

ORIGINAL ARTICLE

# 온라인 과학 수업에서 실험 활동과 상호작용의 개선을 위한 실행연구

노자현<sup>1</sup> · 손준호<sup>2</sup> · 김종희<sup>3\*</sup>

(<sup>1</sup>전남대학교 박사과정, <sup>2</sup>태봉초등학교 수석교사, <sup>3</sup>전남대학교 교수)

## Action Research to Improve Experimental Activities and Interactions in Online Science Class

Ja-Heon Noh<sup>1</sup> · Jun-Ho Son<sup>2</sup> · Jong-Hee Kim<sup>3\*</sup>

(<sup>1,3</sup>Chonnam National University, <sup>2</sup>Taebong Elementary School)

### ABSTRACT

This study is an action study that plans a instructional strategy for improving experimental activities and interactions in online science classes and suggests improvement plans based on the results. To this end, from July 7 to September 9, 2020, the 'Earth and the Moon' unit class was conducted for 20 6th grade elementary school students located in G Metropolitan City. For the class, smart devices and alternative experiments were planned in the experimental activity category, and an online chat room and Q&A strategy were planned in the interaction category. Among the collected data, class activity papers, homework assignments, reflection journals, online conversation contents, and Q&A contents were input into the matrix and analyzed by writing analytical texts. As a result of the implementation, smart devices and alternative experiments provided opportunities for exploration, but there was a risk of misconception formation and hindered experimental activities. The online chat room and Q&A provided opportunities for communication and examination and feedback on scientific concepts. Through this action study, the researcher was able to reflect on the class while writing class reflection notes, and suggested the role of smart devices in terms of the effectiveness and efficiency of science classes.

**Key words** : action research, online science class, smart device, experimental activity, interactions

## I. 서론

과학 기술은 오늘날 생활의 많은 부분에 영향을 주고 있으며 교육 분야에서도 예외는 아니다. 특히, 과학 기술은 교수-학습 방법에 많은 영향을 주었는데 인터넷을 기반으로 한 가상의 교실에서 진행되는 온라인

수업이 그 예이다(Lsu Online, 2020). 이러한 교육 패러다임의 변화에 맞춰 교사들은 이러닝(e-learning) 형태나 오프라인 학습에 온라인 학습을 연결한 혼합형 학습(blended learning) 형태로 온라인 수업을 실행해왔는데(이쌍철 외, 2017; 조영환 외, 2015), 최근 코로나19의 세계적 확산은 온라인 수업 체제로의 전환을 가속

Received 30 July, 2021; Revised 11 August, 2021; Accepted 18 August, 2021

\*Corresponding author: Jong-Hee Kim, Chonnam National University, 77

Yongbongro Buk-gu, Kwangju, 61186, Korea

E-mail: earthedu@jnu.ac.kr

© The Korean Society of Earth Sciences Education. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하는 계기가 되었다(Sintema, 2020).

교육부(2020)는 온라인 수업의 운영 형태로 실시간 쌍방향 수업, 콘텐츠 활용 중심 수업, 과제 수행 중심 수업을 제시하였고, 이 중 하나를 선택하거나 두 가지 이상의 방법을 혼합하여 수업을 실행하도록 안내하였다. 학교 현장에서 수업 방식은 그 어느 때보다 복잡하고 다양해졌고(이용상과 신동광, 2020), 교과 및 수업 특성에 따라 온라인 수업의 다양화에 대한 필요성이 대두되었다.

하지만 온라인 과학 수업을 실행하면서 교사들은 실험 활동의 부재와 상호작용 촉진하는 과학 교사의 역량 부족을 어려움으로 인식하였다(Darayseh, 2020). 특히 학습자가 직접 체험하는 탐구 활동을 중요시하는 초등 과학 교과에서 교사들은 실험 활동의 준비와 진행(정숙진과 신영준, 2020), 탐구 활동의 실행(김성운 외, 2020)이 어려우며, 탐구 기능 습득 및 역량 강화를 위해 양질의 콘텐츠가 필요함을 언급하였다(김혜란과 최선영, 2020). 또한, 학생과 교사와의 상호작용이 온라인 과학 수업 만족도에 영향을 미치므로(이준희, 2020) 수업 설계 시 다양한 상호작용 방안을 고려하지만, 강의식 형태로 수업을 진행함에 따라 피드백 제공이 어렵다는 문제점도 있었다(정숙진과 신영준, 2020). 따라서 학생들의 실험 활동과 교사와의 상호작용을 촉진할 수 있는 온라인 과학 수업을 설계·운영해야 할 필요가 있다.

온라인 과학 수업을 주제로 한 연구들은 지속되어 왔으나 대부분의 연구는 면대면 수업과 비교하여 그 효과를 분석하거나(Coates *et al.*, 2004; Larson & Sung, 2009; Reuter, 2009; Sussman & Dutter, 2010), 온라인 수업에 대한 특성이나 학습자의 인식을 조사하는 연구(이성혜와 채유정, 2016; Lee & Martin, 2017)가 대부분이었다. 또한, 실험 활동과 상호작용 측면에서 연구를 수행했을 지라도 양적 연구가 주가 되거나(Chiang *et al.*, 2014; Lamb & Annetta, 2013), 양적 연구가 주가 되고 질적인 분석이 보충이 되는(Lau *et al.*, 2017; Whittaker *et al.*, 2014) 연구가 많았다. 양적 연구는 연구자가 객관성을 유지하면서 일반적인 연구 결과 도출할 수 있지만, 현재 일어나고 있는 현상이나 구성원의 시각을 간과할 수 있다는 한계가 있다(김미숙, 2006). 따라서 연구 실행 시 현재 일어나고 있는 현상이나 구성원의 시각(과학 교과)의 특성을 반영한 온라인 과학 수업의 실행, 실험 활동과

상호작용 측면의 어려움 지원)을 고려할 수 있는 질적 연구방법이 적합하다고 판단하였다.

질적 연구방법은 관심 있는 현상에 대하여 깊게 연구할 수 있어 현장에서 문제의 원인과 함께 개선 대안을 찾거나 현장에서 발견한 문제를 즉각적으로 해결하는 데 도움을 줄 수 있다(이용숙, 2002). 특히, 질적 연구방법의 하나인 실험연구(action research)는 연구자와 실천가를 구분하지 않고 ‘실행=연구’라는 기본 입장을 바탕으로 하며(조용환, 2015), 교사연구자가 일상적인 교실 혹은 학교 장면에서 문제를 느끼고, 스스로 반성하고, 지속적 관찰과 기술을 통하여 교수·학습 과정의 개선을 시도하는 형태로 이루어진다(이용숙 외, 2004). 그러므로 실험연구는 앞서 언급한 온라인 과학 수업에서 현장의 요구와 어려움에 대한 실마리를 찾아 해결하기에 적합한 연구방법이라고 할 수 있다.

이 연구는 온라인 과학 수업에서 실험 활동과 상호작용의 개선을 목표로 한 실험연구이다. 따라서 온라인 과학 수업에서 실험 활동과 상호작용을 고려한 수업 전략을 계획하고 수업을 실행하는 과정에서 다양한 자료를 수집하여 분석·반성 과정을 통해 개선 방법을 제시하려고 노력하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 실험연구

교사들은 온라인 과학 수업을 계획하고 실행하는 과정에서 면대면 수업과는 다른 측면의 문제에 직면하였다. 문제의 해결을 위해 현장의 경험으로부터 제안하는 지식은 주관적이므로 체계적인 연구 방법을 통한 객관적인 지식의 도출이 필요하였다(유기웅 외, 2019). 이러한 관점에서 이 연구는 현장에서 발견한 문제의 해결을 특징으로 하는 실험연구 절차에 따라 온라인 과학 수업을 실행하고 그 개선 방안을 제시하였다.

Fig. 1은 Ferrance(2000)가 제시한 실험연구 절차를 참고로 하여 이 연구의 절차를 요약한 것이다. 연구의 시작은 교사들과의 담화에서 면대면 과학 수업과 같은 학습 경험을 제공하기 위해서는 온라인 과학 수업의 특수성을 고려한 수업 전략이 필요함을 인식하는 것이었다. 그리고 온라인 수업을 주제로 한 선행연구를 탐

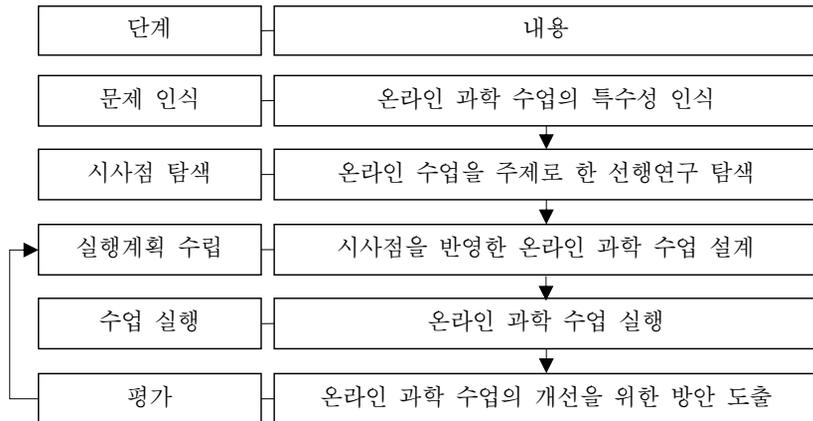


Fig. 1. Procedure of action research.

색하여 시사점을 정리하고 수업을 설계하였으며, 수업을 실행하는 과정에서 다양한 자료를 수집해 분석함으로써 온라인 과학 수업의 개선을 위한 방안을 도출하였다.

## 2. 연구자이자 실천가로서의 ‘나’

교육과정, 수업, 평가 등이 서로 분리될 수 없는 것처럼 교사의 수업과 연구 역시 그러하며, 이러한 패러다임에 따라 연구자와 실천가를 구분하지 않는 실행연구(유기웅 외, 2019) 특징에 기반하여 연구자이자 실천가인 ‘나’에 대해 기술하고자 한다. 질적 연구에서 연구자는 연구 도구로써 자료를 수집하고 분석하는 과정에 직접 개입하는데, 연구자의 다양한 능력과 성격적 특성, 흥미 등이 자료의 수집과 분석 과정에 상당한 영향을 미칠 수밖에 없다(김영천, 2016). 따라서 연구자인 ‘나’의 교수 목표와 가치관에 대해 기술하는 것은 이 연구의 자료수집과 분석 과정의 방향과 관점을 이해하는 데 도움이 될 것이다.

수업을 실행하는 실천가의 입장에서 ‘나’는 학생들이 과학 개념을 잘 학습하는 것이 교수 목표에서 가장 중요한 것으로 생각하였다. 학생들이 과학 개념을 잘 학습하기 위해서는 교사가 잘 가르치는 것이 필수 조건이라고 생각하고, 잘 가르친다는 개념과 방법에 대해 고민해왔다. 이를 교사 전문성 척도 중 하나인 교수 내용 지식(pedagogical content knowledge)의 측면에서 보면, 교사의 역할은 자신의 과학 교수-학습 지식을 바탕으로 설계한 과학 수업을 통해 학생들이 과학 교과 내용을 학습할 수 있도록 도와주는 설계자로 볼 수 있

다. 그리고 이와 같은 교수 목표를 가지고 실천가의 입장에서 ‘나’는 온라인 과학 수업을 실행하였다. 그 결과 Palloff & Pratt(2008)의 연구처럼 기존 면대면 수업에서 활용하던 수업 전략들을 그대로 온라인 과학 수업에 적용하기에는 어려움이 있었고 특히 상호작용 부족과 실험 활동의 어려움과 같은 문제에 직면하였다. 그래서 ‘나’는 온라인 과학 수업의 특수성을 고려한 ‘과학 교수-학습 지식’이 필요하다고 판단하였다. 그리고 이러한 맥락에서 실행연구를 통해 온라인 과학 수업을 계획·실행·분석하는 일련의 과정을 거쳐 온라인 과학 수업의 개선을 위한 방안을 도출하고자 하였다.

## 3. 연구참여자

연구참여자는 G광역시에 위치한 초등학교 6학년 학생 20명이고, ‘지구의 모습’, ‘태양계와 별’ 단원을 4, 5학년 때 학습하였다. 온라인 수업 경험은 ‘EBS 초등’에서 제공하는 ‘만점왕’ 강의를 수강한 학생이 3명 정도 있었으며, 온라인 과학 수업 참여 방식은 컴퓨터 2명, 태블릿 PC 6명을 제외하고 모두 개인 핸드폰이었다.

학생들의 스마트 기기 활용 경험을 조사해 본 결과, 학생들은 스마트 기기를 주로 영상 시청, 게임, 카카오톡과 페이스북 등 SNS 용도로 사용하였다. 사회나 미술 시간에 자료를 조사하거나 동영상만 만들어본 경험은 있었으나 과학 시간에 사용한 경험은 거의 없었다. 과학 수업에서 실험은 대부분 모둠 및 대표 실험으로 진행하였기에 개별 실험 경험은 거의 없었고, 창의적 체험활동 시간에 생활 과학 교실에서 개별 과학 키트를 이용하여 실험해본 경험만 있었다.

Table 1. List of research materials

연번	자료명	개수 (총 분량)	자료 형태	자료 생성자
1	교수·학습 과정안	7개(A4 15쪽)	한글 파일 문서	교사
2	개념, 실험 설명 동영상	16개(100분)	MP4 동영상	교사
3	동영상 시청 참여도 통계	16개	온라인 기록 (네이버 밴드)	학생
4	수업 활동지, 과제물	115개	온라인 기록 (Google 설문지, 네이버 밴드)	학생
5	성찰 일지	120개	온라인 기록 (Google 설문지)	학생
6	온라인 대화 내용	6개(A4 30쪽)	메모장(txt) 문서	교사/학생
7	온라인 질의응답 내용	8개(A4 20쪽)	메모장(txt) 문서	교사/학생
8	스마트 기기 조작 화면	14개(약 100분)	MP4 동영상	학생
9	수업 반성 노트	14개(A4 14쪽)	한글 파일 문서	교사

#### 4. 자료수집

자료수집 기간은 2020년 7월 7일부터 9월 11일까지이며, 수집한 자료는 Table 1과 같이 총 9종으로 자료수집 과정을 설명하면 다음과 같다.

교사는 교사용 지도서를 참고하여 교수·학습 과정안을 작성하였다. 과학 개념이나 실험 절차를 설명하는 동영상은 온라인 수업 플랫폼인 네이버 밴드의 수업 게시판에 탑재하였고, 수업 참여도(시청한 학생 수, 시청 시간)가 자동으로 기록되었다. 수업 중 학생들이 작성한 수업 활동지는 온라인상에서 수합하였고, 수업 후 제출한 과제물은 네이버 밴드의 개인 과제 방에서 수합하였다. 성찰 일지는 매시간 수업 후 작성하였는데 수업에서 배운 내용, 수업에서 도움이 되었던 점, 좋았던 점, 어려웠거나 힘들었던 점을 기록하여 온라인상에서 수합하였다. 온라인 대화는 네이버 밴드가 지원하는 대화방에서 문자로 상호작용하였고 대화 내용 내보내기 기능을 통해 텍스트 문서로 다운로드하였다. 온라인 질의응답은 댓글을 이용하여 상호작용하였고 댓글 내보내기 기능을 통해 질의응답 내용을 텍스트 문서로 저장하였다. 온라인 수

업 중 지원자 3명을 대상으로 화면 캡처 애플리케이션을 이용하여 학생의 스마트 기기 실험 화면을 녹화하였다. 외부의 카메라를 이용한 녹화는 스마트 기기의 조작 화면을 구체적으로 확인하는 것이 불가능했지만, 화면 캡처 애플리케이션을 이용하면 조작 화면의 녹화와 동시에 음성이 기록되므로 학생 활동의 구체적인 확인이 가능하였다. 교사는 수업을 계획, 실행하는 과정에서 잘된 점, 검토할 점 등을 기록하여 수업 반성 노트를 작성하였다.

#### 5. 자료분석

수집한 자료들은 매트릭스 분석(matrix analysis) 방법으로 분석하였다. 매트릭스 분석은 자료에 포함된 정보들을 행과 열로 구성된 매트릭스에 배치하고 자료의 비교/대조, 경향 관찰 등 종합적인 분석을 통해 수집된 자료에 대한 이해도를 심화시키는 방법이다(김영천과 정상원, 2017).

Fig. 2는 매트릭스 분석 절차와 내용이다. 초기 매트릭스 제작 단계에서는 매트릭스 유형과 행과 열의 요소를 결정하였다. 수집한 자료의 종류와 자료수집 과정을 고려하여 시간적 매트릭스 유형에서 행은 수업 전략과 결

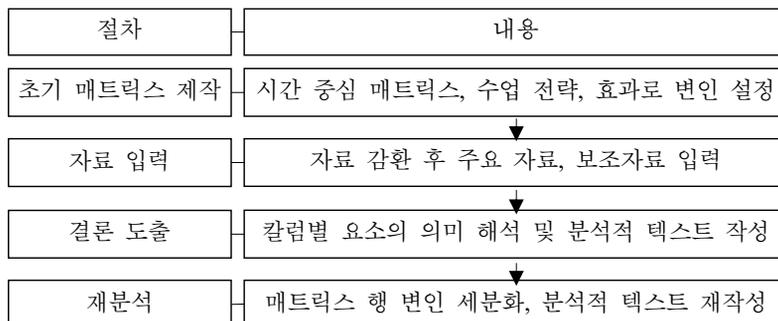


Fig. 2. Procedure of matrix analysis.

과, 열은 수업의 차시로 구분하였다. 자료 입력 단계에서는 연구자가 가진 다양한 자료들을 코딩을 통해 감환(reduction)하여 초기 매트릭스에 입력하였다. 매트릭스의 각 칼럼에 정보를 입력할 때 행 변인에 따라 주요 연구자료와 참고자료를 달리하였는데 수업 전 변인은 1, 2번 자료를, 수업 중 변인은 4, 5, 6, 7, 8번 자료를, 수업 후 변인은 4, 5, 6, 7, 9번 자료를 주요 자료로 하고 그 외 자료를 참고자료로 사용하였다. 결론 도출 단계에서는 연구자의 감정적인 결론을 바탕으로 자료에 포함된 의미들을 이해하고 분석적 텍스트를 작성하였다. 재분석 단계에서는 수업의 계획, 실행, 반성 과정의 세부적인 묘사를 위해 행 변인을 세분화하여 분석적 텍스트를 재작성하고 최종적인 의미를 도출하였다.

자료 분석의 타당도를 높이기 위해 삼각검증법(triangulation) 중 자료의 통합, 연구자의 통합 방법을 사용하였다(Merriam, 2009). 자료의 통합은 여러 가지 자료를 통합하여 현상을 이해하는 방법으로, 다수의 자료를 이용하여 매트릭스의 각 칼럼을 입력하고 분석적 텍스트를 작성하였다. 연구자의 통합은 두 사람 이상이 연구에 참여하고 수집한 자료를 분석하는 방법으로(김영천과 정상원, 2017), 과학교육 전문가 2인에게 자료 분석과 의미 해석에 대한 검토를 요청하였다.

매트릭스 분석은 연구자의 이론적 민감성 둔화로 초기 형태의 매트릭스 변인에 해당하는 자료만을 포함하여 의미를 해석할 수 있으므로(김영천과 정상원, 2017), 자료의 통합을 통해 수집된 자료들을 충분히 포괄하여 현상에 대한 이해를 높일 수 있었다. 또한, 초기 매트릭스 행 변인은 수업 전략과 효과, 개선 방안으로 구성되어 있었는데 연구자의 통합을 통해 행 변인을 수업 전·중·후로 세분화하여 온라인 과학 수업의 계획, 실행, 반성의 일련의 과정에 대한 현상의 구체적인 서술을 바탕으로 개선 방안을 도출할 수 있었다.

### Ⅲ. 실행 계획

#### 1. 문제 인식

문제 인식은 온라인 과학 수업을 실행한 과학 전담 교사 3명과 함께 ‘면대면 수업과 같은 학습 경험을 제공하기 위해 온라인 수업을 어떻게 실행하고 있는가?’

라는 간단한 주제의 담화<sup>1)</sup>가 시작이었다. 그 과정에서 교사들은 다양한 문제점을 이야기하였다.

교사는 오개념의 수정이나 탐구 능력 신장 측면에서 실험·실습 같은 조작 활동이 가지는 의의를 강조했으며, 실험 영상을 보는 것만으로는 면대면 학습과 같은 학습 경험을 제공하기에 무리가 있음을 언급하였다.

과학은 다른 교과랑 구별되는 특징이 탐구 활동이 많아요. 특히 실험을 직접 해야 개념 이해나 탐구 능력 향상에 도움이 될 것 같아요. 동영상은 학생이 생각하지 않아도 이미 실험 결과를 알려주잖아요. (교사 B)

특히, 과학적 설명의 평가와 수정은 과학과 다른 형태의 탐구를 구분 짓는 특징임을 고려했을 때, 교사는 학생-학생, 학생-교사 상호작용을 통해 설명을 공유할 수 있는 전략을 온라인 수업에 반영하고자 하였으나 어려움이 있다고 하였다.

개념을 이해할 때 동료 학습자의 역할이 크다고 봐요. 같은 눈높이에서 개념을 설명해줄 수 있으니까 도움이 되죠. 그리고 오개념의 수정 같은 경우는 교사와의 상호작용이 필수라고 생각해요. 하지만 온라인에서는 면대면 수업과 다르게 모둠으로 찾아가는 개별적인 피드백도 어렵고, 비실시간 상호작용 같은 경우는 아무래도 집중도가 부족하죠. (교사 A)

담화를 통해 연구자가 인식하던 온라인 수업의 문제점을 다른 교사들도 인식하고 있음을 알 수 있었고, 미처 생각하지 못했던 문제점(예, 동영상 강의 제작의 복잡함, 온라인 수업 장비의 지원, 수업 외 활동 운영의 어려움 등)들도 확인할 수 있었다.

세 명의 교사 담화에서 찾은 온라인 수업의 문제점(실험 활동, 상호작용)을 통해 온라인 수업의 특수성을 고려한 수업 전략이 필요함을 인식하였다.

#### 2. 시사점 탐색

선행연구로부터 수업 전략에 대한 시사점을 얻기 위해 수집할 자료의 검색 기준을 정하였다. 검색 키워드 범주는 수업 전략부터 수업 매체까지 다양하였는

1) 이 연구에서 담화 내용을 분석 자료로 포함하지 않은 것은, 연구의 시작점을 이 담화를 통해 문제를 인식하는 것부터 보았고, 담화 내용 또한 온라인 수업의 문제점 인식이 중심이었기 때문이다.

Table 2. Implication and application of teaching strategy

범주	시사점	선행연구	적용할 수업 전략
실험 활동	스마트 기기 활용 (애플리케이션, 스마트 기기 자체 기능)	윤정현 외(2016) Vieyra et al.(2015)	• 스마트 기기 활용 실험 • 대체 실험
	다양한(선택적) 실험 활동, 대체 실험의 제시(가정용품 활용), 개별 실험 키트	이성희 외(2016) Kennepohl(2016) Reeves & Kimbrough(2004)	
상호작용	모바일 메시지 서비스 애플리케이션 활용	양찬호 외(2015)	• 온라인 대화방(실시간) • 온라인 댓글 쓰기(비실시간)
	온라인 질의응답 활동 (사회적 추석 달기 시스템)	진수영(2019)	

Table 3. Lesson topics and teaching strategies

차시	수업 주제	수업 전략	
		실험 활동	상호작용
1	• 지구의 자전	• 대체 실험	• 온라인 댓글 쓰기
2	• 하루 동안 태양과 달의 위치 변화	• 스마트 기기 활용 • 대체 실험	• 온라인 대화방 • 온라인 댓글 쓰기
3	• 낮과 밤이 생기는 까닭	• 대체 실험	• 온라인 대화방 • 온라인 댓글 쓰기
4	• 지구의 공전	• 대체 실험	• 온라인 대화방 • 온라인 댓글 쓰기
5	• 계절에 따라 보이는 별자리가 달라지는 까닭	• 스마트 기기 활용	• 온라인 대화방 • 온라인 댓글 쓰기
6	• 여러 날 동안 달라지는 달의 모양	• 스마트 기기 활용	• 온라인 대화방 • 온라인 댓글 쓰기
7	• 여러 날 동안 달라지는 달의 위치	• 스마트 기기 활용	• 온라인 대화방 • 온라인 댓글 쓰기

데, 주요 키워드는 온라인 수업, 면대면 수업, 온라인 과학, 스마트 기기 과학 등이었다.

Table 2와 같이 자료수집 결과를 바탕으로 시사점을 도출하여 수업 설계 시 반영하였다. 온라인 수업이 이루어지는 가정에서도 학생이 실험할 수 있도록 스마트 기기를 활용한 실험과 대체 실험을 계획하였다. 많은 선행 연구가 스마트 기기의 애플리케이션이나 스마트 기기의 자체 기능(예, 카메라나 나침반 기능)을 활용하였고, 주변에서 쉽게 찾을 수 있는 도구를 활용한 대체 실험(예, 두루마리 휴지와 사인펜을 이용한 크로마토그래피)으로 면대면 학습과 동일한 학습 경험을 제공하고자 하였다.

상호작용은 학생-교사, 학생-학생 측면에서 전략을 고려하였다. 메시지 서비스가 가능한 애플리케이션(네이버 밴드, 카카오톡)을 활용하여 온라인 대화방을 개설하거나 교사-동료 학습자의 수업 게시글에 댓글을 작성하도록 하여 교사-학생, 학생-학생 간 상호작용을

계획하였다.

### 3. 수업 실행 계획

이상의 절차를 통해 얻은 시사점을 반영하여 Table 3과 같이 수업을 설계하였다. 이때 각각의 수업 전략을 한 차시의 수업에 동시에 적용할 것인지 혹은 부분적으로 적용할 것인지 판단이 필요하였다. 연구자는 두 개의 수업모형을 통합한 과학 학습이 과학적 탐구 능력과 태도에 효과가 있음을 밝힌 선행 연구(정영란과 이은파, 2003)와 새로운 지식 창출의 과정으로써 융합형 교수-학습 전략을 적용하고 그 의미를 탐색한 선행 연구(권난주, 2014)를 참고하여 수업 전략을 하나의 수업에 동시에 적용하는 것이 좋다고 판단하였다. 이에 총 7차시의 수업 중 수업 주제에 따라 수업 전략의 절차와 비중을 달리하여 수업을 설계하고 실행하였다.

## IV. 실행 결과

### 1. 매트릭스 분석 결과

수집한 자료들은 코딩 과정을 거쳐 감환 하고, 매트릭스에 입력한 후 그 의미를 분석하기 위해 분석적 텍스트를 작성하였다. 분석적 텍스트에서 핵심 단어나 어구를 추출하고 함축된 의미와 주제를 찾아 Table 4와 같이 분석 범주를 도출하였다.

### 2. 수업 실행 결과

#### 가. 스마트 기기 활용과 대체 실험

##### 1) 탐구의 기회 제공

스마트 기기를 활용한 실험은 스텔라리움과 Star walk 애플리케이션으로 지구 관찰자 시점에서 태양과 달의 일주 운동, 별의 연주 운동, 달의 위상 변화를 관찰하였고, Google Earth와 지구와 달의 움직임 애플리케이션으로 우주 관찰자 시점에서 지구의 자전, 낮과 밤의 변화를 관찰하였다. 스마트 기기를 활용하여 학생들은 시간·장소·기상 등의 문제로 실제 상황에서 관찰하기 어려운 천문 현상을 수업 시간에 관찰할 수 있었고, 사실적인 시뮬레이션을 통해 지구 관찰자에서 우주 관찰자로의 시점 전환을 경험하였다.

태양의 위치는 낮이라 관찰할 수 있지만 달은 밤이랑 새벽에만 관찰할 수 있다. 달을 관찰하려면 잠을 안자야 하는데 앱에서 새벽으로 시간을 조정하면 관찰할 수 있어서 편리했다. (학생 3의 2차시 성찰 일지 중)

선생님이 모든 달 모양을 관찰하기 위해서는 한 달정도 걸린다고 했지만, 스텔라리움으로 시간을 바꿔가

며 태양과 달이 움직이는 것을 편하게 볼 수 있어서 좋았고 밤하늘을 실제로 보고 있는 것 같아서 생생했다. (학생 11의 2차시 성찰 일지 중)

지구 모형이랑 다르게 그래픽이 좋아서 실제 지구같이 느껴졌다. 핸드폰 앱으로 우리나라가 낮일 때랑 밤일 때 우주에서는 어떻게 보이는지 확인할 수 있었다. (학생 7의 3차시 성찰 일지 중)

계절에 따라 보이는 별자리가 달라지는 까닭을 교과서에서는 지구가 태양 주위를 공전함에 따라 달라지는 지구의 위치로 설명하기 때문에, 우주 관찰자 시점에서 공간적 사고를 바탕으로 한 이해가 필요하다. 스텔라리움 애플리케이션을 이용하면 낮일 때도 천구상의 별자리를 관찰할 수 있는데, 실제 관찰이 불가능한 현상을 관찰하고 직관적인 이해를 통해 자신의 과학적 아이디어를 설명하기 위한 근거로 사용하였다.

교사: 여름에 우리가 관찰할 수 없는 별자리는 무엇 이죠? 아래 그림을 참고해서 말해봅시다.

교사: (사진을 보였습니다.)

학생 A: 오리온자리요

학생 B: 그.. 저는 잘 모르겠어요 이게 좀 헛갈려요

ππ

학생 C: 저..저두

교사: 그럼 학생 A가 설명해주세요?

학생 A: 잘 기억은 안나는데 스텔라리움으로 관찰했을 때 오리온자리는 태양과 같이 있었어요 그런데 실제로는 낮이라 못 보는거 같아요 그러니까 오리온자리는 태양과 같이 있어서(같은 방향에 있어서) 밤에 보지는 못해요. (지구의 공전 대체 실험 후 온라인 대화방 내용 중)

Table 4. Analysis categories and key phrases

수업 전략	범주	핵심 어구
스마트 기기 활용과 대체 실험	탐구의 기회 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사실적인 시뮬레이션을 통한 관찰 기회</li> <li>• 실제 관찰이 어렵거나 불가능한 현상의 관찰</li> <li>• 조작 활동을 통한 과학적 개념 유추</li> </ul>
	오개념 형성에 대한 위협	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 대체 실험 도구의 불완전함으로 인한 오개념</li> </ul>
	실험 활동의 방해	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 애플리케이션이 제공하는 많은 정보로 인한 혼란스러움</li> </ul>
온라인 대화방과 질의응답	소통의 기회 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 멀티태스킹 형태의 상호작용이 가능</li> <li>• 과학적 아이디어의 표현과 확인 기회</li> </ul>
	과학 개념의 점검과 피드백	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 과학 개념을 평가하고 수정할 기회</li> <li>• 구조화된 질문과 자료로 피드백이 가능</li> </ul>

대체 실험은 지구의 자전과 낮과 밤이 생기는 까닭을 알아보기 위해 갖 없는 전등은 스마트폰 플래시, 지구의는 스티로폼 공, 자전축은 얇은 꼬치 막대로 대체하여 실험을 계획하였다. 방위를 표시하고 스티로폼 공을 회전시켜보는 조작 활동을 통해, 학생들은 관측자 모형의 이동 방향이 서→동인 것으로부터 지구의 자전 방향을 유추하였다. 스티로폼 공에 빛을 받는 쪽과 받지 않는 쪽이 생기는 것을 보고 낮과 밤이 생기는 까닭을 확인하였다. 또한, 학생들은 스티로폼 공을 회전시켜보면서 관측자 모형이 위치한 곳이 낮과 밤이 반복되는 것을 확인하고 하루를 주기로 낮과 밤이 반복되는 관계를 구체적으로 설명하였다.

지구 모형에 동, 서, 남, 북을 나타내고 반시계 방향으로 돌리면 관측자 모형은 서쪽 방향에서 동쪽 방향으로 움직인다. 관측자 모형이 서쪽에서 동쪽으로 움직이는 것은 관측자 모형이 서 있는 지구가 서쪽에서 동쪽으로 자전하기 때문이다. 그래서 지구의 자전 방향은 서쪽에서 동쪽이다.

(학생 18의 1차시 수업 활동지 답변 중)

모형이 있는 곳이 빛을 받으면 낮이고 빛을 받지 않으면 밤이다. 왜냐하면 우리도 낮에는 태양 빛이 있어 밝고, 밤에는 태양 빛이 없어 어둡기 때문이다.

(학생 9의 3차시 수업 활동지 답변 중)

공(지구 모형)을 한 바퀴 돌려서 핀(관측자 모형)이 다시 그 자리에 오면 하루가 지나는데 공을 한 바퀴 돌리는 동안 낮은 1번, 밤은 1번 있었다. 지구가 계속 자전을 하면 하루가 반복되니까 낮과 밤도 반복된다.

(학생 15의 3차시 수업 활동지 답변 중)

## 2) 오개념 형성에 대한 위험

대체 실험이 학생들의 오개념을 유발하는 예도 있었다. 지구의 자전, 낮과 밤이 생기는 까닭, 지구의 공전 실험에서 사용하는 갖 없는 전등과 지구를 스마트폰 플래시와 스티로폼 공, 얇은 꼬치 막대로 대신하여 실험하였다. ‘지구의 자전과 낮과 밤이 생기는 까닭’ 실험은 스마트폰 플래시를 고정된 채 스티로폼 공을 자전시키므로 학생들이 과학 개념을 이해하는 데 무리가 없었다. 그러나 ‘지구의 공전’ 실험에서 스티로폼 공 위의 관측자 모형이 스마트폰 플래시 빛이 비치

지 않는 곳(스마트폰 액정 방향)에 위치했을 때를 학생들은 밤이라고 응답하였다.

교사: (그림을 보여주면서) (나) 위치에서 관측자 모형이 있는 곳은 낮과 밤 중 언제일까요?

학생 A: 낮

학생 B: 밤

교사: 학생 B 왜 밤일까요

학생 B: (나) 위치로 가면 뒤쪽이라서 밤이에요

(지구의 공전 대체 실험 후 온라인 대화방 내용 중)

추가 질문 결과 학생 B는 태양이 구 모양이고 낮과 밤이 생기는 원인을 알고 있었지만, 스티로폼 공이 스마트폰 플래시 빛이 비치지 않는 곳에 위치했을 때 빛을 받을 수 없음을 근거로 밤이라고 응답하였다. 학생 B뿐만 아니라 몇 명의 학생이 위와 같은 사고를 보여주었는데, 이는 대체 실험 도구의 불완전함으로 인한 실험 결과가 기존의 과학 개념과 중복되어 학습 목표 도달을 방해하고 더 나아가 오개념을 유발할 위험이 있음을 의미한다.

## 3) 실험 활동의 방해

학생들은 애플리케이션이 제공하는 많은 정보에 혼란스러워하기도 하였다. 특히 친문 관측을 위한 애플리케이션은 천구 상에 다양한 별자리, 황도와 백도, 인공위성 등 학생들이 알고 있는 것보다 더 많은 정보를 제공하였다. 또한, Star walk 애플리케이션은 동작 센서를 기반으로 스마트 기기를 밑으로 기울이면 천구의 지평선 아래를 관측할 수 있었는데 이는 학생들의 관측 활동을 방해하는 요인으로 작용하였다(Table 5).

## 나. 온라인 대화방과 질의응답

### 1) 소통의 기회 제공

교사의 관점에서 온라인 대화방은 여러 모듈과 멀티태스킹(multi-tasking)<sup>2)</sup> 형태로 상호작용이 가능하다는 장점이 있었다. 면대면 수업은 물리적인 문제로 인해 여러 모듈을 동시에 관리하며 빠른 상호작용이 불가했지만, 온라인 수업은 여러 개의 대화방을 개설한 다음 한 화면에 배치함으로써 여러 모듈을 동시에 관

2) 여기서 멀티태스킹이란 복수 매체의 비동시적(빠른 전환을 통한) 이용을 의미하는 최미경(2018)의 개념을 따른다.

Table 5. Lots of information of application interferes with students observation activity

Star walk 애플리케이션을 활용한 관측 활동	설명
	<p>Star walk 애플리케이션은 동작 센서를 사용하여 스마트 기기 화면을 밑으로 기울이면 천구의 지평선 아래를 관측할 수 있다. 천구의 개념을 모르는 학생들에게는 땅 혹은 바다 밑에서 별자리나 달이 보이므로 의문을 유발하였고, 이는 관측 활동을 방해하는 요인으로 작용하였다.</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="821 539 992 568">[관찰을 통한 유추]</div> <div data-bbox="1063 539 1235 568">[실험 활동의 방해]</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;">   </div>

리하며 상호작용이 가능하였다.

온라인 대화방을 운영하면서 여러 모둠을 대상으로 동시에 대화할 수 있다는 장점을 발견하였다. 면대면 수업에서는 교사가 한 명이라 시간 문제로 불가능했던 것들이 온라인에서는 가능하다는 것이 큰 특징이었다. 이 특징을 살려 학생들이 면대면 수업에서 상호작용이 없었던 학생들을 대상으로 간단한 퀴즈, 활동 중 어려운 점 등으로 상호작용하면 학생들에게 도움이 될 것 같다. (연구자의 2차시 수업 반성 노트 중)

또한, 학생들은 핸드폰을 이용하여 카카오톡이나 페이스북 메신저처럼 밴드 대화방에 익숙하게 참여할 수 있었다. 학생들은 면대면 수업에서는 대화에 참여할 수 있는 기회가 부족했으나 온라인 대화방에서는 자신의 과학적 아이디어를 표현할 기회를 보장받고 다른 친구들의 과학적 아이디어를 편리하게 확인할 수 있었다고 보고하였다.

과학 시간에 배운 내용을 밴드 대화방에서 확인했는데 각자 핸드폰을 가지고 다른 친구들의 방해를 받지 않고 자유롭게 말할 수 있는 것이 장점이다. 그리고 발표를 안 해도 많은 친구들의 의견을 볼 수 있어서 편했다. (학생 18의 7차시 성찰 일지 중)

밴드 대화방은 핸드폰으로 카톡처럼 이야기할 수 있어서 익숙했다. 과학실에서는 빠른 친구들이 손을 들어

서 발표할 기회가 없었는데 대화방에서는 공평하게 이야기할 수 있었다. (학생 6의 7차시 성찰 일지 중)

2) 과학 개념의 점검과 피드백

학생-학생의 상호작용을 위해 ‘댓글로 친구 게시물 감상-평가하기’ 과제를 제시하였다. 과제는 게시물의 단순한 감상을 적는 것이 아니라 자신의 지식을 바탕으로 잘된 점, 개선할 점 등을 포함한 과학적 아이디어를 적는 것이었다. 학생들은 과제를 하며 자신의 과학 개념을 평가하고 수정할 수 있었음을 이야기하였다.

과학실에서 친구들이랑 이야기할 때는 시끄럽기도 하고 서로 말할 시간이 없었는데 댓글은 친구 과제를 하나씩 보고 댓글을 써줄 수 있었다. ... (중략) ... 친구들의 과제를 보고 내 과제에서 틀린 부분이 어디인지 알 수 있었다. (학생 3의 6차시 성찰 일지 중)

하루 동안 달이 이동하는 방향과 여러 날 동안 달이 이동하는 방향을 구별하기가 어려웠다. ○○이의 댓글에서 자전과 관련되는 것은 무조건 자전의 반대 방향인 동→서라는 것을 보니 쉽게 구별할 수 있었다. (학생 20의 7차시 성찰 일지 중)

댓글을 통해 친구의 게시물을 감상-평가하는 과제는 개별적으로 과제가 부여되고 기록이 남는다는 점에서 참여도가 낮은 학생이 활동에 참여하는 계기가 되었다. 또한, I-R-M 형태의 상호작용을 하면서 친구들과



릿 PC로 상호작용에 참여하여 과학적 아이디어를 표현하고 확인하였다. 이는 스마트폰과 태블릿 PC가 가진 높은 상호작용성으로 인해 수업 구성원의 상호작용을 증진시킬 수 있다는 선행연구(시지현 외, 2011)를 뒷받침하는 결과이다. 그러나 문자 입력 시간으로 인한 불편함과 매체의 모달리티(modality)가 학습자의 상호작용 경험에 유의미한 영향을 미친다는 선행연구(박세영 외, 2015)와 e-learning 시스템에서 의사소통의 매체로 문자보다는 음성이 학습효과가 높다는 선행연구(우동석 외, 2006)를 참고했을 때, 수업 구성원 간 상호작용을 촉진하기 위해 문자 언어보다 음성 언어를 사용해야 함을 시사한다. 또한, 교사는 멀티태스킹 형태로 여러 모듈과 상호작용이 가능하다는 장점을 바탕으로 정현철과 윤현수(2020)의 연구처럼 대화를 예상하고 구조화된 질문과 피드백 자료를 사전에 제작하여 상호작용의 효율성 측면을 고려해야 할 것이다.

이 연구는 실험연구로서 실행을 통한 변화와 개선을 특징으로 한다. 위에서 제시한 개선 방안 외에도 연구를 수행하며 작성한 교사의 수업 반성 노트와 분석적 텍스트를 바탕으로 온라인 과학 수업의 개선 방안에 대해 다음과 같이 제언하고자 한다.

첫째, 실험 활동 측면에서 스마트 기기의 역할이 강화되어야 할 것이다. 스마트 기기와 과학 탐구 활동의 결합을 주제로 한 많은 선행연구에서 언급했듯 스마트 기기는 관찰, 측정 등 과학 교과에 주제-특이적으로 사용할 수 있다. 그러나 실제 수업에서 스마트 기기는 주로 복잡한 계산이나 정보 검색을 대신하는 보조 도구의 역할로 활용되고 있다. 인지적 도구로서 스마트 기기의 역할을 강조한 선행연구(Adesope, O. O., & Rud, A. G., 2018; Koress, 2019; Pakdaman-Savoji *et al.*, 2019)를 참고한다면, 학생들은 스마트 기기를 사용함으로써 과제에 대해 더 깊이 생각하고 사고의 범위를 확장할 수 있다. 따라서 스마트 기기를 인지적 도구로 사용하여 학생들의 학습 파트너로서 학습의 효과성 측면에서 도움을 줄 수 있을 것이다.

둘째, 상호작용 측면에서 스마트 기기의 체계적인 활용을 강조해야 할 것이다. 이 연구에서는 스마트 기기가 온라인 과학 수업에서 상호작용을 매개하는 역할을 하였다. 스마트 기기의 활용으로 하위 수준 학생들이 상위 수준 학생들의 도움을 받을 기회가 많아지고(윤정현 외, 2016) 학생들이 설명력이 높고 권위 있는

정보를 얻을 수 있음(장은진 외, 2017)을 참고했을 때, 스마트 기기는 학습 집단에서 공유되는 정보의 양을 증가시키고 질을 높일 수 있음을 알 수 있다. 따라서 스마트 기기 활용 방안을 체계적으로 정리하여 전략적으로 활용한다면 학습의 효율성 측면에서 학생들에게 도움을 줄 수 있을 것이다.

앞서 언급한 스마트 기기의 역할과 활용의 강조는 학습자의 인지 과정을 설명하는 대안적 이론인 분산 인지(distributed cognition)에서 그 근거를 찾을 수 있다. 분산 인지의 관점에서 외부 표상은 학습자의 내부 표상을 지원하는데(Zhang & Patel, 2006), 스마트 기기는 개인적인 측면에서 탐구를 지원하고 시스템적인 측면에서 상호작용을 지원하는 역할을 수행하며 학습자의 학습 과정을 지원할 수 있을 것이다. 그러므로 코로나 19로 인해 온라인 수업이 뉴노멀이 되어가고 있는 시점에서 분산 인지에 근거해 스마트 기기를 어떻게 활용하는 것이 온라인 과학 수업에 도움이 되는지 그 방향성을 정립할 수 있는 후속연구가 필요하다.

## 국문요약

이 연구는 온라인 과학 수업에서 실험 활동과 상호작용의 개선을 위한 수업 전략을 계획하고 그 결과를 바탕으로 개선 방안을 제시한 실험연구이다. 이를 위해 2020년 7월7일부터 9월 9일까지 G광역시에 위치한 초등학교 6학년 학생 20명을 대상으로 ‘지구와 달’ 단원 수업을 실행하였다. 수업을 위해 실험 활동 범주에서 스마트 기기와 대체 실험, 상호작용 범주에서 온라인 대화방과 질의응답 전략을 계획하였다. 수집한 자료 중 수업 활동지, 과제물, 성찰 일지, 온라인 대화 내용, 질의응답 내용을 주요 자료로 하여 매트릭스에 입력하고 분석적 텍스트를 작성하여 그 의미를 분석하였다. 실험 결과 스마트 기기와 대체 실험은 탐구의 기회를 제공하였으나 오개념 형성에 대한 위험이 있었고 실험 활동을 방해하기도 하였다. 온라인 대화방과 질의응답은 소통의 기회와 과학 개념의 점검과 피드백 기회를 제공하였다. 본 실험연구를 통해 연구자는 수업 반성 노트를 작성하며 수업을 반성할 수 있었고, 과학 수업의 효과성과 효율성 측면에서 스마트 기기의 역할을 제안하였다.

주제어: 실험연구, 온라인 과학 수업, 스마트 기기, 실험 활동, 상호작용

## References

교육부 보도자료(2020. 3. 27). 체계적인 원격수업을 위한 운영 기준안 마련.

권난주(2014). 과학 영상매체를 활용한 초등 융합형 교수학습 전략 개발 및 적용. *과학교육연구지*, 38(1), 29-40.

권용주(1999). 과학 교수·학습 과정에서 실험활동 중심 수업의 효율성에 대한 신경학적 설명. *한국과학교육학회지*, 19(1), 29-40.

김미숙(2006). 양적 방법과 질적 방법의 통합에 대하여. *교육사회학연구*, 16(3), 43-64.

김성운, 양일호, 임성만(2020). COVID-19 상황에서 초등 과학 전담 교사의 수업 운영 실태 및 인식. *대한지구과학교육학회지*, 13(3), 317-329.

김영천(2016). *질적연구방법론 I : Bricoleur*. 파주: 아카데미프레스.

김영천, 정상원(2017). *질적연구방법론 V: Data analysis*. 파주: 아카데미프레스.

김혜란, 최선영(2020). 초등 과학 온라인 수업 운영에 대한 교사들의 인식과 운영실태. *초등과학교육*, 39(4), 522-532.

박세영, 신동희, 김태양, 신재은(2015). 스마트 기기를 활용한 온라인 토론학습에서 모달리티가 학습자의 상호작용경험에 미치는 영향. *한국콘텐츠학회논문지*, 15(2), 507-519.

시지현, 박대건, 채아름, 김동식(2011). 사이버대학 강의에서 스마트폰을 활용한 토론학습 인터페이스 설계연구. *컴퓨터교육학회 논문지*, 14(5), 81-96.

양찬호, 조민진, 노태희(2015). 스마트 기기를 활용한 과학 교사의 교수 실행과 과학교육에서 스마트교육 적용 방안에 대한 의견 조사. *한국과학교육학회지*, 35(5), 829-840.

오현석(2020). 스마트 기기를 활용한 지구과학 수업 사례 연구: 예비 교사들의 중학교 대기와 천문 단원 수업 사례를 중심으로. *현장과학교육*, 14(4),

423-440.

우동석, 정재학, 이재덕, 김길송, 김경진, 홍승권(2006). 가상 e-learning 시스템에서의 의사소통에 대한 연구. *대한인간공학회 학술대회논문집*, 398-401.

유기용, 정종원, 김영석, 김한별(2019). *질적 연구방법의 이해*. 서울: 박영스토리.

유미현(2010). SSC(Small-Scale Chemistry) 실험이 과학 영재의 과학적 태도, 창의적 성격 특성 및 과학탐구 능력에 미치는 효과. *영재교육연구*, 20(2), 487-502.

윤정현, 강석진, 노태희(2016). 과학 수업에서 스마트 기기를 활용한 소집단 학습의 효과. *한국과학교육학회지*, 36(4), 519-526.

윤혜경(2004). 초등 예비교사들이 과학 수업에서 겪는 어려움. *초등과학교육*, 23(1), 74-84.

이상권, 김선영(2011). ‘생각하는 과학’활동이 중학생들의 기체 분자 운동 개념의 이해에 미치는 영향과 그 활동에 대한 인식. *과학교육연구지*, 35(1), 68-79.

이성혜, 채유정(2016). 온라인 과학탐구수업에서 학습자의 수업에 대한 인식이 자기조절전략 활용, 수강지속의사, 학업성취도에 미치는 영향. *영재교육연구*, 26(2), 365-387.

이성희, 신영준, 하지훈(2016). 거꾸로 수업(Flipped Learning)에서 과학 교사들이 겪는 인식과 어려움 분석. *한국과학교육학회지*, 36(1), 159-166.

이쌍철, 정광희, 박상완, 박종선, 변호승, 이명희, 장미은(2017). 교과선택권 확대를 위한 온라인수업 운영 현황 분석 및 개선 방향. 서울: 한국교육개발원.

이용상, 신동광(2020). 원격교육 시대의 인공지능 활용 온라인 평가. *학습자중심교과교육연구*, 20(14), 389-407.

이용숙(2002). 현장 연구의 새로운 방향에 대한 고찰. *교육인류학연구*, 5(2), 83-113.

이용숙, 김영미, 김영천, 이혁규, 조덕주(2004). 실험연구(action research)를 통한 연구와 교육실천의 연계성 강화. *열린교육연구*, 12(1), 363-402.

이준희(2020). 과학과 온라인 수업에 대한 초등학생의 인식 조사. *부산교육대학교 교육대학원 석사학위논문*.

장은진, 김찬중, 최승언(2017). 과학적 모형의 사회적 구성에서 스마트기기의 역할 모색. *한국과학교육학회지*, 37(5), 813-824.

장진아, 정용재(2017). 스마트 기기 도입이 과학탐구 활

- 등을 어떻게 변화시킬 것인가?-교육대학원 초등과학 전공 교사의 인식 사례를 중심으로. 한국과학교육학회지, 37(2), 359-370.
- 정숙진, 신영준(2020). COVID-19 로 인한 온라인과 대면 수업 병행 운영에서 초등교사가 겪는 과학 수업의 어려움 분석. 교육논총, 40(3), 93-112.
- 정영란, 이은파(2003). 고등학생들의 생물학습에서 개념도와 순환학습을 통합한 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 23(6), 617-626.
- 정현철, 윤현수(2020). 코로나 19 팬데믹 상황에서 중등학교 온라인 체육수업 사례 및 과제 연구. Asian Journal of Physical Education of Sport Science(AJPSS), 8(3), 159-175.
- 조영환, 허선영, 최효선, 김정연, 이현경(2015). 고등교육 분야 온라인 학습 연구의 동향. 교육공학연구, 31(4), 725-755.
- 조용환(2015). 현장연구와 실행연구. 교육인류학연구, 18(4), 1-49.
- 진수영(2019). 고등학교 전자기 단원 수업과 연계한 온라인 질의응답 활동에서 지식의 공동 구성 분석. 서울대학교 박사학위논문.
- 최미경(2018). 스마트폰 이용자의 시간관과 미디어 멀티태스킹이용행태 간의 관계 탐색: 20~50 대 스마트폰 이용자를 중심으로. 커뮤니케이션학연구, 26(3), 259-290.
- 하동수, 김대근, 정윤영, 정현욱, 박종근(2010). 제 9 장 실험수업을 사고실험으로 대체할 경우 학업성취도에 미치는 영향-중학교 7, 8 및 9 학년 과학교과서 화학단원에서-. 현대교육연구, 22, 163-185.
- 한국교육과정평가원(2020). COVID-19 대응 온라인 개학에 따른 초, 중, 고등학교 원격 수업 실태 및 개선 방향 탐색. 인천: 한국교육과정평가원.
- Adesope, O. O., & Rud, A. G. (2018). Contemporary technologies in education: Maximizing student engagement, motivation, and learning. Springer.
- Al Darayseh, A. (2020). The impact of COVID-19 pandemic on modes of teaching science in UAE schools. Journal of Education and Practice, 11(20), 110.
- Chiang, T. H., Yang, S. J., & Hwang, G. J. (2014). Students' online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities. Computers & Education, 78, 97-108.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2016). E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Coates, D., Humphreys, B. R., Kane, J., & Vachris, M. A. (2004). "No significant distance" between face-to-face and online instruction: Evidence from principles of economics. Economics of Education Review, 23(5), 533-546.
- Ferrance, E. (2000). Action research. Providence: LAB at Brown University.
- Haury, D. L., & Rillero, P. (1994). Perspectives of hands-on science teaching. ERIC Publications, pp. 11-16.
- Huang, Y. M., Lin, Y. T., & Cheng, S. C. (2010). Effectiveness of a mobile plant learning system in a science curriculum in Taiwanese elementary education. Computers & Education, 54(1), 47-58.
- Kennepohl, D. K. (2016). Teaching science online: Practical guidance for effective instruction and lab work. Sterling, Virginia: Stylus Publishing; Chapter 5. Science Online Bringing the Laboratory Home.
- Korres, K. (2019). Multivariable analysis methods on identifying factors and groups of students in the environment of the discovery learning/constructivistic approach using cognitive tools. European Journal of Engineering and Technology Research, 7-12.
- Lamb, R. L., & Annetta, L. (2013). The use of online modules and the effect on student outcomes in a high school chemistry class. Journal of Science Education and Technology, 22(5), 603-613.
- Larson, D. K., & Sung, C. H. (2009). Comparing student performance: Online versus blended versus face-to-face. Journal of Asynchronous Learning Networks, 13(1), 31-42.
- Lau, W. W., Lui, V., & Chu, S. K. (2017). The use of wikis in a science inquiry-based project in a primary school. Educational Technology Research and Development, 65(3), 533-553.
- Lee, J., & Martin, L. (2017). Investigating students' perceptions of motivating factors of online class discussions. International Review of Research in Open and Distributed Learning: IRRODL, 18(5), 148-172.

- Lsu Online. (2020). How instructional technology can improve the learning process. <https://online.lsu.edu/newsroom/articles/how-instructional-technology-can-improve-learning-process/>(accessed June 30, 2021)
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Pakdaman-Savoji, A., Nesbit, J., & Gajdamaschko, N. (2019). The conceptualisation of cognitive tools in learning and technology: A review. *Australasian Journal of Educational Technology*, 35(2).
- Paloff, R. M., & Pratt, K. (2008). *Assessing the online learner: Resources and strategies for faculty* (Vol. 7). John Wiley & Sons.
- Reeves, J., & Kimbrough, D. (2004). Solving the laboratory dilemma in distance learning general chemistry. *Journal of Asynchronous Learning Networks*, 8(3), 47-51.
- Reuter, R. (2009). Online versus in the classroom: Student success in a hands-on lab class. *The Amer. Jnl. of Distance Education*, 23(3), 151-162.
- Satterthwait, D. (2010). Why are 'hands-on' science activities so effective for student learning? *Teaching Science*, 56(2), 7-10.
- Sintema, E. J. (2020). Effect of COVID-19 on the performance of grade 12 students: Implications for STEM education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 16(7), em1851.
- Supasorn, S., Kamsai, L., & Promarak, V. (2014). Enhancement of learning achievement of organic chemistry using inquiry-based semi-small scale experiments(SSSEs). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 116, 769-774.
- Sussman, S., & Dutter, L. (2010). Comparing student learning outcomes in face-to-face and online course delivery. *Online Journal of Distance Learning Administration*, 13(4), 6-11.
- Vieyra, R., Vieyra, C., Jeanjacquot, P., Marti, A., & Monteiro, M. (2015). Turn your smartphone into a science laboratory. *The Science Teacher*, 82(9), 32-40.
- Whittaker, A. L., Howarth, G. S., & Lymn, K. A. (2014). Evaluation of Facebook© to create an online learning community in an undergraduate animal science class. *Educational Media International*, 51(2), 135-145.
- Zhang, J., & Patel, V. L. (2006). Distributed cognition, representation, and affordance. *Pragmatics & Cognition*, 14(2), 333-341.