

## 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형이 인지부하에 미치는 영향

이 경 민<sup>1</sup> · 최 순 리<sup>2</sup> · 최 서 현<sup>3</sup> · 김 동 식<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교 SW중심대학사업단 산학연구원

<sup>2</sup>신한대학교 교수학습센터 전문연구원

<sup>3</sup>한양대학교 교육공학과 박사과정

<sup>4\*</sup>한양대학교 교육공학과 명예교수

## Effects of Visual Cueing Types and Level of Interactivity in the Interactive 3D Learning Material on Cognitive Load

Kyoungmin Lee<sup>1</sup> · Soonri Choi<sup>2</sup> · Seohyun Choi<sup>3</sup> · Dongsik Kim<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Researcher, Dept. of Software Education Headquarters, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

<sup>2</sup>Researcher, Center for Teaching and Learning, Shinhan University, Gyeonggi 11644, Korea

<sup>3</sup>Doctoral Course, Department of Educational Technology, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>4\*</sup>Prof. Emeritus, Department of Educational Technology, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

### [요 약]

인터랙티브 3D 학습자료는 즉각적 피드백, 선언적 지식 습득 등의 장점으로 여러 분야에서 활용되고 있으나, 복잡한 상호작용 기능으로 인해 학습자의 주의집중이 떨어지고 인지부하가 발생할 수 있다. 따라서 효과적인 인터랙티브 3D 학습자료 활용을 위해 적절한 시각단서를 제공하여 외재적 인지부하를 낮추고 주의집중을 높일 수 있는 학습자료 설계 방법을 고민해야 한다. 본 연구에서는 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도에 따라 시각단서 제공유형이 인지부하에 미치는 영향에 대해 알아본다. 높은 수준과 낮은 수준 인터랙티브 3D 학습자료는 모두 외적 시각단서와 함께 제공하는 것이 외재적 인지부하를 낮추며 본유적 인지부하를 높이는 것에 효과적이라는 사실을 확인하였다.

### [Abstract]

Interactive 3D learning materials are used in various fields for advantages such as immediate feedback and declarative knowledge acquisition, but complex interactive functions in learning materials may reduce learners' attention, concentration and lead high cognitive load. Therefore, it is necessary to consider learning materials design that can reduce extraneous cognitive load and increase attention and concentration by providing appropriate visual cues for effective use of interactive 3D learning materials. In this study, the effect of the visual cueing types on cognitive load according to the degree of interactivity of interactive 3D learning materials was identified. It was confirmed that providing both high and low-level interactive 3D learning materials with external visual cues is effective in reducing extraneous cognitive load and increasing germane cognitive load.

**색인어** : 3D, 학습자료, 시각단서, 인지부하, 상호작용성

**Keyword** : 3D, Learning Materials, Visual Cueing, Cognitive Load, Interactivity

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2022.23.5.861>



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

**Received** 03 March 2022; **Revised** 04 May 2022

**Accepted** 12 May 2022

**\*Corresponding Author, Dongsik Kim**

**Tel:** 

**E-mail:** [kimdsik@hanyang.ac.kr](mailto:kimdsik@hanyang.ac.kr)

## I. 서론

멀티미디어 학습환경의 변화 및 학습자의 기술 활용 능력의 향상과 더불어 학습자료와 제공방법이 다양해지고 있다. 특히, 3D 학습자료 활용도가 높아지면서 의학, 기술교육 등 실습이 필요하거나 관련 장비를 접하기 어렵고 실제 현장에서 체험이 어려운 분야에서 인터랙티브 3D 학습자료의 활용 가능성에 대한 관심이 증가하고 있다[2]. 이러한 디지털 기술의 활용은 실제와 비슷한 상황을 경험할 수 있도록 한다[3].

시각화된 학습자료는 학습촉진에 긍정적이라고 알려져 있으며[4], 특히 인터랙티브 3D는 가상 객체를 통해 실제 객체를 보완 및 대체할 수 있어 다양한 분야에서의 활용도가 높은 매체이며[2], 비용 측면의 효율성과 위험한 학습상황을 대체할 수 있는 유연한 학습방법으로 활용될 수 있다[5]. 또한, 인터랙티브 3D 학습자료에는 상호작용 요소가 포함되어 있어 [6] 학습자의 집중과 학습자 중심의 학습환경을 유도하기에 유용하여[7] 인터랙티브 3D 시각자료는 학습자에게 흥미를 유발하는 학습 지원 도구로서 많이 활용되고 있다[8]-[10]. 그러나 Ferk와 연구자들[11]이 3D 시각자료가 3차원 구조 이해와 복합적 문제 해결에 효과적이라고 주장하는 반면 Sweller와 Chandler[12]는 공간 능력에 대한 개인의 차이와 상호작용 요소로 인한 혼란으로 효과적이지 않을 수 있다고 주장했다. 이와 같은 선행연구 결과는 높은 상호작용이 포함된 학습자료가 학습자에게 항상 효과적인 것은 아니며 추가적인 인지부하로 인해 외재적 인지부하를 발생시키고[13] 학습자의 주의를 분산시켜 학습을 방해할 수 있다고 주장한다[14]. 이는 시각자료의 유형 및 상호작용 요소의 수에 따라 학습 효과가 다르게 나타날 수 있음을 시사한다[15].

인터랙티브 환경에서의 상호작용의 종류와 수는 다양하며 [14] 학습 매체의 특성, 학습과제의 내용, 목표, 학습자의 특성 등에 따라 사용하는 수와 종류가 달라지므로 이에 따라 시각단서 유형도 달라져야 한다. 학습자료의 특성을 고려하지 않을 경우 오히려 외재적 인지부하를 야기시킬 수 있으며 학습경험이 부족한 학습자에게는 혼란을 줄 수 있다[14]. 3D 학습자료의 경우에 학습자가 직접 자료를 조작할 수 있으므로 효과적인 활용을 위해서 중요한 부분에 학습자가 주의를 집중할 수 있도록 유도해야 할 필요가 있다. 특히 학습자의 공간능력, 사전지식은 학습의 효과에 영향을 미치므로 인터랙티브 3D 학습자료의 특성 및 내용에 따라 적합한 시각단서를 제시를 통해 학습의 효과성을 제고할 수 있도록 해야 한다.

따라서 본 연구에서는 시각단서 제공유형이 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도에 따라 인지부하에 미치는 영향을 확인하는데 그 목적이 있고 인터랙티브 3D 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형에 대한 인지부하 유형(내재적, 외재적, 본유적)의 차이에 대해 알아보하고자 한다.

## II. 이론적 배경과 선행연구

인터랙티브 3D 학습자료의 개념, 3D 학습자료의 상호작용 정도, 시각단서의 제공유형, 시각단서와 인지부하의 관계에 대한 선행연구들을 알아보고 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형이 인지부하에 어떠한 영향을 미치는지 알아보하고자 한다.

### 2-1 인터랙티브 3D 학습자료

#### 1) 멀티미디어 학습환경에서의 인터랙티브 3D 학습자료

3D 학습자료는 3D 일러스트, 3D 애니메이션, 인터랙티브 애니메이션 등으로 구분되며[16], 이는 학습자료를 원하는 방향에서 학습하는 것이 가능하고 실체를 보는 것처럼 정확하게 파악할 수 있다. 분자의 3차원 구조에 대한 학습을 할 때, 3D 학습자료를 제공받은 학습자는 2D 학습자료를 제공받은 학습자보다 학습내용을 잘 이해하고 활용했다[11]. 또한, 인터랙티브 3D 학습자료는 학습자가 다양한 상호작용 기능으로 학습자료를 조작할 수 있고 스스로 학습시간과 학습내용을 선택할 수 있다. 이는 학습자 통제(learner control)가 가능하다는 측면에서 외재적 인지부하를 낮출 수 있다고 선행연구에서 밝힌 바 있다[17].

하지만 학습자료의 상호작용 정도를 높게 설계하는 것이 항상 학습에 효과적인 것은 아니다. 3D 학습자료는 개인 공간 능력에 따라 학습결과에 큰 영향을 미친다[12]. 공간 능력이 높은 학습자에게는 3D 학습자료가 효과적이었지만, 공간 능력이 낮은 학습자에게는 오히려 심각한 혼란을 야기할 수 있으며 이는 인지부하로 이어져 학습결과에서도 긍정적인 효과를 끌어내지 못한다는 연구결과가 있다[18]. 즉, 3D 학습자료의 상호작용 정도에 따라 학습자의 인지부하를 효과적으로 조절할 수 있는 교수설계 전략을 제공해야 할 필요가 있다.

#### 2) 인터랙티브 3D 학습자료와 상호작용 정도

인터랙티브 환경에서의 상호작용은 종류와 수준에 따라 나뉜다. 상호작용의 종류에 따라 구별한다면 첫째, 정보전달통제(information delivery control)로 학습 내용의 속도나 순서를 학습자가 변경하고 학습의 흐름을 통제할 수 있다. 둘째, 표현통제(representation control)는 학습자료의 각도, 시각단서, 움직임의 특성 등을 선택하여 학습자료를 통제할 수 있다. 셋째, 내용통제(content range control)는 피드백의 난이도, 힌트, 학습내용의 양을 조절할 수 있다.

상호작용 수준에 따라 구별한다면 [14] 첫째, 낮은 수준의 미리 설계된 피드백 상호작용으로 학습자의 작동(응답선택, 질문, 힌트 등)에 대한 정해진 응답을 제공하는 것이다. 예-아니오 선택, 단어참고, 도움말 등이 포함된다. 둘째, 중간 수준의 상호작용은 조작형 상호작용이며 학습자가 학습자료나 시스템을 스스로 조작하여 이에 대한 반응이 실시간으로 변

경된다. 이것은 객체를 조작하는 상호작용을 포함하며 클릭과 드래그를 통한 학습 객체 이동, 회전, 변수 값 입력 등을 조작 요소라고 할 수 있다. 셋째, 다음 수준의 상호작용은 학습자의 작동에 따라 다르게 설계된 피드백이 제공되는 것이다. 마지막으로, 가장 높은 수준의 상호작용은 여러 학습자가 함께 학습할 수 있는 가상 환경에서 피드백, 협업 환경 등이 제공되는 것이다. 이러한 인터랙티브 3D 학습자료 내의 상호작용은 학습자의 능동적인 행동을 촉진하여 선언적 학습에 효과적이고[6] 학습자가 학습객체를 자유롭게 조작하여 여러 상태를 쉽게 반복하여 학습할 수 있으므로 학습참여 유도에 효과적이다[19]. 이와 같은 측면으로 보면 학습과정 중 인터랙티브 3D 학습자료를 제공하는 것은 효과적이다.

다만, 이는 학습자의 주의를 분산시켜 외재적 인지부하를 발생시키고 학습 방해 요인이 될 수도 있다[13], [14].

본 연구에서는 학습자가 자율적으로 인터랙티브3D 학습자료를 스스로 조작할 수 있도록 하고 학습 객체가 실시간으로 변경될 수 있도록 하여 중간 수준의 상호작용인 조작형 상호작용이 이뤄지도록 했다.

## 2-2 시각단서(Visual Cueing)

### 1) 시각단서의 개념

시각단서는 학습자료 중 학습자가 집중해야 하는 부분에 화살표, 색, 반짝임, 방향지시 등 같은 그래픽을 추가하여 특정 부분을 강조하고 학습자의 주의집중을 이끌어 낸다[20],[21]. 이는 학습자가 불필요한 인지활동을 하지 않게 돕고[22] 보다 높은 정신적 노력을 요구하거나[23] 더 정교한 정신모형을 구축 할 수 있도록 한다[24].

애니메이션에 시각단서를 추가하게 되면 학습자의 주의를 집중시키게 되고 이는 외재적 인지부하를 줄이고 학습을 촉진시킬 수 있다[25]. 하지만 정적인 학습자료에서 효과적이었던 시각단서가 다른 학습자료에서는 그 효력을 상실할 수도 있다[26]. 그렇기 때문에 인터랙티브 3D 학습자료 또한 정적인 학습자료 등에서 제공되었던 시각단서를 동일하게 사용하는 것은 긍정적인 효과를 이끌어내지 못 할 수 있다. 따라서 인터랙티브 3D 학습자료의 특성에 적합한 시각단서 개발이 필요하다.

### 2) 시각단서의 제공유형: 내적 시각단서와 외적 시각단서

정적인 학습자료에서의 시각단서는 내적 시각단서와 외적 시각단서로 구분한다[27]. 내적 시각단서는 특정 부분에 시각적 대비효과를 주어 대상을 지칭하는 것에 유용하며 정확성이 높다. 외적 시각단서는 시각자료와 관련 정보의 연결을 직접적으로 보여주어 관련된 내용을 서로 연결시키는 것에 유용하다[22]. 하지만 외적 단서의 경우, 학습자가 어느 부분에 집중해야 하는지 모호할 수 있으며 공간능력이 낮은 학습자에게는 더욱 어려울 수 있다.

내적 시각단서는 학습내용에 해당하는 객체 자체를 부각하

는 방법으로 단서를 제공하기 때문에 낮은 수준의 인지처리를 거치게 되고, 외적 시각단서는 객체와 관련된 학습내용 주제를 서로 연결시키는 과정을 돕기 때문에 학습자의 정신모형 구축을 돕는 고차원적 의미형성 과정을 거치게 된다. 이처럼 학습자가 학습 객체를 조작할 때 내적 시각단서와 외적 시각단서가 형성하는 인지적인 처리 수준이 다르기 때문에 학습 환경에 따라 시각단서를 다르게 제공해야 한다. 즉, 인터랙티브 3D 학습자료에 기존의 시각단서 유형을 그대로 제공하는 것은 효과성이 낮아질 수 있으므로 상호작용 정도에 따라 적합한 시각단서가 제공되어야 할 필요가 있다.

## 2-3 인지부하(Cognitive Load)

### 1) 인지부하의 개념

인지부하는 제한된 작동기억 용량과 정보가 통합되는 과정에서 학습자가 가지게 되는 인지적 노력이다[28]. 인지구조는 인지처리 총량 제한이 없는 장기기억과 총량 제한이 있는 작동기억으로 구성되어 있어 학습과제가 학습자의 제한된 작동기억 용량을 초과하지 않도록 설계하여야 한다[29].

인지부하는 발생 이유에 따라 3가지로 구분할 수 있다[30]. 내재적 인지부하(ICL; intrinsic cognitive load)는 학습과제의 구조에 의해 발생하며 학습과제를 구성하고 있는 요소의 수, 요소간의 상호작용 난이도에 따라 인지부하의 정도가 결정된다. 일반적인 학습자는 3~5개의 학습정보를 한번에 처리할 수 있으므로[31] 교수설계 시 과제의 요소 상호작용을 고려하여 적절하게 제시하여야 한다. 외재적 인지부하(ECL; extraneous cognitive load)는 자료 제시방법, 제시 시기 등 부적절하게 설계된 학습과제에 의해 발생하며 이는 학습자의 불필요한 인지적 노력을 발생시켜 학습성취에 부정적인 영향을 미친다[32]. 이는 효율적인 교수설계 전략을 통해 해결할 수 있다[32]. 본유적 인지부하(GCL; germane cognitive load)는 학습과제를 수행할 때 발생하는 긍정적인 정신적 노력을 의미하며[32], 세마를 효과적으로 얻기 위해서는 외재적 인지부하를 최소화 시키는 설계전략이 요구된다.

인지부하는 학습자의 제한된 작동기의 용량 때문에 내재적 인지부하와 외재적 인지부하가 낮아질수록 본유적 인지부하를 위한 작동기억 용량이 높아진다. 따라서 본유적 인지부하를 촉진하기 위한 전략이 학습효과를 높일 수 있다.

### 2) 상호작용 정도와 인지부하

인터랙티브 3D 학습자료의 경우 인터랙티브 애니메이션과 다르게 회전, 확대 등 공간적인 기능의 조작이 가능하다. 이러한 기능은 학습자가 학습내용을 자세히 학습하고 스스로 내용을 탐구하는 것에 효과적이지만 학습자의 사전지식이나 공간능력에 따라 인지부하가 발생할 수 있다[12]. 그 예로 인터랙티브 3D 학습자료에 수치를 입력하여 조작하는 상호작용이 추가되면 객체 변화와 위치 변경에 대해 인지하기 위해 많은 인지적 노력을 필요로 하게 된다[33]. 그렇기 때문에 외재

적 인지부하와 내재적 인지부하를 낮추어 본유적 인지부하를 높일 수 있는 설계를 고안해야하며, 시각단서를 사용하게 되면 학습자가 주의해야 하는 부분을 부각하면서 학습자의 불필요한 인지활동을 줄여주어 외재적 인지부하를 낮추는 것에 도움을 준다[23].

### 3) 시각단서와 인지부하

멀티미디어 학습자료는 대체로 요소 상호작용이 높기 때문에 학습자의 인지부하의 총량을 초과시킬 수 있다[14]. 따라서, 멀티미디어 학습자료를 활용할 때에는 외재적 인지부하를 최소화하는 것이 매우 중요하다. 인지부하이론의 관점에서 시각단서의 효과는 학습자의 주의 집중을 효율적으로 관리하거나[15] 시각단서에 제목이나 키워드, 지시어 등을 추가하는 방법을 통해 외재적 인지부하의 발생을 줄일 수 있다[10], [15]. 특히, 학습자의 조작을 통해 학습 객체에 변화가 생기는 인터랙티브 3D 학습자료에서는 자료의 변화에 따라 학습자의 혼란을 야기할 수 있어[33] 적시에 학습자의 주의를 해당 부분에 집중될 수 있도록 시각단서를 제공해야 한다[34].

시각단서는 관련정보와 인지활동을 직접적으로 연결하고 학습자가 의미를 형성할 수 있도록 도움을 준다[34]. 또한, 학습자가 쉽게 발견할 수 있도록 눈에 띄는 색을 사용하는 방법[34], 화살표를 사용하여 특정 부분을 가르키는 방법[22], 학습자가 중요한 부분에만 집중할 수 있도록 중요 부분을 제외한 주변부를 흐리게 만드는 방법[35] 등의 전략을 활용하면, 비교적 수월하게 학습자의 주의집중을 이끌어낼 수 있다[27]. 이러한 시각단서 제공 방법은 학습정보를 제거하거나 추가하지 않고도 학습자의 주의집중을 유도할 수 있고 비교적 학습내용의 수정을 최소화 할 수 있다는 이점이 있다.

위와 같이 인지부하는 상호작용 정도와 시각단서 제공유형에 의해 영향을 받으므로 본 연구에서는 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도에 따라 어떠한 시각단서를 제공하는 것이 효과적인지 알아보려 한다.

## III. 연구 수행 방법과 실험 방안

인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형에 따라 인지부하에 어떤 영향을 미치는지 살펴보기 위해 멀티미디어 환경에서 활용될 수 있는 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형 조합에 따라 학습자료를 개발하여 실험 연구를 진행하였다.

### 3-1 연구대상

본 연구 대상은 경기도 소재 인문계 A 고등학교 2학년 학생 총 60명이 참여했다. 참가자들의 성별은 남학생 43명(71.7%), 여학생 17명(28.3%)로 구성됐고, 개인정보 활용 동의를 받아서 진행했다. 집단은 공간 능력 정도에 따라 네

집단으로 구성했고, 신청 순서에 따라 무선 할당하였다. 집단 간 동질성을 확인하기 위해 일원 분산분석을 하였고, 동질적임을 확인하였다( $F(3, 56)=.632, =.598$ ). 구체적으로 집단은 내적 시각단서이며 상호작용 정도가 낮은 15명 집단, 외적 시각단서이며 상호작용 정도가 낮은 15명 집단, 내적 시각단서이며 상호작용 정도가 높은 15명 집단, 외적 시각단서이며 상호작용 정도가 높은 15명으로 이뤄졌다.

### 3-2 연구 설계

본 연구는 멀티미디어 학습 환경에서 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형이 인지부하에 미치는 영향을 확인하기 위한 목적이 있다. 본 연구의 설계 모형은 [그림 1]과 같으며, 독립변수는 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형이고 종속변수는 인지부하이다.

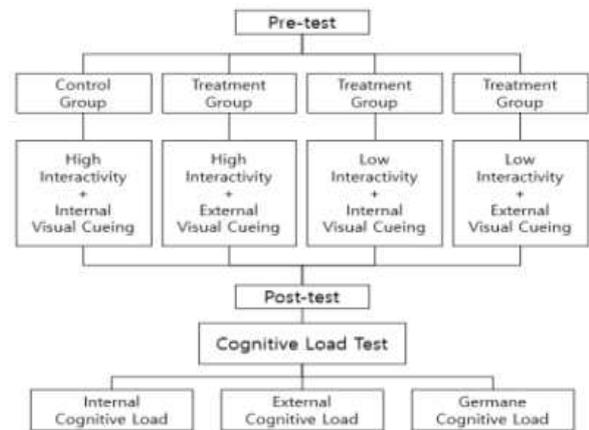


그림 1. 연구설계  
Fig. 1. Research Design

### 3-3 학습 내용

본 연구에서 설계한 학습자료는 3D 디자인 프로그램을 사용하여 제작하였고, 네 집단 모두 동일한 학습 내용과 3D 학습자료를 제공하였고 학습자료의 시각단서 유형과 상호작용 정도에서 차이가 나도록 하였다. 먼저, 시각단서 유형은 [그림 2]와 같이 외적 시각단서는 위치를 표시하는 마커를 적용하여 설계하였고, 객체가 고정될 때 학습자가 원하는 부분에 시각단서를 제공하였다. 또한, 내적 시각단서는 [그림 3]과 같이 특정 영역을 색으로 강조하여 제공하였고, 학습자가 객체를 움직일 때도 동일하게 제공되었다. 높은 상호작용 정도의 인터랙티브 3D 학습자료는 [그림4]와 같이 학습자가 세 가지 상호작용 요소(회전, 확대, 조작)를 조작할 수 있으며, 낮은 상호작용 정도의 인터랙티브 3D 학습자료는 [그림5]와 같이 1가지 상호작용 요소(회전)만 조작할 수 있도록 하였다.

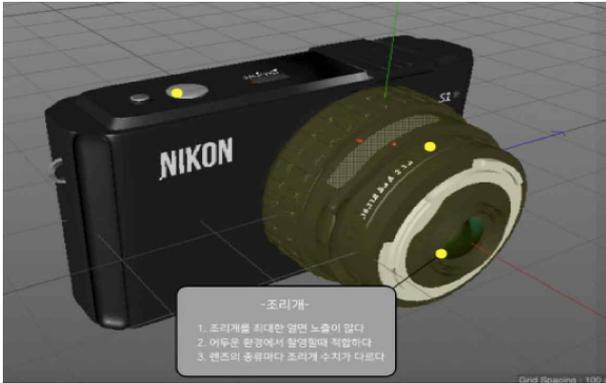


그림 2. 외적 시각단서 제공화면  
Fig. 2. Screen for external visual cueing

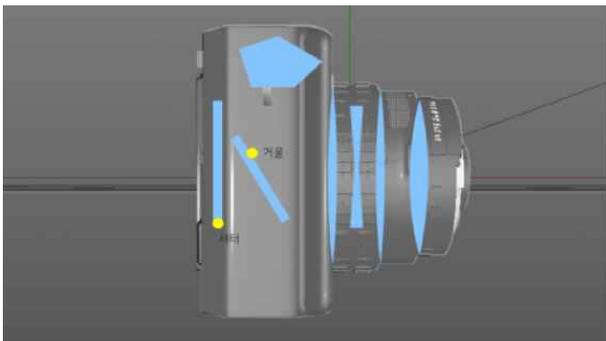


그림 3. 내적 시각단서 제공화면  
Fig. 3. Screen for internal visual cueing

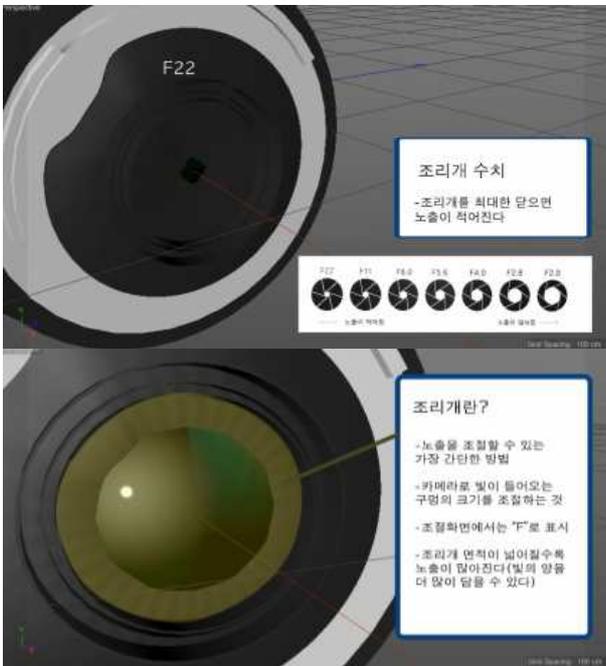


그림 4. 높은 상호작용 정도의 인터랙티브 3D 학습자료(회전, 확대, 객체조작) 중 객체조작 기능  
Fig. 4. Object manipulation function of interactive 3D learning materials with a high degree of interaction (rotation, enlargement, object manipulation)



그림 5. 낮은 상호작용 정도의 인터랙티브 3D 학습자료의 회전 기능  
Fig. 5. Rotation function of interactive 3D learning materials with a low degree of interaction

### 3-4 검사 도구

#### 1) 사전 검사

공간 능력(공간 지각, 공간 회전, 공간 시각)을 측정하여 학습자의 동질성을 확인하기 위해 사전 검사로 ROT(Purdue Visualization of Rotations) 검사를 진행하였다[36]. ROT 검사는 3D 객체를 회전시켰을 때 객체 상태를 정확히 파악할 수 있는 능력을 확인하는 검사이며[37], [그림 6]과 같은 유형으로 총 20문항으로 구성됐다.

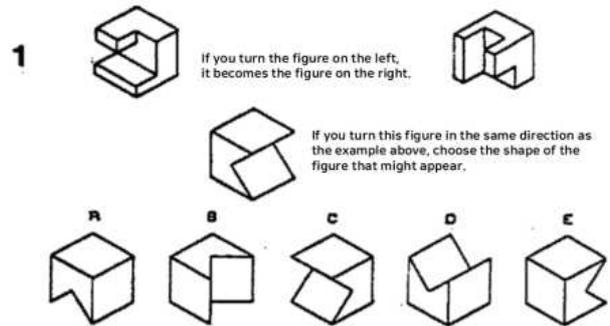


그림 6. ROT 검사 설문 예시  
Fig. 6. Example item for ROT

#### 2) 인지부하 검사 도구

인지부하 측정은 Leppink와 연구자들의 리커트 10점 척도인 10문항을 사용하였다. 척도는 '매우 그렇지 않다' 0점부터 '매우 그렇다' 10점으로 구성하고, 내재적 인지부하는 '본 학습내용은 명확하지 않았다'와 같은 3문항, 외재적 인지부하는 '본 학습내용에서 사용되는 3D 학습자료가 지나치게 복잡했다'와 같은 3문항, 본유적 인지부하는 '본 학습활동에서 제시한 활동이 카메라의 원리에 대한 이해를 강화시켰다'와 같은 4문항으로 이뤄졌다. 이와 같이 내재적 인지부하와 외재적 인지부하는 부정 문항으로 이뤄져 있고, 본유적 인지부하는 정적 문항으로 이뤄져 있다. 인지부하에 따른 Cronbach's alpha는 내재적 인지부하 .89, 외재적 인지부하 .91, 본유적 인지부하 .89로 확인됐다.

3-5 실험 절차

본 실험 절차는 [그림 7]과 같이 첫째, 학습자들의 공간 능력에 대한 차이를 확인하기 위해 ROT검사를 10분간 진행하였고, 신청한 학생들의 순서에 따라 네 집단으로 구분하여 15명씩 무작위 배정하였다. 둘째, 학습을 시작하기 전에 학습 목표와 조작 방법을 안내한 뒤에 온라인 학습 링크를 배부했다. 셋째, 학습은 카메라의 구성 요소인 렌즈, 조리개, 셔터 스피드, ISO의 4가지 기능에 따라 10분씩 이뤄졌다. 넷째, 학습종료 후 5분간 인지부하 검사를 진행하도록 하였다.

Pre-test		min
1-1.	Pre-test for spatial ability of learners	10
1-2.	Experimental group building	-



Notice		
2.	Explanation for learning objectives and materials manipulation	10



Step 1 (Lens)					
3-1.	High Interactivit y + Internal Visual Cueing	Low Interactivit y + Internal Visual Cueing	High Interactivit y + External Visual Cueing	Low Interactivit y + External Visual Cueing	10



Step 2 (Diaphragm)					
3-2.	High Interactivit y + Internal Visual Cueing	Low Interactivit y + Internal Visual Cueing	High Interactivit y + External Visual Cueing	Low Interactivit y + External Visual Cueing	10



Step 3 (Shutter Speed)					
3-3.	High Interactivit y + Internal Visual Cueing	Low Interactivit y + Internal Visual Cueing	High Interactivit y + External Visual Cueing	Low Interactivit y + External Visual Cueing	10



Step 4 (ISO)					
3-4.	High Interactivit y + Internal Visual Cueing	Low Interactivit y + Internal Visual Cueing	High Interactivit y + External Visual Cueing	Low Interactivit y + External Visual Cueing	10



Post-test	
4.	Cognitive Load Test

그림 7. 실험 절차

Fig. 7. Experimental Procedure

3-6 분석 방법

본 연구의 독립변수는 인터랙티브 3D 자료의 상호작용 정도에 대한 시각단서를 제공하는 4가지 유형이다. 구체적으로 첫째 유형은 높은 상호작용과 내적 시각단서, 두번째 유형은 높은 상호작용과 외적 시각단서, 세번째 유형은 낮은 상호작용과 내적 시각단서, 네번째 유형은 낮은 상호작용과 외적 시각단서이다. 종속변수는 인지부하의 3가지 유형이며, 외재적 인지부하, 내재적 인지부하, 본유적 인지부하이다. 독립변수인 상호작용과 시각단서에 대한 4가지 유형의 특징에 따라 학습 자료를 구성하여 제공한 각 집단별 종속변수인 3가지 유형의 인지부하에 대한 차이를 확인하기 위해 일원분산분석을 진행하였다. 자료 분석은 SPSS 25.0을 활용하였고, 유의 수준은 .05이다.

IV. 결 과

4-1 기술통계 및 기초자료 분석

일원분산분석을 실시하기 위해 진행한 60명 인지부하검사의 전체 평균과 표준편차 결과는 <표 1>과 같다. 구체적으로 첫째, 내재적 인지부하는 높은 상호작용과 내적 시각자료를 제시한 집단이 가장 높았고(M=9.8, SD=4.75), 높은 상호작용과 외적 시각자료를 제시한 집단이 가장 낮았다(M=8.2, SD=4.25). 둘째, 외재적 인지부하는 높은 상호작용과 내적 시각자료를 제시한 집단이 가장 높았고(M=16.2, SD=3.97), 낮은 상호작용과 외적 시각자료를 제시한 집단이 가장 낮았다(M=9.4, SD=3.96). 셋째, 본유적 인지부하는 낮은 상호작용과 외적 시각자료를 제시한 집단이 가장 높았고(M=28.07, SD=6.12), 높은 상호작용과 외적 시각자료를 제시한 집단이 가장 낮았다(M=18.4, SD=4.87). 본 연구는 집단 간 인지부하별 영향 관계를 확인하기 위해 일원분산분석을 진행하였으며, 모집단 분포에 대한 정규성 가정을 확인할 수 있는 Shapiro-Wilk값을 분석하여 각 인지부하 유형들이 정규성 가정을 충족하는 것을 확인하였다(>.05).

인터랙티브 3D 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형에 따른 인지부하를 분석했다. 먼저, 일원분산분석을 실시하기 위해 등분산성 가정은 인지부하에 대한 Levene의 등분산성 검정 결과, 유의수준 .05에서 집단 간 분산 차이가 유의하지 않은 것을 확인했다(내재적 인지부하=.544, 외재적 인지부하=.682, 본유적 인지부하=1.685). 따라서 일원분산분석을 실시하기 위한 등분산성 가정을 충족했다. 또한 <표 2>에서 알 수 있듯이 인터랙티브 3D 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형에 대한 집단별 내재적 인지부하에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(F(3,56)=.422, >.05). 반면에 외재적 인지부하(F(3,56)=.851, <.001)와 본유적 인지부하(F(3,56)=.802, <.001)에는 유의한 차이가 있었고, 효과 크기는 각 .313, .301이었다.

표 1. 상호작용 정도와 시각단서 제공유형에 따른 인지부하에 대한 기술통계

Table 1. Descriptive statistics on cognitive load according to the degree of interactivity and types of visual cueing

Group	case	CL*					
		ICL**		ECL***		GCL****	
		M	SD	M	SD	M	SD
High Interactivity + Internal Visual Cueing	15	9.8	4.75	16.2	3.97	18.4	4.87
High Interactivity + External Visual Cueing	15	8.2	4.25	11.27	4.74	27.53	7.83
Low Interactivity + Internal Visual Cueing	15	8.8	3.73	9.87	3.8	27.33	6.17
Low Interactivity + External Visual Cueing	15	8.27	4.82	9.4	3.96	28.07	6.12
Total	60	8.77	4.34	11.68	4.86	25.33	7.38

\*Cognitive Load, \*\*Interinsic Cognitive Load, \*\*\*Extraneous Cognitive Load, \*\*\*\*Germane Cognitive Load

인터랙티브 3D 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형에 따른 인지부하를 분석했다. 먼저, 일원분산분석을 실시하기 위해 등분산성 가정은 인지부하에 대한 Levene의 등분산성 검정 결과, 유의수준 .05에서 집단 간 분산 차이가 유의하지 않은 것을 확인했다(내재적 인지부하=.544, 외재적 인지부하=.682, 본유적 인지부하=1.685). 따라서 일원분산분석을 실시하기 위한 등분산성 가정을 충족했다.

표 2. 상호작용 정도와 시각단서 제공유형에 따른 인지부하 일원분산분석 결과

Table 2. The results of one-way ANOVA of cognitive load according to the degree of interactivity and types of visual cueing

Dependent Variable		SS	df	MS	F	p	η <sup>2</sup>
ICL	Between Groups	24.6	3	8.2	.422	.738	-
	Within Groups	1088.13	56	19.43	-	-	-
	Total	1112.73	59	-	-	-	-
ECL	Between Groups	436.32	3	145.44	8.513	.000*	.313
	Within Groups	956.67	56	17.08	-	-	-
	Total	1392.98	59	-	-	-	-
GCL	Between Groups	965.73	3	321.91	8.021	.000*	.301
	Within Groups	2247.6	56	40.14	-	-	-
	Total	3213.33	59	-	-	-	-

\*p<.001

표 3. 외재적 인지부하와 본유적 인지부하의 Tukey 분석 결과  
Table 3. The Tukey results of extraneous and germane cognitive load

Dependent Variable	Group		M	SD	p	ES
	Control	Experimental				
CL	ECL	High Interactivity + External Visual Cueing	4.93	1.51	.01*	1.19
		Low Interactivity + Internal Visual Cueing	6.33		.001**	1.53
		Low Interactivity + External Visual Cueing	6.8		.000**	1.65
	GCL	High Interactivity + External Visual Cueing	-9.13	2.31	.001**	1.44
		Low Interactivity + Internal Visual Cueing	-8.93		.002**	1.41
		Low Interactivity + External Visual Cueing	-9.67		.001**	1.53

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

또한 <표 2>에서 알 수 있듯이 인터랙티브 3D 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형에 대한 집단별 내재적 인지부하에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다(F(3,56)=.422, >.05). 반면에 외재적 인지부하(F(3,56)=8.51, <.001)와 본유적 인지부하(F(3,56)=8.02, <.001)에는 유의한 차이가 있었고, 효과 크기는 각 .313, .301이었다.

구체적으로 어느 집단 간에 유의한 차이가 있는지 알아보기 위하여, Tukey 방법으로 외재적 인지부하와 본유적 인지부하에 대한 사후검증을 실시하였다. 먼저, 외재적 인지부하는 <표 3>과 같이 높은 상호작용과 내적단서를 제시한 집단과 높은 상호작용과 외적단서를 제시한 집단(=.01), 낮은 상호작용과 내적단서를 제시한 집단(=.001), 낮은 상호작용과 외적단서를 제시한 집단(<.001) 사이에 유의미한 차이가 나타났다. 높은 상호작용과 내적단서를 제시한 집단을 통제집단으로 간주하여 각 집단간 평균차이에 대한 효과크기는 각 1.19, 1.53, 1.65로 확인됐다. 또한 본유적 인지부하는 <표 0>과 같이 높은 상호작용과 내적단서를 제시한 집단과 높은 상호작용과 외적단서를 제시한 집단(=.001), 낮은 상호작용과 내적단서를 제시한 집단(<.01), 낮은 상호작용과 외적단서를 제시한 집단(=.001) 사이에 유의미한 차이가 나타났다. 높은 상호작용과 내적단서를 제시한 집단을 통제집단으로 간주하여 각 집단간 평균차이에 대한 효과크기는 각 1.44, 1.41, 1.53으로 확인됐다.

## V. 결 론

본 연구에서는 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도에 따른 시각단서 제공유형이 인지부하에 미치는 영향을 확인하였다. 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도는 조작형 상호작용 요소 수를 기준으로 높은 상호작용 정도는 3가지 조작요소, 낮은 상호작용 정도로는 1가지 조작요소로 구분하였으며 시각단서 제공유형은 외적 시각단서와 내적 시각단서로 구분하였다. 인지부하는 내재적, 외재적, 본유적 인지부하로 구분하여 설문을 통해 측정된 연구 결과는 다음과 같다.

인터랙티브 상호작용의 정도에 따라 내재적 인지부하에는 유의미한 차이가 없었으나 외재적 인지부하( $F(3, 56)=8.51, p<.001$ )와 본유적 인지부하( $F(3, 56)=8.02, p<.001$ )에는 유의미한 차이가 있었다. 내재적 인지부하에서 차이가 나타나지 않은 이유는 학습내용이 개념학습으로 이루어져 있으며, 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형에 따라 학습과제 요소간의 상호작용 수준이 달라지는 것이 아니기 때문이라고 보이며 학습자료 내에서 추가로 제공되는 내적 시각단서가 학습자의 외재적 인지부하와 본유적 인지부하에 영향을 미친 것으로 보인다. 더불어 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 시각단서 제공유형별 외재적 인지부하와 본유적 인지부하의 집단 간 차이를 확인한 결과, 높은 상호작용과 내적 시각단서를 제시한 집단이 높은 상호작용과 외적 시각단서를 제시한 집단, 낮은 상호작용과 내적 시각단서를 제시한 집단, 낮은 상호작용과 외적 시각단서를 제시한 집단보다 외재적 인지부하가 높게 나타났다. 이는 상호작용 요소의 수가 많을 경우 학습 객체 내에서의 색 대비 등의 표시 방식이 학습자의 주의를 분산시켜 외재적 인지부하를 높인 것으로 보인다. 따라서 높은 상호작용 수의 학습 객체에 대한 인터랙티브 3D 학습자료의 설계 시에는 외적 시각단서의 활용을 통해 학습자가 학습해야 할 내용에 집중하여 외재적 인지부하가 발생하지 않도록 해야 한다.

본유적 인지부하 발생수준을 비교해봤을 때, 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도와 상관없이 외적 시각단서를 사용할 때 더 높은 본유적 인지부하를 나타냈다. 이는 외적 시각단서 활용 시에 외적 시각단서가 객체와 관련된 학습내용을 연결하는 역할을 하므로 학습자의 높은 인지처리를 가능하게 한다는 선행연구[38] 결과와 일치함을 알 수 있다. 따라서 인터랙티브 3D 학습자료의 설계 시에는 외적 시각단서를 활용하는 것이 본유적 인지부하를 높이는 것에 효과적이거나 상호작용 요소의 수에 따라 외재적 인지부하가 발생할 수 있어 이를 고려한 학습 자료 설계가 필요함을 시사한다.

본 연구의 제한점과 제언은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 인터랙티브 3D 학습자료의 상호작용 정도를 상호작용 요소 수를 기준으로 높고 낮음을 나누어 설계하였다. 하지만 상호작용 정도는 학습내용에 따라 다양하게 설정할 수 있으

므로 후속 연구에서는 상호작용 정도를 보다 세분화하여 효과를 살펴볼 필요가 있다.

또한, 학습자의 인지부하는 자기보고식 설문으로 측정하였으며 이는 학습 과정 중 어떤 부분이 인지부하에 직접적인 영향을 미쳤는지 확인하기 어렵다. 따라서 향후 연구에서는 인지부하의 반복측정이나 뇌파 등의 방법을 활용하여 학습 과정 중에 발생하는 인지부하를 객관적 데이터를 통해 확인해야 할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 제 1 저자의 석사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음[1]

## 참고문헌

- [1] K. M. Lee, Effects of visual cueing types and level of interactivity on attention and cognitive load for interactive 3D learning material, Ph.D. dissertation. Hanyang University, Seoul, 2019.
- [2] A. T. Stull, M. Hegarty, and R. E. Mayer, "Getting a handle on learning anatomy with interactive three-dimensional graphics," in *Journal of Educational Psychology*, Vol. 101, No. 4, pp. 803-816, November 2009.  
<https://doi.org/10.1037/a0016849>
- [3] A. Skulmowski, and K. M. Xu, "Understanding cognitive load in digital and online learning: A new perspective on extraneous cognitive load," *Educational Psychology Review*, Vol. 34, pp. 1-26, June 2021.  
<https://doi.org/10.1007/s10648-021-09624-7>
- [4] C. K. West, J. A. Farmer, and P. M. Wolff, *Instructional Design: Implications From Cognitive Science*, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- [5] M. Bearman, "Is virtual the same as real? Medical students' experiences of a virtual patient," *Academic Medicine*, Vol. 78, No.5, pp. 538-545. May 2003.
- [6] L. P. Rieber, "Using computer animated graphics in science instruction with children," *Journal of Educational Psychology*, Vol. 82, No.1, pp. 135-140, Mar 1990.  
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.82.1.135>
- [7] J. R. Lemay, The Effect of 3D Interactive Models on Conceptual Learning, Ph.D. dissertation, Carleton University, 2013.
- [8] D. Chang, "Enhancing learning experience with dynamic animation," in *2002 Annual Conference*, Montreal, pp. 7-508, June 2002.

- [9] T. H. Eysink, S. Dijkstra, and J. Kuper, "Cognitive processes in solving variants of computer-based problems used in logic teaching," *Computers in Human Behavior*, Vol. 17, No.1, pp. 1-19, January 2001.  
[https://doi.org/10.1016/S0747-5632\(00\)00038-8](https://doi.org/10.1016/S0747-5632(00)00038-8)
- [10] R. E. Mayer, and R. Moreno, "Animation as an aid to multimedia learning," *Educational Psychology Review*, Vol. 14, No. 1, pp. 87-99, March 2002.  
<https://doi.org/10.1023/A:1013184611077>
- [11] V. Ferik, M. Vrtacnik, A. Blejec, and A. Gril, "Students' understanding of molecular structure representations," *International Journal of Science Education*, Vol. 25, No. 10, pp.1227-1245, Nov 2003.  
<https://doi.org/10.1080/0950069022000038231>
- [12] J. Sweller, and P. Chandler, "Why some material is difficult to learn," *Cognition and Instruction*, Vol. 12, No. 3, pp. 185-233, Dec 2009.  
[https://doi.org/10.1207/s1532690xci1203\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xci1203_1)
- [13] R. E. Moreno, and R. Mayer, "Interactive multimodal learning environments," *Educational Psychology Review*, Vol. 19, No. 3, pp. 309-326, June 2007.
- [14] S. Kalyuga, "Enhancing instructional efficiency of interactive e-learning environments: A cognitive load perspective," *Educational Psychology Review*, Vol. 19, No. 3, pp. 387-399, August 2007.
- [15] P. Wouters, F. G. Paas, and J. J. Van Merriënboer, "How to optimize learning from animated models: A review of guidelines based on cognitive load," *Review of Educational Research*, Vol. 78, No.3, pp. 645-675, January 2008.  
<https://doi.org/10.3102/0034654308320320>
- [16] G. Korakakis, E. A. Pavlatou, J. A. Palyvos, and N. Spyrellis, "3D visualization types in multimedia applications for science learning: A case study for 8th grade students in Greece," *Computers & Education*, Vol. 52, No.2, pp. 390-401, February 2009.  
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.09.011>
- [17] B. S. Hasler, B. Kersten, and J. Sweller, "Learner control, cognitive load and instructional animation," *Applied Cognitive Psychology: The Official Journal of the Society for Applied Research in Memory and Cognition*, Vol. 21, No. 6, pp. 713-729, August 2007.  
<https://doi.org/10.1002/acp.1345>
- [18] T. Huk, "Who benefits from learning with 3D models? The case of spatial ability," *Journal of computer Assisted Learning*, Vol. 22, No. 6, pp. 392-404, Nov 2006.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2006.00180.x>
- [19] M. Hegarty, S. Kriz, and C. Cate, "The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems," *Cognition and Instruction*, Vol. 21, No. 4, pp. 209-249, Jun 2010.  
[https://doi.org/10.1207/s1532690xci2104\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xci2104_1)
- [20] R. E. Mayer(D. S. Kim), *Multimedia Learning*, 2th ed. Seoul, Academypress, 2012.
- [21] T. Huk, M. Steinke, and C. Flolo, "aThe educational value of visual cues and 3D-representational format in a computer animation under restricted and realistic conditions," *Instructional Science*, Vol. 38, No. 5, pp. 455-469, November 2009.
- [22] L. Lin, and R. K. Atkinson, "Using animations and visual cueing to support learning of scientific concepts and processes," *Computers & Education*, Vol. 56, No. 3, pp. 650-658, April 2011.
- [23] B. B. de Koning, H. K. Tabbers, R. M. Rikers, and F. G. Paas, "Attention cueing in an instructional animation: The role of presentation speed," *Computers in Human Behavior*, Vol. 27, No. 1, pp. 41-45, January 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.010>
- [24] F. Amadiou, C. Mariné, and C. Laimay, "The attention-guiding effect and cognitive load in the comprehension of animations," *Computers in Human Behavior*, Vol. 27, No. 1, pp. 36-40, January 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2010.05.009>
- [25] M. Betrancourt, The animation and interactivity principles in multimedia learning, in *The Cambridge handbook of multimedia learning*, New York: Cambridge University Press, pp. 287-296, 2005.
- [26] S. Kriz, and M. Hegarty, "Top-down and bottom-up influences on learning from animations," *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 65, No.11, pp. 911-930, November 2007.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.06.005>
- [27] R. Lowe, and J. M. Boucheix, "Cueing complex animations: Does direction of attention foster learning processes?," *Learning and Instruction*, Vol. 21, No. 5, pp. 650-663, October 2011.  
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.02.002>
- [28] R. C. Clark, and R. E. Mayer, *E-learning and the science of instruction: Proven guidelines for consumers and designers of multimedia learning*, John Wiley & Sons, 2016.
- [29] J. J. Van Merriënboer, and J. Sweller, "Cognitive load theory in health professional education: design principles and strategies," *Medical Education*, Vol. 44, No. 1, pp. 85-93, December 2009.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03498.x>
- [30] F. G. Paas, A. Renkl, and J. Sweller, "Cognitive load theory and instructional design: Recent developments,"

*Educational Psychologist*, Vol. 38, No. 1, pp. 1-4, June 2010. [http://doi.org/10.1207/S15326985EP3801\\_1](http://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1)

- [31] N. Cowan, "The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why?," *Current Directions in Psychological Science*, Vol.19, No. 1, pp. 51-57, March 2010. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277>
- [32] J. Sweller, "Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load," *Educational Psychology Review*, Vol. 22, No. 2, pp. 123-138, April 2010. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9128-5>
- [33] M. K. Khalil, F. Pass, T. E. Johnson, and A. F. Payer, "Design of interactive and dynamic anatomical visualizations: the implication of cognitive load theory," *The anatomical Record(Part B: NEW ANAT)*, Vol. 206, No. 1, pp. 15-20, September 2005. <http://doi.org/10.1002/ar.b.20078>
- [34] J. M. Boucheix, and R. K. Lowe, "An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations," *Learning and Instruction*, Vol. 20, No. 2, pp. 123-135, April 2010 . <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.015>
- [35] E. Jamet, M. Gavota, and C. Quaireau, "Attention guiding in multimedia learning," *Learning and Instruction*, Vol. 18, No. 2, pp. 135-145, April 2008. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.01.011>
- [36] M. C. Linn, and A. C. Petersen, "Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis," *Child development*, Vol. 56, No. 6, pp. 1479-1498, Dec 1985. <https://doi.org/10.1111/j.1130467>
- [37] G. M. Bonder, and R. B. Guay, "The Purdue Visualization of Rotations Test," *The Chemical Educator*, Vol. 2, No.4, pp. 1-17, October 1997. <https://doi.org/10.1007/s00897970138a>
- [38] R. Lowe, and J. M. Boucheix, "Learning from animated diagrams: How are mental model built?," *International Conference on Theory and Application of Diagrams*, Vol. 5223, pp. 266-281, Septemver 2008.



**이경민(Kyoungmin Lee)**

2017년 : 한양대학교 영상디자인 학사  
2019년 : 한양대학교 교육공학 석사

2019년~2021년: 중앙대학교 교수학습개발센터(원격교육지원센터)

2021년~현 재: 이화여자대학교 SW중심대학 사업단  
※관심분야 : 이러닝(E-Learning), 시각단서(Visual Cueing), 학습자료(Learning material) 등



**최순리(Soonri Choi)**

2017년 : 한림대학교 사학 학사/  
문화콘텐츠교육사  
2019년 : 한양대학교 교육공학 석사

2019년~2020년: 데이터마케팅코리아  
2020년~현 재: 신한대학교 교수학습센터  
※관심분야 : 복합적 학습(Complex leaning), 교수설계(Instructional design), 인지부하(Cognitive load) 등



**최서현(Seohyun Choi)**

2017년 : 한양대학교 영어교육 학사  
2019년 : 한양대학교 교육공학 석사

2021년~현 재: 한양대학교 대학원 교육공학과 박사과정  
※관심분야 : 문제 해결 (Problem-solving), 생산적 실패 (Productive failure), 컴퓨터 기반 협력학습 (CSCL)



**김동식(Dongsik Kim)**

1986년 : 플로리다주립대학교,  
교육공학 석사  
1990년 : 플로리다주립대학교,  
교육공학 박사

1993년~2021년: 한양대학교 교육공학과 교수  
2022년~현 재: 한양대학교 교육공학과 명예교수  
※관심분야 : 교수설계(Instructional Design), E-learning, 컴퓨터 기반 협력학습(CSCL), 문제 해결 (Problem-solving)