



## 과학 교육에서 기능 중심의 과학 탐구에 대한 비판적 고찰

오필석\*  
경인교육대학교

### A Critical Review of the Skill-Based Approach to Scientific Inquiry in Science Education

Phil Seok Oh\*  
Gyeongin National University of Education

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 17 February 2020

Received in revised form

3 March 2020

2 April 2020

Accepted 6 April 2020

##### Keywords:

inquiry, skill-based approach, Science-A Process Approach (SAPA), science practice

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to critically review the skill-based approach to scientific inquiry in science education and to explore the meaning of science practices that are emphasized in recent science education reform movement. An extensive review of relevant literature was carried out, and the results were summarized according to the detailed themes of the study. In the skill-based approach of which Science-A Process Approach (SAPA) is a representative example, science process skills were presented as hierarchically connected with one another, they were believed to be transferable or generalizable, and science learning through discovery was stressed. These points of view are, however, contradicted with those of the modern philosophy of science which suggests the theory-laden nature of using the skills. The skill-based view has also been criticized by the fact that the use of inquiry skills is content-specific or context-dependent and that science theories or principles cannot be discovered by induction. In contrast, the recent view understands science practices holistically, emphasizes the diverse ways of doing the practices which vary with different contents or contexts, and considers student ideas importantly in the science classroom. The findings of this study can contribute to the development of a new science curriculum by providing implications for establishing a consistent view on scientific inquiry.

### 1. 시작하며

미국의 과학 교육 기준은 당대의 과학 교육 개혁의 동향을 파악할 수 있는 중요한 문서 중의 하나이다. 그런데 수 년 전에 발표된 새로운 과학 교육 기준(Next Generation Science Standards [NGSS], NGSS Lead States, 2013)은 과학 교육 분야에서 꾸준히 강조해 온 탐구를 기존과는 다른 방식으로 설명하고 있는 점이 특징적이다. 이 문서에서는 탐구를 함축적인 명제로 정의하거나 몇 개의 단계적 절차로 제시하기보다, 탐구에서 사용되는 8가지 과학적 실천(science practices)을 제시함으로써 탐구의 의미를 설명하고 있다. NGSS에서 말하는 과학적 실천에는 다음과 같은 것들이 포함된다: 질문하기(asking questions), 모형을 개발하고 사용하기(developing and using models), 탐구를 계획하고 수행하기(planning and carrying out investigations), 자료를 분석하고 해석하기(analyzing and interpreting data), 수학과 컴퓨터 사고를 사용하기(using mathematics and computational thinking), 설명을 구성하기(constructing explanations), 증거로부터의 논증에 참여하기(engaging in argument from evidence), 정보를 수집하고 평가하고 의사소통하기(obtaining, evaluating, and communicating information).

그런데 NGSS 개발의 청사진을 제공하였던 ‘A framework for K-12 science education (National Research Council [NRC], 2012)’에서는 이제까지 과학 교육 문헌에서 자주 사용되었던 ‘기능(skill)’이나 ‘과

정(process)’이라는 용어 대신 ‘실천(practice)’이란 용어를 사용한 까닭에 대하여, “과학의 탐구에 임하는 데에는 그러한 실천에 특이적인 기능뿐만 아니라 지식 또한 필요하기 때문이라는 점을 강조하기 위한”(p. 30) 것이라고 설명하고 있다. 이는 과학적 실천이 단순히 과학 지식을 적용하여 문제에 답하거나 특정한 기능을 연마하여 문제를 해결하는 것 이상의 활동이라는 것을 의미한다. 즉, 이 말은 과학적 실천이 지식과 기능이 떼려야 뗄 수 없을 만큼 강하게 결합된 채 이루어진다는 점을 타당하게 지적한 것이라 할 수 있다(Furtak & Penuel, 2019). 또, 역사적으로는 실험실에서 사용하는 기능이나 절차적 과정을 중심으로 탐구를 이해해 왔던 그동안의 경향에 대비하여 과학의 탐구를 보다 폭넓게 이해하고 적용하려는 변화된 움직임이라고 할 수 있다(Bybee, 2011).

위와 같이 미국의 NGSS에서 새롭게 제시한 과학적 실천은 우리나라의 2015 개정 과학과 교육과정에 ‘기능’이라는 용어로 반영되었다. 즉, 우리나라의 새로운 과학 교육과정의 내용 체계에는 다음과 같은 8가지를 기능으로 지칭하고 있다. 문제 인식, 탐구 설계와 수행, 자료의 수집, 분석 및 해석, 수학적 사고와 컴퓨터 활용, 모형의 개발과 사용, 증거에 기초한 토론과 논증, 결론 도출 및 평가, 의사소통(The Ministry of Education [MOE], 2015, p. 5). 이들은 그 용어에서도 잘 드러나듯이 표현에 조금의 차이가 있을 뿐 NGSS의 과학적 실천과 매우 유사함을 알 수 있다. 그런데 이렇게 과학적 ‘실천’을 ‘기능’이라

\* 교신저자 : 오필석 (philoh@ginue.ac.kr)

\*\* 이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2A01036992)

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.2.141

고 번역하는 것은 NGSS에서 제시한 과학적 실천이 지식과 기능이 통합된 의미를 담고 있다는 사실에 비추어 보면 다소 부적절한 측면이 있다.<sup>1)</sup> 사실 우리나라의 과학 교육과정에서 기능이라고 불리기에 더욱 적절한 것들은 관찰, 분류, 가설 설정, 변인 통제 등과 같이 과학 탐구 과정에서 사용되는 낱말의 기술이나 기법들이다. 이들은 1960년대에 미국에서 개발된 혁신적인 과학 교육과정 중의 하나인 ‘Science-A Process Approach (SAPA)’에서 기원한 것으로, 우리나라 교육과정에서는 이들을 오랫동안 ‘과정’ 또는 ‘탐구 과정’이라는 이름으로 제시하여 왔다.<sup>2)</sup> 특히 이들은 제 6차 교육과정 시기에 처음으로 내용 체계에 명시적으로 등장하였고(MOE, 1992), 2009 개정 교육과정에 따른 초등학교 과학 교과서에서는 탐구 기능들을 연습할 수 있는 단원이 별도로 설정되기도 하였다(MOE, 2014). 이후에도 조금씩 제시 방식의 변화를 거쳐 2015 개정 과학 교육과정에서는 ‘교수·학습 및 평가의 방향’에 이들 탐구 기능에 대해 다음과 같이 진술하고 있다.

기초 탐구 과정(관찰, 분류, 측정, 예상, 추리, 의사소통 등)과 통합 탐구 과정(문제 인식, 가설 설정, 변인 통제, 자료 해석, 결론 도출, 일반화 등) ... 을 학습 내용과 관련시켜 지도한다(MOE, 2015, p. 85).

다시 말해, 우리나라의 과학 교육과정에는 과학적 탐구나 실천에 관련된 여러 가지 용어들이 혼재하고 있으며, 이와 동시에 탐구 지도에 대해서는 과학 탐구 과정에 동원되는 여러 가지 기능들의 사용을 강조하는 ‘기능 중심의 접근’을 취하고 있다고 할 수 있다. 물론 최근 NGSS에서 제시한 과학적 실천이 어떤 형태든 우리나라의 교육과정에 반영되어 있는 것 또한 사실이지만, 그것이 학교 과학 교육에 미칠 영향에 대해서는 좀 더 시간을 두고 살펴보아야 할 것이다. 하지만 과학의 탐구를 실천 중심으로 설명하는 새로운 방식이 본래의 의도를 충분히 발휘하여 학교 과학 교육에 바람직한 변화를 가져오기 위해서는 그것에 앞서 과학적 탐구에 기능 중심으로 접근해 온 오래된 경향의 특징과 제한점을 알아보고 대안을 검토해 볼 필요가 있다.

과학 교육에서 기능을 중심으로 탐구를 가르치는 경향은 1960년대 미국의 과학 교육 개혁 운동으로부터 시작하여 1980년대까지도 꾸준하고 다양한 시도들이 이루어졌다(DeBoer, 1991). 하지만, 앞으로 본

1) NGSS의 과학적 실천이 지식과 기능이 통합된 의미를 담고 있다는 점에서 ‘과학적 역량’으로 번역해야 한다는 의견이 있을 수 있다. 하지만 우리나라 교육과정에 정의된 과학과 핵심 역량은 ‘과학적 사고력’, ‘과학적 탐구 능력’, ‘과학적 문제 해결력’, ‘과학적 의사소통 능력’, ‘과학적 참여와 평생 학습 능력’ 등으로(MOE, 2015), 특정한 실천 행위를 지칭하는 것이 아니라 그것을 수행하는 능력을 포함하는 보다 포괄적이고 종합적인 의미라고 볼 수 있다. 이 점을 고려하여 본 논문에서는 과학적 실천을 과학적 역량으로 번역하자는 의견에 대하여, 적어도 잠정적으로는, 유보적인 입장을 취하고자 한다.

2) NGSS의 ‘실천’을 ‘기능’이나 ‘역량’으로 번역하는 것과 마찬가지로, 관찰, 분류, 가설 설정, 변인 통제 등을 ‘과정’이라고 번역하는 것이 적절한지에 관해서는 서로 다른 주장이 있을 수 있다. 이들을 과정이라 번역한 까닭은 이들이 기원한 미국의 교육과정 프로젝트의 명칭(Science-A Process Approach)에 ‘process’라는 단어가 핵심어로 들어가 있기 때문이라고 여겨진다. 하지만 SAPA의 개발 보고서(AAAS Commission on Science Education, 1971; Sanderson & Kratochvil, 1971)와 교재에 포함된 해설서(AAAS, 1967) 등을 보면, ‘과정(process)’, ‘기능(skill)’, ‘과정 기능(process skill)’ 등의 용어가 상호 교환적으로 사용되고 있으며, 종종 관찰, 분류 등을 과학의 과정(process of science)을 구성하는 기능(component skills)이라고 설명하고 있다. 또, 우리나라의 초등 과학 교사용 지도서(MOE, 2018a)에도 이들을 ‘탐구에서 일반적으로 요구되는 기능(science process skills)’이라고 해설하고 있다. 따라서 이들을 ‘기능’이라고 번역하는 것이 그 의미를 전달하는 데 더욱 도움이 되는 것처럼 보인다. 이에 따라 이후에 본 논문에서는 관찰, 분류, 가설 설정 등과 같은 요소들을 ‘기능’ 또는 ‘탐구 기능’이라는 용어를 써서 나타내기로 한다.

논문에서 살펴보게 되는 것과 같이, 그동안 기능 중심의 과학 탐구에 대한 비판적인 논의가 여러 학자들에 의해 제기되어 왔으며, 최근에는 NGSS에서 제시한 실천의 의미를 철학적이고 교육학적으로 논의하는 학자들도 등장하고 있다. 이와 같은 점들을 고려하여 본 연구에서는 기능을 강조하여 과학의 탐구를 가르치려는 방식이 어떤 특징이 있으며, 이에 대해 어떤 비판적인 목소리가 있어 왔는지 논의하고, 최근 과학 교육 분야에 새로운 주제로 등장한 과학적 실천은 어떤 의미를 지니는지를 시험적으로 살펴보고자 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 과학 교육의 역사, 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근, 과학적 실천에 관한 문헌들을 고찰하여 그 내용을 세부 주제에 따라 정리하는 문헌 연구를 수행하였다. 이때 고찰한 문헌은 눈덩이 표집 방식(snowball sampling, Kim, 2016)에 따라 하나의 문헌에서 자주 인용되는 문헌들을 찾아 계속 확대하였고, 세부 주제에 대한 내용이 반복해서 등장하여 문헌 고찰을 위한 자료가 포화되었다고 판단될 때까지 지속적으로 진행하였다. 이와 같은 문헌 연구의 결과는 교육과정 변화 시기에 우리나라 과학 교육과정에서 탐구에 대한 관점을 정립하는데 도움이 될 뿐만 아니라, 각급 학교에서 과학 탐구 수업이 어떻게 이루어져야 하는지 대안을 모색할 때에도 필요한 지침을 제공할 것으로 기대할 수 있다.

아래에 이어지는 각 장에서는 본 연구의 세부 주제에 따라 연구자가 심층적으로 고찰한 내용을 차례로 제시한다. 먼저 기능 중심 과학 탐구의 초석이 되었던 SAPA를 중심으로 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근이 어떤 특징이 있는지 살펴본다. 다음으로 기능 중심 접근에 대한 여러 학자들의 비판을 기능 중심 과학 탐구의 특징들 각각에 대하여 정리하여 기능 중심 접근의 제한점을 알아본다. 마지막으로 기능 중심의 접근에 대한 하나의 대안으로서 최근 과학 탐구에서 실천을 강조하는 입장의 의미를 시험적인 관점에서 살펴본다. 이러한 본 연구의 목적을 질문 형식으로 제시하면 다음과 같다.

첫째, SAPA로 대표되는 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근은 어떤 특징이 있는가?

둘째, 학자들의 비판적인 견해를 통해 알 수 있는 기능 중심 접근의 제한점은 무엇인가?

셋째, 기능 중심 접근에 대한 하나의 대안으로서, 과학적 실천을 강조하는 경향은 어떤 의미가 있는가?

## II. 과학 탐구에 대한 기능 중심 접근의 특징: SAPA를 중심으로

주지하다시피, SAPA는 스푸트니크 충격(Sputnik shock)<sup>3)</sup>에 따른 미국의 과학 및 수학 교육 개혁 운동의 일환으로 개발된 혁신적인 교육과정이다. SAPA의 개발은 미국과학재단(National Science Foundation, NSF)의 지원을 받아 이루어졌으며, 미국과학진흥협의회(American Association for the Advancement of Science, AAAS)의

3) 1957년 10월 4일 구 소련에서 지구 궤도를 도는 최초의 인공위성인 스푸트니크(Sputnik)를 쏘아 올렸다. 냉전 시대이던 당시에 미국 정부는 적국에서 자국에 위협이 될 수 있는 위성을 먼저 쏘아 올렸다는 사실에 충격을 받아 과학과 수학 교육에 대한 대대적인 개혁을 시작하게 되는데, 이러한 교육 개혁의 계기가 된 사건을 종종 ‘스푸트니크 충격’이라 부른다. 하지만 스푸트니크 충격이 있기 전인 1950년대 초부터 미국의 교육 시스템이 학문적인 엄격함을 잃고 지적으로 빈약하다는 비판이 꾸준히 있어 왔으며, 1950년 중반에 이르러서는 일군의 과학자들이 학교 과학 프로그램을 개선하기 위한 방안을 모색하기 시작하였다(DeBoer, 1991).

과학교육위원회(Commission on Science Education)가 주도적인 역할을 하였다. 당시에 NSF는 다수의 초·중·고등학교 과학 교육과정 개발을 재정적으로 지원하였는데, 이 중 SAPA는 유치원부터 6학년 과정(K-6)에 있는 학생들을 위한 과학 프로그램 중의 하나이다. SAPA에 대한 NSF의 지원은 1962년부터 1969년까지 이루어졌고, SAPA의 최종본은 1971년에 완성되었다(Sanderson & Kratochvil, 1971).

1971년에 발표된 SAPA의 개발 보고서(Sanderson & Kratochvil, 1971)에서는 이 새로운 교육과정의 장기적인 목표를, “학생들이 문제에 과학적인 사고 양식을 적용하는 역량을 개발하는 것”(pp. 1-2)이라고 천명하고 있다. 그리고 연이어 관찰하기(observing), 분류하기(classifying), 가설 만들기(making hypotheses), 실험하기(experimenting) 등이 과학자들이 사용하는 지적이고 탐구적인 기능들(intellectual and investigative skills)이라고 하면서, 학생들도 이러한 기능들을 개발하여 사용할 수 있어야 한다고 강조한다. 말하자면, SAPA는 과학자들의 탐구 과정을 그보다 작은 단위들(small chunks)인 기능들로 단순화하여 학생들도 과학의 사고 양식을 체득할 수 있도록 만든 초기의 시도라고 할 수 있다(Erduran & Dagher, 2014). 특히 SAPA는 이러한 기능들이 과학이 아닌 다른 영역의 문제를 해결하는 데에도 일반화할 수 있는 것이라고 주장한다. 보다 구체적으로, SAPA에서는 과학의 탐구에서 사용되는 기능들을 ‘기초 기능(basic skill)’과 ‘통합 기능(integrated skill)’으로 구분하여 제시하였다. 이 중 기초 기능에는 관찰하기, 공간 및 시간 관계 사용하기(using space/time relationships), 수 사용하기(using numbers), 측정하기(measuring), 분류하기, 의사소통하기(communicating), 예상하기(predicting), 추론하기(infering)가 포함되며, 통합 기능에는 가설 설정하기(formulating hypothesis), 변인 통제하기(controlling variables), 자료 해석하기(interpreting data), 조작적으로 정의하기(defining operationally), 실험하기가 속한다(AAAS, 1967). 이들은 대부분 우리나라 과학 교육과정에 각각 ‘기초 탐구 과정’과 ‘통합 탐구 과정’이라는 이름으로 반영되어 있는 것들이다.

SAPA 교육과정은 Part A부터 Part G까지 총 7개의 세트(set)로 구성되어 있는데, 각각 K-6학년에 해당하며, 각 학년의 교재는 20개 정도의 과학 활동(science exercise)으로 이루어져 있다. 학생들은 저학년에서 주로 기초 기능들을 연습하게 되고, 이 기능들은 학년 내에서 Level에 따라 점차 복잡한 활동으로 발전할 뿐만 아니라 학년이 올라가면 보다 통합적인 기능들로 연계된다. 즉, SAPA는 탐구 기능을 반복 연습하면서 점차 세련된 기능으로 발전해 나가도록 하는 위계적인 특징을 지니고 있다고 할 수 있다(AAAS, 1967; AAAS Commission on Science Education, 1971; Sanderson & Kratochvil, 1971). 이러한 접근은 당대까지 주를 이루고 있던 지식 중심의 과학 교육에 대한 하나의 대안적인 시도로서, 과학 지식을 그것을 생산한 탐구 기능과 함께 가르쳐야 한다는 취지를 담고 있다(DeBoer, 1991; Livermore, 1966). 하지만 SAPA에서는 지식과 기능이 균형 있게 다루어지기보다 탐구 기능이 전면에서 제시되고 과학적 사실, 법칙, 이론 등이 그 속에 부속되어 있는 것이 특징이다. 이러한 사실은 학년별 교재를 구성하는 과학 활동이 ‘관찰하기 1’, ‘공간 및 시간 관계 사용하기 1’, ‘관찰하기 2’ 등과 같이 과학 개념이 아닌 탐구 기능들로 이름 붙여져 있다는 점에서 잘 알 수 있다(AAAS, 1967). 또한 SAPA 교육과정의 개발 취지를 설명한 글에서는 이 점에 대하여 다음과 같

이 설명하고 있다.

[SAPA의] 목적은 어떤 특정한 영역, 예를 들어 물리학, 생물학, 화학에 관한 지식을 축적하는 것이 아니라, 모든 과학에 기초가 되는 과정을 사용하는 역량을 기르는 것이다. ... [SAPA는] 어떤 특정한 과학 영역에 집중하는 것을 거부하고, 일반화할 수 있는 지식과 기능을 가르쳐야 한다는 생각을 지지한다(Gagné, 1966a, p. 49, 53).

위와 같은 SAPA 교육과정의 개발에는 행동주의 심리학자인 Robert Gagné의 영향이 컸던 것으로 알려져 있다(Fields, 1996; Sanderson & Kratochvil, 1971). SAPA의 개발을 주도하였던 AAAS의 과학교육위원회는 과학자, 교사, 심리학자, 교육자 등 다양한 배경을 가진 구성원들로 이루어져 있었는데, 그 중에서도 Gagné가 SAPA의 철학적 근거와 기본 구조를 정립하는 데 핵심적인 역할을 하였다. 이에 따라 SAPA에서는 Gagné의 이론에 바탕을 두고 있는 요소들을 어렵지 않게 발견할 수 있는데, 이를 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근이 지니고 있는 세 가지 특징으로 정리하자면 다음과 같다.

첫째, 이미 언급한 바와 같이, SAPA에서 제시하는 과학 탐구 기능들은 위계적인(hierarchical) 관계로 연계되어 있으며, 이를 토대로 구성된 과학 활동들이 발전적인 계열(progressive sequence)을 이루고 있다(AAAS, 1967; AAAS Commission on Science Education, 1971; Sanderson & Kratochvil, 1971). 이러한 특징을 잘 표현하고 있는 것이 Level에 따른 기능들 간의 ‘위계도(hierarchy chart)’이다. 예를 들어, Part A의 Level 1에서는 학생들이 수행해야 할 관찰 기능을 “크고 작음을 이용하여 사물의 크기를 확인하고 이름 붙이기”, “부드럽고 거칠음을 이용하여 사물의 조직을 확인하고 이름 붙이기”와 같이 매우 기초적인 수준에서 서술하고 있다(AAAS, 1967, p. 8). 하지만 이러한 기능은 위계적으로 발전하여 Level 4에 이르러서는 다음과 같이 학생들이 좀 더 복잡한 관찰을 수행할 수 있게 된다.

고체-액체 상태 변화에서 관찰되는 온도, 크기, 모양, 색 등의 변화를 확인하고 이름 붙이기(AAAS, 1967, p. 8).

또, SAPA의 위계도는 동일한 기능이 연습되어지는 위계를 나타낼 뿐만 아니라, 서로 다른 기능으로 발전되어가는 위계 또한 나타낸다. 예를 들어, Part A의 Level 8에서 학생들이 성취해야 할 분류 기능은 그보다 아래 수준에서 이루어지는 세 가지의 관찰 활동과 한 가지의 수 사용하기 활동을 토대로 하고 있다(AAAS, 1967, p. 9). 결과적으로 SAPA에서는 관찰이 가장 기초적인 기능이 되고 실험이 가장 통합적인 상위의 기능으로 취급된다(AAAS Commission on Science Education, 1971). 즉, 학생들은 여러 가지 하위 기능들을 단계적으로 경험하여 최종적으로 실험이라는 고급 기능을 성취하게 된다고 할 수 있다.

이러한 탐구 기능들 간의 위계 관계와 그것을 토대로 한 과학 활동들의 발전적인 계열은 Gagné의 이론에 바탕을 두고 있다. Gagné (1965, 1966a, 1973)는 여러 문서들에서 단순한 지적 기능으로부터 보다 복잡한 기능으로 단계적으로 발전하는 것이 SAPA 교육과정 개발의 핵심 아이디어라고 반복하여 말한다. 또한 SAPA 교재의 해설서에서도 Gagné를 직접 언급하며 높은 수준의 행동은 그에 부속하는 하위의 행동들을 수행할 수 있을 때 실행될 가능성이 높다고 하여, 탐구 기능들 간의 위계적인 관계와 단계적인 발전 과정을 거듭 강조

하고 있다(AAAS, 1967).

둘째, SAPA에서 제시하는 탐구 기능들은 전이성(transferability) 또는 일반화 가능성(generalizability)이 높으며, 따라서 여러 가지 문제 상황에서 널리 사용할 수 있는 범용적인(generic or universal) 것들이라고 믿어진다. 이와 관련하여 AAAS의 과학교육위원회에서는 과학 탐구 기능의 중요한 특징의 하나로 일반화 가능성을 꼽으면서, SAPA의 기능들이 새롭고 다양한 상황에 일반화된다는 증거들이 이미 존재하고 있다고 주장한다(AAAS Commission on Science Education, 1971). 또, Gagné(1965)는 탐구 기능을 중심으로 하는 SAPA의 접근법이 서로 다른 학문 영역에 유용하게 적용될 수 있다는 점을 다음과 같이 설명하였다.

이들 지적인 활동들(과정들)은 ... 과학의 여러 학문 분야에 걸쳐 일반화 가능성이 매우 높은 것들이다. 물리학자가 생화학자가 되거나 그 반대가 되는 일은 어렵지 않다. 심지어 기상학자가 심리학자가 되는 것조차 어렵지 않다. 왜냐하면 날씨와 사람의 행동을 예측하는 것은 비슷한 정도의 불확실성을 가질 것이기 때문이다(p. 4).

이와 유사하게 SAPA 교육과정 개발을 위한 학술 대회에서 지침서의 역할을 하였던 AAAS의 입장진술문(statement)에서는 어떤 문제에 대한 답을 찾기 위한 방법으로서 과학 탐구의 절차들은 한계 없이 (without limit) 적용될 수 있다는 견해를 표명하고 있다(Sears & Kessen, 1964). 이상과 같은 주장들은 SAPA에서 제시하는 탐구 기능들이 특정한 학문 영역이나 이론과 독립되어 있다는 관념에 바탕을 두고 있는 것이다. 이는 과학에 대한 전통적인 철학적 견해와 맥을 같이 하는 것으로, 다음 장에서 논의하게 되는 것처럼 많은 학자들에 의해 비판의 초점이 되기도 하였다.

셋째, SAPA는 “발견을 통한 학습(student learning ... through discovery)”을 지향한다(Sanderson & Kratochvil, 1971, p. 7). 사실 발견을 통한 학습은 SAPA 뿐만 아니라 당대에 이루어진 과학 교육 개혁 운동의 공통된 흐름이라고 할 수 있다. 특히 당시에 유행하였던 발견 학습은 과학자들이 사용하는 탐구 방법을 통해 학생들도 자연 현상을 직접 체험하고 그로부터 과학적인 원리를 이끌어내는 귀납적인 방법을 강조하는 것이었다(DeBoer, 1991). 이와 같은 취지에서 AAAS의 과학교육위원회에서는 발견 학습의 의의를 다음과 같이 설명하고 있다.

학생들은 [과학의] 내용을 배우는 동안 ... [과학의] 방법 또한 배워야 한다. ... 학생들이 단순히 결과만을 암기할 뿐 그것을 스스로 “발견하지(discovering)” 않는다면 이러한 목표는 달성될 수 없다(AAAS Commission on Science Education, 1961, p. 2020).

이와 더불어 AAAS 과학교육위원회는 탐구 기능과 마찬가지로 발견 또한 단계적으로 모든 학년에서 이루어질 수 있다고 말한다. 즉, 저학년 아동들은 현상을 발견(discover phenomena)하거나 새로운 관계를 관찰(observe relationships that are new to him)할 수 있고, 고학년에서는 실험을 통해 관계를 발견(discover relationships by experimentation)할 수 있으며, 좀 더 높은 학년에서는 추상적 사고를 통해 발견(discover by abstract reasoning)하는 법을 배울 수 있다(AAAS Commission on Science Education, 1961, p. 2020). 더 나아가 SAPA

교육과정의 이론적 토대를 마련한 Gagné(1966b)는 발견을 통한 학습이 언어 학습, 개념 학습, 문제 해결 학습 등 다양한 종류의 학습에 적용될 수 있고, 그 효과도 파지(retention)와 전이성 측면에서 우수하다고 주장하였다.

발견을 통한 학습은 학생들의 능동적인 역할을 강조하기 때문에 학습 결과를 예측하기 어렵다는 우려를 불러 오기도 한다. 이와 관련하여 SAPA에서는 각각의 활동을 구조화하여 제시함으로써 발견 과정에 뒤따를 수 있는 무질서함(randomness)을 제거하였다고 설명하고 있다(Sanderson & Kratochvil, 1971). 구체적으로, SAPA의 과학 활동은 ‘교사에 의한 흥미 유발, 교사의 시범 또는 질문, 학생 활동, 학습 내용을 적용한 경험의 일반화, 평가’의 순서로 조직되어 있으며, 이 가운데 가장 핵심적이라고 할 수 있는 학생 활동에서는 학생들이 “감각으로부터 배우거나 말 그대로 실재를 작동해 보면서 배우는”(p. 7) 것을 강조하여 발견을 통한 과학 학습을 피하고 있다.

### III. 기능 중심 과학 탐구의 제한점

SAPA 교육과정은 그 적용 과정에서 몇몇 긍정적인 결과를 보이기도 하였지만(Wideen, 1975), SAPA의 교육적인 효과에 대해서는 상반된 보고가 있는 것 또한 사실이다(Bredderman, 1983). 그러나 통계적인 결과만큼, 혹은 그 이상으로 중요하게 살펴보아야 할 것은 과학 탐구에 기능 중심으로 접근하는 경향에 대하여 그동안 여러 학자들이 보다 근원적이고 철학적인 차원에서 비판적인 목소리를 개진하여 왔다는 점이다. 이는 SAPA로 대표되는 기능 중심의 접근뿐만 아니라 귀납 논리에 토대하여 발견 학습을 강조하는 입장, 학습자 개인의 경험과 이해를 강조하였던 초기 구성주의적 입장 등에 대한 광범위한 범위의 대안적인 논제라고 할 수 있다(Hodson, 1996). 또 그렇기 때문에 과학 교육과정에서 지속적으로 탐구 기능을 강조하고 있는 우리나라의 과학 교육 분야에도 의미 있는 시사점을 제공할 수 있다. 이러한 점들을 고려하여 이 장에서는 기능 중심 과학 탐구의 제한점에 관련한 비판적인 입장을 살펴보기로 한다. 아래에 제시하는 세 가지 주장은 공통적으로 과학에 대한 현대적인 철학적 입장에 토대하고 있다는 점에서 서로 밀접하게 연계되어 있다. 하지만 본 연구의 목적이 과학 탐구에 대한 기능 중심 접근의 제한점을 살펴보는 데 있다는 점을 고려하여 학자들의 비판적인 견해를 앞서 제시한 SAPA의 세 가지 특징 각각에 대해 정리하여 논의하고자 한다.

첫째, 거듭 말하는 바와 같이 SAPA의 가장 큰 특징 중의 하나는 과학 탐구에서 사용하는 기능들을 위계적으로 파악하여 학생들이 이들을 일정한 단계에 따라 연습하게 한다는 점이다. 그리고 이러한 위계적인 접근에서 가장 기초적이고 기본적인 기능으로 취급되는 것이 ‘관찰’이다.

그런데 여러 학자들은 관찰을 그렇게 단순한 기능으로 취급하는 것에 대해 의견을 달리하고 있다. 예를 들어, Norris(1985)는 에딩턴이 개기 일식 때 별빛이 휘어 보이는 현상을 관찰한 사례와 태양에서 나오는 중성미자를 추적하는 천문학자들의 경우를 예로 들어 과학에서의 관찰이 매우 복잡한 활동임을 주장하였다. 즉, 과학자들이 관찰을 수행하기 위해서는 여러 달 동안 준비를 해야 하고, 정교한 장비를 제작해야 하며, 수준 높은 이론에 익숙해져야 한다는 것이다. 뿐만 아니라 관찰을 통해 무언가를 보았다고 발표하기까지 수집된 정보를

해석하는 데 오랜 시간을 보내야 하는 경우도 있다. 마찬가지로, Ford(2008)는 Rouse(1996)의 관점을 인용하여 과학 활동에서 수행하는 관찰은 직접적인 관찰(direct observation)이 아니라 자연의 특정한 국면이 가지적으로 드러나도록 하기 위해 주의 깊게 계획된 것이라고 말한다. 일례로 갈릴레이는 구슬이 나무판을 구르면서 일정한 길이마다 소리를 내게 하는 방법으로 속력을 측정하였는데, 이와 같이 그의 실험에서는 속력이 조작적으로 다시 정의되고 재개념화(reconceptualization) 되었다는 것이다. 다시 말해, 과학에서는 연구자의 개념과 이론에 따라 관찰 대상이 다양하게 정의될 수 있고 그에 따라 관찰의 내용도 달라질 수 있다. 따라서 과학에서의 관찰은 감각을 이용하여 그저 보는 행위가 아니라 자연 현상을 특정하게 보기(particular look, Ford, 2008, p. 158) 위한 것이라고 할 수 있다.

이들과 동일한 입장에서 Millar(1989, 1991, 1998)와 Millar & Driver(1987)는 관찰을 제일 우선되는 기능으로 보는 것은 관찰이 이론에 앞선다는 과학에 관한 경험주의 혹은 귀납주의적인 관점에 토대한 것이라고 비판한다. 그리고 이러한 전통적인 관점과는 달리 현대 과학 철학에서는 모든 관찰에 이론이 적재되어(theory-laden) 있다는 사실이 널리 받아들여지고 있다고 지적한다. Hodson(1986, 1996, 1998) 또한 과학의 과정이 관찰로부터 시작된다는 주장은 신화(myth)에 불과하다고 하면서, 이론이나 개념과 독립된 관찰은 가능하지 않고 오히려 관찰은 이론과 개념에 심각하게 의존한다고 주장하였다. 간단한 예로, 반사, 굴절, 수축, 팽창 등과 같이 관찰을 보고하는데 많이 사용되는 용어에는 이미 그것과 관련된 이론이 관여하고 있다는 것이다. 더 나아가 그는 “[관련 이론을 알지 못하면 어디를 보아야 하고, 어떻게 보아야 하며, 그것을 발견했을 때 그것을 어떻게 인지해야 하는지 알지 못한다”(Hodson, 1996, p. 118)고 지적하였다. 즉, 관찰에 포함된 이론이 잘 이해되고 인정될 때 비로소 과학적으로 적합한 관찰이 이루어질 수 있다는 것이다. 예를 들어, 용질이 ‘사라진다(disappear)’라고 말하던 학생이 용질이 ‘용해된다(dissolve)’라고 보다 세련된 관찰을 하기 위해서는 용해에 관한 이론을 파지하고 있어야 한다. 따라서 발전된 이론이 없는 탐구 기능의 발전도 불가능하며, 과학의 탐구에서 관찰이 가장 기초적이라는 것은 관찰 행위에 내재된 이론에 대한 고려가 없는 소박한 주장이라고 할 수 있다. 과학 교육의 측면에서는 학생들에게 필요한 능력은 자연 현상을 단순히 시각적으로 확인하는 것이 아니라 “관찰을 특정한 개념적 틀 안에 놓을 수 있는 능력”(DeBoer, 1991, p. 192)이라고 할 수 있을 것이다.

이상과 같은 주장들은 여러 가지 탐구 기능들 중에서 관찰이 가장 초보적이며 다른 기능들은 관찰 기능을 토대로 하여 단계적으로 학습될 수 있다는 SAPA의 주장을 반박하는 것이다. 더 나아가 이들은 과학의 탐구 기능과 이론이 서로 불가분의 관계에 있다는 점을 강하게 암시하는 것으로 SAPA의 기능 중심 접근에 대한 다음의 비판과도 연계된다.

둘째, SAPA에서는 탐구 기능들이 과학의 맥락에서 뿐만 아니라 다른 여러 학문 분야의 과제와 일상적인 문제를 해결하는 데에도 널리 사용될 수 있는 범용적인 것이라고 주장한다. 이러한 입장은 어떤 상황에서 특정한 탐구 기능을 습득하면 다른 상황에서도 그 기능이 유용하게 사용될 수 있다는 전이성에 대한 믿음과도 밀접하게 관련된다.

하지만 Hodson(1986, 1996, 1998)은 SAPA에서 제시하는 과학 탐구 기능들이 사실은 우리가 일반적으로 사용하는 기능에 이름을 붙인

것에 불과하다고 주장한다. 그에 따르면,

우리는 학생들에게 관찰하고, 분류하고, 측정하고, 가설을 만드는 그 자체를 가르치지 않는다. 학생들은 이미 그것을 완벽하게 잘 한다. 그들은 과학 수업을 듣기 전에도 오랫동안 그렇게 해 왔고, 실험실 밖의 매일 매일의 일상적인 삶 속에서 계속 그렇게 할 것이다(Hodson, 1996, p. 123).

따라서, Hodson(1996)에 따르면, 학교의 과학 수업을 통해 가르쳐야 할 것은 “[단순한 관찰이 아니라] ‘과학적(scientific)’ 관찰, ‘과학적’ 분류, ‘과학적’ 가설 설정이다”(p. 123). Hodson과 마찬가지로 Millar(1989, 1991) 역시 SAPA와 같은 기능 중심의 접근에서 말하는 것처럼 탐구 기능들이 범용적이라면 그것은 애써 가르칠 필요도 없고 가르칠 수도 없다고 주장한다. 다시 말해, 과학 탐구에 필요한 기능은 범용적이어서 학교 교육을 통해 짐짓 가르칠 필요가 없는 것들이 아니라 특정한 과학적 탐구의 맥락에 적합한 기능들이라는 것이다.

그렇다면 무엇이 일반적인 기능을 ‘과학적’으로 만드는 것일까? 이에 대하여 Hodson(1996, 1998)과 Millar(1989, 1991)는 공통적으로 기능이란 그것과 관련된 과학 이론이나 개념과 함께 사용되어 어떤 과학적인 목적을 달성하기 위해 사용될 때 비로소 과학적인 것이 된다고 말한다. 보다 최근에는 Erduran & Dagher(2014)가 관찰, 분류, 실험과 같은 낱말의 기능들은 서로 통합적으로 연계되어 특정한 인식적 목적(epistemic aim)에 기여함으로써 과학적인 실천이 된다고 주장하였다. 그들은 예컨대 분류가 명확한 인식적 목적 없이 단순히 사물이나 아이디어를 나누어 정리하는(sorting) 기능이라면 주기율표와 같은 과학사의 역사는 탄생하기 어려웠을 것이라고 말한다. 이러한 관점은 탐구 기능의 사용에는 항상 이론이 적재되어 있기 마련이라는 앞서 언급한 현대 과학 철학의 주장과 맥을 같이하는 것이다. 더 나아가 이렇게 과학의 탐구 기능들이 이론과 개념에 의존하기 때문에 한 맥락에서 어떤 기능을 잘 수행하였다고 해서 그 기능이 다른 맥락에도 그대로 전이된다고는 보기 어렵다. 왜냐하면 전이는 관련 이론과 개념이 서로 다른 맥락들 간에 공통적으로 존재할 때 가능하기 때문이다(Hodson, 1996, 1998).

위와 같은 관점에서 볼 때, 과학의 탐구 기능들은 SAPA에서 주장하는 것과 같이 내용이나 맥락에 무관하게 범용적으로 사용되기 어렵고, 그렇게 가르쳐져서도 안 된다(Hodson, 1996, 1998; Millar, 1989, 1991). 이와 관련하여 최근 과학 교육 분야에서는 탐구 기능들이 내용과 맥락에 특이적인 것임을 지적하는 연구물들이 속속 발표되고 있다. 예를 들어, Irzik & Nola(2011)는 관찰이 모든 과학 분야에서 공통적으로 사용되는 기능이지만, 천문학자가 천체를 관찰하는 것과 지질학자가 화석을 관찰하는 것이 다르듯이, 구체적으로 관찰을 어떻게 수행하는가는 과학의 각 영역에 따라 다르다고 주장하였다. 또, Oh(2018)는 “암석을 관찰할 때에는 꽃을 관찰할 때와는 다르게 특별히 주목해 보아야 할 특징이 있으며, 같은 암석을 관찰하는 경우에도 문제의 성격에 따라 눈여겨보아야 할 특징이 따로 있다.”(p. 514)고 하면서 과학의 탐구 과정에서 사용되는 기능들이 내용-특이적이며 맥락-의존적이라는 점을 강조하였다.

이와 더불어, Ault & Dodick(2010)은 과학의 본성에 대한 현대적인 관점은 여러 학문 분야에 걸쳐 탐구 방법과 설명 방식이 다양하다는 점을 인정하는 것이라고 말하였다. 그리고 이러한 사실에 비추어 볼 때 우리나라 과학 교과서에도 종종 등장하는 ‘발자국 퍼즐(the

footprints puzzle)’은 여전히 SAPA로부터 기원한 기능 중심의 접근에 머물러 있으며 현대 과학 철학의 관점을 제대로 반영하지 못한 대표적인 사례라고 질타한다. 발자국 퍼즐이란 땅 위에 생긴 두 동물의 보행렬이 서로 만나서 어지럽게 된 후 결국 한 동물의 발자국만 남은 모습을 통해 어떤 일이 있었는지 생각해 보게 하는 과제로서, 학생들에게 ‘추리(inference)’라는 탐구 기능을 지도하는 데 사용되곤 한다. 물론 잘 알려진 바와 같이 이 활동은 지층에 남은 공룡 발자국 화석으로부터 지질 시대의 사건을 해석하는 지구과학자들의 탐구를 모델로 삼은 것이다. 그런데 공룡 발자국 화석에 관한 문제를 해결하기 위해서는 화석의 형태로 남아 있는 증거의 모호함을 고려하면서 공룡에 비유할 수 있는 현생 동물의 해부학적 특징과 이동 방법에 관한 지식을 바탕으로 화석 보행렬의 특징을 해석해 내야 한다. 그럼에도 불구하고 발자국 퍼즐은 실제 공룡 보행렬 화석의 모습을 지나치게 단순화하여 탈맥락적으로 제시함으로써 이와 같은 분야 특이적인 지식과 그에 따른 추론 방법을 제대로 담아내지 못하고 있으며, 결과적으로 추리 기능이 과학의 어느 영역에서도 동일한 절차대로 적용되는 것처럼 가르치고 있다.

위와 같은 주장들은 단순히 기능의 사용에 이론이 적재되어 있다는 사실을 넘어서 과정과 지식이 맥락에 따라 매우 복잡하게 얽혀 있음을 잘 말해 주는 것으로(Ault & Dodick, 2010), 탐구 기능이 내용이나 상황에 무관하게 범용적으로 사용될 수 있다는 SAPA의 주장과는 상충되는 것이다. 또한 이러한 주장은 과학적 탐구에서 이론과 개념의 역할을 강조함으로써 기능 중심의 탐구에 대한 다음의 세 번째 비판으로 이어진다.

셋째, SAPA로 대표되는 기능 중심 접근에 대한 비판적 논의의 마지막으로는 발견을 통한 과학 학습에 관한 대안적 입장을 살펴볼 수 있다. 앞서 말한 바와 같이, 발견 학습을 강조하는 것은 SAPA 뿐만 아니라 1960년대부터 1970년대를 거쳐 길게는 1980년대에 이르기까지 여러 교육 개혁 운동에서 강조하였던 공통된 경향이라고 할 수 있다(Hodson, 1996). 따라서 발견 학습에 대한 찬반 논쟁 또한 매우 광범위하게 이루어지고 있는데(예: Kirschner, Sweller, & Clark, 2006), 그 중 과학 교육 분야 학자들의 비판적인 주장은 주로 귀납 논리에 토대하여 발견 학습을 강조하는 것에 대한 회의적인 입장으로 수렴된다.

한 예로, Wellington(1981, 1988)은 과학 철학, 지식 이론, 개념 형성과 발달에 관한 이론 등을 종합적으로 고려하여 발견 학습에 대한 반대 입장을 천명하였다. 그의 견해는 대부분의 과학 이론이 귀납적으로는 발견되어질 수 없는 속성의 것이라는 주장으로 요약할 수 있다. 그에 따르면, 학생들이 ‘사실에 관한 지식(knowledge that)’을 귀납적으로 발견하는 것은 불가능하지만, ‘까닭에 관한 지식(knowledge why)’을 발견하는 것은 불가능하다. 따라서 “학생들을 현상이나 사건, 관찰에 그저 노출시켜 놓고 이론을 도출하거나 발견하기를 바랄 수는 없다”(Wellington, 1988, p. 11). 왜냐하면 그러한 일은 “심지어 어린 아이슈타인에게도”(Wellington, 1981, p. 172) 일어날 수 없기 때문이다. 마찬가지로, Finely(1983)는 학생들이 귀납적인 방식을 통해 과학 개념의 의미를 발견할 수 있다고 기대하기는 어렵다고 지적하면서, 이는 질량과 같이 간단해 보이는 개념의 경우에도 동일하다고 강조하였다.

이러한 관점에서 보면 SAPA에서 주장하는 것처럼 “감각으로부터 배우거나 ... 실재를 작동해 보면서”(Sanderson & Kratochvil, 1971,

p. 7) 발견할 수 있는 것은 현상이나 현상들 사이의 통계적인 관계에 국한된다고 할 수 있다. 반면 귀납적인 추론을 통해 과학 이론과 같은 추상적인 원리까지 발견할 수 있다고 하는 것은 지나친 주장이라고 해야 할 것이다. 이와 관련하여 Hodson(1986, 1996, 1998)은 귀납적 추론으로 발견할 수 있는 것은 패턴(pattern)이나 규칙성(regularity), 혹은 이미 알려진 개념들 사이의 관계일 뿐이라고 지적한다. 즉, 자료를 관찰하거나 분류하는 것만으로 새로운 개념이나 이론을 형성할 수는 없다는 것이다. 그렇다고 해서 자료로부터 추상적인 설명이 저절로 도출된다고도 생각하기 어렵다. 왜냐하면 학생들이 무언가를 진정으로 발견하려면 그와 관련된 개념과 이론이 필요하기 때문이다.

그렇다면 추상적인 과학의 원리를 학생들에게 어떻게 가르쳐야 할까? 이와 관련하여 일찍이 Ausubel(1964/1969)은 전문적인 과학자들이 하는 일과 과학을 배우는 학생들이 하는 일의 목적을 구별하여 제시한 바 있다. 그에 따르면, 자연 세계에 대한 통합적인 설명 원리(unifying explanatory principles)를 만들어 내는 것이 과학자들의 일인데 반해, 학생들이 해야 할 일은 그러한 원리를 의미 있고 비판적으로 학습하는 것이다. 특히 Ausubel은 학생들이 학습할 과학의 원리는 세대마다 새로 발견될 필요가 없고, 오히려 교사의 의해 효과적으로 전수될 수 있으며 또 그렇게 되어야 한다고 주장한다. 주지하다시피, Ausubel이 제안한 유의미 학습 이론은 교사가 수용적인 방법으로 지도하는 경우에도 적절한 수업 전략을 사용한다면 학생들에게 의미 있는 학습이 일어날 수 있다는 통찰을 바탕으로 한 것이다(Kirschner, 1992).

더 나아가 다수의 학자들은 학생이 과학 지식을 의미 있게 배우려면 과학적인 아이디어, 개념, 원리들을 가지고 활동에 참여하는 것이 중요하다고 말한다(Millar, 1998; Osborne, 1998; Wellington, 1998). 예컨대, 학생들은 이론을 이용하여 현상을 해석하거나 실험 자료의 신뢰성과 타당성을 평가해 볼 수 있고, 과학이 관련된 현대 사회의 쟁점들에 관한 의사 결정 과정에 과학적인 소양을 갖춘 시민으로서 참여할 수 있다. 이러한 활동들에 과학의 아이디어, 개념, 원리가 필요한 것은 분명한 사실이지만, 그러한 것들이 모두 학생들이 발견 학습을 통해 귀납적으로 얻을 수 있는 것이라고는 보기 어렵다.

결론적으로, 학생들이 감각적인 경험과 탐구 기능의 사용을 통해 과학 개념과 이론을 귀납적으로 발견할 수 있다고 하는 기능 중심 접근의 주장은 그 근거가 미약하거나 제한적이라고 할 수 있다. 특히 이에 대한 비판적인 입장은 1970년대에 개발된 SAPA 뿐만 아니라 학생 중심의 수업을 강조하는 최근의 경향에 대해서도 시사점을 제공해 주고 있다. 즉, 학생들이 주도적으로 탐구를 하는 경우에도 그들이 사용하게 될 기능들은 문제와 적합하게 관련된 지식과 함께 가르쳐져야 하고, 학생들이 그러한 지식과 기능을 통합적으로 활용하여 문제를 해결함으로써 새로운 지식에 이르도록 하는 교사의 적절한 교수법적인 역할이 있어야 할 것이다.

#### IV. 과학적 실천의 의미에 관한 시론(試論)

현재 과학 교육 분야에서 새로운 주제가 되어 가고 있는 ‘과학적 실천’에 대한 관심은 사실 과학 철학, 과학사, 과학사회학 등과 같은 과학학(科學學)이나 사회문화적 학습 이론에서부터 시작되었다(Ford & Forman, 2006; Soler et al., 2014). 예를 들어, 과학 철학 분야에서

기존의 학자들은 일군(一群)의 명제들로 이루어진 과학 이론과 명제 형식으로 표현된 과학적 진술들 사이의 논리적 관계에 주목하였고, 실험과 같은 활동이나 모델과 같이 비언어적으로 표상된 과학의 다른 측면에 대해서는 상대적으로 덜 관심을 가져왔다(Chang, 2014). 하지만 1970년대부터 서서히 과학의 여러 차원, 즉 물질적이거나 심리적이고 사회적이며 암묵적인 과학의 다양한 특징에 대한 논의가 이루어졌고, 각 분야의 전문가들이 실제로 하는 일에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 이러한 과학학 분야의 새로운 학문적 경향은 이후에 ‘실천으로의 전환(practice turn)’이라고 불리게 되었다(Ford & Forman, 2006; Soler *et al.*, 2014). 따라서 최근 과학 교육 분야에서 과학적 실천을 강조하는 입장에도 과학학 분야로부터 유래한 새로운 학문적 경향이 어느 정도 영향을 주었다고 할 수 있다. 하지만 실천의 의미가 무엇이고 실천에 참여하는 동안 무엇을 해야 하며 무엇을 얻어야 하는가는 여전히 논쟁거리이며(Ford & Forman, 2006; Soler *et al.*, 2014), 특히 과학 교육 분야에서는 이제 막 과학적 실천의 의미와 그 교육적 적용에 관한 학문적인 논쟁을 시작하고 있다(e.g., Erduran, 2015; Furtak & Penuel, 2019). 따라서 학교 과학 교육에 실제적으로 적용할 수 있을 만큼의 충분한 합의가 이루어지기 위해서는 시간을 두고 과학적 실천에 관한 충실한 연구와 논의가 진행되어야 할 것이다. 그럼에도 불구하고 과학 교육 분야의 새로운 경향이 가지는 의미를 시험적으로나마 살펴보는 것은 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근을 비판적인 시각에서 재평가하고 과학적 실천을 그에 대한 하나의 대안으로서 고려하는 토대를 마련하는 데 기여할 수 있을 것이다.

이를 위해서는 먼저, 실천의 개념을 기능이나 전통적인 의미의 과학적 방법과 구별하여 이해할 필요가 있다. 이와 관련하여 Ford(2015)는 실천에 참여하는 데는 그에 필요한 특정한 지식이 요구되기 때문에 그 특징이 영역-일반적인(domain-general) 기능과는 다르다고 말한다. 이와 더불어, 과학적 실천들은 필연적으로 상호 연관되어 있고 사회적인 성격을 지니기 때문에 고정된 규칙들로 충분히 설명될 수 없다는 점에서 단계적으로 처방된 과학적 방법과도 차별된다고 지적한다. 또, Erduran & Dagher(2014)는 과학적 실천들은 서로 독립되어 있는 것이 아니라 밀접하게 연합되어 새로운 지식을 창출하고자 하는 과학의 목적에 기여한다고 강조하고, 그렇기 때문에 낱말의 탐구 기능이나 고립된 활동과 다르다고 주장한다.

위와 같은 입장은 과학철학자인 Chang(2014)의 아이디어와 맥을 같이 한다. Chang은 과학적 실천을 집합적인 것으로 파악하여, ‘실천의 시스템(a system of practice)’이라 명명하고, “실천의 시스템은 어떤 목적들(aims)을 성취하기 위해 수행된 인식적 활동들(epistemic activities)의 정합적인 집합(coherent set)”(p. 72)이라고 설명한다. 이때 핵심적인 것은 실천의 ‘목적’과 ‘정합성’으로, 여러 가지 활동들이 조화를 이루어 특정한 인식적 목적을 성취하는 데 기여함으로써 정합성이 확보된다. 따라서 과학적 실천에서는 행위자가 어떤 기능을 수행하였는가는 중요한 관심 대상이 아니다. 오히려 그것은 부차적인 것이며, 실제 활동에서는 활동의 맥락과 행위자의 선택에 따라 특정한 기능이 목적을 수월하게 달성하게 하는 역량으로 발휘되기도 하고 그 반대로 제약으로 작용하기도 한다.

이와 같은 관점에서 Ford(2008, 2015)와 Ford & Forman(2006)은 기능이나 방법이 적합하게 사용되고 있는가의 여부는 실제 맥락에 따라 달라질 수 있다고 지적한다. 즉, 특정한 기능은 과학적 실천의

한 부분으로서 실천의 목적과 다른 행위들과의 상호 관계에 비추어 그 적합성이 평가된다는 것이다. 따라서 학생들이 과학적 실천을 배우기 위해서는 기능을 단계적으로 연습하는 것보다 과학이라는 학문적인 활동에 핵심적인 역할들을 총체적으로 체험해 보는 것이 중요하다. 보다 구체적으로, 그들은 과학적 주장의 구성자(creator)와 비평가(critiquer)가 되는 것이 과학적 실천에서 중요한 두 가지 역할이라고 하면서, 학생들이 그러한 역할을 적합하게 수행하도록 하기 위해서는 과학의 방법을 선언적 지식으로 가르쳐서는 안 되고 실천에 직접 참여하는 것을 통해서 체득하도록 해야 한다고 주장한다. 실제로 Ford(2008)는 6학년 학생들이 2주에 걸쳐 과학 실험 활동에 참여하는 동안 구성자와 비평가의 역할을 해보는 경험을 하게 한 후, 그 학습 효과를 새로운 과제를 통해 검토하였다. 그 결과, 학생들의 수행이 단순히 기능을 행동으로 옮기는 것을 넘어서 과학자적인 역할을 잘 파악하여 이를 이행하는 것임을 알 수 있었다.

결론적으로, 과학의 탐구를 기능 중심이 아닌 실천의 관점에서 이해하고 적용하기 위해서는 그것이 특정한 인식적 목적을 성취하기 위한 행위라는 점에 주목하고 총체적인 시각에서 파악하려는 노력이 필요하다고 할 수 있다.<sup>4)</sup>

다음으로, 과학적 실천을 어떤 인식적 목적을 성취하기 위한 일군의 정합적인 행위들이라고 할 때, 그러한 행위들이 전개되는 구체적인 양상은 상황에 의존적이며 학문 분야 또는 과제의 성격에 따라 다르다는 점을 기억할 필요가 있다. 예를 들어, Stroupe(2015)는 미생물학자와 우주론자는 모두 과학에 종사하고 있다고 할 수 있지만 각각의 분야에서 증거가 어떻게 이용되고 평가되는가와 같은 구체적인 실천의 기준은 다를 것이라고 말한다. 또, Gray(2014)와 Oh(2019)는 지구과학과 같은 역사 과학에서는 실험 과학에 비하여 귀추(abduction), 모델링(modeling), 후진 추론(retrodiction), 복수 작업 가설의 방법(the method of multiple working hypotheses) 등과 같은 방법이 더욱 중요한 역할을 한다는 사실을 이론적이고 실증적으로 밝히기도 하였다. 이와 더불어, Ault & Dodick(2010)은 실제 과학 활동에서는 개념이 현상을 이해할 수 있게 하고 문제를 해결할 수 있게 하는 탐구의 도구로서 역할을 한다고 강조하고, 학생들이 과학 문제를 수월하게 해결하기 위해서는 해당 분야에 고유한 개념을 이해하고 그것을 문제의 맥락에 맞게 사용할 수 있도록 지도해야 한다고 역설한다. 다시 말해, 과학적 실천에 참여할 수 있는 역량은 그 맥락에 특이적인 지식을 아는 것과 무관하지 않으며, 학문 분야에 특이적인 실천은 그 분야에 고유한 문제를 해결하는 상황에 참여하여 분야 특이적인 지식과 방법을 체험함으로써 길러질 수 있다(Osborne, 2014).

위와 같은 문제 인식을 토대로 Ault(2015)는 NGSS에서 새롭게 제안한 과학적 실천이 SAPA에서 제시한 탐구 기능들처럼 단계적인 계열을 이룬다고 여겨지거나 내용 또는 맥락과 독립된 것으로 취급되는 것을 경계한다. 그의 지적은 NGSS에서 기능이나 과정이란 용어

4) 과학적 실천을 총체적인 시각에서 이해하려는 시도는 과학 교육 분야에서 최근에 시작되고 있다고 볼 수 있다. 한 예로, Irzik & Nola(2011, 2014)는 ‘인지적-인식적 체계(cognitive-epistemic system)’로서의 과학은 다음과 같은 4가지 범주로 구성되어 있다고 하였다: 탐구의 과정들(processes of inquiry) 또는 활동들(activities), 목표들과 가치들(aims and values), 방법들과 방법론적 규칙들(methods and methodological rules), 과학 지식(scientific knowledge). 이러한 접근은 본문에서 언급한 Erduran & Dagher(2014)와 Chang(2014)의 경우와 마찬가지로 과학적 실천을 여러 요소들이 밀접하게 결합된 총체적인 것으로 파악하는 데 유용한 개념적 도구가 될 수 있을 것이다.

대신 실천이라는 단어를 사용한 취지, 즉 과학의 탐구에서는 지식과 기능이 분리될 수 없다는 사실을 다시금 상기하게 한다. 특히 과학적 실천이 분야-특이적인 이론과 개념에 따라 특징을 달리한다는 점에서, 현재 우리나라의 초등학교 과학 교과서에서와 같이 탐구 기능들을 내용 중심의 단원들과 독립된 다른 단원에서 낱낱의 것으로 가르치는 것에 대해서는 보다 신중한 접근이 필요해 보인다. 즉, 현행 초등학교 과학 교과서의 탐구 단원에서 교육과정에 제시된 해당 학년의 학습 요소들과는 다른 내용을 다루거나 각각의 기능들을 서로 다른 내용을 소재로 하여 가르치고 있는 점(예: MOE, 2018b)은 재고의 여지가 있다고 할 수 있다.

마지막으로, 과학적 실천에서 이론이 중요한 만큼 학생들의 아이디어 또한 중요하게 고려되어야 한다. Furtak & Penuel(2019)은 기능을 넘어서는 것으로서 실천이라는 용어가 암시하는 것 중의 하나가 과학적 실천은 늘 불확실성을 포함하고 있어 선형적인 절차를 따라 이루어지지 않고 그 행위의 적합성이 추구하는 목적이나 실제 활동의 맥락에 따라 판단된다는 점이라고 말한다. 또, 이와 마찬가지로 실천을 통해 과학을 배우는 학생들의 학습 발달도 선형적이거나 단계적으로 이루어지지 않는다고 지적한다. 그러므로 과학적 실천의 관점에서는 교육과정 개발자들이 염두에 두고 있는 논리적인 순서에 따라 특정 개념을 가르치도록 되어 있는 기존의 과학 단원들이 보다 유연하게 재구성될 필요가 있다. 이와 더불어, Furtak & Penuel(2019)은 교사가 시시각각으로 발생하는 학생들의 질문과 그들이 이해하고 있는 것에 반응적으로 대응하며 수업을 이끌어 가는 것이 중요하다고 말한다. 즉, 학생들이 현재 가지고 있는 아이디어를 자원으로 삼아 그 토대 위에 과학적인 아이디어를 발전시켜 나가야 한다는 것으로, 최근 우리나라에서도 논의되고 있는 ‘반응적 교수(responsive teaching, Ha & Kim, 2017; Oh, 2015; Oh & Oh, 2017)’ 또는 학생들의 학습 발달 과정을 고려한 교수 계열(Heo & Lee, 2018)과도 맥을 같이 하는 주장이라고 할 수 있다. 이러한 점에서 보면 학생들이 몇 가지 기능을 절차에 따라 적용하여 일정한 결론에 이르기를 기대하기보다 학생들의 아이디어를 자원으로 활용하고 그들의 학습 발달 과정을 고려하여 단계적으로 과학적인 결론에 이르도록 하는 과학 교사의 교수 역량에 대한 제고가 필요하다고 할 수 있다.

## V. 맺으며

본 연구는 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근이 지니는 특징에 대해 비판적으로 논의하고 과학적 실천을 강조하는 새로운 접근의 의미를 시험적으로 살펴보기 위한 이론 연구로서, 관련 주제에 대한 문헌 자료를 심층적으로 고찰함으로써 이루어졌다. 앞서 기술한 것과 같이, 과학 교육에서 기능 중심의 접근은 과학의 내용을 그것을 생산하는 데 동원되는 기능들과 함께 가르치고자 한 것으로서, 과학자들의 탐구 활동을 학교 과학 교육에 접목하려는 초기의 시도라고 할 수 있다. 하지만 SAPA로 대표되는 기능 중심의 접근은 탐구 기능의 위계적인 관계와 전이성 또는 일반화 가능성을 주장하고 발견을 통한 학습을 강조하였다는 점에서 과학에 대한 현대적인 철학적 관점에 비추어 비판을 받아 왔다. 이와는 달리 과학적 실천을 강조하는 최근의 입장에서는 과학적 실천을 총체적인 것으로 이해하고 실천의 전개 양상이 내용이나 맥락에 따라 다르다는 점을 강조하며 과학 수업에서

도 학생의 아이디어를 중요하게 고려하고자 한다는 점에서 대비된다. 즉, 과학적 실천은 기능 중심의 과학 탐구에 대한 하나의 대안이 될 수 있으며, 따라서 과거 SAPA로부터 유래한 기능 중심의 접근에 대해 집중적이고 비판적으로 논의한 본 연구의 결과는 과학적 실천의 의미를 이해하고 학교 과학 교육에 적용하는 데 기초 자료로서 활용될 수 있을 것이다.

그런데 지금까지 고찰한 내용을 바탕으로 우리나라의 교육과정을 반추해 보면, 우리나라 과학 교육과정에는 탐구에 대한 기능 중심의 접근과 최근 NGSS의 관점이 혼재되어 있다고 할 수 있다. 이러한 혼재 양상은 본 논문의 앞부분에서 언급한 것과 같이 과학적 탐구, 실천, 역량, 기능 등과 같은 용어들의 의미와 상호 관계가 명료하게 제시되어 있지 않은 데에서 가시적으로 드러난다. 또, 이러한 관점의 혼재와 용어상의 혼란은 외국의 경우와 비교하여 우리나라의 과학 교육과정이 과학적 탐구의 개념과 적용에 관한 학술적인 논의와 발달 과정을 반영하는 데 미흡하였다는 점을 말해 준다. 따라서 또 다시 새로운 교육과정을 고민하는 현 시점에서는 광범위한 학문적인 검토와 다양한 견해들에 대한 개방적인 논의를 통해 과학적 탐구에 관한 일관되고 명료한 관점을 정립할 필요가 있을 것이다. 특히 미국의 NGSS에서는 과학적 실천이라는 개념을 통해 탐구를 보는 새로운 안목을 제안하기는 하였으나, 과학적 실천을 학교 교육에 어떻게 적용할 것인지에 대해서는 아직 구체적인 사례나 아이디어가 부족한 편이다. 따라서 앞으로 과학 교육 연구에서는 총체적인 인식 행위로서 과학적 실천을 어떻게 이해할 수 있고, 학교 과학 교육에는 어떤 방식으로 적용할 수 있으며, 과학적 실천을 통한 학생들의 학습을 어떻게 도울 것인지 등에 관한 도전적이고 선구적인 연구가 다각도로 수행되어야 할 것이다.

## 국문요약

본 연구의 목적은 과학 탐구에 대한 기능 중심의 접근에 대해 비판적으로 살펴보고 최근 과학 교육 개혁에서 강조되고 있는 과학적 실천의 의미를 시험적으로 탐색하는 것이었다. 이를 위하여 관련 문헌들을 수집하여 고찰하였으며, 그 결과를 세부 주제에 따라 정리하였다. Science-A Process Approach (SAPA)로 대표되는 기능 중심의 접근에서는 과학 탐구 기능들을 위계적으로 연계하여 제시하고, 이들은 전이성 또는 일반화 가능성이 높다고 주장하였으며, 발견을 통한 과학 학습을 강조하였다. 하지만 이러한 입장은 기능의 사용에 이론이 적재되어 있다는 현대 과학 철학의 관점과 상충되었으며, 탐구에서 사용되는 기능들이 내용-특이적 또는 맥락-의존적이라는 사실과 추상적인 과학 이론이나 원리는 귀납적으로 발견될 수 없다는 점에서 비판을 받아 왔다. 이와는 달리 과학적 실천을 강조하는 최근의 입장에서는 과학적 실천을 총체적인 행위로 이해하고, 그것이 전개되는 양상은 내용이나 맥락에 따라 다르다는 점을 강조하며, 과학 수업에서도 학생의 아이디어를 중요하게 고려하고자 한다. 이러한 연구 결과는 과학 탐구에 관한 일관된 관점을 정립하는 데 시사점을 제공함으로써 새로운 과학 교육과정 개발에 기여할 수 있을 것이다.

**주제어 :** 탐구, 기능 중심 접근, Science-A Process Approach (SAPA), 과학적 실천



## References

- AAAS Commission on Science Education (1961). Science teaching in elementary and junior high schools. *Science*, 133, 2019-2024.
- AAAS Commission on Science Education (1971). The AAAS project: Science-A Process Approach. In E. Victor & M. S. Lerner (Eds.), *Readings in science education for the elementary school* (2nd ed., pp. 451-462). New York: The Macmillan Company.
- American Association for the Advancement of Science [AAAS] (1967). *Science-A Process Approach, Part A, Description of the program*. New York: Xerox.
- Ault, C. R. Jr. (2015). *Challenging science standards*. Lanham, MD: Rowman & Littlefield.
- Ault, C. R. Jr., & Dodick J. (2010). Tracking the footprints puzzle: The problematic persistence of science-as-process in teaching the nature and culture of science. *Science Education*, 94, 1092-1122.
- Ausubel, D. P. (1964/1969). Some psychological and educational limitations of learning by discovery. In H. O. Andersen (Ed.), *Readings in science education for the secondary school* (pp. 97-113). London, UK: The Macmillan Company.
- Bredderman, T. (1983). Effects of activity-based elementary science on student outcomes: A quantitative synthesis. *Review of Educational Research*, 53(4), 499-518.
- Bybee, R. W. (2011). Scientific and engineering practices in K-12 classrooms: Understanding a framework for K-12 Education. *Science Teacher*, 78(9), 34-40.
- Chang, H. (2014). Epistemic activities and systems of practice: Unit of analysis in philosophy of science after the practice turn. In L. Soler, S. Zwart, M. Lynch, & V. Israel-Jost (Eds.), *Science after the practice turn in the philosophy, history, and social studies of science* (pp. 67-79). New York, NY: Routledge.
- DeBoer, G. E. (1991). *A history of ideas in science education*. New York: Teachers College Press.
- Erduran, S. (2015). Introduction to the focus on scientific practices. *Science Education*, 99(6), 1023-1025.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education*. Dordrecht, the Netherlands: Springer Netherlands.
- Fields, D. (1996). The impact of Gagné's theories on practices. In *Proceedings of Selected Research and Development Presentations at the 1996 National Convention of the Association for Educational Communications and Technology*. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 397 794)
- Finley, F. N. (1983). Science processes. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(1), 47-54.
- Ford, M. (2008). 'Grasp of practice' as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding. *Science & Education*, 17, 147-177.
- Ford, M. (2015). Educational implications of choosing "practice" to describe science in the Next Generation Science Standards. *Science Education*, 99(6), 1041-1048.
- Ford, M. J., & Forman, E. A. (2006). Redefining disciplinary learning in classroom contexts. *Review of Research in Education*, 30, 1-32.
- Furtak, E. M., & Penuel, W. R. (2019). Coming to terms: Addressing the persistence of "hands-on" and other reform terminology in the era of science as practice. *Science Education*, 103(1), 167-186.
- Gagné, R. M. (1965). Psychological issues in Science-A Process Approach. AAAS Commission on Science Education (Ed.), *The psychological bases of Science-A Process Approach* (pp. 1-8). Washington, D.C.: The Commission.
- Gagné, R. M. (1966a). Elementary science: A new scheme of instruction. *Science*, 151(3706), 49-53.
- Gagné, R. M. (1966b). Varieties of learning and the concept of discovery. In L. S. Shulman & E. R. Keislar (Eds.), *Learning by discovery: A critical appraisal* (pp. 135-150). Chicago, IL: Rand McNally.
- Gagné, R. M. (1973). Learning and instructional sequence. In F. N. Kerlinger (Ed.), *Review of Research in Education* (pp. 3-33). Itasca, IL: Peacock.
- Gray, R. (2014). The distinction between experimental and historical sciences as a framework for improving classroom inquiry. *Science Education*, 98(2), 327-341.
- Ha, H., & Kim, H.-B. (2017). Exploring responsive teaching's effect on students' epistemological framing in small group argumentation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(1), 63-75.
- Heo, J., & Lee, K. (2018). A proposal of curriculum and teaching sequence for seasonal change by exploring a learning progression. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 39(3), 260-273.
- Hodson, D. (1986). Rethinking the role and status of observation in science education. *Journal of Curriculum Studies*, 18(4), 381-396.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Hodson, D. (1998). Science fiction: The continuing misrepresentation of science in the school curriculum. *Curriculum Studies*, 6(2), 191-216.
- Irzik, G., & Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science. *Science & Education*, 20, 591-607.
- Irzik, G., & Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 999-1021). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Kim, Y.-C. (2016). *Qualitative research methodology I* (3rd ed.). Paju: Academy Press.
- Kirschner, P. A. (1992). Epistemology, practical work and academic skills in science education. *Science & Education*, 1, 273-299.
- 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.
- Livermore, A. H. (1966). AAAS Commission on science education: Elementary science program. *Journal of Chemical Education*, 43, 270-272.
- Millar, R. (1989). What is 'scientific method' and can it be taught? In J. Wellington (Ed.), *Skills and processes in science education: A critical analysis* (pp. 47-62). London, UK: Routledge.
- Millar, R. (1991). A means to an end: The role of processes in science education. In B. E. Woolnough (Ed.), *Practical science: The role and reality of practical work in school science* (pp. 43-52). Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Millar, R. (1998). Rhetoric and reality: What practical work in science education is really for. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science: Which way now?* (pp. 16-31) London, UK: Routledge.
- Millar, R., & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, 14, 33-62.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- Norris, S. P. (1985). The philosophical basis of observation in science and science education. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(9), 817-833.
- Oh, P. S. (2015). A theoretical review and trial application of the 'resources-based view' (RBV) as an alternative cognitive theory. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(6), 971-984.
- Oh, P. S. (2018). An exploratory study of the 'method of multiple working hypotheses' as a method of earth scientific inquiry. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 39(5), 501-515.
- Oh, P. S. (2019). Features of modeling-based abductive reasoning as a disciplinary practice of inquiry in earth science: Cases of novice students solving a geological problem. *Science & Education*, 28, 731-757.
- Oh, J., & Oh, P. S. (2017). An exploration of the possibility of implementing 'responsive teaching' (RT) in elementary science curriculum. *Journal of Koran Elementary Science Education*, 36(3), 227-245.
- Osborne, J. (1998). Science education without a laboratory? In J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science: Which way now?* (pp. 156-175). London, UK: Routledge.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 177-196.
- Rouse, J. (1996). *Engaging science: How to understanding its practices philosophically*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Sanderson, B. A., & Kratochvil, D. W. (1971). *Science-A Process Approach, product development report no. 8*. Washington, D.C.: Office of Program Planning and Evaluation. (ERIC Document Reproduction Service No. ED 064 066)
- Sears, P. B., & Kessen, W. (1964). Statement of purposes and objectives of science education in school. *Journal of Research in Science Teaching*, 2, 3-6.
- Soler, L., Zwart, S., Lynch, M., & Israel-Jost, V. (2014). *Science after the practice turn in the philosophy, history, and social studies of science*. New York, NY: Routledge.
- Stroupe, D. (2015). Describing "science practice" in learning setting. *Science Education*, 99(6), 1033-1040.
- The Ministry of Education (1992). *High school curriculum (I)*. Seoul: The Ministry of Education.
- The Ministry of Education (2014). *Science 3-1*. Seoul: Mirae-N.
- The Ministry of Education (2015). *Science curriculum*. Sejong: The Ministry

of Education.  
The Ministry of Education (2018a). Science 3-1 teachers' guide. Seoul: Visang.  
The Ministry of Education (2018b). Science 3-1. Seoul: Visang.  
Wellington, J. J. (1981). 'What's supposed to happen, sir?' Some problems with discovery learning. *School Science Review*, 63(222), 167-173.  
Wellington, J. (1998). Practical work in science: Time for a re-appraisal. In J. Wellington (Ed.), *Practical work in school science: Which way now?* (pp. 3-15). London, UK: Routledge.  
Wideen, M. F. (1975). Comparison of student outcomes for Science-A Process approach and traditional science teaching for third, fourth,

fifth, and sixth grade classes: A product evaluation. *Journal of Research in Science Teaching*, 12(1), 31-39.

## 저자 정보

오필석(경인교육대학교 교수)