

과학사에 기초한 물체의 운동에 대한 고등학생들의 관점 분석

백성혜* · 조영진

한국교원대학교

Analysis of High School Students' Viewpoints based on Science History about Motion of Objects

Paik, Seong Hey* · Jo, Young Jin

Korea National University of Education

Abstract: In this research, a questionnaire was developed to investigate high school students' viewpoints, originating from science history, on 'motion of on object', the subjects were seventy- five 10th grade students and sixty-five 11th grade students. Results found that the highest percentage among the types of 10th grade students' thoughts was related to the Middle Ages 'Impetus' viewpoints. Percentages of 11th grade students' thoughts were highest for Middle Ages and Newton views. These results provided proof that the development of student thoughts' based on science history' are consistent with school year. Furthermore, student thought regarding 'object motion' under the conditions of no force, vacuum, or air under a weightless stage were related to progressive viewpoints on science history. However, the percentage of thoughts related to earlier viewpoints were considerable. Student thoughts on parabolic motion, circle motion, and conservation amount of motion were found to be highly significant in similarity to the viewpoints of Galilei, Descartes, and Huygens; view cultivated before Newton. Consequently, this study determined that educational efficiency could be raised by providing historically more progressive views to cope with conflictory student thoughts-thoughts related to past views in science history.

Key words: science history, high school students, motion of object, Impetus, Aristoteles, Galilei, Descartes, Huygens, Newton, force, inertia, conservation amount of motion, parabolic motion, circle motion, science education.

I. 연구의 목적 및 내용

그동안 국내외적으로 과학교육에서 과학사의 중요성을 강조한 논문들이 많이 발표되었다. 과학사를 과학교육 연구에 도입하려는 이유 중 가장 중요한 이유는 과학 학습에서 흔히 나타나는 오개념과 관련한 필요성 때문이다(양승훈 등, 1997). 그동안 과학교육계에서는 어떻게 하면 학생들의 오개념을 효과적으로 교정할 수 있을까를 두고 다양한 방법을 제시하여 왔다. 그 중의 하나가 바로 과학사를 이용하자는 것이다. 이러한 주장의 근거는 학생들이 갖는 오개념이 역사적으로 볼 때 학자들의 시행착오와 상당히 유사한 점이 있다고 보기 때문이다. 그러므로 역사적으로 과학자들이 잘못된 개념을 극복하고 바른 개념에 이르게

되는 과정을 학생들의 오개념 형성과 교정 과정에 접목하는 시도는 매우 의미 있는 연구 분야로 자리 잡고 있다.

과학 영역 중에서 학생들의 오개념 연구가 가장 활발하게 이루어진 분야는 물체의 운동에 관련된 부분일 것이다. 그동안 물체의 운동에 대한 다양한 개념에 관련된 연구(노미라와 김대식, 2002; 박인규, 1998; 박종원 등, 1999a; 1999b; 석근학, 2000; 오원근과 김재우, 2002; 정수인, 2001; 정재오, 1996; 차영 등, 2001; 최혁준, 2003)들이 꾸준히 이루어져 왔으나, 이러한 연구들은 주로 특정한 상황을 제시하고 이러한 상황에서 학생들의 사고를 고찰해 봄으로써 이들이 가지는 선개념을 파악하는데 그 초점을 두거나, 이러한 선개념을 올바른 과학 개념으로 바꾸려는 교수 방법적 시도의 효과를

*교신저자: 백성혜(shpaik@knu.ac.kr)

**2005.06.24(접수) 2006.01.12(1심통과) 2006.4.11(2심통과) 2006.5.10(최종통과)

알아보는데 관심을 기울였다.

그러나 최근에는 국내외적으로 물체의 운동에 관련하여 학생들의 다양한 선개념을 과학사적인 관점과 비추어보는 시도들도 이루어지고 있다. 예를 들어 Clement (1982)나 Fischbein(1989) 등은 학생들은 힘이 움직이는 물체에 들어있다는 중세의 ‘임페투스’ 이론과 유사한 사고를 한다고 주장하였다. Galili와 Bar(1992)는 학생들의 사고를 아리스토텔레스, 임페투스, 초기 갈릴레이, 후기 갈릴레이 등의 과학사적 사고와 대비시켜 분석하기도 하였다. 또한 주지영 등(2004)은 예비 중등과학 교사들을 대상으로, 그리고 하경미(2005)는 중학생들을 대상으로 물체의 운동에 대한 사고를 과학사적인 관점에서 분석하고, 이들의 사고가 아리스토텔레스나, 중세, 혹은 뉴턴 이전의 사고에 머무르는 경향이 크다는 점을 밝혔으며, 과학교육을 통해 이들의 사고를 뉴턴 관점으로 바꾸는 것이 필요함을 주장하였다.

이러한 연구들은 Matthews(1994)가 개념 변화 과정에서 과학의 발달에 대한 역사적이고 철학적인 관점에 주의를 기울일 필요가 있음을 주장하고, 양승훈(1995)이 과학적 개념 발달과 학습 내용의 계열성 사이의 관계를 찾아볼 필요성이 있음을 주장한 것과 맥을 같이 한다. 이러한 시각에 근거하여 여러 과학 분야와 관련된 국내 선행연구들(고정호 등, 1997; 김도욱, 1995; 김미리, 2001; 김은경, 1995; 김은선, 2002; 박남이와 이길재, 2000; 유미현, 1999; 유진숙, 1998; 이경숙, 2003; 이미숙과 이길재, 2006; 한승희, 2001; 홍준의, 2002; Justi & Gilbert, 2000)에서 과학사와 학생들의 사고를 대비시켜 고찰해 보는 노력을 기울였다. 특히 김홍중(1997), 고정호 등(1997), Fisher (1983), Kass 와 Lambert(1983), McCloskey(1983), Nussbaum 과 Novic(1982), Sequira 와 Leite(1991) Wandersee(1985) 등 여러 국내외 연구에서 과학사에서 나타나는 개념 발달과 학생의 개념 발달 사이에 관련성이 있음을 주장하였다. 즉, 저학년 학생들은 고대 관점을 가지고, 중학년에서 고학년으로 학년이 올라가면서 보다 중세나 근대에 가까운 관점으로 변화되는 특성이 있음을 밝혔다.

이렇게 보았을 때, 학생들의 오개념 교정과 관련하여 과학사적 관점을 분석하는 연구는 크게 두 가지 측면에서 교육적인 의미를 가질 수 있다. 첫째는 학생들의 오개념과 개념 변화에 대한 심층적인 분석을 위한 도구로 사용할 수 있으며, 둘째는 학생들의 개념 변화를 돕기 위한 수업 도구로 이를 활용할 수 있다.(이미숙, 2004). Wandersee(1985)는 학생들의 오개념을 과학

사의 과거 관점과 대비시킨다면, 그 후 과학이 어떤 과정을 거쳐 발달되었는지 고찰함으로써 이를 학생들의 오개념 치료와 그 후의 개념으로 전이시키는 도구로 활용할 수 있다고 주장하였다. Thagard(1992)도 학습자가 가지는 잘못된 오개념이 과학사적으로 발전하는 과정에 있던 개념과 관련지을 수 있다면, 학습자에게 그 후 등장한 대립된 개념을 제공하여 자신의 개념과 갈등을 일으키게 하고, 대립 개념과 친숙해지면서 대립 개념이 자신의 개념보다 설명 범위가 넓고 더 유용하다는 사실을 깨닫게 함으로써 대립 개념을 받아들게 된다고 주장하였다. 이러한 시도는 Jensen과 Finley(1996), 박남이(2000), 송창민(2003) 등이 진화와 관련된 중등학생들의 오개념을 교정하는데 활용하였으며, 그 효과를 입증하였다.

그러나 아직까지 우리나라 고등학교 학생들을 대상으로 물체의 운동에 대한 이들의 사고를 과학사적 관점에서 분석한 연구는 이루어지지 않았다. 이러한 연구는 중등학교 학생들이 물체의 운동에 관련하여 가지는 다양한 오개념을 보다 효과적으로 교정하는데 필요한 교육적 시각을 제공해 줄 수 있을 것이다. 따라서 이 연구에서는 고등학교 학생들을 대상으로 1학년 학생들과 2학년 학생들을 대상으로 물체의 운동에 관련된 이들의 사고를 과학사적인 관점으로 분석해 보고자 한다. 고등학교 1학년은 국민공통 기본교육과정을 이수한 학생들을 대상으로 함으로써 기본적인 교육과정 이수를 한 학생들의 사고를 알아보려고 하였으며, 고등학교 2학년은 이과 계열을 선택한 학생들을 대상으로 하여 이공계 교육을 통해 학생들의 사고가 변화되는지 알아보려고 하였다. 또한 이 연구에서는 특히 많은 선행연구들에서 개념 이해의 어려움을 지적하였던, 관성, 이상화조건, 힘과 운동방향, 운동에서의 보존량으로 물체의 운동에 관련된 사고 영역을 구분하여 학생들의 개념을 조사하고자 하였다. 연구문제를 구체적으로 진술하면 다음과 같다.

첫째, 관성에 대한 고등학교 1학년 학생들과 2학년 학생들의 개념은 과학사적인 관점에서 분석할 때 어느 시대의 관점에 해당하는가?

둘째, 이상화 조건에 대한 고등학교 1학년 학생들과 2학년 학생들의 개념은 과학사적인 관점에서 분석할 때 어느 시대의 관점에 해당하는가?

셋째, 힘과 운동방향에 대한 고등학교 1학년 학생들과 고등학교 2학년 학생들의 개념은 과학사적인 관점에서 분석할 때 어느 시대의 관점에 해당하는가?

넷째, 운동에서의 보존량(운동량과 에너지)에 대한 고등학교 1학년 학생들과 2학년 학생들의 개념은 과

학사적인 관점에서 분석할 때 어느 시대의 관점에 해당하는가?

이 연구에서 분석의 기준이 되는 과학사적 관점은 그 당시 관련 원문을 직접 해독할 수 없기 때문에 그들의 업적을 재분석하여 기술한 자료들을 토대로 하였다. 따라서 문헌들의 재해석에 대한 오류를 방지하기 위하여 가능한 다양한 관련 자료를 토대로 상호 점검하여, 가장 보편적으로 언급된 관점을 도출하고자 노력하였으며, 연구자들 간의 자료 해석에 차이가 생길 경우에는 토의를 거쳐 관점의 차이를 좁히려는 조정의 과정을 반복하였지만, 이러한 과정에서 연구자들의 재해석에 오류가 생겼을 가능성을 배제할 수는 없다.

학생들의 개념을 과학사적인 관점에서 분석하기 위하여 설문지를 개발하였으며, 설문 문항은 각 시대를 대표하는 관점으로 구성된 선택형 답지로 구성되었다. 학생들의 개념 분석은 학생들이 적은 응답 유형과 이유 진술 내용을 토대로 이루어졌으나, 이유 등을 분석하는 과정에서 표현의 제한성 등의 이유로 학생들의 사고와 다르게 연구자들이 학생들의 사고를 재해석하였을 가능성도 배제할 수 없다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 설문지 개발

분석한 물체의 운동에 관한 과학사적 관점들이 잘 드러날 수 있는 설문 문항을 영역별로 2-3개씩 개발하였다. 각 문항은 물체의 운동에 관련된 선행연구에서 지적한 학생들의 오개념 연구결과를 기본 틀로 하였다. 관성에 대한 인식을 알아보기 위하여 ‘정지한 물체와 등속 운동하는 물체의 운동 비교’, ‘정지한 공에 충돌하는 공’, ‘외부의 힘이 작용하지 않을 때 물체의 운동’의 세 가지 상황으로 문제를 구성하였다. 이상화 조건에 대한 인식을 알아보기 위해서는 ‘진공에서 공의 운동’, ‘화살의 운동’의 두 가지 상황에서 문항을 구성하였다. 힘과 운동방향에 대한 인식을 알아보기 위해서는 ‘포물선 운동’과 ‘원운동’의 두 가지 상황으로 2문제를 구성하였다. 운동에서의 보존량에 대한 생각을 알아보기 위해서는 ‘벽과의 충돌에서 운동량 보존’과 ‘낙하 물체의 에너지 보존’ 등 2가지 상황으로 문제를 구성하였다.

문항은 과학사적 관점을 포함하는 답지 중에서 자신의 생각과 일치하는 것을 고르는 선택형과, 자신의 생각을 잘 나타내는 답이 없을 때 자신의 생각을 적도록 칸을 제시하는 형태가 혼합된 유형으로 구성하였다. 답지의 항목은 시대별로 내용이 구분되며 각 내

용은 서로 사고가 공유되지 않는 부분을 중심으로 표현되었다. 그리고 분석의 정확성과 용이성을 위하여 자신의 생각에 근접한 한 가지의 답만을 강제 선택하도록 구성하였다.

만약 학생들이 여러 개념을 혼란스럽게 가지고 있거나 개념이 모호한 경우에는 물체의 운동에 관련하여 제시된 다양한 상황에서 일관성이 없는 답을 선택하게 될 것으로 보였다. 학생들의 오개념 연구를 보아도, 학생들의 오개념은 상황에 따라 다양하게 달라질 수 있다고 보기 때문에 응답의 일관성이 오개념 유무를 판단하는 기준이라고 볼 필요는 없다. 또한 객관식 문항의 한계를 극복하고자 학생들이 답을 선택한 이유를 진술하도록 함으로써 무작위한 선택과 이유 있는 선택을 구분하고자 하였다. 또한 학생들이 적은 이유 진술을 통해 학생들의 사고가 과학사적 관점의 맥락과 같은 사고의 유형이라고 판단할 수 있는지 확인하고자 하였다. 그러나 학생들의 사고가 문항에서 제시한 선택형 답지 이외에 사고를 가지고 있는 경우 ‘기타’ 항목에서 이를 적절히 표현하기 어려울 수 있으며, 이러한 도구의 한계는 이 연구의 제한점이라고 할 수 있다. 비록 자신의 가장 정확한 사고를 표현한 항목이 과학사적 관점으로 구성된 답지에 없다고 하더라도, 주어진 답지 중에서 가장 그럴듯하다고 판단한 답지를 고른다면, 이를 통해 학생들의 사고 유형을 과학사적 관점에 비추어 판단할 수 있을 것이다. 이 연구에서는 과학사적 관점과는 다른 형태로 형성된 학생들의 사고 분석에는 관심을 기울이지 않았으므로, 이에 해당하는 학생들의 사고 유형 분석은 배제하였다.

문항 제작시 타당도를 높이기 위하여 과학교육 전문가와 물리 전공 및 과학교육 전공 대학원생 7인이 함께 개발하였다. 이 설문지는 과학사 문헌을 토대로 개발하였으므로 현재 교육과정에서 사용하고 있는 용어와 다소 차이가 있는 경우가 있었다. 따라서 제작한 문항의 의미가 제대로 전달되는지 확인하기 위하여 개발한 문항을 2차에 걸쳐 타당도 검사를 실시하였다. 1차 타당도 검사는 대학교에서 물리교육을 전공하는 4학년 학생 22명을 대상으로 실시하였으며, 이를 토대로 수정한 검사지를 물리교육을 전공하고 석, 박사 과정을 이수하고 있는 현직 물리 교사 10인에게 다시 의뢰하였다. 그 결과를 표 1에 제시하였다.

최종적으로 개발한 설문지에서는 타당도 지수가 3점인 ‘보통’보다 낮은 관성의 한 문항(정지한 공에 충돌하는 공)을 삭제하여 총 8문항으로 구성하였다.

표 1

개발한 설문 문항의 타당도 검사 결과

영역	문항	1차 타당도지수	2차 타당도지수	비고
관성	정지한 물체와 등속운동 물체	3.4	3.8	삭제
	정지한 공에 충돌하는 공	2.5	2.8	
	외부 힘이 작용하지 않을 때	3.6	3.6	
이상화조건	진공에서 공의 운동	3.3	3.7	
	무중력 상태에서 공기 중의 화살 운동	3.5	3.8	
힘과 운동방향	포물선 운동	4.1	4.1	
	원운동	3.9	3.9	
운동에서의 보존량	벽과의 충돌에서 운동량 보존	3.5	3.4	
	낙하 물체의 에너지 보존	3.5	3.1	

2. 연구 대상 학생 선정

연구 대상으로 선정한 학생들은 중부 대도시의 시내에 위치한 일반계 사립 고등학교 중 한 곳에 다니고 있었으며, 이 학교 학생들의 학력은 보편적으로 우리나라 중상위권 수준에 속하였다. 이 학교의 고등학교 1학년 76명, 2학년 66명을 대상으로 설문을 실시하였다. 고등학교 1학년 학생들은 국민공통기본교육과정에서 ‘과학’을 배우는 학생들이고, 고등학교 2학년 학생들은 선택중심 교육과정에서 ‘물리 I’ 과목을 배우는 ‘이과’ 계열의 학생들이다. 회수된 142명의 설문지 중 응답 내용이 성실하지 않은 2명의 설문지를 제외하고, 140명의 설문문을 분석하였다. 학생들의 설문지에 대한 내용 이해 정도를 높이기 위해, 힘과 운동에 관련된 단원을 배운 후에 설문을 실시하였다. 따라서 1학기 기말고사 직전인 6월에 설문을 실시하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 관성에 대한 고등학생들의 관점 분석

(1) 정지한 물체와 등속 운동 물체

공기의 저항이나 마찰력 등을 무시하는 조건에서 이 두 물체는 뉴턴의 관점에 따르면 힘을 받지 않고 있는 것이다. 그러나 특히 등속 운동하는 물체의 경우 비록 물체가 운동하고 있으나 이는 힘이 아닌 관성에 의한 움직임이다. 그러나 이러한 관성 개념이 형성되기 전에는 운동하는 물체는 힘을 가지고 있다는 관점이 보편적이었다.

특히 아리스토텔레스의 관점에서는 운동은 강제 운동과 자연스러운 운동으로 구분되며, 자연스러운 운동은 낙하 운동에 해당하고, 문항에서 제시한 것과 같은 수평 운동은 강제 운동에 해당하기 때문에 외부의 힘에 의해 움직인다고 보았다. 따라서 지속적으로 외부

에서 힘을 가해 주어야 물체는 등속으로 운동하게 된다. 즉 ‘정지한 물체는 힘을 받지 않고, 움직이는 물체는 힘을 계속 받아서 운동한다.’는 사고를 아리스토텔레스 관점으로 분석하였다.

중세의 관점은 종교적이기 때문에 신이 태초에 비물질적인 운동량을 부여하여서 물체는 계속 움직인다고 생각하였다. 따라서 정지한 물체는 태초에 힘을 받지 못한 것이며, 움직이는 물체는 처음에 부여받은 힘에 의해 현재 운동하고 있는 것으로 보았다. 따라서 ‘정지한 물체는 힘을 받지 않고, 움직이는 물체는 처음에 받은 힘으로 운동하는 것이다.’라는 사고를 중세의 ‘임페투스’ 관점으로 보았다.

뉴턴의 관점에 따르면 힘은 물체의 운동 속도에 변화를 야기한 것이다. 따라서 ‘정지한 물체나 등속 운동하는 물체나 모두 힘을 받고 있지 않은 것이다.’라는 사고를 뉴턴의 관점으로 보았다. 정지된 물체와 등속 운동하는 물체가 힘을 받는가, 받지 않는가 하는 상황을 고르게 안내하기 위하여 마지막 항목으로 과학학적 관점은 아니지만, ‘정지한 물체나 움직이는 물체나 모두 힘을 받고 있다.’는 관점을 포함시켜 설문을 구성하였다. 따라서 마지막 관점은 기타의 관점으로 분류하였다. 분석 결과는 표 2에 제시하였다.

표 2에서 보면 뉴턴 관점으로 물체의 운동을 이해하고 있는 고등학교 1학년 학생은 5.33%에 불과하였지만, 고등학교 2학년생은 36.92%로 높아졌다. 고등학교 2학년 학생들이 고등학교 1학년 학생들과 달리 이과 계열이었기 때문에 뉴턴의 관점을 보다 쉽게 형성하였을 것이라고 생각할 수 있다. 그러나 고등학교 1학년생의 70.67%, 그리고 고등학교 2학년생들은 36.92%가 중세의 관점을 가지고 있다는 점은 주목할 만하다. 특히 고등학교 2학년 학생들의 경우에는 이러한 사고를 하는 비율이 뉴턴 관점으로 사고하는 비율

표 2
정지한 물체와 등속 운동 물체에 대한 학생들의 과학사적 관점

단위: 명(%)

과학사적 관점	고1	고2
아리스토텔레스	8 (10.66)	7 (10.77)
중세	53 (70.67)	24 (36.92)
뉴턴*	4 (5.33)	24 (36.92)
기타	10 (13.33)	10 (15.38)
전체	75(100.00)	65(100.00)

*현 과학교육과정에서 요구하는 관점

과 동일하였다. 비록 연구 대상자 수가 적기는 하지만, 이들이 중상위권에 속하는 지역의 고등학생들임을 감안한다면, 보편적으로 이과 계열의 학생들 중에서도 뉴턴 관점을 가지지 못한 비율이 상당히 될 것이라고 추측할 수 있다. 하경미(2005)가 중학생들을 대상으로 한 연구와 비교하면, 중학교에서는 아리스토텔레스의 관점이 44%, 중세의 임페투스 관점이 40%인 것으로 나타났다. 따라서 중학생들이 고등학생들보다는 과학사적으로 볼 때 더 과거에 해당하는 관점을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 중학교 학생들의 경우 뉴턴의 관점을 가지는 경우가 16%로 나왔는데, 이 연구에서 고등학생 1학년 학생들은 더 적은 비율(5.33%)이 뉴턴 관점을 가지는 것으로 나타났다. 그 대신 13.33%의 학생들이 기타에 해당하는 관점을 가지고 있었는데, 이러한 관점은 과학사적 관점이라고 분석하기 어려웠으므로 논의에서 배제하였다. 비록 설문지의 내용이 다르고, 연구 대상자들을 중단 연구로 추적한 결과 비교가 아니기 때문에 다양한 변수로 인해 자료의 결과를 그 자체로 논의하기는 어렵지만, 중학교나 고등학교 1학년 학생들이 뉴턴의 관점을 가지고 있는 경우가 적다는 점은 공통점이라고 할 수 있다. 더구나 국민공통 기본교육과정을 이수한 마지막 단계인 고등학교 1학년 학생들도 선택 과목을 물리를 계속 공부하지 않는 한, 교육과정에서 전달하고자 하는 뉴턴의 관점보다 과학사적으로 볼 때 이전에 형성된 관점을 지속한다는 점은 과학교육의 효율성 측면에서 재고해 볼 문제라고 본다.

송진웅 등(2004)이 다양한 상황에서 물체의 운동에 대한 학생들의 개념 유형을 알아본 연구에 따르면, 고등학교 2학년 학생들의 70~80 % 정도가 손에서 떠난 공이 던진 방향으로의 힘을 가지고 운동하는 것으로 생각하였다. 따라서 이과 계열의 학생들만을 중심으로 한 이 연구에서 ‘처음 받은 힘으로 운동한다.’는

사고가 36.92%라는 결과는 납득할 만하다. 그러나 이 비율은 결코 낮은 비율이 아니기 때문에, 이과 계열 학생들의 사고를 중세의 관점에서 벗어나 뉴턴의 관점으로 이끌 수 있는 교육적 노력이 필요하다고 생각한다.

(2) 외부 힘이 작용하지 않을 때

외부 힘이 작용하지 않을 때 공기의 저항이나 마찰력을 무시한다면, 물체의 운동이 지속될 수 있을까에 대한 생각을 알아본 경우이다. 이 사고는 아리스토텔레스로부터 유래된 것으로, 그는 물체가 움직이기 위해서는 접촉에 의해 외부로부터 힘을 받아야 한다고 생각하였다. 만약 학생들이 아리스토텔레스의 관점을 가지고 있다면, 외부의 힘이 존재하지 않는다면 물체는 운동을 지속할 수 없을 것이라고 생각할 것이다. 반면 외부 힘이 작용하지 않아도 물체의 운동이 지속될 수 있다고 생각한다면, 이는 물체 내부에 힘이 존재한다는 중세의 임페투스 관점 이후의 사고라고 말할 수 있다. 만약 어떻게 될지 잘 모르는 경우에는 이를 표현하도록 답지를 구성하였으며, 각기 답을 선택한 이유에 대해 적도록 함으로써 모르고 아무 답이나 선택하는 것을 방지하도록 하였다. 또한 다른 생각으로 동일한 답지를 학생들이 선택하는지를 확인하였다. 이 문항에 대한 고등학생들의 관점을 분석한 결과는 표 3에 제시하였다.

표 3
외부 힘이 작용하지 않을 때 물체의 운동에 대한 학생들의 과학사적 관점

단위: 명(%)

과학사적 관점	고1	고2
아리스토텔레스	24 (32.00)	20 (30.77)
중세 이후	48 (64.00)	33 (50.77)
모름	1 (1.33)	8 (12.31)
무응답	2 (2.67)	4 (6.15)
전체	75(100.00)	65(100.00)

표 3에 의하면, 외부 힘이 작용하지 않을 때 물체의 운동에 대한 사고는 중세 이후의 사고가 가장 높았으나, 아리스토텔레스의 관점처럼 외부의 힘이 있어야 물체가 운동한다는 사고도 30%가 넘었다. 표 3의 결과와 비교한다면, 정지한 물체와 등속 운동하는 물체의 상황보다는 외부에 힘이 작용하지 않은 상태의 물체 운동의 상황에서 아리스토텔레스의 관점을 적용하는 비율이 더 높음을 알 수 있다. 특히 이과 계열의

고등학교 2학년 학생들도 30%가 넘게 아리스토텔레스의 관점을 가지고 있었다.

이들이 한 응답 이유 중에는 ‘공기의 저항은 없을 수 있어도 모든 마찰을 없앨 수는 없다.’와 같은 응답이 있었다. 이러한 응답을 통해 결국 외부의 힘이 작용하지 않으면 물체의 운동이 지속되기 어렵다고 생각하는 점을 고려할 때, 학생들이 공기의 저항이나 마찰력과 같은 항목을 물체의 운동에서 배제하고 사고하는 것이 어려움을 알 수 있다. 문항에 ‘공기의 저항이나 마찰력을 무시한다.’라고 표현하였음에도 불구하고 이러한 사고의 어려움을 나타낸 것은 학생들이 현 교육과정에서 추구하는 뉴턴 관점을 획득하기 전에 반드시 이상화 조건에 대한 인식을 필요로 함을 의미하는 것이라고 할 수 있다. 박종원 등(1999a, 1999b)도 연구를 통해 일반고 학생들은 이상화조건에 대한 인식이 부족하다고 지적하였다.

2. 이상화 조건에 대한 고등학생들의 관점 분석

(1) 진공에서 공의 운동

아리스토텔레스는 공기가 물체의 운동을 도와준다고 생각하였다. 즉 그는 공기를 ‘기동자(mover)’로서 외부에서 물체의 운동을 도와주는 역할을 한다고 보았다. 따라서 ‘진공 중에서는 공기가 미는 힘을 받지 못하기 때문에 물체의 운동이 느려지거나 정지한다.’는 사고를 아리스토텔레스의 관점으로 보았다.

중세시대의 관점에서는 아리스토텔레스의 관점과 달리 공기는 물체의 움직임을 방해하는 요소로 보았다. 중세시대에 물체의 운동을 설명하는 주요 개념 중 하나인 임페투스설에 따르면, 물체 내부에 존재하는 임페투스가 감소되거나 손상되지 않는 한 운동은 일정한 속도로 지속된다는 것이다. 그러나 공기 속을 물체가 운동할 때에는 공기의 방해로 인해 물체의 운동이 느려지다가 임페투스가 모두 소모되면 멈추게 된다고 생각하였다. 따라서 ‘진공이 되면, 공기에 의한 힘의 소모가 없기 때문에 물체의 운동은 빨라진다.’는 사고를 중세의 관점으로 보았다.

뉴턴의 관점에 따르면, 외부에서 운동 상태를 변화시키는 힘이 작용하지 않는 한 물체는 그 운동 상태를 계속 유지하기 때문에, 진공이 되더라도 이상화 조건에서 볼 때 물체의 운동은 변화가 없다. 따라서 ‘공기는 물체의 운동에 영향을 미치지 않는다고 가정하므로, 진공에서도 물체의 움직임은 변하지 않는다.’는 사고를 뉴턴의 관점으로 보았다. 이 문항에 대한 고등학생들의 사고를 분석한 결과는 표 4에 제시하였다.

표 4
진공에서 물체의 운동에 대한 학생들의 과학사적 관점
단위: 명(%)

과학사적 관점	고1	고2
아리스토텔레스	11 (14.67)	4 (6.15)
중세	22 (29.33)	22 (33.85)
뉴턴*	42 (56.00)	38 (58.46)
무응답	0 (0.00)	1 (1.54)
전체	75(100.00)	65(100.00)

표 4에 의하면, 진공에서 물체의 운동에 대한 사고는 현 과학교육과정에서 요구하는 뉴턴의 관점이 가장 높았다. 이 관점은 고등학교 1학년의 경우(56.00%)와 고등학교 2학년의 경우(58.46%)에 큰 차이가 없었다. 따라서 이과 계열이 아닌 학생들도 충분히 이러한 유형의 관점을 형성할 수 있음을 알 수 있다.

그러나 고등학교 1학년 학생들 뿐 아니라, 2학년 이과계열의 학생들 중에서도 30% 정도는 중세의 관점을 가지고 있었다. 이는 물체의 운동을 공기가 방해하므로 진공 중에서 물체의 운동이 더 빨라진다는 생각이기 때문에 자연 현상을 있는 그대로 관찰하였고 보았을 때에 비과학적 개념이라고 보기는 어렵다. 그러나 물체의 운동에 대한 뉴턴의 관점을 획득하기 위해서는 공기의 저항이나 마찰력 등을 배제한 이상화 조건을 고려하여야 하며, 힘이 소모되어 물체의 운동이 멈춘다고 생각하는 것은 뉴턴의 관점은 아니라고 할 수 있다.

(2) 무중력 상태에서 공기 중의 화살 운동

이 문제는 무중력 상태에서 공기 중을 날라가는 화살의 운동에 대한 학생들의 사고를 알아본 것이다. 아리스토텔레스는 중력의 개념을 가지고 있지 않았으며, 공기가 화살의 운동에 중요한 역할을 한다고 보았다. 그의 관점에 따르면, ‘화살을 쏘면 화살이 진행하면서 공기를 밀치기 때문에 화살의 뒷부분은 진공이 된다. 그러면 앞부분의 공기가 진공인 뒤 방향으로 빨려 가서 화살을 진행 방향으로 민다.’고 설명할 수 있다. 즉, 아리스토텔레스는 공기가 물체의 운동을 도와준다고 생각하였다. 이러한 사고는 유체 역학에서는 아직도 중요하게 다루어지고 있으며, 특히 비행기가 양력에 의해 뜨는 원리를 설명할 때, 베르누이의 정리에서 도입하는 공기의 역할과 관련이 있다.

중세 임페투스의 관점에서는 운동하는 물체에 주어진 원동력으로 물체가 계속적으로 운동을 하며, 외부의 저항에 의해서 원동력인 임페투스가 감소되거나 손상

되면 물체의 운동이 멈춘다고 보았다. 따라서 ‘화살을 쏘 때 받은 힘은 날아가면서 소모된다. 화살이 가지고 있는 힘이 모두 소모되면 화살은 멈춘다.’는 관점은 중세로 분석하였다.

뉴턴의 관점에서 보면, 공기의 저항을 무시할 때 날아가는 화살에는 힘이 작용하지 않고, 다만 처음 운동 상태를 그대로 유지한다고 생각할 수 있다. 이 문항에 대한 고등학생들의 관점을 분석한 결과는 표 5에 제시하였다.

표 5
화살의 운동에 대한 학생들의 과학사적 관점

과학사적 관점	단위: 명(%)	
	고1	고2
아리스토텔레스	14 (18.67)	10 (15.38)
중세	24 (32.00)	24 (36.92)
뉴턴*	35 (46.67)	29 (44.62)
기타	2 (2.66)	0 (0.00)
무응답	0 (0.00)	2 (3.08)
전체	75(100.00)	65(100.00)

표 5에 의하면 역시 뉴턴의 관점이 가장 많았다. 그리고 그 비율은 고등학교 1학년의 경우와 2학년의 경우에 비슷하였다. 그 다음으로 높은 비율은 중세의 임페투스 관점이었으며, 32~37% 정도의 학생들이 가지고 있었다.

이상화조건에 관련된 두 문항에서 고등학교 1학년과 2학년 학생들이 뉴턴의 관점을 가지고 있는 경향이 가장 높다는 사실은 공통적으로 나타났다. 그러나 전반적으로 볼 때 뉴턴 이전의 관점을 가지고 있는 학생들이 절반 가까이 있었다. 즉 이들은 이상화 조건에서 물체에 힘이 작용하지 않을 때 물체의 운동 상태를 지속한다는 뉴턴의 관점을 가지고 있지 못하였다. 이들이 다른 답을 한 이유들을 살펴보면 대부분 마찰력이나 공기의 저항력, 혹은 다른 외부의 힘을 가정하지 않는다는 이상화조건을 제시했음에도 불구하고, 이를 고려하는 사고를 획득하지 못하였음을 확인할 수 있었다. 또한 무중력과 진공을 혼동하여, 진공 중에서의 물체의 움직임이나 무중력 상태에서의 움직임을 생각할 때 어려움을 가지고 있음을 확인할 수 있었다.

3. 힘과 운동 방향에 대한 고등학생들의 관점 분석

(1) 포물선 운동

포물선 운동에 대한 과학사적 관점은 크게 3가지로

구분하였다. 우선 중세의 임페투스의 관점으로, 물체가 힘을 받은 방향으로 움직이다가 그 힘이 다 소모되면 아래로 떨어진다는 생각이다. 갈릴레이는 포물선 운동을 수직방향과 수평방향으로 구분하여 사고하였다. 물체가 위 방향으로 수직 운동을 할 때에는 위 방향으로 작용하는 힘이 점차 줄어들다가 정지하고 그 후에 다시 아래 방향으로 힘이 점차 증가하면서 물체가 아래로 내려온다. 수평 방향의 경우, 물체는 같은 크기의 힘을 일정하게 가지고 계속 움직인다. 이 두 힘을 합성하면, 물체는 포물선의 형태로 운동하게 되는 것이다. 뉴턴 관점은 힘과 가속도를 관련짓는 것이다. 따라서 포물선 운동의 수평 방향은 등속 운동이므로 힘이 작용하지 않고, 수직 위 방향은 가속도가 음의 값이고 수직 아래 방향은 가속도가 양의 값이므로 아래 방향으로 힘이 작용하는 것이 포물선 운동이다. 문항에서는 이러한 사고를 나타내는 공의 그림과 화살표로 공에 작용하는 힘의 방향을 표현하였다. 포물선 운동에 대한 고등학교 학생들의 사고를 분석한 결과는 표 6에 제시하였다.

표 6
포물선 운동에 대한 학생들의 과학사적 관점

과학사적 관점	단위: 명(%)	
	고1	고2
아리스토텔레스	15 (20.00)	3 (4.62)
갈릴레이	50 (66.67)	44 (67.69)
뉴턴*	9 (12.00)	14 (21.54)
무응답	1 (1.33)	4 (6.15)
전체	75 (100.00)	65 (100.00)

표 6에 의하면, 고등학교 1학년과 2학년 학생들의 가장 높은 비율(66~67%)이 갈릴레이의 관점을 가지고 있었다. 이는 역시 학생들이 물체의 운동 방향과 힘의 방향을 분리하여 사고하는 것을 어려워하고 있음을 나타내는 것이라고 할 수 있다. 고등학교 2학년 학생들은 약 21% 정도가 뉴턴의 관점을 가지고 있는 것으로 나타났다. 그러나 고등학교 1학년의 경우에는 국민공통 기본교육과정을 이수한 후에도 20% 정도의 학생들이 아리스토텔레스의 관점을 가지고 있었다. 송진웅 등(2004)의 연구에서도 고등학교 2학년 학생들 중에서 과학적 개념인 뉴턴 관점을 가지는 경우는 10% 정도였고, 40% 이상의 학생들이 포물선 운동에서 공에 작용하는 힘의 방향을 수직 방향과 수평 방향으로 구분하는 사고를 한다고 밝혔는데, 이는 갈릴레이의 사고에 해당한다. 이 연구에서는 제시한 문항

의 유형이 과학사적 사고에 근거하지 않았으므로, 학생들이 아리스토텔레스와 같은 사고를 하고 있을 경우에 선택할 수 있는 답지는 없어서 선택 비율에서 다소 차이가 나지만, 많은 학생들이 갈릴레이의 사고에 머물러 있다는 점을 공통적으로 나타난 결과라고 할 수 있다. 하경미(2005)가 중학생들을 대상으로 한 연구에서는 갈릴레이 시대의 사고는 17%에 불과하였고, 아리스토텔레스의 관점을 가지는 비율이 53%로 가장 높았다. 따라서 중학생보다는 고등학생들이 과학사적으로 볼 때 보다 발달한 관점을 형성하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 높은 비율의 중등학교 학생들이 뉴턴의 관점을 제대로 형성하지 못하고 있다는 점은 주목할 만 하다.

(2) 원운동

아리스토텔레스는 물체의 운동을 천상계와 지상계로 나누고 원운동을 천상계에서의 운동으로 자연스러운 운동이라고 생각하였다. 즉 아무런 힘이 작용하지 않을 때 천상계에서는 원운동을 한다. 따라서 천체가 원운동을 하는 것은 가장 자연스러운 현상이라고 보았다. 이러한 사고는 갈릴레이까지 지속되어서 갈릴레이도 원운동을 원관성으로 이해하였다. 따라서 ‘속력이 일정한 원운동은 힘이 작용하지 않아도 일어난다.’는 사고를 아리스토텔레스 관점으로 보았다. 호이겐스는 원운동할 때 물체가 바깥으로 나가려는 경향을 인식하고 이러한 원심적인 경향이 원운동에서 중요하다고 보았다. 그는 이러한 원심적인 경향이 물체의 질량에 비례하고, 속력의 제곱에 비례하며, 거리에 반비례한다고 생각하였다. 라이프니츠도 호이겐스와 유사하게 생각하였으며, 그는 원운동에서 물체가 바깥으로 나가려고 하는 경향은 원심력이 존재하기 때문이라고 보았다. 따라서 ‘원운동하는 물체는 바깥 방향으로 힘이 작용한다. 그래서 줄이 끊어지면 공이 바깥 방향으로 튀어나간다.’는 사고를 호이겐스 관점으로 분석하였다. 한편 뉴턴의 관점에 따르면, 원운동은 등속력 운동이지만 등속도 운동이 아니기 때문에 힘이 작용하는 것이다. 이때 속도가 계속 변하는 방향이 원운동의 안쪽이므로, 원의 중심에서 구심력이 작용하여 원운동을 한다고 생각하였다. 따라서 원심력이 작용한다는 호이겐스 사고와는 반대 방향의 힘을 가정하여 원운동을 설명하였다고 할 수 있다. 뉴턴은 물체가 원을 벗어나 바깥으로 자꾸 나가려는 경향을 호이겐스나 라이프니츠가 생각한 원심력 관점과는 달리, 물체가 운동하는 방향으로 계속 가려는 관성 때문으로 보았다. 즉 이는 힘이 작용해서가 아니라 관성 때문이라고

생각하였기 때문에 이 두 관점은 차이가 있다. 따라서 ‘속력이 일정한 원운동은 방향이 바뀌기 때문에 힘이 작용함을 알 수 있다.’는 사고를 뉴턴 관점으로 분석하였다. 고등학교 학생들은 원운동에 대해 어떤 관점을 가지고 있는지 조사하여 표 7에 제시하였다.

표 7
원운동에 대한 학생들의 과학사적 관점
단위: 명(%)

과학사적 관점	고1	고2
아리스토텔레스	5 (6.67)	2 (3.08)
호이겐스	63 (84.00)	52 (80.00)
뉴턴*	4 (5.33)	7 (10.77)
무응답	3 (4.00)	4 (6.15)
전체	75(100.00)	65(100.00)

고등학교 1학년 학생들과 고등학교 2학년 학생들의 가장 높은 비율(80~84%)이 호이겐스 및 라이프니츠의 관점을 가지고 있었다. 이들은 원운동을 할 때 물체가 원 바깥으로 이탈하려는 경향이 있기 때문에 원심력이 작용한다고 생각하였다. 포물선 운동의 경우보다도 원운동의 경우에 뉴턴의 관점을 가지는 비율이 더 낮았다.

대부분의 고등학교 학생들이 포물선 운동과 원운동에서 물체의 운동 방향으로 힘이 작용한다고 생각하는 것은 관성에 대한 이해가 부족하기 때문이라고 볼 수 있다. 비록 관성에 대해 알아본 ‘정지한 물체와 등속운동 물체’에 대한 문항에서는 36.92%의 고등학교 2학년 학생들이 뉴턴의 관점을 가지는 것으로 분석되었으며, 포물선 운동에서도 21.54%의 학생들이 뉴턴의 관점을 가지는 것으로 분석되었으나, 원운동에서의 반응과 종합하여 생각하면 다양한 상황에서 일관성 있게 관성 개념을 형성하고 있는 고등학교 2학년 이과 계열 학생들이 매우 적다는 사실을 알 수 있다.

송진웅 등(2004)이 원운동하는 행성에 작용하는 힘의 상황에서 학생들의 사고를 알아본 연구에 따르면, 이 경우에도 고등학교 2학년 학생들의 과학적 개념이 3-7% 정도에 머물렀다. 이러한 연구 결과는 과학적 개념으로 정의한 뉴턴 관점만을 비교해 보았을 때 이 연구의 결과와도 거의 일치한다. 또한 선행연구와 달리 이 연구에서는 이과 계열의 학생들 중에서도 원운동에서 뉴턴 관점을 가지고 있는 비율이 매우 낮다는 점을 밝힘으로써 과학교육에 시사해 주는 바가 크다고 할 수 있다.

이 선행연구에서는 대부분의 학생들이 원심력과 구심력, 그리고 물체의 운동 방향을 모두 화살표로 표현한 항목에 응답한 비율이 높았다고 밝혔다. 그러나 문항에서 행성의 운동 방향을 표시한 화살표와 힘을 나타내는 화살표를 모두 동일한 형태로 표현하여 제시함으로써 응답한 학생들이 문항의 답지 항목에 표현된 화살표를 어떠한 생각으로 받아들였는가에 따라, 즉 운동 방향을 표현하는 것으로 받아들였는지, 아니면 힘의 방향을 표현한 것으로 받아들였는지에 따라 그 결과의 해석이 충분히 달라질 수 있는 문제점이 있었다. 학생들의 사고를 과학사적 관점에 따라 구분하여 알아본 이 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 운동방향을 표시하는 화살표와 힘의 방향을 나타내는 화살표를 다른 형태로 구분하여 제시하였으며, 여러 관점들이 뒤엉킨 응답을 제시하지 않고 하나의 관점씩 구분하여 답지를 구성하였다. 이러한 형태의 문항을 통해 대부분의 고등학생들이 뉴턴 이전에 존재하였던 호이겐스적 사고에 머물러 있음을 밝힌 것은 매우 중요한 교육적 의미를 가진다고 본다.

4. 운동에서의 보존량에 대한 고등학생들의 관점 분석

물체의 운동에서 보존되는 양에 대한 개념은 운동량과 에너지이다. 그러나 이 두 개념은 뉴턴이 물체의 운동을 힘의 관점으로 설명하는 것과는 다소 차이가 있다. 힘의 개념은 물체가 가지는 보존량의 개념이 아니고, 두 물체 사이의 상호작용에 관련된 개념이기 때문이다. 이에 대한 고등학생들의 관점은 벽과의 충돌에서 운동량 보존에 대한 사고와 낙하 물체의 운동량 보존에 대한 사고로 구분하여 알아보았다.

(1) 벽과의 충돌에서 운동량 보존

물체의 운동에서 보존량의 개념을 가장 중요하게 다루었던 초기 학자 중 하나는 데카르트이다. 그는 「Principles of philosophy」에서 운동을 가하는 물체와 받는 물체의 운동의 양은 보존된다고 생각하였다. 데카르트가 생각하였던 보존량은 오늘날의 운동량(mv)과 비슷하지만, 스칼라양인 속력으로 생각하였다는 점에서 오늘날의 운동량 개념과는 다소 차이가 있다. 따라서 일정한 속력으로 날아온 공이 벽에 충돌한 후에 반대 방향의 동일한 속력으로 튕겨나간 상황에서 보존되는 양에 대한 데카르트의 관점은 ‘공의 운동 방향이 바뀌어도 속력은 같으므로 운동량은 보존된다.’는 사고로 표현하였다.

호이겐스는 데카르트와 달리 물체의 운동에서 벡터

양인 속도를 고려하였다. 따라서 ‘일정한 속력으로 날아온 공이 벽에 완전 탄성 충돌하고 다시 같은 속력으로 되돌아가는 경우’에 데카르트와 달리 운동량(mv)이 보존되지 않는다. 벡터가 달라졌기 때문이다. 따라서 그는 운동량 대신 항상 보존되는 양으로 속도를 제곱한 양과 질량의 곱(mv²)을 찾아내었으며, 이는 오늘날 운동 에너지의 개념으로 불린다. 호이겐스의 사고를 나타낸 답지로는 ‘공의 속도는 운동방향 때문에 바뀌어 운동량은 보존되지 않지만, 속력의 제곱에 비례하는 에너지 값은 일정하므로 에너지 보존 법칙은 성립한다.’는 내용을 제시하였다.

데카르트나 호이겐스와 달리 뉴턴은 운동하는 물체가 가지는 보존량보다는 두 물체의 상호작용에 관심을 가졌다. 따라서 공이 일정한 속도로 날아오다가 벽에 부딪쳐 멈추었다면, 감속이 되었으므로 공에 힘이 작용한 것이다. 힘은 상호작용이므로 같은 힘이 벽에도 작용한다. 따라서 벽은 공이 날아와 힘이 작용한 방향으로 움직이게 된다. 정지해 있던 벽이 움직이므로 가속이 된 것이고, 이때 벽의 질량과 속도의 곱(mv)인 양은 보존된다. 즉 공이 가지고 있던 운동량은 벽에 의해 보존되는 것이다. 공과 달리 벽의 질량이 매우 크기 때문에 움직이는 속도는 거의 감지하기 어렵다. 따라서 단순한 관찰 결과만으로 벽의 이동을 인식하고 보존량을 찾기란 쉽지 않다. 그러나 벽이 움직인다는 사고를 할 수 있어야 뉴턴의 관점을 가지고 운동량의 보존을 이해하고 있다고 말할 수 있다. 고등학교 학생들이 공과 벽의 충돌에서 운동량 보존에 대해 어떠한 관점을 가지고 있는지 분석하여 표 8에 제시하였다.

표 8

벽과의 충돌에서 운동량 보존에 대한 학생들의 과학사적 관점

과학사적 관점	단위: 명(%)	
	고1	고2
데카르트	24 (32.00)	25 (38.46)
호이겐스	34 (45.33)	22 (33.85)
뉴턴*	14 (18.67)	9 (13.85)
무응답	3 (4.00)	9 (13.85)
전체	75(100.00)	65(100.00)

고등학교 1학년 학생들은 호이겐스의 관점을 가지는 비율이 45.33%로 가장 높았다. 고등학교 2학년 학생들도 데카르트의 관점(38.46%)보다는 다소 낮았지만 많은 학생들이(33.85%)이 호이겐스의 관점을 가지고

있었다. 이 관점에 따르면 물체가 운동할 때 운동량은 보존되지 않고, 단지 에너지가 보존될 뿐이다. 따라서 많은 고등학생들이 과학의 기본 가정이 되는 운동량 보존량에 대해 제대로 이해하지 못하고 있음을 알 수 있다.

고등학교 1학년과 2학년 학생들이 가지고 있는 사고 중에 데카르트의 관점도 각각 32%, 38%로 높은 편이었다. 이들은 물체의 운동에서 벡터량인 속도 대신 스칼라량인 속력의 개념을 가지고 있기 때문에 뉴턴의 관점으로 물체의 운동을 이해하지 못하고 있음을 알 수 있다. 학생들의 개념을 조사한 선행연구들 중에서 이와 유사한 개념을 알아본 경우는 거의 없었으며, 회전 발판 위에서 자전거 바퀴를 돌리는 상황을 제시하고 각운동량 보존에 대한 사고를 알아본 연구(송진웅 등, 2004)는 있었으나, 이 경우에도 많은 고등학교 2학년 학생들이 각운동량 보존 개념을 형성하지 못하였다고 보고하였다.

(2) 낙하 물체의 에너지 보존

중세 시대에는 물체의 운동을 동인인 임페투스로 설명하였으며, 낙하 운동의 경우에는 물체가 떨어질 때 속도가 점점 빨라지는 것을 보고 낙하하면서 코나투스라는 새로운 힘이 물체에 더해지는 것이라고 생각하였다. 따라서 ‘높은 곳에서 낮은 곳으로 떨어지면서 새로운 힘이 생긴다’는 관점을 중세의 관점으로 보았다.

물체의 운동에서 보존량의 개념을 성립시키기 위해 에너지의 관점을 탄생시킨 호이겐스에 의하면, 떨어지는 만큼 손실된 에너지는 보존을 위해 다른 형태의 에너지로 변환될 것이다. 따라서 ‘에너지 차이만큼 새로운 힘이 생겨서 아래로 떨어질 것이다.’라는 관점을 호이겐스의 관점으로 표현하였다. 호이겐스가 생각한 보존량인 에너지를 라이프니츠는 ‘살아있는 힘’이라고 표현하였으며, 그 당시에는 힘과 에너지의 구분이 명료하지 않았으므로 이러한 관점을 가진 학생들을 위해 ‘새로운 힘이 생긴다.’는 표현을 사용하였다. 뉴턴 관점에 의하면 물체가 떨어지면서 가속되는 것은 중력 때문이다. 따라서 ‘중력에 의해 떨어지나, 새로운 힘은 생기지 않는다.’는 관점을 뉴턴의 관점으로 표현하였다.

고등학교 학생들이 낙하 물체에 대하여 어떤 관점을 가지고 있는지 분석하여 표 9에 제시하였다.

표 9에 의하면, 고등학교 1학년 학생들의 34.67%

와 2학년 학생들의 30.77%가 뉴턴의 관점을 가지고 있었다. 그리고 중세 시대의 관점, 즉 높은 곳에서 낮은 곳으로 떨어지면서 속도가 커지므로 새로운 힘이 생긴다는 관점은 고등학교 1학년 학생들의 37.33%와 2학년 학생들의 21.33%가 가지고 있었다.

표 9
낙하 물체의 에너지 보존에 대한 학생들의 과학사적 관점

단위: 명(%)		
과학사적 관점	고1	고2
중세	28 (37.33)	16 (21.33)
호이겐스	12 (16.00)	11 (16.92)
뉴턴*	26 (34.67)	20 (30.77)
기타	8 (10.66)	9 (13.85)
무응답	1 (1.33)	9 (13.85)
전 체	75(100.00)	65(100.00)

이들이 한 응답의 예를 보면, ‘모든 물체는 중력가속도를 받기 때문에 중력에 의해 새로운 힘이 생긴다.’ 등의 내용이 있었다. 따라서 학생들이 중력 때문에 떨어진다는 사실은 알고 있지만, 뉴턴 관점의 힘 개념을 명확하게 형성하고 있지는 못하다는 사실을 알 수 있다.

호이겐스의 관점을 가지고 운동량은 보존되지 않는다고 생각하는 학생들도 16% 정도 있었다. 이들의 응답을 분석해 보면, 보존되는 에너지 양과 힘의 관계를 혼동하여 ‘위치에너지가 운동에너지로 변하면서 힘이 생긴다.’와 같은 사고를 하고 있음을 알 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 국민공통 기본교육과정을 이수한 고등학교 1학년과 물리 I 과목을 이수한 이과 계열의 고등학교 2학년들을 대상으로 관성, 이상화 조건, 힘과 운동 향, 운동에서의 보존량 등에 대한 사고를 과학사적 관점으로 분석해 보았다. 연구 결과, 선행연구들에서 지적한 바와 같이 많은 고등학교 1학년과 고등학교 2학년 학생들이 현 과학교육과정에서 요구하는 뉴턴의 관점을 가지고 있지 못하였다. 그리고 이 연구를 통해 뉴턴 관점을 가지고 있지 못한 많은 학생들이 과학사적으로 고찰해 볼 때 뉴턴 이전의 사고에 머물러 있었다. 특히 뉴턴 시대부터 그 개념이 명확하게 형성된 관성에 대한 이해와 이를 토대로 형성되어야 하는 물체의 운동 방향과 힘의 관계에 대한 사고를 다양한 상황에서 뉴턴의 관점으로 유지하는 학생들이 매우

적었다. 이러한 문제점은 ‘물리 I’을 선택하여 이수한 고등학교 2학년 이과 계열 학생들의 경우에도 마찬가지였다.

이러한 결과를 토대로 생각해 본다면, 학생들에게 물체의 운동에 대한 뉴턴의 관점을 가르치기 이전에 학생들의 사고가 과학사적인 관점에서 어떤 시기의 사고와 유사한지 미리 분석하고, 또한 과학사에서 다음 단계의 관점이 도출되기 위해 필요하였던 사고의 단계들을 고찰하여 학생들이 적절하게 다음 단계의 관점으로 나아갈 수 있도록 교육 내용을 전개해 나가는 방식도 필요하다고 본다.

오개념에 관련된 선행 연구들과 연결지어 생각해 보면, 권성기(1988), 김익근(1989), 박성식과 박승재(1987), 송진웅 등(2004), Gloria 등(1993) 여러 연구에서 학생들이 힘을 물체 내부에 존재하는 양으로 생각하는 경향이 있다고 지적하였다. 또한 이러한 사고가 과학사적으로 볼 때 뉴턴 이전의 사고와 관련이 있다는 언급도 하였다. 그러나 과학사적 관점을 명확하게 구분하고 고등학교 학생들의 물체의 운동에 대한 사고와의 관련성을 고등학교 학생들에게까지 확장시켜 연구한 것은 거의 없다. 대부분의 선행 연구들은 뉴턴 관점이 아닌 학생들의 사고를 비과학적 개념으로 분류하고, 올바른 과학 개념이라고 보는 뉴턴 관점과 다른 사고를 하는 원인을 학년, 성별, 지역 특성 및 인지 특성 등 주로 학생들의 특성 면에서 찾는 경향이 있었다.

그러나 이 연구를 통해 선개념이 단순히 학생들의 사고방식의 문제 때문에 형성된 것이라기보다는 과학사적인 사고의 흐름과 관련이 있고, 따라서 과거에는 뛰어난 관찰을 통해 많은 업적을 남긴 과학자들조차도 현재 나타난 학생들의 사고와 유사한 사고를 하였다는 점을 통해 학생들이 뉴턴 관점을 형성하지 못하는 원인을 학생 외적인 부분에서 찾아보았다는데 그 의미를 찾을 수 있다.

Chi 등(1994)은 이론의 발달은 존재론적 인식의 변환으로부터 이루어진 것이라고 주장하였다. 또한 그는 역사적으로 볼 때 이러한 인식의 전환이 이루어지기 전에는 훌륭한 과학자들 역시 현재 학생들이 어려워하는 문제를 어려워하였다는 사실을 인식하는 것이 중요하다고 하였다(Nakhleh & Samarapungavan, 1999). 따라서 과학교육을 통해 효과적으로 우리가 추구하는 교육 내용을 학생들에게 전달하기 위해서는 학생들이 가지고 있는 선개념을 비과학적 개념이라고 인식하고 그들의 잘못된 과학 개념을 인지 갈등 등 다양한 교수법을 사용하여 올바른 개념, 즉 오늘날 우리가 추구하는 과학 관점으로 변화시키려는 시각을 가지는 것

부터 재고할 필요가 있다고 본다.

과학사를 고찰해 보면, 각 시대에 따라 자연을 바라보는 시각이 바뀌면서 과학자들의 관점도 변화되어 갔기 때문이다. 학생들의 관점 또한 자연을 바라보는 시각이 단지 오늘날 우리의 교육과정에서 추구하는 뉴턴의 관점과 일치하지 않았을 뿐, 그들의 생각을 오개념, 혹은 비과학적 개념으로 간주할 수는 없다고 본다. 과학이란 자연 현상을 설명하는 하나의 가설일 뿐이며, 과학교육 또한 학생들이 이런 자연 세계를 바라보는 가설들이 바뀔 수 있고 앞으로 바뀔 수 있음을 보여 주는 데에도 그 목표를 두어야 한다고 생각한다. 따라서 본 논문은 이런 과학의 본성에 대한 접근을 하기 위한 하나의 기본 자료가 될 수 있을 것이다.

그러나 학생들의 사고가 비록 과학사적 관점과 관련된다고 하더라도 그 당시 과학자들이 형성한 사고와는 근본적으로 다른 부분도 존재할 수 있다. 과학자들과 달리 학생들은 이론적 가설과 경험적인 증거를 명확하게 구별하여 사고하지 못하기 때문에 대립되는 관점들 사이에서 사고의 전환이 쉽게 일어나기 어려울 수 있다. 따라서 학습자들은 서로 대립하는 개념들에 대처하기 위해 다양한 임의적이고 첨가적인 전략을 사용한다는 보고도 있다(Chinn & Brewer, 1993). 이러한 점 때문에 단순히 과학사적으로 일어났던 대립된 개념들을 학생들에게 제공하여 주는 것만으로는 학생들이 쉽게 대립 개념의 유용성을 깨닫고 이를 받아들이는 과정으로 진행되기 어려울 수 있다. 학생들의 사고 수준에 맞추어 이들에게 적절한 교수전략을 사용하는데 이 연구의 자료가 어떻게 구체적으로 활용될 수 있는지에 대한 연구는 앞으로도 계속 이루어질 필요가 있다고 본다.

국문 요약

이 연구에서는 고등학교 학생들의 물체의 운동에 대한 과학사적 관점을 알아보기 위한 설문지를 개발하였다. 연구 대상으로는 고등학교 1학년 학생 75명과 고등학교 2학년 학생 65명을 선정하였다. 연구 결과, 정지한 물체와 등속 운동하는 물체에 작용하는 힘, 낙하 물체의 에너지 보존에 대한 고등학교 1학년 학생들의 사고는 중세의 임페투스 관점과 유사한 비율이 가장 높았으며, 고등학교 2학년 학생들은 중세의 관점과 뉴턴의 관점을 가지는 비율이 가장 높았다. 따라서 학년이 높아지면, 과학사적으로 볼 때 보다 발달한 개념을 형성하게 됨을 알 수 있었다. 외부에 힘이 작용하지 않을 때, 진공에서, 그리고 무중력 상태의 공기 중에서 물체의 운동에 대한 사고는 과학사적으

로 발달된 개념 형성 비율이 1, 2학년 모두 높았으나, 그보다 이전 시대의 사고를 가지는 경우도 상당히 있었다. 또한 물체의 포물선 운동과 원운동, 운동량 보존에 대한 사고는 뉴턴 이전 단계인 갈릴레이나 호이겐스, 데카르트 등의 사고에 머무른 경우의 비율이 고등학교 1, 2학년에서 모두 가장 높았다. 이러한 결과를 토대로, 과학사적으로 발달하기 전 단계의 사고를 하는 학생들에게 물체의 운동에 대한 적절한 인지 갈등을 유발할 수 있는 단계를 제공함으로써 교육의 효율성을 높일 수 있는 방안을 찾을 수 있을 것이다.

참고 문헌

- 고정호, 김학균, 이길재(1997). 유전 개념의 역사적 변천과 학생들의 유전개념 발달의 비교 연구. 한국생물교육학회지, 25(2), 127-142.
- 권성기(1988). 중학생의 과학 수업에 의한 힘과 운동개념변화. 서울대학교 석사학위논문.
- 김도욱(1995). 연수에 대한 오개념 교정을 위한 과학사 프로그램의 적용효과. 한국초등과학교육학회지, 14(2), 135-148.
- 김미리(2001). 과학사를 도입한 ‘전기와 자기’ 수업이 중학생의 과학에 대한 태도와 인식에 미치는 영향. 서울대학교 석사학위논문.
- 김은경(1995). 과학사적 수업이 관성 개념의 지속에 미치는 효과. 경북대학교 석사학위논문.
- 김은선(2002). 중학교 과학 물리영역에 과학사를 도입한 효과 힘과 운동 단원을 중심으로 새물리, 45(2), 118-122.
- 김익균(1989). 중학교 학생들의 역학 개념 구조에 관한 연구. 물리교육, 7(1), 42-28.
- 김홍중(1997). 과학사적 학습지도에 의한 중학생들의 낙하운동 개념이해. 제주대학교 석사학위논문.
- 노미라, 김대식(2002). 고등학교 학생들의 작용-반작용 관련 오개념 교정에 관한 연구. 과학교육연구논총, 18(1), 1-12.
- 박남이(2000). 과학사를 이용한 진화 개념의 교수-학습 효과에 관한 연구. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 박남이, 이길재(2000). 과학사를 이용한 진화 개념의 교수-학습 효과에 관한 연구. 한국생물교육학회지, 28(2), 85-99.
- 박성식, 박승재(1987). 힘과 운동에 대한 중학생들의 개념 조사. 한국과학교육학회지, 7, 61-72.
- 박인규(1998). 중학교 과학교사와 학생들의 작용-반작용에 대한 개념조사. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 박종원, 정병훈, 권성기, 송진웅(1999a). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해조사Ⅲ. 한국과학교육학회지, 19(1), 62-77.
- 박종원, 정병훈, 권성기, 송진웅(1999b). 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해조사Ⅳ. 한국과학교육학회지, 19(1), 78-90.
- 석근학(2000). 힘과 운동에 대한 중학생의 이해도와 고등학생의 공통과학수업 후 이해도 조사. 인천대학교 석사학위논문.
- 송진웅, 김익균, 김영민, 권성기, 오원근, 박종원(2004). 학생의 물리 오개념지도. (주)북스힐.
- 송창민(2003). 과학사를 도입한 교수학습 모듈이 고등학생의 진화 개념 변화에 미치는 효과. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 양승훈, 송진웅, 김인환, 조정일, 정원우(1997). 과학사와 과학교육. 민음사: 서울.
- 오원근, 김재우(2002). 뉴턴의 ‘프린키피아’에 나타난 ‘힘’ 개념을 이용한 중등학생의 힘과 운동 개념 학습지도. 새물리, 44(4), 185-192.
- 유미현(1999). 과학사 프로그램의 개발 및 중학교 과학 수업에의 적용효과. 서울대학교 석사학위논문.
- 유진숙(1998). 과학의 본성에 대한 인식 조사 및 인식 변화에 미치는 과학사 프로그램의 효과. 서울대학교 석사학위논문.
- 이경숙(2003). 힘과 운동에 관한 초등 교사 및 과학 교과서의 과학사적 관점 분석. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 이미숙(2004). 과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 변화 분석. 한국교원대학교 박사학위논문.
- 이미숙, 이길재(2006). 과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 분석. 한국과학교육학회지, 26(1), 25-39.
- 정수인(2001). 갈릴레오의 자유낙하 사고실험에 대한 중학생들의 사고과정 분석. 한국과학교육학회지, 21(3), 566-579.
- 정재오(1996). 우리나라 고등학생들의 힘과 운동 개념. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 주지영, 김소연, 백성혜(2004). 예비 중등과학 교사들의 물체의 운동 개념의 과학사적 관점 분석. 한국과학교육학회지, 24(6), 1049-1062.
- 차영, 서상오, 권재술(2001). 작용과 반작용에 관한 학습에서 토론을 통한 인지갈등과 개념 변화. 한국과학교육학회지, 24(6), 1049-1062.
- 최혁준(2003). 무중력 상태에 대한 예상의 확인 결과가 대학생의 인지갈등과 개념변화에 미치는 영향. 한국교원대학교 박사학위 논문.
- 하경미(2005). 과학사적 관점으로 ‘물체의 운동’에 관련된 설문 도구 개발 및 중학생들의 인식 조사. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 헌승희(2001). 과학사를 도입한 에너지 보존 법칙 수업 자료 개발과 그 효과. 서울대학교 석사학위논문.
- 홍준의(2002). 멘델유전학의 발달과정을 이용한 교수-학습 모듈 적용 효과. 한국교원대학교 박사학위논문.

- Chi, M. T. H., Solta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for science learning. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F.(1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50, 66-71.
- Fischbein, E., Stavy, R., & Ma-Naim, H. (1989). The psychological structure of naive impetus conceptions. *International Journal of Science Education*, 11, 71-81.
- Fisher, K. M.(1983). Animo acids and translation. In H. Helm., & J. D. Novak(Eds.). *Proceedings of the international seminar on misconceptions in science and mathematics*, 407-419, Cornell University.
- Galili, I., & Bar, V. (1992). Motion implies the force. *International Journal of Science Education*, 14, 63-81.
- Glوريا D., Eleanor, W., John, B., Elaine, M., Geoffrey, M., Paul, R., & Andrew, S. (1993). Textbook treatments and students' understanding of acceleration. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), 621-635.
- Jensen, M. S., & Finley, F. M. (1996). Changes in students' understanding of evolution resulting from different curricular and instructional strategies. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(8), 879-900.
- Justi, R., & Gillbert, J. (2000). History and Philosophy of science through model. *International Journal of Science Education*, 22(9), 993-1009.
- Kass, H., & Lambert, P.(1983). Student preconceptions in introductory high physics as related to course achievement. In H. Helm., & J. D. Novak(Eds.). *Proceedings of the international seminar on misconceptions in science and mathematics*, 374-387, Cornell University.
- Matthews, M. R. (1994). *Science Teaching: The Role of History and Philosophy of science*. London: Routledge.
- McCloskey, M.(1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248(4), 122-130.
- Nakhleh, M. B., & Samarapungavan, A. (1999). Elementary School Children's Beliefs about Matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), 777-805.
- Nussbaum, J., & Novic, S. (1982). A study of conceptual change in the classroom. A paper presented at th Annual Meeting of th National Association for Research in Science Teaching, Lake Geneva.
- Sequeira, M., & Leite, L. (1991). Alternative Conceptions and History of Science in Physics Teacher Education. *Science Education*, 75(1), 45-56.
- Thagard, P.(1992). *The structure of conceptual revolutions*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Wandersee, J. H.(1985). Can the history of science help science educators anticipate student's misconceptions? *Journal of College Science Teaching*, 23(7), 581-597.