

지구의 연령 측정 관련 과학사 수업 개발

신동희* · 강혜진

이화여자대학교 과학교육과, 120-750, 서울특별시 서대문구 대현동 11-1

Development of a History of Science Lesson Using the Content of 'Age Dating of the Earth'

Donghee Shin* and Hyejin Kang

Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

Abstract: The opinion, that the history of science should be introduced to science lesson, has been continuously emphasized by a group of people who supported the needs of science and scientific process, nature of science, and the interaction between science and society. When the importance of the integrated science education is emphasized, the history of science is suggested as an effective curriculum for it. To respond to this identified interest, we developed a lesson of the history of science by selecting the contents of the history of science as subject topics of the integrated science and by utilizing the findings of previous studies related to the history of science in science educations. To develop the history of science class as a subject of integrated science, we chose 'the age of the earth' as a unit. After the pilot test of the unit in secondary school students, the possibility of offering the lesson as a regular course was examined with analysis of the students' reactions showing its effectiveness.

Keywords: history of science, integrated science education, the age of the earth, lesson

요약: 과학 수업에 과학사를 도입하자는 주장은 과학 지식과 과학적 방법의 이해, 과학의 본성에 대한 고찰, 과학과 사회와의 상호작용의 이해 등의 필요성에 따라 지속적으로 강조되어 왔다. 통합 과학 교육의 중요성이 강조되고 있는 오늘날, 과학사는 통합 과학 교육의 방안으로도 효과적이다. 이러한 배경 속에서 본 연구에서는 과학사를 과학 교육에 활용한 연구들을 분석하고 이를 토대로 통합 과학 주제로서 과학사를 활용할 수 있는 내용을 선정해 과학사 수업을 개발했다. 본 연구에서는 통합 과학의 주제로서의 과학사 수업의 개발을 위해 '지구의 연령'을 주제로 선정했다. 중·고등 학생들을 대상으로 한 시범 적용 결과, 학생들은 수업을 긍정적으로 평가했다.

주요어: 과학사, 통합 과학 교육, 지구의 연령, 수업

서론

과학 교육에서 과학사 활용의 효과와 필요성에 대한 연구 결과는 지속적으로 발표되어 왔다. 과학사 교육을 통해 학생들은 과학 개념, 과학적 방법, 과학의 본성 등에 대한 이해가 향상되고 과학에 대한 흥미와 동기를 유발시킨다. 뿐만 아니라, 과학사는 과학을 인간화하는 역할을 하고, 다른 학문과의 연결을 가능하게 하며, STS 교육과 관련해 보다 폭넓은 이

해를 가능하게 한다(양승훈 외, 1996; Jenkins, 1990; Sequeira and Leite, 1991; Solomon et al., 1992; Matthews, 1994). 이러한 장점을 고려해 미국과 유럽 등지의 과학 교육에서 과학사를 활용하자는 주장은 이미 오래 전부터 시작되었다.

미국의 경우, 「Science for All American」, 「Benchmarks for Scientific Literacy」, 「National Science Education Standards」 등에서 과학 교육의 주요 목표로 과학의 본성과 과학사를 다룰 것을 강조했다(Rutherford, 2001에서 재인용). 또한 「Project 2061」에서는 과학사를 과학 교육 과정에 도입할 것을 강력하게 추천했는데, 미국 과학재단(National Science Foundation)의 지원으로 1987년에 시작된

*Corresponding author: donghee@ewha.ac.kr
Tel: +82-2-3277-2719
Fax: +82-2-3277-2684

「The History and Philosophy of Science and Science Teaching」 프로젝트가 대표적 예다(Matthews, 1991).

영국의 경우, 1986년 ASE(Association for Science Education)에서 과학의 역사적 측면을 통해 과학을 보다 문화적인 활동으로 나타내고 이를 통해 학교 과학 교육을 증진시키는 방안을 탐색하기 위한 위원회를 설립한 후, 영국의 BSHS(The British Society for the History of Science)와 함께 활발하게 논의했으며 구체적인 방안과 접근을 모색했다. 그 결과 1988년 영국 국가 과학교육과정에서는 과학 교과에 과학사 및 과학 철학에 관련된 내용을 5% 이상 할당하도록 정했다(이면우, 2003; 최윤희, 2005).

유럽물리학회(The European Physical Society)에서는 1983년 이후로 매 2년마다 물리학과 물리 교육에 관한 학술대회를 개최하고 있다(강경희, 2005; 최윤희, 2005). 덴마크에서는 1980대 말 새로운 물리 교육 과정을 제안하고 일부를 역사적 맥락에 따라 구성했으며 ‘인간 활동으로서의 물리’를 목표로 과학의 역사와 철학적 접근을 시도했다(Viana and Porto, 2010).

우리나라에서는 송상용(1971)이 처음으로 과학 교육에 과학사 도입의 필요성을 제기했다(양승훈 외, 1996; 길학균과 이길재, 1998; 박남이와 이길재, 2000; 이면우, 2003). 그는 과학에 흥미가 없는 인문, 사회 과학 계열 학생들에게 교양 과학을 가르칠 수 있는 방안으로서 어떤 과학적 결과가 나온 여러 단계를 다시 더듬어 보는 역사적 방법과 결과를 분석해서 그 구조적 패턴과 구성 성분 사이의 논리적 관계를 드러내는 논리적 방법을 제시했다(양승훈 외, 1996; 이면우, 2003; 강경희, 2005). 또한 과학사를 과학 철학이나 현대 과학과 관련시켜 가르치면 과학의 개념적 구조와 과학 연구의 방법을 이해시킬 수 있을 것이라고 주장했다(이면우, 2003).

국내외에서 이루어진 과학 영역별 과학사 활용 과학 교육은 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역별로 주로 이루어져 왔다. 물리 영역에서 Nielsen and Thomsen(1990)이 고등학생들과 고등학교 교사들을 위한 과학사 활용 물리 수업을 개발했고, Paschke(2001)는 갈릴레오가 실제로 행했던 운동 실험을 학생들에게 경험하게 하는 물리 수업을 개발했다. 그는 학생들이 과거 과학자들이 수행했던 그대로 실험을 실시함으로써 역사적 관점을 갖게 된다고 주장했다. Rosa and

Martins(2009)는 브라질에 있는 한 대학의 물리학 프로그램 속에 나타난 과학사·철학 내용을 분석하는 연구를 수행했다. 세 명의 교수를 면담하고 프로그램과 주제의 목록을 분석했는데, 이 프로그램은 매 시간마다 하나의 주제에 대해 수업하고 세미나를 가졌고 프로그램 마지막 과제로 논문을 작성하는 것이었다. 대학생들은 자료를 읽고 논의하며 과학자들에 대해 조사하여 개념도나 브이 다이어그램 등으로 발표하는 시간을 가졌다. 이를 통해 과학사·철학과 과학 교육 사이에 상호작용이 부족하다는 분석 결과를 보고했고 특히 과학사에 대한 물리 교육 학회의 관심을 촉구했다.

화학 영역에서 Van Driel(1998)은 화학 평형 개념과 관련해 과학사에 드러난 추론 과정과 학생들의 추론 과정을 비교했다. 15-16세의 학생 200명을 대상으로 한 실험, 토의, 토론 수업을 통해 화학 반응에 대한 학생들의 추론과 19세기 과학자들의 추론 과정이 유사하다는 것을 발견했다. 김도욱(1995)은 연소에 대한 오개념을 치유하기 위한 과학사 프로그램을 개발했다. 이 프로그램의 소재는 ‘산소와 이산화탄소’ 단원에서 가르칠 수 있도록 연소와 관련 있는 화학사 중 슈탈의 플로지스톤설에서 라부아지에의 연소설로의 변천이다. 강철솜과 인의 연소 현상에 대한 개념 변화를 알아보기 위해 개발한 프로그램을 예비 교사 57명에게 적용해 본 결과 개념 변화에 효과적인 것으로 보고했다. 조양숙 외(1996)의 연구에서도 초등학교 6학년 학생들의 물질관에 대한 오개념을 교정하기 위한 실험 활동을 개발했다. 프로그램의 소재는 물질관과 관련 있는 과학사 내용인 연속적 물질관에서 입자론적 물질관으로의 변천 과정을 선택했고 초등학교 6학년 한 학급을 대상으로 적용했다. 그리고 면담을 통해 과학사 프로그램에 대한 학생들의 태도를 조사한 결과 대부분 긍정적임을 알 수 있었다.

생물 영역에서 Appelget 외(2002)는 학습 부진 학생들을 위한 과학사 프로그램을 개발했는데, 특히 읽기 능력이 부족한 학생들을 위한 활동으로 역할극을 활용한 수업 프로그램을 개발했다. 이 프로그램에서는 읽기에 대한 스트레스를 줄일 수 있도록 짧은 읽기 자료를 활용하여 학생들이 자아 효능감을 갖는 기회를 제공했다. 또한 역할극 프로그램을 통해 학생들은 과학 지식을 더 잘 기억하고 활동에 적극적으로 참여하며, 인지적, 정서적으로 높은 동기를 가지게 되었다. 이러한 학생 중심 활동을 통해 학생들은

고차원적 사고 능력이 향상되고 추론 능력이 발달된다고 주장했다.

지구과학 영역에서 이기영과 안희수(1999)는 과학사 학습 모형을 개발했다. 과학사 활용 방법에 따른 자료 유형을 분류하고 과학 교과서를 분석한 뒤 지구과학에서 중요하다고 생각되는 개념을 선정해 과학사와 연계시킨 수업 자료를 개발했다. 또한 강의식 수업, 과학사를 선행조직자로 이용하는 수업, 과학사를 이용한 수정된 순환 학습 모형을 적용한 수업, 역할극을 활용한 수업 등의 계획안을 개발했다. Thompson 외(2000)는 중·고등학생을 위해 판구조론 발달 과정의 과학사 수업 자료를 개발했다. 이들은 교육 과정을 설계할 때, 인식론과 역사적 관점의 중요성을 설명하고 이를 과학 교육 과정에 포함하는 방안을 제안했다. 과학교육학자와 교사들을 대상으로 한 설문, 학생 활동 분석을 통해 인식론과 역사적 관점이 과학의 본성을 더 잘 이해하는데 도움을 준다고 주장했다. 또한 교육 과정에 대한 적절한 관리의 부재, 교사의 열정적인 요구와 시간이 부족하다고 지적하며 교사의 인식 조사가 선행되어야 한다고 제안했다.

그 외에 박문영과 이면우(2007)는 과학사를 소재로 한 초등 과학 영재 프로그램을 개발하고 적용했다. ‘나비 박사 석주명’, ‘마리 퀴리 따라잡기’, ‘더 작은 것을 찾아서 파스퇴르’, ‘조국이 인정한 과학자-우장춘’의 네 가지 주제를 총 8차시에 걸쳐 초등학교 6학년 학생 15명에게 적용했다. 참여 관찰, 지도 교사의 수업 일지, 학생들의 산출물, 프로그램에 대한 학생들의 평가 및 심층 면담을 통해 질적으로 분석한 결과 학생들의 흥미와 참여도, 과제 집착력, 창의성 등에서 긍정적으로 나타났다고 보고했다.

이상과 같이 현재 국내·외에 걸쳐 과학사를 활용한 과학 교육 프로그램의 개발이 어느 정도 이루어지고 있으나 과학의 통합적 특성을 반영한 프로그램 개발은 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 과학사 활용 과학 교육의 효과 중에서도 ‘학문간 통합’에 주목하고자 한다.

과학 교육의 대상이 되는 자연 현상은 물리, 화학, 생물, 지구과학적 현상으로 분리되어 일어나지 않고 복합적으로 일어난다. 뿐만 아니라 그 현상을 탐구하는 사고 과정 또한 분리되어 있지 않다. 따라서 과학 교육은 특정 자연 현상이 다양한 분야의 과학적 개념과 관련되어 있는 자연의 특성을 고려할 때 통합적인 접근 방식의 수업을 필요로 한다. 하나의 과학

개념이 발달할 때 어느 한 분야의 지식만으로 만들어지는 것이 아니라 여러 영역의 지식과 과학적 방법이 서로 밀접한 관련을 맺으며 체계적인 지식이 만들어지기 때문이다. 그러므로 통합 과학 교육은 과학의 본성과도 잘 부합되는 방식이라고 할 수 있다.

국내 통합 과학에 대한 연구로는 권재술과 박범익(1978)이 개념 중심 방법과 과정 중심 방법을 중심으로 통합 과학 교육 과정을 비교한 연구가 있다. 손연아와 이학동(1999)은 통합 과학 교육의 방향 설정을 위한 이론적 고찰이라는 연구에서 지식 내용 중심, 사회 문제 중심, 개인 흥미 중심의 세 가지 통합 과학 교육의 방향을 모색했다. 또한 최미화와 최병순(1999)은 통합 주제를 중심으로 중학교 수준에서의 통합 과학 내용을 구성할 방안을 제시했다. 통합 과학 수업을 개발해 과학 교육에 적용한 사례로 박수경 외(2001)가 중학교 과학 수업을 위해 주제 중심 통합 단원을 개발한 연구가 있다. 이 연구에서는 ‘상호 작용’과 ‘안정성’이라는 두 가지 통합 주제를 선정 후 학습 내용을 통합적으로 구성했다.

Snow(1959)는 인문학과 과학에 기초한 두 문화 사이의 차이를 우려하고 둘 사이에 다리가 있어야 함을 강조했다(Jenkins, 1990에서 재인용). 과학사는 그 다리 역할을 할 수 있을 것이며, 학생들에게 과학의 발달 과정에서 일어난 역사적 사건에 대한 바른 통찰력을 제공할 것이다. 역사와 일대기는 과학사 실험 활동으로 획득할 수 없는 과학의 포괄적 관점을 가능하도록 하여 인문학과 과학 사이의 인공 장벽을 허무는 대안이 될 수 있다. 뿐만 아니라 과학의 각 주제를 연결하는 역할도 한다. 과학사의 사례를 살펴보면 하나의 과학 개념이 정립되기 위해 여러 분야의 과학 지식과 방법이 필요함을 알게 된다. 이를 통해 분리되어 있는 것처럼 보이는 과학이 실제로는 통합적이고 융합되어 있음을 깨닫게 된다.

이렇듯 과학사 활용 과학 교육이 다른 학문과의 연결, 즉 통합 과학 교육에 효과적이라는 장점에도 불구하고, 과학 교육에서의 통합적 시각에서 개발된 과학사 활용 과학 교육 프로그램은 드물다. 특히, ‘2009년 개정 과학교육과정’의 10학년 「과학」 교과나 과학중점교의 「특별교과 I, II」¹⁾에서 활용할 만한 교재나 교육 프로그램은 더욱 부족한 실정이다.

이와 같은 필요성에 따라 본 연구에서는 과학의 통합성을 강조한 과학사 활용 과학 수업을 개발하고 시범 적용 과정에서 학생들의 의견을 통해 개발된

수업의 효과와 보완할 점을 파악하고자 한다.

연구 내용 및 방법

본 연구에서는 과학사 관련 문헌을 통해 과학 교육에서 과학사를 활용해 온 방법과 내용을 통해 과학사를 효과적으로 과학 교육에 적용하기 위한 지구과학 수업을 개발했다. 과학사 수업의 주제로 ‘지구의 연령’을 선정했고, ‘지구의 연령’ 관련 과학사 문헌을 찾아 분석하고 이 주제를 효과적으로 가르칠 수 있는 수업 방법을 계획했다. ‘지구의 연령’ 연구 역사를 주제로 정한 것은 지구의 연령을 밝혀 온 과정이 과학 각 분야 간의 상호작용, 과학과 사회, 문화가 서로 주고받는 영향 등을 잘 드러내고 있기 때문이다. 다양한 관련 문헌 분석²⁾을 통해 수업을 계획하고 상세한 수업 지도 계획서를 작성한 후, 시범 적용의 대상을 선정하고 수업을 실시했다. 두 차례의 시범 적용 후 사후 집단 면담을 실시해 개발한 과학사 수업에 대한 학생들의 의견을 조사했다.

‘지구의 연령’ 과학사 수업 개발

‘지구의 연령’을 측정하는 역사에 관한 주제는 지구과학에서 중요한 주제일뿐만 아니라 과학의 다른 영역에서도 많은 연구가 있었다. 이 주제는 과학의 여러 영역이 하나의 질문에 답을 하기 위해 어떻게 협력하고 영향을 주고받으며 발전해 왔는지를 그대로 보여주는 주제 중 하나다. 이를 통해 학생들은 과학이 발전하는 방식, 과학자들이 연구하는 방법, 과학적 지식이 정립되는 과정 등을 알 수 있으며 사회와 시대적 배경이 과학에 미치는 영향에 대해서도 생각해 보는 기회를 갖게 된다. 관련 서적에서 ‘지구의 연령’을 밝히기 위한 과학자들과 그들의 연구 방법, 당시의 시대상 등을 분석하고 지구의 연령에 대한 과학 지식과 과학적 방법, 그리고 과학의 본성 측면을 효과적으로 가르치기 위한 수업 내용과 방법을 계획했다.

수업 대상은 중학교 3학년부터 고등학교 1학년으

로 정했다. 특히 2011년부터 적용되는 2009 개정 교육과정의 「과학」 교과에서 융합 과학의 특성을 잘 살릴 수 있는 수업 자료, 과학중점학교의 「과학교양」 또는 「과학융합」 교과에서 활용 가능한 수업 자료, 그리고 영재교육원에서 과학 영재아를 위한 수업 자료로 활용될 수 있도록 수업을 개발했다.

우선 ‘지구의 연령’의 역사와 관련된 지식을 어느 수준까지 제시해야 하는지를 고려했다. 한 예로 지구의 연령을 밝히기 위한 Kelvin의 주장의 바탕이 되는 ‘열역학 법칙’이라는 개념이 있다. 수업 대상을 중학교 과학 영재부터 고등학교 1학년으로 했기 때문에 ‘열역학 법칙’과 같이 어려운 개념과 용어를 직접 사용하지 않고 그 의미를 정성적으로 설명했다. 또한 지구의 연령을 밝히게 된 결정적인 과학적 개념인 ‘반감기’ 또한 직접적으로 ‘반감기’라는 용어를 사용하기보다 ‘방사능 동위원소가 다른 원소로 변하는 일정한 속도로 인하여 원래의 원소와 새로 만들어진 원소의 비율을 계산하면 시간을 알 수 있다.’라고 의미를 전달하는 방식을 택했다.

내용을 전달하는 방식을 택할 때 과학에는 여러 영역이 존재하지만 실제로는 그 영역이 독립적으로 발전하는 것이 아니라 서로 협력하고 견제하며 상호작용하는 관계 아래에서 과학적 지식이 발전하고 정립된다는 것을 보여주기 위해 우선 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역에서 이루어진 과학적 노력으로 구분했다. 지구의 연령을 밝히기 위한 역사는 물리 영역의 노력만으로, 또는 지구과학 영역의 노력만으로 이루어진 것이 아니라 모든 영역에서 통합적으로 이루어진 것이라는 것을 보여주기 위해, 처음에는 영역을 나누어 배우고 이후에 역사적 순서에 맞추어 통합하는 방식이 가장 효과적일 것으로 판단했다.

물리 영역에서 이루어진 노력만으로 화학 영역에서 이루어진 노력만으로는 지구의 연령을 정확하게 밝힐 수 없다. 과학의 각 영역은 고유의 과학적 지식과 과학적 방법을 가지고 있지만 하나의 자연 현상과 주제를 연구하는 데에 있어 그 영역만의 과학 지식과 방법만으로는 한계가 있기 때문이다. 실제로 자연 현

1) 2011년부터 과학중점고등학교에서는 「특별교과 I(과학교양)」과 「특별교과 II(과학융합)」교과가 신설된다. 「특별교과 I」은 과학 기술과 사회, 과학의 역사, 과학과 수학, 전통 과학, 글로벌 이슈와 과학 등의 내용을 통해 고등학교 1학년으로서 갖추어야 할 과학적 소양을 과학·수학과 관련지어 학생들의 흥미를 향상시킬 수 있는 다양한 내용으로 구성되어 있다. 「특별교과 II」는 인문학, 예술, 사회과학 등 다양한 영역과 과학과의 융합된 내용으로 구성된다. 특별 교과 예시 과목 중 하나로 「과학의 역사」도 포함되어 있다 (한국과학창의재단, 2010).

2) 3일 만에 읽는 과학사(공하린, 2006), 과학사 속의 대논쟁 10(이충호 역, 1999), 데이팅 게임(조숙경 역, 2000), 천재들의 과학노트 4: 지구과학(좌용주 역, 2007), 한번은 꼭 읽어야 할 과학의 역사 2(최주연 역, 1998) 등을 참고로 했음.

Table 1. Subjects for pilot application (unit: number)

	7th grade students	8th grade students	11th grade students	Total
Male students	10	2	6	18
Female students	5	1	16	22
Total	15	3	22	40

상은 과학의 여러 영역의 지식과 방법을 활용함으로써 밝힐 수 있다. 따라서 학생들에게 각 영역에서 이루어졌던 연구들을 먼저 알려주는 것은, 그 영역의 과학적 지식과 방법을 이해할 수 있도록 함과 동시에 한계점을 인식하게 함으로써 다른 영역의 과학 지식과 방법의 필요성을 느끼게 할 수 있는 효과가 있을 것으로 판단했다.

Jigsaw 협동학습을 통해 우선 자신이 맡은 영역에서 이루어진 연구들을 학습하고, 그 후 토론을 통해 그 영역의 한계점을 어떤 영역의 연구로 보완할 수 있는지, 또는 자신이 맡은 영역의 연구가 다른 영역의 연구를 지지하는 근거가 되거나 반박하는 근거가 되는지를 학습할 수 있도록 했다. 이 과정을 통해 학생들은 한 가지 연구를 위해 과학의 각 분야가 상호작용을 하고 있음을 깨닫게 되며 과학의 통합적이고 융합적인 성격을 효과적으로 인식하게 될 것이다.

협동학습은 개념 학습, 창의적인 문제 해결 및 언어 사용 능력의 향상 및 숙달 등 여러 면에서 효과적인 수업 방법이다(노태희 외, 1998). ‘지구의 연령’ 수업에서는 Jigsaw I을 활용하기로 했는데 이는 소집단의 구성원 각각에게 책임감을 부여하여 모두 협동 학습에 적극적으로 참여할 수 있을 뿐만 아니라, 지구의 연령이라는 하나의 주제에 답하기 위해 과학의 각 영역에서 이루어진 연구들을 모두 학습하기에 효과적인 방법이라는 판단에서였다.

지구의 연령을 밝히기 위한 역사의 과정을 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역에서 이루어진 연구로 구분하여 정리했다. 또 각 영역에서 이루어진 지구의 연령 측정에 관한 연구들을 담은 읽기 자료와 활동지를 개발했다. 수업은 2-3차시 분량으로 계획했으며 크게 3개의 활동으로 구성했다. <활동 1>은 전문가 집단끼리 모여서 하나의 영역에 대해 학습하고 토론하는 활동이며, <활동 2>는 원래의 소집단으로 돌아가서 자신이 전문가 집단에서 배운 것을 조원들에게 설명하고 조원들마다 그들이 배운 것을 들으며 토론하는 활동이다. <활동 3>은 학습한 것을 종합하고 발표하는 활동이다.

시범 적용

개발한 수업의 효과와 보완점을 알아보기 위해 두 차례의 시범 적용을 실시했다. 첫 번째는 서울 소재 4년제 사립대학교 부설 영재교육원의 중학교 1-2학년 학생 18명을 대상으로 실시했다. 이들은 서울 지역 중학교에 재학 중이며, 영재교육원에서 8개월 정도 함께 수업을 받고 있었다. 두 번째는 서울시 소재 고등학교 과학 AP(Advanced Program)를 이수 중인 2학년 학생 22명을 대상으로 했다. 이들은 고등학교의 과학 AP에 지원하여 선발된 학생들로 과학에 흥미가 많고 과학 교과 성적이 우수한 학생들이다(Table 1).

본 수업은 Jigsaw I을 활용한 수업으로 학생들을 소집단으로 구성하는 것이 필요했다. 토론을 비롯한 학습 활동이 잘 이루어질 수 있도록 영재교육원과 AP의 담임 교사와 함께 사전에 소집단을 구성했다. 수업 전에 학생들의 지구의 연령에 관한 사전 지식과 과학의 방법, 과학자에 대한 생각을 알아보기 위해 조사지를 나누어주고 작성하게 했다. 그리고 수업의 마무리 시간에 과학 지식의 특성과 수업에 대한 의견을 알아보기 위한 조사지를 작성하게 했다. 조사지 내용을 참고로 시범 적용 수업 후 학생들을 대상으로 심층 집단 면담을 실시했다.

연구 결과 및 논의

‘지구의 연령’ 과학사 수업 개발

이 수업의 학습 목표는 지구 나이에 대한 과학사적 지식을 이해하고 지구 나이가 밝혀지는 과정에 드러난 과학 업적의 통합적 특성과 과학의 본성을 이해하는 것이다. 또한 학생들 간의 의사소통과 같은 기능적 측면을 향상시키는 것도 중요하다. 지구의 연령을 밝히기 위해 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역에서 이루어졌던 연구들 중에서 중요한 주장들과 사건에 대한 연대표 개발을 우선으로 했다(Table 2).

개발한 연대표를 근거로 수업에서 다룰 주장과 사건을 정하고 어떤 형태로 학생들에게 제시할 것인가를 고안했다. 최종적으로 지질학을 기본 틀로 하여

Table 2. Processes to find out the age of the Earth

연도	과학자	업적 또는 주장	분야
1650s	제임스 어셔	지구 창조의 날짜 발표 BC 4004. 10월 22일	Armagh 교
1785	제임스 허튼	에든러버 왕립학회 강연장에서 '지구이론'이라는 논문 발표: 동일과정설 주장	지질학자
1789	클라프포트	우라늄 발견	화학자
1798	제임스 허튼	"시작에 대한 그 어떤 혼적도 종말에 대한 그 어떤 전망도 찾을 수 없다"	지질학자
1790s	윌리엄 스미스	암석의 규칙적이고 체계적인 순서 발견	광물 측량사
1817	윌리엄 스미스	최초의 지질도(잉글랜드와 웨일스의 지층을 나타내는) 출간: 노두 내 암석 연속물 각 층에 들어 있는 화석으로 연대를 측정할 수 있음을 증명	광물 측량사
1830	찰스 라이엘	'지질학의 원리(Principles of Geology)' 출간	지질학자
1831-1836	찰스 다윈	비글호 항해 시작	생물학자
1839	찰스 다윈	'비글호 항해기(Journal of the Voyage of the Beagle)' 출간	생물학자
1847-1854	헬름홀츠	'힘의 보존에 대하여 (On the Conservation of Force)' 출판: 열역학 제1법칙 확립	물리학자, 생리학자
1851	윌리엄 톰슨(켈빈)	열역학 제2법칙 제시	물리학자
1859	찰스 다윈	'종의 기원 On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Race in the Struggle for life' 출간	생물학자
1860	윌버포스 주교, 헉슬리	옥스퍼드 대학의 자연사 박물관, 영국과학진흥협회의 연례회의의 윌버포스 주교와 헉슬리의 논쟁	주교, 동물학자
1862	켈빈	에든러버 왕립학회, 'On the secular cooling of the Earth' 발표	물리학자
1868	켈빈	GGG(Glasgow Geological Society)에서 연설	물리학자
1869	헉슬리	Kelvin의 주장에 반대하는 보고서 발표	동물학자
1870	켈빈	GGG, 헉슬리 주장 반박	물리학자
1895	윈트겐	X선 발견	물리학자
1895	윌리엄 램지	광물에서 헬륨 발견	화학자
1896	폴턴	BAAS의 리버풀 모임에서, 당시 발견된 가장 오래된 화석처럼 고도로 진화되어 복잡한 상태에 이르기까지는 이전에 이미 아주 긴 시간을 지나왔어야 한다고 주장	생물학자
1896	앙리 베크렐	X 선과 우라늄에서 방사선 발견	물리학자
1897	존 줄리	바다의 염 증가율 계산해서 지구 나이 추정	지질학자, 물리학자
1897	J.J. 톰슨	전자 발견 → 원자가 기본적 입자가 아님을 증명 -토륨 발견.	물리학자
1897	마리 퀴리	-우라늄, 토륨에서 방출되는 빛은 화학반응이 아니라 원소에서 직접 기인하는 것이며, 빛은 원소의 양과 관련 -폴로늄, 라듐 발견	물리학자
1902	어니스트 러더퍼드, 프레드릭 소디	-하나의 원소가 다른 원소로 변형 가능하다는 것 발견. (라듐 → 라돈), (우라늄 → 라듐 → 라돈) -암석 나이 계산 → 5억 년	물리학자, 화학자
1903	피에르 퀴리	라듐이 열 방출 한다는 것 발견	물리학자
1907	베트램 볼트우드	-우라늄이 붕괴되면 최종적으로 납이 된다는 사실 발견 -지구의 연령을 22억 년, 태양계의 나이를 50억 년이라고 주장	화학자
1911	아서 홉스	-데본기의 나이가 3억 7천만 년이라고 발표 -방사성 동위원소의 붕괴에 의한 붕괴열로써 지각이 용해된다고 주장	지질학자
1913	아서 홉스	'지구의 연령 The age of the Earth' 출간	지질학자
1929	아서 홉스	맨틀 대류설 주장	지질학자
1944	아서 홉스	'자연지질학 원리 Principles of Physical Geology' 출간	지질학자
1946	아서 홉스	지구의 연령이 적어도 30억 년은 되었다고 주장	지질학자
1953	클레어 패터슨	지구의 연령을 45억 년이라고 밝힘	지질학자, 화학자
1956	클레어 패터슨	지구의 연령을 45억년 5천만 년(±7천만 년)로 수정	지질학자, 화학자

시간이 지남에 따라 물리와 화학, 생물 영역의 주장이 서로에게 어떤 영향을 미치면서 지구의 연령이 밝혀지게 되는지 Fig. 1과 같이 정리했다. '지구의 연령'이 알려지기까지 드러난 과학의 통합적 성질을 잘

보여주는 Fig. 1을 수업의 기본 방향으로 설정한 뒤 구체적 수업 지도 계획을 개발했다.

개발한 수업의 제목은 "The Earth, How old are you?"이다. 수업의 도입부에서는 지구의 연령에 대한

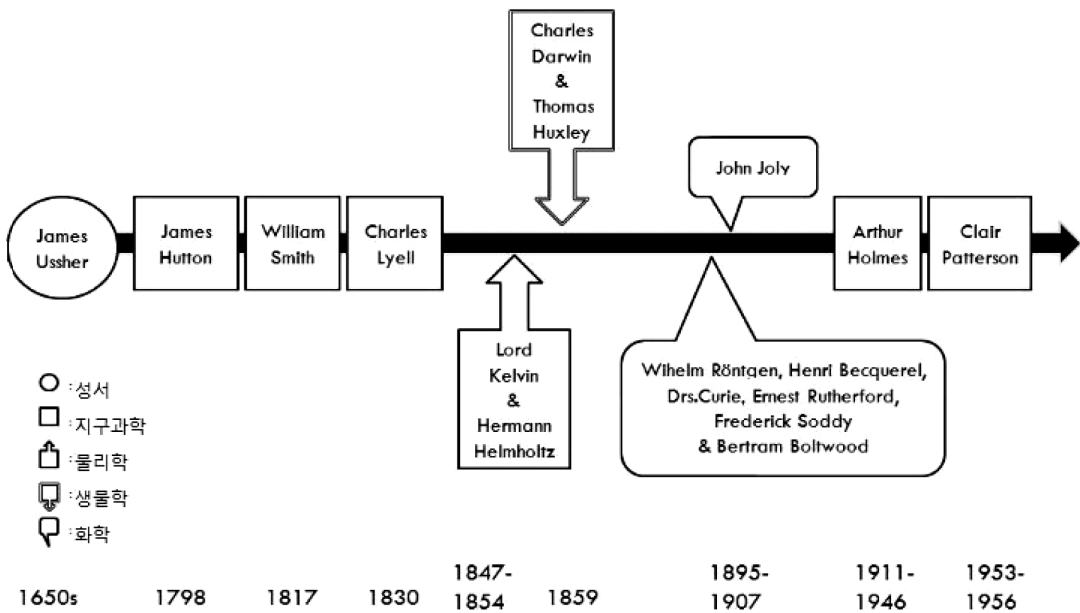


Fig. 1. Processes to find out the age of the Earth.

연구가 시작되었던 시대를 설명하고 성서에서 주장하던 지구의 연령과 다른 의견이 나오게 된 배경 등을 설명하여 학생들이 자연스럽게 지구의 연령에 대한 연구에 호기심을 가질 수 있도록 한다. 수업이 본격적으로 시작되면 교사는 Jigsaw I에 대해 설명함으로써 익숙하지 않은 새로운 협동학습을 학생들이 잘 이해할 수 있도록 함과 동시에 이 협동학습에서 가장 중요한 점이 개개인의 책무성이라는 점을 인지할 수 있게 한다.

소집단은 4집단으로 나누고 각 집단에서 한 조원이 하나의 주제를 맡도록 한다. 같은 주제를 맡은 사람끼리 모여서 전문가 집단을 형성한다. 이를 테면 각 소집단에서 1번을 맡은 조원끼리, 2번을 맡은 조원끼리 모여 전문가 집단을 형성하는 것이다. 첫 번째 활동은 전문가 집단끼리 모여서 주어진 주제에 대해 토의하며 <활동지 1>을 작성하는 것이다. 활동지 1에는 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역에서 지구의 연령을 밝히기 위해 수행되었던 연구들과 주장에 대한 읽기 자료가 포함되어 있으며 전문가 집단이 모여서 토의를 할 때 중점적으로 알아야 하는 것과 학생들의 사고를 이끌어낼 수 있는 문항이 제시되어 있다. 활동지는 읽기 자료를 통해 알 수 있는 주장의 근거나, 주장의 한계점 등을 생각할 수 있도록 유도하는 역할을 한다. 또한 <활동지 1>은 4개의 전문가 집단에게 각각 다른 내용이 제공된다. 즉, 전문가 집

단 1에는 물리, 전문가 집단 2에는 화학, 전문가 집단 3에는 생물, 전문가 집단 4에는 지구과학 분야에서 행해졌던 주장과 연구들이 담긴 각각의 다른 읽기 자료가 제공된다.

두 번째 활동은 전문가 집단이 흩어져 원래의 소집단으로 돌아가 자신이 배운 것을 조원들에게 알려 주고 다른 조원에게서 다른 주제들을 배우는 것이다. 활동 2에도 <활동지 2>가 제공되는데, 이는 각기 다른 4가지의 주제들을 빠짐없이 체계적으로 배울 수 있고 각 주제의 주장들의 관계를 연결 지을 수 있도록 돕는 역할을 하며 학생들로 하여금 하나의 주장이 다른 주장을 지지하는 역할을 하거나 반대되는 증거를 제시하는 등 상호작용한다는 것을 알 수 있게 한다.

세 번째 활동은 지구의 연령이 밝혀지기까지의 과정을 표나 그림 등으로 자유롭게 표현하고 그 창작물을 발표하는 것이다. 학생들은 이 과정을 통해 각 주장을 역사적으로 배열할 수 있고 주장의 관계들을 정리할 수 있게 된다.

활동이 모두 끝나면 교사는 시간순으로 각 주장과 일화들을 소개하며 정리해준다. 그리고 과학 영역 간의 통합, 과학 지식이 형성되는 방법의 특징, 과학 지식의 가변성, 과학자의 신념, 사회·문화적 배경 등을 질문법을 통해 학생들이 이해할 수 있도록 정리하는 시간을 가진다. 이러한 시간은 학생들로 하여금

스스로 협동학습을 통해 공부하는 동안 잘못 이해했거나 동료로부터 잘못된 지식을 전달받았을 경우를 교사의 정리로 바로 잡을 수 있도록 해준다.

‘지구의 연령’ 과학사 수업에 대한 학생들의 의견

수업이 끝난 후 학생들에게 ‘지구의 연령’ 과학사 수업의 장점과 단점에 대해 답변하게 했다. 학생들은 이 수업의 장점을 다음과 같이 말했다. 첫째, 지구의 연령에 대한 과학 지식, 과학사 지식을 알 수 있어서 좋았다는 다음과 같은 의견들이 있었다.

당연하다고 생각했던 지구의 연령을 알기까지 많은 과정이 있다는 것을 알아서 좋았다.

지구의 연령에 대한 많은 이론과 근거를 볼 수 있었고 정확한 결론은 낼 수 없어도 시대별로 어떠한 사상이 있었는지 알 수 있었다.

지구 나이를 측정하는 여러 방법을 알 수 있었다.

읽기 자료가 많아서 다양한 내용을 알 수 있었다.

지구의 역사에 대해 많이 알아본 계기가 되었다.

지식을 쌓았다. 지구가 몇 살인지 연구했고 지금 배우는 46억 년 또한 틀릴 수 있다는 생각을 하게 되었다.

(2010년 10월 28일, AP 수업 후 고등학생들과의 면담 중에서)

지구의 연령을 계산하기 위한 다양한 시도들을 배울 수 있었다. 지금까지의 지구의 연령에 대한 이론들을 정확히 알 수 있어서 좋았다.

그냥 알고만 있던 지구의 연령을 정확하게 알게 되었다.

지구의 연령을 구하는 여러 방법을 획득하고 지구과학의 여러 역사적 사건을 알게 되었다.

(2010년 10월 8일, 영재원 수업 후 중학생들과의 면담 중에서)

과학사 활용 과학 교육의 여러 장점 중 과학사 지식 습득 자체의 중요성이 있다(양승훈 외, 1996; Monk and Osborne, 1997). 지구의 연령이 밝혀지기까지의 과학사적 가치는 그 자체만으로도 의미가 있을 것이라는 점에서 추후 지구과학 교육 과정 개발 시 적극적으로 반영할 만한 주제라고 판단된다.

둘째, 토론을 통한 협동학습이 좋았다는 다음과 같은 의견들이 있었다. 지구의 연령이 밝혀지기까지의 과정은 과학 활동의 영역 간 상호 작용과 통합성이 잘 드러나는 주제로 Jigsaw 협동학습을 통해 학생들은 영역마다의 전문성을 익히고 다른 영역 전문가들과 의견을 교환하는 방법이 효과적이었다. 지금까지 개발된 과학사 수업 중 협동 학습을 활용한 경우가 거의 없었다는 점에서 본 연구에서 개발한 과학의 통합적 특성을 반영한 과학사 수업 개발의 의미를 찾을 수 있다.

조원들과 토론하면서 지구의 연령이 계산되는 과정을 배울 수 있었다.

조원들에게 내가 직접 설명을 할 수 있어서 좋았다.

연대순으로 서서히 지구의 연령이 밝혀지는 과정을 토론을 통해 함께 하니 이해하기 쉬웠고 재미있었다.

텍스트 지식이 설명 과정을 통해 나의 지식이 되는 과정이 즐거웠다.

한 가지 주제에 대해 이런 저런 생각을 해볼 수 있어서 좋았다.

각각의 조원이 자료를 모아가는 과정이 좋았다.

(2010년 10월 8일, 영재원 수업 후 중학생들과의 면담 중에서)

셋째, 지구의 연령이 밝혀지기까지의 과정을 표나 그림으로 표현하는 것에 대해 “지구의 연령이 밝혀지는 과정을 표나 그림으로 나타냈던 것이 재미있었다.”, “지구의 연령을 표와 그림으로 우리끼리 정리해보고 선생님이 PPT로 정리해주셔서 좋았다.”, “여러 가지 활동으로 디테일하게 배워서 좋다.” 등의 의견을 내며 흥미로워했다. Fig. 2는 영재교육원 학생들의 산출물 중 하나이다. 텍스트로 된 읽기 자료를 충분히 이해하고 다른 조원들과의 상호 작용을 통해 전체적인 과정을 그림으로 정리하는 활동은 과학 활동의 통합적 특성을 이해하는 데 효과적이었음이 나타났다.

이상과 같이 학생들은 전반적으로 본 수업에 대해 긍정적으로 평가하고 있었지만, 어렵다고 느끼는 부분도 있었다. 첫째, 학생들은 실험 활동이 없는 것을 아쉬워했다. “직접 실험을 못해본 아쉬움이 남는다.”, “실험이 아니다.”, “밋밋한 활동”, “실험. 지구과학은 항상 활동(학습지)만 하는 것 같다.”, “이론만 알고 실험과 계산을 하지 않아서 아쉬웠다.”, “활동하는 작업이 더 많았으면 좋겠다.” 등을 수업의 아쉬운 점으로 지적했다. 특히 지구과학은 학문의 규모와 이론의 특성상 실험이 어려운 교과 중 하나인데, 학생들이 흥미를 가질 수 있도록 모형을 활용하는 실험, 시청각 자료 등을 활용한 실험에 대한 개발이 필요할 것이다. 한편 실험이 아닌 이론에 집중할 수 있어서 좋았다는 의견도 함께 있었다.

둘째, 시간이 부족하다는 점이다. 학생들은 “시간이 부족하다.”, “시간이 부족했고, 과제가 너무 많고, 자료를 해석하기에 내용이 적었다.”, “시간이 좀 짧았다.”는 점을 아쉬운 점으로 평가했다. 읽기 자료의 적절한 양의 제시와 난이도 조절이 보완되어야 할 부분으로 드러났다. 또한 학생들이 토론을 하고 활동지를 작성하며, 지구의 연령을 알게 되기까지의 과정



Fig. 2. Gifted students' output from <Activity 3>.

을 표와 그림으로 표현하고 발표를 하기 위해 충분한 시간이 필요했는데 이를 위해 1차시가 아닌 연속적인 수업 시간이 필요하다.

셋째, 읽기 자료의 보충 자료가 필요하다. 개발된 수업에서는 각 조원들은 자신이 속한 전문가 집단에 관한 자료만을 갖게 된다. 그러나 다른 전문가 집단의 읽기 자료들도 가지고 있어야 한다는 의견이 있었다. 본 연구에서 개발한 수업에서는 조원들 간의 상호 책무성을 강조하기 위해 Jigsaw I을 선택했지만 학생들의 의견을 반영하여 Jigsaw II를 활용한 수업을 개발하는 것도 하나의 방안이 될 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 과학사를 과학 교육에 활용한 문헌을 분석하고 통합 과학의 주제로서 '지구의 연령'과 관련된 과학사 수업을 개발하여 시범적으로 적용한 뒤 수업에 대한 학생들의 의견을 조사했다. 본 연구를 통해 도출된 결론은 다음과 같다. 첫째, 과학의 통합적 특성을 보여줄 수 있는 내용인 '지구의 연령' 관련 과학사 수업을 개발했다. '지구의 연령'은 과학적 업적이 어느 한 영역만의 발전으로 이루어지지 않음을 보여주기 위해 적합한 주제로 학생들은 이 수업을 통해 과학 내 세부 영역의 상호 의존성에 대한 폭넓은 이해를 할 수 있다. 개발한 프로그램은 소집단 협동학습을 적용하여 토론을 교수 전략으로 활용했으며, 학생들 간의 책무성과 주도적 상호작용을 향상시키기 위해 특별히 Jigsaw I을 선택했다.

둘째, 개발한 과학사 교육 프로그램을 시범 적용한 결과 학생들은 대체로 프로그램에 대해 긍정적으로

평가했다. 과학사적인 지식을 알게 되는 것과 그 과정에 흥미를 느끼는 학생들과 Jigsaw I 협동학습이 조원들에게 책임감을 부여하기 때문에 효과적이라고 평가하는 학생들이 대부분이었다. 한편 실험 수업이 아니라는 점과 수업이 토론으로만 이루어져 다소 지루하다는 평가도 있었고, 모든 활동을 하기에 시간이 부족하다는 의견도 있었다.

추후 '지구의 연령'의 역사 이외에도 과학사적으로 통합 과학의 의미를 살릴 수 있는 주제를 찾고, 그 주제에 알맞은 교수 전략을 활용한 과학사 수업의 개발이 요구된다. 과학을 통합적으로 접근해서 가르치는 것이 '2009 개정 과학과 교육과정'의 주요 강조점인 만큼 통합 과학 주제로 적절한 과학사 소재를 선정하고 학습 자료와 평가 자료를 개발하는 연구가 필요하다. 지구과학은 통합적인 성격이 강한 학문이며 현재까지 개발된 과학사를 활용한 교육 프로그램도 적은 편이다. 따라서 지구과학 영역에서 통합 과학 교육에 적절한 과학사 소재를 선정해 교육 프로그램을 개발하는 것이 필요하다. 이처럼 체계적이고 연계성을 지닌 통합 주제의 과학사 자료가 개발되면 학교 현장에서 적용하기 용이할 뿐만 아니라 교수 학습에 있어서 지속적인 효과를 기대할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(B00208).

참고문헌

- 강경희, 2005, 과학사를 활용한 발견적 순환학습모형과 학습 프로그램의 개발 및 적용 -중학교 '생명' 영역을 중심으로. 이화여자대학교 대학원 박사학위논문, 187 p.
- 공하린, 2006, 3일만에 읽는 과학사. 서울문화사, 서울, 291 p.
- 권재술, 박범익, 1997, 통합 과학 과정의 접근 방법에 대한 비교 연구: 개념 중심 방법과 과정 중심 접근 방법을 중심으로. 한국과학교육학회지, 1, 36-43.
- 길학균, 이길재, 1998, 과학사를 이용한 멘델 유전 개념의 교수-학습에 관한 연구. 한국생물교육학회지, 26, 167-177.
- 김도욱, 1995, 연소에 대한 오개념 교정을 위한 과학사 프로그램의 적용 효과: 초등학교 예비 교사를 대상으로. 한국초등과학교육학회지, 14, 135-148.
- 노태희, 박수연, 임희준, 차정호, 1998, 협동학습 전략에서 소집단 구성 방법의 효과. 한국과학교육학회지, 18, 61-70.
- 박남이, 이길재, 2000, 과학사를 이용한 진화 개념의 교수-학습 효과에 관한 연구. 한국생물교육학회지, 28, 85-99.
- 박문영, 이면우, 2007, 과학자를 소재로 한 초등 과학 영재 프로그램 개발. 한국초등과학교육학회지, 25, 507-521.
- 박수경, 김상달, 주국영, 남윤경, 2001, 중학교 과학 수업을 위한 주제 중심 통합 단원의 개발 및 효과 분석. 한국 지구과학회지, 22, 350-359.
- 손연아, 이학동, 1999, 통합 과학 교육의 방향 설정을 위한 이론적 고찰. 한국과학교육학회지, 19, 41-61.
- 양승훈, 송진웅, 김인환, 조정일, 정원우, 1996, 과학사와 과학 교육: 과학 교육을 위한 과학사적 학습 지도. 민음사, 서울, 374 p.
- 이기영, 안희수, 1999, 과학사 자료를 이용한 지구과학 학습 지도에 관한 연구. 한국지구과학회지, 20, 213-222.
- 이면우, 2003, 한국 과학사 자료를 이용한 과학 교육의 가능성. 한국초등과학교육학회지, 22, 211-222.
- 이충호 역, 2000, 과학사 속의 대논쟁 10. 가람기획, 서울, 344 p.
- 조숙경 역, 2002, 데이팅게임. 바다출판사, 서울, 286 p.
- 좌용주 역, 2007, 천재들의 과학노트 4 지구과학. 일출봉, 서울, 265 p.
- 조양숙, 이희순, 김도욱, 1996, 초등학교에서 물질관의 오개념 교정을 위한 과학사 프로그램의 적용. 한국초등과학교육학회지, 15, 305-314.
- 최미화, 최병순, 1999, 통합 주제를 중심으로 한 중학교 수준의 통합과학 내용 구성 방안. 한국과학교육학회지, 19, 204-216.
- 최주연 역, 2005, 한번은 꼭 읽어야 할 과학의 역사 2. 에코리브르, 서울, 215 p.
- 최윤희, 2005, 제7차 초·중등 과학 교과서의 과학사에 도입된 과학의 본성 분석. 이화여자대학교 대학원석사학위논문, 111 p.
- 한국과학창의재단, 2010, 과학·수학 특성화 교과 교실 운영 가이드. 한국과학창의재단, 서울, 90 p.
- Appelget, J., Matthews, C.E., Hildreth, D.P., and Daniel, M.L., 2002, Teaching the History of Science to Students with Learning Disabilities. *Intervention in School and Clinic*, 37, 298-303.
- Jenkins, E.W., 1990, The history of science in British schools: Retrospect and prospect. *International Journal of Science Education*, 12, 274-281.
- Matthews, M.R., 1991, The History and Philosophy of Science in Science Teacher Education. *Teaching Education*, 3, 177-182.
- Matthews, M.R., 1994, Science teaching: The role of history and philosophy of science. Routledge, NY, USA, 256 p.
- Nielsen, H. and Thomsen, P.V., 1990, History and philosophy of science in physics education. *International Journal of Science Education*, 12, 308-316.
- Paschke, J., 2001, "Galileo's Inclined Plane" Living laboratories as an Activity-Based Method of Instruction in History and Science. *Science Activities*, 38, 18-20.
- Rosa, K. and Martins, M.C., 2009, Approaches and Methodologies for a Course on History and Epistemology of Physics: Analyzing the Experience of a Brazilian University. *Science and Education*, 18, 149-155.
- Rutherford, F.J., 2001, Fostering the History of Science in American Science Education. *Science and Education*, 10, 569-580.
- Sequeira, M. and Leite, L., 1991, Alternative Conceptions and history of Science in Physics Teacher Education. *Science Education*, 75, 45-56.
- Solomon, J., Duveen, J., and Scot, L., 1992, Teaching About the Nature of Science through History: Action Research in the Classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 409-421.
- Thompson, D., Praia, J., and Marques, L., 2000, The Importance of History and Epistemology in the Designing of Earth Science Curriculum Materials for General Science Education. *Research in Science and Technological Education*, 18, 45-62.
- Van Driel, J.H., 1998, Relating Students' Reasoning to the History of Science: The Case of chemical Equilibrium. *Research in Science Education*, 28, 187-198.
- Viana, H.E.B. and Porto, P.A., 2010, The Development of Dalton's Atomic Theory as a Case Study in the History of Science: Reflections for Educators in Chemistry. *Science and Education*, 19, 75-90.