



19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 방법의 한계와 희망

오필석*
경인교육대학교

The Limitations and Hopes of the Laboratory Method as the Epistemology of School Science in the 19th Century

Phil Seok Oh*
Gyeongin National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 August 2023

Received in revised form

12 August 2023

Accepted 27 September 2023

Keywords:

the history of science education,
laboratory method,
the epistemology of school
science, science instruction

ABSTRACT

Through a review of the literature relevant to the history of science education, this study explored the limitations and hopes of the laboratory method as the epistemology of school science in the 19th century. The laboratory method was introduced into the school curriculum based on the inductive method of science as an ideal of the Scientific Revolution. The method emphasized direct contact with natural phenomena and aimed at mental discipline and moral uplift of students learning science in school. However, the laboratory method had the same epistemological limitations as the traditional philosophy of science, which were also found to be problematic in the context of school science education. Nevertheless, the laboratory method has significant implications for contemporary school science education in the sense that it emphasized direct encounters with natural phenomena as the primary means of understanding through scientific inquiry and that it sought the moral uplift of students through engagement in scientific practices for understanding phenomena. In particular, it is necessary to reflect on the hopes associated with the laboratory method as we prepare to implement the new science curriculum in schools in Korea.

1. 서언

과학 지식의 가치에 관해서는 논쟁의 여지가 있지만, 학생들이 과학 지식을 얻게 하는 것이 과학 교육의 중요한 목표 중의 하나라는 것을 부정할 수는 없다. 따라서 학교 과학의 바탕에는, 때로는 명시적으로 때로는 암묵적으로, 과학 지식에 관한 인식론적인 입장이 전제되어 있기 마련이며, 이를 ‘학교 과학의 인식론(the epistemology of school science or school science epistemology)’이라 부를 수 있다(Rudolph, 2003, 2005). 대체로 말하여, 인식론은 지식의 영역, 방법, 목적 등 지식 획득과 관련된 다양한 쟁점들을 다루는 철학의 한 분야라고 할 수 있다(Thompson *et al.*, 2000). 마찬가지로, 학교 과학의 인식론은 학생들이 과학 교실에서 어떤 방법을 통해 과학 지식을 얻게 되고 그 과정과 결과를 통해 어떤 목표를 이루게 되는가 하는 질문들에 대한 답변을 포함하고 있다. 예컨대, 과학 지식은 자연 세계를 이해하기 위하여 과학자들이 창안해 낸 것이며 학생들도 스스로 지식을 구성하는 경험을 통해 과학 배워야 한다는 구성주의적인 입장은 비교적 오랫동안 학교 과학의 인식론으로 역할을 하고 있다.

그런데 학교와 과학 교실은 하나의 문화적 공동체로서, 학교 과학은 과학의 인식론의 영향을 받으면서도 나름의 특징적인 인식론을 형성하고 있다(Östman & Wickman, 2014; Russ, 2014). 이 점에서 과학 교실에 고유한 인식론을 밝히고자 하였던 Oh & Ahn(2013, 2015)과 Maeng(2018)의 시도는 의미가 있다고 할 수 있다. 이들은 공통적으로

과학 교실의 담화를 분석하여, 과학 수업에서 이루어지는 특징적인 담화 행위가 과학 교실 고유의 인식론을 드러낸다고 주장하였다. 하지만, 이렇듯 현재의 과학 수업의 모습을 있는 그대로 밝혀내려는 접근 외에도, 학교 과학의 인식론을 이해하는 또 다른 방법으로는 학교 과학 교육에 대한 역사적인 탐구가 있을 수 있다. 즉, 과학 교육사를 통해 학교 과학의 인식론이 어떻게 정립되었는지 살펴보고, 특정한 시기마다 학교 과학의 인식론적인 특징을 탐색하여, 오늘날의 과학 교육을 위한 시사점을 찾는 작업은 의미 있는 일이 될 것이다. 예를 들어, Beavington(2021)은 과학기술의 발달과 함께 컴퓨터나 각종 디스플레이 장치를 보면서 일하거나 여가를 즐기는 사람들이 늘어가고 있는 현대 사회의 특징을 스크린 중심(screen-based or screen-dominated)이라고 진단하였다. 그런데 과거 19세기에는 자연 학습(nature study)이나 본 논문에서 다루고자 하는 실험실 방법과 같이 학생들이 자연 현상과 직접적으로 상호작용하면서 공부하는 것을 강조하였던 시기가 있었다. 따라서 당시의 학교 과학의 인식론을 역사적으로 탐색한다면, 가상 현실, 인공 지능 등 새로운 첨단 과학기술과 정보통신기술이 중요한 화두로 등장하고 있는 현 시점에서 학교 과학 교육이 혹시 놓치고 있는 중요한 인식론적 관점을 발견하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

본 연구는 이와 같이 과학 교육의 역사에 대한 탐색을 통해 현재와 미래의 과학 교육을 위한 시사점을 발견하고자 하는 중장기적인 프로젝트의 일환으로 19세기 학교 과학의 인식론으로 여겨졌던 ‘실험실 방법(the laboratory method)’(실험실 방법이 학교 과학의 맥락에서 사

* 교신저자 : 오필석 (philoh@ginue.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2023.43.5.415>

용되는 점을 고려하여 이하에서는 실험실 수업 방법(laboratory method of instruction) 또는 실험실 수업(laboratory instruction)이라는 용어를 병행 사용)에 대해 집중적으로 고찰해 보고자 한다. 본 연구에서 역사적인 탐구의 시기를 19세기로 정한 것은 당시가 과학이 미국의 학교 교육과정에서 중요한 교과로 자리매김하기 시작한 때라는 점을 고려한 것이다. 물론 학교 과학 교육과 실험실 방법이 모두 미국에서 출발하였다고는 할 수 없다. 이와 관련하여 영국의 기계연구소운동(the mechanics' institute movement)이 학교 과학 교육의 시작으로 여겨지기도 하며(Song, 2012), 이후 본 논문에서도 잠시 언급하는 것과 같이 19세기 미국에서 실험실 방법의 도입은 유럽에서 공부하고 귀국한 학자들에 의해 주도되었으므로 미국 고유의 기원을 갖고 있다고는 말하기 어렵다. 그럼에도 불구하고 미국의 과학 교육이 과거로부터 현재까지 우리나라를 비롯한 세계 여러 나라의 과학 교육에 광범위한 영향을 미치고 있다는 사실을 고려할 때, 미국의 과학 교육사에 초점을 맞추어 특정 시기에 학교 과학 교육에 반영된 인식론을 집중적으로 고찰하는 것이 하나의 논문에서 다룰 수 있는 내용과 범위를 지나치게 확장하지 않으면서 관련 주제에 관한 역사적인 탐구를 지속하기 위해 타당하다고 판단하였다. 특히 본 연구에서는 19세기에 추창되었던 실험실 수업 방법을 비평적인 시각에서 살펴보고 그 한계를 지적하는 것과 동시에 오늘날의 학교 과학 교육을 위한 시사점을 함께 발견하고자 하였다.

이를 위하여 본 연구에서는 19세기 실험실 수업 방법을 둘러싸고 다양한 논의를 전개하였던 당대 저자들의 1차 문헌과 과학 교육사를 선행적으로 연구한 2차 문헌들을 고찰하고, 그 결과를 토대로 본고를 다음과 같이 구성하였다. 먼저 II장에서는 19세기에 실험실 수업 방법이 미국 학교 과학의 인식론으로 등장한 과정을 개략적으로 소개한다. 이어 III장에서 실험실 방법의 특징을 고찰한 후, IV장에서 실험실 방법의 인식론적 한계를 지적하고, V장에서 실험실 방법이 함의하고 있는 과학 교육의 희망을 논의한다. 마지막으로 VI 장에서는 이상의 고찰을 토대로 2022 개정 과학 교육과정의 현장 적용을 준비하고 있는 현 시기에 생각해 보아야 할 점을 결어로 제시한다.

II. 19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 방법의 등장

과학교육사가(科學教育史家)들은 학교 교육과정에서 과학이 중요한 과목으로 자리매김한 시기가 19세기 즈음이라는 것에 대부분 동의한다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 보다 구체적으로, 19세기 중반 이전까지만 하더라도 미국의 학교 교육과정은 주로 고전을 공부하는 것(classic study)에 치우쳐 있었다. 하지만 산업화의 확장에 따라 과학이 사회·경제적 발전의 수단이 되며 개인의 일상생활에도 유용한 지식을 제공한다는 믿음이 커졌고, 이에 힘입어 1880년대 중반에 이르러서는 과학이 학교 교육과정의 핵심 과목 중의 하나가 되었다. 그럼에도 불구하고 이때까지 학교의 과학 수업은 교과서 중심으로 운영되었다. 이는 고전을 공부할 때와 유사하게 교과서를 읽고 암송하는 방식을 말하는 것으로, 과학 수업 역시 언어나 역사 과목의 수업과 크게 다를 바 없는 형태로 운영되었음을 의미한다. 물론 간간히 교사의 시범 실험이 시행되기도 하였지만 교사의 강의가 과학 수업의 대부분을 이루고 있었다(American Association of the Advancement of Science [AAAS], 1881; Clarke,

1881; DeBoer, 1991; Rudolph, 2019). 즉, 교과서에 정리된 사실을 암송하거나 단순 암기해 내는 것(textbook recitation or rote memorization)이 당시 학교 수업을 통해 과학 지식을 얻는 인식 방법이었다고 할 수 있다. 특히 이러한 교과서 중심의 수업 방식이 지배적이었던 때에는 과학이 실용적인 목적에 쓰일 수 있는 유용한 정보를 제공하는(information-giving) 과목이라는 생각이 한 몫을 하였다(Rudolph & Meshoulam, 2014).

그런데 과학이 점차 전문적인 직업으로 발전하는 것과 동시에 19세기 초부터 과학적 방법에 대한 논의가 이루어졌고, 대학에 있는 과학자들을 필두로 하여 과학의 학문적인 가치에 대한 인식이 변화가 생기기 시작하였다. 특히 유럽에서 공부하고 미국으로 귀국한 학자들을 중심으로 과학의 외재적 유용성보다는 과학 자체를 위한 연구를 강조하는 개혁 움직임이 활발히 전개되었고, 이는 곧 학교 과학 교육에서 '실험실 방법'의 도입으로 가시화되었다. 당시 실험실 수업을 옹호했던 학자들은 이 방식이 관찰과 귀납적 방법에 기초하고 있기 때문에 학생들의 지적 발달에 여타 과목들과는 다른 기여를 할 수 있다고 주장하였다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 물론 이들이 관찰과 귀납적 방법을 강조한 것은 전통적인 경험주의 과학 철학의 입장에 터한 것이지만, 교육의 측면에서 이들의 주장은 학생들이 자연 현상을 직접 대면하고 그로부터 과학 지식을 이끌어 내야 한다는 뜻을 함의하고 있었다. 이와 관련하여 1881년에 출간된 미국과학진흥협회(AAAS)의 보고서는 다음과 같이 말하고 있다:

학교의 수업 방법은, 그리고 교사의 습관은 교과서 공부라는 체제 아래 견고하게 길들여져 왔다. 그 결과 ... 과학은 관찰 능력의 함양(cultivating the observing power), 탐구의 부양(stimulating inquiry), 증거를 저울질 하면서 판단하는 훈련(exercising the judgment in weighing evidence), 독창적이고 독립적인 사고 습관의 형성(forming original and independent habits of thought)을 위한 수단이 되지 못했다. ... 하지만 연구 대상에 대하여 마음을 써서 직접적으로 활동하도록 하는 것이 과학적 방법의 첫 번째 요구이다. (AAAS, 1881, p. 59)

실험실 방법은 하버드 대학 등 미국의 주요 대학들에서부터 적용되기 시작하여 차츰 대학 입학 정책의 영향을 받는 고등학교의 과학 교육에도 영향을 미쳤고, 19세기 말에 이르러서는 중등학교에까지 혁신적인 과학 교육 방법으로 도입되었다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 또한 1892년에 미국교육협회(National Education Association [NEA])의 후원에 의해 소집된 10인 위원회(The Committee of Ten)의 보고서(NEA, 1893)는 과학이 학교 교육과정의 핵심적인 과목으로 확고한 위치를 얻는 데 기여하였다. 이에 따르면 고등학교 교육과정의 1/4을 과학 과목으로 편성해야 했으며, 자연 세계에 대한 직접적인 경험, 즉 실험실 방법을 중심으로 한 과학 수업이 권고되었다. 물론 10인 위원회의 보고서가 학교 현장의 과학 교육에 미친 영향에는 미흡한 점이 있었고 구체적으로 어떻게 실험실 수업을 진행하는 것이 적절한지에 관한 논쟁도 있었다(DeBoer, 1991; Rudolph, 2005, 2019). 그럼에도 불구하고 실험실 방법은 과학뿐만 아니라 수학이나 심지어 역사, 문학 같은 과목에서도 유력한 수업 방법으로 도입하려고 할만큼 각광을 받았다(예: Myers, 1903). 다시 말해, 본 연구가 인지하는 것처럼, 실험실 방법은 19세기 미국 학교 과학의 인식론을 대표하는 수업 방법이었다고 할 수 있다.

III. 실험실 방법의 특징

실험실 방법은 근원적으로 귀납적인 과학 방법론에 토대하고 있었다. 그리고 이것이 학교 과학의 인식론으로 도입되면서 실험실 방법은 자연 현상과의 직접적인 접촉을 피하고 학생들의 정신 도야(mental discipline)와 더불어 도덕적 고양(moral uplift)을 도모하는 수업 방식으로 자리매김하게 되었다. 19세기 학교 과학 교육과 관련된 실험실 수업 방법의 이러한 특징을 세 가지 측면으로 집약하여 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 실험실 방법은 학생들이 스스로 실험을 수행하고 그로부터 현상에 관한 설명을 이끌어내는 인식 방법이라고 할 수 있다. 거듭 말하는 바와 같이, 19세기 학교 과학 수업에 관한 이 같은 접근은 귀납적 방법에 기초하고 있었다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 잘 알려진 것처럼, 당시 귀납적 방법은 과학적 방법에 관한 F. Bacon의 견해에 뿌리를 두고 있었으며, 따라서 관찰과 실험을 통한 사실 수집과 낱말의 사실들로부터 법칙이나 이론을 도출해 내는 것을 강조하였다. 이와 관련하여, Gower(1997)는 Bacon의 과학적 방법의 특징을 다음과 같이 요약한 바 있다:

어떻게 우리가 경이로운 자연들과 그들의 산물을 관찰하는 법칙들을 알 아낼 수 있을까? ... 이 방법(메이컨의 과학적 방법)의 핵심적인 특징은 그것이 귀납적이며, 실험적이고, 확실한 결론을 낳게 한다는 것이다. (p. 52)

이 같은 귀납적 과학 방법론은 일찍이 15세기부터 17세기에 걸쳐 일어난 과학 혁명의 이상(ideal)이기도 하였으며, 19세기에 이르러서는 미국 학교 과학의 인식론으로까지 자리 잡게 되었다(Speidel, 2018). 그런데 당시 귀납적 방법은 과학자들이 자연 세계에 관한 지식을 창출하는 방법이라고 인식되었을 뿐만 아니라 일상생활에서도 흔히 사용되는 사고 방법으로 여겨졌고, 이는 귀납적 방법을 바탕으로 한 실험실 방법이 학교 과학의 인식론으로서 지지를 얻는 데 한 몫을 하였다. 예컨대, Wead(1884)는 의사와 변호사의 전문적인 견해, 사람들에게 대한 우리의 모든 판단, 일상적인 삶의 문제에 대한 의견들은 대개 귀납적인 사고의 결과이며, 따라서 학생들은 학교 과학 교육을 통해 귀납적인 사고를 훈련해야 한다고 역설하였다. 또, DeBoer(1991)는 과학 저술가이자 미국과학진흥협회의 1881년 보고서 작성에 참여하였던 E. L. Youmans를 과학 수업과 학생의 지적 발달 과정에 관한 19세기 중반의 사고를 대표하는 인물 중의 하나로 꼽으면서, 그가 매일 매일의 생활에서 못 사람들이 사용하는 사고의 유형으로 귀납적 사고를 지목하였다는 점을 강조하였다(Youmans, 1867). 특히 Youmans는, 예컨대 주로 연역적 방법에 의존하는 수학과는 달리, 과학 교과만이 귀납적 사고 경험을 제공해 줄 수 있다는 믿음을 피력하였는데, 이러한 견해는 “가장 완성된 형태의 귀납 안에 있는 지적 능력(the intellect in the completest form of induction)”을 과학 교육의 “위대한 특이성(great peculiarity)”의 하나로 지목하였던 Huxley(1893, p. 126)의 입장과 맥을 같이 하는 것이었다.

이와 같이 19세기 실험실 수업은 귀납적 방법과 불가분의 관계에 있었다고 할 수 있다. 그런 까닭으로 Dewing(1908)은 실험실 방법은 사실을 가르치는 방법의 외적 표현(outward expression)이며 귀납적 방법은 결론에 도달하는 방법의 내적 표현(inner expression)이라고 하

면서 이 둘의 관계를 다음과 같이 설명하였다:

각각은 서로를 전제로 한다. 직접 경험한 관찰이 없는 신뢰할만한 귀납이 있을 수 없고, 학생들의 주의 깊은 귀납적 추론이 뒤따르지 않는다면 직접적인 관찰 또한 아주 보잘것없다. (p. 742)

둘째, 실험실 수업과 그 바탕을 이루는 귀납적 방법의 정수 중의 하나는 자연 현상과의 직접적인 접촉(direct contact)에 있었다. 이는 지식의 원천이 교과서가 아니라 자연에 있음을 천명한 것이라 할 수 있다(DeBoer, 1991, 2004). 이와 관련하여 시카고 대학의 화학 교수였던 A. Smith는 영어 번역본을 가지고 라틴어를 배우지 않듯이 과학 공부의 재료(material) 또는 텍스트(text) 자체, 즉 자연 현상과의 직접적인 조우(direct encounter)를 통해 이루어져야 한다고 지적하였다(Smith & Hall, 1902). 또, 존스 홉킨스 대학교의 물리학자이자 E. H. Hall의 지도 교수였던 Rowland(1886)는 과학 학습에서 자연과 대면하는 일의 중요성을 다음과 같이 역설하였다:

학생이 자연과 대면하도록 하라. 가장 간단한 물리 현상을 가지고 자신의 사고를 연습하도록 하라. 그런 다음, 실험실에서 자신의 의견을 시험대에 올려놓도록 하라. 그 결과는 예외 없이 겸손함이다. 왜냐하면 학생이 자연에는 애쓰고 고민해야만 발견할 수 있는 법칙들이 있다는 것을 깨닫게 될 것이기 때문이다. (p. 574)

즉, 현상을 직접적으로 경험하는 것은 자연 세계에 관한 사실을 수집하여 귀납적 방법의 토대를 마련하는 작업이라고 할 수 있다. 또, 이를 위해 실험실 수업에서는 관찰과 실험이 강조되었는데, 특히 현상을 정확히 보고 기록할 것을 요구하였다. 대표적인 예로, C. W. Eliot의 지원 하에 하버드 대학에서 물리학 강의와 입학 업무를 담당하였던 E. H. Hall은 대학 입시에 학생들의 과학 실험 경험을 반영하는 정책을 도입하였다. 그는 하버드 대학 입학 허가를 얻기 위해 필요한 물리학 실험의 목록(예: Harvard University, 1889)을 제공하고 고등학생들이 대학에 제출해야 할 실험 노트의 작성법을 안내하였다. 이에 따르면 학생들은 도구를 사용한 정밀한 측정을 통해 사실을 수집해야 하고 스스로 얻은 결과를 양적으로 꼼꼼히 기록해야 했다(Rudolph, 2019). 이와 더불어, 생물학 수업에서는 탐구 대상인 생명체를 그림으로 자세 히 묘사하는 것이 강조되기도 하였다(DeBoer, 1991; Rudolph, 2019).

이와 같이 19세기 실험실 수업 방법에서는 정확하고 사실적인 관찰을 강조하였지만, 이는 단순히 학생들이 관찰 기능을 연마하도록 의도한 것이 아니라, 관찰이 과학적인 결론에 이르게 하는 출발점이라는 당대의 인식을 반영한 것이었다. 이와 관련하여 식물학자인 Barbes(1898, p. 648)는 실험실 수업의 한 가지 목적은 “시각적 정확성(ocular accuracy)”, 다른 한 가지 목적은 “도구적 정확성(instrumental accuracy)”이며, 이 둘의 궁극적인 결과는 “논리적 정확성(logical accuracy)”이라고 주장하였다. 또, Griffin(1892)은 과학 수업의 고유한 목표는 정확한 관찰과 그렇게 하여 얻은 데이터로부터의 옳은 추론, 즉 귀납적 추론을 훈련하는 것이라고 하였다. 다시 말해, 학생들이 자연 현상을 직접 대면하여 정확하게 관찰하고 귀납적인 사고를 통해 사실과 법칙을 발견하도록 하는 것이 19세기 실험실 수업 방법의 지향점이라고 할 수 있다. 이에 대하여 Williams(1901)는 다음과 같이 주장하기도 하였다:

오늘날의 [과학 교육] 동향은 학생을 시작부터 탐구자(investigator)로 만드는 데 있다. 즉, 학생의 관찰 능력을 훈련시켜 계발하고, 스스로 사실을 찾아내며 진리를 발견하도록 하는 데 있다. 다시 말해, 단순히 다른 사람들이 생각한 것을 암기하는 대신 학생 [스스로] 생각하게 만드는 것이다. (p. 104)

결론적으로, 19세기 학교 과학 교육의 방법으로서 실험실 수업은 학생들이 자연과 직접 접촉하여 탐구하도록 함으로써 교과서로 대표되는 권위 의존적인 과학 학습에 반대하는 경향을 일깨우는 것이었다고 할 수 있다.

셋째, 19세기에 과학적 방법에 대한 관심은 새롭게 대두하는 과학이라는 전문 분야에 대한 시민들의 지지를 얻는 데에도 중요한 역할을 하였다. 특히 미국의 학자들은 과학적 방법이 시민 생활의 다양한 문제들을 해결하는 데 적용될 수 있다는 믿음 아래 과학의 실용적인 가치를 강조하였다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 하지만 일부 학자들은 과학의 가치를 학생 개인의 지적 능력을 계발하여 정신을 도야하고, 더 나아가 도덕적 교양을 성취할 수 있다는 데에서 찾고자 하였다.

한 예로, 켄터키 대학의 화학자 Howe(1892)는 ‘왜 과학을 공부해야 하는가?’라는 물음에 답하면서 과학 교육의 가장 중요한 목표는 정신의 발달(the development of the mind), 사고 능력의 계발(the development of the power of thought)이라고 하였다. 또, Youmans(1867)는 과학 교과가 학생들의 정신 도야에 기여할 수 있는 까닭을 과학 학습과 관련된 지적 능력의 범위가 다른 교과의 그것에 비해 넓다는 점에서 찾고자 하였다. 예컨대, 기억이 뇌의 기능이라면, 과학 교과는 학생들이 기억해야 할 사실뿐만 사실을 잘 기억할 수 있는 방법 또한 제공한다는 것이다. 이와 더불어 그는 감각적인 인상들(sense impressions)을 조직하는 방식을 통해 정신 발달이 이루어지는 과정과 과학 지식이 만들어지는 과정이 다르지 않다는 점을 과학 교과가 학생들의 지적 발달에 기여할 수 있는 또 다른 이유라고 지적하였다. 이러한 주장에는 감각적인 인상을 수집하고 조직하는 방식이 사실을 축적하고 그들 사이의 관계로부터 일반화된 결론을 이끌어내는 귀납적 방법과 맥을 같이 한다는 인식이 반영되어 있다는 것을 쉽게 알 수 있다(DeBoer, 1991).

더 나아가, 지질학자인 Rice(1888)는 정신 도야를 과학의 가치 중의 하나로 꼽으면서 지각적인 능력(the perceptive faculties), 비교와 분류 능력(the power of comparison and classification), 추론 능력(reasoning faculties)을 과학이 고유하게 훈련시킬 수 있는 구체적인 인지 능력으로 예시하였다. 마찬가지로, Smith는 과학의 실험실 방법은 단순히 감각을 연습하는 것이 아니라 마음의 훈련을 가능하게 한다고 하면서, 학생들이 과학을 공부해야 하는 까닭으로 아래와 같은 것들을 열거하였다(Smith & Hall, 1902, pp. 8-18):

관찰 능력
비교와 귀납에 의해 관찰 사실을 조직하는 능력
상상력의 활용과 조절 능력
자기 제거(self-elimination)에 의한 객관적인 사고
정직하고 확실한 생각과 표현

그런데 더욱 주목해 보아야 할 것은, 위에 예시된 정신 도야의 목록이 암시하는 바와 같이, 실험실 수업 방법은 학생들의 지적 능력을 함양하는 데에서 더 나아가 그들의 도덕적 교양을 이루는 데에도 기여

할 수 있다고 믿어졌다는 점이다. 즉, 실험실 방법은 학생들에게 과학 지식을 얻는 경험을 제공하고 그러한 경험을 통해 과학적 방법에 대해 이해하게 할 뿐만 아니라, 신뢰할만한 지식을 얻는 과정에 내재된 보다 본질적인 요소들을 내면화 하게 할 수 있다고 기대되었다(Rudolph, 2020). 이와 관련하여 당시의 학자들이 실험실 수업을 통해 기를 수 있다고 여겼던 도덕적 항목들의 예를 열거하자면 아래와 같다:

독립심(independence), 인내심(perseverance), 진실됨(sincerity), 진리와 모순되면 기존의 모든 생각을 기꺼이 버릴 수 있는 마음 (Spencer, 1860, pp. 79-80)

사심이 없고(unselfish), 용기 있고(courageous), 진리를 찾는 것을 존중하는(reverent) 정신 (Rice, 1888, p. 770)

공정성(fairness), 편견과 사적인 견해로부터의 해방(emancipation), 진리에 대한 지대한 사랑(supreme love) (Norton, 1902, p. 197)

Rudolph & Meshoulam(2014)에 따르면, 과학 학습과 관련된 위와 같은 도덕적 가치는 과학의 지적 가치와 함께 과학 교과가 19세기 학교 교육과정상의 주요 과목으로 편성되는 데 중요한 역할을 한 덕목들이었다. 다시 말해, 과학 교과가 추구하는 도덕적 가치는 과학을 왜 가르치고 배워야 하는가? 라는 과학 교육에 관한 근본적인 질문에 대한 하나의 답이었다고 할 수 있다. 이는 곧 당시의 학교들이 추구하였던 교양 교육(liberal education)의 이상을 성취하는 데 과학이 기여할 수 있다고 여겨졌음을 의미하며, 실험실 수업은 이러한 이상을 실현하기 위한 구체적인 방법으로 받아들여졌다고 이해할 수 있다(DeBoer, 1991; Rudolph, 2019).

IV. 실험실 방법의 인식론적 한계

지금까지 고찰한 바와 같이, 19세기 미국 학교 과학 교육에서 강조하였던 실험실 방법은 관찰과 실험을 통해 얻은 자연 현상에 관한 사실로부터 과학 지식을 도출하는 귀납적 방법을 인식론적인 토대로 하고 있었다. 이는 전통적인 경험주의 과학 철학에 터한 것으로, 실험실 수업 방법의 한계 또한 근대 과학에 대한 전통 철학적인 입장이 지니는 한계와 맥을 같이 한다고 할 수 있다. 요약컨대, 낱말의 경험적인 언명을 기초로 하는 귀납적 방법은 통계적으로 일반화된 진술 이상의 이론적이고 추상적인 주장을 창출할 수 없다는 한계가 있다. 또한 귀납적 방법의 바탕이 되는 관찰이 객관적이라는 믿음은 관찰의 이론적재성에 대한 통찰로 인해 무너지게 되었다(Chalmers, 2013). 하지만 귀납적 방법 자체의 이 같은 문제점이나 귀납에 대한 대안적인 관점 등에 대해 깊이 있게 고찰하는 것은 과학 철학이나 과학사 등 과학학 분야의 문헌들을 통해서도 가능하므로, 본고에서는 과학 교육의 맥락에서 지적된 실험실 방법의 제한점을 좀 더 자세히 살펴보기로 한다. 특히 19세기에 실험실 수업 방법을 옹호하였던 학자들 내부에서 제기되었던 비평적인 견해를 통해 당대에 이미 지적되었던 실험실 수업 방법의 인식론적인 한계를 살펴보고, 보다 바람직한 과학 실험실 수업 전략에 대한 시사점을 찾아보기로 한다.

미국교육협회의 10인 위원회에서 과학 교과의 하부 위원회를 이끌었던 Hall은 1902년에 시카고 대학의 Smith와 함께 과학 교사들을

위한 과학 교육 안내서(Smith & Hall, 1902)를 출간하였다. Smith와 Hall은 자신의 전공 분야에 맞추어 각각 화학 교육과 물리 교육에 대한 입장을 피력하였는데, 이때 Hall은 중등학교의 물리학 수업에서 실험실 방법의 구체적인 실천 전략으로 발견(discovery), 검증(verification), 그리고 탐구(inquiry)를 비교, 검토하였다. 먼저 Hall은 연역적 방법에 상응하는 검증이 학생들로 하여금 교과서에서 이미 언급된 이론을 지지하는 사실만을 찾게 하고 증거에 대한 편견을 초래할 수 있다고 지적하였다. 그러면서도 발견, 즉 귀납적인 실험 방법이 기계적이고 형식적인 방식으로 오용되는 것 또한 경계하였다. 예컨대, 물속으로 돌을 떨어뜨린 후 돌의 낙하 운동에 태양빛이 중요한 역할을 하는지 묻는 것이 그러한 예가 될 수 있다(Smith & Hall, 1902, pp. 275-276). 이와 더불어 그는 단순히 교사의 지시를 이행하는 실험이나 정확한 측정과 같은 실험 기능만을 연마하고자 하는 실험실 수업은 좋지 않다고 역설하였다(Hall, 1892, 1905; Smith & Hall, 1902).

보다 근본적으로 Hall은 귀납적 방법으로는 이론적인 수준의 과학 지식을 발견하는 것이 쉽지 않다고 함으로써 실험실 방법의 인식론적 한계를 타당하게 지적하였다:

물리학의 일반 법칙이나 관계들은 대부분 학생들이 찾아내기에는 너무 어렵다. 심지어 필요한 모든 데이터를 가지고 있는 경우에도, 유도되지 않은 깨달음, 즉 결과에 따른 법칙을 순전하게 발견하는 것은 우연이거나 우연에 가까운 영감에 의해서만 가능하다. (Smith & Hall, 1902, pp. 276-277)

더 나아가 Hall은 학교의 실험실에서는 물리학 법칙이 요구하는 이상적인 상황을 그대로 재현하기 어려운 경우가 대부분이기 때문에, 이때에는 학생들에게 법칙에 대해 미리 알려 주고 실험에서 통제하고 확인해야 할 것이 무엇인지 알게 하는 것이 법칙의 의미를 이해하게 하는 데 더 좋다고 하였다. 그는 또 학교의 과학 수업에서는 실험실 방법에만 의존하기보다 교사의 강의나 시범 실험 등 다양한 수업 방법을 결합하는 것이 효과적이라고 주장하기도 하였다. 심지어 그는 학생이 스스로 모든 것을 발견하도록 하는 것은 수업을 가르치기 위해 아이를 깊은 물속에 던져 놓는 것만큼 치명적일 수 있다고 지적하였다. 그리고 이때 아이에게 필요한 것은 물 위에 뜰 수 있는 도구라고 하여 바람직한 실험실 수업을 위한 교사의 역할을 비유적으로 설명하였다(Hall, 1892, 1905; Smith & Hall, 1902). 다시 말해, Hall은 현재 우리가 ‘안내된 탐구’라고 부르는 것과 유사한 방식의 실험실 수업을 대안으로 제시하였다고 할 수 있다(DeBoer, 1991). 그런데 이렇게 교사의 안내에 따라 실험실 수업을 진행할 경우에도 중요한 것은 학생들이 편견 없이 관찰하고 관찰 기록을 왜곡하지 않고 추론하는 태도이다:

나는 ... 학생이 편견 없이 관찰하도록 놔둘 것이다. 그런 다음 학생이 추론한 것들이, 그가 본 것으로부터 도출되었다고 하는 한, 이미 기록으로 남겨졌고 불변할 수 없는 그런 관찰 사실들과 일치해야 한다고 가르칠 것이다. (Smith & Hall, 1902, p. 278)

Hall은 위와 같이 편견 없이 관찰하고 추론하는 것이 곧 탐구의 방법이라고 주장하고, 이러한 태도가 이미 교과서에 쓰여진 실험 결과를 학생들이 스스로 예견해 보는 일과 양립할 수 없는 것은 아니라고 덧붙여 말하였다.

사실 실험실 수업을 귀납적인 방법만으로 운영하기 어렵다는 것은

실험실 방법이 도입된 초기부터 이미 여러 학자들에 의해 지적된 바 있다. 예를 들어, 실험실 방법에 기초한 물리학 교과서를 다수 출간한 Carhart와 Chute는 그들의 1892년 교과서 서문에서 다음과 같이 실험실 방법의 오류를 언급하였다:

학생들이 실험의 결과로 도달해야 할 지식 ... 이라는 금언(maxim)은 한계를 드러내고 말았다. 선수 학습이 없다면 어린 학생은 무엇을 보게 될지 알지 못하고, 실험 방법에 대해서는 전혀 무지한 채로, 조작 기능도 없이 실험에 임하게 될 것이다. 학생은 자신의 실험으로부터 결론을 이끌어내는 훈련을 받지 못했고 숙련된 탐구자가 아니므로 자신의 무지를 넘어서는 그 무엇도 거의 발견하지 못할 것이다. (Carhart & Chute, 1892, p. iii)

연이어 이들은 교사가 교과서를 적절하게 활용함으로써 실험실 수업에서 학생들이 겪을 수 있는 혼란을 줄여야 한다고 주장하였다. 또한, 물리학 교육에 관한 대규모 설문 조사를 주도하였던 Wead(1884)는 자신의 보고서에서 아래와 같이 “새로운 진리를 얻는 5가지 방법들(the ways which the mind acquires new truth)”(p. 12)을 열거하면서, 귀납적 방법이 단지 진리를 얻는 여러 가지 방법들 중 하나일 뿐이며 학교 과학 교육에서는 여러 가지 수업 전략들이 함께 사용될 수 있음을 시사해 주었다:

- (1) 현상의 관찰
- (2) 관찰된 현상으로부터 원인, 원리, 또는 법칙의 귀납
- (3) 가설 또는 이미 확립된 원리로부터의 연역
- (4) 현상을 제공하거나 연역된 것을 테스트하기 위한 실험
- (5) 정론(dogmatic statement) 또는 권위

더 나아가, 미국교육협회의 1893년 보고서에서도 “학생들이 해야 할 일이 법칙의 발견에 이르는 것이라고 말하는 것은 잘못”이라고 하면서 다양한 수업 방법을 균형 있게 활용할 것을 권고하였다:

천문학 공부는 교실 수업뿐만 아니라 관측으로 이루어져야 한다. 중등학교의 물리학과 화학은 실험실 활동, 교과서, 철저한 강의가 함께 결합되어 수행되어야 한다. (NEA, 1893, p. 118)

결론적으로 19세기 당대의 학자들 내에서도 귀납적 방법만으로는 과학 지식에 이르는 것이 어렵고, 이론적인 도움이 있어야 하며, 학생들에게는 교사의 적절한 지원과 도움이 필요하다는 인식이 있었음을 잘 알 수 있다. 이와 관련된 구체적인 전략들은 이미 과학 교육 분야에서 안내된 탐구, 스캐폴딩 등의 명칭으로 많이 다루어져 왔으며, 최근에는 과학적 실행이 지식과 능력이 통합된 총체라는 인식에 기초하여 학생 중심의 탐구에서도 과학 이론과 개념을 자원으로 활용하는 방식이 강조되고 있음에 주목할 필요가 있다(Oh, 2020, 2022). 즉, 19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 수업 방법의 한계에 관한 반성적 성찰은 시간을 넘어서 현재의 과학 교육에도 영향을 미치고 있다고 할 수 있다.

V. 실험실 방법이 함의한 과학 교육의 희망

실험실 방법은 19세기 말부터 20세기 초까지 미국 전역의 학교로 확산되었지만, 이후 소위 진보주의 교육 시기에 그 움직임이 잠잠해졌

다가 1950년대에 이르러 새로운 과학 교육 개혁 운동과 함께 탐구 (inquiry)라는 이름으로 다시 주목받기 시작하였다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 실험실 방법과 관련된 과학 철학이나 인식론적인 입장이 달라진 오늘날에도 실험실에서의 활동을 제외하고 과학 교육을 논하는 것은 어색할 정도로 실험실 방법은 학교 과학 교육의 핵심적인 요소로 인식되고 있다. 따라서 실험실 수업이 그 고유한 가치를 충분히 발휘하기 위해서는 과거의 역사를 성찰하고 오늘날의 과학 교육에 시사하는 점이 무엇인지 깊이 있게 살펴볼 필요가 있다. 이에 본 장에서는 앞서 귀납적 방법의 한계에 대한 논의로부터 얻을 수 있는 시사점에 더하여 19세기 실험실 수업 방법이 학교 과학 교육에 관하여 합의하고 있었던 가치를 두 가지 측면에서 재examine해보고자 한다.

첫째, 실험실 수업 방법은 과학자들의 실제 연구 과정을 본보기로 하여 과학을 가르치고 배우려는 최초의 시도였다고 할 수 있다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014). 그 중에서도 실험실 방법이 자연 현상과의 직접적인 접촉을 강조한 것은 이미 다른 사람들에 의해 축적된 지식에만 의존하는 것을 경계하고 자연에서 직접 지식을 얻으려는 근대 과학 혁명의 정신이 반영된 것이었다(Speidel, 2018). 이미 언급한 것처럼, 실험실 방법은 베이컨의 전통적인 과학 방법론에 바탕을 두고 있다. 이와 관련하여 Hong(2020)은 과학 실험에 관한 베이컨의 공헌을 다음과 같이 설명한다:

베이컨의 가장 중요한 업적은 실험을 ... 자연에 대한 참된 지식을 얻는 방법이라고 철학적으로 정당화한 점이다. ... 반면에 당시 권위 있던 아리스토텔레스의 철학에서는 자연의 모든 존재는 자연적인 운동을 하므로 인간이 개입하는 실험은 자연을 망친다고 보았다. ... 실험은 인공적인 상태를 만드는 게 아니라, 막고 있던 다른 요소를 치워줌으로써 자연의 본래 모습을 드러내는 작업이라는 것이다. ... 그[베이컨]에게 실험은 자연을 망치는 것이 아니라 자연이 자연적으로 운행하는 원래의 모습을 드러내는 실천이었다. (pp. 32-33)

즉, 실험은 “불규칙하고, 변화무쌍하고, 까탈스러운 ... 자연을 길들 [이고], 자연을 비틀어서 그 본 모습을 드러낼 수”(pp. 59-61) 있는 방법이며, 과학 실험실은 그러한 자연 현상과의 직접적인 접촉을 가능케 하는 공간이라는 것이다. 이와 유사한 견해는 19세기에 학교 과학 수업에서 실험실 방법의 도입을 강조하였던 여러 학자들에게서 어렵지 않게 발견할 수 있다. 예컨대, Rowland(1886)는 지식을 기억하는 것만을 가르치면 문제에 직면했을 때 사고와 판단을 권위를 찾는 데에만 사용하게 된다고 지적하고, 학교의 과학 교육의 바람직한 방법을 다음과 같이 역설하였다:

학생들이 과학을 공부하려면, 반드시 실험실로 가야하고, 자연을 직접 대면해야 한다. ... 직접적인 실험을 통해 세계에는 진리라는 것이 있다는 것과 그들의 마음은 오류를 범하기 쉽다는 것을 배워야 한다. 실험하고 또 실험하며, 문제를 해결하고 또 해결하기를 지속하여 이론만을 아는 사람 (men of theory)이 아니라 행동하는 사람(men of action)이 되어야 한다. (pp. 574-575)

이와 더불어, Wead(1884)는 실험실 방법이 권위나 선형적인 사고로부터 원리나 법칙을 수동적으로 수용하곤 하였던 아주 오래된 수업

방식을 대신한 것이라고 강조하였다. 마찬가지로, 비교적 최근에 미국에서 출간된 고등학교 물리학 교과서들을 역사적으로 고찰한 Speidel(2018)은 19세기 실험실 수업 방법이 합리적 의심(rational doubt), 실험을 통한 탐구(investigation through experiment), 독립적인 사고(thinking for oneself)와 같은 과학 혁명의 이상을 학교 과학 수업에 반영하고자 하는 시도라는 점을 밝혀내었다. 또, 일찍이 미국과학진흥협회는 독립적인 탐구(independent inquiry)를 과학적 방법의 정수로 지목하면서, 과학자들을 본래 자기-교육적이며(self-education or self-taught) 자기-의존적인(self-dependent or self-reliant) 사람들로 묘사하였다(AAAS, 1881). 실제로 과학자들은 관찰과 실험을 통해 자연 세계를 바라보고 자연 세계가 작동하는 원리를 추론하며 때로는 보다 적극적으로 개입하여 자연 세계가 스스로 드러내지 않는 현상을 창출하기도 한다(Gooding, 1990; Hacking, 1983). 다시 말해, 실험실 수업 방법은 고전을 공부할 때처럼 권위를 의심하지 않고 받아들이는 태도에 대한 일종의 반발로서, 전통적인 학습 방법을 학생들이 현상을 직접 대면하여 탐구하는 방식으로 대체하려는 과학 교육의 새로운 인식론적 움직임이었다고 할 수 있다(DeBoer, 1991, 2004; Rudolph, 2005, 2019; Rudolph & Meshoulam, 2014; Speidel, 2018).

그런데 최근에는 각급 학교의 과학 교육에서 자연 현상과의 직접적인 접촉이 사라지고 있음을 우려하는 목소리가 대두되고 있다. 예를 들어, Beavington(2021)은 오늘날 소위 스크린 중심의 사회가 되어가면서 학생들이 자연과 멀어지고 있으며 그 결과 추상적이고 단절된 학습 경험을 하고 있다고 진단하였다. 마찬가지로 이유로 Sharp(1988)와 Entress(in press)는 각각 지구과학과 생물학의 맥락에서 자연 현상을 직접 경험할 수 있는 야외 조사(fieldwork), 자연사(natural history), 살아있는 생물을 활용한 실험 등의 비중이 점점 줄어들고 있는 것을 염려했다. 그런데 이러한 시대적인 경향과는 달리, 미국의 차세대과학교육기준을 바탕으로 한 최근의 과학 교육 개혁은 현상 기반(phenomenon-based)의 과학 수업을 추구하고 있다(Oh, 2022; Pruitt, 2015; Schwarz et al., 2017). 이때 ‘현상’이란 자연 세계에서 발생하는 관찰 가능한 사건들(observable events)을 말하는 것으로, 학생들이 관심을 가질만한 특별한 시나리오(scenario)를 포함하고 있어서 학습 동기를 이끌어 내는 데 유용하게 사용될 수 있다. 하지만 과학 수업에서 현상의 역할은 단순히 학습 동기를 유발하는 매개에 그치지 않고, 과학적인 탐구의 맥락을 제공하며 과학 수업을 이끌어가는 역할을 한다. 즉, 학생들이 자연 세계를 직접 관찰하거나 실험실습 활동을 통해 현상을 접한 후에 이에 대한 질문을 제기하고 그 현상을 설명하기 위한 과학적 실험에 참여하여 현상을 이해하도록 하는 것이 현 시기 학교 과학 교육이 지향하는 모습이다(Achieve, 2016; Gunshenan et al., 2021; Inouye et al., 2020; McNeill et al., 2021). 특히 이 같은 방식의 수업은 과학 지식을 활용하여 현상을 설명하는 데까지 이르게 하는 것으로, 단순히 과학 개념을 이해하는 것을 목표로 하는 수업 방법과는 구별된다(Oh, 2022; Pruitt, 2015; Schwarz et al., 2017).

그런데 NGSS를 바탕으로 한 이러한 과학 수업의 취지는 전혀 새로운 것이 아니라, 오히려 학생들이 자연 현상을 직접 경험하고 그로부터 현상에 대해 사고하도록 하여 과학을 학습하도록 하였던 19세기 실험실 방법과 중대한 공통점이 있다고 할 수 있다. 이와 관련하여, 존스 홉킨스 대학의 화학 교수로 있으면서 실험실 방법을 도입하는 데 공헌하였던 I. Remsen은 일찍이 학생들을 사물이나 현상과 직접 접촉하게

이끄는 것을 다른 교과와 구별되는 과학의 가장 중요한 특징으로 꼽았다(Newell, 1902). 다시 말해, 현상과의 직접적인 접촉은 과학의 고유한 특징으로, 이러한 고유한 특징을 보전하고 발전시키려는 것이 19세기 실험실 수업 방법의 취지였다고 할 수 있다. 그렇다면, 오늘날의 과학 교육 개혁이 지향하는 것처럼 과학적 실험을 통한 현상의 이해라는 과학 학습의 이상이 성공적으로 실현되기 위해서는 19세기 실험실 방법이 추구하였던 자연 현상과의 직접적인 접촉이 지니는 의미를 되새기고 시대에 맞게 실천할 필요가 있을 것이다.

둘째, 19세기의 실험실 수업 방법은 도덕적 교양을 과학 교육의 목표로 추구하였다는 점에서 특징적이다. 교육의 목표로서 도덕적 항목들은 특정한 방식으로 행동하는 데 필요한 성향이나 기질을 뜻하는 것으로, 교과의 지식과 기능을 습득하는 것만으로는 그러한 행동이 발휘되기 어렵다. 그런데 과학은, 예를 들어 증거를 비판적으로 평가해야 하는 것과 같이 그 실행에 본질적으로 가치 판단의 문제가 내재되어 있기 때문에 도덕 교육과 매우 밀접히 관련되어 있다(Martin, 1986). 이와 관련하여, 일찍이 영국의 Spencer(1890)는 과학이 학생들의 지적 훈련뿐만 아니라 도덕을 훈련하는 데에도 가장 좋은 교과라고 역설하였다. 그에 따르면, 예컨대 언어를 배우는 것은 도덕적 교양에 적합하지 않다:

언어 학습은 오히려 이미 지나칠 정도인 권위에 대한 존중을 강화시키는 경향이 있다. 교사나 사전은 '이러이러한 것이 이들 단어의 의미이다'라고 말한다. 문법은 '이 경우에는 무엇 무엇이 규칙이다'라고 한다. 이러한 지시들은 학생에 의해 의문의 여지없이 받아들여진다. 학생의 변함없는 마음의 태도는 독단적인 가르침에 순종하는 것이다. 그리고 그 필연적인 결과는 이미 확립된 것은 무엇이든 의심 없이 받아들이는 성향이다. (p. 79)

이와는 달리 과학을 배우는 동안에는 누군가의 사고에 끊임없이 도전할 수 있고 권위에만 의존하지 않은 채 진리를 자유롭게 시험할 수 있기 때문에 다른 교과와는 다른 마음의 태도가 길러질 수 있다(Spencer, 1890). 진술한 바와 같이, 과학 학습이 학생들의 도덕적 교양을 성취하는 데 기여할 수 있다는 이 같은 믿음은 19세기 학교 교육에서 과학 교과의 가치에 대해 논뜨게 하는 데 중요한 역할을 하였다(DeBoer, 1991; Rudolph, 2019).

그런데, Rudolph(2020)의 고찰에 따르면, 도덕적 교양이라는 덕목이 19세기 이후로 학교 과학 교육의 목표에서 사라져 버렸다고 한다. 예컨대, 1980년대로부터 미국과학진흥협회가 주도하고 있는 장기적인 과학 교육 개혁 운동인 Project 2061에서는 과학적 소양에 필요한 마음의 습관(habits of mind)을 제시하고 있다(AAAS, 1990). 하지만 여기에는 과학 학습에 대한 태도, 탐구 과정에 필요한 기능 등이 과학을 공부함으로써 성취할 수 있는 도덕적 성향과 혼재하고 있어 도덕적 교양을 학교 과학 교육의 중요한 목표로 강조하였던 이전의 경향과는 다소 차이가 있다. 다만 Project 2061은 과학적인 마음의 습관으로 '호기심(curiosity)', '새로운 아이디어에 대한 개방성(openness to new ideas)', '정보에 입각한 회의주의(informed skepticism)'를 적시하고 있어서 19세기 학교 과학 교육에서 지향하였던 도덕적 교양 항목과 부분적으로 공통점을 보이고 있다. 이와 비슷하게 1996년에 발표된 미국의 과학교육기준(National Science Education Standards [NSES], National Research Council [NRC], 1996)에서는 과학의 역사와 본성 영역의 내용 기준에서 '지적 정직성(intellectual honesty)', '모호함의

수용(tolerance of ambiguity)', '회의주의', '새로운 아이디어 대한 개방성'을 학습 목표의 일부로 제시하고 있다. 하지만 이렇게 도덕적 교양 항목을 부분적으로 언급하는 경향조차도 2013년에 새롭게 발표된 차세대과학기준(Next Generation Science Standards [NGSS], NGSS Lead States, 2013)에서는 거의 찾아보기 어렵게 되었다.

주지하다시피 오늘날에는 과학기술의 발달과 그에 대한 의존이 심화되고 과학과 과학기술이 관련된 일상생활의 문제와 사회적인 쟁점들이 지속적으로 대두되면서 이들에 합리적으로 대응하기 위한 과학적이면서도 도덕적인 사고 습관들이 새롭게 주목을 받고 있다(Mackenzie, 2021; Rudolph, 2020; Sharon & Baram-Tsabari, 2018). 예를 들어, Sharon & Baram-Tsabari는 백신 접종, 인간 활동에 의해 유도된 기후 변화 등과 같이 과학이 관련된 사회적 쟁점들에서 잘못된 정보를 가려내는 데 필요한 과학적 소양의 예로 '탐구심(inquisitiveness)'과 '개방성(open-mindedness)'을 지목한 바 있다. 그런데 이같이 과학과 관련된 도덕적인 성향들이 다시금 관심의 대상이 되고 있는 현 시점에서 Rudolph(2020)는 오늘날의 학교 과학 교육이 19세기 실험실 방법이 추구하였던 도덕적인 덕목들을 잃고 있다는 점을 안타깝게 통찰하고, 과학적 실험을 강조하는 최근의 과학 교육 운동이 과학 학습과 관련된 오랜 도덕적인 목표를 실현하는 기회가 될 수 있다고 주장하였다. 왜냐하면 19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 방법 또한 학생들이 과학이 실제로 수행되는 과정에 참여하게 함으로써 도덕적 교양을 이루고자 하였기 때문이며, 과학적 실험 역시 매 순간 행동의 방향을 결정해야 하는 복잡한 가치 판단의 문제를 내포하고 있기 때문이다(Butler, 2020; Martin, 1986). 보다 구체적으로 Rudolph(2020)는 학생들이 과학적 실험에 참여하는 경험을 통해 과학이 다양한 연구 공동체들에 의해 사회적이고 제도적인 맥락에서 이루어진다는 점을 이해하는 데에까지 나아가야 한다고 지적한다. 하지만 아직까지 과학 교육 분야에서는 과학적 실험을 통해 도덕적 교양을 성취하기 위한 구체적인 수업 방법이 제시되고 있지는 않으며, 또 이를 위한 유일하게 좋은 방법이 있다고 생각하기 어려운 난점도 있다(Martin, 1986; Sharon & Baram-Tsabari, 2018).

이 같은 한계점에도 불구하고, 학생들이 과학적인 탐구 과정에 참여하여 스스로 사고하는 것으로부터 도덕적 교양을 꾀하였던 것은 19세기 실험실 수업 방법이 선구적으로 제시하였던 학교 과학 교육의 희망이라고 할 수 있다. 따라서 자연 현상과의 직접적인 접촉이라는 이상과 함께 과학 교육을 통한 도덕적 교양이라는 19세기 학교 과학의 인식론이 함의하고 있는 두 가지 희망의 취지를 되살릴 수 있는 방안을 찾는다면, 다양한 변화 요구에 직면해 있는 오늘날의 학교 과학 교육이 새로운 전기를 마련하는 데 기여할 수 있을 것이다.

VI. 결어

최근 우리나라에서는 2022 개정 교육과정(The Ministry of Education, 2022)이 공표되어, 교과서 집필 등 새로운 과학 교육과정을 학교 현장에 적용하기 위한 준비가 진행 중에 있다. 그런데 새로운 과학 교육과정의 면면을 살펴보면, 학교 과학 교육에 관한 기대와 우려를 동시에 품고 있는 것처럼 보인다.

먼저, 2022 개정 과학과 교육과정에는 학교 과학 교육의 차원 또는 범주로서 '가치·태도'가 이전 교육과정들에 비해 보다 명시적으로

제시되었다. 여기에는 ‘과학의 심미적 가치’, ‘과학 창의성’, ‘과학 활동의 윤리성’, ‘과학 문제해결에 대한 개방성’ 등이 포함되어 있어, 19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 방법이 추구하였던 도덕적 고양 항목들을 자연스럽게 떠올리게 한다. 이와 같이 국가적인 교육과정 문서에서 학교 과학 교육이 학생들의 가치·태도 함양을 이루는 데 기여할 수 있음을 밝힌 것은 매우 의미 있는 일이라 할 수 있다. 그렇다면 이제부터는 학교 과학 교육을 통해 여러 가지 가치·태도가 실제로 실현되도록 하기 위한 과학 교수·학습 방법들을 찾는 일이 중요한 과제가 될 것이다. 이와 관련하여 2022 개정 과학과 교육과정에서는 몇 가지 방법들을 언급하고 있다. 예컨대, 물질, 생명, 환경과 관련된 다양한 학습 주제(예: 물, 생태계)를 생태 전환 교육과 연계하여 지도하도록 하고 있으며, 과학이 관련된 개인과 사회의 문제를 해결하고 참여·실천하게 함으로써 민주 시민으로서의 의식과 소양을 기를 것을 곳곳에서 강조하고 있다. 이와 더불어, “다양한 탐구 중심의 학습을 통해 ... 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도의 세 차원을 상호보완적으로 함양”(The Ministry of Education, 2022, p. 5)할 수 있다고 함으로써 과학 교육과정 문서가 천명한 가치와 태도를 기르는 데 탐구 중심의 과학 수업이 유력한 방법 중의 하나가 될 수 있다는 것을 확인해 주었다. 이러한 관점은 최근 우리나라에서 강조되고 있는 인성 교육이 교과 교육과 별개의 것이 아니라, 오히려 올바른 교과 교육을 통해 교과에 갖든 사고방식이나 규범, 정서 등을 배우는 과정에서 바람직한 인성의 함양이 실현될 수 있다는 견해와도 맥이 통한다(Moon, 2018). 따라서 과학 교육자와 연구자들은 새로운 과학 교육과정이 강조하는 있는 생태 전환 교육, 민주 시민 교육, 그리고 과학 교육 분야에서 일관되게 강조하고 있는 탐구 중심의 과학 교육 등이 어떻게 학생들의 바람직한 가치·태도 고양에 기여할 수 있는지 그 구체적인 전략들과 조건들을 고민하고 실천할 필요가 있을 것이다.

반면, 2022 개정 과학과 교육과정에서 디지털 기기나 디지털 환경, 디지털·인공지능 소양 등을 강조한 것은, 이미 여러 학자들이 염려했던 것처럼(Beavington, 2021; Entress, in press; Sharp, 1988), 상대적으로 학생들이 자연 현상을 직접 대면하여 과학을 학습하는 기회를 축소할 수 있다는 우려를 낳게 한다. 우리나라의 과학 교육은 상급 학교 진학과 대학 입시 등 여러 가지 외적 요인들로 인해 자연에 대한 탐구, 실험실습 활동, 과학적 실행 중심의 교육이 교육과정 문서에서 주장하는 것만큼 제대로 실현되지 못한다는 비판을 받아 왔다. 그런데 이러한 문제점을 학교 과학 교육이나 과학 교육학의 내적인 역량으로 스스로 극복해 내기에 앞서 디지털 전환이 주장되는 것은 바람직하다고만 할 수 없다. 물론 다양한 생활 장면에서 증강 현실, 가상 현실, 메타버스, 인공 지능 등으로 점점 확대되고 가시화되고 있는 디지털 전환은 이미 거스를 수 없는 시대적인 흐름으로, 학교 과학 교육에서도 이를 수용하고 합리적으로 대응하는 것이 마땅한 일일 것이다. 하지만, 마찬가지로 이유로, 새로운 과학 교육과정의 적용을 준비하는 현 단계에서는 과학 방법론의 핵심 중의 하나라고 할 수 있는 탐구와 실험실습 활동, 과학적 실행 등이 본연의 모습에 충실하게 학교 과학 교육에서 구현될 수 있는 방안을 이전보다 더욱 진지하게 고민할 필요가 있으며, 이를 위해 19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 방법이 추구하였던 자연 현상과의 직접적인 대면이 가지는 의미를 다시 한 번 숙고해 볼 필요가 있다. 이와 관련하여, 3차원 암석 표본, 3차원 지도, 360도 이미지 등을 통해 가상의 지질 답사를 구현하여 교육에 활용하였던

연구자들이 지구과학 학습을 위한 최고의 교실은 자연이며 가상 현실은 자연 환경에서의 활동을 돕고 그것을 실제로 행하기 어려울 때 생기는 문제를 해결하기 위한 것이라고 한 것의 의미를 되새겨 볼 필요가 있다(Cho & Clary, 2019). 즉, 단순히 새로운 과학 교육과정에서 강조하고 있는 디지털 기기나 디지털 환경을 과학 수업에서 활용할 것인가의 여부를 넘어서, 그러한 첨단 기기와 환경이 학생과 자연 현상과의 만남을 어떻게 촉진할 수 있으며 현상을 과학적으로 이해하고자 하는 학생의 사고를 어떻게 자극할 수 있을지 궁구해 보아야 할 것이다.

국문요약

본 연구에서는 과학교육사에 관한 문헌들을 고찰하여 19세기 학교 과학의 인식론으로서 실험실 방법이 지니는 한계와 희망에 대해 살펴 보았다. 실험실 방법은 과학 혁명의 이상이었던 귀납적인 과학 방법론을 토대로 하여 학교 교육과정에 도입되었으며, 자연 현상에 대한 직접적인 접촉을 강조하고, 학교에서 과학의 공부하는 학생들의 정신 도야는 물론 도덕적 고양을 함께 도모하였다. 하지만 실험실 방법은 과학에 대한 전통적인 철학적 입장과 같은 인식론적인 한계를 지니고 있었으며, 학교 과학 교육의 맥락에서도 이와 관련된 제한점들이 문제로 지적되었다. 그럼에도 불구하고 실험실 방법은 과학적 탐구를 통한 이해의 가장 기본적인 방법으로서 자연 현상과의 직접적인 대면을 중요시하고, 현상을 이해하기 위한 과학적 실행을 통해 도덕적 고양에 이르는 것까지 추구하였다는 점에서 오늘날의 과학 교육에 유의미한 시사점을 제공하고 있다. 특히 새로운 과학 교육과정의 적용을 준비하고 있는 현 시기에 실험실 방법이 함의한 희망에 대해 다시금 궁구할 필요가 있다.

주제어 : 과학교육사, 실험실 방법, 학교 과학 인식론, 과학 수업

References

- Achieve (2016). Using phenomena in NGSS-designed lessons and units. Washington, DC: Achieve.
- American Association of the Advancement of Science (1881). Proceedings of the American Association for the Advancement of Science, Twenty-Ninth Meeting, held at Boston, Mass., August 1880. Salem, MA: The Salem Press.
- American Association of the Advancement of Science (1990). Science for all americans. New York, NY: Oxford University Press.
- Barnes, C. R. (1898). Sciences in the high school. *School Review*, 6(9), 643-658.
- Beavington, L. (2021). Hard-rooted to nature: Rediscovering the forgotten forest in science education. *Cultural Studies of Science Education*, 16(3), 745-762.
- Butler, L. P. (2020). The empirical child? A framework for investigating the development of scientific habits of mind. *Child Development Perspectives*, 14(1), 34-40.
- Carhart, H. S., & Chute, H. N. (1892). *The elements of physics*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Chalmers, A. (2013). *What is this thing called science?* Indianapolis, IN: Hackett Publishing Company.
- Clarke, F. W. (1881). *A report on the teaching of chemistry and physics in the united states*. Washington, DC: Government Printing Office.
- Cho, Y., & Clary, R. M. (2019). Challenges and opportunities for virtual learning in college geology. In Mintzes, J. & Walter, E. (Eds.), *Active learning in college science: The case for evidence based practice* (pp. 713-728). Cham, Switzerland: Springer Nature.
- DeBoer, G. E. (1991). *A history of ideas in science education: Implications*

- for practice. New York, NY: Teachers College Press.
- DeBoer, G. E. (2004). Historical perspectives on inquiry teaching in schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science* (pp. 17-35). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Dewing, A. S. (1908). Science teaching in schools: III. Science teaching and the laboratory method. *School Science and Mathematics*, 8(9), 740-744.
- Entress, C. (in press). The disappearance of natural history, fieldwork, and live organism study from American biology teacher education. *Science & Education*.
- Gooding, D. (1990). *Experiment and the making of meaning*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gower, B. (1997). *Scientific method: An historical and philosophical introduction*. London, UK: Routledge.
- Griffin, L. F. (1892). The laboratory in the school. *School and College*, 1(8), 469-477.
- Gunshenan, C., Inouye, M., Houseal, A., & Jacobs, T. (2021). Phenomenon-based professional development: Shifting perspectives between teacher and learner to build understanding of complex science instruction. *Science & Children*, 58(4), 74-80.
- Hacking, I. (1983). *Representing and intervening: Introductory topics in the philosophy of natural science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Hall, E. H. (1892). Teaching elementary physics. *Educational Review*, 4, 157-163.
- Hall, E. H. (1905). Experimental work in high-school physics. *Educational Review*, 30, 94-96.
- Harvard University (1889). *Descriptive list of elementary physical experiments: Intended for use in preparing students for Harvard College*. Cambridge, MA: Harvard University.
- Hong, S. (2020). *The evolution of laboratories*. Paju: Gimm-Young Publishers.
- Howe, J. L. (1892). The teaching of science. *Science*, 19(481), 233-235.
- Huxley, T. H. (1893). *Science & Education*. London, UK: Macmillan and Co.
- Inouye, M., Houseal, A., & Gunshenan, C. (2020). Beyond the hook: What is a phenomenon and how is it used? *The Science Teacher*, 87(9), 59-63.
- Mackenzie, A. H. (2021). Technology and scientific habits of mind. *The Science Teacher*, 88(4), 6-7.
- Maeng, S. (2018). Practical epistemology analysis on epistemic process in science learning. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 37(2), 173-187.
- Martin, M. (1986). Science education and moral education. *Journal of Moral Education*, 15(2), 99-108.
- McNeill, K. C., Affolter, R., & Clinchot, M. (2021). Shifting from learning about to figuring out: PD resources to support classroom change. *Science Scope*, 45(2), 12-19.
- Moon, M.-J. (2018). Reexamination of the meaning of character education based on Polanyi's theory of knowledge. *The Journal of Education*, 38(3), 289-306.
- Myers, G. W. (1903). The laboratory method in the secondary school. *The School Review*, 11(9), 727-741.
- National Education Association (1893). *Report of the committee on secondary school studies*. Washington, DC: Government Printing Office.
- National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Newell, L. C. (1902). Professor Remsen on the teaching of science. *School Science and Mathematics*, 2(3), 129-132.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Norton, W. H. (1902). The teaching of science. *School Science and Mathematics*, 2(4), 193-199.
- Oh, P. S. (2020). A critical review of the skill-based approach to scientific inquiry in science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 40(2), 141-150.
- Oh, P. S. (2022). Possibility of science concept learning in scientific practice-based science education: A review focused on situated learning theories and conceptual agency. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 42(4), 477-486.
- Oh, P. S., & Ahn, Y. (2013). An analysis of classroom discourse as an epistemic practice: Based on elementary science classrooms. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(3), 269-284.
- Oh, P. S., & Ahn, Y. (2015). Exploration of discursive-epistemic mechanisms in high school earth science lessons. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 36(4), 390-403.
- Östman, L., & Wickman, P.-O. (2014). A pragmatic approach on epistemology, teaching, and learning. *Science Education*, 98(3), 375-382.
- Pruitt, S. L. (2015). The Next Generation Science Standards: Where are we now and what have we learned? *The Science Teacher*, 82(5), 17-19.
- Rice, W. N. (1888). Science-teaching in the schools. *American Naturalist*, 22(261), 765-774.
- Rowland, H. A. (1886). The physical laboratory in modern education. *Science*, 7(177), 573-575.
- Rudolph, J. L. (2003). Portraying epistemology: School science in historical context. *Science Education*, 87(1), 64-79.
- Rudolph, J. L. (2005). Epistemology for the masses: The origins of "the scientific method" in American schools. *History of Education Quarterly*, 45(3), 341-376.
- Rudolph, J. L. (2019). *How we teach science: What's changed, and why it matters*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Rudolph, J. L. (2020). The lost moral purpose of science education. *Science Education*, 104(5), 865-906.
- Rudolph, J. L., & Meshoulam, D. (2014). Science education in American high schools. In H. R. Sloten (Ed.), *Oxford encyclopedia of the history of American science, medicine, and technology* (pp. 503-523). New York, NY: Oxford University Press.
- Russ, R. S. (2014). Epistemology of science vs. epistemology for science. *Science Education*, 98(3), 388-396.
- Schwarz, C. V., Passmore, C., & Reiser, B. J. (2017). Moving beyond "knowing about" science to making sense of the world. In C. V. Schwarz, C. Passmore & B. J. Reiser (Eds.), *Helping students make sense of the world using next generation science and engineering practices* (pp. 3-21). Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.
- Sharon, A. J., & Baram-Tsabari, A. (2018). Can science literacy help individual identify misinformation in everyday life? *Science Education*, 104(5), 873-894.
- Sharp, R. P. (1988). Earth science field work: Role and status. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 16, 1-19.
- Smith, A., & Hall, E. H. (1902). *The teaching of chemistry and physics in the secondary school*. New York, NY: Longmans, Green, and Co.
- Song, J. (2012). When science met people through education: The mechanics' institute movement in the 19th century Britain. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(3), 541-554.
- Speidel, M. G. (2018). *The emergence of the laboratory method and the displacement of natural philosophy by physics in American high school textbooks (1860-1900)*. Unpublished doctoral dissertation, University of Hawai'i at Mānoa.
- Spencer, H. (1860). *Education: Intellectual, moral, and physical*. New York, NY: D. Appleton and Company.
- The Ministry of Education (2022). *Science Curriculum*. Sejong: The Ministry of Education.
- Thompson, D., Praia, J., & Marques, L. (2000). The importance of history and epistemology in the designing of earth science curriculum materials for general science education. *Research in Science & Technological Education*, 18(1), 45-62.
- Wead, C. K. (1884). *Aims and methods of the teaching of physics*. Washington, DC: Government Printing Office.
- Williams, R. P. (1901). Teaching of chemistry in schools: 1987, 1910. *Science*, 14(342), 100-104.
- Youmans, E. L. (1867). On mental discipline in education. In E. L. Youmans (Ed.), *The culture demanded by modern life* (pp. 1-56). Akron, OH: The Werner Company.

저자정보

오필석(경인교육대학교 교수)