

# 문헌고찰을 통한 물리적 도구와 가상도구의 사용이 과학 개념학습에 미치는 시사점

강석민 · 김성연<sup>1\*</sup>

텍사스 대학교 · <sup>1</sup>인천대학교

## Implications of Using Physical and Virtual Tools in Learning Science Concepts from a Literature Review

Seokmin Kang · Sungyeun Kim<sup>1\*</sup>

The University of Texas Rio Grande Valley · <sup>1</sup>Incheon National University

**Abstract**: It has been known that the tool characteristics embedded in physical tools and virtual tools act with different underlying mechanisms in a user's knowledge acquisition and conceptual understanding. This overview study examines the learning process through the use of physical and virtual tools from the perspective of conceptual frameworks, affordability that tools present, and the depth of cognitive engagement that occurs in the process of learning concepts through various learning activities. Based on the conceptual frameworks, the results of previous comparative studies were reinterpreted. It was found that what mattered for learning is the amount of new information that a tool provides and the different level of cognitive engagement that students use through various learning activities. Finally, the implications to be considered when teachers use physical and virtual tools to help students better understand various concepts are discussed.

**keywords**: affordance, cognitive engagement, physical tools, virtual tools

### I. 서론

컴퓨터 기술의 발전으로 다양한 분야에서 컴퓨터 시뮬레이션과 모의실험이 물리적 도구를 대체하고 있다. 더불어 컴퓨터 기술은 직업훈련을 위한 다양한 기술을 가르치는 동시에 학생들의 개념에 대한 이해를 돕는 데 중요한 역할을 하고 있다. 여기서 도구라는 용어는 학습자가 특정 개념을 배우기 위해 상호작용하는 물리적 혹은 가상도구를 일컫는다. 더불어, 물리적 도구는 구체적인 형태를 가진 물질로 만들어진 장치이고, 가상도구는 학습자가 컴퓨터를 사용하여 변수를 조작하고 통제할 수 있는 시뮬레이션을 의미한다. 연구자들은 각 도구들이 가지고 있는 속성의 차이로 인해 도구 사용자에게 각기 다른 행동유도성을 부여

한다고 주장해 왔고, 각 유형의 도구가 가지고 있는 고유한 기능은 학습에 있어 서로 다른 이점을 가지고 있다고 가정해 왔다. 여기서 학습이란 물리적 혹은 가상도구의 사용을 통한 지식의 양과 구조의 변화로써 정의될 수 있다. 이에 서로 다른 양식의 도구(물리적 도구나 가상도구)를 사용한다는 것은 상이한 학습환경을 만들며 이로 인해 학습에 있어 각각의 고유한 이점을 제공할 수 있다(Corter *et al.*, 2011; Olympiou *et al.*, 2010; Ronen & Eliahu, 2000). 도구를 사용한 학습활동에서 얻은 지식은 개념의 이해라는 측면에서 있어 특히 과학 과목에서의 학습목표와 긴밀하게 연관되어 있다고 할 수 있다(National Research Council, 2006; National Science Teachers Association, 2013). 또한 과학교육의 목적이 단순한

\* 교신저자: 김성연 (syk@inu.ac.kr)

\*\* 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022R1A2C1010310).

\*\*\* 2023년 6월 20일 접수, 2023년 8월 8일 수정원고 접수, 2023년 8월 28일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2023.47.2.154>

지식의 획득에 있는 것이 아니라 습득된 정보를 활용하고 또 기존 지식을 바탕으로 새로운 지식을 생성하여 실생활의 문제해결에 활용하는 것이 주목적(Weinstein, Madan, & Sumeracki, 2018) 이므로 과학개념 학습에 있어 도구사용의 혜택에 초점을 두었다.

연구자들은 물리적 도구와 가상도구사용을 통해 학생들이 어떤 종류의 학습혜택을, 또한 어떤 종류의 도구로부터 더 많은 학습혜택을 받을 수 있는지를 탐색해 왔다. 그러나 기존에 수행된 비교연구들에서는 도구와 학습의 개념에 대한 정의가 명확하지 않았다. 또한 다양한 종류의 도구를 실험실이나 교실 장면에서 적용함에 도구사용에 영향을 미칠 수 있는 다른 인지적 요소들의 개입에 대한 고려가 불분명하여 종류가 다른 도구사용에 따른 각기 다른 학습혜택을 명확히 설명하기가 어려웠다. 학습이라는 관점에서 인지적 관여도는 정보처리와 기억, 인출에 직접적으로 관련되며(Anderson, 2020), 각기 다른 도구가 주는 행동유도성은 물리적 도구와 가상도구의 상호작용성에 가장 두드러진 차이점(Bub *et al.*, 2008; Pellicano *et al.*, 2011) 이라는 측면에서 인지적 개입과 행동유도성이라는 개념적 틀을 통해 도구 사용이 학습에 미치는 영향을 탐색한다면 기존 경험연구에서 관찰된 불일치한 결과들을 보다 더 정확히 해석할 수 있을 것이다.

## II. 인지적 관점에서의 도구사용

### 1. 행동유도성

많은 연구가 학습자의 학습에 영향을 미칠 수 있는 학습환경의 일부로서 행동유도성을 언급했지만, 각 도구가 제공하는 행동유도성의 종류와 지식 구성의 기제에 대한 설명이 부족한 상황이다. 예를 들면, 도구 사용은 학습자와 도구의 상호작용을 통한 지식 구성 및 개념적 이해와 밀접한 관련이 있다고 알려져 있기 때문이다. 행동유도성에 대한 개념은 Gibson (1977) 이 동물에게 부여되는 환경적 특성을 설명하기 위해 최초로 제시하였다. 그는 행동유도성(Affordance)이라는 용어를 "동물과 관련하여 얻은 물질과 표면적 특성의 특정 조합"으로 정의했다. 행동유도성의 정의를 인간에게 적용할 때, 행동유도성은 사용자가 도구와 상호 작용할 때 도구가 도구사용자로부터 유도하는 특정 행동 패턴으로 간주될 수 있다. 따라서 행동유도성은 주어진 환경에서 사용자가 어떤 대상에 대해 취할 수 있는 행동이나 행동의 가능성을 의미한다. 도구의 위치, 모양, 방향 및 도구가 사용되는 맥락에 따라 행

동유도성은 사용자로부터 특정 동작이나 행동을 유도한다. 예를 들어, 물리적 도구는 형체를 가진 물질로 만들어진 장치를 일컬으며, 물리적 도구를 통한 학습은 물리적 도구를 통해 실험을 수행하거나 개념을 학습하는 상황을 지칭한다. 물리적 도구로서 지렛대 도구가 과학수업에서 구현될 때 학생들은 힘, 하중, 지렛대의 개념, 이들의 기능적 관계, 그리고 한 개념의 속성 변화가 다른 개념과 연결하여 어떻게 기능하는지에 대해 학습하게 된다.

물리적 도구의 가장 두드러진 특징은 학습자가 직접 체험을 통해 도구와 상호작용할 수 있다는 것이다. 실제 도구를 조작함으로써 학습자는 물리적 도구의 조작을 통해 제공되는 다양한 지각적 경험을 갖게 되고 이는 도구사용에 내재된 풍부한 지식표상을 형성하는 데 도움이 된다. 학습에서 물리적 도구를 사용한 실습 경험은 학습자가 다양한 감각 기관을 사용하여 학습자 본인의 자발적인 행동에 대한 계획 및 실행을 통해 대상물을 더 잘 탐색할 수 있다는 점에서 직관적이고 효과적인 학습 방법으로 간주되어왔다(Ekwueme *et al.*, 2015; Marshall *et al.*, 2006; Pouw *et al.*, 2014; Pyatt *et al.*, 2012). 예를 들어 경사면 도구 같은 물리적인 도구를 가지고 물리개념을 탐색하는 학생의 경우, 서로 다른 무게를 가진 물체를 표면의 마찰 정도가 다른 경사면의 위에서 조작하는 경험을 통해 물체의 힘, 질량, 마찰의 개념을 자연스럽게 구현할 기회를 가질 수 있다. 따라서 물리적 도구는 학습자의 운동 감각적 조작을 가능케 하여 학습에 대한 참여동기를 높일 수 있으며 학습자의 실습활동을 그 학습활동에 내재된 개념의 이해와 연결하도록 도울 수 있다.

과학기술의 발전은 특정 현상이나 개념을 이해하는 것이 물리적 도구를 기반으로 한 실제 경험에만 의존하는 것에 국한되지 않고 동작에 기반한 애니메이션, 전자 교과서 및 대화형 컴퓨터 시뮬레이션과 같은 다양한 유형의 가상도구를 사용하여 달성할 수 있음을 보여주었다. 가상도구가 제공하는 일련의 고유한 행동유도성은 다음과 같은 이유로 학습에 도움이 된다고 알려져 있다.

첫째, 가상도구는 개체의 작동과 그 과정에 대한 정보를 포함하는 시각적 틀을 제공할 수 있다(Jackson *et al.*, 1996). 예를 들어, 전기 회로를 통해 전기 흐름, 저항 및 그 관계의 개념을 학습할 때 가상 시뮬레이션은 애니메이션을 사용하여 전자의 흐름을 나타낼 수 있다. 따라서 가상도구 사용 시 학습자는 전류 흐름을 관찰할 수 있는 디지털 스토리지 오실로스코프와 같은 측정 도구를 사용하지 않고 다른 변수가 변경될 때 전자 흐름의 차이를 쉽게 관찰할 수 있다.

둘째, 가상도구는 인과 관계, 절차정보, 복잡한 움

직임 등에 대한 정보들을 도식화시켜 즉각적인 피드백의 형태로 제공할 수 있다(Finkelstein *et al.*, 2005; Marshall *et al.*, 2010; Myneni *et al.*, 2013; Predavec, 2001; Pyatt *et al.*, 2012; Zacharia, 2007). 예를 들어, Finkelstein *et al.* (2005)은 물리적 도구 그룹과 가상도구 그룹 간의 직류 회로에 대한 학생들의 내용 지식에 대한 비교를 통해 가상도구 그룹이 물리적 도구 그룹을 능가함을 발견했다. Zacharia (2007)는 물리적 그룹과 가상 그룹 간의 전기 회로에 대한 학생들의 개념적 이해를 비교했는데, 가상도구 그룹의 학생들은 전기 회로에 대한 개념적 이해, 특히 다중 배터리와 같은 전압 측정 개념 및 Kirchhoff의 두 번째 규칙에 대한 개념 이해에서 물리적 도구 그룹의 학생들보다 성취도가 더 높은 것으로 나타났다. 실험 중 가상도구 그룹은 전구의 밝기, 회로 소자의 저항, 전류 통과 개념과 관련된 전하의 흐름, 전압과 같은 회로의 동작에 대한 즉각적인 시각적 피드백을 받았다. 과학개념에 대한 탐색과제 시 학습자는 가상도구가 제공하는 시스템 작동 방식에 근접하는 기제에 대한 피드백을 받을 수 있었고, 이를 통해 적절한 후속 조치를 취하거나, 오류를 수정하거나 변수를 변경할 수 있었다.

셋째, 가상도구는 다층 시각표현을 통해 학습자에게 통합된 지식을 제공할 수 있다(Chi *et al.*, 2017; Hmelo-Silver *et al.*, 2008; Virk *et al.*, 2015). 예를 들어, 확산 개념을 배울 때 가상 시뮬레이션은 학습자에게 미시적 및 거시적 수준의 시각적 정보를 제공할 수 있다. 학생들은 미시적 수준에서 개별 분자의 행동과 거시적 수준에서 물질의 흐름으로 표현되는 집단적 움직임을 관찰할 수 있었다. Chi *et al.* (2017)는 확산 개념 이해에서 분자와 같은 미시 수준부터 액체의 흐름과 같은 거시 수준에 이르기까지의 다층적 관계를 시각화하여 보여주는 가상도구의 활용을 통해 복잡한 개념(emergent concept)에 대한 학생들의 이해를 도와줄 수 있음을 보여주었다. 구체적으로 염료와 물 분자의 움직임을 분자 수준과 그 흐름의 수준에서 함께 중첩함으로써 학생들은 서로 다른 패턴을 동시에 관찰할 수 있었고, 물과 염료의 흐름과 이들 분자 사이의 관계에 대한 지식을 발전시킬 수 있었다. 가상도구를 통해 학생들은 현미경만으로는 얻기 힘든 확산의 개념이 어떻게 작동하는지에 대한 통합된 지식을 가질 수 있었다.

넷째, 가상도구를 사용하는 학생은 실제 학교 실험실에서 물리적 도구로 만들기가 거의 불가능한 무마찰 또는 무중력과 같은 이상적인 실험 조건을 구현할 수 있다(Zacharia *et al.*, 2003). 가상도구는 Snir *et al.* (1993)이나 Akpan *et al.* (2019)의 연구에서 보여주듯이 힘, 전류 흐름 또는 바이러스 입자와 같은 실

제 실험실에서 맨눈으로 볼 수 없는 개체, 변수 및 그 관계를 구현하여 주며, 명확하고 상세한 시각적 모델을 제공할 수 있다. 따라서 학습자는 가상도구를 사용하여 학습개념에 대한 보다 정확하고 상세한 정보를 표상화할 수 있다. 더불어, 가상도구를 사용하는 학습자는 측정오류 없이 개념을 탐색할 수 있으며, 실험자 오류 및 물리적 제한으로 야기된 잘못된 정보에 대해 걱정할 필요도 없다. 또한 장치를 조립하는 데 시간을 들이지 않고(예: 도르래와 끈이 있는 복합 도르래 만들기), 학습자는 가상도구를 조작한 직후 즉각적인 피드백을 받을 수 있다. 결과적으로 가상도구를 사용하는 학습자는 낮은 인지적 부하의 상황에서 측정오류에 대한 가능성이 감소하여 학습한 개념에 더 많은 시간을 집중할 수 있다(Lee *et al.*, 2007; Sadler *et al.*, 1999; Sim, 2006).

물리적 도구와 가상도구가 가지는 서로 다른 행동 유도성이 어떻게 지식 구성에 영향을 미치는지에 대한 답을 얻으려면 먼저 도구사용의 인지적 기제와 지식 구성과의 관계를 확인해야 한다. Osiurak & Badets (2016)는 인간의 도구 사용과 기본적 인지기제에 대한 두 가지 다른 접근방식을 다루었다. 하나는 조작기반 접근방식이고 다른 하나는 추론기반 접근방식이다. 조작기반 접근방식에서 행동유도성은 도구를 지각함으로써 자동적으로 활성화되는 지식을 의미한다. 따라서 도구 사용자의 기존 지식이 사용자의 근육을 통해 그 활동에 대한 지시를 야기하는 것과 관련이 있다. 따라서 이 접근법은 체화된 인지이론과 밀접하게 관련되어 있다고 할 수 있다.

반면, 추론에 기반한 접근방식은 도구 사용자가 "도구 사용에 있어 특정 동작(예를 들면 못을 두드릴 때 망치를 잡고 내리치는 동작)과 관련된 정신적 시뮬레이션을 형성하는 데 있어 도구에 대한 기능적, 기계적 지식을 가지고, 그 지식에 기반하여 다음 근육운동 동작에 부합하는 행동유도성의 지각정보를 통제한다"(Osiurak *et al.*, 2016, p.535). 이 가설은 도구 사용자가 이미 도구와 상호 작용하는 방법에 대한 사전 지식이 있고 따라서 사용자가 목표를 달성하기 위해 세계를 재해석할 수 있는 능력이 있다고 가정한다.

## 2. 정보처리의 깊이와 관련된 인지적 개입수준

교실에서 학생들은 단지 물리적 또는 가상도구만을 사용하는 것을 넘어 교사의 강의듣기, 교과서 읽기, 비디오 시청, 제스처 사용, 친구들과의 토론 등과 같은 다양한 학습활동에 참여함으로써 개념의 이해 과정에 참여한다. 다양한 학습활동을 통해 학생들은 사실적 지식을 저장하고, 개념을 조작하고, 새로운 아이디어를 창출한다. 따라서 단순히 도구가 제공하는 서

로 다른 행동유도성만을 비교하는 것보다 학습자가 개입하는 학습행위에 초점을 맞추어 다른 종류의 학습도구들을 사용하는 학생들의 학습을 비교 및 해석하는 것이 더 합리적일 수 있다. 이러한 맥락에서 도구를 어떻게 사용하는지에 대한 학생들의 학습행위를 면밀히 관찰함으로써 기존 연구들에서 나타난 물리적 도구와 가상도구를 통해 학습한 학습자의 학습수행 정도에 대한 올바른 해석과 원인을 설명할 수 있으며, 이를 통해 학습수행 정도를 예측할 수 있다.

Chi & Wylie (2014)는 ICAP (Interactive, Constructive, Active, and Passive)라는 학생 참여 수준에 대한 이론적 틀을 제시했다. ICAP의 핵심개념은 학생들이 학습활동에 깊이 참여할 때 더 잘 배우고, 정보를 더 오래 보유할 가능성이 높으며, 학습자의 다양한 인지 참여 수준을 학습행위에서 측정하고 예측할 수 있다는 것이다. 또한 이론체계는 학생들의 인지적 개입수준을 '수동적,' '능동적,' '구성적,' '상호작용적'의 네 가지 참여 상태로 구분한다. 먼저 수동적 참여는 학생들이 강의를 듣거나 조용히 글을 읽는 것과 같은 행동을 할 때, 학생들의 인지적 측면에서의 개입은 주의를 기울이거나 정보를 받고 있다는 것이다. 이를 통해 관련 도식에 정보를 포함하지 않고도 정보를 "저장"할 수 있다. 능동적 참여는 학생들이 내용의 특정 구절을 강조하기 위해 표시를 하거나 밑줄을 긋거나, 단어를 해당 특정 정의와 맞추어 보거나, 주어진 공식을 사용하여 문제를 해결하는 것과 같이 학습할 자료를 어떤 방식으로든 조작하는 인지적 행위가 포함된다. 이러한 조작 행위는 사전 지식의 활성화와 이후 검색을 위해 주어진 정보의 "통합"으로 이어진다. 학생들이 구성적인 행동을 할 때는 주어진 것(정보) 이상의 새로운 정보를 생성하거나 "추론"을 통한 지식의 변화 과정에 참여하는 것을 말한다. 추론과 같은 구성적 참여 수준을 통해 생성된 지식은 기존 도식을 풍부하게 함으로써 학습자가 가지고 있는 기존 지식을 새로운 상황에 잘 적용할 수 있도록 준비시키는 역할을 하게 된다. 마지막으로 상호작용 수준에서 학생들은 다른 개인과 추론을 통한 구성적인 과정에 참여하고, 한 명 이상의 학습자가 서로의 지식 위에 새로운 지식을 생성하고 구축하게 된다. 이러한 의미에서, 상호작용적 개입은 "함께 지식을 구성하여 쌓아올리기"의 개념과 동일하다. 이 네 가지 참여 상태는 계층적 방식으로 구성되어 있으며 학생 학습에 차등적인 영향을 미친다. 즉, 가장 높은 수준인 상호작용에 기반한 학습활동에 관여된 인지적 개입은 그 아래 수준에서 수행된 행동을 모두 포함하게 된다.

이처럼 다른 종류의 도구가 부여하는 학습유도성과 도구를 통한 학습장면에서 발생하는 인지적 개입정도는 정보처리와 기억, 인출에 있어 밀접한 관련성에도

불구하고 이들 두 가지 개념적 틀은 기존의 경험연구들에서 물리적 도구와 가상도구 사용에 있어 학습에의 차이를 설명하는데 고려되지 않았다. 이에 본 연구는 지식의 획득, 지식구조의 변화(인지적 요소)의 관점에서 도구와의 상호작용에서 발생하는 행동유도성과 학습활동 참여 과정에서 인지적 개입의 정도를 기준으로 선행 비교연구들의 결과를 재해석하는데 사용하고자 한다. 더불어 재해석을 토대로 얻은 결과물들이 실제 학습장면에서 어떻게 활동될 수 있을지에 대한 함의점을 제공하고자 한다.

### III. 연구 방법

비교연구의 타당도와 신뢰도를 확보하기 위하여 공동연구자 2인이 동료심사 (Stoll *et al.*, 2019)를 통해 컴퓨터를 본격적으로 사용하기 시작한 1990년부터 최근 2020년까지의 논문을 대상으로 교육 관련 학술지에 게재된 경험비교연구(물리적도구와 가상도구를 통한 학습비교)만을 선정한 후, 초록과 본문 내용 등 각 단계의 분석 결과에서 공동연구자 2인이 모두 일치하는 경우에만 다음 단계로 진행하여 최종 논문을 선정하였다. 먼저, 국문 연구의 경우 RISS를, 영문으로 작성된 논문의 경우 학술논문 전자도서관 JSTOR과 ERIC을 이용하여 물리적 도구와 가상도구의 학습 혜택을 비교한 연구들을 검색하였고, 검색어로 "물리적(physical)," "가상(virtual)," "시뮬레이션(simulation)," "전통적(tradition)," "조작적(manipulative)," "온라인(online)"을 검색어로 사용하였다. 그 이유는 이 개념들이 물리적 도구와 가상도구를 학습에 적용했을 때 관련되는 핵심 개념을 나타내기 때문이다. 데이터베이스 전체에 대해 "또는" 부울 연산자를 사용하여 실제 또는 가상이라는 용어에 대해 다양한 대응 키워드를 검색하였다. 본 연구에서 학습은 물리적 도구나 가상도구의 조작을 통한 지식의 양 혹은 지식구조의 변화로 정의하였다. 따라서 검색결과 논문들 중 원격학습(remote learning) 혹은 온라인학습(online learning), 도구의 조립기술(assembly skills), 혼합학습(blended learning)과 관련된 논문들은 제외하였고, 개념에 대한 지식의 변화를 측정하지 않은 연구를 제외한 설문지나 인터뷰를 통한 학습자의 도구사용에 대한 자기지각(self-reported perceptions)과 관련된 논문들(예: Braun & Kearns 2008; Chan *et al.*, 2009; Collier *et al.*, 2012; Flowers, 2011) 또한 제외하였다. 끝으로 도구사용에 있어 학습의 효과를 비교한 이전 리뷰논문들(Brinson 2015; Ma & Nickerson, 2006; Moyer-Packenham & Westenskow, 2013)을 참조하였다. 과학개념에 대한 학습이라는 측면에서 초

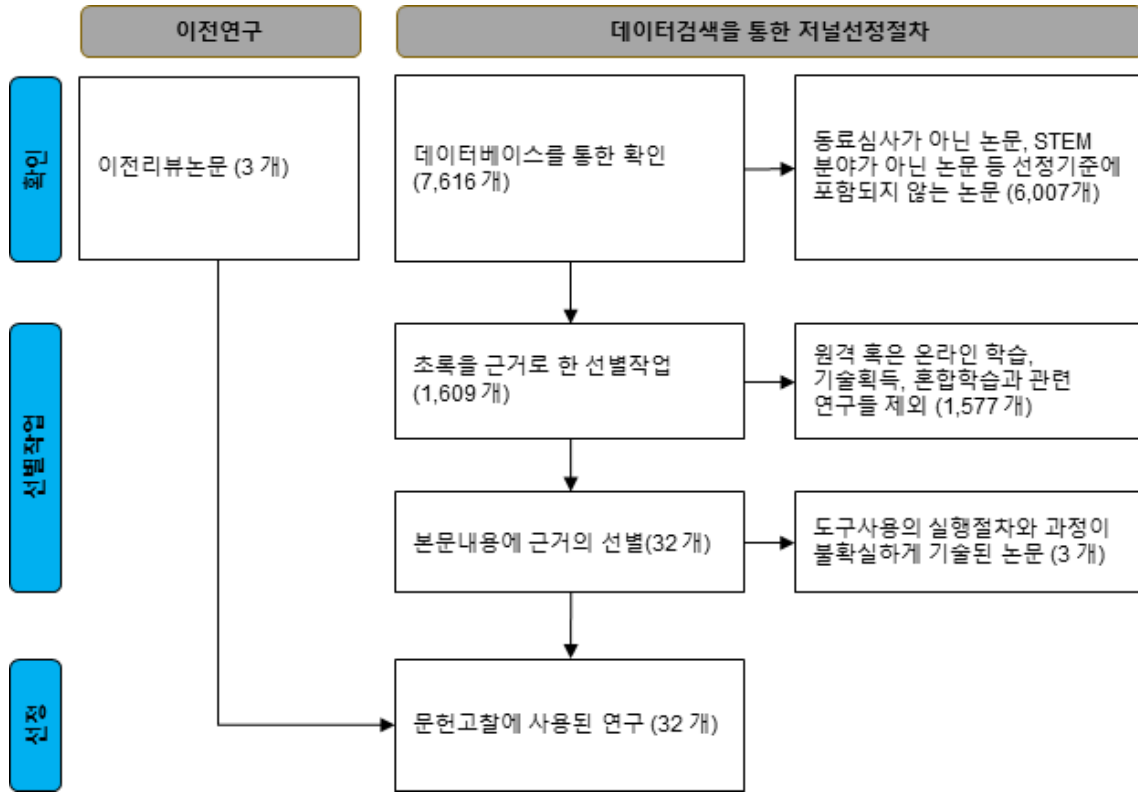


Figure 1. Article selection process

등학생부터 대학생을 대상으로 한 연구를 선정하였으며, 물리적 도구와 가상도구를 통한 개념학습을 비교한 실험연구 및 교실수업의 적용연구를 포함하였다. 물리적 도구와 컴퓨터 기반 가상도구 사용을 통한 과학개념에 대한 학습효과를 직접 비교한 총 32개의 비교연구들을 Figure 1에 제시한 바와 같이 선정하였다. 또한 선정된 논문들의 효과 크기 및 관련 내용들은 Appendix 1에 제시하였다.

선정된 기존비교연구 중 인지적 개입의 깊이에 대해, 공동연구자 2인이 ICAP 이론에 근거하여 각자 4단계의 학습활동 중 가장 깊은 인지적 개입의 수준과 관련된 학습활동을 확인하여 해당 논문의 인지적 개입 수준을 설정하였으며, 개입수준의 설정 후, 연구자 2인의 결과를 상호 비교하였으며 일치하는 않았던 논문의 경우, 협의를 거쳐 개입수준단계를 선정하였다.

#### IV. 도구사용의 효과에 대한 연구결과의 재해석

##### 1. 물리적 도구를 통한 지식생성에의 한계

앞서 언급한 대로 행동유도성의 기제는 크게 조작기반 접근방식과 추론기반 접근방식의 두 가지 접근법이 존재한다. 조작기반 접근방식에서 도구 사용자의

기존 지식이 사용자의 근육을 통해 그 활동에 대한 지식을 야기하는 것과 관련이 있기에 체화된 인지 이론과 그 맥락을 같이 한다고 할 수 있다. 추론기반 접근방식은 도구 사용자의 도구에 대한 사전지식을 근거로 사용자의 목표를 달성하기 위해 도구가 사용된다는 접근방식이다. 두 접근방식의 주요 차이점은 행동유도성이 사용자의 도구에 대한 잠재의식의 반응에 기반을 두고 있는지 혹은 의도적이고 다소 계획된 감각 운동 동작에 기반을 두고 있는지에 있다. 어느 두 가설에 근거하더라도 행동유도성의 차이는 도구사용에 있어 드러나는 특정 행동양식에 기저하는 기제의 차이를 설명할 뿐 행동유도성 자체가 지식 구성의 차이를 만드는 것으로는 보이지 않는다(Osiurak, 2013). 구체적인 예시로 탐구기반 커리큘럼에 기반한 수업에서 다른 종류의 도구를 사용하는 학생들의 학습 행동에 기반한 지식획득 절차에 대해 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 물리적 도구 조건에서 지렛대의 사용을 통해 힘, 에너지, 마찰 등의 물리 개념을 배울 때, 지레로 사용할 긴 널빤지, 받침점, 그리고 하중으로 사용할 물체를 설정하게 된다. 학생들은 지레 도구를 설정한 상태에서 손가락이나 손으로 지렛대를 누르거나 손으로 물체를 잡는 등 다양한 방법으로 앞서 언급한 각 물체들을 조작하게 된다. 다음으로 무게가 다른 물체, 물체와 받침점 사이의 거리 등을 다양하게 조절해 가며 해당 시나리오에서 측정된 관찰값의 눈금을 읽어 측정하게 된다. 한편, 가상도구 조건에서는 이러한

일련의 행동들이 마우스를 클릭과 키보드로 컴퓨터에 글자 및 숫자 정보를 입력하는 것으로 대체된다. 따라서 물리적 도구에서 획득하지 못한 물체의 무게에 대한 감각정보는 가상도구가 제시하는 시각정보로 대체되며, 학생들은 무게에 대한 동일한 지식을 얻게 된다. 따라서 물리도구와 가상도구 사용에 있어 서로 다른 행동양식에 기저하는 상이한 행동유도성이 물리개념의 획득과 관련하여 지식의 변화에 미치는 영향은 미미하다 할 수 있다.

실제 교실수업에서 학생들은 단지 도구와의 상호작용만을 통해 학습하는 것을 넘어, 일련의 다양한 학습활동에 참여함으로써 과학개념을 학습하며(Kim, 2021; Park & Lee, 2016), 이는 다양한 인지적 참여 수준과 관련되며, 결국 지식의 양과 그 구조의 변화에 영향을 주게 된다. 다양한 학습활동의 차이에 따른 각기 다른 인지적 참여 수준에 대해 살펴보면, 먼저 부품을 조립하여 레버 시스템을 만들기, 다음으로 숫자를 기록하거나 메모하기, 마지막으로 레버 시스템에 내재된 규칙이나 원리를 찾기 위한 아이디어를 생성하기 등이다. 이와 유사하게 가상도구사용에서도 학생들은 학습 주제와 관련된 정보를 탐색하고, 제공된 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 획득된 숫자를 기록하고, 그 숫자들에서 변화의 패턴을 찾아내야 한다.

이러한 일련의 학습활동에서 학생들이 조작적 행위, 즉 몸의 움직임에 기반한 학습활동에 참여하였다면 물리적 도구와 가상도구를 사용하는 학습자 모두 "능동적" 상태에 있다고 할 수 있다. 즉 도구를 쥘거나 조립할 때 몸을 움직여 사물을 조작하는 활동에 참여하지만, 이는 개념의 이해와 관련성이 낮거나 영향을 미치지 않으므로 결국 물리적 도구를 사용하는 학생들의 지식에 영향을 미치지 않는다. 이에 따라 결국 물리적 도구와 가상도구 조건 간 학습수행의 차이로 귀결되지 않는다. 해당 개념의 이해와 연관되는 학생들의 물리개념에 대한 이해는 학습활동이 물리적 도구를 사용하건 혹은 마우스를 움직이는 가상도구를 사용하건 상관없이 도구 사용을 통해 발견한 내용을 기록하거나, 조작 또는 구성하는 과정을 통해 더 영향을 받게 된다. 따라서 학생들의 인지적 개입수준은 "능동적"으로 분류된다. 마지막으로 물리적 도구, 가상도구 두 집단의 학생들은 자신이 기록한 숫자에서 패턴을 찾도록 요구되는데 이 과정은 학생들이 갖고 있던 사전지식을 기반으로 본래의 지식을 추상화하거나 일반화하는 구성적 인지 과정을 필요로 한다. 따라서 두 집단의 학생들이 다양한 학습 과제 전반에 걸쳐 동일한 수준의 인지적 개입수준을 유지한다고 할 수 있으며, 결국 그룹 간 학습수행 정도에는 차이가 없음을 예측, 확인할 수 있다(Baxter, 1995; Darrah *et al.*, 2014; Garner *et al.*, 2005; Hawkins *et al.*,

2013; Jaakkola *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2011; Lang, 2012).

## 2. 가상도구를 통한 추가 지식

앞서 살펴보았듯이 물리적 도구가 가지는 행동유도성이 새로운 지식생성에 영향을 미치지 못함을 가정했을 때, 행동유도성에 근거해 지식생성에 영향을 줄 수 있는 요소는 가상도구가 제공할 수 있는 추가적인 또는 풍부한 정보임을 가정할 수 있다. 이에 본 연구는 기존의 연구결과들을 토대로 물리적 도구와 가상도구를 통한 학습에 있어 행동유도성과 관련하여 다음과 같은 함의점을 제시하고자 한다.

첫째, 가상도구가 이에 내재된 개념과 관련된 풍부한 시각정보를 학습자에게 제공할 때 가상도구를 사용하는 학습자가 더 나은 학습수행을 보여줄 것으로 예측한다. 우리는 기존 연구들 중 가상도구를 사용하는 과정에서 학습자는 도구가 제공하는 확장된 정보를 받아들일 수 있었고, 이는 더 나은 학습에 기여한 핵심 요소가 됨을 발견하였다(Baxter, 1995; Darrah *et al.*, 2014; Kim & Kim, 2021; Klahr *et al.*, 2006; Marshall *et al.*, 2010; Moyer-Packenham *et al.*, 2013; Olympiou *et al.*, 2012). 따라서 가상도구가 더 풍부한 정보를 제공하도록 설계된다면 학습자의 더 높은 학습수행 정도를 기대할 수 있다.

둘째, 학습목표가 도구사용을 통한 개념학습이라고 한다면, 물리적 도구가 학습자에게 부여하는 고유한 행동유도성을 통해 전달되는 촉각정보는 지식의 변화에 영향을 주지 못하며, 단지 기존 지식을 꾸며주는 것에 불과하다고 할 수 있다. 아래의 일련의 연구들은 도구사용을 통한 학습에 있어 도구가 제공하는 추가적인 시각정보가 개념과 관련된 새로운 지식형성에 기여하지 않을 때 집단 간 학습수행의 차이를 드러내지 못함을 보여준다. 즉, 도구의 사용에 있어 행동유도성은 물체 또는 인공물을 사용하는 방법, 예를 들면 도구를 잡는 방법 및 손목이나 손이 움직이는 방향과 같은 일련의 동작 구성 요소와 관련이 있다(Borghi, 2004; Borghi & Riggio, 2009; Buxbaum, 2001). 따라서 체화된 인지에 관해 연구하는 연구자들은 행동유도성의 개념을 체화된 인지의 관점에서 바라보고, 도구와 상호작용하면서 지식 표현을 위한 도구의 영향을 조사해 왔다. 감각-운동 행위에서 촉각양식을 통해 전달되는 정보를 즉각적인 촉각 또는 촉각 피드백이라고 하는데, 이는 학생들의 학습에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Bara *et al.*, 2004; Jones *et al.*, 2005; Han & Black, 2011; Wiebe *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2003). 예를 들어 Han & Black (2011)은 초등학교 학생들의 톱니 수와 톱니 크기가

## V. 결론

다른 두 기어의 움직임에 대한 이해와 관련한 촉각 피드백의 효과에 대한 연구로 세 그룹 간 학생들의 학습 결과를 비교하였다. 한 그룹은 촉각 피드백을 생성하는 조이스틱 움직임으로 기어 세트를 탐색했고, 두번째 그룹은 조이스틱으로 동일한 기어 세트를 탐색했지만 촉각 피드백이 없었고, 세 번째 그룹은 회전하는 기어의 시뮬레이션만 관찰하여 기어가 어떻게 작동하는지 배웠다. 조이스틱을 사용한 두 집단 모두 관찰만 한 집단보다 더 나은 학습수행 정도를 보였지만 촉각 피드백이 있는 조이스틱 그룹과 촉각 피드백이 없는 조이스틱 그룹 간의 학습 결과에는 차이가 없었다. 또한 Wiebe *et al.* (2009)는 학습에 있어 촉각 정보를 받는 것에 대한 학습영향력을 시험하기 위해 촉각 피드백 그룹과 촉각 피드백이 없는 그룹으로 분류하여 지렛대에 포함된 원리에 대한 중학생의 이해를 비교했다. 시각-촉각 그룹은 프로그램을 통해 시각과 촉각에 대한 “이중양식” 정보의 피드백을 받았지만, 시각 그룹은 레버로 작업할 때 시각정보(단일양식)만 피드백으로 받았다. 실험 결과, 서술적 지식과 개념적 이해도 검사에서 시각 피드백 그룹이 시각-촉각 그룹보다 더 높은 학습수행 정도를 보인 것으로 나타났다. 이는 추가적인 촉각정보가 학습에 영향을 미치지 못했음을 의미한다. Jones *et al.* (2006)는 과학 탐구 프로그램에서 촉각 증강이 중학생 및 고등학생의 바이러스 및 나노 규모 과학학습에 미치는 영향을 조사했다. 실험에서 그들은 촉각 피드백을 제공하는 Sidewinder 게임 조이스틱을 사용하는 그룹과 좀 더 자연스러운 움직임과 더 풍부한 촉각(햅틱) 피드백을 제공하는 PHANTOM 데스크톱 장치를 사용하는 두 그룹 간 학생들을 비교한 결과, 학생들의 지식획득에는 차이가 없다고 밝혔다. 또한 Glenberg *et al.* (2011)는 초등학교 1, 2학년 학생들의 텍스트로 작성된 이야기에 대한 이해력을 측정하고자, 농장에서 사용하는 장난감 모형을 직접 손으로 조작하여 이야기를 구현한 그룹과 컴퓨터 화면의 장난감 이미지(가상)로 주어진 이야기를 구현한 그룹을 비교하였다. 연구자들은 두 그룹의 학생들 모두 장난감이 물리적 도구 이건 가상도구이건 사물의 조작에 관여하고 있다는 점에서 인지적 참여도는 같은 수준이라고 가정하였다. 실험 결과, 컴퓨터 화면에서 장난감의 이미지를 조작하게 하는 것이 실제 장난감을 물리적으로 조작하는 행위 못지않게 이해력에 도움이 된다고 밝혔다.

이러한 연구 결과들이 함의하는 바는 도구의 종류 자체는 개념의 변화에 거의 영향을 미치지 않으며, 학습(지식의 변화)은 도구가 제공하는 개념의 이해와 직접적으로 관련된 추가적인 정보에 의존한다는 것이다.

본 연구에서는 물리적 도구와 가상도구가 가지고 있는 특성을 분석하고, 이에 기반하여 그 특성들이 학습에 미치는 영향을 비교했던 기존 연구의 결과들을 인지적 관점에서 재해석하여, 물리적 도구와 가상도구가 제공하는 학습 혜택을 분석하였다. 각 유형의 도구에는 학습자가 그 도구와 상호 작용하며 도구를 사용하는 과정에 내재된 기본 개념이나 원리를 다양한 방식으로 배울 수 있는 고유한 행동유도성이 내재되어 있으며, 이러한 차이가 학습에 영향을 준다고 알려져 왔다. 예를 들어, 실습 경험에 기반한 촉각양식을 통해 추가정보를 제공할 수 있는 물리적 도구를 가지고 작업함으로써 학습자는 가상도구를 사용하는 학생들보다 더 많은 학습 혜택을 받을 수 있으며, 가상도구는 물리적 도구가 가지고 있는 정보제공의 제약을 극복하는 다양한 방식의 정보를 제공함으로써 학습의 개념이해에 도움을 준다고 알려져 왔다. 이에 연구자들은 학습자들이 물리적 도구와 가상도구를 사용함으로써 얻을 수 있는 학습에서의 이점들을 비교 및 탐색해 왔다. 하지만 기존에 수행된 실증비교연구들 중 과 학개념의 이해에 있어 물리적 도구 사용집단이 가상 도구 집단보다 더 높은 학습수행 정도를 보였다는 결과는 없었다(Kang *et al.*, 2021). 이는 도구 자체의 조작과 관련된 행동유도성의 차이가 학생들의 학습에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 나타낸다. 촉각 피드백은 단순히 기존 지식을 꾸며주지만, 학습자의 지식 조작 및 탐색 행동과 결합되지 않음으로 인해 개념적 변화와 관련된 새로운 혹은 부가적인 지식을 생성하지는 않는 것으로 사료된다.

인지이론과 학습이론을 바탕으로 기존에 수행된 비교연구의 연구설계와 이에 수반된 학습 측정과정을 살펴본 바에 따르면, 물리적 도구가 가상도구보다 더 나은 학습을 유도한다는 명확한 증거는 없었다. 즉, 인지이론에 기반한 정보처리의 관점에서 볼 때 물리적 도구에 포함된 행동유도성은 학습의 이점에 대해 거의 설명하지 않으며, 물리적 도구를 사용한 그룹이 가상도구를 사용한 그룹보다 더 높은 학습수행 정도를 보인 연구도 찾아볼 수 없었다. 오히려 가상도구 그룹의 학생들이 다양한 관점에서 더 풍부하게 제공된 정보로 인해 물리적 도구 그룹의 학생들보다 더 나은 수행을 보인 연구들을 발견하였는데, 이러한 발견은 Clark (1994)의 학습 주제가 개념적 이해인 경우 미디어(학습매개체) 자체가 학습에 미치는 영향은 없다고 주장한 바와 일치한다. 두 종류의 도구 사용을 통한 학습수행도를 비교한 기존 연구 중, 가상도구를 통해 추가적인 정보를 제공했던 연구들은(Jaakkola & Nurmi 2008, (효과크기: 0.53); Lalley *et al.*, 2010,

(효과크기: 0.41); Winn *et al.*, 2006, (효과크기: 0.44)) 통계적으로 유의미한 차이가 없었던 경우라 할 지라도, 추가적인 정보를 제공하지 못한 연구들 (Marshall *et al.*, 2010, (효과크기: 0.20); Zacharia *et al.*, 2012, (효과크기: 0.20))에 비해 여전히 기술통계에서 더 높은 평균점수를 보여주었을 뿐만 아니라 더 큰 효과크기(effect size)를 보였다.

기존 비교연구들을 검토한 결과, 우리는 학생의 학습 결과를 결정짓는 것은 어떤 종류의 도구를 사용했느냐가 아니라, 도구가 얼마나 많은 지식을 제시하였고, 학생들이 학습활동에 얼마나 깊이 참여했는지가 학습 수행에 더 중요하게 작용할 수 있음을 확인하였다. 물리적 도구를 사용하는 학생들이 학습활동에 더 깊이 참여함으로써 물리적 도구만으로 얻을 수 없는 지식을 얻을 수 있다. 예를 들면, 확산이라는 개념을 학습하는데 있어, 물리적 도구 사용자들이 구성적 혹은 체화된 인지에 기반한 학습활동에 참여함으로써 가상 도구를 통해서만 얻을 수 있는 분자의 무선적인 움직임과 액체의 흐름의 관계에 대한 지식을 구체화 할 수 있을 것이다. 이는 학습활동을 함에 있어 인지적 개입의 수준이 같다면 물리적 도구 사용집단과 가상도구 사용집단 간의 수행도 차이가 발견되지 않은 연구들 (Chen *et al.*, 2014; Lang, 2012; Pyatt *et al.*, 2012; Zacharia, 2007)은 이러한 주장을 뒷받침해 준다. 학습자가 배우는 것은 도구를 사용하는 방법이 아니라 도구의 조작을 통한 과학적인 개념이다. 이는 학습에서 중요한 것은 가상도구를 사용하느냐 물리적 도구를 사용하느냐가 아니라 도구를 통해 학습자가 얼마나 많은 새로운 정보를 제공받고, 또 학습활동에 얼마나 깊이 참여하느냐가 더 중요하다는 것을 의미한다.

본 개관연구는 단순히 학습을 위해 물리적 도구와 가상도구 중 학습에 더 좋은 도구가 무엇인지를 규명하는 것이 아니라 기존 비교연구에서 일관성 없는 결과가 나온 이유와 이러한 불일치를 어떻게 해석할 수 있는지 탐색하였다는 점에서 교사에게 물리적 혹은 가상도구를 사용하는 데 있어 학생의 학습활동에서 고려해야 할 사항에 대한 지침을 제공한다. 학습에 관여하는 다양한 변수와 그 복잡성을 고려할 때 (Koedinger *et al.*, 2013), 학습환경과 관련된 모든 변수와 그 역학을 고려하는 것은 거의 불가능하다. 그러나 본 논문에서 제기된 두 가지 주요 개념분석 틀인 행동유도성과 학습자의 인지적 개입수준을 바탕으로 연구의 결과를 재해석했을 때 기존에 수행된 비교 연구 결과와 불일치한 부분들을 상당 부분 재조정할 수 있었다. 또한 물리적 도구 사용자가 겪을 수 있는 한계인 정보의 부족은 교사의 지원을 통한 능동적이고 구성적인 학습활동을 통해 보완될 수 있을 것이다. 기술의 발전에 따라 가상도구를 통해 학생들은 더 풍

부한 정보와 즉각적이고 개인화된 피드백을 받을 수 있으며, 학습활동에 더 깊이 몰입할 수 있는 환경을 통해 과학개념을 탐구할 수 있을 것으로 사료된다. 가상도구가 가진 이러한 잠재력을 효과적으로 활용하는 방법으로 물리적 도구를 대체할 수 있도록 가상도구를 주의 깊게 설계하는 것이 필요하며, 이를 통해 학생 학습에 도움을 줄 수 있다. 핵심 개념이 도구 전반에 걸쳐 학생들에게 동일하게 전달되는 한, 학습 효과는 학습활동의 성격과 활동에 대한 학생들의 참여 수준에 달려 있다. 즉, 학습에 있어 관건은 도구의 종류가 아니라 정보의 양과 학습자가 얼마나 깊이 있는 수준에서 학습활동에 참여하는지에 기인한다고 할 수 있다.

데이터베이스를 통한 연구논문 선정시 연구자가 선택하는 검색어와 연구분야에 따라 포괄적인 연구논문의 선택에 제약이 있었을 수 있으며, 학습의 정의를 개념에 대한 이해로 한정하였기에 도구사용의 비교에 있어 다양한 장단점을 비교하는데 제약이 내재되어 있다. 이에 개념의 이해에 대한 측면 뿐 아니라 도구 자체를 다루는 기술적인 측면에서 각 도구가 가진 특성들을 비교하는 추후연구가 수행될 필요가 있다.

## 국 문 요 약

물리적 도구와 가상도구가 가진 서로 다른 도구적 특성은 사용자의 지식획득과 개념 이해에 있어 각기 다른 기제로 작용하여 학습에 영향을 미친다고 알려져 왔다. 본 개관연구는 문헌고찰을 통해 물리적 도구와 가상도구의 사용을 통한 학습과정을 도구가 부여하는 행동유도성의 관점과 인지적 개입의 깊이에 따른 관점에서 정리하였다. 또한 이를 바탕으로 기존에 수행된 물리적 도구와 가상도구의 사용을 통한 학습수행 정도를 비교한 연구의 결과들을 재해석하였다. 비록 물리적 도구와 가상도구의 사용에 있어 각기 다른 행동유도성이 관여되긴 하지만 실제 학습에 영향을 미치는 요인은 가상도구를 사용하느냐 혹은 물리적 도구를 사용하느냐가 아니라, 도구가 제공하는 새롭고 부가적인 정보의 양과 학습자가 도구를 이용한 다양한 학습활동을 통해 개념을 이해하는 과정에서 발생하는 인지적 개입의 깊이에 달려 있음을 확인하였다. 본 연구는 교사들이 물리적 및 가상도구를 사용하여 학생들의 개념 이해를 돕기 위한 학습 시 행동유도성과 인지적 개입의 관점에서 수업 계획을 세울 때 고려해야 할 시사점을 제시하였다.

**주제어:** 행동유도성, 인지적 개입수준, 물리적 도구, 가상도구



## References

- Akpan, I. J., & Shanker, M. (2019). A comparative evaluation of the effectiveness of virtual reality, 3D visualization and 2D visual interactive simulation: An exploratory meta-analysis. *Simulation*, 95(2), 145-170.
- Anderson, J. R. (2020). *Cognitive Psychology and Its Implications*. Broadway, England: Worth Publishers.
- Bara, F., Gentaz, E., Cole, P., & Sprenger-Charolles, L. (2004). The visuo-haptic and haptic exploration of letters increases the kindergarten- children's understanding of the alphabetic principle. *Cognitive Development*, 19(3), 433-449.
- Baxter, G. P. (1995). Using computer simulations to assess hands-on science learning. *Journal of Science Education and Technology*, 4, 21-27.
- Borghini, A. M. (2004). Object concepts and action: Extracting affordances from objects parts. *Acta Psychologica*, 115(1), 69-96.
- Borghini, A. M., & Riggio, L. (2009). Sentence comprehension and simulation of object temporary, canonical and stable affordances. *Brain Research*, 1253, 117-128.
- Braun, M. W., & Kearns, K. D. (2008). Improved learning efficiency and increased student collaboration through use of virtual microscopy in the teaching of human pathology. *Anatomical Sciences Education*, 1(6), 240-246.
- Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, 87, 218-237.
- Bub, D. N., Masson, E. J., and Cree, G. S. (2008). Evocation of functional and volumetric gestural knowledge by objects and words. *Cognition*, 106, 27-58.
- Buxbaum, L. J. (2001). Ideomotor apraxia: A call to action. *Neurocase*, 7, 445-448.
- 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.
- Chi, M. T. H., Kang, S., & Yaghmourian, D. (2017). Why students learn more from dialogue than monologue videos: Analyses of peer interactions. *Journal of the Learning Sciences*, 26, 10-50.
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49, 219-243.
- Choi, O., & Year, S. (2004). A study on the effects of the virtual lab and the real experimental activity in the lesson of 'Digestion' of the 7th grade students. *Journal of Research in Curriculum Instruction*, 8(3), 437-451.
- Clark, R. E. (1994). Media will never influence learning. *Educational Technology Research and Development*, 42, 21-29.
- Collier, L., Dunham, S., Braun, M. W., & O'Loughlin, V. D. (2012). Optical versus virtual: teaching assistant perceptions of the use of virtual microscopy in an undergraduate human anatomy course. *Anatomical Sciences Education*, 5, 10-19.
- Corter, J. E., Esche, S. K., Chassapis, C., Ma, J., & Nickerson, J. V. (2011). Process and learning outcomes from remotely-operated, simulated, and hands-on student laboratories. *Computers & Education*, 57, 2054-2067.
- Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M., & Hopkins, J. (2014). Are virtual labs as effective as hands-on labs for undergraduate physics?. A comparative study at two major universities. *Journal of Science Education and Technology*, 23, 803-814.
- Ekwueme, C. O., Ekon, E. E., & Ezenwa-Nebife, D. C. (2015). The impact of hands-on-approach on student academic performance in basic science and mathematics. *Higher Education Studies*, 5(6), 47-51.
- Finkelstein, N., Adams, W., Keller, C., Kohl, P., Perkins, K., Podolefsky, N., Reid, S., &

- LeMaster, R. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 1(1), 010103.
- Flowers, L. O. (2011). Investigating the effectiveness of virtual laboratories in an undergraduate biology course. *The Journal of Human Resource and Adult Learning*, 7, 110-116.
- Garner, L. C., & Gallo, M. A. (2005). Field trips and their effect on student achievement and attitudes: A comparison of physical versus virtual field trips to the Indian River Lagoon. *Journal of College Science Teaching*, 34, 14-17.
- Gibson, J. J. (1977). The theory of affordance. In R. E. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology* (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Glenberg, A. M., Goldberg, A. B., & Zhu, X. (2011). Improving early reading comprehension using embodied CAI. *Instructional Science*, 39, 27-39.
- Han, I., & Black, J. B. (2011). Incorporating haptic feedback in simulation for learning physics. *Computers & Education*, 57, 2281-2290.
- Hawkins, I., & Phelps, A. J. (2013). Virtual laboratory vs. traditional laboratory: which is more effective for teaching electrochemistry? *Chemistry Education Research and Practice*, 14, 516-523.
- Hmelo-Silver, C. E., Jordan, R., Liu, L., Gray, S., Demeter, M., Rugaber, S. V., & Goel, A. (2008). Focusing on function: Thinking below the surface of complex natural systems. *Science Scope*, 31, 27-35.
- Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24, 271-283.
- Jackson, S., Stratford, S., Krajcik, J., & Soloway, E. (1996). Making system dynamics modeling accessible to pre-college science students. *Interactive Learning Environments*, 4, 233-257.
- Jones, M. G., Minogue, J., Tretter, T. R., Negishi, A., & Taylor, R. (2005). Haptic augmentation of science instruction: Does touch matter? *Science Education*, 90(1), 111-123.
- Kang, M., Kim, H., & 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 Korean Association for Educational Information and Media*, 17(1), 39-61.
- Kang, S., Lu, M., & Park, H. S. (2022). *Not affordance, but engagement: Benefits from using a learning tool*. World Education Research Association Focal Meeting & American Educational Research Association Annual Conference, San Diego, CA, USA
- Kim, H., & Kim, S. (2021). Development of simulation-based scientific inquiry program and exploration of implementation possibility. *School Science Journal*, 15(5), 423-436.
- Kim, H. (2021). Perception of science instruction in Korean science classes - Focused on PISA 2015 survey. *School Science Journal*, 15(1), 26-36.
- Klahr, D., Triona, L. M., & Williams, C. (2006). Hands on what? The relative effectiveness of physical versus virtual materials in an engineering design project by middle school children. *Journal of Science Teaching*, 44, 183-203.
- Koedinger, K. R., Booth, J. L., & Klahr, D. (2013). Instructional complexity and the science to constrain it. *Science*, 342, 935-937.
- Lalley, J. P., Piotrowski, P. S., Battaglia, B., Brophy, K., & Chugh, K. (2010). A comparison of V-Frog© to physical frog dissection. *International Journal of Environmental and Science Education*, 5(2), 189-200.
- Lang, J. (2012) Comparative study of hands-on and remote physics labs for first year

- university level physics students. *Transformative Dialogue: Teaching and Learning Journal*, 6, 1-15.
- Lee, S. A., Jhun, Y. S., Hong, J. E., Shin, Y. J., Choi, J. H., & Lee, I. H. (2007). Difficulties experienced by elementary school teachers in science classes. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 26(1), 97-107.
- Ma, J., & Nickerson, J. V. (2006). Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review. *ACM Computing Survey*, 38, 1-24.
- Marshall, P., Cheng, P., & Luckin, R. (2010). *Tangibles in the balance: a discovery learning task with physical or graphical materials*. TEI '10 Proceedings of the fourth international conference on Tangible, embedded, and embodied interaction, 153-160.
- Moyer-Packenham, P., Baker, J., Westenskow, A., Anderson, K., Shumway, J., Rodzon, K., & Jordan, K. (2013). A study comparing virtual manipulatives with other instructional treatments in third-and fourth-grade classrooms. *The Journal of Education*, 193, 25-39.
- Myneni, L. S., Narayanan, N. H., Rebello, S., Rouinfar, A., & Puntambekar, S. (2013). An interactive and intelligent learning system for physics education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 6, 228-239.
- National Research Council. (2006). *America's lab report: Investigations in high school science*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Science Teachers Association (2013). *National NSTA Conference*. Retrieved from <http://static.nsta.org/pdfs/2013SanAntonioProgram1.pdf>
- Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: an effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, 96, 21-47.
- Osiurak F., & Badets, A. (2016). Tool use and affordance: Manipulation-based versus reasoning-based approaches. *Psychological Review*, 123, 534-568.
- Park, E. W., & Lee, Y. H. (2016). The analysis of inquiry Activities in High School Science Textbooks for the 2009 revised curriculum. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 16(8), 419-438.
- Pellicano, A., Thill, S., Ziemke, T., & Binkofski, F. (2011). Affordances, adaptive tool use and grounded cognition. *Frontiers in Psychology*, 2, 53.
- Pouw, W., van Gog, T., & Pass, F. (2014). An embedded and embodied cognition review of instructional manipulatives. *Educational Psychology Review*, 26(1), 1-22.
- Predavec, M. (2001). Evaluation of E-Rat, a computer-based rat dissection, in terms of student learning outcomes. *Journal of Biological Education*, 35, 75-80.
- Pyatt, K., & Sims, R. (2012). Virtual and physical experimentation in inquiry-based science labs: Attitudes, performance and access. *Journal of Science Education and Technology*, 21, 133-147.
- Ronen, M., & Eliahu, M. (2000). Simulation - a bridge between theory and reality: the case of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 16, 14-26.
- Sadler, P. M., Whitney, C. A., Shore, L., & Deutsch, F. (1999). Visualization and representation of physical systems: Wavemaker as an aid to conceptualizing wave phenomena. *Journal of Science Education and Technology*, 8, 197-209.
- Sim, J. (2006). Secondary school science teachers' perceptions about professionalism and in-service training program for experiment. *The Korean Society of Biology Education*, 34(1), 27-37.
- Snir, J., Smith, C., & Grosslight, L. (1993). Conceptually enhanced simulations: A computer tool for science teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 11, 373-388.
- Stoll, C. R. T., Izadi, S., Fowler, S., Green, P., Suls, J., & Colditz, G. A. (2019). The value of a second reviewer for study selection in

systematic reviews. *Research synthesis methods*, 1(4), 539-545.

Virk, S., Clark, D., & Sengupta, P. (2015). Digital games as multirepresentational environments for science learning: Implications for theory, research, and design. *Educational Psychologist*, 50, 284-312.

Weinstein, Y., Madan, C. R., & Sumeracki, M. A. (2018). Teaching the science of learning. *Cognitive Research: Principles and Implication*, 3, 2.

Wiebe, E. N., Minogue, J., Jones, M. G., Cowley, J., & Krebs, D. (2009). Haptic feedback and students' learning about levers: Unraveling the effect of simulated touch. *Computers & Education*, 53(3), 667-676.

Williams, R. L., Chen, M. Y., & Seaton, J. M. (2003). Haptics-Augmented Simple-Machine Educational Tools. *Journal of Science Education and Technology* 12, 1-12.

Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P., & Lee, Y. L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 25-42.

Yu, S. (2007). *Effects of chemistry inquiry learning program using cyber laboratories and video materials* (Master's thesis). Korea National University of Education, Chung-Buk, Korea.

Zacharia, Z. C. (2007). Comparing and combining real and virtual experimentation: an effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23, 120-132.

Zacharia, Z., & Anderson, O. R. (2003). The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on students' conceptual understanding of physics. *American Journal of Physics*, 71, 618-629.

Zacharia, Z., Loizou, E., & Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science

experimentation among kindergarten students?. *Early Childhood Research Quarterly*, 27, 447-457.

## 저 자 정 보

강 석 민 (텍사스 대학교 교수)  
 김 성 연 (인천대학교 교수)

Appendix 1.

선정연구	학습비교	효과	행동유도성 <sup>1)</sup>	인지적개념 <sup>2)</sup>	해석여부
Akpan and Strayer (2010)	P < V	d = 1.98	-	-	N
Başer and Durmuş (2010)3)	P = V	d = 0.33	v	v	Y
Baxter (1995)	P = V	n/a	-	-	Y
Chen et al. (2014)	P = V	$\eta^2 = .02$	-	v	Y
Darrah et al. (2014)	P = V	d = 0.26	-	v	Y
Farrokhnia and Esmailpour (2010)	P = V	d = 0.12	-	v	Y
Finkelstein et al. (2005)	P < V	d = 0.43	v	-	Y
Garner and Gallo (2005)	P = V	n/a	-	-	Y
Hawkins and Phelps (2013)	P = V	d = 0.03	-	v	Y
Jaakkola and Nurmi (2008)	P = V	d = 0.53	v	v	Y
Klahr et al. (2006)	P = V	n/a	-	v	Y
Lalley et al. (2010)	P = V <sup>3)</sup>	d = 0.41	-	v	Y
Lang (2012)	P = V	d = 0.34	-	v	Y
Liu et al. (2013)	P = V	d = 0.20	-	v	Y
Marshall et al. (2010)	P = V	d = 0.07	-	v	Y
Moyer-Packenham et al. (2013a)	P = V	$\eta^2 = .004$	-	v	Y
Myneni et al. (2013)	P < V	$\eta^2 = 0.28$	v	-	Y
Olympiou and Zacharia (2012)	P = V	d = 0.17	v	v	Y
Predavec (2001)	P < V	d = 0.48	v	-	Y
Pyatt and Sims (2012)	P = V	d = 0.31	-	v	Y
Renken and Nunez (2013)	P = V	n/a	-	v	Y
Scoville and Buskirk (2007)	P = V	n/a	-	v	Y
Taghavi and Colen (2009)	P = V	d = 0.44	-	v	Y
Triona and Klahr (2003)	P = V	n/a	-	v	Y
Wang and Tseng (2018)	P < V	n/a	v	-	Y
Wiesner et al. (2004)	P = V <sup>4)</sup>	n/a	-	v	Y
Winn et al. (2006)	P < V	d = 0.63	v	-	Y
Yuan et al. (2010)	P = V	$\eta^2 = 0.003$		v	Y
Zacharia (2007)	P < V	d = 0.70	v	v	N
Zacharia and Constantinou (2008)	P = V	d = 0.06	-	v	Y
Zacharia et al. (2008)	P < V	d = 1.00	-	v	N
Zacharia and Olympiou (2011)	P = V	d = 0.26	-	v	Y

- 1) 가상도구가 물리적도구보다 지각적으로 보다 더 많은 정보를 제공한 경우
- 2) 두 학습조건에서 학생들의 학습활동시 인지적 개입정도가 같아서 물리적 행동유도성에 따른 제약을 극복한 경우 (예: 가상적 도구에서 제공된 풍부한 지각적 정보의 효과는 탐구학습과정을 통해 물리적 도구 조건에서 상쇄됨)
- 3) 지연사후검사
- 4) 세 종류의 측정이 있었고, 각 측정부분에 네 종류의 각기 다른 지식유형이 비교되었으나 전체 검사점수가 제시되지 않았다.