

기원론적 접근법에 따라 개발한 과학사 프로그램이 학생들의 입자론적 물질관 및 과학의 본성에 대한 이해에 미치는 영향

유미현* · 여상인* · 홍훈기

서울대학교 화학교육과

*경인교육대학교 과학교육과

(2007. 1. 3 접수)

The Effect of Science History Program Developed by Genetic Approach on Student's Conception toward Particulate Nature of Matter and Understanding about the Nature of Science

Mi-Hyun Yoo*, Sang-Ihn Yeo*, and Hun-Gi Hong

Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

*Gyeongin National University of Education, Incheon, 407-753, Korea

(Received January 3, 2007)

요약. 이 연구에서는 학생들의 입자론적 물질관과 과학의 본성에 대한 이해도를 높이기 위해 과학사 프로그램을 개발하였다. 이를 중학교 과학 교과서의 '물질의 구성' 단원 수업에 적용하고 그 효과를 알아보았다. 개발된 과학사 프로그램은 기원론적 접근법에 근거하고 있으며 고대 그리스 자연철학자들로부터 아보가드로까지의 내용을 담고 있다. 처치 전 과학의 본성에 대한 이해도 검사를 실시하고, 이전 학년의 과학 성적을 조사하였다. 이 연구는 서울 소재 중학교의 2개 학급(실험 집단 1학급, 비교 집단 1학급)에서 총 24차시에 걸쳐 실시되었다. 실험 집단은 과학사 프로그램을 이용한 수업을 받았고 비교 집단은 교과서를 이용한 전통적 수업을 받았다. 처치 후 과학 개념 검사, 과학의 본성에 대한 이해도 검사가 실시되었다. 이 연구의 결과 실험 집단의 과학 개념 점수가 비교 집단에 비해 유의미하게 높았다($p < .01$). 이는 실험 집단의 학생들이 비교 집단에 비해 입자적 물질관을 더 많이 갖고 있으며 오개념은 더 적게 갖고 있음을 의미한다. 그러나 과학의 본성에 대한 이해도 점수에서는 두 집단 간의 유의미한 차이는 나타나지 않았다.

주제어: 기원론적 접근, 과학사 프로그램, 입자론적 물질관, 과학의 본성에 대한 이해, 과학 개념 이해

ABSTRACT. In this study, science history program was developed to enhance student's concepts toward the particulate nature of matter and the understanding about the nature of science. And the effects of its application was investigated in the lesson of 'Composition of Matter' in middle school science class. This science history program was based on genetic approach and included the contents from the old Greek natural philosophers to Avogadro. Before instruction, the test of understanding about nature of science was administered, and the science scores of the previous course were obtained, which were used as covariates. During 24 class hours, this study was conducted with two classes (experimental and comparison group) in a middle school in Seoul. The experimental group was received lessons by science history programs and the comparison group was received traditional lessons. After instruction, the scientific concept test, the test of understanding about nature of science were administered. The result of this study indicates that the scientific concept scores of experimental group were significantly higher than comparison group at $p < .01$ level of significance. It means that the students in experimental group has more sound conceptions about the particulate nature of matter and less mis-

conceptions about matter than the students in comparison group. However, there was no significant difference between two groups in the score of understanding about the nature of science.

Keywords: Genetic Approach, Science History Program, Understanding About Nature of Science, Conception Toward Particulate Nature Of Matter, Understanding of Scientific Concept

서 론

과학에서 다루는 여러 가지 과학적 발견이나 개념들은 하루아침에 생겨난 것이 아니라 수백 년, 수천 년에 걸쳐 수많은 사람의 시행착오를 통해 얻어진 것들이다. 따라서 과학을 학습하는 것은 과학적 사실의 논리성에 의존하기보다는 과학사에서 개념의 발견순서에 따라 가르치는 것이 과학학습을 하는 학생들에게 있어서도 오히려 자연스럽게 다가올 것이다. Mach는 과학적 사실의 논리는 그것을 가르치는 논리와 반드시 같지 않다고 생각하고, 과학을 배울 때 학습 내용을 역사적 발전 순서에 따라서 가르치거나 그것이 생겨난 기원을 가르치는 기원론적인 접근(genetic approach)을 통해 과학의 오류 가능성과 역사성을 가르칠 수 있다고 믿었다. 실제로 그는 열 물리, 역학, 광학에 관한 그의 주요 저서에서 기원론적 접근을 사도하였다.¹

현대의 과학철학적 관점에서 과학지식은 절대적인 가치를 갖는 것으로 보지 않고 과학의 발달과정에 따라 얼마든지 변할 수 있다는 과학의 잠정성을 중요시하고 있다. 과학사는 과학을 완성된 개별학문으로서가 아니라 역사적으로 사회와의 관계 속에서 과학자들의 노력으로 완성되어가는 과정들을 담고 있으므로 과학의 본성과 인간적인 측면을 강조하여 흥미를 유발할 수 있고 과거를 통해 현재 과학의 위치를 숙고하는 좋은 기회를 제공한다. 그 외에도 과학사는 과학개념의 주요 발달단계를 제공하므로 학생들의 오개념을 예측하고 이를 변화시키는 등의 개념학습에 도움이 될 것이다.²

과학교육에 과학사의 통합을 주장한 Jenkins³는 과학사 교육에 관한 연구 결과를 분석하고 그 결과를 바탕으로 과학사를 가르쳐야 할 이유를 과학의 인간화, 흥미유발, 과학의 본성 인식의 세 가지로 요약하여 제시하였다. 과학교육에서 과학사와 과학철학의 유용성에 대한 인식 등으로 인해 1990년대에 들어와 미국, 영국을 중심으로, 그리고 유럽에서도 HPS(History and Philosophy of Science)와 관련된 주제들을 과학교육에 포함시키려는 노력들이 활발히 일어나고 있다. 화학자 출신의 저명한 미국의 교육자인 Conant⁴

는 일반인에게 과학을 가르치는 첩경은 역사적 접근이라고 주장하였다.

우리나라에서도 1990년대 중반 이후로 과학사를 과학교육에 도입하는 문제가 구체적으로 논의되어 왔다.^{1,5} 이러한 과학사가 오개념을 예측하고 교정할 수 있으며 어려운 개념을 가르치는데 효과적이라는 주장은 여러 사람들에 의해 지적되어 왔다.^{6,7,8,9,10} 또 학생들의 과학적 본성과 과학 개념의 이해를 자연스럽게 향상시키기 위한 교과서 체계의 재구성 및 교사 교육에 과학사를 도입해야 한다는 주장도 이어지고 있다.^{11,12} 학교 과학교육에서 과학의 본성을 교육하는 것의 중요성이 계속 강조되어 온 반면, 그것을 가르치기 위한 교재, 교수방법, 평가 방안에 대한 자료는 매우 부족한 실정이다. 과학은 결코 발견되는 것이 아니라 실존 세계에 대한 각 개인의 지각으로부터 구성된다고 믿는 과학에 대한 현대적 관점은 대부분의 과학교육과정에서 거의 반영되고 있지 못한 실정이다.¹³

최근 들어 과학사를 과학교육에 적용하였을 때 얻을 수 있는 효과에 관한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 학생들은 과거에 과학사에서 있었으나 지금은 폐기된 개념과 유사한 과학개념을 갖고 있으므로¹⁴ 교사는 과학사를 통해 학생의 오개념을 예측할 수 있으며 더 나아가 오개념을 교정하는데 도움을 얻을 수 있다. 최근 과학의 각 분야인 물리, 화학, 생물, 지구과학에서 효과적 과학 개념 학습을 위해 과학사를 도입한 연구들이 보고되고 있다. 물리에서는 역학, 전기와 자기, 소리 등의 개념을 과학사적으로 구성하여 효과를 알아보았으며,^{15,16,17} 생물에서는 유전, 진화, 광합성, 생명 등의 개념을,^{18,19,20} 지구과학에서는 천문, 대기, 우주 등의 개념을 과학사적으로 구성하여 그 효과를 살펴보고 있다.^{21,22,23} 그러나 화학에서는 화학개념 학습을 위해 과학사를 도입, 적용한 연구는 다른 과학 교과에 비해 그리 활발하지 못하다. 현재 사용되고 있는 7차 과학 교과서 및 화학 교과서에 도입된 과학사를 분석한 선행연구들^{24,25}을 살펴보면 교과서에 도입된 과학사 내용들은 6차에 비해 늘어나기는 하였지만 과학지식을 누적적으로 보고 있으며, 오히려 과학발견을 단순히 언급하여 과학의 역동적인 특성을 이해하기 힘들게 하고 있다고 분석하고 있다.

과학사를 과학교육에 도입하는 방법에 대해 대부분의 학자들은 과학사를 과학교육에 명시적으로 도입되어야 한다고 주장한다. 과학 수업에서 과학사를 명시적으로 도입하는 방법에는 다음 세 가지가 있다. 첫 번째로는 수업을 시작하는 도입 단계에서 강의 내용에 대한 학생들의 동기와 흥미를 유발시키는데 유익한 전기적 일화와 과학적 업적이 출현하게 된 당시의 사회적 배경을 소개하는데 과학사를 사용하는 것이다. 두 번째로는 오개념 교정이나 개념의 심화학습을 위해 전개부분에서 그 개념에 이르기까지 과학자들의 과정을 추적하게 하는 방법으로 과학적 업적이 출현하기까지의 시행착오, 시행착오의 원인규명 등 구체적 연구과정을 소개하는 것이다. 세 번째는 수업의 결론 부분에서 과학사를 도입하는 것으로 주로 과학에 대한 인간의 책임이나 과학의 사회적 영향, 과학과 인간의 관계, 바람직한 과학관 등을 정리하기 위해 사용하는 것이다. 기존의 교과서에도 과학사 내용이 포함되어 있기는 하지만 대부분 수업의 도입 단계에서 흥미 유발을 위해 과학사가 도입되고 있는 실정이다. 그러나 이 연구에서 개발한 과학사 프로그램은 수업의 도입뿐만 아니라 전개, 그리고 결론 부분까지도 과학사를 도입하여 새롭게 서술한 것으로 위에서 제시한 세 가지 목표를 모두 달성할 수 있는 효과적인 교수 학습 자료인 것이다.

화학은 물질의 학문이므로 화학의 교과 내용을 이해하기 위해서는 물질의 구성입자에 대한 생각, 즉 과학적인 입자론적 물질관을 갖는 것이 매우 중요하다. 초·중학생들에게 물질관의 오개념 교정을 위해 과학사 프로그램을 적용한 조양숙 등²⁶⁾의 연구에서는 물질에 대한 학습자 자신의 개념을 드러나게 하고 과학사적 개념변화 과정을 제시하여 학습자 자신의 개념과 비교하여 반성적 사고를 촉진함으로써 오개념 교정에 효과적이었다고 한다. 과학사 수업 전과 수업 후의 가체 물질을 중심으로 한 입자론적 물질관의 기본개념에 관련된 문항에 대해 학생들이 가지고 있던 오개념의 비율 중 47.7% 정도가 수업 후 과학적 개념으로 바뀌었다고 한다. 물질관은 학습자의 신념체계로서 관련되는 후속 학습에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 생각되어 이 연구에서는 중학교 과학3의 「물질의 구성」 및 「물질 변화에서의 규칙성」을 연구 단원으로 설정하였다.

따라서 본 연구에서는 물질을 구성하는 입자에 대한 개념을 배우게 되는 중학교 3학년년을 대상으로 과학사적 개념 발달 순서에 따라 구성한 과학사 프로그램을 개발하여 적용함으로써 이 프로그램이 학생들

의 입자론적 물질관과 과학의 본성에 대한 이해에 어떤 영향을 주는지 알아보고자 하였다.

본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

(1) 중학교 3학년 과학 「물질의 구성」 및 「물질 변화에서의 규칙성」 단원을 중심으로 과학의 본성과 입자론적 물질관을 학습할 수 있는 과학사 프로그램을 개발한다.

(2) 과학사 프로그램을 이용한 수업이 학생들의 입자적 물질관 학습에 효과가 있는지 알아본다.

(3) 과학사 프로그램을 이용한 수업이 학생들의 과학의 본성에 대해 현대의 과학철학적 관점을 갖도록 하는데 효과가 있는지 알아본다.

연구내용 및 방법

연구대상. 본 연구의 대상은 서울시 남녀공학 중학교 3학년 2학급, 78명으로 2학년 과학 성적이 비슷한 두 학급을 선정하여 실험 집단과 비교 집단으로 무선 배치하였다. 실험 집단과 비교 집단으로 배치된 학생 수는 각각 39명으로 동일하였다.

연구절차 및 수업방법. 전체 연구 과정은 과학사 프로그램을 개발하는 과정과 선정된 검사도구의 수정·보완 과정이 병행하여 이루어졌다. 교과서 내용 분석을 통해 과학사 프로그램에 포함될 개념을 선정하고 다양한 참고자료를 통해 과학사 프로그램을 완성하였다. 기원론적 접근법으로 개발한 49쪽 분량의 과학사 교재가 과학사 프로그램의 핵심이며 기존의 과학 교과서를 대신하여 수업 중에 활용되었다. 과학사 교재는 '1. 고대 그리스 자연철학자의 고민', '2. 연금술-화학의 기초', '3. 르네상스 시대의 화학', '4. 플로지스톤 가설- 화학의 암흑시대', '5. 화학혁명 - 근대적 화학으로의 도약', '6. 라부아지에 이후- 화학혁명의 완성', '7. 아보가드로와 분자설'의 총 7개의 단원으로 구성되어 있다. 과학사 교재는 과학사 '읽기 자료'를 비롯하여 '역할 놀이', '과학사 실험 따라잡기' 등으로 구성되어 있으며 학생용 활동지를 추가로 제작하여 수업에 활용하였다.

수업 처치 전에 각 집단에 대해 과학의 본성에 대한 이해 검사를 실시한 후, 처치 집단의 학생들에게 과학사 프로그램을 이용한 수업에 대한 오리엔테이션을 실시하였다. 또한 개념 검사의 공변량으로 사용하기 위해 실험 집단과 비교 집단 학생들의 2학년 과학 성적을 조사하였다. 실험 집단은 24차시 동안 기본 과학사 교재를 이용하여 과학 수업이 이루어졌으

며 구성 순서에 따라 과학 수업 1차시의 일부 또는 1차시 정도의 분량으로 '역할 놀이', '과학자 실험 따라잡기' 등의 활동을 실시하였다. 비교 집단은 교과서를 기본으로 하는 일반적인 전통적 수업을 실시하였다. 처치 후에는 각 집단에 대해 과학의 본성에 대한 이해 점수와 더불어 과학적 개념 조사를 하였다.

검사도구. 본 연구에서는 학생들의 수업 처치 전후의 과학의 본성에 대한 이해, 처치 후의 과학적 개념 이해도를 알아보기 위해 과학의 본성에 대한 이해 검사지, 과학 개념 검사지를 사용하였다. 과학의 본성에 대한 이해 검사지는 STS주제에 대한 학생들의 관점을 알아보기 위해 Aikenhead 등이 개발한 114개의 다지선다 항목의 VOSTS(Views On Science-Technology-Society) 중에서 8문항을 추출하였다. 본 연구에서 추출한 VOSTS 문항의 범주 및 내용은 다음 Table 1에 제시하였다.

원래의 VOSTS 문항이 고등학생을 대상으로 개발되어 중학생들에게는 난이도가 높고 가독성이 낮으므로 문항 수정을 한 후 예비 검사를 실시하여 보완한 후 과학교육 전문가 2인의 안면 타당도를 검증 받은 후 사용하였다. 본 연구에서 구한 과학의 본성에 대한 이해 검사지의 내적 신뢰도 Cronbach's α 는 사전 검사가 .65이고 사후 검사가 .63이었다.

물질의 구성 입자인 원자와 분자의 개념 이해도를 알아보기 위한 검사 도구는 Novick 등이 개발한 '가치 상태의 입자에 대한 문제'를 바탕으로 하여 압축과 팽창 및 가열과 냉각에 대한 4개의 문항을 선정하여 사용하였다. 각 문항은 학생들로 하여금 답을 그림으로 나타낼 뿐 아니라 설명을 함께 쓰도록 하였다. 과학 교사 및 과학 교육 전문가에게 안면 타당도를 검증받았다. 본 연구에서 구한 과학 개념 검사지의 내적 신뢰도 Cronbach's α 는 .81이었다.

분석방법. 과학사를 도입한 수업이 학생들의 과학적 개념 이해도, 과학의 본성에 대한 이해에 미치는 효과를 조사하기 위하여 과학의 본성에 대한 이해의 사전 검사와 이전 학년 과학 성적을 공변인으로 하는 공변량 분석(ANCOVA)을 실시하였다. 과학의 본성에 대한 이해는 과학의 의미, 과학자의 특성, 과학 지식의 사회적 구성 및 과학에서의 합의도출, 관찰의 속성, 과학적 모형의 속성, 과학 지식의 잠정성에 대한 인식으로 한정하여 정의한다. 각 문항은 다지 선다형으로 자신의 생각과 가장 유사한 답지를 선택하는 방식으로 현대 과학철학적 관점을 나타내는 답지를 선택하면 과학의 본성에 대한 현대적 관점을 갖고 있다고 할 수 있다. 물질관이란 물질에 대한 관점을 뜻하는 것으로 물질을 무한히 쪼갤 수 있다는 입장의 연속적 물질관과 물질은 더 이상 쪼갤 수 없는 알갱이로 구성되어 있다는 입장의 입자적 물질관으로 나눌 수 있다. 현대 과학의 관점으로 보면 입자적 물질관 중에서도 균일하게 분포된 입자적 물질관이 과학자적인 물질관으로 인정받고 있으므로 본 연구에서 불균일적 분포된 입자적 물질관과 연속적 물질관은 오 개념으로 분류하였다.

본 연구의 종속 변인은 과학적 개념 검사 점수, 과학의 본성에 대한 이해 점수이다. 이들 종속 변인에 대하여 과학사를 도입한 수업의 효과를 알아보기 위해 공변량 분석(ANCOVA)을 실시하였다. 개념 검사 점수에 대한 공변인은 2학년 평균 과학 점수를, 과학의 본성에 대한 이해의 공변인은 각 검사의 사전 검사 점수를 공변인으로 사용하였다.

수업 후 개념 변화에 대한 처치의 효과를 알아보기 위해 학생들의 개념을 Table 2와 같이 6단계의 점수 체계로 나누어 점수화한 후, 실험 집단과 비교 집단 간의 과학적 개념 이해도 차이를 비교하였다. 연구자의 주관에 의한 편차를 줄이기 위해 무신 표집한 학생의 응답을 2인의 연구자가 각각 채점한 후 일치도

Table 1. Items of the questionnaire on understanding about the nature of science

Item	No. of VOSTS item	Category	Contents
1	10111	science and technology	definition of science
2	60211	character of scientist	character of scientist
3	60226	character of scientist	morality of scientist
4	70611	social constitution of scientific knowledge	scientific knowledge influenced by individual
5	70231	social constitution of scientific knowledge	consensus in science
6	90111	epistemology	theory-laden observation
7	90211	epistemology	characteristics of scientific model
8	90411	epistemology	tentativeness of scientific knowledge

Table 2. Assessment criteria about understanding of scientific concept

Understanding of scientific concept	Assessment criteria	score
NU(No Scientific Understanding)	No response, I don't know. Repeation of problem. Irelevant and unclear response. Response based on illogical or inappropriate information	0
PM(Partial Understanding Containing Misconception)	Partial understanding about target concept but statement containing some misconceptions	1
MU(Minimum Understanding With No Misconception)	Insufficient explanation (statement with missing some kernel concepts but no misconception)	1
GM(Good Understanding Containing One Misconception)	Response including most of concept factor but containing one misconception	2
PU(Partial Understanding With No Misconception)	Partial insufficient explanation(no misconception but missing one concept factor)	2
SU(Sound Understanding)	Perfect explanation about target concept	3

를 구하고 그 차이를 검토하는 과정을 반복하였는데, 최종적으로 구한 연구자간 일치도는 .92였다.

실험 집단과 비교 집단 간의 물질관의 유형은 학생들이 그림으로 응답한 결과를 분석하여 계통도로 나타내고 빈도 및 비율을 나타내었다. 또 학생들의 응답에서 나타난 오개념을 분류한 후 실험 집단과 비교 집단에 대해 빈도를 비교 조사하여 보았다.

과학의 본성에 대한 검사도구인 VOSTS는 반응자들이 어떤 관점을 갖고 있는지를 조사하는데 사용되었기 때문에, 각 반응을 어떤 특정한 기준에 비추어 '옳다', '그르다'로 분류하지 않았다. 검사도구 개발자들은 학생들의 반응을 단순히 기술하는 방법을 사용하였으나²⁷ 본 연구자는 이와는 다른 분석방법인 Rubba 등이 사용한 정량적인 추론적 통계분석 방법으로 채점 분석하였다.²⁸ 각 문항의 반응들을 "소박한"(naive), "사실적"(realistic), "장점을 지닌"(has merit) 중 하나로 분류한 후 각각을 1, 2, 3점으로 점수화하여 통계 분석에 사용하였다. 여기서 "사실적"으로 분류되는 응답들은 현대 과학철학적 관점에서 적절한 견해라고 인정되는 응답들이다. "장점을 지닌"으로 분류되는 응답들은 적절한 견해는 아니지만 사람에 따라 수용할 만한 여지를 지닌 응답들이다. "소박한"으로 분류되는 반응들은 부적절한 견해라고 여겨지는 응답들이다. 각 응답들을 분류하는데 있어 일관성과 타당성을 부여하기 위해 4명의 전문가들로 하여금 각 응답을 세 유형 중 하나로 분류하게 하고 그들의 의견을 종합하여 최종적으로 각 응답을 한 유형으로 분류하였다. 학생들의 응답에 따른 점수 합산한 후 공변량 분석의 기본 가정인 '회귀선 기울기의 동일성' 가정의 만족을 확인하고 SPSS 통계 프로그램을 이용하여 공변량 분석을 실시하였다.

연구결과 및 논의

과학사 프로그램을 적용한 수업이 물질의 과학적 개념 이해도에 미치는 효과. 과학사 프로그램을 적용한 수업(이하 과학사 적용 수업)이 물질의 과학적 개념 이해도에 미치는 효과를 조사하기 위해 개념 이해도 점수 점수에 대해 이전 학년 과학 성적을 공변인으로 하는 공변량 분석을 실시하였다. 두 집단의 교정 평균과 공변량 분석 결과를 Table 3과 Table 4에 각각 제시하였다.

실험 집단의 교정 평균(6.80)이 비교 집단의 교정 평균(4.53)에 비해 높았으며, 두 집단간의 평균의 차이는 유의미한 것으로 나타났다($p < .01$). 이와 같은 결과는 과학사를 도입한 수업이 물질의 입자적 개념 이해도에 긍정적인 효과가 있음을 뜻한다. 이것은 과학사적 개념 발달 순서에 따라 물질의 구성 성분 및 입자에 대해 학습할 경우, 학생들이 과학사에서 나타나는 개념 발달 과정에 비추어 자신의 개념을 비교해 보는 반성적 사고가 촉진되었기 때문이라 생각된다. 따라서 과학사적인 개념 발달 순서에 따라 가르치는 수업은 개념 변화 수업 모형으로도 활용할 수 있을

Table 3. Mean, standard deviations, and adjusted means of the scientific concept test scores

Comparison group(N=39)			Experimental group(N=39)		
M	SD	Adj. M	M	SD	Adj. M
4.64	3.59	4.53	6.70	2.91	6.80

Table 4. ANCOVA results on the scientific concept test scores

Source	SS	df	MS	F	p
Treatment	100.11	1	100.11	11.74	.001

Table 5. Patterns and frequencies of students' misconception

Items	Patterns of misconception	Comparison group	Experimental group
Compression and expansion	change of shape and size distribution	1	2
	- gather together in the middle of flask	4	1
	- gather together the neck of flask	5	1
	no space between particles	1	4
	change of movement direction	8	2
	change of transparency in flask	2	0
Heating and cooling	distribution		
	- gather together only in the balloon before cooling	12	3
	- gather together only in the flask after cooling	15	7
	- gather together only in the flask before heating	15	9
	- gather together only in the balloon after heating	11	2
	Motion		
	- no movement before heating	0	1
	change of particle number	2	1
	change of shape/size	0	3
	decomposition and combination of air explanation by state	2	1
change of water (condensation or evaporation)	4	5	

것으로 보인다. 개념 검사에 대한 각 집단의 응답을 분석하여 오개념의 유형 및 빈도를 조사하여 Table 5에 나타내었다.

압축과 팽창 문항에서 나타난 오개념 중 피스톤으로 플라스크 속의 공기를 빼낼 때 플라스크 가운데 쪽으로 공기 분자가 편포하거나 입구 쪽으로 편포하는 등의 '분포 상태'에 대한 오개념이 비교 집단에서

많이 나타났다. 이러한 오개념은 Novick과 Nussbaum²⁸에 의해서 '점적인 입자관'으로 분류되는 것으로 우리나라 중학생의 5% 정도가 그러한 오개념을 갖는 것으로 나타났다.³⁰ 또, 피스톤의 작용으로 공기 분자가 빙빙 돈다든지 플라스크 입구 쪽으로 운동한다는 등의 오개념은 비교 집단에 비해 실험 집단에서 적게 나타났다. 공기를 넣으면 플라스크가 뚜렷하게 흐려진

Table 6. Comparison of conceptions about matter between experimental group and comparison group Numbers (%)

		Comparison (N: 39)	Experimental group (N: 39)
continuous conception	line	3 (7.7%)	3 (7.7%)
	face	3 (7.7%)	0 (0.0%)
	lump	1 (2.6%)	1 (2.6%)
	arrow	5 (12.8%)	1 (2.6%)
total		12 (30.8%)	5 (12.9%)
particulate conception	*homogenously distributed	15 (38.5%)	29 (74.4%)
	small dot or circle		
	heterogenously distributed	9 (23.1%)	3 (7.7%)
	change of shape	2 (5.1%)	2 (5.1%)
total		26 (66.7%)	34 (87.2%)
others	mixture of line and dot	1 (2.6%)	0 (0.0%)

*scientific concept

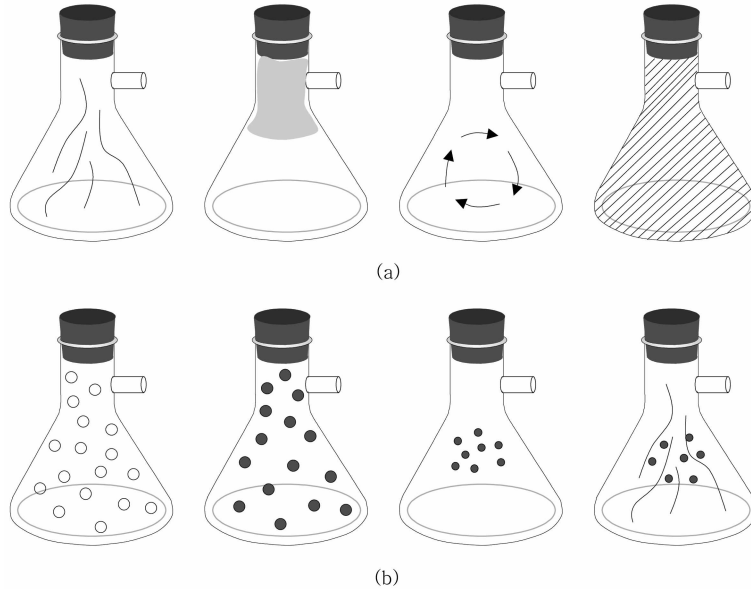


Fig. 1. Examples of students' drawing (a) a continuous representation of air structure (b) a particulate representation of air structure.

다. 이는 오개념 역시 박성미³⁰⁾의 연구에서도 나타나는 것으로 학생들이 무엇인가 '변한다'는 생각에 너무 강하게 사로잡히기 때문에 나타나는 것이다. 그러나, '입자 사이의 공간이 없다'는 오개념은 오히려 치지 집단에서 더 많았다. 이는 입자 사이의 공간에 무엇인가 채워져 있다는 강력한 오개념이 수업 후에도 바뀌지 않고 그대로 유지되었기 때문이다.

안상면³¹⁾은 그의 연구 결과에서 '입자 사이에는 기체, 수증기, 먼지 등이 있다'는 오개념과 '입자 사이에 공기가 있다'는 오개념이 수업 후 과학사적 개념으로 이동한 학생은 12%에 불과하고 나머지 학생 중 52%는 개념고수, 35%는 다른 오개념으로 변화했다고 보고한다. 가열과 냉각 분항에서는 냉각 전·후와 가열 전·후에 분포 상태에 대한 즉, 냉각 후에 플라스크에만 공기 분자를 그리거나 가열 후 풍선 안에만 공기 분자를 그리는 오개념이 비교 집단에서 두드러지게 많이 나타났다. 이는 냉각 결과 기체가 플라스크로 완전히 이동하거나, 가열 결과 기체가 풍선으로 완전히 이동한다는 오개념인데 노태희 등³²⁾의 연구에서도 나타났다. 오개념이다.

전체적으로 실험 집단의 학생들이 압축과 팽창 문제에서는 공기 분자의 배열과 운동에 대한 오개념의 빈도가 낮았고, 가열과 냉각 문제에서는 분포 상태에 대한 오개념의 빈도가 낮았다. 이는 조양숙 등²⁶⁾의 연구에서도 과학사 수업 후 오개념이 감소된다는 연구

결과와 일치하는 부분이다. 이로써 과학사 프로그램을 이용한 수업이 학생들의 오개념을 감소시키고 물질의 과학적 개념 이해에 보다 효과적임을 알 수 있다.

실험 집단과 비교 집단 간의 물질관 비교. 개념 검사지의 1, 2번 질문에서 학생들이 그린 그림과 이윤진술을 토대로 공기물 선, 면, 덩어리, 화살표 등으로 표현한 것은 연속적 물질관으로, 점이나 작은 원으로 표현한 것은 입자적 물질관으로 범주화하여 분류하였다. 그러나 선과 점의 혼합체로 표현한 것은 기타로 따로 분류하였다. 또한 입자적 물질관은 균일 분포와 불균일 분포의 두 가지 범주로 세분화하여 그에 해당하는 빈도 및 비율을 조사한 후 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

이는 실험 집단의 87.2%, 비교 집단의 66.7%가 입자적 물질관을 갖고 있는 것으로 나타났다. 이는 안상면³¹⁾이 중학교 2학년 학생들 중 60.6%가 공기의 구성을 입자적으로 나타낸다는 실험연구와 비교할 때 실험 집단은 26.6%, 비교 집단은 6.1% 높게 나타난 결과이다.

그 중 과학적으로 타당한 물질관, 즉 균일한 분포의 입자적 물질관을 갖고 있는 학생은 각각 74.4%와 38.5%로 실험 집단이 비교 집단에 비해 높은 비율로 나타났다. 또 실험 연구³¹⁾에서 입자적으로 균일하게 표현한 중학교 2학년 학생의 비율이 41.3%라는 결과

와 비교할 때, 실험 집단은 이보다 33.1% 정도 높았다. 이로써 과학사 프로그램을 이용한 수업이 입자적 물질관 학습에 효과적임을 알 수 있다. 조양숙 등²⁶의 연구에서 과학사 수업을 통해 많은 학생들이 연속적 물질관에서 입자적 물질관으로 변화했으므로 입자적 물질관 학습에 효과가 있다는 결과와도 일치된다. 학생들이 보인 각각의 물질관의 예시는 Fig. 1과 같다.

실험 집단과 비교 집단의 과학의 본성에 대한 이해도 비교. 과학사 적용 수업이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 미치는 변화를 조사하기 위해 과학의 본성에 대한 이해의 사후 검사에 대해 사전 검사를 공변인으로 하는 공변량 분석을 실시하였다. 과학의 본성에 대한 이해 점수의 교정 평균은 Table 7에, 공변량 분석 결과는 Table 8에 각각 제시하였다. 실험 집단의 교정 평균(17.36)이 비교 집단의 교정 평균(16.56)에 비해 높았으나 두 집단 간 평균의 차이는 통계적으로 유의미하게 나타나지 않았다.

학생들의 과학의 본성에 대한 이해를 현대 과학철학적 관점으로 변화시키기 위해 과학사 프로그램이 개발되었으나 과학의 본성의 이해도에서 두 집단 간의 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이는 교과서를 기본으로 한 전통적 수업에서도 과학의 본성과 관련된 내용이 일부 포함되어 있기 때문으로 해석할 수 있다. 플로지스톤 가설에 대한 역할놀이에서 라부아지에는 자신의 연소 이론을 다른 과학자들에게 밀게 하기 위해 노력하는 장면이 나온다. 또, 아보가드로가 주장한 분자설이 다른 과학자들에게 인정받지 못하고 오랫동안 가설인 상태로 있었다는 내용도 있다. 이를 통해 과학에서의 합의도출의 중요성에 대해 학습하게 된다. 그러나 역사 비교 집단에서도 교과서를 통해 아보가드로의 분자설이 처음에는 인정받지 못하였다는 부분을 학습하므로 실험 집단과 유의미한 차이가 나타나지 않은 것으로 보인다. 이러한 결과는 과학사를 이용한 소집단 토론 수업을 실시하였을 때 과

학의 본성에 대한 중학생들의 이해가 향상되었다는 강석진 등²²의 연구와는 일치되지 않은 결과이다. 본 과학사 프로그램에도 소집단 토론 활동이 포함되어 있기는 하지만 24차시 중 2차시 정도이므로 과학사를 주제로 소집단 토론 활동을 5차시 동안 집중적으로 실시한 강석진 등²²의 연구와는 달리 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 영향을 미치지 않는 것으로 결과가 나왔다고 볼 수 있다.

이 연구에서는 과학의 본성에 대한 올바른 이해를 위해서는 과학사와 과학철학에 보다 관심을 기울일 필요가 있고, 실제로 과학사와 과학철학이 학생과 과학의 본성에 관한 이해를 증진시킬 수 있다는 연구 결과³⁴에 따라 과학사 프로그램을 개발하여 과학의 본성이 현대의 과학철학적 관점으로 변화하는데 효과가 있는지 알아보았다. 그러나 「물질의 구성」 및 「물질 변화에서의 규칙성」 단원은 기존 교과서에서도 과학사적인 내용이 어느 정도 포함되어 있기 때문에 실험 집단과 비교 집단 간 과학의 본성에 대한 이해도 점수에서 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 1980년대 이전 '과학의 본성 개념'이 '과학적 태도'나 '과학에 대한 태도' 등의 정의적 구인과 혼동되었던 것을 볼 때 과학의 본성에 대한 이해는 정의적 영역과도 관련이 있다고 할 수 있다.³⁵ 그래서 24차시의 수업 처치에도 불구하고 쉽게 변화하지 않았다. 따라서 과학의 본성에 대한 학생들의 향상된 이해를 이끌어 내기 위해서는 반드시 장기적인 계획에 의거하여 학생들의 견해를 점진적으로 변화시킬 수 있도록 수업이 이루어져야 할 것이다.

이 연구에서 기원론적 접근법에 따라 새롭게 구성한 과학사 프로그램이 학생들이 입자적 물질관 학습에 효과가 있었던 이유를 살펴보면 다음과 같다. 과학사 프로그램 중에서 1. 고대 그리스 자연철학자의 고민이라는 중단원 중 '물질에 관한 두 가지 생각'이라는 소단원에서 '물질은 과연 무한히 쪼갤 수 있을까?'라는 역할 놀이가 있다. 이 역할 놀이는 연속설을 주장하는 아리스토텔레스와 입자설을 주장하는 데모크리토스간 논쟁을 벌이는 대사로 구성되어 있는데 학생들은 이를 통해 두 자연철학자의 주장 중에서 어느 것이 옳은지 생각해보는 기회를 갖게 된다. 더 나아가서 학생들은 물질을 무한히 쪼개었을 때 과연 아리스토텔레스와 같은 생각을 하는지 데모크리토스와 같은 생각을 하고 있는지 역할 놀이 대사에 비추어 자신의 개념을 확인하게 된다. 즉 자신의 물질관에 대한 반성적 사고를 하게 되는 것이다. 그 밖에 3. 르네상스 시대의 과학 중단원에서 보일의 물질관을

Table 7. Mean, standard deviations, and adjusted means of the understanding about nature of science test scores

Comparison group(N=39)			Experimental group(N=39)		
M	SD	Adj. M	M	SD	Adj. M
16.49	2.66	16.56	17.44	2.48	17.36

Table 8. ANCOVA results on the scientific concept test scores

Source	SS	df	MS	F	p
Treatment	12.88	1	12.38	2.49	.119

생각해보는 활동과 4. 플로지스톤 가설-화학의 암흑 시대 중단원에서의 플로지스톤 가설에 대한 역할 놀이 등도 학생들이 입자적 물질관을 학습하는데 효과적이었다고 생각된다.

조양숙 등²⁶의 선행 연구에서도 과학사 수업모형은 먼저 물질관에 관한 학습자 자신의 개념을 드러나게 하고 과학사적 개념변화과정을 제시하여 학습자 자신의 개념과 비교하는 반성적 사고를 통해 올바른 개념으로 변화될 수 있다고 하였다. 과학사의 발전사례들은 학생들의 개념들과 유사한 것들이 많으며 다양한 사례들이 있으므로 여러 맥락에서 그 개념들이 반복적으로 제시될 수 있다. 또한 과학사의 연구사례들은 학생들이 갖고 있는 오개념을 보여주게 되는데 학생들은 이러한 사례를 통해 자신의 개념과 연관 짓게 할 수 있다. 다시 말해 자신의 오개념을 드러나게 함으로써 개념 변화가 촉진된 것으로 보인다. 과학사 프로그램을 살펴보면 고대 자연철학자들, 그리고 연금술사의 물질관을 거쳐 르네상스 시대의 보일의 물질관에 대해 서술한 부분이 있다. 또한 연소를 비롯한 여러 가지 화학변화 및 질량 보존의 법칙과 일정 성분비의 법칙을 설명하는 부분이 이어진다. 이를 통해 학생들은 입자적 물질관에 대해 반복적으로 생각해보는 기회를 갖게 된다. 특히 질량 보존의 법칙과 일정 성분비의 법칙이 연속적 물질관보다는 입자적 물질관으로 보다 훌륭히 설명할 수 있다는 것을 깨닫게 된다. 이와 같은 내용 구성으로 과학사 프로그램은 입자적 물질관 학습에 효과적임을 알 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 중학교 3학년 「물질의 구성」 및 「물질변화의 규칙성」 단원을 과학사적 개념 발달 순서에 따라 학습할 수 있는 과학사 프로그램을 개발하고 그것을 중학교 3학년 학생들을 대상으로 실제 과학 수업에 적용하였을 때 얻을 수 있는 효과를 조사하였다.

과학적 개념 이해도에서는 과학사 프로그램으로 학습한 학생들의 점수가 유의미하게 높은 것으로 나타나 과학적 개념 이해에 효과가 있었음을 알 수 있다. 오개념의 유형 및 빈도 분석 결과에서 과학사 프로그램을 적용한 실험 집단이 전통적 수업을 실시한 비교 집단보다 적게 나타났다. 이는 과학사적인 개념 발달 순서에 따라 학습하다보면 과거에는 옳은 것으로 받아들여지던 것이 이후에 옳지 못한 것으로 드러나게 되는 여러 가지 오개념을 자신의 개념과 비교해보는

반성적 사고를 할 기회를 갖게 되기 때문이다. 따라서 과학사적 개념 발달 순서에 따라 학습하는 것은 개념 변화 모형으로 이용될 수 있을 것이다. 실험 집단과 비교 집단의 물질관 비교에서도 실험 집단이 비교 집단에 비해 입자적 물질관을 많이 갖고 있었으며, 과학사적인 물질관인 균일하게 분포하는 입자적 물질관도 더 많이 갖고 있었다. 따라서 입자적 물질관을 갖도록 하는데 과학사 프로그램이 효과가 있었음을 알 수 있다.

과학의 본성에 대한 이해에서는 전체적인 점수에서나 분항별 점수에서 전통적인 수업과 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 전통적 수업에서도 과학의 본성과 관련된 내용을 전적으로 배제할 수 없었기 때문에 나타난 결과로 해석할 수 있다.

과학사와 과학철학이 학생과 과학의 본성에 관한 이해를 증진시킬 수 있다는 연구 결과²⁷에서도 알 수 있듯이 과학의 본성에 대한 이해를 현대적 관점으로 변화시키는데 과학사는 효과적으로 이용될 수 있다. 현대의 과학철학적 관점으로 변화시키기 위해서는 현재의 인식론과 조화될 이르는 STS 또는 과학사적·과학철학적 접근을 지향해야 할 것이다. 또한 과학 교육의 목표에서 과학의 본성에 대한 이해를 강조하는데 그치지 말고, 교육 현장에서 이를 교육하기 위한 구체적인 노력이 이루어져야 한다.

본 연구의 결과로 볼 때, 과학사 프로그램을 이용한 학습이 과학적 개념 이해도와 입자적 물질관 학습에는 긍정적인 효과가 있었다는 사실로부터 과학사적인 개념 발달 순서에 따라 학습하는 기원론적인 접근법이 개념 학습 모형으로 이용될 수 있음을 알 수 있었다. 과학사를 도입한 수업은 어려운 개념의 이해를 도울 수 있으므로 수준별 학습 자료나 인문계열 또는 자연과학을 전공하지 않을 학생들에게 과학적 소양 및 흥미를 고취시키는데 이용될 수 있을 것이다.

물질의 구성 단원 이외의 단원에서도 더 많은 과학사 프로그램이 개발 적용되는 후속 연구가 뒤따라야 할 것이다. 과학의 본성에 대한 일치된 인식 측정 도구가 없다는 것이 과학의 본성에 대한 이해 연구에 있어서 최대의 난점이다. 따라서 학생과 교사의 과학의 본성에 대한 이해를 올바르게 측정할 수 있는 보다 신뢰도 높은 검사 도구가 개발되어야 할 것이다. 과학의 본성에 대해 현대의 과학 철학적 관점을 갖도록 하는데 필요한 학습 전략들이 계속적으로 연구 개발되어야 할 것이다. 또한 학생 및 교사의 과학의 본성에 대한 이해가 어떠한지 또 교사의 과학의 본성에 대한 이해가 학생들에게 영향을 미치는지에 대한 연

구도 계속되어야 할 것으로 생각된다.

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았음.

인용문헌

1. 양승훈, 송진웅, 김인환, 조정일, 정원우. *과학사와 과학 교육*. 민음사: 서울, 1996.
2. 이선경, 김우희. *한국과학교육학회지*, 1995, 15(3), 275-283.
3. Jenkins, E. *The History of Science in British School: Retrospect and Prospect. History, Philosophy, and Science Teaching*; Teachers College Press: New York, U.S.A., 1991.
4. Conant, J. B. *On understanding science: An historical approach*; Yale University Press: U.S.A., 1953.
5. 송진웅, 양재섭, 김인환, 장천영, 조숙경. *과학의 역사적 이해*. 대구대학교 출판부: 대구, 1998.
6. 홍준의. *멘탈유전학의 발달과정을 이용한 교수-학습 모듈의 적용 효과*, 한국교원대학교 교육학박사학위논문, 2002.
7. 김은경. *과학과 기술 및 사회의 관계 도입 수업이 과학 흥미에 미치는 효과*. 서울대학교 교육학석사학위논문, 1995.
8. 민경숙. '산소 이산화탄소' 단위 학습에서 과학사 도입의 효과. 인천교육대 교육학석사학위논문, 2000.
9. Justi, R.; Gilbert, J. *International Journal of Science Education*, 2000, 22(9), 993-1009.
10. 이선경. *과학사 도입을 통한 과학교육 - 중·고등학교 열 개념을 중심으로*. 단국대학교 교육학석사학위논문, 1994.
11. 김현주. *고등학교 물리 II 교과서의 과학사 도입 유형 분석 연구*. 건국대학교 교육학석사학위논문, 2000.
12. Allen, N. J.; Crawley, F. E. *Journal of Research in Science Teaching*, 1998, 35(2), 111-132.
13. Dana, T. M. *The Australian Science Teachers Journal*, 1990, 36(1), 21-26.
14. Wandersee, J. H. *Journal of Research in Science Teaching*, 1985, 23(7), 581-597.
15. 김미리. *과학사를 도입한 "전기와 자기" 수업이 중학생의 과학에 대한 태도와 인식에 미치는 영향*. 서울대학교 교육학석사학위논문, 2001.
16. 김은신. *과학사를 이용한 수업이 중학생의 과학과 관련된 태도에 미치는 영향*. 이화여자대학교 교육학석사학위논문, 1997.
17. 한승희. *과학사를 도입한 에너지 보존법칙 수업자료 개발과 그 효과*. 서울대학교 교육학석사학위논문, 2001.
18. 박남이, 이길재. *한국생물교육학회지*, 2000, 28(2), 85-99.
19. 동효관, 홍준의, 신영준, 김경호, 이길재. *한국생물교육학회지*, 2002, 30(4), 363-373.
20. 정배현, 김희백. *한국생물교육학회지*, 2003, 31(1), 94-104.
21. 이일형. *과학사적 수업을 통한 대기압 오개념 개선*. 경북대학교 교육학석사학위논문, 1998.
22. 이기영. *과학사를 이용한 지구과학 개념학습 지도에 관한 연구*. 서울대학교 교육학석사학위논문, 1998.
23. 이미숙. *과학사에 근거한 학생들의 진화 개념변화 분석*. 한국교원대학교 교육학박사학위논문, 2004.
24. 최취임, 여상인, 우규환. *한국과학교육학회지*, 2005, 25(7), 820-827.
25. 전경문, 박현주, 노태희. *한국과학교육학회지*, 2004, 24(5), 825-832.
26. 조양숙, 이화순, 김노옥. *한국중등과학교육학회지*, 1996, 15(2), 305-314.
27. Aikenhaed, G. S.; Ryan, A. G. *Science Education*, 1992, 76(5), 477-491.
28. Novick, S.; Nussbaum, J. *Science Education*, 1981, 65(2), 187-196.
29. 조정일, 주중기. *한국과학교육학회지*, 1996, 16(2), 200-209.
30. 박성미. *분자 운동에 대한 학생들의 개념 조사 - 국민학생과 중학생을 대상으로*. 서울대학교 교육학석사학위논문, 1990.
31. 안상면. *입자론적 불길관에 대한 학생들의 개념조사*. 한국교원대학교 교육학석사학위논문, 1992.
32. 노태희, 임희준, 우규환. *한국과학교육학회지*, 1995, 15(4), 437-453.
33. 강석진, 김영희, 노태희. *한국과학교육학회지*, 2004, 24(5), 996-1007.
34. Kimball, M. *Journal of Research in Science Teaching*, 1968, 5, 110-120.
35. 소원주, 김범기, 우중옥. *한국과학교육학회지*, 1998, 18(2), 127-136.