



## 중학생의 “과학자 되어보기” 멘토-멘티 프로그램 참여를 통한 과정으로서 과학의 본성 학습 경험

정찬미, 신동희\*  
이화여자대학교

### The Learning Experience of 7<sup>th</sup> Graders on NOS (Nature of Science) as a Process in Research-Based “Becoming a Scientist” Mentor-mentee Program

Chan-Mi Jung, Dong-Hee Shin\*  
Ewha Womans University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 25 June 2015

Received in revised form

7 July 2015

11 August 2015

Accepted 13 August 2015

##### Keywords:

mentor-mentee program,  
authentic research-based  
program,  
nature of science,  
implicit

#### ABSTRACT

This study is a case study examining how research-based ‘authentic’ science education program contextually facilitates students’ learning on NOS as a process. We developed ‘Becoming a Scientist’ mentor-mentee program and applied it to six Korean 7th graders for 8 months. A mentor, who is also a researcher, provided scaffolding and coaching, and her mentees were to perform the whole process of science research, including selecting the research subject and questions, planning research design, doing experiments, collecting and analysing data, writing research paper, and experiencing poster presentation at an academic conference. The research questions are 1) What would the students experience at every step of their research process?, and 2) Which perceptions would they construct NOS as a process? Data include classroom observations, interview, mentor’s journal, and students’ learning products. The results show that the mentees have experienced their views of NOS as a process in various ways such as role of research question and purpose, validity of measured value, researcher’s subjectivity in interpreting data, experience of making public and peer review, and significance of academic conference. This study has shown that students’ actual experience in scientific research enhanced their views about NOS as process without explicit and reflective approaches. We defined ‘authenticity’ associated with not only with its similarity to what scientists do but to learner’s identity as scientific researcher. Based on the situated learning theory, this study sheds light on the necessity of reconsideration about the meaning of authenticity and embodying authentic context in science education for better NOS learning.

## 1. 서론

학교 과학은 전통적으로 학습자가 정립된(established) 과학 지식을 이해하고 암기하여 높은 과학 성취도 점수를 획득하는 것을 학습에서의 성공으로 여겨 왔다. 그러나 학습을 문화화로 간주하는 상황학습론자들은 이러한 학교 과학 문화가 자연 세계에 대한 새로운 지식 생성 및 지속되는 문제 해결을 목적으로 하는 실제 과학 문화와 차이가 있음을 지적하며, 그 격차를 감소시킬 것을 요구해왔다(Sadler, 2009). 학교 과학 문화는 실제 과학 문화와 유사하도록, 즉 실제성(authenticity)을 증가시키는 방향으로 나아가야 한다는 것이다.

과학 교육에서 실제성 증가의 잠재적 유익은 명백하다. 학생들이 적극적인 학습자가 되도록 하여 그들이 유의미한 맥락에서 과학지식을 얻게 할 뿐 아니라, 탐구와 의사소통 방식을 발달시킴으로써 효과적인 평생 학습자가 되도록 돕는다(Edelson, 1998). 또한 실제적(authentic) 과학 교육은 현대 과학 교육의 목적인 과학적 소양인, 즉 일상생활에서 직면하는 문제를 해결하기 위하여 과학의 개념, 과정, 기능 및 가치를 사용하는 유능한 현대 시민을 양성한다는 점에서도

(NSTA, 1971) 의미가 있다.

이에 따라 최근 20여년 간 과학 교육에서 실제성을 실현하고자 다양한 측면에서 논의해 왔다(Sadler *et al.*, 2010). 그 중 대표적인 접근은 실제성을 과학자의 실제 세계와 상응하는 것으로 보고, 과학자의 실제 세계 혹은 그와 유사한 학습 환경인 과학 연구 환경을 제공하는 것이다(Barab & Hay, 2001). 이러한 연구 기반 교육은 대개 실험실 혹은 현장에서의 직접적인 도제 학습(apprenticeship learning)의 형태로 이루어진다. 도제 학습 프로그램의 주요 목표 중 하나는 고등학생들에게 실제적 과학 연구 경험을 제공함으로써 그들이 과학 진로와 관련해 결정할 때 도움을 주는 것이다(Bell, Crawford, & Lederman, 2003). 국내에서는 이러한 형태를 주로 ‘사사 교육’이라고 명명하며, 대표적으로 고등학생 영재를 대상으로 한 R&E(Research and Education: 연구를 통한 교육) 프로그램이 2003년부터 운영되어 왔다(Kim & Sim, 2008). 이렇듯 학습자를 과학자의 실제 세계, 즉 연구 상황에 위치시키고자 하는 노력은 교수의 강조점이 결과로서의 과학에서 과정으로서의 과학으로 이동한 것과도 맥을 같이 한다. 과학을 최종적 지식체로서가 아니라 인간적 노력으로 보는 과학철학 관점의 이동에 따라

\* 교신저자 : 신동희 (donghee@ewha.ac.kr)  
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.4.0629

(Schwartz & Crawford, 2004), 과학 교육에서도 학습 내용으로서 이미 형성된 과학 지식뿐만 아니라 과학 지식을 형성하는 과정을 포함하게 된 것이다.

과학 교육에서 실제성 증가의 필요성은 종종 과학의 인식론적 측면인 과학의 본성(nature of science: NOS) 학습과 연관되어 왔다. NOS에 대한 본격적인 관심은 1980년대 후반 이후 미국 과학 교육 개혁의 흐름과 함께 높아졌으며, 국내외에서 관련 연구가 꾸준히 수행되어 왔다. 국내외의 교사, 예비 교사 및 학생의 NOS 인식 조사 연구에 따르면, 대상에 관계없이 이들의 NOS 인식이 일관되지 않고 고전적 관점과 현대적 관점이 혼재되는 경향을 보였다(Lederman, 1992; Kim, 2008). 과학 교육 과정에서의 NOS 학습 목표와 벗어난 이들의 ‘순진한(naive)’ 혹은 ‘혼재된(mixed)’ NOS 인식 및 오개념의 원인으로서는(Lederman *et al.*, 2002), 적어도 부분적으로 학습자가 실제적 과학 맥락(authentic scientific context)에 노출되거나 과학적 연구를 수행하는 경험의 부족 때문이라는 지적이 제기되었다(Schwartz & Crawford, 2004). 이러한 원인 분석에 따라 학생들이 과학의 본성에 대한 현대적 관점을 구성하도록 하기 위하여, 학생들이 과학 탐구 활동을 수행하도록 하거나 실제 과학 연구에 참여하도록 하는 두 갈래의 시도가 있어 왔다.

탐구 활동 기반 접근에서는 2000년대 초반부터 학습자의 NOS 개념을 향상시키는 데 암묵적(implicit) 접근보다 명시적(explicit) 접근이 보다 효과적이라는 결과가 주로 보고되며(Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002), 과학하기(‘doing science’) 그 자체보다 ‘반성(reflection)’이 강조되는 NOS의 명시적, 반성적 접근이 강조되어 왔다. 이러한 흐름을 반영해 국내에서도 명시적, 반성적 탐구 프로그램이 개발 및 적용되어 왔는데, NOS 혹은 과학 탐구의 본성의 하위 영역 중 일부만 제한적으로 향상된 결과를 나타냈다(Do, Hwang & Park, 2009; Park & Hong, 2010; Han, Yang & Noh, 2013). 이러한 결과는 탐구 활동의 주제와 방법이 이미 결정되어 있는 등 과정으로서의 과학을 지나치게 단순화한 탐구 활동은 명시적, 반성적 접근에도 불구하고 학습자의 NOS 인식 정교화를 유도하지 못함을 의미한다. 즉, NOS 인식 향상을 위해서는 단순한 탐구 활동 이상으로 자연 세계에 대한 지식 주장(knowledge claims)을 구성하고 이것을 비평적 관점을 가진 공동체에서 방어(defense)하는 것을 포함하는 등 실제적 과학 문화 체험 기회를 제공할 필요성(O'Neill & Polman, 2004)을 함의한다.

연구 기반 접근을 위한 교수 설계는 크게 시뮬레이션(simulation) 모형과 참여(participation) 모형 등 두 유형으로 분류할 수 있다(Barab & Hay, 2001). 시뮬레이션 모형은 교실 활동의 부분으로서 교육자가 학생 스스로 연구의 소유권을 가지고 처음부터 끝까지 연구 활동을 할 수 있도록 지원함으로써 학생 스스로 ‘과학하기’에 대한 이해를 구성하도록 하는 것이다. 반면 참여 모형은 과학자들의 연구실 또는 현장에서 학생들이 기존에 진행되고 있던 연구에 참가하여 과학 공동체의 실천을 모방하고 내면화함으로써 ‘과학하기’에 대한 이해를 구성하는 것으로 대표적으로 도제 학습의 형태가 있다. 상황학습론에 따르면, 과학 연구를 경험한 학습자는 그 맥락에서 과정으로서의 과학에 대한 나름의 인식을 구성하게 된다. 즉 연구 기반 교육은 직관적으로 참여 학생이 과정으로서 과학의 본성을 학습하게 할 것이라는 기대를 갖게 한다. 그러나 과학 연구 경험으로부터 특정한 NOS 인식 변화를

조사한 연구는 국외에서도 상대적으로 많지 않았고(Schwartz, Lederman & Crawford, 2004), 국내에서는 거의 부재하다. 특히 시뮬레이션 모형은 참여 모형에 비해 선호되지 않아 NOS 관련 선행 연구가 거의 없는 실정이다.

과학 연구 도제 학습, 즉 참여 모형에 대한 문헌 분석을 한 Sadler *et al.* (2010)에 따르면 NOS와 관련된 결과를 언급한 20개의 연구 중 명시적 접근을 택한 것은 단 하나였으며, 나머지 연구는 모두 암묵적 접근을 취했다. 명시적 접근은 의도된(targeted) 교수와 학습자 반성을 통해 학습자가 정교화된(sophisticated) NOS 인식으로의 발전을 돕는 것을 의미하며, 이와 대조적으로 암묵적 접근은 의도된 NOS 주제의 학습을 위해 교수가 연구 내의 경험을 특별히 계획하지 않는 것을 의미한다. 암묵적 접근을 취한 연구 중 대부분은 과학 연구의 복잡성과 불확실성, 정확하고 유용한 자료의 중요성, 또는 과학의 사회적 본성 등 과학의 본성 중 일부에 대한 이해를 증진했다고 보고했다(Hunter, Laursen & Seymour, 2007; Ryder, Leach & Driver, 1999; Richmond & Kurth, 1999). 반면, 암묵적 접근을 사용한 Bell *et al.* (2003)은 대부분의 참여 학생이 NOS에 대한 이해에서 매우 제한된 변화를 보였다는 결과를 제시했다. Bell *et al.* (2003)은 또한 스스로 적극적 반성 활동을 했던 단 한명의 학생이 예외적으로 눈에 띄는 NOS 이해에서의 향상을 가져왔음을 보고하며, 반성을 강조한 명시적 NOS 교수의 필요성을 제기했다. 이에 따라 Schwartz, Lederman & Crawford (2004)은 과학 연구 도제에서 NOS에 대해 다루는 반성적 저널 쓰기 및 세미나를 활용한 명시적 접근을 했으며, 그 결과 대부분의 참여자가 전반적 NOS 인식 발달을 이루었다고 밝혔다. 그러나 과학 연구 도제에서 명시적 접근 사례는 단 1건 뿐이므로, 암묵적 접근에 비해 NOS 학습에서 더 효과적이라고 일반화할 수는 없다.

NOS가 과학을 수행하는데 있어서 반드시 획득되어야 할 인지적 산출물로 인식되기 시작하면서, NOS에 대한 이해가 의도적으로 목표화되고 NOS 교수 학습이 철저히 계획되어야 한다는 명시적 접근법이 대두되어 왔다(Park & Hong, 2010). 그런데 실험 및 탐구 활동 또는 과학사를 활용한 경우에는 명시적 접근이 암묵적 접근보다 효과적이라는 데 비교적 일치된 결과를 나타내고 있지만, 연구 기반 교육의 경우에는 명시적 접근과 암묵적 접근의 효과 차이에 대한 논란이 아직 진행 중이다. 이것은 실제적 과학 문화를 경험할 수 있는 환경에서는 명시적이지 않더라도 학습자가 능동적으로 NOS 인식을 구성할 수 있는 가능성이 있음을 의미한다. 따라서 본 연구는 NOS와 관련된 의도적 토론, 반성, 특정 질문 등을 계획하지 않은 암묵적 과학 연구 프로그램 “과학자 되어보기 프로젝트”에 학습자를 참여시킴으로써 실제성의 증가가 NOS 학습에 미치는 영향을 탐색하고자 한다. 특히, 과학 연구 경험을 바탕으로 과정으로서의 과학에 대한 어떠한 관점을 구성하는지를, 그러한 NOS 학습을 가능하게 한 맥락과 함께 상세히 살펴보고자 한다. 맥락과 NOS 학습 내용을 관련짓는 것은 이후 실제적 과학 연구 프로그램에 명시적 접근을 사용할 경우, 특정 학습 상황에서 NOS와 관련된 어떠한 토론, 반성, 질문 등을 의도적으로 계획해야 할지에 대한 시사점을 제공할 수 있다. 또한 학생들의 연구 진행 맥락에 따른 귀납적 분석은 기존의 검사들에 포함되지 않은 과정으로서 과학의 영역에서의 인식 변화 또한 찾아낼 수 있다는 장점도 있다.

또한 본 연구에서는 과학 연구 프로그램의 설계에서 그 동안 NOS 향상을 위한 설계로서 활용도가 참여 모형보다 현저하게 낮았던 시뮬

Table 1. Outline of ‘Becoming scientists’ mentor-mentee program

Lesson	Date	Subject	Method & Contents
Day1	17.May.	Environmental educator’s lecture	[lec] The importance of selecting subject of research (by expert) [dis] What subject of research I want to study?
Day2	24.May.	Selecting research theme	[dis] Determining common subject of research: Soil remediation
Day3	31.May.	Establishing research plan (1)	[inv&pre] How to purify contaminated soil? [dis] Generating research hypothesis
Day4	14.Jun.	Establishing research plan (2)	[inv&pre] Literature survey about soil remediation: source of soil pollution, tools for soil remediation [dis] Modification of research theme: The impact of soil contamination on plant growth
Day5	21.Jun.	Establishing research plan (3)	[lec] The process of hypothetical deductive inquiry [dis] Generating research hypothesis [dis] Designing pre-experiment: Selecting test subject plant(Radish), Considering control variables
Day6	12.Jul.	Pre-experiment (1)	[act] Observing radish seeds & Planting seeds [lec] How to raise radish [dis] Designing experiment: Kind of pollutant, frequency and amount of watering [act] Doing pre-experiment at each students’ home
Day7	26.Jul.	Pre-experiment (2)	[dis] Sharing students’own experience of pre-experiment [dis] How to modify their experimental design [dis] Dividing of roles for writing observation record
Day8	23.Aug.	Performing main experiment & Collecting data (1)	[Inv&pre] Literature survey about each pollutant’s impact on plant & Sharing results of investigation [act] Planting radish seeds in new pots
Day9	30.Aug.	Performing main experiment & Collecting data (2)	[act] Thinning out seedlings [dis] Refining experimental design: Amount of pollutant input [dis] How to write observation record & How to water
Day10	20.Sep.	Performing main experiment & Collecting data (3)	[eva] Interim evaluation of each students’ meta-cognition of research process [dis] Sharing difficulties in doing experiment
Day11	04.Oct.	Performing main experiment & Collecting data (4) / Planning additional experiment	[dis] Comparing radishes’ growth in each experimental group with their growth in control group [act] Setting additional experiment: germination test
Day12	06.Oct.	Performing main experiment & Collecting data (5) / Performing additional experiment & Collecting data	[act] Counting the number of germinating seeds in each group & Measuring the total length of radishes in additional experiment [dis] Comparing expected result with actual result in additional experiment
Day13	18.Oct.	Performing main experiment & Collecting data (6)	[dis] Bringing about an agreement to how to measure each element of radish [act] Collecting final data in main experiment
Day14	25.Oct.	Writing research paper (1)	[lec] What is academic activity? [dis] How to make outlines of research paper for submission to academic conference
Day15	01.Nov.	Writing research paper (2)	[act] Transforming data & Analyzing data [dis] How to interpret the data with error & How to revise them
Day16	09.Nov.	Writing research paper (3)	[dis] How to draw conclusions to be suitable for research purpose [act] Writing results of each experimental group comparing with control group
Day17	15.Nov.	Writing research paper (4)	[inv] Interpreting results of each experimental group relating to preceding research & Assuming the cause of results
Day18	22.Nov.	Writing research paper (5)	[act] Writing methods, results, and conclusion of research [act] Submitting completed research paper
Day19	13.Dec.	Preparing poster presentation (1)	[dis] Which contents should be included in a poster for presentation [act] Making poster for presentation
Day20	18.Dec.	Preparing poster presentation (2)	[pre] Practicing how to explain contents of research in 2 minutes
Day21	19.Dec.	Preparing poster presentation (3)	[pre] Preparing for expected questions
Day22	20.Dec.	Attending the conference	[act] Experiencing the academic conference & Doing poster presentation at academic conference [dis] Sharing impression, feelings, and ideas after attending the conference

\*Note: lec(lecture), dis(discussion), inv(investigation), presentation(pre), act(activity), eva(evaluation)

레이션 모형을 활용하고자 한다. 참여 모형은 실제 과학 수행이 수행되는 환경에서 과학자와 상호작용함으로써 보다 ‘실제적’인 과학 문화를 체험하도록 한다는 장점이 있을 수 있으나, 도제 학습에서 멘토 과학자는 교육이 아닌 연구가 업무이기 때문에 학습자의 수준에 맞춘 지도를 제공하는 데 어려움을 겪을 가능성이 크다. 따라서 실제 연구실에서의 도제 학습은 비영재 및 저학년 학생에게 적합하지 않을 수 있다. 이러한 문제 인식으로부터, 본 연구는 실제적 과학 연구 환경 설계 시, 비영재인 저학년 학생을 위하여 시뮬레이션 모형을 기반으로 하여 참

여 모형을 일부 혼합할 것이다. 이를 통해 NOS 학습을 위한 실제적 연구 환경 설계로서 시뮬레이션 모형의 활용 가능성 및 적합성을 밝히고자 한다.

정리하면, 본 연구의 목적은 과학의 본성을 명시하지 않은 시뮬레이션 모형 기반 과학 연구 프로그램이 ‘과정으로서 NOS’ 학습을 촉진할 수 있는지 그 가능성을 밝히는 것이다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1) 암묵적 과학 연구 프로그램의 참여자는 연구 단계별 학습 상황에

Table 2. Characteristics of participants

학생	성별	성격과 학습 특성	진로 계획 (사후 면담 당시)	과학탐구 대회 참여 경험 (사전 조사)
S1	남	영리하며 집중력이 높고 조용하다. 토의나 논의에서 잘못된 부분은 짚어내지만, 자신의 의견을 개진하는 편은 아니다. 숙제를 미리 못했으면 밤을 새워서라도 하는 등 성실하고 책임감이 있다. 또래 남자 아이들과 종종 장난을 치다 갈등이 발생하는데, 주도적으로 해결하지는 못한다.	어렸을 때부터 과학자가 되고 싶었다. ‘과학자를 하다가 죽더라도’ 과학자가 되고 싶다.	있음 (여러 번)
S2	여	전형적인 모범생으로, 이해력이 뛰어나고 수업의 맥락을 잘 짚고, 대화에서 당면한 문제의 핵심을 잘 파악한다. 정직하고 성실히 수업과 과제를 수행한다. 수업 논의 과정에 적극적으로 참여하여 의견을 주장하거나 수용한다. 원만한 성격으로 대인 관계가 좋다.	솔직히 말하면 구체적인 꿈은 없다. 장래 희망을 적으라고 하면, (과학을 좋아하기 때문에) 과학 선생님이나 과학자를 쓴다.	있음
S3	남	토양 정화 연구를 처음 제안했고 환경에 관심이 많다. 진지한 태도로 수업 및 토의과정에 참여하며 다른 사람의 이야기를 주의 깊게 듣는다. 과제 수행 결과가 아주 뛰어난 편은 아니지만, 모르는 부분에 대하여 솔직하고 용기 있게 질문하는 등 학습과 이해에 대한 열의가 있다. 대인 관계를 원만하게 잘 하며, 어른스럽다.	꿈이 자주 바뀐다. 사법고시나 행정고시에 합격하고 싶다.	없음
S4	남	지질학자를 꿈꾸고 있고 과학에 대한 흥미가 높다. 좋아하는 활동에 열정적으로 참여하며, 학교 성적은 관심 밖이다. 호기심이 많고 기발한 아이디어를 종종 제시한다. 말이 많고 활동적이나 산만하고 섬세함이나 성실성은 부족하다. 친구들과 잘 지내지만 경쟁 능력이 부족하고 때로 분위기 파악을 잘 못한다.	어렸을 때부터 꾸준히 지질학자가 되고 싶었다. 전국에 지질학 과가 있는 대학교 명단까지 알고 있다.	있음 (여러 번)
S5	여	수업 참여나 과제 수행에 열심이다. 학습 능력이 뛰어난 편은 아니나 성실하고 섬세한 편이다. 진지하게 교사와 친구들의 말을 듣고 있다가 적당한 때에 자신의 생각을 이야기한다. 동성 및 이성 친구들과 무난하게 잘 지내며 친구들을 자주 칭찬하고 격려한다.	얼마 전까지는 패션 디자이너였는데 바리스타로 바뀌었다. 과학이 어려워서 과학 관련 진로는 꿈꾸지 않는다.	없음
S6	여	아는 것이 많고 글을 읽고 해석하는 능력이 뛰어나다. 논의에 열심히 참여하고 고집이 있어 자신의 의견을 끝까지 주장한다. 말이 빠르고 발음이 부정확하여 전달이 어려울 때가 있다. 성실함이 부족하여 과제 제출율은 매우 낮다. hands-on-activity를 하는 것을 별로 좋아하지 않는다. 사회적 상호작용에서 공격적인 모습을 보일 때가 있다.	-	없음

서 무엇을 경험하는가?

2) 암묵적 과학 연구 프로그램에 참여한 학생은 각 학습 상황에서 ‘과정으로서 NOS’에 대해 어떤 관점을 구성하는가?

## II. 연구 방법

본 연구는 실제 상황에 대한 심층적 이해를 추구하는 사례연구(Yin, 2009)로, ‘과학자 되어보기 프로젝트’ 프로그램을 개발하고 실행하여 학생들이 실제적 맥락에서 과학 연구를 실행하며 어떠한 NOS 관점을 학습했는지, 그리고 그 관점을 학습하게 된 상황은 무엇인지 분석했다.

### 1. 프로그램 개발

학생들을 과학자의 연구 활동이라는 실제적 맥락에 참여시키기 위하여 ‘과학자 되어보기’ 프로젝트를 개발했다. 이 프로그램은 중학교 1학년이라는 학생의 특성과 수준에 따라, 실제적 과학 학습 환경을 수립하기 위한 두 가지 모형인 시뮬레이션 모형과 참여 모형을 혼합하여 개발했다(Barab & Hay, 2001). 이 프로그램에서는 학생들이 연구 문제 선정에서부터 연구 설계, 자료 수집과 분석, 논문 작성과 발표까지 과학 탐구의 전 과정을 수행한다. 탐구 과정은 실제 과학자가 하는 맥락 그대로가 아니라, 교사가 중학교 1학년생의 인지적, 수행적 수준에 맞추어 단순하지만 과학적 탐구의 본질과 핵심을 드러낼 수 있도록 구성한 맥락에서 진행되었다. 다만, 일반적인 시뮬레이션 모형과는 다르게, 학교 밖 공동체(토요 과학교실)에서 수행되었다. 일반적 참여 모형과도 다르게 이 공동체에서는 과학자가 아닌 과학 교육 연구자가 멘토 역할을 하며 학생에게 비계(scaffolding)와 지침(coaching)을 제공했다. 프로그램의 개요는 Table 1과 같다.

## 2. 연구 상황 및 연구 참여자

개발된 프로그램은 서울 소재 대학교에서 운영하는 중학생 대상 토요 과학교실의 주제별 4개 멘토-멘티 프로그램 중 하나인 “학회에서 발표하기-토양 연구”에 적용되었다. 이 프로그램은 2014년 5월부터 12월, 토요일 오후 시간 위주로 22회 동안 적용되었다. 이 과학 교실 재학생들은 모두 중학교 1학년생으로, 적극적으로 지원 의사를 밝혔으며 전반적으로 과학에 흥미가 많았다. 연구 참여자는 과학교실 재학생 22명 중 자발적으로 “학회에서 발표하기-토양 연구” 멘토-멘티 프로그램에 지원한 6명이며, 이 중 출석률 90% 이상인 5명의 학생을 분석 대상으로 했다. 참여 학생의 성격과 학습 특성, 진로 계획, 사전 과학 탐구 대회 참여 경험 등은 Table 2와 같다.

본 프로그램의 멘토 교사는 연구자 중 한 사람이 담당했고, 멘토 교사의 역할 수행 전 과정에서 또 다른 연구자와 함께 논의하는 과정을 거쳤다. 이런 과정을 통해 멘티 학생들과의 긴밀한 상호작용이 가능했고 이를 바탕으로 연구 진행과 결과 분석이 심도 있게 진행될 수 있었다. 본 프로그램에서 멘토 교사는 멘티 학생들의 연구 진행 과정 전체의 방향을 정하고 그들이 주도하는 연구 수행 과정에서 지속적인 조력자 역할을 함으로써 성공적인 학습 경험을 유도했다. 우선, 학생들의 연구 진행의 흐름을 예상하여 이론적 기반이 요구되는 의사 결정(연구 대상 식물 선정, 연구 장소 및 환경 설계 등) 이전에 조사 과제를 제공하거나 필요한 지식(가설-연역적 탐구 과정, 학술 활동의 종류 등)을 설명하고 안내함으로써, 학생이 적절한 지식을 가지고 합리적 결정을 할 수 있도록 도왔다. 또한, 중학교 1학년 학생이 스스로 운영할 수 있는 연구 환경을 조성하기 위해 지나친 전문성이 요구되는 연구 주제와 방법을 수정하는 방향을 안내했다. 이밖에도, 연구 전반의 일정을 계획하고 연구에 필요한 장소와 물품을 준비했다.

Table 3. Types of data

종류	자료 수집 방법
수업 녹화 자료	모든 수업(22회, 총 47시간 분량)을 동영상으로 녹화함.
수업 성찰 보고서	프로그램의 멘토 교사가 수업 직후 수업 내용, 학생 특징, 특이한 사항, 애로 사항, 느낀 점 등을 기록함.
수업 관찰 일지	수업에 참여한 보조 교사가 물리적 환경, 수업 내용, 학생별 특징, 느낀 점, 교사가 잘한 점과 아쉬운 점을 작성함. 보조 교사는 22회중 19번 수업에 참여함.
학생 기록물 및 산출물	과학교실 지원 당시 학생들이 제출한 자기 소개서 및 수업에서 작성한 활동지, 과제 등을 수집함.
수행 중인 연구에 대한 인식 조사지	연구자가 ‘수행 중인 연구 활동에 대한 인식’ 조사지를 개발함. 전문가 1인의 검토를 받음. 프로그램 중간 시기인 13회차에 조사 실시.
사후 심층 면담 자료	프로그램 종료 후 3~4주에 개별 사후 면담을 실시(학생 1명당 1시간 20분~2시간 소요)하고 동영상 녹화함. 면담은 반구조화된 질문지를 토대로 하여 대화 형식으로 이루어짐. 연구자가 프로그램 전반에서 연구자가 발견한 NOS 관련 수업 상황 5가지를 제시하면, 학생은 당시 경험을 떠올리고 그에 관한 NOS 관점을 밝히는 회고적 면담 방식임.

Table 4. Categorization of NOS learning context: descriptive & in-depth codes

학습 상황 관련 기술코드 예시	학습 상황 관련 심층코드
토양 연구의 주제가 뭐였어요, 정확하? / 주제가 자꾸 혼동 / 긴가민가 / ‘내가 이걸 왜 하고 있지? 이게 뭐였지?’ 그 생각... / 중간에 하다가 연구목적은 다 잊어버린 것 같아요 / 실험을 하면서, 제가 생각했던 주제랑 점점 달라진 거예요 / 내가 알던 게 주제가 아니라서 당황 / 아, 다 잊어버렸구나.	연구 문제의 혼동과 망각 및 그로 인한 혼란 (혼동 경험)
시든 떡잎을 센 사람이 있고, 안 센 사람도 있고 / 자료를 빼면 빠다귀밖에 안남을 것 같습니다. / 잘하면요. 이 자료를 동일한 기준으로 만들 수도 있어요 / 위험하다 싶은 건 안 넣는 게 어때요? / 너무 불확실하고 믿을 수가 없으니까 / 기준을 제대로 정하지 않은 것 / 오차는 있더라도 자라는 과정을 보여줄 수 있잖아요 / 실험상 오차가 있어서 최종적으로 측정할, 기준이 똑같은 측정값만 썼다고 해.	논의를 통한 불완전한 측정 자료의 제외 (제외 경험)
물감이 어느 날에는 대조군보다 더 잘 자랐어. / 그래프에서 뭔가 이상한 게 있다/ 라면 국물은 (대조군보다) 오히려 더 잘 자라서 당황 / 우리(의 실험에서 실험군과 대조군)가 많이 차이 안 나는 거 보면, 진짜로 (오염 물질 배출을) 줄여야 하는지 안 와 닿을 수 있을 것 같아요. / 라면 국물이 잎의 성장에는 도움을 줘. 그런데 열매 성장에는 도움을 못준다.	주장을 뒷받침하는 방향으로 자료 해석하기 (해석 경험)
우리 연구의 결과는 과학적으로 타당한 실험으로부터 나온 결과 / 체계적인 과학적 활동을 통해서 수집한 데이터를 바탕으로 결과를 도출 / 지금까지 없었던 과학적 지식(오염원들 중에서 어떤 게 더 영향을 미치는지)을 구성 / 우리가 전문가가 아니지만, 이 지식은 과학자가 연구를 통해 만들어 낸 지식과 동등한 지위.	게임의 법칙에 따라 과학 연구 수행 및 공개 (과학 사회 경험)
급식 잔반 거기다가 기아 사진 붙여놓고 그 음식물 쓰레기양 줄었다고 그렇게 연구 발표한 사람도 있었고 / 제가 모르는 것들을 사람들의 발표와 질문을 통해서 알게 되니까 / 전체적인 내용하고, 설명했었고, 결과하고 우리 목적하고 맞는 실험 내용을 딱 증명을 해내면서.. / 저희들이 희석한 액체로만 실험을 했잖아요 그런데 그게 아니라, 원예학과 교수님한테 들었는데, 기체로도 해보면 좋겠다고.	학술 대회에 포스터 발표자로 참가하기 (학회 경험)

### 3. 자료 수집 및 분석

사례 연구는 맥락 속에서 풍부하고 다중적인 정보원들을 포함하는 세부적이고 심층적 자료 수집이 관건이다(Stake, 1995). 본 연구에서는 자료 및 방법적 다면화(data & methodological triangulation)를 통해 연구 결과의 타당성을 확보하고자 했다. 연구자 뿐 아니라 보조 교사가 연구에 참여하고 관찰 일지를 작성하도록 했으며, 관찰, 면담, 질문지, 문서 등 다양한 유형의 자료를 수집했다. 총 8개월에 걸친 ‘과학자 되어보기’ 프로젝트 과정에서 얻어진 수업 녹화본, 교사의 성찰 보고서(22회), 보조 교사의 수업 관찰 일지(19회), 학생 산출물, 중간 수행 중인 연구에 대한 인식 조사지 및 사후 개별 심층 면담 녹화본 등이 연구 자료로 수집되었다. 모든 면담 및 수업은 동영상으로 촬영 후 전사되었다. 모든 자료 수집 전 제공자에게 동의를 구했다. 구체적인 자료의 종류와 수집 방법은 Table 3과 같다.

본 연구에서는 학생들이 과학 연구 활동에 참여하며 구체적으로 어떤 학습 상황에서의 경험을 통해 특정 NOS 관점을 구성했는가에 분석의 초점을 두었다. 프로그램 도중 학생들이 NOS를 학습했던 상황을 찾아내기 위하여 수업 녹화 자료를 비중 있게 분석했으며, 수업 관찰 일지, 수업 성찰 보고서 등도 분석했다. 연구자 1인이 22차시의 수업 전사본과 보조 자료를 나열한 후 귀납적으로 인상적인 학습 상황들을 찾아내고, 각각에서 중요한 기술코드(descriptive code)를 나열하고 범주화하여 심층코드(in-depth code)를 도출했다(Table 4). 이 과정

에 공동 연구자 1인이 참여하여 범주화의 적절성에 대해 수시로 비평하고 논의하는 과정을 통해 자료 해석의 오류를 줄이고 신뢰도를 높이고자 했다(Kim, 2012). 범주화된 NOS 학습 상황은 연구 문제의 혼동과 망각 및 그로 인한 혼란, 논의를 통한 불완전한 측정 자료의 제외, 주장을 뒷받침하는 방향으로 자료 해석하기, 게임의 법칙에 따라 과학 연구 수행 및 공개, 학술 대회에 포스터 발표자로 참가하기 등 다섯 가지였으며, 모두 과정으로서의 과학 관련 상황이었다.

범주화된 다섯 가지 학습 상황에서 학생 각자가 어떠한 NOS 관점을 구성했는지 파악하기 위하여 프로그램 참여 학생 5명(S1~S5)을 대상으로 사후 심층 면담을 실시했다. 면담은 회고적 면담 및 반구조화된 면담 방법을 이용했다. 준비된 질문은 Table 5와 같으며, 면담 상황에 따라 그리고 피면담자의 답변에 따라 면담 질문을 융통성 있게 조정했다. 면담은 개별적으로 진행되었고, 매 면담은 1시간 30분 내외 가량 소요되었다.

면담 이후 수업과 면담 전사본을 면밀히 읽으며 다섯 가지 상황에 해당하는 학생의 경험 및 NOS 관점을 종합하여 주제어로서 NOS 학습 영역을 연구 문제의 역할, 측정값의 유효성, 자료 해석에서의 주관성, 과학 지식의 생성과 동료 심사, 학술 대회의 의의 다섯 가지로 범주화하고, 각각에 대해 자세하게 서술했다. 생생한 전달을 위해 각 상황을 잘 드러내는 대화 사례를 정리했고, 각 피면담자가 학습한 NOS 관점을 비교하여 공통점을 추출했다.

Table 5. Questions for post-interview

학습 상황	질문 내용
연구 문제의 혼동과 망각 및 그로 인한 혼란 (혼동 경험)	1-1. 증반에 했던 ‘수행 중인 연구에 대한 인식’ 질문지에서 모든 친구들이 우리 연구 과정에서 발생했던 문제로 실험의 목적과 방향성을 잃었던 일을 꼽았다. 이 날 상황이 기억이 나는가? 이 일이 어떤 문제였는지 자세하게 설명해 줄 수 있는가? 1-2. 연구 목적이 연구에서 어떤 역할을 한다고 생각하는가? 1-3. 연구 목적에 비추어 볼 때, 우리 연구와 실험의 설계는 적합하다고 생각하는가?
논의를 통한 불완전한 측정 자료의 제외 (제외 경험)	2-1. 우리가 자료를 보정하기 위해서 굉장히 열심히 논의를 했던 날과 성장 그래프를 포스터에 넣을까 말까 논의를 했던 날이 있었는데, 그 상황을 기억나는 대로 설명해줄 수 있는가? 2-2. 우리가 어렵게 수집한 많은 자료가 논문을 작성하는 과정에서 제외되었는데, 그 이유는 무엇이라고 생각하는가? 2-3. 어떤 자료는 쓸 만한(실용, 유용한) 것이고 어떤 자료는 버려야 할 것이라고 생각하는가? 2-4. 래디쉬 성장 자료를 증거로서 활용할 것인가 아닌가를 논쟁했던 그 순간으로 다시 돌아간다면 증거로서 활용할 것인가? 그 선택 기준이 무엇인가?
주장을 뒷받침하는 방향으로 자료 해석하기 (해석 경험)	3-1. “동일한 연구 과정을 수행하는 모든 과학자는 모든 동일한 결과를 얻는다”는 말에 동의하는가? (동의한다면) 왜 그렇게 생각하는가? (동의하지 않는다면) 어떤 요인이 다른 결과를 가져온다고 생각하는가? 3-2. 연구 수행 과정에서 수집한 자료를 해석하면서 어떤 주장하고자 하는 바가 있었는가? 그것에 기반하여 해석했던 경험이 있는가?
게임의 법칙에 따라 과학 연구 수행 및 공개 (과학 사회 경험)	4-1. 우리 연구의 결과와 결론도 (과학자들이 연구를 통해 만들어낸 것처럼) 과학 지식이라고 할 수 있을까? 4-2. 우리 연구는 학문을 발전시키는 데 조금이라도 일조했다고 생각하는가? 4-3. 논문 작성 또는 포스터 제작 과정에서 ‘다른 사람들’이 볼 것을 의식했는가? 그렇다면 그 사람들은 누구인가?(전문가, 대중) 4-4. ‘다른 사람들’이 좋은 평가를 내리거나 인정해주는 것이 연구의 가치와 관련 있다고 생각하는가?
학술 대회에 포스터 발표자로 참가하기 (학회 경험)	5-1. 포스터 발표장에서 우리 연구와 관련하여 어떤 질문 또는 피드백을 들었는가? 5-2. 포스터 발표장에서 다른 사람들은 어떤 주제로 발표를 했는지 보았는가? 5-3. 왜 1년에 한 두 번씩 많은 연구자가 모이는 학회를 개최할까? 학회의 역할은 무엇이라고 생각하는가?(학회를 왜 한다고 생각하는가?)

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 연구 문제의 역할

과학자들은 그들이 답을 찾고자 하는 질문에 따라 다양한 조사 방법을 사용하며, 이러한 다양한 과정들은 모두 연구 문제(question)에 답하기 적절한 방식이다(NRC, 2000). 학생들이 과학을 할 때 연구의 목적을 인식하는 것은 중요하며, 학생들은 연구의 목적을 달성하고 연구 문제에 답하기 적절한 탐구 과정을 설계할 줄 알아야 한다. 즉, 학습자들은 “연구의 목적을 언급하고, 결과를 예상하고, 그들의 결론을 지지할 최선의 증거를 제시하기 위한 행위의 전개를 계획”할 수 있어야 한다(NGSS Lead States, 2013, Appendix F, p.7). 이를 위해서 연구 질문이 궁극적으로 연구 방법을 결정하며 동시에 연구 방법이 연구 질문을 추동하는 “연구 질문과 방법이 동일선상에 위치함(alignment)”의 필요성을 이해해야 한다(Lederman et al., 2014, p. 69). 연구 문제와 목적의 역할과 중요성은 기존 교육과정에서 별로 강조되지 않았던 NOS 요소다. 그러나 연구 문제와 목적이 과학적 연구 과정 전체를 추동하는 동력이 된다는 점을 고려하면, 특히 과정으로서의 과학 측면에서 이 요소는 간과될 수 없다. 학습자가 연구 설계 및 진행 단계에서 연구 문제와 목적의 역할과 중요성을 어떻게 경험했는지 구체적으로 살펴보기로 한다.

#### 가. 학습 상황 1: 연구 문제의 혼동과 망각 및 그로 인한 혼란 (혼동 경험)

프로그램 1~2주차에 학생들은 브레인스토밍을 통해 ‘토양 자정 작용’이라는 연구 주제를 선정했다. 생태계 활동의 기반으로서 토양의 소중함에 대한 인식으로부터 시작된 토양 자정 작용 연구는, 연구 문제 도출 및 연구 목적과 필요성의 상세화를 위한 3~4주차 논의 과정에서 그 초점이 ‘정화’가 아닌 ‘오염’으로 이동되었다. 이에 따라 연구 주제

와 목적 및 연구 문제를 수정했다. 학생들이 새로 설정한 구체적 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 생활 오염 물질(락스, 주방 세제, 식초, 라면 국물, 살충제, 수채 물감, 식용유)의 투입은 래디쉬의 생장에 어떤 영향을 미치는가?
- 2) 생활 오염 물질 중 래디쉬의 생장에 가장 부정적 영향을 미치는 것은 무엇인가?

그런데 래디쉬 성장 실험이 한창 진행 중이던 11주차 수업에서, 연구 주제와 더불어 실험 설계를 수정했던 사실을 잊어버린 S1이 혼란스러움을 표출했다. S1의 문제 제기로부터 다른 학생들 또한 연구의 주제와 목적을 망각하거나 혼동하고 있음이 드러났다.

- S1: 선생님 토양(연구)의 주제가 뭐였어요, 정확히?  
S3: 맞아요. 토양을 오염을 시켜서 무엇을 알아보는지가 더 중요하잖아요. 만약에 우리가 실험을 완성적으로 (수행)했다고 해도, 우리가 무엇을 했는지 모르면 발표 못할 수도 있잖아요?  
M1(멘토 교사): 응 그렇지.  
S3: 그런데 이거 하면서 주제가 자주 혼동돼요. 토양을 오염을 시켜가지고 무엇을 알아보고 싶은 건지.  
M1: 무엇을 알아보고 싶은 거 같아?  
S2: 자정 작용! 토양의 자정 작용.

(2014. 10. 04. Day 11 수업 중)

사후 면담에서, 학생들은 당시 논의의 핵심 및 자신이 느꼈던 혼란과 당황의 감정을 뚜렷이 기억하고 있었다. 학생들은 당시 상황을 회상하며, 자신이 느낀 혼란스러움을 다음과 같이 설명했다.

- S1: 연구 목적이 그 전에 한번 바뀌었잖아요. 그 때 잘 안 듣거나 아니면 연구 목적에 대해서 제대로 이해하지 못해 가지고, 중간에 하다가 연구 목적을 다 잊어버린 것 같아요. ‘내가 이걸 왜 하고 있지? 이게 뭐였지?’

그 생각...

(S1, 사후 면담 중)

S2: 실험을 하려면 그 주제를 아는 상태에서, 그 주제에 대해서 실험을 하는 거잖아요. 그런데 실험을 하고 있는데 주제를 모르니까, 내가 알던 게 주제가 아니라서 좀 많이 당황스러웠어요.

(S2, 사후 면담 중)

S5: 딱히 혼란스럽다기보다는, 아 다 잊어버렸구나, 그냥 이 생각밖에 안 들어있어요. (중략) 탐구 과정 중에서는 주제를 몰라도 일단 실험을 수행할 수는 있잖아요, 정해진 틀이 있으니까.

(S5, 사후 면담 중)

11주차 수업 당시 S5는 아예 연구 목적을 생각하지 않고 정해진 틀에 맞추어 실험을 수행하고 있어서 혼란을 겪지 않았다. 반면 S5 외의 모든 학생들은 연구의 주제를 토양 자정 작용이라고 생각하고 있었다. 또한 이것과 실험 설계가 일치하지 않는다는 점을 발견하고 혼란스러워했다. S2는 “오염 물질을 계속 주니까 정화가 되고 있는데 티가 안 나는” 것 아니냐며, “지금 실험의 설계로는 토양 정화 작용을 알아볼 수 없다”는 점을 지적했다. 그리고 “오염 물질을 주지 말고 물만 주어 토양의 정화 작용을 보자”며, 실험 설계의 수정을 요구했다. S3 또한 “식물의 자정 작용을 본다면 좀 더 멋지지 않을까요?”라며 “식물별로, 토양별로 자정되는 정도의 차이를 보는 게 어떨까요?”라고 토양 정화 작용의 주제에 맞는 실험을 재설계하여 진행할 것을 주장했다. 교사는 토양 자정 작용에서 토양 오염으로 연구 주제 및 관련 연구 문제와 목적이 모두 변경되었던 사실을 학생들이 망각했다는 것을 파악하고, 당시 상황을 상기시켰다.

M1: 너희가 지금 애매하다고 생각하는 게, 토양 정화라는 주제와 관련지어서 그런 거지? 그런데 우리가 중간에 주제를 한 번 바꾸자고 했었어.

S3: 아, 그랬었어요?

M1: 3-4주차에, (웃음) 토양 정화를 측정하는 게 어려워서, 토양 오염이 식물의 생장에 미치는 영향을 보기로 했었어. 너희가 지금 굉장히 많은 것을 잊어버린 것 같은데. (웃음) 이 실험 자체가 정화를 보는 실험이 아니었어!

S4: 래디쉬가 얼마나 잘 자라나 그 실험이죠.

M1: 응! 토양 오염 물질 종류에 따라서 식물의 생장에 어떤 영향을 미치는가 이게 주제였어.

S3, S1, S2: (다들 멋쩍어) 아하...

(2014. 10. 04. Day 11 수업 중)

교사는 변경된 연구의 주제와 목적을 설명해 주었다. 이에 따라 학생들은 혼란스러움을 해소했으며, 더 이상 진행 중인 실험 설계가 주제에서 벗어났다는 생각을 하지 않게 되었다. 과학자가 실제 과학 현장에서 진행 중인 연구의 주제와 문제를 혼동할 가능성은 거의 없을 것이다. 이와 달리 프로그램 참여 학생들은 자신들이 실험을 수행하는 도중임에도 불구하고 연구의 주제와 문제를 혼동하거나 망각했다. 만약 11주차의 수업에서 S1이 문제를 제기하지 않았다면, 자료 해석 및 논문 작성 등 이후 과학 연구 방향 정립에 어려움을 겪었을 것이다. 연구 문제와 목적은 연구의 길잡이기 때문이다. 교사가 예상하지 못했던 11주차의 경험은 참여 학생 모두가 연구 주제와 목적을 명확하게

하도록 함으로써, 이후 토양 연구의 원활한 진행을 위해서 필요한 단계로서의 의미가 있었다. 뿐만 아니라, 이러한 경험은 학생들이 연구 문제(또는 목적)의 역할에 대한 견해를 구성하도록 했다는 점에서 의미가 있다.

나. NOS 학습 내용 1: 연구 문제와 목적은 연구 설계와 결과 해석 등 연구의 전반을 이끈다.

위 학습 상황에서 학생 대부분은 연구 주제 및 문제에 적합하지 않아 보이는 실험으로 인한 혼란을 경험했고, S2와 S3은 “연구 주제 및 문제에 적합하지 않은 실험은 재설계되어야 한다”는 견해를 드러냈다. 이 논의의 저변에는 과학 연구 과정에서 연구 주제 및 목적의 역할에 대한 학생들의 가정, 즉 연구 주제 및 목적이 연구 과정을 이끌며, 연구의 방법은 연구 문제에 답하기에 적절해야 한다는 것이다. 과학 연구에서 연구 문제와 목적의 역할에 대한 학생 개인의 견해는 사후 면담에서 보다 명확하게 밝혀졌다.

S1: 우리가 실험을 하고 계획을 세울 때에는 연구 목적에 대한 것을 알아보기 위해서 실험을 하는 거잖아요. 그러니까 (연구 목적을) 비유하자면, 길잡이? (중략) 연구 목적이 혼란스러운 상황에서 실험을 하다 보면, 연구 목적을 달성하기 위한 것이 아니라 또 다른 길로 새나가니까, 연구 목적에 초점을 두어야 해서, 그 때 아마 질문을 했던 것 같아요.

(S1, 사후 면담 중)

처음 연구 주제에 대한 의문을 제기했던 S1은 실험을 계획하고 수행하는 이유가 “연구 목적에 대한 것을 알아보기 위해서”, 즉 연구 문제에 대한 답을 얻기 위해서라고 답했다. 또한 과학 연구의 전체 단계에서 연구 목적이 “연구의 길잡이”가 된다고 연구 진행 과정에서 지속적으로 연구 목적에 초점을 두어야 한다고 강조했다. 이로부터 S1은 연구 설계 및 자료 수집 단계에서 연구 문제와 목적의 중요성을 인식하고 있음을 알 수 있다.

학생들은 연구 문제와 목적이 연구 설계와 결과 해석 등 연구의 전반을 이끈다는 NOS 관점을 나타냈으며, 학생별 관점은 Table 6에 정리되어 있다. 학생들은 연구 ‘주제’, ‘문제’, ‘목적’의 용어를 혼용하여 사용했는데, 그 의미는 공통적으로 ‘연구를 통해 알아내고자 하는 것’ 혹은 ‘연구 결과를 바탕으로 주장하고자 하는 것’이었다. S1을 포함한 모든 학생들이 연구 문제와 목적이 자료 수집 전 단계인 연구 설계를 이끈다는 점에 동의했다. 연구 문제와 목적이 변경되면 “(목적에 따라) 필요 없는 자료는 버리고 필요한 자료는 수집하는 그런 변화가 일어날 것”(S4)이며, 연구 방법과 실험 설계 등도 함께 달라진다는 것이다. 뿐만 아니라 S2와 S5는 연구 문제와 목적이 자료 수집 후 단계인 자료 해석 및 논문 결과 작성까지도 영향을 미친다고 대답했는데, 이것은 연구 과정에 연구자의 의도 혹은 주관성의 개입 가능성을 인식하고 있음을 시사한다.

‘혼동 경험’은 학생들이 NOS 교육 내용 중 일부인 “연구 문제와 목적은 전반적 연구 과정을 인도한다”는 관점을 학습하는 것을 촉진했다. 특히 S5의 사례는 Day 11 당시의 경험이 인식 전환의 계기로 작용했음을 증명한다. Day 11 이전에는 본인이 연구 문제와 목적을 알지 못했음에도 불구하고 아무런 갈등을 겪지 않은 것으로 보아 연구 문제

Table 6. Students' views about role of research question and purpose

학생	과학 연구에서 연구 문제와 목적의 역할에 대한 관점		
	연구 설계 및 자료 수집 단계	자료 해석 및 이후 단계	기타
S1	연구 문제에 대한 답을 얻기에 적합한 실험을 설계 및 수행해야 한다.		연구 목적이 연구의 길잡이가 된다. 연구 진행 과정에서 지속적으로 목적에 초점을 두어야 한다.
S2	연구 문제의 답을 찾을 수 있게 실험 설계를 한다.	연구 문제에 따라 결과를 정리한다.	실험 주제를 잘못 알고 있으면, 주제에서 벗어난 결과가 나올 수 있다.
S3	연구 주제에 따라서 실험 설계가 달라진다.		
S4	연구 목적이 변경되면 수집할 자료와 연구 설계가 달라질 수 있다.		연구 목적은 중요한 것이며 연구를 진행하면서 변경(확장 혹은 축소)이 가능하다.
S5	연구 주제나 목적은 실험 설계에 영향을 미친다.	연구 주제나 목적은 논문 작성 단계에 영향을 미친다.	연구 주제와 연구 목적이 연구 전체 과정의 중심이 된다.

와 목적의 역할에 대한 인식이 없었는데, 사후 면담에서는 연구 문제와 목적의 역할과 중요성에 대한 현대적 NOS 관점을 드러내게 된 까닭을 ‘혼동 경험’으로 설명할 수 있기 때문이다. 결론적으로, 학생들은 연구의 실제 맥락 속에서 발생한 ‘혼동 경험’을 통해 “연구 문제와 방법이 동일선상에 위치함(alignment)”(Lederman *et al.*, 2014, p. 69)을 올바르게 인식하게 되었다.

## 2. 측정값의 유효성

과학 지식은 경험적 증거에 기초하며, 관찰과 측정은 과학자의 핵심 활동이다. 대부분의 측정은 약간의 부정확성을 가지는 경향이 있다. 즉 측정값은 참값이 아니며, 측정은 오류와 모순되는 자료(conflicting data)를 포함할 수 있다(Park, 2007). 측정의 부정확성은 실험 대상, 관찰자, 상황, 도구, 자료 처리 과정에서 발생할 수 있다. 학생들은 측정에서의 신뢰성을 높이는 방법들을 배워야 한다(Osborne *et al.*, 2003). 또한 학생들은 자신이 수집한 자료의 “오차와 방법론적 결점의 원천을 발견하는 능력”을 발달시켜야 한다(NGSS Lead States, 2013, Appendix F, p.13). 본 연구에서 참여자가 연구 수행 단계에서 어떻게 측정값의 유효성과 관련된 문제를 마주하고 이것을 해결하고자 노력하게 되는지 그 과정을 살펴보고자 한다.

### 가. 학습 상황 2: 논의를 통한 불완전한 측정 자료의 제외 (제외 경험)

학생들은 56일간 20회의 래디쉬 관찰 일지를 작성했다. 측정 영역은 떡잎과 본잎의 개수 및 가장 큰 잎의 가로와 세로 길이 등이었다. 19회 동안은 그 날의 당번 학생 1명이 관찰 일지를 작성했고, 최종 측정 시기에는 6명의 학생 모두가 분담하여 측정했다. 그런데 15주차에 자료를 분석하면서 자료의 신뢰성과 관련한 여러 가지 문제점이 지적되었다. 문제의 원인은 당번 학생 각각이 작성하는 과정에서 자료 수집 이전에 학생 간에 합의되었던 측정 기준을 지키지 않은 경우가 있었던 것이다. 예를 들어, 시든 잎도 세기로 했으나, 학생에 따라 임의로 시든 잎을 포함시키거나 포함시키지 않음으로써 전체 자료에서 떡잎의 개수가 감소 후 다시 증가하는 구간이 있었고 가장 큰 잎을 테이핑하여 그 잎의 변화를 측정하기로 했으나, 테이핑 했던 잎이 시들게 된 이후에는 선정 기준이 학생마다 달라져 가장 큰 잎의 가로와 세로 길이가 큰 차이를 보이며 증가 및 감소하기도 했다.

S6: 떡잎의 경우는 시들어도 아직 붙어있으니까 그것을 센 사람이 있고, 아니면 시든 것은 죽었다고 판단해서 그것을 안 센 사람도 있고. 그렇기 때문에 오히려 더 차이가 조금씩 날 수 있다고 보는데. 가끔씩 보면 좀 애매한 부분 있거든? (중략) 문제 있는 것들 다시 정해야 할 필요가 있다고 생각하는데.

S4: 맞아. 애매한 게 있어. 시든 것 같은데 떨어질 것 같은데 안 떨어지고 아픈 것들.

S1: 그럼 이거 어떻게 해야 하죠?

M1: 어떻게 해야 될까?

S4: 결측 처리?

S1: 우리가 많이 관측한 것도 아니고, 자료를 빼면 뼈대귀밖에 안남을 것 같습니다.

(2014. 11. 01. Day 15 수업 중)

학생들은 측정값의 신뢰성 확보를 위하여 측정 기준의 차이 및 오류가 있는 값을 수정 및 보완하기 위한 논의를 진행했다. 다음은 다양한 논의 주제 중 ‘본잎의 개수’와 관련된 부분을 발췌한 것이다.

S1: 선생님, 잘하면요. 이 자료를 통일한 기준으로 만들 수도 있어요.

M1: 어떻게?

S1: 예를 들어 대조군 물을 보면요, 중간에 2.0이 두 개 있고, 가운데 1.75가 하나 꺼 있잖아요. 그러면 누군가를 시든 거를 썼거나 안 썼거나 할 거 아니에요. 그런데 양쪽에 2.0, 2.0이면 둘 다 같은 기준이겠죠? 그러니까 1.75도 2.0과 같은 기준으로 봐서 2.0으로 바꿀 수가 있잖아요.

(2014. 11. 01. Day 15 수업 중)

학생들은 논의를 통해 ‘불완전한’ 측정값을 보정하기 위한 여러 방법을 제시하고 검토했다. 그러나 측정 당시의 기준을 정확히 기억할 수 없고, 자료 일부만을 수정하는 것이 자료 조작의 위험성을 안고 있을 수 있다는 반박도 나왔다. 이에 따라 측정 기준이 일치하지 않은 자료의 논문 활용 여부를 논의했다.

S3: 우리가 볼 때 (자료를 신뢰할 수 없어서) 위험하다 싶은 건 안 넣는 게 어때요?

S6: 이게 애당초 기준이 정확하지 않고... (중략) (테이핑한 개체가) 시들거나 그것보다 더 큰 게 생겼을 때, 이걸 재는 경우도 있고 다른 걸 재는 경우도 있고. 너무 불확실하고 믿을 수가 없으니까 차라리 이 자료는 아예 빼는 게 좋을 것 같아요. 우리가 기준을 제대로 정하지 않은 것에



Table 7. Students' view about standards on validity of measured value

학생	측정값 유효성의 판단 기준			유효한 측정값의 획득 방안	유효하지 않은 측정값의 처리 방안
	측정 기준의 통일	측정의 정밀함과 객관성	선개념과의 합치		
S1	0	0		측정 기준이 일치되어 있고 정확하게 측정해야 한다.	
S2	0			측정 기준을 정해두어야 한다. 한 사람이 측정하면 가장 좋다.	논문의 질과 신뢰도를 떨어뜨리므로, 분석 대상에서 제외해야 한다.
S3	0			측정 기준이 통일되어야 한다.	
S4	0		0	측정 기준이 통일되고 기준 이론과 어긋남이 없어야 한다.	
S5	0		0	미리 측정 기준을 확고히 정해야 한다.	

대해 지적할 수 있기 때문에.

S5: 그래도 그 표 딸랑 하나만 넣는 것 보다는 (생장 과정) 그래프를 넣으면 오차는 있더라도 자라는 과정을 보여줄 수 있잖아요.

S2: 이게 정확하지 않으니까 틀린 것일 수도 있잖아. 제대로 측정하면 이 결과가 아니라 다른 결과가 나왔을 수도 있고...

(2014. 12. 13. Day 19 수업 중)

학생마다 본 연구에서 ‘쓸 만한’ 자료 혹은 ‘논문에 실을만한’ 자료의 기준과 처리에 대한 견해는 다양했다. S5는 2~3일에 한 번씩 수집한 자료를 제시함으로써 래디쉬의 생장 “과정을 보여줄 수 있기 때문에” 활용하기를 주장했다. 자료 수집 당시 기준이 통일되지 않았지만 그 정도는 오차로서 수용될 수 있는 정도라고 본 것이다. 반면, S6은 일관성 없는 기준에 따른 자료는 불완전하며 신뢰할 수 없으므로 제외할 것을 주장했다. “학회에서는 최대한 정확한 정보를 전달해야” 하는데, 이 자료는 정확하지 않기 때문이었다. S3은 S5와 S6의 의견을 절충하는 입장에서 힘겹게 수집한 자료를 폐기하기보다는 문제 있는 부분을 수정할 것을 제안했으나, S5와 S6은 그것은 자료 조작에 해당하며 불가하다는 입장을 나타냈다.

S2: 정리하자. 여기서는 실험상 오차가 있어서 최종적으로 측정한, 기준이 똑같은 측정값만 썼다고 해.

S5: 그럼 네 의견에 동의할게.

S3: 그래 그렇게 하자. 그게 좋겠다.

(2014. 12. 13. Day 19 수업 중)

최종 논의 결과, 학생들은 1~19회의 관찰 일지 자료는 분석 및 활용하지 않기로 결론지었다. 그리고 6명이 합의한 기준으로 측정된 20회차의 최종 성장 자료만이 유효하다고 판단하여, 연구 결과를 분석할 자료로서 선택했다. 학생들은 측정값은 참값이 아니며 오차가 발생한다는 것을 알게 되었고, 자료 수집 이전에 측정 기준을 명확히 수립하는 것의 중요성을 깨달을 수 있었다. 나아가 이 경험은 학생들이 과학 자료의 처리 과정에서 측정값의 유효성 및 처리와 관련한 관점을 학습하게 해 주었다는 점에서 의의가 있다.

나. NOS 학습 내용 2: 연구자는 유효하지 않은 자료를 분석 대상에서 제외하며, 자료의 유효성을 높일 방법을 찾는다.

측정값의 유효성과 관련하여 학생들이 구체적으로 어떠한 NOS 관점을 구성했는지 알아보기 위해 사후 면담을 실시했다. 측정값 유효성의 판단 기준, 유효한 측정값의 획득 방안, 유효하지 않은 측정값의

처리 방안 등 세 가지 영역별 학생의 의견은 Table 7과 같다. 학생들이 제시한 측정값 유효성의 판단 기준은 측정 기준의 통일, 측정의 정밀함과 객관성, 선개념과의 합치 등 세 가지였다. 학생 개개인은 이 세 가지 중 하나 또는 두 개를 언급했고, 유효한 데이터를 얻기 위해서 본인이 이야기한 기준을 충족해야 한다고 했다. 모든 학생들은 공통적으로 ‘유효하지 않은 측정값은 논문의 질과 신뢰도를 떨어뜨리기 때문에 분석 대상에서 제외해야 한다’는 생각을 가지고 있었다.

학생들이 제시한 측정값 유효성의 첫 번째 판단 기준은 측정 기준의 통일이다.

S2: 오차가 적으면 자료를 논문에 실어도 된다고 생각해요. (중략) (오차를 줄일 수 있는 방법은) 먼저 측정 기준을 정하는 것이고, (중략) 제일 좋은 방법은 아마 힘들겠지만 한 사람이 측정하는 것이겠죠.

(S2 사후 면담 중)

모든 학생들은 측정 기준이 통일되지 않은 자료는 유효하지 않으며, 분석 대상에서 제외해야 한다는 공통적 견해를 가지고 있었다. 여러 명이 측정할 경우 측정 기준이 통일되지 않을 수 있으며, 이럴 경우 ‘오류’ 혹은 ‘오차’가 발생하고 실제값과 차이가 나는 잘못된 값이 얻어진다는 것이다. 이렇게 얻어진 값이 분석 대상에서 제외되어야 하는 이유는 두 가지로 제시되었다. 첫째, 잘못된 자료가 논문에 실릴 경우 연구 자체의 질과 신뢰도가 떨어진다. 둘째, 결과 해석이 정반대로 되거나 잘못된 과학 지식이 생성된다. 그리고 학생들은 유효한 측정값을 얻기 위해서는, 한 사람이 측정하거나 여러 사람이 측정할 경우 미리 측정 기준을 확실하게 정해 두어야 한다고 밝혔다.

학생들이 제시한 측정값 유효성의 두 번째 판단 기준은 측정의 정밀함과 객관성이다.

S1: 쓸 만한 자료는 정확한 자료인 것 같아요. 자 딱 대고 대충 5cm, 어림잡은 자료보다는 정확히(정밀히) 측정해가지고 5.2cm 이렇게 켜 것이 정확한 자료인 것 같아요.

(S1 사후 면담 중)

자료가 되려면 측정이 정확해야 한다고 언급한 학생은 S1 뿐이었다. S1이 말한 “정확한 측정”의 의미는 첫째, 측정에서의 정밀함을 의미하는 것으로 대충 어림잡아서 측정하지 말아야 한다는 것이다. 둘째, 측정의 객관성을 의미하는 것으로, 누가 측정해도 똑같이 나와야 한다는 것이다. 그러나 S1은 측정의 정밀함과 객관성이 담보된다고 해서 무조건 유효한 측정값이라고 생각하지는 않았다. 각자 나름대로 정확하게 잴 하더라도 측정 부위 자체가 달랐다면 살릴 수 없는 자료이며

버려야 한다는 것이다. 즉, 측정 기준의 통일 및 측정의 정밀함과 객관성이 모두 갖춰져야 유효한 자료라고 보았다.

학생들이 제시한 측정값 유효성의 마지막 판단 기준은 선개념과의 합치다.

S4: 생장 그래프에서, 줄기는 길어지고 짧아지지 않아야 하잖아요. 예를 들자면 0.5cm, 1cm, 2cm, 3cm, 그 다음에 2cm, 이렇게 내려가면 안 되는 거잖아요. 명확하게 볼 수 있는 그런 잘못된, 오류가 있는 자료들은 버려야 한다고 생각해요.

M1: 그럼 그 오류라는 것은 우리가 알고 있는 기존 지식과 어긋나는 걸 의미하는 거야? 예를 들어서 아까 S4가 말했듯이, 줄기는 계속 길어져야 하는데 짧은 게 나왔다가, 딱얇은 원래 처음 생겨서 없어질 수는 있지만 다시 생길 수는 없는데 만약에 딱얇이 있었다가 없었다가 한다면, 그 자료는 명확히 잘못되었다고 판단을 할 수 있다는 거지?

S4: 예 맞아요.

(S4 사후 면담 중)

5명의 학생 중 S4와 S5 등 2명은 유효한 측정값은 자신들의 선개념과 불일치해서는 안 된다고 주장했다. 예를 들어, 떡잎은 식물의 일생에서 처음 한 번 날 뿐 진 후에는 다시 나지 않는 선개념을 가진 S4와 S5는 떡잎의 개수가 감소했다 다시 증가하는 하는 자료는 잘못된 자료라고 생각했다. 이들은 기존 과학 지식과 어긋나는 자료는 오류가 있는 자료 혹은 명확하지 않은 자료이며, 분석 대상에서 제외해야 한다고 생각하고 있었다. 이것은 이들이 과학에서의 관찰도 현상을 있는 그대로 보는 것이 아니라 관찰자의 선행 지식에 기반함을 의미하는 “관찰의 이론 의존성”을 의식하고 있음을 보여준다.

학생들이 구체적 사례에서 측정값의 유효성 판단 및 처리를 실제로 어떻게 적용하는지 알고자 학생들에게 다시 1~19회차 관찰 일지 자료의 처리에 대한 논의 상황으로 돌아갈 경우 어떤 결정을 내릴 것인지 질문했다. S1을 제외한 대부분의 학생들은 1~19회차 관찰 일지 자료는 측정 기준이 일치하지 않았으므로 확실하지 않은 또는 오차가 있는 자료이고, 연구에 활용하지 않겠다고 했다. 특히, S5의 경우 “처음에는 자료가 좀 이상하더라도 생장 과정을 보여줄 수 있기 때문에 생장 자료를 신는 것이 더 낫다고 생각했지만, 지금은 우리가 아는 과학 지식에 비추어 잘못된 자료는 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있으므로 분석 대상에서 제외시킨 것이 잘했다고 생각한다”는 인식의 변화를 나타냈다.

M1: 다시 그 논의의 상황으로 돌아간다면, (그 자료를) 어떻게든 사용하도록 할 거니, 아니면 사용하지 않을 거니?

S3: 사용하지 않을 거예요.

M1: 왜?

S3: 확실하지 않아서.

M1: 확실하지 않다는 게 어떤 의미야?

S3: 측정 기준이 좀 정해져 있지 않았던 게 가장 큰 문제고, 잎이 사라졌다 생겼다 하는 게 그렇게 빨리 반복될 수 있는 건 아니잖아요? 그렇게 갑자기 사라지고 갑자기 생기고 그런 것은, 보는 사람이 이게 맞는 지 의문을 가질 것 같아요. 그래서 만약에 그 때로 다시 돌아간다고 해도, 그 자료는 안 실을 것 같아요.

(S3 사후 면담 중)

그러나 S1은 일부 오류가 있는 생장 자료를 모두 제외하는 것보다, 오류의 원인을 밝히며 생장 과정을 수록함으로써 보다 풍성한 해석과 종합적 결론에 이르도록 하기에 좋았을 수 있다는 차별화된 입장을 가지고 있었다.

S1: 그 자료가 S6 말대로 정확하지 않은 자료라면, 지금 이렇게 제외한 것이 정말 잘한 선택인 것 같아요. 그 자료에 좋은 것도 포함되어 있고 잘못된 것도 포함되어 있을 수 있는데, 일단 안 좋은 부분은 다 잘라냈으니 까 지금 자료는 정확할 수 있어서. 그런데 만약에 거기에 좋은 측정값이 조금이라도 있었고, 그것까지 제외한 것이라면 아쉬워요. 좋은 자료가 더 있었다면 지금보다 더 상세한 결과가 나오지 않았을까요?

(S1 사후 면담 중)

S1과 나머지 학생들은 본인들이 수집했던 구체적 사례에서 1~19회차 관찰 일지 측정값의 처리와 관련하여 서로 다른 견해를 가지고 있었다. 그러나 이들은 과학 연구 과정에서 측정값의 신뢰성을 높이기 위한 조치가 필요하며 유효하지 않다고 판단되는 측정값의 경우 삭제될 수 있다는 NOS 관점을 학습했다는 점에서는 동일했다. 특히 학생들은 측정에서의 유효성을 증가시키기 위한 방법으로서 측정 기준의 일치를 공통적으로 들었는데, 이는 학생들의 연구 맥락에서의 특정한 경험이 학생들의 인식에 많은 영향을 끼쳤음을 시사한다. 실제 과학 연구에서 일반적으로 ‘측정자 간 및 측정자 내 기준’ 측면은 실험 설계 단계에서 당연하게 고려되기 때문에, 수집된 자료의 유효성이 의심되는 경우에도 그 원인이 ‘측정자 간 기준 불일치’인 경우는 드물다. 따라서 측정에서의 신뢰성을 증가시키기 위한 방법으로서 ‘측정자 간 기준의 일치’는 별로 강조되지 않는다. 그러나 본 연구에 참여한 멘티 학생들은 자료의 유효성을 확보하기 위한 방법으로 과학 탐구에서 더 많이 강조되는 반복 측정보다도 ‘측정 기준을 일치시킨다’는 것을 꼽았다. 이는 실제 과학 연구에서와 다르게 학생들이 참여한 토양 연구의 맥락에서 특별한 ‘제외 경험’이 가능했기 때문이라고 볼 수 있다. 즉, 학생들은 ‘제외 경험’으로부터 학생들은 “자료의 유효성은 ‘측정 기준의 일치(통일)’을 고려하여 판단할 수 있으며, 유효하지 않은 자료는 분석 대상에서 제외해야 하고, 자료의 유효성을 확보하기 위하여서 측정 기준을 미리 확고히 수립해야 한다”는 NOS 관점을 학습했다.

### 3. 자료 해석에서의 주관성

과학 지식 및 주장은 단순히 자료로부터 출현하는 것이 아니라 숙련된 기술을 요구하는 해석의 과정을 통해 구성된다(Osborne *et al.*, 2003). 즉 과학적 자료는 홀로 서 있는 것이 아니라 다양한 방법으로 해석될 수 있다(Lederman *et al.*, 2014). 대부분의 과학자들은 과학에서 완벽한 객관성은 불가능하다는 것을 선뜻 인정하며, 연구자의 지식과 기대가 관찰과 실험 설계 뿐 아니라 자료 해석에서 미치는 영향을 알고 있다(Wong & Hodson, 2009). 학생들은 과학자들은 동일한 자료로부터 서로 다른 해석에 합법적으로 이를 수 있다는 것을 이해해야 한다(Osborne *et al.*, 2003). 뿐만 아니라, 학생들은 이론적 추측 없이 과학 탐구에 참여하는 것은 불가능하고, 개인적 편견이 관찰과 자료 해석의 결과로서 실험 결과에 미칠 수 있음을 인지하고 과학 연구에 참여해야 한다. 멘티 학생들이 실제로 토양 연구의 자료 해석에서 연구자의 주관

성 개입 관련 어떤 경험을 했는지 구체적으로 살펴보기로 한다.

가. 학습 상황 3: 주장을 뒷받침하는 방향으로 자료 해석하기 (해석 경험)

참여 학생들은 예비 실험(Day 6~7)의 경험을 통해, 오염 물질을 투입하면 래디쉬가 금방 시들어 죽을 것이라고 예상하고 있었다. 또한, 환경 오염의 심각성을 인식시킴으로써 청중이나 독자가 오염 물질의 배출을 적게 해야겠다고 생각하도록 유도하고자 하는 입장을 가지고 있었다. 이를 위해서는 본 연구를 통해 생활 오염 물질이 래디쉬의 생장에 불리한 영향을 미친다는 잠정 결과를 예상하고 있었다. 그런데 이와 반대로, 자료 분석을 하던 중 학생들은 실험군5(라면 국물)와 실험군6(물감)이 대조군보다 지상부 생장에서 더 활발하다는 것을 알게 되었다. S1은 라면 국물을 투입한 래디쉬의 지상부 생장이 활발하자, 이 자료가 “라면 국물을 더 버리지”는 주장을 뒷받침하는 것이 아니냐며 문제를 제기했다. 또, S2와 S3도 물감과 라면 국물을 넣은 래디쉬가 대조군인 물을 넣은 래디쉬보다 더 잘 자란 점을 지적했다.

- S3: 물감이 어느 날에는 대조군보다 더 잘 자랐어.
  - S1: 이거 뭐지?
  - M1: 그래프에서 뭔가 이상한 게 있니?
  - S2: 라면 국물(실험군5)이 물(대조군)보다 잘 자라고 있어요, 지금.
- (2014. 09. 20. Day 10 수업 중)

학생들은 본 연구의 결론으로, “생활 오염 물질은 래디쉬의 생장을 불량하게 하는 등 생태계에 악영향을 미친다”는 예상이 받아들여지기를 기대했다. 그래서 이러한 주장을 뒷받침해주시 못하는 듯한 자료가 수집되었을 때 당혹스러움과 불안감을 경험했다. 이것은 사후 면담에서 잘 드러난다. S1은 환경 오염의 심각성을 알려주기 위하여 실험군의 확연한 생장 불량을 기대했으나 수집된 자료는 기대와 달랐다고 언급했다. S2는 락스와 살충제를 투입한 래디쉬는 생장이 불량하여 심각성을 느끼게 해 주었지만, 라면 국물을 투입한 래디쉬는 물을 투입한 대조군보다 오히려 더 잘 자라서 당황스러웠다고 당시를 회상했다.

- S1: 우리가 농도를 진하게 안 하고 좀 연하게 했잖아요? 그래서 (예상보다) 잘 자란 것 많았다고 포스터에서 썼잖아요. 아이들, 청소년들이 봤을 때 우리(의 실험에서 실험군과 대조군)가 많이 차이 안나는 거 보면, 진짜로 (오염 물질 배출을) 줄여야 하는지 안 와 닿을 수 있을 것 같아요.
- (S1 사후 면담 중)
- S2: 라면 국물은 (대조군보다) 오히려 더 잘 자라서 당황스러운 면도 있었는데 락스나 살충제를 투입한 식물은 거의 다 말라 비틀어지고, 어떤 건 아예 죽고 그랬잖아요.
- (S2 사후 면담 중)

멘티 학생들은 ‘생활 오염 물질은 래디쉬의 생장에 악영향을 미친다’는 가설을 뒷받침하기 위한 증거 구성 방안을 고심했다. 교사와 멘티 학생들이 함께 논의하던 중 지상부의 생장이 양호했던 실험군5(라면 국물 투입)에서 지하부 생체중의 측정값이 작다는 것, 즉 열매의 생장이 불량함을 발견했다.

- M1: 라면 국물(실험군5)이 본 잎의 개수, 가로 길이, 세로 길이 다 대조군보다 커. 그런데 최종 길이랑 생체중을 비교해 보니까 비슷해.
  - S4: 아, 알겠다! 물(대조군)이 열매가 더 잘 맺혔다.
  - M1: 그렇지. 그런 결론을 내릴 수 있지. 정리하면, 라면 국물이 잎의 성장에는 도움을 주.
  - S4: 그런데 열매 성장에는 도움을 못준다.
  - M1: 응!
  - S3: 아, 그렇게 생각할 수 있구나.
- (2014. 11. 01. Day 15 수업 중)

학생들은 실험군5(라면 국물 투입)의 해석 방식에서 단서를 얻어, 동일한 방식을 나머지 실험군들의 측정값을 해석하는 데 적용했다. 그 결과, 실험군6(수채 물감 투입)을 제외한 모든 실험군에서 열매의 생장이 불량한 것으로 나타났다. 이에 따라, ‘생활 오염 물질을 투입한 래디쉬에서 전반적으로 열매의 생장이 불량하다는 점’을 ‘환경 오염의 위험성’과 관련지어 부각하기로 했다. 전자와 후자의 사이는 ‘생산자의 생육 불량으로 인한 생태계 전체 관점에서의 손해’라는 관점에서 논리적으로 연결되었다. 이 내용은 학생들의 포스터 논문에서 ‘결론’ 중 하나로 제시되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 둘째, 실험군 6을 제외한 모든 실험군에서 지상부의 생장보다 지하부의 생장이 눈에 띄게 저조했다. 이것은 일년생 식물은 일반적으로 환경이 불리할수록 대개 지하부보다는 지상부에 더 많은 에너지를 할애하는 것으로 사료된다는 Berendse(1981: 허홍욱 등, 1998에서 재인용)의 주장을 뒷받침해 주는 실험적 증거로 볼 수 있다. 어린이 및 청소년이 일상적으로 배출하는 이러한 오염원들이 특히 식용으로 활용되는 열매 부분의 생장에 악영향을 미치는 것이다. 이것은 생산자의 생육이 불량해짐에 따라 소비자의 먹이가 줄어드는 것으로 해석할 수 있으며, 생태계적 관점에서 환경 오염의 위험성을 보여주는 것이라 할 수 있다.
- (“생활 오염 물질이 래디쉬의 생장에 미치는 영향” 포스터 논문 “IV. 결론 및 고찰” 중)

과학자들은 “가장 의미 있는 해석”을 내리려고 노력한다(Kang & Noh, 2014, p.202). 이 때 논점과 자료 해석은 현재 이론 및 개인적인 주관성, 개인적인 가치, 생각, 선행 경험 등의 렌즈를 통해 투과된다(Lederman *et al.*, 2002). 본 프로그램의 멘티 학생들도 과학자들과 마찬가지로 주장하고 싶은 바를 부각하기 위하여 개인적 생각과 선행 경험을 근거로 측정 자료를 해석했다. 이 경험을 통해 학생들은 과학 활동에서 완벽한 객관성은 불가능하며, 연구자의 지식 및 주관이 자료 해석 단계에서 영향을 미칠 수 있음을 알게 되었다. 자료 해석에서 연구자의 주관성 개입과 관련하여 학생들이 어떠한 NOS 관점을 구성했는지는 다음에 자세히 서술되어 있다.

- 나. NOS 학습 내용 3: 자료 해석에는 연구자의 주관성이 개입할 수 있다. 동일한 자료로부터 연구자에 따라 서로 다른 결과를 얻을 수 있다.

실험 시작 전부터 멘티 학생들은 모두 오염 물질로 인한 래디쉬

Table 8. Students' view about researcher's subjectivity in interpreting data

학생	*Q1에 대한 대답	자료 해석에 영향을 미치는 주관적 요소	주관적 요소가 자료 해석에 작용하는 방식
S1	아니다,	관점	관점에 따라서 강조하는 부분이 다름
S2	과학자에 따라 서로 다른 결론에 이를 수 있다.	(다른) 생각	자료를 보고 생각하는 게 사람마다 다르고, 서로 다른 문헌(선행 연구 등)을 인용하여 뒷받침할 수 있음
S3	(자료 해석에 주관성이 개입할 수 있다)	주장하고자 하는 바 입장 / 성격 성향 역량 (개인의 특성)	문체, 즉 글에서 개인의 색깔이 묻어난다.
S4		입장 배경	
S5		관점	각각의 관점에 따라 자료를 취사선택해서 쓸 수 있음

\*Q1. 모든 과학자는 동일한 자료로부터 같은 결론에 이를까?

생장 불량을 통해 환경 오염의 위험성을 부각하려는 기본 입장을 가지고 있었다. 그리고 위 사례를 통해 자료를 보는 관점에 따라 해석이 달라질 수 있음을 경험했다. 사후 면담을 통해 학생들이 ‘자료의 해석에서 연구자의 주관성이 개입할 수 있다고 생각하는 지’와 이를 확장하여 ‘여러 명의 연구자가 동일한 자료로부터 다른 결론에 이를 수 있다고 보는지’가 드러났다. “모든 과학자는 동일한 자료로부터 동일한 결론에 이를까?”라는 동일한 질문(Q1)에 대한 학생별 대답을 정리하면 Table 8과 같다.

5명의 학생들은 모두 자료는 관점에 따라 해석이 달라질 수 있으며, 연구자의 입장에 따라 동일한 자료로부터 결론이 다르게 나올 수 있다는 공통적 견해를 나타냈다. 다만, 그 이유에 대한 설명은 학생마다 조금씩 달랐다. 학생들은 과학자의 “관점(S1, S5)”을 그 원인으로 꼽았으며, 동일한 의미에서 “입장(S4, S3)”, “생각(S2)”, “배경(S4)”, “주장하고자 하는 바(S3)”라는 표현을 사용했다. 과학자의 관점이 어떻게 결론에서의 차이를 유발하는가에 관해서는 각자 다르게 설명했다. S1은 관점에 따라 “강조”하는 부분이 다르기 때문에, S5는 관점에 따라 다른 자료를 “선택”하기 때문에, S2는 연구자의 생각을 서로 다른 “문헌”을 인용하여 뒷받침하므로 서로 다른 결론이 도출될 수 있다고 설명했다. S3은 논문 작성을 글쓰기 차원에서 접근하여, 수필에서 그러하듯 논문에서도 개인의 성격, 성향, 역량 등의 특성이 드러난다고 언급했는데, 이 내용은 다른 네 명의 학생이 전혀 언급하지 않은 의견이었다.

S1: 사람마다 자료에 주는 관점이 다르잖아요. 관점이 다르다 보니까, 난 이걸 더 강조하고, 다른 사람은 이걸 더 강조하고. 그래서 똑같은 결론보다는, 각자 자신이 강조하고 싶은 내용에 대해서 좀 더 자세한 결과가 나오지 않을까.

(S1 사후 면담 중)

S2: 그 자료를 보고, 생각하는 게 사람마다 다를 거 아니에요. (중략) 자기의 연구를 뒷받침할 수 있는 서로 다른 선행 연구, 문헌을 (인용)할 수 있으니까 과학자마다 만들어내는 지식이 다를 것 같아요.

(S2 사후 면담 중)

S3: 개인의 색깔이 논문에서 좀 물어날 것 같아요. (중략) 그 사람이 하고 싶은 주장이 원래 있어서, 입장에 따라서 같은 자료도 서로 다르게 해석할 수 있다고 생각해요.

(S3 사후 면담 중)

S4: 저도 환경 오염을 각인시켜 주고 싶었어요. (과학 연구에 주관성이) 개입할 수 있는 거죠. 객관적인 것이 무조건 타당하다고 볼 수는 없으니까.

(S4 사후 면담 중)

S5: 사람마다 생각이 다르듯이 관점도 다를 테니까, 같은 자료가 있더라도

다르게 생각할 수 있는 연구자가 있을 테니까. (중략) 자료가 많이 있어도, A나 B나 자기한테 필요한 자료만 선택할 수 있어서 똑같은 것 같은데, 비슷하긴 해도.

(S5 사후 면담 중)

해석 경험을 통해 모든 학생들은 “자료의 해석에는 연구자의 관점 및 입장이라는 주관적 요소가 개입될 수 있다”는 견해를 공통적으로 구성했다. 자료 해석에서 주관성 개입이 가능하다는 생각은 과학의 탐구 과정에 과학자의 주관적 판단이 개입될 수밖에 없으므로 객관적인 과학 지식의 산출을 보장할 수 없다는 생각으로 나아가게 된다. 즉, 학생들의 생각은 과학적 지식을 객관적으로 실재하는 것으로 보는 “전통적 인식론”이 아니라, 인간에 의해 만들어진 구성물로 보는 “현대적 인식론”에 기반하고 있다(Kang & Noh, 2014). 멘티 학생들이 이렇듯 과학에서의 주관성에 대한 초보자(novice)적 관점이 아니라 전문가(expert)적 관점을 가질 수 있었던 것은(Lederman *et al.*, 2002), 실제 과학 연구에 참여하면서 자신들의 입장과 신념을 자료 해석 단계에서 의식적, 무의식적으로 개입시켰던 경험에서 비롯했다고 볼 수 있다. 학생들은 자료를 분석하고 해석하고, 연구에서 자신의 입장과 배경을 돌아보고, 동료와 함께 비평해봄으로써 이 과정의 주관적 본성에 대한 이해를 형성할 수 있었던 것이다.

#### 4. 과학 지식의 생성과 동료 심사

과학적 지식은 단순히 세계에서 발견되는 것이 아니라, 사람에 의하여 구성된다. 과학적 지식은 그것이 진실이기 때문이 아니라, 사람들이 설명으로서의 적합성이나 유용성 등 그것의 가치에 대해 인정하기 때문에 받아들여진다(Sandoval, 2005). 오늘날 실제적 과학 활동은 같은 분야에 종사하는 연구자에 의해 연구 논문이 심사되는 동료 심사(peer review)에 크게 의존한다. 동료 심사를 통해 해당 논문에서 적절한 과학적 방법을 사용하고 있는지, 의미 있는 과학 지식을 산출하고 있는지 등이 평가되는 것이다. 즉, 개별 과학자가 새로운 지식을 생성했다 하더라도, 그것을 “학문 지식체의 부분으로서 자리잡게 하기 위해서”는 그 “연구 내용이 공개되어 공동체에 의한 철저한 검토를 견뎌내야” 한다(Wong & Hodson, 2010, p.1450). 학생들은 과학적 발견의 타당화(validation)와 수용/거부가 과학 수행의 사회적 차원 중 가장 중요한 측면이며, 지식 주장은 과학자 공동체에 의해 규정된 ‘게임의 법칙’에 따라 논의되고, 공동체에 의해 결정된 언어와 형태로 표현되어야 한다는 것을 이해해야 한다(Wong & Hodson, 2010). 학생들이 과학 연구가 과학 사회 속에서 진행된다는 측면과 관련하여 토양 연구에서 어떤 경험을 했는지 구체적으로 살펴보기로 한다.

**II. 연구 방법**

**1. 실험 대상**  
 시기(8월 말 파종, 9-10월 성장)의 적절성, 재배의 편의성, 오염에 견디는 정도, 측정의 용이성 등을 고려하여 실험 대상 식물을 래디쉬(학명 : *Raphanus sativus* L.)로 설정하였다. 실험에는 발아율 70% 이상으로 처리된 품종명 아카마루-하츠가(AKAMARU-HATSUGA) 씨앗을 사용하였다.

**2. 래디쉬 성장 실험 과정**

- 실험 기간 : 2014. 8. 23(토) - 2014. 10. 18(토).  
 - 2014. 8. 23(토) - 2014. 8. 30(토) : 실험 기본 세팅(래디쉬 파종 및 속아주기)  
 - 2014. 9. 2(화) - 2014. 10. 18(토) : 본 실험(오염물질 투입 및 래디쉬 성장 변화 관찰과 측정)
- 실험 방법  
 8개(대조군 1개, 실험군 7개)의 화분에 배양토를 0.5L씩 담고, 화분마다 구멍을 4개씩 내어 래디쉬 씨앗을 3개씩(총 12개) 심었다. 래디쉬 화분은 산성비와 해충 등 외부환경의 영향을 피하기 위하여 대학교 건물 별이 잘 드는 실내 베란다에 위치시켰다. 파종 일주일 후, 구멍마다 비슷한 성장 속도와 양상을 보이는 1개체만 남기고 나머지 개체들은 속아주기를 하였다. 이것은 씨앗의 발아 및 성장에 대한 유전적 차이를 일정 부분 통제하기 위한 실험적 처치였다.  
 오염원에 따른 래디쉬의 성장 양상을 확인하기 위하여, 속아주기 이후(파종 후 10일)부터 화분별로 각기 다른 오염물질(락스, 주방세제, 식초, 라면국물, 살충제, 수재물감, 식용유)을 투입하였다. 각 오염물질은 물과 섞어 부피농도 0.5%로 제작하여, 일주일에 2-3회 물주기를 실시하였다. 물주기를 할 때, 오염물질을 포함한 물은 개체당 시용용 컵 1컵(37ml) 분량을 주었다. 또한 물주기를 할 때마다 개체별로 사진을 촬영하고 본일의 개수, 가장 큰 잎의 폭과 길이, 잎과 줄기의 색깔 등을 측정 및 관찰하여 총 20회차의 일지를 작성하였다.  
 파종 후 56일차에 래디쉬를 뽑아 지상부와 지하부를 분리하여 최종 데이터를 얻고, 실험을 종료하였다.

Figure 1. Research method for soil contamination (included in students' research paper)

가. 학습 상황 4: 게임의 법칙에 따라 과학 연구 수행 및 공개 (과학 사회 경험)

학생들은 일반적인 과학 연구 설계 방법 중 하나인 가설-연역적 방법을 기초로, 대조군을 활용하여 오염원별 4반복 실험을 설계하고 수행했다. 결과에 대한 조작 변인의 영향을 보다 신뢰롭게 증명할 수 있도록 조치한 것이었다. 구체적인 실험 방법은 Figure 1과 같다.

학생들은 실험에서 수집한 자료를 바탕으로 학술대회자료집에 실릴 포스터 논문을 작성했다(Day 14~18). 학회에서 요구하는 양식에 맞추어, 학생들이 개요를 작성했고(Figure 2), 교사의 피드백을 통해 수정 및 보완해 나갔다. 특히 연구 결과 부분은 거의 학생 주도적으로 작성되었다. 학생들이 각자 실험군 하나씩을 맡아 문헌 조사를 실시해, 결과의 원인을 추정하고 선행 연구와의 관련성을 찾아 글쓰기를 실시했다. 선행 연구를 찾고 그것과 관련하여 우리 연구의 의미를 찾는 과정은 중학교 1학년 학생들에게 생소한 경험이었기 때문에 교사는 특별히 관심을 가지고 개별 안내(coaching)와 비계(scaffolding)를 제공했다. 여러 번의 수정 과정을 거쳐, 6쪽 분량의 최종 포스터 논문을 제출했다.

또한 학생들은 Day 19에 포스터 논문을 바탕으로 하여 이를 조금 더 발전시킨 포스터를 제작했다. 그리고 Day 20, 21의 연습 이후 Day 22에 실제 학술 대회에서 발표했다. 학생들은 과학적으로 적절한 실험을 설계 및 수행하고자 노력했으며, 또한 연구 논문의 표준 요소인 제목, 서론, 방법, 결과, 결론, 참고 문헌 등을 포함하는 논문과 포스터의 형태로 자신의 아이디어를 표현했다. 연구 수행 전체 과정에서 전반적으로 학생들은 과학 공동체에서 일반적으로 받아들여지는 방식, 즉 ‘게임의 법칙’에 따르고 있었다. Table 9에서처럼, 모든 학생들은 자신들의 연구를 ‘게임의 법칙’에 따라 과학 지식을 생성한 과정으로 인식하고 있었다. 학생들은 과학적 (탐구) 과정 혹은 과학적 활동, 과학적으로 타당한 실험을 통해 새로운 발견을 했으므로 혹은 가설을 증명해 냈으므로 스스로 과학 지식을 생성했다고 평가했다. 또한 자신들이 생성해 낸 과학 지식은 공개 및 발표를 통해 후속 연구자에게 선행

**오염**

가설: 오염원에 따른 래디쉬의 성장 변화

실험방법: 오염원의 농도, 물, 오염원 배양용액까지

실험(1) 발아 테스트

실험(2) 발아 테스트

구분	간격할 조건	다크처리군
1	락스	오염원의 종류
2	주방세제	오염원의 종류
3	식초	오염원의 종류
4	라면국물	오염원의 종류
5	살충제	오염원의 종류
6	수재물감	오염원의 종류
7	식용유	오염원의 종류

결론: 오염원에 따른 래디쉬의 성장 변화는 ...

Figure 2. Students' outline of soil contamination research

연구로서 참고 및 활용될 수 있다는 점에서 의미를 갖는다고 생각했다. 특히 S2는 스스로 실험을 통해 얻은 결과, 즉 학생의 연구 결과도 전문가의 결과만큼이나 가치있다고 생각했는데, 이는 과학의 본성 중 상대주의(relativism)적 관점에 해당한다(Nott & Wellington, 1993).

나. NOS 학습 내용 4: 우리의 연구 결과는 과학 지식으로서 의미가 있다. 연구 결과가 타인에게 인정받고 확산되지 않는다면 의미 없다.

학술 대회 참여 이후, 사후 면담에서 연구 결과의 확산 및 타인의 평가에 대한 학생들의 인식을 조사했다. 사후 면담 질문으로는 논문 작성 또는 포스터 제작 과정에서 다른 사람들을 의식했는지, 그 사람들은 누구인지, 그 사람들이 좋은 평가를 내리거나 인정받는 것이 연구의 가치와 관련 있다고 생각하는 지 등이 주어졌다. 학생들의 대답을 정리 하면 Table 10과 같다. S1과 S2는 모두 포스터와 논문의 가치는 그 내용이 사람들에게 널리 확산될 때 높아진다는 생각을 가지고 있었다. 연구를 통해서 다른 사람들이 모르는 어떤 것을 발견했을 때, 혼자 알고 있는 것은 크게 의미가 없고 다른 사람들에게 알려야 더 큰 의미를 가지게 된다는 것이다. S2는 과학의 목적이 지식과 정보의 확산을 통해 편리한 생활을 하는 데 있다는 가정에 근거했기 때문에, 과학자의 연구 활동 중 가장 중요한 단계가 ‘제일 마지막(발표)’라고 강조하기도 했다. S1은 논문과 포스터를 다른 사람들이 이해하지 못하면 그 내용이 확산되지 못하므로, 다른 사람들이 이해할 수 있는 방식으로 논문 및 포스터를 제작해야 한다고 생각했다. 이것은 과학 공동체의 ‘게임의 법칙’을 따라야 한다는 것과 일맥상통한다.

S1: 우리(연구)가 다른 사람한테 많이 알려져야 되잖아요, 청소년들이 이거 보고 (오염 물질 배출을) 좀 줄여야겠다는 생각도 하고 그래야 하는데.

Table 9. Students' view of generating scientific knowledge

학생	우리 연구는 과학 지식을 생성했는가?	학문 전체에서 우리 연구의 의미
S1	우리 연구의 결과는 과학적으로 타당한 실험으로부터 나온 결과이기 때문에 의미가 있다. 그러나 실험 조작에서 정교하지 못했던 분들이 있었기 때문에, 과학자들과 동등한 과학적 지식으로서의 지위는 갖지 못한다.	우리가 작성한 논문과 발표한 포스터는 선행 연구로서 참고 및 활용 될 수 있다. 따라서 환경 과학 학문에 조금이나마 일조를 했다.
S2	우리 연구의 결과는 과학적 탐구 과정을 거치면서 수집한 자료, 근거, 증거에 기초하므로 과학 지식이다. 비록 우리가 전문가가 아니지만, 우리가 새로 만들어 낸 과학 지식은 과학자가 만들어낸 과학 지식만큼 유용하고 의미가 있다.	우리는 지금까지 없었던 지식을 생성했고, 우리 연구를 통해서 후속 연구에 시사점을 던져준다. 따라서 학문 전체 체계에서 우리 연구는 의미가 있다.
S3	우리 연구는 과학적 과정을 통하여 새로운 발견을 해냈으므로 과학 지식이다.	우리가 생성한 과학 지식은 후속 연구자에게 참고가 될 수 있다. 그리고 과학 학문을 이전보다 발전시키는 데 일조했다.
S4	우리 연구의 결과는 과학적 활동을 통하여 수집한 자료를 바탕으로 가설을 증명 해낸 것이므로 과학 지식이다. 거창하지는 않지만 실생활과 관련지어서 새로운 발견을 하여 과학 지식을 생성했다.	논문에서 연구 결과를 다른 선행 연구들과 비교하여 의미를 서술하였고, 논문 및 포스터로 발표함으로써 후속 연구에 도움을 주었다. 따라서 학문이 체계적으로 발전해가는 데 일조했다.
S5	우리 연구는 과학적 과정을 통하여 수집한 자료를 바탕으로 한 근거에 기반하므로 과학 지식이다. 우리가 생성한 과학 지식은 어른들이 한 것보다는 저차원적이지만, '젊'의 대상으로서 가치가 있다.	모르겠다.

Table 10. Students' view in making their research results public and peer reviewing

학생	과학 지식에 대한 공동체 평가 및 수용의 필요성
S1	포스터나 논문의 가치는 사람들에게 널리 확산이 될 때 가치가 있다. 다른 사람들이 받아들일 수 없는 방식이라든지, 그 사람들을 고려하지 않고 구성된 내용은 확산을 방해하므로 지양해야 한다. 학회에 참석한 다른 사람들을 고려해야 한다.
S2	연구를 통해서 다른 사람들이 모르는 어떤 것을 발견했을 때, 혼자 알고 있는 것보다 다른 사람에게 알려야 더 큰 의미를 가지게 된다. 훌륭한 실험이라도 그 내용이 전달되지 않으면 의미가 없고, 다른 사람들이 알아야 한다.
S3	다른 사람들(전문가, 대중)이 논문의 신뢰성에 대해 평가할 것을 염두에 두고 있어야 한다. 좋은 논문인지 아닌지를 평가할 때에는 전문가의 의견이 대중의 의견보다 더 중요하다. 동료 평가 과정은 논문의 신뢰성을 결정하기 때문에 중요하다.
S4	우리 논문이나 포스터를 보는 사람들에게 연구의 신뢰성을 인정받는 것이 필요하다. 같은 관심분야를 연구하는 사람들에게는 일반적으로 합의된 신뢰성의 인정 기준이 있으며, 이것을 통과하는 것이 필요하다.
S5	학회에서 만난 사람들이 우리 연구 결과의 신뢰성을 신뢰할 만하다고 인정해주는 것이 중요하다고 생각하지 않는다. 이런 연구를 경험하고 알린 것만으로도 충분하다.

다른 사람들이 보고 이해하기 위해서 발표를 한 건데, 다른 사람들이 이해를 못하면 포스터의 가치가 좀 없어질 것 같아요.

(S1 사후 면담 중)

S2: 과학은 사람들에게 알려서 더 편한 생활을 하기 위해서 연구를 하는 거잖아요. 다른 사람들이 알아야 연구가 성공했다고 할 수 있는데, 실험을 잘해도 자신의 의견을 명확하게 전달하지 못하거나 잘못 전달하면 그 실험이 그냥 끝나는 거잖아요. 그래서 끝(학회 발표)이 중요하다고 생각해요.

(S2 사후 면담 중)

S3와 S4는 공통적으로 학회에서 발표된 연구 결과를 좋게 평가되고 인정받는 것이 중요하다고 생각했는데, 특히 그 주체가 전문가(연구자) 또는 대중에 따라 어떻게 다른지 밝혔다. 이 둘은 모두 학회에 참석한 전문가뿐만 아니라 논문을 읽을 수 있는 모든 대중의 연구의 신뢰성에 대한 보편적 인정이 필요하다고 생각했다. S3은 여기서 한 걸음 더 나아가, 우리의 논문이 후속 연구의 선행 연구로서 참고할 때, 이 연구가 유용하고 가치 있는지에 대해서는 전문가의 평가가 필요하다고 보았다.

S4: 저도 다른 사람이 어떻게 보느냐가 중요하죠.

M1: 그럼 그 다른 사람들은 누구야?

S4: 다른 사람들은 저희 논문이나 포스터를 보는 그런 분들. 다른 사람들이 인정해 주는 게 필요하죠. 보편적일 필요가 있으니까.

(S4 사후 면담 중)

S3: 환경 학회에 참석한 교수님들과 다른 참가자들뿐만 아니라, 우리의 논문을

읽을 수 있는 모든 사람들이 제가 말한 '다른 사람'인 것 같아요.

M1: 그렇다면 대중과 전문가 둘 중에서, 누구의 인정을 더 받아야 된다고 생각하는지? 둘 다 똑같이 중요하다고 생각하는지? 어때?

S3: 똑같다고 생각은 하지만, 평가를 했을 때는 전문가의 의견이 좀 더 중요하다고 생각해요. 왜냐면 아는 게 많을수록 평가할 수 있는 기준이 많잖아요. 전문가들은 평가할 수 있는 기준을 많이 가지고 있고, 대중들은 어려운 내용이 나왔을 때 평가할 수 없을 수 있으니까,

(S3 사후 면담 중)

연구 내용에 대한 타인의 인정이 필요하다고 생각하는 앞의 네 명과 다르게, S5는 발표 경험 자체에 의의가 있으므로 타인의 신뢰나 인정을 얻는 것이 굳이 필요하지 않다는 의견을 나타냈다. S5는 과학적 지식 생성에서 사회적 합의의 필요성을 인식하지 못했던 것이다.

M1: 그 사람들에게 우리의 연구 결과와 연구 결과를 뒷받침하는 자료들이 신뢰성 있다고 인정받는 게 중요하다고 생각하니 S5는?

S5: 음, 아니요. (중략) 저희들의 힘으로 연구를 했던 것 자체가 의미가 있으니까, 굳이 그런 분들에게 신뢰 받고 그럴 필요는 없을 것 같아요.

M1: 그러면, 학생이 아니라 연구자가 자신의 연구 결과를 발표했어. 거기에 대해서 학회에 참여한 사람들이 인정하는 것은 중요할까?

S5: 음... 그냥 학생이나 연구자나 똑같다(어쨌든 발표하는 경험에 의미가 있다고)고 생각해요.

(S5 사후 면담 중)

멘티 학생들은 자신들이 생성해 낸 연구 결과가 의미 있기 위해서는

공개 및 발표되어야 한다고 생각했다. 이것은 학생들이 과학 지식의 사회적 구성 측면을 인식하고 있음을 보여준다. 또한 학생들은 동료 연구자가 발표된 과학 지식의 타당성과 유용성, 근거가 되는 자료의 신뢰성을 판단한다(Wong & Hodson, 2010)는 것을 인식하고 있었다. 학생들이 작성하여 제출한 포스터 논문은 학술지가 아닌 학술 대회 자료집에 실리는 것으로 게재를 거부당할 가능성은 거의 없었음에도 불구하고, 학생들은 자신들이 작성한 과학 논문과 포스터가 동료 과학자 및 대중에게 평가될 수 있음을 인식하고 있었으며, 좋은 평가를 얻기 위해 노력했다. 이렇듯 ‘과학 사회’에 대한 실제적 참여 경험은 학생들이 “과학 지식이 공개 및 발표되지 않으면 의미가 없으며, 과학 지식이 가치 있으려면 타인의 인정이 필요하다”는 견해를 구성하는 것을 촉진했다.

## 5. 학술 대회의 의의

과학 정보를 전파하는 것은 과학의 진보에 매우 중요하다. 새로운 과학 지식은 언제나 분명하게 개방되고 발표되어야 하며, 개방적으로 의사소통하는 것이 과학의 과정에 필수 요소다. 과학자들은 자신의 발견 및 이론을 학회에 발표하거나 학술지에 실는다. 과학자는 그러한 논문을 통해 자신의 일을 다른 과학자들에게 알리고, 자신의 아이디어를 다른 과학자들의 비판을 거쳐 검증한다. 학생들은 “사회적 과정을 통해 과학 지식이 창조되고, 지속되고, 전달되고, 수정된다”는 것을 배워야 한다(Wong & Hodson, 2010). 특별히 학생들이 학술 대회에 포스터 발표장에서 어떤 경험을 했는지 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

### 가. 학습 상황 5: 학술 대회에 포스터 발표자로 참가하기 (학회 경험)

21회차 수업 시간에 학생들은 2014년 한국환경교육학회 하반기 학술 대회에 참가했다. 학생들은 포스터 발표 시간으로 주어진 50분 동안 두 팀으로 나누어, 자신의 포스터 앞에서 연구 설명 및 질문에 대답(25분)과 다른 사람의 포스터 발표 참관(25분)을 교대로 진행했다. 멘티들은 학회 포스터 발표장에서 새로운 정보를 얻거나(S2, S4), 자신의 연구와 비교하여 뿌듯함을 느꼈다(S3, S6).

S3: 저는 다 저희보다 뛰어나고 훌륭한 사람만 있을 줄 알았는데, (오늘 와서 다른 포스터들) 보니까 우리 논문도 꽤나 훌륭한 논문이었다고 생각을 했었고. 보면서 어깨가 으쓱한 그런 느낌을 받아서 좋았고요.

S6: 우리 주제가 흔하지 않더라고요. 토양에 관한 게 많을 줄 알았는데, 생각보다 그렇게 많지 않더라고요.

S4: (학술 대회 참여하면서) 전체적으로 굉장히 즐거웠어요. 제가 몰랐던 것들을 다른 사람들의 연구를 보면서, 또 질문에 대한 대답을 들으면서 알게 되니까. 그리고 제가 다른 사람들에게도 여러 가지 것을 알려주다가, 교수님들께 조언도 받고 피드백도 많이 얻은 것 같아서 (좋았어요). 제가 3학년 되면, 학회 발표 동아리를 만들어 보고 싶다는 생각도 들었어요.

(2014. 12. 20. Day 22 학회 발표 후 평가회 중)

또한 멘티들은 연구 내용을 설명하거나 질문에 답하고, 전문가로부터

티 연구에 대한 피드백과 조언을 받았다. S3와 S4가 적극적으로 참여하고 다른 참여자들과 활발하게 상호작용했다. 학생들은 자신의 연구 결과에 대한 비판적인 비평 대신 내용에 대한 질문과 후속 연구를 위한 조언을 들었다. S3은 질문에 대한 답보다는 전반적 연구 내용 설명에 대한 많은 요구를 받았으며 실험의 목적과 결과를 연관지어 설명했다. S4는 원예학 전공 교수로부터 생활 오염 물질에 기체도 있으니 후속 연구에서는 기체도 추가해보라는 조언도 받았다.

M1: 어떤 내용을 설명해 드렸어?

S3: 전체적 내용하고 왜 (예상과 다르게) 식용유하고 식초, 라면 국물이 잘 자랐는지도 설명했고 우리 연구 목적과 지하수가 잘 못 자란 결과를 부각하는, 그런 식으로 진행을 했어요.

M1: 다른 친구는 어떤 질문이나 피드백을 들었니?

S4: 저희들이 희석한 액체로만 실험을 했잖아요. 그런데 원예학과 교수님한테 들었는데, 그렇게 하지 말고 일산화탄소나 메탄가스 등 여러 가지 기체를 이용해서 어떤 반응이 나오는 지 실험을 해보면 좋을 것 같다고.

(2014. 12. 20. Day 22 학회 발표 후 평가회 중)

발표 후 감정에 대하여, S3과 S4는 발표하는 시간이 굉장히 즐거웠으며 아쉬움이 남지 않는다고 회고했다. 심지어 S4는 이 과정이 너무나 즐거워서, 그 경험을 친구들과 공유하고 싶어 학교 내에 과학 연구 및 학회 발표 동아리를 만들고 싶다고까지 했다. 그러나 어색해 하며 발표를 잘하지 못하고 머뭇거렸던 S2와 S5는 그 동안 준비했던 과정을 떠올리며 아쉬워했다.

S2: 제가 발표할 때 부끄러워서 말을 못했거든요 사람들한테. 사람들이 물어봐도 친구들이 다 대답하고. 그래서 아쉬움이 남아요.

(S2 사후 면담 중)

### 나. NOS 학습 내용 5: 학술 대회는 과학자들의 소통의 장이다 vs 왜 개최하는지 모르겠다

사후 면담에서 “왜 1년에 한두 번씩 많은 연구자가 모이는 학회를 개최할까? 학회의 역할은 뭘까?”라는 질문을 통해 학술 대회의 의의에 대한 인식을 조사했다. 학생별 다양한 대답을 청중 입장, 발표자 입장, 개인적 차원, 학문적 차원, 사회적 차원의 5가지로 분류하여 정리하면 Table 11과 같다. 다섯 차원을 모두 언급한 학생은 없었지만, 과학자나 과학 교사 등 과학 관련 진로를 꿈꾸는 학생들(S1, S2, S4)은 학술 대회 의의를 다각도(3~4가지 영역)에서 평가했다. 이들은 발표자의 입장에서 “사람들의 생각을 공유”하려고(S1), “과학적 지식을 더 얻으려고”(S2), 즉 새로운 과학 정보 습득이 목적이고, 발표자 입장에서는 “내 연구(결과)를 확산하려고” 즉 자신이 생성한 과학 지식(연구 결과)의 확산이 목적이라고 인식하고 있었다. 또한 학문적 차원에서 (“학문) 전체 지식의 증가(S2)”, 즉 새로운 정보 및 지식이 더해짐에 따라 과학 각 분야의 학문이 발전하는 데 학술 대회가 도움을 준다고 생각했다.

S1: 내가 혹은 다른 사람들이 궁금해 했던 내용을 다른 사람이 연구했는데 이런 결과가 나왔구나, 나도 이런 과정을 거치면 저런 결과가 나오겠다 배울 수 있는, 사람들의 생각을 공유하고 나누는 그런 자리? 그리고

Table 11. Students' view about academic conference

학생(진로 계획)	청중 입장	발표자 입장	개인적 차원	학문적 차원	사회적 차원
S1 (과학자)	사람들의 생각을 공유함	우리 연구의 확산		새로운 정보 및 지식의 추가로 인한 학문의 발전	
S2 (과학 교사, 과학자)	과학 지식을 얻음	내 연구를 사람들에게 전함	체험, 경험을 함	학문 전체 지식의 증가	
S3 (법률가, 행정가)			경험을 쌓음		
S4 (지질학자)	새로운 과학 정보의 습득	자신이 생성한 과학 지식을 보여줌		새로운 정보 및 지식의 추가로 인한 과학의 발전	사회적으로 유익한 정보의 확산
S5 (바리스타)			경험을 쌓음		아이디어의 확산을 통한 사회적 유용성

또 우리의 연구를 확산시킬 수 있는 그런 자리?

(S1 사후 면담 중)

S2: 학회에 참석하는 사람은 과학적 지식을 더 많이 얻고 싶어 하는 것 같아요. 우리처럼 청소년들은 그냥 이런 체험, 경험을 하고 싶어 하는 것 같고요. 발표하는 사람들은 내 연구가 이렇다는 것을 사람들에게 전하기 위해서 하는 거 아닐까요? (중략) 학술 활동을 하면 (학문) 전체적으로 아는 지식이 더 많아지니까 이로운 거 아닐까요?

(S2 사후 면담 중)

S4: 다른 과학자나 다른 사람들이 포스터 발표라든지 구두 발표를 하잖아요. 그런 것을 통해서 다른 사람들에게 자신의 지식을 보여줄 수 있고 더 나아가서는 여러 세계 사람들에게 유익한 정보를 전해줄 수 있으니까 하는 거 아닐까요? 그걸 통해서 과학을 좀 더 발전을 시킬 수 있고.

(S4 사후 면담 중)

반면, 과학 진로에 관심이 없다는 공통점을 지닌 S3와 S5는 학술 대회 의의를 한두 가지 영역에서만 답했다. 이들은 공통적으로 개인적 경험으로서 의의를 둘 뿐, 새로운 과학 지식과 정보가 비평 및 공유되는 장으로서의 학회에 대해 전혀 인식하지 못했다.

S3: 저는 개인적으로 경험을 쌓으려고 학회에 참석한다고 생각해요. (학회)가 왜 열리는지는 자세히 모르겠는데, 발표하는 사람 입장에서 보면 논문도 써 보고 하는 게 의미가 있는 것이예요. 제가 이걸 왜 하는지는 알겠는데 왜 학회를 (개최)하는지는 모르겠어요.

(S3 사후 면담 중)

S5: 청소년들 같은 경우에는 (발표하는 경험의) 기회를 주기 위해서고 교수님들이나 그런 분들은 논문이 나중에 사회에서 쓰일 수도 있으니까 (개최)하는 것 같아요.

(S5 사후 면담 중)

학술 대회의 의의에 대한 학생들 간 개인적, 학문적 인식의 차이는 처음 프로그램에 참여한 학생들의 동기와의 관련지어 해석할 수 있다. 과학 외 진로를 꿈꾸는 학생들은 권위 있는 학회에 참가하고 발표해보는 경험 자체에 목적을 두고 프로그램에 참여한 반면, 과학 진로를 꿈꾸는 학생들은 그 이상, 즉 과학 공동체 구성원으로서 예비 과학자 경험을 한다는 것에 동기 부여되어 있었다. 이로부터 학술 대회의 의의에 대하여 과학 외 진로를 꿈꾸는 학생들은 개인적 차원에서의 비교적 단순한 의미만을 발견했고, 과학 진로를 꿈꾸는 학생들은 학문적 차원의 의의를 발견했던 것이다.

학생들은 ‘학회 경험’을 통해 각자 청중 및 발표자 입장, 개인적 차원 뿐 아니라 학문적, 사회적 차원에서 학술 대회의 의의에 대한 인식을 다양하게 구성했다. 인식의 차이, 특히 강조점을 개인적 차원과 학문적 차원 중 어디에 두느냐의 차이는 학술 대회 발표장에서 참여의 적극성 정도가 아니라 평소 과학 진로를 꿈꾸는지의 여부에 따라 달랐다. 이것은 학술 대회에서의 짧은 시간 동안 걸로 드러나는 상호작용이 활발하다고 해서 학생이 학회, 즉 과학 공동체에서의 사회적 활동에 대한 인식을 정교하게 구성했다고 판단할 수 없음을 의미한다.

#### IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 명시적이지 않은 과학 연구 프로그램에 참여한 학생들이 과정으로서 NOS와 관련하여 다섯 가지 측면에서 어떤 내용을 학습했는지 밝혔다. 또한 이러한 관점을 구성하도록 한 학습의 상황을 함께 제시했다. 기존 연구들이 NOS 학습의 결과만을 제시한 것 (Schwartz, Lederman & Crawford, 2004; Hunter, Laursen & Seymour, 2007; Ryder & Leach, 1999)과는 달리 본 연구에서는 NOS 학습이 이루어진 맥락까지 제시한 것이다. 연구 결과 학생들은 과학 연구 과정에서의 특별한 경험, 즉 ‘혼동 경험’, ‘제외 경험’, ‘해석 경험’, ‘과학 사회 경험’, ‘학회 경험’ 등을 바탕으로 연구 문제의 역할, 측정값의 유효성, 자료 해석에서의 주관성, 과학 지식의 생성과 동료 심사, 학술 대회 개최의 의의 측면에서 정교화 정도에 차이는 있었으나 현대적 인식론에 가까운 NOS 인식을 구성했다. 그리고 이들은 각 NOS 측면에 대하여 대체로 공통의 인식을 공유했다. 그 원인은 이들이 과학 연구 과정을 함께 수행했기 때문이라고 볼 수 있다. 각 학생이 서로 다른 연구를 진행하거나 같은 연구를 개별적으로 진행했다면 이들이 학습한 NOS 내용은 서로 달랐을 수 있다. 그러나 이들은 하나의 연구 과제를 공동으로 수행했기 때문에 동일한 학습 환경에서 동일한 NOS 인식을 갖게 된 것이다. 이렇듯 본 연구는 과학 연구 상황에서 학생들이 과정으로서 NOS에 대한 학습의 과정을 맥락과 관련지어 보여줌으로써 과학 연구 과정 참여에서 NOS의 맥락적(contextual) 학습이 가능함을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 본 연구의 결론으로서 과학 교육에서 성공적인 NOS 학습을 위해 ‘실제성’의 의미를 재고해야 함을 제시하고자 한다.

과학 교육에서 ‘실제적 과학 탐구’를 실현하고자 한 시도는 상황학습론이 대두된 1980년대 말 이후 계속되어 왔다. 많은 연구들이 ‘실제적 맥락’을 제공하여 과학 학습을 촉진하거나 하지 못했다는 결과를 내놓았다. 그러나 정작 ‘실제성’을 무엇으로 정의할 것인가에 대한 고



민은 많지 않았다. 실제적 과학 탐구는 과학자들이 자연 세계에 대한 이해를 얻기 위하여 행하는 일이며, ‘실제성’은 과학자가 하는 일과의 유사성으로 정의된다(Barab & Hay, 2001). 이런 가정 하에서 교실 기반 과학 탐구는 엄밀히 말해 실제적이지 않다고 간주될 수 있다. 그러나 이러한 가정은 복잡하고 어려운 ‘실제적 활동’을 전문가들만 할 수 있는 것으로 제한한다는 한계를 가진다. ‘실제성’은 교사, 학생, 과학자 등 각자의 관점과 이론적 틀에 따라 다른 의미일 수 있으며 (Crawford, Krajcik & Marx, 1999; Martin, Kass, & Brouwer, 1990), 이는 당연한 현상이다.

예컨대, 과학자 공동체에 들어가고자 하는 예비 이공계 대학원생들이 ‘실제적 과학 탐구’를 학습하기 위해 가장 적절하고 필요한 환경은 실제 과학 연구 환경인 실험실 및 연구실에서의 인턴십일 것이다. 그러나 실험실 및 연구실에서의 인턴십 환경은 초·중등학생이 ‘실제적 과학 탐구’를 배우기에는 적절하지 않을 수 있다. 이들에게 실제 현장에서의 연구 주제와 내용은 지나치게 어렵고 추상적이며, 자료 수집 및 분석의 과정 또한 복잡하고 정교한 지식과 기술을 요구하기 때문이다. 과학 교육에서 학습 목표와 학습 주제의 인지적, 수행적 능력을 고려하여 ‘실제성’의 의미와 구현 방식을 달리 해야 하는 이유가 여기에 있다.

중학생이 과학 연구를 수행함으로써 과정으로서 NOS 관점을 학습하는 것을 목표로 한 본 프로그램에서는 ‘실제성’의 의미를 학습자의 주제성 및 의미와 관련 지어 해석했다. 즉 ‘실제적 과학 연구 학습 환경’은 학생 스스로 연구자로서의 주제성을 가지고, 자신이 하고 싶은 주제에 대한 연구를 처음부터 끝까지 수행함으로써 구현될 수 있다고 보았다. 이러한 이론적 배경을 가지고 진행된 ‘과학자 되어보기’ 프로젝트를, 과학자의 입장에서 실제적 과학 연구가 아니라고 생각할 수 있다. 학생들이 수행한 연구 주제와 내용이 단순하고 쉬울 뿐 아니라 자료 수집 과정이 정밀하지 못했고, 결과 또한 특별히 학문적으로 의미 있는 새로운 발견이 없기 때문이다. 그러나 과학 교육의 측면에서 본 프로그램은 비록 실제 과학 연구보다 지식적, 기술적 측면에서 일부 단순화된 측면이 있으나 과정으로서의 과학이 무엇인가에 대한 핵심 내용을 학습자가 주제적으로 경험할 수 있는 환경을 설계했다는 점에서 의의가 있다. 또한 결과적으로 이러한 가정에 입각한 본 프로그램에서 학생들은 과정으로서 NOS에 대한 관점을 현대 인식론에 가깝게 구성하게 되었다. 이러한 본 연구의 가정과 결과는 과학 교육에서 실제성의 의미와 실제적 과학 학습 환경의 구현 방식에 대한 재고의 필요성을 시사한다. NOS 학습을 위해서 과학자 멘토로부터 도제학습을 하는 참여 모형보다 오히려 본 연구의 ‘실제성’에 대한 가정을 적용해 교사의 도움을 바탕으로 학생 스스로 과학 연구를 시행하도록 하는 시뮬레이션 모형을 활용하는 것이 의미가 있을 수 있다는 것이다.

상황학습론에서의 가정에 의거하면, 본 연구의 프로그램 뿐 아니라 ‘실제적 과학’을 표방하는 모든 과학 교육 프로그램은 그 고유한 맥락에 따라 특징적인 NOS 학습이 일어나도록 할 것이다. 그러나 많은 선행 연구들은 실제적 과학 탐구 프로그램에서 NOS의 학습 효과가 별로 없다고 보고했다(Bell, Crawford & Lederman, 2003). 이러한 현상의 원인을 찾고 한계를 극복하고자 Lederman 연구 그룹을 비롯한 많은 과학 교육 연구자들은 단순히 실제적 환경(authentic setting)에서 과학적 탐구를 경험하는 것으로는 NOS 학습을 담보할 수 없고, 목적적이고 명시적인 반성의 과정이 필요하다고 주장해 왔다(Lederman

*et al.*, 2014; Schwartz, Lederman, & Crawford, 2004; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002). 실제적 과학 연구 경험의 맥락에서 저널 쓰기 와 과학자와의 세미나 등을 통하여 본인의 NOS 견해를 드러내고 연구 경험 이후 NOS 견해가 어떻게 변화했는지 반성적으로 고찰하는 것이 필요하다는 것이다. 그러나 본 프로그램에서는 NOS에 대한 직접적인 교수나 반성 과정이 포함되지 않았음에도 불구하고 참여 학생들은 NOS 관점을 현대 인식론에 가깝게 구성했다. 암묵적 과학 연구 프로그램임에도 불구하고 이렇듯 원활한 NOS 학습이 가능했던 원인은 본 프로그램의 특성들로부터 유추할 수 있으며, 이를 기반으로 이후 연구 기반 프로그램에 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 과학자가 하는 일(scientific enterprises)의 주요 요소(Moss, Abrams & Kull, 1998)를 모두 포함함으로써 NOS 학습을 위한 보다 풍부한 맥락을 제공해야 한다. 본 프로그램은 8개월 동안 사회 문제(토양 오염)에 기초한 ‘연구할 만한’ 문제의 개발, 방법론적 계획(가설-연역적 방법), 자료 수집, 자료 해석, 결론 도출, 결과에 대한 의사소통(학술대회 포스터 발표) 등의 다섯 가지로 이루어졌다. 10차시 이하의 학교 과학 실험 및 탐구 활동(Do, Hwang & Park, 2009; Kim & Kim, 2007)이나 한 달이 되지 않는 짧은 기간의 연구실 인턴십 프로그램(Abraham, 2002)보다 더 다양한 NOS 학습 맥락이 마련된 것이다. 굳이 상황학습론 배경을 가정하지 않더라도, 풍부한 맥락으로부터 학습자의 다양한 경험과 배움이 가능함은 분명하다. 본 프로그램과 같이 과정으로서의 과학에 대한 전반적 단계를 경험하도록 한다면, 이로부터 NOS의 다양한 요소를 학습할 수 있을 것이다.

둘째, 반(半)구조화된 수업 설계를 바탕으로 학생이 연구의 주도권을 소유하도록 해야 한다. 연구의 주도권을 소유한다는 것은 학생이 과학자가 되어본다는 것, 즉 연구 과정에서 필요한 의사결정을 내리고, 때때로 발생하는 문제를 스스로 해결한다는 것을 의미한다. 본 프로그램은 학생 주도적 수업으로, 학생들이 연구 주제 선정, 연구 방법 설계, 자료 수집 및 변환, 자료 해석 등 각 연구단계마다 필요한 결정을 내렸다. 이 과정에서 교사의 역할이 매우 중요했는데, 교사는 인도자라기보다는 조력자이자 안내자, 조직자였다. 교사의 다양한 도움으로 학생들은 자신에게 맞는 수준의 연구를 주제적으로 진행할 수 있었다. 학생들이 인식하기에 토양 연구는 교사가 제시한 것이 아니라 자신들이 함께 만들어간 ‘우리 연구’였다. 연구의 주도권을 소유한 학생들은 보다 적극적으로 연구 중에 발생하는 문제에 대처했다. 그들은 측정값의 신뢰성이 의심되는 상황 또는 예상과 결과의 불일치로 인한 혼란 등 여러 문제 상황을 진지하게 대면했으며, 이를 해결하기 위한 논의를 활발하게 전개했다. 학습은 학습자와 관련된 딜레마나 문제로부터 발생하므로, 학생들은 시행착오로 보이는 이러한 과정에서 ‘과정으로서의 과학’의 역동성을 생생하게 경험할 수 있었던 것이다. 이렇듯 학생에게 주도권을 부여한다면, ‘연구자’로서 자연스럽게 NOS 관점을 구성하도록 할 수 있을 것이다.

셋째, 연구 내용이 연구자에게 관련되고 의미가 있어야 한다. ‘실제성’은 과학자가 하는 활동과의 유사성뿐만 아니라, 연구자인 학생들의 삶과 연구와의 관련성에 의해서도 결정된다(Crawford, Krajcik, & Marx, 1999). 이것은 ‘실제성’에 대한 또 다른 관점으로 연구 참여자가 연구의 주제와 내용이 자신의 삶과 연관된다고 여길 때 더욱 생산적인 학습이 일어날 수 있다는 것이다. 또한, 실험 소재 및 대상이 일상생활과 관련이 있을 때 실제적 탐구의 특성이 반영되기 쉽다(Kim & Kim,

2006). 본 프로그램에서 학생들의 연구 주제는 ‘생활 오염 물질이 식물의 생장에 미치는 영향’이었으며, 오염 물질은 특히 라면 국물, 물감, 식용유 등 청소년들이 생활에서 흔히 사용하고 배출하는 것이었다. 학생들이 공감할 수 있는 실생활 문제와 관련된 주제였기 때문에 학생들은 연구를 보다 유용하며 의미있는 것으로 여겼다. 이렇듯 그들과 관련된 연구 내용을 선정한다면, 학생들은 과정으로서의 과학이 무엇인지에 대하여 의미 있는 학습을 할 수 있을 것이다.

본 연구를 통하여 학생들은 대체로 현대인식론적인 NOS 인식을 형성하게 되었으나, 프로그램 내용과 과정에 아쉬운 점도 있었다. 이를 바탕으로, 향후 NOS 학습 관련 연구 기반 접근을 위한 제언을 하면 다음과 같다. 첫째, 보다 성숙한 NOS 인식으로의 발달을 위하여 심화된 NOS 내용은 명시적, 반성적 접근이 유용할 수 있다. 본 프로그램을 통해 모든 학생들이 보다 정교하게 구성된 NOS 관점과 일부 학생들이 정교하게 구성하지 못한 NOS 관점이 있었다. 학생들은 연구 설계 및 자료 수집과 관련된 관점은 ‘연구 문제와 목적은 전반적 연구 과정을 인도한다’, ‘연구자는 유효하지 않은 자료를 분석 대상에서 제외하며, 자료의 유효성을 높일 방법을 찾는다’ 등과 같이 보다 정교하게 구성했다. 자료 해석에서의 주관성과 관련해서는 ‘과학이 완벽하게 객관적이지 않고, 주관성이 개입할 수 있다’는 단순한 수준의 이해를 구성했다. 과학의 사회성과 관련하여 일부 학생들이 동료평가의 역할 및 학문적 차원에서 학회의 의의에 대한 관점을 제대로 구성하지 못했다. 이러한 결과는 학습자가 경험만으로 스스로 깨닫기 어려운 수준의 NOS 인식이 존재함을 의미하며, 이러한 측면에 대해 교사가 명시적으로 현대적 인식론을 정확하게 제시하고 설명할 필요성을 시사한다.

과학하는 과정과 과학적 지식에서 ‘주관성 개입’을 예로 들어 보자. 현재 지배적인 과학 철학적 관점은 실재론적 의미로서의 객관성이 아니라 상호주관성(inter-subjectivity)으로서의 객관성의 개념을 바탕으로 ‘개별 과학자가 연구하고 과학 지식을 생성하는 과정에는 특정 패러다임에의 선호 등 개별적 신념과 가치, 선행 지식 등 주관적 요소가 반영될 수 있지만, 지속적인 검증과 개방적 비판에 기초한 과학 공동체 구성원 사이에서의 상호주관적 동의로부터 과학의 객관성이 보장될 수 있다’는 것이다(Constantina & Constantine, 2014). 이렇듯 현대 과학철학에서 합의된 관점인 과학에서의 상호 주관성은 학생 스스로 구성하기 어려운 개념일 수 있다. 이에 대한 보다 정교화된 인식을 구성하도록 하기 위하여, 자료 해석에서 학생이 주관성을 개입한 경험을 한 이후 교사는 그렇다면 과학에서 주관성과 객관성의 의미는 무엇인지에 대한 질문을 제시함으로써 학생 간 논의와 스스로에 대한 반성의 기회를 제공하는 것이 유용할 수 있다.

둘째, NOS에서 강조되지 않았던 하위 요소에 대한 과학 교육적 조명이 필요하다. 본 연구에서는 귀납적 분석을 통해 참여 학생들이 측정의 본질적 불확실성과 이에 따른 측정의 오차, 반복측정의 필요성 등에 대한 이해가 미진함을 밝혔다. 이는 초등학생들이 측정의 본성에 대한 현대적인 인식론적 견해를 형성하지 못하고 있다는 선행 연구 결과와 같다(Yang *et al.*, 2011). 그런데 측정의 본질적 불확실성은 과학의 본성 혹은 과학적 탐구에 대한 인식 검사지에서 포함되지 않는 등(Lederman *et al.*, 2002; Schwartz, Lederman & Lederman, 2008, March; Lederman *et al.*, 2014) NOS의 하위 요소 중에서 간과되어 왔던 경향이 크다. 향후 NOS 학습을 위한 연구 기반 접근에서는 단순히 측정을 시도하고 그 기능을 익히는 수준을 넘어, 반복 측정 후 자료

를 처리하거나 주어진 자료 집합을 비교하여 타당한 결론을 내리는 등 측정의 본성을 학습하기 위한 활동을 계획적으로 포함할 필요가 있다. 또한 측정 외에도 과학적으로 매우 의미 있지만 NOS 교육에서 간과되어 왔던 다른 탐구 요소들을 발견하고, 그 학습을 위해 연구 기반 접근에서 어떻게 교육적 설계를 할 것인가에 대한 고민이 필요하다.

셋째, 학생들의 연구 진행 상황에 대한 메타 인지를 점검하고 촉진할 필요가 있다. 본 프로그램의 실행 중에 학생들은 자신들이 설계했던 연구의 주제와 문제를 혼동하거나 망각했다. 본 프로그램은 토요 과학 교실에서 기본적으로 1주에 한 번 진행되는데, 학생들의 학교 시험기간 등 휴강이 있을 경우 학생들은 최대 1개월의 기간 동안 연구를 쉬기도 했다. 이러한 상황에서 학생들은 진행 중인 연구의 맥락을 잊게 된 것이다. 학생들이 전반적인 연구의 흐름과 현재 연구 진행 상황에 대한 반성 일지를 작성하도록 하고, 교사가 수업 중에 때로 연구에 대한 메타 인지를 점검하고 촉진한다면 이러한 문제가 일부 개선될 것이다.

본 연구에서 적용된 과학 연구 프로그램은 NOS를 명시하지 않은 프로그램으로서 성공적으로 NOS 학습이 일어나도록 했다. 그러나 본 연구에서 암묵적 프로그램이 명시적이고 반성적인 프로그램과 비교하여 우수하다는 것이 논의의 핵심은 아니다. 그보다 ‘실제성’을 교육적으로 의미 있게 구현한 프로그램이라면, 명시적이고 반성적이지 않더라도 NOS 학습을 촉진한다는 점이 더 의미있다. 본 연구와 같은 의미의 ‘실제적 과학’ 환경에서 명시적이며 반성적으로 NOS를 다룬다면, 학생들의 NOS 학습에 어떤 영향을 미칠지에 대한 후속 연구가 이어지기를 기대한다.

## 국문요약

본 연구는 연구 기반 ‘실제적’ 과학 교육 프로그램이 맥락적으로 과정으로서 과학의 본성 학습을 촉진함을 밝히고자 한 사례 연구다. 이에 ‘과학자 되어보기’ 멘토-멘티 프로그램을 개발하고 7학년 6명에게 8개월간 적용했다. 이 프로그램에서는 과학 교육 연구자인 멘토가 스캐폴딩과 코칭을 제공하며, 멘티 학생들은 연구 문제 선정, 연구 설계, 자료 수집과 분석, 논문 작성 및 학회 발표에 이르기까지 과학 연구의 전체 과정을 수행한다. 연구 문제는 1) 암묵적 과학 연구 프로그램의 참여자는 연구 단계별 학습 상황에서 무엇을 경험하는가? 2) 암묵적 과학 연구 프로그램에 참여한 학생은 각 학습 상황에서 ‘과정으로서 NOS’에 대해 어떤 관점을 구성하는가? 등이다. 수업 관찰, 사후 면담, 멘토의 성찰 보고서, 학생 산출물 등이 수집 및 분석되었다. 연구 결과, 참여 학생들은 1) 연구 문제 망각과 혼란, 2) 자료 오류의 처리와 파기, 3) 연구자 입장에 따른 자료 해석, 4) 전반적 연구 경험과 논문 작성, 5) 학술대회 발표장에서의 경험 등의 다양한 상황에서 연구 문제의 역할, 측정값의 유효성, 자료 해석에서의 주관성, 과학 지식의 생성과 동료 심사, 학술 대회의 의의 등 과정으로서의 과학에 대한 각자의 관점을 학습했다. 참여 학생들이 공통적으로 학습한 NOS 관점은 현대적 인식론에 가까웠다. 본 연구는 과학 연구의 구체적 상황과 과정으로서 NOS 학습을 관련지어 보여줌으로써 NOS의 맥락적 학습이 가능함을 보였다. 본 연구에서는 과학자가 하는 일과의 유사성이 아닌 학습자의 주체성 및 의미와 관련지어 ‘실제성’을 정의했고, 이렇

듯 상황학습론적 가정에 입각한 프로그램은 성공적인 NOS 학습을 촉진했다. 본 연구의 가정과 결과는 과학 교육에서 실제성의 의미와 실제적 과학 학습 환경의 구현 방식에 대한 재고의 필요성을 시사한다. 연구 기반 과학 교육 프로그램에서 성공적인 NOS 학습이 가능하도록 하기 위해서는 본 프로그램과 같이 1) 과학자가 하는 일의 주요 요소를 포함함으로써 풍부한 맥락을 제공하고, 2) 반구조화된 수업 설계를 바탕으로 학생이 연구의 주도권을 소유하도록 하며, 3) 과학 연구 내용이 연구자에게 관련되고 의미 있도록 해야 한다.

**주제어:** 멘토-멘티 프로그램, 실제적 연구 기반 프로그램, 과학의 본성, 암묵적

## References

- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of the nature of science: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22, 665-701.
- Abraham, L. M. (2002). What do high school science students gain from field-based research apprenticeship programs?. *The clearing house*, 75(5), 229-232.
- Barab, S. A., & Hay, K. E. (2001). Doing science at the elbows of experts: Issues related to the science apprenticeship camp. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(1), 70-102.
- Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. 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), 487-509.
- Constantina, S., & Constantine, S. (2014). Subjectivity and objectivity in science: An educational approach. *Advances in Historical Studies*, 3, 183-193.
- Crawford, B. A., Krajcik, J. S., & Marx, R. W. (1999). Elements of a community of learners in a middle school science classroom. *Science Education*, 83(6), 701-723.
- Do, S., Hwang, Y., & Park, J. (2009). The importance of reflection on the middle school science experiment class for teaching the nature of science. *Journal of science education*, 33(2), 184-192.
- Edelson, D. C. (1998). Realising authentic science learning through the adaptation of scientific practice. *International handbook of science education*, 1, 317-331.
- Han, S., Yang, C., & Noh, T. (2013). Instructional influences of explicit and reflective scientific inquiry learning program about nature of scientific inquiry. *Journal of Korean Chemical Society*, 57(1), 115-126.
- Hunter, A. B., Laursen, S. L., & Seymour, E. (2007). Becoming a scientist: The role of undergraduate research in students' cognitive, personal, and professional development. *Science Education*, 91(1), 36-74.
- Kang, S., & Noh, T. (2014). Nature of science. Seoul: Bookshill.
- Khishfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of research in science teaching*, 39(7), 551-578.
- Kim, M. (2008). The meta-analysis of studies by views on nature of science. Master thesis, Chonnam National University.
- Kim, K., & Sim, J. (2008). Scientifically gifted students' perception of the impact of R&E program based on KAIST freshmen survey. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(4), 282-290.
- Kim, M., & Kim, H. (2006). An analysis of the biology inquiry tasks in science high-school: Focusing on the features of scientific reasoning in authentic scientific inquiry. *Journal of Korean Biology Education*, 34(4), 330-341.
- Kim, M., & Kim, H. (2007). Development and application of authentic open inquiry program in high school biology curriculum. *Journal of Korean Biology Education*, 35(4), 521-535.
- Kim, Y. (2012). *Qualitative research methodology I: Bricoleur* (2nd Ed.). Seoul: Academy Press.
- Lederman, J. S., Lederman, N. G., Bartos, S. A., Bartels, S. L., Meyer, A. A., & Schwartz, R. S. (2014). Meaningful assessment of learners' understandings about scientific inquiry: The views about scientific inquiry (VASI) questionnaire. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(1), 65-83.
- 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., Abd-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.
- Martin, B., Kass, H., & Brouwer, W. (1990). Authentic science: A diversity of meanings. *Science Education*, 74(5), 541-554.
- Moss, D. M., Abrams, E. D., & Kull, J. A. (1998). Can we be scientists too? Secondary students' perceptions of scientific research from a project-based classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 7(2), 149-161.
- National Research Council [NRC]. (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Science Teachers Association [NSTA]. (1971). NSTA position statement on school science education for the 70's. *The Science Teacher*, 38, 46-51.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards*. Washington, DC: National Academies Press. Available at <http://www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards>.
- Nott, M., & Wellington, J. (1993). Your nature of science profile: An activity for science teachers. *School Science Review*, 75, 109-109.
- O'Neill, D. K., & Polman, J. L. (2004). Why educate “little scientists?” Examining the potential of practice-based scientific literacy. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(3), 234-266.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.
- Park, J. (2007). A study of new models for scientific inquiry activity through understanding the nature of science (NOS): A proposal for a synthetic view of the NOS. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 27(2), 153-167.
- Park, E., & Hong, H. (2010). The effects of explicit instructions on nature of science for the science-gifted. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30(2), 249-260.
- Richmond, G., & Kurth, L.A. (1999). Moving from outside to inside: High school students' use of apprenticeships as vehicles for entering the culture and practice of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 677-697.
- Ryder, J., & Leach, J. (1999). University science students' experiences of investigative project work and their images of science. *International Journal of Science Education*, 21(9), 945-956.
- Ryder, J., Leach, J., & Driver, R. (1999). Undergraduate science students' images of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 201-219.
- Sadler, T. D., Burgin, S., McKinney, L., & Ponjuan, L. (2010). Learning science through research apprenticeships: A critical review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(3), 235-256.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Schwartz, R. S., & Crawford, B. A. (2004). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science: Identifying critical element. In

- L. Flick, & N. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- 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.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2008, March). An instrument to assess views of scientific inquiry: The VOSI questionnaire. In annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Baltimore, MD.
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, Inc.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2009). From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge. *Science Education*, 93(1), 109-130.
- Wong, S. L., & Hodson, D. (2010). More from the horse's mouth: What scientists say about science as a social practice. *International Journal of Science Education*, 32(11), 1431-1463.
- Yang, C., Lee, J., Kim, Y., & Noh, T. (2011). Elementary students' epistemological views on the nature of scientific measurement. *Elementary Science Education*, 30(4), 430-441.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (4th Ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.