



## COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업에 대한 과학교육 전문가들의 인식

이경건, 홍훈기\*  
서울대학교

### Science Education Experts' Perception of the Remote Laboratory Sessions Provoked by COVID-19

Gyeong-Geon Lee, Hun-Gi Hong\*  
Seoul National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 10 August 2021

Received in revised form

31 October 2021

Accepted 2 November 2021

##### Keywords:

COVID-19 pandemic, remote laboratory session, science inquiry experiment, E-learning, hands-on, minds-on

#### ABSTRACT

This study investigated science education experts' perception of remote laboratory sessions (RLS) provoked by the COVID-19 pandemic. We conducted a total of 10 semi-structured interviews with experts in physics, chemistry, biology, and earth science education. As a result, science education experts primarily understood the RLS concerning pre-service teacher education and reconsidered the aim and goal of conventional laboratory education. On practices of RLS provoked by the COVID-19, they pointed out the learning loss due to deficiency of hands-on experience, decreased interactions between instructor and students, and instructors' increased burden. Meanwhile, they contemplated upon their adaptive implementation of RLS to suggest ways to improve RLS instruction and directions of post-COVID-19 science education. We recommend that RLS should be understood as a complemented version of minds-on teaching rather than a degraded version of hands-on teaching to elicit its full potentials. This study has its own significance providing an in-depth science educational perspective interpreting the RLS phenomena.

### 1. 서론 및 이론적 배경

2020년 발발한 COVID-19 팬데믹은 모든 학생들의 학습이 특정한 환경 안에 상황화되어(situated) 있음을 여실히 보여주었다. 팬데믹은 전 지구적으로 교육 실천의 모습을 바꾸었다. UNESCO (2021)에 따르면 세계적으로 110개국 이상으로 1억 5천만 명 이상의 학생들이 학교 폐쇄로 인한 영향을 받았다. 이 가운데 대부분의 교수학습이 관습적인 대면(face-to-face) 형식에서 온라인 플랫폼 기반의 비대면(non-face-to-face) 형식으로 전환하였다. 한국의 경우 2020년 1월 20일에 첫 확진자가 발생한 후, 2월에는 교육부가 대학의 1학기 개강을 최대 4주까지 미룰 것을 권고하였다. 또한 교육부는 모든 대학 수업이 비대면 형식으로 이루어져야 함을 명시하였다. 결과적으로 한국의 모든 대학들은 대체로 3월 셋째 주에 비대면 수업으로 학기를 시작하게 되었다. 비록 교육부가 2020년 5월에는 실험 실습 등의 수업에 대하여 대면 수업을 허용하였으나, 이와 함께 교육부는 각 대학이 방역 수칙을 준수하였는지를 감독하였으며 대다수의 대학은 여전히 비대면 수업을 유지하였다.<sup>1)</sup> 이러한 비대면 수업 기조는 2020년 2학기부터 2021년 1학기까지도 유지되었다. 학자들은 팬데믹이 가져온 교수학습의 변화 및 그것이 학생들의 학습 결과에 미칠 영향에

관심을 기울이고 있으며(Reimers & Schleicher, 2020) 과학교육 분야에서도 COVID-19 팬데믹이 미친 영향에 대한 경험적인 연구가 축적되고 있다(Erduran, 2021; Siry, 2020; Verma et al., 2020).

이러한 상황에서, COVID-19 팬데믹이 과학교육에 미친 함의와 영향에 대한 연구들이 점차 보고되고 있다. 원격(remote)으로 이루어지는 수업을 비롯하여 증강현실과 가상현실 등 다양한 정보통신 기술(ICT) 기반의 과학 교수학습의 가능성이 제기되었으며(Ray & Srivastava, 2020), 인공통질병이자 여러 사회문화적인 함의를 지니는 COVID-19이 본질적으로 간학문적(inter-disciplinary)인 이슈라는 지적과 함께 과학사, 과학철학, 과학사회학(History, Philosophy, and Sociology of science, HPS)의 관점에서 COVID-19을 바라보고 또한 이를 통해 HPS를 가르칠 수 있다는 점이 제안되었다(Reiss, 2020). 그런가 하면 국내에서는 COVID-19으로 인하여 원격 수업을 실행(implement)하여야 했던 과학 교사들의 행위주체성(agency) 발휘에 관한 선행 연구가 보고되기도 하였다(Lee & Kim, 2021).

그러나 여기서 무엇보다도 과학교육자들에게 많은 관심을 불러 일으킨 것은 원격 실험 수업(remote laboratory session)일 것이다(e.g., Jang et al., 2020). COVID-19 직전까지 대학 수준에서 대다수의 실험 수업들이 핸드온(hands-on)<sup>2)</sup> 경험을 위주로 설계되고 실행되었던 관

\* 교신저자 : 홍훈기 (hghong@snu.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2021.41.5.391>

1) 한국대학신문 2020년 2월 26일자. <서울권 주요대학 코로나 방지 위해 '동분서주'...개강연기 이어 '등교연기 단행'>. Retrieved on July 29th, 2021 from <https://news.unn.net/news/articleView.html?idxno=226645>; 한국대학신문 2020년 5월 30일자. <코로나19 중간결산 개강 연기부터 1학기 원격수업까지 ... 모든 것이 '사상초유'>. Retrieved on July 29th, 2021 from <https://news.unn.net/news/articleView.html?idxno=229992>

습에 비추어 볼 때, 사회적 거리두기가 초래한 원격 실험 수업은 적지 않은 학습 결손을 가져올 것으로 이해되었다(Jang *et al.*, 2020). 예컨대, 미국화학회(American Chemical Society)에서 발간하는 동료평가 학술지인 *Journal of Chemical Education*은 이미 2020년에 *Insights Gained While Teaching Chemistry in the Time of COVID-19*이라는 특별호(special issue)를 통해 원격 실험 수업을 집중적으로 다루었으며, 이에 관한 학습 경험이 대다수 학생들에게 부정적으로 받아들여졌다는 점이 보고되었다(Blizak *et al.*, 2020; Petillion & McNeil, 2020). 하지만 선행 연구들은 원격 실험 수업의 부정적인 측면에 과도하게 주목한 경우가 많았고, 연구자 및 연구 대상자가 과학교육학과 직접적인 관련이 있기보다는 순수 이공계열 또는 교육공학 분야에 속한 면이 있었다. 결국 COVID-19으로 인하여 긴급하면서도 전 지구적으로 촉발된 원격 실험 수업을 과학교육학의 이론적 언어로 심도 있게 재해석하거나 그 향후 가능성을 제시한 선행 문헌은 아직 드문 형편이다.

사실 원격 실험 수업은 COVID-19 이전에도 적지 않게 시도되어 왔던 교수학습 방법이므로(Ma & Nickerson, 2006; Tho *et al.*, 2017) 이에 관한 논의가 완전히 새로운 것은 아니다. 다만 원격 실험 수업이라는 용어가 지칭하는 바가 다소 다양하다는 점에는 유의할 필요가 있는데, 일반적으로 핸즈온 경험이 없이 동영상, 시뮬레이션, 원격 조작 등을 활용하는 실험 수업을 원격 실험 수업이라고 할 수 있다(Tho *et al.*, 2017). 예컨대 Lowe *et al.* (2013)은 COVID-19 이전의 원격 실험 수업이 실험 기구를 원격으로 조작하여 일련의 실험을 수행하는 것으로서 이해되는 경우가 있었음을 잘 보여준다. 이처럼 원격 실험 수업에 대한 COVID-19 이전의 연구들은 세심하게 설계된 특별한 환경에서 보고된 경우가 많았으므로, 그것이 실험 수업에 관련한 과학교육계 내 논의의 핵심이 되거나 전반적인 대학 실험 수업을 변화시키는 데는 미치지 못하였다. 예컨대 Lowe *et al.* (2013)의 경우 많은 자원을 필요로 하는 핸즈온 수업의 대체재로서의 K-12 수준의 원격 실험을 논하였는데, 역설적으로 첨단 테크놀로지를 활용하여야만 원격 조작을 활용한 실험 수업이 가능하다는 점에서 논의의 확장성이 제한되었다.

이에 본 연구자들은 ‘원격 실험 수업’을 원격 조작을 활용한 수업이라기보다는 ‘이러닝(E-learning)으로 구현한 실험 관련 교수학습 형태’로 이해하고, (1) 실험 수업과 (2) 이러닝이라는 두 측면에서 이를 해석하는 작업이 필요하다고 제안한다.

실험 수업은 1980년대 이후로 과학교육의 주요 교수학습 방법으로 자리매김해왔으며, 이 때 대체로 핸즈온 방식으로 가정되어 왔다(Hofstein & Lunetta, 2004). 핸즈온 수업에서 학생들은 실험실에 출석하며 장비, 기구, 시약 등을 직접 다루며 절차대로 실험을 수행한다. 핸즈온 실험을 통해 학생들은 더 심화된 연구 또는 이공계열 진로를 위한 지식, 기능, 태도를 함양하게 된다(Domin, 1999). 하지만 이러한 핸즈온 과학 실험에 대한 비판 역시 제기되어 온 것이 사실이다. 핸즈온 수업은 많은 자원을 필요로 하고 교수자의 부담을 가중시킬 뿐더러, 자칫 학생들의 단순한 실험 기구 조작만을 유발할 뿐 진정한 탐구를 유발하지 못하므로 오히려 마인즈온(minds-on) 탐구 과정을 중요

시하여야 한다는 것이다(Abrahams & Millar, 2008). 이러한 관점에서 학생이 직접 실험 과정을 수행하지 않더라도 교수자의 실험 시연과 같은 간접 경험을 통해서도 자료를 해석하는 탐구를 경험할 수 있으며, 이처럼 직접 핸즈온 실험을 하지 않아도 실험 수업의 진정한 목적을 달성할 수 있다고 본다. 물론 여기서 핸즈온 실험 수업과 마인즈온 실험 수업을 서로 대비되는 관계로만 이해할 것은 아니다. 핸즈온과 마인즈온은 상호보완적인 관계, 즉 핸즈온 경험 이후에 마인즈온 탐구로 이어져야만 하는 관계로도 이해할 수 있다(Flick, 1993). 여기서 COVID-19 이후의 원격 실험 수업은 실험 동영상을 시청한 후에 이에 대한 학생 간 논의와 함께 실험 보고서를 작성하는 형식으로 이루어진 경우가 많기 때문에(e.g., Jang *et al.*, 2020), 원격 실험 수업을 마인즈온 수업의 일환으로 이해하는 일이 가능할 것이다. 하지만 선행 연구들은 이 점을 간과하여 온 것으로 보인다.

이러한 마인즈온 수업의 특징은 전통적 교수학습에 존재하였던 시공간의 제약을 넘어서고 이를 재구성하는 이러닝의 특징과도 맞닿는다. 이러닝은 “학습을 지원하기 위한 의도로(intended) 컴퓨터나 모바일 기기 등의 장치를 활용하여 이루어지는 교수”로서(Clark & Mayer, 2016), 이를 적절히 설계하고 적용할 경우에는 여러 자원을 효율적으로 활용하면서도 바람직한 학습 효과를 얻을 수 있다. 예컨대 슬라이드 자료, 시뮬레이션, 비디오 등의 멀티미디어 학습 자료가 이러닝에서 주요하게 사용되는바(Mayer *et al.*, 2020), 이는 원격 실험 수업을 비롯한 과학교육에서도 활용될 수 있다. 이러닝과 관련하여, 온라인 기반의 수업 전 학습과 오프라인 기반의 실시간 학습을 구별하되 통합적으로 운영하는 플립 러닝(flipped learning) 또는 블렌디드 러닝(blended learning)<sup>3)</sup> 또한 과학교육 특히 실험 수업에서 주목을 받아 온 교수학습 형식이다(Bergmann & Sams, 2012; Lee, Jeon, & Hong, 2021; Loveys & Riggs, 2019). 이론적 내용을 수업 전에 학생들이 스스로 학습하는 경우, 실시간 수업 시간에 보다 많은 협력적 활동 시간을 확보할 수 있기 때문이다. 그러나 이러닝은 면밀히 설계되지 않을 경우 낮은 학생 참여도와 높은 이탈율(drop-out rate)을 나타내기도 한다(Lee *et al.*, 2019). 곧, 원격 실험 수업의 장단점에는 이러닝 이러닝의 장단점이 투영된 면이 분명히 존재할 것이다.

다만, 이러한 이론적 틀은 본 연구자들이 잠정적으로 설정하였기에, 과학교육학의 맥락에서 원격 실험 수업에 대하여 더욱 정교하고 심도 있는 논의와 검토가 필요하다. 과학교육 전문가들은 교과내용학으로서의 과학 각 분과와 교과교육학으로서의 교수학습 및 여타의 교육학적 시야를 겸비함으로써, ‘과학’ 교육도 과학 ‘교육’도 아닌 ‘과학교육’의 고유한 영역을 바라보는 전문적인 안목을 갖는다. 특히 자신들이 과학교육 관련 교과내용학 또는 교과교육학을 직접 가르친다는 점에서, 실제 교수학습 맥락과 유리되지 않은 과학교육적 견해를 제공할 수 있다. 또한 과학교육 전문가들은 예비과학교사교육 및 과학교육정책에 직접 영향력을 미칠 수 있으며, 이들의 인식은 포스트 코로나 시대의 과학교육을 위한 추후 연구에 많은 시사점을 제공할 수 있다. 그러므로, COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업을 심도 있게 이해하기 위하여는 과학교육 전문가들의 인식을 살펴보는

2) ‘Hands-on’ 및 ‘minds-on’ 수업 방법에 상응하는 번역어 표현으로는 각각 ‘실험 실습’ 및 ‘실험 시연’ 등의 용어가 사용되는 경우가 많은 것이 사실이다. 다만 본 연구자들은 해당 번역어들이 탐구의 과정에서 주로 사용되는 인지적 경로로서의 ‘손’과 ‘마음’의 특별한 위치를 드러내지 못하는 면이 있다고 본다. 이에 본 연구에서는 ‘hands-on’과 ‘minds-on’에 대응하는 용어로서 ‘핸즈온’과 ‘마인즈온’을 사용하도록 하겠다.

3) ‘Flipped learning’과 ‘blended learning’은 서로 유사한 의미를 지닌다. 그런데 전자에 대하여는 ‘거꾸로 학습’이라는 번역어가 사용되기도 하지만, 후자에 대하여는 대표적으로 사용되는 번역어를 들기 쉽지 않다. 이에 본 연구에서는 둘 중 한 쪽에 대하여 번역어를 사용하기보다는 양쪽 모두에 대하여 ‘플립 러닝’과 ‘블렌디드 러닝’이라는 용어를 사용하도록 하겠다.

일이 요구된다.

이에 따라, 본 연구에서는 COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업에 대한 과학교육 전문가들의 인식을 알아보고자 하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 맥락

본 연구는 COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업의 실태를 조사하고 이를 보다 체계적으로 설계할 수 있는 방안을 모색하는 보다 넓은 연구 프로젝트의 일환으로서 진행되었다. 본 연구자들은 2020년에 COVID-19으로 인하여 촉발된 원격 실험 수업의 실태를 조사하기 위하여 한국대학교(가칭)의 물리학, 화학, 생물학, 지구과학, 그리고 기타 전공 실험 교과들의 교수자 10인과 수강생 338명을 대상으로 한 사전 연구를 진행한 바 있었다. 이러한 선이해를 바탕으로 연구자들은 2021년 1학기에 원격으로 운영된 한국대학교 화학교육과 3학년 전공 교과인 ‘분석화학실험’ 수업을 개선하는 연구를 수행하는 중에 이에 관련한 자문을 얻기 위하여 연구 참여자를 모집하였다.

### 2. 연구 참여자

본 연구에는 박사학위를 지닌 물리교육 전문가 2인, 화학교육 전문가 3인, 생물교육 전문가 3인, 지구과학교육 전문가 2인, 총 10인의 과학교육 전문가가 참여하였다 (Table 1). 해당 전문가들의 연구 및 교육 경력은 2~32년으로 다양하였다. 모든 연구 참여자들은 2020년 COVID-19의 발발 전과 후에 핸즈온 실험 수업 또는 마인즈온 탐구 수업을 지도한 경험이 있었다. 대다수의 연구 참여자들은 원격 수업을 위한 실험실 구축 사업을 수행하거나, 미래교육 및 원격 수업과 관련한 대학 내 보직을 담당하거나, 국가수준 이러닝 사업에 참여하거나, 이러닝 관련 분야를 전공하고 연구하는 등 원격 수업에 관련한 풍부한 경험과 식견을 가지고 있었다.

### 3. 반구조화된 질적 인터뷰

COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업에 대한 과학교육 전문가들의 인식을 조사하기 위하여, 반구조화된(semi-structured) 질적 인터뷰

Table 1. Research participants

| 분야     | 코드  | 직위   | 경력(년) |
|--------|-----|------|-------|
| 물리교육   | P1  | 교수   | 30    |
|        | P2  | 교수   | 19    |
| 화학교육   | C1  | 교수   | 18    |
|        | C2  | 연구자  | 2     |
|        | C3  | 연구교수 | 8     |
| 생물교육   | B1  | 교수   | 32    |
|        | B2  | 교수   | 6     |
|        | B3  | 연구교수 | 2     |
| 지구과학교육 | ES1 | 교수   | 20    |
|        | ES2 | 교수   | 17    |

□ 연구 참여자 배경

- 소속과 직위를 간략하게 설명해주세요.
- (비대면) 실험 수업 및 이러닝과 관련된 경력(년 수)을 간략히 설명해주세요.
- 예시) OO교육 전공 / 직위 / 경력 OO년

□ 해당 교과목의 특징에 대한 인식

1. 대학에서 운영되는 전공 실험 과목의 목표 및 이를 달성하기 위한 수업 설계 방법은 무엇입니까?
2. (COVID-19으로 인해) 대학에서 운영되는 원격 실험 수업 경험을 알려주세요.
3. (COVID-19으로 인해) 대학에서 운영되는 원격 실험 수업의 특징 및 유의점은 무엇입니까?
4. 원격 실험 수업의 장단점은 무엇입니까?
5. 원격 실험 수업을 개선하기 위하여 제안하고 싶은 바는 무엇입니까?

Figure 1. Examples of interview questions

를 수행하였다. 연구자들은 연구 참여자들에게 인터뷰를 위한 참고 자료와 질문지를 미리 송부하였다. 본격적인 인터뷰를 진행하기 앞서, 연구자들은 본 연구가 이루어지고 있는 연구 맥락과 함께 연구자들이 사전 연구를 통해 얻은 선이해를 참여자들에게 설명하는 과정을 거쳤다.

인터뷰 질문의 내용은 연구 참여자가 생각하는 실험 수업의 목적, 연구 참여자가 직간접적으로 경험한 비대면 원격 실험 수업의 종류, COVID-19 이후 촉발된 원격 실험 수업의 특성, 원격 실험 수업의 장단점, 원격 실험 수업 개선을 위한 제언 등을 포함하였다(Figure 1). 인터뷰는 2021년 4월부터 6월에 진행되었으며, 모두 1:1로 실시되었다. 총 10인의 연구 참여자들 중 8인은 연구자가 대면으로 방문하거나 비대면으로 Zoom 화상 회의 프로그램을 활용하여 인터뷰하였으며, 2인의 연구 참여자는 서면으로 인터뷰에 응하였다. 서면이 아닌 대면/비대면 인터뷰의 경우 연구 참여자 1인당 평균적으로 약 40분 동안 이루어졌다. 연구자는 인터뷰 과정에서 녹음을 진행하고 면담기록지를 작성하였다. 이후 모든 인터뷰 내용을 전사하였다. 연구자들은 반구조화된 인터뷰의 전사본과 면담기록지를 결합하여 질적 자료를 구성하였다.

### 4. 분석 방법

질적 자료를 분석하기 위하여 반복적 비교 분석법(constant comparative method; Glaser, 1965)을 사용하였다. 반복적 비교 분석법에서는 질적 자료를 귀납적으로 분석하면서 이를 설명해내는 일종의 이론을 생성해나간다. 이러한 이론은 연구 대상의 속성에 대한 것일 수도 있고(property theory) 보다 포괄적인 명제적인 이론일 수도 있다(propositional theory). 본 연구에서 반복적 비교 분석법에 따라 도출하고자 한 결과는 원격 실험 수업에 대한 과학교육 전문가들의 인식이므로, 속성에 대한 이론에 해당한다.

연구 과정에서 과학교육 전문가 1인 및 과학교육 박사과정 1인으로 이루어진 연구자들이 질적 자료 분석에 참여하였다. 연구진은 각자 질적 자료를 읽고 난 후에 일차적으로 코드를 부여하였다. 이후 코딩된 사례들이 해당 범주에 적절한지에 대한 협의를 거쳤으며, 코드를 통합, 재설정, 위계화하며 코드 수를 축소하였다. 코딩 과정에서 연구자들은 연구 결과이자 질적 자료를 설명해내는 일종의 이론적 틀을 고안하였으며, 잠정적 코딩 결과가 고안한 이론적 틀에 부합하는지를 반복적으로 살펴보았다. 연구자들은 개발 중인 이론이 설명할 수 있는 자료와 그렇지 않은 자료를 점검하였다. 그리고 이론이 충분히 간명(parsimonious)하면서도 질적 자료 전반을 잘 설명하는지의 기준에 따라, 모든 사례가 코딩 틀로 적절히 분석될 만큼 이론이 포화(saturated)되도록 분석, 비교, 재범주화를 반복하였다. 연구자들은 정기적인 협의회를 통해 코딩 결과를 중간 점검하면서 분석의 타당성을

확보하기 위해 노력하였다. 한편, 본 연구에 직접 참여하지 않은 과학 교육 전문가 1인 및 과학교육 석사과정 1인에게 연구의 내용을 소개 하며 범주의 간명성과 포괄성에 대한 의견을 구하여 분석의 타당성을 확보하기 위한 참고 자료로 삼았다. 분석 과정에서 이론의 수정에 따라 일부 코딩 결과가 달라져야 할 사례들에 대하여는 협의를 통해 연구자 간 일치를 이룸으로써 최종 코딩 결과를 산출하였다.

### III. 연구 결과

본 연구의 결과는 ‘원격 실험 수업의 목적’, ‘원격 실험 수업의 현실’, ‘원격 실험 수업이 지닌 가능성’이라는 3개의 상위 범주 및 그 하위 범주들로 정리되었다. 연구자들은 이를 논리적 순서에 따라 편의상 구분하였지만, 과학교육 전문가들의 인식 안에서는 이 범주들이 서로 긴밀하게 연관되어 있었다.

#### 1. 원격 실험 수업의 목적

##### 가. 예비교사교육으로서의 원격 실험 수업

우선적으로, 물리, 화학, 생물, 지구과학을 막론하고 과학교육 전문가들은 2020-2021년에 이루어진 원격 실험 수업이 예비교사교육에 영향을 미쳤다는 점에 주목하였다. 연구자들이 제시한 질문의 초점이 예비교사교육에 있지 않았음에도, 일반 이공계열 대학생들이 수강하는 실험 수업과 과학교육계열 대학생들이 수강하는 실험 수업의 지향이 다르다는 점이 우선적으로 지적되었다. 그 지향은 사범대학 또는 교육대학 학생들이 향후 학교 현장에서 교사로 재직하며 자신의 주 전공이 아닌 과목까지도 탐구실험을 지도해야 하는 현실에 맞닿아 있었다.

“[물리교육과에서는 일선] 학교에서 어떻게 탐구실험을 할 것인가에 관련된 실험을 도입한다거나, 그런 노력을 꽤 많이 했던 것 같아요. 그래서 아마 사범대학에서 하는 실험이라고 하면 분석화학실험이라 하더라도 고등학교 수준에서의 교과내용, 교육과정 상의 내용이라든가 교과서에 나와 있는 실험, 이런 것들과 연결을 어느 정도 하느냐도 중요한 문제인 것 같아요. ... 그게 사범대학에서는 불가피하게 교육과정에 대한 이해라든가 교과서에 나와 있는 실험과의 연계 이런 것을 하다 보면 추가적인 실험 시간이 많이 필요하거든요.” - 전문가 P1

“특히 우리가 지금 중고등학교 교사가 여러 가지 탐구 지도를 해야 하는데, 탐구 지도를 할 능력이 언제 키워지느냐. 이 실험교육 할 때 키워져야 하는데. 즉 내가 잘 할 줄 알아야 우리 학생을 잘 하게 할 텐데. 이런 상태로 교육을 받고 임용고시를 합격해서 교사가 되었을 때, 영재고 가고 과중고 [과학중점고등학교] 갔을 때 많은 졸업생들 하는 소리가 탐구지도가 제일 어렵다는 것이거든요.” - 전문가 C1

“예비교사들을 대상으로 하는 실험 과목은 예비교사들이 과학 실험 수업을 고안하는 능력을 신장시키는 것 또한 그 목표 중 하나라고 생각합니다. 이를 달성하기 위해 학생들이 직접 전공 분야에서 주로 다루는 현상을 마주하고, 전공 분야가 발전하게 된 기본적인 실험 방법을 담은 대표적인 실험을 수행, 실험으로부터 얻은 자료를 바탕으로 결론을 도출, 실험 수업을 고안 해보는 수업을 설계할 필요가 있다고 생각합니다.” - 전문가 B3

“교대나 사대 입장에서, 교사 교육의 측면에서 봤을 때는 제가 자꾸 대면 수업을 좋아하는 이유가 뭐냐면, 우리는 2가지 고민을 해야 하잖아요. 주어진 실험을 잘 하는 것도 문제지만 이걸 애들한테 어떻게 가르칠까 이 고민도 같이 해야 하잖아요.” - 전문가 ES2

곧, COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업을 수강한 학생들이 추후에 실제 실험실 환경에서 실험을 수행할 수 있을지, 특히 예비 교사들이 추후에 학교 현장에서 실험 수업을 적절히 설계하고 운영할 수 있을지에 대한 의문이 제기되었다. 이는 과학교육 전문가들에게 있어 과학 교과의 실증적인 성격이 중시되고 있음과 함께, 후술할 바와 같이 일선 교사들이 담당해야 할 과학 실험 수업이 주로 핸드온 수업으로 가정되고 있음과 밀접한 연관이 있었다.

##### 나. 원격 실험 수업을 통한 실험 교육의 목적 재인식

과학교육 전문가들은 COVID-19로 인해 요구되었던 원격 실험 수업이 오히려 대학에서 이루어지는 실험 수업의 목적을 재인식하게 해주었다는 인식을 드러내었다. 예컨대, 전문가 P2는 지금까지 대학에서 이루어져 왔던 대면 실험 수업이 “기계적으로” “실험 수업의 목적을 의식하지 않고” 이루어져왔음에 비하여, COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업의 경험이 오히려 실험 수업의 목적을 재인식하게 되는 계기가 될 것이라고 파악하기도 하였다. 더 나아가, 전문가 P2는 원격 실험 수업 맥락에서도 되도록 학생들의 “practical skill”을 기르고 “NOS[과학의 본성]를 이해하는 것”에 집중하면 여타의 학습 목표들은(cf. Hofstein & Lunetta, 2004) 따라오게 될 것이라는 생각을 제시하기도 하였다. 이와 유사하게 전문가 C1은 지금까지 사범대학에서 이루어져 온 실험 수업들이 일관된 목표를 위하여 체계적으로 조직화되지 않았음을 지적하였다.

“이제 화학교육과를 와서 우리가 학과에서 학생들한테 요구하는 실험 교과목 수가 ... 한 7~8개가 되는 것 같은데. 그러면 우리가 적지 않은 실험 교육을 하고 있는 것 같은데 ... 실험 교육이 뭔가 어떤 도달점을 정의를 하고 가고 있는지. 아무튼 이런 고민이 드는 것은 안 하고 가는 것 같으니까...” - 전문가 C1

하지만 연구에 참여한 과학교육 전문가들이 생각하는 (원격) 실험 수업의 목적과 구성 요소는 선행 문헌들에서 전형적으로 언급하던 것들과(Flick, 1993; Domin, 1999; Hofstein & Lunetta, 2004) 본질적으로 다르지는 않았다. 예컨대 과학교육 전문가들이 언급한 실험 수업의 목적은 ‘이론 수업에서 학습한 것을 재현’, ‘실험 과정에서 암묵적 지식/과학의 본성/실제적 기능 습득’, ‘학교 현장에서 실험 수업 지도를 위한 준비’ 정도로 유목화할 수 있었다(Table 2). 실험 수업의 구성 요소 또한 ‘매뉴얼에 따른 실험 절차 수행’, ‘데이터 획득’, ‘데이터 해석 및 탐구’, ‘과학적 글쓰기(레포트)’, ‘동료와의 상호작용을 통한 문제 해결과 지식 구성’ 정도로 유목화할 수 있었다(Table 3). 전문가 B3는 이를 “비대면 수업을 통해 ... [기존의] 목표 외에 새롭게 성취 가능한 목표를 찾지는 못하겠”다는 말로서 표현하였다.

결국, COVID-19과 이로 인한 원격 실험 수업은 과학교육 전문가들이 (원격) 실험 수업을 설계하고 실험함에 있어 위와 같은 교과서적 요소들을 숙고하며 기존의 수업 실행을 성찰하는 기회가 되었다. 이

Table 2. Science education experts' perception of the purpose of laboratory session

| 실험 수업의 목적               | 인터뷰 예시   |
|-------------------------|--|
| 이론 수업에서 학습한 것을 재현       | “전공(과학, 특히 생물) 실험 과목의 주된 목표는 ... 먼저, 교과서 또는 이론서에 나오는 과학 지식이 도출된 실험을 수행하고 ...” - 전문가 B3   |
| 실험 과정에서 암묵적 지식 습득       | “실험의 굉장히 부분 부분마다 있는 노하우가 있잖아요. 그런 것을 익히는 거라고 생각이 들어요. 이때는 이렇게 하면 좋아, ... 실제로 해보면서 느끼는 그 느낌, 우리가 말로는 설명할 수 없는 그게 우리 몸에 배어야 우리가 학문을 하는 것이 아니에요?” - 전문가 ES2 |
| 실험 과정에서 과학의 본성 습득       | “실험 교육은 장하석 교수가 말하였던 supplementary science로 볼 수 있다. 실험을 통해서 학생들은 theory-laidness 등을 고찰해볼 수 있다.” - 전문가 P2   |
| 실험 과정에서 실제적 기능 습득       | “실험 과정을 통해 직접 자연 현상으로부터 자료를 얻는 방법, 실험 기구를 다루는 방법 등 기술적 측면에서의 능력 신장 또한 주된 목표라고 생각합니다” - 전문가 B3  |
| 학교 현장에서 실험 수업 지도를 위한 준비 | “초등교사를 양성하는 전문기관에서의 실험 과목은 과학탐구나 과학실험의 특징을 경험하고, 과학적 사고를 촉진시키는 방안 등에 대해 수강생들이 ‘학생’의 경험을 체득하기 위한 것을 목적으로 구성된다.” - 전문가 ES1                                 |

Table 3. Science education experts' perception of the components of laboratory session

| 실험 수업의 구성 요소               | 인터뷰 예시  |
|----------------------------|---|
| 매뉴얼에 따른 실험 절차 수행 및 데이터 획득  | “주어진 매뉴얼에 따라서 체계적으로 순서를 잘 따라서 데이터를 만들어보는 활동. 이게 너무 중요하고” - 전문가 C3   |
| 데이터 해석 및 탐구                | “[교육대학] 수업에서는 실험의 일부 과정을 반복하기보다는 실험의 질문 생성으로부터 결과 도출 및 과학적 주장을 고찰하는 전체 과정을 경험하도록 설계한다.” - 전문가 ES1   |
| 과학적 글쓰기 (레포트)              | “논문 형식 [글쓰기] 경험도 실험 레포트 작성의 의의 중 하나겠지만, 또 다른 점은 데이터 바탕의 지식 도출 과정을 논리적으로 기술하는 것이라고 생각합니다.” - 전문가 B3  |
| 동료와의 상호작용을 통한 문제 해결과 지식 구성 | “물론 혼자 하다가 틀리면 고민은 할 수 있지요. 그런데 그런 고민들도, 교수법적인 고민들은 혼자 고민해서 해결하기보다 여러 사람들이랑 같이 의논하고, 노하우를 듣다 보면 훨씬 쉽잖아요. 그래서 그러려면 같이 [대면으로] 봐야 할 것 같은 생각이 들고요.” - 전문가 ES2 |

는 과학 교수자들이 자신들이 알고 있는 것을 교수 실제에 적용하기에 이르기까지의 과정에 과학 수업에 대한 반성적 사고가 필요하다는 점을 지적한 선행 문헌(Park et al., 2007)의 논의와도 궤를 같이 한다.

2. 원격 실험 수업의 현실

상술한 바와 같이 실험 수업의 목적을 재인식하게 된 과학교육 전문가들은 그것과 원격 실험 수업의 현실 사이에 존재하는 괴리를 발견하였다.

가. 핸즈온 경험의 부족으로 인한 학습 결손

대다수의 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업을 핸즈온 방식에 가정하였던 기존 실험 수업의 연장선상에서 이해하였다. 이에 따라 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업에서 학생들이 핸즈온 활동을 충분히 하지 못하게 되는 것을 가장 우려하였다. 위에서 제시하였듯 실험을 예비교사들이 직접 해보아야 한다는 인식이나 실험 수업의 목적들 또한 이러한 핸즈온 경험을 전제한 것들이었다. 곧, 과학교육 전문가들에게 원격 실험 수업은 핸즈온 수업이 사회적 거리두기로

인하여 방해받거나 제대로 이루어지지 못한 것과 다르지 않았다. 이는 학생들에게 체화된 인지(embodied cognition)로서의 핸즈온 경험만이 고유하게 제공하는 무언가가 있으며 이를 실험 동영상으로는 대체할 수 없다는 이해에 기반하였다.

“그러니까, [교육대학에서] 교과목의 성격은 주로 핸즈온 액티비티를 해야 하는 건데, 아, 상당히 어려움을 겪고 있어요 코로나로 ... 과학 선생으로서 그래도 해소가 안 되는 게, 핸즈온 액티비티에 대한 것 아 이걸 어떻게 해야.. 별 걸 다 해봤어요, OO교육에서 [제공하는] 실험 동영상을 ... 그 실험만 모아놓은 것을 그 단원 [수업] 할 때 [학생들에게] 같이 주고 보라고 했지만. 그래도 여전히 직접 안 한다는 그게 계속 question이고 아쉬움이 남아요.” - 전문가 B1

핸즈온 경험에 대한 이러한 강조는 단순히 실험 수행 기능(skill)뿐만 아니라, 실험 수행 과정에서 발생하는 이상 상황을 학생들이 직접 경험하지 못한다는 점과 밀접한 연관이 있었다. 마치 POE(Prediction-Observation-Explanation) 수업 모형에서와 같이, 학생들이 이론적으로 기대하는 바와 실제 실험 수행 결과로 얻은 데이터가 서로 맞지 않을 때 촉발되는 인지적 갈등과 동료 간 협력적 문제 해결이 중요하다는 것이다(e.g., Baek et al., 2014). 곧, 과학교육 전문가들의 인식

내에서 핸즈온 경험은 실험 수행의 결과에 대한 탐구의 과정과 연관성이 있는데, 원격 실험 수업은 이를 저해하는 역할을 하였다.

“이게 논문으로 보는 거랑 직접 하는 거랑은 완전히 다르니까요. 가장 큰 것은 뭐라고 해야 하나, 글이나 다른 자료는 담을 수 없는, 이상 상황들이라고 해야 하나? 진짜 하다 못해 시약을 조금 쏟는, 이런 자잘한 실수 상황 이라든가 주변의 습도나 온도에 의해 변성된다든가, 예상치 못한 다양한 변수들이 실험에 영향을 미칠 수 있는데. 이런 것은 문서 자료로만 제공해서는 실제로 경험하기 어려운 것이지요. 실제 세계의 복잡성을 이해하는 데 반드시 이런 핸즈온 액티비티가 필요한 것이 아닌가 하는.” - 전문가 C3

예외적으로, 핸즈온 경험보다도 오히려 마인즈온 과정이 더 중요할 수 있다는 면에서(cf., Abrahams & Millar, 2008) 원격 실험 수업의 지향점이 데이터에 대한 탐구에 있어야 한다고 말한 전문가도 있었다. 다만, 핸즈온 경험이 반드시 마인즈온의 성격을 지닌 탐구의 과정으로 이어져야 한다는 관점에서는(Flick, 1993) 이 또한 위에서 언급된 연구 참여자들의 인식들과 궤를 같이 한다고 할 수 있다.

“석사과정이나 이런 데 진학하는 학생들이라면 기능적인 면을 많이 강조 해야겠지만, 저는 그것보다는 좀 더 원리라든지 학습적인 관점에서 생각을 해보면 어떻겠냐. ... 기능을 습득하는 것은 ... 한 번 하는 실험을 통해서 형성되는 것은 사실 불가능하고, 어떤 면에서는 이 실험이 가지는 가치나 이런 것을 이해하는 것이 더 중요하고요. 그리고 또 더 중요한 것은 그러한 기계를 사용하는 것보다는, ... 그런 데이터가 어떤 의미가 있는 지 이런 걸 분석하고 생각하는 것이 중요하다고 생각하고 있어요.” - 전문가 B2

나. 교수자 및 학습자의 상호작용 감소 우려

대다수의 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업의 참여자들 간 상호작용이 감소할 것이라는 우려를 보였다. 이는 교수자-학습자 상호작용과 학습자-학습자 상호작용 모두에서 발생할 수 있는 문제였다. 전자의 예로서, 원격 실험 수업에서 교수자는 학습자가 수업 내용을 잘 이해하는지를 비언어적으로 파악하기가 어려울 수 있다. 후자의 예로서, 학습자 간 언어적 상호작용을 통한 토론과 토의가 어려울 수 있다. 이는 선행문헌에서 지적하듯 적절히 설계되지 않은 이러닝 학습 환경에서 나타날 수 있는 문제점들과 어느 정도 일치하는 것이었다(e.g., Lee et al., 2019).

“일반적인 온라인 수업에 대한 이야기를 하면, 가장 걱정했던 것이 학생들 중에 어느 학생들은 적극적으로 온라인 수업에 참여하는가 하면 상당한 상호작용 [노력]이나 관심을 쏟아야만 수업에 더 적극적으로 참여하는 학생이 [있죠]. 교과 내용에 대한 이해가 불충분할 수도 있고 성격이 그럴 수도 있고, 다른 이유 때문에 집중하기 어려울 수도 있는데. ... 오프라인 수업에서는 그걸 잘 조정하면서 아이컨택도 하고 학생들 관찰하면서 일부러 그 학생들이 참여할 수 있게 여러 가지 발표 기회도 주고 질문도 주고 하는 경우가 있는데, [원격 수업에서는] 그런 관찰하는 게 제한적인데.” - 전문가 P1

“원격 실험 수업이 [이론상] 가능하지만 교수자 혹은 수강생들 사이의 소통이 제한적인 것이 문제.” - 전문가 ES1

“개념[수업]만 가능하다 이런 의견은 아니고, 충분히 토론 토의 수업도 가능할 것 같아요. 하지만 아직은 온라인 환경이, 학교에서도 고민하는 것

중 하나이지만 토론 토의가 활발하게 진행되기가 어렵잖아요.” - 전문가 ES2

하지만 과학교육 전문가들은 비대면 원격 수업이라는 형식이 야기한 상호작용 감소가 불가피한 것이라고 판단하지는 않았다. 예컨대, 일부 전문가들은 교수자-학습자 간 상호작용 감소가 학습 환경의 변화에 따라 일시적으로 수반한 것은 사실이지만 이는 대면 수업을 실행하였을 때에도 존재하였던 문제로서 결국 학생 개개인의 학습 동기에 더욱 본질적으로 연관된 것이라고 파악하였다. 이렇게 볼 경우, 원격 실험 수업에서 상호작용이 감소하더라도 그것이 교수자가 전혀 손을 쓸 수 없는 상황을 의미하지는 않게 된다. 예를 들어, 교수자는 학생들의 학습 동기를 유발하는 적절한 개입으로 교수자-학습자 간 상호작용을 촉진할 수 있을 것이다.

“아, [상호작용에] 어려움이 많기는 한데... 그러니까 [학생들이] 잘 참여한다 안 한다 문제는 비대면으로 하나 대면으로 하나 똑같은 것 같아요. 그런 느낌을 받아요. 대면으로 해도 열심히 하는 애는 하고. ... 우리가 포스트 코로나 시대에 대비해서 원격이든 대면이든 뭘 할 때, 기본적으로 안고 있는 [상호작용] 문제가 결국엔 grouping을 해 보면 상충하나 상하로 갈라질 텐데. 더 열심히 하는 애 덜 하는 애[가 있겠죠]. 그래서 이 문제가 비대면이기 때문에 무조건 나쁘다 이런 상황은 아니라는 거죠.” - 전문가 B1

“[경험상 원격 수업이 상호작용의 효율이 떨어지지만] 결국은 뭐냐면, 학생들의 어떤 동기라든지 진정으로 학생들한테 꼭 필요한 내용들 중심으로 이 비대면 수업이 이루어지고, 학생들이 상당히 높은 수준의 동기를 가지고 만난다면 저는 대면이든 비대면이든 차이가 없을 것이라고 생각하거든요.” - 전문가 B2

다. 교수자의 업무량 증가

그런가 하면, 원격 실험 수업에서는 실험실에서의 핸즈온 경험을 제공하지 않음에도 불구하고 오히려 교수자의 업무량이 증가하였다는 인식 또한 나타났다. 이러한 추가적인 부담은 첫째로 학생들에게 제공하기 위한 실험 동영상 촬영, 편집, 배포하는 과정에서 발생하였으며, 이와 무관하지 않게 둘째로 온라인 학습 환경에서 학생 간 상호작용을 촉진하고 학생의 학습 과정을 형성적으로 점검하는 데서 발생하였다.

“내가 대면 수업하고 비대면을 비교해보면, 노동 강도는 3배 이상 [비대면에서] 더 많이 들어간다고 봐요. 일단 [첫 번째로] ppt라든가 이거 만드는 데 신경써야 하고. 그 전에 대면일 때는 4:30이면 어쩔고 16:9면 어때. 그런 거 생각 없이 그냥 했는데. 그리고 화면에 어느 정도 차게 하느냐, 내가 같이 나올 때 여기 빈 공간을 뒤야 되느냐 이런 것까지도 해야 하니까 힘들고. 두 번째로 녹화해서 힘들고. 세 번째로 편집해서 힘들고.” - 전문가 B1

“실험 과정을 촬영 및 편집하는 과정은 기존 대면 수업에서는 이루어지지 않았던 조교의 업무입니다. 실험 수업을 정리하는 [활동], ... 수시로 이루어지는 질의응답 등에서 수업 준비 및 운영을 위한 노력이 많이 필요해 보입니다. 학생들의 학습을 생각한다면 효율적인 시간 운영 등을 위해 필요한 과정이겠지만, ...” - 전문가 B3

이는 기존의 핸즈온 실험 수업이 실험실 공간 세팅이나 장비와 시약의 준비 등 많은 교수자 업무량을 요구한다고 하였던 것(Hofstein

& Lunetta, 2004; cf. Lowe *et al.*, 2013) 이외에도, 원격 실험 수업과 같이 새로운 형태로 구현된 실험 수업 역시 교수자에게는 여전히 큰 업무 부담을 지울 수 있음을 의미한다. 이는 원격 실험 수업을 설계 및 실행할 때 소요되는 교수자의 업무량을 줄이거나 해당 작업을 효율화하는 일이 필요함을 보여준다.

### 3. 원격 실험 수업이 지닌 가능성

#### 가. 원격 실험 수업의 적응적 실행 경험

상기하였듯 모든 연구 참여자들은 COVID-19 상황 하에서 원격 실험 또는 탐구 수업을 진행해본 경험이 있었으며, 이러한 입장에서 각자가 적응적으로(adaptively) 어떻게 원격 실험 수업을 설계하고 실행하였는지에 관한 경험을 제시하였다. 이는 과학교육 전문가들에게 있어 COVID-19 팬데믹은 극복할 수 없는 무엇이 아니라 여전히 교수 설계자의 노력을 통해 극복 가능한 교수상황으로 받아들여지고 있음을 방증하는 것이다. 이들의 적응적 실행 경험은 다음과 같은 두 가지 유형으로 나누어 생각해볼 수 있었다.

첫 번째 유형은 핸즈온 실험에 준하는 간접적 실험 경험을 적극 제공한 경우이다. 예컨대 전문가 B1은 플립 러닝 형식의 수업을 도입하여 녹화강의 후 실시간 질의응답 시간을 갖거나, 학생들이 학교에 오지 않아도 수행할 수 있는 생물 관찰 과제를 부여하고 온라인으로 결과를 제출하도록 하거나, 교수자 자신이 식물을 키우며 생물학적 주요 사건이 발생할 때마다 이를 학생들과의 카카오톡 채팅방에서 공유하기도 하였다. 이와 함께 녹화강의 시청 및 과제 시간을 고려하여 실시간 강의 시간을 축소함으로써, 학생들의 적극적인 수업 참여를 유도하였다. 그런가 하면 전문가 B3 역시 이와 유사하게 학생들에게 최대한의 실험 관련 경험을 제공하려는 노력을 기울이고 있었다.

“원격 수업 상황에서 학생들은 주로 가정 또는 카페에서 수업에 참여하는 듯하며, 두 환경 모두 전공 실험에서 다루는 자연 현상을 직접 접하기 어렵습니다. 실험에 필요한 기기나 장비는 더욱더 접하기 어렵습니다. ... 이에 ‘데이터를 바탕으로 지식 구성하기’를 주된 원격 실험 수업의 목표로 하고 있습니다. 현미경 조작하기 등 온라인 상에 가상실험실 프로그램이 있는 경우에는 이를 활용하여 학생들이 최대한 실험을 경험하고 실험 방법을 익힐 수 있게 해주지만, 그러하지 않을 경우에는 실험 방법과 실험 결과 데이터를 제공해주고 학생들은 데이터를 바탕으로 논의하고 결론을 도출하는 보고서를 작성하는 방식으로 수업을 설계하고 있습니다.” - 전문가 B3

두 번째 유형은 핸즈온 수업이 불가능해졌으므로 오히려 이론적 내용을 중심으로 수업을 전환한 경우이다. 물론 전문가 ES2의 경우에서 볼 수 있듯이, 이론적 내용을 중심으로 수업을 진행한 경우라든가 여건이 갖추어졌을 때는 여전히 핸즈온 수업을 선호하는 경향이 나타나기도 하였다.

“오히려 비대면으로 하니까, 이런 일상의 대화가 사실 많이 없어졌어요. 그것마저도 [수업하고 듣는] 기술이 느니까, 학생들이랑 편하게 [학습 내용에 대한 이야기]가 나오더라고요. 초기에 대면 수업을 할 때는 그 날 날씨라든지 여러 가지 학교에 일들이 있으면 쓸 데 없는 이야기를 하면서 약간 학생들이랑 그런 게 형성이 되는데, 비대면은 그런 게 없으니까 오히려 내용적인 측면에서 더 많아지더라고요.” - 전문가 B2

“코로나 상황이 되면서, 다 똑같겠지만 작년부터[2020년] 온라인 수업을 했지요. 온라인 수업을 하면서 제일 고민되었던 게 저[핸즈온 실험] 부분이거든요. 실험을 다, 거의 실험 수업인데, 실험을 직접 할 수 없잖아요. 그리고 교대 특성상 물화생지 실험이 다 있던 말이에요. ... 그거 온라인으로 구현할 방법이 전혀 아무리 생각해도 없더라고요. 그러면 오히려 학생들에게 도움을 줄 수 있는 방법은 개념이라도 좀 더 충실하게 가르쳐주자. 그런 생각이 들어서 개념 강의를 하는 것으로 완전히 바꿨어요. ... OO교육에서 그 실험 영상을 받아서 개념 중간 중간에 필요할 때마다 그 실험을 보여주는 거지요. ... 작년 같은 경우엔 2학기에 잠깐, 3번인가 대면 수업을 할 기회가 있었어요. 그 때는 못 했던 실험을 몰아서 하기도 했어요.” - 전문가 ES2

위에서 제시되었듯 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업에 대한 우려 섞인 인식 가운데에서도 나름대로의 적응적인 실행을 시도하였다. 이는 원격 실험 수업에서도 예비교사 양성을 위한 바람직한 학습 결과를 보장하기 위한 고찰 가운데 이루어졌다. 이는 어떤 면에서 COVID-19로 인하여 촉발된 원격 실험 수업 실행을 둘러싼 사회문화적 구조(structure) 하에서 각자의 행위주체성(agency)을 발휘한 일면으로도 해석할 수 있을 것이다(cf. Lee & Kim, 2021).

#### 나. 원격 실험 수업의 개선을 위한 구체적 방안들

이러한 적응적 수업 실행 경험을 바탕으로 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업의 개선을 위한 방안을 도출하거나 포스트 코로나 시대의 과학교육의 방향성을 고찰하는 데까지 나아갔다.

예컨대, 과학교육 전문가들은 실험 기자재를 학생들의 집에 배송하여 각자가 실험을 할 수 있도록 하는 방안을 제시하였다. 몇몇 전문가들은 2020년 COVID-19 사태 이후 일부 과학교사모임에서 실험 키트를 학생들의 집에 배송하여 활동을 진행할 수 있도록 추진하였다는 점을 언급하였고, 자신이 배송 받은 실험 키트를 인터뷰 과정에서 연구자에게 보여주기도 하였다. 하지만 반대로 예산과 시간의 부족, 실험 키트 개발의 어려움, 거주지 주소라는 개인정보 문제 등이 그 실현 가능성을 낮추는 것으로 판단한 전문가들도 있었다. 이러한 고찰은 결국 실험 동영상의 촬영 및 제공이라는 수업 방식으로 귀결되었다.

“이론과 실험 장치에 대한 것을 어떻게 학생들에게 효과적으로 온라인상에서 [가르칠 것인지]... 왜냐하면 고가라서 실험 장비를 보낼 수도 없고요. 그러면 필요한 동영상을 편집해서 학생들에게 제공하거나 혹은 실제로 교사가 설명한다든가 ... 그런 정책이 필요하지 않을까?” - 전문가 P1

“[경험이] 실제적(authentic)이라고 하면 애들한테 기구를 택배로 보내줘야 하나 이런 생각도 드는데, 그건 아니잖아요.” - 전문가 C2

“그렇다고 집마다 실험 도구를 다 싸줄 수도 없는 노릇이고.” - 전문가 C3

전문적인 기기와 장비를 사용하는 대학 수준 실험에서 원격 수업을 위해 키트를 제공하는 것이 쉽지 않다는 일부 전문가들의 인식은 타당한 면이 있다. 하지만 이는 대학 수준에서의 실험 교육이 Small-Scale Chemistry (SSC)와 같은 방식으로 진행될 수 있다는 선행 문헌들이나 (Yoo *et al.*, 2007) 본 연구자들이 2020년의 사전 연구에서 조사한 결과 한국대학교 내 전기전자회로 실험 수업에서 이를 실제로 시도하

였다. 접과는 대비된다. 결국 이는 특정 분야 혹은 실험 주제마다 실험 재료 및 기구의 소형화가 가능한지의 여부가 다르기 때문에 발생한 견해차로 보인다. 이를 종합할 때, 학생들이 집에서 실험을 직접 수행해볼 수 있도록 기자재를 배송하는 방식은 원격 실험 수업에서 충분히 고려해볼 만한 방법이라고 할 수 있다.

한편, 원격 실험 수업을 계기로 테크놀로지의 이용이 활성화되었다는 점에 주목하고 이를 위한 지속적인 플랫폼 탐색을 제안하는 전문가들도 있었다. 우선, 대다수의 과학교육 전문가들은 본 연구의 맥락인 한국대학교 ‘분석화학실험’ 개선 연구 프로젝트에서 학생들의 학습내용 정리를 위해 활용하였던 테크놀로지를 긍정적으로 평가하였다. 예컨대, 전문가 P2는 원격 실험 수업에서 마인드맵 활동은 학생들이 실험 수업과 관련하여 나누는 “대화를 시각화”함으로써 “reasoning, interaction, inquiry”를 촉진하여 일말의 “교육적 효과가 있을 것”으로 판단하였다. 전문가 C2는 동시적 온라인 마인드맵 플랫폼(Mind Meister)이나, Turn it in 시스템을 활용하여 제출한 실험 레포트에 대한 교수자의 시각화된 피드백, 카카오톡 등 메시지를 활용한 지속적 상호작용 등이 교수자와 학생들 협력적 의사소통 및 문제해결을 지원할 수 있을 것에 주목하였다.

“상호작용 촉진은 [다른 플랫폼에서 벗어나서 카카오톡으로 하는군요? ... 마인드맵핑도 그렇고, Turn it in에서 이렇게 [시각적으로] 코멘트 달아주는 것도 그렇고, ETL[학습관리시스템]은 당연한 거고. ... 이걸 했다고 하니 괜찮은 것 같아요.” - 전문가 C2

그런가 하면, 전문가 B2와 같이 특별히 실험 동영상 시청을 지원하는 테크놀로지가 원격 실험 수업에 도움이 될 것이라고 보거나, 전문가 ES1와 같이 원격 실험 수업이 핸즈온 실험에서 있었던 시공간의 제약을 극복하고 안전한 실험 활동을 시뮬레이션하는 도구가 될 수 있다는 다소 새로운 시각을 제시하는 경우도 있었다.

“이게 제가 궁금한 게 있는데, 그런 툴은 없나요? 영상을 보고 내가 어떤 질문이 있으면 해당 부분에 질문을 남기는 ... 몇 분 몇 초에 스크린샷 해서 이렇게 [질문이나 코멘트를] 남겨도 되겠네요. ... 영상이 돌아가고 있는데 ... 잠깐 스톱을 하고 바로 거기에 달아 놓고. 그런 툴을 생각했었는데.” - 전문가 B2

“실험의 경우 재실험이 빈번하게 일어나는데 시공간의 제약으로 이를 수행하지 못하는 경우가 많다. 또한 실험 도구나 장비의 부족으로 실제 시행해보고 싶은 실험이 안 되는 경우도 많다. 이러한 제한 요소를 원격 실험을 통해 극복할 수 있는 것으로 보고 있다. 반복 실험이 가능하고 위험한 실험 인자를 제거할 수 있는 것이 비대면 실험(시뮬레이션 형태 실험)이므로 이러한 효과를 극대화하도록 [해야 한다].” - 전문가 ES1

다. 원격 실험 수업과 포스트 코로나 시대의 과학교육의 방향성

과학교육 전문가들은 COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업이 포스트 코로나 시대의 과학교육에 미칠 함의를 제시하였다. 예컨대 전문가 C2는 현 상황에서 원격 실험 수업을 논의할 때 과학 실험이라는 측면뿐만 아니라 비대면 수업이라는 맥락이 보다 더 부각될 필요가 있다고 하였다. 원격 수업일지라도 학생들에게 “authentic”(실제적인) 실험 경험을 제공하는 일이 이론상 가능하므로, “우리가 과학

교육에서 추구하는 바가 비대면에서 어떤 부분이 막혀 있고, 그걸 어떻게 극복할 수 있는”가를 고려한다면 더 나은 원격 실험 수업을 구현할 수 있다는 것이다.

그런가 하면 포스트 코로나 시대의 원격 실험 수업은 교수학습을 한계지우는 것이라기보다는 오히려 기존에 불가능하였던 과학 실험 수업의 새로운 양상을 이끌어낼 수 있는 계기가 된다는 이해를 보인 전문가들도 있었다. 예컨대, 전문가 C3는 테크놀로지 측면이 아니더라도 COVID-19으로 인한 원격 실험 수업이 핸즈온 수업의 주요한 제약들이었던 시간, 공간, 장비의 문제를 어느 정도 해결하는 방안이 될 수 있을 것이라고 보았다.

“비대면 실험 수업이 이게, ... 어쨌든 대면 수업에서 해왔던 것을 비대면에서 못하게 되면서 문제점이 발생하게 되고, 그 문제점을 100의 문제가 발생하면 이걸 70정도로 보완시킨다 이런 측면으로도 볼 수 있지만, 그런 상황이 바뀌었기 때문에 대면 수업에서 못했던 것들을 비대면에서 시도해 볼 수 있는 사례들이 있을 것 같아요. 오히려 새로운 가능성? ... 예를 들어서 실험이 되게 오래 걸리는 경우, 이건 대면 수업에서는 사실 수업에 적용하기가 되게 어려웠는데 비대면 수업 같은 경우는 실험이 오래 걸려도 이걸 [분석화학실험 사례처럼] 실험조 한 조만 와서 해도 되니까. ... 아니면 너무 비싸서 학교에 [기계] 한 대밖에 없다, 그러면 대면수업 때는 뒤에서 애들이 멍뚱뚱 이동만 하고 있어야 하니까, ... 원격 수업에서는 실험 기기가 한 대만 있어도 똑같이 할 수 있는 거 같아요.” - 전문가 C3

마지막으로, 과학교육 전문가들은 COVID-19으로 인한 원격 실험 수업이 일종의 블렌디드 러닝을 가능케 하는 교수학습적 분위기를 형성하는 데 일조하였다고 이해하였다. 곧, 포스트 코로나 시대의 과학교육은 기존에 일반적이었던 오프라인 일변도의 수업 환경이 아닌 온오프라인을 병행하여 진행되는 수업 환경 하에서 이루어질 가능성이 높으며, 이를 위한 대비가 과학교육학계에서 필요하다는 점이 지적되었다.

“근데 그 이후에도 본격적으로 다 오프라인으로 하는 상황으로 가진 않을 것 같아요. 사실은 평상시에 필요했던 활동인데 우리가 그런 사회적 계기가 없었던 것이지. ... 어쨌든 이런 실험 활동 뿐 아니라 다른 활동도 불가피한 상황에 놓여가지고 ... [온라인 참여를] 허용할 수밖에 없는 상황이 될 거고 또 그랬을 때 실질적으로 효과적인 방안을 찾는 데 이런 경험이 되게 중요할 것 같아요.” - 전문가 P1

“아, 나는 이 코로나가 끝나도 이 비대면 원격 수업은 진행이 되었으면 좋겠는데. ... [이전에 제가 시도한 플립 러닝이 그 때는 다 같이 안 가본 길이지만] 근데 지금은 다 가 봤으니까요. 학교 와도 강의하고 원격도 강의 하는 것보다, 내용은 [원격으로] 강의하고 그 다음에 학교 와서 주로 핸즈온 액티비티랑 질의응답하고 ... [이전에는] 강의 듣고 오라고 하는 것도 학생들이 귀찮아하고. ... 근데 지금은 이제 시스템화 되었잖아요. ... 이런 상황이 오기 전에 꿈꿨던 어떤 시스템화된 상황들. ... [이전에는] 할 수 없었던 상황을 포스트 코로나 시대에도 끌고 나갈 수 있는 그런 것을 지금 개발해놓지 않으면 안 되겠다. 그런 면에서 이런 것들도 필요하다는 것이죠. 원격 실험 수업에 대한 것들이.” - 전문가 B1

IV. 논의 및 결론

본 연구에서는 COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업에 대한



과학교육 전문가들의 인식을 조사하였다. 2021년 상반기에 물리교육, 화학교육, 생물교육, 지구과학교육 전문가 총 10인에 대한 반구조화된 질적 인터뷰를 수행하였다. 연구 결과, 과학교육 전문가들은 우선 원격 실험 수업을 예비교사교육의 일환으로서 이해하였으며 이를 통하여 기존에 관습적으로 진행되어 왔던 실험 교육의 목적을 재인식하게 되었다고 응답하였다. COVID-19으로 인한 원격 수업 실험의 현실에 관하여는 우선 핸즈온 경험의 부족으로 인한 학습 결손, 교수자 및 학습자의 상호작용 감소 우려, 교수자의 업무량 증가가 언급되었다. 그럼에도 불구하고 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업의 적응적 실행 경험을 통해 이를 개선하기 위한 구체적인 방안들을 제시하기도 하였으며, 포스트 코로나 시대의 과학교육의 방향성을 제안하였다.

우선, 본 연구의 결과로서 과학교육 전문가들은 COVID-19로 인하여 촉발된 원격 실험 수업을 예비교사교육이라는 관점에서 이해하고 있었다는 점이 드러났다. 본 연구에 참여한 과학교육 전문가들은 같은 대학 수준에서 이루어지는 실험 수업이라 하더라도 예비교사교육으로서의 실험 수업과 일반적인 이공계열 전공 실험 수업의 역할이 다르다고 보았다. 이는 비단 원격 실험 수업뿐만 아니라 예비 과학교사교육의 일환으로 이루어지는 실험 수업 전반의 목적에 대한 논의가 필요함을 함의한다. 곧, 예비교사교육으로서의 실험 수업의 차별성을 논의하는 추후 연구가 이루어져야 할 필요가 있다. 2020년 이후 교원 양성체제 개편안이 논의되고 있는 현 상황<sup>4)</sup> 또한 과학교육계 내부에서 예비과학교사교육의 중요한 요소인 실험 교육의 목적과 구성 요소를 재구성해야 할 현실적인 이유이기도 하다.

비록 원격 실험 수업이 2020년 이후 적지 않은 학습 결손을 가져온 것으로 지적되고 있으나(Jang *et al.*, 2020; Blizak *et al.*, 2020; Petillion & McNeil, 2020), 본 연구자들은 원격 실험 수업의 긍정적 측면을 발견하고 추후 개선 방향을 탐색하고자 하였다. 본 연구자들은 원격 실험 수업을 핸즈온 수업과 마인즈온 수업이라는 두 축을 중심으로 이해하고자 하였다. 이렇게 볼 때, 학생들은 원격 실험 수업에서 데이터 해석 및 탐구, 과학적 글쓰기, 동료와의 상호작용을 통한 문제 해결과 지식 구성 등 마인즈온 수업 과정을 통해 과학의 본성을 습득할 뿐 아니라 향후 학교 현장에서의 실험 수업 지도를 위한 대비가 어느 정도 가능할 것이다. 다만 핸즈온 수업에서 진행되는 실험 절차 수행 및 데이터 획득 경험, 이를 통해 얻을 수 있는 암묵적 지식이나 실제적 기능 등이 향후 교사가 되어 학교 현장에서 실험 수업을 준비하고 지도하는 데 더욱 큰 의미를 지닌다고 할 수도 있다. 그런 면에서, 향후 COVID-19과 유사한 위기 상황이나 혹은 여타의 요구가 발생하여 원격 실험 수업을 진행하게 되는 경우, 전체 학습은 온라인으로 마인즈온 학습 경험을 갖게 하되 가능한만큼 소규모의 학생 집단이라도 직접 실험을 수행하여 핸즈온 경험을 쌓게 하는 것이 바람직하다(Jang *et al.*, 2020; cf., Flick, 1993).

과학교육 전문가들은 적응적인 원격 실험 수업 실행과 그 개선 방안에 관하여 교수체제의 시공간적 구조 및 자원의 특성이라는 물리적 요소들을 언급하였다. 시간적으로는 실험 동영상을 통해 실험 과정을 빠르게 살펴보고 다시 살펴보는 일이 가능하다는 긍정적인 의견들이 있었으나, 공간적으로는 학생들이 실험실에 직접 오지 못하고

집이나 카페에서 수업을 들으면서 원활한 언어적 의사소통이 어렵다는 부정적인 의견이 많았다. 시간 측면에서는 긍정적인 견해, 공간 측면에서는 부정적인 견해가 드러나 다소 상충되는 면이 있으나, 이는 원격 실험 수업의 본질적 특성에 기인한 것으로 이해할 수 있다. 중요한 것은 원격 실험 수업에 대한 과학교육 전문가들의 인식 하에서 ‘실시간 수업 이전/이후’의 시간성과 ‘실험실 바깥’의 공간성이 논리적으로 구별되어 함께 고려되기 시작하였다는 점이다. 이는 실험 수업을 일종의 블렌디드 러닝으로 파악할 수 있다는 선행 문헌들의 논의와 궤를 같이 한다(Bergmann & Sams, 2012; Lee, Jeon, & Hong, 2021; Loveys & Riggs, 2019). 이 때 원격 실험 수업의 이러닝적 요소가 단점이 아닌 장점으로 작용하기 위하여는 실시간 수업 전이든 당시이든 학습자들의 동시적(synchronous) 상호작용을 지원하는 테크놀로지의 개발 및 활용이 요구되는 것은 물론이다. 예컨대, 학습자들의 동시적 논변(argumentation) 활동을 지원하고 시각화할 수 있는 틀이 원격 실험 수업에 유용하게 활용될 수 있을 것이다(e.g., Kirschner *et al.*, 2012)

한편 실험 기기와 장비라는 물리적 자원의 문제는 실험 키트 문제에서 살펴볼 수 있듯이 원격 실험 수업을 모양지우는(shape) 중요한 특징으로서 제시되었다. 비록 본 연구에서 집중하였던 바는 아니나, 이러한 요소들이 어떻게 원격 실험 수업의 창발에 영향을 미치는지에 관한 추후 연구가 의미 있을 것이다. 이 때 과학교육학에서 하나의 이론적 틀로 부각되고 있는 행위자-네트워크 이론(Actor-Network Theory)이 인간 행위자(actor)와 실험 장비 등의 비인간 행위자 간의 네트워크로서(e.g., Lee, Yuo *et al.*, 2021) 원격 실험 수업 실행을 설명해내는 중요한 단서를 제공할 것으로 생각된다. 물론, 최소한의 핸즈온 경험을 학생들에게 제공함으로써 바람직한 원격 실험 수업을 가능하게 하는 실험 키트의 개발 및 이를 활용한 사례 연구 또한 가능할 것이다(Jang *et al.*, 2020).

결과적으로, 본 연구자들은 원격 실험 수업을 핸즈온 실험의 미비한 형태라기보다는 마인즈온 실험이 보완된 형태로 이해하는 것을 제안한다. 원격 실험 수업을 전자와 같이 이해할 경우에는 원격 실험 수업 현상의 부정적인 측면에 주목하게 되지만, 후자와 같이 이해할 경우에는 그 긍정적인 가능성을 발견할 수 있기 때문이다. 곧, 원격 실험 수업은 온라인-마인즈온-전체학습 형식의 수업을 오프라인-핸즈온-소집단 형식의 수업으로 보완하는 일종의 블렌디드 러닝으로 이해될 때 교수설계 관점에서 이를 개선하기 위한 실제적인 대응이 가능해진다.

원격 실험 수업 또한 특정한 학습 목표를 효과적으로 달성하기 위한 교수체제라는 관점에서 볼 때, 본 연구에서는 미처 조사하지 못하였지만 원격 실험 수업을 경험한 학생들의 인식 또한 조사할 필요가 있다. 하지만 교수체제 관점에서는 학습자 측면에서의 학습 효과성뿐만 아니라 교수자 측면에서의 업무량 경감 및 효율성 또한 고려해야 한다. 곧, 교수자는 효율적으로 교수체제를 설계 및 실행하되 학습자는 학습 목표를 효과적으로 달성하여야 한다. 이는 교육공학 분야의 교수체제 설계 및 개발 연구의 정신이라고 할 수 있다(Richey & Klein, 2007). 원격 실험 수업을 개선할 수 있음을 보여주는 실험적 연구는 전 지구적 영향력을 미친 COVID-19 이후의 과학교육에 작지 않은 함의를 미칠 것이다. 그러한 후속 연구가 보고되기를 희망한다.

4) 대통령직속 국가교육회의 보도자료 (2020. 12. 15.) <「미래 학교와 교육과정」에 적합한 교원양성체제 발전 방향」 정책 집중 속의 결과 및 권고안 발표>. Retrieved on July 30th, 2021 from [https://eduvisioin.go.kr:443/cop/bbs/selectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR\\_000000000003&nttlId=913](https://eduvisioin.go.kr:443/cop/bbs/selectBoardArticle.do?bbsId=BBSMSTR_000000000003&nttlId=913)

**국문요약**

본 연구에서는 COVID-19으로 인해 촉발된 원격 실험 수업에 대한 과학교육 전문가들의 인식을 조사하였다. 2021년 상반기에 물리교육, 화학교육, 생물교육, 지구과학교육 전문가 총 10인에 대한 반구조화된 질적 인터뷰를 수행하였다. 연구 결과, 과학교육 전문가들은 우선 원격 실험 수업을 예비교사교육의 일환으로서 이해하였으며 이를 통하여 기존에 관습적으로 진행되어 왔던 실험 교육의 목적을 재인식하게 되었다고 응답하였다. COVID-19으로 인한 원격 수업 실험의 현실에 관하여는 우선 핸즈온 경험의 부족으로 인한 학습 결손, 교수자 및 학습자의 상호작용 감소 우려, 교수자의 업무량 증가가 언급되었다. 그럼에도 불구하고 과학교육 전문가들은 원격 실험 수업의 적응적 실행 경험을 통해 이를 개선하기 위한 구체적인 방안들을 제시하기도 하였으며, 포스트 코로나 시대의 과학교육의 방향성을 제안하였다. 이에 연구자들은 원격 실험 수업을 핸즈온 수업의 미비한 방식이라기보다는 마인즈온 수업의 보완된 방식으로 이해할 때 이를 더 나은 형태로 설계 및 실행할 수 있는 가능성이 열릴 수 있다고 제안하고 이와 관련한 추후 연구 주제를 제시하였다. 본 연구는 원격 실험 수업을 과학교육학의 관점에서 보다 심도 있게 이해할 수 있는 단서를 제공한다는 의의를 지닌다.

**주제어** : COVID-19 판데믹, 원격 실험 수업, 과학 탐구 실험, 이러닝, 핸즈온, 마인즈온

**References**

Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.

Baek, J., Jeong, D. H., & Hwang, S. (2014). Issues and effects in developing inquiry-based argumentation task for science teachers: A case of Charles' law experiment. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(2), 79-92.

Bergmann, J., & Sams, A. (2012). Flip your classroom: Reach every student in every class every day. *International society for technology in education*.

Blizak, D., Blizak, S., Bouchenak, O., & Yahiaoui, K. (2020). Students' perceptions regarding the abrupt transition to online learning during the COVID-19 pandemic: Case of faculty of chemistry and hydrocarbons at the University of Boumerdes—Algeria. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2466-2471.

Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). *E-learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*. John Wiley & Sons.

Domin, D. S. (1999). A review of laboratory instruction styles. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 543-547.

Erduran, S. (2021). Science education and the pandemic, 1 year on: Emergence of new conceptual tools and re-calibration of existing educational approaches. *Science & Education*, 30, 201-204.

Flick, L. B. (1993). The meanings of hands-on science. *Journal of Science Teacher Education*, 4(1), 1-8.

Glaser, B. G. (1965). The constant comparative method of qualitative analysis. *Social Problems*, 12(4), 436-445.

Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.

Jang, W., Choi, M., & Hong, H. -G. (2020). A case study on the operation of non-face-to-face experimental class at university with COVID-19 Pandemic. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 20(17), 937-966.

Kirschner, P. A., Buckingham-Shum, S. J., & Carr, C. S. (Eds.). (2012). *Visualizing Argumentation: Software Tools for Collaborative and Educational Sense-making*. Springer Science & Business Media.

Lee, G. -G., Jeon, Y. -E., & Hong, H. -G. (2021). The effects of cooperative flipped learning on science achievement and motivation in high school students. *International Journal of Science Education*, 43(9), 1381-1407.

Lee, J., Song, H. D., & Hong, A. J. (2019). Exploring factors, and indicators for measuring students' sustainable engagement in e-learning. *Sustainability*, 11(4), 985.

Lee, J. -H., Yuo, K., Park, J., Yoon, H. -G., Park, H. -H., & Lee, S. -K. (2021). Implications of scientific practices on science education from the actor-network theory perspective: Focusing on the concept of 'circulating reference'. *Journal of Research in Curriculum & Instruction*, 25(2), 133-150.

Lee, L., & Kim, H. -B. (2021). Exploring science teacher agency as agent of change: The case of distance learning practice due to COVID-19. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 41(3), 237-250.

Loveys, B. R., & Riggs, K. M. (2019). Flipping the laboratory: Improving student engagement and learning outcomes in second year science courses. *International Journal of Science Education*, 41(1), 64-79.

Lowe, D., Newcombe, N., & Stumpers, B. (2013). Evaluation of the use of remote laboratories for secondary school science education. *Research in Science Education*, 43(3), 1197-1219.

Ma, J., & Nickerson (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Survey*, 38(3), 1-24.

Mayer, R. E., Florella, L., & Stull, A. (2020). Five ways to increase the effectiveness of instructional video. *Educational Technology Research and Development*, 67, 837-852.

Park, M., Lee, J., Lee, G., & Song, J. (2007). Conceptual definition and types of reflective thinking on science teaching: Focus on the pre-service science teachers. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(1), 70-83.

Petillion, R. J., & McNeil, W. S. (2020). Student experiences of emergency remote teaching: Impacts of instructor practice on student learning, engagement, and well-Being. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 2486-2493.

Ray, S., & Srivastava, S., (2020). Virtualization of science education: A lesson from the COVID-19 pandemic. *Journal of Proteins and Proteomics*, 11, 77-80.

Reimers, F. M., & Schleicher, A. (2020). A framework to guide an education response to the COVID-19 Pandemic of 2020. OECD. Retrieved on April 14th, 2020 from [https://oecd.dam-broadcast.com/pm\\_7379\\_126\\_126988-t63lxosohs.pdf](https://oecd.dam-broadcast.com/pm_7379_126_126988-t63lxosohs.pdf)

Reiss, M. J. (2020). Science education in the Light of COVID-19. *Science & Education*, 29(4), 1079-1092.

Richey, R. C., & Klein, J. D. (2007). *Design and Development Research: Methods, Strategies, and Issues*. Routledge.

Siry, C. (2020). Science education during times of crisis: Calling for reflections, responses, and forward thinking from the CSSE community. *Cultural Studies of Science Education*, 15, 317-322.

Tho, S. W., Yeung, Y. Y., Wei, R., Chan, K. W., & So, W. W. M. (2017). A systematic review of remote laboratory work in science education with the support of visualizing its structure through the HistCite and CiteSpace software. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(7), 1217-1236.

UNESCO (2021, June 23). Education: From disruption to recovery. Retrieved on June 23<sup>rd</sup>, 2021 from <https://en.unesco.org/covid19/educationresponse>

Yoo, M. -H., Yoon, H., & Hong, H. -G. (2007). The effect of small-scale chemistry(SSC) lab program on science-majored student's academic self-efficacy and science-related affective domain in high school chemistry I classes. *Journal of the Korean Chemical Society*, 51(5), 1-16.

Verma, G., Campbell, T., & Park, B. -Y. (2020). Science teacher education in the times of the COVID-19 pandemic. *Journal of Science Teacher Education*, 31(5), 483-490.

**저자정보**

이경건(서울대학교 박사수료)  
 홍훈기(서울대학교 교수)