



고등학생의 자기 주도적 과학탐구연구에서 나타난 어려움 탐색

김가형¹, 하민수^{2*}

¹이화여자대학교, ²강원대학교

Exploring the Difficulties of High School Students in Self-Directed Scientific Inquiry

Gahyoung Kim¹, Minsu Ha^{2*}

¹Ewha Womans University, ²Kangwon National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 August 2019

Received in revised form

23 September 2019

8 December 2019

Accepted 11 December 2019

Keywords:

self-directed scientific inquiry, cognitive bias, case study, core competency

ABSTRACT

The self-directed inquiry to improve students' core scientific competency is an important teaching method. Students experience a variety of difficulties in carrying out their inquiry tasks, sometimes fail to produce the desired results, or fail to perform a meaningless inquiry. This study was conducted to identify the causes of difficulties and failures in students' self-directed scientific inquiry. The study involved 16 high school students with experience in science research at science high schools and science-focused high schools. The data collection consisted of in-depth interviews centered on semi-structured open questions. Qualitative data analysis was imputed by finding paragraphs from the interview material that might reveal the difficulties and failures experienced by participants and the reasons for them. The study found that most of the causes of failure were lack of ability, incomplete procedures, and selection of complicated tasks. A variety of cognitive biases, such as overconfidence, planning fallacy, and groupthink, were also analyzed as causes. Based on the results of the study, it is necessary to develop an educational strategy that students can be fully prepared to reduce their trials and errors in a self-directed inquiry maximally.

1. 서론

2015년 개정된 교육과정의 핵심은 학생들의 역량 신장이다. 특히 과학교육에서 학생들은 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여의 5가지 핵심역량을 강조하였다. 그리고 그런 역량을 향상시키기 위한 가장 효과적인 방법으로 강조되고 있는 방법이 학생 참여형 자기주도탐구이다(Ministry of Education, 2015). 학생주도형, 즉 자기주도탐구에서 학생들은 스스로 문제를 생성하고 해결 방안을 모색한 뒤, 실험을 설계하여 새로운 지식을 생성한다. 이 과정에서 학생들은 추론, 탐구, 문제해결, 의사소통 등 다양한 경험들을 수행할 수 있으며, 그 결과로서 과학적 역량을 형성할 수 있다. 최근 국가적인 차원에서 학생 중심의 자기주도탐구를 강조한다. 중학교의 자유학기제는 장기적인 프로젝트형 과학교육을 위해 시행되었으며, 과학중점고등학교 사업, 한국과학창의재단에서 수행하는 R&E 과제, 또한 많은 대학과 지역 교육청에서 시행하는 다양한 사업에서 학생 참여형 자기주도탐구를 시행하고 있다(Jung *et al.*, 2012; Oh & Kim, 2011; Ryu *et al.*, 2014). 자기주도탐구에서 학생들은 다양한 실패를 경험한다(Domin, 1999; Kirschner *et al.*, 2006). Zion & Mendelovici(2012)는 다양한 실패 사례들로 원하는 결과물을 산출하지 못한 경우, 계획된 시간에 연구를 마치지 못한 경우, 실제 예상했던 것에 비하여 의미 없는 탐구를 수행한 경우, 현실적으로 가능한 연구가 아님을 탐구 후에 깨닫는

경우 등을 제시하였다. 물론 '실패는 성공의 어머니'라는 말에서 확인할 수 있듯이 뜻하지 않게 발생하는 실패는 학습할 만한 좋은 경험이 될 수 있다. 하지만 사회인지이론의 많은 연구들에 따르면 실패는 자존감, 자신감, 성공에 대한 확신에 부정적 영향을 미치며, 나아가 자신의 진로를 변화시키는 요인으로도 작용하는 것 등 무시하지 못하는 요인으로 인식된다(Schunk, 1985). Winch(2013)는 실패에 대해 요약하면서 실패의 긍정적인 면과 달리 부정적인 면도 상당히 많음을 강조하였다. 실패는 이후의 목표 달성을 어렵게 하고 자신의 능력을 평가 절하시킨다. 뿐만 아니라 무력감과 실패에 대한 두려움을 높이고 실패를 회피하기 위하여 변명과 상황을 만들며, 성과를 만들어 내야 된다는 불안을 높인다.

뜻하지 않은 실패의 경우 그 원인을 분석하여 학습의 기회로 삼는 것은 중요한 학습 전략이 될 수 있다. 하지만 그 전에 실패하지 않는 전략을 학습하는 것 역시 중요하다. 이 연구는 학생들의 자기주도탐구에서 성공적이지 못한 결과를 만들어 내는 학생들의 어려움을 분석하여, 사전에 그들의 어려움을 방지해 줄 수 있는 전략을 탐색하고자 진행되었다. Kirschner *et al.*(2006)는 최소한의 교사 안내가 제공된 열린 형태의 탐구학습은 성공적이지 않았다고 강조하면서 개방형 탐구의 한계를 보여주었다. 그들이 제시한 해결책은 개방형 탐구가 아닌 적절한 교사의 안내가 강조된 탐구가 학생들에게 효과적이라고 주장하였다. 그럼에도 불구하고 안내형 탐구 역시 학생들의 실패를 방지하고 교육의 효과를 높이는 좋은 교수 학습은 아니다. 안내형 탐구에서 학생들은 의사결정을 경험할 수 없으며, 잠재적 능력을 발

* 교신저자 : 하민수 (msha@kangwon.ac.kr)

** 이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5A8027205)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2019.39.6.707>

휘할 수 없다. 또한 책임감을 경험할 수 없으며, 자신감과 자존감을 형성할 수 없다(Schoffstall & Gaddis, 2007). 다시 말하면, 안내형 탐구는 오직 단순 탐구 기술, 단일 개념 학습 등에만 효과적이다. 더욱이 앞서 설명한 역량 중심의 과학교육, 또한 Kim *et al.*(2017)이 강조한 미래 교육 세대가 가져야 하는 역량은 안내형 탐구를 통해 형성될 수 없다. Kim *et al.*(2017)은 미래 인재상으로 과학적, 협력적, 창의적으로 탐구하는 시민을 강조하였고, 능동적 탐구자, 합리적 의사결정, 핵심역량(사고력, 표현력, 의사결정 능력, 협업 능력)을 미래 과학 인재가 가져야 하는 역량이라 하였다. 이와 같은 역량들은 안내형 탐구에서 경험할 수 없기 때문에 역량 신장이 효과적으로 될 수 없다.

이 연구의 목적은 자기주도탐구에서 나타나는 학생들의 실패의 원인과 대처 방안을 분석하면서 어떻게 하면서 최소화된 개입을 통하여 학생들의 자기주도탐구를 지원할 수 있는지 탐색하기 위하여 진행되었다. 이 연구에서는 개방형과 안내형 탐구의 딜레마를 해결하기 위하여 행동주의 경제학의 넛지 이론(nudge theory)에 주목하고자 한다. 지식 생성이라는 관점에서 과학 탐구는 주체적, 능동적, 적극적 활동이며, 그 과정에서 새로운 지식의 생성자로서 과학자의 책임감과 자존감이 형성된다(Granger *et al.*, 2012; Ketelhut, 2007). 그러므로 과학 활동과 그 활동을 계획하고 결정하는 주체가 분리되어 있는 안내형 탐구의 경우 진정한 과학적 활동이라 할 수 없다. 개방형 탐구와 안내형 탐구에 대한 딜레마의 해결책은 탐구활동 주체(학생)에게 최종적 선택을 넘겨주어, 실패하지 않는 선택의 옵션을 제공하거나 또는 실패를 사전에 탐구의 주체가 확인할 수 있도록 진단 도구를 제공하는 것이다. 이것은 넛지 이론에서 강조하는 자유주의적 개입주의로, 의사 결정자, 즉 학생은 교사의 개입을 인지하지 못한다. 과학 탐구 수업을 위한 넛지는 교사에 의하여 실패하지 않을 가능성이 높은 선택지 또는 실패를 진단할 수 있는 기회를 학생들에게 제공하고, 그들은 자신의 의지에 따라 그것을 수행하는 것이다. 예를 들어서 일반적으로 사람들은 과업을 완성하는데 걸리는 시간을 실제 소요되는 시간보다 더 적게 생각하는 계획오류에 빠질 수 있다. 그래서 이와 같은 상황을 방지하기 위하여 중간발표 기회를 주거나, 진행 상황을 점검하는 자가진단도구를 제공하여 제 시간에 과업을 마칠 수 있도록 안내하는 것이다. 이런 전략이 넛지(nudge)이다. 이와 같은 넛지 전략을 구축하기 위해서는 학생들이 어떤 요인에 의하여 실패나 어려움을 경험하는지 알아야 된다. 이와 같은 필요성으로 이 연구는 학생들이 어떤 실패를 하고 있으며, 그 어려움은 무엇인지 원인과 배경을 조사하기 위하여 진행되었다.

실패의 원인에 관한 다양한 연구 중에서 이 연구가 주목하는 것은 Harvard Business School의 Amy C. Edmondson 교수의 연구들이다. 그녀는 Harvard Business Review의 기고문인 ‘Strategies for Learning from Failure’에서 나쁜 실패와 좋은 실패를 구분하였다. 또한 이 기고문에서 예방 가능한 실패에 대해서도 강조하였다. 예측이 되는 실패는 예방할 수 있는 전략을 통해 사전에 방지하는 것이 더 합리적인 것이다. 이런 관점에서 실패에 관한 9가지의 원인을 제시하고, 그 수준을 실패를 만들어 낸 당사자를 탓할 만한 수준과 칭찬할 만한 수준으로 구분하였다. 예를 들어서 실험 절차에 대해서 충분히 교육을 받았음에도 그대로 따르지 않아서 발생하는 실패는 행위자를 탓할 수 있는 실패이다. 이와 같은 실패는 한·두 번의 경우 숙지하는 과정에서 나타나는 자연스러운 현상이거나 숙지를 강화하는 긍정적인 요

소로 인식될 수 있으나 반복적일 경우 부정적일 수 있다. 이와 반대로 창의적인 해결 방법을 고안하고 실제로 확인하였지만 긍정적인 결과를 얻지 못한 경우는 긍정적인 실패로, 반복되더라도 차후의 연구에 긍정적인 도움이 되기 때문에 좋은 실패로 규정할 수 있다. Edmondson(2011)의 실패 분류에서 나쁜 유형의 실패는 행위자가 미리 정해진 절차를 따르지 않음으로 발생하는 실패와 부주의로 인하여 정해진 절차를 벗어나서 발생하는 경우, 수행할 능력이 없음에도 불구하고 일을 진행하는 경우이다. 이와 같은 경우는 사전에 막을 수 있는 전략이 있는데 그것은 점검표이다. 또한 절차가 불완전하여 해결하기 어려운 과제, 문제 그 자체가 매우 어려워 해결할 수 없는 경우, 매우 복잡한 문제이기 때문에 실패 가능성이 높은 경우 등은 실패를 생산한 당사자를 탓하기에는 한계가 있다. 아마도 이런 문제들은 문제를 면밀하게 분석하여 전략적으로 과업을 수행할 수 있도록 교육을 제공해야 된다. 마지막으로 명확성이 높은 과제, 가설 검증이나 탐색적 조사에서는 실패라고 인식되는 것은 맞는 것이 아닌 오히려 장려해야 되는 것으로 볼 수 있다(Edmondson, 2011). 반복적으로 관찰되는 실패는 다시 재연될 가능성이 크며, 자가 진단이나 교사의 진단을 통해 예방할 가능성이 있다.

두 번째로 이 연구에서는 학생들의 실패에서 나타나는 인지편향적 속성을 확인하고자 한다. 인지편향은 생득적으로 형성되어 인간의 합리적 의사결정을 방해하는 심리적 속성으로 교육을 통해 단기간에 교정되기 매우 어렵다고 알려졌다(Ha, 2016). 실패의 원인이 인지편향적 속성에 근거한다면 교정하는 전략은 인지편향의 문헌에 근거하면 효과적일 수 있다. 예를 들어서 앞서 설명한 넛지 이론이다. 넛지 이론의 철학은 ‘자유주의적 개입주의’로서 인간의 선택의 자유를 최대한 보장하면서 그들이 실패하지 않고 긍정적인 의사결정을 할 수 있도록 은연중에 도와주는 작은 형태의 개입이다(Thaler & Sunstein, 2008). 과학적 활동은 끊임없는 의사결정 연속으로, 인간은 의사 결정 과정에서 다양한 유형의 인지편향이 의사결정에 영향을 미치고, 일부는 좋지 않은 결과를 만들 수 있다(Kahneman, 2013). 또한 인지편향은 많은 사람들이 가지고 있다고 알려져 있기 때문에 학생들의 실패에서 나타나는 원인이 인지편향과 관련되어 있다면 다른 학생들에게서도 그런 실패가 일어날 가능성이 있다고 판단할 수 있다. 그렇기 때문에 학생들의 실패에서 어떤 인지편향적 속성이 나타나는지 확인할 필요가 있다.

이상의 논의들을 바탕으로 이 연구에서는 과학 고등학교 및 과학중점 고등학교에서 과제연구의 경험이 있는 고등학교들을 대상으로 자기주도탐구 과정에서 발생하였던 실패 사례들을 수집하여 탐색적으로 분석하고자 한다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 자기주도탐구에서 나타나는 실패의 원인은 어떠한지 예측할 수 있는가?
2. 자기주도탐구에서 나타나는 실패는 어떤 인지편향과 관련성이 있는가?

II. 연구 방법

1. 연구참여자

본 연구에서는 과학 고등학교 및 과학중점 고등학교에서 과제연구

의 경험이 있는 고등학교 1-2학년 16명을 대상으로 하였다. 이 중 과학중점 고등학교 13명, 과학 고등학교의 3명이며 고등학교 1학년 8명, 2학년 8명으로 모두 남학생이고 참가자들은 8개의 다른 주제에 대한 과제연구를 진행하였다(Table 1). 연구 참여자는 목적 표집 방법을 통해 STEAM R&E 지원 사업에 참여 경험이 있거나 과학 고등학교에서 과제연구를 지도하는 교사로부터 여러 번의 시행착오 경험으로 어려움을 겪고 있는 연구 참여자를 추천 받는 방식으로 이루어졌으며, 참여 학교에 따라 전체 팀원 또는 각 팀의 대표가 참여하였다. 연구에 참여한 고등학생들은 연구 주제 선정에서부터 연구 설계, 자료 수집 및 분석, 연구 결과, 연구 보고까지 연구과제의 전 과정을 짧게는 3개월, 길게는 9개월 동안 자기 주도적으로 진행하면서 여러 차례의 시행착오를 경험하였다. 연구 참여 학생과 학부모는 연구의 목적 및 절차에 대해 사전에 설명받은 뒤, 모두 연구 참여에 동의하였다. 연구 참여자들의 정보 보호를 위하여 연구 참여자들의 이름과 소속 정보는 제시하지 않았다. 본 연구는 인간 대상 연구로서 생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받았다(KWNU-IRB-2018-05-006-002).

자기주도적인 과제연구의 경험이 있는 고등학생들이 과제연구과정에서 경험하는 어려움의 원인을 조사하기 위해서는 무엇보다도 학생들이 외부의 개입이나 영향을 거의 받지 않는 연구 환경에서 스스로 의사결정을 통해 장기간 동안 과제연구를 자기 주도적으로 수행하는 경험이 필요하다. 이에 본 연구에서는 교육과정 내에서 과제연구가 가능한 과학중점 고등학교와 과학 고등학교를 중심으로 연구 참여자들을 지목 표집으로 조사하였기 때문에 일반 고등학생으로 연구 결과를 일반화하는 데에는 한계가 있을 수 있다.

2. 자료 수집 및 분석

자료 수집은 과학교육 전문가 1인과 연구 참여자 개인과의 심층 면담을 통해 이루어졌다. 심층면담은 반구조화된 개방형 질문을 활용하여 이루어졌다. 면담은 1회에 40-60분 동안 진행되었으며, 보충해야 되는 내용이 필요할 경우 이메일, 전화 등을 통해 추가 면담을 하였다. 자료의 수집은 2018년 9월부터 2018년 10월까지 진행되었으며, 면담은 연구 참여자가 시간의 흐름에 따라 자신이 수행한 연구과제에 대한 타임라인을 작성하고 시행착오를 경험한 시점들을 표시한 후, 진행한 과제연구에 대한 간략한 소개로 시작하였다. 이때 타임라인은 연구 참여자들이 장기간 진행한 연구를 되돌아보면서 과거 자신의 연구과정에서 시행착오의 경험을 회상해 보는 기회를 제공함으로써 연구 참여자가 그 당시의 상황을 기반으로 반성적인 사고를 통해

어려움의 원인을 스스로 분석해 볼 수 있게 하였다. 그리고 본 연구자는 연구 참여자와 타임라인을 함께 보면서 해당 과제연구를 수행하는 동안 발생한 어려움의 시점들을 중심으로 그 당시의 상황과 어려움, 참가자의 심정, 팀 분위기 등을 포함한 사례와 함께 그 원인에 대한 설명을 요청하였다. 또한, 본 연구자는 면담 전후, 지도교사와의 만남을 통해 참여자들의 연구 상황과 면담 경험을 공유하였으며 참여자들의 연구계획서, 연구일지, 연구결과물(고안한 실험장치, 소논문 등)에 대한 자료를 미리 숙지하여 참여자들의 과제연구 과정을 충분히 이해하고자 하였다. 이를 통해 연구자는 참여자들과의 공감대(rapport)를 형성함으로써 상호신뢰관계를 바탕으로 단순한 면담참여가 아닌 참여자들이 본인의 과제연구 경험에 대해 스스로 이야기할 수 있도록 하였다.

질적 자료 분석을 위해 본 연구자들은 NVivo 12를 이용하여 전사된 면담 원 자료로부터 참여자들이 경험한 어려움과 실패 상황과 그 원인을 드러낼 수 있는 110개의 문단을 찾아 반복적으로 읽고 논의하면서 그 내용을 가장 잘 설명해 주는 내용이나 주제에 따라 귀납적으로 초기 의미코드를 1차로 부여하였다(Huberman & Miles, 1994). 초기 의미 코드들은 참여자들이 면담 시 사용한 용어나 표현을 사용하였으며, 초기 의미코드 중에서 유사한 아이디어를 갖는 것들로 조직화하여 통합하는 귀납적 분석 작업을 진행하였다. 이를 통해 자기 주도적 과제연구 과정에서 고등학생들이 인식하는 실패 또는 어려움의 원인으로 33개의 2차 코드를 얻었으며, 12개의 3차 코드를 얻었다. 3차 코드 중 행위자가 정해진 절차에 따라 수행하지 않은 경우, 능력 부족, 불완전한 절차, 어려운 과제의 선정, 예측 불가능한 요인은 Edmondson(2011)의 실패 원인 영역, 합리적 판단과 행동에 영향을 주는 편향과 신념이나 인간관계에 영향을 주는 편향은 실패 관련 인지편향 영역, 과제 운영의 유연성 부족, 체계적이지 않은 시스템, 제한된 연구 시설은 환경적 요인 영역 그리고 관계에서 오는 정서요인과 과제수행에서 오는 정서요인은 정서적 요인 영역으로 범주화 하였다(Table 2. 참조). 이 중에서 Edmondson(2011)의 실패 원인 영역과 실패 관련 인지편향 영역에 대해 논의하고자 한다. 각 코딩 단계에서 분류된 영역에 해당하는 전사 문단을 반복적으로 읽으면서 연구 참여자 간 실패의 원인을 어떻게 인식하고 있는지에 초점을 맞추어 비교·분석하는 과정을 거쳤다. 본 연구 결과 분석의 타당성을 높이기 위해 자료 분석 과정에서 본 연구의 저자들인 과학교육 전문가 4인과 지속적인 논의의 과정을 거쳤으며, 해석의 정확성을 높이고자 다양한 자료원(연구계획서, 담당교사와의 면담자료, 연구일지 등)을 다각적으로 살펴보면서 분석하였다(Lincoln & Guba, 1994).

Table 1. Research participants

팀	연구 참여자	팀 주제
가	A1, A2, A3, A4, A5	미세먼지 마스크 최적화 연구
나	B6, B7, B8	유기 폐기물을 이용한 중금속 제거 방안에 관한 연구
다	C9	농도, 탁도, 도수의 변화에 따른 빛의 굴절변화에 대하여
라	C10	여러 표면에서 실린더 물체의 병진속도와 회전속도의 비에 따른 진행방향 변화에 대한 연구
마	C11	수생식물이 용액의 pH에 미치는 영향
바	C12	3D프린트를 활용한 드론의 충격흡수 구조물 제작
사	D13, D14, D15	장애인 점자블록의 마찰계수 증가를 통한 미끄러움 개선
아	D16	미세먼지 필터 구조탐구를 통한 효율적인 필터 검증 방법에 관한 연구

Table 2. 자기주도적 과제연구 과정에서 고등학생들이 인식하는 어려움의 원인

2차 코드	3차 코드	영역
예상 밖의 결과에도 그대로 진행(3)	행위자가 정해진 절차에 따라 수행하지 않은 경우(3)	
연구대상에 대한 이해 부족(6) 과학관련 선행지식 부족(5) 새로운 Tool 사용에 대한 미숙함(5) 연구주제선정에 대한 경험 부족(4) 자료 검색 경험의 미숙함(2) 연구주제에 대한 수행가능성 인지 부족(3) 선행연구 분석의 미숙함(3) 전달력 부족(3)	능력 부족(31)	Edmondson의 실패요인(55)
충분치 못한 연구시간(4)	불완전한 절차(4)	
실현불가능한 연구주제선정(7)	어려운 과제의 선정(7)	
기기고장으로 인한 연구지연(5) 예상치 못한 실험 오차(5)	예측 불가능한 요인(10)	
연구기간과 연구역량을 고려하지 않은 무리한 계획(9) 성공할 수 있을 거라는 당연한 확신(3) 원하는 자료만 수집하려는 경향(2) 예산 부족 탓으로 연구결과 해석(2) 학습한 새로운 툴을 사용하기 위해 포기하지 않고 방법 고민(1)	합리적 판단과 행동에 영향을 주는 편향(17)	실패 관련 인지편향(21)
지도교사와 전문가의 의견에 대한 무조건적 수용(3) 그들의 과잉확신에 대한 의심에도 수용(1)	신념이나 인간관계에 영향을 주는 편향(4)	
과제연구 참여인원 제한(2) 교사 및 전문가의 외부 개입으로 인한 주제변경(3) 일괄적인 연구 일정(3)	과제 운영의 유연성 부족(8)	
단계적 과제 선정 시스템 부족(1) 충분치 못한 연구과제 지원기간(1) 복잡한 예산 처리과정(2)	체계적이지 않은 시스템(4)	환경적 요인(22)
변인통제가 어려운 연구 환경(8) 교내 연구 전용 공간의 부족(2)	제한된 연구 시설(10)	
다른 팀의 상대적 연구진도 차이에서 오는 자괴감(3) 가족 및 주변 만류로 인한 의욕상실(1) 팀원 간의 협력 부족인한 답답함(4)	관계에서 오는 정서요인(8)	정서적 요인(12)
리더로써 연구지연에 대한 책임감(3) 연구기간 내에 결과값을 얻어야 하는 압박감(1)	과제수행에서 오는 정서요인(4)	

*()는 1차 코드 중 해당하는 수

III. 연구 결과 및 논의

1. Edmondson(2011)의 실패 원인 분석

Edmondson(2011)의 실패 원인 영역을 살펴보면, 행위자가 정해진 절차에 따라 수행하지 않은 경우인 ‘예상 밖의 결과에도 그대로 진행’한 경우를 제외하고 대부분 능력 부족(연구대상에 대한 이해 부족, 과학관련 선행지식 부족, 새로운 Tool 사용에 대한 미숙함, 연구주제 선정에 대한 경험 부족, 연구주제에 대한 수행가능성 인지 부족, 자료 검색 경험의 미숙함), 불완전한 절차(충분하지 않은 연구시간), 어려운 과제의 선정(실현 불가능한 연구주제선정)으로 나타났다.

과제연구에서 고등학생들은 실험 수행과정에서 예상 밖의 결과를 얻었을 때 그것을 인지하였음에도 불구하고 무시하고 그대로 진행했던 경험이 있다. 이러한 예상 밖의 결과의 경우는 학생들이 연구 초기에 연구 방법에 대한 지식을 충분히 학습하지 않은 상태에서 단순히 연구 방법을 따라하는 수준으로 진행하다보니 예상과 다른 결과나 예상하지 못한 결과를 얻었을 때 연구방법의 문제점을 찾아내지 못하

는 상황에 놓이게 된 것으로 보인다. 예를 들어 학생 C9의 경우, 막걸리의 탁도에 따른 농도변화를 확인하기 위한 방법으로 레이저를 이용한 굴절 및 전반사를 측정하였다. 하지만 연구를 수행하는 당시, 굴절 및 전반사에 대한 이해가 부족한 상태에서 실험을 진행하다 보니 실험 결과에 대한 잘못된 해석을 하고 있으며 예상 밖의 결과에 ‘이 실험은 안 되는 건가?’라며 실패의 원인을 찾지 못하였다.

이제 실험 방법을 설정을 할 때 저희가 그냥 탁도(상태를 설정하기 위해) 그냥 증류수에 백토를 사용했거든요. 근데 이 백토를 넣어서 (공기에서 백토를 넣은 증류수로) 굴절을 시켜보니까 일반 레이저로는 이게 또 굴절이 안 일어나더라고요...(중략)...그 당시에는 그런 물리에 대해서 자세히 배운 것은 아니었기 때문에 전반사가 일어났을 때 ‘이게 왜 전반사가 일어났지?’라는 생각을 잘 하지 못 했던 거 같아요, 그래서 저희는 그냥 공기에 놓고 빔을 쬐을 때 ‘왜 왜 전반사가 일어나지?’ 이 실험은 안 되는 건가? 그런데 저는 솔직히 말하자면 실패의 원인은 아직도 잘 모르겠어요. (C9, 80-81)

즉, 학생 C9은 굴절률이 큰 매질에서 굴절률이 작은 매질로 빛이 진행할 때, 입사각이 임계각보다 클 경우, 굴절이 일어나지 않고 반사만 일어나는 전반사현상에 대해 충분히 이해하지 못하고 실제 실험에

서 굴절률이 작은 공기에서 굴절률이 큰 백토를 넣은 증류수를 향해 빛을 진행시켰고 이때 백토를 넣은 증류수의 탁도가 커서 빛이 진행하는 경로가 관찰되지 않은 결과를 얻었다. 학생들은 탁도가 높은 백토를 넣은 증류수에서 굴절현상을 관찰할 수 없게 되자 관찰되지 않는 이유를 고민해 보는 것이 아니라 관찰되지 않았기 때문에 굴절 현상이 일어나지 않았고 이는 전반사가 일어난 결과로 실험결과를 끼워맞추기식으로 해석하였다. 이처럼 예상하지 못한 결과가 발생하고, 그것이 일반적이지 않은 사안이라는 것이 판단되었을 때에는 동료들과 함께 면밀하게 원인을 분석하거나 교사나 지도 교수들에게 질문을 구하는 것이 정상적인 절차임에도 임시변통으로 문제를 해결하는 것이다.

두 번째는 대부분 학생들의 능력 부족에 따른 것이다. 연구대상에 대한 이해 부족, 과학관련 선행지식 부족, 새로운 Tool 사용에 대한 미숙함, 연구주제 선정에 대한 경험 부족, 연구주제에 대한 수행가능성 인지 부족, 자료 검색 경험의 미숙함이 확인되었다.

학생들은 관심을 가지는 연구 문제에 대한 면밀한 검토 없이 연구 주제로 설정하여 차후에 연구를 진행하면서 어려움들을 겪게 된다. 예를 들어서 실제 미세면지를 수집하여 미세면지를 차단할 수 있는 마스크를 연구하는 [가]팀의 학생들은 미세면지가 심각한 봄철에 연구 문제를 인식하였지만 연구가 본격적으로 시작되는 가을에는 미세면지가 심각하지 않아 연구 진행에 큰 어려움을 겪었다.

저희가 이 주제를 선정했을 때가 여름에서 가을로 넘어가는 그 정도 시기였어요. 그래서 미세면지 자체가 봄에 많고 여름에 비 내리고 많이 씻겨 나가거든요. 그래서 저희가 실질적으로 미세면지가 많이 묻어있거나, 사용 후에 마스크들을 구하는데 많은 어려움이 엄청 많았어요. 그런 점에 대해서 계절이 바뀌어서 미세면지 사용 후에 마스크를 구할 수 없는데 이것을 우리가 어떻게 해결해야 하나 그런 부분에 대해서 실패감을 느꼈었어요. (A2, 18)

이와 같이 자기주도적인 과제연구를 수행한 고등학생들은 공통적으로 과제연구와 관련한 지식 부족으로 인해 여러 차례의 어려움을 경험하였다고 응답하였다. 특히, 대부분의 학생들은 연구 주제를 선정할 때, 연구 주제와 관련한 다양한 측면에서의 지식을 고려해 보지 않고 평소 궁금한 문제에 대한 단순한 호기심에서 연구 주제를 선정하다보니 고등학교 수준에서 실제 연구를 수행하는데 어려운 주제라는 것을 교내 혹은 외부 평가에 의해 인지하게 되었다고 응답하였다. 이처럼 연구주제와 관련한 지식부족은 실현 불가능한 연구주제 선정을 하게 되고 이는 학생들에게 새로운 연구주제에 대한 재탐색으로 인한 시간 소요와 실현 가능한 연구주제를 선정할 수 있을 지에 대한 부담감을 주어 어려움을 경험하게 한다. 예를 들어, [나]팀의 학생 B6는 최종 주제선정 전에 여러 차례 주제선정에서의 어려움을 경험했다고 하였다. [나]팀의 초기 연구 주제는 수소원료를 이용한 기관 개발과 인공비를 내려 미세면지를 해소하는 것으로 평소에 궁금한 문제를 연구 주제로 잡았으나 수소원료나 기관 개발과정과 관련한 지식을 고려해 보지 않았으며 인공비의 경우에도 단순히 심각한 미세면지를 해결하기 위해 비를 내리게 하자는 것이었지만 인공비를 만들기 위한 조건이나 기술 등 기본적인 정보나 지식에 대해 고려하지 않고 주제를 선정하였다고 하였다. 이후, 지도교사와의 면담을 통해 이러한 주제들이 현 기술로도 쉽지 않은 불가능한 주제라는 의견을

듣고 다시 연구주제를 선정해야 한다는 점에서 어려움이 있었다고 응답하였다.

연구주제가 진짜 많이 나왔거든요? 진짜 많이 나왔는데 사실 퇴짜 맞은 게 되게 많아요. (중략) 이거 수소원료로.. 수소자동차라는 게 있잖아요. 그래서 '수소원료로 저희가 무슨 기관을 만들어보면 좋겠다.'라고해서 했는데, 이거는 선생님께서 너무 학교에서는 이렇게 (연구 진행)할 수 있는 장치도 부족한 것 같고, 너무 광대한 것 같다고 해서 안 될 거 같고 인공비를 내려서 미세면지를 없애자고 했는데 이것도 너무 스케일이 크다고... 그렇게 해서... 절대 불가능할 것 같다고 해서... (B6, 62)

학생 B6의 경우와 마찬가지로 주제선정의 초기단계에서 실현 불가능한 연구주제 선정을 하는 경우가 대부분이었으며, 이러한 어려움은 학생들이 선정한 연구주제에 대한 막연한 확신을 가지고 있거나 연구 기간이나 개인 및 팀의 연구 역량을 고려하지 않고 무리하게 연구 계획을 설정한 경우, 연구대상에 대한 이해의 부족이 그 원인이 되는 것을 확인할 수 있다. 실제로 좋은 연구 주제를 선정하는 것에 대한 학생들의 경험 부족은 여러 면담에서 확인되었다. 대부분 연구 대상에 대한 명확한 이해나 연구 주제를 어떻게 효율적으로 찾아야 하는지에 대한 경험부족이 주된 원인으로 이해된다. 특히 대부분 일상생활에서 불편한 점들을 근거로 연구 문제를 설정하는 경우가 많은데, 연구자들의 연구 역량이나 연구 환경에 대한 면밀한 고려보다는 유행하는 주제, 이슈가 많은 주제를 중심으로 연구를 계획할 경우 어려움이 많이 나타난다(A1, A5).

주제 선정을 크게 연구라고 생각하고 주제 선정을 한 게 아니고 일단 실생활에서 불편한 점이나 이렇게 생겼으면 좋겠다는 정도, 예를 들면 우리가 타임머신이 생겼으면 좋겠다고 생각을 하잖아요. 그런 생각처럼 이런 마스크가 생겼으면 좋겠다 하고 이제 이걸 연구 주제로 덜컥 해버렸던 거에서 처음에 일단 문제가 있었고 (A1, 10)

그때 당시에 아마 미세면지가 엄청 핫이슈였었어요. 그래 가지고 제가 아, 이거 미세면지에 대해 하는 거 좋겠다고 그랬더니 애들이 다 그 의견 찬성을 해주더라고요. 그래서 제가 소개했던 의견이 색깔이 바뀌는 마스크를 해보고 싶다고 애들이랑 해보고 싶다고 하니까 친구들이 다 이게 실험만 된다면 좋을 것 같다고 하고 선생님도 만약에 이게 진짜 OO가 말하는 지시약 같은 거를 찾아가고 된다면 좋을 것 같다고 해서 가지고 그렇게 해서 시작을 하게 됐는데... 거창한 생각만 하고 있었지. 실은 속은 텅 비어 있었던 거 같아요, 저희가. 그래 가지고 조금... 제가 시작하자고 했는데... 제가 시작하자고 한 이슈가 실패로 끝나게 되는 거니까 (A5, 33)

고등학생들은 기존 교육과정에서 다루지 않았던 연구주제를 선정하면 새로운 과학기구나 장비 등을 활용한 연구 방법을 도입하는 경우가 많다. 하지만 평소에 새로운 과학기구를 사용한 경험이 없는 학생들은 과학기구의 구조 및 작동방법을 익히는데 시간이 소요되고 이 기구에 문제가 발생하였을 때도 이를 해결하는 데 어려움이 발생하여 결과적으로 연구를 수행하는 데 어려움을 경험하였다. [사]팀의 학생 D13의 경우, 점자블록을 구상하고 제작하는데 App으로 연결하여 3D프린터로 출력하려고 하였지만 새로운 Tool인 App과 3D프린터의 작동방법에 미숙함으로 발생한 잦은 문제점을 고치는데 시간이 걸렸다고 하였다.

그 점자블록 구상해보면서 약간 시행착오가 많았던 거? 저희가 App을 통해 위탁을 해서 3D프린터를 뽑는 활동을 했는데 그때 App을 어떻게 다루는지 정확히 몰라서 시간도 많이 걸리고 이게 떠있으면 안되는데 잘 모르다보니깐 단축키나 그런 부분에서 계속 Miss가 나서 고치는데 시간도 오래 걸렸던 것 같아요. 그러니까 저희가 이거를 3D프린터로 직접 뽑겠다고 했는데 3D프린터에 관한 사용방법이나 그 App 같은 거? 3D프린터를 만들기 위한 시스템, 그 App을 사용해야 하는 데에 미숙함이 있어서... 저희가 머릿속으로 구상하는 게 있어도 실질적으로 만들기가 힘들었고...(D13, 40)

학생 D13은 연구 초반에 3D프린터로 직접 디자인한 점자블록을 출력하는 방법을 계획했지만 이전에 3D프린터를 다루어본 경험이 없었기 때문에 사용방법 및 시스템에 대해 새로 학습이 필요했으며 작동의 미숙함으로 이를 해결하는 데 여러 차례 어려움이 있었다고 하였다. 또한, 새로운 App 사용 미숙으로 인하여 자신들이 원하는 디자인의 점자블록을 구현하는 것이 힘들었다고 하였다. [사]팀은 점자블록을 직접 디자인하여 각각의 마찰계수를 측정하고 비교하는 실험을 하는 것이었지만, 3D프린터와 App을 활용하여 점자블록을 제작하는데 연구 수행의 대부분 시간을 소요하였다. 학생 A1의 경우도, 이번 과제연구를 통해 3D프린터를 처음 접하고 사용방법을 숙지하는데 시간과 노력을 들여 마스크 디자인을 하였지만 3D 프린터의 필라멘트 소재가 마스크로 활용할 수 없다는 것을 추후에 알게 되면서 어려움을 겪었다고 하였다.

제가 최대한 효율적인 마스크 디자인을 하는 것은 성공을 했는데, 이제 3D 프린터를 이용해서 디자인을 해서 이제 최종으로 뽑아야 하는 데...3D 프린터에는 필라멘트라는, 재질이 여러 가지가 있는데, 일단 저희 학교에 있는 프린터로는 마스크로 사용할 수 있는 그런 필라멘트가 없어서 일단 이거를 어떻게 뽑아야 하는 고민이 있었어요. (A1, 7)

Edmondson(2011)는 실패의 원인을 9가지로 분류하면서 긍정적인 실패와 부정적인 실패에 대하여 논의하였다. 부정적인 실패는 새로운 경험적 지식을 생성하는데 큰 기여를 하지 못하며 예측이 되었음에도 불구하고 정해진 절차를 따르지 않거나 부주의 등으로 발생하는 것들이다. 특히 Edmondson(2011)의 연구에서 눈여겨보아야 하는 것은 실패의 원인을 방지하는 대상이 누구인 것이다. 정해진 절차를 따르지 않거나 부주의하여 발생하는 것은 행위자의 문제이다. 하지만 행위자의 능력 부족, 불완전하게 계획된 절차, 어려운 과제, 복잡한 절차 등은 관리인의 책임 소재가 더 크다고 보았다. 업무 환경에서 관리인(supervisor)은 경험이 많은 사람들이며, 역할은 업무를 실제 수행하는 노동자의 능력에 맞는 과업을 제시하고, 업무의 절차를 계획하여 훈련시키는 것이다. 경험이 적은 노동자는 주어진 과업을 수행할 수는 있으나 새로운 과업이 자신의 능력에 맞는지, 절차가 적절히 계획되었는지 판단할 수 있는 능력이 부족하기 때문에 관리인의 지도를 받으면서 일을 수행한다. 그리고 점차 훈련이 되면 그들도 관리인과 같은 수준의 의사결정 능력을 가지게 되면 자기주도적 업무를 수행할 수 있을 것이다. 과제 탐구에서 실제 업무 수행자가 학생이라면 관리인은 교사이다. 교사는 다양한 경험적 지식을 통해서 학생들의 능력에 맞는 과제를 제시해주고, 거기에 맞는 절차들을 계획해 줄 필요가 있다. 하지만 기업 환경과 학교에서의 과제연구의 차이점은 후자는 원칙적으로 교사는 조력자이며, 학생이 기획과 운영을 모두 해야 하

며, 또한 그런 상황일 때 교육적 의미가 생긴다는 것이다.

2. 과제 연구에서의 어려움과 인지편향

다양한 면담과정에서 몇 가지 의미 있는 인지편향들이 확인되었다. 앞서 논의한 바와 같이 연구 문제를 해결할 수 있는 역량을 갖추었을 것이라 믿는 과잉확신편향(Ha, 2016)과 더닝-크루거 효과(Dunning-Kruger effect, Schläpfer *et al.*, 2013), 정해진 시간에 비하여 더 많은 시간이 소요되는 계획 오류(Buehler *et al.*, 1994)가 주된 인지편향이다. 과잉확신편향은 자신이 수행할 수 없는 일임에도 불구하고 수행할 수 있을 것이라 믿는 것으로 두 가지 원인에 의하여 발생한다. 하나는 자신의 능력에 대한 정확한 이해가 없는 것이고, 두 번째는 수행하는 일이 어느 정도의 역량을 요구하는지를 이해하지 못하는 것이다. 전자의 경우는 연구 주제에 대한 이해 부족, 관련된 과학 관련 선행지식 부족, 새로운 도구 사용에 대한 미숙함, 주제 선정에 관한 경험 부족, 연구주제에 대한 수행가능성에 대한 판단 부족, 정보 검색 경험의 미숙함 등에서 나타났다. 후자의 경우에는 실현 불가능한 연구주제 선정, 연구기간과 연구역량을 고려하지 않은 무리한 계획 등에 영향을 준다. 예를 들어, [가]팀의 초기 연구주제는 미세먼지의 농도에 따라 색이 변하는 마스크를 개발하여 마스크에 축적된 미세먼지 농도를 인지할 수 있다면 마스크의 교체시기를 알려줄 수 있다는 것이었다. 학생 A2는 자문단 컨설팅에 참여하여 연구에 적용가능한 지시약을 찾는 것이 어렵다는 조언을 듣고 ‘현실의 벽’을 느끼며 실패했다고 느꼈다고 하였다. 동일한 팀의 학생 A4는 여기서 사용할 수 있는 지시약이 무엇인지 알지 못한 채 찾을 수 있는 가능성을 70%로 두었지만 실제 가능한 지시약에 대한 자료를 찾는 것이 어렵고, 가능한 방법의 경우에는 복잡한 과정을 통해 미세먼지 마스크에 적용해야 한다는 사실을 직면하고 초기에 선정한 연구주제에 대한 근거 없는 확신이었다는 것을 인지하였다.

반응할 수 있는 지시약을 찾을 수 있을 거란... 네 확신. 그런 근본 없는 확신...그래도 한 70%정도 찾을 수 있지 않을까...그래가지고 찾으려고 노력해봤는데 안 나오는 거예요. 막 검색해봤는데 그래도 막 미세먼지를 지시약에 반응시키는 그런 게 자료가 있더라고요. 그런데 다 보니까 공기 중의 미세먼지는 한 번에 반응할 수 없고 무슨 과정을 거쳐가지고 미세먼지를 살짝 분리한 다음에 반응을 시키는 건데... 저는 그게 그냥 될 줄 알았어요. (A4, 28)

학생 A4는 지시약을 활용하면 물질의 산성도에 따른 색변화를 관찰할 수 있다는 것만을 인지할 뿐 미세먼지에 포함되어 있는 화학물질들과 그들의 화학적 성질을 고려하지 않았다. 즉 미세먼지의 산성도를 측정할 수 있는지에 대한 실현가능성을 판단하는데 여러 변인들을 고려하지 못하였다. 연구 문제가 실제로 매우 간단하지 않고 다양한 변인들이 영향을 미치는 복잡한 문제임에도 불구하고, 그것에 대해서 미처 인지하지 못하기 때문에 어려움에 직면하게 된다. 또한, [사]팀의 학생 D15는 팀원들뿐만 아니라 여러 미디어매체를 통해 점자블록의 불편함에 대한 많은 사람들의 경험사례를 바탕으로 초기 연구주제를 선정하였기 때문에 과학적이고 프로젝트로 진행하는데 완벽한 주제라고 여겼다고 하였다. [가]팀과 유사하게 전문가 컨설팅 과정에서 연구의 가장 핵심이라고 생각하는 마찰계수 측정이 어렵다

는 조언을 듣고 연구 진행이 어려워지자 어려움을 느꼈다고 응답하였다.

처음에 완벽한 주제라고 생각했어요. 그 주제를 선정할 때 맨 처음에 서로간의 경험을 통해서 찾다가... 뉴스를 봤는데 또 많은 사람들이 경험하고 있다고 해서 주제 선정을 했고 저는 과학적으로 괜찮다고 생각을 했고 프로젝트하기에도 괜찮다고...(자문단 컨설팅에서) 일단 메인으로 생각하던 마찰계수가 더 이상 진행하기 어렵다고 말하시니까 어떻게 보면 점자블록에서 마찰계수를 구하는 게 메인이었는데 그 메인을 억눌러 버리니까 저희가 어떻게 해야 할지...(D15, 23)

[사]팀의 학생 D13은 “주제에 대한 아이디어는 괜찮았는데 그 주제에 대해서 깊이 생각해 볼 아이디어가 부족했던 것 같아요.”라고 응답하며 학생 D15와 마찬가지로 초기 연구주제 대한 지나친 확신을 가지고 있었으며, 관련된 지식이 부족하여 더욱 엄격하게 판단하지 못하였다. 이와 같은 현상은 숙련되지 않은 사람에게서 흔하게 나타나는 더닝-크루거 효과이다. 면담 과정에서 D13과 D15는 대부분 인터넷을 통해 전문가 수준에서 ‘점자블록의 마찰계수’, ‘점자블록의 마찰계수 실험’ 등 원하는 자료만 수집하는데 관심이 있고 교육과정의 수준에서 다루고 있는 마찰계수와 관련한 과학개념이나 실험에 대한 이해가 충분하지 않은 상태에서 연구를 진행하였다고 하였다. 그리고 이러한 전문가 수준에서의 연구방법은 현실적으로 학생수준에서 진행하기 어려운 것이 대부분이었다고 하였다. 중요한 것은 이와 같은 점을 연구 수행 과정에서 인지하고 있다는 것이다.

고등학생들의 과제 연구는 모둠으로 구성되어 진행하기 때문에 집단과 관련된 인지편향도 확인이 된다. 먼저 권위에 의존하는 편향이다. 고등학생들이 경험한 과제연구의 경우, 과제연구 수행과정에서 지도교사와 전문가의 도움을 받고 다른 팀과의 교류 및 가족 및 주변인들과의 관계 속에서 이루어진다. 자신들보다 더 많은 지식을 가진 신뢰성 있는 집단에게 의지하는 것은 실패를 최소화 할 수 있는 심리적 전략일 수 있다(Mizrahi, 2018). 하지만 그 과정에서 주체성은 약해지고, 자기주도적 의사결정은 어려워지게 된다. 예를 들어, 학생 D15는 다양한 패턴에 따른 점자블록의 마찰계수를 비교하는 방법을 수행하려고 하였는데 지도교사가 마찰계수를 측정하는 것이 어렵다고 하자 학생들은 직접 실험이 아닌 인터넷 상에서 마찰계수 측정실험에 대한 조사를 시도하였지만 원하는 자료를 얻지 못하자 지도교사의 조언을 따라 마찰계수 측정을 하지 않기로 하면서 다른 연구 방법을 재탐색하는 과정에서 어려움을 경험하였다고 하였다. 이때, 학생 D15가 속한 [사]팀의 지도교사의 전공은 생물학이었고 이 교사는 학생들의 연구주제가 마찰계수 측정과 같은 물리분야라서 지도하는 데 어려움이 있었으며 마찰계수에 대한 충분한 배경지식이 부족하였다고 하였다. 그럼에도 불구하고 학생들은 지도교사의 조언에 대해 비판적으로 고려해 보지 않고 지도교사의 의견을 무조건적으로 수용하면서 어려움을 경험하였다.

일단 선생님들이 계속 (마찰계수 측정은) 안 된다고 말하셔서 저희도 마인드가 이걸 안 되겠다라고 생각하게 된 것 같은데...그래서 저희가 계속 마찰계수... 선생님들이 주제를 바꾸는 게 어떻겠냐고 하셔서...저희가 마찰계수에 대해 계속 점자블록과 마찰계수에 대한 연관성 같은 것을 인터넷 조사해보려고 했는데 그게 선생님들 말처럼 계속 진행할 수 있을 그런 게 아닌 것 같아서...저희도 선생님들 말을 따랐던 것 같아요. (D15, 24)

[사]팀은 면담 이후, 마찰계수와 측정방법에 대해 교육과정 수준에서 알아보고 마찰계수 측정이 가능하다는 것을 인지하였으며 이를 적용하여 연구를 마무리하였다. 학생 C9의 경우에도, 외부 전문가인 교수님과 매칭에 있어서 처음에 학교에서 물리분야 교수님으로 연결을 해 주셨지만 학생 C9이 속한 [다]팀이 해당 교수님과 만남에서 연구주제가 물리가 아니고 화학분야이니 관련 지인을 소개해 주었다. 이 지인은 학생들에게 자신의 연구 분야인 막걸리에 대해 연구 할 것을 제안했고 학생들은 전문가의 의견대로 주제를 변경하였다. 학생 C9의 [다]팀은 여러 차례 담당 전문가가 변경되었으며 변경될 때마다 연구 주제를 변경하였기 때문에 주제선정을 하는데 어려움이 있었다고 하였다. 이처럼 학생들은 지도교사나 외부 전문가의 개입에 대해 동등한 자신들의 의견을 제시하기 보다는 그대로 수용하는 것을 보였다.

주제선정을 하는데도 어려움이 있었을 뿐더러 그렇게 해서 선정이 된 주제들을 몇 가지 갖고 OO대학교 교수님께 말씀을 드렸더니 이게 저희가 생각한 요인이랑 실험해서 영향을 주는 요인이랑 다를 수 있다고 말씀을 하시더라고요. 그래서 그 교수님께서 평소에 알고 있는 지인분을 소개시켜 주셨는데 그 지인분이 이제 막걸리 쪽에서 이걸 한번 해 보는 게 좋겠다고 하셔서 이제 주제를 한번 선정해보기로 했어요. (C9, 77)

과제연구 과정에서 고등학생들은 개인이 아닌 최소 3인에서 최대 6인의 팀으로 운영되며, 연구주제별 팀으로 운영되기 때문에 팀원들과 협력적으로 연구 일정 및 역할을 정하여 연구 과정에서 공동으로 의사결정을 한다. 그러므로 팀원 간의 의사소통이 부족하여 팀원 간의 관계가 협력적이지 않을 경우, 과제수행에 영향을 끼쳐 어려움을 경험할 수 있다. 예를 들어, 각 팀의 리더인 학생 C9과 C10은 팀원들과 일정을 조정하는 것이 어려웠던 것을 제시하며 이로 인해 연구가 지연되고 어려움으로 이어졌다고 하였다. 학생 C9은 팀원들과 방학 때 연구 일정을 정하는 부분에서 “반 전체가 있는 특에서 제가 물어봤을 때는 아무도 대답을 안 해요. 대답을 하는 사람이 적어요.”라며 팀원들과의 의사소통이 쉽지 않고 능동적이지 않아 개별적으로 연락을 해야 하는 번거로움에 대해 언급하였다. 학생 C10 또한, 팀원들이 개별 스케줄이 많아서 일정 조율이 힘들었으며 이로 인해 일부 팀원들끼리 연구를 진행하면서 “불협화음이 많이 생겨가지고 살짝 다툼이 생길 뻔도 했지만”이라며 일부 팀원이 연구 일정을 나오지 않거나 연락이 닿지 않았을 때 힘들었다며 팀원 간의 소통이 부족하였다고 하였다.

이러한 팀원 간의 소통 부족은 과제연구 과정에서 문제가 발생하고 의사결정이 필요할 경우, 다수의 팀원들이 지지하는 의견에 대해 비판적 사고를 하지 않고 그대로 따라갔을 때 어려움을 경험하게 된다. 이때, 팀원 중 한 사람이 다른 의견을 가지고 있더라도 문제를 제기하지 않고 팀 전체가 원하는 방향으로 사고하는 것이 낫다고 인식하게 되면서 추후 발생할 수 있는 문제를 사전에 고려하지 못하여 어려움이 발생할 수 있다. 예를 들어, 5인으로 이루어진 [가]팀의 학생 A1은 팀원들과 마스크 성능 변화에 영향을 주는 요인에 대한 논의에서 미세먼지의 축적량, 압력 등이 나왔으며 팀원들은 거론된 요인들에 대해 반박이나 추가적인 고려가 없이 받아들이는 팀 분위기였다고 하였다. 하지만 학생 A1은 이 요인들이 실제 기준이 될 수 있는지에 대해 고민이 있었지만 전체 팀 분위기가 그대로 동조하는 것 같아 자신의

의견을 내놓지 않았다고 하였다. 팀 분위기를 해치지 않기 위해 자신의 생각을 드러내지 않는 현상은 집단사고(groupthink, Janis, 1972) 또는 집단 동조화 편향(group conformity bias, Volz *et al.*, 2009)의 전형적인 모습과 비슷하다.

그 마스크 성능 변화의 객관적인 기준을 찾는 데서 먼저 이렇게 다 같이 선생님이라 모여서 서로 각자 의견을 이야기해보는데, 되게 의견이 많이 나왔어요. 각자 서너 가지씩 이상은 나왔던 것 같은데, 이게 저만 그런 거일 수도 있는데, 다 같이 모였을 때 분위기 좋고 '이제 뭐가 되어 가는구나' 이런 느낌이 있긴 있었는데, 제가 생각하기엔 여기서 '실제 기준이 될 수 있는 게 있나?'하고 저는 살짝 의심이 들긴 했죠. 저는 세 가지 정도? 네 가지 정도 그런 기준을 제시를 해보면서 생각을 해봤는데, 이게 맞는 건지 아닌 건지 저도 이제 알 수가 없어서 살짝 그런 기분을 받았던 것 같아요, 전체적으로 분위기는 좋는데 저 혼자 다른 생각을 하고 있었던 건지... (A1, 9)

IV. 결론 및 제언

학생들의 과학 핵심역량을 신장시키기 위하여 국가적인 차원에서 학생 중심의 자기주도탐구를 강조하고, 다양한 지원사업을 통해 시행하고 있다(Jung *et al.*, 2012; Oh & Kim, 2011; Ryu *et al.*, 2014). 학생들은 탐구과제를 수행하는 과정에서 다양한 어려움을 경험하게 되고, 때로는 원하는 결과물을 산출하지 못하거나, 예상했던 것에 비하여 의미 없는 탐구를 수행하는 등의 다양한 실패도 경험하게 된다(Zion & Mendelovici, 2012). 뜻하지 않게 생긴 실패 경험에 대하여 반성하고 새로 도약하는 슬기로운 태도를 함양함과 함께, 사전에 실패를 방지하고 성공을 경험하는 것은 학습자의 자존감, 자신감, 진로 인식 등에 도움이 될 수 있다(Schunk, 1985). 이 연구는 Kirschner *et al.*(2006)가 강조한 개방형 탐구의 한계를 이해하고, 학생 주도형 탐구에서 최소한의 개입의 수준을 탐색하고자 하였다.

먼저 학생들의 자기주도탐구에서의 어려움과 실패 원인을 Edmondson(2011)가 제시한 9가지 수준으로 분석해 보았다. 그 결과 대부분의 실패 원인은 능력 부족, 불완전한 절차, 어려운 과제의 선정으로 나타났다. Edmondson(2011)은 위와 같은 실패의 경우 감독관(supervisor)의 능력에 따라 사전에 진단하고, 예방 가능하다고 강조하였고, 그 과정에 진단도구(체크리스트)를 소개하였다. 본 연구의 면담 자료에서도 확인할 수 있듯이 학생들은 새롭고 창의적인, 그리고 다른 친구들보다 월등한 주제를 찾기 위하여 평소 자신들이 경험하는 활동이 아닌 대부분 어려운 주제들을 생각해 낼 가능성이 크다. 학생들은 숙달되지 않았으며, 자신들의 능력과 하고자 하는 주제의 어려움을 인식하지 못할 경우도 많다. 이럴 때 학생들에게 반성적으로 자신들의 과업을 수행할 수 있는지 탐색하는 기회를 제공할 수 있다. 교사는 학생들에게 자신의 능력과 과제의 수준을 점검할 수 있는 진단도구를 제공할 수 있다. 동료평가도 활용될 수 있을 것이다(Xie *et al.*, 2008). 다른 친구들에게 자신의 주제에 대하여 목적과 구체적인 진행 절차에 대해서 발표하는 과정에서 문제점들을 발견할 수 있다. 또한 탐구 주제에 대한 높은 애착으로 객관적 시선을 통해 자신의 탐구주제를 판단할 수 없는 것과 달리 다른 친구들은 탐구주제를 객관적으로 이해할 수 있을 것이다. 이와 같이 긴 준비 단계를 거치면서 '일단 실행 해보고 문제점을 발견하고 개선하는' 시행착오적인 전략

으로 자기주도탐구를 수행하는 것이 아니라 반성적 사고로 충분히 준비하여 실행에 옮기는 합리적 자기주도탐구를 강조해야 된다. 또한 이와 같은 전략이 과학자들의 일반적인 연구수행과 더 가까운 것임을 이해해야 된다.

이 과정에서 교사는 인지편향에 대해서도 충분히 이해하고 있어야 된다. 학생들에게 흔히 나타나는 과잉확신편향은 학생들이 자신의 능력으로 해결할 수 없는 주제를 선택할 가능성이 높음을 보여준다. 정해진 시간보다 더 빨리 마칠 수 있을 것이라 믿는 계획오류로 인하여 정해진 시간에 탐구를 마치지 못하는 많은 경우들을 설명해준다. 자신에게 주어진 시간을 충분히 고려하여 일정을 계획하는 것은 중요한 역량임은 분명하다. 전체 팀 분위기를 위하여 자신의 의견을 내놓지 않는 집단사고(groupthink) 또는 집단 동조화 편향(group conformity bias)도 흔한 인지편향이다. 교사가 인지편향에 대한 이해를 충분히 해야 되는 것은 인지편향은 쉽게 극복이 되지 않는다는 점이다. 인지편향에 의하여 영향을 받을 수 있는 요소들은 사전에 방지할 수 있도록 개입을 통한 넛지 전략을 통해 해결할 수 있다. 과잉확신편향을 방지하기 위해서는 앞서 논의한 반성적 활동(발표회, 동료평가 등)을 자주 수행하고, 계획오류를 줄이기 위해서는 중간 점검 날짜를 제공하거나 최종본 제출일을 실제 제출일에 비하여 빠르게 할 수도 있다. 집단사고를 방지하기 위해서는 비판적 활동에 대하여 긍정적인 분위기를 주거나 또는 교사가 개별적으로 팀원의 문제점을 듣고 종합하여 해결책을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구자들은 고등학생들의 과학 R&E를 지도하고, 최종발표회에서 평가하는 경험을 하면서 학생들의 다양한 실패 사례를 이 연구 이전에도 많이 경험하였다. 어떤 학생들은 최종 결과물 발표회에서 자신들의 프로젝트명과 전혀 다른 연구결과물을 발표하면서 왜 처음 제한한 연구가 실패했는지를 설명하는데 대부분의 시간을 할애하기도 하였다. 당시 학생들은 매우 의기소침했었다. 어떤 학생들은 재료 구입이 쉽지 않았음을 강조하는 다양한 증빙자료를 최종 발표 자료에 포함시키기도 하였다. 학생들이 실패를 통해 문제를 인식하여 전략을 개선하는 시행착오적 전략도 혹은 긍정적인 것이라 강조할 수 있다. 실패를 두려워하지 말고 일단 해본 뒤 결과를 보고 다시 새로운 전략을 수립하는 시행착오적 전략은 때로는 효과적일 수 있으며, 가끔은 생각지 못한 창의적인 문제해결을 해낼 수 있다. 하지만 사전에 충분히 예측되는 문제들에 대해서도 인식하지 않고 반복적인 시행착오는 상당히 큰 시간과 노력의 낭비이다. 무엇보다 이 연구를 통해 확인한 것은 교육학자들이 학생들에게 실행 역량과 함께 준비하는 역량을 키워줄 필요가 있다는 점이다. 학생들이 자기주도 탐구에서 논리적, 반성적, 합리적 문제해결 역량을 발휘하여 실패와 시행착오의 단계를 최대한 줄이는 충분한 준비를 할 수 있도록 해주는 교육 전략의 개발이 필요하다.

국문요약

학생들의 과학핵심역량을 신장시키기 위하여 학생 중심의 자기주도탐구는 중요한 교수학습법이다. 학생들은 탐구과제를 수행하는 과정에서 다양한 어려움을 경험하게 되고, 때로는 원하는 결과물을 산출하지 못하거나, 예상했던 것에 비하여 의미 없는 탐구를 수행하는 등의 실패를 경험하게 된다. 이 연구는 학생들의 자기주도적 과학탐

구에서의 어려움과 실패 원인을 확인하기 위해 진행되었다. 이 연구는 과학고등학교 및 과학중점 고등학교에서 과제연구의 경험이 있는 고등학생 16명을 대상으로 하였다. 자료 수집은 반구조화된 개방형 질문을 중심으로 한 심층면담으로 이루어졌다. 질적 자료 분석은 면담 원자료로부터 참여자들이 경험한 어려움과 실패 상황과 그 원인이 드러낼 수 있는 문단을 찾아 귀납적으로 분석하였다. 연구 결과 대부분의 실패 원인은 능력 부족, 불완전한 절차, 어려운 과제의 선정으로 나타났다. 학생들의 과잉확신, 계획오류, 집단사고 등 다양한 인지편향도 원인으로 분석되었다. 연구 결과들을 토대로 학생들이 자기주도 탐구에서 논리적, 반성적, 합리적 문제해결 역량을 발휘하여 실패와 시행착오의 단계를 최대한 줄이도록 충분한 준비를 할 수 있도록 해주는 교육 전략의 개발이 필요하다.

주제어 : 과제연구(R&E), 과학탐구, 자기주도탐구, 핵심역량, 인지편향

References

- Buehler, R., Griffin, D., & Ross, M. (1994). Exploring the "planning fallacy": Why people underestimate their task completion times. *Journal of Personality and Social Psychology*, 67(3), 366-381.
- Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543.
- Edmondson, A. C. (2011). Strategies for learning from failure. *Harvard Business Review*, 89(4), 48-55.
- Granger, E. M., Bevis, T. H., Saka, Y., Southerland, S. A., Sampson, V., & Tate, R. L. (2012). The efficacy of student-centered instruction in supporting science learning. *Science*, 338(6103), 105-108.
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 105-117). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Ha, M. (2016). Exploring cognitive biases limiting rational problem solving and debiasing methods using science education. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 36(6), 935-946.
- Huberman, A. M., & Miles, M. B. (1994). Data management and analysis methods. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *Handbook of qualitative research* (pp. 428-444). Thousand Oaks, CA, US: Sage Publications, Inc.
- Janis, I. L. (1972). *Victims of groupthink: A psychological study of foreign-policy decisions and fiascoes*. Boston: Houghton-Mifflin.
- Jung, H. C., Ryuk, C. R., & Chae, Y. J. (2012). Research and education (R&E) programs in the science high schools and gifted high schools: based on the interview results with the R&E coordinators. *Journal of Gifted/Talented Education*, 22(2), 243-264.
- Kahneman, D. (2013). *Thinking, fast and slow*. NY: Farrar, Straus and Giroux.
- Ketelhut, D. J. (2007). The impact of student self-efficacy on scientific inquiry skills: An exploratory investigation in River City, a multi-user virtual environment. *Journal of science education and technology*, 16(1), 99-111.
- Kim, H., Kang, N., Kim, M., Maeng, S., Park, J., Baek, Y., Son, J. W., Shim, K., Oh, P. S., Lee, G., Lee, B., Joung, Y., Han, I. (2017). *Basic research for next generation science education standards*. Seoul: KOFAC.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational psychologist*, 41(2), 75-86.
- Ministry of Education (2015). *2015 revised Science National Curriculum*. Ministry of Education.
- Mizrahi, M. (2018). Arguments from expert opinion and persistent bias. *Argumentation*, 32(2), 175-195.
- Oh, H. R., & Kim, H. B. (2011). A study on the extra curricula science-related hands-on experience programs implemented in science-focused high schools. *School Science Journal*, 5(2), 73-83.
- Ryu, S. C., Yoon, J., & Lee Y. O. (2014). A case study on curriculum management of science core high schools. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 14, 305-328.
- Schlösser, T., Dunning, D., Johnson, K. L., & Kruger, J. (2013). How unaware are the unskilled? Empirical tests of the "signal extraction" counterexplanation for the Dunning-Kruger effect in self-evaluation of performance. *Journal of Economic Psychology*, 39, 85-100.
- Schoffstall, A. M., & Gaddis, B. A. (2007). Incorporating guided-inquiry learning into the organic chemistry laboratory. *Journal of Chemical Education*, 84(5), 848.
- Schunk, D. H. (1985). Self-efficacy and classroom learning. *Psychology in the Schools*, 22(2), 208-223.
- Thaler, R. & Sunstein, C. (2008). *Nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness*. London: Penguin Books.
- Volz, K. G., Kessler, T., & von Cramon, D. Y. (2009). In-group as part of the self: In-group favoritism is mediated by medial prefrontal cortex activation. *Social neuroscience*, 4(3), 244-260.
- Winch, G. (2013). *Emotional first aid: Healing rejection, guilt, failure and other everyday hurts*. NY: Hudson Street Press.
- Xie, Y., Ke, F., & Sharma, P. (2008). The effect of peer feedback for blogging on college students' reflective learning processes. *The Internet and Higher Education*, 11(1), 18-25.
- Zion, M., & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *Science Education International*, 23(4), 383-399.

저자 정보

김가형(이화여자대학교 강사)

하민수(강원대학교 교수)