



프로젝트 기반 과학 활동 과정에서 나타나는 학생 탐구의 특징: 증거-이론-방법의 조정과 도구 사용의 솜씨를 중심으로

이선경, 한지원, 이재원, 노태희*
서울대학교

Characteristics of Student Inquiry Found in Project-based Science Practices: Focusing on Theory-Evidence-Method Coordinations and Skills in Using Tools

Sun-Kyung Lee, Jiwon Han, Jaewon Lee, Taehee Noh*
Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 30 June 2015

Received in revised form

13 July 2015

27 July 2015

Accepted 28 July 2015

Keywords:

student inquiry,
theory-evidence-method
coordination,
embodied tacit knowledge,
skills

ABSTRACT

This study aims to explore the characteristics of student inquiry found in project-based science practices. The participants were four high school students in a science research club and worked their own project for one semester. During the project, they made their research questions, planned and executed their research procedures, and made their own conclusion. Their activities during the project were videotaped and recorded. They were also interviewed. Group worksheets and written reports were all collected for analyses. The whole processes of the inquiry were analyzed and interpreted qualitatively. The characteristics of student inquiry were presented in the view of the theory-evidence-method coordination. Three different modes of the coordinations that were found recursively in their inquiry were the theory-evidence coordination, the evidence-method coordination, and the theory-evidence-method coordination. It was also revealed that students' tacit knowledge using various tools were exhibited and these skills improved during their group works. The implications for school science inquiry education and research based on this study are discussed.

1. 서론

1960년대 이후 다양한 형태의 과학 교육과정이 시도되고 변화하였음에도, 탐구는 과학 교수·학습의 방법과 목적에서 중심적인 위치를 차지한다(Abd-El-Khalick *et al.*, 2004). 우리나라 과학 교육과정에서는 학문중심 교육 사조를 기반으로 과학적 탐구력의 배양을 제5차 과학 교육과정의 주요 목표로 설정한 이후(Cho, 1992; Ministry of Education, 1987), 제6차와 제7차 및 이어지는 개정 교육과정에서도 지속적으로 강조해왔다. 2015 개정 교육과정 총론에서도 과학교육의 목표 중 하나로 과학적 탐구역량의 함양을 강조하고 있을 뿐 아니라 고등학교에 독립된 과학 탐구실험 과목을 편성함으로써(Song, 2014), 향후 학생들의 과학 탐구 활동이 더욱 활발하게 이루어질 전망이다.

그러나 탐구 활동은 단순 탐구 유형으로부터 참 탐구 유형에 이르는 연속선상에 놓고 볼 때(Chinn & Melhotra, 2002; Rudolph, 2005), 학교 과학에서 수행되는 전형적인 탐구는 대개 단순 실험, 단순 관찰, 단순 예증이라는 단순 탐구의 세 가지 유형으로 보고되고 있다(Chinn & Melhotra, 2002). 참 탐구 유형에 위치하는 과학자들의 탐구(authentic inquiry) 활동은 복잡한 추론 과정과 다양한 논변체시가 가능한 문제, 전문가 검토 및 지식의 사회적 구성이라는 특징이 있는 반면, 학교 과학은 이러한 특징을 적절히 반영하고 있지 못하다(Chinn &

Melhotra, 2002; Kim & Song, 2004; Roth, 1995). 이에 Duschl (2005)은 학교 과학 탐구에 대한 반성과 새로운 대안으로 디자인 기반, 문제 기반, 또는 프로젝트 기반의 4주-6주에 걸친 집중 단위(immersion unit) 운영을 제안하였다. 또한, 그는 학생들이 경험해야 할 탐구의 초점을 내용-과정에서 증거-설명 접근으로 전환해야 한다고 강조하였다. 유사한 맥락에서 우리나라의 2007 개정 과학 교육과정에서는 '자유탐구'를 신설하여 일회성의 탐구 실험을 보완하고 학생들에게 과학의 과정 그 자체를 경험할 수 있는 기회를 제공하고자 하였다. 자유탐구는 학생들의 과학에 대한 흥미를 높이고 창의력을 신장시킬 수 있도록 학생 스스로 관심 있는 주제를 선정하여 탐구하는 것으로, 주제 선정에서부터 계획 수립, 탐구 수행, 결과 발표에 이르기까지 학생이 주도하여 창의적으로 수행할 수 있도록 하는 것이다(Ministry of Education, Science and Technology, 2007).

그동안 자유탐구에 대한 다양한 연구가 이루어졌는데, 자유탐구의 과정과 관련된 선행 연구는 자유탐구 과정에서 학생들이 겪는 어려움(Jung *et al.*, 2011; Shin & Kim, 2010), 예비교사의 자유탐구 활동에서 나타나는 추론의 복잡성 분석(Jeong *et al.*, 2011), 탐구 문제의 구성과 변인 추출 및 명료화 과정(Yoo & Kim, 2012), 자유탐구 지도의 어려움(Jeon & Jeon, 2009) 등이 있다. 이러한 연구들은 주로 자유탐구의 특정 단계에서 나타나는 특징을 조사하였으며, 자유탐구를 수행하는

* 교신저자 : 노태희 (noth@snu.ac.kr)

** 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A2065669).

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.4.0599

과정에서 학생들 혹은 지도 교사들이 겪는 단계적 특징과 어려움을 이해하고자 하는 데 도움을 준다.

본 연구는 자유탐구와 같이 비교적 긴 시간의 탐구 과정을 이해한다는 점에서는 일련의 선행 연구와 맥을 같이 하지만, 과학 활동에 참여함으로써 드러나는 학생 탐구의 특징을 미시적으로 조명한다는 점에서 차이가 있다. 여러 연구자들이 제안하듯이, 과학 탐구의 핵심은 ‘증거와 설명의 연결 및 평가’(Grandy & Duschl, 2007)와 그 과정에서의 ‘담화 및 논변’(Jimenez-Aleixandre & Erduran, 2008; Sampson *et al.*, 2011)에 있다. 이는 과학 탐구의 핵심인 과학적 추론 과정으로서 이론과 증거, 그리고 증거를 생성하기 위해 사용되는 방법의 조정이 강조되어야 함을 의미한다(Garcia-Mila & Anderson, 2008; Hodson, 2009; Kuhn & Franklin, 2006). 그럼에도 불구하고 과학 탐구 활동에 참여하는 학생들의 탐구 특징을 이론, 증거, 방법의 조정 과정 측면에서 분석한 사례는 찾아보기 어렵다. 이론, 증거, 방법의 조정이 이루어지는 과정은 단계적 수행으로는 알기 어려우며, 장기적으로 학생들이 주제를 정하고 방법을 계획하고 자료를 얻는 활동의 전 과정을 통해 탐색할 수 있다. 이론과 증거의 조정에 관한 사례가 보고되었지만(Lee *et al.*, 2010), 이 경우도 일회성의 활동에서 작성된 학생들의 활동지를 근거로 분석되었다. 즉, 이 연구는 이론과 증거가 학생들의 활동 맥락에서 어떻게 조정되었는지를 다루지 않았으며, 더욱이 활동 과정의 방법적 차원은 이론 및 증거와 어떻게 조정되는지를 살피지 못했다는 한계가 있다.

한편, 탐구 활동 과정에서는 학생들이 직접 보고 해보면서 몸에 체화된 지식 즉, 기술로서의 암묵지가 활동 과정의 토대를 이룰 것이다. 체화된 지식(embodied knowledge)으로서의 암묵적 지식(tacit knowledge)은 Polanyi (1958, 1966)의 자전거 타기 비유로부터 설명된다. 자전거를 탈 때에는 자꾸 실패를 거듭하면서 시도하여 어떻게 하는지를 차차 몸에 익히게 되고, 잘 타게 됐을 때는 어떤 식으로 해야지만 넘어지지 않고 가고 있는지를 더 이상 생각하지 않게 된다. 다시 말해, 지식에는 언어로 표현할 수 있는 형식적 지식(explicit knowledge) 외에 자전거 타는 법을 몸으로 익히는 것과 같은 암묵적 지식이 있다고 설명하였다. 암묵적 지식은 명시적으로 언어화하기 어려울 뿐 아니라, 개인이 암묵적 지식을 습득했는지 의식하지 못한 채 행동으로 드러나는 경우가 많다. 이러한 암묵적 지식은 설명서로 습득할 수 없는 것으로 경험을 통해 체득되며, 과학자의 연구 디자인과 방법론에 순환적으로 영향을 미치는 것으로 보고된 바 있다(Lee, 2013). 따라서 과학 활동에 참여하는 학생들의 탐구 특징을 실행 과정에서 명시적으로 드러나는 언어적 담화로만 설명하고자 한다면(Lee *et al.*, 2013), 탐구 과정에서 행동으로 드러나는 실행의 암묵적 특징을 간과하게 될 우려가 있다.

이에, 본 연구에서는 장기적 탐구 활동으로서 프로젝트 기반의 과학 활동에서 학생들의 탐구 특징을 정성적으로 탐색하고자 하며, 구체적으로 살펴볼 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 탐구 활동 과정에서 학생들의 과학적 추론 과정으로서 이론, 증거, 방법의 조정 양상은 어떻게 나타나는가?

둘째, 탐구 활동 과정에서 학생들의 도구 선택과 사용에 관한 체화된 암묵적 지식의 특징은 어떠한가?

본 연구는 학생 탐구 과정에서 나타난 이론, 증거, 방법의 조정 양상을 살펴보고, 실행의 토대를 이루는 도구 선택과 사용에 관한 체화된

암묵적 지식을 조명함으로써, 그 동안의 학교 과학 탐구에서 조명되지 못했던 학생 탐구의 특징에 관한 실질적 자료를 제공하고 교육적 의미를 모색하는 데 의의가 있다.

II. 연구 방법

1. 연구의 맥락

가. 연구 참여자

이 연구에 참여한 학생들은 서울특별시의 한 고등학교에서 한 학기 동안 과학 동아리 활동을 수행하였다. 과학 동아리 활동에 참여하는 학생들은 1학년 10명과 2학년 13명으로 총 23명이었다. 이중 연구 참여에 자발적으로 동의한 학생들만을 연구 참여자로 선정하였으며, 학생들은 3-4명이 한 조가 되어 4개월에 걸쳐 7차시(14시간) 동안 프로젝트 기반의 탐구 활동을 수행하였다. 학생들은 탐구의 주제와 과정을 직접 결정하고 공동 참여를 통한 협력과 상호교류에 초점을 두고 활동하였다.

나. 프로젝트 기반의 과학 동아리 활동

본 연구에서는 과학 동아리 활동을 하는 해당 고등학교의 1학년과 2학년 학생들이 참여하였다. 동아리 지도 교사에 따르면, 과학 동아리 활동은 해마다 약간씩 형식을 달리하여 여러 해 동안 이루어져 왔다. 특히, 이 고등학교는 과학중점학교로서 과학 동아리 활동을 자유롭게 수행할 수 있는 여건을 갖추고 있었다. 연구 초기에 지도 교사는 학생들에게 자유 탐구 형식의 프로젝트 기반 과학 활동 즉, 조별 논의를 통해 탐구 주제를 정하고 활동 과정을 설계 및 수행하도록 안내하였다. 지도 교사는 학생들이 자유롭게 과학 활동을 수행할 수 있도록 주제 선정 및 수정, 활동 과정 설계와 실행에 대한 특정한 기준을 제공하지 않았다. 학생들은 각 차시마다 활동을 마친 후 수행한 활동 과정과 이후 계획에 대한 활동 기록지를 작성하였다.

2. 자료 수집

연구를 위한 주 자료는 조별 활동 관찰과 비디오 녹화 및 녹음 자료, 그리고 학생들과의 일대일 면담 녹음 자료였고, 부 자료는 차시별 조별 활동지와 보고서 등의 문서 자료였다.

연구자 2인이 모든 조별 활동을 참관하고 학생들의 활동을 녹화 및 녹음하였다. 학생들의 활동이 이루어지는 실험실의 앞과 뒤에 3개의 비디오 레코더를 설치하여 전체 탐구 과정을 녹화하였다. 또한, 각 조가 활동하는 테이블에 녹음기를 설치하여 학생들의 활동 중 담화를 녹음하였고, 활동 후 즉시 전사하였다.

활동이 끝난 후에 자발적으로 면담 의사를 표현한 19명의 학생들을 대상으로 반구조화된 심층 면담(semi-structured in-depth interview)을 실시하였고, 면담의 전 과정을 녹음하였다. 면담에 소요된 시간은 30분에서 1시간 정도였다. 면담을 수행한 연구자 3인과 학생들 사이에 래포(rapport)가 충분히 형성될 수 있도록, 면담은 4차시의 활동이 진행된 후부터 실시하였다. 면담은 학생의 배경 정보, 과학에 대한 관점,

Table 1. The students' activities in their inquiry

차시	수업 차시별 활동의 개요
1	과학 탐구 활동에 관한 오리엔테이션.
2	조별 탐구활동 주제를 정하기 위한 브레인스토밍을 하면서 마인드맵 작성함. 첫 번째 활동 주제를 '씨앗의 한계'로 정함.
3	씨앗을 여러 가지로 처리(가로 및 세로로 자르거나 불에 굽기)한 후 흙에 심음. 결과 비교를 위해 처리하지 않은 씨앗도 심음. 씨앗 트는데 영향을 줄 수 있는 빛, 물 등의 환경 조건을 정함.
4	여러 가지로 처리한 씨앗에서 모두 싹이 났음. 싹의 길이는 차이가 있었으나 더 이상의 활동을 진행하지 않기로 함. 활동의 다음 단계를 정하지 못한 채 다른 과학 활동 주제를 탐색함. 두 번째 주제는 '폐건전지 재사용하기'로 정함.
5	폐건전지에 구멍을 뚫고 그 안에 이온음료나 NaOH 수용액 주입 후 전압의 변화를 측정함. 폐건전지를 자른 후 건전지 안을 파내고 이온음료나 NaOH 수용액 주입 후 전압의 변화를 측정함.
6	폐건전지 재생을 위한 5개의 방법 시도 후 전압 변화 측정: 땅속에 묻기, 냉동고에 넣기, 뜨거운 물에 넣기, 이로 깨물기(망치로 두드리기), NaCl 또는 KOH 수용액에 담그기.
7	땅에 묻어두었던 폐건전지 두 개를 꺼내 전압 변화 측정. 활동 결과 총정리.

과학 탐구 활동 과정에 대한 질문으로 구성하였으며 초점 질문을 중심으로 학생들의 응답에 따라 심층적 내용으로 접근하는 방식으로 진행하였다. 배경 정보에 대한 질문으로 과학 동아리 활동에 참여하게 된 동기과 과학에 대한 흥미에 대해 질문하였다. 또한, 과학 및 과학 활동에 대한 관점을 알아보는 주요 질문은 과학 탐구 활동의 주된 목적, 자신이 속한 조의 활동 과정, 문제점과 해결 과정, 활동 과정에서 자신과 동료의 역할 등에 대한 것이었다. 주요 질문에 대해 면담 참여 학생이 추상적 표현을 사용하거나 단답형의 응답을 할 경우, 예를 들거나 구체적으로 설명하도록 요구하였다. 면담 과정에서 연구 참여자의 응답에 따라 질문의 내용이나 순서가 일부 바뀌기도 하였으며, 과학 활동 과정에 대한 구체적인 정보를 얻기 위해 새로운 질문이 추가되기도 하였다. 이러한 과정을 통해 수집된 모든 자료들을 전사하여 분석하였다.

3. 자료 분석

본 연구의 주 자료인 활동 및 면담 자료 해석의 초점은 연구 참여 학생의 활동 과정에서 나타나는 탐구의 양상들, 특히 탐구 활동의 전체적인 흐름을 파악하는 것과 동시에 부분적이고 구체적인 특징을 조망하는 것이었다.

자료의 분석은 연구의 전 과정에서 순환적으로 이루어졌으며 네 단계를 거쳤다. 첫째 분석 단계에서는 과학교육 전문가 1인과 과학교육 전공 대학원생 2인이 수집한 자료에 관하여 열린 형태의 토론을 수차례 진행하였다. 연구진은 자료를 분석하기 위한 특정한 관점을 갖지 않고 자유로운 시각에서 자신의 생각을 이야기함으로써 조별 활동의 전반적인 특징을 이해하였다. 또한, 학생들의 조별 활동에 대해 각자 관찰한 사항들을 상호 교환하고 의견을 나눔으로써 조별 활동의 특징을 거시적으로 검토하였다.

둘째 분석 단계에서는 모든 조의 활동을 분석하여 도출한 과학 활동에서의 몇 가지 특징을 중심으로 1개 조를 본 연구의 분석 대상 집단으로 선정하였다. 여러 차례의 논의를 거쳐, 선정 기준은 탐구 과정에서 주제의 변경이 일어났는지, 조원들의 활동 참여 역할이 다양하고 역할 분담이 수평적으로 다양하게 이루어졌는지, 참여 학생들이 모두 면담에 참여하였는지로 정하였다. 최종적으로 이 기준을 모두 충족한 조를 선정하여 분석하였다. 선정된 조는 4명의 학생으로 구성되어 있었으며, 수업 차시별 주요 활동의 개요는 Table 1과 같다.

셋째 분석 단계에서 연구자 1인이 해당 조의 활동 및 면담 전사본을 여러 회 숙독하면서 전체 활동의 흐름과 활동 과정 중의 부분적인

특징을 분석하였다. 우선 차시별 특징에 따라 언어적 담화가 추가 되는지 혹은 조작적 활동이 추가 되는지를 구분하였다. 언어적 담화가 주로 이루어지는 경우, 면담 전사본을 중심으로 학생들의 담화를 주제 흐름에 따라 단편으로 나눈 뒤 도출되는 학생 탐구의 특징을 귀납적으로 범주화하였다. 또한 조작적 활동이 추가 되는 경우, 녹화물과 면담 내용을 중심으로 학생들이 어떤 목적으로 활동을 하는지 파악하고 행동의 의미를 해석하였다. 학생들의 차시별 문제 설정과 활동 과정 (Table 1), 그리고 반추(reflection)를 통한 수정 사항 등이 선형적이기 보다는 부분적으로 순환하는 복잡한 과정으로 나타났다. 이 과정에서 학생 탐구의 두드러진 특징은 두 가지 측면으로 나타났다. 첫째, 학생들의 활동 수행 과정에서 다양한 아이디어 탐색과 활동 주제 선정, 활동의 계획과 수행에 있어 과학적 추론 과정으로서 이론, 증거, 방법의 조정 양상에 관한 것이다. 이 특징은 주로 활동 중에 언어적 담화를 통해 드러났으며, 따라서 전사 면담 자료를 중심으로 분석하고 활동 영상을 통해 확인 및 해석하였다. 둘째, 학생들의 활동 수행 과정에서 도구의 선택 및 사용과 관련된 체화된 암묵적 지식의 작용에 관한 것이다. 이 특징은 주로 활동 중에 학생들의 몸동작과 관련하여 드러났다. 언어적 표현은 도구 사용의 솜씨를 발휘하는 노하우를 보여주기 위해 학생들이 몸짓과 함께 보조적으로 의사소통하는 수준으로 이루어졌다. 따라서 체화된 암묵적 지식의 확인과 해석은 자료 수집 당시 수업을 참관한 연구원들의 필드노트와 학생 활동 영상을 통해 이루어졌다. 연구진은 이 두 가지 학생 탐구 특징에 대해 자료를 재검토하고 숙고하는 과정을 되풀이하였다.

분석의 마지막 단계에서는 한 달여 기간의 간격을 둔 뒤에 또 다른 연구자 1인이 앞서 분석된 활동 및 면담 전사본을 해석적(interpretative) 과정에 따라 분석하였다. 연구자는 학생들의 활동을 잘 이해하고 설명하고 해석하기 위해, 활동 과정에서 실제로 어떤 일이 일어나는가에 주목하였다. 즉, 연구자의 관점이나 생각이 자료에 영향을 미치지 않도록 일단 '판단 유보'(Cho, 1999)를 하고 자료와 거리를 두어 낯설게 만들면서 활동에 참여한 학생들의 관점과 행동을 있는 그대로 이해하고 해석하고자 연구진은 내부자적 관점(에미, emic)에서 자료의 의미를 읽으려고 노력하였으며, 3단계 분석 자료와 통합하여 학생들의 과학 활동의 의미를 찾아가는 과정을 반복적으로 수행하였다. 또한, 연구진은 외부자적 관점(에틱, etic)으로 선행연구의 결과들을 검토하여 자료가 지닌 있는 그대로의 의미를 표현하고, 표현된 의미를 교육적 개념이나 이론과 연결하려는 시도를 지속적으로 수행하였다. 이 모든 과정에서 연구진은 활동 및 면담 자료를 순환적으로 반복하여 검토하여 자료의 일관성을 토대로 수차례의 논의를 하였으며,

주기적인 세미나를 통하여 해석의 타당성을 확보하고 합의를 도출하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 과학적 추론의 과정

학생들의 과학 탐구 특징으로서 과학적 추론의 과정은 이론과 방법 간의 조정, 증거와 방법 간의 조정, 이론과 증거와 방법 간의 조정의 양상으로 나타났다.

가. 이론과 방법 간의 조정

이론과 방법의 조정은 활동 주제를 선택하거나 활동 수행 과정에서 나타났다. 활동 초기의 주제 선택 과정에서는 이론과 방법의 조정이 단순한 수준으로 이루어졌지만, 활동이 전개된 두 번째 주제 선택과 실행 과정에서는 구체화되고 정교화된 수준으로 이루어졌다.

활동 초기의 주제 선택 과정에서 학생들은 자신이 경험적으로 혹은 이론적으로 알고 있던 아이디어를 제시하였고 그 아이디어를 중심으로 탐구 방법에 대해 논의하였다. 발췌 1에서 볼 수 있듯이, 학생들은 ‘선인장이 방수한다.’(1줄)와 ‘선인장의 가시가 나뭇잎이다.’(4줄)라는 사전 지식을 상호 교류하면서, ‘선인장의 가시에서 광합성이 이루어진다.’는 암묵적으로 공유된 이론을 확인하기 위해 가시에서 ‘광합성이 이루어지는지 어떻게 아는지’(8줄)를 탐색하여 ‘가시를 감싸서 광합성을 하는지 확인’(9-10줄)하는 방법을 고안하였다. 이것은 단순한 수준이지만, 학생들이 알고 있는 사전 지식 즉, 학생의 이론과 방법이 연관되고 조정되는 과정이라 할 수 있다.

- 1 A: 선인장도 방수하나? 그리고 보니까.
 2 D: 방수야?
 3 C: 방수니까 물이 안 나오는 거 아닌가?
 4 A: 개는 나뭇잎이 얇잖아. 가시가 나뭇잎이잖아.
 5 C: 가시가 나뭇잎이야? 오우 새로운 사실 그럼 가시에서 광합성 해?
 6 A: 그러니까 나뭇잎이 넓은 게, 수분 빠져나가는 게 많아가지고.
 ...[중략]...
 7 D: 그러면 진짜 가시에다가 광합성 하는 거야?
 8 C: 근데 광합성 하는지 어떻게 알아? 아 우리가 ***막 그러잖아, 그런 다음에 다가 아니지 입김을 불어서.
 ...[중략]...
 9 B: 가시를 다 감싸버려서 죽으면, 가시가 광합성을 하는 거고. 맞는 거 아니야?
 10 D: 그러네. 가시를 다 감싸버리면 죽나, 안 죽나 확인 해가지고.
 11 A: 좋은 아이디어 하나 나왔어.
 (발췌 1: 2차시- 첫 번째 주제 선정 과정에서)

이와 같이 이론과 방법이 조정되는 양상은 주제를 선택하는 과정에서 두드러지게 나타났다. 10여 개의 주제들이 이런 과정을 거쳐 탐색되었고, 학생들은 첫 번째 주제로 ‘씨앗의 한계’를 선택하여 실행한 이후 주제를 변경하여 ‘폐건전지 재사용하기’를 선택하여 활동의 주요

주제로 발전시켰다.

두 번째 주제인 ‘폐건전지 재사용하기’의 초기 아이디어는 폐건전지에 몇 가지 종류의 이온, 즉 전해질을 주입한 후 전압의 변화를 알아보는 것이었다. 이 과정에서 학생들은 실험 방법에 대해 첫 주제를 선택할 때보다 더 구체적으로 논의하였다.

학생들은 건전지에 어떤 이온 물질을 주입할 수 있는지에 대해 논의를 진행하였다(발췌 2). 그리고 참여 학생들은 활동 주제를 구체화하기 위해 이론과 방법의 조정을 반복하였다. 앞서 논의하였던 이온 물질 탐색에 이어 학생들은 전해질이라는 포괄적 개념을 사용하였고(발췌 3의 1-5줄), 건전지에 전해질을 주입하여 어떤 전해질을 사용하였을 때 건전지 전압이 높아질 것인지 논의하며(13, 15, 19-20줄) 주제와 방법을 구체화해 나갔다. 이때, 방법적 논의는 건전지에 송곳과 스포이트를 사용하여 전해질을 주입하는 것(8-12줄)과 함께 이루어졌다.

- 1 A: 아니면 배웠잖아. 건전지 다 쓰고 나면 아예 안 될 때 거기가 소금을 넣으면 되잖아. 이온이니까 어, 소금 말고 설탕해도 되는지. 아니면 소금처럼 이온(결합 물질)만 되는 건지.
 2 D: 이온만 되지 않나. 아닌가?
 ...[중략]...
 3 D: 이온이 뭐가 있지?
 4 A: 뭐야 (인터넷에 쳐봤더니) 수소이온 이런 거 밖에 안 나오는데.
 5 D: 나트륨 이온, 칼륨, 베릴륨, 마그네슘, 칼슘, 알루미늄, 철.
 (발췌 2: 4차시- 첫 번째 실험을 마치고 두 번째 주제 아이디어 논의 중에서)
 1 A: 아무튼 방전을 시켜. 다음에 그 건전지에 맞는 기계 같은 거 있잖아. 작동시키고 안되면 방전된 거잖아. 예를 들면 해나 방전을 시킨 다음에, 거기가 전해질물질 있지, 소금물이라 그 소다.
 2 D: 난 알아. 애네들한테 설명해줘.
 3 A: 전해질물질이 뭔지 알지?
 4 C: 어?
 5 A: 전해질물질 뭔지 알지? 대충.
 6 C: 거기 담그자고?
 7 A: 건전지 수만큼 해 넣어 놓는 거야. 건전지에다가.
 8 C: 건전지를 어떻게 열어?
 9 A: 스포이트로 이렇게 넣을 수 있어.
 10 B: 보통 실험 보면 주사기로 하던데.
 11 A: 맞아, 주사기, 주사기.
 12 D: 송곳으로 뚫고 주사기로 넣으면 되지.
 13 A: 그 다음에 되나 안 되나 실험을 하는 거야.
 14 B: 괜찮네.
 15 C: 그러니까 건전지가 다 닳았을 때 전해질 물질을 건전지 안에다가 넣었을 때 작동이 되는지 안 되는지 그걸 확인하는 거지?
 16 B: 그거는 되거든.
 17 C: 어, 그건 돼.
 18 B: 되는데?
 19 D: 세기, 이런 거.
 20 B: 어떤 전해질 물질이 가장 센가? 그리고 또 오래 가나.
 (발췌 3: 4차시- 두 번째 주제로 탐구 활동 시 초기의 방법에 대한 논의 중에서)

학생들의 활동에서 이론과 방법 간의 조정은 두 가지 맥락에서 이루어졌다. 첫째, 주제를 선택하는 과정에서 이론과 조정이 이루어졌다. 이때 이론은 학생들이 이미 알고 있는 것을 의미한다. 주제 선택 과정에서 학생들은 자신이 알고 있는 바를 토대로 더 탐구하고 있는 것은 무엇인지를 논하면서 어떻게 해야 할지에 대한 방법적 고려를 동시에 하고 있었다. 둘째, 주제를 선택한 이후 활동 과정에서 세부적인 사항을 결정해야 할 때도 이론과 방법의 조정이 일어났다. 즉, 주제 선택 과정에서 이론과 방법은 큰 틀에서 조정되었고, 세부적인 조정은 실질적 수행 과정에서 이루어진 것이다. 이를 통해, 학생들의 프로젝트 기반 탐구 활동에서 이론과 방법의 논의가 수행 전에 결정된 후 선형적으로 이루어지는 것이 아니고, 이론과 방법 간의 조정이 부분적인 차원에서 지속적으로 되풀이되며 수행을 구체화하고 전개해가는 것을 볼 수 있다.

나. 증거와 이론 간의 조정

첫 번째 주제인 ‘씨앗의 한계’에 대해, 학생들은 씨앗을 다양하게 처리하고 흙에 심은 다음 일주일 이 지난 후 성장한 정도에 약간의 차이는 있지만 모두 싹이 난 것을 관찰하였다. 학생들은 그 원인에 대해서 씨앗의 종류, 씨앗을 자르는 방식, 씨앗을 굵거나 볶기 등의 변인은 고려하였지만, 환경적 조건인 물주기, 빛, 장소 등을 고려하지 못하였다고 자평하였다. 그 중에서 씨앗에 여러 가지 처리를 한 것에 대한 구체적인 논의가 있었다. 예를 들어 씨를 태운 경우 살짝 태워서 씨의 껍질이 벗겨졌을 뿐 싹이 나는 부분에는 영향을 못 미쳤거나 씨앗을 자른 경우 싹이 나는 부분을 반을 잘랐기 때문에 가장 적게 자랐다는 것 등이었다. 즉, 씨앗을 자른 부분이 배젖이어서 영양분이 반으로 줄어들어 성장이 상대적으로 적었지만 모두 성장하였다는 것이다.

발췌 4에 나타나듯이 학생들은 활동 결과로 얻은 증거를 토대로 자신의 이론을 생성하고 구체화하였음을 알 수 있다. 활동을 수행하기 전에는 씨앗의 배젖에 대한 논의가 없었지만, 씨앗을 자른 후 심었을 때 모두 싹이 난 증거를 설명하기 위해 이론을 생성하게 된 것이다(1, 6줄). 즉, 실험 결과로서 얻은 증거를 어떻게 해석할 것인가를 두고 자신의 이론을 정하는 과정이 나타났(4줄). 그러나 증거를 기반으로 한 방법의 조정은 더 이상 이루어지지 않아 탐구가 더 이상 이어지지 못하고 다른 주제로 넘어갔다(발췌 5).

- 1 C: 나는 (실험을 마치고 나서) 그걸 생각했거든. 여기서 찾아봤는데. 잘랐잖아, 자른 부분이 배젖이란 말이야. 배젖이 영양분을 저장하는 곳이거든? 근데 우리가 잘랐잖아. 상대적으로 영양분이 부족하잖아. 우리가 영양분을 인위적으로 주면 정상상태랑 같은 크기로 자라는지.
 - 2 A: 씨앗이 똑같은 조건이 되어야 하는데.
 - 3 D: 그래서 이렇게 조금 자란건가?
 - 4 C: 그럴 수도 있잖아. 그러니까 상대적으로 적잖아, 적은 이유가 배젖이 반으로 쪼개져서 그런 걸지도.
 - 5 D: 배젖이 자른다고 살아있나? 배젖이?
 - 6 C: 봐봐, 여기가 씨앗이잖아, 여기가 씨앗이 나는 부분이거든? 근데 여기가 배젖이 있는 곳이잖아. 근데 배젖이 영양분을 저장하니까.
- (발췌 4: 4차시- 첫 번째 주제로 실험을 마치고 난 후)

- 1 C: 이거(첫 번째 주제, 씨앗)는 이미 끝났잖아. 뭘 더 어떻게 할 수가 없잖아.
- 2 B: 그렇지.
- 3 C: 이걸(두 번째 주제, 건전지)로 뭐 할 거야? 어떻게 할 거야?
(발췌 5: 4차시- 첫 번째 실험에서 새로운 두 번째 주제로 넘어가는 논의 중에서)

증거와 이론의 조정은 학생들의 첫 번째 주제 활동 결과로 얻은 증거를 해석하고 설명하는 맥락에서 이루어졌다. 학생들의 첫 번째 주제는 다양한 처리를 한 씨앗들 중에 어떤 처리를 한 씨앗에서 싹이 나거나 혹은 싹이 나지 않는지를 관찰하는 것이었다. 이 주제에는 씨앗에서 싹이 나거나 혹은 싹이 나지 않는 결과가 예상되어 있었다. 그러나 활동의 결과로 나타난 것 중에 씨앗에서 싹이 나긴 했지만 조금만 자란 경우는 학생들의 예측에서 벗어나게 되었다. 이러한 활동 맥락에서 보면 학생들은 실험 결과로 얻은 예외적인 증거를 설명할 필요성을 느꼈고, 그들이 활동 과정에서 수행한 변인들을 검토하면서 그들이 이미 알고 있는 이론과 새로운 이론 즉, 과학 개념 혹은 지식을 증거와 연결하게 된 셈이다. 즉, 학생들이 계획된 대로 증거를 얻게 되지 않을 때 그들이 예측한 결과는 무엇이고 예측하지 못했지만 실험 결과로 얻은 증거를 파악하고, 그 증거를 해석하고 설명하는 과정에서 그들이 알고 있던 이론들을 조정하게 된다고 볼 수 있다.

다. 이론-증거-방법 간의 조정

두 번째 주제인 ‘폐건전지 재사용하기’의 활동 과정에서 학생들은 건전지에 전해질을 주입하기 위한 방법 측면에서 어려움을 겪었다. 학생들은 건전지에 송곳으로 구멍을 뚫고 주사기를 이용해 전해질을 주입할 계획이었으나, 순조롭게 진행되지 않았다. 이 과정에서 계획과 실행은 순환적으로 보완되고 유기적으로 연계되면서 상호변화를 겪었다. 활동 초기 계획대로 학생들은 폐건전지에 구멍을 뚫어 전해질을 주입하려고 시도하였으나(발췌 6의 1-5줄), 건전지에 구멍을 뚫는 것만으로는 전해질을 주입할 공간이 부족하여(7-9줄) 건전지를 자르고 속을 파내는 방법(10-11줄)으로 변경하였다.

- 1 D: 우리가 이걸 뚫어야 되잖아.
- 2 A: 아 몰라.
- 3 D: 뚫는 게 제일 문제인데. ...[중략]...
- 4 B: 오호 (뚫었다).
- 5 A: 뚫었어?
- 6 D: 실력이 짱인데. ...[중략]...
- 7 D: 아니면 주사기를 박은 다음에 (용액을) 넣으면 어때?
- 8 A: 안 들어가.
- 9 C: 장난해? 이렇게 넣자고? (용액이 안 들어가고) 떨어지는 거 안보이나?
- 10 A: 그러니까 이게 여기가 옆에 다 막혀있는 것 같아. 안을 파내야 돼, 우리가. 안에 보면 니가 알아. 막혀있어, 안 막혀있어?
- 11 C: 파내봐, 자를 수 있겠어?
(발췌 6: 5차시- 건전지에 전해질 용액을 집어넣기 위해 시도하는 중)

즉, 활동 실행 과정에서 학생들의 초기 계획에서 큰 변화는 없었지만 예상치 못한 변수가 발생하면서 방법의 측면에서 변경 및 수정이 이루어졌고, 방법의 수정은 다시 계획의 정교화로 이어졌다. 학생들의 초기 이론은 ‘폐건전지에 전해질을 주입하면 전압이 상승한다.’였는데, 실행 과정에서 방법의 수정을 통해 ‘건전지 안의 성분과 전해질의 관계’에 대한 이론적 논의로 발전되었다. 이와 더불어 다양한 도구를 사용하면서 이론, 증거와 방법이 학생들의 과학 활동에 적절한 방향으로 조정되었다. 이처럼 학생들은 폐건전지에 구멍을 뚫는 방법에서, 폐건전지를 자르고 안을 파내는 방법을 거쳐, 어느 정도 폐건전지에 전해질을 주입하는 방법을 체계화하였다.

이후 학생들은 폐건전지의 전압을 높이기 위해 폐건전지를 땅속에 묻기, 냉동고에 넣기, 뜨거운 물에 넣기, 이로 깨물기(망치로 두드리기), NaCl 또는 KOH 수용액에 담그기 등의 여러 가지 방법을 고안하였다(발췌 7).

- 1 A: 우리가 이 실험을 하는 의의는. 예를 들어 실험하는 목적이 갑자기 건전지가 필요한데, 산에 가서 캠핑장 가서 건전지가 필요한데, 그 때를 위해 우리가 이 실험을 하는 건데. 건전지를 살릴 방법이 몇 개 있냐면. 첫 번째 하나가.
- 2 D: 오, 약간 너 준비했다.
- 3 A: 땅속에 7일간 묻어 놓는 거야.
- 4 B: 어, 6박 7일 동안 가만히 있어야 돼?
- 5 A: 아니면, 이거 하나하고. 50도 정도의 뜨거운 물에 2분정도 담가놓으면 잠깐 되는데.
- 6 C: 건전지 있는데?
- 7 A: 그리고 하나는 다 쓴 건전지 있지. 망치로 두들기면 갑자기 썩 하는데. 아니면 이빨(로 물기).
- 8 C: 그거는 안 될 것 같아.
- 9 A: 하나는 냉동실(에 집어넣기). 냉동실은 안 될 것 같긴 한데.
- 10 D: 누가 봐도.
- 11 A: 하나는 우리가 지금 하는 거. 다섯 번째로. 이온음료 넣기. 이렇게 다섯 개 해가지고 가장 적절하게 많이 오르는 거. 어때?
(발췌 7: 7차사 두 번째 주제의 탐구 실험 과정을 구체화시키는 과정에서)

이상에서 살펴본바와 같이, 학생들의 과학적 추론 과정에서는 이론-증거-방법 간의 조정이 다양한 양상으로 나타났다. 주제 선정 및 정교화 과정에서 이론과 방법 간의 조정이 주로 이루어졌고, 첫 번째 활동의 결과로 이론과 증거 간의 조정이 일어났으나 방법의 조정이 이루어지지 않아 활동은 중단되었다. 두 번째 활동에서는 이론, 증거와 방법 간의 조정이 이루어지면서 학생들의 과학 활동이 지속되고 발전되었다.

이와 같은 이론-증거-방법 간의 다양한 조정 양상은 학생들이 과학 활동을 수행하는 과정에서 상호 연관되어 역동적으로 나타나며 과학 활동을 지속적으로 이끌어준다는 것을 보여준다. 학생들은 이미 알고 있는 이론을 토대로 방법을 계획하고 획득한 증거를 토대로 이론을 조정하였는데, 이 과정은 선형적으로 이루어지기 보다는 부분적 혹은 전체적으로 순환하며 이루어졌다. 우선, 주제 선택 과정에서 주로 나타난 이론과 방법 간의 조정은 활동의 지속성을 뒷받침해 준 것으로 해석된다. 두 번째 활동에서 학생들은 ‘건전지를 살려보자’라는 막연

한 주제로 출발하였지만 방법을 고려하면서 구체화되는 양상을 보였으며, 이 과정을 통해 활동이 지속되고 발전될 수 있었다. 다음으로, 이론과 증거 간의 조정은 학생들이 활동을 통해 획득한 증거가 이론을 정교화한 경우인데, 학생들은 활동 과정에서 획득한 증거가 이론과 다소 불일치하는 점을 발견하고 자신이 알고 있던 이론을 검토하고 조정하였다. 하지만 더 이상 활동의 진전이 이루어지지 않았는데, 그 이유는 학생들이 이론과 증거의 조정을 활동에 반영하고 활동 범위와 내용을 변경, 확장 혹은 정교화하기 위해 방법의 조정을 병행되지 않았기 때문인 것으로 해석된다.

이론과 방법 간의 조정 양상, 그리고 이론과 증거 간의 조정 양상으로부터, 학생 탐구의 과정에서 방법의 고려와 조정은 매우 중요해 보인다. 학생 탐구의 과정에서 방법적 고려의 중요성은 이론-증거-방법의 조정 양상으로부터 더 확실하게 드러난다. 두 번째 주제를 수행하는 과정에서 학생들은 증거를 획득하기 위해 지속적으로 방법을 조정해 나가면서 이론과 조정을 통해 주제를 확장 및 정교화 해 나갔다. 즉, 방법이 활동의 축이 되어 이론과 조정, 증거와 조정, 그리고 이론과 증거와 조정이 순환적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 이처럼 학생들의 이론, 증거, 방법의 조정은 부분적으로, 혹은 전체적으로 연관되고 역동적으로 이루어지면서 활동의 맥락과 흐름을 만들어간다고 할 수 있다.

과학적 추론에 대한 연구는 인지 심리학으로부터 오랜 역사를 가지고 있다(Zimmerman, 2000). 본 연구의 결과는 Kuhn & Franklin (2006)의 과학적 사고 과정의 정의인 “이론과 증거 간의 의식적으로 통제된 조정”과 Moshman (1998)이 자료를 생성하였던 방법에 대한 평가 혹은 반추의 중요성이 과학 활동 과정에서 통합 및 조정되는 사례를 제시한다고 볼 수 있다. 즉, 여러 이론 중의 하나를 정당화시키기 위해 가장 적당한 증거를 고르는 과정, 자신의 주장을 정당화하기 위해서 여러 대안 이론들을 증거에 맞게 조정하는 과정은 담화 토론에서 뿐 아니라 그 밖의 과학 활동 과정에도 필요하다. 이와 더불어, 방법의 조정은 과학 활동에서의 논쟁을 더 촉진하고 증진시키는 것으로 볼 수 있다.

2. 체화된 암묵적 지식의 작용

학생들의 과학 탐구의 또 다른 특징은 체화된 암묵적 지식의 작용으로서, 활동 맥락에 적합한 도구의 선택과 조합, 그리고 도구 사용 과정에서 숨겨져 있는 실행으로 나타났다.

가. 도구의 선택과 조합

두 번째 주제를 선택한 후 준비물에 대한 논의 과정에서 도구로 ‘송곳’이 필요하다고 제안되어 5차사 이후 활동에서 사용되기 시작하였다. 학생들은 초기에 실험실에 있는 도구들을 사용하였으나 이는 건전지를 자르기에 적합하지 않았기 때문에 일상생활에서 사용해 본 도구인 송곳을 사용하였고 점차 다양한 도구를 사용하게 되었다. 학생들은 건전지에 전해질을 주입하기 위해 몇 단계에 걸쳐 송곳과 주사기, 청테이프, 가위, 망치 등의 다양한 일상적 도구를 사용하였다. 또한, 과학 실험실에서 주로 사용하였던 전압계, 전류계, 페트리 접시, 비이커, 집게 전선 등도 사용하였다.

발췌 8에서 나타났듯 송곳을 사용하여 폐건전지에 구멍을 뚫는 과

정은 쉽지 않았는데, 그 이유는 건전지가 등글기 때문에 바닥에 고정 안 되어 송곳으로 찌를 때마다 건전지가 움직였기 때문이다(5-7줄). 이 문제를 해결하기 위해 건전지가 움직이지 않도록 학생들은 청테이프를 이용해 건전지를 바닥에 붙이고 작업을 하였다.

- 1 A: 건전지이다가 (용액) 넣어야 되거든? 링거 같은 거 알지. 뽕죽한 바늘인데 살 뚫는 거 있잖아. 있어야 되는데 그게 없어.
 2 D: 진짜 주사기?
 ...[중략]...
 3 A: 바늘 그게 뚫어질까?
 4 C: 아니지. 송곳으로 뚫을 구멍이면 바늘로 안돼.
 ...[중략]...
 5 학생들: 잠깐만 청 테이프가 저기 2개나 있으니까.
 6 D: 뚫었어?
 7 C: (건전지가 자꾸) 돌아가잖아.
 (발췌 8: 5차사 전해질 용액을 집어넣기 위해 건전지를 뚫는 과정에서)

건전지가 움직이는 문제는 해결되었지만 건전지가 단단하여 송곳을 이용해서 구멍을 내는 일은 여전히 쉽지 않았다. 학생들은 건전지에 구멍을 내기 위해 송곳만으로는 부족하다고 여기고 망치를 함께 사용하였다(발췌 9의 11-13줄).

- 1 C: 일단 해보고. 일단 뚫는 게 먼저잖아.
 2 B: 다 뚫어 주겠어!
 3 C: 잡아봐. 이렇게 잡고 있어봐.
 4 D: 오 많이 뚫렸어. 거의.
 5 B: 빨리해. 으악.
 6 D: 오, 다 뚫렸어.
 7 A: 손 뚫릴 뻔 했지.
 8 D: 오, 무서워.
 9 C: 재밌는데?
 ...[중략]...
 10 C: 알았어. 내가 할게.
 11 B: 망치로 한 번 더 두들겨봐.
 12 A: 맞아. 그게 낫겠다.
 13 C: 됐다. 내가 다 뚫는다. 와.
 (발췌 9: 5차사 전해질 용액을 집어넣기 위해 건전지를 뚫는 과정에서)

학생들은 송곳과 망치를 사용하여 건전지에 구멍을 만든 후 주사기를 이용하여 전해질을 주입하였으나, 건전지 내부 공간이 적어 예상대로 되지 않았다(발췌 5의 4-10줄). 이에 학생들은 건전지에 전해질 용액을 넣을 공간을 확보하기 위해 건전지를 잘라서 속을 파내었다(발췌 10).

- 1 C: 구멍을 뚫으니까 (건전지) 안이 이렇게 좀 찰흙 같잖아요. 그래서 뚫리면 거기 부분만 이렇게 뚫려요. 잘라서 다 파내지 않는 이상 거기에(건전지 안에) 용액을 넣을 방법이 없었어요.
 (발췌 10: 학생 C의 개별면담 내용 중에서)

이처럼 학생들은 활동을 수행하기 위해 다양한 도구를 선택하고

사용하였는데, 사용한 도구들은 학생들에게 일상적이고 친숙한 것들이었다. 도구 사용에 적극적이었던 학생 B의 면담 내용에 따르면, 평소 과학 실험에서 사용하지 않았던 도구를 사용한다는 점에서 재미를 느꼈다고 하였다(발췌 11의 1-4줄).

- 1 면담자: 도구 사용이 재밌어요? 이유가 뭘까?
 2 B: 다른 때는 실험도구로만 해가지고 식상하달까 그런 게 있었는데.
 3 면담자: 실험도구하면 어떤 걸 얘기하는 거죠?
 4 B: (이번에는) 막, 먼저 평소 실험할 때 안 썼던 도구 써서.
 5 면담자: 평소에 실험할 때는 주로 뭐?
 6 B: 스포이트.
 7 면담자: 스포이트. 또?
 8 B: 이번 실험에는 송곳이나 망치도 쓰고.
 9 면담자: 망치 그런 게 더 재밌어요?
 10 B: 주사기도 쓰고.
 ...[중략]...

- 11 B: 처음에 실험해보고서 이 도구가 부족했던 거 같다, 이러면 다음에 더 추가해서 하고.
 (발췌 11: 학생 B의 개별면담 내용 중에서)

학생들의 활동에 사용할 도구 선택은 여러 가지 도구를 조합해 보면서 활동 맥락에 적합한 도구를 선택하는 방식으로 진행되었다(발췌 11의 11줄). 이는 단순한 시행착오로 해석하기 보다는 도구와 관련된 학생들의 경험이 축적되어 체화된 암묵적 지식의 작용이 토대가 된 것으로 해석할 수 있다. 학생들이 사용한 도구들은 실험실 안에서와 같은 특정 상황에만 사용이 가능하고 사용법이 정해져 있는 것들이 아니라, 학교생활을 포함한 일상의 다양한 맥락에서 사용해 본 것들이었다. 활동 수행 중에 여러 가지 중요한 혹은 사소한 문제들이 연속해서 발생했고, 학생들은 문제를 해결하기 위해 그 맥락에 적합하다고 판단되는 송곳과 주사기, 청테이프, 망치 등의 일상적이고 사용 경험을 지닌 도구를 순간적으로 선택하고 대체하는 과정을 반복했다. 이처럼 학생들의 도구 사용은 문제 해결 상황에 적합한 도구를 선택하고 조합하는 과정으로 전개되었다.

학생들의 도구 선택 및 조합 과정에 체화된 암묵적 지식이 작용하는 탐구 특징은 과학자 활동에서도 나타난다. 그럼에도 불구하고, 학교 과학에서 다루어지는 과학자 과학은 과학자 활동 그 자체를 반영하지 않고 완성된 지식 체계로 제시되는 경향이 있기 때문에, 과학자 과학을 표방하는 학생 탐구에서도 그 중요성이 부각되지 못했다고 볼 수 있다. 과학자 활동도 복잡하고, 유동적이고, 맥락에 구체적으로 의존해 있기 때문에, 과학자들 자신도 실험의 결과 산출을 위해 경험, 암묵적 지식, 과학적 직관을 비롯하여 실험 조건을 최적화시키고 환경에 적절한 기구를 조립하고 사용하는 능력을 발휘한다(Knorr-Cetina, 1992). 과학자 탐구에서와 마찬가지로, 학생 탐구에서 도구 선택과 조합에 작용하는 체화된 암묵적 지식은 맥락적으로 작용하며 활동의 흐름과 방향을 만들어간다고 볼 수 있다.

나. 솜씨

학생 탐구의 체화된 암묵적 지식의 특징 중 또 하나의 주목할 만한

것은 도구 사용의 솜씨(skills)와 관련된 것이다. 참여 학생 중 두 명이 도구 사용 과정에서 솜씨를 발휘하였는데, 학생 B는 건전지를 송곳으로 뚫었고, 학생 C는 송곳과 망치를 사용해 건전지를 잘랐다. 나머지 두 학생(학생 A와 D)은 보조 역할을 하였다. 폐건전지 안에 전해질을 주입하기 위해 B와 C는 송곳과 망치를 사용한 해결 방안을 제시하고 수행하였는데, 이는 문제 해결 과정에서 체화된 암묵적 지식이 발현된 것을 보여준다.

구체적으로 살펴보면, 학생 B는 송곳으로 구멍을 뚫기 위해 팔의 힘을 사용하였으나 팔의 힘만으로는 잘 되지 않자 몸을 움직여 어깨와 손의 힘을 조절하여 송곳을 쥐고 건전지를 뚫는 방법을 사용하였다(발췌 12). 또한, 건전지 안에 전해질을 주입할 공간을 확보하기 위해 그 안을 파내는 작업에서도 학생들의 암묵적 지식이 작동하였다. 솜씨와 같은 체화된 암묵적 지식은 활동 초기에 계획된 사항이 아니었으며 안내된 절차가 있는 것도 아니었다. 수행 과정 중에 나타나는 돌발 상황들 즉, 예측 불가능한 상황에 대처하기 위해 몸을 사용하여 다양한 시도를 해보는 경험을 통해 익숙한 행동이 문제 상황에 맞추어 작동한 것이었다.

- 1 B: 저도 처음에는 못했는데 실험하면서 많이 하다보니깐 노하우를 알게 돼서.
 2 면담자: 구체적으로 예를 들면 어떤?
 3 B: 어떻게 힘을 줘야지 건전지가 잘 뚫리나
 4 면담자: 거기에 대해서 딴 친구보다 학생이 더 많이 알고 있는 거는 뭐야?
 5 B: 더 힘 안들이고 쉽게 뚫는 거? 체중을 실어서요.
 6 면담자: 어떻게?
 7 B: 놀러요. [어깨를 사용하여 힘을 주는 모습을 재현하며] 이렇게 해서 어깨를...

(발췌 12: 학생 B의 개별 면담 중에서, []의 내용은 연구자의 설명임.)

전체 수행 과정을 살펴보면 학생들은 활동이 실패하였다고 생각해 수행을 중단할 수 있었던 순간들이 많았다. 5차시부터 학생들은 건전지에 구멍을 뚫기 위해 어떤 방법을 수행할 것인지를 고민했고, 이 과정에서 학생 B는 직접 도구(송곳)를 들고 건전지를 뚫어보기 시작했다. 이 과정은 쉽지 않았고, 학생 B의 작업을 지켜보던 다른 학생들은 “아, 안 돼.”, “어떻게 해야 하지.”, “이거 위험하지 않아?”라는 언어로 좌절을 표현하기도 하였다. 그러나 학생들은 서로 다양한 방법을 제안하였는데, 그 방법은 전적으로 언어로 표현되기 보다는 “이렇게 해봐.” 혹은 “잘라야 하지 않아?”의 몸짓을 동반한 행동 표현을 수반하는 의사소통을 하며 제안되었다. 이처럼 도구 사용을 다른 방식으로 제안하고 시도하는 의사소통은 5-6차시에 걸쳐 긴 시간 지속되는 힘겨운 과정이었으나, 학생들의 활동을 지속하게 만든 원동력이 되기도 하였다.

도구 사용에 있어서 학생들은 저마다의 솜씨를 발휘하게 되고 능숙해졌다. 건전지를 뚫거나 자를 때 학생들은 여러 번의 도전과 실패를 거쳐 서로의 노하우를 공유하였고 솜씨 있는 실행으로 나아갔다. 즉, 건전지를 뚫는 것에서 자르는 것으로의 변경, 그리고 뚫거나 자를 때 힘을 주는 요령 등에 관해 서로의 방식을 전파하고 공유하는 과정을 거쳐 도구 사용의 숙련도가 향상하게 되었다. 6차시에도 건전지를 자르는 과정은 계속되었고, 학생들은 5차시 때보다 훨씬 더 빠르고 정확하게 활동을 수행할 수 있었다.

언어로 표현하기 힘든 체화된 암묵적 지식인 솜씨 있는 실행은 일상 생활에서도 나타나지만, 과학 탐구 활동에서 특히 이점으로 필요하다 (Jang, 2014). 과학 탐구는 일상생활에서 하는 여러 가지 실행을 기반으로 하기 때문에 일상생활에 필요한 솜씨가 들어가고, 추가로 과학에만 필요한 특유의 솜씨인 실험하는 솜씨부터 발견된 문제를 해결하는 과정에서도 솜씨가 많이 필요하다. 이처럼 학생들의 다양한 도구 사용은 말로 표현하기 어려운 암묵적 지식인 솜씨와 연관되어 있었다. 학생들의 다양한 도구 선택과 솜씨 있는 실행은 언어로 명료하게 표현될 수 없는 탐구의 특징으로서, 과학 활동 과정에서 중심적인 역할을 하였을 뿐 아니라 활동의 범위를 확장해나갔다고 해석할 수 있다. 즉, 학생들은 도구 사용에서의 성공적 실행을 통해 활동을 구체화할 뿐 아니라 여러 가지 다른 방식을 실천하게 되었기 때문이다. 이런 점에서 도구는 과학 활동에서 특정한 활동 결과를 보여주는 경험 정보를 산출할 뿐 아니라, 실행 과정을 해석하고 안내하는 명시적 및 암묵적 인식을 확장하는 역할을 한다고 볼 수 있다.

그동안 과학 활동에서 이론과 관련된 인지적 측면이 강조되어 온 것에 비해, 경험을 통해 체화되는 암묵적 지식인 숙련과 솜씨 등이 갖는 역할의 중요성에 대한 관심은 부족하였다. 탐구 활동은 매 순간 발생하는 조금씩의 진행과 즉각적인 반응들(piecemeal and ad hoc justifications)을 통해 이루어지는 작업(Lynch, 1985)이므로, 공식적·명시적 지식 뿐 아니라 일상의 사고방식과 체화된 암묵적 지식의 속성 및 기능의 역할도 중요하다고 할 수 있다. 때로 학생들은 언어로는 명료하게 잘 표현하지 못하더라도, 몸을 써서 활동에 필요한 무언가를 작동시킬 수 있는 것이다. 탐구 활동에서 체화된 암묵적 지식의 작동은 이 연구에서 학생들의 도구 사용과 관련하여 일부 조명하였으며, 앞으로의 연구에서 더욱 확장되고 정교하게 논의되어야 할 것이다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 동아리 활동에 참여한 고등학생의 프로젝트 기반 과학 활동에서 나타나는 학생 탐구 특징을 이론, 증거, 방법의 조정 양상과 도구 선택과 사용에 관한 체화된 암묵적 지식으로 나누어 탐색하였다.

연구의 결론은 다음과 같이 정리해 볼 수 있다.

첫째, 학생들의 탐구 특징으로 과학적 추론 과정에서 이론과 방법 간의 조정, 증거와 이론 간의 조정, 그리고 이론과 증거와 방법 간의 조정 양상이 다양하게 나타났으며, 이들 양상은 활동의 맥락에 따라 역동적으로 이루어졌다. 학생들의 탐구 활동 과정에서 주제를 선정하고 활동 방법을 정하고 증거를 확보하는 과정이 선형적으로 진행되기 보다는 부분적으로 혹은 전체적으로 환류되고 상호 조정되는 과정으로 이루어졌다. 이러한 순환적 환류 과정에서 이론-증거-방법 간의 조정은 부분적으로 혹은 중첩되어 나타났다. 주제 선택 과정에서는 주로 이론과 방법 간의 조정이 일어났고, 실행 과정에서는 증거와 방법이 조정되거나 이론-증거-방법의 조정이 이루어졌다. 또한, 그 중에서 방법의 조정은 학생 탐구 활동을 지속, 확장 혹은 정교화하는 데 중심적인 축으로 작용한다고 볼 수 있다. 첫 번째 주제 실행의 경우, 이론과 방법 그리고 이론과 증거의 조정이 부분적으로 일어났으나, 전체적으로 방법의 조정이 이루어지지 않아서 실행이 중단되었다. 두 번째 주제 실행의 경우, 이론-증거-방법의 조정이 이루어지면서 활동이 전개되었

다. 학생들이 활동 과정에서 이론과 증거를 상호 해석하고 설명하면서 방법의 조정을 하는 것이 학생 탐구의 실제 수행 여부에 중요한 영향을 미치는 것이라 하겠다.

둘째, 학생들은 활동 과정에서 도구 사용과 관련된 문제 상황에 직면할 때 다양한 일상적 도구를 사용해 가면서 맥락에 적합한 도구를 선택하고 조합하였으며, 도구 사용에 있어서 숙련도가 증가하는 솜씨 있는 실행을 발휘하고 있었다. 학생들은 일상 경험을 통해 자신도 모르게 몸에 배인 체화된 형식의 지식을 발현하여 다양한 도구의 쓰임을 고려하여 사용해가면서 활동 맥락에 적합한 도구를 선택하고 조하여 사용하였다. 또한, 학생들은 직접 도구를 다루면서 자신의 방식과 타인의 방식을 교류하면서 솜씨를 발휘하게 되었다. 이를 통해 학생들은 계획하였던 탐구 활동을 보다 구체화하였을 뿐 아니라 여러 가지 다른 방식도 실천하여 탐구 활동의 범위를 확장하게 되었다. 즉, 도구 선택과 사용에 관한 학생들의 체화된 암묵적 지식의 작용은 학생들의 과학 실행의 토대를 이루었다. 이처럼, 도구를 사용하는데 있어서 노하우를 전수하고 솜씨를 발휘할 때 이루어지는 신체적 상호작용은 언어적 의사소통만큼 풍부한 의사소통의 자원이 된다고 볼 수 있으며(Thagard, 2012), 도구 사용에 있어서 솜씨 있는 실행은 학생들 간에 이루어진 암묵적 지식의 교류와 협동적 활동의 산물이라고 볼 수 있다.

이상의 연구를 통해 학교 과학 탐구를 위한 교육 및 연구에 대한 제언은 다음과 같다.

첫째, 자유 탐구 형식의 프로젝트 기반 과학 활동이 학생들에게 스스로 질문을 만들어내고 실행하는 과정을 경험할 수 있는 기회를 제공한다는 점에서, 그 동안의 정형화된 학교 과학 탐구와 다른 교육적 경험을 제공한다고 할 수 있다. 학생들이 과학 탐구를 경험한다는 것은 개념적 지식과 탐구 절차를 아는 것으로는 충분하지 않으며, 문제를 만들어내고 해결하는 전 과정을 통해 과학을 행하는 것을 의미하기 때문이다(Hodson, 2009). 학생들에게 과학 탐구 경험의 기회를 제공하기 위해서는 스스로 탐구할 수 있는 활동의 맥락을 만들어주는 것이 필요하다. 이런 관점에서, 프로젝트 기반의 탐구는 과학 활동에서 이론과 증거의 관계에 초점을 두어 이론 확인을 강조하였던 기존의 학교 과학 실험의 지평을 넓혀 경험적 증거의 산출 과정과 방법적 조정을 포괄한다는 점에서 과학 탐구의 본질을 담고 있다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 경험이 교육적 실천과 의미를 갖기 위해서는 교사의 안내와 학생들의 반주가 필요할 것이다. 예를 들어, 학생들이 과학 활동 과정에서 계획된 대로 진행되지 않을 상황이 발생하는데, 이런 불확실한 상황에 직면할 때 교사는 이론-증거-방법 간의 조정 관점에서 활동 맥락에 적절한 안내를 할 수 있을 것이다. 이때, 교사의 개입은 정해진 방법에 따라 처방적으로 시행되기는 어려우며 교사의 지식과 경험을 통해 학생 탐구를 촉진시킬 수 있는 상황과 전략에 관한 축적된 레퍼토리를 기반으로 이루어질 수 있다. 즉, 교사는 학생들이 자유롭게 주제를 선정하고 주도적으로 실행하는 탐구 과정의 다양한 특징을 이해할 필요가 있다. 따라서 학생들이 과학 활동의 전 과정을 어떻게 경험해 내는지에 대한 더 다양한 맥락에서의 사례 연구가 이루어져야 할 것이다.

둘째, 학생들의 과학 활동을 탐색하는 연구에 있어서 과학자의 탐구 과정을 틀로 한 연구 패러다임에서 벗어나 활동 과정 자체를 이해하는 연구 패러다임으로 접근하여 학생들의 과학 활동 과정 그 자체를 이해할 필요가 있다. 특히, 본 연구에서 조명한 학생들의 도구 사용과 관련

한 솜씨 있는 실행 특징은 학생 탐구의 과정 그 자체를 주의 깊게 들여다볼 때 통찰할 수 있는 것이다. 예를 들어, 솜씨 있는 실행은 언어적 담화 과정의 분석만으로는 알 수 없으며, 실제 문제 해결에서 도구 사용과 같은 다양한 방식의 행동으로 드러나며 학생들이 상호 영향을 받아 조금씩의 발전된 방식을 시도하고 결과적으로 문제를 해결하는 행동의 해석을 통해 밝혀질 수 있다. 즉, 과학 활동에 대한 이론적인 분석들에서 벗어나 실제 과학 활동 과정에서 나타나는 학생 탐구의 특징에 관심을 갖고 주의를 기울일 필요가 있다. 따라서 학생들의 과학 활동 과정을 정성적으로 탐색하고 다양한 교육적 관점에서 과학자의 탐구와 학교 과학 탐구의 본질적 의미를 규명하고 재조명하는 연구가 지속되어야 할 것이다.

국문요약

이 연구에서는 프로젝트 기반으로 자유롭게 주제를 정하고 과학 활동을 수행하는 과정에서 나타나는 학생 탐구의 특징을 탐색하였다. 연구 참여자는 고등학교에서 한 학기 동안 과학 동아리 활동에 참여한 4명의 학생들이었다. 학생들은 한 조가 되어 스스로 탐구 주제를 정하고 활동 과정을 계획하고 실행하였다. 학생들의 탐구 활동을 관찰하고 녹화 및 녹음하였으며 자발적으로 면담의사를 표현한 학생과 면담면 반구조화된 면담을 실시하고, 조별 활동지와 보고서를 수집하는 등 다양한 자료를 수집하였다. 탐구의 전 과정은 질적으로 분석하였으며, 학생들의 과학 활동에 대해 해석적으로 분석하였다. 학생 탐구 특징에 관한 연구의 결과는 두 부분으로 제시되었다. 첫째, 과학 활동에서 이론-증거-방법 간의 조정은 다양한 양상으로 나타났다. 구체적으로, 활동의 맥락에 따라 이론-증거의 조정, 증거-방법의 조정, 이론-증거-방법의 조정 양상이 드러났다. 둘째, 학생들은 활동 수행 과정에서 다양한 도구를 선택하고 조합하였으며, 도구 사용에 있어서 체화된 암묵적 지식인 솜씨를 발휘하였다. 연구 결과를 토대로 학교 과학 탐구를 위한 과학 교육 및 연구에의 시사점을 논의하였다.

주제어: 학생 탐구, 이론-증거-방법의 조정, 체화된 암묵적 지식, 솜씨

References

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlouk-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419.
- Chinn, C. A., & Melhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Cho, H. (1992). An analysis of the nature of scientific inquiry and a study on the instructional method for promoting inquiry competence. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 12(1), 61-74.
- Cho, Y. (1999). Qualitative descriptions, analyses, interpretations. *Journal of the Korean Society for the Study of Anthropology of Education*, 2(2), 27-63.
- Duschl, R. A. (2005). The HS lab experience: Reconsidering the role of evidence, explanation and the language of science. Commissioned paper by the National Research Council for the Committee on the role of the laboratory in high school science.
- Garcia-Mila, M., & Anderson, C. (2008). Cognitive foundations of learning

- argumentation. In S. Erduran, & M. P. Jimenez-Alexandre (Eds.), *Argumentation in science education* (pp. 29-45). UK: Springer.
- Grandy, R., & Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Analysis of a conference. *Science & Education*, 16(2), 141-166.
- Hodson, D. (2009). *Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values*. Rotterdam, the Netherlands: Sense Publishers.
- Jang, H. (2014). *Science meets philosophy*. Seoul: EBS Media Co.
- Jeon, Y., & Jeon, M. (2009). The difficulties that occur when teaching scientific open-inquiry. *Journal of Korea Elementary Education*, 20(1), 105-115.
- Jeong, S.-H., Choi, H.-D., & Yang, I.-H. (2011). Analysis on the complexity of scientific reasoning during pre-service elementary school teachers' open-inquiry activities. *Journal of the Korean Society of Elementary Science Education*, 30(3), 379-393.
- Jimenez-Alexandre, M. P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. In M. P. Jimenez-Alexandre, & S. Erduran (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht: Springer.
- Jung, W., Lee, J., & Oh, S. (2011). Investigation on the difficulties during middle school students' finding inquiry topics on open-inquiry activities. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(8), 1199-1213.
- Kim, H., & Song, J. (2004). The exploration of open scientific inquiry model emphasizing students' argumentation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 24(6), 1216-1234.
- Knorr-Cetina, K. (1992). The couch, the cathedral, and the laboratory: On the relationship between experiment and laboratory in science. In A. Pickering (Ed.), *Science as practice and culture* (pp. 113-137). Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Kuhn, D., & Franklin, S. (2006). The second decade: What develops (and how)? In W. Damon, & R. M. Lerner (Series Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2, Cognition, perception, and language* (6th ed., pp. 953-993). Hoboken, NJ: Wiley.
- Lee, J. (2013). *Multi-layered construction of technoscientific knowledge in a neuroscience research lab: A research on the actor-networks of Neuroscience Research Institute (NRI)*; Unpublished doctoral dissertation: Seoul National University. Seoul.
- Lee, S. H., Shin, M.-K., Lee, G., Lee, S.-K., Kwon, N.-J. (2010). Analyzing coherence of evidences and claims presented in elementary students' science writing for inquiry activities. *Journal of the Korean Society of Elementary Science Education*, 29(4), 505-514.
- Lee, S.-K., Son, J., Kim, J.-H., Park, J., Seo, H.-A., Shim, K.-C., Lee, K.-Y., Lee, B., Choi, J. (2013). Characteristics of school science inquiry based on the case analyses of high school science classes. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(2), 284-309.
- Lynch, M. (1985). *Art and artifacts in laboratory science: A study of shop work and shop talk in a research laboratory*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Ministry of Education (1987). *Science education curriculum*. Ministry of Education and Culture.
- Ministry of Education, Science and Technology (2007). *Science education curriculum*. Ministry of Education, Science and Technology.
- Moshman, D. (1998). Cognitive development beyond childhood. In D. Kuhn, & R. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology: Vol. 2, Cognition, perception, and language* (5th ed., pp. 947-978). New York: Wiley.
- Polanyi, M. (1958). *Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Polanyi, M. (1966). *The tacit dimension*. Gloucester, Massachusetts, MA: Peter Smith.
- Roth, W. M. (1995). *Authentic school science*. Boston, MA: Kluwer Academic Publisher.
- Rudolph, J. L. (2005). Inquiry, instrumentalism, and the public understanding of science. *Science Education*, 89, 803-821.
- Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. P. (2011). Argument-driven inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95(2), 217-257.
- Shin, H., & Kim, H. (2010). The analysis of the teachers' and students' views about the difficulties on open inquiry activities in elementary school science. *Journal of the Korean Society of Elementary Science Education*, 29(3), 262-276.
- Song, J. (2014). *Restructuring Korean science curriculum: With a focus on the new integrated curriculum for all students*. Paper presented at 2014 KASE International Symposium.
- Thagard, P. (2012). *The cognitive science of science: Explanation, discovery, and conceptual change*. The MIT Press.
- Yoo, J., & Kim, J. (2012). Middle school students' construction of physics inquiry problems and variables isolation and clarification during small group open-inquiry activities. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(5), 903-927.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20, 99-149.