

# 개방적 탐탐구 활동에서 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 영향을 미치는 요인 탐색

김미경 · 김희백<sup>1\*</sup>

한성과학고등학교 · <sup>1</sup>서울대학교

## Exploring the Factors Influencing the Understanding of the Nature of Science through Authentic Open Inquiries

Kim, Mi-Kyung · Kim, Heui-Baik<sup>1\*</sup>

Hansung Science High School · <sup>1</sup>Seoul National University

**Abstract:** The purpose of this study is to search for the factors that influence students' understanding of the nature of science through the experience of the cognitive processes of authentic open inquiries. The freshmen of a science high school practiced authentic open inquiries reflecting epistemological characteristics of authentic science. The case study was conducted with four focus students who were successful or unsuccessful at learning the nature of science during the authentic open inquiry activity. Questions that the focus students asked during the inquiries as well as students' answers to pre- and post-VNOS (C type) were analysed, and then elaborated in the semi-structured interview. The findings suggest that open inquiry activities provide the inquiry contexts that help science high school students to understand the nature of science, and that the characteristics of students' cognition influence the understanding of the nature of science. For instance, designing experiments with their own research questions had an influence on the students' understanding about the scientific methods and the diversity of research types, and drawing conclusions from their own data made students experience scientific reasoning. In addition, the experience of collecting anomalous data helped students to understand the role of inferences in generating scientific knowledge and the creative nature of scientific knowledge. In this inquiry context, the reflective thinking that came from proactive discussion among students, made students think about the validity of the designing experiments and interpreting data, and helped them to understand the uncertain nature of reasoning and the diverse nature of scientific methods. Moreover, divergent thinking linked to analogical thinking helped students to understand the creative nature of science.

Key words: nature of science, authentic open inquiry, case study, science high school

### I. 서론

현재 과학적 소양은 과학적 개념 지식과 과학적 탐구 방법에 대한 이해 요구를 넘어 과학 탐구와 과학의 본성에 대한 이해로 확장되고 있다(AAAS, 1993; NRC, 2000). 이에 따라 과학교육에서 과학의 본성에 대한 이해가 다시 강조되고 있다(Schwartz *et al.*, 2004).

과학의 본성은 과학의 인식론, 얌의 방식으로서의 과학, 과학 지식의 발달에 대한 가치와 신념을 가리키는 것으로(Lederman, 1992), 과학이 무엇이며, 그것이

어떻게 작동하고, 사회적 단체로서 과학자들이 어떤 역할을 하며, 사회가 과학적 노력에 어떻게 영향을 미치는지에 관하여 설명을 해준다(McComas *et al.*, 1998). 과학의 복잡하고 다면적인 특징으로 인하여 철학자, 역사가, 사회과학자, 과학교육자들은 과학의 본성의 의미나 정의에 대하여 일치하지 않는 견해를 보이고 있지만(Lederman *et al.*, 2002), 현 시점에서, 그리고 일반론적인 수준에서 과학의 본성에 대해 합의된 관점이 존재한다(Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Lederman *et al.*, 2002; McComas *et al.*, 1998). 즉, 과학지식은

\*교신저자: 김희백(hbkim56@snu.ac.kr)

\*\*2008.05.25(접수) 2008.07.15(1심통과) 2008.09.23(2심통과) 2008.10.02(최종통과)

불확실하고 경험적이고 이론 기반적이며, 부분적으로는 인간의 추론, 상상력, 창의력의 산물이며, 사회문화적인 관련이 있다. 또한 관찰과 추론 사이에는 차이가 있고, 과학을 하는데 있어서 보편적인 방법은 없다(Lederman *et al.*, 2002).

이러한 과학의 본성에 대한 이해는 과학지식을 올바르게 이해하기 위해서도 필수적이며(Lederman & O'mally, 1990), 일상생활 속에서 과학지식을 실제로 적용하고 그 영향력을 평가하는 데에도 필수적이다(Griffith & Barry, 1993). 현대 사회에서 과학기술의 발달로 인해 새로운 사회적 문제들이 제기되고 있고 이에 대한 정책 수립과 의사결정을 합리적으로 하기 위해서는, 과학이 어떻게 작용하는가에 관해 정확한 관점을 갖는 것이 필수적이다(Meichtry, 1992). 따라서 과학의 본성에 대한 이해는 탐구기능 및 과학적 사고력 향상에 더하여 반드시 강조되어야 할 부분이다(Lederman & O'mally, 1990).

지금까지 이루어지고 있는 과학의 본성에 대한 교육의 형태는 역사적 접근법(historical approach), 암묵적 접근법(implicit approach), 명시적이고 반성적인 접근법(explicit and reflective approach) 등의 세 가지 범주로 구분할 수 있다(Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002). 역사적 접근법은 과학 교수에 과학사를 통합시켜 학생들의 과학의 본성에 대한 견해를 향상시키고자 하는 것으로, HOSC(History of Science Cases for High Schools)와 HPP(Harvard Project Physics)가 역사적 접근법을 적용시킨 대표적인 프로그램이다. 암묵적 접근법은 학생들이 과학 활동을 함으로써 과학의 본성에 대해 자동적으로 이해할 것이라고 기대하며, 과학의 본성에 대한 이해는 과학적 탐구에 참가함으로써 얻어지는 단순한 부산물이라고 가정한다. 과학의 본성에 대한 분명한 언급 없이 hands-on 탐구 중심 활동과 과학의 과정 기능 교수법 등을 지지하며, PSSC(Physical Science Study Curriculum)나 BSCS(Biological Sciences Curriculum Study)와 같은 1960년대와 70년대 대의 대부분의 교육과정은 이러한 접근법을 채택하였다. Lederman 등(2002)은 과학을 하는 것만으로는 과학의 본성에 대한 이해를 할 수 없으므로, 과학의 본성에 대하여 명시적으로 교육할 필요가 있다고 제안하였다. 이러한 명시적이고 반성적인 접근법(explicit and reflective approach)에서는 과학의 본성을 2차 산물이 아니라, 인지적인 학습 산물로서 교수 목표가 되어야 하는 것을 의미하는 것으로 가정하고(Abd-El-Khalick *et al.*, 1998), 과학의 본성에 대해 분명하게 밝히고 학

생들에게 반성적 사고를 하도록 조장함으로써 과학의 본성에 대한 학습이 이루어질 수 있다고 본다.

하지만 과학의 본성에 대한 계속된 관심과 노력에도 불구하고, 대체적으로 학생들이 과학의 본성에 대해 초보적 견해를 가지고 있음이 밝혀졌다(Abd-El-Khalick *et al.*, 1998; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Khishfe & Lederman, 2006). 학생들은 과학지식이 완전하다고 생각하며, 이론이 경험적 증거들의 축적에 의해 증명될 수 있다고 믿으며, 과학지식의 생성과정에서 과학자들의 아이디어의 역할을 이해하지 못한다. 이는 학생들이 지금까지 수행해 온 학교 탐구 활동과 관련이 있는 것으로 생각된다. 즉, 학생들은 정해진 방법에 따라서 실험을 수행하여 지식을 산출해내는 과정에서 과학적 추론이 알고리즘적이라고 생각하고(Chinn & Malhotra, 2002), 보편적인 과학적 방법이 있다고 믿으며, 과학 활동에서는 상상력과 창의성이 배제된다고 믿는데서 기인하는 것으로 보인다(Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002).

과학의 본성에 대한 이해를 향상시키기 위해 실제 과학자들의 탐구와 유사한 상황에서 이루어지는 탐구를 활용하는 방안이 강조되어 왔고(AAAS, 1993; NRC, 2000; Roychoudhury & Roth, 1996), 실제로 탐구 수행을 통해 학생들의 과학의 본성에 대한 학습이 이루어질 수 있다는 연구결과가 보고된 바 있다(Schwartz *et al.*, 2004; 김미경, 김희백, 2007). 김미경과 김희백(2007)의 연구에서는 참과학의 인지과정을 경험하도록 하여 과학의 본성에 대한 이해를 목표로 하는 개방적 참탐구 활동을 개발하고, 이를 수행함에 따라 학생들의 과학의 본성에 대한 학습이 이루어질 가능성을 모색하였다. 개방적 참탐구 활동에서는 과학의 본성에 대해 명시적으로 지도하지는 않았지만, ‘과학의 추론적 특성’과 ‘이론의존성’에 대한 이해도에서 유의미한 향상이 있었다. 이러한 결과는 과학 활동을 수행하는 것만으로는 과학의 본성에 대한 이해에 효과적이지 않다는 선행 연구의 결과들(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Akerson & Hanuscin, 2007; Akerson *et al.*, 2000; Lederman, 1999; Schwartz *et al.*, 2004)과는 차이가 있으며, 실제 과학과 유사한 탐구 활동 경험이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 효과적일 가능성을 보여주는 것이다. 이러한 배경에서 개방적 참탐구 활동이 학생들의 과학의 본성 개념 학습에 어떻게 영향을 주어 효과를 나타냈는지 알아볼 필요성이 제기되었다. 이에 따라 이 연구에서는 개방적 참탐구 활동의 어떤 요소가 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 영

향을 미치는지 알아보고, 이를 토대로 과학의 본성 개념 학습 지도에 대한 시사점을 찾아보고자 하였다. 연구의 초점이 되었던 질문은 다음과 같다.

첫째, 개방적 탐탐구 활동에서의 인지과정은 학생들의 과학본성에 대한 학습과 어떤 관련성이 있는가?

둘째, 개방적 탐탐구 활동에서 과학의 본성에 대한 학습이 이루어지도록 하는 학생들의 인지적 요인은 무엇인가?

그리고 연구를 하는 동안 세 번째 연구 질문이 추가되었다. 개방적 탐탐구 활동 경험이 학생들의 정의적 측면에 어떤 영향을 미치는가?

## II. 연구 방법

이 연구는 개방적 탐탐구 활동 프로그램을 수행했던 과학고등학교 1학년 2개 학급에서 선정된 네 명의 초점학생들을 대상으로 사례연구(Merriam, 1998)형태로 이루어졌다.

### 1. 연구대상

초점학생의 선정은 연구자가 가장 많은 정보를 얻을 수 있도록 의도적인 표본선정을 하였다(Patton, 1990). 과학의 본성에 대한 일반적인 검사도구로 학생들의 과학의 본성에 대한 이해, 즉 과학의 인식론을 알아보는 것은 한계가 있다는 지적에 따라(Sandoval, 2005), 학생들의 실제적인 인식론과 인지적 특성을 살펴보기 위하여 탐구를 수행하면서 제기되는 질문을 수집하였고, 이러한 질문들과 과학의 본성에 대한 검사지(VNOS-C형) 분석결과에 기초하여 4명의 학생을 선정하였다. 이들은 질문의 특징과 과학의 본성 변화에 대한 이해에서 두드러지게 대비가 되었으며 그 특징은 표 1과 같다. 이들 초점학생들과의 면담과정에서 개방적 탐탐구 활동 수행에 대한 학생들의 생각, 학생들이 보고서에 기록했던 질문, 과학의 본성 질문지 답변 등에 대한 추가 질문을 통해 보다 풍부하고, 세부적인 데이터를 얻을 수 있었다.

표 1  
초점 학생들의 특징

학생	특징	보고서에 기록된 질문의 특징	과학의 본성에 대한 이해
승훈	사고 질문을 많이 하고, 인과적 의문을 제기하는 설명 질문 등 높은 수준의 질문을 많이 함	사고 질문을 많이 하고, 인과적 의문을 제기하는 설명 질문 등 높은 수준의 질문을 많이 함	전문적 견해를 갖게 됨
의준	사고 질문을 많이 하는 편이었지만, 주로 실험 방법과 관련된 질문이 많으며 사고 질문의 수준이 높지 않음	사고 질문을 많이 하는 편이었지만, 주로 실험 방법과 관련된 질문이 많으며 사고 질문의 수준이 높지 않음	초보적 견해를 유지함
정인	사고 질문을 많이 하고, 주로 실험을 수행하고 결과를 해석하는 것과 직접적으로 관련된 질문을 많이 함	사고 질문을 많이 하고, 주로 실험을 수행하고 결과를 해석하는 것과 직접적으로 관련된 질문을 많이 함	초보적 견해를 유지함
재경	사고 질문을 적게 하지만 확산적 질문이 두드러짐	사고 질문을 적게 하지만 확산적 질문이 두드러짐	전문적 견해를 갖게 됨

\* 초점 학생들의 이름은 가명을 사용하였음

표 2  
초점학생들이 수행한 개방적 탐탐구 활동

실험	활동 내용 및 상황
실험 1 (삼투현상)	반투과성막을 이용하여 삼투현상이 여러 가지 조건에 따라 어떻게 달라지는지 알아봄 교사에 의해 반투과성 셀로판 튜브의 사용법을 안내 받은 후 학생들이 조작변인과 종속변인을 선택하여 수행하는 비교적 단순한 실험
실험 2 (감자의 삼투압)	교사는 실험의 주제와 준비물만 제시, 학생들이 준비된 실험용액과 감자를 이용하여 감자의 삼투압을 알아낼 수 있는 방법을 고안, 실험을 설계하여 수행함
실험 3 (효소실험)	야채와 같은 일상생활 소재를 이용하여 효소와 관련된 탐구를 수행 학생들이 연구문제를 설정하고 탐구하는 완전히 개방적인 형태의 탐구로 2주에 걸쳐 이루어짐. 첫 주에는 학생들이 자신들이 관심 있는 연구문제를 설정하고 실험을 설계하였으며, 둘째 주에는 자신들이 설계한 대로 실험을 수행함
실험 4 (환경요인과 광합성)	시금치 잎 디스크를 이용한 간단한 광합성 실험장치를 이용하여 여러 가지 환경요인에 따른 광합성률의 차이를 알아보는 실험 학생들은 빛의 세기, 빛의 파장, 온도, CO <sub>2</sub> 농도 중 한 가지 변인을 선택하여 실험을 설계하고 수행함

## 2. 수업 상황 및 탐구 활동 내용

학생들은 생물교과 시간에 4주제의 개방적 참탐구 활동 프로그램을 수행하였다. 각 활동은 두 시간 연속 수업으로 진행되었고, 3-4명씩 조를 이루어 수행하였다. 네 명의 초점 학생 중 세 명은 같은 학급의 학생들이며 한 명만 다른 학급의 학생이었고, 같은 학급에 속해있던 세 명의 초점학생들은 각각 서로 다른 조에서 탐구 활동을 수행하였다. 이들 학생들이 수행하였던 탐구 활동 내용 및 탐구 상황은 다음 표 2와 같다.

## 3. 자료 수집

연구의 신뢰도와 타당도를 높이기 위한 삼각측정법(data triangulation)을 다음과 같은 방법으로 자료 수집을 하였다.

### 1) 문서 자료

매 실험이 끝날 때 마다 학생들에게 실험 보고서 작성하게 하였고 실험 보고서에는 개방적 참탐구 활동을 수행하면서 제기되었던 질문을 적는 칸을 따로 마련하여 기록하게 하였다. 보고서에 기록된 질문들과 보고서 자체는 데이터로 사용되어 분석되었다. 또한 사전·사후에 작성하도록 한 탐구력 평가 검사지와 과학의 본성 검사지도 데이터로 사용하였다.

### 2) 반구조화된 면담

초점학생들과의 면담은 반구조화된 형태로 이루어졌으며 네 명의 초점학생들에게 공통적으로 질문했던 내용은 다음과 같다.

- 개방적 참탐구 활동 수행: (자신의) 탐구 능력을 향상시키는데 도움이 되었는가? 어떤 면에서 도움이 되었는가? 도움이 되지 않았다면 탐구를 이런 형태로 할 때 문제점은 무엇이라고 생각하는가?
- 학생들의 질문 특성: 평소 질문이 많은 편인가? 탐구를 이런 형태로 수행하면서 질문을 많이 하게 되었는가? 탐구의 어떤 단계에서, 어떤 질문이 많이 생겼는가?
- 과학의 본성에 대한 이해: (과학의 본성 검사지의) 질문에 대한 답변이 의미하는 것은 무엇인가? 탐구를 이런 형태로 수행하는 것이 과학을 이해하는데 도움이 되었는가? 어떻게 도움이 되었는가? 혹은 왜 과학에 대한 자신의 생각이 변하지 않았는가?

반구조화된 사후 면담은 학생들이 개방적 참탐구 활

동에 대한 자신들의 경험을 설명하고, 보고서에 기록했던 질문들과 과학의 본성 검사지 답변에 대하여 보완하여 설명할 기회를 제공하였다. 더 자세한 응답을 얻기 위해 면담하는 동안에 각 학생들에게 추가 질문이 이루어졌다. 면담 내용은 녹음되었으며, 전사되었다.

## 3) 관찰

연구자는 매시간 탐구를 지도하면서 학생들을 관찰하였고 관찰 내용을 간단하게 메모하였다. 관찰일지(field note)는 수업시간 중에 작성한 메모 내용을 토대로 수업이 끝난 후 그날 중으로 작성하였다. 관찰일지는 눈에 띄는 에피소드를 중심으로 작성되었고, 그 중에서 초점학생들의 활동과 관련된 부분을 데이터로 사용하였다.

## 4. 자료 분석

면담 기록지와 전사물, 관찰일지, 4회분의 실험 보고서 및 과학의 본성 검사지에서 수집된 데이터를 두 명의 과학교육 연구자들이 개별적으로 정성적으로 분석하고 이를 상호 비교하였으며, 차이가 나는 부분에 대해서는 함께 분석하였다. 분석의 초점은 초점학생들이 제시한 질문을 통해 어떤 인지적 특성이 나타나는지 살펴보고 탐구 수행 및 과학의 본성에 대한 이해와의 관련성을 찾는 데 두었다.

## III. 연구 결과 및 논의

### 1. 초점학생들의 과학의 본성에 대한 이해 변화

초점학생들의 과학의 본성 각 항목에 대한 사전·사후 이해 변화는 표 3과 같다. 초점학생 가운데 과학의 본성에 대한 이해도가 높은 학생은 승훈이와 재경이었다. 승훈이는 사전에 전문적 견해를 보였던 과학적 방법과 과학지식의 임시성 두 항목을 포함하여, 모든 항목에서 전문적 견해를 가지는 것으로 나타났으며, 재경이는 사전에 과학지식의 임시성, 이론의존성, 사회성 항목에서 전문적 견해를 보였던 것에 더하여 과학적 방법, 추론적 특성에 대해서도 전문적 견해를 가지게 되었다. 이에 비해 정인아와 의준이는 한 두 항목에서의 변화를 제외하고 여전히 초보적 견해를 유지하는 것으로 나타났다.

### 2. 사례연구

개방적 참탐구 활동 수행에 따른 초점 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 영향을 미친 요인을 알아보

표 3

초집학생들의 과학의 본성에 대한 각 항목별 이해 변화 (N: 초보적 견해, I: 전문적 견해)

질문	반응결과	해당학생
과학적 방법이 유일한가?	사전 사후 N → N ① ↘ ② →	① 재경, 정인 ② 승훈, 의준
과학자들이 과학이론을 개발한 후 이론은 변화하는가?	사전 사후 I → I ① →	① 승훈, 의준, 정인, 재경
과학자들은 원자구조에 대해 어떻게 확신하는가?	사전 사후 N → N ① → ② ↘	① 의준, 정인 ② 승훈, 재경
어떤 천문학자들은 우주가 팽창한다고 믿지만, 다른 과학자들은 수축한다고 믿는다. 같은 데이터를 보고 어떻게 이런 다른 결론을 내릴 수 있을까?	사전 사후 N → N ① → ② ↘ ③ →	① 의준, 정인 ② 승훈 ③ 재경
과학은 사회와 문화적 가치를 반영하는가?	사전 사후 N → N ① → ② ↘ ③ →	① 정인 ② 승훈, 의준 ③ 재경
과학자들은 문제를 해결하기 위해 실험을 수행한다. 이러한 실험에서 과학자들은 창의성이나 상상력을 발휘하는가?	사전 사후 N → N ① → ② ↘	① 재경, 의준, 정인 ② 승훈

기 위하여 각 학생 별로 사례연구를 실시한 결과는 다음과 같다.

**1) 승훈: 내용지식이 많고 반성적 질문을 많이 하는 학생**

승훈이는 생물에 관심이 많고 생물 관련 학과로 진학하기를 희망하는 남학생으로, 생물에 대한 내용지식이 많은 학생이었다. 승훈이는 질문의 빈도가 높고 사고 질문을 많이 하며, 개방적 참담구 활동 수행을 통해 과학의 본성 개념에 대한 학습이 이루어졌다. 다음은 승훈이의 보고서<sup>1)</sup>에 기록된 질문의 예시이다.

<실험 1>  
 • 튜브를 묶을 때 윗부분에 공기가 가득 차게 너무 세게 묶으면 그 속에 있는 원래 기체가 삼투압으로 들어오려는 물 분자에게 압력을 주지 않을까?

- 증류수에 잠긴 부분의 면적이 너무 적으면 그에 따라 삼투현상이 너무 오래 걸려 관측할 때 미처 다 용액 기둥이 못 올라오지는 않았을까?
- 물의 모세관 현상으로 셀로판 튜브에 조금 더 용액 기둥이 올라와서 그에 따라 삼투압에 영향을 주지는 않았을까?

예시에서 나타난 것처럼 승훈이의 질문들은 대부분 자신들이 설계했던 실험 방법에 대해 비판적으로 반성하면서 측정의 타당성에 대하여 인과적인 의문을 제기하는 것들로, 승훈이가 반성적 사고 특성을 가지고 있음을 보여주었다. 면담과정에서 승훈이는 평소에도 반성적 질문을 많이 하는 것을 알 수 있었다.

승훈: 나는 평소에도 이런 질문들을 많이 하는 편이에요. 하지만 중학교 때는 이런 질문을 해도 선생님들께서 대답을 해주지 않고 지나쳤기 때문에 머리속으로만 했어요.

1) '온도'를 조작변인으로 선택하고, 삼투현상에 따른 용액의 '부피변화'를 측정할 실험보고서이다.

하지만 이번에는 친구들과 실험 설계를 직접 하면서 이런 질문들을 계속할 수 있었어요... 실험 설계 방법에 대해 친구들과 토론하면서 잘못된 부분을 고쳐나갔고 보고서 쓸 때도 정확한 데이터 수집을 위해 실험방법을 어떻게 개선해야 하는지에 대해 얘기를 많이 했어요. 그러는 동안 질문이 많이 생겼어요...

이 진술은 반성적 질문들이 개방적 탐탐구 활동을 수행함으로써 촉진되었고, 조별 탐구에서 실험을 설계하고 자신들의 실험 결과를 해석하는 동안 이루어지는 동료들 간의 상호작용을 통해 학생 자신들의 아이디어에 대한 반성적 사고하기가 자극되는 것을 보여준다 (Chin et al., 2002). 탐구과정에서 경험하는 이러한 상호작용을 통해 승훈이는 과학지식의 사회적 구성 측면을 이해할 가능성이 있다.

그리고 승훈이의 질문에는 탐구 수행 과정에서 자신이 갖고 있는 생물학적 지식을 잘 활용하고 있음이 나타나고 있었다. 다음은 실험 수행 과정에서 승훈이의 이런 모습이 잘 드러난 하나의 에피소드이다.

에피소드1. ‘효소실험’에서, 승훈이네 조에서는 ‘흔히 접할 수 있는 야채 및 과일들이 단백질 분해효소를 함유하는가?’라는 연구문제로 실험을 설계하였다. 사과, 배, 레몬, 양파, 감자를 실험재료로 선택하고 이것들로부터 즙을 추출하여 희석한 계란 흰자 용액에 첨가한 후 단백질이 분해되는 정도를 뷰렛반응으로 비교해보는 실험을 수행하고 있었다. 온도 통제를 위해 항온 수조에 자신들이 고안한 실험 장치를 설치하는 과정에서 승훈이가 “높은 온도에서 변성된 단백질도 효소가 소화를 시킬까?”라는 질문을 새롭게 제시하였다. 다른 조원들은 순간 실험장치 설치를 멈추고 이 질문에 대해 토론을 하기 시작하였고, 이것을 받아들여 원래 자신들이 계획했던 실험 장치에 이 질문에 대한 내용을 포함시켰다. 즉, 원래의 실험 장치에 삶은 계란으로 하는 실험 장치를 추가로 설치하였다.

이 에피소드는 승훈이가 실험을 하면서 실험을 수행하는 데에만 치중하지 않고, 실험하는 동안에도 계속해

서 자신이 알고 있는 지식을 탐구 상황에 연결시키고 반성적인 사고를 통해 새로운 아이디어를 많이 생각해내는 것을 보여준다. 이러한 승훈이의 반성적 사고 특성은 실험보고서에서도 확인할 수 있었다. 특히 실험 설계 단계에서 실험 결과에 대한 예상을 할 때 관련된 이론을 토대로 결과를 예상하였고, 실험 수행 후 작성된 보고서의 논의에서도 실험과 관련된 이론 조사를 하고 이를 토대로 결과 해석을 하는 점에서 다른 학생들과 차이가 있었다. 한 예로 ‘환경요인과 광합성’ 실험보고서에서 승훈이는 실험재료로 사용하였던 ‘시금치’의 광포화점을 조사한 내용을 포함시키고 있었다.

승훈: 빛의 세기에 따른 광합성속도를 측정하는 실험을 하고 나서 결과를 분석할 때, 광포화점이 나타나지 않는 것이 이상했어요. 그래서 시금치의 광포화점에 대하여 조사를 해보게 되었어요... 인터넷으로 검색해서 시금치의 광포화점을 찾았어요.

대부분의 학생들이 시간이 없다는 이유로 이론 조사를 거의 하지 않는데 반해, 승훈이는 자신이 알고 있는 것에서 비롯된 의문점에 대해 관련된 이론을 스스로 조사하고 의문을 해결해 나갔음을 확인할 수 있었다. 실험과 관련된 이론을 조사하는 것은 탐구를 시작하게 하고 탐구방법을 찾아내게 하는 탐구의 한 과정으로서, 과학자들의 연구가 선행 연구에 기초하여 시작된다는 사회적 과정과 제도를 이해하게 할 가능성으로 연결될 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002).

한편 승훈이가 제시한 질문의 내용을 살펴본 결과, 실험 방법이나 자신들이 내린 결론의 타당성에 대한 질문들이 많음을 알 수 있었다. 다음은 ‘효소 실험’ 보고서에 기록된 승훈이의 질문 가운데 이러한 특성을 나타내는 질문의 예시이다(표 4).

“...보고서를 쓰면서 우리가 설계한 실험 방법이 옳은가 하는 생각을 많이 하게 되었어요.”라는 답변에서도 이러한 점을 확인할 수 있었다. 이것은 승훈이가 방

표 4 효소 실험에서 승훈이의 질문 중 타당성에 대한 의문을 제기하는 질문 예시

승훈이네 조의 실험 내용	승훈이의 질문
<p><b>연구문제:</b> ‘흔히 접할 수 있는 야채 및 과일들이 단백질 분해효소를 함유하는가?’</p> <p><b>실험방법:</b> 양파, 감자, 사과, 배, 레몬을 갈아서 즙을 만들고 각각 계란 흰자에 첨가한 후 뷰렛반응을 통해 단백질 분해정도를 비교하였다. 변인통제를 위해 항온수조에서 실험을 실시하였다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이 실험은 단백질이 어떤 과일의 효소에 의하여 분해되는 것인지 뷰렛반응으로 확인하였는데, 효소도 단백질로 이루어져 있으므로 뷰렛반응에 참가하지 않을까? 이때 단백질 분해효소가 아니어도 효소 성분이 단백질이므로 실험 후 결과를 볼 때 어떤 효소인지 잘 모르지 않을까?</li> <li>• 과즙을 넣은 흰자를 항온수조에 너무 빨리 넣으면 효소가 작용하기 전에 변성되지 않을까?</li> </ul>

법의 신뢰성에 대해 관심을 가지고 방법을 타당화하기 위해 노력하는 과학자들의 인식론으로 발전할 가능성을 보여주는 것이라 할 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002). 또한 "...실험에서 얻은 데이터가 정확하지, 그런 데이터로부터 내려지는 결론이 올바른지는 확인할 수가 없었어요."라는 진술에서는 승훈이가 탐구 수행 과정 내내 반성적인 사고를 통해 데이터의 불확실성에 대해 염두에 두고 있었음을 알 수 있었고, 이는 과학적 추론의 특성을 이해할 가능성을 나타낸다. 다음 진술은 승훈이가 과학적 추론 경험에 대해 언급한 것이다.

승훈: (효소실험처럼) 연구문제가 주어지지 않고 우리가 아이디어를 내어 실험하는 경우, 결과가 어떻게 나올지 모르므로 우리는 추론을 했어요. 관련된 데이터가 아무 것도 없기 때문에... 나는 실험의 주제를 주지 않는 것이 좋아요. 어떤 실험을 할 지 아이디어를 내고, 어떤 방법으로 실험할 것인지 생각하면서 창의성이 길러지는 것 같아요... 하지만 내용을 잘 모르는 경우에는 주제의 질이 떨어질 수 있을 것 같기도 해요.

내용을 잘 모르는 경우에는 탐구하기가 어렵다는 마지막 진술을 통해 승훈이에게 실험과 관련된 내용지식이 탐구 수행에서 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 승훈이의 질문 중에는 변칙데이터에 대한 질문도 포함되어 있었는데, 면담 시 이 부분에 대한 질문에서 다음과 같이 답변하였다.

승훈: 예상과 다른 결과가 나왔을 때, 왜 예상과 다른지에 대해 오차분석을 했어요. 그리고 반복실험을 해봐야겠다는 생각을 했어요... 예상외의 결과가 나왔을 때 (실험을) 더 해보고 싶은 생각이 들었어요...

이 진술에서 승훈이는 변칙데이터에 대한 경험으로부터 오차분석과 반복실험의 필요성에 대해 스스로 깨닫게 되었음을 알 수 있었다. 그리고 예상과 다른 결과를 얻는 경험에서 탐구를 계속해보고 싶다는 동기가 유발되어 정의적인 측면에도 영향을 미친 것을 알 수 있었다. 다음 승훈이의 답변에서는 학생들에게 참과학 탐구를 경험하게 하는 것이 과학자라는 직업을 선택하도록 도울 가능성도 있음을(Bell et al., 2003) 확인할 수 있었다.

승훈: ... 미래 과학자로서의 나 자신에 대해 생각해보는 계기가 되었어요. 앞으로 내가 어떤 자세를 가져야 할지에 대해서도 알게 된 것 같아요.

이상과 같은 승훈이의 사례에서 탐구를 수행하는 동안 반성적 사고를 하는 것이 과학적 방법, 과학추론의 불확실성, 창의성에 대한 이해로 발전될 수 있음을 확인하였다. 반성적 사고는 자신들이 실험을 설계하는 동안에 특히 친구들과의 논의를 통해 촉진되는 것을 알 수 있었고, 이 과정에서 내용지식이 중요한 역할을 하는 것을 확인하였다.

**2) 의준: 내용지식이 많고 질문은 많이 하지만 깊은 사고를 하지 않는 학생**

의준이는 생물을 좋아하고 대학 진학 시 생물 관련 과목으로 진학하기를 희망하는 남학생으로 승훈이처럼 생물학 내용지식이 많은 학생이었다. 초점학생 가운데 사고질문의 빈도는 가장 높았으나, 실험방법과 관련된 질문이 많으며 질문의 수준은 그다지 높지 않았다. 개방적 탐탐구 활동 수행 후 과학의 본성 개념에 대한 학습이 이루어지지 않았다. 다음은 실험12)과 33)에서 의준이가 보고서에 기록했던 질문의 예시이다.

- 설탕물이 든 반투과성막을 각각 다른 비커의 물에 넣어주어야 하나?(실험1)
- 실험도중 물이 증발하여 오차가 생기지 않을까?(실험1)
- 반투과성막을 물에 다 잠기도록 넣어야 하나?(실험1)
- 셀로판 튜브를 열 때 물을 묻히고 하는데 그러면 오차가 생기지 않을까?(실험1)
- NaOH 용액은 강염기라서 소화효소에 기능 이상이 생기지 않을까?(실험3)
- 야채즙 자체의 색이 뷰렛반응에 영향을 주지 않을까?(실험3)
- 용액(즙)의 불순물들이 있어 색을 구분하기 힘들 때 이것을 좀 더 깨끗이 정화할 수 없을까?(실험3)
- NaOH 용액이 pH를 변화시켜 뷰렛반응이 일어나는 것인데 야채즙이 pH에 영향을 주지 않을까?(실험3)
- 날달걀 흰자에 미리 단백질분해효소가 들어있을 가능성도 있지 않을까?(실험3)

의준이는 탐구과정에서 자신들이 설계하고 수행했던 실험 방법과 관련된 질문을 많이 하는 편이었지만, 대체적으로 인과적 설명을 요구하는 질문들은 아니었다. 질문 빈도가 높은 것은 생물학 내용지식이 많은 것과

2) ‘용액의 농도’를 조작변인으로 하여, 삼투현상에 따른 ‘용액의 부피변화’를 측정하였다.  
 3) ‘야채 속에 단백질 분해효소가 존재하는가?’라는 연구문제로, 여러 가지 야채즙을 계란 흰자에 일정량 첨가하고 뷰렛반응을 통해 결과를 비교하는 실험을 하였다.

관련이 있는 것으로 보이지만, 의준이의 이러한 질문들은 반성적 사고와 같이 깊은 사고로 연결되지는 않았으며 단순히 질문을 제기하는 수준에서 그쳤다는 것을 면담과정에서 확인할 수 있었다.

면담자: 질문이 생겼을 때 어떻게 해결했는가?

의 준: 실험결과를 해석하고 보고서를 쓸 때 질문은 많이 생기지만, 책을 찾아보지는 않았는데... 실험에서는 결과만 보면 되니까...

의준이는 탐구 과정에서 질문이 생겼을 때 이를 해결하기 위하여 사고를 좀 더 발전시키거나 관련된 이론을 찾아보는 노력을 하지 않았으며, “실험에서는 결과만 보면 되니까...” 라는 진술에서와 같이 이것이 실험에 임하는 의준이의 태도에서 비롯되었음을 알 수 있었다. 이러한 의준이의 태도는 탐구 수행과정에서도 종종 관찰되었다. 다음은 ‘효소 실험’에서 의준이네 조의 탐구 설계 과정에서 관찰된 에피소드이다.

에피소드2. 의준이네 조에서는 연구문제를 설정하는 단계에서부터 논의가 잘 진행되지 않았다. 처음에 의준이가 제안한 연구문제가 내용면에서 너무 어려워서 같은 조의 다른 학생들이 수용을 못하였고 조원들은 계속해서 새로운 아이디어 제시만 하고 연구문제를 결정하지 못하고 있었다. 한동안 이런 상태가 계속되었고 조원 중 한두 명은 다른 조의 탐구 설계를 기웃거리기도 하였다. 그러다 고기를 먹을 때 야채를 함께 먹는 이유가 있을 것이라는 조원들이 의견이 모아지게 되어, ‘야채 속에 단백질 분해 효소가 존재하는가’ 라는 연구문제를 설정하게 되었다(이 연구문제는 처음 실험에 대한 안내를 할 때 교사가 제안한 연구질문 중의 하나였다). 하지만, 연구문제로부터 실험을 설계하는 과정에서도 계속해서 어려움이 이어졌다. 이 과정에서 조원 중의 한 명이 조작변인이 무엇인지 잘 이해하고 있지 못함이 드러났고, 이것에 대한 토론이 진행되었다. 의준이도 내용면에서는 많이 알고 있는 듯 했지만 실험을 설계하는 데에는 별 도움이 되지 못하였다. 결국 교사의 도움으로 조작변인과 종속변인에 대한 구분이 명확해진 후 학생들은 자신들의 연구문제에 따른 변인을 선택하고 실험설계를 마치게 되었다. (의준이네 조는 그 다음 주에 수행되었던 실험에서도 결국 정확한 데이터를 얻는데 실패하였다. 대조군 설정에도 문제가 있었고, 의준이를 포함하여 조원들은 실험 설계시와 마찬가지로 실험 수행과 직접적인 관련이 없는 질문들을 제기하여 실험에 집중하지 못한 것이 실패 요인이었다.)

이 에피소드는 의준이가 문제제기만 하고 그 문제에 대한 해결책을 찾기 위해 집중적으로 사고하지 않는

평소의 태도를 보여준다. 의준이는 생물에 대한 내용 지식이 많아 관련된 질문을 많이 하지만 문제해결을 위해 사고를 체계적이고 깊이 있게 해나가지는 못하였다. 이것은 주제와 관련없는 정보가 너무 많으면 오히려 학생 자신의 연구문제와 관련짓는데 실패하기 쉽고 필요한 것만을 선별해내야 할 필요성이 있음을 보여주는 것으로(Chin & Chia, 2006), 탐구 수행에서 반성적 사고의 중요성을 확인해 주었다. 또한 변칙데이터에 대해서도 “...예상과 다른 결과가 나왔으나 다시 해보지는 않았어요.” 라는 진술에서 의준이의 탐구 태도를 다시 한 번 확인할 수 있었다. 이러한 특성은 의준이가 과학의 본성에 대한 이해를 하는 데에도 영향을 미친 것으로 보인다. 한 예로 의준이는 실험 결과로부터 결론을 도출해 내는 과정에서 타당성을 검토하기 보다는 옳고 그름에만 관심을 두고 있는 것을 확인할 수 있었다.

의준: ...이렇게 실험할 때는 결론을 비교할 대상이 없어서 우리의 생각(결론)이 맞는지 틀린지 확인할 수가 없었어요.

앞의 사례에서 반성적인 사고를 많이 하는 승훈이는 “... 보고서를 쓰면서 우리가 설계한 방법이 옳은가 하는 생각을 많이 했어요.”라고 언급하여 탐구 방법의 타당성과 신뢰성에 대한 의문을 제기하였음을 보여준 반면에, 의준이는 단순히 탐구 결과가 옳은지에만 관심을 가졌음을 알 수 있었다. 결국 의준이는 반성적 사고와 같이 깊이 있는 사고를 하지 못함으로 인해 탐구 수행 측면뿐만 아니라 과학의 본성에 대한 이해로 발전해 나가지 못하게 된 것으로 생각된다. 실제로 의준이는 사후에 ‘과학의 방법’과 ‘지식의 사회적 구성’ 항목에서만 전문적 견해를 가지는 것으로 나타났다.

그러나 의준이는 개방적 참담구 활동을 수행하면서 실험에 대해 흥미를 느끼게 되었다고 진술하였다.

의준: 실험을 이렇게 하니깐 이론만 할 때보다 과학의 다른 면을 이해하게 되었어요... 이제는 실험하는 게 부담스럽지 않고 재미있게 느껴져요.

이것은 학생들이 자신들의 연구문제로 탐구할 때 과학에 대해 더 긍정적인 태도를 가지게 됨(Woolnough, 2000)을 확인해 주는 것이라 할 수 있다.

이상과 같은 의준이의 사례는 실험 관련 내용지식이 많고 그에 따라 질문을 많이 한다 하더라도, 실험과 관련된 내용에 대해 반성적으로 사고함으로써 탐구와 관련하여 의미있는 질문들을 제구성해 내는 것이 탐구 수행 및 과학의 본성을 이해하는 데에 도움이 된다는



사실을 확인해 주었다.

### 3) 정인: 수렴적 사고 성향을 가진 학생

정인이는 과제집착력이 강하며 탐구를 잘 수행하는 남학생으로, 사고 질문을 많이 하며 특히 실험 방법·결과 해석과 직접적으로 관련된 질문들을 많이 하는 편이었다. 개방적 탐탐구 활동 수행 후 과학의 본성 개념에 대한 학습은 이루어지지 않았다. 다음은 정인이의 보고서4)에 기록된 질문의 예시이다.

<실험 3>

- 달걀흰자의 농도는 모두 균일한가? 달걀 방치 시간에 따라 농도에 차이가 날 것인가?
- 뷰렛반응의 채도를 구분하는 방법은?
- 기포 발생은 이 실험에는 전혀 영향을 미치지 않는가?
- 왜  $\text{CuSO}_4:\text{NaOH}$ 의 비가 1:5인가? 실험에서는 14:5로 했을 때 뚜렷이 구분되었는데 그 이유는?
- 뷰렛반응의 매커니즘은?
- 구리 이온에 의해 파란색이 보라색으로 바뀐다면 왜 보라색을 띠는가?

예시질문에서 보이는 것처럼 정인이 질문의 대부분은 실험의 원리에 대한 설명을 구하거나 측정방법에 대한 의문들을 나타내는 것들로, 정인이는 탐구를 잘 수행하기 위해 사고를 수렴적으로 하고 있음을 알 수 있었다. 면담 과정에서 탐구 수행 시 대부분의 질문이 데이터 처리와 관련하여 생성된다고 답변한 것도 정인이의 이러한 특성을 뒷받침해 준다고 할 수 있다.

정인: 실험을 할 때는 의문이 생겨도 생각을 하지 않으려고 해요. 시간이 부족하기 때문에. 주어진 시간 내에 실험을 하고 결과를 얻어야 하기 때문에 의문점에 대해 친구들과의 토론을 피했어요. 하지만 실험을 수행하면서 데이터를 어떻게 구체화시킬 것인가에 대한 생각은 계속했어요.

이러한 진술은 정인이가 정해진 시간 내에 실험을 끝내는 것에 목표를 두고 있음을 확인해 주는 한편, 탐구 결과를 분석하기 위해 사고를 집중하고 있음을 보여준다. 실제로 정인이는 탐구를 수행하면서 목표를 분명하게 인식하고 자신들이 무엇을 해야 하는지 잘 알고 있었다. 다음 에피소드는 평소 정인이가 탐구를 잘 수행해 나가는 모습을 보여주고 있다.

에피소드 3. 정인이네 조는 실험 3(효소실험)에서 ‘pH에 따른 효소활성’을 비교해보는 실험을 하고 자신들이 얻은 데이터를 분석하고 있었다. 조원들은 실험에서 얻은 결과를 해석하기 위해 뷰렛반응의 색깔변화를 어떻게 정량화 할 수 있는지, 색깔 변화의 기준이 무엇인지에 대해 활발하게 논의를 하였다. 그 과정에서 정인이는 시험관 내의 색깔 변화를 비교할 기준을 설정하기 위해서는 대조군이 필요하다는 사실을 생각해 내었다. 또, 실험 결과를 그래프로 전환시킬 때, 원데이터에서처럼 pH에 따른 색깔의 차이로만 나타내기 보다는 pH에 따른 효소의 반응속도를 나타내는 그래프를 그려야 한다는 의견을 제시하였다. 이런 정인의 제안으로 인해, 조원들은 실험 결과로부터 결론을 끌어내는 논의를 더욱 진지하게 하게 되었다. 특히 자신들의 실험 결과가 올바른 것인지, 실험오차로 인한 것인지에 대해 지속적으로 의문을 가지면서 논의를 하였고 이러한 오차분석에 대한 논의 내용을 보고서에 잘 정리하였다.

이 에피소드에서 정인이는 실험 결과 해석을 위한 논의 과정에서 뛰어난 탐구 능력을 발휘하고 있음이 잘 나타난다. 정인이는 자신들이 했던 실험에 대해 잘 이해하고 있었고, 데이터 분석을 통해 변인들의 관계를 설명하고 결론을 도출하기 위해서 사고를 잘 수렴시켜 나가고 있었다. 수렴적 사고는 다양한 의견이나 아이디어를 구체적으로 다듬거나, 그것들의 가능성을 평가·정리하고 통합하여 하나의 논리적인 답안을 만들거나, 그런 아이디어를 고르는 것으로(Treffinger *et al.*, 2000), 과학적 창의성 활동을 위한 사고 중 하나로써 문제해결에 중요한 역할을 한다(박종원, 2004). 따라서 수렴적 사고 특성을 보이는 정인이가 다른 학생들보다 탐구를 잘 수행하는 것으로 생각된다. 그런데 정인이는 실험하는 것을 하나의 과제 수행으로만 받아들임으로 인해, 정해진 시간 내에 실험을 끝마치기 위하여 사고를 제한하고 탐구과정에서 친구들과 더 많은 논의를 할 수 있는 기회를 정인이 스스로가 포기하고 있음을 보여주었다.

정인: 실험을 하면서는 다른 생각들을 하지 않는 편이에요. 실험을 빨리 끝내고 보고서를 어떻게 쓸 것인가에 대한 생각만 하고... 실험을 설계할 때도 문제제기는 다른 친구들이 하고 나는 그것을 구체화시키고 실험을 설계하는 것을 주로 했어요.

자신들이 방법을 설계하고 수행하는 경우에는, 실험

4) ‘pH에 따른 효소의 활성도 비교’를 연구문제로 설정하고, pH를 다양하게 맞춘 계란 흰자에 파인애플 즙을 첨가한 후 뷰렛반응으로 효소의 활성도를 비교한 실험보고서이다.

을 설계할 때뿐만 아니라 실험을 수행하는 동안에도 실험의 오차를 줄이고 정확한 데이터를 얻기 위해 대해 끊임없이 반성하는 것이 필요하다. 이것은 과학자들이 연구를 진행하면서 방법의 신뢰성에 관심을 가지고 타당한 방법을 찾는 것에 해당된다(Chinn & Malhotra, 2002). 따라서 탐구를 수행하는 동안 질문을 하지 않는 것은 실험방법의 타당성과 데이터의 신뢰성 등에 대한 사고가 이루어질 기회를 상실하게 할 수 있다. 정인이의 이러한 사고 특성은 정인이가 참과학의 인지과정 경험으로부터 과학의 본성에 대한 이해로 발전해 나가지 못하게 한 원인으로 작용한 것으로 보인다. 실제로 정인이는 사전에 전문적 견해를 보인 ‘임시성’과, ‘과학적 방법’을 제외한 모든 항목에서 여전히 초보적 견해를 유지하는 것으로 나타났다. 면담과정에서 이 점에 대해 추가 질문을 했을 때 정인이는 다음과 같이 답변하였다.

- 면담자: 정인이는 실험을 잘 하고 데이터에 대한 해석도 잘 하는 편인데, 이렇게 직접 실험을 설계하면서 실험하는 것이 과학을 이해하는데 도움이 되었나요?
- 정 인: 이런 실험을 하면서 변인통제, 대조군을 잘 알게 되었어요. 중학교 때 실험은 결과만 확인하는 실험이었지만, 이런 실험에서는 평소에 궁금해 했던 것을 해 볼 수 있는 기회가 되었고 그래서 탐구를 더 잘 하게 된 것 같아요. (우리들이) 스스로 생각해서 하니까 대조군 설정이나 실험 설계를 잘 할 수 있게 되었어요.
- 면담자: 과학이 어떤 것인지 이해하는 데에는 도움이 되지 않았나요?
- 정 인: ...실험을 하면서 과학에 대해서 생각해보지 않았어요. 하지만 이런 실험을 하면서 과학이 결과 중심으로 이루어지는 딱딱한 것이 아니라 자신의 질문을 해결해가는 융통성 있는 것으로 느껴지게 되었고... 이제는 과학이 결과가 아니라 과정이라고 생각해요... 데이터가 예상과 빗나가는 경우 여러 가지 가능성을 생각하게 되므로 창의성도 필요한 것 같아요.

이러한 답변은 정인이가 자신들의 연구문제로 실험을 설계, 수행하는 경험을 통해 ‘과학의 방법’에 대해 생각해 보았고, 지식체로서의 과학이 아닌 과정으로서의 과학을 이해하기 시작한 것을 보여준다. 그러나 이러한 진술들은 면담과정에서 추가질문을 하고 정인이에게 다시 생각해보게 함으로서 얻어진 것들이다. 따라서 정인이와 같이 수렴적 사고 특성을 갖고 있는 학생들의 경우에는 개방적 참탐구 수행에서도 과학의 본성에 대해 명시적으로 지도할 필요가 있음을 보여준다고 할 수 있겠다.

이상과 같은 정인이의 사례를 통해 수렴적인 사고가

탐구 수행 시 정확한 데이터 수집, 데이터 해석 및 결론 도출에서 핵심적인 사고요소로 작용하지만, 참과학의 인지과정을 통해 경험할 수 있는 다양한 기회를 놓치게 하여 과학의 본성에 대한 이해로 발전하는 것을 저해할 수도 있다는 것을 확인해 주었다.

**4) 재경: 생각이 많고, 확산적 사고 성향을 가진 학생**

재경이는 생각이 많고 질문을 많이 하는 여학생으로 대부분의 질문들이 실험과 관련된 내용을 확장하여 다른 분야로 연결짓는 것들이었다. 개방적 참탐구 수행 후 ‘창의적 특성’을 제외한 과학의 본성 개념에 대해서 학습이 이루어졌다. 다음은 재경이의 보고서<sup>5)</sup>에 기록된 질문의 예시이다.

<실험 1>

- 반투과성 막은 얼마나 큰 물질까지 통과 가능하게 할까?
- 셀로판투브도 인지질처럼 구성되어 있을까?
- 삼투압하고 삼투는 반대의 의미를 띠는 걸까?
- 식물에서 세포벽이 견딜 수 있는 팽압의 크기는 얼마일까?
- 삼투압을 실험으로 볼 수 있는 것처럼 능동수송도 실험으로 알아볼 수 있나?

위 예시 질문들에서 보이는 것처럼 재경이는 실험 수행과 직접적인 관련이 있는 질문보다는 실험내용과 관련하여 좀 더 근본적인 질문들을 많이 하는 편이었다. 이는 재경이의 사고 특성을 나타내는 것으로 면담과정에서 본인 스스로도 이러한 특성에 대해 언급하였다.

재경: 나는 결과와 동떨어진 질문을 많이 하는 편이며 실험과 직접적으로 관련된 것뿐만 아니라 생물과 관련된 이런 저런 것들에 대해 많이 생각하는 편이에요... 실험과 관련해서는 실험을 왜 하는지에 대해, 실험 주제와 관련된 지식에 대하여 질문을 많이 하구요. 특히 우리들이 연구문제를 정해서 실험할 때 질문을 많이 했어요... 하나의 생각에서부터 여러 가지 다른 생각으로 퍼져나가고 그것을 따라가다 보면 실력이 많이 늘 것 같아요.

이러한 진술을 통해 재경이는 탐구를 하는 동안에 확산적 사고를 많이 하며, 자신들의 연구문제로 탐구함으로써 확산적 사고가 더욱 촉진되었음을 알 수 있었다. 특히 실험을 왜 하는지에 대한 질문도 한다는 재경이의 진술은, 학생들이 실험을 수행하면서도 ‘왜’ 하는 지에 대해 생각해보는 경우가 거의 없다는 선행연구

5) ‘용액의 농도’에 따른 삼투현상의 차이를 ‘용액의 질량변화’로 측정 한 실험보고서이다.

결과(Hodson, 1988)와 차이가 나는 것으로, 확산적 사고가 실험에 대한 초인지적 사고로 연결될 수 있음을 보여준다.

재경: 탐구를 하는 동안 실험에 대한 생각을 많이 했어요. 실험이란 무엇인가와 같은... 이런 탐구에서는 변인을 선택하고 실험방법, 결과 해석을 스스로 해야 하잖아요. 늘 그랬던 건 아니지만 내가 지금 뭘 하는지, 실험을 왜 하는지에 대해 생각을 했어요.

이것은 대부분의 학교 실험들이 일차적으로 기술적인 활동 중심으로 이루어지고 있고 초인지적 활동을 할 기회가 제공되지 않는(Hofstein *et al.*, 2005) 것과 달리, 개방적 탐탐구 활동에서는 초인지적 사고의 기회를 제공할 수 있음을 의미한다.

또한 재경이는 개방적 탐탐구를 하면서 자신이 모르는 내용이 나왔을 때 관련된 내용을 조사하게 되었다고 진술하였다.

재경: ...이제까지 해 왔던 실험에서는 실험의 배경지식을 몰라도 찾을 생각을 하지 않았지만, 실험을 이렇게 하면서 관련된 지식을 찾아보게 되었어요. 실험 주제와 관련된 지식을 책이나 인터넷에서 찾아보는 습관이 생긴 것 같아요.

재경이는 개방적 탐탐구 활동 수행에서 과학자들의 실제 탐구에서 이루어지는 ‘다른 연구에 대한 조사’(Chinn & Malhotra, 2002)에 대한 경험을 했으며, 재경이의 확산적 사고 특성이 질문을 하는 것에 그치지 않고 관련된 지식을 찾아보도록 유도한 것으로서 개방적 탐탐구 활동 경험이 재경이의 탐구 수행 태도에 영향을 준 것으로 생각된다. 대부분의 학생들이 실험과 관련된 이론 조사를 하지 않는 것을 고려해 본다면 이런 재경이의 태도는 고무적인 것이며, 단순히 탐구 수행 태도 변화에 그치지 않고 과학의 인식론으로 발전해나갈 가능성이 있다. 과학의 본성에 대한 사후 검사지에서 과학의 추론적 특성에 대한 질문에서 재경이는 전문적인 견해를 분명하게 보여주었다. 다음은 검사지 질문과 재경이의 사후 검사지 답변 내용이다.

질문(추론적 특성): 과학교과서에서 원자는 종종 양성자와 중성자로 구성된 중심의 원자핵과 주변 궤도를 돌고 있는 전자로 구성된다고 표현되어 있다. 과학자들은 원자구조에 대해 어떻게 확신할까? 과학자들이 원자구조를 결정하기 위해 사용했다고 생각되는 것은?  
사후 답변: 일상생활에서 보아왔던 현상들을 이용해

원자구조에 대해 알아보는 실험을 했을 때, 익숙한 현상이 일어나면 그것을 통해서 원자가 어떻게 생겼는지 알 수 있을 것 같다.

이러한 답변은 재경이가 결과 해석 과정에서 이루어지는 유추적 사고를 이해하였음을 보여주고 있으며, 이러한 유추적 사고에 대한 이해는 재경이 자신이 개방적 탐탐구를 수행하면서 실제로 경험했던 것에서 기인한 것으로 확인되었다.

재경: 실험 결과 해석 시 이미 가지고 있던 지식에 비추어 결론내린 적이 있어요. 효소 실험할 때 우리조는 다시마, 고구마, 선인장의 카탈라아제의 양을 비교했잖아요? 사는 환경에 따라 각 식물이 가지고 있는 카탈라아제의 양이 다를 것이라고 생각하였기 때문에 결론을 내릴 수 있었어요. 그래서 과학자들이 연구를 할 때도 이렇게 결론을 내릴 수 있을 것이라고 생각하게 되었어요.

재경: 실험을 하다가 (처음 예상과 다른) 이상한 점을 발견했을 때, 실험 결과를 해석하면서 내가 알고 있던 사실에 비추어 결론을 내린 적이 있어요. 과학자들도 과학적 이론을 만들 때 이렇게 할 것 같아요.

두 번째 진술에서는 재경이가 개방적 탐탐구 활동을 수행하면서 변칙 데이터를 얻는 경험을 하였고, 이러한 변칙 데이터에 대한 해석을 시도하는 과정에서 자신이 갖고 있던 사실과 연결시키는 유추적 사고 과정을 통해 결론을 도출해 내었음을 보여주었다. 이것은 개방적 탐탐구 활동에서 제공할 수 있는 변칙데이터에 대한 경험이 학생들에게 과학자들과 유사한 추론을 경험하게 할 가능성을 보여주는 것으로, 재경이가 과학의 추론적 특성을 이해하고, 이론의존성에 대한 이해로 연결될 가능성을 암시한다. 실제로 재경이의 다음 진술은 관찰의 이론의존성에 대한 이해를 보여주었다.

재경: ...다른 가설을 세우면 그 가설에 합당한 데이터들만을 찾아다니므로 같은 데이터를 가지고도 결론이 다르게 내려질 수 있을 것 같아요.

또한 재경이는 변칙데이터에 대한 경험을 과학의 방법에 대한 이해로도 연결시킨 것으로 보이는데, 다음 진술은 과학에서 종종 일어나는 ‘우연한 발견’에 대해 언급한 것으로 보인다.

재경: 과학은 항상 일정한 방법에 따라 이루어지는 것은 아니라고 생각해요. 다른 실험을 하다가 이상한 점(예상치 못한 점)을 발견하는 경우, 이것은 처음 가설을 세우고 실험하여 얻어진 것이 아니니까요.

재경이는 변칙 데이터에 대한 경험을 통해 과학지식

이 정해진 방법에 따라 수립되는 것뿐만 아니라, 우연한 발견에서 기인할 수도 있다는 생각을 하게 된 것으로 보인다. 실제로 사전검사에서 과학적 방법의 유일성에 대해 기술하였으나 사후에는 전문적 견해로 바뀌었다.

이상과 같은 재경이의 사례는 탐구를 수행하는 동안에 사고를 확산적으로 하는 것이 탐구 수행으로부터 과학의 본성에 대한 이해로 쉽게 연결될 수 있음을 보여준다. 특히 확산적 사고를 통해 결과 해석 단계에서 유추적 사고를 하게 되었고, 이것이 과학의 추론적 특성을 이해하고 나아가 관찰의 이론의존성에 대한 이해를 가능하게 하였음을 확인하였다.

#### IV. 결론 및 논의

개방적 참담구 활동 수행이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 어떻게 영향을 미치는지 알아보기 위하여 4명의 초점학생들을 대상으로 사례연구를 실시한 결과 다음과 같은 사실들을 발견할 수 있었다.

##### 1) 개방적 참담구 활동에서 과학의 본성 학습에 관련된 요인

개방적 참담구 활동에서 제공하는 참과학의 인지과정 가운데 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 직접적으로 영향을 미치는 두 가지 요인을 확인할 수 있었다.

첫째, 자신들이 실험을 설계했던 경험이 학생들에게 ‘과학적 방법’을 이해하고 ‘연구의 다양한 형태’를 이해하는데 도움이 되었다. 실험을 설계하고 수행하는 동안에 학생들은 변인에 대한 이해, 실험군·대조군·변인통제 등 과학의 방법과 관련된 측면을 이해하게 되었고, 연구가 한 가지 형태로만 이루어지는 것이 아니라 다양한 유형이 있다는 것을 생각해 보게 된 것을 확인하였다. 둘째, 학생들은 자신들의 연구문제로 정해진 답이 없는 탐구를 하면서 과학의 ‘추론적 특성’과 ‘창의성’을 이해하게 되었다. 학생들은 자신들의 데이터를 해석하는 과정에서 창의성이 동반되는 추론을 경험하였고(Lederman *et al.*, 2002), 특히 변칙 데이터를 처리한 경험으로부터 과학의 추론적 특성과 창의성에 대한 이해로 발전하는 것을 알 수 있었다. 또한 예상과 다른 결과에 대해 오차분석을 하면서 반복실험의 필요성을 느꼈다는 답변과 과학에서의 우연한 발견에 대해 생각해보게 되었다는 답변을 통해, 과학적 방법에 대한 이해로 발전하게 될 가능성도 확인하였다.

##### 2) 과학의 본성에 대한 이해에 관련된 학생들의 인지적 요인

초점학생들이 제시한 질문을 통해 드러난 학생들의 인지적 특성과 과학의 본성에 대한 학습과의 관련성에 대해 살펴본 결과 두 가지 특징이 발견되었다.

첫째, 반성적으로 사고하는 것이 탐구를 수행하고 과학의 본성을 이해하는데 중요한 요소가 됨을 확인할 수 있었다(Chin & Brown, 2002). 초점학생 가운데 생물학적 내용지식을 많이 가지고 있었던 두 학생의 사례(승훈이와 의준)에서 둘 다 질문의 빈도가 높은 편이었지만 개방적 참담구 활동 후 과학의 본성에 대한 이해도에서는 차이를 보였다. 반성적 사고특성을 나타낸 승훈이만 과학의 본성에 대한 이해도가 향상되었다. 반성적 사고는 자신들의 아이디어에 대해 보다 더 비판적으로 생각하게 하고(Barron *et al.*, 1998), 탐구를 수행하는 동안에 자신들이 설계·수행하는 실험에 대하여 인과적인 설명을 요구하는 질문을 더 많이 하게 하여, 보다 체계적인 실험과 정확한 분석을 하도록 한 것으로 보인다(Dunbar, 1993). 이러한 반성적 사고는 탐구수행으로부터 과학의 본성에 대한 이해로 발전시켜 나가는 데에도 중요한 역할을 하는 것을 확인하였다. 반면에 의준이는 탐구를 잘 수행해 내지 못하였으며 과학의 본성에 대한 이해에도 대부분 실패하였다. 이것은 내용지식이 많아도 지식이 탐구 수행에 바로 연결되는 것이 아니며, 반성적 사고를 통해 실험과 관련된 내용을 체계화하고 의미있는 질문들로 재구성되는 과정을 거쳐야함을 의미한다. 둘째, 확산적 사고를 하는 것이 참과학의 인지과정 경험으로부터 과학의 본성에 대한 이해로 발전해 가는데 도움이 됨을 확인하였다. 확산적 사고 질문과 수렴적 사고 질문으로 대비되는 재경이와 정인이의 경우에 탐구 활동 수행 후 과학의 본성에 대한 이해에서 차이가 나타났다. 확산적 사고 특성을 가진 재경이는 사후에 창의성 항목을 제외한 나머지 항목에서 전문적 견해를 가지게 되었는데, 이것은 탐구를 수행하는 동안 자신이 알고 있는 지식을 다른 여러 분야에 연결시키려는 사고가 더욱 촉진된 것과 관련이 있는 것을 확인할 수 있었다. 변칙데이터를 얻었을 때에도 유추적 사고를 통해 데이터를 해석하였고, 이러한 경험이 과학의 추론적 특성, 이론의존성을 이해하게 하는 등 과학의 본성에 대한 이해를 하는데 확산적 사고가 중요한 역할을 하였음을 보여주었다. 반면에 수렴적 사고특성을 보인 정인이의 경우에는 탐구 수행은 성공적으로 해내었지만 과학의 본성에 대한 이해로 발전되지는 못하였다. 이것은 수렴적 사고가 과학

적 활동의 중요한 요소로서 주어진 탐구 과제는 잘 수행해낼 수 있게 하지만, 탐구 수행이 곧바로 과학의 인식론으로 연결되는 것은 쉽지 않다는 것을 보여준다.

### 3) 참과학의 인지과정 수행 경험에 따른 정의적 측면의 효과

참과학의 인지과정 경험이 탐구 수행과 과학의 본성에 대한 이해뿐만 아니라 학생들의 정의적 측면에도 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 개방적 참탐구 활동에서는 자신들이 알고 싶은 것을 발견하는 방법에 대해 생각해볼 기회를 가지면서 탐구에 더욱 흥미를 느끼게 하고, 창의적인 정보수집과 데이터 수집, 여러 가지 형태의 탐구를 추구하는 등 학생들에게 탐구에 대한 동기를 유발한 것으로 보인다. 또한 학생들에게 과학에 대해 생각해 보고, 미래 과학자로서의 자신의 모습에 대해 생각해 보는 계기가 되기도 한다는 것을 확인하였다. 탐구를 수행하면서 자신들의 진로를 생각해 보게 하는 것은 실제적으로 학생들에게 진로선택과 관련하여 큰 의의가 있다고 할 수 있으므로 (Woolnough, 2000), 개방적 참탐구 활동이 탐구 수행 및 과학의 인식론과 관련된 측면에 더해 학생들에게 부가적인 효과를 가져다준다고 할 수 있겠다.

이 연구는 과학고등학교 학생들을 대상으로 이루어졌으며, 과학의 본성에 대한 이해는 장기적으로 변화가 이루어지는 것이므로 제한점이 있을 수 있다. 그러나 본 연구 결과로부터 학생들의 과학의 본성에 대한 지도와 관련하여 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 첫째, 탐구 수행을 통한 과학의 본성에 대한 학습의 가능성을 확인하였으므로, 적절한 탐구 주제 및 소재를 모색하여 학생들이 자신들의 연구문제를 설정하는데 쉽게 접근할 수 있고 사고를 촉진하는 탐구 프로그램을 개발할 필요가 있다. 둘째, 반성적 사고, 확산적 사고와 같은 학생들의 인지적 특성이 탐구수행으로부터 과학의 본성에 대한 이해로 발전하는데 중요한 역할을 하는 것으로 확인되었으므로, 탐구 과정에서 이러한 사고를 촉진시키기 위한 교수전략을 개발하는 것이 필요하다. 셋째, 학생들이 자신들의 탐구 수행으로부터 과학의 본성과 관련지을 수 있도록 하는 세부적인 교수 전략 개발이 필요하다.

### 국문 요약

이 연구에서는 학생들이 개방적 참탐구 활동에서 참

과학의 인지과정을 경험함에 따라 과학의 본성에 대한 이해에 영향을 미치는 요인을 알아보고자 하였다. 과학 고등학교 1학년 학생들에게 인식론적으로 참과학의 특성을 반영하는 개방적 참탐구 활동을 수행하도록 하고, 이들 학생들 가운데 과학의 본성에 대한 학습이 이루어지지거나 실패한 4명의 학생들을 선정하여 사례연구를 실시하였다. 초점 학생들이 탐구를 수행하면서 제기한 질문들과 사전·사후 과학의 본성 검사지(VNOS-C형) 답변을 분석하고 반구조화된 면담을 통해 답변을 정교화할 수 있는 기회를 제공하였다. 그 결과 개방적 참탐구 활동은 학생들에게 과학의 본성에 대한 이해를 돕는 탐구 상황을 제공한다는 것과 학생들의 인지적 특성이 과학의 본성에 대한 이해에 영향을 미치는 것을 발견하였다. 학생들에게 실험을 설계하고 수행하도록 함으로써 과학적 방법과 연구의 다양한 형태에 대해 이해하게 되었고, 정해진 답이 없는 실험에서 얻어진 데이터로부터 결론을 도출해내는 과정에서 과학의 추론적 특성을 경험하는 것을 확인하였다. 또한 변칙데이터를 경험하게 됨으로써 과학지식의 형성에서 추론의 역할과 창의성을 이해하는데 도움이 되었다. 이러한 탐구 상황에서는 동료들과 논의를 많이 하게 되는데 이때 반성적 사고 특성을 가진 학생은 실험 설계 및 데이터 해석에서의 타당성에 대해 생각하게 됨으로써 추론의 불확실성, 이론의존성에 대한 이해로 발전하였다. 또한 확산적인 사고 특성을 가진 학생은 유추적인 사고로 연결되어 과학의 창의성을 이해하는 데에 도움이 되는 것을 확인하였다.

### 참고 문헌

김미경, 김희백 (2007). 고등학교 생물 교과의 개방적 참탐구 활동 프로그램 개발 및 적용. 한국생물교육학회지, 35(4), 521-535.

박종원 (2004). 과학적 창의성 모델의 제안 - 인지적 측면을 중심으로. 한국과학교육학회지, 24(2), 375-386.

American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1993). Benchmarks for science literacy. New York: Oxford University Press.

Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. Science Education, 82(4), 417-436.

Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N. G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical view of the literature. International Journal of Science Education, 22(7), 665-701.

Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F. & Lederman, N.

- G. (2000). Influence of a reflective explicit activity-based approach on elementary teachers' conception of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295-317.
- Akerson, V. L. & Hanuscin, D. L. (2007). Teaching nature of science through inquiry: Results of a 3-year professional development program. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(5), 653-680.
- Barron, B., Schwartz, D., Vye, N., Moore, A., Petrosino, A., Zech, L., Bransford, D., & The Cognition and technology Group at Vanderbilt. (1998). Doing with understanding: Lessons from research on problem-and project-based learning. *The Journal of The Learning Science*, 7(3&4), 271-311.
- Bell, R., Blair, L. M., Crawford, N. A. & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on high school students' understandings of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-507.
- Chin, C., Brown, D. E. & Bruce, B. C. (2002). Student-generating questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- Chin, C. & Chia, L. (2006). Problem-based learning: Using ill-structured problems in biology project work. *Science Education*, 90(1), 44-67.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in scientific domain. *Cognitive Science*, 17(3), 397-434.
- Griffith, A. K. & Barry, M. (1993) High school students' view about the nature of science. *School Science and Mathematics*, 93(1), 35-37.
- Hodson, D. (1988). Toward a philosophically more valid science curriculum. *Science Education*, 72(1), 19-40.
- Hofstein, A., Navon, O., Kipnis, M. & Mamlok-Naaman, R. (2005). Developing students' ability to ask more and better questions resulting from inquiry-type chemistry laboratories. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(7), 791-806.
- Khishfe, R. & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction of sixth grader's views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- Khishfe, R. & Lederman, N. (2006). Teaching nature of science within a controversial topic: Integrated versus nonintegrated. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 395-418.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (1999). Teacher's understanding of the nature of science and classroom practice: Factors that facilitate or impede the relationship. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(8), 916-929.
- Lederman, N. G., Adb-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lederman, N. G. & O'malley, M. (1990). Students' perceptions of tentativeness in science: Development, use, and sources of change. *Science Education*, 74(2), 225-239.
- McComas, W. F., Clough, M. P., & Almazroa, H. (1998). The role and character of the nature of science in science education. In W. McComas (Ed.), *The nature of science education* (pp. 3-39). Los Angeles: Kluwer Academic Publishers.
- Merriam, S. B. (2005). *정성연구방법론과 사례연구* (강윤수 등 역). 서울: 교우사 (원저 1998 출판).
- Meichtry, Y. J. (1992). Influencing student understanding of the nature of science: Data from a Case of Curriculum Development. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 389-407.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.
- Patton, M. Q. (1990). *Designing qualitative studies. Qualitative evaluation and research methods*. 2nd ed (pp. 145-198). Newbury Park, CA: SAGE.
- Roychoudhury, A. & Roth, W. (1996). Interactions in an open-inquiry physics laboratory. *International Journal of Science Education*, 18(4), 423-445.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645.
- Treffinger, D. J., Isaksen, S. G., & Dorval, K. B. (2004). *창의적 문제해결* (김영채 역). 서울: 박영사 (원저 2000 출판).
- Woolnough, B. E. (2000). *Authentic science in School? - an evidence-based rational*. *Physics Education*, 35(4), 2000.