

RESEARCH ARTICLE

Development of A Future-oriented Teaching and Learning Model Based on Digital Textbook in Science Class for the Digital Transformation Era

Jung-Ho Byeon¹ · Yong-Ju Kwon^{2*} · Jong Hyeun Yun³ · HyunJu Park⁴ · Gyeong-Hui Park³ · Tae-Hui Kim⁵

¹Samcheok High School

²Korea National University of Education

³KOFAC

⁴Chosun University

⁵Sanui Elementary School

디지털 전환 시대를 위한 디지털 교과서 기반 미래형 과학 교수·학습 모델의 개발

변정호¹ · 권용주^{2*} · 윤종현³ · 박현주⁴ · 박경희³ · 김태희⁵

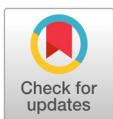
¹삼척고등학교 · ²한국교원대학교 · ³한국과학창의재단 · ⁴조선대학교 · ⁵산의초등학교

*Corresponding Author : kwonjy@knue.ac.kr

ABSTRACT

Digital textbooks have various advantages in science learning for the era of digital transformation based on functions such as virtual labs, high-definition images, and interactive contents. However, the current science class is administering without a learning model suitable for the era of digital transformation. Therefore, it is necessary to suggest a science learning strategy using digital textbooks in preparation for the digital transformation era. In this study, we developed a science teaching and learning model for the digital transformation era using digital textbooks. As a result, it was possible to provide a learning model based on a problem-solving process using digital textbooks and a learning strategy using digital functions in science class. The model consists of three steps in the teaching and learning process : Advanturing, Projecting, and Prosuming (APP). In addition, the APP model uses digital textbooks that include teaching and learning strategies of thinking and social interaction in creative problem solving. Therefore, the development of the APP model with appropriate digital functions and learning strategies could be applied to develop and evaluate digital textbooks and learning process suitable for the digital transformation era.

Key words : Digital textbook, digital function, APP model, digital transformation, problem solving, science class



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2022, Vol. 12, No. 2, 307-322.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20220020>

Received: June 08, 2022

Revised: June 20, 2022

Accepted: June 20, 2022

© 2022. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

과학기술의 급격한 발달과 디지털화로 인해 사회문화 시스템의 변화뿐만 아니라 인간의 삶과 인식도 디지털 전환의 시대로 변화하고 있으며, 디지털 전환을 위한 교육 시스템의 다층적인 변화와 혁신은 더욱 일상화되고 있다(UNESCO, 2013). 특히, 이러한 사회에 대응하기 위해서는 온·오프라인 적응력, 의사소통 능력, 메타버스에서의 정보활용 능력, 창의적인 문제해결력 같은 미래의 디지털 역량이 요구되고 있으며, 이를 위한 교육 현장의 디지털 전환이 새로운 패러다임으로 자리를 잡아 가고 있다(Heo, 2021; OECD, 2018). 특히, 전 세계적 감염병 확산 이후 온·오프라인에서 활용 가능한 디지털 기술의 교육 현장 적용은 선택이 아닌 필수적 요소로 인식되고 있으며, 우리가 살고 있는 현재 교육의 주도적 변화를 이끌고 있다(Fauville et al., 2021).

교육 현장의 디지털 기술 활용은 효과적인 교수학습을 이끌어 내는 핵심적인 역할을 해왔으며, 직간접적인 학습경험의 확장과 다양한 콘텐츠 제공을 통해 21세기 교육패러다임의 중심을 차지하고 있다(Lowenthal et al., 2020; Magana & Marzano, 2014; OECD, 2010). 특히 다양한 디지털 기술이 적용된 에듀테크는 학습자가 다양하게 정보를 탐색하고 활용할 수 있도록 학습의 시간적 범위와 공간적 한계를 확장시킴으로써 학습자 맞춤형 학습의 가능성을 열어주고 있다(Collins & Halverson, 2018; Mintz et al., 2001). 그러므로 제4차 산업혁명 시대의 디지털 전환에 따른 시대적·사회적 요구를 충족함과 동시에 미래교육을 준비하기 위한 기본적 교수매체는 다양한 기기를 통해 제공될 수 있는 디지털 출판물인 디지털 교과서라 할 수 있다(Lim & Oh, 2014; MOE & KOFAC, 2020). 이런 관점에서 국내에서는 20여년 가까이 과학, 사회, 영어 교과용 디지털 교과서를 개발하여 교육현장에 활용하고 있으며, 이와 관련한 연구들도 지속적으로 이루어져 왔다(Joo et al., 2017; Kim & Kwon, 2019; Park & Ryu, 2019; Sulaiman & Mustafa, 2019).

미래지향적 교육매체에 대한 필요성에 의해 개발된 현행 디지털 교과서는 보편성의 원칙에 따라 학습자 친숙성 및 디지털 디바이스의 표준화된 기준으로 제작되므로 누구나 어떤 기기를 이용하더라도 사용 가능하다는 장점을 지니고 있다. 또한 기능적 맥락에서 정적 학습자료로 구성되는 서책형 교과서와 달리 사용자가 다양한 방식으로 상호작용 할 수 있는 기능을 지닌 콘텐츠를 제공할 수 있다. 특히 과학교육 측면에 실험 및 탐구활동, 시뮬레이션 등 다양하고 검증된 자료 제공과 같은 장점을 극대화 시킬 수 있음에도 불구하고, 디지털 교과서에 대한 인식은 저평가되어 있으며 현장 활용도는 기대에 못 미치는 실정이다(Kahai & Cooper, 2003; Kwon et al., 2015; Verkijika, 2019). 이런 문제점에 대해 다양한 원인이 제시되고 있으나, 먼저 현행 디지털 교과서는 인터페이스 제한성과 개발 폐쇄성으로 인해 다양한 형식의 교과서 개발 및 외부 소프트웨어 기능 연계가 어려운 단점을 지니고 있다(Ku, 2018; Lim & Oh, 2014). 또한 전통적 교과서인 서책형 교과서를 기반으로 제작하도록 강제하고 있기 때문에, 서책형 교과서의 디지털 보조 매체로 인식되는 경향성이 강한 편이다(Cho et al., 2019; Lim et al., 2014; MOE & KERIS, 2018). 무엇보다도 디지털 교과서의 기능적 특징을 활용할 수 있도록 안내된 과학 교수학습 전략이 미비하여 교사의 디지털 운영 역량 차이가 크게 영향을 주는 등 교수적 요인에 의해 디지털 교과서의 장점을 발휘하지 못하고 있는 실정이다(Chang et al., 2019; Cho et al., 2019; Lim et al., 2014; Seo & Gong, 2021).

과학 디지털교과서의 등장 이후 학교 현장에서의 관심과 기대에 비해 디지털 기능의 구현과 다양성의 부족으로 인해 기능적 개선에 초점이 맞추어져 있었다(Chang et al., 2019; Cho et al., 2019; Joo et al., 2013; Joo et al., 2017; Kim & Kwon, 2019; Kwon et al., 2015; Lim et al., 2014; Park & Ryu, 2019). 그러나 COVID19 이후 디지털

인프라와 에듀테크에 대한 인식과 요구가 급격히 증가한 상황에서 미래 교육현장에서의 과학 교수학습을 준비하기 위해서는 디지털 교수학습 매체를 효과적으로 활용하도록 안내하는 교수학습 방법의 개발이 절실한 실정이다(Petrie, 2022; Seo & Gong, 2021; Vincent-Lancrin, 2022). 이를 위해서는 과학 교육적 맥락에서는 디지털 교과서의 주요 장점에 해당하는 디지털 기능에 대한 분석 및 범주화와 교수학습 전략의 제시가 선행되어야 한다. 또한 서책형 교과서에 기반하여 내용을 구성해야만 하는 규범적·행정적 기준의 해소를 통한 디지털 교과서 구성의 자유도 부여가 동시에 이루어져야 할 필요가 있다. 따라서 이 연구에서는 디지털 교과서의 기능적 특징을 범주화하고 이를 효과적으로 활용할 수 있는 학습 단계와 전략에 대한 고찰을 통해 미래형 디지털 교과서 활용 과학 교수학습 모델을 제안하고자 하였다.

Theoretical Background

공인된 교육매체에 해당하는 교과서라는 개념은 일반적으로 종이로 인쇄된 서책형 교과서를 의미하는 것으로 인식되며, 디지털 시대의 도래와 함께 디지털 교과서를 제작하여 배포하고 있으나 교육 현장의 활용성은 기대에 미치지 못하는 실정이다(Joo et al., 2013; MOE, 2020). 현행 서책형 교과서는 학생용 도서로, 교사용 지도서는 교사용 도서로 구분되며, 교사용 지도서에 포함된 전자저작물을 통해 제공되기도 하는 디지털 교수자료는 교사의 수업설계 방향에 따라 자료 활용 여부가 결정되어 왔다. 그러나 과학기술의 발달, 방대한 정보의 양, 인터넷 환경 개선에 따른 정보 접근의 용이성 등과 같은 교실의 변화는 가르치는 것과 학습하는 것 뿐만 아니라, 교사와 학생의 역할에 대한 인식의 전환을 요구하고 있다(Lowenthal et al., 2020; OECD, 2010). 전통적 관점에서의 학습은 교과서와 같은 교수 매체에 제시된 지식 또는 지식의 구조를 수동적으로 수용하는 소비자적 학습자 역할에 초점을 맞추어 왔다. 반면, 구성주의적 관점과 사회문화적 관점에서는 교사와 학생을 지식의 소비자적 역할뿐만 아니라 직접 지식을 발견 및 생성하는 생산자적 역할을 동시에 강조하고 있다(Driver, 1983; Hodson, 1993; Matthews, 2000; Petrie, 2022). 따라서 이 연구에서는 교사와 학생의 역할에 대한 관점을 교수매체에 제시된 지식이나 콘텐츠를 수용하여 활용하는 소비자적 역할과 함께 직접 지식을 발견하고 생성하는 생산자적 역할을 함께 고려하여 학습 단계와 전략을 제시하고자 한다.

다양한 디지털 테크놀로지가 적용된 에듀테크는 학습자의 정보 탐색과 활용성을 확장시킴으로써 맞춤형 학습의 기회를 제공할 수 있다(Collins & Halverson, 2018; Mintz et al., 2001). 이와 같은 관점에서 디지털 교과서는 서책형 교과서와 비교할 때 상대적으로 학업성취도, 문제해결력 등 학습 전반적인 부분에서 긍정적 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다(Zucker et al., 2009). 또한 학습자료의 다양성, 매체와의 상호작용, 매체 활용을 위한 시공간적 제한점 극복은 디지털 교과서의 주요한 장점에 해당하며, 디지털 교과서에서 제공하는 기능인 다양한 멀티미디어 학습자료 활용은 학습자 측면에서 가장 중요한 디지털 교과서의 장점으로 인식되고 있다(Lim et al., 2014; Verkijika, 2019). 뿐만 아니라 최신 디지털 기술인 가상현실(VR)과 증강현실(AR) 콘텐츠까지 활용함으로써 더욱 다양한 학습경험을 제공할 수 있는 많은 장점을 지니고 있다(Kahai & Cooper, 2003; Kwon et al., 2015; Vincent-Lancrin, 2022). 다양한 장점에도 불구하고 디지털 교과서 관련 연구들에서는 활용성이 기대에 미치지 못함을 공통적으로 지적하며, 개선 방안으로 교과서 만들기를 통한 생산자적 기능의 추가, 다양한 상호작용 경험의 제공, 적합한 교수학습 방법 제공이 필요하다고 제시한다(Jeong, 2020; Lim et al., 2014; MOE & KERIS, 2018; Son et al., 2020).

다양한 디지털 기능과 콘텐츠를 지니고 있는 디지털 교과서의 활용은 학습상황에서 더 많은 참여와 공유의 기회를 제공함으로써 긍정적 학습 환경을 제공하며, 학습자의 자기주도학습뿐만 아니라 교사의 수업에도 긍정적인 영향을 줄 수 있다(Byeon, 2017; Chang et al., 2019; Moundy et al., 2021). 이런 맥락에서 디지털 교과서가 서책형 교과서의 보조적 매체라는 인식에서 벗어날 필요가 있으며, 디지털 교과서를 다양한 디지털 자료의 제공 및 자유로운 재구성이 가능한 포괄적 의미의 교과서로 인식하는 새로운 패러다임 전환이 필요하다. 따라서 이 연구에서는 지식을 전달하는 소비적 관점의 교과서로부터 지식을 활용하고 생성하는 생산적 교과서로의 전환이라는 관점에 따라 디지털 교과서의 기능과 교수학습 전략을 고려한 학습모델을 제안하고자 하였다.

Research Method

교육현장에서 디지털 교과서가 지니고 있는 디지털 기능을 효율적으로 활용하여 과학학습의 효율성을 제고하고 디지털 교과서의 활용성을 신장시킬 수 있는 교수학습 모델을 구성하기 위해서는 과학학습 맥락의 학습 단계와 학습 목표에 대한 고찰이 요구된다. 과학적 탐구활동을 포함하는 과학학습은 과학자의 문제해결과정을 통해 지식을 생성하고 개념을 획득하는 경험의 과정이라는 측면에서 탐구학습이 포함되므로, 과학적 문제해결의 맥락에서 분석되어야 한다(Bruner, 1960; Fauth et al., 2019; Furtak et al., 2012; Hooijdonk et al., 2020; Yildiz & Yildiz, 2021). 그러므로 과학학습에 대한 이론적 고찰을 통해 학습자의 개념획득과 과학자의 문제해결과정 경험이라는 관점에서 관련 문헌을 분석함으로써 학습 단계와 단계별 학습 목표를 도출하였다.

국내에서 디지털 교과서의 개발과 활용은 국가 주도로 보편성의 원리에 근거해 제작 가이드 라인이 제시되어 있으며, 선도학교 및 연구학교 운영 등 다양한 방법으로 디지털 교과서의 현장 안착을 위해 노력해왔다(MOE & KERIS, 2018). 그러나 교육 현장에서는 스마트 기기의 부족 같은 인프라 문제, 교과서 내용과 사용법의 복잡성, 서책형과의 동일성 등을 원인으로 활용도는 미흡한 실정이며, 현장에서는 디지털 교과서의 자유로운 재구성이라는 생산자적 특징을 지닌 새로운 미래형 디지털 교과서를 요구하고 있다(Ahn et al., 2020).

이러한 문제점을 극복하고 디지털 교과서의 장점인 디지털 기능의 활용성과 학습 효율성 개선의 관점에서 디지털 교과서뿐만 아니라, 향후 개발될 필요가 있는 이상적 디지털 교과서의 특징을 고려하여 디지털 기능을 범주화하고 디지털 기능을 효과적으로 활용할 수 있는 학습 단계, 학습 목표, 학습 전략을 분석 및 도출하였다. 특히 미래세대를 위한 학습에서 강조하고 있는 창의적 문제해결역량과 사회적 상호작용 측면에서 문제해결과정 및 디지털 기능의 관련성을 고찰하였으며, 학습 단계별로 교사가 사용 가능한 수업전략과 활동 유형을 도출하였다. 최근 20년 동안 제시된 관련 연구논문과 보고서에 대한 분석 결과를 바탕으로 도출한 학습 단계, 단계별 학습 목표와 학습 전략, 문제해결과정과 의사소통 유형과 같은 학습 요소는 디지털 교과서 개발 전문가 6인이 참여하는 정기 세미나에서 타당도를 점검받아 수정·보완하였다. 선행연구 분석을 위한 교수학습 분석틀에 대한 전문가 그룹 일치도는 95%였으며, 도출된 학습요소에 대한 타당도는 93%로 일부 불일치 항목에 대해서는 세미나 과정을 통해 수정하였다. 또한 타당도를 확보한 학습 요소에 따라 구성한 디지털 교과서 활용 과학 교수학습 모델의 세부 내용은 과학교육 전문가 3인과 디지털 교과서 개발 전문가 3인이 참여하는 정기 세미나를 통해 전원이 동의할 때까지 3차에 걸쳐 협의함으로써 수정·보완하였다.

Result & Discussion

Learning Step & Problem Solving Process

디지털 환경에 부합하도록 수업을 재구성하는 것은 학습계획, 학습경험, 학습 결과의 맥락을 전반적으로 고려하고 학습 효율성을 반영함과 동시에 기능적 적합성까지 고려해야 하므로, 교사의 개별 능력만으로는 감당하기 어려운 창조적이고 복합적인 활동에 해당한다(Lee & Lim, 2018). 디지털 교과서와 같이 새로운 매체가 기존의 교육과 연결됨으로써 나타나는 효과는 개별 환경의 특성, 개인과 개인, 개인과 집단 사이의 복잡한 상호작용 맥락에 의해 영향을 받는다(Rose, 2006; Verkijika, 2019). 디지털 교과서의 개발과 활용에 있어 과학학습은 과학 교사의 수업 운영 역량과 함께 탐구기반 학습이라는 복잡성이 추가되므로 과학적 문제해결이라는 맥락에서 고려되어야 한다(Furtak et al., 2012; Yildiz & Yildiz, 2021).

일반적으로 과학학습은 문제를 발견하고, 해결하기 위한 검증 방법을 설계하며, 적용을 통해 나타난 결과에 대해 논의하는 일련의 실행과정으로 이루어지는 문제해결과정 활동이며, 과학적 탐구로 대표되는 과학학습 활동은 과학자적 활동의 경험을 통해 학습자가 문제를 해결함으로써 지식을 획득하는 과정으로 정의할 수 있다(Bruner, 1960; Dewey, 1971; Erickson, 1979; Fauth et al., 2019; Hodson, 1993; Hooijdonk et al., 2020; Osborne & Freyberg, 1985). 학습 패러다임의 관점에서 문제해결과정에 대해 제시한 선행연구들을 분석한 결과, 다양한 문제해결과정 요소와 단계를 제시하고 있었으나 Table 1과 같이 세 가지 주요한 단계적 과정으로 수렴됨을 확인하였다.

Table 1. Problem solving process for science learning

	Adventuring Step	Projecting Step		Prosuming Step	
Karplus (1977)	Experience	Interpretation		Elaboration	
Erickson (1979)	Exploration	Explanation		Application	
Renner (1982)	Exploration of Alternative System	Creation of conceptual conflicts		Cognitive Acceptance	
Lawson(1995)	Exploration	Term Introduction		Concept Application	
Wang & Chiew(2010)	Identification of Problem	Solution Exploration	Solution Generation	Solution Selection	Result Expression

사고의 흐름을 반영한 학습 단계는 학습자의 발달과 학습 과정 전반에 영향을 줄 수 있으며, 교사가 실행하는 교수전략은 학습 결과에 차이를 유발하는 중요한 요인에 해당한다(Hattie, 2009; Rivkin et al., 2005). 또한 학습 단계에 따라 적합한 교수학습 전략의 제시는 학습자의 개념적 이해를 촉진하며, 문제해결과정을 수행하는데 필수적인 지식을 제공한다(Keller et al., 2014; Zee & Koomen, 2016). 디지털 교과서 활용 과학학습을 위한 문제해결과정의 첫 번째 단계인 탐험(Adventure) 과정에서는 단순히 문제를 발견하거나 확인하는 수준을 넘어 문제에 대해 정의하고 디지털 교과서에 포함된 다양하고 새로운 정보 및 콘텐츠를 경험하는 과정에 해당한다. 특히 문제상황에 지속적으로 주의집중하는 단계이므로 새로운 정보를 발견하고 문제상황에 공감함으로써 인지적으로 구조화하는 과정으로 정의할 수 있다. 두 번째 단계인 계획(Projecting)과정에서는 문제상황을 해소하고 극복하기 위한 해결책에 해당하는 다양한 아이디어의 생성, 해석 및 탐색, 새로운 용어의 도입

을 통해 문제해결을 위한 검증 방법을 설계하고 확인하는 과정에 해당한다. 그러므로 제시된 문제상황에 대한 해결책 제시와 관련된 아이디어 생성과 검증설계를 위한 과정으로 정의하였다. 과학적 문제해결의 마지막 단계인 프로슈밍(Prosuming)과정에서는 검증 계획에 따른 적용 결과를 평가하고 생성된 해결책에 대한 가치 평가를 실시한다. 이를 바탕으로 잠정성이 해소된 해결책을 선택하는 소비적 의사결정 활동뿐만 아니라 결과를 공유하고 능동적으로 의사소통하기 위해 자료나 콘텐츠를 생성하는 생산적 활동을 포함하므로 소비자적 측면과 생산자적 측면을 모두 나타내는 프로슈밍 과정으로 정의하였다.

Digital Function on Digital Textbook

학습동기 유발을 포함하는 인지적 활성화는 교실 수업 상황을 평가하는 요소이며, 학습자가 문제상황에 참여하는 이유나 목적을 공감하기 위한 필수 학습 요소에 해당한다(Klieme et al., 2009; Kwon & Choi, 2018; Pianta & Hamre, 2009). 특히 과학교육에 있어 인지적 활성화는 학생들이 지니고 있는 사전개념을 교사의 교수적 기술과 수업 활동을 통해 변화시키는 것을 의미하며, 과학적 개념으로의 인지적 재구조화를 이끄는 과정에 해당한다(Leuchter et al., 2014; Vosniadou, 2013). 이와 같은 관점에서 디지털 교과서를 활용한 교수학습 과정의 단계별로 적용할 수 있는 디지털 기능의 유형이 무엇인지 고찰하고, 학습자의 참여 동기 유발, 인지적 변화 유발에 적합한 교수학습 전략을 제시하였다.

미래 사회를 준비하는 역량 개발의 관점에서 교과서 사용자를 제공된 지식을 수용하고 수동적으로 사용하는 소비자(consumer)로 보는 관점뿐만 아니라, 사용자가 직접 콘텐츠를 만들어내는 생산자(producer)의 역할도 강조하는 프로슈머(prosumer)로서 인식하는 관점으로의 변화가 필요하다(Toffler & Toffler, 2006). 그러므로 미래세대 교과서를 위한 디지털 기능은 교수학습 과정에서 통합적으로 사용 가능한 자유도를 지녀야 할 필요가 있다. 이러한 관점 내에서 서책형 교과서의 내용을 통해 구현하기 어려운 교육적 효과를 제고하기 위해 학습자료에 적용된 디지털 방식에 기반한 활용적 기능을 디지털 기능으로 정의할 수 있으며, 학습경험 제공과 확장을 목표로 하는 소비자 관점의 학습자료 맥락과 학습설계 및 구조화를 목표로 하는 생산자 관점의 사용자 맥락으로 구분할 수 있다(Yun et al., 2020). 디지털 기능이 적용되어 교과서에 제시되는 자료의 유형은 사진, 삽화, 동영상, 애니메이션, 실감형 콘텐츠, 지도, 그래프, 가상실험 및 시뮬레이션, 음성 자료, 스케일 업-다운(Scale up-down) 자료 등 다양하게 존재하나, 멀티미디어 학습자료, 용어사전 학습자료, 인터랙티브 학습자료, 보충심화 학습자료로 범주화할 수 있다(Alessi & Trollip, 2001; Yun et al., 2020; Yu & Kim, 2019).

멀티미디어 학습자료는 성취기준에 도달하기 위해 디지털 기능이 적용된 학습자료를 의미하며, 대표 유형으로는 이미지 자료, 영상 자료, 가상실험 자료, 스케일 업-다운 자료가 있다(Song et al., 2020; Yun et al., 2020). 첫째, 이미지 자료는 학습자의 주의집중을 유발하는 동적인 사진, 삽화, 그래프 등이 해당하며, 이미지의 계열성 조작, 선택에 따른 연계 자료 제시 등 조작적 활동이 가능한 것을 의미한다.

둘째, 영상자료는 애니메이션, 동영상, 실험 영상 등 동적인 이미지가 계열적으로 제시되는 형태의 시각적 학습자료를 의미한다(Cho et al., 2019; Yun et al., 2020). 장애 학생이나 학습자 이해를 돕기 위해 자막 기능이 추가되고, 크기 조절이 자유로운 조작적 멀티미디어 자료이다(Lee & Jang, 2016). 교사와 학생들이 가장 많이 사용하는 유형의 학습자료이며, 실험이나 탐구과정에 대한 이해를 돕기 위한 영상이 포함된다. 영상자료의 범주는 서책형 교과서에서 제시될 수 없는 자료로 시계열적 변화와 함께 다양한 정보를 동시에 제공하는 동적이고 조작적인 학습자료로 정의할 수 있다.

셋째, 가상실험활동 자료는 가상 실험실, 가상 탐구활동, 그래프 작성, 시뮬레이션 등 학습자의 조작적 수행이 가능하도록 능동적 자유도를 제공한 학습자료를 의미하며, 가상환경에서 학습활동을 체험하고 구조화할 수 있는 기회를 제공할 수 있다(Jung et al., 2012; Ku, 2018). 위험물을 다루는 가상 실험, 실제 답사 불가능한 장소의 가상 탐방 등 실제와 유사하게 구성하거나 실물 환경이 반영된 경우가 있으며, 데이터 입력을 통해 그래프를 생성하거나 시뮬레이션을 통한 활동 소요시간 및 횟수 제한을 초월하는 것 등이 있다. 따라서 가상환경에서 학습자의 능동적인 참여와 활동중심 학습을 위한 필수자료로써 디지털 기기에서 구동하는 가상실험 활동 학습자료로 범주를 정의할 수 있으며, 가상현실(VR) 및 증강현실(AR) 자료를 포함한다.

넷째, 스케일 업-다운(Scale up-down) 자료는 척도 증감에 따라 자료의 시간이나 공간이 변화하는 것을 의미한다(Yun et al., 2020). 예를 들면, 우주에서 태양계, 지구, 대한민국, 서울, 건물, 분자, 원자와 같이 척도가 변하면서 자료의 공간적 크기나 범위가 변하는 것이 있으며, 낙하 물체에 대해 1초 단위, 1밀리초 단위와 같이 시간 척도가 변하면서 시간적 위치나 형태가 변하는 것이 있다. 따라서 스케일 업-다운 학습자료의 범주는 척도변화에 따라 달라지는 대상이나 현상에 대해 사용자가 직접 척도를 조작함으로써 실질적인 체험 효과를 제공하는 학습 자료로 정의할 수 있다.

용어사전 학습자료는 학습자의 개념적 이해를 보조하고 자기주도적 학습 과정에서 발생할 수 있는 전문용어 이해의 어려움 해소, 직관적 용어 이해로 인한 오개념 형성 예방 및 교정을 목적으로 하는 학습자료를 의미한다(MOE & KERIS, 2018; MOE & KOFAC, 2020). 증기기관이라는 용어를 설명하기 위해 증기기관 관련 영상자료와 음성자료를 제시하는 경우가 해당한다. 따라서 용어사전 학습자료의 범주는 서책형 교과서에서는 제시하지 못하는 상세 설명, 이미지, 영상 등의 제공을 통해 개념학습을 보조하는 학습자료로 정의할 수 있다.

인터랙티브 학습자료는 서책형 교과서의 탐구활동 및 학습 결과를 진단하기 위해 학습자 응답이나 표현을 요구하며, 학생 반응에 대해 상호작용적 피드백을 제공할 수 있도록 구성된 학습자료를 의미한다. 학습 결과 및 응답에 대한 진단, 평가, 피드백에 소요되는 시간을 단축시킬 수 있는 상호작용 기능으로서 학생의 반응적 표현을 교사가 확인하고 피드백할 수 있다. 교수학습 측면에서 과정중심평가로 활용될 수 있는 이점, 동일한 시간에 더 많은 학습전이의 기회를 제공할 수 있다는 장점을 제공할 수 있다. 따라서 인터랙티브 학습자료의 범주는 과정중심평가 활용성과 학습전이 기회의 제공 측면에서 상호작용적 피드백이 가능한 학습자료로 정의할 수 있다.

보충·심화 학습자료는 자기주도적 학습 또는 학습자 주도 활동을 지원할 수 있는 것으로 학생 개인의 수준별 맞춤 학습이 가능하도록 구성한 학습자료를 의미한다(Ahn et al., 2020; MOE & KERIS, 2018; MOE & KOFAC, 2020). 동일 수준의 추가 활동 또는 자료를 제공함으로써 학습 전이의 기회를 제공하거나, 학습자 수준에 따라 활용할 수 있도록 제공하는 서로 다른 유형의 학습자료로 정의할 수 있다. 특히 심화학습자료는 단순히 난이도의 변화를 넘어 개념이나 활용 범위가 확장되어 학습자 수준이나 수행정도의 변화에 목적을 두어야 한다. 따라서 보충·심화 학습자료의 범주는 다양한 유형의 디지털 기능을 적용하여 제공하는 추가된 자료 또는 확장된 자료로 정의할 수 있다. 이상의 논의를 종합함으로써 제시된 학습자료가 지닌 디지털 기능의 유형과 범주에 따라 적합한 인지적 활성화 방법과 학습 효율성을 고려하여 디지털 교수학습 전략을 제시할 수 있었다(Table 2.).

Table 2. The teaching & learning strategy related digital function in the context of learning material

Digital Function of Learning Material		Teaching & Learning Strategy
Multimedia	Image	· Using the Dynamic Image for Attention & Motivation - Moving to All Direction, Zoom In & Out, Highlighting · Providing of Operative & Sequential Material
	Video & Clip	· Up to Date Material with subtitle - High resolution & Latest Content · Relation with Learning Content - Guide of Experiment, Inquiry Process & Result
	Virtual Experiment	· Creative Construction for Providing & Manufacturing - Related to Interest not to Attraction - Saving Time & Unlimited attempt · Active Operation & Participation - Virtual Laboratory, Virtual Adventure, & etc - Reflection with Real World Content
	Scale Up-Down	· Related to Interest & Attention - Not to Zoom in & Zoom out, Not to Image Fragmentation · Related with Learning Content - Change Time or Space Scale, Change Time & Space Scale
	Term Dictionary	· Reconstruction of Concept & Explanation - Not to Repetition of Paper Type Textbook - Additional Explain, Image, Audio, Video, & Virtual Material · Related to Curriculum with Learner's Level - Not to Upper Curriculum
	Interaction	· Active Interaction with Material, Learner, & Teacher - Not to Passive Interaction(Providing only Answer etc.) - Available Interaction of Feedback from Teacher to Learner · Providing of Guide about Interaction Method
	Supplement & Intensifying	· Providing of Supplement Material - Different Type & Same Level - Involving Chance of Learning Transfer · Providing of intensifying Material - Extension of Learning Experience - Selection according to Learners' Level

학습자료 맥락에서 적용되는 디지털 기능은 멀티미디어, 용어사전, 상호작용, 보충·심화 기능으로 범주화할 수 있었으며, 각각의 기능에 따른 적합한 교수학습 전략을 제시하였다. 이와 함께 고려되어야 하는 사용자 맥락의 디지털 기능은 뷰어 기능, 교과서 재구성 기능으로 구분할 수 있다. 뷰어 기능은 디지털 학습자료를 활용할 수 있도록 디스플레이를 지원하고, 사용자가 수업 중에 메모, 하이라이트, 노트와 같은 학습활동을 지원하며 외부 커뮤니티나 자료를 연계해주는 기본적 활용 기능을 의미한다(MOE & KERIS, 2018; MOE & KOFAC, 2020; Yun et al., 2020). 현행 디지털 교과서에서는 단일 뷰어 프로그램을 활용하고 있으며, 디지털 교과서의 기본적인 구동 및 디지털 학습자료가 구현되는 플랫폼의 역할을 수행한다(MOE & KERIS, 2018). 따라서 뷰어 기능의 범주는 사용자의 교수학습을 보조하는 기능으로써 디지털교과서의 구동 및 조작, 학습과정 및 평가 관리가 가능한 상호작용 데이터 연계와 관리 기능, 학습자와 콘텐츠, 학습자와 학습자, 학습자와 교수자 간 상호작용이 가능한 협업 기능으로 정의할 수 있다.

사용자 맥락의 또 다른 요소인 교과서 재구성기능은 학습자료를 사용자가 능동적으로 조작 및 수정하여 활용할 수 있도록 지원하는 것이다. 특히 사용자가 수업의 모든 과정에서 생성한 학습결과 및 콘텐츠를 기록, 재구성, 추가하는 것 같은 자료 생산적 활동을 지원하며, 외부 콘텐츠 또는 사용자 주도로 생성한 학습자료를 연계할 수 있도록 지원하는 기능을 의미한다(Ahn et al., 2020; Yun et al., 2020). 학습자 구성, 학습 환경에 따라 요구되는 학습자료에 차이가 존재할 수 있으므로, 디지털교과서의 사용성 제고를 위해서는 사용자가 디지털교과서에 자유롭게 학습자료 및 활동자료를 추가할 수 있도록 지원하는 교과서 재구성기능의 제공이 필수적이다. 디지털교과서의 사용자 맞춤형 교과서 재구성기능은 교사가 수업에 활용하고자 하는 맞춤형 학습 콘텐츠를 교과서에 미리 추가하거나, 학습자가 직접 조사하거나 제작한 사진, 영상, 결과물 등을 추가하여 서로 공유할 수 있는 것을 의미한다. 따라서 교과서 재구성기능의 범주는 사용자인 교사와 학생의 수준, 관심, 교육환경, 지역 특성에 적합하도록 자기주도적으로 재구성 및 추가하는 기능으로 정의할 수 있다. 이상의 논의를 바탕으로 사용자 측면에 해당하는 디지털 기능의 학습적 효율성을 고려하고, 학습 방법 구현의 타당성을 고려하여 디지털 교수학습 전략을 Table 3과 같이 제시하였다.

Table 3. The teaching & learning strategy related digital function in the user context

Digital Function		Teaching & Learning Strategy
User Context	Assistance & Viewer	· Management of Learning & Evaluation - Involving with User Convenience & Basic Operation · Assistance of Learning Interaction - Learner with Digital Content, Learner, & Teacher
	Textbook Reconstruction	· Addition & Providing of Learning Content for Class - Prepared Digital Material by Teacher(Text, Image, Audio, Video & etc) - Generation Digital Material by Learner on Class(Text, Image, Audio, Video & etc)

Science Teaching & Learning Model for Digital Textbook

과학적 문제해결과정의 관점에서 디지털 교과서를 활용한 과학학습의 단계는 탐험, 계획, 프로슈밍 단계로 구분할 수 있었으며, 디지털 기능을 효과적으로 활용할 수 있는 교수학습전략을 제시하여 학습모델을 구성하였다. 미래인재 양성을 위한 과학역량은 과학적 사고와 탐구활동을 포함하는 과학적 문제해결, 과학적 창의성, 의사소통을 주요한 요소로 제시하고 있다(MOE, 2015). 과학적 문제해결과정에서 유발되는 창의적 사고를 과학적 창의성으로 보는 관점의 연구들에서는 창의적 사고를 창의성 유발 인지적 과정으로 정의하며, 영역 특수적 관점에서 창의적 사고 과정과 창의적인 문제해결과정을 동일한 것으로 간주한다. 그러므로 창의적 사고는 창의적 문제해결 활동의 경험을 통해 학습 가능한 것이라 제시한다(Mumford et al., 1991; Sternberg, 2005; Yildiz & Yildiz, 2021).

창의적 문제해결 학습활동에서는 학습자가 참여적 동기와 욕구를 지니고 학습 과정을 쉽게 이해할 수 있도록 문제상황의 범위 축소, 적절한 안내를 제공함으로써 학습자가 어려움을 느끼지 않고 창의적 문제해결 과정을 지속할 수 있도록 지원하는 것이 필요하다(Barak & Mesika, 2007; Yang & Zhao, 2021). 또한 수렴적 문제해결과정과 발산적 문제해결과정으로 범주화할 수 있는 창의적 문제해결과정은 사회적 상호작용 활동과 연계되어 학습자에게 제시될 때 효과적인 것으로 알려져 있다(Chen et al., 2021; Cropley, 2006; Sternberg, 2005). 특히 발산적 문제해결과정은 동일한 목표를 지니지 않고 구성원의 특성이 다양하거나 덜 조직화된

집단 내에서 학습자가 상호작용할 때 효과적이며, 수렴적 해결과정은 동일한 공동 목표를 지니고 활동의 전반적인 내용을 공유하는 집단 내에서 상호작용할 때 효과적이다(Ashton-James & Chartrand, 2009; Berestova et al., 2021; Nazzari & Kaufman, 2020; Nemeth & Goncalo, 2005). 그러므로 학습의 유형에 따라 개별활동이나 공동활동을 통해 발산적 문제해결과정 또는 수렴적 문제해결과정을 어떻게 선택하고 조직할지 교사가 결정해야 하며, 학습단계와 활동 목표에 따라 학습자가 상호작용하는 집단 특성을 구성해야 한다(Hooijdonk et al., 2020). 따라서 동일 목표의 구체적 활동과정이 제시되는 경우에는 수렴적 문제해결과정을 제시하는 것이 적합하며, 학습활동의 최종 결과가 명확하지 않거나 발견되어야 하는 경우에는 발산적 문제해결과정으로 구성하는 것이 바람직하다. 문제해결과정 관점에 따른 과학학습 단계, 디지털 기능에 기반한 교수학습 전략, 창의적 문제해결과 사회적 상호작용의 관련성 논의를 바탕으로 디지털 교과서 활용 과학 교수학습 모델인 APP (Adventureing, Projecting, Prosuming) 모델을 Table 4와 같이 제시하였다.

Table 4. The APP model for teaching & learning in science class using digital textbook

Step	Learning Goal	Digital Functional Teaching & Learning Strategy	Social Communication
Adventureing Step	Discovery & Empathy of Scientific Problem	· Discovery & Identification of Scientific Problem · Sustained Attention to Problem · Empathy of Scientific Problem · Recognition & Empathy	· Individual Activity · Collaboration Activity · Each Goal · Different Group
Projecting Step	Generation & Verification Design of Solution	· Generation for Solution of Problem · Idea Generation, Interpretation & Exploration, Term Introduction · Design & Identification of Verification Plan for Problem Solving · Design & Externalization of Solution Verification	· Individual Activity · Collaboration Activity · Same Goal · Similar Group
Prosuming Step	Application & Communication of Solution	· Application & Evaluation of Solution Value · Performing & Evaluation of Verification by Direct Activity · Evaluation by Indirect Activity · Digital Expression & Communication of Sharing Solution · Expression & Communication by Direct Activity · Expression by Indirect Activity	· Individual Activity · Collaboration Activity · Same Goal · Different Group

Adventureing 단계에서는 과학적 문제에 대한 발견과 공감을 목표로 멀티미디어 기능을 활용하여 개별 학습자가 문제상황에 지속적으로 주의 집중하도록 지도함으로써 과학적 문제를 발견하고 인식하는 개인별 활동으로 구성하였다. 또한 학습자는 인터랙티브 기능을 활용해 콘텐츠, 학생, 교사와 상호작용함으로써 문제상황을 재인하고 공감하도록 개인별 목표를 제공하는 공동활동으로 구성하였다. 집단 구성원의 유사성은 자유도를 제공하도록 하였으나, 창의적 아이디어 생성 측면에서는 유사성이 낮은 집단 구성이 적합하다.

Projecting 단계에서는 문제상황에 대한 해결책 생성과 검증설계를 목표로 멀티미디어 기능과 인터랙티브 기능을 활용해 아이디어를 생성, 해석, 탐색하도록 하였으며, 용어사전과 보충학습자료를 활용해 용어도입 및 검증 설계 활동을 개인별로 수행하도록 구성하였다. 또한 인터랙티브 기능과 재구성기능을 활용하여 구성원의 유사성이 있는 집단 내에서 문제해결을 위한 검증방법 및 계획을 설계하고 검토할 수 있도록 하였다.

Prosuming 단계에서는 해결책의 적용 및 검증을 통한 의사소통을 목표로 해결책의 적용에 따른 결과를 통해 가치평가하는 활동을 재구성기능과 인터랙티브 기능을 활용한 공동활동을 통해 직접 검증하도록 하였다. 특히 멀티미디어 기능 또는 보충·심화 자료를 활용한 개인별 활동을 통해 간접적으로 검증하여 잠정성이 해

소됨으로써 의사결정 과정에서 선택된 해결책을 활용하는 활동이 수행되도록 하였다. 또한 검증된 해결책을 재구성기능과 인터랙티브 기능을 활용한 공동활동을 통해 직접적으로 의사소통하고 결과를 표현하거나, 보충·심화 자료를 활용한 개인별 활동을 통해 간접적으로 의사소통하고 결과를 표현하도록 구성하였다. 무엇보다도 수업 활동을 통해 생성된 결과물은 음성이나 영상자료, 전자저작물(ePub, pdf 등)과 같이 디지털화하여 재생산하는 활동을 포함함으로써 학생이 직접 학습 콘텐츠를 생산할 수 있는 기회가 제공되어야 한다. 그러므로 수업 활동을 통해 학생들이 생성한 디지털 콘텐츠는 새로운 학습자원으로 활용될 수 있으며, 관련 수업이나 심화·확장된 수업활동을 시작하는 학습자료로 사용될 수 있다(Fig. 1).

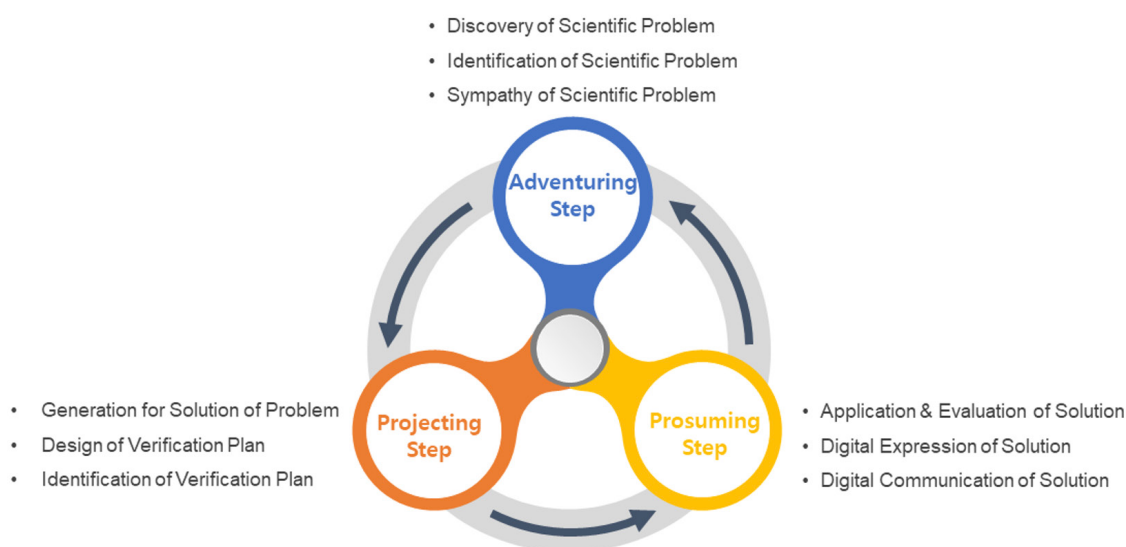


Fig. 1. Diagram of APP model for digital learning on science class

Conclusions and Educational Implications

이 연구는 문제해결 과정, 디지털 기능의 유형과 교수학습 전략, 창의적 사고와 사회적 상호작용과 관련된 선행연구들에 대한 분석 결과를 통해 디지털 교과서를 활용한 과학 교수학습 모델인 APP (Adventuring, Projecting, Prosuming) 모델을 개발하였으며, 이를 바탕으로 다음과 같은 결론과 교육적 함의를 제시할 수 있다.

첫째, 디지털 교과서 활용을 위한 문제해결 기반 학습단계, 디지털 기능에 따른 교수학습 전략을 제시할 수 있었다. 디지털 교과서를 활용한 과학학습 모델을 구성하기 위해서는 인지적 과정에 적합한 학습단계의 제시가 필요하므로, 문제해결 과정의 맥락에 따라 관련 연구들을 분석함으로써 경향성을 발견하고 유목화하여 문제해결과정 기반 디지털 교과서 활용 학습 단계를 도출하였다. 또한 단계별로 적용 가능한 전략을 제시하기 위해 디지털 기능의 유형에 대해 범주화하였으며, 단계별로 적용 가능한 디지털 기능과 관련 교수학습 전략을 도출하였다. 그러므로 이 연구에서 제시한 문제해결 과정 기반 학습단계는 디지털 교과서뿐만 아니라 기본적인 과학학습에도 적용이 가능한 범용성을 지니고 있다. 뿐만 아니라 학습자료의 디지털 기능에 대한 유목화 결과는 향후 디지털 교과서를 개발하는 기초적인 가이드로 활용될 수 있으며, 개발된 디지털 교과서의 기능적 평가요소 구축에 기여할 수 있을 것이다.

둘째, 창의적 문제해결 과정과 사회적 상호작용을 고려한 디지털 교과서 활용 과학 교수학습 모델인 APP 모델을 제안할 수 있었다. 온오프라인 상호작용이 강조되는 디지털 사회의 복잡한 실생활 문제를 해결할 수 있는 역량을 개발하기 위해서는 창의적 문제해결 과정의 경험과 함께 디지털 환경 및 실제 환경에서도 상호 작용할 수 있는 학습활동을 경험해야 한다. 이런 관점에서 창의적 사고와 공동활동 유형에 따른 상호작용 전략을 반영함과 동시에 문제해결기반 학습단계와 디지털 기능에 따른 학습전략을 적용함으로써 디지털 교과서를 활용한 과학 교수학습모델인 APP (Adventuring, Projecting, Prosuming) 과정으로 구성된 모델을 개발하였다. 이 연구에서 제시한 교수학습 모델은 학생들의 참여 촉진, 학습활동의 공감 유발, 창의적 사고 경험, 상호작용 및 의사소통의 기회 제공 전략을 제공할 수 있으므로, 학생들의 인지적 정의적 영역에 긍정적 영향을 제공할 수 있을 것이다. 그러므로 개발한 교수학습 모델이 학생들에게 미치는 영향을 확인하기 위해서는 해당 모델을 적용한 다양한 수업 프로그램을 구성하고 실제 교육현장의 학습자 집단에 적용함으로써 어떤 효과를 유발하는지에 대한 추가적 연구가 수행될 필요성이 있다.

References

- Ahn, S. H., Kim, H. S., Hwang, J. S., Ju, K. H., Seo, J. H., Ahn, S. H., ... Lee, J. T. (2020). A Study on Analysis of Actual Use of Digital Textbooks and Future Plans(KR 2020-2). Daegu: KERIS.
- Alessi, S. M., & Trollip, S. R. (2001). *Multimedia for Learning: Methods and Development*(3rd ed.). Boston, MA: Allyn & Bacon, Inc.
- Ashton-James, C. E., & Chartrand, T. L. (2009). Social cues for creativity: The impact of behavioral mimicry on convergent and divergent thinking. *Journal of Experimental Social Psychology*, 45, 1046- 1040.
- Barak, M., & Mesika, P. (2007). Teaching methods for inventive problem-solving in junior high school. *Thinking Skills and Creativity*, 2, 19-29.
- Berestova, A., Ermakov, D., Aitbayeva, A., Gromov, E., & Vanina, E. (2021). Social networks to improve the creative thinking of students: How does it works? *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100912.
- Bruner, J. S. (1960). *The Process of Education*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Byeon, T. J. (2017). A literature review on media-based learning in science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37, 417-427.
- Chang, J. N., Park, J. H., & Song, J. W. (2019). The features of inquiry activities using technology in elementary science digital textbook-focusing on the cases of using virtual experiment, virtual reality and augmented reality. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 38, 275-286.
- Chen, S. Y., Tsai, J. C., Liu, S. Y., & Chang, C. Y. (2021). The effect of a scientific board on improving creative problem solving skills. *Thinking Skills and Creativity*, 41, 100921.
- Cho, Y. H., Lee, H. K., Jo, G. T., & Pak. (2019). Effects and limitations of participatory design for teaching with digital textbooks. *The Journal of Educational Information and Media*, 25, 767-795.
- Collins, A., & Halverson, R. (2018). *Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America*. New York: Teachers College Press.
- Cropley, A. J. (2006). In praise of convergent thinking. *Creativity Research Journal*, 18, 391-404.
- Dewey, J. (1971). *How We Think: A Restatement of the Relation of Reflective Thinking to the Educative Process*. Chicago: Regnery.
- Driver, R. (1983). *The Pupill as Scientist? Milton Keynes*. The Open University Press.
- Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63, 221-230.

- Fauth, B., Decristan, J., Decker, A. T., Büttner, G., Hardy, I., Klieme, E., & Kunter, M. (2019). The effects of teacher competence on student outcomes in elementary science education: The mediating role of teaching quality. *Teaching and Teacher Education*, 86, 102882.
- Fauville, G., Luo, M., Queiroz, A. C. M., Bailenson, J. N., & Hancock, J. (2021). Zoom exhaustion & fatigue scale. *Computers in Human Behavior Reports*, 4, 100119.
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82, 300-329.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning*. New York: Routledge.
- Heo, S. M. (2021). Literacy education in social studies in the digital media era. *Brain, Digital, & Learning*, 11, 165-181.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-115.
- Hooijdonk, M., Mainhard, T., Kroesbergen, E. H., & Tartwijk, J. (2020). Creative problem solving in primary education: Exploring the role of fact finding, problem finding, and solution finding across tasks. *Thinking Skills and Creativity*, 37, 100665.
- Jeong, J. C. (2020). A study on the meaning and limitations of the idea of 'Teachers' textbook-reconstruction' based on John Dewey's educational theory. *The Korean Journal of Philosophy of Education*, 42, 155-177.
- Joo, H. M., Ahn, C. U., Ka, E. A., & Nam, C. W. (2013). A study on the development of evaluation process for digital textbook. *The Journal of Curriculum and Evaluation*, 16, 31-58.
- Joo, Y. J., Park, S. Y., & Shin, E. K. (2017). Students' expectation, satisfaction, and continuance intention to use digital textbooks. *Computers in Human Behavior*, 69, 83-90.
- Jung, K. H., Ahn, S. H. & No, J. M. (2012). Research and Analysis for the Formulation of the Development Direction of Digital Textbook(RM2012-33), KERIS.
- Kahai, S. S., & Cooper, R. B. (2003) Exploring the core concepts of media richness theory: The impact of cue multiplicity and feedback immediacy on decision quality. *Journal of Management Information Systems*, 20, 263-300.
- Karplus, R. (1977). *Science Teaching and the Development of Reasoning*. Berkeley, California: University of California, Berkeley.
- Keller, M. K., Goetz, T., Becker, E. S., Morger, V., & Hensley, L. (2014). Feeling and showing: A new conceptualization of dispositional teacher enthusiasm and its relation to students' interest. *Learning and Instruction*, 33, 29-38.
- Kim, T. H., & Kwon, Y. J. (2019). Development of a digital textbook on metabolism and digestion system applying the 5E learning cycle model in high school life science. *Brain, Digital, & Learning*, 9, 9-17.
- Klieme, E., Pauli, C., & Reusser, K. (2009). The pythagoras study: Investigating effects of teaching and learning in Swiss and German mathematics classrooms. In T. Janik, & T. Seidel (Eds.), *The Power of Video Studies in Investigating Teaching and Learning in the Classroom*(pp. 137-160). Munster, Germany: Waxmann.
- Ku, D. H. (2018). A study on the improvement plan for the application of digital textbooks. *The Journal of Korea Elementary Education*, 29, 81-91.
- Kwon, S. H., Kim, Y. Y. Jung, D. Y., Tae, M. W., & Kwon, Y. J. (2015). Brain activations during biology learning with digital learning contents of smartpad: fMRI study. *School Science Education*, 9, 85-93.
- Kwon, S. Y., & Choi, T. J. (2018). The analysis of the relationship between articulation motivation, learning engagement, and learning outcome of adult learners participating in online degree course *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, 30, 1421-1438.

- Lawson, A. E. (1995). *Science Teaching and Development of Thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lee, J. K., & Lim, B. Y. (2018). A study on the process of reconstructing early childhood curriculum through teachers' imagination. *Journal of Early Childhood Education*, 38, 137-165.
- Lee, O. H., & Jang, S. S. (2016). An analysis of junior high school students' perceptions with prior experience of digital textbooks for the use of digital textbooks. *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*, 22, 755-776.
- Leuchter, M., Saalbach, H., & Hardy, I. (2014). Designing science learning in the first years of schooling. An intervention study with sequenced learning material on the topic of 'floating and sinking. *International Journal of Science Education*, 36, 1751-1771.
- Lim, H. J., & Oh, P. S. (2014). A critical approach to an elementary science lesson using a digital science textbook. *Journal of Science Education*, 36, 270-285.
- Lim, H. J., Oh, P. S., Kwon, G. P., Shin, Y. J., Ahn, S. H., Kim, C. M., & Park, S. H. (2014). Elementary students' perception on the use of digital science textbooks. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33, 795-805.
- Lowenthal, P., Borup, J., West, R., & Archambault, L. (2020). Thinking beyond zoom using asynchronous video to maintain connection and engagement during the COVID-19 pandemic. *Journal of Technology and Teacher Education*, 28, 383-391.
- Magana, S., & Marzano, R. J. (2014). *Enhancing the Art and Science of Teaching with Technology*. Bloomington, IN: Solution Tree.
- Matthews, M. R. (2000). Appraising constructivism in science and mathematics education. In D. C. Phillips(Ed.), *Constructivism in Education: Opinions and Second Opinion on Controversial Issues*(pp. 161-192). Chicago: The University of Chicago Press.
- Ministry of Education & Korea Education and Research Information Service. (2018). *Good Lessons with Digital Textbooks(TM 2018-14)*. Daegu: KERIS.
- Ministry of Education (2015). *The 2015 Revised National Curriculum of Science*.
- Ministry of Education(2020). *The Distance Learning and On-Line Content Utilization. The Flexible Textbooks For Supporting Of On-Line Class*. SeJong: Republic of Korea.
- Ministry of Education, & Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (2020). *The Instruction and Compilation Criteria for Elementary Science Digital Textbook*.
- Mintz, R., Litvak, S., & Yair, Y. (2001). 3D-virtual reality in science education: an implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20, 293-305.
- Moundy, K., Chafiq, N., & Talbi, M. (2021). Comparative analysis of student engagement in digital textbook use during quarantine. *Education Science*, 11, 352
- Mumford, M. D., Mobley, M. I., Uhlman, C. E., Reiter-Palmon, R., & Doares, L. M. (1991). Process analytic of creative capacities. *Creatively Research Journal*, 4, 91-122.
- Nazzal, L., & Kaufman, J. C. (2020). The relationship of the quality of creative problem solving stages to overall creativity in engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 38, 100734.
- Nemeth, C. J., & Goncalo, J. A. (2005). Creative collaborations from afar: The benefits of independent of correct solutions. *Journal of Applied Social Psychology*, 31, 48-58.
- OECD (2018). *The Future of Education and Skills: Education 2030. Position Paper*.
- OECD (2010). *Inspired by Technology, Driven by Pedagogy: A Systemic Approach to Technology Based School Innovations*. OECD: Paris, France.
- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in Science: The Implications of Children's Science*. NH: Portsmouth, Heinemann Educational Books, Inc.

- Park, N. S., & Ryu, K. S. (2019). The effect of the flipped science class using the digital textbooks on the change of learner's competence. *Brain, Digital, & Learning*, 9, 353-362.
- Petrie, C. (2022). Every child to flourish in a post-COVID-19 world: Eight lessons and visions for the future. In Vincent-Lancrin, S., Romaní, C. C., & Reimers, M. F. (Eds.), *How Learning Continued during the COVID-19 Pandemic: Global Lessons from Initiatives to Support Learners and Teachers*(pp. 91-105). OECD Publishing, Paris.
- Pianta, R. C., & Hamre, B. K. (2009). Conceptualization, measurement, and improvement of classroom processes: Standardized observation can leverage capacity. *Educational Researcher*, 38, 109-119.
- Renner, J. (1982). The power of purpose. *Science Education*, 66, 709-716.
- Rivkin, S. G., Hanushek, E. A., & Kain, J. F. (2005). Teachers, schools, and academic achievement. *Econometrica*, 73, 417-458.
- Rose, E. (2006). Should you be a media ecologist? Bridging the gulfs of understanding between educational technology and media ecology. *Educational Technology*, Sep-Oct, 5-13.
- Seo, B. E., & Gong, E. H. (2021). The effectiveness of classes utilized digital textbooks: Using meta-analysis. *Journal of Education Science*, 23, 27-50.
- Song, N. Y., Hong, J. Y., & Noh, T. H. (2020). An analysis for gender-role stereotyping of illustrations in elementary science paper textbooks and digital textbooks developed under 2015 revised national curriculum. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 39, 1-14.
- Sternberg, R. J. (2005). The domain generality versus specificity debate: How should it be posed? In J. C. Kaufman & J. Baer (Eds.), *Faces of the Muse: How People Think, Work, and Act Creatively in Diverse Domains* (pp. 317-324). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Sulaiman, W. N. A. W., & Mustafa, S. E. (2019). Usability elements in digital textbook development: A systematic review. *Publishing Research Quarterly*, 36, 74-101.
- Toffler, A, & Toffler, H. (2006). *Revolutionary Wealth*. DC: Crown Business.
- UNESCO (2013). *Strategic Approaches on the Use of ICTS in Education in Latin America and the Caribbean*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000223251_eng.
- Verkijika, S. F. (2019). Digital textbooks are useful but not everyone wants them: The role of technostress. *Computers & Education*, 140, 103591.
- Vincent-Lancrin, S. (2022). Educational innovation and digitalisation during the COVID-19 crisis: lessons for the future. In Vincent-Lancrin, S., Romaní, C. C., & Reimers, M. F. (Eds.), *How Learning Continued during the COVID-19 Pandemic: Global Lessons from Initiatives to Support Learners and Teachers*(pp. 21-47). OECD Publishing, Paris.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction: The framework theory approach. In S. Vosniadou (Ed.), *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 11-30). New York: Routledge.
- Wang, Y., & Chiew, V. (2010). On the cognitive process of human problem solving. *Cognitive Systems Research*, 11, 81-92.
- Yang, J., & Zhao, X. (2021). The effect of creative thinking on academic performance: mechanisms, heterogeneity, and implication. *Thinking Skills and Creativity*, 40, 100831.
- Yildiz, C., & Yildiz, T. (2021). Exploring the relationship between creative thinking and scientific process skills of preschool children. *Thinking Skills and Creativity*, 39, 100795.
- Yu, J. S., & Kim, P. (2019). Analysis of factors affecting digital textbook pricing in Korea. *International Journal of Higher Education*, 8, 171-184.
- Yun, J. H., Park, H. J., Kwon, Y. J., Ahn, S. H., Kim, J. L., Byeon, J. H., ... Choi, Y. H. (2020). The Development Research of Instruction and Compilation Criteria on the Elementary Math and Science for Innovation of Compilation System about Digital Textbook(BD21030001). KOFAC & KERIS.

Zee, M., & Koomen, H. M. Y. (2016). Teacher self-efficacy and its effects on classroom processes, student academic adjustment, and teacher well-being: A synthesis of 40 years of research. *Review of Educational Research*, 86, 981-1015.

Authors Information

Byeon, Jung-Ho : Samcheok High School, Teacher, First Author

ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-0109-7866>

Kwon, Yong-Ju : Korea National University of Education, Professor, Corresponding Author

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8283-1574>

Yun, Jong Hyeun : Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (KOFAC), Team Head, Co-Author

Park, HyunJu : Chosun University, Professor, Co-Author

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7071-0065>

Park, Gyeong-Hui : The Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity (KOFAC), Researcher, Co-Author

Kim, Tae-Hui : Sanui Elementary School, Teacher, Co-Author

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1849-5200>