



학생 주도의 R&E 활동에서 드러나는 연구 활동의 주요 단계 및 학생의 인식적 행위주체성

이민주^{1*}, 김희백²¹대전과학고등학교, ²서울대학교

Key Stages of a Research and Students' Epistemic Agency in a Student-Driven R&E

Minjoo Lee^{1*}, Heui-Baik Kim²¹Daejeon Science High School for the gifted, ²Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 May 2019

Received in revised form

19 June 2019

8 August 2019

16 August 2019

Accepted 21 August 2019

Keywords:

R&E(Research & Education),
epistemic agency, structure,
epistemic belief, science identity

ABSTRACT

In this age of the 4th industrial revolution, we, science educators, are giving more light on students' agentic behavior in the process of educating future scientist. This study, with the analytic lens of epistemic agency, explores the key stages of a student-driven R&E program rather than the scientist-led R&E program. It also examines to understand the emergence of students' epistemic agency in each stage of R&E. Data from participant observation for 18 months and in-depth interviews were collected and analyzed with the constant comparative method of grounded theory. This study identifies and describes five key stages of student-driven R&E: The stage of exploring research theme, designing research, performing lab activity, interpreting results, and communicating research. It also finds that (a) students' epistemic agency emerged with the constant interactions with the R&E structure; (b) students' epistemic agency has deep relations with the epistemic beliefs of the students; (c) students positioned themselves as decision-makers in the R&E practice; (d) the redistributed power and authority of the R&E contributed to the emergence of students' epistemic agency.

1. 서론

미래의 과학자 양성을 목표로, 진정한 과학 탐구의 경험을 강조하고 있는 고등학생의 R&E 활동에서 점진적으로 주목하고 있는 것은 '진정한 탐구 주체'로서의 학생의 참여다. 진정한 탐구의 경험이란 과학적 지식의 구성 과정에 직접 참여하는 것으로, 일반적으로 제공되기보다는 학생의 진정한 참여를 통해 완성될 수 있기 때문이며, 학생의 진정한 참여란 참여의 양적 증진 뿐 아니라 주체로서의 참여, 실행을 통한 참여를 의미한다. 4차 산업혁명의 도래와 더불어 시작된 교육 패러다임의 전환은 이미 교수-학습의 시공간적 경계를 허물고, 참여와 관계 속에서 주체적으로 학습할 수 있는 학습자를 요구하고 있다. 주체로서의 학습자 교육에 대한 연구는 과학교육의 영역에서도 여러 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 스스로의 행위 과정을 통제, 조절하는 개인의 능력이나 의지를 의미하는 행위주체성(agency)의 연구 또한 같은 맥락에서 이해할 수 있다(Arnold & Clarke, 2014; Reed, 2001; Schwartz & Okita, 2004).

행위주체성의 개념은 역사적으로 볼 때 사회학의 연구와도 깊은 관련성을 가지고 있으며, 종종 사회구조(structure)와 더불어 논의되곤 해 왔다. 오랫동안 사회구조와 행위주체의 관계에 대한 지배적인 견해는 인간이란 사회구조 내에 존재하며, 구조에 종속된다고 하는 것이었다(Durkheim, 1964). 그러나 20세기 후반에 접어들면서 Giddens (1984)와 같은 학자들은 '사회구조는 행위주체에 영향을 주는 동시에 행위주체에 의해 재생산된다'는 이론을 펼쳤고, 사회구조란 제약인

동시에 가능성, 인간 행위의 매개이자 결과라는 관점을 제안하였다. 이러한 맥락에서 볼 때 과학의 학습이 이루어지는 과학 교실은 하나의 구조로 파악될 수 있다. 그리고 과학 교실이라는 구조는 학습자에게 영향을 주는 동시에 학습자에 의해 재생산되는 특징을 가진다.

과학 교실에서 일어나는 탐구 그리고 학생의 과학적 지식 구성에 주목하며 행위주체성을 탐색한 연구들 가운데는 인식적 행위주체성(epistemic agency)의 관점을 도입한 연구가 많다(Barton & Tan, 2010; Damsa *et al.*, 2010; Goulart & Roth, 2010; Stroupe, 2014). Stroupe(2014)에 따르면 인식적 행위주체(epistemic agent)란 '특정한 학습 공동체 내에서의 지식과 실행을 형성하는데 있어서 책임을 지며, 그것을 당당히 여기는 집단이나 개인'을 말한다. 미국의 차세대 과학 교육표준(NGSS)에서는 '실행으로서의 과학(science as practice)'을 지속적으로 강조하고 있는데, 이는 학생들이 인식적 행위주체가 되어야 한다는 주장과 더불어, 학생들은 과학의 지식과 방법을 배우는 것에 더하여 과학의 사회적, 인식적, 물질적 차원의 합법적 참여자가 되어야 한다는 점을 강조하고 있다(Duschl, 2008; Stroupe, 2014). 인식적 행위주체로서의 학습자는 단순한 지식의 수용자가 아닌 자신의 지식 발전에 책임을 지는 생산적 참여자 역할을 할 수 있다. 그리고 학습자가 과학 교실에서 인식적 행위주체가 되기 위해서는 교실 내에서의 권력의 재분배(redistribution of power)가 필요하다. 과학자들이 연구의 과정에서 스스로의 문제 제기, 실험 수행에 대한 결정권을 갖는 것과 마찬가지로(Longino, 1990; Stroupe, 2014), 학습의 상황에서 학습 내용의 선정, 학습 방법의 선택 등에 대한 결정권의 분배는

* 교신저자 : 이민주 (mjtree@snu.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2019.39.4.511>

학생 참여의 폭을 넓히는 동시에, 학생들이 스스로를 지식 생산의 주체로 배치(positioning)하도록 지원하기 때문이다(Chinn & Malhotra, 2002; Sandoval, 2005).

학생들의 과학 학습에 대한 분석에서 이와 같은 행위주체성, 특히 인식적 행위주체성 관점의 도입이 의미를 가지는 것은, 이 관점이 연구자들의 시선을 주체로서의 학습자가 보여주는 자발적 학습의 과정으로 이끌어주기 때문이다. 행위주체성의 관점을 통해 우리는 학습자를 결핍을 가진 수동적 존재로 보는 시각에서 벗어나, 과학 수업이라는 구조와 학습자의 역동적 상호작용에 보다 주목할 수 있으며, 그 과정에서 행위주체성과 학습자의 정체성이 지니는 변증법적 관계를 보다 심층적으로 이해할 수 있다. 학습자의 행위주체성은 실질적 행위를 통해 관찰될 수 있으며, 행위는 학습자의 정체성 형성과정에서 주요한 지표가 된다(Holland *et al.*, 1988, p. 55).

본 연구에서 주목한 학생 주도의 R&E 활동은 학생들이 주체가 되어 책임을 공유하며 실행 공동체 속에서 과학적 의문 해결이라는 공동의 과업을 수행하는 하나의 교육적 구조이다. ‘주도’이라는 단어를 표준국어대사전에서 찾아보면 ‘주동적인 처지가 되어 이끌’이라고 쓰여 있는데, ‘주동’이란 ‘주체가 스스로 동작이나 행동을 하는 성질’을 말한다. 따라서 본 연구에서는 학생이 주체가 되어 스스로 학습과 연구의 주요 과정을 결정하고 행동하며 이끌어 나가는 R&E 활동을 학생 주도의 R&E로 정의하였다. 학생 주도의 R&E 활동에서 연구 활동의 내용 선정, 연구 방법 선택, 탐구의 실행과 같은 주요 과정은 교사와 학생 간의 합의에 의해 결정되었으며, 교사는 인식적 행위주체로서의 학생 활동을 최대한 보장하고, 지원하고자 하였다. 이는 교사나 책임 교수가 연구 주제를 선정하고, 연구 방법을 지도하는 가운데 학습과 학생들의 연구 참여가 이루어지는 전문가 사사 혹은 교사 주도의 R&E 활동과 그 운영 면에서 차이를 가진다.

과학영재의 문제해결 능력 및 탐구 역량 증진을 목표로 시작된 R&E 활동은 2003년 최초 도입 이후 그 대상을 일반계 고등학생으로까지 넓히며 한국과학창의재단, 각 시도 교육청의 행·재정적 지원 하에 지속적으로 확대되어 왔다(Jung *et al.*, 2012ab; Lee & Kim, 2016). 그리고 R&E에 대한 연구 또한 다수의 연구자들에 의해 비교적 활발하게 이루어져 왔다. R&E에 대한 초기 연구의 상당수는 양적 연구의 형태로 이루어졌는데, 여기에서는 주로 설문조사의 방법을 사용하여 R&E에 대한 과학영재 학생 혹은 운영자의 인식, R&E의 효과 등을 탐색하였다(Choe & Tae, 2015; Jung *et al.*, 2012ab; Kang *et al.*, 2009; Kim & Shim, 2008). 그러나 영재학교나 과학고등학교를 중심으로 이루어지던 R&E가 과학중점학교를 비롯한 일반계 고등학교교로까지 확산되면서 연구는 보다 다양한 각도에서 이루어졌다. Lee & Kim(2016)은 학생들이 R&E 참여 과정에서 드러낸 과학적 실행 및 인식의 변화를 실행공동체 내에서의 합법적 주변 참여의 관점에서 분석하였으며, Yun & Kim(2018)은 자유탐구 활동 과정에서 과학고등학교 학생들이 드러낸 인식적 목표, 인식적 이해와 추론의 복잡성을 탐색하였다. Lee & Kim(2018)은 고등학교 과제 연구 수업에서의 탐구 문제 도출이 어떠한 과정을 통하여 구체화되고 발전되어 가는지를 알아보고, 학생의 탐구문제 도출을 위한 다양한 전략을 연구의 단계별로 분석하였다.

그러나 이와 같은 선행 연구에도 불구하고 여전히 몇 가지 아쉬움은 남는다. 그 첫째는 대다수의 연구가 교수나 전문 과학자의 사사

중심 R&E에 주목하고 있다는 점이다(Choe & Tae, 2015; Jung *et al.*, 2012ab; Kang *et al.*, 2009; Lee & Kim, 2016). 비록 국내에서 이루어지고 있는 상당수의 R&E 활동이 전문가 사사의 형태로 운영되고 있지만, 전문 과학자가 아닌 학생 주도의 의사결정 구조를 가진 R&E 활동은 어떠한 차별적인 과정을 통해서 운영될 수 있는지, 과학자의 실험실이 아닌 학교 내 시설을 활용한 R&E는 어떠한 형태로 운영되고 있는지에 대한 연구의 부재는 상당한 아쉬움으로 자리한다. 학교 현장에서 이루어지고 있는 교내 R&E에 대한 연구는 과학교육 연구자들에게는 물론이고, 학교 현장에서 새롭게 R&E를 운영 및 지도하게 되는 교사에게 또한 꼭 필요한 연구로서 수행될 필요가 있다.

두 번째는 상당수의 연구에서 학생들은 여전히 과학의 과정을 배우고 익히는 수동적 학습자의 입장으로 조망되고 있다는 점이다(Choe & Tae, 2015; Kim & Shim, 2008; Jung *et al.*, 2012ab). 그러나 이제는 주어진 이론이나 실험 기법을 배우고 따르며 과학의 형식과 절차를 학습하는 것 못지않게, 학습자 스스로가 주체가 되어 주어진 학습 환경을 인식하고, 적극적으로 재구성하는 행위주체적 학습에 주목할 필요가 있다. 그리고 이와 같은 연구는 미래의 과학자를 꿈꾸는 학생들이 과학적 의문을 탐색하고, 실험적 해결 방법을 모색하며 지식이 구성되는 과정에 참여하는 R&E 활동에 있어서는 더욱 중요하다. 따라서 본 연구에서의 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 학생 주도의 R&E 활동에서 연구의 주요 수행 단계는 어떻게 구성되는가?

둘째, 학생 주도의 R&E 활동에서 학생의 인식적 행위주체성은 어떠한 형태로 드러나는가?

II. 연구 방법

본 연구는 2016년 3월부터 2017년 8월까지의 총 18개월에 걸쳐 지방의 한 도시에 위치한 M 과학고등학교에서 이루어진 학생 연구 활동에 대한 질적 사례연구이다. 연구가 수행된 구체적인 상황 및 연구 참여자, 자료 수집과 분석의 방법은 다음과 같다.

1. 연구 상황 및 연구 참여자

본 연구는 과학영재학교 1학년 학생 3명이 한 팀을 이루어 1년 동안 수행한 R&E 활동을 바탕으로 이루어졌다. 해당 학교의 R&E는 ‘기초자율연구’라는 과목명의 교육과정 내 연구 활동으로, 매주 목요일 오후에 3시간씩 이루어졌으며, 1학년 학생은 모두 이 프로그램을 이수하고 소정의 산출물을 제출해야 졸업 요건을 갖출 수 있었다. R&E 활동의 초기인 3월 중순부터 약 4주간에 걸쳐 학생들은 연구 활동을 위한 공통 교육을 받은 뒤, 각 팀별 연구 활동에 들어갔다. 공통 교육의 주제는 실험실 안전, 연구 주제 선정, 연구노트 작성법, 보고서 작성 등이었으며, 교육은 인근 대학과 연구소의 교수 혹은 연구원들이 학교를 방문하여 강의를 하는 형태로 이루어졌다.

연구 참여자인 3명의 학생은 프로그램에 참여한 총 93명의 1학년 학생 중 연구 참여에 동의한 한 팀으로, 2명의 남학생과 1명의 여학생으로 구성되었다. 이들은 수학과 과학 영역에 대한 높은 흥미와 관심을 가지고 장차 이공계 진학 계획을 가지는 등 비교적 동질적인 집단

Table 1. Descriptions of research participants

Student	Gender	Interest	Participant's description on the function of R&E program	
A	Male	Bio-informatics	Experiencing the whole process of a research: Enhancing the ability of using equipments, data analysis, and writing paper	
B	Male	Biochemistry	Specific program for the gifted students	Doing a novel inquiry as a scientist and training skills for a research
C	Female	Biology		Experiencing a research as a preparation for the future

이었으나, 학습 역량, 세부적인 흥미, R&E에 대한 개인적 인식과 기대 등에 있어서는 두드러진 차이도 가지고 있었다. <Table 1>은 연구 참여자의 관심 영역, R&E 프로그램에 대한 인식을 간략하게 요약한 것이다. 이들은 스스로 설정한 '건조복숭아의 이화학적 특성'이라는 주제로 1년 동안 R&E 활동을 수행하였다. 연구 참여자의 표집은 장기간에 걸친 학생의 활동을 보다 근접하여 심층적으로 관찰할 수 있도록 연구자에 의해 의도적으로 이루어졌으며, 연구 참여는 학생의 자발적 동의를 바탕으로 이루어졌다. 본 논문의 저자이기도 한 지도교사는 교육 경력 14년의 생물교육 전공자로, 연구 수행 당시 해당 학교에서 4년째 연속하여 R&E 활동을 지도하고 있었으며, 학생의 주도적 참여를 기반으로 한 R&E 운영에 상당한 의미를 부여하고 있었다.

2. 자료 수집

연구를 위해 수집된 1차적인 자료는 R&E 활동 중에 이루어진 학생들의 논의 과정 녹음 자료, 학생들과의 반구조화 된 면담 및 짧은 수시 면담 자료, 그리고 연구자의 참여관찰일지이다. 연구자는 1년여에 걸친 R&E 과정에서 학생들의 참여 특이점을 지속적으로 관찰하고 기록하였으며, 필요한 경우 개별 학생들과 짧은 면담(총 8회, 평균 10분 이내)을 수시로 실시하고 이를 기록으로 남겼다. 또 주제 선정과 연구 설계, 결과 해석을 위한 팀원 간의 논의(총 6회, 1회 평균 120여 분)에 함께 참여하였고, 논의 내용은 녹음하여 분석을 위한 자료로 활용하였다. 연구 참여 초기 및 후기에 실시한 개별 면담(1인 2회씩 총 6회, 1회 평균 60여분)과, 세 학생 모두가 참여한 집단 면담(총 2회, 평균 80분) 자료도 녹음과 전사의 과정을 거쳐 분석 자료로 활용되었다.

면담 질문은 R&E에 대한 개별 학생의 인식 및 기대, 특정 행위의 동기나 배경을 비롯한 의미부여, 구성원들의 역할과 실행에 대한 반성적 성찰을 중심으로 구성되었다(Table 2). 이와 같은 면담의 일차적인 목적은 연구자의 관찰만으로는 확인할 수 없는 학생의 인식을 보

다 구체적으로 이해하는 것이다. 특히 연구자는 참여 관찰을 통해 수집한 학생 행위의 이면에 담긴 이들의 생각이나 의도, 인식적 특성을 심층 면담을 통해 이해하고자 노력하였다. 그 외에 학생들이 R&E 활동 중에 작성한 연구일지와 산출물, R&E 보고서 등도 연구를 위한 자료로 수집되었다.

3. 자료 분석

자료 분석은 학생 주도 R&E의 주요 수행 단계와 연구의 각 단계에서 드러난 학생의 행위주체적 실행에 대해 각각 이루어졌다. 이는 먼저 학생 주도 R&E의 구조와 특성을 이해하고, 이를 바탕으로 행위주체성의 관점에서 학생의 실행을 분석하기 위함이었다.

R&E의 수행 단계는 탐구의 주요 과정으로 강조되고 있는 문제인식, 실험설계, 자료수집, 자료해석, 결론도출, 의사소통 등(NRC, 2000; Sandoval, 2005; Krajcik *et al.*, 1998)의 주제어를 중심으로, 학생 주도의 R&E 활동 중 이루어진 주요 과업을 추출하고 명명하고, 시간의 흐름을 반영하여 귀납적으로 범주화하는 방법으로 구분하였다. 그리고 학생의 행위주체성은 구조와 행위주체의 상호작용에 주목하였던 Giddens(1984)의 구조화 이론을 활용하여, R&E 활동의 구조를 규칙과 자원으로 구분하여 분석하고 이와 같은 구조 속에서 학생의 행위주체적 실행이 어떠한 형태로 드러나는지 분석하였다. Giddens(1984, 2001)는 하나의 구조를 규칙(rules)과 자원(resources)으로 구분하여 설명하며, 규칙을 주어진 구조 내에서 사회적 관행을 재생산하는 절차로 정의하였다. 또 자원은 인적자원과 비인적자원으로 구분되며, 행위주체가 의도한 결과를 이루는데 사용되는 능력을 포함한다고 강조하였다. 본 연구의 자료 분석 과정에서 Giddens(1984, 2001)가 제안한 구조와 행위주체의 관계에 주목한 이유는 이들의 변증법적 관계 분석을 통하여 행위주체성의 역동적 발현을 보다 선명하게 탐색하기 위함이다. 학생의 행위주체성은 실행을 통해서만 관찰이 가능한데, 행위주체의 반성적 성찰, 선택적인 정보의 여과, 행위의 적절한 배치(positioning)와 같은 일련의 실행은 구조와의 역

Table 2. Examples of interview questions

Category	Examples of questions in the semi-structured interview
Individual perception	<ul style="list-style-type: none"> What did you think of the R&E and what did you want to get from the R&E participation? Retrospect your participation in the R&E and tell me your reflection on the actions. Was there any intention or psychological background on your specific behaviors during the R&E? What is the most valuable experience or learning of yours in each stage of the R&E?
R&E Practice	<ul style="list-style-type: none"> Introduce each stages of the R&E with your emphasis on the importance or value-attachment If there had been any obstacles in each stages of the R&E, please let me know it in detail Was there any agentic behavior for the R&E research in your daily life? What does it mean to you to do an autonomous practice?
Team activities	<ul style="list-style-type: none"> Describe the cooperation and interactions among the members for the R&E Could you introduce the role of the other members of the R&E team? What do you think of the strategy and practice of the R&E team?

동적인 상호작용 속에서 가장 명료하게 드러나기 때문이다.

실질적인 자료 분석에 들어가면서, 수집된 자료들은 모두 근거이론에 기반한 지속적 비교분석법(Charmaz, 2006; Glaser, 1965)에 따라 질적 분석의 과정을 거쳤다. 면담 자료는 모두 전사되었으며, 학생 활동 및 면담의 전사본, 참여관찰일지 등이 1차적인 자료로서 먼저 코딩되었다. 코딩의 과정은 학생의 인식과 실행, 구조의 특성에 대해 각각 이루어졌다. 첫 번째로 진행된 것은 학생 주도 R&E 활동의 구조와 특성, 학생의 인식 및 실행을 드러내는 핵심어가 무엇인지 탐색, 추출, 명명하는 개방코딩이었다. 이를 위하여 텍스트로 전환된 자료들을 반복적으로 읽으며 R&E 활동의 전개, 학생 활동, 담화의 주요 내용을 면밀하게 살폈고, 선행연구(Damsa et al., 2010; Goulart & Roth, 2010; Stroupe 2014; Stroupe et al., 2018)에서 분석된 구조 및 행위주체성의 주요 주제어를 참고로 명명의 과정을 거쳤다. 명명된 각 주제어에 대해서는 그 출현의 배경을 별도의 메모로 기록하여 주제어 간의 관계 분석에 활용될 수 있도록 하였다. 가령 주제 탐색의 단계에서는 공동연구, 자료의 공유, 수행가능성, 논의, 의도성, 문헌 탐색, 일상의 지식, 신념 등과 같은 주제어들이 추출되고 명명되었다.

두 번째 축 코딩에서는 개방 코딩에서 추출된 핵심어들을 시간의 흐름에 따라 정렬한 뒤 1차적으로 범주화 하였다. R&E 활동의 규칙, 자원, 학생의 인식, 학생의 실행 등과 같은 주요 범주들이 이와 같은 축 코딩의 과정에서 구성되었는데, 가령 학생의 의지, 신념, 의도, 책임감 등은 인식의 범주로, 선택, 판단, 배치, 참여, 지속성 등의 주제어는 실행으로 범주화 되었다. 마지막으로 선택적 코딩의 단계에서는 범주들 사이의 관계를 분석하고 연결 짓는 작업이 이루어졌다. 규칙과 자원, 인식과 실행의 관계를 면밀하게 분석하여, 인식의 범주가 실행의 범주로 연계되는 사례를 찾거나 실행의 범주가 구조의 범주에 미치는 영향을 찾는 등 인식적 행위주체성 발현에 관련된 중심 현상을 발견하고자 하는 노력이 이 단계에서 집중되었다. <Table 3>은 실제 연구자가 수행한 코딩 과정의 한 사례이다.

또한 본 연구는 소수의 연구 참여자를 대상으로 한 질적 연구라는 점에서 소규모 질적 사례연구의 제한점을 보완하고, 연구의 내적 타당도를 확보하기 위하여 Lincoln & Guba(1985)가 제안한 다음의 방법을 활용하였다. 첫 번째는 장기간에 걸친 참여다. 질적 연구에서는 최소 6개월에서 1년 정도의 기간에 걸친 연구 기간의 확보가 이루어졌을 때 이를 장기간에 걸친 참여로 간주한다. 이를 위하여 본 연구에서는 총 18개월에 걸친 장기간의 연구를 수행하였다. 두 번째는 지속적인 관찰이다. 본 연구에서 연구자인 지도교사는 R&E 활동 및 후속 연구 과정을 18개월에 걸쳐 지도하면서, 지속적으로 학생을 근거리에서 관찰하고 참여관찰 일지를 기록하였다. 세 번째는 삼각검증과 참

여자 검토다. 자료 분석 과정에서 그 의미가 명확하게 해석되지 않는 자료가 발견되거나 학생의 실질적 행위 이면에 놓인 인식에 대한 해석이 필요할 경우 연구 참여자와 추가적 면담을 실시하여 확인하고 재분석하는 과정을 거쳤다. 또 최종 분석이 끝난 자료에 대해서는 연구 참여자들의 확인 과정을 거쳐(member-checks) 참여자의 행위주체적 실행에 대한 연구자의 해석에 자의적이거나 잘못된 부분은 없는지 점검하는 과정을 거쳤다. 또한 해석된 자료에 대해서는 개인 면담, 집단 면담, 집단 토의 과정에서의 발화 내용 등 서로 다른 출처의 자료 분석 결과와 상호 대조 및 삼각검증(triangulation)을 실시함으로써 연구의 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다(Merriam, 2009).

III. 연구 결과

1. 학생 주도 R&E 활동의 주요 수행 단계

학생 주도 R&E 활동을 탐구의 과정에 대한 선행 이론과 실제로 수행된 주요 과업에 따라 분석해 보면 5개의 단계가 비교적 뚜렷하게 구분되었는데, 이는 각각 주제 탐색의 단계, 연구 설계의 단계, 실험활동 수행의 단계, 해석 및 고찰의 단계, 과학적 의사소통의 단계이다. 첫 번째 주제 탐색의 단계에 학생들은 개인별 주제 탐색, 개별적으로 찾아본 주제의 팀 내 발표 및 구현 가능성 논의, 주제의 범위 축소 및 선행 연구 탐색, 그리고 협의를 통한 주제 선정 등의 활동을 순차적으로 수행하였다. 학생들에게는 1년 동안 진행될 연구의 주제를 직접 찾는 것이 비교적 낯선 활동이었으므로, 주제 선정에는 거의 한달 반 정도의 시간이 소요되었다. 3월 중순에 시작된 주제 탐색은 4월 말 경 핵심어를 중심으로 개략적인 형태를 갖추었고, 5월 첫 주가 되어야 최종적인 주제가 선정되었다.

두 번째 연구 설계의 단계는 그 기간이 주제 탐색의 단계와 일부 중첩되었다. 주제의 큰 틀이 결정된 4월 말부터 학생들이 주제의 정교화를 위해 선행 논문을 탐색하거나, 주제를 구현할 수 있는 구체적인 연구 방법 탐색을 시작하였기 때문이다. 이 단계의 학생들은 합의된 연구 주제를 실질적으로 구현할 프로토콜을 찾고, 구체적인 도구나 방법을 탐색하며 대부분의 시간을 보냈다. 그리고 독립변인과 종속변인이 포함된 ‘건조 방법에 따른 말린 복숭아의 이화학적 특성 분석’(R&E 활동 중, 2016/05/06)이라는 비교적 정교한 연구 주제를 설정하였다. 대형 마트나 인터넷 쇼핑몰 등에서 판매되는 복숭아 칩을 직접 구입하여 건조 방법, 식감, 건조되었을 때의 형태 등을 비교해서 분석하며 ‘아, 복숭아는 이런 식으로 말리는구나’를 알게 되기도 하고 (학생 A, 소집단 1차면담, 2017/12/22), 건조 과일에 대한 여러 논문들

Table 3. An example of data analysis

Data	Open coding	Axial coding	Selective coding
A: I intended not to see the annual report of R&E because I wanted to come up with a novel idea for my research. Instead, I read weekly science magazine to get ideas. (Group interview, 2017/12/28)	Intention, will Selective searching	Epistemic belief (perception) Practice	
B: In data analysis, it will be more helpful if we have more knowledge. But in case of having little knowledge, I think we should study and know it well for the research. I searched various documents in the school library. Biochemistry, Biophysics, Food analysis. It took more than one week. (Individual interview, 2016/11/22)	learning attitude, belief Autonomous learning	Epistemic belief (perception) Practice	When student shows actual practices from their epistemic belief, it can be interpreted as an epistemic agency

을 찾아 함께 읽으며 연구 설계의 구체적인 아이디어를 얻은 것도 이 단계였다. 그리고 연구 계획서를 학교에 제출하는 것으로(2016/05/16) 일차적인 연구 설계의 단계는 마무리되었다.

실험활동 수행의 단계에서는 실질적인 실험의 수행 및 실험 결과의 수집이 이루어졌다. 이 단계의 학생들은 매주 주어진 3시간의 정규 R&E 시간을 훌쩍 넘겨 늦은 밤까지 실험실을 밝히며 연구를 수행하곤 하였고, 그 과정에서 시행착오를 겪기도 하였다. 실험 과정에서 문제가 생기거나 새로운 착안을 하게 되면 연구 설계를 부분적으로 수정하거나 보완하기도 하였다. 스스로 선택한 교내의 분석 장비 사용 방법을 배우고, 분광광도계, 물성분석기, 동결건조기 등의 기기를 활발하게 사용하며 정량적인 측정값을 얻은 것도 이 단계에 해당된다. 5월 중순에 예비실험으로 시작된 실험활동 수행의 단계는 11월경까지 계속되었다.

해석 및 고찰의 단계는 실험 결과가 어느 정도 수집되면서 이에 대한 분석이 이루어진 한 달여의 시기로, 실험활동 수행의 단계 및 과학적 의사소통의 단계와 일부 중첩되는 기간을 가진다. 학생들은 수집된 자료를 표나 그래프로 전환하여 경향성을 살피고, 건조 시료의 갈변도, 당산비 등 서로 다른 결과 값들의 상관관계를 탐색하였으며, 정량적으로 측정된 결과 값이 어떤 의미를 가지는지 해석을 시도하였다.

마지막으로 과학적 의사소통의 단계에서는 보고서 작성 및 발표가 이루어졌다. 이 시기에 학생들은 결과 보고서 작성과 더불어 외부 심사자들을 대상으로 한 구두 발표, 학교 체육관에서 교내의 모든 R&E 팀이 함께 한 포스터 발표 대회 등에 참여하며, 스스로 수행한 연구에 대해 글쓰기의 방법으로 또 말하기의 방법으로 다양하게 표현할 기회를 가졌다. <Table 4>는 학생 주도의 R&E 활동에서 드러난 주요 연구 단계 및 각 단계에서 드러난 특징적 실험을 요약적으로 제시한 것이다.

이와 같은 학생 주도 R&E의 주요 수행 단계를 전반적으로 살펴보면, 연구의 각 단계는 시간에 따라 선형적으로 진행되기보다는 전단계로의 잦은 회귀를 드러내는 비선형적 구조를 보였으며, 그 가운데

특정 활동의 반복적 수행을 빈번하게 드러냄을 알 수 있다. 이와 같은 비선형적 구조는 실제 과학자들의 연구 과정에서도 관찰할 수 있는데, Park *et al.*(2009)은 실제 과학자들의 연구 과정 분석을 통해 과학교육에의 함의를 얻고자 했던 그들의 논문에서 과학자들의 연구 과정은 선형적, 순환적, 비선형적인 형태로 다양하게 드러남을 실제 물리학자들의 사례를 통해 제시한 바 있다.

그리고 학생 주도 R&E의 모든 단계에서 가장 빈번하게 관찰된 반복적 실험은 문헌 탐색으로 드러났다. 학생들은 연구 주제 선정을 위해 다양한 문헌을 탐색한 것을 시작으로, 이후 R&E의 모든 단계에서 문헌을 찾고 읽었다. 문헌의 출처는 R&E의 진행에 따라 그 조금씩 달라졌다. 연구 초기에 주제 탐색을 위해 다양한 문헌을 찾고 읽었다면, 연구의 진행과 더불어 관련 선행 연구 논문을 집중적으로 찾아 읽는 형태를 보이다가, 해석 및 고찰의 단계에서는 생화학, 생물물리, 식품공학 등의 전공 서적으로 다시 범위를 확대하는 한편 내용은 심화되는 형태를 보였다. 이와 같은 문헌 탐색의 반복적 실험은 학습을 통해 스스로 계획하고 판단하고 실행해야 하는 학생 주도 R&E의 구조적 특성과 깊은 관련을 가지는 것으로 이해되었으며, 이후 학생의 학습 발달 및 행위주체적 실험의 기반이 되는 것으로 분석되었다.

지속적인 반복과 회귀를 보인 또 다른 실험으로는 연구 설계의 수정, 추가적인 실험 수행 등과 같은 시행착오의 탐구 과정이 있었다. 이와 같은 반복적 실험은 ‘주제 관련 지식학습 단계’(Jung *et al.*, 2012a) 등을 통하여 체계적 학습을 하고, 정교한 실험 설계를 바탕으로 연구를 수행하는 전문가 사사 중심의 R&E에 비하여 학생 주도의 R&E에서 두드러지게 관찰되는 차이점이었다. 과학의 탐구 과정이란 하나의 정해진 순서를 따르기 보다는 다양한 궤도를 통해 이루어짐을 강조했던 여러 선행 연구에서의 지적에서처럼(Bartholomew *et al.*, 2004; Park *et al.*, 2009; Sandoval, 2005), 학생들은 실제 연구의 과정에서 수집된 데이터에 영향을 미친 요인을 찾기 위해 종종 전 단계로 역행하는 모습을 보였다. 그리고 보다 정교한 결과를 위해 전 단계에서 빠졌던 실험을 추가적으로 수행하는 등 그들이 해야 할 과업을

Table 4. Key stages and practice of a research in the student-driven R&E Program

Stage	Major practice
Exploring research theme	<ul style="list-style-type: none"> • Exploring research theme • Searching resources and literatures* • Negotiation in the community of practice
Designing research	<ul style="list-style-type: none"> • Searching literatures* • Elaborating research theme • Research design*: methods and equipments
Performing lab activity	<ul style="list-style-type: none"> • Experimentation • Searching literatures* • Complementing research design* • Data collection
Interpreting results	<ul style="list-style-type: none"> • Data interpretation • Searching literatures* • Complementing research design* • Extra experimentation for a better research* • Reflection on the process
Communicating research	<ul style="list-style-type: none"> • Writing research paper • Extra experimentation and interpretation* • Searching literatures* • Presentation for scientists and peer students

[*] represents repeatedly observed practices at several stages

스스로 찾아 몰두하는 모습을 보였다.

반복적인 문헌 탐색을 통한 자발적 학습과 연구 수행, 연구의 완성도를 높이기 위한 전단계로의 회귀와 탐구 수행. 학생들의 이와 같은 실행은 이들이 진정으로 자신들의 연구에 몰두하며, 주체적인 연구자로서 참여하였음을 입증하는 근거가 된다. 실행공동체 내에서의 참여를 학습으로 간주하였던 Lave & Wenger(1991)에 따르면, 이들은 주도적 연구 참여와 더불어 진정한 학습을 수행하였다고 해석할 수 있다. 실행 공동체 내에서의 이와 같은 참여의 발달은 또한 과학 정체성 변화의 강력한 지표가 된다(Holland *et al.*, 1998; Lave & Wenger, 1991; Lee & Kim, 2016). 작은 과학자로서의 정체성을 드러내기 시작한 이들 학습자들의 참여 변화의 근거가 되는 학생의 행위주체적 실행에 대해서는 다음 절에서 보다 상세하게 기술한다.

2. 연구 활동의 단계에서 드러난 학생의 인식적 행위주체성

가. 주제 탐색의 단계

개인별 주제 탐색, 팀 논의, 선행 연구 탐색, 그리고 합의를 통한 주제 선정 등의 활동이 순차적으로 진행된 주제 탐색의 단계에서 학생의 행위주체적 실행은 교사가 제공한 R&E 구조의 규칙으로부터 출발되었다. 연구의 시작 단계에서 지도 교사는 학생의 심층적 참여를 이끌어 낼 몇 가지 규칙을 제시하였는데, 그 첫 번째 규칙은 학생 스스로가 연구 주제를 설정하는 것이었다. 교사의 이러한 규칙 제안에는 이후 진행될 지식의 구성 과정에서 연구 참여자들이 보다 인식적, 주체적 역할을 수행할 수 있도록 명시적인 구조를 제공하고자 하는 의도가 담겨 있었다.

[에피소드 1: R&E 활동 중 팀 논의, 제 4주차 (2016/03/24)]

1. 교사 : 연구는 너희가 하는 거니까... 너희가 하고 싶은 연구, 할 수 있는 연구 주제를 생각해 봐야겠지?
2. 일동 : 네~ (약간 자신 없는 말투로)
3. 교사 : 그럼 각자 찾아 본 아이디어랑 참고자료는 다음 주 이 시간에 만나기 전까지 이메일로 보내기~
4. 학생 B : 선생님 이메일로 보내드리면 되죠?
5. 교사 : 나머지 친구들에게도 같이 보내줘. 그래야 토론 전에 미리 읽어보고 생각해 볼 수 있지...
6. 학생 A : 네, 그럼 저는 선생님이란 B, C 이렇게 보낼게요.

학생들이 스스로 수행할 연구 주제를 선정하는 것과 더불어 지도교사가 강조한 두 번째 규칙은 자원의 공유였다. 교사는 구성원 개개인이 찾은 자료나 연구 아이디어를 팀원 모두가 공유하도록 제한함으로써(1-3, 1-5) 지식 구성의 과정과 산물이 공유될 수 있는 인식적, 구조적 기반을 마련하고자 하였다. 또 R&E 팀이라는 실행공동체 내에서 교사와 나머지 구성원들의 위치를 위계적인 형태보다는 수평적인 형태로 배치(positioning)하고, 교사 또한 연구의 과정에서 권위를 독점하지 않는 한 사람의 공동 연구자로서의 역할만을 수행할 것임을 선언함으로써 학생 주도의 R&E 구조가 가질 방향성을 제시하였다. 이와 같이 학생들이 스스로 주제를 설정하고 공동의 자원을 활용하게 한 R&E 초기의 규칙들은 실행공동체 내에서 발생한 다양한 아이디어의 존중, 구성원 모두가 상호의 의견에 주목하게 하는 등의 행위를

가능하게 하는 출발점이 되었다.

학생들은 대부분 연구 주제 설정의 경험이 부족하였으므로 처음에는 조금 긴장하는 모습을 보였다. 그러나 곧 평소에 궁금했던 현상들을 떠올리며 주제 탐색을 시작했고, 세 학생 모두 문헌 탐색에 몰두하였다. “이렇게 하면 어떨까, 저렇게 하면 어떨까 생각을 계속 하다가... 뭔가 제 머리로 떠올릴 수 없다는 느낌이 들었을 때, 도서관에서 실험 생화학 책도 빌려서 읽어보고...(개별면담, 2016/11/22)”라며 B는 도서관에서 연구 주제를 찾던 기억을 회고하였다. A는 “무슨 무슨 어세이(assay), 무슨 무슨 프로토콜 이런 식으로 측정 방법만 딱 나와있으니까 실험 책은 주제 찾는 데는 도움이 되지 않았던 것 같아요. 그래서 과학기사들을 찾아보면서 관심 있는 거를 일일이 다 읽어모았던 것 같아요(소집단 2차면담, 2017/12/28)”라며 과학 기사읽기에 노력을 기울였다고 설명했다. C는 도서관에 비치된 이전 학년도의 R&E 자료집을 찾아보았다고 하였다.

[에피소드 2: 소집단 2차면담 (2017/12/28)]

1. 학생 C : 인터넷도 찾아보고 그랬는데, 어... 잘... 마음에 꽂히는 걸 딱히 못 찾아서 어... 선배들 R&E가 궁금해서 조금 찾아봤는데, 거를 보다가 생각했어요.
2. 교사 : 다른 친구들도 도서관에 있는 선배들 R&E 책자를 좀 찾아봤니?
3. 학생 A : 그걸 보면 그거랑 비슷한 주제 밖에 생각이 안날 것 같아서, 했던 걸 또한 건 좀 그런 것 같아서...

주제 탐색 과정에서 A는 도서관에 비치된 R&E 자료집을 일부러 읽지 않았다고 강조하였다. 그리고 새로운 주제, 자신들만의 연구 주제를 설정해야 한다는 생각 때문에 그랬다고 설명하였다(2-3). B 또한 “만약에 아직까지 안 밝혀진 게 있다면, 그게 밝혀질 수도 있고...(개별면담, 2016/11/22)”라며 밝혀지지 않은 현상을 탐색하고 싶었던 속 마음을 회고했고, C 역시 비록 선배들의 R&E에서 아이디어를 얻기는 했지만 그 구체화 과정에서는 “진짜 안 흔한 거를 찾고 싶어서... 논문도 안 나와 있는... 그런 걸 찾으려고(소집단 2차면담, 2017/12/28)”라며 연구의 독창성을 위해 애썼음을 강조하였다.

연구 주제 설정 과정에서 학생들은 공통적으로 주변의 정보를 선택적으로 여과하여 탐색하는 모습을 보였다. 그리고 이유는 ‘비슷한 주제’를 피하려는 의도(2-3)와 ‘안 밝혀진 것, 안 흔한 주제’를 찾고자 함(C, 소집단 2차면담, 2017/12/28)이었음을 명료하게 설명하였다. ‘주제의 참신성과 독창성’으로 해석될 수 있는 학생들의 이와 같은 의도와 실행은 ‘스스로의 연구 주제 찾기’라는 규칙에서 출발했지만, 단지 구조가 가진 규칙에서 머무르지 않고 연구주제 설정에 대한 학생의 인식적 신념을 반영하고 있었다. 그리고 학생이 스스로의 인식적 신념에 따라 자료 탐색이라는 행위를 의도적으로 배치하는 모습은 행위자의 의지, 의도, 선택적 판단 등이 반영된 행위주체적 실행으로 해석될 수 있었다(Bandura, 2001; Goulart & Roth, 2010; Stroupe, 2014).

학생들의 행위주체적 실행의 또 다른 사례는 주제 논의의 과정에서 발견되었다. ‘침을 씹어서 삼키면 왜 건강에 좋을까?’, ‘술에 취한 초파리는 평소와 비행 궤도가 달라질까?’, ‘말린 떡거리 탐구’ 등 여러 주제에 대한 활발한 논의 끝에 R&E의 주제는 ‘말린 복숭아의 품질 특성 탐구’로 정해졌다. 그리고 주제 선정은 학생 전원의 합의와 지도

Table 5. Structure and actions indicating epistemic agency in the stage of 'Exploring research theme'

	Structure	Actions indicating epistemic agency
Rules	<ul style="list-style-type: none"> • Doing students' own research by themselves • Participants' positioning as a co-researcher including the teacher • Redistribution of power and authority • Sharing ideas and documents in the community of practice 	<ul style="list-style-type: none"> • Selective searching of the references for the research • Deep participation with one's prior knowledge in the discussion • Identifying the feasibility of the research theme
Resources	<ul style="list-style-type: none"> • Books and literatures in school • Students' ideas and everyday knowledge on the dried food 	<ul style="list-style-type: none"> • Establishing students' own research theme

교사의 동의하에 이루어졌다. 그런데 이 과정에서 주제의 종류에 따라 학생들의 논의에 대한 참여 정도나 깊이가 확연한 차이를 보였다. '이 주제를 어떻게 실험으로 구현할 수 있을까'를 논의하면서 동의보감을 참고로 한 '침' 연구나 숙취 해소제 개발 기사와 관련되었던 '술 취한 초파리' 주제가 짧은 질의-응답 형식에 그쳤다면, 말린 먹거리 탐구는 구성원들 사이에서 꼬리에 꼬리를 이어가며 활발한 의견 제시를 불러 일으켰기 때문이다. 그리고 그 과정에서 학생들이 가진 일상에서의 다양한 선지식들이 의미 있는 요소로 도입되었기 때문이다.

'말리기'라는 단순한 키워드로 시작된 논의는 말린 먹거리에 대한 학생들의 풍부한 지식을 바탕으로 다양한 각도에서 진행되었다. 곳감, 무말랭이 같은 전통적인 말린 먹거리(C, A), 오래 두고 먹고자 하는 말린 먹거리의 목적(B, C, A), 건조 바나나, 건조 망고 등 다양한 시제품은 물론 가정용 전기 건조기 같은 제품 지식까지, 말린 먹거리에 대한 친숙함은 학생들을 빠르고 열정적인 논의로 이끌었다. Goulart와 Roth(2010)는 활용 가능한 자원의 범위가 확대되면서 행위주체는 주변을 바라보는 관점을 재편하고, 행위주체성에 더욱 강력한 동력을 얻을 수 있다고 제안한 바 있다. 지나치게 어렵거나 학문적인 내용이 아닌, '말린 복숭아의 품질 특성'이라는 주제 선정은 학생들의 풍부한 선지식이 R&E 활동을 위한 자원으로 기능하게 하였다. 그리고 이와 같은 가용 자원을 바탕으로 학생들은 주제의 정교화 과정에서 보다 행위주체적으로 참여할 수 있었던 것으로 분석되었다. 일상의 선지식을 R&E의 자원으로 끌어와 활용한 학생들의 행위주체적 실행은 과학 수업에서 일상에서의 선지식 도입을 강조하였던 Stroupe(2014)의 주장과도 상당히 깊은 관련성을 보인다. Stroupe는 교사들에게 학생의 선지식을 교실로 끌어와 수업 내용과 접점을 찾음으로써, 학생이 인식적 행위주체가 될 기회를 적극적으로 제공해야 한다고 지속적으로 주장하였기 때문이다.

문헌 탐색 과정에서의 인식적 선택, 선지식의 적극적 활용 외에도 주제 탐색 단계의 학생들에게서는 어떻게 하면 연구 주제를 실제 실험으로 구현할 수 있을지에 대한 적극적인 탐색 노력과 같은 인식적 행위주체로서의 실행이 종종 관찰되었다. 그리고 교사에 의해 제시된 권위의 재분배, 공동의 연구자로서의 자리매김, 실행공동체 내에서의 자원 공유 등과 같은 R&E 활동의 구조에 영향을 받으며 조금씩 발전되기 시작한 학생들의 행위주체적 실행은 점차 실행공동체 내에서 안정화 되는 모습을 보였다. <Table 5>는 이 시기에 관찰된 R&E 활동의 주요 구조와 학생의 행위주체적 실행을 요약한 것이다.

나. 연구 설계의 단계

연구 설계 단계의 주요 활동은 연구의 순차적 계획 수립, 실질적으

로 수행할 실험 도구나 방법의 탐색이 중심이 되었다. 시제품을 구입하여 분석하며 건조 시료의 제작 방법을 논의하고, 실험과정 통제 방법을 모색하는 등의 활동도 이루어졌다. 그리고 연구 방법 탐색의 한 방안으로 선행 연구 논문 읽기가 이루어졌다. 논문 읽기는 교사의 제안으로 시작되었으며, 매주 R&E 시간에 1시간씩 3~4주에 걸쳐 지속적으로, 교사를 포함한 네 명의 연구자가 한 편의 선행 논문을 한 문단씩 끝까지 소리 내어 읽는 방식으로 진행되었다. 학생들은 논문을 읽으며 과학 연구의 전체적인 흐름, 다양한 실험 방법, 결과 분석 및 분석 자료의 제시 방법 등에 대한 이해를 넓혀나갔다.

[에피소드 3: R&E 활동 중 팀 논의, 제 8주차 (2016/04/21)]

1. 학생 C : (논문을 소리 내어 읽으며) 외관이 양호한 상태의 복숭아를 구별한 후 제핵하지 않은 상태에서 과육 부분을 0.5cm 두께로 슬라이스 하여 실험 재료로 사용하였다.
2. 학생 B : (다음 문단을 읽으며) 복숭아의 건조 조건은 다양한 예비 실험에 따라 설정하였으며, 적외선 건조는 ...
3. 교사 : 여기서 잠깐만! 그런데 제핵이 뭐지?
4. 일동 : (침묵)
5. 교사 : 잘 몰라? 그럼 다들 아는 척 하면서 그냥 넘어가면 안 되잖아. 얼른 찾아보자.
6. 학생 A : (스마트 폰을 찾아본 뒤) 제핵. 생물의 핵을 세포에서 인공적으로 제거하는 것. 복숭아 따위의 씨를 빼는 것 ...

함께 소리 내어 논문을 읽으며 학생들은 더디지만 조금씩 연구에 대하여 심층적인 이해를 시작하였다. 그리고 때로는 교사의 제안에 의해, 때로는 스스로의 제안으로 R&E 팀에서의 연구 활동에 대한 규칙을 만들어 나갔다. 이 단계에서 교사가 제안한 규칙은 모르는 개념이나 용어가 있으면 반드시 정확하게 알고 넘어가자는 것(3-3, 3-5)이었고 학생들이 제안한 규칙으로는 논문에 소개된 중요 실험이나 자료 분석 방법 등은 별도로 정리하여 이후 연구에 도입해 보는 것 등이었다. 학생들이 도입하기로 합의한 주요 방법 및 실험은 예비 실험 수행 후 세부 설계하기(A), 품질 특성을 분석을 위한 건조 복숭아의 수분 함량 및 당산비 측정(B), 색도 검사와 관능검사 실시(C) 등이었다. 학생들의 자발적 합의에 의한 규칙 형성은 '건조복숭아의 품질 특성'이라는 과학적 지식의 구성 과정에서, 구성원들이 자신의 주장을 제시하고, 의도적이고 계획적인 학습 및 행위의 의지를 표현했다는 점에서 인식적 행위주체성의 발현으로 해석될 수 있다.

교사는 또한 이 단계에서 학생들이 연구의 구체적인 방법을 설계하고, 연구 문제를 어떻게 해결해 나갈지 충분히 고민할 수 있도록 최대한의 시간을 제공하고자 하였다. 학생들과의 연구 논의 과정에서 교사는 "극단적으로 이야기하자면, 여름 방학이 시작되기 전까지 연구 주제 설정이랑 연구 설계만 마무리되어도 아주 성공적인 R&E 활동이라고 생각해~(일동 웃음)"(R&E 활동 중 팀 논의 제 9주차, 2016

/05/12)라고 명시적으로 말하기도 하였는데, 이는 주제 설정 및 연구 설계의 중요성 강조와 더불어 결코 기록하지 않은 이 과업을 시간이 걸리더라도 반드시 직접 해결해보자는 메시지를 담고 있었다. 그리고 이와 같은 교사의 제언은 R&E 활동의 시간적 구조를 보다 유연하고 조절 가능한 것으로 받아들일 수 있도록 학생들의 심리적 스키마 형성에 기여하였다. 심리적 스키마의 변화는 물질적, 사회적, 문화적 자원에 대한 새로운 인식과 재조직화의 가능성을 확대하며 행위주체를 새로운 실행으로 이끌 수 있다는 점에서 그 중요성을 인정받고 있다(Goulart & Roth, 2010; Sewell, 1992)

연구 설계의 과정에서 학생들은 또한 변인 설정 및 통제에 문제를 민감하게 인식하고, 이를 연구 설계의 주요한 준거로 생각하는 모습을 종종 보였다.

- [에피소드 4: R&E 활동 중 팀 논의, 제 9주차 (2016/05/12)]
1. 학생 C : 그럼 건조 방법은 가열건조하고, 동결건조, 그리고 자연건조로...
 2. 학생 B : 모양은 어떻게 해? 똑같이 해야 되잖아.
 3. 학생 A : 일단은 복숭아 모양이니까 동그랗게, 지름을 일정하게 해서
 4. 학생 B : 다 잘라? 과도로? (일동 웃음)
 5. 교사 : 도구를 활용할 수 있는 방법을 찾아야지
 6. 학생 C : 그거, 쿠키 틀 같은 거로 찍을까?
 7. 학생 A : 그렇게 하자. 그럼 모양이랑 지름이 일정하니까...
 8. 교사 : 그럼 채칼 같은 것도 써보면 어떨까? 일정한 두께로 슬라이스 할 수 있게
 9. 학생 B : 어... 찾아보니까, 3mm, 5mm 채칼 있어요. 건조시간이 너무 오래 걸리면 안 되니까 3mm, 이걸로 하면 될 것 같아요.

학교 수업에서 종종 강조되곤 했던 변인 설정 및 통제는 학생들의 연구 설계에서 중요한 인식적 목표로 작용하였다(4-2, 4-3, 4-7). 학생들은 이 준거에 따라 시료를 어떻게 제작할지 고민하고, 방법을 모색하였으며, 활발한 논의 끝에 연구 방법을 결정하였다. 이들이 결정한 것은 건조 시료의 형태와 지름, 두께 등의 변인과 이들 변인의 통제를 도와줄 기구의 선택이었는데, 인식적 행위주체성의 관점에서 볼 때 이와 같은 학생들의 실행은 2가지 측면에서 중요한 의미를 지닌다. 그 첫째는 이들이 과학적 지식의 구성에 대한 스스로의 인식적 목표, 즉 변인 통제를 달성하기 위한 실행을 모색하였다는 것이고, 두 번째는 이들이 스스로의 행위를 결정하는 의사결정자로 자신을 배치(positioning)하였다는 점에 있다. Scardamalia(2002)에 따르면 인식적 행위주체성은 학생이 인식적 목표를 추구하도록 지원하며, 또한 학습자가 스스로의 지식 발전에 책임을 지는 생산적 참여자가 되게 해 준다. 변인 설정과 통제, 그리고 이를 위한 실험 도구와 방법의 결정은 학생 주도의 R&E 활동에서 학생들이 지식의 수동적 수용자 위치를 넘어서 생산적 참여자로서 역할하는 모습을 보여주는 중요한

장면으로 해석될 수 있다.

학생의 일상적 지식은 또한 주제 탐색의 단계에 이어서 연구 설계의 단계에서도 의미 있는 자원으로써 활용되었다. 시료 제작의 도구로 선택된 쿠키 틀이나 채칼, 시료의 두께와 건조 시간의 관계 등은 그 좋은 예다(4-6, 4-8, 4-9). 그 외에도 학생들은 복숭아가 여름에 수확된다는 지식을 바탕으로, 본격적인 연구에 앞서 다른 과일로 예비 실험을 실시하기로 결정하였고, 예비 실험에서는 복숭아와 유사하게 무르고, 껍질에 털이 있는 키위를 선택하였으며, 가정에서 흔히 사용하는 전열 건조기를 실험기구로 채택하는 등 자신들의 선지식을 적극적으로 활용하였다. 또한 연구 수행을 위한 연간 계획을 자발적으로 세우고, 여름 방학이 끝나는 8월경에 시작될 본격 실험을 위해 여러 복숭아 품종 중 비교적 늦은 시기인 8월 중순경 출하되는 장호원 황도를 실험을 위한 주요 품종으로 결정하는 등 스스로의 연구에 있어서 주체적 참여자로서 자리매김하는 모습을 보였다.

연구 설계의 단계에서 구조는 학생 주도의 R&E 활동을 위하여 마련된 자발적 연구 설계의 보장, 연구 설계와 시행착오를 위한 충분한 시간의 확보와 더불어 알지 못하는 지식이나 개념은 함께 공부해 가며 알아가기로 하는 규칙을 내재하고 있었다. 그리고 이와 같은 구조는 Goulart & Roth(2010)가 제안한 바와 같이 적절한 연구 방법을 결정하고, 변인을 설정하며 일상의 지식과 인식적 신념과 같은 인적 자원을 도입한 학생의 행위주체적 실행을 보다 강력하게 지원하고 있었다. <Table 6>은 이 시기에 나타난 R&E 활동의 구조와 학생들의 행위주체적 실행을 요약한 것이다.

다. 실험활동 수행의 단계

실질적인 실험 수행 및 결과 수집이 이루어진 이 단계에서 학생들은 갖은 시행착오를 겪으며 실험을 하였고, 실험 과정에서 문제가 생기거나 새로운 착안을 하게 되면 연구 설계를 부분적으로 수정하거나 보완하기도 하였다. 또 스스로의 연구 설계에 따라 학교 실험실의 여러 실험 장비 가운데 동결건조기, 분광광도계, 물성분석기 등을 선택하여 실험을 수행하였다.

- [에피소드 5: 소집단 2차면담 (2017/12/28)]
1. 학생 A : 동결 건조를 하면 실제로 어떤 모양이 되는지를 모르니까, 예비실험에서 '이런 식으로 딱딱해지고 가벼워지는구나' 이런 특성을 파악할 수 있었던 것 같아요.
 2. 교사 : 그랬구나.
 3. 학생 A : 사실은 물성 분석에서 압축강도를 측정하는 게, 자연건조처럼 잘 구부러지고 물렁하면 큰 의미가 없을 수도 있는데, 딱딱해지는 걸 보니까 이제 압축강도를 사용해 볼 수 있겠다 이런 생각이 들고...
 4. 교사 : 어떤 데이터를 수집할 것인가?

Table 6. Structure and actions indicating epistemic agency in the stage of 'Designing Research'

Structure		Actions indicating epistemic agency
Rules	<ul style="list-style-type: none"> • Ensuring voluntary research design of students • Securing enough time for the research design • Norms for studying unknown concept and terminology 	<ul style="list-style-type: none"> • Adapting relevant methods of prior research into the R&E • Using knowledge in everyday life for the research design
Resources	<ul style="list-style-type: none"> • Student's everyday knowledge • Various methods and experiments of prior research 	<ul style="list-style-type: none"> • Variable setting and control to achieve epistemic goal • Positioning oneself as a decision maker

5. 학생 A : 네
6. 학생 B : 현미경으로 조직을 본 것도...
7. 교사 : 그래, 처음에는 건조 전후 과육의 조직을 비교해 보기로 했잖아?
8. 학생 B : 그게 조직이 너무 두꺼워서 결과 해석을 할 수가 없어서
9. 학생 A : 여기는 선형구조가 있고, 뭐 여기는 비어있고 이런 정도?
섬유질 말고는 다른 특성을 파악하기가 힘들었고, 그래서 빼게 된 것 같아요.

학생들은 실험 결과에 따라 특정 과정을 추가로 설계하여 삽입하기도 하였고(5-3), 의미 있는 결과를 얻기 어렵다고 판단이 될 때는 계획되었던 실험의 일부를 생략하거나 수집된 자료를 사용하지 않기로 결정하기도 하였다(5-8, 5-9). 그리고 이와 같은 의사 결정은 전적으로 학생 스스로의 판단과 구성원들의 논의에 의해 이루어졌으며, 학생들은 스스로의 행위에 대한 의사 결정자로서 역할을 수행하였다. 지도 교사는 실험 기자재의 제공 및 사용법 안내, 필요한 물품의 구입 및 제공, 팀 논의 참여 등으로 스스로의 역할을 제한하며 학생들이 실험 활동에 보다 주체적으로 참여하며 과학적 지식을 구성할 기회를 제공하고자 하였다. 주어진 시간을 초과하여 연구 활동에 매진한 것은 전적으로 학생들의 선택이었으며, 이들은 필요할 경우 점심시간에도 보충 실험을 하였다. 또 여러 번의 시행착오 끝에 실험상의 유의점을 스스로 파악하고, 개선의 여지를 탐색하는 반성적 성찰도 보였다.

반복적인 측정과 분석, 잦은 시행착오, 연구 설계의 수정을 위한 추가적 문헌 탐색 등으로 실험활동 수행 단계의 학생들은 종종 지친 모습을 보이기도 했다. 그러나 동시에 연구에 대한 이해 증진 방법의 적응과 기술적 향상 등을 경험하며 연구 활동의 즐거움을 표현하기도 하였다. “어, 제책하면 A! 3단계 동작이면 제책 완료! (일동 웃음)” (B, R&E 활동 중, 2016/09/01)하며 능숙하게 건조용 시료를 만들거나, ‘관능검사의 필요성, 당산비와 식감의 관계’ 등을 토론하며 공동 실험실의 다른 팀 학생들에게 연구에 대해 설명도 해 주는 등 그들만의 전문성 향상도 자주 관찰되었다. 그리고 힘든 과정 속에서도 연구를 즐길 수 있었던 이유에 대해 다음과 같이 설명하였다.

[에피소드 6: 소집단 1차면담 (2017/12/22)]

1. 학생 B : 그러니까 저희가 다 실험을 계획했으니까 뭔가 실험에 문제가 생겨도 ‘아 그럼 여기서 문제가 생긴 건가?’ 그런 의문점 같은 것도 제시를 할 수 있고...
2. 학생 A : 실험을 최적화하기 위해 ‘어디를 바꿔보자’이렇게도...
3. 교사 : 그랬구나.
4. 학생 B : 그러니까... 건조 시간이란 건조했을 때 뒤집는 거를 처음에는 안했다가
5. 학생 A : 최적의 시간을 찾기 위해서 넣어 놓고 열 두 시간 마다 꺼내보면서 그 물기나 찐득한 정도를 보며 가장 적절한 시간을 찾았을 때
6. 교사 : 몇 시간이었지?
7. 학생 A·B : (동시에 큰 소리로) 72시간이요. (일동 웃음)

학생들은 실험 과정에서 스스로 새로운 실험방법을 고안해 내는 과학적 생산자로서의 역할을 부분적이지만 성공적으로 해 냈고(6-5, 6-7), 자신의 인식적 목표 달성을 위해(6-2) 연구 활동을 수행하는 가운데 반성적 성찰의 모습도 보였다(6-1). 사회적 인지론 연구자인 Bandura(2001)는 행위의 목적성, 행위의 결정, 그리고 행위의 반성적 조절을 의도성이라는 통합적 개념으로 제안하며, 의도성이야말로 행위주체성의 핵심적인 측면으로 기능하게 됨을 강조한 바 있다. 이와 같은 관점에서 볼 때, 스스로의 과학 지식 구성이라는 명확한 목적, 탐구 과정의 선택과 결정, 반성적 조절을 통한 의도적 탐구 수행이 집중적으로 이루어진 이 단계의 학생 활동 또한 의도성에 기반한 인식적 행위주체성의 발현으로 해석되어질 수 있었다. 또한 단순한 지식의 수용자나 전달자가 아닌 R&E 활동의 생산적 참여자로서 이들이 드러낸 행위주체적 실행은 이들이 학생 연구자로서의 정체성을 형성하고 있음을 가늠하게 해 주는 지표로도 작용하였다(Holland *et al.*, 1998). <Table 7>은 이 단계에서 관찰된 R&E 활동의 구조와 학생의 행위주체적 실행을 요약적으로 제시한 것이다.

라. 해석 및 고찰의 단계

해석 및 고찰의 단계에 학생들은 수집된 자료를 표나 그래프로 전환하여 경향성을 살피고, 다양한 결과 값들의 상관관계를 탐색하였으며, 정량적 수치로 측정된 결과 값이 어떤 의미를 가지는지 해석을 시도하였다. 교사는 학생들이 연구 결과 해석 및 고찰을 위한 충분한 시간을 확보할 수 있도록 연구 과정을 살피며, 학생들이 요청할 경우 관련 자료나 논문을 함께 찾고 토론하는 등 필요한 도움을 제공하였다. M 과학교등학교의 여러 R&E 팀 가운데는 최종 보고서 제출 바로 전 날까지도 실험 데이터를 얻는데 매진하며, 양질의 데이터 확보에 보다 집중하는 팀도 있었지만, 본 사례에서의 연구 참여자들은 보고서 제출 마감을 한 달여 앞두고 일차적인 실험 활동을 마무리 한 뒤 연구 결과의 분석을 시작하였다는 점에서 이들과 차별화되었다. 그리고 충분한 시간을 가지고 연구 결과 분석 및 해석에 돌입한 연구 참여자들은 단순한 결과 해석을 넘어서 연구에 대한 깊이 있는 성찰을 이 단계에서 드러냈다. 학생들의 고차원적 탐구 사고 활동이나 행위주체적 실행이 최고조를 이룬 것 또한 이 시기에 해당된다. 스스로의 연구 결과로 수집된 자료들이 어떠한 의미를 가지는지를 자신의 과학적 지식, 선행 연구의 결과 등과 연계하여 해석하려는 자발적 노력이 이 시기에 집중되었기 때문이다.

[에피소드 7: 개별면담, B (2016/11/22)]

1. 학생 B : 그 때 같변하는 거랑 관련해서, ‘당도가 왜 떨어질까’ 하는 의문이 있었어요.
2. 교사 : 어떤 경우에 당도가 왜 떨어질까?

Table 7. Structure and actions indicating epistemic agency in the stage of ‘Performing lab activity’

Structure	Actions indicating epistemic agency
<ul style="list-style-type: none"> • Ensuring voluntary lab activities of students • Empowering students with the authority of decision making • Norms for studying unknown concept and terminology 	<ul style="list-style-type: none"> • Decision making for adding or omitting some parts of experiment • Exceeding the allotted time of R&E for autonomous experimentation • Reflection on the experiments and refining the research • Searching proper way of experiment by trial and error
Resources	• Materials and equipments for the experiments.

3. 학생 B : 상온 보관한 것에서 당도가 왜 떨어질까를 먼저 해결하려고
 찾아보니가 갈변현상과도 연관이 있었고, 시료들 자체에서
 이용된 그 건조 방법의 특성에 따라서 반응 속도에 차이도
 있었기 때문에...
4. 교사 : 그랬구나.
5. 학생 B : 그러다가 그 유기반응을 찾아낸 거... 정말 설명할 수 없이
 좋았어요.
6. 교사 : 어떻게 그 반응을 찾았는지?
7. 학생 B : 생화학책, Biophysics, 이런 걸 도서관에서 다 빌려가지고...
 일주일도 넘게 계속 책을 찾았었는데, 그 식품 분석학인가?
 거기에 마이야르 반응이 딱 나오는 거예요...

가령 스스로 수행한 당산비 분석 실험의 결과를 해석하면서 B는 건조 시료의 갈변도와 당도 변화가 연관되어 있다는 점을 알게 되었고, 그 이유에 대해 의문을 가졌다(7-1). 그리고 ‘어떤 일이 일어나는 것에는 그에 맞는 이유가 있을 것이다’(개별면담, 2016/11/22)라는 평소의 인식적 신념에 따라, 실험 결과에 대한 의미 있는 해석을 계속 해서 시도했다(7-3, 7-7). 육안으로 관찰되는 수준에서의 규칙성을 넘어서 그 이면에 담긴 메커니즘의 탐색, 즉 복숭아의 갈변 현상과 당도 변화의 관련성을 화학 반응으로 설명하려 한 B의 노력은 서로 다른 수준에서의 연구 결과를 바탕으로 추론을 시도하는 과학자들의 고차원적이며 진정한 추론과정과 대단히 유사한 형태를 보였다(Chinn & Malotra, 2000). 또 B는 그 과정에서 “자료 해석을 하려면 일단은 배경 지식이 많으면 좋겠지만, 그게 없는 경우는 공부를 해서라도 해야 한다고 생각해요”(개별면담, 2016/11/22)라거나, “선행연구, 논문이라든지 비슷한 경우에서 다른 사람들은 어떻게 해석했는지를 봐야 될 것 같아요”(개별면담, 2016/11/22)라고 이야기하며 연구 수행에 대한 인식적 신념을 드러냈고, 주어진 학습의 맥락에서 인식적 주체가 되어 실행으로서 과학을 학습하고, 스스로의 과학적 지식을 구성하는 모습을 보였다. 이와 같은 B의 실행은 연구 설계의 단계로부터 유지되어 온 ‘모르는 것은 반드시 정확하게 알고 넘어가자’라는 규칙과 심리적 스키마에 의해 행위주체의 실행이 확대 및 재생산된 강력 한 예로, Giddens(1984)와 Sewell(1992), Goulart & Roth(2010), 그리고 Barton & Tan(2010) 등 여러 학자들이 주장한 바 있는 구조와 행위주체성의 변증법적 관계를 잘 드러낸다.

[에피소드 8: 개별면담, A (2016/11/24)]

1. 학생 A : 물성 분석에서... 제 해석만 보면 이 시료는 이렇고, 저 시료는 이렇다 하는 건데, 이걸 이렇게 하나로 묶을 결론이 아직 없어서... 문제가 큰 것 같아요.
2. 교사 : 하나로 묶으려면 어떻게 해야 하지?
3. 학생 A : 그 낱말이 해석해 놓은 결론들의 공통점과 경향성을 찾는다든지... 아니면 거기에 어떠한 의미를 부여할 수 있는지...
4. 교사 : 또 있을까?
5. 학생 A : 적절한 재 실험. 사실은 이게 한 번의 실험이니까... 어렵게 연구한 거지만 그 중에 버릴 거는 버리고, 또 버려야 하는 것은 정말 버려야 하는 것인지, 아니면 우리가 의미를 발견하지 못한 것인지...

학생들은 연구 결과의 해석 및 결론 도출 과정에서 발견된 어려움이나 불명확한 점들을 피하지 않고 정직하게 수면 위로 끌어올렸다(8-1, 8-5). 한 예로 해석하기 어려운 튀는 데이터나 분석 자료들 간의 경향

성을 찾기 어려운 상황에 부딪혔을 때, A는 몹시 난감해 했다. 교사는 “사실 한 두 번의 실험으로 성공적인 결과를 얻는다는 건 행운이지. 어쩔 실패하는 경우가 더 많을 수도 있을 거야”(R&E 연구 활동 중, 2016/11/10)라는 응답으로 실험의 성공 못지않게 그 과정에서 배우고 경험하는 것들의 중요성을 강조하였다. 타당한 결론 도출을 고민하던 A는 어떤 절차를 더 밟아야 할지, 어떤 실험을 추가해야 할지 고민했지만 면담 과정에서 스스로의 의견을 명료하게 표현하였다(8-3, 8-5). 그리고 필요하다고 판단된 실험은 팀 논의를 거쳐 역할을 나눈 뒤 추가적으로 실시하여, 실험결과를 얻고 분석하는 과정을 진행하였다.

한 가지 주목할 점은 학생 A와 B가 보여준 이 단계에서의 특징적 실행이 연구 활동의 초반에 이들이 보였던 행위주체적 실행과 그 성격을 달리했다는 점이다. 주제 탐색의 단계나 연구 설계의 단계에 관찰된 행위주체성의 발현이 교사가 제안한 R&E 활동의 ‘구조’에 의해 적지 않은 영향을 받는 모습이었다면, 이 단계의 행위주체성 발현은 학생의 인식적 신념 및 학생 스스로에게 내재화된 스키마에 의해 자연스럽게 발생하는 형태를 보였기 때문이다. 이와 같은 내면화와 행위주체적 실행은 Lave & Wenger(1991)의 합법적 주변 참여의 관점에서는 실행공동체 내에서의 완전한 참여로, Holland *et al.*(1998)의 관점에서는 작은 과학자로서의 정체성 형성으로 해석될 수 있다.

해석 및 고찰의 단계에 학생들은 또한 타당한 결론 도출 노력의 일환으로 연구의 전체 과정에 대한 전략과 수행을 검토하는 왕성한 메타인지적 사고를 보이기도 하였다. “그 때 실험 조건을 어떻게 두었는지 다시 한 번 짚어 보고, 생각해 보게 되었어요”(개별면담, 2016/11/22)라던 B의 회고나, “유통 효율을 높이려고 건조 샘플을 만들면서도, 보관 과정에서 생기는 세균이나 이런 건 생각을 못했었고...”(개별면담, 2016/11/22)라던 C의 반응은 그 좋은 예다. 또 A는 곧 R&E 활동의 공식적인 일정이 마무리되는 것을 알면서도, 혹시 모를 후속 연구의 계획을 꼼꼼히 메모하는 모습을 보이기도 하였다.

해석 및 고찰의 단계는 학생들이 스스로의 연구 활동에 대한 주체로서의 견고한 입지를 형성한 시기로 분석되었다. 수집된 실험 결과와 이론의 관계를 자발적으로 탐색하고 발견하며 스스로의 과학적 지식을 구성함으로써 과학 지식의 생산자이자 지식 구성의 합법적 참여자로서의 역할을 훌륭하게 수행해 냈기 때문이다(Stroupe, 2014). 인식적 행위주체성에 대한 논의에서 Scardamalia(2002)는 학생들이 스스로의 학습에 대해 인식적 책임을 가지며, 아이디어를 창조하고 발전시켜가는 과정을 강조한 바 있다. 실험 결과의 해석 및 고찰을 위한 다양한 선택과 결정의 과정에서 의사 결정자이자 아이디어의 발전을 위한 합법적이고 지속적인 학생들의 참여 또한 이와 같은 인식적 행위주체성의 맥락에서 해석될 수 있을 것이다. <Table 8>은 해석 및 고찰의 단계에 드러난 R&E 활동의 구조적 특징 및 학생의 행위주체적 실행에 대한 요약이다.

마. 과학적 의사소통의 단계

“실험은 시작이었어요 보고서가 진짜 할 것도 엄청... 보고서 쓰기가 정말 엄청 뻑뻑했던 것 같아요 근데, 힘들기도 한데 그래도 배운다는 느낌이...”(C, 개별면담, 2016/11/22)

실험보고서 작성에 대한 C의 회고에서 알 수 있듯이, 학생들은 보고서 작성에 실험 활동 못지않게 많은 시간과 노력을 쏟아 부었고

Table 8. Structure and actions indicating epistemic agency in the stage of 'Interpreting results'

	Structure	Actions indicating epistemic agency
Rules	<ul style="list-style-type: none"> • Securing enough time for the data interpretation • Empowering students with the authority of interpretation • Norms for studying unknown concept and terminology 	<ul style="list-style-type: none"> • Autonomous searching of references for the scientific questions • Additional experiment to refine the research • Autonomous planning for follow up study
Resources	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibility to diverse literatures • Student's epistemic belief and meta-cognition 	<ul style="list-style-type: none"> • Reflection on the research process • Suggesting ideas to draw a reasonable conclusion

매우 힘들어하기도 했다. 그러나 과정의 고단함에 대한 회고와 더불어 그 의미에 대한 가치 부여도 잊지 않았다. 보고서 작성 및 발표의 단계에 학생들이 수행한 활동으로는 결과 보고서 작성 외에도 외부 심사자들을 대상으로 한 연구 결과의 구두 발표, 학교 체육관에서 교내의 모든 R&E 팀이 함께 한 포스터 발표 대회 참여 등이 있었다. 또 연구 참여자들은 보충 실험 및 그 결과의 해석을 위해 개인적인 시간을 추가적으로 더 할애하였다.

[에피소드 9: 소집단 1차면담 (2017/12/22)]

1. 교사 : 보고서를 쓰면서도 계속 문제를 발견했잖아?
2. 학생 B : 당산비 반복 실험(일동 웃음)
3. 학생 A : 시료 종류가 너무 많아서 빠뜨리고 촬영을 안 한 것도 있었어요. 그래서 뒤늦게 색차도 찍고...
4. 학생 B : 그래도 보고서 쓰면서 중간 중간에 계속 점검을 해 가면서
5. 학생 C : 보고서를 쓰다가 중간에 틀림이 있다는 것을 깨달을 수 있었어요. 그 실험을 계속 하다보면 깨닫지 못하는데, 나중에 그것을 알게 된 거죠.
6. 학생 A : 세미나 괜찮았어요. 서로 결과 분석한 거 발표도 하고, 질문도 하고, 그게 좀 많이 무리가 되기는 하지만...

복잡하고 개수도 많았던 여러 실험 과정에서 학생들은 일부 분석을 빠뜨리기도 했고, 반복 실험을 못했음을 뒤늦게 깨닫기도 하였다(9-2, 9-3). 이미 결과 보고서 작성의 단계까지 온 학생들은 실험에 소요되는 시간의 정도에 따라 당산비 추가 실험은 포기하고, 색차 촬영은 보충하기도 하는 등 주어진 시간 범위 내에서 선택적 판단과 실행을 보였다.

또 결과 보고서 작성 과정에서 단순히 해석된 결과를 제시하는 것을 넘어서 연구 방법에 대한 논의나 스스로 수행한 연구의 의의를 기록함으로써, 자신들의 보고서를 읽게 될 미래의 독자들-심사자인 과학자들이나 동료학생들에게 연구자인 자신들의 목소리를 전달하고자 노력하였다. “실험 방법도 논의를 해야 되는 게, 저희가 놓친 대조군이라든지 변인 통제가 있는 거니까”(소집단 1차면담, 2017/12/22)라던 B의 의견이나, “이 연구를 하는 이유가 이 연구를 통해서 다른 연구에 활용이 되거나 아니면 어딘가에 활용이 될 수 있게 하기 위해서라고 생각하니까, 그 연구를 했을 때 얻을 수 있는 의미가 반드시 있어야 된다”(소집단 1차면담, 2017/12/22)라고 하던 C의 단호한

목소리는 과학 연구에 대한 학생들의 인식적 신념을 드러내고 있었으며, 학생들은 스스로 인식적 신념에 따라 추가 실험을 하고, 보고서를 작성하는 등 행위주체적 실행을 지속하였다(Table 8). 그리고 이와 같은 행위주체적 실행은 무엇보다도 이 연구가 ‘우리의 연구’라는 인식에 크게 영향을 받은 것으로 보였다. “저희는 저희가 선택한 주제였고, 실제로 그러면서 연구에 참여하는 열의가 달라진 것 같았어요”(소집단 2차면담, 2017/12/28)라는 B의 담담한 목소리나 “저희 연구였고, 실제로 재미를 느꼈고, 되게 흥미로웠기 때문에 불평을 하거나 힘든 티를 내지 않았던 것 같아요”(소집단 2차면담, 2017/12/28)라던 A의 회고 등은 이와 같은 학생의 행위주체성의 배경을 다시 한 번 확인하게 해 준다.

과학적 의사소통의 단계는 또한 연구 보고서 작성, 심사 위원 및 동료 학생을 대상으로 한 발표 수행이라는 프로그램 운영 상의 견고한 구조가 자리한 시기이기도 하였다(Table 9). 이와 같은 R&E 활동의 구조는 학생들이 1년여의 연구 중에 얻은 산물들을 활용 가능한 자원으로 도입하도록 학생의 행위를 이끌었다. 그리고 이와 같은 풍부한 자원의 활용은 학생들의 실행을 포스터 발표 대회라는 기존 구조를 넘어선, 서로 다른 연구팀 간의 활발한 논의로 이끌었다. “친구들과 서로의 연구를 보면서 어떻게 여기서 이런 생각을 할 수 있었는지, 아니면 이런 주제를 어떻게 생각하게 되었는지 서로 묻고 디스커션도 하고”(A, 소집단 2차면담, 2017/12/28), “굉장히 비판적인 시각으로 여긴 이런 게 필요하지 않느냐 그렇게 질문도 하고”(B, 소집단 1차면담, 2017/12/22), “꼭 생물 분야가 아니어도 여기서 이거를 다르게 해석할 수도 있지 않을까? 이렇게 제안도 해보고”(C, 소집단 1차면담, 2017/12/22) 했던 학생들의 모습은 행위주체적 참여를 통하여 평가의 스키마를 논의의 스키마로 전환하는 전환적 실행으로 해석될 수 있다. Goulart & Roth(2010)는 행위주체성과 구조의 상호작용에 대한 연구에서 주어진 스키마로부터 출발한 학생들의 실행이 활용 가능한 자원들을 재배열하고, 새로운 스키마를 창조하며 구조를 진화시켜 나갈 수 있음을 논의한 바 있다. 과학적 의사소통의 단계에 이루어진 포스터 발표 대회에서 평가의 스키마가 논의의 스키마로 전환된 현상 또한 이와 같은 구조와 행위주체성의 변증법적 상호작용에 의한 확대 및 재생산의 일환으로 해석되어질 수 있을 것이다.

Table 9. Structure and actions indicating epistemic agency in the stage of 'Communicating Research'

	Structure	Actions indicating epistemic agency
Rules	<ul style="list-style-type: none"> • Doing students' own research by themselves • Due date for submitting research paper • Evaluation of the research • Public presentation of the research 	<ul style="list-style-type: none"> • Doing extra experiments to elaborate the research • Documenting shortcomings and meanings of the research • Enjoying autonomous discussion on the research with peer students
Resources	<ul style="list-style-type: none"> • Diverse artifacts of the research 	

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 학생 주도의 R&E 활동에서 연구 활동의 주요 단계를 알아보고, 그 가운데 학생의 인식적 행위주체성이 발현되는 형태를 질적 사례연구의 방법을 통하여 분석하였다. 먼저 학생 주도 R&E 활동의 주요 단계는 ‘주제 탐색-연구 설계-실험활동 수행-해석 및 고찰-과학적 의사소통’의 단계로 구분 될 수 있었다. 각 단계에는 일부 중첩되는 기간이 존재하였으며, 연구의 흐름에 있어서는 전단계로의 잦은 회귀를 드러내는 비선형적 구조가 관찰되었다. 연구의 각 단계에서는 또한 특정 활동의 반복적 수행이 빈번하게 관찰되었는데, 이들은 대부분 자발적인 문헌 탐색, 연구 설계의 수정 및 추가적인 실험 등으로, 학생의 자발적 학습과 과학적 연구 수행을 위한 인식적 행위주체성의 발현 사례로 해석될 수 있었다.

학생의 인식적 행위주체성은 연구 활동의 단계에 따라 다양한 형태로 관찰되었는데, 연구 과정의 주요 의사 결정에 대한 권위의 공유가 시작된 주제 탐색의 단계부터 일관되게 관찰되었으며, 과학적 연구 활동에 대한 학생의 인식적 신념과 깊은 관련을 보였다. 특히 해석 및 고찰의 단계에서는 연구 결과의 분석과 추론, 연구 과정에 대한 반성적 성찰, 귀납적 추론과 같은 고차원적 탐구 활동의 형태로 왕성한 인식적 행위주체성이 드러났으며, 인식적 행위주체성이 연구 수행을 위한 자기 주도적 학습으로 학생을 이끄는 모습 또한 확인되었다. 학생이 스스로를 연구 활동의 의사 결정자로 배치하는 인식적 행위주체성 또한 본 연구의 과정에서 지속적으로 관찰할 수 있었다.

학생 주도의 R&E에서 관찰된 이와 같은 학생의 인식적 행위주체성은 세 가지 측면에서 중요한 의미를 가진다. 그 첫 번째는 이들의 인식적 행위주체성이 참여 초기에는 교사에 의해 제한된 R&E 활동의 구조, 즉 규칙과 자원에 의해 촉발되었으나, 학생 수준에서의 지속적 연구를 가능하게 한 학생 스스로의 주제 선정 이후 지속적으로 확대, 재생산되었다는 점이다. ‘학생 스스로의 연구’라는 학생 주도 R&E의 구조는 연구 활동에 대한 학생의 인식적 신념을 바탕으로 실질적인 과학 행위를 이끌어 냈고, 일상에서의 지식, 공유된 자원, 지속적인 학습의 산물과 같은 자원은 이들의 인식적 행위주체성을 견고하게 뒷받침하는 모습을 보였다. 이는 적절한 교육적 구조의 제공을 통해 학생들을 연구 활동의 진정한 참여자, 보다 주체적인 행위자로서 초대할 수 있음을 입증하며, 학생 주도의 R&E 활동이 그 대안적 구조로 기능할 수 있음을 강력하게 시사한다.

두 번째는 학생 주도의 R&E에서 관찰된 학생의 인식적 행위주체성은, 이들이 스스로 이끌어간 진정한 연구에의 참여를 통해 한 사람의 주체적인 연구자로 성장하고 있음을 드러내는 실질적인 지표로 해석될 수 있다는 점이다. 미래의 과학자 양성이라는 R&E 프로그램의 목적을 감안할 때, 주체적 연구 참여를 통한 작은 과학자로서의 정체성 형성은 무엇보다도 주목할 만한 학생의 성장으로서 그 의미를 가지며, 이와 같은 학생의 행위주체성 발현을 지원할 수 있는 교수학습 구조의 구성에 대한 후속 연구의 필요성을 시사한다.

마지막으로 주목할 것은 분석적 도구로서의 인식적 행위주체성이라는 렌즈가 지닌 강력한 힘이다. 본 연구에 적용된 인식적 행위주체성이라는 관점은 R&E 활동에 참여한 학생들이 어떠한 인식적 신념을 가지고, 어떠한 실행과 시행착오를 통하여 자신의 지식 발전에 책임을 지는 생산적 참여자로 성장해 나가는지, 그 동적인 메커니즘을

생생하게 포착할 수 있는 분석의 창을 제공할 수 있었다. 이는 인식적 행위주체성의 관점이 학습자를 결핍을 가진 수동적 존재로 보는 시각에서 벗어나 주체적이며 스스로의 학습에 대해 의지와 책임감을 가지는 행위주체로서의 학습자와 과학 수업이라는 구조의 역동적 상호작용에 주목하였기 때문이다. 인식적 행위주체성 관점에서의 이와 같은 연구는 학생의 학습과 참여에 대한 심층적 이해와 더불어 현장의 과학 교사 및 과학교육 연구자들에게 학생의 탐구 지도 및 제도 수립, 개선에 대한 실질적인 시사점을 제공할 수 있다는 점에서도 의의를 가진다.

학생 주도의 R&E 활동을 인식적 행위주체성의 관점에서 분석하고자 한 본 연구는 연구자의 시선을 주체로서의 학습자에게로 이끌며, 그 역동성에 주목하고자 하였고, 그 결과 학생들의 행위주체적 실행과 더불어 이들이 작은 연구자로서 성장해 가는 모습을 확인할 수 있었다. 이와 같은 본 연구의 결과는 미래의 과학자를 꿈꾸는 고등학생들의 R&E 활동을 계획하고, 운영하며, 지도하는 많은 과학 교육 연구자들과 현장의 교사들에게 학생의 연구 참여에 대한 보다 깊은 이해를 제공함과 동시에 학생들이 스스로의 탐구 활동에서 진정한 주체로 자리매김 할 수 있도록 지원하고자 하는 많은 교육 연구자들에게 그 방향성 수립을 위한 단초를 제공할 것이다.

국문요약

미래의 과학자 양성을 목표로, 진정한 과학 탐구의 경험을 강조하고 있는 고등학생들의 R&E 활동에서 점진적으로 주목하고 있는 것은 진정한 탐구 주체로서의 학생의 활동이다. 본 연구에서는 고등학교에서 수행되고 있는 R&E 활동 중에서 특히 학생이 그 주체가 되어 연구의 과정을 결정하고 실행하는 학생 주도의 R&E를 대상으로 연구 수행의 주요 흐름을 파악하고, 각 단계에서 드러나는 학생의 인식적 행위주체성을 탐색하고자 하였다. 이를 위하여 과학영재학교 1학년 학생들이 수행한 교내 R&E 활동에 대하여 18개월에 걸친 질적 사례 연구를 수행하였으며, 연구 참여자와의 반 구조화된 면담 자료, 연구자의 참여관찰 일지, 학생과의 논의 과정에 대한 녹음자료, 학생 산출물 등과 같은 질적 자료를 수집, 근거이론에 기반한 지속적 비교분석법에 따라 귀납적으로 분석하였다. 연구 결과, 학생 주도의 R&E 활동은 주제 탐색의 단계-연구 설계의 단계-실험활동 수행의 단계-해석 및 고찰의 단계-과학적 의사소통의 단계를 거치는 것으로 드러났으며, 이와 같은 연구의 흐름은 비선형적이며 단계 간 중첩과 회귀가 빈번하게 드러나는 동적인 특징을 지님을 알 수 있었다. 두 번째로, 학생 주도의 R&E 활동에서 학생의 인식적 행위주체성은 R&E 구조와의 지속적인 상호작용을 통해 발현되었다. R&E의 구조에 의한 인식적 행위주체성의 촉발은 연구의 진행에 따라 점차 자발적 발현으로 전환되었으며, 특히 학생의 인식적 신념과 깊은 관련성을 보였다. 또한 인식적 행위주체성의 발현 과정에서 학생들은 스스로를 R&E 활동의 의사결정자로 배치하는 모습을 보였으며, 이는 R&E 활동에 대한 권위의 재분배와도 밀접한 관련성을 드러냈다. 학생 주도의 R&E 활동이 어떠한 흐름을 가지고 이루어지며, 그 가운데 학생들이 어떠한 인식적 행위주체성을 보이는데 대한 본 연구는 지속적으로 확산되고 있는 고등학생들의 연구 활동 참여에 대한 심층적 이해를 제공함과 동시에, 학생들이 스스로의 탐구 활동에서 진정한 주체로 자리매김 할 수 있도록 지원하고자 하는 많은 교육 연구자들에게 그 방향성

수립을 위한 단초를 제공할 수 있을 것이다.

주제어 : R&E(Research & Education), 인식적 행위주체성, 구조, 인식적 신념, 과학 정체성

References

- Arnold, J., & Clarke, D. J. (2014). What is 'agency'? Perspectives in science education research. *International Journal of Science Education*, 36(5), 735-754.
- Bandura, A. (2001). Social cognitive theory: An agentic perspective. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 1-26.
- Bartholomew, H., Osborne, J., & Ratcliffe, M. (2004). Teaching pupils "idea-about-science": Five dimensions of effective practice. *Science Education*, 88(5), 655-682.
- Barton, A. C., & Tan, E. (2010). We be burnin'! Agency, Identity, and science learning. *The Journal of the Learning Sciences*, 19(2), 187-229.
- Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative analysis*. London: Sage Publications.
- Chin, C. A. & Malhotra, B. A. (2000). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Choe, H. S. & Tae J. M. (2015). The meaning and value of R&E (Research and Education) experiences of science specialized high schools: Gathering voices of graduates by individual interview. *The Journal of the Korean Society for the Gifted and Talented*, 14(3), 51-79.
- Damsa, C. I., Kirschner, P. A., Andriessen, J. E. B., Erkens G., & Sins, P. H. M. (2010). Shared epistemic agency: An empirical study of an emergent construct. *Journal of the Learning Sciences*, 19(2), 143-186.
- Durkheim, E. (1964). *The division of labor in society*. New York: Free Press.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
- Giddens, A. (1984). *The constitution of society*. Berkeley: University of California Press.
- Giddens, A. (2001). *Mortality and self-identity: Self and society in the late modern age*. Oxford: Polity Press.
- Glaser, B. G. (1965). The constant comparative method of qualitative analysis. *Social Problems*, 12(4), 436-445.
- Goulart, M. I., & Roth, W. M. (2010). Engaging young children in collective curriculum design. *Cultural Studies of Science Education*, 5(3), 533-562.
- Holland, D., Lachicotte, W., Skinner, D., & Cain, C. (1998). *Identity and agency in cultural worlds*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Jung, H. C., Chae, Y., & Ryu, C. R. (2012a). Study on research and education (R&E) programs in science high schools and science academies: Focusing on the differences of perceptions between students and mentors. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 32(7), 1139-1156.
- Jung, H. C., Ryu, C. R., & Chae, Y. (2012b). Research and education (R&E) programs in science high schools and gifted high schools: Based on the interview results with R&E coordinators. *Journal of Gifted and Talented Education*, 22(2), 243-264.
- Kang, S. J., Kim, H. J., Lee, G. J., Kwon, Y. S., Kim, M. H., Kim, Y. S., Kim, Y. H., Shin, H. S., Lim H. Y., & Ha, J. H. (2009). A study of scientifically gifted high school students' perceptions on the research and education program. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 29(6), 626-638.
- Kim, K. & Shim, J. Y. (2008). Scientifically gifted students' perception on the impact of R&E program based on KAIST freshmen survey. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 28(4), 282-290.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P. C., Marx, R. W., Bass, K. M., & Fredricks, J. (1998). Inquiry in project-based science classroom: Initial attempts by middle school students. *Journal of the Learning Sciences*, 7(3), 313-350.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. New York: Cambridge University Press.
- Lee, M., & Kim, H. (2016). Science high school students' shift in scientific practice and perception through the R&E participation: On the perspective of legitimate peripheral participation in the community of science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(3), 371-387.
- Lee, J., & Kim, S. (2018). Exploring the development of research questions from high school research project. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38(3), 319-329.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Newbury PA, CA: Sage Publications.
- Longino, H. E. (1990). *Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative Research: A guide to design and implementation* (2nd ed). Sanfransisco, AV: Jossey-Bass.
- National Research Council (2000). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Park, J., Jang, K., Lim, I. (2009). An analysis of the actual processes of physicists' research and implications for teaching scientific inquiry in school. *Research in Science Education*, 39(1), 111-129.
- Reed, B. (2001). Epistemic agency and the intellectual virtues. *Southern Journal of Philosophy*, 39(4), 507-526.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89(4), 634-656.
- Scardamalia, M. (2002). Collective cognitive responsibility for the advancement of knowledge. In B. Jones (Ed.), *Liberal education in a knowledge society* (pp. 67-98). Chicago: Open Court.
- Schwartz, D., & Okita, S. (2004). The productive agency in learning by teaching. Retrieved March 18, 2008, from http://aalab.stanford.edu/papers/Productive_Agency_in_Learning_by_Teaching.pdf
- Sewell, W. H. Jr. (1992). A theory of structure: Duality, agency, and transformation. *American Journal of Sociology*, 98(1), 1-29.
- Stroupe, D. (2014). Examining classroom science practice communities: How teachers and students negotiate epistemic agency and learn science-as-practice. *Science Education*, 98(3), 487-516.
- Stroupe, D., Caballero, M. D., & White, D. (2018). Fostering students' epistemic agency through the co-configuration of moth research. *Science Education*, 102(6), 1176-1200.
- Yun, H., & Kim, H. (2018). Exploring science high school students' epistemic goals, epistemic considerations and complexity of reasoning in open inquiry. *Journal of Korean Association for Science Education*, 38(4), 541-553.

저자 정보

이민주(대전과학고등학교 교사)

김희백(서울대학교 교수)