과학사 활용 과학 윤리 수업 모형 개발

신동희* · 신하윤
이화여자대학교

Development of a Teaching-Learning Model for Science Ethics Education with History of Science

Shin, Donghee* · Shin, Hayoon
Ewha Womans University

Abstract: The purpose of this study is to investigate the possibilities of science ethics education with history of science (HOS) and to develop its teaching and learning model for secondary school students. A total of 72 cases about science ethics were extracted from 20 or more HOS books, journal articles, and newspaper articles. These cases were categorized into 8 areas, such as forgery, fabrication, violation of bioethics in testing, plagiarism and stealth, unfair allocation of credit, over slander, conjunction with ideologies, and social responsibility problems. The results of this study are as follows. First, research forgery, occurring in the process of the research, was the most frequent in HOS. Second, we developed eight teaching lesson plans for each area. Third, we proposed a teaching and learning model based on the developed lesson plans as well as related teaching and learning models in the fields of science ethics education, ethics education, and history education. Our model has five steps, 'investigating-suggesting cases-clarifying problems-finding alternatives-summarizing'.

Key words: science ethics, history of science, teaching and learning model, lesson plan

I. 서 론

현대 사회에서 과학 기술의 막대한 사회적 영향력을 생각해 볼 때, 과학 활동 과정에서 발생하는 윤리적 문제는 다른 상황에서보다 그 파급의 정도가 심각하다. 과학계에서의 윤리 문제는 어제 오늘의 일이 아니지만 과학자들 간 업적주의가 강조되고 과학 활동과 경제성이 연계되면서 더욱 부각되고 있다. 우리나라에서는 2005년 황우석 박사 사태 이후로 과학계는 물론이고 일반 시민들의 과학 윤리에 대한 관심이 급격하게 높아졌다. 황우석 박사 사태 이후 정부 차원에서 연구 윤리 지침 설정 및 규제책이 마련되었음에도 불구하고 과학 활동에서의 윤리 문제는 심심찮게 터져 나오고 있다.

최근 보도에 의하면 한국과학기술원의 정보 기술 분야 박사 과정생은 지난 2009년 지도 교수에게 심사의뢰가 들어온 국제 학술지 논문 세 편을 중간에 가로챘다. 그는 지도 교수 행세를 하면서 학술지와 연락을

주고받은 후 투고된 논문의 게재를 거부한 후, 그 논문을 표절해 다른 국제 학술지에 두 편이나 게재 신청을 했다(한겨레, 2011년 9월 15일자). 지난 2007년 국내 최초로 서울대학교에서 과학 윤리 수업이 개설된 이후 한국과학기술원도 모든 학생을 대상으로 연구 윤리 수업을 개설해 오고 있음에도 이 같은 일이 그치지 않고 있는 실정이다.

최문기(2006)는 제도적, 교육적 차원에서 일반 시민과 과학 기술자들 모두를 위한 과학 윤리 교육의 중요성을 주장했다. 그는 과학 윤리 문제의 근본적 예방은 과학자 개인의 양심에 따르는 것이므로 과학적 소양을 바탕으로 한 과학 기술자들의 보다 올바른 판단력이 필요하다고 했다. 또한 윤리 교육은 일회성으로 이루어질 것이 아니라 장기적으로 반복해서 보다 강력하게 이루어져야 할 필요가 있음을 주장했다. 제도나 규제책과 같은 외부적 변화보다는 교육을 통한 근본적 변화가 과학계에서의 윤리 문제 해소에 근본적 해결책이라는 생각이다.

*교신저자: 신동희(donghee@ewha.ac.kr)

**2012.01.16(접수) 2012.02.23(1심통과) 2012.03.14(2심통과) 2012.03.16(최종통과)

***이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2009-32AB00208).

한편, 2009 개정 과학 교육 과정에서는 기초 윤리 수준과 함께 과학을 통해 과학적 태도, 즉 ‘인성 함양’을 강조하고 있다(교육과학기술부, 2009). 과학적 태도에는 의사소통 능력, 창의성, 성실성, 정직성, 협동성, 합리성, 객관성, 비판 정신, 개방성, 정직성, 겸손과 회의 등이 있다(김찬중 등, 1999; 교육과학기술부, 2009). 이러한 과학적 태도들은 사회의 구성원으로서 과학 정책과 관련한 결정에 긍정적인 영향을 주므로(이미경과 김정희, 2004), 미래의 과학 기술자로서 자라날 학생들에게 과학 윤리와 관련된 교육을 실시하는 것은 그들의 인성 함양뿐 아니라 현재 과학 기술 분야에서 일어나는 문제들을 예방하는 근본적 방법일 수 있다. 따라서 중등 교육 수준에서 정직성을 비롯한 비판 정신, 기초적 윤리 수준 등을 함양할 수 있는 교수 학습 방법에 대한 관심이 필요하다.

과학 교육에 과학 윤리와 관련된 문제를 도입할 때 사례 기반 수업(case-based)이 권장된다(최경희, 1998; 이인재, 2005). 이는 문제에 대해 강화된 토론과 세밀한 분석을 가능하게 하고 학생들의 흥미 유발과 사고 작용 촉진, 도덕적 추론 능력, 도덕적 감수성, 도덕적 실천력 함양을 위해 만들어진 가상 사례다(이인재, 2005). 또한 이런 사례를 역할놀이로 수행하면 가상적인 역할 수행 과정에서 문제를 실제로 해결하며 수업의 효과가 극대화될 수 있다(조희형 등, 2008).

사례 활용은 윤리 수업에서도 마찬가지로 적용되어 개념 분석 수업, 가치 분석 수업, 가치 갈등 해결 수업, 가치 명료화 수업, 합리적 의사결정 수업, 도덕적 딜레마 토론 수업, 도덕 이야기 수업 등에서 모두 실제 사례가 활용되고 있다(유병열 등, 2005). 과학에서의 윤리적 문제 역시 사례 중심 수업으로 접근하는 것이 불가피하고, 과학 윤리 문제 사례는 수많은 과학사 사례에서 어렵지 않게 찾을 수 있다. 과학사 사례 속에는 인간으로서 과학자의 모습, 과학이 사회에 영향을 받는 모습 등이 그대로 나타난다. 과학사는 사회 속에서 과학의 역할을 고찰하게 하고, 과학 기술로 발생하는 문제점을 인식시키는 등 과학과 사회에 관련된 가치 판단을 할 수 있도록 하는데 효과적이다(김찬중 등, 2008).

이상의 장점에도 불구하고 과학 윤리 교육을 위해 과학사가 활용될 수 있는 가능성에 비해 실제로는 관련 교수 학습에 대한 구체적인 연구는 많지 않다. 이에

본 연구에서는 기존의 윤리성 수업에서 제시되는 추상적, 인위적 윤리 쟁점 상황에서 벗어나 학생들에게 과학사 속 실제 사례를 제시해 구체적 토론이 가능한 수업을 개발해 보고자 한다. 이를 통해 과학사 활용 과학 윤리 수업의 가능성을 확장하고자 한다. 이러한 목적에 근거한 본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 과학사에서 윤리 관련 사례를 추출하여 교수 학습에 활용할 수 있는 세부 범주로 구분한다.

둘째, 각 범주에 적합한 과학사 활용 과학 윤리 수업을 개발한다.

셋째, 개발된 수업 내용을 종합, 분석해 과학사를 활용한 과학 윤리 수업 모형을 개발한다.

Ⅱ. 관련 연구

과학사를 활용한 과학 윤리 교육 관련 선행 연구는 부족하다. 따라서 과학사 활용 과학 교육, 과학 윤리 교육, 윤리 교육, 역사 교육 등을 파악했다. 이러한 관련 연구는 과학사 활용 과학 윤리 교육의 교수 학습 모형을 제안하는 데 근거가 되었다.

1. 과학 윤리와 과학 교육

한국분자생물학회 회원 중 연구 책임자급, 연구원급, 대학원생 등 687명을 대상으로 한 홍석영 등(2005)의 연구에서 대부분의 응답자들은 연구 윤리에 대한 인지도와 관심, 필요성 의식은 높았으나 연구 윤리에 대한 논의나 강연 수강 경험은 낮은 편으로 나타났다. 또한 연구가 사회 규범과 충돌하는 경우 연구 자유를 되도록 우선하겠다는 의견이 사회 규범을 우선 하겠다는 응답보다 두 배 이상 높았고, 실제 실험 지침 준수율도 34.9%가 지켜지지 않고 있어서 전문가들의 연구 윤리 의식 수준이 확고하지 않음이 드러났다.

이와는 달리 과학 교육계에서는 과학 윤리 측면의 관심이 점점 증가하고 있는데, 과학 교육 과정에 윤리적 문제가 도입되면서 학교 수업에 윤리적 질문이 증가하는(Matthew, 1994) 등 과학 윤리 교육 자체에 대한 필요성이 국내·외에서 제기되고 있다(구수정, 1997; 조희형과 최경희, 1998; AAAS, 2009). 이는 예비 교사, 교사, 전문가, 학생 등 다양한 집단의 인식 및 현황 조사(구수정, 1997; 최경희와 조희형, 2001;

홍석영 등, 2005; 이향연 등, 2009; 최경희, 2010) 결과에서도 나타난다.

교육대학교에 재학 중인 과학 예비 교사들 26명을 대상으로 생물학 분야의 윤리적 관점에 대한 인식을 조사한 구수정(1997)의 연구에서 응답자들의 윤리적 관점이 가치 중립적 윤리관, 인간 중심적 윤리관, 생명 중심적 윤리관, 자연 중심적 윤리관 등으로 다양하다는 것을 확인했다. 이는 다양한 관점을 가진 교사들 중 일부가 생물학에 대해 바람직하지 않은 인상을 학생들에게 줄 수 있음을 의미하므로, 교사를 위해 가치가 명료화된 윤리적 수업 개발이 필요하다고 주장했다.

예비 초·중등 과학 교사 594명을 대상으로 과학 기술 윤리 교육을 받은 정도와 경로, 인식 등을 조사한 최경희(2010)의 연구에서는 방송 매체가 과학 기술 윤리 관련 정보를 얻는 가장 높은 경로인 것으로 드러났다. 또한 과학 윤리 강좌 개설 여부에 대해 모르는 경우가 대부분이었고, 수강 여부도 전체 응답자의 10% 정도만 과학 윤리 강좌 개설에 대해 알고 있었다. 많은 응답자들은 과학 기술 윤리 교육이 필요하며, 과학 관련 교과에서 통합 교육의 형태로 이루어져야 한다고 생각했다. 사례 제시와 토론 중심 수업이 적당할 것이라는 수업 방법에 대한 제시도 있었다. 교사 12명에게 과학 기술 윤리 인식, 중등 과학 기술 윤리 교육에 대한 인식을 조사한 이향연 등(2009)은 교사들이 사전 위험성 고지 여부, 데이터 위조, 데이터 조작, 내부 고발들에 대한 윤리 의식 등은 높았으나 연구 대상자 보호에 대해서는 낮은 의식 수준을 가지고 있음이 드러났다. 과학 기술 윤리 교육 도입 가능 과목 및 효과적 수업 방안에 대해서는 최경희(2010)의 연구 결과와 동일했다.

학생들의 과학 윤리에 대한 인식 정도를 파악한 최경희와 조희형(2001)의 연구에서는 중·고생 1,131명을 대상으로 과학 과목의 각 소단원에 관계된 과학의 윤리적 특성 주제를 제시했다. 학생들에게 관심 있는 주제를 선택하게 했는데, 그 결과 중학생들의 윤리 의식 수준이 고등학생들보다 낮은 것으로 드러났다. 이향연 등(2009)의 연구 결과, 중학교 1, 2학년 296명에게 과학의 본성, 과학 기술의 윤리적 문제에 대한 인식, 학교 수업과 관련된 윤리적 문제에 대한 경험을 조사하자 학생들은 과학과 과학 기술 윤리 문제에 대해 잘 알고 있다고 생각하고 있음이 드러났다. 특히 데이터 위조와 표절에 대한 윤리 의식은 높은 편이었

는데, 조작에 대한 의식이 낮았고 학년이 증가함에 따라 빈도도 높았다. 또한 보고서 작성 시 베끼는 적이 있다는 응답과 실험에서 나온 결과를 바꿔서 기록한 적이 있다는 응답이 유의미하게 나타나는 것을 통해 정작 학교 수업과 관련된 자신의 윤리적 문제에는 자유롭지 않음을 확인할 수 있었다.

이상의 연구 결과들을 종합하면 과학 윤리 교육은 형식 교육보다 비형식적 교육을 통해 이루어지고 있었고, 예비 교사, 교사, 전문가, 학생 모두 과학 윤리 교육에 대한 필요성을 제시했다. 그러나 상황에 따라 그 잣대가 변할 수 있으며 자기 중심적이고 비합리적인 사고에 바탕이 되어 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 다양한 의식 수준을 합리적으로 이끌어줄 가치 지향적 프로그램이 필요하며, 그 형태는 비형식 교육과 형식 교육 모두에서 제공되어야 할 것이다.

그렇다면 가치 지향적인 프로그램에 포함되어야 할 과학 윤리 문제는 어떤 내용이어야 할까? 우선 과학 윤리 문제가 일어나는 상황이 무엇인지에 대한 검토가 필요하다. Resnik(1998)은 연구 객관성, 출판, 실험실, 과학자 사회에서 과학 윤리 문제가 일어날 수 있다고 했다. 이런 문제를 예방하기 위해서 과학자가 과학 행위를 할 때는 정직해야 하고, 조심성이 있어야 하며, 자유와 기회가 보장되어야 한다. 또한 공로를 인정받고 교육에 힘써야 하며, 연구는 개방적이고 효율적으로 이루어져야 한다. 과학자는 사회적 책임과 합법성에 주의를 기울여야 하고, 연구자와 실험 대상을 존중해야 한다. 이러한 윤리 기준을 지킬 때 과학 윤리 문제는 예방 가능하다고 보았다. 제시된 윤리 기준은 <표 1>과 같다.

Fullick과 Ratcliffe(1996)은 과학자의 활동에 초점을 맞추어 과학적 활동의 수행, 과학적 업적 이용 시 사회와의 충돌, 집단이 과학적 태도와 수행을 결정하는 경우에 윤리적 문제가 발생할 수 있다고 보았다. 국내에서는 조희형과 최경희(1998)가 과학 지식을 응용 시, 인간과 동물 실험 문제, 연구·개발 과정, 과학 연구물이 사회에 주는 영향, 집단의 결정과 관계된 태도 등의 측면에서 과학 윤리 문제가 생겨난다고 주장했다. 최문기(2006)는 과학자 개인 보다 사회적인 관점에서 연구의 객관성, 논문 발표 시 저자와 공로 문제, 실험실 처우 문제, 사회적 책임, 생명 윤리, 컴퓨터의 활용 및 영향 등으로 인해 문제가 발생할 수 있다고

표 1

과학 행위의 윤리적 기준(Resnik, 1998)

정직 (honesty)	과학자들은 자료나 결과를 조작, 위조 혹은 허위로 발표해서는 안 된다. 그들은 연구 과정의 모든 면에서 객관적이고 편견이 없고 동정심이 있어야 한다.
조심성 (carefulness)	과학자는 특히 발표 시 연구 결과에 오류가 있어서는 안 된다. 그들은 실험적, 방법론적으로 인간적인 실수를 최소화하고, 자기 기만, 편견, 호기심과의 충돌을 피해야 한다.
개방성 (openness)	과학자들은 자료, 결과, 방법, 아이디어, 기술과 자료들을 공유해야 한다. 그들은 다른 과학자들이 그들의 작업을 재연하는 것을 허락해야만 하고 비판과 새로운 아이디어에 개방적이어야 한다.
자유 (freedom)	과학자들은 어떤 문제나 가설을 수행하는데 자유로워야 한다. 새로운 아이디어를 추구하고 오래된 것을 비판하는 것은 허락되어야 한다.
공로 (credit)	공로는 공을 돌려야 할 곳에 주어져야 한다.
교육 (education)	과학자들은 예비 과학자들을 가르치고 대중에게 과학을 가르치고 안내해야 한다.
사회적 책임 (social responsibility)	과학자들은 사회에 해가 되는 것을 피하고 사회에 이익이 되는 것을 시도해야만 한다. 과학자들은 결과에 책임을 져야 한다.
합법성 (legality)	연구 과정에서 과학자들은 그들이 속한 분야의 법을 준수해야 한다.
기회 (opportunity)	과학자는 과학적 자원을 사용하기 위한 기회나 과학적 직업 진보를 거절당해서는 안 된다.
상호 존중 (mutual respect)	과학자들은 동료들을 존중해야 한다.
효율성 (efficiency)	과학자들은 자원을 효율적으로 사용해야 한다.
실험 대상을 위한 존중 (respect for subjects)	과학자들은 실험 시 인권이나 존엄성을 침해하지 말아야 한다.

보았다. 이를 정리하면 <표 2>와 같고, 본 연구진은 과학사에서 윤리 관련 사례 범주화 시 이를 참고했다.

2. 과학사 활용 과학 윤리 교육 관련 교수-학습

과학사 활용 교수-학습 모형

과학 교육에서 과학사 활용 교육의 필요성이 강조

되면서 과학사를 어떻게 가르쳐야할 것인지에 대한 논의가 시작되어, 그 방법으로 교수-학습 모형이 제시되기 시작했다. 과학사 활용 과학 수업 개발 시에 내용 선정 측면에서 참고할 만한 모델은 Seroglou와 Koumaras가 제안한 SHINE(Science, History, Interaction, and Education) 모델이다(그림 1). Piliouras 등(2010)은 초등 학생들이 스스로 애니메이션

표 2

과학 윤리 문제 발생 상황

Fullick & Ratcliffe (1996)	Resnik (1998)	조희형과 최경희 (1998)	최문기 (2006)	조희형 (2008)
<ul style="list-style-type: none"> 과학자가 과학적 활동을 수행할 때 과학적 업적을 이용하는 과정에서 사회적 상황과 충돌할 때 사회 또는 특정 집단이 과학적 태도와 수행을 결정할 때 	<ul style="list-style-type: none"> 연구 객관성 출판 실험실 과학자 사회 	<ul style="list-style-type: none"> 과학 지식을 이용하거나 응용할 때 연구 개발 실험에 인간과 동물을 참여시키거나 그 대상으로 이용할 때 과학자가 연구 개발하는 과정 과학적 연구의 산물을 사회에 응용하거나 그것이 사회에 영향을 미칠 때 사회나 집단이 태도를 결정하고 그에 따라 과학 활동을 수행할 때 	<ul style="list-style-type: none"> 연구에서의 객관성 유지 논문 발표 시 저자 표시 및 공로 배분 실험실에서의 권위 및 차별 과학 기술자의 사회적 책임 생명 현상을 다루는 과학 기술의 윤리 컴퓨터의 활용 및 영향에 관한 윤리 	<ul style="list-style-type: none"> 과학자가 과학적 연구를 수행할 때 생기는 과학 윤리 문제 과학자가 과학적 연구를 발표할 때 생기는 과학 윤리 문제 과학자가 사회인으로서의 역할을 수행할 때 생기는 과학 윤리 문제

선을 제작하여 과학의 본성을 이해하려는 목적을 갖는 지구 과학 분야의 수업을 개발하면서 이 모델을 활용했는데, 그 바탕은 개념적 측면에서 과학 지식의 발달과 학생들의 개념 발달이 유사하다는데 근거한다.

이 밖에도 교수-학습 방법의 측면에서 사용 가능한 과학사 모형도 있다. Klopfer(1969)는 과학사 소재를 사용하여 수업을 할 때 과학 인물이나 사건에 관한 내용을 단지 읽기만 하는 것은 과학을 이해하는데 도움이 되지 않는다고 주장하며 과학사 수업은 사례를 통해 과학의 발달 과정을 살펴보아야 한다고 했다. 그는

이러한 주장을 바탕으로 [그림 2]와 같은 수업 방법이 효과적이라고 했다.

Monk와 Osborn(1997)은 기존 과학사 활용 과학 교육의 문제점으로 과학의 본성 관점이 부족하기 때문이라고 지적하며, 과학사를 강제적으로 수업에서 제공하기보다 학습 전에 학생들의 선개념을 이끌어 내어 그것을 명확하고 정교하게 만드는 것이 중요하다고 보았다. 이 수업 모형은 과학을 인간화하는 일화나 서술들을 활용해서 과학의 본성을 암시적 형태로 제시하는 것이 특징이다. 총 6단계로 이루어진 모형

- 단계 1: 과학사에서 과학자들의 아이디어에 관한 조사가 수행되었다. 초기 과학적 아이디어가 현재 수용된 것들과 다른지 초점을 두었다.
- 단계 2: 과학사로부터 나오는 자료는 학습자들의 아이디어 조사에 초점을 제공한다.
- 단계 3: 과학과 과학의 본성에 대한 학습자들의 아이디어 조사가 (설문지 배포, 심층 개별 인터뷰 또는 당대에 관련된 문헌으로) 수행되었다.
- 단계 4: 1단계와 3단계로부터 나오는 자료와 결과의 비교 분석은 과학사로 명확한 초점(특히 초기 과학적 아이디어가 현재와 완전히 다른지) 나타나는지 여부를 제공한다.
- 단계 5: 과학적 아이디어를 발달시켰고 현재 수용된 아이디어로 이끌었던(교과서에 나타나) 과학자들의 활동에 대한 연구가 수행되었다.
- 단계 6: 5단계로부터 나오는 자료는 교수 자료 설계를 위해 유익한 정보를 제공하고, 활동 세트를 설계하게 이끈다.
- 단계 7: 학습을 향상시키기 위해 설계된 활동을 평가하는(설문지 배포, 활동지와 녹화된 자료 분석) 조사가 수행되었다.
- 단계 8: 마지막으로 5단계와 7단계로부터 나오는 자료와 결과의 비교 분석은 과거 과학자들의 활동에 의해 영감을 받은(과학사에서 과학적 아이디어 변화를 증진한) 학습을 돕고 과학의 본성 이해를 증진하는 확실한 활동인지 답을 제공한다.

그림 1 SHINE 모델(Seroglou & Koumaras, 2003)

그림 2 과학사 소재를 사용한 사례 수업(Klopfer, 1969)

을 제시했고 그 내용은 다음과 같다(그림 3).

첫째, 교사가 먼저 시범을 보여주거나 특정 자연 현상에 주의를 이끌고 과거 과학자들이 했던 질문들을 제공해 학생들의 생각과 이론을 개념도, 연상, 토론 등으로 표출시킨다. 둘째, 다양한 해석을 수용하고 학생들에게 과학적 사실이 단순히 발견되는 것이 아니라 상상력을 통해 구성되는 것임을 보여준다. 셋째, 시대 배경 정보, 경쟁적 아이디어들의 예, 연대표 등이 다양한 방식으로 제시한다. 넷째, 앞 단계에서 제시된 다양한 해석과 관점들에 대해 학생들에게 어떤 것이 옳은지 물어보고 학생 스스로 실험을 설계한다. 다섯째, 교재를 통해 현대의 관점을 짧고 정확하게 설명한다. 여섯째, 학급 토론이나 소집단 토의 등으로 스스로 과학적 개념과 자신의 생각을 비교·검토한다.

국내에서도 이기영과 안희수(1999)가 과학사를 이용해 지구과학의 개념 학습 지도를 위한 강의식 수업 두 가지와 과학사를 선행 조직자로 이용하는 수업, 과학사를 이용한 수정된 순환 학습 모형, 역할극 모듈이라는 다섯 가지 수업 방법을 개발했다. 그 중에서 역할극 모듈은 과학사와 관련된 역할놀이를 수업 과정에 도입하여 역할을 수행하는 과정에서 과학사를 직접적으로 체감할 수 있도록 한 점과 배경 지식 단계에

서 개념을 정리하고, 사전 평가 과정을 거쳐 학습 활동 단계에서 역할극을 수행한 후 사후 평가까지 실시하는 점이 특징이다(그림 4).

과학 윤리 교수-학습 모형

과학 윤리 교육 분야는 STS 교육의 일환으로 사회적 쟁점을 강조하는 수업의 형태가 제시되고 있다. Johansen과 Harris(2000)는 ABCDE(argument-both sides-costs & benefits-decision-evaluate) 수업 모형을 개발했다(그림 5). 이 수업에서는 먼저 쟁점에 대한 각각의 입장을 짧게 충돌시킨 후, 어떤 딜레마라도 다른 이면이 있음을 주시시킨다. 이 후 과학적 발견의 성공이나 실패에 누가 비용을 지불하고 누가 이익을 보는지 고려하게 하여, 자신의 가치와 타인의 도덕 가치를 고려해 사회를 반영한 의사결정 과정을 내리게 유도한다. 최종적으로 이 결정이 공정했는지 평가한다. 이 수업은 비용과 이득이라는 측면에서 의사 결정을 하도록 유도하는 것으로 실제적 대안을 고려하는 것이 장점이다.

정은영과 김영수(2000)는 윤리학의 가치 명료화와 가치 분석 모형의 한계를 보완하고 생물 교육에 적용 가능한 가치 탐구 모형을 제시했다. 이 수업 모형에서

그림 3 과학사 활용 수업 모형 (Monk & Osborn, 1997)

그림 4 역할극 모듈(이기영과 안희수, 1999)

그림 5 ABCDE 모델(Johansen & Harris, 2000)

학생들은 합리적 의사결정을 위해 가치 갈등 상황의 문제가 무엇인지, 문제가 되는 상황에 필요한 과학 지식이 무엇인지 자료 조사 활동을 통해 파악한 뒤, 선택할 수 있는 방안을 자유롭게 생각한다. 그 과정에서 각 대안의 긍정적·부정적 결과를 예측하고 심사숙고하여 선택한다. 자신이 선택한 대안이 모든 사람에게 수용될 수 있을지도 검토한다. 최종적으로 긍정적인 판단이 가능하면 그 대안을 선택하게 하는 8단계 과정이다(그림 6). 이는 갈등 상황에 대한 과학적 지식과 함께 대안에 대한 결과가 누구라도 수용 가능한지 판단하게 해 영성한 대안이 아닌 치밀하고 꼼꼼한 사고를 유도하는 장점이 있다.

최경희와 조희형(2003)은 기존 연구 결과들을 수정, 보완, 종합하여 협동 학습과 집단 토론법을 적용한 강의법, 토론법, 조사법 형태의 세 가지 형식적 수업 모형을 완성했다(그림 7). 형식적 수업 모형은 교사가 직접 가르치거나, 자료를 읽고 쓰거나, 문제 사례를 토의하게 하는 방법으로 설득, 명료화, 도덕성 발달 혹은 도덕적 딜레마, 논쟁 거리 조사, 분석, 현장 학습 등을 사용한다. 강의법은 '정자 은행'에 대한 쟁점을 제시하고 그에 대한 지지 여부를 생각하게 한 후 가치를 분석하고 입장을 결정하며, 결정에 대해 평가하는 것이다. 토론 모형은 역할을 배정한 후 AIDS나 안락사와 같은 딜레마를 유발하는 주제에 대해 조별 토의를 통해 조별 입장을 선택하고 발표하여 그 결정에 대한 평가를 교사와 학생들이 함께 내린다. 조사 모형은 지역의 현안이 되는 쓰레기 처리장과 같은 여러 집단의 이익과 가치관이 연관된 소재를 제시하고, 그에 대해 추가적인 자료를 수집하게 하여 다양한 의견을 수용하도록 하고 그에 대한 입장을 결정하면 교사와 학생들과 함께 타당성을 평가하는 것이다.

한편 윤리 교육의 입장에서 생명 윤리 교수-학습 모형을 개발한 사례로 이인재(2005)와 이경희(2009)

의 수업 모형이 있다. 이인재(2005)는 생명 공학의 윤리적 특성과 상호 토론의 원리, 생명 윤리 교수-학습의 원리를 종합적으로 반영하여 [그림 8]과 같은 모형을 개발했다. 먼저 문제를 예습의 형태로 미리 제시하면 충분히 숙지하고 와서 갈등을 일으키는 문제의 핵심이 무엇인지 문제 발생의 이유, 연관된 사람 등을 파악한다. 이후 모둠 활동을 통해 세부적 문제 상황을 파악하고 미처 고려하지 못한 상황을 생각해 본다. 그 다음에 각 모둠별에서 제시하는 행동들에 대해 장단점을 비교하고 대안적인 해결책을 생각해본 후, 마지막으로 자신의 입장을 정리하게 한 후 토론을 마무리한다.

이경희(2009)는 다윈 사회인 미국에서 복잡한 갈등 상황을 다룰 때 오래전부터 사용해 왔던 상호 교차 질문식 아카데미 토론(cross-examination debate association: CEDA)을 생명 윤리 수업에 도입할 것을 제안했다. CEDA 아카데미 토론은 논제에 찬성하는 측과 반대하는 측의 각 2명이 참가하여 입장 표명 3분, 교차 조사 1분, 반박 1분의 순서로 총 12라운드에 걸쳐 진행되는 형식을 말한다. 찬반의 결정은 시험 직전에 심사위원 앞에서 제비뽑기를 통해 결정이 되며 토론 대회를 준비하는 학생은 어떤 입장의 논쟁도 진행할 수 있도록 철저한 준비가 필요하다. 연구자는 강의법, 토의법, 협동법, 질의법 등 다양한 학습법을 동원하여 총 2차시에 걸친 CEDA수업을 제시했다(그림 9).

윤리 교육 수업 모형

윤리 교육에서는 삶의 과정에서 부딪치는 다양한 윤리적 문제들을 해결하기 위해 도덕적 사고·판단능력의 함양을 목표로 다양한 수업 모형을 채택하고 있다. 과학사 활용 과학 윤리 수업 또한 과학과 관련한 다양한 윤리 문제를 해결하기 위한 도덕적 판단력

그림 6 가치 탐구 모형(정은영과 김영수, 2000)

그림 7 과학의 윤리적 특성 교수 학습 모형(최경희와 조희형, 2003)

그림 8 생명 윤리 교수-학습 활동의 절차와 활동(이인재, 2005)

이 필요하다. 윤리 교육에서 사용하는 가치교육론을 통해 과학 교육에서 윤리성 측면의 학습 지도에 도움

을 얻을 필요가 있다(최경희, 1998).

우선 가치 명료화 수업 모형은 학생들이 가지고 있

그림 9 CEDA 아카데미 수업 모형

는 가치를 명료하게 인식시켜 자신들이 가지고 있는 가치를 파악하고 소중히 여기게 하는 수업 방법이다(서강식, 2003). 즉 도덕적 문제 해결보다 문제에 대해 개인이 가지고 있는 관점을 명확히 발견하게 하여 자긍심을 가지도록 돕는 것이다. 가치 명료화 수업의 단계는 선택, 여러 대안과 그 결과에 대해 심사숙고하여 선택, 선택한 가치를 소중히 여기기, 선택한 가치를 이야기하기, 행동하기 등이 있다. 가치 명료화 수업 모형은 [그림 10]과 같다(서강식, 2003).

가치 분석 수업 모형은 가치 명료화 수업 모형이 가치의 상대주의를 조장하고 개인의 자유를 지나치게 존중하기 때문에 문제를 해결하는데 도움이 되지 않는다고 비판하며 등장한 이론이다. 두 수업 모두 가치를 내면화하는데 관심이 있지만 가치 분석 수업 모형은 쟁점이 있는 문제를 다루며 보편적 가치를 탐구하

고, 가치 명료화는 옳고 그른 가치가 아닌 좋거나 싫은 가치의 문제로 여기는 점이 차이가 있다(서강식, 2003).

가치 분석 수업 모형은 문제에 대해 학생들이 판단하는 가치를 분석하고, 그 근거에 대해 논리적 정당성을 확립하는데 초점을 맞추는 수업이다. 서강식(2003)은 Combs의 가치 갈등 해결 절차를 중심으로 한 모형, Fraenkel의 가치 판단과 가치 갈등에 대한 분석 모형, Banks의 가치와 관련된 행동을 서술하고 예측하는 모형, 그리고 Banks의 모형을 간략히 요약한 차경수의 모형 등 가치 분석에 대한 학자들의 다양한 모형을 종합하고 공통적인 단계를 추출해 [그림 11]과 같이 제시했다.

먼저 교사가 상황을 제시하면서 수업을 시작한다. 문제가 무엇인지, 관련된 가치는 무엇인지 확인을 한

그림 10 가치 명료화 수업 모형 (서강식, 2003)

그림 11 가치 분석 수업 모형(서강식, 2003)

후 그에 대한 대안을 검토하고 그 결과를 예상한다. 이 때 가치 정보 도표 등의 가치를 분석하는 활동지를 모듈별로 함께 수행하며 대안을 결정하고 그 결과에 대한 정당성을 검토한 후 다수결로 의사 결정한다. 그리고 결정에 대한 실천을 어떻게 할 것인지 고려하면서 수업을 마무리 한다.

마지막으로 가치 갈등 수업 모형은 실제 사회에서 일어나는 도덕적 판단과 관계된 문제 상황에서 일어나는 갈등을 해결하는 과정이다. 현실 문제에 대해 이해 관계가 있는 경우에 어떻게 도덕적 의사결정을 할 것인지 실례를 통해 가치를 올바르게 선택하도록 돕는다. 서강식(2003)은 Oliver와 Shaver의 가치 갈등을 해결하기 위한 분석적 절차를 토대로 가치 갈등 수업 모형을 [그림 12]와 같이 제시했다. 먼저 사례를 제시하고 관련된 규범을 확인한 후 토의를 통해 개념과 용어, 가치의 의미를 명료화한다. 이 후 문제의 성격을 분석하고 양쪽의 입장에 대한 결과를 예상한 후 자신

의 입장을 선택하고 평가하는 일련의 과정을 거친다.

역사 교육 수업 모형

과학사를 활용한 과학 윤리 수업을 구성하기 위해 과학사를 역사적 측면에서 어떻게 가르쳐야 하는지 역사 교육의 수업 모형을 참고했다. 먼저 사료에 근거한 수업 모형이 있다. 사료는 역사적 사실을 객관적으로 인식시키고 역사가와 과거의 사실을 연결해주는 매개체다(최완기, 1997). 역사 교육에서 교사의 설명이 주가 되는 수업의 대안으로 사료를 수업에 도입하는 것이 사료 중심 학습 모형이다(그림 13). 사료 학습은 한 주제를 선정하고 주제에 대한 과제의 해결을 위해 활용하는 차원에서 역사적 사실과 의미를 탐구하게 한다. 따라서 사건의 표면적 서술에 그치는 교과서보다 학습자에게 자료를 직접 제시하고 활용하는 방법을 가르칠 수 있고, 역사적 사고력과 학습 동기를 자극시킬 수 있다. 단, 사료 학습을 준비할 때에는 반

그림 12 가치 갈등 수업 모형(서강식, 2003)

그림 13 사료 중심 학습 모형(최완기, 1997)

드시 역사가로부터 비판, 해석되어 사료로서의 가치가 검증받은 것을 사용해야 하며, 사료의 해석보다 이용하는 능력을 함양하도록 목표를 세워야 한다(최완기, 1997).

또한 과학사를 활용할 때 사례를 학생들이 읽을 때 비판적 사고 능력을 향상하기 위해 읽기와 관련한 모형을 살펴보았다. 남정우(2010)는 비판적 읽기를 특징지으며, 비판적 읽기 역사 교과서 모형을 개발했다(그림 14). 비판적 읽기는 반성적 회의 과정을 통해 글을 분석하는 방법으로, 텍스트에 나타난 단서에 근거해 자신만의 새로운 의미를 구성하는 과정이며, 쓰기와 함께 이루어져야 하는 일반화 할 수 없고, 기존의 정형화된 틀을 깨는 다의적, 다층적인 읽기 방식이다(남정우, 2010). 읽기 전 단계는 학생들의 스키마를 활성화할 수 있도록 익숙하거나 관련 있는 사례를 제시하고 읽기 중 단계는 텍스트를 직접 비교, 분석해 역사를 인식하는 과정이다. 읽기 후 단계는 역사 내용으로 역사적 의미에 대해 자신이 구성하는 과정이다. 비판적 역사 교과서 읽기 모형은 역사가 완성되는 것

이 아니라 진행되는 것임을 알게 하는 효과가 있다(남정우, 2010).

마지막으로 역사 교육에서 과학 기술사에 대한 수업을 연구한 모형을 살펴보았다. 장세옥과 이명희(2004)는 과거 역사 행위의 내면에 담긴 사고를 비판적, 반성적으로 재사고 하는 추체험적 역사 학습을 제안했다(그림 15). 추체험적 수업은 스스로 묻고 대답하며 문제를 해결하며 자신의 행위까지도 비판적으로 반성할 수 있도록 하기에, 발견의 과정을 강조하는 과학 기술사 수업에 효과적인 것으로 나타났다.

이상의 모형들은 모두 서로 다른 교과 배경에서 제시되었기에 다양한 수업의 흐름을 보여주고 있다. 그러나, 본 연구에서 개발하려는 과학사 활용 과학 윤리 수업은 과학 수업, 윤리 수업, 역사 수업 등의 특성을 모두 가지고 있으므로 이상의 다양한 수업 모형을 파악할 필요가 있었다. 정리하면 다음과 같다.

첫째, 과학 윤리 교수-학습 모형과 윤리 교육 수업 모형을 비교하면 교과와 특성에 따라 유사한 점과 차이점이 나타났다. 둘 다 문제를 제시하고 문제를 명료

그림 14 비판적 역사 교과서 읽기 모형 (남정우, 2010)

그림 15 추체험적 과학 기술사 수업 모형(장세옥과 이명희, 2004)

화하며 대안을 탐색하는 큰 흐름은 유사했다. 그러나, 윤리 수업에서는 최종적으로 실천을 하며 마무리하는 것과는 달리 과학 윤리 수업에서는 선택한 대안에 대한 또는 의사결정한 안에 대해 평가하며 마무리하여 초기에 제기된 문제를 과학적으로 해결하는 것을 강조했다. 또, 과학 윤리 수업과 윤리 수업 모두 가치 판단이 중요하지만, 과학 윤리 수업의 가치 판단에서는 과학적 근거가 더 비중 있게 다루어진다.

둘째, 과학사 활용 교수 학습 모형과 역사 교육의 수업 모형들은 대개 당대의 자료를 제시하고 그 자료에 나타난 인물이나 사건에 대해 분석, 해석, 설명하는 단계가 비슷했다. 그러나 그러한 역사적 사실에 대해 자신의 관점을 정리하는 단계에서 차이가 나타났다. Monk와 Osborn(1997)의 모형은 자신의 관점이 담긴 검증 방법을 고안해 보는 것으로, 장세옥과 이명희(2004)는 자신의 탐구 과정을 반성하고 새로운 문제를 생성하는 것으로, 최완기(1997)와 남정우(2010)는 보고서 작성이나 역사 쓰기를 통해 내면화를 유도하는 것이 달랐다. 역사 수업에서는 역사적 자료를 통해 비판적 사고 함양을 지향하는 경향이 있는 반면, 과학사 수업에서는 과거의 과학적 개념을 되짚어 현재의 과학 개념 학습에 도움을 주고 과학의 본성 함양을 지향한다.

셋째, 과학 윤리 수업, 윤리 수업, 역사 수업 모두 사례를 활용한다는 공통점을 갖는다. 그 사례가 가상의 문제 상황일 수도 아니면 실제 발생했던 상황일 수도 있지만 구체적인 사건을 통해 학생들을 진정성 있는 문제 해결로 이끌 수 있도록 유도한다. 실제 사건

을 제시하여 학생들이 그 사건의 당사자로서 문제를 해결하거나 비판적으로 사고함으로써 학생들이 가지고 있는 지식을 적용해 보는 기회를 갖는다.

Ⅲ. 연구 방법

본 연구는 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 교수-학습 모형을 개발하기 위한 기초 연구로 개발 연구 방법을 선택했다. 개발 연구는 정성적 연구나 정량적 연구에 속하지 않는 제3의 연구 방법론으로 교과 과정 개발을 통해 이론의 형성과 사례 개발을 하는데 목적을 둔다(우정호 등, 2006). 이에 본 연구에서는 과학사 활용 과학 교육 문헌을 분석하고, 과학사에서 윤리와 관련된 사례들을 추출하여 영역별로 분류했다. 이를 기반으로 과학, 윤리, 역사 교육의 교수-학습 방법을 참고하여 5차시의 과학사 활용 과학 윤리 수업을 개발했다. 개발한 수업들을 통해 과학사 활용 과학 윤리 교육을 위한 교수-학습 모형을 제안했다(그림 16).

1. 과학사에서 윤리 관련 사례 추출 및 범주화

과학사에서 윤리와 관련된 사례 추출은 2011년 5월 초부터 2011년 10월 말까지 이루어졌다. 본 연구자를 포함해 과학 교육 전문가 1인 및 박사 학위 과정생 1인의 검토를 거쳤다. 국내외 학회지와 국내에서 출판된 과학사 관련 서적을 중심으로 윤리 관련 사례를 수집했다. 윤리 관련 사례는 위조·조작·표절 등 연구 부정 행위, 인권 침해, 생명 윤리 위반, 상식적 윤리

그림 16 연구 과정

수준을 벗어난 행위로 정했다. 서적의 경우 국회 도서관을 통해 제목을 검색했고, 검색어는 ‘과학 윤리’, ‘과학사 사기’, ‘과학 오류’ 등이었다. 단행본에 등장한 사례 중 내용이 구체적이지 못한 경우 과학사 학회지, 『Nature』 등의 학술지, 신문 자료 등을 참고했다. 참고한 서적은 <표 3>과 같다. <표 3>의 서적은 대부분 역사인데, 이는 국내 과학사 저술가들의 저서 내용의 출처가 대부분 외국 서적이었기 때문이다. <표 3>의 저서 내용들도 상호 중복되는 부분이 많았으므로 20개 이상의 저서에 포함된 200개가 넘는 과학 윤리 관련 사례 중 72개 사례가 최종 추출될 수 있었다.

2. 과학사 활용 과학 윤리 수업 개발 및 교수-학습 모형 제안

과학사 활용 과학 수업 모형, 과학 윤리 수업 모형,

윤리 교육 수업 모형, 역사 교육 수업 모형 등에 대한 문헌을 검토하고 20권의 과학사 속 윤리 문제 관련 서적을 읽은 후 72개의 사례를 추출했다. 72개 사례를 8개 영역으로 구분하여 각 영역별 수업을 개발한 후 ‘과학사 활용 과학 윤리 수업 모형’을 제안했다(그림 17).

Ⅳ. 연구 결과

1. 과학사에서 윤리 관련 사례 추출

과학사에서 윤리 관련 사례를 추출한 후 비슷한 양상이 드러나는 사건들을 중심으로 범주화했다. 총 8개 범주로 구분되었으며, 이 범주를 다시 조희형(2008)이 구분한 연구 윤리 문제가 발생하는 시점별, 즉 과학 연구를 수행할 때 발생하는 윤리적 문제, 과학 연구 결과를 발표할 때 발생하는 윤리적 문제, 과학

표 3

국내·외 과학사에서 윤리와 관련된 사례 문헌

제목	저자	역자	출판 연도
같기도 하고 아니 같기도 하고	로얼드 호프만	이덕환	1996
유나바머	카진스키	조병준	1996
과학사 X파일	최성우		1999
과학의 양심선언	L. 스티븐슨, H. 바이얼리	이상빈	1999
과학자의 진실 그리고 뒷모습	사마키 다케오	윤명현	2001
과학 연구 윤리	유네스코한국위원회		2001
위대한 발견의 숨겨진 역사	월터 그라처	김우열	2005
과학 기술 연구 윤리 현황 및 사례	원자력연수원		2006
과학의 사기꾼	하인리히 창클	도복선, 김현정	2006
엄청난 배신: 과학에서의 사기	호레이스 F. 저드슨	이한음	2006
탐욕의 과학자들	민영기 외		2007
진실을 배반한 과학자들	윌리엄 브로드, 니콜라스 웨이드	김동광	2007
Corrupted science: Fraud, ideology and politics in science	John Grant		2007
히틀러의 과학자들: 과학, 전쟁 그리고 악마의 계약	존 콘웰	김형근	2008
과학, 일시 정지	가치를 꿈꾸는 과학 교사 모임		2009
편집된 과학의 역사: 우리가 미처 몰랐던	페트리샤 파라	김학영	2010
과학을 훔친 29가지 이야기	하인리히 창클	박소연	2010
미국의 은폐 기록과 일본의 야망	셀던 H. 해리스	김소정	2010
과학 윤리 특강	이상욱 외		2011
과학, 사실과 사기 사이에서	데이비드 굿스타인	정세권	2011

그림 17 과학사 사례 활용 과학 윤리 수업 모형 개발 절차

학 연구를 사회에 적용할 때 발생하는 윤리적 문제 등의 기준에 포함시켰다. 총 20권의 서적, 학술지, 논문, 신문 자료 등에서 과학 윤리 관련 과학사 사례를 72개 추출했다. 동일 과학자가 다른 윤리적 문제의 사건과 관계되었을 때에는 별개의 사건으로 기록했다(표 4).

연구 내용 위조란 연구 과정에서 “존재하지 않는 데이터 또는 연구 결과 등을 허위로 만들어 내는 행위(교육과학기술부, 2008)”를 말한다. 따라서 본 연구에서는 거짓을 유효한 모든 경우를 위조로 간주했다. 사례 추출 과정에서 대부분의 서적에서 위조와 날조가 혼용되고 있음을 발견했는데, 날조는 “사실이 아닌 것을 사실인 양 거짓으로 꾸미는 것(표준국어대사전, 2011. 12. 26. 검색)”이므로 위조와 동일한 것으로 간주했다.

연구 내용 조작은 연구 과정에서 자신이 원하는 결과를 위해 연구 내용을 수정 혹은 삭제, 선택적으로 사용하거나 추가하거나 더 정교하게 다듬는 등의 행

위를 뜻한다. 이는 연구 부정 행위의 변조보다 포괄적인데, 변조는 “연구 재료·장비·과정 등을 인위적으로 조작하거나 데이터를 임의로 변형, 삭제함으로써 연구 내용 또는 결과를 왜곡하는 행위(교육과학기술부, 2008)”만을 뜻한다. 따라서 조작은 이론을 먼저 설정하고 연구 내용을 끼워 맞추는 행동, 자료를 좋은 것들로만 뽑아서 결론을 얻는 행동 등에 대해서도 윤리적 문제가 있다는 것을 증명한다.

실험 중 생명 윤리 침해는 실험 과정 중에 일어나는 윤리적 문제를 뜻한다. 인간과 동물을 대상으로 하는 연구에서 “연구 대상의 인권과 건강 및 복지를 최대한 존중하여야 한다(서울대학교, 2010)”는 뜻이다.

이들 소영역은 모두 연구 수행 과정에서 발생하는 윤리적 문제이므로, 연구 내용 위조, 연구 내용 조작, 실험 중 생명 윤리 침해 등을 과학 연구를 수행할 때 발생하는 윤리적 문제 영역으로 포함시켰다.

표절은 “시나 글, 노래 따위를 지을 때에 남의 작품의 일부를 몰래 따다 씀(표준국어대사전, 2011. 12.

표 4
과학사에서 윤리 관련 사례 범주 및 추출 사례 수

대영역	소영역	사례 수	영역 합계
과학 연구를 수행할 때 발생하는 윤리적 문제	연구 내용 위조	25	47
	연구 내용 조작	13	
	실험 중 생명 윤리 침해	9	
과학 연구 결과를 발표할 때 발생하는 윤리적 문제	표절과 도용	10	12
	부당한 공로 배분	2	
	도를 넘어선 비방	7	
과학 연구를 사회에 적용할 때 발생하는 윤리적 문제	이데올로기와 결합	5	13
	사회적 책임 문제	1	
계			72

26. 검색)”을 뜻하며, 도용은 “남의 물건이나 명의를 몰래 씀(표준국어대사전, 2011, 12, 26. 검색)”을 뜻하는 단어다. 둘 다 몰래 쓰는 것은 공통적이나 그 대상의 범위와 종류에 따라 두 용어를 다르게 사용하므로 병렬적으로 표기한 것이며, 연구 부정 행위의 부당한 논문 저자 표시를 포함한다.

부당한 공로 배분은 연구 결과를 유도하는데 결정적 공헌이 있으나 그것에 대한 정당한 인정을 받지 못한 경우로 정했다. 표절과 도용, 부당한 공로 배분은 모두 연구 결과에 대한 것들이므로 과학 연구 결과를 발표할 때 발생하는 윤리적 문제 영역에 포함시켰다.

도를 넘어선 비방은 연구자들 간 연구 결과에 대한 단순 논쟁이 아니라 그 과정에서 일어난 문제들로 인해 학계에도 바람직하지 못한 영향을 미친 사례다. 이데올로기와 결합은 과학 연구에 이데올로기가 결합되었을 때 과학계와 사회에 부정적인 문제가 발생한 내용이다. 사회적 책임 문제는 과학 연구 결과를 사회에서 활용할 때 그 결과에 대한 책임 소재를 말한다. 이와 같이 이들 소영역들은 모두 연구를 사회에 적용할 때 발생하는 윤리적 문제들이므로 과학 연구를 사회에 적용할 때 발생하는 윤리적 문제 영역에 포함시켰다.

전체 72개 사례 중 가장 많은 47건이 연구 수행 시 발생하는 문제에 해당되었다. 과학 연구를 사회에 적용할 때와 과학 연구 결과를 발표할 때 발생하는 문제는 각각 13건, 12건으로 연구 수행 시 보다 적었다. 구체적으로 연구 내용 위조가 26건으로 가장 많았고 그 다음으로 연구 내용 조작이 12건, 표절과 도용이 10건이었다. 즉, 연구 부정 행위라 불리는 위조, 조작, 표절이 과학사 사례에서 가장 많았다. 생체 실험과 같이 실험 중 생명 윤리를 침해하는 경우도 9건 있었고, 과학자 사이에 비방으로 인해 과학 발전을 저해하고 윤리 문제를 일으킨 경우도 7건 있었다.

2. 과학사를 활용한 과학 윤리 수업 개발

〈표 4〉에 제시된 윤리 관련 범주 중 소영역 8개마다 수업을 개발했지만, 여기서는 대영역별로 하나씩 총 3개의 수업을 소개하고자 한다.

과학 연구 수행 시 발생하는 윤리 문제 수업: 연구 내용 조작 수업 개발 사례

1) 수업 배경¹⁾

과학자가 결론을 얻는 방법은 크게 두 가지다. 먼저 연역법은 결론에 대한 잠정적 답인 가설을 설정하고, 그에 따른 실험 절차를 고안하여 실험을 한 후 가설과 비교해서 가설을 수용하거나 기각하여 결론을 얻는다. 귀납법은 수많은 관찰을 통해서 비슷한 경향을 찾아내고 그것이 어디에나 적용될 때 결론을 정하는 것이다. 양쪽 모두 과학자가 관찰이나 실험을 통해 검증 과정을 통해서 결론을 유도하는 것이 기본 방법이다. 그러나 과학자가 이미 자신의 마음 속에 결론을 내리고 실험이나 관찰을 한다면 어떻게 될 것인가? 과학자의 마음 속에 있는 생각에 근거해 현상이 보일 것이다. 우리는 이것을 관찰의 이론 의존성이라고 하며, 과학에서 종종 있어왔던 일이다. 그러나 다음의 사례들은 이미 내려진 결론에 짜 맞추기 위해 자료들을 조작한 행위이다.

1866년 생물 진화에 대해 “개체 발생은 계통 발생을 반복한다”는 법칙을 정립한 에른스트 헤켈은 계통 진화가 개체의 배아 단계에서 되풀이 되므로 모든 척추동물의 배아는 공통적 형태일 것이라는 생각에 강하게 사로 잡혔다. 그래서 그는 사람의 배아 사진들을 자신의 생각과 일치할 때까지 무리하게 조작하여 제시했다. 그는 다윈의 진화론을 너무 신봉한 나머지 이런 일을 저질렀으나, 다윈은 헤켈의 진화 법칙을 인정하지 않았고 다윈의 친구인 애덤 세지윅도 의구심을 제시하자 헤켈은 결국 자신이 사진을 조작했음을 고백했다. 헤켈의 계통론은 진화론에 대한 첨예한 논쟁을 불러일으켰으며, 발생학을 몇 십 년이나 후퇴시킨 사례로 여겨진다.

2004년과 2005년 사이 『Nature』와 『Science』에 발표된 황우석 박사와 동료들의 논문도 데이터 조작과 관련된 것이었다. 인간의 배아줄기 세포로 불치병을 곧 고치게 될 과학자로 노벨상을 받게 될 국가의 자부심으로 띄워졌기에 그 여파가 더욱 컸다. 황우석 박사는 조작된 논문으로 인해 교수직에서 파면되었고, 이후 국내 줄기세포 연구는 위축되었다.

로버트 밀리컨은 선택적으로 데이터를 사용했기에 비판받았다. 1910년 기름 방울 실험으로 최초로 전하량을 측정해 『Science』에 발표했으나 38개의 실험 결과 중 가장 낮은 값으로부터 가장 높은 값까지 분류하여 이 중 7개를 제외했던 것으로 드러났다. 그는 더

¹⁾창쿨(2006), 저드슨(2006), 민영기 외 3인(2007), 브로드와 웨이드(2007), 파라(2010), 이상욱(2011), 굿스타인(2011) 등을 참고했다.

정교한 실험을 수행하여 1913년에 두 번째 논문을 『Physical Review』에 발표했는데, 이때 그는 “이는 따로 골라낸 기름 방울 집단이 아니라 60일 동안 줄곧 실험하여 얻은 기름 방울에 대한 결과”라고 했다. 또 1918년 『전자, 그 분리와 측정』이란 저서에도 “한 방울도 누락되지 않았다”고 기록했다. 그러나 그는 140개 이상의 기름 방울을 측정했으며, 자신이 설정한 기준에 너무 뒤떨어진다고 생각되는 데이터를 제외하고 자기 이론값에 가장 잘 들어맞는 58개의 값들만 선택하여 발표한 것이었다. 밀리컨은 전자의 전하량이 단일하다는 사실을 굳게 믿었기 때문이었다.

2) 수업 구성

본 수업은 과학자들의 연구 과정에서 발생할 수 있는 윤리 문제 중 데이터 조작의 사례를 소개하며, 과학 뿐 아니라 학생들의 생활 속에서도 데이터 조작을 해서는 안 된다는 규범 지향적 수업이다. PPT를 통해 과학사 사례를 제시하고, 과학자들에게 문제가 되었던 원전(原典)에 근거해 구체적으로 어떤 부분에서 조작이 일어났는지를 찾아보는 설명식 수업이다. 원전(原典)에 근거하는 방법은 과학사 수업 모형들에서 참고했으며, 캘리포니아 공과대학의 밀리컨 자료 박물관, 『Nature』 등에서 자료를 직접 인용했다.

3) 유의 사항

과학자들은 결론을 미리 확신하며 결론을 좋아보이게 살짝 고치고 싶은 유혹을 많이 받지만, 데이터 조작은 정직성의 문제이므로 결과를 맞게 하기 위해서 과정에 거짓이 있어서는 안 된다는 것을 확실히 한다.

4) 수업 지도 계획: 과학자도 거짓말을 한다

과학사에서 연구 내용 조작 사례를 활용하여 개발한 과학 윤리 수업의 전체적 흐름과 주요 구성은 <표 5>와 같다.

과학 연구 발표 시 발생하는 윤리 문제 수업: 표절과 도용 수업 개발 사례

1) 수업 배경²⁾

고대 이집트의 수학자이자 천문학자로서 1,500년간 유럽 과학계를 지배하며 천동설을 주장했던 프톨

레마이오스도 도용 혹은 표절 의혹을 받고 있다. 첫째, 그리스 로도스섬에서 살았던 초대 관측 천문학자 히파르코스의 저서를 도용했다는 것이다. 로도스와 프톨레마이오스가 살았던 알렉산드리아는 5도의 위도 차가 있어서, 히파르코스와 프톨레마이오스의 관측기록 사이에는 5도의 위도 차가 반영되어야 한다. 즉 프톨레마이오스가 히파르코스보다 남쪽에서 관측했으므로, 약 300개 정도의 별을 더 보았어야 하는데, 프톨레마이오스의 관측 기록에는 로도스섬과 같은 위도에서 볼 수 있는 1,025개의 별 밖에 없었다.

둘째, 알마게스트는 수학 백과사전의 형태이므로 수학 연습 문제들이 있었다. 특히 구면 천문학에 관한 문제들의 예제에 등장하는 별들이 모두 로도스 섬의 위도와 관련된 것이어서 더욱 의심스럽다. 셋째, 프톨레마이오스가 추분날 주야평분시(晝夜平分時: 밤낮의 길이가 같아지는 시점)를 스스로 정밀하게 관측했다고 기록했지만, 미국의 물리학자 로버트 뉴턴에 의해 현대 기준으로 17시간 정도의 오차가 있었다. 이는 프톨레마이오스가 관찰했다고 주장한 132년보다 278년 전 값, 즉 히파르코스가 살았던 시대의 값과 거의 유사한 것이었다. 따라서 프톨레마이오스는 히파르코스가 관찰한 기록³⁾을 자신이 관찰한 것처럼 가져와 책을 저술했다고 볼 수 있다.

이와 같이 프톨레마이오스의 저서 알마게스트는 히파르코스나 다른 천문학자들의 관측 기록을 이용했다는 의심을 받지만, 천동설이라는 새로운 행성에 관한 이론은 그가 직접 연구하고 작성한 것이므로 표절이 아닌 도용이라 볼 수 있다.

2) 수업 구성

본 수업은 과학사 활용 과학 수업에서 과학자들의 실험을 그대로 따라하는 방법을 적용했다. 지구과학 영역의 특성상 실험실에서 할 수 있는 실험이 많지 않지만, 천문 프로그램을 이용하면 당시의 시대로 돌아가 천문학자들이 보았을 밤하늘을 찾아가 볼 수 있기 때문에 넓은 의미에서 재연으로 생각할 수 있다.

사실 프톨레마이오스가 히파르코스의 책을 도용했다는 데 대한 직접적인 검증이 불가능하므로 이 수업에서는 천문 프로그램을 통해 간접적으로 확인하는 방법을 채택했다. 천문학 이론에 따르면 적도를 기준으로 위도가 증가할수록 볼 수 있는 별의 개수가 작기

²⁾창클(2006), 저드슨(2006), 민영기 외 3인(2007), 브로드와 웨이드(2007), 파라(2010), 이상욱(2011), 굿스타인(2011) 등을 참고했다.

표 5

수업 지도 계획: 과학자도 거짓말을 한다

제목	과학자도 거짓말을 한다		
세부 윤리 영역	연구 내용 조작	대상	중고등 학생
학습 주제	과학사 속 과학자 행동을 통해 과학 윤리 생각해보기		
목표	자료 조작은 과학의 발전을 저해하는 행위임을 깨닫는다.		
준비물	활동지, PPT		
본시 학습 내용	탐색 → 사례 제시1 → 문제 명료화1 → 사례 제시2 → 문제 명료화2 → 사례 제시3 → 문제 명료화3 → 대안 탐색 → 정리		
탐색	<ul style="list-style-type: none"> • 학습 목표를 제시하고, 간략히 수업 내용을 소개한다. • 전 수업 시간에 익명으로 설문한 “과학 수행 평가에서 원하는 답을 얻기 위해 실험 결과를 조작한 적이 있는가?” 결과를 공개한다. • 한 설문 조사에서 과학자들이 응답한 데이터를 공개하여 학생들의 응답과 비교해 본다. • 과학자들이 실험 결과를 조작하는 것은 어떤 문제점이 발생할 수 있을지 질문한다(답변을 칠판에 기록하여 둔다). 		
사례 제시1	• PPT로 헤켈의 책에 실린 사진을 보여준 후 조작된 사진을 찾아보게 한다.		
문제 명료화1	<ul style="list-style-type: none"> • 사진은 헤켈이 조작한 척추 동물의 발생 과정 사진임을 알려준다. • 실제 발생 과정 사진을 보여주고 비교해 본다. • 헤켈의 데이터 조작 사례에 대해 설명한다. 		
사례 제시2	• PPT로 여러 장의 사진을 보여준 후 조작된 사진을 찾아보게 한다.		
문제 명료화2	<ul style="list-style-type: none"> • 사진은 2005년 조작된 논문으로 밝혀져 취소된 황우석 박사팀의 『Science』에 실렸던 사진임을 설명한다(동일 사진을 축소·확대, 동일 사진을 상하 방향으로 압축·늘임, 동일한 사진, 동일한 세포를 상단·하단을 찍은 것임을 알려준다). • 황우석 사진의 쟁점에 대해 설명한다. 		
사례 제시3	• PPT로 밀리컨의 실험 노트를 보여준다.		
문제 명료화3	<ul style="list-style-type: none"> • 밀리컨의 실험 노트를 보여준다. • 밀리컨의 실험 노트가 윤리적으로 논란이 된 내용을 설명한다. 		
대안 탐색	• 문제 해결을 위한 토론, 토의를 진행한다.		
정리	<ul style="list-style-type: none"> • 연구 부정 행위 자체가 큰 문제이며, 과학 발전에 저해가 됨을 알린다. • 학생들도 실험 결과를 조작하는 것이 궁극적으로 자신과 주변에 피해를 주는 것임을 느끼게 해준다. 		

때문에, 프톨레마이오스가 관측했어야 하는 별의 수는 히파르코스가 봤을 법한 하늘보다 300개 정도 더 많아야 한다. 이는 프톨레마이오스가 볼 수 있는 별의 일주권($90^\circ - \phi$)은 약 남위 60° 까지이기 때문이다.

[그림 18]의 윗부분은 프톨레마이오스가 30대 청년 무렵일 때의 밤하늘이다. 알렉산드리아에서 평범하게 관측할 수 있는 지평선의 고도를 고려했을 때 그림 속 원들은 히파르코스보다 별이 더 보이는 5도의 차이를 나타내고 있다. 즉 남위 60° 부근의 별들이다. [그림 18]의 아랫부분은 히파르코스가 30대 청년이었을 기원 전 160년의 밤하늘이다. 히파르코스의 밤하늘에서

는 프톨레마이오스의 하늘에서 보이는 부분이 관측되지 않는다. 교사는 이 과정을 시연하여 학생들과 함께 프톨레마이오스의 진실에 다가가도록 한다.

3) 유의 사항

이 수업은 천구의 위치와 별의 일주권에 대한 천문학적 개념도 함께 가르칠 수 있는 장점이 있다. 그러나 과학 윤리 수업의 특성을 살려서 인지적 수업에 치중하지 않도록 한다. 또한 프톨레마이오스 외에 다른 과학자들의 표절이나 도용 사례는 과학사에서 당시에는 심각한 윤리적 문제가 아니었기 때문에 다른 과학자들

³⁾역설적이게도 히파르코스의 저서는 오늘날 존재하지 않고, 히파르코스의 업적에 대해 언급하고 있는 유일한 책이 알마게스트다(창률, 2006).

도 그러한 오류를 저질렀을 수도 있음을 소개한다. 정리 부분에서는 과학이 재연을 통한 검증으로 실험이나 연구 방법에 대한 오류를 밝힌다고 설명한다. 과학자들의 창의적 아이디어가 핵심인 과학 분야야말로 지적 재산권이 중요하다는 이야기로 끝맺도록 한다.

4) 수업 지도 계획: 프톨레마이오스의 진실

과학사에서 표절과 도용 사례를 활용하여 개발한 과학 윤리 수업의 전체적 흐름과 주요 구성은 <표 6>과 같다.

과학 연구 사회 적용 시 발생하는 윤리 수업: 이데올로기와 결합 개발 사례

1) 수업 배경⁴⁾

본 수업에서는 제1, 2차 세계 대전과 과학의 관계를 조명한다. 과학이 전쟁과 연결되면 어떻게 변화하는지에 대한 두 가지 사례를 제시한다. 우선 프리츠 하버의 사례다. 일찍부터 독일의 과학자들은 공기 중의 질소를 비료를 만들려고 했으나 고온의 조건을 만들지 못해 늘 실험에서 실패했다. 그러던 중 젊은 화학자인 프리츠 하버가 저온의 조건에서 압력을 높이는

프톨레마이오스의 밤하늘(A.D. 120년 11월 25일 자정)

히파르코스의 밤하늘(B.C. 160년 11월 25일 자정)

그림 18 프톨레마이오스와 히파르코스가 본 밤 하늘

⁴⁾스티븐슨과 바이얼리(1999), 다케오(2001), 콘웰(2008), 가치를 꿈꾸는 과학 교사 모임(2009), 해리스(2010), 진청민(2010), 이상욱(2011) 등을 참고했다.

표 6

수업 지도 계획: 프톨레마이오스의 진실

제목	프톨레마이오스의 진실		
세부 윤리 영역	표절과 도용	대상	중고등 학생
학습 주제	과학사 속 과학자 행동을 통해 과학 윤리 생각해보기		
목표	과학 연구에서 도용은 범죄 행위임을 깨닫는다.		
준비물	Stellarium(별자리 관측 프로그램), PPT		
본시 학습 내용	탐색 → 사례 제시 → 문제 명료화(시연) → 대안 탐색 → 정리		
탐색	<ul style="list-style-type: none"> 네이버 지식인에서 그대로 가져다 쓴 어느 학생의 과제를 읽어준다. 저작권, 표절, 도용에 대한 용어를 설명한다. 		
사례 제시	<ul style="list-style-type: none"> 프톨레마이오스가 히파르코스의 연구를 도용했다는 의혹을 PPT로 소개한다. 		
문제 명료화	<ul style="list-style-type: none"> Stellarium으로 시간을 되돌려 히파르코스가 보았을 그리스 로도스의 밤하늘을 살펴본다. 스텔라리움으로 시간을 되돌려 프톨레마이오스가 보았을 이집트 알렉산드리아의 밤하늘을 살펴본다. 두 밤하늘에서 차이가 나는 별자리들을 찾아본다. 		
대안 탐색	<ul style="list-style-type: none"> 어떤 일이 있었던 것인지 생각해보게 한다. 프톨레마이오스는 도용한 것이며, 프톨레마이오스의 업적으로 인해 이에 대한 논란도 있음을 알려준다. 과학에서 다른 표절과 도용 사례를 소개한다. 어떻게 하면 과학자들의 부정 행위를 막을 수 있을지 논의한다. 		
정리	<ul style="list-style-type: none"> 표절이나 도용은 다른 사람의 물건을 훔치는 것과 같은 범죄 행위임을 분명히 한다. 프톨레마이오스의 업적을 소개한다. 과학에는 이러한 문제가 검증받기 때문에 당장은 아니라도 언젠가는 잘못된 행위가 드러나게 된다는 것을 알려준다. 		

방법으로 질소 합성에 성공했다. 그 후 보슈와 함께 질소 비료 제작도 성공해서 세계 식량난 해결에 기여했고, 그 공로로 1918년 노벨상을 수상했다.

당시 전쟁 중이던 독일은 탄약이 부족했다. 이 이야기를 듣고 하버는 질소 합성법을 응용해 질산을 만들었다. 이 공로로 하버는 화학 부대의 책임자로 승진하게 되었고 이어 세계 최초로 독가스를 개발했다. 그는 강한 무기를 만들어서 순식간에 승리를 거두면 전쟁이 끝날 것이며, 적국의 군인이 총칼에 의해 죽는 것보다 화학 무기에 의해 죽는 것이 더 낫다고 생각했다. 또 자신의 독가스가 이프르강 전투에서 적군을 향해 날아가는 모습을 찍은 사진과 자신이 부대를 지휘하는 사진을 평생 연구실에 걸어두고 자랑스러워했을 정도로 전쟁광이었다.

화학을 악용해 전쟁 무기를 개발하는 남편을 말렸지만 소용없자 동료 화학자였던 아내 클라라는 자살까지 했다. 그러나 그는 아내가 죽은 다음날에도 러시아와 대치 중인 전선에 나가 독가스 공격을 지휘할 정도로 머릿속에는 조국 독일밖에 없었다. 동료 과학자

들이 그의 윤리성을 비난해도 윤리적 문제는 정치적이고 군사적인 권위의 문제이지 과학자의 문제가 아니며, 오히려 조국 독일을 비방하는 배신자로 몰기도 했다.

그러나 히틀러가 집권하자 반유대주의 정책이 강화되면서 많은 과학자들이 유대인이라는 이유로 독일에서 쫓겨났고 유대인 하버도 1933년 독일에서 추방당했다. 하버는 유대교에서 기독교로 개종할 만큼 뺏속까지 독일인이었기에 당시 우울증과 상실감이 컸다. 바이츠만으로부터 이스라엘에서 과학을 연구할 것을 제안 받고 잠시 힘을 내서 여행을 떠났으나, 1934년 1월 29일(향년 65세) 스위스의 한 호텔방에서 심장마비로 사망했다.

애국심이 더욱 극단적인 형태로 나타난 이시이 시로의 사례도 있다. 세균학자이자 의사였던 이시이 시로는 중국 만주에 비밀리에 세균 부대를 만들어 1936년부터 1945년까지 전쟁 포로와 식민지 주민들을 가둬놓고 끔찍한 생체 실험을 했다. 그들은 러시아와의 전쟁에서 이기기 위해 실험 대상들을 동상에 걸리게

한 뒤 얼마나 고통을 느끼는지, 얼마나 버틸 수 있는지를 조사했다. 전염병으로 전쟁을 빨리 끝내는 방법을 연구한다고 민간인들에게 콜레라균을 퍼뜨려 10만 명을 죽게 했다. 그러나 그는 기근으로 300만 명이 죽는 것에 비하면 전염병으로 죽는 사망자 수가 더 적은 것에 실망하고 더 강력한 세균을 퍼뜨리기 위해 연구했다.

제2차 세계 대전 후 미국은 일본의 전범들을 재판하는 대신 기록물을 넘겨주는 조건으로 돈과 안전을 보장하는 거래를 했다. 그 결과, 이시이 시로를 비롯한 731부대의 과학자들 누구도 재판받지 않았고, 누구도 피해자들에게 사과하지 않았다. 그들은 대학 학장, 올림픽 위원장, 일본 기상학회장 등 온갖 사회적 지위를 누렸고 정부로부터 군인 연금을 받기도 했다. 한편 1945~1946년 독일 전범들은 뉘른베르크에서 국제 군사 재판을 받았다. 이 재판에서 유대인 학살에 앞장 선 7명에게 교수형, 9명에게 장기 복역형을 선고했다. 재판 결과는 “뉘른베르크 강령(The Nurnberg Code)”으로 제정되었다. 이는 최초로 인간을 대상으로 한 실험에서 지켜져야 할 윤리와 법 기준을 확립한 것으로 의미가 있다. 뉘른베르크 강령은 다음과 같다. 이를 통해 과학자들은 자국의 이익 혹은 과학의 발전을 위한다는 명목 하에 맹목적 연구를 더 이상 하지 않겠다고 결의했다.

- (1) 실험 대상이 되는 사람의 자발적 동의(voluntary consent)는 절대적으로 필수적이다. 이는 법적 권한을 갖는 사람이 동의하는 것을 의미한다. 자유로운 선택이어야 하며, 이에 어떠한 강권이나 사기, 기만, 폭력, 혹은 나중이라도 있을지 모르는 구속이나 압박 요인들로부터 자유로워야 한다.
- (2) 실험은 사회의 선을 위해 풍성한 결실들을 산출할 수 있는 것이어야 하며, 그 본성상 인위적이지 않고 무익하지 않아야 한다.
- (3) 실험은 동물 실험 결과에 기초하여 계획해야 하며, 예상되는 결과가 실험 과정을 정당화시킬 수 있어야 한다.
- (4) 실험을 할 때 모든 불필요한 신체적·정신적 고통과 침해를 피해야 한다.
- (5) 사망 또는 불구의 장애가 발생할 수 있으리라고 추측할 만한 이유가 있는 경우에는 실험을 행할 수 없다. 단, 실험을 하는 의료진도 그 대상이 되

는 실험의 경우는 예외로 한다.

- (6) 실험으로 인하여 감수해야 하는 위험의 정도나 그로 인하여 해결되는 문제의 인도주의적 중요성 정도를 초과하여서는 아니 된다.
- (7) 상해, 불구, 사망의 어떠한 일말의 가능성으로부터도 실험 대상자를 보호하기 위하여 적절한 준비와 적당한 시설을 갖추어야 한다.
- (8) 실험은 학문적으로 자격을 갖춘 이들에 의해서만 수행해야 한다. 실험을 지휘하거나 관계되는 모든 사람에게는 모든 단계에서 최상의 기술과 주의가 필요하다.
- (9) 실험이 진행되는 동안 실험 대상자는 실험의 계속에 불가능하다고 보이는 신체적²⁾ 상태에 이르게 된 경우 실험을 자유로이 종료시킬 수 있어야 한다.
- (10) 실험이 진행되는 동안 당해 과학자는 그에게 요구되는 선의, 고도의 기술 및 주의력으로 판단해 볼 때, 실험의 계속에 실험 대상자에게 상해, 장애 또는 죽음을 야기하리라고 믿을 만한 상당한 이유가 있는 경우에는 어느 단계에서든 실험을 중지할 준비가 되어 있어야 한다. (US National Institutes of Health. “Nurenberg Code”. Retrieved on August 27, 2008)

2) 수업 구성

단순하고 맹목적인 애국심에서 비롯된 하버의 사례와 맹목적이며 민족주의에 가까운 요제프 멩겔레나 이시이 시로의 사례는 과학자의 윤리성, 과학자의 사회인으로서의 모습 등에 대한 윤리적 논의가 가능한 내용이다. 본 연구에서는 과학자들의 연구가 애국심이 동기가 되었으나 오늘날 문제가 되고 있다는 내용에 초점을 둔 토론 수업을 개발했다. 본 수업의 목표는 과학자는 애국심을 어떻게 나타내야 하는지 생각해 보는 것이다. 따라서 국가의 이익을 위해서 과학자로서 어떤 연구를 해야 하는지, 과학자가 가장 우선적으로 고려해야 하는 가치는 무엇인지 등을 논의하여 목표에 다가가고자 한다.

이경희(2009)의 상호 교차 질문식 아카데미 토론(cross-examination debate association: CEDA)에서 착안해 본 수업은 질문을 하고 각 사례에 대해 한쪽 입장의 의견을 듣고, 다른 입장의 의견을 들은 후 새로운 질문을 하는 순서로 구성했다. 즉, 교사는

학생들에게 이시이 시로의 사례를 먼저 제시하고 토론을 유도한다. 토론은 질문-지지-반대의 순서로 이루어진다. 새로운 질문에 대해 질문-지지-반대의 순서로 토론이 이루어진다. 프리츠 하버의 사례를 제시하고 다시 토론을 유도하여 토론이 순환될 수 있도록 한다. 모든 논의가 끝난 후 정리 과정에서는 학생들이 그동안 제시한 의견을 모두 종합해 가지치기를 하며 과학자의 애국은 어떻게 이루어져야 하는지 기준을 문장으로 완성하는 것으로 마무리를 한다.

3) 유의 사항

본 수업은 가치론에 근거한 수업이므로 교사의 입장이 처음부터 드러나는 것은 바람직하지 않지만, 가치 분석 수업 모형에서도 보편적 가치는 추구하기 때문에 학생들 각자 서로 다른 가치를 찾도록 해서도 안 된다. 교사는 학생들이 토론 과정 중 드러내는 가치들을 수합하여 칠판에 정리해 둔다. 그리고 정리 과정에서 뉘른베르크 강령과 헬싱키 선언을 통해 과학 사회에서 합의된 역사적으로 명확하게 내려진 기준에 근거해 전쟁과 애국심이라는 극단적 사례에서 드러나는 가치를 정립해야 한다.

4) 수업 지도 계획: 과학자의 빛나간 애국심

과학사에서 이데올로기와 결합한 사례를 활용하여 개발한 과학 윤리 수업의 전체적 흐름과 주요 구성은 <표 7>과 같다.

3. 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 수업 모형 개발

과학사 활용 과학 윤리 수업 모형은 과학 윤리 문제에 대한 8개 범주별 수업을 일차적으로 개발하는 과정에서 과학 윤리 수업에 가장 적합한 수업의 흐름을 파악했다. 즉, 수업 모형을 먼저 선정하고 수업 프로그램을 개발하기보다는 최적의 수업을 우선 고민하여 개발한 결과, 이들 수업이 공통적으로 갖는 흐름을 찾아낼 수 있었다. 이 때 과학 윤리 수업 모형, 윤리 수업 모형, 역사 수업 모형 등에 대한 선행 연구들을 참고했다. [그림 19]는 본 연구진이 제안한 과학사 활용 과학 윤리 수업 모형이다. 수업 모형 개발 결과 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 수업에서는 수업의 목표에 어울리는 적합한 사례 제공이 윤리 문제를 인식시키고, 학생들을 과학 윤리 문제를 명료화하는 단계로

초대하는데 필수적임을 알 수 있었다. 각 단계별 주요 교수 학습 방법은 다음과 같다.

탐색 단계는 학습 주제와 관련된 발산적 질문을 통해 윤리적 인식을 유도하는 단계다. 예를 들어, 과학자들에게 어떤 도덕심이 필요할지 직접 묻기도 하고, 과학자들과 다른 직업인들과 비교를 통해 어떤 도덕심이 필요할지 생각하도록 하는 방식 등이 있다. 과학자들은 애국심을 어떻게 표현하는지, 의약품에 발생한 문제는 누가 책임져야 하는지 등을 직·간접적으로 질문하는 단계다. 교사는 학생들의 사고가 촉진될 수 있는 질문을 던지는 역할을 하지만, 탐색의 주체는 학생이다.

사례 제시 단계는 과학사에서 등장하는 윤리와 관련된 사례를 제시해 학생들이 탐색 단계에서 추상적으로 판단했던 것을 구체화시키는 데 필요한 단계다. 따라서, 제시하는 사례는 사실에 근거해 구체적일수록 좋다. 과학 윤리 문제는 모두 배경이 되는 개인적, 사회적, 역사적 사정이 있고 이러한 배경과 함께 제시되어야 이후 단계에서 문제를 명료화하고 대안을 탐색하는 데 도움을 줄 수 있다. 이 때 가능한 풍부한 맥락적 자료를 제시하도록 한다. 제시 방법은 교사의 설명, 읽기 자료 제시 방법 등 다양하겠지만 학생들이 비판적으로 상황을 인식할 수 있도록 독려한다. 이 단계에서 교사의 적절한 사례 준비가 매우 중요하다. 사례가 충분하지 않을 경우 다음 단계인 문제 명료화 단계가 성공적으로 이루어지기 어렵다. 교사가 수업의 흐름을 주도하는 단계다.

문제 명료화 단계는 사례에 등장하는 윤리 문제가 무엇인지 판단하는 단계다. 판단하는 방법으로 학생들이 직접 과학자 입장이 되어 보거나 또는 제3자 입장에서 과학자가 범한 윤리 문제를 확인할 수 있다. 이 단계에서 과학자의 입장이 되어보는 수업 방법을 택할 경우, 토론, 토의, 역할놀이, 'what if ~ 질문', 활동지 등을 활용할 수 있다. 위에 제시한 '프톨레마이오스의 진실' 수업 사례에서처럼 과학자의 윤리적 문제를 학생들이 직접 확인하는 수업 방법을 택할 경우 실제 제시된 사례를 면밀하게 분석해야 한다. 이 때, 과학자가 조작한 사진, 연구 노트 등 실제 자료에 근거해 윤리적 문제를 찾아보는 실습 활동을 하면서 학생들은 문제를 명료화할 수 있다. 교사는 이 단계에서 학생들의 문제 명료화가 어렵다고 판단될 경우, 다시 이전 단계로 돌아가 추가 사례 제시를 통해 보완할

표 7
수업 지도 계획: 과학자의 빛나간 애국심

제목	과학자의 빛나간 애국심		
세부 윤리 영역	이테올로기와 결합	대상	중고등
학습 주제	과학사 속 과학자 행동을 통해 과학 윤리 생각해보기		
목표	과학자가 가져야 할 애국심에 대해 토론한다.		
준비물	활동지, PPT		
본시 학습 내용	탐색 → 사례 제시1 → 문제 명료화1 → 사례 제시2 → 문제 명료화2 → 대안 탐색 → 정리		
탐색	<ul style="list-style-type: none"> • 학습 목표를 제시하고, 간략히 수업 내용을 소개한다. • 애국심은 어떻게 나타날 수 있을지 질문한다. • 과학자는 애국심을 어떻게 표현할 수 있을지 질문한다. 		
사례 제시1	<ul style="list-style-type: none"> • PPT로 이시이 시로에 대해 소개한다. 		
문제 명료화1	<ul style="list-style-type: none"> • 내가 만약 이시이 시로였다면 나라를 위해서 어떤 연구를 했을지 질문하고 답변에 대해 토론한다. • 이시이 시로에 대한 지지/반대를 조사한다. • 과학자로서 그의 입장에 지지하는 의견을 듣는다(2~3명). • 과학자로서 그의 입장에 반대하는 의견을 듣는다(2~3명). (학생들의 지지/반대 응답을 칠판에 기록한다.) • 그의 행동에서 문제가 되는 점은 무엇인지 질문한다. (학생들의 지지/반대 응답을 칠판에 기록한다.) 		
사례 제시2	<ul style="list-style-type: none"> • PPT로 하버에 대해 소개한다. • 하버의 사례와 관련한 당시의 동영상을 시청한다. 		
문제 명료화2	<ul style="list-style-type: none"> • 내가 만약 프리츠 하버였다면 나라를 위해서 어떤 연구를 했을지 질문하고 답변에 대한 토론을 한다. • 프리츠 하버에 대한 지지/반대를 조사한다. (이하 '문제 명료화1' 과 동일) 		
대안 탐색	<ul style="list-style-type: none"> • 다른 과학자는 하버에 대해 어떤 생각을 했을지 질문한다. • 뉘른베르크 강령, 헬싱키 선언에 대해 설명한다. 		
정리	<ul style="list-style-type: none"> • 잘못된 신념으로 인해 빛나간 애국심이 결코 나라에 이득이 되는 것은 아니며, 역사는 과학자들의 과오를 기억한다는 것을 강조한다. • 과학자들의 역할과 책임에 대해 수업 도입 시 칠판에 적어둔 학생들의 의견과 비교, 종합하여 정리한다.

그림 19 과학사 활용 과학 윤리 수업 모형

수 있다.

대안 탐색 단계는 탐구한 과학자의 윤리 문제에 대해 자신의 입장을 결정하거나, 윤리적 문제의 예방을 위해 고민하는 단계다. 교사는 학생들이 대안을 선택할 때 과학적 근거를 가져야 하며 특히 과학의 본성 중 긍정적 측면을 생각하도록 돕는다. 학생들은 수업에서 제시된 사례가 왜 발생했는지, 무엇이 문제인지를 이전 단계에서 파악했기 때문에 이러한 문제의 재발 방지를 위해 개인적, 사회적, 윤리적 측면에서 어떤 노력이 필요할지 생각하는 기회를 갖는다. 주로 토론과 논의를 통해 학생들의 입장이 정리되고 의견이 수렴될 수 있다.

정리 단계는 과학사 속의 과학 윤리 문제에 대한 가치 판단을 마무리하는 단계다. 이 단계에서 교사와 함께 명확히 문제의 부정적 측면을 정리하며 학생들은 자신들이 탐색한 대안에 대해 평가하게 된다. 모든 가치 판단에는 절대 선과 절대 악이 없으므로 교사는 일방적 가치 판단을 제시하기보다 긍정 및 부정적 측면을 동시에 언급하면서 바람직한 가치에 대해 유도를 하는 것이 좋다. 그러나, 일반적인 윤리 문제와는 달리 과학계에서의 윤리 문제는 가치 판단이 분명한 경우가 많기 때문에 가치 지향적 대안 탐색으로 의사 결정이 가능할 수 있다. 따라서, 교사는 학생들의 다양한 대안을 수렴해 과학이 꾸준히 발전할 수 있는 바람직한 방향으로 의사 결정이 이루어지도록 유도한다. 특히, 과학사에서 과학 윤리 문제 관련 사례는 모두 당대 사회적 상황에서 발생한 일이므로 오늘날의 상황에 그대로 대입해도 무방할지에 대해서도 학생들이 주의할 필요가 있다.

V. 결론 및 제언

최근 몇 년 동안 국내 교육계는 ‘창의 인성’을 강조해 왔다. 과학 교육계에서는 ‘창의’와 관련하여서는 이미 오래 전부터 깊은 관심을 보여 왔지만 ‘인성’과 관련한 관심은 그다지 길지도 깊지도 않았다. 본 연구에서는 과학 교육에서도 인성 교육에 일조할 수 있는 가능성을 탐색했다. 과학은 개념 습득이나 과학적 과정의 계발 등 인지적 측면이 가장 중요한 교과라는 사실에 이의를 제기하기 어렵다. 그러나, 인지적 측면만 강조하는 과학 교육으로는 진정한 의미의 과학적 소양을 갖춘 시민을 양성하기 어렵다.

또한, 과학이 인간이 하는 활동이기 때문에 가지는 장점과 한계가 모두 존재한다는 사실을 교육에 반영할 때 과학자와 과학 활동에 대한 이해가 더욱 풍부해질 수 있다. 과학 교육에서 과학의 본성 중 긍정적 측면만을 강조하는 것은 실제 과학과 과학자의 모습을 왜곡하는 것이 될 수도 있다. 따라서, 중등 학생들의 입장에서 과학 활동과 과학자한 긍정적 인식을 유지하는 범위 내에서 과학자들 사이에 발생하는 윤리적 문제를 교육에 도입할 필요가 있다. 이미 일부 대학에서 실시하고 있는 과학 윤리 교육을 중등 과학 교육에 도입함으로써 오히려 과학계에서 발생하는 윤리 문제를 더욱 철저하게 예방하는 효과가 있을 것이다. 과학계에서의 윤리 문제는 다른 윤리 문제와 달리 우리 사회에 미치는 파급력이 매우 크다는 사실에서 과학 윤리 교육의 시작 시기를 보다 앞당길 필요성이 제기된다.

과학 윤리 문제를 교육에 도입할 때 실제 사례 제시가 불가피하고 실제 사례는 잘못이 검증된 과학의 역사에서 찾을 수밖에 없다. 따라서, 과학사를 활용한 과학 윤리 교육은 가장 접근하기 쉬운 방법이 될 것이다. 본 연구에서는 수많은 과학사 사례 전체를 살펴보는 못했지만 20 여권의 관련 서적, 학술지, 신문 등을 참고로 70 여개의 사례를 찾아 이를 8개 윤리 문제로 범주화하고 각각에 대한 수업 프로그램을 개발했고 동시에 과학 윤리 수업이 효과적으로 실시될 수 있는 단계, 즉 ‘탐색-사례 제시-문제 명료화-대안 탐색-정리’를 제안했다.

본 연구의 결과가 다음과 같이 활용되기를 기대한다. 무엇보다도 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 수업은 학생들의 추론적 사고 능력 발달을 위해 도입될 필요가 있다. 과학사를 활용한 기존의 과학 수업은 개념 변화를 통한 오개념 치유, 과학적 지식의 발달 과정 탐구, 실험 재연 등 일반적인 과학 수업에서만 인지적 측면을 강조한 수업이었다. 그러나 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 수업은 흥미와 동기를 부여할 수 있으면서 동시에 문제에 대한 가치 판단 과정에서 학생들의 추론적 사고력을 키워줄 수 있을 것으로 판단된다. 이는 과학사를 활용하는 새로운 가능성이 될 것이다.

둘째, 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 수업은 긍정적 과학적 태도 함양을 위해 필요하다. 기존의 과학 윤리 교육은 사회적, 윤리적 쟁점 위주의 수업을 통해 과학적 의사 결정 능력의 함양을 주요 목표로 했다. 그러나 앞으로 과학 윤리 교육은 과학, 기술, 공학, 환

경, 사회적 측면에서 의사결정 뿐만 아니라 삶에 대한 태도의 측면에서 강조되어야 할 것이다. 따라서 과학사 사례를 통해 드러나는 기본적 윤리 영역들은 정직성과 비판적 사고 등 과학적 태도의 함양을 도모해야 하며, 그로 인해 과학의 윤리성을 강화하는데 기여할 수 있을 것이다.

셋째, 과학사 사례를 활용한 과학 윤리 수업은 학생들에게 선명하고 직접적으로 과학에 대한 이해를 증진시키는데 도움을 줄 수 있다. 과학은 검증될 필요가 있고, 과학자도 실수할 수 있는 인간이며, 관찰은 이론 의존성이 있어서 잘못된 결론을 얻을 수 있고, 과학 이론은 사회의 영향을 받고, 잠정적이며, 변화 가능하다는 과학의 본성 측면은 과학사에서 윤리와 관련된 문제 사례들을 통해서 분명하게 드러난다. 문제상황의 부정적 측면은 학생들에게 과학이 가진 면모를 생생하게 보여줄 수 있으며, 과학의 본성을 내면화하도록 돕는다.

본 연구를 계기로 과학사 사례를 활용한 과학 수업이 다양하게 개발되고 적용되기를 기대한다. 윤리 문제 사례들은 동기가 복잡하고 여러 영역에 중복될 수 있는 사례들이 많다. 따라서, 다양한 수업 방법이 고려되어야 하며, 그런 수업들을 실제로 적용해 수업이 목표하는 과학의 윤리성을 획득했는지에 대한 검증 작업도 이루어져야 한다. 구체적으로 과학사, 과학 윤리, 과학의 본성이 학생의 사고 과정에서 서로 어떤 영향을 주고받을 수 있는지와 관련한 후속 연구가 필요하다.

국문 요약

본 연구는 과학사를 활용한 과학 윤리 수업의 가능성을 탐색하여 수업과 적절한 수업 모형을 개발하는데 목적이 있다. 본 연구를 위해 총 20권의 과학사 서적, 학술지, 논문, 신문자료 등에서 72개의 윤리 관련 사례를 추출했다. 과학사에서 윤리 관련 사례들은 연구 내용 위조, 연구 내용 조작, 실험 중 생명 윤리 침해, 표절과 도용, 부당한 공로 배분, 도를 넘어선 비방, 이데올로기와 결합, 사회적 책임 문제라는 총 8개의 소영역으로 범주화했다. 본 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 과학사에서 윤리와 관련된 사례는 과학 연구 과정에서 발생하는 윤리적 문제가 가장 많았다. 그 중에서도 연구 내용 위조 사례가 가장 많았다. 둘째,

8개 소영역별로 하나씩 총 8개의 수업을 개발했다. 셋째, 개발한 수업의 공통점을 찾아 과학사 활용 과학 교육을 위한 수업 모형을 제안했다. 이 때, 과학 윤리 수업 모형, 윤리 수업 모형, 역사 수업 모형 등 관련 수업 모형들을 분석한 결과도 반영했다. '탐색-사례 제시-문제 명료화-대안 탐색-정리' 등 5단계의 흐름을 갖는 과학 윤리 사례 활용 과학사 수업 모형을 개발했다.

주요어: 과학 윤리, 과학사, 교수 학습 모형, 수업

참고 문헌

- 가치를꿈꾸는과학교사모임 (2009). 과학, 일시정지. 서울: 양철북. pp. 84-99
- 교육과학기술부 (2008). 연구 윤리 확보를 위한 지침. 교육과학기술부 훈령 제73호. 8p.
- 교육과학기술부 (2009). 고교 과학과 교육 과정 해설서. 교육과학기술부 고시 제2009-41호. 창의인재육성과. 302p.
- 구수정 (1997). 교육대학교 과학 전공 학생들의 생물 교수 활동 및 내용 조직에 임하는 윤리적 관점에 대한 정성적 이해. 한국생물교육학회지, 25(1), 9-23.
- 김찬중, 구자옥, 김경진, 김상달, 김종희, 김희수, 명전옥, 박영신, 박정웅, 신동희, 신명경, 오필석, 이기영, 이양락, 이은아, 이효녕, 정진우, 정철, 최승언 (2008). 지구 과학 교재 연구 및 지도. 서울: 자유아카데미. 542p.
- 김찬중, 채동현, 임채성 (1999). 과학교육학개론. 서울: 북스힐. 546p.
- 남정우 (2010). 비판적 역사 교과서 읽기를 위한 수업 모형 개발. 역사교육연구, 11, 7-49.
- 민영기, 박택규, 윤창주, 정해상 (2007). 탐욕의 과학자들. 서울: 일진사. 301p.
- 서강식 (2003). 도덕, 윤리와 교수-학습 과정. 서울: 양서원. 502p.
- 서울대학교 (2010). 연구 윤리 지침. 연구윤리위원회. 15p.
- 우정호, 정영옥, 박경미, 이정화, 김남희, 나귀수, 임재훈 (2006). 수학교육학 연구방법론. 서울: 경문사. 294p.
- 원자력연구원 (2006). 과학 기술 연구 윤리 현황

및 사례. 대전: 두양사. 112p.

유네스코한국위원회 (2001). 과학연구윤리. 서울: 당대. 319p.

유병열, 안병자, 임일렬 (2005). 초등 도덕과에서 생명 윤리 교육에 관한 연구. 한국초등교육, 16(1), 1-36.

이경희 (2009). 생명 윤리 수업을 위한 'CEDA 아카데미 토론' -수업 설계 및 실천적 수업 모형을 위한 시론. 윤리교육연구, 19, 67-90.

이기영, 안희수 (1999). 과학사 자료를 이용한 지구 과학 학습 지도에 관한 연구. 한국지구과학회지, 20(3), 213-222.

이미경, 김경희 (2004). 과학에 대한 태도와 과학 성취도와의 관계. 한국과학교육학회지, 24(2), 399-407.

이상욱, 조은희, 김재영, 김형순, 김호, 송성수, 양재섭, 홍성욱 (2011). 과학 윤리 특강: 과학자를 위한 윤리 가이드. 서울: 사이언스북스. 354p.

이인재 (2005). 생명 공학의 윤리적 특성에 관한 생명 윤리 교수·학습 모형 개발. 윤리교육연구, 7, 149-181.

이향연, 박선자, 유정숙, 이신영, 장지영 (2009). 중학교 과학 교과에서의 과학 기술 윤리 교육 현황. 생명윤리정책연구, 3(2), 233-257.

장세욱, 이명희 (2004). 역사 교육에서 '과학 기술사' 교육의 의의와 교재 개발의 방향. 사회과교육, 43(1), 87-112.

정은영, 김영수 (2000). 생물 교육에서의 가치 탐구 모형 개발. 한국과학교육학회지, 20(4), 582-598.

조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영 (2008). 과학 윤리 교육의 이론과 방법. 서울: 집문당. 258p.

조희형, 최경희 (1998). 과학의 윤리적 특성 교육의 필요성과 그 실태. 한국과학교육학회지, 18(4), 559-570.

최경희 (1998). STS와 과학의 윤리적 특성 교육: 원리와 방법. 전남대학교 과학교육연구소 현직 교사 연수 강연 원고, 1-14.

최경희 (2010). 초중등 예비 과학 교사의 과학 기술 윤리 교육에 대한 인식. 한국과학교육학회지, 30(5), 576-593.

최경희, 조희형 (2000). 과학의 윤리적 특성 교수

학습의 절차와 주제. 한국생물교육학회지, 28(4), 408-417.

최경희, 조희형 (2001). 과학의 윤리적 특성 주제에 대한 중·고등 학생들의 인식. 생명윤리, 2(1), 14-20.

최경희, 조희형 (2003). 과학의 윤리적 특성 교수-학습 방법. 한국과학교육학회지, 23(2), 131-143.

최문기 (2006). 과학 기술 윤리의 현황과 연구 윤리 과제. 국민윤리연구, 63, 55-78.

최성우 (1999). 과학사 X파일. 서울: 사이언스북스. 244p.

최완기 (1997). 역사 학습 지도의 원리와 실제. 서울: 느티나무. 431p.

홍석영, 이상욱, 구영모, 조은희 (2005). 생명 과학 연구 윤리 교육 과정 개발을 위한 연구자들의 의견 조사 연구. 한국생물교육학회지, 33(1), 82-94.

金成民. 日本軍細菌戰. 하성금(역). (제731부대의 진상을 파헤친) 일본군 세균전. 서울: 청문각. 2010. 952p.

左卷健男. 素顔の科學誌. 윤명현(역). 과학자의 진실 그리고 뒷모습. 서울: 글담출판사. 2001. 231p.

Broad, W. J., Wade, N. Betrayers of the truth. 김동광(역). 진실을 배반한 과학자들: 되풀이되는 연구 부정과 '자기 검증'이라는 환상. 서울: 미래M&B. 2007. 327p.

Cornwell, J. Hitler's scientists: Science, war, and the devil's pact. 김형근(역). 히틀러의 과학자들: 과학, 전쟁 그리고 악마의 계약. 서울: 크리에디트. 2008. 586p.

Craughwell, T. J. The War Scientists. 이경아(역). 위 사이언티스트: 과학과 기술, 선과 악의 경계에 선 과학자 25인. 서울: 플래닛미디어. 2011. 423p.

Fara, P. Science: A four thousand year history. 김학영(역). 우리가 미처 몰랐던 편집된 과학의 역사. 파주: 21세기북스. 2010. 578p.

Goodstein, D. L. On fact and fraud: Cautionary tales from the front lines of science. 정세권(역). 과학 사실과 사기 사이에서: 과학 사기와 과학자의 윤리. 서울: 이음. 2011. 217p.

Gratzner, W. B. Eureka and euphorias: the Oxford book of scientific anecdotes. 김우열(역).

위대한 발견의 숨겨진 역사. 서울: 청림. 2005. 448p.

Harris, S. H. *Factories of death: Japanese biological warfare, 1932-1945, and the American cover-up*. 김소정(역). 미국의 은폐기록과 일본의 야망. 서울: 눈과 마음. 2010. 571p.

Hoffmann, R. *Same and not the same*. 이덕환(역). 같기도 하고 아니 같기도 하고. 서울: 까치. 1996. 245p.

Judson, H. F. *The great betrayal: Fraud in science*. 이한음(역). 엄청난 배신: 과학에서의 사기. 서울: 전파과학사. 2006. 396p.

Kaczynski, T. J. *Unabomber*. 조병준(역). 유나바머. 서울: 박영출판사. 1996. 182p.

Stevenson, L. F., & Byerly, H. *The many faces of science*. 이상빈(역). 과학의 양심 선언. 서울: 10101. 1999. 423p.

Zankl, H. *Irrwitziges aus der wissenschaft: von leuchtkaninchen bis dunkelbirnen*. 박소연(역). 과학을 흠친 29가지 이야기. 서울: 말글빛냄. 2010. 244p.

Zankl, H. Faelscher, Schwindler, Scharlatane. 도복선, 김현정(역). 과학의 사기꾼. 서울: 시아출판사. 2006. 438p.

Fullick, P., & Ratcliffe, M. (1996). *Teaching ethical aspects of science*. Southampton: The Bassett Press. 150p.

Grant, J. (2007). *Corrupted science : fraud, ideology and politics in science*. London: Facts, Figures & Fun. 336p.

Johansen, C. K., & Harris, D. E. (2000). *Teaching the ethics of biology*. *The American Biology Teacher*, 62(5), 352-358.

Klopfer, L. E. (1969). *The teaching of science and the history of science*. *Journal of Research in Science Teaching*, 6, 87-95.

Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge. 287p.

Monk, M., & Osborn, J. (1997). *Placing the history and philosophy of science on the curriculum: A model for the development of pedagogy*. *Science Education*, 81(4), 405-424.

Piliouras, P., Siakas, S., & Seroglou, F. (2011). *Pupils produce their own narratives inspired by the history of science: Animation movies concerning the geocentric heliocentric debate*. *Science and Education*, 20(7-8), 761-795.

Resnik, D. B. (1998). *The ethics of science: An introduction*. New York: Routledge. 232p.

Seroglou, F., & Koumaras, P. (2003). *A critical comparison of the approaches to the contribution of history of physics to the cognitive, metacognitive and emotional dimension of teaching and learning physics: A feasibility study regarding the cognitive dimension using the SHINE model*. *THEMES in Education*, 4(1), 25-36.

전진식. 카이스트 박사과정 학생, 외국 교수 논문 표절. 한겨레. 2011년 9월 15일자. http://www.hani.co.kr/arti/society/society_general/496419.html(검색일: 2011. 12. 26).

표준국어대사전. 국립국어원. <http://stdweb2.korean.go.kr/search/View.jsp>(검색일: 2011. 12. 26).

American Association for the Advancement of Science (2009). "The nature of science", <http://www.project2061.org>(검색일: 2011. 12. 26).

U.S. National Institutes of Health (2008). "Nuremberg Code". <http://ohsr.od.nih.gov/guidelines/nuremberg.html>(검색일: 2011. 12. 26).