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

화학 결합에서 모바일 증강현실을 이용한 과정기반 안내탐구학습이 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감에 미치는 영향

전영은[1], 지준용[2], 홍훈기[1*]
[1]서울대학교, [2]소속없음

The Effect of Process Oriented Guided Inquiry Learning Using Mobile Augmented Reality on Science Achievement, Science Learning Motivation, and Learning Flow in Chemical bond

Young-Eun Jeon[1], Joon-Yong Ji[2], Hun-Gi Hong[1*]
[1]Seoul National University, [2]No Affiliation

ARTICLE INFO

Article history:
Received 6 April 2022
Received in revised form
29 April 2022
2 June 2022
Accepted 8 June 2022

Keywords:
Mobile augmented reality, Process oriented guided inquiry learning, Chemical bond, Science achievement, Science learning motivation, Learning flow

ABSTRACT

In this paper, we developed an augmented reality learning tool suitable for chemical bond learning and proposed a process-oriented guided inquiry learning using mobile augmented reality (POGIL-MAR) to find out how it affects science achievement, science learning motivation and learning flow. Participants were 139 10th-grade students from a coeducational high school in Gyeonggi-do, and they were randomly assigned to the control group (TL), the treatment group 1 (POGIL), and the treatment group 2 (POGIL-MAR). They learned the concept of the chemical bond from the Integrated Science subject for four class periods. Results of two-way ANCOVA revealed that the POGIL-MAR group scored significantly higher than the other groups in a science achievement test, science learning motivation test, and learning flow test, regardless of their prior science achievement. In addition, in the case of the low-level group, the POGIL-MAR group showed a statistically significant improvement in achievement compared to the TL and POGIL groups. The MANCOVA analysis for sub-factors of science learning motivation show that the POGIL-MAR group had significantly higher scores in intrinsic motivation, career motivation, self-determination, self-efficacy, and grade motivation. In particular, the interaction effect between the teaching and learning method and the level of prior achievement was significant in the intrinsic motivation. Meanwhile, the MANCOVA analysis for sub-factors of learning flow show that the POGIL-MAR group had significantly higher scores in clear goals, unambiguous feedback, action-awareness merging, sense of control, and autotelic experience. Based on the results, educational implications for effective teaching and learning strategy using mobile augmented reality are discussed.

Ⅰ. 서론

현대 화학에서 화학 결합은 이온성 화합물과 분자를 구분하는 데 있어 기본이 되는 개념으로, 화학 학습에서 화학 결합은 학생들이 알아야 할 핵심 개념이다(Hurst, 2002). 우리나라 2015 개정 과학과 교육과정에서도 화학 결합은 중요하게 다뤄지는데, 중학교 과정에서는 물질의 입자에 대한 기본 개념을 학습한 뒤 간단한 분자와 이온의 형성 과정을 학습하도록 구성되어 있고, 고등학교 과정에서는 통합과학과 화학 I에서 전자배치 규칙을 학습한 뒤 입자 모형을 이용하여 이온 결합과 공유 결합을 학습하도록 구성되어 있다(MOE, 2015).

그러나 학생들은 화학 결합을 학습하는 과정에서 어려움을 경험하곤 한다(Bergqvist *et al.*, 2013; Butts & Smith, 1987; Griffiths & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 2000; Nahum *et al.*, 2007). 이는 화학 결합이 본질적으로 미시적인 특징을 보이기 때문이다. 화학 결합은 눈에 직접적으로 보이는 것이 아닌 추상적인 개념이기 때문에 학생들은 이를 상상하거나 거시적인 현상과 연결시키기 어려워한다. 예를 들어, 이온 화합물이 분자로 된 공유 결합이라고 잘못 이해할 뿐만 아니라(Pérez *et al.*, 2017), 학생들이 공간적 사고 능력이 부족하여 분자 구조를 제대로 이해하는 데 어려움을 겪기도 한다(Bergqvist *et al.*, 2013; Butts & Smith, 1987; Furio & Calatayud, 1996; Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991; Wu, & Shah, 2004). 이로 인해 교과서 위주의 교사 설명을 통해 결합 모양을 학습한 학생들이 분자 구조를 평면으로 생각하려는 경향을 보이기도 하며(Bergqvist *et al.*, 2013), 입체적 분자 구조에 대해 3차원적 배열을 고려하기 보다 루이스 구조식에서 분자 모양을 결정하는 경향을 보이기도 한다(Furio & Calatayud, 1996; Tuckey, Selvaratnam, & Bradley, 1991). 이에 연구자들은 명확한 화학 결합 개념 형성을 위해 다양한 화합물의 예시를 접할 수 있도록 학생들이 모형을 직접 그려보거나 설명할 수 있는 새로운 학습 방법의 필요성을 제안하였다(Shin & Woo, 2016). 즉, 화학 결합 이해의 어려움을 해결하기 위해서는 화학 수업에 사용되는 교수학습 방법 및 학습 도구의 개선이 필요하다.

이렇듯 미시적인 개념들을 다루는 화학 교육에서는 학생들의 화학 학습을 증진시키기 위해서 다양한 교수학습 방법을 제안해왔다(Chamely-Wiik *et al.*, 2014; Ohn-Sabatello, 2020; Robert *et al.*, 2016;

* 교신저자 : 홍훈기 (hghong@snu.ac.kr)
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2022.42.3.357

Talanquer & Pollard, 2017). 그중에서도 과정기반 안내탐구학습(Process Oriented Guided Inquiry Learning 이하, 'POGIL')은 1990년대에 미국의 대학교 화학 수업에 처음 도입되어(Farrell, Moog, & Spencer, 1999), 다양한 교과에 확대 시행되고 있으며, 대상도 중학생부터 예비교사 교육까지 다양하게 적용되고 있는 교수학습 방법이다(Hanson, 2013; Rodriguez *et al.*, 2020). POGIL 교수학습은 5E와 7E와 같은 순환학습 모형과 비슷한 구성방식을 지니고 있다(Hanson, 2006). 과학적 탐구 기능과 추리 능력의 신장 뿐만 아니라 과학지식의 획득 및 발달에 목적을 두고 있는 순환학습 모형처럼(Abraham, 1992; Lawson, 2010; Martin, Sexton, & Franklin, 2009), POGIL 역시 과학 개념 습득과 과학적 탐구 기능을 동시에 함양할 기회를 제공하는 교수학습 방법이다(Moog & Spencer, 2008).

POGIL의 교수학습 효과를 살펴보면, 분자 구조를 비롯한 다양한 화학 학습과 관련하여 전통적 강의 그룹보다 POGIL 그룹이 통계적으로 유의미한 학업 성취도를 보였다(Canelas, Hill, & Carden, 2019; Hein, 2012; Walker & Warfa, 2017). 또한, 화학 학습에 대한 태도와 자아 효능감이 POGIL의 개입으로 인해 통계적으로 유의미한 향상을 보였다(Vishnumolakala *et al.*, 2017). 이는 POGIL 교수학습 방법이 학생들에게 긍정적인 인지적, 정서적 경험을 제공했음을 시사한다. 국내에서는 다양한 순환학습 모형을 적용해왔으나, POGIL을 적용한 연구는 없는 것으로 보인다. 따라서 국내에서도 POGIL 교수학습 방법을 학교 현장에 적용하여 학습 효과를 검증해 볼 필요가 있다.

한편, 최근 기술이 발달함에 따라 과학 교육에서도 학습 도구로서 증강현실에 대한 높은 관심을 보이고 있다. 증강현실(Augmented Reality 이하, 'AR')이란 사용자가 보고 있는 실제 세계에 디지털 기술로 구현된 가상 세계를 합쳐 사용자에게 혼합된 영상을 지각하도록 하는 인터페이스 기술을 의미하며, 사용자에게 실재감, 몰입감, 현실감을 제공하고, 학습 콘텐츠에 적용 시 학습 장면에 대한 맥락적 인식을 높여준다(Azuma, 1997; Billinghurst, Grasset, & Looser, 2005; Milgram & Kishino, 1994). 이러한 기술은 교육 분야에서 직접 관찰이 어렵거나, 글이나 2차원 자료로 설명이 어려운 학습 내용과 추상적인 학습 개념 등에 적용하기 유용하다(Dünser & Hornecker, 2007; Kafumann & Schmalstieg, 2003; Shelton, 2003). 특히, 3차원 구조의 입체적 표현이 가능한 증강현실은 화학 결합 구조를 이해하는 데 도움을 주는 학습 도구로서 학습 보조 역할을 한다(Abdinejad *et al.*, 2021; Cen *et al.*, 2019; Rodríguez *et al.*, 2021).

국내 과학 교육에서 증강현실 관련 연구를 살펴보면, 물리 분야에서는 전기 회로(Lee *et al.*, 2010), 화학 분야에서는 화학 결합(Shin *et al*., 2020; Shin, Noh, & Lee, 2020), 물질의 입자성(Lee, Park, & Noh, 2020), 생명과학 분야에서는 몸의 기관과 생김새(Kim, 2009; Rye & Park, 2017), 소화와 순환(Chung & Lee, 2015), 그리고 지구과학 분야에서는 지구와 달(Ko & Kim, 2012), 태양계와 행성(Lee & Choi, 2011; Suh, 2008), 물의 순환(Kye & Kim, 2008)에 대한 연구가 진행되었다. 연구 변인으로는 학업 성취도, 과학탐구능력, 흥미, 학습 동기, 학습 몰입, 과학적 태도, 수업의 즐거움, 수업 만족도 등으로 다양하다. 이 중 인지적 영역 차원에서 학업 성취도 경우는 학업 성취도가 증가했다는 연구(Suh, 2008), 일부만 증가했다는 연구(Lee *et al.*, 2010; Lee, Park, & Noh, 2020)가 혼재하였다. 또한, 정의적 영역 차원에서 학습 동기의 경우는 증강현실 학습 도구의 사용으로 인해 학습 동기가 유의미하게 향상된 연구도 있었지만(Lee *et al.*, 2010), 그렇지 않았던 연구(Ko & Kim, 2012)가 혼재하였다. 이렇게 연구마다 효과가 다르게 나타난다는 것은 증강현실과 접목된 수업 맥락 및 교수학습 방법에 따라 학습 효과가 달라질 수 있음을 암시한다. 이에 증강현실 학습 도구가 제대로 효과를 발휘하기 위해서는 수업 맥락에 따라 잘 활용할 수 있는 교수학습 전략을 검토해 볼 필요가 있다.

앞서 언급한 것처럼 증강현실을 활용한 과학 교육 연구에서 연구 변인은 매우 다양하다(Arici *et al.,* 2019). 그중 인지적 영역에서의 학업 성취도는 대부분의 연구에 변인으로 제시되어 있어 정의적 영역에서의 동기와 몰입감을 위주로 선행 연구를 분석하였다. 동기(Motivation)는 학습자의 행동을 이끌어내는 근원적 요소로 행동이 가져야 할 방향을 제시해주고, 행동을 얼마나 오래 유지할 의향이 있는지와 얼마나 열심히 임할 것인지에 대한 정서적 특성이며, 학습 동기는 학습 활동에 대해 학습자가 가지는 태도나 목적, 학습에 대한 의식 또는 의지의 정도를 의미한다(Bomia *et al*., 1997; Di Serio, Ibáñez, & Kloos, 2013; Eccles & Wigfield, 2002). 이러한 학습 동기는 학습자 중심의 자기 주도적 학습을 이끄는 원동력이며, 과학 학업 성취의 향상을 가져다준다고 보고되었다(Arici *et al*., 2019, Glynn, Taasoobshirazi.& Brickman, 2007).

증강현실 활용과 관련한 과학 교육에서 학습 동기를 연구 변인으로 살펴본 선행 연구에 따르면, 학업 성취도와 학습 동기를 함께 고려하고 있으며, 증강현실을 활용한 과학 학습이 학업 성취도와 학습 동기 향상에 효과적인 방법임을 보여주었다(Chiang, Yang, & Hwang, 2014; Kirikkaya & Basgül, 2019: Lee *et al.*, 2010). 반면, 조합형 증강현실 마커시스템 활용 수업이 학업 성취도에는 긍정적인 영향을 주었으나, 학습 동기에는 영향이 없었음을 보여주기도 하였다(Ko & Kim, 2012).

몰입(Flow)은 자신이 의미 있는 활동에 관여하고 있다고 느끼며 목표에 집중한 상태를 의미하며, 몰입 경험이 환경과 적극적인 상호작용할 때 발생하고, 사람들이 활동에 열중하며 높은 수준의 동기부여를 경험할 때 발생한다고 보고되었다(Csikszentmihalyi, 1975; Csikszentmihalyi, 1997).

증강현실 활용과 관련한 과학 교육에서 학습 몰입감을 연구 변인으로 살펴본 선행 연구에 따르면, 현존감이 학습 몰입감에 영향을 주며, 학습 몰입감이 학업 성취도에 영향을 주는 중요한 매개변인임을 보여주었다(Kye & Kim, 2008; Salar *et al.*, 2020; Suh, 2008). 또한, 학습 몰입의 하위 요인을 분석한 연구에서는 과제에 대한 집중, 시간 개념의 왜곡, 학습 통제감, 분명한 피드백, 자기만족적 경험에 긍정적인 영향을 주었음을 보고하였고(Ibáñez *et al.*, 2014), 증강현실 활용 탐구학습이 과학탐구능력, 과학적 태도, 학습 몰입에 미치는 효과에 대해서 알아본 연구에서는 과학탐구능력이 긍정적인 영향을 미치진 않았으나, 과학적 태도와 학습 몰입은 긍정적인 영향을 주었음을 보고하였다(Chung & Lee, 2015).

이러한 연구 결과들은 정의적 영역이 인지적 영역보다 상대적으로 낮은 우리나라 학생들의 인지적, 정의적 성취 불일치 문제에 증강현실을 활용한 학습이 하나의 해결 방안이 될 수 있음을 시사한다(Chung & Shin, 2017; Kwak, 2017; Sang *et al.,* 2016).

따라서 본 연구에서는 결합 구조 및 분자 모양에 대한 이해의 어려움을 해소하기 위한 방안으로 학습 도구로서 화학 결합 모바일 증강현실(MAR) 애플리케이션을 개발하고, 이를 과정기반 안내탐구학습

Table 1. The number of participants

Level	TL (Control group)	POGIL (Treatment group 1)	POGIL-MAR (Treatment group 2)	Total
High	24	23	23	70
Low	23	23	23	69
Total	47	46	46	139

(POGIL)에 적용하여 학습 효과가 있는지를 알아보았다. 즉, 고등학교 1학년 통합과학의 화학 결합 수업 맥락에서 POGIL과 MAR이 조합된 교수학습 방법이 학생들의 인지적 영역(과학 학업 성취도)과 정의적 영역(과학 학습 동기, 학습 몰입감)에 어떤 영향을 미치는지를 조사하였다. 이에 연구 문제는 다음과 같다.

1. 화학 결합 학습에서 사전 과학 성취도와 교수학습 방법(전통적 강의, POGIL, POGIL-MAR)에 따라 과학 학업 성취도에 미치는 영향은 어떠한가?
2. 화학 결합 학습에서 사전 과학 성취도와 교수학습 방법(전통적 강의, POGIL, POGIL-MAR)에 따라 과학 학습 동기에 미치는 영향은 어떠한가?
3. 화학 결합 학습에서 사전 과학 성취도와 교수학습 방법(전통적 강의, POGIL, POGIL-MAR)에 따라 학습 몰입감에 미치는 영향은 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

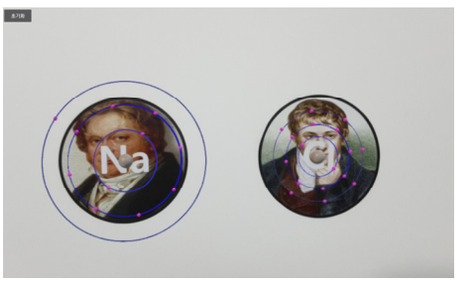
본 연구는 생명윤리 심의위원회(IRB)에서 연구 승인을 받은 후, 경기도에 소재한 남녀 공학 고등학교 1학년을 대상으로 연구의 목적과 내용, 연구 방법 등을 설명하고 부모 또는 법정 대리인 및 학생 본인으로부터 연구 참여에 대한 동의를 얻었다. 이에 자발적으로 6개 학급 150명이 연구에 참여하였다. 연구자는 전통적 강의 집단(Traditional Lecture 이하 'TL'; 통제 집단), 과정기반 안내탐구학습 집단(Process Oriented Guided Inquiry Learning 이하 'POGIL'; 실험 집단1), 모바일 증강현실을 활용한 과정기반 안내탐구학습 집단(Process Oriented Guided Inquiry Learning using Mobile Augmented Reality 이하 'POGIL-MAR'; 실험 집단2)을 각각 2개 학급씩 무선 배치하였다. 참여 학생 대상으로 연구 처치 전 사전 과학 성취도 검사를 실시하였고, 점수의 중앙값에 기초하여 학생들을 상위와 하위로 구분하였다. 연구자는 학생들의 개인 정보 보호를 위해 임의의 ID로 부호화한 자료를 제공받아 활용하였다. 참여 의사를 밝힌 학생은 150명이었으나, 이 중에서 한 번 이상 사전 또는 사후 검사 실시 기간에 빠진 학생이나 무응답을 한 참여자 11명을 제외하고 총 139명에 대한 응답을 분석하였다. 사전 과학 성취 수준에 따른 집단별 연구 참여자 수는 Table 1과 같다. TL 집단은 47명, POGIL 집단은 46명, POGIL-MAR 집단은 46명이었고, 사전 성취 수준에서 상위 집단 학생은 70명, 하위 집단 학생은 69명이었다. POGIL-MAR 집단 학생들을 대상으로 증강현실 기기를 다루어 본 경험에 대한 설문 조사 결과, 15명(33%)의 학생만 증강현실에 익숙하다는 답변을 하여 해당 실험 집단 학생들 모두가 증강현실 환경에 익숙하도록 수업 처치 전 오리엔테이션 시간에 원소 카드를 가지고 화학 결합 애플리케이션 사용 방법을 숙지하였다.

모든 사전·사후 검사와 수업 처치는 연구 참여 학교에 근무 중인 과학 교사 1명이 담당하였다. 해당 교사는 화학 교육을 전공한 경력 15년의 교사이며 최종 학위는 석사로, 연구 참여 이전에 POGIL 교수학습 방법은 다른 학년에 적용해 본 경험이 있으나, 증강현실을 활용한 수업 및 연구를 경험해본 적이 없었다. 이에 해당 수업 방식에 익숙하도록 증강현실 애플리케이션과 PPT, 교사용 수업 지도안 등의 교수학습 자료를 미리 제공하였고, 연구 내용과 교수 방법 및 지침을 4주 동안 5회에 걸쳐 숙지하도록 하였다. 처치가 진행되는 동안 연구자 중 1인이 수업 처치가 계획대로 진행되는지를 살펴보고자 수업에 참관하였다.

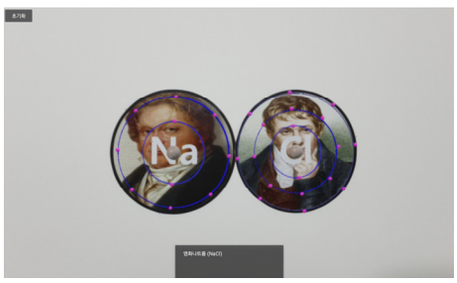
2. 연구 절차

먼저, 본 연구 내용 주제인 '화학 결합'과 관련하여 통합과학 교과 '물질의 규칙성과 결합' 단원의 성취 기준과 해당 교과서 내용을 분석하여 POGIL 활동에 대한 교사용 수업 지도안, POGIL 활동지, 그리고 증강현실 환경에서의 개념 이해를 위한 학습 자료 등을 개발하였다. POGIL 활동지는 Trout(2012)이 개발한 활동지를 참고하였다. 이러한 교수학습 자료의 내용 수준, 어휘 등의 적절성에 대해서 과학 교육 전문가 2인과 석사학위 이상의 현직 교사 3인이 여러 차례 논의를 거쳐 수정 및 보완하였다. 그리고 최종 확정된 POGIL 활동지(POGIL worksheets)와 모바일 증강현실기반 POGIL 활동지(POGIL-MAR worksheets)를 수업 처치에 사용하였다. POGIL-MAR 활동지의 경우는 POGIL 활동지와 구성이 동일하나 증강현실 학습 도구의 사용이 필요한 곳에 AR 마커를 표시하였다.

동시에 모바일 증강현실 학습 도구 사용을 위해 2015 개정 교육과정으로 출판된 통합과학 교과서를 모두 분석한 후 교과서에서 결합 관련 예시로 제공된 이온 결합 및 공유 결합에 대해 보어 전자배치가 구현되고 3차원 입체구조가 나타나도록 마커 조합형 증강현실 학습 도구를 개발하였다. 이전 증강현실 학습 도구가 번호나 기하학적 무늬의 마커 형태였다면 이와는 다르게 원소를 발견한 과학자 또는 원소와 관련된 과학자 인물 사진을 AR 마커로 인식하도록 개발하여 과학적 호기심이 향상되도록 유도하였고, 카드의 형태를 네모가 아닌 원형으로 구현하여 결합 방향성에 대한 자율성을 높였다. 또한, 원자 크기를 실제 크기에 따른 상대적 비율로 적용하고 결합 형성 시 원소 반지름의 크기 변화도 고려하여 보다 실제 결합과 가깝도록 설계하였다. 해당 도구의 개발은 안드로이드 운영체제(Android OS) 기반의 스마트 기기용 증강현실 애플리케이션의 형태로 과학 교육 전문가 1인, 석사학위를 취득한 현직 교사 1인, 그리고 애플리케이션 개발자 1인이 여러 차례 논의와 수정을 거쳐 최종적으로 개발을 완성하였다. 활동에 사용한 모바일 증강현실 학습 도구의 사용 예시는 Figure 1과 같다. Figure 1의 (a)는 나트륨(Na)과 염소(Cl)의 보어 전자 배치를,



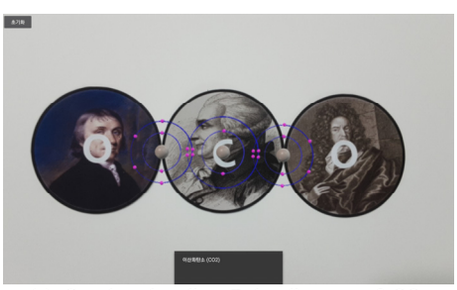
(a) Bohr diagrams of Na and Cl



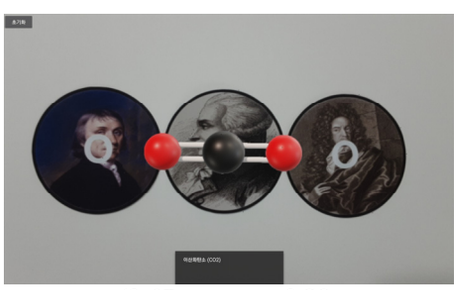
(b) Ionic bonding Bohr diagram of NaCl

(c) 3D structure of NaCl(front)

(d) 3D structure of NaCl(side)



(e) Covalent bonding Bohr diagram of CO_2



(f) 3D structure of CO_2

Figure 1. Captured images of AR chemical bond application

(b)는 이온 결합 물질인 염화나트륨(NaCl)의 보어 전자 배치를 나타낸 것이다. (a)의 두 원소 카드를 가까이하여 맞닿는 순간 나트륨(Na)의 원자가 전자가 염소(Cl)의 가장 바깥 껍질로 이동하여 (b)처럼 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)이 되면서 이온 결합을 형성하게 된다. (b)가 나타난 상태에서 모바일 기기 화면을 터치하면 (c)와 같이 3차원 입체구조가 나타나고, 기기를 움직이면 (d)와 같이 측면 관찰도 가능하다. (e)는 공유 결합 물질인 이산화탄소(CO_2)의 보어 전자 배치를, (f)는 이산화탄소(CO_2)의 3차원 입체구조를 나타낸 것이다.

수업 처치 이전에 사전 검사로 원소와 분자에 대한 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 그리고 학습 몰입감에 대한 검사를 실시하였다. POGIL 교수학습 방법과 모바일 증강현실 학습 도구에 익숙해지도록 POGIL 집단에는 전반적인 POGIL 방법을, POGIL-MAR 집단에는 POGIL 방법과 모바일 증강현실 앱 이용 방법을 주기율표의 원소에 대한 주제를 가지고 설명하였다. 이후 통합과학의 '물질의 규칙성과 결합' 대단원에서 화학 결합과 관련된 소단원을 POGIL 활동의 주제로 재구성하여 총 4차시의 수업을 진행하였다. 활동 주제는 원소의 주기적 성질, 원자의 전자 배치, 화학 결합의 종류, 화학 결합 모형으로, 각 1차시씩 차시당 수업 시간은 50분으로 진행하였다. 세 집단의 수업 내용은 동일하게 구성하였다. 통제 집단의 경우, 교사가 강의식 수업으로 수업 목표에 따라 학습 내용을 가르치고 교과서 내용을 확인하며 제시된 문제를 풀고 설명하는 방식으로 수업을 실시하였으며, 교사가 결합 그림과 같은 판서가 어려운 부분에 대해서는 필요에 따라 교실 화면으로 PPT를 사용하여 결합에 관한 내용을 설명하였다. 실험 집단 중 POGIL 집단의 경우는 학생 중심의 소집단 활동으로 학생들이 4인 1조로 구성되어 학습에 참여하도록 하였다. POGIL에서의 소집단 구성원은 사전 성취도가 높은 학생 2인, 사전 성취도가 낮은 학생 2인으로 이질적으로 구성하였고, 수업 처치 기간 동안 소그룹 구성원은 그대로 유지하였다. 또한, POGIL에서 제안한 각자의 역할에 따른 개별 책무성을 부여하고자 관리자, 기록자, 발표자, 전략 분석가를 선택하도록 하고 매 차시별 돌아가면서 맡도록 하여 POGIL 활동에 적극적으로 참여하도록 하였다(Farrell, Moog, & Spencer, 1999; Hanson, 2006; Liyanage, Lo, & Hunnicutt, 2021). POGIL-MAR 집단도 소집단 구성 방법은 POGIL 집단과 동일하게 하고 학생들은 스마트 태블릿 기기와 마커 세트를 조별로 한 세트씩 가지고 수업에 참여하게 하였다. POGIL 집단과 POGIL-MAR 집단 학생들은 개발된 활동지를 제공받아 수업에 활용하였다. 수업 처치가 끝난 후에는 학습한 내용에 대해 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 그리고 학습 몰입감 검사를 실시하였다. 학습에 사용했던 POGIL-MAR 활동지와 모바일 증강현실 학습 도구를 활용한 POGIL 활동을 Figure 2에 제시하였다.

3. POGIL 교수학습 전략과 증강현실을 활용한 POGIL(POGIL-MAR) 교수학습 전략

POGIL 교수학습은 탐색(Exploration), 개념 발명(Concept Invention), 적용(Application) 단계의 순환학습 형태를 따른다(Farrell,

Figure 2. Examples of POGIL-MAR worksheets and POGIL-MAR activity

Moog, & Spencer, 1999; Moog & Spencer, 2008). 이러한 POGIL이 소그룹 안에서 잘 이루어지기 위해서는 POGIL 활동지의 구성 요소를 잘 파악할 필요가 있다(Table 2). 교사는 POGIL 활동 시작에 앞서 학생들이 완성해야 할 활동지를 제공하며, 활동 주제 및 학습 목표를 언급한다. 학생들은 소그룹 안에서 POGIL 활동을 위한 역할을 정하고 제공받은 활동지를 기반으로 활동을 시작한다. 먼저, 탐색 단계로, 학생들은 표, 그래프, 그림 등의 모델(Model)을 활동지에서 접하게 되는데, 이를 탐색하면서 활동지에서 제시된 유도 질문(Directed Questions)을 소그룹 안에서 협력하여 해결한다. 이때 제공된 질문은 모델에서 직접 답을 찾을 수 있다. 질문에 대한 답을 찾는 동안 학생들은 학습할 개념에 대한 규칙성을 발견하게 되고, 이렇게 학생들이 탐색하며 수집한 내용이 일반화된 결론이나 학습 개념이 성립되었는지 확인하는 수렴 질문(Convergent Questions)을 활동지에서 접하게 된다. 학생들은 질문의 답을 모델을 통해 얻을 수 있는 것이 아닌 지금까지 발견한 혹은 알아낸 답을 통해 구성해야 한다. 이 단계가 개념 발명 단계이다. 학생들이 이제까지 모은 자료를 바탕으로 개념을 형성하는데, 이 과정에서 교사는 소그룹 내에서 개념 형성이 잘 이루어질 수 있도록 세심한 관찰이 필요하다. 혹시 특정 소그룹이 이 단계의 문제 해결에 어려움을 겪고 있다면, 해당 소그룹에 다가가 추가 질문이나 설명으로 학습에 뒤처지지 않도록 도움을 준다. 만약, 대부분의 소그룹이 어려움을 겪고 있을 때에는 교사는 잠시 활동을 중단하고 각 소그룹의 발표자를 통해 POGIL 활동을 통해 얻은 결론에 대해 토론하도록 하여 소그룹 간 합의된 답변을 얻을 수 있도록 한다. 교사는 활동 중간에 학생들의 개념 이해 정도를 파악하고자 해당 활동까지의 개념을 이해했는지 간단한 개념 확인(Concept Checks) 문제를 제시하여 이를 점검하는 시간을 갖는다. 그 후, 학생들은 소그룹 내에서 형성된 개념을 바탕으로 활동지를 통해 간단한 지식을 적용하는 연습과 새로운 상황에 대한 문제를 해결하는 확장 질문(Divergent Questions)으로 적용 단계를 경험한다. 즉, 적용 단계에서 학생들이 새롭게 정립된 개념이 일반화되는 것을 돕기 위해 이를 다른 상황이나 맥락에 적용시켜 개념을 확장시킨다. 활동의 말미에는 학생들이 해당 차시에 학습한 내용에 대한 조별 보고서를 작성하고 이를 발표하는 시간을 가지며, 학습에 대한 점검 및 평가를 수행한다.

이렇듯 POGIL 활동에서 활동지에 제시된 질문은 학생의 사전 지식, 정보, 모델을 기반으로 이해 과정을 직접 표현하도록 한 비판적 사고 질문(Critical Thinking Question)으로, 학생들은 POGIL 활동을 하면서 각자의 소집단에서 제기된 다양한 생각들을 나누고, 소집단 안에서 논의와 정보 수집을 통해 문제를 해결하며 학습 개념을 구성하였다. 각 단계에서 제공된 비판적 사고 질문의 형태는 유도 질문, 수렴 질문, 확장 질문으로(Douglas & Chiu, 2013; Moog & Spencer, 2008), 탐색 단계에서 모델 분석을 위한 유도 질문 단계를 거치고, 이를 통해 얻어낸 일반적인 결론이나 구성된 개념에 대한 질문 형태인 수렴 질문에 대한 답을 해결하는 과정을 겪으며 개념 발명 단계에 도달하도록 하였다. 그리고 적용 단계에서 개념에 대한 사고 확장을 도와주는 확장 질문을 통해 학습한 개념의 적용이 일어나도록 도왔다. 본 연구의 '화학 결합 종류' 학습 단원과 관련된 유도 질문의 예는 '금속 나트륨(Na)과 비금속 염소(Cl)의 원자가 전자는 각각 몇 개인가?', '수소(H), 플루오린(F), 염소(Cl), 산소(O), 질소(N)의 원자가 전자는 각각 몇 개인가?', '1족 원소(수소 제외)와 2족 원소의 공통점은 무엇인가?', '1족 원소와 2족 원소에 대해 이온의 종류와 전하는 각각 얼마인가?', 수렴 질문의 예는, '금속 원소와 비금속 원소는 어떤 결합

Table 2. Components of the POGIL activity

순환 학습	POGIL 요소	내용
탐색 (Exploration)	· 모델(Model)	학생들이 탐색할 데이터(그림, 그래프, 표)나 활동 자료
	· 비판적 사고 질문: 유도 질문(Directed Questions)	활동지에 제시된 유도 질문에 답을 찾기 위해 모델을 탐색함 유도 질문은 모델 탐색을 통해 학생의 주의를 집중시키는 역할을 함
개념 발명 (Concept Invention)	· 비판적 사고 질문: 수렴 질문(Convergent Questions)	활동지에 제시된 수렴 질문은 학생들이 탐색한 답변을 모아 일반적인 결론이나 개념에 도달할 수 있도록 도움을 줌
	· 개념 확인(Concept Checks)	POGIL 활동 중간에 학생들의 개념 이해 여부를 파악하기 위한 교사의 짧은 질문
적용 (Application)	· 비판적 사고 질문: 확장 질문(Divergent Questions)	새로운 맥락에서 지식을 적용 확장 질문을 통해 새롭게 구성된 지식을 새로운 상황에 적용함으로써 지식을 일반화
	· 연습(Excercise)	습득한 개념 및 지식을 직접 적용하는 연습을 통해 정보 처리, 비판적 사고, 문제 해결, 의사소통, 팀워크, 관리, 자기 평가 등의 학습 기술(Skill)을 함양

을 선호하는가?', '이온 결합이 형성할 때, 각 원소의 전자 배치가 어떻게 달라지는가?', '비금속 원소끼리는 어떤 결합을 선호하는가?', '공유 결합이 형성될 때, 각 원소의 전자 배치는 어떻게 달라지는가?', '결합을 하는 이유는 무엇일까?', 확장 질문의 예는 '유리관 양쪽에 진한 암모니아수와 진한 염산을 묻힌 솜을 넣으면, 잠시 후 암모니아와 염화수소가 만나 흰 연기가 발생한다. 발생한 흰 연기는 염화암모늄으로 확인되었다. 염화암모늄(NH_4Cl)은 어떤 결합을 하고 있는가?' 등이 있다.

모바일 증강현실을 활용한 과정기반 안내탐구학습(POGIL-MAR) 전략은 POGIL에서 제시한 탐색, 개념 발명, 적용 단계를 따르며 이 과정에서 학습 이해 증진을 위해 모바일 증강현실 학습 도구를 사용하도록 하였다. 수업 활동 계획에 따라 총 4차시 수업을 진행하며 POGI-MAR 집단은 활동의 필요에 따라 모바일 증강현실 학습 도구를 활용하였다(Table 3).

1차시 '원소의 주기적 성질'에서 POGIL 집단은 탐색 단계에서 원자량, 원소기호, 0℃, 1기압에서의 상태, 전기전도성, 화학 반응 등 원소의 정보가 담겨 있는 원소 카드 원자번호 1번부터 20번까지 총 20장을 금속과 비금속 원소로 구분하고, 개념 발명 단계에서 상태, 전기 전도성, 반응성 등의 정보를 바탕으로 원소의 규칙성에 관하여 토의하였다. 또한, 새로운 모델 제시로 멘델레예프의 주기율표를 제시된 방법에 따라 직접 제작해 보는 탐색 단계를 거쳐 개념 발명 단계에서 현대 주기율표와 비교하며 차이점을 발견하고 주기율표에 담겨 있는 규칙성을 알아보는 활동을 수행하였다. 이를 바탕으로 적용 단계에서 새로운 원소 카드에 대해 카드의 정보를 이용하여 원소를 구분하고 주기율표 상의 위치를 예측하는 활동을 하였다. POGIL-MAR 집단도 1차시는 POGIL 집단의 수업과 동일하게 진행하였다.

2차시 '원자의 전자배치'에서 POGIL 집단은 탐색 단계에서 수소(H), 탄소(C), 산소(O) 원자의 보어 원자 모형을 분석하고 원자의 전자 배치에 따른 주기율표 작성을 수행하였다. 주기율표 1주기에서 3주기까지 원소들의 보어 전자배치를 살펴보고 전자껍질 수, 총 전자 수, 최외각 전자 수를 확인하였다. 이를 통해 개념 발명 단계에서 주기율표에서의 주기 및 족에 따른 보어 전자 배치의 규칙성에 대하여 토의하였다. 적용 단계에서는 최외각 전자, 원자가 전자, 옥텟 규칙에 대한 개념으로 물질의 안정성을 판단하는 과정을 연습하고, 금속 원소 나트륨(Na)과 비금속 원소 염소(Cl)가 안정해지는 방법, 탄소(C)의 보어 전자 배치를 고려하여 탄소가 안정해지는 방법을 모색하였다. POGIL-MAR 집단은 수소, 탄소, 산소 원자의 보어 모형을 증강현실 도구로 살펴보며 보어 모형을 학습하고, 주기율표에 각 원자의 보어 모형을 그려가면서 자신이 그린 모형을 증강현실로 확인하였다. 또한, 주기별 규칙성과 족의 규칙성을 찾기 위해 2주기, 3주기의 원소들과 1족, 2족, 16족, 17족 원소들의 보어 전자배치를 증강현실을 활용하여 살펴보았고, 나트륨, 염소, 탄소 원자에 대해 증강현실로 보어 전자 배치를 확인하며 안정해질 수 있는 방법을 토의하였다.

3차시 '화학 결합의 종류'에서 POGIL 집단은 염화나트륨(NaCl)을 예로 들어 이온 결합의 형성 과정이 제시된 모델을 탐색하며 활동지를 채워가며 소그룹 내에서 구성원 간 이온 결합의 원리에 대해 토의하고 주기율표를 이용하여 다양한 이온 결합의 종류를 찾도록 하였다. 또한, 수소(H_2), 플루오린(F_2), 염소(Cl_2), 산소(O_2), 질소(N_2), 플루오린화수소(HF), 염화수소(HCl)를 예로 들어 이원자 분자의 결합 형성 과정이 제공된 모델 탐색을 통해 공유 결합 원리에 대해서도 토의하였다. 이를 바탕으로 물(H_2O), 암모니아(NH_3), 메테인(CH_4), 이산화탄소(CO_2) 등 삼원자 이상의 다원자 분자에 이르기까지 가능한 분자의 형태를 보어 전자 배치로 그려보며 분자 형성에 대한 연습을 수행하였다. 적용 단계에서는 염화암모늄(NH_4Cl)을 제시하여 다원자 이온이 존재하는 물질의 결합 종류를 예측하고 이에 대한 보어 전자 배치를 그려보는 활동을 하였다. POGIL-MAR 집단은 활동지에 안내된 대로 염화나트륨(NaCl)의 이온 결합 형성 과정을 증강현실로 살펴보고, 3차원 구조까지 확인하였다. 또한, 1족-17족, 2족-16족, 1족-16

Table 3. Contents of the POGIL-MAR strategy and use of AR learning tool for each lesson

핵심개념	학습 차시 및 주제	POGIL 활동 내용	AR 사용 여부
물질의 규칙성과 결합	(1차시) 원소의 주기적 성질	· (E) 원소의 정보가 담긴 카드를 이용한 비금속, 금속 원소의 구분 · (CI) 원소의 성질을 바탕으로 원소의 규칙성 토의 · (E) 제시된 방법에 따라 멘델레예프 주기율표 제작 · (CI) 멘델레예프 주기율표와 현대 주기율표의 공통점과 차이점 비교 · (A) 새로운 카드의 정보를 이용하여 금속과 비금속 구분 및 주기율표의 위치 예측	
	(2차시) 원자의 전자 배치	· (E) 보어 원자 모형 모델 탐색 · (CI) 전자껍질, 원자가 전자, 옥텟 규칙 등 개념 형성 · (E) 원소를 보어 전자 배치로 그려 주기율표에 작성 · (CI) 주기율표의 주기와 족에 따른 보어 전자 배치의 규칙성 토의 · (A) 물질의 안정성과 전자 배치와의 관계 이해 · (A) 금속과 비금속이 안정하게 결합할 수 있는 방법을 전자배치로 예측	○ ○ ○
	(3차시) 화학 결합의 종류	· (E) 이온 결합 형성 과정을 보어 전자 배치와 결합 모형으로 확인 · (CI→A) 이온 결합 형성 원리 토의 및 다양한 이온 결합 종류 찾기 · (E) 공유 결합 형성 과정을 보어 전자 배치와 결합 모형으로 확인 · (CI→A) 공유 결합 형성 원리 토의 및 다양한 공유 결합 종류 찾기 · (A) 다원자 이온이 존재하는 물질(NH4Cl)의 결합 예측 및 보어 전자 배치 그리기	○ ○ ○
	(4차시) 화학 결합 모형	· (E) 제공받은 원소 카드를 금속과 비금속으로 구분하고 보어 전자 배치 작성 · (E→CI) 가능한 이온 결합의 종류를 찾아 이온 결합 화학식 작성 · (E→CI) 가능한 공유 결합의 종류를 찾아 공유 결합 화학식 작성 · (A) 중심 원자가 2개인 공유 결합 물질의 보어 전자 배치 예측 · (A) 다양한 결합의 예시를 찾아 조별 보고서 작성	 ○ ○ ○

*E: Exploration(탐색), CI: Concept Invention(개념발명), A: Application(적용)

족, 2족-17족의 원소들로 이루어진 이온 결합의 예시를 증강현실 학습 도구를 통해 확인해 보고, 이들의 3차원 구조도 확인하였다. 공유 결합에 대해서도 POGIL 활동지와 동일하게 제시된 이원자 분자의 예시와 다원자 분자의 예시를 증강현실로 보어 전자 배치와 3차원 분자 구조를 확인하며, 2차원에서 표현되는 분자 구조와의 차이점을 살펴보았다. 마지막으로 적용 단계에서 제시된 물질의 결합 종류를 예측해보고 증강현실 학습 도구를 이용하여 이를 확인하였다.

4차시 '화학 결합 모형'에서 POGIL 집단은 수소(H) 4개, 리튬(Li) 2개, 탄소(C) 1개, 질소(N) 1개, 산소(O) 2개, 플루오린(F) 2개, 나트륨(Na) 2개, 마그네슘(Mg) 2개, 염소(Cl) 2개의 총 9종류 18장의 원소 카드를 가지고 이를 금속과 비금속으로 구분하고 보어 전자 배치를 작성하였다. 그 후, 3차시에서 학습한 결합 원리를 상기하며 가능한 이온 결합과 공유 결합의 종류를 찾아보고 이들의 화학식을 작성하는 활동을 수행하였다. 학생들은 소집단에서 찾은 다양한 결합 물질을 실시간으로 기기에 저장하고 학습 클래스에 업로드하였다. 적용 단계에서는 중심 원자가 2개인 공유 결합 물질을 찾아 이에 대한 보어 전자 배치를 예측해 보는 활동을 하였다. 소그룹에서 적용 단계의 활동을 하는 동안 교사는 학생들이 업로드한 결합 사진을 출력하여 나눠주었다. 학생들은 이를 가지고 조별 보고서를 작성하여 발표하는 시간을 가지며 화학 결합 물질의 다양한 예들을 정리하는 활동을 하였다. POGIL-MAR 집단은 4차시의 모든 활동에서 제시된 원소 카드를 가지고 증강현실 학습도구를 이용하여 보어 전자 배치을 살펴보고, 가능한 이온 결합과 공유 결합 종류를 찾아보고 이들의 3차원 구조까지 확인하며 POGIL 활동에 임했다.

4. 검사 도구

과학 학업 성취도 검사 중 사전 검사는 2015 개정 과학과 교육과정에서 화학 결합과 연계된 중학교 2학년 '물질의 구성' 단원의 성취 기준에 부합하도록 문항을 구성하였다. Bloom의 교육 목표 분류에 따라 내용 영역은 물질의 기본 성분, 물질을 구성하는 입자, 전하를 띠는 입자로 나누어 구성하였고, 행동 영역은 지식 3문항, 이해 10문항, 적용 2문항으로 개발하였다. 문항은 총 15문항으로 10문항은 선택형 문항, 5문항은 서답형 문항으로 구성하였다. 사후 검사는 사전 검사와 행동 영역 및 내용 영역별 문항 수를 동일하게 하여 목표 단원인 '물질의 규칙성과 결합'의 성취 기준에 따라 원소와 주기율, 화학 결합의 형성 등의 학습 내용을 평가하기 위한 문항을 구성하였다. 서답형 문항은 원자를 구성하는 입자의 이름, 분자의 화학식 쓰기 등의 단답형부터 원자가 중성을 띠는 까닭, 같은 원소로 구성된 분자들의 공통점과 차이점, 이온의 형성 과정, 제시된 원소로 가능한 화합물 찾는 등의 서술형에 이르기까지 다양한 형태로 제공하였다. 과학 학업 성취도 검사 점수는 선택형 문항의 경우 각 문항 별 난이도에 따라 2~4점을 부여하여 30점, 서답형 문항의 경우 부분 점수를 포함하여 1~4점으로 부여하여 10점, 총점 40점 만점으로 채점하였다. 개발한 과학 학업 성취도 검사지는 과학 교육 전문가 2인과 현직 화학 교사 3인으로부터 내용 타당도를 검증받았다. 본 연구에서 과학 학업 성취도 검사의 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 사전 및 사후에서 각각 .73과 .79로 나타났다.

과학 학습 동기 검사는 사전 및 사후 검사 모두 Glynn *et al.*(2011)이 개발한 Science Motivation Questionnaire Ⅱ(SMQ Ⅱ)의 번역본을 사용하였다. SMQ Ⅱ 검사지에 대한 번역본은 고등학생을 대상으로 문항 반응, 일반화 및 구조 타당도 등이 검증되었다(Ha & Lee, 2013). 검사지는 내재 동기, 직업 동기, 자기 의지, 자아 효능, 점수 동기의 5가지 하위 요인으로 구성되어 있으며, 각 하위 요인별 5단계 리커트 척도로 되어 있는 문항이 5개씩 고르게 분포되어 있다. 본 연구에서는 SMQ Ⅱ 검사지의 번역본을 사용하여 점수를 전체 문항 및 하위 요인별 문항에 대한 리커트 척도의 평균값으로 산출하였다. 과학 학습 동기 검사의 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 사전 및 사후에서 각각 .92와 .95으로 나타났다.

학습 몰입감 검사는 사전 및 사후 검사 모두 Jackson & Marsh (1996)가 개발한 몰입 상태 척도(Flow State Scale)을 재구성하여 사용하였다. 검사지는 학습의 과정에서 일어나는 몰입 경험을 측정한 도구로 총 36문항으로 구성되어 있으며, 이에 대한 9가지 하위 요인은 분명한 목표, 분명한 피드백, 도전-능력 균형, 행위-인식 일체감, 과제에 대한 집중, 학습 통제감, 자기만족적 경험, 시간 개념의 왜곡, 자의식 상실로 각 요인별 3문항씩 5단계 리커트 척도로 구성되어 있다. 검사지의 재구성 방법은 36문항 중 각 요인의 특성이 잘 반영된 18문항을 선별하여 초등학생을 대상으로 타당화 과정을 거친 방식과 동일하게 진행하였으며(Suh, 2008), 과학 교육 전문가 2인에게 번역의 적절성을 검증받고 연구에 참여하지 않는 고등학생 1학년 학생 20명을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하여 문항의 이해 정도를 확인한 후 최종 번역본을 완성하였다. 본 검사지의 점수는 전체 문항 및 하위 요인별 문항에 대한 리커트 척도의 평균값으로 산출하였다. 본 연구의 몰입감 검사에 대한 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 사전 및 사후에서 각각 .87과 .95로 나타났다.

5. 분석 방법

사전 검사와 사후 검사 채점의 신뢰도를 높이기 위해 연구자와 수업 처치 교사가 무작위로 추출한 학생의 답안지를 각자 채점하고 비교하는 과정을 반복하여 연구자 간 일치도가 90% 이상에 도달하면 연구자 1인이 모든 답안지를 채점하였다. 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감 검사에 대해서는 사전 성취 수준과 교수학습 방법에 따라 사전, 사후 점수에 대한 기술 통계를 분석하였다. 연구 문제별 추리 통계 분석 방법은 다음과 같다.

모바일 증강현실 학습 도구를 활용한 교수학습 효과를 비교하고 교수학습 방법과 학생의 사전 과학 성취 수준 사이의 상호작용 효과를 조사하기 위한 통계 분석으로 공변량 분석을 위한 기본 가정인 정상성, 동변량성, 공변인과 종속변인의 상관성, 그리고 등회귀선을 점검하고, 2×3 요인 설계에 의한 이원 공변량 분석(two-way ANCOVA)을 실시하였다. 본 연구에서 집단 표본 크기가 30미만으로(23 또는 24), 모수 통계 기법을 사용하기 위해서 변인들이 정규성 가정과 등분산 가정을 만족하는 지를 확인하였다(Sani & Todman, 2008). 종속변인에 대한 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정 결과, 정규성을 띠는 것으로 나타났으며(p>.05), 분산의 동질성 검정을 위한 levene 검정 결과, 집단간의 등분산성을 확인하였다(p>.05). 독립 변인은 교수학습 방법이며, 사전 과학 성취 수준을 구획 변인으로 하고 과학 학업 성취도 검사, 과학 학습 동기, 학습 몰입감 검사에 대한

점수를 공변인과 종속변인으로 사용하였다. 이원 공변량 분석 결과 교수학습 방법에 따른 유의미한 차이가 나타난 경우에는 Bonferroni 방법을 이용하여 사후 검증을 실시하였다. 과학 학업 성취도 검사는 사전 과학 성취 수준에 따른 교수학습 방법의 차이를 분석하기 위해 내재 설계에 따른 통계적 검증도 실시하였다.

또한, 과학 학습 동기 검사는 5개의 하위 요인별 분석을 위해 교수학습 방법을 독립 변인으로 사전 과학 성취 수준을 구획 변인으로 하고, 내재 동기, 직업 동기, 자기 의지, 자아 효능, 점수 동기를 공변인과 종속변인으로 하여 2×3 요인 설계에 의한 이원 중다공변량 분석(two-way MANCOVA)을 실시하였다. 학습 몰입감 검사도 과학 학습 동기와 마찬가지로 9개의 하위 요인별 분석을 위해 교수학습 방법을 독립 변인으로 사전 과학 성취 수준을 구획 변인으로 하고, 분명한 목표, 분명한 피드백, 도전-능력 균형, 행위-인식 일체감, 과제에 대한 집중, 학습 통제감, 자기만족적 경험, 시간 개념의 왜곡, 자의식 상실을 공변인과 종속변인으로 하여 2×3 요인 설계에 의한 이원 중다공변량 분석(two-way MANCOVA)을 실시하였다. 모든 통계 분석은 SPSS statistics 25 프로그램을 사용하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 과학 학업 성취도에 미치는 영향

과학 학업 성취도 검사에 대한 기술통계 결과와 이원 공변량 분석 결과를 각각 Table 4와 Table 5에 제시하였다. 이원 공변량 분석 결과(Table 5), 과학 학업 성취도에서 교수학습 방법의 주 효과가 나타났다(p<.01). 그러나 사전 성취 수준의 주 효과는 나타나지 않았고(p>.05), 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용 효과도 나타나지 않았다(p>.05). 교수학습 방법에 대한 사후 분석으로 Bonferroni 검증을 실시하여 집단 간 대응 비교 결과, POGIL-MAR 집단은 TL 집단과 POGIL 집단 모두에 대하여 유의미한 차이가 있었다(p<.01; p<.05). 반면, TL 집단과 POGIL 집단은 유의미한 차이가 없었다(p>.05). 과학 학업 성취도에 관한 이러한 결과는 POGIL-MAR 방법이 TL과 POGIL 방법보다 학업 성취도 향상에 긍정적인 효과를 가져다주는 학습 방법임을 시사하며, 증강현실 학습 도구와 POGIL 방법이 시너지 효과를 나타낸 것이라고 볼 수 있다. 즉, POGIL과 같은 학습 방법이 학업 성취도에 긍정적으로 작용했을 뿐만 아니라(Conway, 2014; De Gale & Boisselle, 2015; Hein, 2012), 증강현실 학습 도구가 추상적 개념의 가시화와 이를 통한 실재감과 현존감을 제공해 성취도에 긍정적인 영향을 주었다고 볼 수 있다(Cai, Wang, & Chiang, 2014; Habig, 2020; Suh, 2008; Wong, Tsang, & Chiu, 2021). 또한, 증강현실 학습 도구의 조작 활동이 학생 간 상호작용을 촉진시켜 주어(Garzón *et al.*, 2020), 학생들의 과학 학업 성취도 향상에 도움이 되었으리라 본다.

한편, 상위 집단과 하위 집단에서 교수학습 방법에 따른 과학 학업 성취도 효과를 살펴보고자 내재 설계를 실시한 결과는 Table 5와 같다. 상위 집단의 학생들은 교수학습 방법에서 통계적 유의미한 차이가 없었으나(p>.05), 하위 집단의 학생들은 유의미한 차이가 있었다(p<.05). 하위 집단에 대하여 사후 분석으로 Bonferroni 검증을 실시한 결과, POGIL-MAR 집단은 TL 집단보다 조정 평균이 8.3점 높고(p<.01), POGIL 집단보다 조정 평균이 6.5점 높았다(p<.05). 상위 집단의 경우, 통합과학 교과서에 제시된 화학 결합만 가능하도록 원소 카드를 제공하였기에 더 다양한 화학 결합을 살펴볼 수 있는 기회가 없어 심화 학습에 도움이 되지 않았을 가능성이 있고, 학습 이해의

Table 4. Descriptive statistics for the pre- and post-tests of science achievement, science learning motivation, and Learning flow by the level of the prior science achievement

Level	Group	Science achievement			Science learning motivation			Learning flow		
		Pre-test	Post-test		Pre-test	Post-test		Pre-test	Post-test	
		M (SD)	M (SD)	Adj. M	M (SD)	M (SD)	Adj. M	M (SD)	M (SD)	Adj. M
High	TL	36.69 (5.09)	26.21 (14.61)	26.20	3.52 (.75)	3.72 (.72)	3.68	3.39 (.60)	3.68 (.67)	3.62
	POGIL	36.59 (4.95)	27.02 (12.54)	27.01	3.35 (.89)	3.65 (.98)	3.75	3.11 (.54)	3.47 (.82)	3.58
	POGIL-MAR	37.50 (4.21)	33.00 (12.02)	33.03	3.55 (.77)	4.03 (.80)	3.97	3.37 (.58)	3.95 (.63)	3.90
	Total	36.92 (4.72)	28.70 (13.29)		3.47 (.80)	3.80 (.84)		3.30 (.58)	3.70 (.73)	
Low	TL	14.33 (9.03)	16.08 (10.14)	16.60	3.12 (.77)	3.18 (1.06)	3.08	3.03 (.61)	3.16 (.92)	3.14
	POGIL	15.09 (8.37)	18.17 (10.55)	18.35	3.00 (1.06)	3.34 (1.18)	3.35	2.92 (.73)	3.41 (.91)	3.46
	POGIL-MAR	17.09 (10.45)	24.61 (12.11)	24.87	2.92 (.73)	3.76 (.57)	3.84	3.02 (.63)	3.77 (.65)	3.74
	Total	15.50 (9.26)	20.05 (12.40)		3.01 (.85)	3.43 (.99)		2.99 (.65)	3.45 (.86)	

Table 5. Results of two-way ANCOVA and nested design on the science achievement test scores

Source of variation	SS	df	MS	F	p
Treatment	1704.95	2	852.48	6.03	.002**
Level	17.50	1	17.50	.13	.726
Treatment × Level	57.05	2	28.53	.20	.818
Treatment in high level	639.05	2	319.52	2.06	.132
Treatment in low level	1326.72	2	633.36	4.27	.016*

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

Table 6. Results of two-way ANCOVA on the science learning motivation test scores

Source of variation	SS	df	MS	F	*p*
Treatment	6.47	2	3.24	10.64	.000***
Level	.03	1	0.03	.081	.776
Treatment × Level	1.27	2	0.64	2.09	.128

***p<.001

수준이 높은 상태에서 수업에 참여해 증강현실 학습 도구의 도움 없이도 문제를 해결했을 수도 있어 점수 향상에 도움이 되지 않았을 수도 있다. 그러나 하위 집단의 경우에는 교사의 일방적 강의보다 POGIL과 같은 교수학습 방법이 하위 집단 학생들의 개념 이해에 도움이 되었을 뿐만 아니라, 증강현실 학습 도구가 추상적 개념과 상상 속 결합의 구현을 실감있게 확인할 수 있게 해주어 과학 학업 성취도 향상을 가져다주었다고 볼 수 있다.

2. 과학 학습 동기에 미치는 영향

과학 학습 동기 검사에 대한 기술통계 결과와 이원 공변량 분석 결과를 각각 Table 4와 Table 6에 제시하였다. 이원 공변량 분석 결과(Table 6), 교수학습 방법의 주 효과가 나타났으나(p<.001), 사전 성취 수준의 주 효과는 나타나지 않았다(p>.05). 또한, 교수학습 방법과 사전 성취 수준 사이의 상호작용 효과도 나타나지 않았다(p>.05). 교수학습 방법에 대해 Bonferroni 방법으로 사후 검증을 실시한 결과, POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 POGIL 집단보다 유의미하게 과학 학습 동기가 향상되었음을 알 수 있었다(p<.001; p<.01). 이는 AR을 활용한 학습이 학습 동기에 긍정적인 영향을 주었다는 기존의 선행 연구 결과와도 일치한다(Chiang, Yang, & Hwang, 2014; Kirikkaya & Basgül, 2019; Lee *et al.*, 2010).

과학 학습 동기의 하위 요인에 대한 이원 중다공변량 분석 결과(Table 7), 세 집단 간 교수학습 방법의 주 효과가 종속변인들의 선형조합에 유의미한 차이가 있었고(Pillai's trace=.18, F(10, 250)=2.48, p<.01), 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용의 효과 역시 선형조합에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(Pillai's trace=.18, F(10, 250)=2.47, p<.01). 그러나 사전 성취 수준의 주 효과는 통계적으로 유의미하지 않았다(Pillai's trace=.04, F(5, 124)=.92, p>.05).

각 종속변인의 차이를 보기 위한 개체-간 검증 결과는 Table 7과 같다. 세 집단 간 교수학습 방법에 따른 과학 학습 동기의 하위 요인을 분석한 결과, 내재 동기(F(2,128)=8.13, p<.001), 직업 동기(F(2,128)=4.72, p<.05), 자기 의지(F(2,128)=7.69, p<.01), 자아 효능(F(2,128)=6.31, p<.01), 점수 동기(F(2,128)=10.25, p<.001)의 모든 하위 요인에서 유의미한 차이를 보였다. 교수학습 방법에 대한 종속변인 별 주 효과 비교를 위해 Bonferroni 검증을 실시한 결과, 내재 동기, 직업 동기, 자아 효능, 점수 동기가 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 유의미한 차이가 있었고(p<.01; p<.05; p<.05; p<.001), POGIL 집단과도 유의미한 차이가 있었다(p<.05; p<.05; p<.05; p<.01). 그러나 자기 의지의 경우, POGIL-MAR 집단과 TL 집단이 유의미한 차이가 있었으나(p<.001), POGIL 집단과는 차이가 없었다(p>.05). 종합해 보면 POGIL-MAR 집단이 내재 동기, 직업 동기, 자아 효능, 점수 동기에서 TL 집단과 POGIL 집단보다 유의미하게 더 높은 학습 동기를 보였고, 자기 의지만 TL 집단보다 유의미하게 더 높은 학습 동기를 보였다. 이러한 결과는 POGIL-MAR 방법이 학생들에게 과학 학습 동기의 모든 하위 요인에서 긍정적인 영향을 주었다고 해석할 수 있다.

한편, 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용에 따른 집단 간 차이를 개별 종속변인 별로 분석한 결과(Table 7), 내재 동기에서만 상호작용 효과가 확인되었다(p<.01). 이는 학습 동기의 내재 동기

Table 7. Results of two-way MANCOVA on the science learning motivation test scores

Source of variation	Pillai's Trace	dependent variable	SS	df	MS	F	*p*
Treatment	F=2.48**	Intrinsic motivation	5.99	2	3.00	8.13	.000***
		Career motivation	4.45	2	2.23	4.72	.011*
		Self-determination	7.04	2	3.52	7.67	.001**
		Self-efficacy	5.88	2	2.94	6.31	.002**
		Grade motivation	8.13	2	4.07	10.25	.000***
Level	F=.92	Intrinsic motivation	.20	1	.20	.54	.465
		Career motivation	.19	1	.19	.40	.529
		Self-determination	.22	1	.22	.47	.493
		Self-efficacy	.01	1	.01	.02	.882
		Grade motivation	.02	1	.02	.04	.841
Treatment × Level	F=2.47**	Intrinsic motivation	3.87	2	1.94	5.25	.006**
		Career motivation	1.80	2	.90	1.91	.152
		Self-determination	.52	2	.26	.57	.568
		Self-efficacy	.76	2	.38	.81	.446
		Grade motivation	.47	2	.23	.59	.557

*p<.05, **p<.01, ***p<.001

Table 8. Results of two-way ANCOVA on the learning flow test scores

Source of variation	SS	df	MS	F	*p*
Treatment	4.77	2	2.38	5.70	.004**
Level	.07	1	.07	.16	.691
Treatment × Level	0.84	2	.42	1.00	.369

**p<.01

측면에서 증강현실을 활용한 교수학습의 효과가 학생들의 사전 성취 수준에 따라 다르게 나타났다는 것을 의미한다. 각 사전 성취 수준에 따른 교수학습 방법의 단순 주 효과 검증을 실시한 결과, 사전 성취 수준 상위 집단의 경우는 교수학습 방법에 따라 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 POGIL 집단보다 교정 평균이 약간 높았으나 그 차이는 통계적으로 유의미하지 않았고(p>.05), 사전 성취 수준 하위 집단의 경우 교정 평균이 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 POGIL 집단보다 높았으며 그 차이도 통계적으로 유의미하였다(p<.001; p<.01). 이는 POGIL-MAR 활동이 성취 수준 하위 집단 학생들에게 과학 학습에 대한 즐거움, 흥미, 호기심을 더 크게 불러일으켜 내재 동기 향상에 영향을 주었다고 볼 수 있다.

3. 학습 몰입감에 미치는 영향

학습 몰입감 검사에 대한 기술 통계 결과와 이원 공변량 분석 결과를 각각 Table 4와 Table 8에 제시하였다. 이원 공변량 분석 결과(Table 8), 교수학습 방법의 주 효과가 나타났으나(p<.01), 사전 성취 수준의 주 효과는 나타나지 않았다(p>.05). 또한, 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용 효과도 나타나지 않았다(p>.05). 교수학습 방법에 대한 사후검증을 Bonferroni 방법으로 실시한 결과, POGIL-MAR 집단이 TL 집단보다 유의미하게 학습 몰입감이 향상되었음을 알 수 있었다(p<.01). 이는 증강현실 학습 도구의 사용으로 학습의 몰입이 증가하였다는 선행 연구의 결과와도 일치한다(Chung & Lee, 2015; Kye & Kim 2008; Salar *et al.*, 2020; Suh, 2008).

Table 9. Results of two-way MANCOVA on the learning flow test scores

Source of variation	Pillai's trace	dependent variable	SS	df	MS	F	*p*
Treatment	F=0.24*	Clear goals	6.35	2	3.17	5.81	.004**
		Unambiguous feedback	3.41	2	1.71	3.66	.028*
		Challenge-skill balance	2.45	2	1.22	1.99	.142
		Action-awareness merging	11.21	2	5.61	8.08	.001**
		Concentration on task at hand	3.36	2	1.68	2.71	.070
		Sense of control	4.94	2	2.47	3.76	.026*
		Autotelic experience	9.34	2	4.67	7.97	.001**
		Transformation of time	2.44	2	1.22	1.67	.193
		Loss of self-consciousness	2.96	2	1.48	1.98	.143
Level	F=.09	Clear goals	.35	1	.35	.64	.425
		Unambiguous feedback	.01	1	.01	.01	.916
		Challenge-skill balance	.05	1	.05	.08	.781
		Action-awareness merging	.49	1	.49	.71	.403
		Concentration on task at hand	.08	1	.08	.13	.717
		Sense of control	.00	1	.00	.00	.973
		Autotelic experience	.90	1	.90	1.54	.217
		Transformation of time	.56	1	.56	.76	.384
		Loss of self-consciousness	.56	1	.56	.75	.387
Treatment × Level	F=.10	Clear goals	.40	2	.20	.37	.694
		Unambiguous feedback	1.20	2	.60	1.29	.280
		Challenge-skill balance	1.94	2	.97	1.58	.210
		Action-awareness merging	.76	2	.38	.55	.580
		Concentration on task at hand	1.30	2	.65	1.05	.355
		Sense of control	1.35	2	.67	1.03	.361
		Autotelic experience	1.05	2	.52	.89	.413
		Transformation of time	1.26	2	.63	.86	.426
		Loss of self-consciousness	.27	2	.14	.18	.835

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

학습 몰입감의 하위 요인에 대한 이원 중다공변량 분석 결과(Table 9), 세 집단 간 교수학습 방법의 주 효과가 종속변인들의 선형조합에 유의미한 차이가 있었으나(Pillai's trace=.24, F(18, 234)=1.81, p<.05), 사전 성취 수준의 주 효과는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다(Pillai's trace=.09, F(9, 116)=1.19, p>.05). 또한, 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용 효과 역시 선형조합에 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다(Pillai's trace=.10, F(18, 234)=0.69, p>.05).

각 종속변인의 차이를 보기 위한 개체-간 검증 결과는 Table 9와 같다. 세 집단 간 교수학습 방법에 따른 학습 몰입감 하위 요인에서의 차이를 분석한 결과, 교수학습 방법에 따라 분명한 목표(F(2,124)=5.81, p<.01), 분명한 피드백(F(2,124)=3.66, p<.05), 행위-인식 일체감(F(2,124)=8.08, p<.001), 학습 통제감(F(2,124)=3.76, p<.05), 자기만족적 경험(F(2,124)=7.97, p<.01)에서 유의미한 차이를 보였다. 그러나 도전-능력 균형(F(2,124)=1.99, p>.05), 과제에 대한 집중(F(2,124)=2.71, p>.05), 시간 개념의 왜곡(F(2,124)=1.67, p>.05), 자의식 상실(F(2,124)=1.98, p>.05)에서는 유의미한 차이가 없었다. 교수학습 방법에 대한 종속변인 별 주 효과 비교를 Bonferroni 검증으로 실시한 결과, 분명한 목표, 분명한 피드백, 자기만족적 경험은 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 차이가 있었으며(p<.01; p<.05; p<.001), POGIL 집단과도 차이가 있었다(p<.01; p<.05; p<.05). 한편, 행위-인식 일체감과 학습 통제감은 POGIL-MAR 집단과 TL 집단 간 차이는 있었으나(p<.001; p<.01), POGIL 집단과는 차이가 없었다(p>.05; p>.05).

종합해 보면 POGIL-MAR이 분명한 목표, 분명한 피드백, 자기만족적 경험의 하위 요인에 대하여 TL과 POGIL 방법보다 훨씬 더 높은 학습 몰입감을 보여주었고, 행위-인식 일체감과 학습 통제감은 TL보다 더 높은 몰입감을 보여주었다. 이러한 연구 결과는 AR이 분명한 피드백, 자기만족적 경험, 학습 통제감에 긍정적인 영향을 주었다는 선행 연구의 결과와 부분적으로 일치한다(Ibáñez *et al.*, 2014). 이를 바탕으로 POGIL-MAR 교수학습 방법이 학생들에게 학습 몰입감에 긍정적인 영향을 주었다고 볼 수 있다.

Ⅳ. 결론 및 제언

본 연구는 화학 결합 학습에 도움을 줄 수 있는 모바일 증강현실(MAR) 학습 도구를 개발하고, 이를 과정기반 안내탐구학습(POGIL)과 접목한 교수학습 방법인 모바일 증강현실을 활용한 과정기반 안내탐구학습(POGIL-MAR)을 제안하였다. 고등학생 1학년을 대상으로 전통적 강의(TL), POGIL, POGIL-MAR 교수학습을 수업 현장에 적용하여 보고, 사전-사후 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감 검사를 사전 과학 성취 수준과 교수학습 방법에 따라 정량적으로 분석하였다.

인지적 영역 차원에서 살펴본 과학 학업 성취도의 경우, POGIL-MAR 집단이 유의미한 향상을 보였다. 사전 성취 수준에 따른 각 집단별 양상을 살펴보면, 상위 집단은 POGIL-MAR 집단이 유의미한 수준의 향상이 있지는 않았으나, 하위 집단은 유의미한 수준의 향상을 보였다. 정의적 영역 차원에서 살펴본 과학 학습 동기의 경우, POGIL-MAR 집단이 유의미한 향상을 보였다. 과학 학습 동기의 하위 요인을 분석한 결과, 내재 동기, 직업 동기, 자아 효능, 점수 동기는 POGIL-MAR 집단이 TL과 POGIL 집단보다 더 높은 학습 동기의 향상을 보였고, 자기 의지는 POGIL-MAR 집단이 TL 집단보다 더 높은 학습 동기의 향상을 보였다. 또한, 하위 집단에서 POGIL-MAR 집단이 가장 큰 내재 동기 향상을 보였다. 정의적 영역 차원에서 살펴본 학습 몰입감의 경우, POGIL-MAR 집단이 유의미한 향상을 보였다. 학습 몰입감의 하위 요인을 분석한 결과, 분명한 목표, 분명한 피드백, 자기만족적 경험은 POGIL-MAR 집단이 TL과 POGIL 집단보다 더 높은 몰입감 향상을 보였고, 행위-인식 일체감, 학습 통제감은 POGIL-MAR 집단이 TL 집단보다 높은 몰입감을 보였다. 반면, 학습 몰입감 하위 요인 중 도전-능력 균형, 과제에 대한 집중, 시간 개념의 왜곡, 자의식 상실은 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

이러한 연구 결과를 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다. 첫째, 화학 결합을 연구주제로 증강현실을 활용하여 POGIL 교수학습에 적용한 결과, 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감이 향상되었다. 이는 비판적 사고 질문이 포함된 활동지를 바탕으로 POGIL 활동을 통한 학생들 간 적극적인 상호작용(Conway, 2014; De Gale & Boisselle, 2015; Hein, 2012)과 더불어 실재감과 현존감있게 3차원 구조를 확인할 수 있는 증강현실 학습도구(Cai, Wang, & Chiang, 2014; Habig, 2020; Wong, Tsang & Chiu, 2021)의 사용이 학생들에게 긍정적인 영향을 주어 화학 결합 학습에 시너지 효과를 나타낸 것이라고 여겨진다. 이러한 점으로 미루어 보아 본 연구가 화학결합 학습의 어려움을 해결해 줄 수 있는 하나의 교수학습 방법이 될 수 있음을 시사한다.

둘째, 성취 수준 상하위 집단으로 나누어 살펴본 결과, 과학 학업 성취도 측면에서의 효과가 하위권 학생들에게서만 나타났다. 이는 상하위 집단에 대한 학습 효과를 알아본 선행 연구(Cai, Wang, & Chiang, 2014; Lee, Park & Noh, 2020)의 결과와 부합한다. 상위 집단 학생들은 학습에 대한 이해 수준이 높고 공간 지각 능력도 충분히 발달하여 증강현실의 도움이 없이도 화학 결합 학습이 가능해 이로 인한 점수의 향상을 기대하기 어려울 수 있고, 화학 결합 학습에 한정된 원소 카드만 제공하여 보다 다양한 화학 결합 예시를 살펴볼 수 없었기에 심화 학습을 기대하기 어려웠을 수도 있다. 반면, 하위 집단의 학생들은 상위 집단의 학생들에 비해 추상적인 학습 개념을 더 어려워하므로 증강현실을 통해 구조를 실감있게 확인하면서 개념을 이해하였기에 과학 학업 성취도가 향상되었으리라 본다. 이처럼 증강현실 학습 도구는 하위 집단 학생들의 학습 보조 역할을 충분히 하리라고 본다.

셋째, POGIL-MAR 학습이 학습 동기의 5가지 하위 요인 모두에 긍정적인 영향을 주었고, 또한, 하위 집단의 학생들에게서 가장 큰 내재 동기 향상을 보였다는 점은 주목할 만하다. 이는 POGIL-MAR 학습을 통해 학습 행위 자체의 즐거움과 학습에 대한 만족감을 경험했음을 의미하며, 이러한 결과는 증강현실의 효과를 입증했다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있다. 국제 학업 성취도 평가(TIMSS & PISA)에서 과학 학업 성취도는 최상위 수준을 유지하고 있으나, 최근 들어 기초 학력 미달 학생의 비율이 증가하고 있고, 여전히 과학에 대한 동기와 태도를 나타내는 정의적 영역은 매우 낮은 수준에 머물고 있다(Kwak, 2017; Ku *et al.*, 2016; Lee, 2016; Sang *et al.*, 2016). 이에 '제4차 과학교육 종합 계획'에서 과학 수업 방법의 혁신이 필요함과 과학 학습에 대한 긍정적인 인식 개선을 강조하였다(MOE, 2020).

따라서 인지적 측면과 정의적 측면 모두 긍정적 영향을 준 증강현실 학습 도구를 활용한 과정기반 안내탐구학습 방법(POGIL-MAR)이 하나의 대안이 될 수 있으리라 생각된다.

넷째, POGIL-MAR 학습이 학습 몰입감의 9가지 하위 요인 중 분명한 목표, 분명한 피드백에 향상을 보였다. 분명한 목표의 향상은 비판적 사고 질문의 제공이 학습자에게 분명한 목표를 제시하는 POGIL 학습 활동으로 인해, 분명한 피드백의 향상은 증강현실과의 상호작용으로 학습하고자 하는 방향이 명확해지고, 실시간으로 구조를 검증할 수 있는 활동을 함으로 인해(Ibáñez *et al*., 2014) 이루어졌으리라고 본다. 또한, 선행연구에서 언급한 화학 결합 증강현실 학습도구는 한 장의 카드에 분자 구조가 증강된 단편적인 형태였다면(Habig, 2020; Wong, Tsang, & Chiu, 2021), 본 연구에서 개발한 증강현실 학습도구는 마커조합형으로 다양한 카드 조합이 가능하며, 화학 결합이 보어 전자 모형과 3차원 구조로 단계적으로 구현되도록 하였다. 이러한 학습도구의 사용이 학생들에게 행위인식 일체감, 학습 통제감, 자기만족적 경험의 향상을 가져다 주었다고 본다. 다만, 모든 하위 요인에서 긍정적인 영향을 가져다주지는 않았기에 증강현실을 활용한 교수학습 설계 시 증강현실의 강점과 한계를 고려할 필요가 있다.

본 연구의 한계점과 이에 대한 후속 연구는 다음과 같다. 본 연구는 화학 결합에 한해서 연구한 결과를 제시하였기 때문에, 다른 과학 주제에 적합한 증강현실 학습 도구와 POGIL 교수학습 설계의 개발이 필요하며, 이에 대한 학습 효과를 알아보는 연구가 추가로 진행될 필요가 있다. 또한, 증강현실 학습 도구를 적용한 교수학습 전략을 제안하여 이에 대한 학습 효과를 통계적으로 조사하였기에 구체적으로 어떤 요인으로 인해 위와 같은 학습 효과를 가져다준 것인지 수업 맥락적 차원에서 보다 심층적인 분석이 필요하다고 본다. 마지막으로, 본 연구에서는 증강현실을 활용한 과학교육 선행 연구에서 주로 살펴본 인지적, 정의적 영역의 학습효과에 대해서만 살펴보았다. 이에 탐구적 영역에 대한 후속 연구로, 증강현실을 활용한 POGIL 교수학습이 탐구 역량에 미치는 효과에 대한 연구도 이루어질 필요가 있다.

본 연구는 디지털 교구의 사용이 점차적으로 증가하는 시대에 화학 교육이 추구할 수 있는 모습을 보였다는 점에서 의미가 있다. 직접 개발한 모바일 증강현실 학습 도구는 안드로이드 애플리케이션으로 제작하였기 때문에 모바일 기기를 대부분 사용하고 있는 고등학생들은 누구나 앱을 다운로드하여 쉽게 활용할 수 있다. 한 번 다운받으면 인터넷 연결 없이도 작동이 가능하도록 제작되었기 때문에 인터넷을 사용할 수 없는 교실 환경이라도 학습이 가능하며 더 나아가 교실 현장이 아니더라도 장소와 시간을 불문하고 화학 결합에 대한 학습이 가능하다. 이러한 증강현실 과학 학습 도구는 첨단 과학 기술을 바탕으로 미래형 과학 학습 환경을 구축하고자 하는 교육부의 계획과도 일맥상통하여(MOE, 2020), 자기 주도적 과학 학습을 도와줄 수 있는 학습 도구로 충분히 제 역할을 하리라 본다. 앞으로 화학 결합 증강현실 애플리케이션 뿐만 아니라, 과학 학습에 도움을 줄 수 있는 증강현실 기술을 이용한 다양한 과학 탐구 및 실험 콘텐츠의 개발을 기대해본다.

국문요약

본 연구에서는 화학 결합 학습에 적합한 모바일 증강현실 학습 도구를 개발하고 모바일 증강현실을 활용한 과정기반 안내탐구학습(POGIL-MAR)을 제안하여 이 교수학습 방법이 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기 및 학습 몰입감에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 연구 참여자는 경기도 소재의 남녀 공학 고등학교 1학년 학생 139명으로, 이를 통제집단(TL), 실험집단 1(POGIL), 실험집단 2(POGIL-MAR)로 무선 배치하였다. 학생들은 4차시에 걸쳐 화학 결합과 관련된 학습을 하였다. 이원 공변량 분석 결과, POGIL-MAR 집단은 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감 검사에서 사전 성취 수준에 관계없이 다른 집단에 비해 유의미하게 높았다. 또한, 하위 집단의 경우, POGIL-MAR 집단이 TL과 POGIL 집단보다 통계적으로 유의미한 학업 성취도 향상이 있었다. 과학 학습 동기의 하위 요인에 대한 이원 중다공변량 분석 결과, POGIL-MAR 집단이 학습 동기의 하위 요인인 내재 동기, 직업 동기, 자아 효능, 점수 동기, 자기 의지에서 유의미하게 높았다. 특히, 내재 동기에서 교수학습 방법과 사전 성취 수준 사이의 상호작용 효과가 유의미하게 나타났다. 한편, 학습 몰입감의 하위 요인에 대한 이원 중다공변량 분석 결과, POGIL-MAR 집단이 분명한 목표, 분명한 피드백, 행위-인식 일체감, 학습 통제감, 자기만족적 경험에서 유의미하게 높았다. 이러한 결과를 바탕으로 모바일 증강현실을 활용한 과정기반 안내탐구학습의 교육적 시사점을 논의하였다.

주제어 : 모바일 증강현실, 과정기반 안내탐구학습, 화학 결합, 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감

References

Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Student perceptions using augmented reality and 3d visualization technologies in chemistry education. Journal of Science Education and Technology, 30(1), 87-96.

Abraham, M. R. (1992). Instructional strategies designed to teach science concepts. In F. Lawrenz, K. Cochran, J. Krajcik, & P. Simpson (eds.) Research matter...to the science teacher(pp41-50), NARST monograph, no. 5. Manhattan, KS: NARST.

Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş., & Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. Computers & Education, 142, 103647.

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. Presence: Teleoperators and virtual environments, 6(4), 355-385.

Bergqvist, A., Drechsler, M., De Jong, O., & Rundgren, S. N. C. (2013). Representations of chemical bonding models in school textbooks-help or hindrance for understanding?. Chemistry Education Research and Practice, 14(4), 589-606.

Billinghurst, M. Grasset, R., & Looser, J. (2005). Designing augmented reality interfaces. SIGGRAPH Computer Graphics, 39(1), 17-22.

Bomia, L., Beluzo, L., Demeester, D., Elander, K., Johnson, M., & Sheldon, B. (1997). The Impact of Teaching Strategies on Intrinsic Motivation . Champaign, IL.

Butts, B., & Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. Research in Science Education, 17(1), 192-201.

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of augmented reality simulation system application in a chemistry course. Computers in Human Behavior, 37, 31-40.

Canelas, D. A., Hill, J. L., & Carden, R. G. (2019). Cooperative learning in large sections of organic chemistry: Transitioning to POGIL. In active learning in organic chemistry: Implementation and analysis (pp. 199-215). American Chemical Society.

Cen, L., Ruta, D., Al Qassem, L. M. M. S., & Ng, J. (2019). Augmented Immersive Reality (AIR) for improved learning performance: a quantitative evaluation. IEEE Transactions on Learning Technologies, 13(2), 283 296.

Chamely-Wiik, D. M., Haky, J. E., Louda, D. W., & Romance, N. (2014). SQER3: An instructional framework for using scientific inquiry to design classroom demonstrations. Journal of Chemical Education,

91(3), 329-335.
Chiang, T. H., Yang, S. J., & Hwang, G. J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. Journal of Educational Technology & Society, 17(4), 352-365.
Chung, S. I., & Shin, D. H. (2017). Cases of discrepancy in high school students' achievement in science education assessment: Focusing on testing tool in affective area. Journal of the Korean Association for Science Education, 37(5), 891-909.
Chung, Y. & Lee, J. (2015). The effectiveness of inquiry learning using augmented reality in the middle school science class. The Journal of Educational Information and Media, 21(4), 521-542.
Conway, C. J. (2014). Effects of guided inquiry versus lecture instruction on final grade distribution in a one-semester organic and biochemistry course. Journal of Chemical Education, 91(4), 480-483.
Csikszentmihalyi, M. (1975). Beyond boredom and anxiety, San Francisco, CA: Jossey-Bass.
Csikszentmihalyi, M. (1997). Flow finding: Psychology of relationship with daily life. New York: Harper Collins.
De Gale, S., & Boisselle, L. (2015). The effect of POGIL on academic performance and academic confidence. Science Education International, 26(1), 56-61.
Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. Computers & Education, 68, 586-596.
Douglas, E. P., & Chiu, C. C. (2013). Implementation of Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL) in engineering. Advances in Engineering Education, 3(3), n3.
Dünser, A., & Hornecker, E. (2007). Lessons from an AR book study. In Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction, 179-182.
Eccles, J. S., & Wigfield, A. (2002). Motivational beliefs, values, and goals. Annual Review of Psychology, 53 (1), 109-132.
Farrell, J. J., Moog, R. S., & Spencer, J. N. (1999). A guided-inquiry general chemistry course. Journal of chemical education, 76(4), 570-574.
Furio, C., & Calatayud, M. L. (1996). Difficulties with the geometry and polarity of molecules: beyond misconceptions. Journal of Chemical Education, 73(1), 36-41.
Garzón, J., Baldiris, S., Gutiérrez, J., & Pavón, J. (2020). How do pedagogical approaches affect the impact of augmented reality on education? A meta-analysis and research synthesis. Educational Research Review, 100334.
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.
Glynn, S. M., Taasoobshirazi, G., & Brickman, P. (2007). Nonscience majors learning science: A theoretical model of motivation. Journal of Research in Science Teaching, 44, 1088-1107.
Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. Journal of research in Science Teaching, 29(6), 611-628.
Ha, M. & Lee, J-K. (2013). The item response, generalizability, and structural validity for the translation of Science Motivation Questionnaire Ⅱ (SMQⅡ). The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction, 13, 1-18.
Habig, S. (2020). Who can benefit from augmented reality in chemistry? Sex differences in solving stereochemistry problems using augmented reality. British Journal of Educational Technology, 51(3), 629-644.
Hanson, D. M. (2006). Instructor's guide to process-oriented guided-inquiry learning. Lisle, IL: Pacific Crest.
Hanson, D. M. (2013). Instructor's guide to process oriented guided inquiry learning. New York: Pacific Crest.
Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. Science Education, 84(3), 352-381.
Hein, S. M. (2012). Positive impacts using POGIL in organic chemistry. Journal of Chemical Education, 89(7), 860-864.
Hurst, M. O. (2002). How we teach molecular structure to freshmen. Journal of Chemical Education, 79(6), 763-764.
Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. Computers & Education, 71, 1-13.
Jackson, S. A., & Marsh, H. W. (1996). Development and validation of a scale to measure optimal experience: The flow state scale. Journal of sport and exercise psychology, 18(1), 17-35.
Kafumann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. Computers & Graphics, 27(3), 339-345.
Kim, K. (2009). The Effects of learning activities on the application of augmented reality contents in elementary science instruction. The Journal of Korean Association of Computer Education, 12(5), 75-85.
Kirikkaya, E., & Basgül, M. S. (2019). The effect of the use of augmented reality applications on the academic success and motivation of 7th grade students. Journal of Baltic Science Education, 18(3), 362-378.
Ko, Y., & Kim, C. (2012). Analysis of educational effects in augmented reality combined marker system. Journal of the Korean Association of Information Education, 16(3), 373-382.
Ku, J., Kim, S., Lee, H., Cho, S., & Park, H. (2016). OECD Programme for International Student Assessment: An analysis of PISA 2015 results. Seoul: Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
Kwak, Y. (2017). Exploration of features of Korean eighth grade students' attitudes toward science. Journal of the Korean Association for Science Education, 37(1), 135-142.
Kye, B., & Kim, Y. (2008). Investigation on the relationships among media characteristics, presence, flow, and learning effects in augmented reality based learning. Journal of Educational Technology, 24(4), 193-224.
Lawson, A. E. (2010). Teaching inquiry science in middle and secondary schools. Los Angeles: SAGE.
Lee, J. (2016). Analysis of changes in the learning environments of middle school science classes. Journal of the Korean Association for Science Education, 36(5), 717-727.
Lee, J., Park, G., & Noh, T. (2020). Development and application of the multiple representation-based learning strategies using augmented reality on the concept of the particulate nature of matter. Journal of the Korean Association of Science Education, 40(4), 375-383.
Lee, J-I., & Choi, J-S. (2011). Making contents of the science education for the element school children based on the AR(Augmented Reality). The Journal of the Korea Contents Association, 11(11), 514-520.
Lee, J. S., Sim, H. A., Kim, K. Y., & Lee, K. S. (2010). Effects of reality based science learning program on learning motivation and achievement: Development and implementation of elementary school level's science learning program applied the Keller's ARCS model. Theory and Practice of Education, 15(1), 99-121.
Liyanage, D., Lo, S. M., & Hunnicutt, S. S. (2021). Student discourse networks and instructor facilitation in process oriented guided inquiry physical chemistry classes. Chemistry Education Research and Practice, 22(1), 93-104.
Martin, R., Sexton, C., & Franklin, T. (2009). Teaching science for all children, 5th ed. Boston: Pearson.
Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. IEICE Transactions on Information and Systems, 77(12), 1321-1329.
Ministry of Education [MOE] (2015). The 2015 Revised national curriculum of science; Ministry of Education; Seoul, No. 2015-74.
Ministry of Education [MOE] (2020). 4th comprehensive plan for science education (2020.5.).
Moog, R. S., & Spencer, J. N. (Eds.). (2008). Process-Oriented Guided Inquiry Learning (Vol. 994). Washington, DC: American Chemical Society.
Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. Science Education, 91(4), 579-603.
Ohn-Sabatello, T. (2020). Incorporating technology tools and the 5E instructional model to teach high school students chemistry by online instruction. Journal of Chemical Education, 97(11), 4202-4208.
Pérez, J. R. B., Pérez, M. E. B., Calatayud, M. L., Garcia-Lopera, R. M., Montesinos, J. V. S., & Gil, E. T. (2017). Student's misconceptions on chemical bonding: a comparative study between high school and first year university students. Asian Journal of Education and e-Learning, 5(1).
Robert, J., Lewis, S. E., Oueini, R., & Mapugay, A. (2016). Coordinated implementation and evaluation of flipped classes and peer-led team learning in general chemistry. Journal of Chemical Education, 93(12), 1993-1998.
Rodríguez, F. C., Frattini, G., Krapp, L. F., Martinez-Hung, H., Moreno, D. M., Roldán, M., ... & Abriata, L. A. (2021). MoleculARweb: A web site for chemistry and structural biology education through interactive augmented reality out of the box in commodity devices. Journal of Chemical Education, 98(7), 2243-2255.
Rodriguez, J. M. G., Hunter, K. H., Scharlott, L. J., & Becker, N. M. (2020). A review of research on process oriented guided inquiry learning: Implications for research and practice. Journal of Chemical Education,

97(10), 3506-3520.
Rye, H., & Park, H. (2017). Development and application of the objects on the unit of 'Our Body' on augmented reality. Journal of Korean Elementary Science Education, 36(4), 367-378.
Salar, R., Arici, F., Caliklar, S., & Yilmaz, R. M. (2020). A model for augmented reality immersion experiences of university students studying in science education. Journal of Science Education and Technology, 29(2), 257-271.
Sang, K., Kwak, Y., Park, J., & Park, S. (2016). The Trends in International Mathematics and Science Study (TIMSS): Findings from TIMSS 2015 for Korea. Seoul: Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
Sani, F., & Todman, J. (2008). Experimental design and statistics for psychology: a first course. John Wiley & Sons.
Shelton, B. E. (2003). How augmented reality helps students learn dynamic spatial relationships. Seattle: University of Washington.
Shin, H. Y., & Woo, A. J. (2016). An analysis of concept description and model and student understanding about ionic compound in textbooks developed under the 2009 revised national curriculum. Journal of the Korean Chemical Society, 60(5), 362-373.
Shin, S., Kim, H., Noh, T., & Lee, J. (2020). High school students' verbal and physical interactions appeared in collaborative science concept learning using augmented reality. Journal of the Korean Associaion of Science Education, 40(2), 191-201.
Shin, S., Noh, T., & Lee, J. (2020). An exploration of learning environment for promoting conceptual understanding, immersion and situational interest in small group learning using augmented reality. Journal of the Korean Chemical Society, 64(6), 360-370.
Suh, H. (2008). Relationships among presence, learning flow, attitude toward usability, and learning achievement in an augmented reality interactive learning environment. The Journal of Educational Information and Media, 14(3), 137-165.
Talanquer, V., & Pollard, J. (2017). Reforming a large foundational course: Successes and challenges. Journal of Chemical Education, 94(12), 1844-1851.
Trout, L. (Ed.). (2012). POGIL activities for high school chemistry. Batavia, IL: Flinn Scientific.
Tuckey, H., Selvaratnam, M., & Bradley, J. (1991). Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. Journal of Chemical Education, 68(6), 460-464.
Vishnumolakala, V. R., Southam, D. C., Treagust, D. F., Mocerino, M., & Qureshi, S. (2017). Students' attitudes, self-efficacy and experiences in a modified process-oriented guided inquiry learning undergraduate chemistry classroom. Chemistry Education Research and Practice, 18(2), 340-352.
Walker, L., & Warfa, A. R. M. (2017). Process oriented guided inquiry learning (POGIL) marginally effects student achievement measures but substantially increases the odds of passing a course. PLoS One, 12(10), e0186203.
Wong, C. H., Tsang, K. C., & Chiu, W. K. (2021). Using augmented reality as a powerful and innovative technology to increase enthusiasm and enhance student learning in higher education chemistry courses. Journal of Chemical Education, 98(11), 3476-3485.
Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. Science education, 88(3), 465-492.

저자정보

전영은(서울대학교 학생)
지준용(소속없음)
홍훈기(서울대학교 교수)