Journal of the Korean Association for Science Education
Journal homepage: www.koreascience.org

Flash와 Actionscript 3.0을 이용한 과학 시뮬레이션 앱의 디자인 및 효과 -중학교 과학 '물질의 구성' 단원을 중심으로-

이창윤, 박철규, 홍훈기*
서울대학교

Design and Effects of Science Simulation Applications Using Flash and ActionScript 3.0: In the Composition of Material Chapter in Middle School Science Textbooks

Chang Youn Lee, Chulkyu Park, Hun-Gi Hong*
Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:
Received 12 July 2018
Received in revised form
4 August 2018
Accepted 17 August 2018

Keywords:
science simulation, simulation application, design guideline, flash, actionscript

ABSTRACT

Although a simulation is proposed as a candidate for alternative contents of inquiry activities, design cases focused on the characteristic of science education are rare. This study suggested the definition and requirements of science simulation to clarify science subject-specific design and set up the design guidelines to consider usability. Then the science simulation was developed in the form of an app for mobile devices, where 'Flash and Actionscript 3.0' was selected as a development tool for compatibility, functionality, ease of use and optimization for mobile devices with educational applicability in mind. In effect, six science simulation apps were prepared for seven classes of inquiry activity in 10 science classes on the chapter of 'composition of material' in middle school science 2 textbooks. In this regard, the main advantages of the simulation apps expected from each design characteristic are also suggested in this article. In the implementation of the science simulation apps, educational effects were investigated based on the statistical comparison, while 134 students in the second grade in a coeducational middle school, Gyeonggi-do participated as an intervention group and a control group. Our results showed that the scores of academic achievement and affective test in the intervention group were significantly higher than those of the control group ($p < .05$). In the questionnaire survey on usability, most students responded positively to the design of the science simulation apps. This study will contribute to expanding the horizon of design about science simulation as a design case in science education.

Ⅰ. 서론

화학에 관한 개념들은 대부분 입자 수준에서 적용되는 양자역학적 현상에 근거하기 때문에 추상적인 특성을 지니고 있으며, 이로 인해 학생들은 화학 내용의 이해를 어려워하곤 한다. 이에 기존의 화학 교과서는 학생들의 화학 개념의 이해를 돕기 위해 그들의 인지발달과 교육과정을 고려하여 분자 모델에 관한 삽화를 제공해왔다(Höffler & Leutner, 2007). 하지만, 삽화는 정지된 상태의 분자 모델만 나타내기 때문에, 학생들에게 종종 오개념을 유발하거나 과학에 대한 흥미를 감소시킬 수 있다(Kang, Kim, & Lee, 2011). 대안적으로, 화학 수업에서 학생들의 개념 이해를 돕기 위해 분자 모델을 가상의 3차원 공간에서 능동적으로 조작할 수 있는 시뮬레이션이 제안되어 왔다(Lindgren & Schwartz, 2009; Plass *et al.*, 2012). 시뮬레이션은 학습자의 조작에 따라 그에 상응하는 자료가 제시되는 상호작용적 콘텐츠로, 개인 교사(tutor)처럼 학습자에게 개별적으로 학습 도움을 제공할 수 있어 수준별 학습을 가능하게 해준다(Chen *et al.*, 2014; Quintana *et al.*, 2009). 이러한 이유로, 시뮬레이션은 과학적 개념을 다루는 수업에서 도입된 사례가 있으며, 학생들의 개념 이해를 돕는 콘텐츠로 활용될 수 있음이 알려졌다(Smetana & Bell, 2012).

시뮬레이션에 관한 선행연구들은 디자인의 개선을 통해 그것의 교육적 효과를 높이고자 시도해왔고, 사용성(usability)을 높이기 위한 디자인 원리(design principles)의 중요성을 강조해왔다(Ardito *et al.*, 2006; Mayer & Moreno, 2003). 그들에 따르면, 디자인은 시뮬레이션의 개발과 적용에 대한 타당성(validity)과 신뢰성(reliability)에 영향을 주므로 연구의 관점에서 중요하다. 타당한 디자인은 시뮬레이션의 교육적 효과를 높이는 데 기여할 수 있으며, 신뢰로운 디자인은 일관된 교육적 효과를 이끌 수 있다(Jin, 2013; Quintana *et al.*, 2009). 이들의 관점으로부터 교과교육을 목적으로 수행되는 시뮬레이션 연구에서 개발의 타당성을 높이고자 한다면, 기존에 알려진 보편적인 디자인 원리의 적용에 더하여 교과의 특수성을 고려한 디자인의 창출이 필요할 것이다(Quintana *et al.*, 2009). 또한, 신뢰성을 높이려면 더 많은 사례가 필요하므로, 추후 메타분석을 위한 디자인 사례의 축적이 요구된다(Rutten *et al.*, 2012; Smetana & Bell, 2012). 따라서, 교과교육에 관한 시뮬레이션의 후속 연구들은 디자인 과정에서 교과

* 교신저자 : 홍훈기 (hghong@snu.ac.kr)
** 본 논문은 Lee (2015)의 석사학위 논문 데이터를 활용하여 재구성하였음.
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.4.527

의 특수성을 함께 고려해야 하며, 연구의 초점을 교육적 효과뿐만 아니라 디자인 사례에도 둘 필요가 있다(Blake & Scanlon, 2007). 하지만, 지금까지 교과교육의 영역에서 수행된 시뮬레이션에 관한 선행연구 중 디자인 사례를 다뤘던 연구는 한정된 편이며, 마찬가지로 과학교육에서의 디자인 사례도 부족한 실정이다(Smetana & Bell, 2012). 이에 타당하고 신뢰로운 교과 시뮬레이션을 개발하기 위한 노력의 일환으로, 화학 교육에서도 과학 교과에 특화된 디자인 사례를 발굴하는 연구가 필요하다.

한편, 이러한 시뮬레이션은 교육용 앱[1]의 형태로써 스마트패드에서 구동될 때 더욱 효과적일 것으로 사료된다. 스마트패드는 태블릿 PC를 지칭하는 용어로, 노트북에 비해 가볍고, 저렴할 뿐만 아니라, 사용자에게 친숙한(user-friendly) 인터페이스를 갖추고 있어 교육현장에서 대안적 교구로서 주목받아 왔다(Libman & Huang, 2013; Wang *et al.*, 2015). 스마트패드는 터치스크린 인터페이스(interface)로부터 어포던스[2]를 갖기 때문에, 화학 수업에서 학생들이 시뮬레이션을 통해 직관적이고 손쉽게 시각적 모델을 조작하고 이해할 수 있게 지원할 수 있다(Lai *et al.*, 2007; Plass *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2015). 따라서, 교사는 화학 수업에서 시뮬레이션 앱을 통해 학생들의 정서적, 인지적 발달을 모색해볼 수 있으며, 이를 통해 학습동기와 화학 개념에 관한 이해를 증진시킬 수 있을 것이다(Plass *et al.*, 2012; Rutten *et al.*, 2012).

최근 교육부는 2015 개정 교육과정을 통해 과학탐구실험을 새롭게 도입함으로써 학생들에게 실험실 경험을 제공해주고자 노력하고 있다(Park, 2017). 하지만, 과학교사는 학생들에게 다양한 실험 경험을 제공하게 하는 데 있어 종종 부담을 느낀다(Kim & Kim, 2012; Park, 2013). 예컨대, 불을 사용하거나 위험한 시약을 다루는 실험은 안전사고의 발생이 우려되어 교사의 실험실 수업 운영에 부담을 준다(Kang *et al.*, 2011). 또한, 실험 수업의 운영은 탐구 내용에 따라 매번 다른 실험기자재가 필요하므로, 학교의 예산, 행사, 실험실 환경, 지원인력 등 외적 요인에 의해 제약을 받는다(Park, 2013). 따라서, 과학교사가 주어진 상황에서 탐구실험의 교수학습을 적절하게 선택할 수 있도록 하는 대안(back-up plan)의 옵션이 필요하다.

본 연구에서는 실험을 비롯한 탐구활동을 운영하기 위한 대안적 옵션으로 스마트패드 기반의 과학 시뮬레이션 앱을 제안하는 바이다. 실험실 수업을 대체해왔던 전통적인 과학 탐구수업의 콘텐츠에 비해, 과학 시뮬레이션은 탐구활동의 대안적 후보로 적합하며, 인지적, 정서적 발달을 더욱 촉진할 것으로 예상된다(Blake & Scanlon, 2007; Edelson, 2001). 이에 본 연구는 과학 시뮬레이션의 정의와 요건 탐색, 디자인 가이드라인(design guidelines)의 설정을 통해 과학 시뮬레이션 앱을 6개 개발하였고, 과학 교과에 특화된 디자인 사례를 제시하였다. 이후, 개발된 앱들을 교육현장에 적용해봄으로써 본 개발과 적용에 대한 타당성을 입증하고자 하였다.

1) 앱(app)이란 스마트패드를 비롯한 모바일 기기에서 작동하는 콘텐츠를 가리키는 용어로, 어플리케이션(application)의 준말이다(Libman & Huang, 2013).
2) 어포던스(affordance)란 심리학자인 Gibson이 1977년에 제안한 개념으로, 보통 사람들이 그들의 지각을 통해 유사한 행동을 하도록 유발하는 물리적 측면에서의 디자인 특성을 지칭한다(Lai *et al.*, 2007).

II. 이론적 배경

1. 과학교육에서 탐구활동의 의미

과학사적 관점에서 바라보면, 과거에는 옳았다고 여겨진 것이 현재는 틀린 것으로 드러나거나, 또는 과거에 가설로 생각했던 것이 현재는 타당한 개념으로 자리 잡는 사례는 종종 발견된다. 예컨대, 입자물리학자들이 첨단장비를 이용하여 쿼크(quarks)와 렙톤(leptons), 힉스 입자의 존재를 입증함에 따라 쪼개지지 않는 입자인 원자의 개념이 더는 옳다고 말할 수 없게 되었다(Cho *et al.*, 2011). 또한, 아인슈타인이 제안한 중력파도 이를 입증하는 증거가 나오고 나서야 비로소 학계에서 타당한 개념으로 인식되기 시작하였다(Oh & Kang, 2016). 과학의 역사를 살펴보면, 과학적 지식은 기술이 발달함에 따라 언제든지 변할 수 있으며, 변화하는 과정은 잠정적 보류단계, 사회적 합의 단계를 수반한다는 것을 발견할 수 있다(Yang *et al.*, 2006). 이처럼 과학사에서 드러난 과학의 본성은 오늘날 사람들이 과학 지식이 상대적이고, 가변적일 수 있음을 인식하는 데 영향을 끼쳐왔다.

과학교육 학계는 과학사적 사건으로부터 정의된 과학의 다원적인 특성을 '과학의 본성(nature of science)'이라 정의하고, 이를 학생들에게 전달하고자 시도하고 있다(Zacharia, 2003). 과학의 본성은 과학 지식을 바라보는 관점, 내재된 믿음, 가치, 그리고 그것을 알아내는 데 필요한 인식론이므로, 과학교육에서 중요한 가치를 갖는다(Abd-El-Khalick, Bell, & Lederman, 1998). 과학의 본성은 단순한 지식이 아니므로, 학생들이 이것을 이해하는 데에는 탐구에 대한 체험이 필수적이다(Park, 2013). 탐구란 자연현상을 관찰하고, 그것에 관한 실험을 수행하면서, 그것을 설명할 수 있는 지식체계를 구성하는 일련의 과정을 지칭한다(Han, Jeun, & Paik, 2014). 학생들의 탐구활동은 과학의 본성과 관련된 과학에 대한 인식론, 과학자의 태도, 과학자 사회의 규범 등을 체득하는 데 도움이 되는 것으로 알려져 왔다(Zacharia, 2003).

이와 같은 이유로, 우리나라의 과학과 교육과정은 과학의 본성의 교육적인 가치를 명문화하였다. 또한, 학생들이 자연 현상에 대해 직접 실험을 설계해보고, 관찰한 결과를 수집하여 분석 및 해석해 볼 수 있도록 성취기준을 통해 탐구활동을 지원해왔다(Park, 2017). 과학의 본성은 학생들이 민주주의 사회의 성숙한 시민으로 성장하는 데 필요한 소양으로, 또는 예비 과학자들이 과학자 사회에 정착하는데 필요한 규범으로 작용할 것으로 기대된다(Park, 2017). 학생들이 과학의 본성을 성취하도록 촉진하는 방안 중 하나로, 학습자료의 혁신이 시도되고 있다. 일부 과학교육 연구자들은 과학의 본성을 이해하고, 과학적인 태도를 길러줄 수 있는 교육적인 어포던스를 지원하는 학습도구로서 시뮬레이션의 도입을 제안해왔다(Blake & Scanlon, 2007; Kang *et al.*, 2011; Webb, 2005).

2. 과학 시뮬레이션

시뮬레이션이란 실제 행위를 간접적으로 체험할 수 있게 해주는 콘텐츠를 지칭하는 용어로, 비용이 많이 들거나, 위험한 일, 또는 현실세계에서 실현 불가능한 일을 자세히 들여다보고자 할 때 사용된다(Balamuralithara & Woods, 2009). 과학 수업에서 시뮬레이션은 학생

들이 미시 세계와 관련된 분자의 개념을 올바르게 이해하도록 돕기 위해 도입되곤 한다(Plass *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2015). 또한, 화학 반응이 일어나는 현상을 애니메이션을 통해 상호작용적으로 보여줌으로써, 과학적인 개념을 맥락적으로 이해할 수 있게 지원한다(Lee & Hong, 2017; Liu, Andre, & Greenbowe, 2008). 이때 학생들은 화학적 반응이 역동적인 현상임을 인지하고, 정신 모델(mental model)을 타당하게 형성할 것으로 기대된다(Trundle & Bell, 2010). 본 연구에서는 과학 교과에서 학습자가 정신 모델을 타당하게 구성하도록 지원하기 위한 교육용 시뮬레이션을 과학 시뮬레이션이라 정의한다(Lee & Hong, 2017).

과학 시뮬레이션의 교육적인 이점은 수준별, 효율적, 질적인 측면에서 세 가지를 제안할 수 있다. 첫째, 과학 시뮬레이션은 개인 대 개인의 인지적 도제(cognitive apprenticeship)를 모사한 스캐폴딩(scaffolding)[3]을 제공하며, 수준별 학습을 지원한다(Plass *et al.*, 2012; Quintana *et al.*, 2009). 전통적인 교실에서 교사는 순차적인 안내가 요구되는 탐구를 지도할 때, 학생들에게 획일적인 내용을 일방적으로 전달해야만 했다. 반면에, 과학 시뮬레이션은 교사가 학생들의 인지발달수준과 학습속도의 차이를 인정하면서 효율적인 과학 학습을 이끌 수 있도록 보조한다. 둘째, 과학 시뮬레이션은 한 교실 내에서 비동시적으로 과학 개념을 학습할 수 있게 함으로써 학생들에게 부담과 지루함을 주지 않기 때문에, 학습동기 측면에서 긍정적인 영향을 준다(Lai *et al.*, 2007). 전통적 교실에서 상위권 학생들은 교사가 새로운 내용을 소개할 때까지 기다려야 했고, 하위권 학생들은 교사의 빠른 진도에 부담스러워하거나 자포자기해야만 했다. 이와 비교하여, 과학 시뮬레이션은 학습자가 원하는 시간에, 원하는 속도로 학습과제를 상호작용적으로 제공해주며, 개별적으로 학습 내용을 이해할 수 있는 기회를 제공해줄 수 있다. 셋째, 과학 시뮬레이션은 정보전달자로서 교사의 역할을 덜어주며, 교사와 학생 간 소통의 병목현상을 해소하는 데 기여한다(Rutten *et al.*, 2012). 전통적인 교실은 교사중심 관계망으로 이루어졌기 때문에 탐구활동에서 교사가 학생들에게 정서적, 태도적 측면의 지도를 한다는 것은 거의 불가능했다. 하지만, 과학 시뮬레이션은 획일적이고 구조화된 교수학습을 대신함으로써, 교사가 질적인 교수학습을 수행할 수 있는 시간을 확보해준다. 이로써, 교사는 학생들의 탐구 수행에 대해 개별적인 피드백을 제공해줄 수 있을 것이다.

Ⅲ. 연구내용 및 방법

1. 연구참여자

경기도에 소재한 남녀공학 중학교 2학년 학생 4반의 총 134명의 학생들이 개발된 과학 시뮬레이션 앱의 실행(implementation)에 참여하였다. 이때 학생들은 반별로 2반씩 처치반(intervention group)과 대조반(traditional group)으로 임의지정되어, Table 1에 제시된 바와 같이 두 그룹으로 나뉘어 연구에 참여하였다. 그들을 지도하는 과학 교사도 연구에 참여하였으며, 10년 동안 중학교에서 과학을 지도한 경험이 있었다. 참여교사는 지금까지 스마트패드를 수업에 활용해본 적이 없었으나, 학생들의 수업 참여도를 높이기 위해 본 연구에 참여하게 되었다고 응답하였다. 또한, 참여교사는 학생들의 학습상황을 보고하였고, 참여 학생 대부분이 스마트폰 또는 스마트패드의 사용 경험이 있는 것으로 파악하고 있었다. 한편, 본 연구의 실행은 학기가 시작된 직후, 연구 참여자들이 새롭게 반을 배정받는 3월에 시작되었다. 본 연구는 비록 연구 참여에 동의한 반 학생들을 본래 그룹(intact group) 단위로 2반씩 처치반과 대조반으로 임의지정하였으나, 이들이 얼마 전 새롭게 구성된 반이므로 통계학적 무선배치(random assignment)를 가정하였다. 두 그룹의 동등성 여부는 학업성취도에 대한 사전검사를 기준으로 t-test를 통해 재확인하였다.

Table 1. The number of participants

Group	Male	Female	Total
Intervention	32	35	67
Traditional	34	33	67
Total	66	68	134

2. 연구 과정

가. 과학 시뮬레이션 앱의 개발

과학 시뮬레이션 앱의 개발 단계를 ADDIE[4]의 5단계로 나열하면 다음과 같다(Figure 1).

첫째, 선행문헌의 분석을 통해 과학교과에서 시뮬레이션의 의의를 탐색하였고, 이를 기반으로 과학 시뮬레이션을 정의하였다. 둘째,

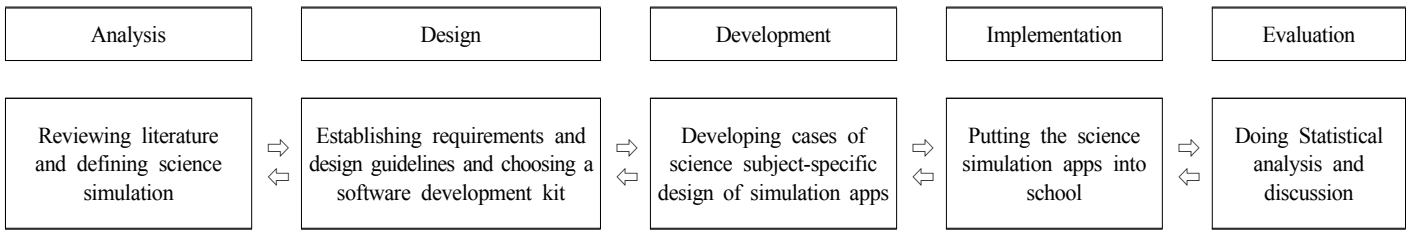


Figure 1. Procedure

3) 스캐폴딩은 비고츠키가 제안한 개념으로, 근접발달영역(zone of proximal development)까지 학습자의 발달을 촉진하려는 교육적 행위를 뜻한다(Kim & Chung, 2012).

4) ADDIE는 교수학습설계에 관한 이론 모델로, 분석, 디자인, 개발, 실행, 평가의 5단계를 지칭한다. 초기 개발 당시 이 모델은 교수학습설계의 선형적인 과정만을 포함하였으나, 이후 반복, 순환적인 형태로 변형되어 여러 분야에서 널리 활용되고 있다(Gustafson & Branch, 1997)

디자인 과정에서 과학 시뮬레이션 앱의 타당성, 사용성, 교육적 활용성을 높이고자, 선행문헌으로부터 과학 시뮬레이션의 요건(requirements)을 구성하였고, 사용성을 높이기 위한 디자인 가이드라인을 조사하였다. 셋째, 과학 시뮬레이션의 개발에 적합한 소프트웨어 개발도구(software development kit)를 선정하였고 이것의 교육적 이점을 논의하였다. 이를 기반으로 과학교과에 특화된 시뮬레이션 앱을 개발하였고, 각 학습내용에 따른 앱의 디자인 사례를 제시하였다. 세부적으로, 중학교 2학년 과학 교과서의 '물질의 구성' 단원에 수록된 탐구활동에 관한 6개의 과학 시뮬레이션 앱을 개발하였으며, 이 단원에 관한 수업 차시 동안 적용하고자 계획하였다. 이것의 적용과 평가에 관해서는 아래에 소개하였다.

나. 과학 시뮬레이션 앱의 적용

연구참여자 전체를 대상으로 사전검사를 실시한 이후, 개발된 6개의 과학 시뮬레이션 앱은 처치반 학생들을 대상으로 3주 동안 총 10회에 걸쳐 적용되었다. 처치 이후, 연구참여자 전체를 대상으로 사후검사를 실시하였고, 처치반 학생들에 한해서는 과학 시뮬레이션 앱의 사용성을 묻는 설문을 추가적으로 실시하였다. 이 과정에서 연구 디자인의 타당성의 확보를 위해 처치를 제외한 주변 요인을 통제하고자 노력하였다. 예컨대, 첫째, 처치반과 대조반의 수업의 양적인 동질성을 확보하기 위해 교사에게 대조반을 위한 수업의 스크립트와 학습 보조자료 인쇄물을 제공하였다. 둘째, 처치반 학생들이 수업시간에만 시뮬레이션 앱을 한정적으로 사용하도록 URL 기반의 배포방식을 채택하였다. 세부적으로, 시뮬레이션 앱을 apk파일(Android OS에서 실행되는 앱의 확장자)로 변환 후 개인 서버(i5-2410M 2.3GHz, 4G RAM, SSD 60G, Linuxmint 16)에 미리 업로드하였고, 수업시간에 학생들에게 URL 입력을 통해 각 스마트패드에 내려받도록 통제하였다.

3. 자료 수집 및 분석 방법

본 연구에서 과학 시뮬레이션의 처치반과 대조반의 차이를 살펴보기 위해, 연구참여자 전체를 대상으로 사용한 검사도구에는 정서 영역 검사도구와 학업성취도 검사도구가 있다. 첫째, 정서 영역 검사도구는 Fraser(1981)의 TOSRA(Test Of Science-Related Attitudes)로부터 번역된 검사도구의 과학수업에 대한 즐거움(enjoyment of science class)에 관한 10문항(Kim, Lee, & Noh, 2009)과 한국교육종단연구에서 내적동기를 묻는 3문항을 중심으로 안면타당도를 고려하여 5단계 리커트척도 문항으로 구성하였다(Kim *et al.*, 2008). 이 검사도구는 사전과 사후검사에서 동일 문항 세트를 사용하였으며, Cronbach's α는 사전검사에서 .91, 사후검사에서 .84로 매우 높게 나타났다. 한편, 이 검사도구에 대하여 요인분석은 별도로 실시하지 않았으나, 구인 타당성은 해당 문항을 사용한 선행문헌을 기반으로 충족됨을 가정하였다. 둘째, 학업성취도 검사도구는 사전, 사후검사에 사용할 문항 세트를 다르게 구성하였는데, 사전검사는 지난 학기에 배운 '분자의 운동'에 대한 문제로, 사후검사는 처치 과정에서 배우는 '물질의 구성' 단원에 관한 문제로 각각 객관식 20문항으로 구성하였다. 각 문항은 한국교육과정평가원에서 개발한 검정고시 및 고입시험의 기출문항을 수정하여 사용하였고, 과학교육과 교수 1인, 대학원생 2인, 과학교사 3인이 참석한 세미나에서 안면타당도를 확보하기 위한 검토를 받았다. 이들 검사도구로부터 수집된 데이터는 SPSS22/Windows를 이용하여 공변량분석(analysis of covariance)을 실시하였다.

한편, 처치반을 대상으로 과학 시뮬레이션의 사용성을 묻기 위해, Park, Kang, & Kim (2001)의 연구를 기반으로 설문지를 구성하였다. 이 설문지는 학생의 응답의 타당성을 높이기 위해 무기명 설문지로 만들었다. 이 설문지는 디자인 가이드라인의 세 영역과 관련된 사용성을 묻는 12문항(각 4문항씩)과 수업의 만족도를 묻는 2문항을 5-리커트 척도로 구성하였고, 과학 시뮬레이션의 장점과 단점(개선점)을 묻는 서술형 문항을 2개 추가하였다. 이때 사용성 문항을 디자인 가이드라인의 3가지 영역으로 분류한 것에 대한 내적신뢰도는 Table 2에 제시된 Cronbach's α를 통해 확인할 수 있다. 이들 검사도구로부터 수집된 정량적인 데이터는 SPSS22/Windows를 이용하여 빈도분석을 실시하였고, 정성적인 데이터는 Excel 2013을 이용하여 코딩한 후, 그래프로 시각화하였다.

Table 2. Internal validity by design guidelines

Design guidelines	The number of items	Cronbach's α
To evoke positive emotions	4	.801
To reduce unnecessary cognitive load	4	.831
Heuristic principles from the teachers	4	.824
Total	12	.930

Ⅳ. 과학 시뮬레이션 앱의 개발

과학 시뮬레이션이 수업의 대안적 도구로 매력을 갖기 위해서는 개발과정에서 타당성, 사용성, 교육적 활용성이 고려되어야 한다. 각 기준에 관한 설명은 Table 3에 제시하였으며, 이를 통해 과학 시뮬레이션의 요건 설정과 디자인 가이드라인의 설정 및 개발도구의 선택을 강조하는 바이다.

Table 3. Three aspects to consider in development

Criteria	Description	Strategy in development
Validity	It should be developed on the basis of science subject-specific design requirements.	Setting requirements for science subject-specific simulation in advance.
Usability	It should be developed in the direction of enhancing user-friendliness side	Setting design guidelines from design principles in advance
Educational applicability	It should be developed as an easy tool for students to use to reproduce this kind of content.	Choosing a SDK(Software development kit) for Educational use

1. 과학 시뮬레이션의 요건 탐색

과학 교과에 특화된 디자인의 타당성에 관한 기준을 설정하기 위해, 과학 시뮬레이션이 갖추어야 할 세 가지 요건을 설정하였다. 이들 요건은 과학 시뮬레이션의 개발과정에서 개발자의 기술력과 경험에 따른 질적인 차이를 제거함으로써, 교육적 효과의 신뢰성과 타당성을

높이는 기준에 해당하기도 한다. 우선, 선행문헌 및 사례의 분석을 통해 과학 수업에서 기존에 개발된 시뮬레이션이 갖는 한계점을 조사하였고, 이어서 과학 시뮬레이션이 갖추어야 할 기본 요건을 제안하였다.

첫째, 기존 시뮬레이션은 텍스트와 삽화, 애니메이션의 표상에 의존하기 때문에 자연에서 일어나는 동적인 현상을 온전히 표현하는 데에는 한계가 있었다(Lee & Hong, 2017). 이는 학생들이 자연 현상을 온전히 관찰하는 것을 방해하며, 과학의 본성을 이해하는 데에도 어려움을 겪게 만든다(Edelson, 2001). 과학 시뮬레이션은 자연 현상이 왜곡되게 표현되는 것을 막기 위해, 동영상 클립처럼 더 실제적인 표상을 사용해야 할 것이다.

둘째, 기존 시뮬레이션은 폐쇄적인 학습경로로 인해, 학습자는 학습과정에서 개발자의 의도를 넘어설 수 없다(Rutten *et al.*, 2012). 예컨대, 개발자가 낮은 자유도(freedom)의 인터페이스에서 옵션을 한정한다면, 학습자는 단조로운 학습경로에서 지루함을 느끼게 될 것이다(Johnson & Wiles, 2003). 결국, 학습자는 현실 세계에서의 다채로운 경험을 하지 못할 뿐만 아니라, 실패로부터 배울 기회도 얻지 못할 수 있다. 탐구활동에서 실패 경험과 이때 제공되는 피드백은 교육적으로 높은 가치를 지니기 때문에 이와 관련된 학습경로도 고려될 필요가 있다(Balamuralithara & Woods, 2009; Johnson & Wiles, 2003). 따라서 과학 시뮬레이션은 높은 자유도 하에서 학습자가 다양한 학습경로를 선택할 수 있도록 다양한 옵션을 제공해야 하며, 동시에 잘못된 행위에 대한 학습경로도 구성하여 학습자에게 실패에 대한 피드백을 제공해야 할 것이다(Balamuralithara & Woods, 2009).

셋째, 시뮬레이션의 개발과정에서 교육학적, 내용학적 이론 및 실제 사용자의 수준을 고려하지 않을 경우, 시각적인 표상으로부터 오개념을 일으킬 수 있는 여지를 남길 수 있다(Cober *et al.*, 2015). 과학 교과서에서 잘못된 삽화가 학습자의 사고를 방해하여 오개념을 유발한 사례가 보고된 적이 있으며, 이는 과학 시뮬레이션의 개발에서도 발생할 수 있는 문제점이다(Kim, Son, & Song, 2010; Park & Jung, 2010). 보다 타당한 과학 시뮬레이션을 개발하기 위해서는 개발과정에서 현장교사와 과학교육전문가(교수)와의 세미나를 통한 검토가 필요하다. 또는 교육학적, 내용학적 지식을 가진 과학교육 전공자가 과학 시뮬레이션을 직접 개발하는 것도 대안이 될 수 있다(Lee & Hong, 2017).

요컨대, 기존 시뮬레이션의 제한점을 극복하면서 동시에 과학 교과에 특화된 콘텐츠로 자리매김하기 위해 과학 시뮬레이션이 갖추어야 할 요건을 정리하면 Table 4에 제시된 바와 같다. 여기에 각 요건을 충족하기 위한 전략도 선행연구 논문의 사례로부터 모색하여 함께 제시하였다.

2. 사용성을 높이는 디자인 가이드라인 탐색

선행연구에서는 시뮬레이션의 사용성을 높이기 위한 전략으로, 개발과정에서 이론과 사례를 기반으로 디자인 가이드라인을 설정하였다(Quintana *et al.*, 2009). 디자인 가이드라인은 주로 정서적, 인지적 측면을 지원하는 심리학적, 인지공학적, 교육학적 문헌과 사례의 분석을 통해 설정되기 때문에, 내적인 타당성을 높이는 데 기여하는 것으로 알려져 있다(Jin, 2013). 반면, 디자인 과정에서 원론적인 측면만 고려하게 될 경우, 교육현장에서 발생하는 현실적인 문제에 대응하기는 어렵다는 비판이 있다(Ardito *et al.*, 2006). 이러한 디자인의 외적 타당성 측면에서 발생하는 한계점을 보완하기 위해 콘텐츠 개발과정에서 실제 사용자들의 축적된 경험과 관점을 수용하려는 방법이 제안되고 있다(Cober *et al.*, 2015). 실제로 많은 이러닝 콘텐츠의 개발과정에서 교사와 학생이 평가자로, 또는 디자이너로서 참여하고 있다(Ardito *et al.*, 2006).

이러한 문헌들로부터, 과학 시뮬레이션의 사용성을 높이기 위해 고려해야 할 가이드라인이 정서적, 인지적, 참여적 관점에서 다음과 같이 제안될 수 있다. 첫째, 과학 시뮬레이션은 학습자의 정서적 즐거움을 강화하는 방향으로 디자인되어야 한다(Um *et al.*, 2012). 학습과정에서 느끼는 긍정적인 감정은 학습자가 학습을 계속하게 만들고, 장기적으로 높은 학업성취로 이끌기 때문이다(Schutz & Pekrun, 2007). 둘째, 과학 시뮬레이션은 외적인 요인으로 인한 인지적 부담을 제거하는 방향으로 디자인되어야 한다(Smetana & Bell, 2012). 학습과 관련 없는 요인으로 인해 발생하는 인지 부담이 학습자가 학습 내용에 몰입하는 데 방해가 되기 때문이다(Chiu & Churchill, 2015; Mayer & Moreno, 2003). 셋째, 과학 시뮬레이션은 현장 과학교사의 경험과 관점을 반영하는 방향으로 디자인되어야 한다(Ardito *et al.*, 2006). 교육현장의 맥락을 고려하지 않은 채 개발된 과학 시뮬레이션은 사용성을 보장하기 어려우며, 교사와 학생의 만족도를 이끌기도 어렵기 때문이다(Cober *et al.*, 2015). 따라서, 본 연구에서는 이들에 부합하는 과학 시뮬레이션의 디자인 가이드라인을 Table 5와 같이 제시하였고, 각각에 대한 세부전략과 그것의 이론적 근거도 부연하였다.

3. 교육적 맥락에 적합한 개발도구의 탐색 : Flash와 Actionscript 3.0

과학 시뮬레이션의 교육적 활용성은 개발에 사용된 프로그래밍 언어에 따라 달라질 수 있다. 개발 초기에는 원하는 디자인의 과학 시뮬레이션을 구현하는 데 있어 교육적 맥락에 적합한 프로그래밍

Table 4. Requirements for science simulation

Limitations	Description		Requirements for science simulation	Strategies from related research
Representation	Animation is hard to express the dynamic phenomena of nature accurately	⇨	When expressing a natural phenomenon, take advantage of video clip as representation	Insert the video clips using the mask function (Lee & Hong, 2017)
Option (Low degree of freedom)	Due to structured learning pathway by the developer, a learner can feel bored.	⇨	Design towards increasing the degree of freedom in consideration of learning experience	Make a variety of learning paths based on analysis of expected failures in actual inquiry activities (Johnson & Wiles, 2003)
Misconception	Developers who are not major in science education may include misconceptions in their simulations.	⇨	Review with experts and participants to eliminate misconceptions	Review at seminars involving field teachers and professors of science education (Cober *et al.*, 2015)

Table 5. Design guidelines for simulation app

Design guidelines	Design principles from the research
1.1 To evoke positive emotions	
• Visual affinity: Provide visually attractive screens • Guidance: Guide learners to enjoy plenary satisfaction • Error prevention: Debug potential errors in advance (especially in the touch-interface) • Trustworthy information: Get rid of inaccurate information causing confusion	• Positive emotions from specific colors and shapes facilitate learning (Um *et al.*, 2012) • A menu that is poorly and non-intuitively organized brings about confusion (Johnson & Wiles, 2003) • Computer users' frustration diminishes their attention and memory retention (Klein *et al.*, 2002) • Erroneous and incomplete learning materials can be assumed to be build up failure-related achievement expectancies that in turn evoke negative emotions (Kort & Picard, 2001; Schutz & Pekrun, 2007)
1.2 To reduce unnecessary cognitive load	
• Layout: Close the distance between relevant content on one screen • Coherence: Exclude irrelevant content • Clarity of text: Determine the shape, size, and color of characters to express content clearly and to highlight important information	• Placing information closer physically and temporally is necessary to diminish cognitive load (Jin, 2013; Mayer & Moreno, 2003) • Doing away with irrelevant information reduces extraneous cognitive processing (Chiu & Churchill, 2015). • An appropriate shape of text helps learners with understanding difficult content as well as alleviates the extraneous cognitive load (Eryilmaz *et al.*, 2014).
1.3 To reflect the teachers' perspectives (for learning experience)	
• Presentation strategy: Select text, graphics, and animation that do not disrupt learning, but promote the delivery of information • Students' level: Construct the screen for students' level in accordance with their cognitive development • Dynamic observation: Lead students to freely observe firsthand, irrespective of success or failure	• Presenting titles or key phrases dynamically makes students pay attention to the key parts (Jin, 2013), whereas extraneous animations, sound effects, and tangential games can also distract learners from engaging in learning (Hirsh-Pasek *et al.*, 2015) • Students are provided with appropriate materials depending on their cognitive development to avoid becoming frustrated (Schutz & Pekrun, 2007). • Giving rise to impasse during their well-structured problem-solving makes students succeed following learning with efficacy (Kapur, 2010)

저작도구를 선택해야 한다. 또한, 과학 시뮬레이션을 사용한 학습자가 추후 생산자로 나아갈 수 있는 장으로서 교육콘텐츠의 생태계를 조성하기 위해, 비전문가도 이용할 수 있는 쉬운 저작도구를 선택하는 편이 바람직하다. 본 연구에서는 선행문헌과 연구자의 휴리스틱(heuristics)[5]에 기반하여 교육적 활용성을 갖는 저작도구의 선택에 관한 4가지 기준을 제시하는 바이며, 세부적으로, 최적화 여부(optimization), 호환성(compatibility), 표현 기능성(functionality), 저작의 용이성(feasibility)을 강조하고자 하였다(Ardito *et al.*, 2006).

첫째, 최적화란 개발된 콘텐츠가 모바일 기기의 프로세서 자원을 효율적으로 운용하는 특성을 말하며, 최적화된 콘텐츠일수록 낮은 사양의 스마트패드에서도 동작할 수 있다. 기술의 빠른 진보로 인해, 스마트기기의 성능은 빠르게 상향 평준화되는 데 반해, 학교 현장에서는 매번 최신 사양의 기기를 도입하는 데 어려움을 겪는다. 개발된 콘텐츠가 기존에 학교에 보급된 낮은 사양의 스마트기기에서도 작동해야 교사가 학교예산의 추가 지원 없이도 부담 없이 사용할 수 있기 때문이다. 다시 말해서, 최적화된 콘텐츠는 교육현장에서 접근성을 높여주므로, 과학 시뮬레이션의 개발과정에서도 도구의 선택을 통한 최적화를 고려해야 한다.

둘째, 호환성은 운영체제의 종류에 상관없이 모든 PC, 모바일 기기에서 구동할 수 있는 특성을 말하며, 호환성이 높을수록 개발된 콘텐츠(소프트웨어)는 다양한 기기에서 실행될 수 있다. 호환성이 높은 콘텐츠가 중요한 이유는 이것이 스마트패드와 PC에 모두 작동하므로, 다양한 교수학습에 적용될 수 있기 때문이다. 따라서, 과학 시뮬레이션의 개발도구를 선택할 때 개발된 콘텐츠가 높은 호환성을 갖는지를 고려해야 한다.

셋째, 표현 기능성은 저작도구가 원하는 디자인을 시각적으로 구현하는 데 있어 요구되는 기능을 얼마나 갖추고 있는지를 뜻한다. 실제로, 과학 시뮬레이션의 내용을 시각적으로 구성하는 과정에서 편의성을 높여주는 기능으로는 레이어 편집, 동영상 삽입, 마스크, 펜툴, 라이브러리, 그리고 그래픽 또는 동영상을 개체 단위로 묶어주는 심볼(symbol) 기능이 있다. 저작도구의 표현 기능성은 시각적 표현의 다양성을 결정하므로 개발된 콘텐츠의 사용성과 내용 타당성에 제약이 되지 않도록 사전에 고려해야 한다. 또한, 높은 표현 기능성은 인지부담을 최소화하는 디자인 전략을 적용하는 데에도 유용하기 때문에 강조될 필요가 있다.

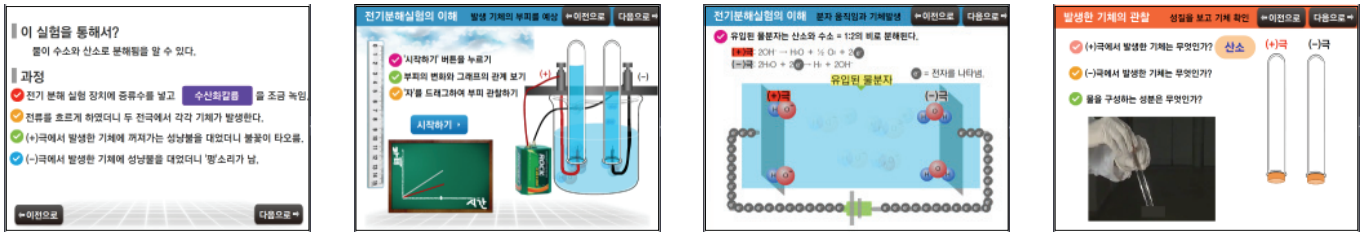
넷째, 저작의 용이성이란 비전문가가 저작도구를 사용하여 콘텐츠의 개발을 시도할 때 체감하는 쉬운 정도를 뜻한다. 저작의 용이성을 갖춘 개발도구는 교육적 용도로 사용될 수 있으며, 학생을 과학 시뮬레이션의 생산자로 이끌 수 있다. 최근 미래 교육에 관한 정책은 학생이 콘텐츠의 소비자를 넘어, 생산자가 되기를 추구한다. 쉬운 저작도구는 이러한 시대적 흐름에 걸맞게 학생의 소프트웨어 역량을 높이는 데 사용될 수 있으며, 동시에 프로그래밍에 관한 학습경험을 제공하는 데에도 활용될 수 있다. 쉬운 저작도구를 이용하여 과학 시뮬레이션을 개발할 경우, 이것은 학생들이 소프트웨어의 역량을 늘리는 데 있어서 유익한 사례가 될 수 있다(Lee *et al.*, 2016). 따라서, 과학 시뮬레이션의 개발에 쉬운 저작도구를 선택하는 것은 콘텐츠의 교육적 활용가치를 높이기 때문에 필수적이다.

본 연구에서는 과학 시뮬레이션을 앱의 형태로 개발하고자 시도하였으며, 위에서 제안한 선택기준에 부합하는 저작도구로서 Adobe사의 Flash CS6를 사용하였다. 이 소프트웨어는 Flash와 Actionscript 3.0을 지원하는데, 여기서 전자는 저작 산물의 파일 유형을, 후자는

5) 휴리스틱이란 Jakob Nielson이 사용성 평가(usability evaluation)를 위해 도입한 용어로, 경험적으로 정한 근사적인 기준을 뜻한다(Ardito *et al.*,, 2006).

Table 6. Contents of simulation apps

Lesson	Unit	Objective	Simulation app
1	Fundamental components composing material	Identifying components of water	Electrolysis
2	Element symbols	Learning elements' symbols	Elements Bingo
4	Elements in material	Identifying elements' flame colors	Flame Reaction
6	Particles composing material	Learning atom models	Atom Configuration
7	Particles composing atoms	Learning ion models	Atom Configuration
8	Atoms to ions, ions to compounds	Identifying the charge of ions	Ion Charge
10	Identifying unknown elements	Identifying ions in aqueous solution	Precipitation Reaction



(a) (b) (c) (d)

Figure 2. Electrolysis app

이벤트[6]를 구성하는 데 사용하는 프로그래밍 언어를 뜻한다. 시스템 자원의 점유율이 높아 모바일 기기에 부적합한 콘텐츠로 평가되었던 이전 세대 Flash와는 달리, 최근 Flash는 Actionscript 3.0의 도입으로 인해 모바일용 게임 앱의 개발에 널리 활용되고 있으며, 또한 교육용 앱을 개발하는 데에도 주목받고 있다.

V. 연구 결과 및 논의

1. 과학 시뮬레이션 앱의 디자인 사례

본 연구에서는 Table 3에서 제안한 바와 같이 과학 시뮬레이션의 요건, 디자인 가이드라인, 개발도구의 교육적 타당성을 고려하여 6개의 과학 시뮬레이션 앱을 개발하였다. 이들은 물질의 구성 단원을 배우는 10차시 동안 7차시에 적용될 수 있는 탐구 내용을 포함하며, 세부적으로, 적용 차시, 소단원명, 탐구 목적, 앱의 제목은 Table 6에 소개된 바와 같다. 아래에는 과학교육에 특화된 활용을 중심으로 본 과학 시뮬레이션 앱의 디자인 사례를 제시하였다.

가. 모델링을 돕는 과학 시뮬레이션 : 전기분해 실험 앱 (electrolysis app)

과학적인 실험으로부터 얻은 결과는 학습자의 정신 모델에 따라 다르게 해석될 수 있다. 과학교육은 학생들이 과학자 사회에서 합의된 이론으로부터 정신 모델을 구성하기를 추구하는데, 이를 모델링이라 부른다. 학생들의 모델링을 돕기 위해 과학 교과서는 이론에 관한 시각적인 모델을 제공한다. 과학 시뮬레이션은 교과서에 비해 시각적 모델을 역동적으로 표현할 뿐만 아니라, 상호작용적으로 조작할 기회를 제공하기 때문에, 교육적으로 효과가 있을 것으로 예상된다.

전기분해 실험 앱은 모델링을 돕는 내용을 포함하고 있으며, 이것의 디자인 사례는 Figure 2에서 살펴볼 수 있다. (a)는 탐구활동의 목적을 제시하기 위한 화면이며, 이때, 파란색 블록의 텍스트를 누르면, 이것이 전해질임을 알려준다. (b)는 물의 전기분해 실험의 이해를 돕기 위해, 기체의 발생량을 그래프와 함께 동시적으로 보여준다. 예컨대, 시작하기 버튼을 누르면 (+)에서는 산소기체 분자 모델이, (-)에서는 수소기체 분자 모델이 나타나며, 발생 기체의 부피비가 1:2임을 보여준다. 그래프를 통해 기체 발생의 부피비를 정량적으로 측정하기 위해서는 화면의 오른쪽에 있는 자를 드래그하여 이용해야 한다. (c)는 기체 발생 과정에서 일정한 부피비로 관측되는 현상의 이해를 돕기 위해 분자 모델에 관한 애니메이션을 제공한다. (d)는 탐구활동의 내용을 복습을 위한 문제를 제공한다. 예컨대, 학생이 각 문제를 누를 경우, 그것에 해당하는 정답과 동영상 단서가 함께 제공된다.

나. 실험실의 안전사고를 예방하는 과학 시뮬레이션 : 불꽃 반응 실험 앱(flame reaction app)

불꽃 반응 실험은 토치를 다루기 때문에, 산만한 실험실 환경에서는 언제나 학생들이 사고의 위험에 직면할 수 있다. 이때, 과학 시뮬레이션 앱은 실험실 활동에서 우려되는 안전사고를 예방하면서, 학생들에게 안전하게 실험과정을 체험할 수 있게 해주는 이점이 있다.

불꽃 반응 실험 앱은 실험실 안전사고가 우려되는 실험 내용을 포함하고 있으며, 이것의 디자인 사례는 Figure 3에서 살펴볼 수 있다. (a)는 학생들이 실험의 순서를 상기할 수 있게, 각 단계를 순서대로 배열해보는 과제를 제시한다. 정답은 각 그림의 터치를 통해 확인할 수 있으며, 이때, 타당한 절차의 순서가 그림 위에 오버랩되어 나타난다. (b)는 불꽃 반응 실험 전에 니크롬선을 세척하는 과정을 체험할 수 있게 한다. 이때, 니크롬선을 쥐고 있는 손모양 아이콘을 드래그하면, 니크롬선을 염산과 물에 각각 씻을 수 있다. (c)는 드래그를 통해

6) 이벤트란 사용자의 입력(터치, 드래그)에 상응하여 반응하는 객체의 상호작용적인 특성을 결정하는 프로그래밍에 관한 로직을 뜻한다.

(a) (b) (c) (d)

Figure 3. Flame reaction app

니크롬선을 각 비커의 금속이온이 담긴 수용액에 담그는 경험을 제공한다. 이후, 니크롬선을 불꽃에 대었을 때, 금속이온의 종류에 따른 불꽃의 색상을 관찰할 수 있다. (d)는 분광광도계 버튼을 눌렀을 때 나타나는 화면으로, 각 빛의 분광학적 속성을 스펙트럼 상에서 보여준다. 앱의 후반부에는 스펙트럼을 통해 혼합물에 포함된 금속 이온을 추론하는 과제가 추가적으로 제공된다.

다. 이온의 표현방법을 안내하는 시뮬레이션 : 이온 전하 실험 앱(ion charge app)

학생들에게 화학 기호를 올바르게 표현하도록 안내하기 위해, 교과서는 예제 문제를 수록하고 있다. 이온의 표기를 포함하는 탐구활동에서 교사의 피드백은 중요한 역할을 하며, 학생의 잘못된 표기에 대해 정정해줄 수 있다. 교사가 개별적으로 지도해줄 수 없는 상황에서 과학 시뮬레이션은 학생들이 올바르게 이온을 표기할 수 있도록 개별적인 피드백을 제공할 수 있다.

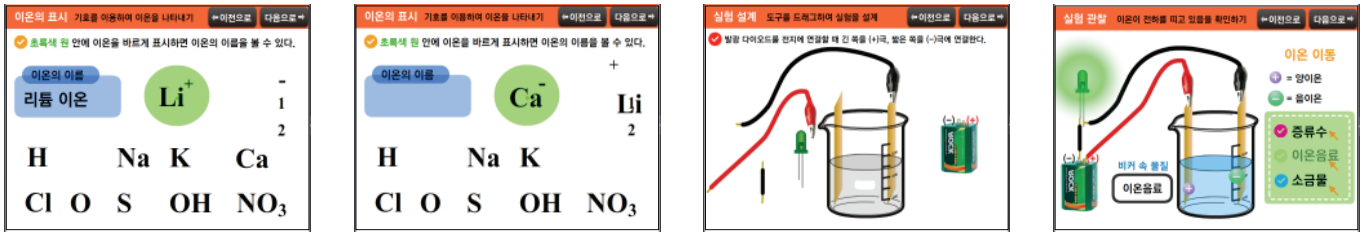
이온 전하 실험 앱은 이온이 전하를 띠고 있음을 탐구하는 과학 시뮬레이션이며, 이때 학생들이 화학 기호를 올바르게 표기하도록 개별적인 피드백을 제공하는 기능을 포함한다. 이것의 디자인 사례는 Figure 4에서 살펴볼 수 있다. (a)와 (b)는 알파벳과 숫자, 그리고 +, - 기호를 이용하여 이온을 표기하고, 명명해보는 활동을 위해 디자인되었다. 세부적으로, 학생이 드래그를 통해 원 안에 이온을 타당하게 표시하면, 이온의 이름이 표기된다. 예컨대, 원 안에 'Li'를 두고, 오른쪽 상단에 '+'를 가져가 Li^+를 완성하게 되면, 왼쪽 이온의 이름 부분에 '리튬 이온'이라는 텍스트가 생성된다. 반면 만약에 원 안에서 'Ca'를 표현하면, 어떤 이름도 생성되지 않는다. 이러한 과정을 통해 학생들은 올바른 이온의 표기를 이해할 수 있을 것으로 기대된다. (c)는 이온의 존재를 확인하기 위한 실험을 설계하는 장면이며, 여기서 학생들은 각 실험기구를 끌어와서 (d)처럼 완성해볼 수 있다. 이후, (d)에서는 앞서 수행한 다이오드 회로의 실험설계를 기반으로, 증류수, 이온음료, 소금물의 전기전도성을 확인하는 활동을 제공한다. 이 실험결과로부터 학생들은 이온의 존재와 전기전도성 사이의 관계를 파악할 수 있으며, 이온의 전하를 통해 설명할 수 있게 된다. (d)에서도 이온 모델에 제공되는데, 이온이 다량 포함된 것으로 알려진 이온음료와 소금물을 누르면 +와 -전하를 띠는 이온 모델이 나타난다. 이때 학생들은 다이오드에 불이 켜지는 과정에서 이온의 상대적인 이동 방향을 시각적으로 확인할 수 있다.

라. 실제적인 관찰을 지원하는 과학 시뮬레이션 : 앙금생성반응 실험 앱(precipitation reaction app)

과학 시뮬레이션은 동영상클립을 도입함으로써 학생들에게 실제 촬영된 실험결과를 보여줄 수 있으며, 이를 통해 실제적인 관찰(authentic observation) 기회를 제공할 수 있다(Lee & Hong, 2017). 앙금생성반응 실험 앱은 실제적인 관찰을 지원하는 앱으로, 이것의 디자인은 이미 Lee & Hong (2017)의 논문에서 전문가검토를 실시하여 타당성을 평가받은 바 있다. 지금까지 과학 시뮬레이션에서 동영상클립을 도입한 사례는 드문 편이었으나, 이 연구는 현실적인 표상을 포함하는 과학 시뮬레이션 콘텐츠가 Flash와 Actionscript 3.0를 통해 실현될 수 있음을 보여주었다. 즉, 이 앱은 기존 시뮬레이션에서 제한적으로 보여줄 수 밖에 없었던 자연 현상을 동영상클립을 통해 생생하게 보여준다는 점에서 의미가 있다.

Figure 5의 (a)는 실험재료의 준비를, (b)는 실험 전과정을, (c)는 결과의 관찰을 체험할 수 있게 해주며, 각 단계는 연구자가 촬영한 동영상클립을 통해 생생한 장면을 제공한다. 초기에 각 동영상클립은 정지된 상태로 유지되는데, 오직 특정 객체를 눌렀을 때만 상위 레이어에 나타나 재생된다. 한편, (d)는 실험결과에 관한 이해를 돕기 위해, 이온 모델의 체험하도록 지원하는 활동 장면으로, 여전히 애니메이션에 기반을 둔다. 여기서 두 비커를 겹치면, 새로운 비커가 나타나면서 출발물질의 이온들이 반응하는 장면이 연출된다.

이 사례는 과학 시뮬레이션에서 동영상클립은 관찰 활동에, 애니메이션 표상은 모델링에 적합하게 활용될 수 있음을 보여준다.



(a) (b) (c) (d)

Figure 4. Ion charge app

(a) (b) (c) (d)

Figure 5. Precipitation reaction app

마. 게임을 통해 암기를 지원하는 과학 시뮬레이션 : 원소 빙고 앱(elements bingo app)

2009 개정 교육과정을 따르는 중학교 2학년 과학 교과서에는 탐구활동의 하나로, 원소 이름의 암기를 돕기 위한 놀이 활동이 제시되어 있다. 예컨대, 어떤 과학 교과서는 학생들이 원소 이름을 원활하게 암기하도록 지원하기 위해 원소 빙고 게임을 제안하였다. 원래 원소 빙고 게임은 필기도구를 통해 할 수 있는 간편한 게임이기는 하나, 본 연구에서는 이를 앱으로 구현할 경우 스마트패드 자체의 어포던스로 인해 더욱 효과적일 것으로 기대하였다.

원소 빙고 앱은 탐구활동의 일환으로 게임을 통해 암기를 지원하는 과학 시뮬레이션이며, 이것의 디자인 사례는 Figure 6에서 살펴볼 수 있다. (a)는 빙고 게임을 위한 준비 단계이며, 이때 학생은 임의의 원소를 16개 골라야 한다. (b)도 준비 단계에 해당하며, 학생은 주어진 4×4 표에 16개의 원소를 끌어서 각 칸에 임의로 나열해야 한다. 배열을 마친 후 시작하기 버튼을 누르면, 배열된 원소는 더 이상 칸에서 움직이지 않는다. (c)는 빙고 게임을 수행하는 단계로, 두 학생이 자신의 빙고를 완성하기 위해 원소 이름을 부르고, 표시하는 단계이다. 표시를 위해 각 원소를 누를 경우, 상응하는 원소의 이름이 화면의 상단에 나타난다. 이는 게임의 수행에서 원소의 이름을 반복적으로 노출시켜 학생의 암기를 돕고자 의도한 것이다. 한편, 게임 과정에서 잘못 눌러 표기된 원소는 두 번 눌러 표기를 취소할 수 있다.

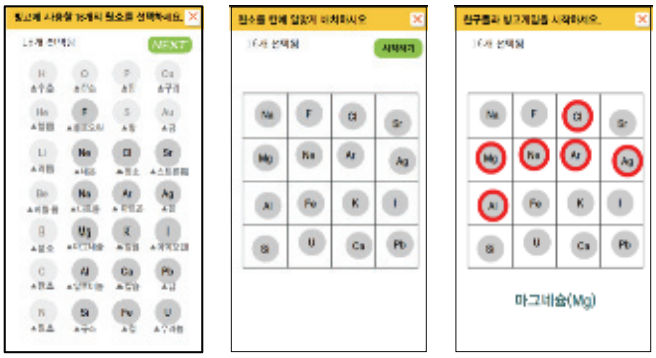
바. 조작에 대해 실시간으로 반응하는 과학 시뮬레이션 : 원자 배열 앱(atom configuration app)

과학 시뮬레이션은 학생의 조작에 대한 변화를 실시간으로 보여줄 수 있는 이점이 있다. 특히, 시각적 모델에서 모델의 일부를 조작하여 변화시켰을 때 종속적으로 나타나는 결과를 즉시 보여주며, 이를 통해 학생이 능동적으로 개념을 이해할 수 있도록 돕는다.

원자 배열 앱은 핵전하량과 전자의 개수를 조작했을 때, 종속적으로 나타나는 전체 전하량과 입자의 상태에 따른 명명을 동시적으로 보여준다. 이러한 시뮬레이션의 실시간 반응성은 학생들이 핵전하와 전자의 전하 사이의 관계를 이해하는 데 도움이 될 것으로 기대된다. 이러한 특성이 반영된 디자인 사례는 Figure 7에서 살펴볼 수 있다. (a)는 앱의 초기화면이며, 핵전하가 +1인 수소가 제시되어 있다. 여기에 전자를 끌어 중성으로 만들면 전하량 총합이 0으로 표시되며, 동시에 (b)와 같이 화면의 하단에 수소 원자라는 텍스트가 새롭게 나타난다. (c)는 '핵전하증가' 버튼을 눌러 핵전하를 +8로 올리고 10개의 전자를 배치했을 때 나타나는 반응을 보여준다. 이러한 전자배치에서 전하량의 총합은 -2로 나타나고, 동시에 화면의 하단에는 산소 이온이라는 텍스트가 새롭게 표기된다. 요컨대, 원자 모델이 전기적으로 중성일 때에는 '~원자', 안정한 최외각전자를 갖게 될 경우, '~이온'으로 표기된다.

2. 정서적, 인지적 효과에 관한 분석 결과

정서 영역 검사도구와 학업성취도 검사의 결과에 대해 공변량분석을 실시한 결과는 Table 7에 제시되어 있으며, 두 결과는 모두 과학 시뮬레이션의 교육적인 효과가 긍정적임을 지지한다. 첫째, 정서 영역 검사에서 처치반 학생들의 과학 수업에 대한 즐거움($p<.05$)과 내적 동기($p<.05$)는 대조반 학생들보다 유의한 향상을 보여주었다. 두 구인과 학습동기 사이의 정적인 상관이 알려져 있으므로, 본 연구의 처치가 학생들의 학습동기 향상에 긍정적으로 기여했다고 결론을 내릴 수 있다(Elliot, 1999; Glynn *et al.*, 2011). 둘째, 20점 척도의 학업성취도 평가에서 처치반 학생들의 점수는 대조반 학생들보다 0.74점 유의



(a) (b) (c)

Figure 6. Elements bingo game app

(a) (b) (c)

Figure 7. Atom configuration app

하게 높았다(p<.05). 이 결과는 과학 시뮬레이션 앱이 학생들의 학업성취에도 긍정적으로 기여할 수 있음을 지지한다. 선행연구에서 ICT 교육의 인지적 발달의 효과가 논란이 되어온 것에 반해, 본 연구의 결과는 과학 시뮬레이션 앱이 학생들의 과학 학업성취도의 향상에 도움이 될 수 있음을 보여준다(Ahmed & Parsons, 2013; Rutten *et al.*, 2012). 두 검사결과를 종합해보면, 과학 시뮬레이션 앱을 과학 수업에 도입하는 것이 학생들의 인지적, 정서적 발달에 긍정적인 영향을 주는 듯하다.

3. 디자인의 사용성 평가 결과

본 과학 시뮬레이션 앱의 사용성에 관한 설문 문항 중 디자인 가이드라인의 3가지 측면이 잘 반영되었는지 묻는 총 12문항에서 학생들은 대부분 강하게 또는 약하게 동의하였다(Table 8). 이 결과는 과학 시뮬레이션의 디자인이 사용성 측면에서 타당하게 구성되어 있음을 지지한다.

하지만, 사용성을 묻는 12문항 중 2문항에서 매우 부정하는 응답이 나타났는데, '시뮬레이션 앱이 오류 없이 잘 작동했는지'를 묻는 문항과 '메뉴 버튼을 찾기 쉬웠는지'를 묻는 문항에서 강한 비동의 응답이 각 1개씩 나타났다. 본 설문이 무기명 방식이었기 때문에, '강한 비동의' 응답에 대한 해석은 교사의 코멘트를 통해 보완하였다. 교사는 "매번 스마트패드를 사용할 때마다 어려움을 호소하는 학생이 있었다"고 응답하였고, "스마트기기를 갖고 있지 않은 학생들은 수업시간에 뒤처질 수 있다"고 부연하였다. 스마트패드를 교수학습에 원활하게 도입하기 위해서는 사전 교육이 필요할 것으로 보인다.

과학 시뮬레이션 앱이 학생들 자신의 학업성취에 있어서 도움이 되는지, 이것을 활용한 과학 수업이 만족스러운지를 묻는 문항에서도 과반수의 학생이 긍정적으로 응답하였다(Table 9).

서술형 문항의 결과는 연구자 1인이 코딩을 통해 독립적인 그룹으로 범주화하여 Figure 8에 그래프 형태로 제시하였다. 과반의 학생들이 과학 시뮬레이션 앱의 이점으로 이해성(understanding)과 즐거움(enjoyable)을 보고하였다. 그 밖에, 편의성(convenience), 몰입(flow), 인지적 실재감(cognitive presence)을 느꼈거나, 안전상 이점을 느꼈

Table 7. One-way ANCOVA results of the three post-tests

Variable	Group	N	Mean	SD	Adjusted mean	SE	F	η^2
Enjoyment of science class	Intervention	67	3.66	.69344	3.730	.060	8.700**	.062
	Traditional	67	3.54	.62988	3.477	.060		
Intrinsic motivation	Intervention	67	3.37	.85504	3.399	.072	4.521*	.033
	Traditional	67	3.21	.80131	3.183	.072		
Academic achievement	Intervention	67	10.73	3.752	10.866	.357	4.030*	.030
	Traditional	67	9.99	3.382	9.851	.357		

* p<.05, ** p<.01

Table 8. Students' responses on the assessment of the app design

Design guidelines	Items	Strongly disagree	Weakly disagree	Not sure	Weakly agree	Strongly agree
To evoke positive emotions	Did the scenes look nice?		2(3%)	4(6%)	30(45%)	31(46%)
	Was help provided properly?		1(1%)	8(12%)	33(49%)	25(37%)
	Did the apps operate without any errors?	1(1%)	4(6%)	8(12%)	23(34%)	31(46%)
	Did the apps operate fast without delay?		1(1%)	14(21%)	20(30%)	32(48%)
To reduce unnecessary cognitive load	Was the amount of content on one screen suitable?		1(1%)	8(12%)	33(49%)	25(37%)
	Was the font size suitable?		1(1%)	5(7%)	39(58%)	22(33%)
	Was the font style suitable?			7(10%)	30(45%)	30(45%)
	Was the speed of animation suitable?		1(1%)	10(15%)	26(39%)	30(45%)
Heuristic principles from the teachers	Were the visual effects such as changes in font color or font style provided?		1(1%)	11(16%)	27(40%)	28(42%)
	Was it easy for you to find the MENU button?	1(1%)	3(4%)	11(16%)	25(37%)	27(40%)
	Was it easy to identify which part is learned at that time?			11(16%)	28(42%)	28(42%)
	Were the clips and the animations helpful to understand the content?			12(18%)	26(39%)	29(43%)

Table 9. Students' impressions toward the apps in terms of usefulness in science class

Items	Strongly disagree	Weakly disagree	Not sure	Weakly agree	Strongly agree
Do you think that science classes involving inquiry activity using simulation apps help improve academic achievement?		1(1%)	16(24%)	25(37%)	25(37%)
Do you want to continue taking science classes involving inquiry activity using simulation apps?		2(3%)	7(10%)	19(29%)	39(58%)

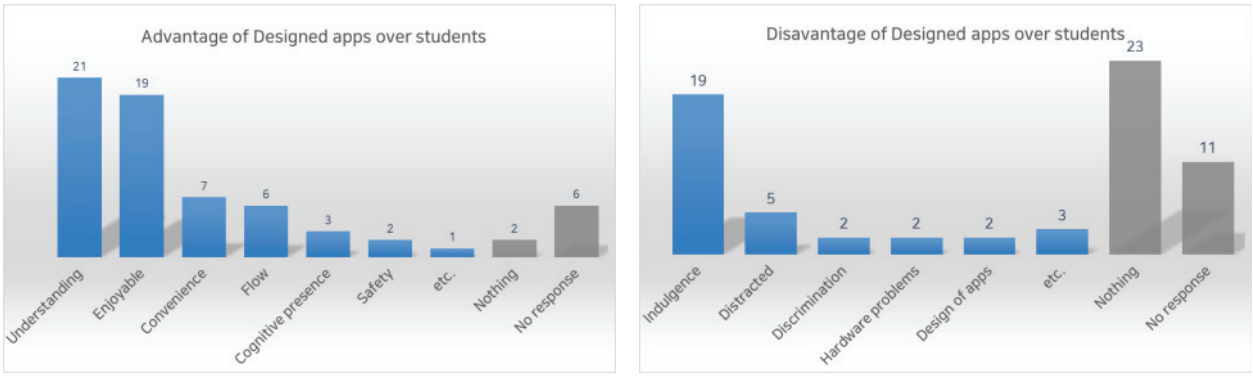


Figure 8. Pros and cons of app-assisted science class

다고 응답한 학생들이 있었다. 단점을 묻는 문항에서도 과반의 학생들은 "앱의 디자인 자체에 대해서는 단점이 없다"고 보고하거나, 또는 응답하지 않았다. 이처럼 학생 다수의 긍정적인 응답으로부터 과학 시뮬레이션 앱의 활용이 교육적으로 가치 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 앱을 활용한 수업시간에서 딴짓(indulgence)과 산만한 분위기(distracted) 때문에 불편함을 보고한 학생도 상당히 나타났다. 그 밖에, 차별(discrimination)을 느꼈거나, 하드웨어의 문제(hardware problem), 앱 디자인(design of apps)으로 인한 어려움을 보고한 학생도 있었다. 이 결과는 시뮬레이션의 디자인을 개선하는 것만으로는 다양한 환경에 처한 학생들을 모두 동시에 만족시킬 수 없음을 보여준다.

한편, 사후에 교사의 수업평은 대체로 긍정적으로 나타났다. 교사도 과학 시뮬레이션 앱의 교육적 가치를 높게 평가하였고, 수업 또한 성공적이었다고 응답하였다. 특히, 시뮬레이션 앱을 사용함으로써 과학시간에 졸던 학생들이 집중하는 모습을 볼 수 있었다고 부연하였다. 그러나, 교사는 테크놀로지에 대한 지원이 없이 혼자서는 이러한 수업을 이어나가지 못할 것 같다고 보고하였다. 비록 과학 시뮬레이션 앱의 교육적인 효과를 긍정적이라 할지라도, 실제 교사가 과학 시뮬레이션 앱을 수업에 도입하는 데에는 외적인 부담이 존재함을 시사한다.

Ⅵ. 결론 및 제언

4차 산업혁명에 대한 사회적인 관심이 증가함에 따라 미래 교육을 위한 하드웨어와 소프트웨어에 대한 관심이 증가하고 있다(Lee *et al.*, 2016). 교육적 환경에서의 범용 하드웨어로 스마트패드가 제안되고 있으나, 이것을 과학 수업에 활용하기 위한 소프트웨어의 디자인에 초점을 둔 연구는 드물었다. 본 연구는 스마트패드의 교육적 활용 가치를 높이면서, 과학교육에 특화된 소프트웨어로서 과학 시뮬레이션 앱을 개발하였고, 타당성, 사용성, 개발도구의 교육적 활용성에 초점을 둔 디자인 사례를 제시하였다.

구체적으로, 첫째, 과학 교과의 성격을 고려하여 과학 시뮬레이션을 정의하였고, 기존 시뮬레이션과 구분되는 과학 시뮬레이션의 요건을 제안하였다. 과학 시뮬레이션은 과학 교과에서 학생들의 정신 모델의 구성을 지원하는 시뮬레이션 콘텐츠를 지칭하며, 학생들이 자유도가 높은 환경에서 다채로운 옵션을 선택하거나, 실제 자연 현상에 가까운 표상들을 관찰해봄으로써 탐구활동을 체험하도록 지원한다. 둘째, 과학 시뮬레이션의 요건, 디자인 가이드라인, 개발도구의 선택을 고려하여, 중학교 과학의 '물질의 구성' 단원에 대한 과학 시뮬레이션 앱을 6개 개발하였고, 디자인을 중심으로 과학교육에서의 이점을 탐색하였다. 셋째, 본 연구에서 개발한 과학 시뮬레이션 앱 6개를 중학교 2학년 학생들을 대상으로 3주에 걸쳐 탐구활동이 포함된 7차시 수업에 적용하였고, 학업성취 및 정서적 검사도구를 통해 교육적인 효과를 통계적으로 확인하였다. 분석 결과, 본 과학 시뮬레이션 앱이 학업성취의 향상에 도움이 되며, 또한 과학 학습동기에도 긍정적인 효과가 있음이 유의하게 나타났다. 더불어, 처치반을 대상으로 실시한 사용성에 관한 설문결과에서도 학생들 다수는 과학 시뮬레이션 앱의 디자인과 이것을 활용한 수업에 대해 긍정적으로 평가하였다. 교사도 과학 시뮬레이션 앱이 학생들의 능동적인 수업 참여에 도움을 준 것 같다고 응답하였다. 요컨대, 본 연구의 결과는 과학 시뮬레이션 앱의 교육적 활용 가능성을 보여주며, 개발과정에서 고려해야 할 디자인의 방향이 타당함을 나타낸다.

후속 연구에 대한 제언은 다음과 같다. 첫째, 각 과학 시뮬레이션 앱의 이점을 개별적으로 규정하고, 그것의 효과를 구분하여 탐색할 필요가 있다. 각 디자인 특성에 대한 교육적 효과의 분석에는 감성측정 테크놀로지, 아이트래커가 활용될 수 있으며, 면담을 통해 질적연구 차원에서의 접근도 가능하다. 둘째, 학교급에 따라 다양한 과학 시뮬레이션 앱의 디자인 사례가 제안될 필요가 있다. 학생들의 인지발달 수준에 따라 교과 내용이 차이가 나듯이, 학생들의 학교급에 따라 학생들에게 효과적인 디자인 특성이 다를 수 있기 때문이다. 학습자의 맥락을 고려한 디자인의 특성은 개별화 학습을 효과적으로 촉진할 것으로 기대된다. 셋째, 교사와 학생이 과학 시뮬레이션을 개발하고 공유할 수 있는 커뮤니티 기반의 생태계를 만들기 위한 전략 연구가 필요하다. 이를 통해, 다채롭고, 경제성 있는 다양한 과학 시뮬레이션 앱을 누구나 개발하고 사용할 수 있게 된다면, 이것의 교육적 이점이 더욱 커질 것으로 전망된다.

국문요약

탐구실험 활동의 대안으로 시뮬레이션의 도입이 제안되고 있으나, 과학교육의 특수성에 초점을 둔 디자인 사례는 드문 편이다. 본 연구는 과학 교과에 특화된 시뮬레이션의 디자인을 제안하고자 이것의 정의와 요건을 제안하였고, 사용성을 고려하기 위하여 디자인 가이드라인을 설정하였다. 이어서 과학 시뮬레이션을 모바일기기용 앱의 형태로 개발하였다. 이때 개발도구는 교육적 활용성을 염두에 두고, 호환성, 기능성, 용이성, 모바일의 최적화를 고려하여 Flash와 Actionscript 3.0을 선택하였다. 실제로 과학 시뮬레이션 앱은 중학교

과학2 교과서 '물질의 구성' 단원을 기반으로 총 10차시 수업 중 7차시 탐구활동을 위해 모두 6개 제작되었다. 본 연구는 각 앱의 디자인으로부터 예상되는 탐구활동의 이점을 탐색하였고, 본문에 제시하였다. 또한, 과학 시뮬레이션 앱들을 경기도에 소재한 남녀공학 중학교의 2학년 학생 연구참여자 134명 중 처치반 67명 학생에게 적용하였고, 대조반 학생 67명과의 통계적 비교를 기반으로 교육적 효과를 조사하였다. 연구 결과, 처치반 학생들의 학업성취도, 정서적 검사도구의 점수는 모두 대조반 학생들보다 유의하게 높게 나타났다($p<.05$). 사용성에 관한 설문조사에서도 처치반 학생들은 대부분 과학 시뮬레이션의 디자인에 대해 긍정적으로 응답하였다. 본 연구는 과학 교과의 디자인 사례연구로, 과학 시뮬레이션의 디자인에 관한 지평을 확장하는 데 기여할 것으로 전망된다.

주제어 : 과학 시뮬레이션, 시뮬레이션 앱, 디자인 가이드라인, 플래시, 액션스크립트

References

Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. Science Education, 82(4), 417-436.

Ahmed, S. & Parsons, D. (2013). Abductive science inquiry using mobile devices in the classroom. Computers & Education, 63, 62-72.

Ardito, C., Costabile, M. F., De Marsico, M., Lanzilotti, R., Levialdi, S., Roselli, T., & Rossano, V. (2006). An approach to usability evaluation of e-learning applications. Universal Access in the Information Society, 4(3), 270-283.

Balamuralithara, B. & Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. Computer Applications in Engineering Education, 17(1), 108-118.

Blake, C. & Scanlon, E. (2007). Reconsidering simulations in science education at a distance: features of effective use. Journal of Computer Assisted Learning, 23(6), 491-502.

Chen, S., Chang, W. H., Lai, C. H., & Tsai, C. Y. (2014). A comparison of students' approaches to inquiry, conceptual learning, and attitudes in simulation-based and microcomputer-based laboratories. Science Education, 98(5), 905-935.

Chiu, T. K. & Churchill, D. (2015). Exploring the characteristics of an optimal design of digital materials for concept learning in mathematics: Multimedia learning and variation theory. Computers & Education, 82, 280-291.

Cho, H., Kang, D., Kang, T., Kim, M., Kim, Y., Kim, H., Moon, T., Lee, Y., Lee, J., & Cho, Y. (2011). High school science textbook. Seoul: Chunjae Education.

Cober, R., Tan, E., Slotta, J., So, H. J., & Könings, K. D. (2015). Teachers as participatory designers: Two case studies with technology-enhanced learning environments. Instructional Science, 43(2), 203-228.

Edelson, D. C. (2001). Learning-for-use: A framework for the design of technology-supported inquiry activities. Journal of Research in Science Teaching, 38(3), 355-385.

Elliot, A. J. (1999). Approach and avoidance motivation and achievement goals. Educational Psychologist, 34(3), 169-189.

Eryilmaz, E., Chiu, M. M., Thoms, B., Mary, J., & Kim, R. (2014). Design and evaluation of instructor-based and peer-oriented attention guidance functionalities in an open source anchored discussion system. Computers & Education, 71, 303-321.

Fraser, B. J. (1981). Test of science-related attitudes (TOSRA). Australian Council for Educational Research.

Glynn, S. M., Brickman, P., Armstrong, N., & Taasoobshirazi, G. (2011). Science motivation questionnaire II: Validation with science majors and nonscience majors. Journal of Research in Science Teaching, 48(10), 1159-1176.

Gustafson, K. L. & Branch, R. M. (1997). Revisioning models of instructional development. Educational Technology Research and Development, 45(3), 73-89.

Han, Y. H., Jeun, E. S., & Paik, S. H. (2014). Analysis of scientific inquiry elements in middle school science textbooks, teachers cognition, and an experiment case. Journal of the Korean Association for Science Education, 34(4), 349-357.

Hirsh-Pasek, K., Zosh, J. M., Golinkoff, R. M., Gray, J. H., Robb, M. B., & Kaufman, J. (2015). Putting education in "educational" apps lessons from the science of learning. Psychological Science in the Public Interest, 16(1), 3-34.

Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. Learning and Instruction, 17(6), 722-738.

Jin, S. H. (2013). Visual design guidelines for improving learning from dynamic and interactive digital text. Computers & Education, 63, 248-258.

Johnson, D. & Wiles, J. (2003). Effective affective user interface design in games. Ergonomics, 46(13-14), 1332-1345.

Kang, M., Kim, H. S., & Lee, J. (2011). The effects of flow and cognitive presence on learning outcomes in a middle school science class using web-based simulation. Journal of Educational Information and Media, 17(1), 39-61.

Kapur, M. (2010). Productive failure in mathematical problem solving. Instructional Science, 38(6), 523-550.

Kim, K. S., Lee, S. W., & Noh, T. H. (2009). The relationships among elementary school students` cognitive, affective, and behavioral characteristics related to science learning and their perceptions toward scientific and/or technological professions. Journal of Korean Elementary Science Education, 28(2), 121-131.

Kim, M. H. & Kim, Y. (2012). Preference and actuality for science laboratory and teaching environment of science teachers' in primary and secondary school. Journal of the Korean Association for Science Education, 32(10), 1567-1579.

Kim, S. H., Kim, Y. B., Kang, S. J., Kim, H. C., Shin, J. H., Park, S. H., & Min, B. C. (2008). Korean education longitudinal study 2005 (IV). Seoul: Korean Educational Development Institute.

Kim, Y., Son, J., & Song, Y. (2010). Analysis of the biology major teachers' misconceptions on the pathway of image formation in eye vision. Biology Education, 38(2), 331-341.

Kim, Y. Y. & Chung, H. M. (2012). The development of scaffolding guidelines for instructors to promote students' self-directed learning. Journal of Educational Studies, 43(1), 1-31.

Klein, J., Moon, Y., & Picard, R. W. (2002). This computer responds to user frustration: Theory, design, and results. Interacting with Computers, 14(2), 119-140.

Kort, B., Reilly, R., & Picard, R. W. (2001). An Affective Model of Interplay between Emotions and Learning: Reengineering Educational Pedagogy-Building a Learning Companion. In Proceedings IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (pp. 43-46). Madison, WI. USA.

Lai, C. H., Yang, J. C., Chen, F. C., Ho, C. W., & Chan, T. W. (2007). Affordances of mobile technologies for experiential learning: the interplay of technology and pedagogical practices. Journal of Computer Assisted Learning, 23(4), 326-337.

Lee, C. Y. (2015). The effects of smart applications in didactic instructions on inquiry activities : The development and application of smart applications (Unpublished master's thesis). Seoul National University, Seoul.

Lee, C. Y. & Hong, H. (2017). Development of a science simulation to support authentic observation in precipitation reactions. School Science Journal, 11(2), 236-245.

Lee, Y. M., Kang, M. H., Yoon, S. H., & Park, J. Y. (2016). Analysis of predicting variables of the 21st century skills in elementary smart-learning using smart-pads. The Journal of Elementary Education, 29(4), 201-226.

Libman, D. & Huang, L. (2013). Chemistry on the go: review of chemistry apps on smartphones. Journal of Chemical Education, 90(3), 320-325.

Lindgren, R. & Schwartz, D. L. (2009). Spatial learning and computer simulations in science. International Journal of Science Education, 31(3), 419-438.

Liu, H. C., Andre, T., & Greenbowe, T. (2008). The impact of learner's prior knowledge on their use of chemistry computer simulations: A case study. Journal of Science Education and Technology, 17(5), 466-482.

Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. Educational Psychologist, 38(1), 43-52.

Oh, J. J. & Kang, G. (2016). History of Gravitational-wave Detection Experiments. New Phys.: Sae Mulli, 66, 264-271.

Park, H. J. (2013). A study of middle school science teachers` perceptions on science lessons with experiments. Journal of Science Education, 37(1), 79-86.

Park, J. (2017). An Analysis on the changes of achievement standards and inquiry activities in the 2015 revised national elementary school science curriculum. Journal of Korean Elementary Science Education,

36(1), 43-60.
Park, J. S. & Jung, K. M. (2010). Analyzing experiment illustrations and error in illustrations in high school chemistry 1 textbooks. Journal of the Korean Association for Science Education, 30(2), 181-191.
Park, S. K., Kang, M. J., & Kim, S. D. (2001). The development of web-based instruction program on oceanography unit and the analysis of its effects in Earth Science class. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 21(2), 264–278.
Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkuilen, J., Ng, F., Wang, Y., & Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. Journal of Research in Science Teaching, 49(3), 394-419.
Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2009). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. The Journal of the Learning Sciences, 13(3), 337-386.
Rutten, N., Van Joolingen, W. R., & Van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. Computers & Education, 58(1), 136-153.
Schutz, P. A. & Pekrun, R. E. (2007). Emotion in education. Boston: Elsevier Academic Press.
Smetana, L. K. & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. International Journal of Science Education, 34(9), 1337-1370.
Trundle, K. C. & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. Computers & Education, 54(4), 1078-1088.
Um, E., Plass, J. L., Hayward, E. O., & Homer, B. D. (2012). Emotional design in multimedia learning. Journal of Educational Psychology, 104(2), 485.
Wang, J. Y., Wu, H. K., Chien, S. P., Hwang, F. K., & Hsu, Y. S. (2015). Designing applications for physics learning: Facilitating high school students' conceptual understanding by using tablet pcs. Journal of Educational Computing Research, 51(4), 441-458.
Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. International Journal of Science Education, 27(6), 705-735.
Yang, I. H., Jeong, J. W., Kim, Y. S., Kim, M. K., & Cho, H. J. (2006). Analyses of the aims of laboratory activity, interaction, and inquiry process within laboratory instruction in secondary school science. Journal of the Korean earth science society, 27(5), 509-520.
Zacharia, Z. (2003). Beliefs, attitudes, and intentions of science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in physics. Journal of Research in Science Teaching, 40(8), 792-823.