보는 문항
3. 제시된 자연 현상을 보고 관련된 기본 개념을 이용하여 설명할 것을 요구하는 문항

임할 것이 분명하다. 그와 반대로 학원은 제법 수요가 있을 것으로 예상된다. 학교 수업 시간에 도저히 이해할 수 없는 내용과 분량이 진행되기 때문이다.

이상과 같은 문제들은 물리Ⅰ 과목의 목표를 이해하지 못하는 경우에 발생할 가능성이 크다.

표 4와 같은 목표를 이룰 수 있는 물리Ⅰ 수업은 기본 개념 중심의 대화가 많이 오고 가는 모습을 띠어야 할 것이다. 따라서 물리Ⅰ 수업은 표 5와 같은 요소를 갖추어야 할 것이다.

물리Ⅰ 수업을 이수한 학생의 학업성취 정도를 평가하려면 평가 문항은 크게 표 6과 같은 요소를 고르게 갖추어야 한다.

Table 7. Some of the curriculum (Physics II, Chapter 1.1: force and motion, front part). [교육과정의 일부(물리Ⅱ, 단원명: 힘과 운동, 앞부분)]

- ④ 2차원에서 운동량 보존 개념을 이용하여 충돌 현상을 설명할 수 있다.
- ⑤ 가속좌표계 안에서 관성력을 도입하여, 가속좌표계 안에서의 물체의 운동을 설명할 수 있다.

Table 8. Some of curriculum Cookbook (The corresponding part of table 7, in the 50 minute lessons 3 or 4 times worth). [교육과정 해설서의 일부(표 7에 해당하는 부분, 50분 수업 3~4시간 분량)]

- ④ 외력이 작용하지 않는 상태에서 두 물체 사이에 충돌이 일어날 때의 운동량 보존을 이해하게 한다. 운동에너지가 보존되는 2차원 탄성충돌에서 두 물체가 충돌할 때 물체의 속도가 어떻게 바뀌는지를 알게 한다.
- ⑤ 기준좌표계의 개념을 알게 하고, 뉴턴의 운동법칙이 성립되는 좌표계를 관성계라고 정의함을 이해하게 한다. 이를 바탕으로 비관성계에서 관성력이 도입되는 이유를 알게 하며, 실제 생활에서 경험할 수 있는 원심력, 전향력 등 여러 가지 관성력의 예를 알게 한다.

무엇을 배우게 되는가? (물리Ⅱ)

물리Ⅱ 교육과정의 일부를 소개하자면 표 7과 같다.

이 내용을 어떻게 가르칠 것인지에 대한 규정은 교육과정 해설서에 표 8과 같이 설명한다.

물리Ⅱ의 수업이 어떻게 이루어질지를 상상하는 데에도 가르쳐야 할 분량을 계산해보는 것이 도움이 될 것이다.

물리Ⅱ에서 가르치려는 내용 요소를 표로 정리하면 표 9와 같다.

인문계 고등학교의 경우 표 9의 내용을 주당 4~6시간으로 한 학기 동안 가르칠 수 있으나 대부분의 학교는 4~5시간으로 실시할 예정이다. 따라서 실제 수업은 15주 60~75시간으로 이루어진다고 봐야 한다. 따라서 3시간에 내용 요소 2개를 가르치거나 2시간에 내용 요소 1개를 가르쳐야 누락된 내용 없이 진도를 나갈 수 있다는 점이 물리Ⅰ과 동일한 상황이다.

‘포물선과 원운동’의 경우 이전 교육과정에선 ‘중력을 받아 운동하는 물체의 운동’ 4시간, ‘원운동과 단진동’ 4시간에 걸쳐서 지도하던 내용이다. 비슷한 내용을 2009 교육과정의 물리Ⅱ에선 3~4시간 안에 지도해야 한다. 구체적인 교육과정의 목표는 “지표면 근처에서 일어나는 포물선운동과 원운동을 분석할 수 있다.”로 되어있으니 2시간 동안에 포물선 운동을

Table 9. Elements of Content(Physics II). [물리II의 내용 요소]

영역		내용 요소 (46개)
운동과 에너지	힘과 운동	위치벡터, 힘과 운동법칙, 포물선과 원운동, 운동량 보존, 가속좌표계와 관성력, 단진동
	열에너지	절대온도, 기체운동론, 이상기체 상태방정식, 내부에너지, 열역학 과정, 엔트로피
전기와 자기	전하와 전기장	전위, 전기쌍극자, 평행판 축전기, 전기용량, 유전체
	전류와 자기장	전류에 의한 자기장, 자기선속과 패러데이 법칙, 로렌츠 힘, 자기쌍극자, 자성체, 상호유도, 자체유도, RLC 회로
파동과 빛	파동의 발생과 전달	호이겐스 원리, 정상파와 공명, 굴절과 반사, 회절과 간섭, 도플러 효과와 충격파
	빛의 이용	거울과 렌즈, 광학기기, 엑스선과 감마선, 마이크로파, 레이저, 편광
미시세계와 양자현상	물질의 이중성	플랑크의 양자설, 빛의 입자성, 드브로이 물질파와 입자의 파동성, 전자현미경
	양자물리	불확정성원리, 슈뢰딩거 방정식, 파동함수, 원자모형, 에너지 준위, 양자터널 효과

Table 10. The goal of the subject Physics II. [물리II 과목의 목표]

자연 현상에 대하여 흥미와 호기심을 가지고 탐구하여, 과학기술과 관련된 전공 분야로 진출하는 데 필요한 물리학의 전공 기초 소양을 기른다.

가. 물리학의 개념을 체계적으로 이해하고, 자연 현상의 탐구와 문제 해결에 이를 적용한다.

나. 물리학의 탐구방법을 익히고, 자연 현상 및 첨단기술과 관련된 문제 해결에 이를 활용한다.

다. 자연 현상과 물리학 학습에 흥미와 호기심을 가지고, 자연 현상 및 첨단기술과 관련된 문제를 창의적으로 해결하려는 태도를 기른다.

라. 과학·기술·사회의 상호 관계를 인식한다.

지도하고, 다음 2시간 동안에 원운동을 지도해야 한다. 따라서 물리 I과 마찬가지로 물리 II도 이전 교육과정에서 가르치던 내용과 비슷한 내용으로 가르쳐서 교과서를 다 가르칠 수 없다.

2014년부터 표 9와 같은 내용으로 대학수학능력시험도 치러지게 된다. 그때 출제위원들은 교육과정 해설서를 참고하여 표 9의 내용을 50분 수업 3~4시간 정도에 걸쳐서 배운 학생들을 감안하여 매우 기본적인 상황을 주고 분석하여 대답해야 하는 문제를 제작해야 할 것이다.

만일 2014년 대학수학능력시험의 난이도가 기존의 시험처럼 어려우면 고등학교에서 물리 II를 선택하는 학생은 한 명도 없을 듯하다. 물리교사는 수업 시간을 통하여 그러한 입시에

Table 11. Elements of instruction for Physics II (a suggestion). [물리 II 수업의 요소(안)]

1. 간단한 용어 설명과 함께 용어 수준의 개념들이 어떠한 관계식을 만족시키는지 소개한다.
2. 배운 관계식이 관련된 자연 현상이나 실험 사례를 통하여 물리적 현상을 예측할 수 있음을 안다.
3. 배운 관계식을 어떻게 찾아낼 수 있었는지 시간이 허락하는 범위에서 배운다. 이 과정은 학생의 탐구 능력을 키워주기 위해 선 필수적이다.

Table 12. Elements of assessment for Physics II (a suggestion). [물리 II 평가의 요소(안)]

1. 문제지의 앞부분에 문항들이 다루는 소재와 관련된 기본 수식들을 제시한다. 고등학교 수준에서 물리학의 수식들을 모두 암기해야 할 필요는 없다고 믿는다. 이는 전문 분야로 진출하더라도 어느 정도는 성립한다고 본다.
2. 주어진 수식을 이용하여 기본적인 물리 현상을 예측할 수 있는지 알아보는 문항
3. 주어진 수식들을 이용하여 새로운 수식 관계를 유추하는 능력을 알아보는 문항

충분히 대비해줄 수도 없으니 방과후 수업이나 학원 수업이 필수적일 것이다.

그렇다고 해서 물리 II 수업을 쉽게만 운영할 수도 없다. 물리 II 과목의 목표는 표 10과 같이 전공 기초 교양으로 설정

Table 13. National level, foreign curriculum and core competencies (2011, Korea Institute of Curriculum & Evaluation, Choe Seunghyeon, summary). [국외 국가수준 교육과정과 핵심역량(2011, 한국교육과정평가원, 최승현, 요약)]

	핵심역량 도입	핵심역량 요소	
프랑스	<ul style="list-style-type: none"> ◦2006년 ‘기초지식 및 기초능력의 공통 교육과정’ 제시 ◦핵심역량이라는 용어는 사용하지 않았으나 의무교육 기간 동안 모든 학생이 반드시 성취해야 할 능력으로 강조함. 	<ul style="list-style-type: none"> -모국어 구사 능력 -외국어 구사 능력 -수학 및 과학 기초지식 -정보와 통신 기술 활용 능력 	<ul style="list-style-type: none"> -인본주의적 소양 -사회성 및 시민성 -자주성 및 주도성
영국	<ul style="list-style-type: none"> ◦1988년 국가교육과정 도입부터 핵심기능의 개발을 강조하여 최근 2007년 개정까지 지속적으로 이를 보완 강조함. 	<ul style="list-style-type: none"> -의사소통 -수의 응용 -정보통신기술 	<ul style="list-style-type: none"> -타인과의 협력 -자기주도성 학습과 성취개선 -문제해결
뉴질랜드	<ul style="list-style-type: none"> ◦1993년 국가수준 교육과정부터 8가지 핵심기능을 강조해 오다가 2007년 총론에서 핵심역량을 5가지로 집약하여 명확히 제시함. 	<ul style="list-style-type: none"> -사고력 -언어와 상징, 텍스트의 활용 -자기관리 	<ul style="list-style-type: none"> -타인과 관계 맺기 -참여와 기여

되어 있기 때문이다. 교육과정에서 물리Ⅱ 과목의 성격은 “물리학 개념들을 바탕으로 연구와 개발이 이루어지는 자연과학이나 공학 분야에 진출하기 위한 학생들을 위한 과목이다.”라고 소개되어 있다.

표 9와 같이 많은 내용을 가지고 표 10과 같은 목표를 이룰 수 있도록 수업을 진행하려면 물리Ⅱ 수업은 매우 기본적인 식을 이유를 따지지 말고 도입하고 그 수식의 물리적 의미를 거꾸로 음미하는 방식으로 진행되어야 할 것이다. 아마도 도입한 수식이 왜 그렇게 되는지에 대한 완전한 이해는 학생 개인의 흥미에 따라 개인적으로 추구하든지 대학에 진학하여 공부하든지 해야 할 것이다. 따라서 현실적인 물리Ⅱ 수업은 표 11과 같은 요소를 갖추어야 할 것이다.

이와 같은 물리Ⅱ 수업을 이수한 학생의 학업성취 정도를

평가하려면 평가 문항은 크게 표 12와 같은 요소를 고르게 갖추어야 한다.

앞으로의 과제

2009 교육과정은 물리학자가 교육 현장에 바라는 바가 큰 폭으로 제시된 교육과정이다. 그러나 그 내용이 많아서 학생들로부터 선택을 받을 수 있을지가 가장 큰 과제라고 본다. 게다가 앞으로의 교육은 표 13과 같이 지식 중심을 탈피하고 핵심역량이라고 하는 능력 중심으로 초점이 맞춰질 것이 예상된다. 2009 물리과 교육과정이 수업과 평가에 있어서 교육계와 과학계의 시너지 효과가 발생할 수 있도록 많은 지혜가 모아져야 할 것이다.