



고등학생의 학교 과학 탐구 활동에서 나타나는 도구발생의 특징

이재원, 노태희, 이선경*

서울대학교

The Characteristics of Instrumental Genesis Appearing in the Processes of High School Students' School Scientific Inquiries

Jaewon Lee, Taehee Noh, Sun-Kyung Lee*

Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 September 2017

Received in revised form

11 October 2017

4 December 2017

Accepted 8 December 2017

Keywords:

school scientific inquiry,
instrumental genesis,
instrumentation,
instrumentalization,
affordance

ABSTRACT

In this study, we explored the characteristics of instrumental genesis in high school students' scientific inquiries. Twenty-three 10th to 11th graders in a science research club participated in this study. The students in 6 groups autonomously planned and performed their own scientific inquiries for one semester. Their activities were videotaped and recorded. Semi-structured interviews were conducted. Material request papers and group worksheets were also collected for analysis. The results of the study suggested that students' practices were categorized as instrument genesis. When instrument genesis did not occur, the cases at the beginning of and during the practice were described respectively. Instrumental genesis was found to appear in three categories: instrumentation; instrumentation and instrumentalization; and instrumentalization. The characteristics and details of case represented in each category were described and discussed related to affordance as the results of the study. On the bases of the results, the implications for the reconsideration of the instruments in school science inquiries are discussed.

1. 서론

학교 과학 탐구(school scientific inquiry)는 과학 교수학습의 맥락에서 이루어지는 과학 탐구로서, 학생이 주도적으로 자연 현상에 대한 과학적 의문을 떠올리고 문제 해결을 위해 수행하는 일련의 탐구 활동으로 정의된다(Roth, 1995). 그동안 학교 과학 탐구의 효과로 과학 개념과 과학의 본성에 대한 이해 향상, 과학에 대한 학생들의 흥미와 동기 유발 및 문제해결력, 과학적 추론 능력, 창의적 사고력의 신장 등이 보고되었다(Hart *et al.*, 2000; Kampourakis & Tsapalis, 2003; Kim & Yang, 2005; Lee, Nam, & Moon, 2003; Metz, 2004; Staer, Goodrum, & Hackling, 1998; Yang *et al.*, 2006). 학교 과학 탐구는 진정한 탐구(authentic inquiry)의 맥락에서 이루어질 때 이러한 교육적 효과를 높이고 학생이 과학자와 같은 방식의 활동을 한다는 학교 과학 탐구의 본질적 가치를 실현할 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002; Park, 2006). 또한 학교 과학 탐구의 유의미한 가치와 특징은 가시적이거나 완성된 형태로 드러나기보다 암묵적인 차원에서 나타나는 경우가 있다(Lee *et al.*, 2015). 예를 들어, 진정한 탐구에 참여하는 학생들은 과학자의 탐구와 유사하게 스스로 탐구를 설계하고 수행해야 하며 많은 경험과 지식, 직관적인 사고를 통해 탐구 과정에서 다양한 결정을 내려야 한다. 이때 겪을 수 있는 시행착오와 어려움은 학생들이 자신들의 활동이 과학자의 활동과 유사함을 느끼고 적극적으로 탐구에 몰입하도록 하는 원천이 되며, 이는 가시적으로 드러나지 않

지만 의미있는 교육적 가치로 평가될 수 있다(Hmelo-Silver, Nagarajan, & Day, 2002; Jeong, Lee, & Kim, 2006; Kapon, 2016). 따라서 진정한 탐구 맥락의 학교 과학 탐구에서 나타나는 교육적 가치를 탐색하는 연구가 다각적으로 지속될 필요가 있다.

이와 관련하여 과학 탐구에서 도구(instrument)의 인식적 의미와 역할에 주목할 필요가 있다. 그동안 과학사 및 과학 철학의 관점에서 과학자의 탐구에 사용된 도구의 의미를 이론적, 철학적으로 고찰한 연구가 수행되었다(Lee, 2000, 2004, 2009, 2015). 도구 사용이 과학자 활동의 일부로 인정받기 시작한 근대 이후, 도구는 과학 탐구의 핵심적 요소 중 하나가 되었으며 현재 대부분의 탐구 활동은 도구의 적절한 사용을 전제한다(Bud & Warner, 1998; Lee, 2004, 2015). 도구는 실험 과정에서 인간의 경험의 영역을 확장하며 인지를 연장시키는 매개로 이해되기 때문이다(Lee, 2004). 또한 실험 결과는 도구의 사용 없이는 만들어질 수 없는 경우가 많고 이론은 도구를 사용하여 얻은 실험 결과에 의미를 부여하므로 도구는 과학 탐구에서 이론과 실험을 매개한다(Lee, 2000). 도구는 그 자체로 존재하지 않으며 사용자가 인공물을 선정하여 자신의 탐구 활동 안에 통합시켜 사용할 때 인공물은 사용자에게 의미있는 도구가 된다(Verillon & Rabardel, 1995). Artigue (2002)는 사용자가 인공물과 상호작용하며 인공물을 도구로 통합시키는 과정을 도구발생(instrumental genesis)이라 하고, 도구발생의 유형을 도구 조정화(instrumentation)와 도구 전용화(instrumentalization)로 세분하였다.¹⁾ 도구 조정화는 인공물의 한계가

* 교신저자 : 이선경 (sunlee@snu.ac.kr)

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

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.6.971>

사용자에게 영향을 미치고 도구발생이 인공물의 제약 또는 제한된 범위 안에서 이루어지는 것이며, 도구 전용화는 도구발생 과정에서 사용자의 지식이 인공물의 사용 방법을 안내하고 그 인공물의 의미를 새로이 형성해내는 것을 의미한다(Figure 1). 이와 같이 도구는 사용자와 복잡하게 상호작용하며 사실상 과학 이론과 동등한 수준으로 탐구 활동에 기여하고, 때로는 이론적 토대 없이도 새로운 탐구 영역을 창출한다(Baird, 2004; Chamizo, 2014).

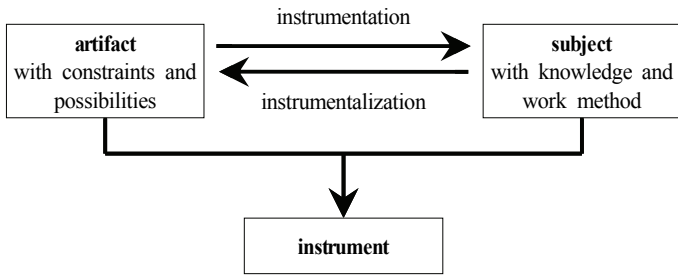


Figure 1. Instrumental genesis (Trousche, 2004)

하지만 그 동안 학교 과학에서 도구는 다양한 초자류를 위시하여 과학실험실에 진열되어 있는 실험기구의 의미를 갖는 것으로 제한되었다(Anderson *et al.*, 2013). 이때 실험기구는 실험 과정에서 관찰이나 측정을 위해 이용되는 단순한 수단으로 취급된다. 학교 과학 탐구의 맥락에서 이루어진 선행 연구도 탐구 과정에서 나타나는 학생의 특성(Park, 2000; Tomkins & Tunnicliffe, 2001), 탐구 학습의 효과(Bell *et al.*, 2003; Pine *et al.*, 2006), 탐구 문제의 구성 과정(Yoo & Kim, 2012), 탐구 과정에서 교사와 학생이 겪는 어려움(Jhun & Jeon, 2010; Jung, Lee, & Oh, 2011; Shin & Kim, 2010) 등을 주로 다루었다. 즉, 교육적 관점에서 학교 과학 탐구에 대한 선행 연구는 대부분 학생과 교사 중심으로 이루어졌으며 탐구 과정에서 도구는 거의 필수적으로 사용되지만 그동안 수단 이상의 의미가 부여되지 않았고 연구자들의 관심도 거의 받지 못하였다. 최근 들어 학교 과학 탐구에 사용되는 도구에 관한 연구가 일부 수행되었는데, 자유 탐구 과정에서 학생들이 체득한 암묵적 지식으로서 도구 사용의 솜씨(*skills*)를 분석한 사례 연구(Lee *et al.*, 2015)와 교과서에 제시된 실험에 나타난 도구의 의미를 분석한 연구(Choi & Lee, 2016) 등이다. 이처럼 학교 과학에서 학생들의 탐구 활동에서 작동하는 도구의 역할이나 의미에 대한 고찰은 매우 부족한 실정이다.

학교 과학 탐구에 사용되는 도구에 대한 연구는 복잡한 과학 활동을 여러 수준에서 접근하여 탐색하는 작업의 일환이며, 탐구 활동에서 개념과 탐구 과정의 관계와 학교 과학 탐구의 본질을 새롭게 묻는 작업과 연결되기 때문에 매우 중요하다. 학교 과학에서 진정한 의미의 탐구 활동을 수행할 때, 학생들은 탐구에 필요한 도구를 주도적으로 선택하며 때로는 직접 제작해야 하므로 도구는 단순한 보조물 이상의 의미를 가질 것이다. 이에 이 연구에서는 탐구 활동을 절차에 따르는 선형적 과정으로 이해하는 것을 넘어서 학생과 도구가 상호

성적으로 만들어가는 과정으로 이해하고자 했으며, 구체적으로 자유 탐구 형식의 학생 활동의 맥락에서 도구발생의 특징을 탐색하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구의 맥락

가. 연구 참여자

서울특별시에 있는 한 고등학교의 교내 과학 탐구 동아리에 소속된 학생 중 자발적으로 연구 참여에 동의한 학생 23명(1학년 10명, 2학년 13명)이 참여하였다. 학생들은 학기 초에 한 조당 3-4명씩 총 6개조(1학년 2개조, 2학년 3개조, 1, 2학년 혼합 1개조)로 편성된 후 교내 동아리 활동 시간을 이용하여 조원 및 동아리 지도교사와 함께 한 학기동안 탐구 활동을 수행하였다.

나. 과학 탐구 동아리 개요

동아리가 소속된 고등학교는 교육부 지정 과학중점학교로서 원활한 탐구 활동을 위한 실험실 등의 물리적 여건을 충실히 갖추고 있었다. 과학 탐구 동아리는 설립 이후 여러 해 동안 주제가 정해진 탐구 활동을 하거나 자유 탐구를 하는 등 해마다 조금씩 다른 형식의 활동이 이루어져 왔다. 연구가 진행된 해에는 동아리 지도교사와 연구진이 협의하여 학생들이 분야의 제한 없이 자율적으로 조별 논의를 통해 탐구 주제를 선정하고 탐구 활동을 설계, 수행하도록 하였다. 지도교사는 학생들에게 활동에 대한 특정한 기준을 제공하지 않았으며, 학생들이 지도교사에게 탐구 관련 질문을 하는 경우에는 자연스럽게 대답하며 학생들과 상호작용하였지만 직접적으로 탐구 방향을 제시하거나 개입하지 않았다.

2. 자료 수집

자료 수집은 7차시(14시간) 동안 이루어졌다. 실험실에 3대의 캠코더를 설치하여 학생들의 탐구 활동을 녹화하였으며, 각 조마다 녹음기를 제공하여 조별 담화를 녹음하였다. 1차시에는 연구 안내와 조 편성 후 탐구 주제 선정을 위한 조별 논의가 이루어졌다. 학생들은 매 차시 활동 후 해당 차시의 활동 내용과 다음 차시의 계획을 활동지에 기록하였고, 준비물 요청서를 작성하여 지도교사와 연구진으로부터 다음 차시 활동에 필요한 모든 준비물을 제공받았다.

3인의 연구자가 학생들의 탐구 활동을 참관하며 특징적인 점을 필드노트에 기록하여 추후 면담 자료로 활용하였다. 조별 탐구 과정을 상세하게 파악하기 위하여 자발적으로 면담 참여 의사를 밝힌 19명의 학생들을 대상으로 반구조화된 심층 면담(*semi-structured in-depth interview*)을 실시하였다. 면담은 연구자와 학생들 사이에 래포(*rapport*)가 형성되고 학생들의 탐구가 일정 수준 이상 진행된 4차시 이후 각 차시별 활동이 끝난 다음 2-5명의 학생을 무작위로 선정하여 실시하였다. 면담은 학생별로 30분~1시간 정도 소요되었다. 면담 질문은 학생의 배경 정보와 탐구 주제 및 진행 과정에 관한

1) 이 논문의 주요어인 *instrumentation*과 *instrumentalization*의 번역어는 연구자들의 합의에 이르지 못하고 있다. 이 연구에서는 *instrumentation*과 *instrumentalization*을 '도구 조정화'와 '도구 전용화'로 사용하지만, Han & Chang (2009)은 '도구장착'과 '도구활용'으로, Kang & Cho (2015)는 '도구 조정화'와 '도구 전용화'로 번역하여 사용하였다.

내용으로 구성하였다. 구체적으로, 과학 탐구 동아리 참여 동기, 탐구 주제에 대한 설명과 진행 상황, 주제 결정 과정, 탐구 활동 중 나타난 문제점과 해결 과정, 조원들의 역할, 탐구 중 사용했던 각종 도구의 선정 과정과 의도, 활용 과정과 결과 등을 질문하였다. 면담 학생이 속한 조의 활동에 대한 필드노트 기록이 있을 경우 이에 대한 추가 질문을 하였다. 모든 면담은 녹음하였으며 자료 수집 후 전사하였다.

3. 자료 분석 및 해석

수집된 자료 중에서 주 자료로 조별 담화 및 면담 전사본과 준비물 요청서를 사용하였으며, 보조 자료로 녹화 영상과 조별 활동지를 사용하였다. 자료의 수집과 초기분석은 문헌연구와 병행하여 순환적으로 이루어졌다.

우선 2인의 연구자가 학생 탐구 활동의 특징을 이해하는 데 주안점을 두고 자유로운 시각으로 수집된 자료를 개별적으로 반복하여 읽은 후 나타난 탐구의 특징을 개략하고 상호 논의하였다. 이 과정에서 연구자들은 학생들의 '도구' 사용에 집중하게 되었고, '도구'가 탐구 활동에서 어떤 의미를 갖고 있는지를 상호 질문하고 다각적으로 탐색하게 되었다. 연구자들은 지속적인 논의를 통해 학생들의 탐구 활동에서 도구가 차지하는 위치와 그 의미에 대해 자료가 이야기해 주는 것을 가능한 한 읽어내고, 동시에 문헌으로부터 고찰된 이론적 논의와의 연관성을 비판적으로 검토하고자 노력하였다. 이와 같은 학생 탐구 활동에서 도구가 갖는 의미에 대한 이론적 및 실천적 차원의 탐색은 자료 분석을 종료할 때까지 지속되었다.

이상의 논의 내용을 바탕으로 구체화된 분석을 실시하였다. 즉, 연구자 1인이 조별 탐구 활동의 흐름을 통합적으로 이해하고 다각적으로 해석하기 위해 학생들의 활동 순서를 따라 탐구의 전체적인 흐름과 맥락을 정리하였다. 그 과정에서 Perry (1995)의 학교 과학 탐구의 유형을 참조하여 학생들의 탐구 유형을 분류하였다. 구체적으로 '실험', '만들기', '수집'의 세 범주가 생성되었고, 그 중에서 '실험' 범주는 비교 조사, 통제 실험, 단순 실험의 세 가지 유형으로 세분되었다. 이에 학생들의 모든 탐구 주제는 실험군과 대조군을 설정하고 특정 처치의 영향을 알아보는 통제 실험(9개)과 모형 및 기구 제작을 통해 과학적 원리를 재현하거나 응용하는 만들기(3개)로 분류되었다. 이와 동시에 학생 탐구 활동에서 '도구' 사용과 관련된 사건이나 상황을 전경에 두고 자료의 심층 분석이 이루어졌다. 이 과정에서 도구는

인공물 중에서 심리적 도구를 제외하고 물리적 도구에 한정하였으며, 학생 활동에서 도구의 제안이나 수용, 그리고 사용과 관련하여 활동이 어떻게 전개되는지를 분석의 초점으로 삼았다. 이 과정에서 '도구 발생'의 개념(Artigue, 2002)을 적용하여 학생 탐구 활동에서 도구 발생의 유무를 살펴보고, 도구발생이 일어난 경우 도구 조정화와 도구 전용화의 유형에 해당되는 사례를 조목화할 수 있었다. 구체적으로, 학생들이 도구와 관련한 어려움을 겪어 탐구가 중단된 경우에는 도구 발생 중단으로 범주화한 뒤 중단이 일어난 맥락을 분석하여 도구 탐색 중단과 도구 사용 중단으로 세분하였고, 도구발생이 일어난 경우에는 도구의 조정화와 전용화로 범주화하고 그 특징을 어포던스와 연관하여 해석하였다.

다른 연구자는 앞선 연구자가 수행한 분석 결과의 타당성을 검토하고 도출된 특징이 면담과 녹화 자료 등에 일관되게 나타나는지 검토하였다. 이후 도구발생의 특징을 잘 나타낸다고 판단되는 사례를 정리하고 타당성을 점검한 후 구체적인 의미를 도출하는 과정을 수행하였다. 정리된 연구 결과에 대하여 과학교육전문가 2인, 현직 과학 교사 3인 및 대학원생 3인이 참가한 세미나를 수차례 개최하여 논의하였고 결과 해석의 타당성을 검토, 수정 및 보완하였다. 각 조별 조원의 구성, 탐구 주제명, 탐구 유형, 도구발생 여부를 정리한 결과를 Table 1에 제시하였다. 예를 들어, 1조는 한 개 주제(1-1)를 지속적으로 수행하였고, 2조는 주제를 두 번 변경하면서 세 개 주제(2-1, 2-2, 2-3)의 활동을 수행하였다. 같은 유형의 도구발생이 여러 개의 탐구 주제에 중복해서 나타난 경우에는 도구발생의 특징을 가장 잘 나타내는 사례를 한 개씩 선정하여 연구 결과로 정리하였다.

최종적으로 연구 결과의 분석과 해석은 '도구발생'과 '어포던스'를 중심으로 이루어졌다. 첫째, 도구발생과 관련하여 이 연구에서는 탐구 대상을 제외하고 학생들이 탐구에 활용한 모든 물리적 인공물(physical artifacts)을 '도구'로 정의하였다. 학생들은 주제 선정과 동시에 어떤 도구를 어떻게 사용할 것인가에 대해 집중적으로 논의하였고, 도구 사용과 관련된 문제를 해결하는 과정을 중요하게 다루었다. 이에 연구진은 탐구 진행 과정에서 도구가 제안되지 않거나, 제안되었더라도 활동 과정에서 활용되지 못하거나, 도구가 갖는 가능성을 인지하고 활용하거나, 도구가 갖는 가능성을 넘어 새로운 가능성을 창출하거나 하는 등 도구발생이 어떤 특징으로 나타나는지 주목하였다. 이때 도구발생의 특징을 탐구 활동의 맥락에서 이해하고자 하였다. 즉, 도구발생에 관한 자료 분석의 주안점은 각 탐구 주제별로 도구

Table 1. The characteristics of students' inquiries

조	조원 구성	탐구 주제명	진행 차시	탐구 유형	도구발생 여부	
1	1학년 4명 (A-D)	(1-1) 롤리코스터 모형 만들기	1-7	만들기	○	조정화 및 전용화
		(2-1) 다양한 액체에 머리카락 녹이기	1-2	통제 실험	○	조정화
		(2-2) 다양한 액체에 돼지고기 녹이기	3-4	통제 실험	○	조정화
2	1학년 4명 (E-H)	(2-3) 습하지 않은 장화 만들기	5-7	만들기	○	조정화
		(3-1) 해삼의 재생력 관찰하기	1-2	통제 실험	X	중단
3	2학년 4명 (I-L)	(3-2) 다양한 액체가 식물의 성장에 미치는 영향	3-7	통제 실험	○	전용화
		(4-1) 개미 퇴치하기	1-5	통제 실험	X	중단
4	2학년 4명 (M-P)	(4-2) 과일 비누 만들기	6-7	만들기	○ → X	조정화 및 중단
		(5-1) 씨앗의 한계	1-3	통제 실험	○	조정화
5	2학년 4명 (Q-T)	(5-2) 폐건전지 재사용하기	4-7	통제 실험	○	전용화
		(6-1) 필라멘트가 끊어질 때의 온도 측정	1-3	통제 실험	○ → X	조정화 및 중단
6	1학년 2명, 2학년 1명 (U-W)	(6-2) 다양한 액체에 탄산칼슘 녹이기	4-7	통제 실험	○	조정화

탐색과 선정 과정을 파악하고, 도구발생으로서 학생들과 도구의 상호 구성적 특징을 탐색하는데 집중되었다. 탐구 활동에서 나타나는 도구 발생은 서론의 Figure 1에 기술한 도구 조정화(instrumentation)와 도구 전용화(instrumentalization) 유형으로 대별되었다(Artigue, 2002).

둘째는 도구의 어포던스(affordance)에 관한 것으로, 어포던스는 Gibson (1979)이 처음 정의한 용어로 환경이 인간에게 제공하는 가치 있는 정보를 의미한다. 어포던스는 본래 생태학적 관점에서 사용되었으나 현재에는 다양한 학자들에 의해 의미가 확장되어 디자인이나 교육 등 여러 분야에 활용되고 있다(Hartson, 2003; McGrenere & Ho, 2000; Norman, 1988; Oh, 2017; Park, 2012). 이 연구에서는 Norman (1988)의 정의를 사용하여 어포던스를 사용자의 행동을 유발하는 도구의 실제적인 특성 또는 사용자에 의해 지각된 특성으로 정의하였다. 예를 들어, 의자에 대해서 사용자는 직접 의자에 앉거나 의자 위에 물건을 올려놓는 행동을 할 수 있는데, 이때 사용자가 의자에 앉거나 물건을 올려놓는 행동을 유발하는 특성이 의자의 어포던스이다. 도구의 어포던스는 사용자가 도구를 다루는 방법에 대한 강력한 단서를 제공한다(Norman, 1988). 사용자가 도구의 어포던스를 지각하면 도구를 사용한 의미있는 행동이 유발되며 이때 사용자가 도구의 어포던스를 지각하는 방식에 따라 같은 도구에서도 다른 행동이 유발될 수 있다(Hartson, 2003). 즉, 학생들이 지각하는 도구의 어포던스와 도구발생은 밀접한 관련이 있다. 이 연구에서는 학교 과학 탐구에서 나타나는 도구발생의 특징을 보다 자세히 파악하기 위하여 도구의 조정화 및 전용화가 일어날 때 학생들이 지각하고 활용한 도구의 어포던스를 해석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

연구 결과는 도구발생의 여부에 따라 대별하고, 도구발생이 중단된 사례와 도구발생이 일어난 사례를 탐구 활동 과정에 따라 구별하여 제시하였다. 도구발생이 일어난 경우, 도구 조정화와 전용화를 가장 잘 보여주는 대표적인 사례를 탐구 맥락에서 어포던스와 연관하여 해석하고 그 의미를 논의하였다.

1. 도구발생의 중단 사례

도구발생의 중단은 도구의 선정이나 사용이 이루어지지 않아 탐구가 중단된 것을 의미한다. 도구발생이 중단된 탐구 주제는 12개 중 4개였다. 이중 도구발생이 처음부터 중단된 사례(Table 1의 도구발생 여부에 “X” 표시 참조)는 통제 실험 유형에서 두 개가 있었다. 3조의 ‘해삼의 재생력 관찰하기(주제 3-1)’와 4조의 ‘개미 퇴치하기(주제 4-1)’를 시도했던 학생들은 도구를 탐색하는 단계에서 적절한 도구를 선정하지 못해 도구를 탐색하는 단계에서 탐구를 중단하고 주제를 변경하였다.

탐구 과정에서 도구발생이 중단된 사례(Table 1의 도구발생여부에 “○ → X” 표시 참조)는 통제 실험 유형과 만들기 유형에서 각각 한 개씩 있었다. 통제 실험 유형은 6조의 ‘필라멘트가 끊어질 때의 온도 측정(주제 6-1)’이었고, 만들기 유형은 4조의 과일과 비누 만들기 재료를 이용한 ‘과일 비누 만들기(주제 4-2)’였다. 이 활동에서 학생들은 도구를 탐색하고 선정하여 도구발생이 나타났으나, 탐구

도중 도구발생이 중단되고 탐구 주제가 변경되었다.

초기 도구발생의 중단 사례: 개미 퇴치하기 활동

4조에서는 생물 관찰과 키우기에 관심이 있는 조원 두 명이 개미를 관찰하자는 아이디어를 적극적으로 제시하였다. 다른 조원들은 개미에 대해 아는 것이 별로 없다는 점을 인식하면서도 직접 개미를 길러본다는 점에 상당한 흥미를 가지고 탐구 주제를 ‘개미 관찰하기’로 정하였다. 학생들은 2차시부터 학교 정원에서 직접 개미를 잡아 개미 키우기 키트 안에 넣고 개미집이 만들어지는 것을 관찰하였고, 3차시부터는 개미를 이용한 구체적인 탐구 주제로 페로몬이나 냄새로 개미를 유도하여 집개미를 퇴치하는 방법을 논의하였다. 그러나 학생들은 개미집이 완성된 4차시 이후에도 구체적인 실험 방법과 도구를 선정하거나 사용하지 못하였다. 다음에 제시한 학생들 대화 내용, 그리고 한 학생과 면담한 내용을 살펴보면, 도구와 실험 방법의 논의가 함께 이루어지지만 도구발생이 이루어지지 않고 활동이 전개되지 못하였음을 알 수 있다.

- M: 뭐하지 진짜? 다음 주에도 구경하자.
 O: 안돼. 그러면... 큰 셀로판지에.
 M: 아니면 개미 더 잡아서 꼭 넣어두자.
 O: 처음에 우리가 하려는 게 뭐였지?
 M: 하려던 거? 개미 길들이기.
 O: 그거는 안 될 것 같아.
 ...[중략]...
 N: 길들이기? 안될 것 같네. 아니면 그거하자 해부 현미경가지고.
 M: 무리야.
 N: 왜? 막 심장 찾아내고.
 M: 근데 주제에서 벗어나잖아, 개미 길들이기.
 (4조 5차시 활동 중에서)

- 면담자: 현재 탐구 목적은 어떤 걸로 잡혀있는 거죠?
 M: 개미가 집을 짓고 저희가 음식물을 던져주었을 때 그런 반응을 봐서... 개미도 곤충이고 집에서 사는 집 벌레도 곤충이잖아요, 좀 비슷할 거예요. 많이 다르지는 않을 거예요. 그래서 그것들을 조사해서 그냥 민간요법처럼... 살충제 같은 것을 집에서, 특히 아기가 있는 집에서는 많이 뿌리기가 힘들잖아요. 그래서 민간요법처럼 집에서 간단하게 음식이나 물건 같은 걸로 벌레를 조금이나마 물리칠 수 있는 그런 것을 알고자 했어요.
 ...[중략]...
 면담자: 문제는 이제 실험 방법인데, 조원들 사이에서 실험 방법에 관한 얘기가 어느 정도 어떻게 진행되고 있죠?
 M: 그러니까 그게 조금 모호해요. 그냥 무엇 하나 단정 지을 수 없는 건데...
 (4조 학생 M의 4차시 활동 후 면담 중에서)

학생들은 2차시부터 4차시에 이르기까지 개미의 생태에 대해 알고자 했으나 활동 목적에 적절한 도구를 탐색하지 못하였다. 도구를 탐색하지 못하는 상황은 ‘개미집 만드는 것 관찰하기’에서 ‘집개미 퇴치하기’로 활동의 방향을 변화시키는 듯 했으나, 활동의 목적과 도구의 선정이 조절되지 못하였다. 이러한 활동의 목적-도구 조절의 난항으로 학생들이 개미에 관하여 막연하게 지니고 있던 흥미와 관심은 급격히 저하되었고, 5차시 후반부터는 완전히 다른 탐구 주제로 선회

하였다. 이 사례에서 도구발생과 어포던스는 서로를 설명하는 관계에 있다. 즉, 도구가 선정되지 않은 것은 어포던스가 탐구 상황에서 포착되거나 활용되지 못한 것이며, 동시에 어포던스가 학생들에게 의미 있게 자리를 잡지 못한 것은 도구 선정이 이루어지지 않은 것이다. 이 사례는 도구의 선정과 어포던스가 서로를 구성하지 못하여 활동의 맥락을 형성하지 못한 것으로 해석할 수 있다.

탐구 과정에서 도구 조정화 및 중단 사례: 필라멘트가 끊어질 때의 온도 측정 활동

이 사례는 도구발생이 활동 초기에 조정화 차원에서 이루어졌으나 전개 과정에서 중단된 경우이다. 6조에서는 한 학생이 전구의 필라멘트가 끊어질 때의 온도를 측정하는 아이디어를 제안하였고, 다른 조원들은 이를 받아들였다. 학생들은 전기 회로에 필요한 도구인 전선, 전구, 전류계, 전압계 등을 확보하여 전구의 온도 측정을 위한 전기 회로를 직접 구성하기로 하였다. 또한 학교에서 흔히 사용하는 알코올 온도계로는 필라멘트의 온도를 측정하기 어렵다고 판단하고, 적외선 온도계를 사용하여 필라멘트의 온도를 측정하기로 하였다. 학생들의 탐구 계획과 도구의 고안은 어렵지 않게 이루어졌으나, 직접 전기 회로를 만드는 과정에서 예상치 못한 문제 상황이 발생하게 되었다.

U: 그래, 한 번 해보자.
 V: 아, 화난다.
 U: 왜?
 V: 이렇게 연결해야 되나?
 U: 헛갈려.

...[중략]...

지도교사: 근데 전압계를 연결하는 방법을 너희가 지금 모르는 거잖아. 전류계는 뭐고 전압계는 뭐고, 전압계랑 전류계랑 연결하는 방법은 알지 않나?
 U: 아, 이게 다른 거였구나.
 지도교사: 어떻게 연결하는지 방법을 알지 않나?
 U, V: 네.
 지도교사: 그런데 그게 지금 잘못됐네.
 V: 아, 배웠는데. 전기 공부를 다시 해야겠다.

(6조 2차시 활동 중에서)

학생들은 2차시 활동 중 수차례의 시행착오를 거쳐 회로를 연결하고 전구에 불을 켤 수 있었다. 이어 3차시부터는 계획대로 적외선 온도계를 사용하여 필라멘트의 온도를 측정하고자 하였다. 학생들은 적외선 온도계를 처음 다루었기 때문에 초반에 많은 어려움을 겪었고 동아리 지도교사의 도움과 설명서를 참고하여 적외선 온도계의 사용법을 익힐 수 있었다. 학생들은 적외선 온도계의 간단한 사용법을 익힌 후 먼저 적외선 온도계를 자신들의 피부나 책상에 대고 온도 측정 버튼을 누르면서 표면의 온도를 측정하는 등의 탐색을 하였다. 전기 회로를 구성하고 적외선 온도계를 이용해 주변 환경의 온도를 측정하는 과정에서 도구발생, 특히 도구 조정화가 일어난 것으로 볼 수 있다.

전선의 집게나 적외선 온도계의 온도 측정 버튼은 사용자로 하여금 집게를 연결하거나 버튼을 눌러보는 행위를 유발하는 도구의 어포던스를 제공한다. 이러한 도구의 어포던스는 학생들이 전선과 전지, 전압계 등을 자유롭게 연결하는 행동을 하도록 이끌었으며, 적외선 온

도계로 자신들의 피부 온도를 측정해보는 활동을 유발하였다.

그러나 적외선 온도계를 사용하여 필라멘트의 온도를 측정하는 과정에서 문제 상황이 발생하였다. 필라멘트의 경우 온도 측정 결과가 매우 낮았을 뿐 아니라 일정하지 않았고, 학생들은 반복 실험을 하면서 문제를 해결하고자 노력하였지만 일관된 결과를 얻지 못하였다. 실험의 목적을 달성하기 위한 과정에 적외선 온도계 사용이 적합한가를 판단하기 위해서는 다른 측면의 어포던스가 포착되고 활용될 필요가 있었다. 그러나 결국 학생들은 이 단계에서 적외선 온도계의 사용을 중단하게 되는데, 문제를 해결해 줄 또 다른 어포던스를 포착하지 못하고 도구 사용을 중단하게 되었다. 적외선 온도계의 어포던스는 학생들에게 단순히 버튼을 눌러보는 행동은 유발하였지만, 그 이상의 실험 맥락을 형성하는 도구발생을 가져오지 못하였다. 이에 학생들은 적외선 온도계라는 도구를 사용하여 실험을 전개할 수 있는 방안을 찾지 못하였으며, 3차시 후반부터는 다른 주제를 탐색하게 되었다.

면담자: 어떤 식으로 하게 됐는지 탐구 과정을 좀 설명해줄래요?
 W: 저희가 원래 실험하려는 게요. 전구 안에 필라멘트가 있잖아요. 전구 안에 있는 필라멘트가 탈 때의 순간 온도를 재려고 하는 거였는데.
 면담자: 네.
 W: 근데, 전지의 문제 그리고 접합의 문제라고 해야 하나? 전기가 잘 안통해요. 그래서 일단 전구를 켜는데도 되게 힘들었고, 결과물이 안 나오면 성취감이 없잖아요. 애들의 의욕도 떨어지는 것 같고. 또 이렇게 된다 할지라도 타는 온도를 전자 온도계로도 재기 힘들고 결과가 잘 안 나와서 좀 많이 힘들었던 것 같아요.
 (6조 학생 W의 5차시 활동 후 면담 중에서)

이 사례는 학생들이 온도 측정을 위한 도구를 탐색하던 중 알코올 온도계는 활동 맥락에 적절치 못함을 파악했고, 대안으로 적외선 온도계를 택했지만 예상치 못한 상황이 발생하여 활동이 중단되는 과정을 보여준다. 어포던스는 도구를 사용하는 방법에 대한 지각적이고 실험적인 속성을 가진다(Park, 2012). 이러한 관점에서 적외선 온도계는 학생들이 그동안 경험하지 못했던 낯선 도구였음에도 학생들은 도구의 어포던스를 포착하여 자연스럽게 조작할 수 있었다. 학생들이 가능했던 조작은 적외선 온도계에 내포된 지각적 속성의 일부였으나, 탐구 맥락을 형성하는 측면에는 적절하게 부합하지 못하였다. 즉, 학생들은 적외선 온도계에 내포된 또 다른 지각적 속성을 파악하지 못하였고, 온도 측정 대상의 면적 등의 측정 조건 및 작동 방식과 관련된 또 다른 어포던스는 실행으로 이어지지 않았다. 결국 학생들은 여러 차례 온도 측정을 시도하였지만 적외선 온도계 사용을 통해 원하는 결과를 얻지 못하게 되었다. 이는 초기 단순한 조작에 한하여 도구 조정화가 이루어졌지만, 활동의 진전을 위해 요구된 또 다른 어포던스를 포착하고 실행하는 의미로서의 도구발생은 이루어지지 않은 것으로 볼 수 있다.

2. 도구발생의 사례

도구발생이 일어난 탐구 주제는 여덟 개였으며(Table 1), 이 중에서 통제 실험 유형은 여섯 개이고 만들기 유형은 두 개였다. 통제 실험 중의 두 개 활동은 2조의 초반 주제인 '다양한 액체에 머리카락 녹이

기(주제 2-1)와 두 번째 주제인 ‘다양한 액체에 돼지고기 녹이기(주제 2-2)’이다. 이들 활동의 주제와 대상은 다르지만 목적과 방식은 유사했는데, 염색약, 표백제 등의 생활용품이 머리카락 혹은 피부에 미치는 영향을 알아보는 것이 목적이었다. 또한 3조의 ‘다양한 액체가 식물의 성장에 미치는 영향(주제 3-2)’, 5조의 자르기, 굽기 등의 처치가 씨앗의 발아 및 성장에 미치는 영향을 알아보는 ‘씨앗의 한계(주제 5-1)’와 ‘폐전지 재사용하기(주제 5-2)’, 6조의 각종 음료가 치아에 미치는 영향을 알아보기 위한 ‘다양한 액체에 탄산칼슘 녹이기(주제 6-2)’에서도 도구발생이 일어났다. 만들기 유형의 활동에서는 1조의 네오뎀 자석과 구슬의 인력을 이용한 ‘롤러코스터 모형 만들기(주제 1-1)’와 2조의 공기 펌프와 고무장화를 이용한 ‘습하지 않은 장화 만들기(주제 2-3)’에서 도구발생이 일어났다. 이들 주제 중에서 ‘도구 조정화’, ‘도구 조정화 및 전용화’, ‘도구 전용화’ 범주에 해당하는 대표적인 사례를 통해 도구 사용의 특징을 구체적으로 논의하였다.

도구 조정화 사례: 다양한 액체에 머리카락 녹이기 활동

2조의 ‘다양한 액체에 머리카락 녹이기(주제 2-1)’ 활동은 염색 경험이 있는 학생이 염색약과 머리카락 손상에 관한 아이디어를 제시하면서 시작되었다. 학생들은 인터넷에서 머리카락이 손상되는 원인을 알아본 다음, 머리카락의 구성 성분인 단백질을 녹일 수 있는 여러 가지 물질을 시험해보기로 하였다. 머리카락을 녹이기 위한 실험 물질로는 염색약, 탈색약, 매직약 등의 미용용품, 락스, 표백제, 세제 등의 가정용품과 염산, 수산화나트륨 등의 산과 염기 시약을 선정하였고, 비커, 고데기 등 실험에 필요한 도구에 대한 논의도 이루어졌다.

- E: [준비물 요청서를 작성하면서] 우리 준비물은 뭐야?
- F: 머리카락이랑 탈색약.
- H: 염산, 락스, 표백제, 세제 이런 거?
- G: 우리 비커 많이 필요하겠는데?
- E: 탈색약, 매직약.

...[중략]...

- E: 고데기는 내가 있어.
- F: 나도 있어.
- E: 근데 이거 괜찮은 거 같아. 그리고 또 뒤에 녹일 수 있을까?

(2조 2차시 활동 중에서)

2차시부터 진행된 실험에서 락스에 담가둔 머리카락은 녹았지만 다른 물질에 넣은 머리카락에서는 큰 변화가 없었다. 이를 통해 학생들은 락스가 머리카락을 녹이는 물질이라는 결과는 얻었다. 이후 머리카락 대신 여러 가지 용액이 피부에 미치는 영향을 알아보는 활동을 계획하고 3-4차시에 걸쳐 돼지고기를 대상으로 같은 실험을 반복하였다. 학생들은 1-4차시에 걸쳐 두 개의 탐구 주제를 수행하였는데, 이때 공통적으로 비커, 자, 고데기, 스마트폰 등의 도구를 사용하였다. 구체적으로, 비커는 실험 물질을 담기 위해, 고데기는 머리카락을 가열하기 위해, 자는 머리카락의 길이를 측정하기 위해, 스마트폰은 카메라로 사진을 찍기 위해 사용되었다. 또한 머리카락과 돼지고기의 녹은 정도를 비교하는 과정과 결과 해석 과정은 순탄하게 진행되지 않았지만, 해결해야 할 문제 상황으로 부각되기보다는 한계 상황으로 처리되었다. 학생들은 사용하고 있던 자와 카메라 이외의 다른 도구를 탐색하거나 사용하지 않았고, 동시에 기존의 도구가 갖는 또 다른

어포던스가 학생들에게 포착되지도 않았다. 즉, 비커, 자, 고데기, 스마트폰 등의 도구발생은 어포던스의 포착과 실행 면에서 도구 조정화의 특징을 보였다.

도구 조정화 및 전용화 사례: 롤러코스터 모형 만들기 활동

1조의 활동은 주제 탐색 과정에서 두 학생이 자석을 언급하면서 시작되었다. 한 학생이 먼저 자석을 이용한 탐구를 제안하였고 다른 학생이 자석 가속기 등 자석을 활용한 여러 가지 아이디어를 제안하였다. 이후 자석을 활용한 구체적인 실험 방법에 대한 논의가 활발하게 이루어졌다. 학생들은 막대자석, 말굽자석, 영구자석, 네오뎀 자석, 페라이트 자석 등 다양한 종류의 자석을 탐색하였고, 인력과 척력, 온도와 자력의 관계 등의 자석의 성질에 대해서도 논의하였다. 그리고 일상생활에서 자석이 사용되는 사례를 조사하였다. 이 과정에서 네오뎀 자석을 이용해 쇠구슬을 발사하는 동영상은 인터넷에서 찾았고, 이를 응용하여 롤러코스터 모형 만들기 활동을 계획하였다.

2차시에 학생들은 네오뎀 자석, 쥘대(케이블 몰드), 쇠구슬, 종이컵 등의 도구를 가지고 인터넷에서 찾은 동영상과 동일한 실험을 하였다. 이후 3차시에서는 쥘대의 개수를 변경하거나 쥘대를 구부려 만든 다양한 유형의 레일 위로 자석의 개수를 달리하며 쇠구슬을 배치하고, 자석의 움직임에 대한 질문을 주고받으며 자력에 의한 쇠구슬의 이동 방향과 속도를 관찰하였다. 그리고 롤러코스터 트랙을 만들기 위한 구체적인 실행 목표에 관한 논의가 다음과 같이 이어졌다.

- C: [동영상을 보며 실험하는 B와 D에게] 우리 이거 따라하려는 게 아니잖아.
- D: [자석을 이용한 쇠구슬 발사 실험을 하며] 아니 나도 해보게.
- B: 다 돼가.
- A: 우리 여기서 좀 변화를 주자. 생각해봐. 일단 떠오르는 게, 속도도 재고 조금만 변화를 시키자.
- C: 일단 우리도 해보자.

...[중략]...

- A: [자석의 개수를 다르게 한 쇠구슬 발사 실험을 하고나서] 쇠구슬의 속도가 자석의 개수에 따라서 변하는 거지?
- C: [쇠구슬을 가리키며] 롤러코스터?
- B: 우리 일단 속도를 재고, 자석의 개수에 따라 변하는 속도를 구하고, 기구를 평면으로 하면 지루하겠잖아. 비꾸자. 휘기도하고 한 바퀴 돌기도하고. 근데 그게 가능하냐?
- A: 그러려면 속도가 엄청 빨라야 해.
- B: 그렇지. 속도가 빠르면 가능해.

(1조 3차시 활동 중에서)

학생들은 논의를 통해 ‘롤러코스터 모형 만들기’로 단순하게 정했던 주제를 ‘루프 구조물을 포함한 롤러코스터 모형 만들기’ 활동으로 정교화하였다. 그리고 매 차시마다 굵은 철사, 순간접착제, 테이프, 양면테이프, 아이클레이 등 다양한 도구를 사용하였다. 이때 도구들은 학생들이 미리 예상하지 못한 방법으로 사용되기도 하였다. 예를 들어, 2차시 활동 중 롤러코스터의 커브 구간에서 쇠구슬이 레일을 이탈하는 문제가 자주 발생하자 학생들은 쇠구슬이 레일을 이탈하지 않도록 가드레일을 설치하고자 굵은 철사를 요청하였다. 그러나 학생들의 의도대로 가드레일을 설치하고 고정하는 작업은 쉽지 않았으며, 이 문제는 학생들이 굵은 철사 대신 아이클레이를 사용함으로써 해결

되었다. 이후 굽은 철사는 3차시 활동 중 롤러코스터의 루프 구조물을 고정하는 등 전체 구조를 유지하는 지지대로 활용되었다.

D: [루프 구조물에 테이프를 붙이며] 이게 테이프가 약해서 터져요, 이게 지도교사: [루프 구조물에 테이프를 감는 동작을 하며 이렇게 막 감아도? D: 그렇게 막 감으면 구슬이 여기를 못 지나가요. 그래서 지금 문제예요. 고민 중이에요.

...[중략]...

D: [굽은 철사를 루프 구조물에 끼워 넣으며] 아니, 저거 철사 조금만 쥐봐. 철사를 여기 넣을 거잖아? 양쪽으로 넣으면 똑같은 걸. 내 말은 무슨 말이냐면 여기 틈 있지. 틈 사이에 철사를 끼워서...

C: 그게 잘 될까?

D: 어떻게 하나면, 이쪽부터 꺼. 쪽쪽 꺼. 철사 잘 구부러지잖아. 그러니까 내 말은 시발점 있지, 시발점에는 철사 레일을 안 넣고 나중에 이쪽으로 시작할 때.

(1조 3차시 활동 중에서)

한편, 학생들이 탐구 중에 직면한 문제의 해결 방안도 우연히 발견되는 경우가 있었다. 구체적으로, 학생들은 굽은 철사를 지지대로 활용하여 루프 형태의 구조물을 만드는 데 성공하였으나 학생들의 예상보다 자석의 인력이 약했기 때문에 쇠구슬이 루프를 돌지 못하였다. 이때 한 학생이 5차시 활동 중 우연히 사용하고 남은 철사와 네오뎀 자석이 붙어 있는 것을 보고 루프 구조물에 설치한 굽은 철사를 이용하여 쇠구슬이 루프를 통과할 수 있는 방법을 고안하였다. 학생들은 레일 안쪽에 자석과 쇠구슬을 추가로 매달아 쇠구슬이 자석에 부딪히면 새로운 쇠구슬이 발사되는 과정을 반복시키는 방법으로 쇠구슬이 루프를 통과할 수 있게 하였다(Figure 2).



Figure 2. The roller coaster model

면담자: 레일위에 철사로 이렇게 가이드라인을 위로 잡아둔 것도 있잖아요.

C: 그거는 되게 우연히 된 거예요.

면담자: 그런 거는 어떻게 생각한 거죠? 그런 것도 예상하고 들어간 거는 아니지 않나요?

C: 네, 그건 진짜 전혀 예상 못했어요. 그냥 뭔가로 받쳐줘야겠다고 하다가 그때 원래 그 줄대 사이에 철사를 넣으려고 했거든요. 마찰력을 좀 덜 받고 갈 수 있을 거 같아서. 근데 해보니까 줄대로 충분할 거 같아서 그냥 철사는 놔두고 있다가 해보니까 이게 자석에 철사가 붙더라고요. 그러니까 그 자석을 그렇게 딱딱 붙여가지고, 그게 되게 우연히 붙은 거거든요. 붙은걸 보니까 '아 이거 괜찮다.' 이래가지고. 그렇게 해서 자석이랑 철사랑 같이 붙여놓고 고정시켰어요.

(1조 학생 C의 7차시 활동 후 면담 중에서)

학생들은 네오뎀 자석과 쇠구슬을 접한 경험이 없었기 때문에 먼저 2, 3차시 활동에서는 인터넷에서 찾은 영상을 보고 따라하는 과정을 거쳤다. 이는 학생들이 네오뎀 자석과 쇠구슬의 일반적 특성에 익숙해지기 위하여 기존에 알려진 도구의 사용 방법과 절차를 따르며 사용한 것으로, 6조의 학생들이 전기 회로를 구성할 때 나타났던 도구발생의 특징인 도구 조정화와 유사하였다. 그러나 2, 3차시 활동을 통해 학생들은 도구를 충분히 사용해 보면서 도구가 지닌 특성을 체득하여 자유자재로 사용할 수 있게 된 것으로 보인다. 이 단계에 도달한 후에는 더 이상 인터넷에서 자석과 쇠구슬 실험과 관련된 영상을 찾아보거나 도구의 일반적 특성에 얽매이지 않게 되었다.

이후의 도구발생은 조정화를 넘어서 전용화 차원의 특징을 보여준다. 학생들이 루프 구조물을 만들 때 활용한 굽은 철사의 어포던스는 학생들에게 지각되어 모형의 구조를 변경하고 재구성하는데 활용되었다. 또한, 철사와 자석 사이의 인력을 적용한 모형 만들기 과정에서는 각 도구가 따로 존재할 때에는 포착되기 어려운 어포던스가 창출되고 활용되었다. 이때 도구발생은 각 도구의 어포던스가 단순히 활용된 것을 넘어선다. 도구는 서로의 어포던스를 새롭게 창출하면서 전체적인 모형 제작 계획을 구성하는 데 작동한 것으로 볼 수 있다. 이는 여러 가지 도구를 동시에 사용하는 과정에서 학생들이 활용한 도구의 어포던스가 확장되고 새로 창출된 사례로 볼 수 있다. 즉, 도구들은 탐구 활동에 새로운 가능성과 한계를 동시에 제공하였으며, 학생들은 도구의 한계를 극복하고 가능성을 극대화하고자 노력하였다. 이는 도구 사용이 생산적 작업의 기초가 되며 새로운 활동 맥락을 구성하는 것을 보여주는 예시로서 도구 조정화 및 전용화의 특징으로 해석할 수 있다.

도구 전용화 사례: 다양한 액체가 식물의 성장에 미치는 영향에 대한 탐구 활동

3조의 첫 번째 탐구 주제는 해삼의 재생력을 알아보기로 하는 것이었으나 도구 탐색 단계에서 활동이 중단되었다. 학생들은 해삼을 바라만 보았을 뿐 어찌할 바를 모르고 바로 포기하였다. 학생들은 첫 번째 탐구 주제로 생소한 해삼을 선택했던 것을 반성하면서 두 번째 탐구 대상으로 학생들이 통제 가능하고 변인들을 확인 및 조정 가능한 문제를 찾아가 하였다. 2차시 후반에 한 학생의 제안으로 두 번째 탐구 주제는 '다양한 액체가 식물의 성장에 미치는 영향'으로 결정되었다. 학생들은 식물에 제공할 액체의 종류로 물, 우유, 쌀뜨물, 비타민을 녹인 물, 커피, 걸레 뻘 물 등을 선정하였고, 종속 변인으로 식물의 크기, 잎의 크기와 길이 등을 고려하였다. 이 탐구 주제는 목적과 고려해야 하는 변인이 분명하였기 때문에 탐구 계획도 비교적 구체적으로 결정되었다.

3차시부터 학생들은 햇볕이 잘 드는 곳에 동일한 크기의 고추 모종이 심어져있는 화분을 여러 개 두고 준비했던 다양한 액체를 주면서 몇 주 동안 관찰하였다. 며칠 후 우유, 커피, 쌀뜨물 등의 액체를 준 식물에 진딧물이 대량 발생하였는데, 학생들은 4차시 활동 중 사전에 예측하지 못했던 이 문제를 해결하기 위한 방법을 논의하였다.

L: 벌레를 막으려면 뭐가 좋을까?

J: 망을 씌우나?

L: 그게 가장 좋겠지?

I: 근데 망을 씌우면 영향을 안 받나?

- L: 공기만 통하게 막으면 되지 않을까?
- J: 공기가 통하면 벌레가 들어오지 않나?
- L: 그러니까 공기구멍을 조그맣게.
- J: 그렇다고 거기 다 막아서 공기가 안 들어가면 안 되니까.
- L: 그렇지. 잘 조절해야지.
- K: 벌레는 어디서 올라?
- J: 벌레는 우리가 없애주자.
- L: 그렇게 할까?
- J: 환기만 시키고 창문을 바로 닫자.
- I: 벌레가 생기면 없애주고.

(3조 4차시 활동 중에서)

논의 후 학생들은 면봉과 이쑤시개를 사용하여 진딧물을 제거해준 다음, 창문을 닫고 화분 주위에 그물망을 설치하여 식물에 다른 벌레가 침입하지 못하도록 하였다. 이때 우유를 주었던 화분은 냄새가 심하게 나고 진딧물이 특히 많이 발생했기 때문에 실험에서 제외하였다. 탐구 활동이 끝난 후 학생들은 진딧물 제거를 위해 사용했던 도구들을 언급하며 문제 해결을 위한 자신들의 노력을 다음과 같이 강조하였다.

- 면담자: 문제 같은 게 없었나요? 그때?
 - K: 문제요? 문제가 있었어요.
 - 면담자: 어떤 문제가 있었죠?
 - K: 우유랑 그런 게 벌레가 꼬여서 그게 영향이 있을까봐.
 - 면담자: 어떤 영향이요?
 - K: 만약 그 벌레들이 잎을 먹거나 그러면 안 되니까. 그래서 저희가 점심시간에 면봉하고 이쑤시개 들고 가서 다 떼어 내고 그랬어요.
- (3조 학생 K의 7차시 활동 후 면담 중에서)

학생들은 진딧물의 발생이라는 문제 상황에 직면했을 때 즉흥적으로 면봉과 이쑤시개를 떠올리고 사용하였다. 하지만 일상생활에서 면봉과 이쑤시개를 진딧물 제거 용도로 쓰는 경우는 거의 없다. 물론 면봉과 이쑤시개의 용도가 엄격하게 규정되고, 특정 상황에 사용하지 못하도록 정해진 것은 아니다. 그러나 일반적으로 면봉과 이쑤시개는 진딧물을 제거하기 위해 사용되는 경우가 드물다는 의미이다. 따라서 이는 학생들이 도구의 일반적인 사용 절차나 방법을 고려하지 않고 도구를 탐구에 필요한 목적으로 자유롭게 변형시켜 사용한 도구 전용화 사례로 볼 수 있다. 학생들은 손으로 잡을 수 있고 적당한 크기, 강도와 면적을 지닌 면봉과 이쑤시개의 어포던스를 새롭게 창출하여 진딧물 제거라는 구체적인 맥락에 적용하고 활용하였다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 과학 탐구 분야의 연구에서 그 동안 주목받지 못했던 도구가 학생 활동에서 어떻게 작동하는지를 다루었다. 학생 활동의 맥락에서 도구의 특징을 도구발생 여부 및 도구 조정화와 도구 전용화에 따라 범주화하여 분석 및 해석하였다. 도구발생이 활동 초기에 중단된 사례와 활동 중에 중단된 사례를 다루었고, 도구발생이 일어난 경우에 도구 조정화 사례, 도구 조정화 및 전용화 사례, 도구 전용화 사례를 기술하고, 그 의미를 도구의 어포던스 및 도구와 학생이 상호구성적으로 작동하는 과정을 중심으로 논의하였다.

연구 결과, 학생들이 도구의 어포던스를 전혀 포착하지 못한 경우에는 도구와 관련한 어떠한 행동도 유발되지 않았기 때문에 도구발생이 일어나지 않았고 탐구가 중단되었다. 도구발생이 중단되었던 3조와 4조의 사례를 제외하고 도구발생의 유형은 크게 세 가지로 나타났다. 첫째, 1조에서 네오뎀 자석과 쇠구슬을 처음 다루기 시작한 시점의 사례, 6조의 전기 회로 활동과 2조의 고데기 등의 사용 사례에서는 모두 학생들이 도구의 어포던스인 특성과 제한을 인식하거나 기존의 자료를 참조하며 도구를 사용하는 도구 조정화 특징이 나타났다. 둘째, 1조에서 네오뎀 자석과 쇠구슬 등을 사용한 사례 전반에서는 도구 사용에 익숙해지는 과정인 도구 조정화 특징이 드러난 이후, 학생들이 도구를 자유롭게 사용하기 시작하면서부터 도구의 전용화 특징이 나타났다. 셋째, 3조의 면봉과 이쑤시개 사례에 대해서는 학생들이 이미 일상에서 도구의 사용 방법을 체득한 상태에서 활동에 임했기 때문에 도구 본래의 목적이나 기능에 얽매이지 않고 자유자재로 도구를 사용하는 도구 전용화 특징이 나타났다.

이상의 논의를 종합하면, 학교 과학 탐구에서 학생들의 도구 사용은 단순한 실험기구나 탐구 수단 이상의 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 과학자의 탐구에 대부분 도구가 사용되며 도구로 인해 새로운 실험 방법이 제안되고 실행되듯이, 진정한 탐구 맥락에서 도구의 사용은 학생들이 문제해결을 위해 적절한 도구를 선정하고 작동시켜야 한다는 점에서 과학자의 탐구와 본질적으로 유사하다. 학생들이 주도적으로 주제를 정하고 이를 해결해야 하는 비구조화된 문제 상황에서 도구를 적절히 사용한다는 것은 도구의 어포던스를 맥락적으로 활용하는 것을 의미한다. 도구의 발생은 어포던스를 포착하고 작동시키는 것을 의미하지만, 문제 상황에 따라 때로는 어포던스를 상황에 적합하게 창출해낼 것이 요구되기도 한다. 전자가 도구의 어포던스가 상황에 적합하게 작동하는 도구 조정화라면, 후자는 도구의 어포던스가 상황에 적절하게 창출되는 도구 전용화를 의미한다.

학교 과학 탐구는 주로 관찰, 분류 등의 기초적인 탐구 능력만을 요구하는 단순 확인, 단순 예측, 또는 단순 실험의 형태로 이루어지는 경우가 많은데(Chinn & Malhotra, 2002; Han, 2012; Kim & Song, 2003; Rudolph, 2005; Wellington, 1998), 이 경우에는 도구발생의 도구 조정화 특징이 주로 발생할 것이다. 반면, 비구조화된 문제 상황 혹은 일상의 문제 상황에서 이루어지는 탐구에서는 학생이 상황을 구성하고 재구성해나가면서 문제에 접근하고 해결하는 과정에 임하게 되며, 이때는 도구 조정화 및 전용화의 특징이 모두 드러날 가능성이 커진다. 결과에서 제시되었듯이, 이쑤시개와 면봉을 사용했던 조에서 도구의 전용화가 즉시 일어날 수 있었던 것은 평소 어포던스의 작동이 체화된 상태에 있었기 때문이다. 또한, 쇠구슬과 네오뎀 자석을 다루었던 조에서 도구의 조정화를 거쳐 도구의 전용화가 일어날 수 있었던 것은 도구의 어포던스에 대한 자유로운 탐색의 과정이 있었으며 숙달에 이르렀기 때문이다.

도구에 대한 자유로운 탐색과 숙달 과정은 도구의 전용화가 나타나는 맥락을 구성한다고 볼 수 있다. 그러므로 학교 과학 탐구에서는 학생들에게 단순히 도구를 나열하거나 도구의 작동 방식에 관한 정보를 제공하는 것을 넘어서 학생들이 도구에 대하여 충분한 탐색과 숙달을 할 기회를 제공해야 한다. 초자류 등의 비교적 간단한 실험 도구 외에, 적외선 온도계와 같이 과학 이론과 기술이 집약된 실험 장치는 특히 그러하다. 도구를 쓰는 일은 체계적 이론만이 아니라 경험 법칙

에 기초한 암묵적 지식을 사용하기 때문이다. 따라서 도구가 익숙하지 않거나 도구의 작동에 과학 이론이 포함되어 있는 경우에는 학생들이 도구 이론과 어포던스를 탐색하고 익숙해질 수 있는 기회를 제공해야 할 것이다. 최근 화두가 되고 있는 스마트 러닝 혹은 첨단기기를 사용하는 미래 교육 활동에서 혁신적 도구는 지속적으로 등장하고 적용될 것으로 예상된다. 이때, 첨단 도구의 조정화 및 전용화를 위해서는 교사와 학생이 도구 자체를 자유롭게 탐색하면서 도구가 지닌 어포던스의 가능성과 한계를 발견하고 이에 익숙해질 충분한 시간이 요구된다. 자유탐구와 같은 비구조화된 문제 상황의 경우, 도구 사용이 실험 활동을 가능하게 해줄 뿐 아니라 활동을 확장 혹은 새로운 방향으로 전개할 수 있다는 의미에서 도구의 전용화는 더욱 중요하다. 연구 결과로 제시된 사례에서 보았듯이, 도구가 지닌 어포던스는 활동 맥락에 적절한 방식으로 새롭게 포착되기도 하고 여러 가지 도구가 협력적으로 사용되면서 활동의 맥락을 창출하기 때문이다.

추후 연구에서는 이 연구가 다루었던 도구의 어포던스를 분산인지 관점에서 더 심층적으로 분석하고 해석할 필요가 있다. 이 연구에서 주목한 도구와 학생 뿐 아니라 동료, 지도교사, 주변 환경 등도 포함한 분산 인지 체계를 이론적 기반으로 하여(Clark, 1997), 학교 과학 탐구를 구성하는 보다 다양한 요소에 대한 분석이 이루어질 필요가 있다. 또한, 분산 인지 관점은 인간과 인공물을 포함한 비인간을 모두 동등한 행위자(actor)로 간주하고 그들 사이의 복잡한 관계를 분석하는 행위자-연결망 이론(Actor-Network Theory; Kim, 2010)으로 확장 가능하다. 학교 과학 탐구는 주제와 관련하여 학생, 도구, 이론, 문화 등의 다양한 요소들이 맥락 의존적으로 얽여 있어 그 자체가 상황적(situated)이며(Greeno, 1998), 여러 층위의 네트워크가 복합적으로 작동한다. 향후 분산 인지 및 ANT를 위시하여 새로운 관점을 제공하는 다양한 이론을 적극적으로 도입하여 학교 과학 탐구의 본질적 가치를 논하고 도구 사용을 위시한 여러 행위자의 상호작용을 다양한 층위에서 탐색하는 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

국문요약

이 연구에서는 고등학생의 학교 과학 탐구에서 나타나는 도구발생의 특징을 탐색하였다. 연구 대상은 고등학교의 과학 동아리 활동에 참여한 1, 2학년 학생 23명으로, 학생들은 6개 조로 나뉘어 한 학기 동안 과학 탐구를 자율적으로 계획하고 수행하였다. 학생들의 탐구 활동을 녹음 및 녹화하며 관찰하였고, 반구조화된 심층 면담을 실시하였다. 준비물 요청서와 조별 활동지도 수집하여 분석에 활용하였다. 연구 결과는 학생들의 활동을 도구발생의 여부에 따라 범주화하여 제시하였다. 구체적으로 도구발생이 중단된 경우에는 활동 초기에 도구발생이 중단된 사례, 활동 과정에서 도구발생이 중단된 사례를 각각 기술하였다. 또한 도구발생이 일어난 경우에는 도구 조정화, 도구 조정화 및 전용화, 도구 전용화 범주로 세분하고 각 범주에 해당하는 대표 사례를 기술하였다. 도구발생의 여부와 구체적인 특징은 탐구 맥락에서 조명되었고 도구의 어포던스와 연관하여 해석되었다. 연구 결과를 바탕으로 학생들의 과학 활동에서 도구의 위치를 재고하고 연구에의 시사점을 논의하였다.

주제어 : 학교 과학 탐구, 도구발생, 도구 조정화, 도구 전용화,

References

- Anderson, K., Frappier, M., Neswald, E., & Trim, H. (2013). Reading instruments: Objects, texts and museums. *Science & Education*, 22(5), 1167-1189.
- Artigue, M. (2002). Learning mathematics in a CAS environment: The genesis of a reflection about instrumentation and the dialectics between technical and conceptual work. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 7(3), 245-274.
- Baird, D. (2004). *Thing knowledge: A philosophy of scientific instruments*. Berkeley: University of California Press.
- 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.
- Bud, R., & Warner, D. (1998). *Instruments of science. An historical encyclopedia*. London and New York: Smithsonian Institution.
- Chamizo, J. A. (2014). The role of instruments in three chemical' revolutions. *Science & Education*, 23(4), 955-982.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Choi, C. I., & Lee, S.-K. (2016). Reconsidering the meanings of experiments and instruments based on the analysis of chemistry experiments in textbooks. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(4), 267-275.
- Clark, A. (1997). *Being there: Putting brain, body, and world together again*. Massachusetts: MIT Press.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton-Mifflin.
- Greeno, J. G. (1998). The situativity of knowing, learning, and research. *American Psychologist*, 53(1), 5-26.
- Han, S. H., & Chang, K. Y. (2009). Instrumental genesis of Computer Algebra System(CAS) in mathematical problem solving among high school students. *School Mathematics*, 11(3), 527-546.
- Han, Y.-H. (2012). *Development of classroom inquiry model to improve scientific communication ability*. (Doctoral dissertation). Korea National University of Education, Cheongju.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(7), 655-675.
- Hartson, H. R. (2003). Cognitive, physical, sensory, and functional affordances in interaction design. *Behavior & Information Technology*, 22(5), 315-338.
- Hmelo-Silver, C. E., Nagarajan, A., & Day, R. S. (2002). "It's harder than we thought it would be": A comparative case study of expert-novice experimentation. *Science Education*, 86(2), 219-243.
- Jeong, J., Lee, K., & Kim, J. (2006). Analysis of inquiry teaching levels of beginning science teachers in middle school science laboratories. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27(4), 364-373.
- Jhun, Y. S., & Jeon, M. J. (2010). The difficulty that is caused open inquiry instruction. *The Journal of Korea Elementary Education*, 20(1), 105-115.
- Jung, W.-K., Lee, J.-K., & Oh, S. W. (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.
- Kampourakis, C., & Tsapralis, G. (2003). A study of the effect of a practical activity on problem solving in chemistry. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(3), 319-333.
- Kang, Y. R., & Cho, C. S. (2015). An activity theoretical analysis on the instrumental orchestration of the teacher: Focusing on the calculator-based classroom activities of gifted elementary math students. *Journal of Korea Society Educational Studies in Mathematics*, 17(2), 273-287.
- Kapon, S. (2016). Doing research in school: Physics inquiry in the zone of proximal development. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1172-1197.
- Kim, H., & Song, J. (2003). Middle school students' ideas about the purposes of laboratory work. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(3), 254-264.
- Kim, S.-J. (2010). Re-understanding of technoscience and nature through actor-network theory. *Journal of the Korean Geographical Society*, 45(4), 461-477.

- Kim, Y., & Yang, I.-H. (2005). The factor analysis of affecting elementary students' science attitude change. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 24(3), 292-300.
- Lee, J. H., Nam, J. H., & Moon, S. B. (2003). The effects of a performance assessment based on the experimental practice on student's science achievement and affective domain in the middle school science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(1), 66-74.
- Lee, S. (2000). The nature and structure of experimentation: Epistemic approach founded on theory-network. (Doctoral dissertation). Seoul National University, Seoul.
- Lee, S. (2004). Philosophical understanding of doing experience. Korea: Seokwangsa.
- Lee, S. (2009). Phenomena and instruments. Korea: Hanul academy.
- Lee, S. (2015). Materiality of science technologized. *Journal of the Society of Philosophical Studies*, 111, 123-148.
- Lee, S.-K., Han, J., Lee, J., & Noh, T. (2015). Characteristics of student inquiry found in project-based science practices: Focusing on theory-evidence-method coordinations and skills in using tools. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(4), 599-608.
- McGrenere, J., & Ho, W. (2000). Affordances: Clarifying and evolving a concept. *Proceedings of Graphics Interface*. Canadian Human-Computer Communications Society, Toronto, 2000, 179-186.
- Metz, K. (2004). Children's understanding of scientific inquiry: Their conceptualization of uncertainty in investigations of their own design. *Cognition and Instruction*, 22(2), 219-290.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York: Doubleday.
- Oh, P. S. (2017). An interpretation of modeling-based elementary science lessons from a perspective of distributed cognition. *Elementary Science Education*, 36(1), 16-30.
- Park, H. (2012). A development of affordances design strategy for improvement of pedagogical usability on e-learning contents user interfaces. (Doctoral dissertation). Chung-Ang University, Seoul.
- Park, J. (2000). Analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypothesis: Focused on the definition and the characteristics of scientific hypothesis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(4), 667-679.
- Park, Y.-S. (2006). Theoretical study on the opportunity of scientific argumentation for implementing authentic scientific inquiry. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27(4), 401-415.
- Perry, P. (1995). *Getting started in science fairs: From planning to judging*. New York: McGraw-Hill.
- Pine, J., Aschbacher, P., Roth, E., Jones, M., McPhee, C., Martin, C., Phelps, S., Kyle, T., & Foley, B. (2006). Fifth graders' science inquiry abilities: A comparative study of students in hands-on and textbook curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(5), 467-484.
- Roth, W.-M. (1995). *Authentic school science*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Rudolph, J. L. (2005). Inquiry, instrumentalism, and the public understanding of science. *Science Education*, 89(5), 803-821.
- Shin, H.-H., & Kim, H.-N. (2010). Analysis of elementary teachers' and students' views about difficulties on open science inquiry activities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(3), 262-276.
- Staer, H., Goodrum, D., & Hackling, M. (1998). High school laboratory work in western Australia: Openness to inquiry. *Research in Science Education*, 28(2), 219-228.
- Tomkins, S. P., & Tunnicliffe, S. D. (2001). Looking for ideas: Observation, interpretation and hypothesis-making by 12-year-old pupils undertaking science investigations. *International Journal of Science Education*, 23(8), 791-813.
- Trouche, L. (2004). Managing the complexity of human/machine interactions in computerized learning environments: Guiding students' command process through instrumental orchestrations. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 9(3), 281-307.
- Verillon, P., & Rabardel, P. (1995). Cognition and artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 77-101.
- Wellington, J. J. (1998). Practical work in science: Time for a reappraisal. In J. J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science* (pp. 3-15). New York: Routledge.
- Yang, I.-H., Jeong, J.-W., Kim, Y.-S., Kim, M.-K., & Cho, H.-J. (2006). Analyses of the aims of laboratory activity, interaction, and inquiry process within laboratory instruction in secondary school science. *Journal of Korean Earth Science Society*, 27(5), 509-520.
- 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.