

# 가상실험을 이용한 기체분자운동 수업에서 개념 변화와 가상실험에 대한 인식 연구

김운경, 강성주\*

한국교원대학교 화학교육과, 충청북도 363-791

## A Research of the Concept Change and the Perception of Virtual Laboratory on the Lecture of the Kinetic Theory of Gases Using Virtual Laboratory

Woon-Kyung Kim and Seong-Joo Kang\*

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea

### 요약

이 연구는 가상실험을 이용하여 기체분자운동론을 학습할 때 학생들이 알게 되는 화학 개념과 가상실험에 대한 인식을 알아보고자 하였다. 화학교육 전공 일반화학수강자 19명을 대상으로 인터뷰를 실시하였고 인터뷰 내용을 집중 분석하였다. 학생들은 분자간의 충돌에서의 속력 변화, 운동에너지 변화를 새롭게 인식하였다. 현실세계와 가상세계 입자의 차이점으로 입자 사이의 힘, 기체 분자의 부피, 운동에너지의 보존여부 등을 언급하였다. 또한, 학생들은 가상실험이 추상적인 내용을 가시화하여 학습하므로 새로운 개념을 습득할 수 있다고 하였다.

**주제어** : 기체분자운동론, 가상실험, 개념 변화, 인식

### 서론

우리나라의 교육정보화 사업은 21세기 정보사회에 적합한 인재를 육성함으로써 교육의 국가 경쟁력을 높인다는 궁극적인 목표 하에 여러 과제들이 적극적으로 추진되었다(이옥화와 김가미, 1999). 이에 따라 초·중등학교에 교육 전산망을 구축하였고, 교육정보화를 실현하기 위한 내용개발을 위해서 교수·학습용 멀티미디어 개발 및 소프트웨어 개발을 지원하였다(강이철, 1999). 멀티미디어를 이용한 수업에는 가상실험이나 애니메이션, 동영상들을 활용한 수업이 포함되며, 과학수업에서도 이러한 수업의 도입이 강조되었다(박종원 등, 1999).

가상실험이란 컴퓨터에 의해 시청각적 방법으로 실제와 유사한 가상적 상황을 학생에게 제시하는 컴퓨터 보조 프로그램

이다. 이러한 가상실험을 사용하여 실제 상황에 관련된 개념, 원리, 조작, 변화과정 등을 이해할 수 있으며 비용이 많이 드는 실험, 위험 부담이 큰 실험, 추상적인 개념이 포함된 학습에 가상실험이 많이 사용된다(유상완, 2007). 예를 들면 지구과학에서 천체나 지구의 내부에 대한 내용은 실제 상황을 관측, 측정하기 어려운 내용이므로 학교현장에서 실험을 하기에 부적절하지만 가상실험이 제공되면 학교현장에서도 실험을 통해 효과적인 학습을 할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있는 것이다(김희수 등, 2001). 가상실험은 화면을 통해 동영상이나 애니메이션 등으로 제시되는 데, 동영상과 애니메이션 등은 물체의 시·공간적 변화를 제시하여 과학의 개념과 원리를 설명하는데 효과적이다(Mayer and Anderson, 1991). 학습자는 가상실험을 이용하여 시각적으로 제시된 화면을 받아들여 지각하게 되고, 시각적인 자료와 언어적인 자료를 통합하는 과정을 통해 선개념과 새로운 아이디어가 연결되어 새로운 개념을 학습하게 된다

\*교신저자: sjkang@knue.ac.kr

•2009년 7월 1일 접수, 2009년 8월 7일 수정, 2009년 8월 10일 통과.

(Tasker, 2004). 가상실험과 같은 멀티미디어를 이용한 학습에서는 학생들이 가상현실을 이해하는 수준에는 차이가 있기 때문에 모든 학생들에게 효과적으로 사용될 수는 없다(Williamson, 2007). 컴퓨터 응용 프로그램이 익숙하지 않은 경우 가상실험은 흥미와 관심도를 떨어뜨릴 수 있으며(소영무, 2004), 가상 실험이 전통 강의 수업과 비교하여 학업성취도 검사 점수에서 의미 있는 차이를 보이는 것은 아니라는 연구 결과도 있다(전주연과 우애자, 2002). 하지만, 가상실험은 실수를 해도 부담없이 반복실험이 가능하며, 현실감뿐만 아니라 상호작용성이 높아 개념이나 원리를 학습하는 데 유용하다(김희수 등, 2001). 실제로 예진희의 연구를 보면 가상실험을 경험한 학생들은 가상실험이 학습 내용을 이해하기 쉽게 도왔다고 생각하였다(예진희 등, 2002). 컴퓨터를 이용한 학습과 전통적 학습의 비교에서 컴퓨터를 이용한 학습은 학습 시간의 32%가 절약되었다고 보고하였으며, 학년 수준이 높아질수록 시간 절약이 많다고 보고하였다. 또한 가상실험은 학년이 높아질수록 효과가 있다고 보고하였다(Kulik and Kulik, 1986; Kulik et al., 1985). 그러나 컴퓨터에 전적으로 의존하기보다는 필요에 따라 보조 자료로 사용하는 것이 더 효과적이라고 보고하였다(Okey, 1985).

화학은 물질의 특성과 변화 현상을 물질의 구성 원소인 입자의 성질, 다른 입자와의 상호작용 등을 다루는 학문이다. Anderson 와 Berkheimer는 화학 학습에 있어서 눈에 보이지 않는 입자나 개념을 설명하기 위해 물질의 입자성이 강조된 영상적 표현을 이용하면 화학 현상에 대한 학생들의 과학적 개념을 효과적으로 생성시킬 수 있다고 주장하였다(Anderson and Berkheimer, 1988). 특히 학생들은 비가시적이고 통계적 역학적인 기체분자운동론에 관한 학습을 어려워하고 있다. 기체분자운동론에 대한 고등학생들의 개념에 대한 연구에서는 학생들은 기체분자운동에 대한 많은 오개념을 가지고 있었다(노인영 등, 1999).

이 연구에서는 학생들이 어려워하는 기체분자운동론 단원에서 가상실험을 적용하였을 때 학생들이 가진 기체분자운동에 대한 개념과 인식을 알아보려고 한다. 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

1. 기체분자운동론 단원에서 가상실험을 사용했을 때 학생들의 개념 변화는?
2. 가상실험을 이용하여 학습 한 후 가상실험에 대한 학생들의 인식은 어떠한가?

## 연구 방법

### 연구 대상

충청북도 소재의 K대학교에서 화학교육을 전공하고 있으며 고등학교에서 화학 II를 선택한 일반화학 수강자 19명으로 남자 9명과 여자 10명으로 구성되어 있으며 연구기간은 2007년 3월 26일부터 2007년 4월 30일까지 약 한 달간 이루어졌다.

### 연구 절차

이 연구는 가상실험을 이용하였을 때, 학생들의 기체분자운동에 대한 개념과 가상실험에 대한 인식을 관찰하고 분석하였다. 학생들의 가상실험에 대한 인식을 알아보기 위한 인터뷰 문항을 개발하였고, 화학교육과 교수와 화학교육전공 중등교사와 함께 인터뷰 문항을 수정·보완하였다. 인터뷰는 가상실험을 체험한 후 바로 실시하였으며 그것을 녹음하여 전사한 후 분석하였다. 가상 실험에 대한 인식을 분석하기 위한 인터뷰 문항은 ‘가상 실험을 통하여 입자의 움직임을 눈으로 확인할 수 있기 때문에 새롭게 알게 된 내용?’와 ‘현실세계 입자와 시뮬레이션에서 본 가상세계 입자를 비교해보고, 공통점과 차이점에 대해 설명해보아라.’로 구성되었다.

연구자는 학생들이 기체 분자 운동론 단원에 관련된 가상 실험을 수행하는 상황을 관찰하였고, 가상 실험은 R. B. Shirts가 제작한 Maxwell-Boltzmann 가상실험(그림 1)를 이용하였다(Shirts et al., 2005). Maxwell-Boltzmann 가상실험은 기체 입

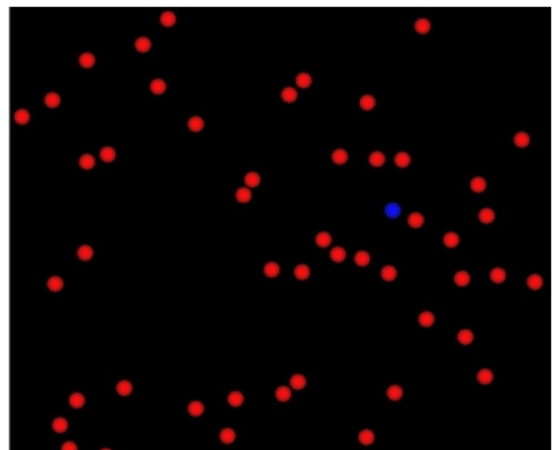


그림 1. Maxwell-Boltzmann의 기체분자운동 가상실험 화면.

자의 수, 질량, 반경, 온도 등의 조작변인에 따라 변화하는 기체의 움직임과 속도에 따른 충돌수에 대한 그래프를 관찰할 수 있는 시뮬레이션이다. 원하는 입자를 다른 색으로 바꿀 수 있어 한 입자의 가상운동을 자세히 관찰할 수 있다는 특징이 있다.

### 자료 분석

기체 분자 운동론에 관련된 가상실험을 수행하게 하였으며, 그 결과를 바탕으로 심층 인터뷰를 진행하였다. 학생들이 가상 실험을 수행하는 동안 대화 내용, 조작 능력, 수행 시간 등을 관찰기록하였다. 심층 인터뷰는 개인면담형식으로 이루어졌으며, 개방적인 방식으로 응답할 수 있는 형식의 질문들을 사전에 개발하여 반 구조화된 인터뷰 프로토콜을 이용하여 진행하였다. 학생들이 면담에 응하는 수준에 따라 질문의 순서나 속도, 질문의 폭과 범위 등을 변화시켰다. 모든 인터뷰의 내용은 MD를 이용하여 녹음을 하고 분석되었다.

타당도를 확보하기 위해서 개발된 인터뷰 프로토콜은 화학교육과 교수 1인과 화학교육 전공, 공통과학교육 전공의 중등교사 3인의 협조를 얻어 검토하고 수정·보완하였다. 자료 분석의 신뢰도를 확보하기 위해서 일정기간에 걸쳐 2~3회 이루어졌고 분석한 자료를 비교하였다.

## 연구 결과

학생들이 기체분자 운동 단원에서 가상 실험을 직접 경험하였을 때 기체 운동에 영향을 주는 변수에 따라 기체의 운동이 어떻게 달라지는가에 대한 개념, 충돌 전후 기체 분자의 속도 변화에 대한 개념을 분석하였다. 또한 가상실험을 하고 난 후 학생들의 실제 분자와 가상 분자에 대한 공통점과 차이점에 대한 인식을 알아보았다.

### 가상 실험을 통해 알 수 있는 개념 변화

대부분의 학생들은 가상실험에서 조작 가능한 변인인 온도, 질량, 반지름, 입자수 등을 변화시켜 화면에 나타나는 결과를 관찰하였다. ‘온도가 올라가면 속도가 빨라지고 충돌수가 증가하며, 질량이 증가하면 속도가 줄어들고 충돌수가 줄어든다.’고 예상하였고 이러한 사실을 관찰할 수 있었다. 그러나 학생들은 가상실험을 통하여 새로운 사실을 관찰할 수 있었다. ‘가

상 실험을 통해 새롭게 알게 된 내용은 무엇인가?’란 질문에 대한 학생들의 응답은 다음과 같다.

S1: 분자가 일정한 속도로 움직인다고 생각했었는데, 한 분자를 관찰하니 그 분자의 속도가 계속 바뀌고 있어요. 충돌하면서 계속 속도가 바뀐다는걸 제가 생각하지 못했어요..

S15: 질량이 커지면 속도가 줄어들고 충돌이 일어나면 속력이 뒤바뀌는 현상도 볼 수 있고...

가상 실험을 통해 충돌 전후 분자의 속도 변화를 관찰한 학생들은 ‘분자의 속도는 일정하다’는 자신의 생각과 다른 실험 결과를 인식하게 되었다. 즉, 운동량 보존 법칙에 의해 물체가 충돌하였을 때 운동량이 보존된다는 사실을 알고 있지만 충돌 후 입자의 속도가 변한다는 사실을 새롭게 인식하는 학생들이 있었다. 고등학교 화학 II 수업에서 기체분자의 운동에 대한 수업을 실시하였으나, 교과서에 제시된 설명으로 분자의 속도 변화를 인식하기는 매우 어려웠다고 인식하였다.

가상 실험을 수행한 19명의 학생 중 11명의 학생이 분자 간 충돌 전후의 속도 변화를 인식하였고 이러한 관찰이 새로웠다고 말하였다.

이러한 관찰은 이상기체의 Maxwell-Boltzmann 속도분포 그래프의 의미를 이해하는데 도움이 되었다. 그림 2는 분자의 Maxwell-Boltzmann 속도분포를 나타낸 그래프이다.

그래프에서 x축은 속력을 나타내는데, 다양한 속력을 가진 분자들이 존재한다는 것을 나타낸다. 즉, 동일한 온도에서 다른

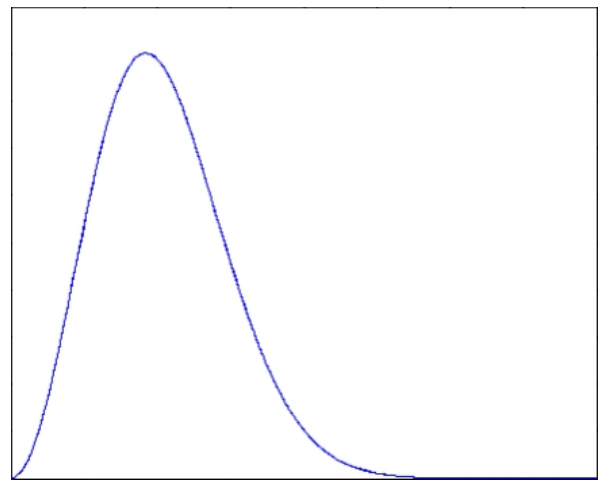


그림 2. Maxwell-Boltzmann 속도분포 그래프.

속력을 가진 분자들이 존재하는데, 이를 인식하지 못한 학생들이 많이 존재하였다. 그러나 가상 실험에서 서로 다른 속력을 가진 분자가 존재하고, 또한 충돌 후에 속력이 달라진다는 현상을 관찰한 후, 학생들은 Maxwell-Boltzmann 속력분포 그래프를 이해할 수 있었다.

S3: 분자운동 그래프가 나오는데 그 그래프에서 왜 기체의 속도 값이 다 달라졌었는지 그런 것을 좀 이해했어요... 같은 온도에서 분자들의 운동에너지는 다 똑같은 것이라고 생각했었는데요. 이렇게 운동에너지가 많이 달라서.. 다른 면이 있어서 좀 신기했구요..

이러한 관찰은 좀 더 확장되어 분자의 운동에너지가 달라질 수 있다는 것을 확인하는 과정을 경험하였다. 분자의 질량은 일정하나 분자의 속력이 달라지므로, 분자들의 운동에너지가 달라질 수 있다는 것을 추론하였다. “온도가 같으면 기체의 종류에 관계없이 기체의 평균 운동에너지는 같다.”라고 명시되어 있지만 학생들은 평균운동에너지와 운동에너지를 혼동하고 있었으나, 각 분자의 속력이 달라짐을 관찰하면서 각 분자의 운동에너지는 변할 수 있으며, 그러나 전체 분자의 평균운동에너지는 일정하다는 사실을 추론할 수 있었다. 2명의 학생이 이와 같이 운동에너지 변화를 연결시켜 설명하였다.

### 가상실험에 대한 인식

가상실험을 직접 체험한 후 학생들에게 ‘현실과 가상 세계의 분자를 비교해보고, 공통점과 차이점에 대해 설명해보아라.’ 의 문항을 제시하고 그에 대하여 응답하게 하였다. 공통점에 대한 학생들의 반응은 다음과 같다.

S14: 공통점은 질량이나 온도 등의 변인에 따라 속도나 충돌 수, 압력이 달라진다는 것인데요.

S18: 공통점은 아무래도 모형이니까 실제적으로 움직이고 그런 것. 변인을 뺐을 때의 움직임 같은 것이요.

이와 같이 학생들은 실제와 가상분자의 공통점은 질량이나 온도 등의 조작변인에 변화를 주었을 때 분자의 속도가 달라진다는 것이다. 이러한 공통점은 학생들이 가장 많이 언급한 부분으로 실제 세계에서도 가상 실험과 같을 것이라고 생각하고

있었다. 또한, S6과 S9학생과 같이 가상실험에서 관찰한 ‘분자의 움직임과 충돌 후 분자 속도의 변화’가 실제 분자에서도 일어날 것으로 생각하였다.

S6: 기체의 운동은 어떻게 생겼을까 했을 때는 ‘저게 저렇게 움직일 수 있고 이렇게 움직일 수 있다’는 것을 보여주는 거 그거는 같다고 생각해요.

S9: 공통점은 불규칙하게 움직이는 거 자기들끼리 움직이다가 부딪쳐서 튕겨나가는 거... 동선이란 그런 것들은 실제랑 비슷한 거 같고..

가상실험은 현실세계와 공통점도 가지고 있지만 차이점도 있다. 다음은 가상실험을 경험한 후 학생들이 언급한 현실세계와 가상세계 입자의 차이점에 대한 구체적인 예시이다.

S3: 실제 분자 같은 경우는요. 특히 극성 분자 같은 경우는 인력이 굉장히 많이 작용할텐데... 서로 가까이 가면 인력이 작용을 하고.. 또 분자끼리 부딪히게 되면 좀 세계 부딪치게 되면..

S19: 이상기체가 원래 운동에너지랑 다 보존된다고 그러자 나요. 실제 기체에서는 완전히 보존되는 게 아닌 것 같구요.

S3 학생은 가상세계에서는 나타나지 않는 분자사이의 힘을 차이점으로 생각하였다. 분자 사이의 인력이 현실세계에서는 존재하나 가상세계에서는 나타나지 않는다고 하였다. 또한, S19학생은 운동에너지 보존에 대해 이야기하고 있다. 가상세계의 입자를 이상기체로 보고 운동에너지가 보존되지만 현실세계의 실제기체는 완전히 운동에너지가 보존되지 않는다고 하였다. 학생들이 가상실험을 체험한 후 실제 기체와 가상실험에서 분자의 공통점과 차이점을 표 1에 요약하였다.

표 1에서 볼 수 있듯이 학생들은 현실세계와 가상세계의 입자가 공통점과 차이점이 있다는 것을 인식하고 있었고, 가상세계의 입자가 현실세계의 입자 운동을 모두 설명할 수는 없지만 움직임에 관한 특성을 비슷하게 설명하고 있다고 생각하였다. 가상실험을 할 때 가상세계와 현실세계의 차이점을 분명히 알고 있어야 학습자는 정확한 개념을 학습할 수 있게 된다. 학습자가 가상입자에 포함되어 있는 가정들을 이해하지 못하고, 현실세계 입자와의 차이점을 구분하지 못하고 있다면 가상실험을

표 1. 현실세계와 가상세계 입자의 공통점과 차이점.

공통점	차이점
· 조작변인에 따른 속도변화	· 입자 사이의 힘
· 분자의 움직임	· 충돌모습
· 충돌	· 부피
· 분자의 질량	· 운동에너지의 보존 여부

사용했을 때 기체분자운동에 대해 가상세계와 현실세계 사이의 혼란을 가져올 수 있다.

## 결론

이 연구에서는 기체분자운동론 단원에서 Maxwell-Boltzmann 가상실험을 적용한 후 가상실험을 통해 새롭게 학습한 개념과 가상실험에 대한 학생들의 인식에 대하여 알아보았다. 학생들은 실제로 관찰할 수 없는 기체 분자의 운동을 가상실험을 통해 여러 가지 변인을 조작하면서 관찰할 수 있게 함으로서 기체분자운동론과 관련된 개념을 학습할 수 있었다. 그리고 가상세계와 현실세계의 공통점과 차이점을 인식하고, 가상실험의 장점과 단점을 인식하였다. 이는 가상실험을 화학 학습에서 사용하는데 몇 가지 시사점을 줄 수 있다.

첫째, 가상실험은 이론 학습으로 획득한 개념을 실제로 확인할 수 있는 기회가 되므로 개념학습에 용이하다. 학생들이 가상실험의 장점으로 언급했던 것처럼 실제로 볼 수 없는 것을 가상실험을 통해 이미 알고 있었던 온도와 질량변화에 따른 기체분자운동에 대한 내용을 확인하였다. 그리고 충돌 전후의 속도 변화를 관찰함으로써 운동량 보존과 연결시켜 기체운동을 설명하는 것을 볼 수 있었다. 이는 학생들이 가상실험을 통해 화학 개념을 학습할 수 있다는 것을 보여주는 것이다. 학생들이 가상실험의 장점으로 언급했던 것처럼 실제로 볼 수 없는 것을 가상실험을 통해 확인함으로써 추상적인 내용에 대해 이해력을 높일 수 있기 때문이다 생각한다. 기체분자운동은 볼 수 없는 추상적인 내용으로 이론학습만으로 어려움이 있지만, 가상실험을 통해 가시화되고 다양한 변인 조작을 통해 학생들이 기체분자운동에 대한 개념을 학습하는데 효과적으로 이용할 수 있을 것이다.

둘째, 가상실험을 더욱 효과적으로 사용하기 위해서는 가상세계와 현실세계의 공통점과 차이점을 학습자가 미리 파악하고 있어야 한다. 가상실험은 현실 세계와 완벽하게 같은 것이 아니므로 가상실험에서 관찰한 내용이 현실세계와 모든 면에서 일

치한다고 할 수 없다. 가상실험이 실제기체의 운동을 표현하고 있다는 공통점이 있지만 가상실험에서 기체분자운동을 표현하기 위해 가정한 사실들이 실제기체와의 차이를 만든다는 것을 인식해야 한다. 학습자가 가진 가상세계에 대한 인식이 올바르지 못할 경우 오히려 오개념을 견고하게 만들 수 있기 때문이다.

이와 같이 가상실험을 체험한 학생들의 인식을 고려하여 사용하면 가상실험은 학습자에게 효과적인 학습이 일어나도록 하기위한 유용한 교수도구가 될 수 있다.

## ABSTRACT

In this study, the perception of a virtual laboratory and the understanding of the chemical concept about the kinetic theory of gases were analyzed when students learned the kinetic theory of gases through a virtual laboratory. The in-depth interview had been conducted to 19 students taking the general chemistry course. Students recognized the change of a speed and a kinetic energy after collision. Students mentioned the presence of intermolecular interaction, the volume of a molecule, the conservation of kinetic energy as a difference between virtual and real world. In addition, students could learn the new concepts because the virtual laboratory makes the abstract concept visible.

**Key words:** Kinetics theory of gases, virtual laboratory, concept change, perception

## 참고문헌

- 강이철 (1999) 가상교육의 핵심성공 요인에 대한 토론. *교육학논총*. 20(1): 1-18.
- 김희수, 신영숙, 김여상, 서명석 (2001) 지구과학교과교육을 위한 웹기반 3차원 가상현실 기법의 활용. *교육공학연구*. 17(3): 85-106.
- 노인영, 박현주, 최병순 (1999) 기체분자운동론에 대한 고등학생들의 개념 및 개념유형. *대한화학회지*. 43(6): 699-706.
- 박종원, 오희균, 김두현 (1999) 물리학에서 이론적 설명과 실험에 포함된 이상조건에 대한 고등학생과 과학교사의 이해조사. *한국과학교육학회지*. 19(4): 653-664.
- 소영무 (2004) 가상실험과 실제실험간 학생들의 과학 관련 태도 및 탐구 수행능력 변화 비교. *서울대학교 대학원 석사학위논문*.
- 이옥화, 김가미 (1999) 고등학교학생의 정보소양인증제에 관한

- 소고. 교육공학연구. 15(3): 317-339.
- 유상완 (2007) 가상실험실과 동영상을 이용한 화학 탐구수업프로그램의 개발과 적용 효과. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 예진희, 박창보, 서혜애, 송방호 (2002) 중등 생물교과 심화과정 학습용 웹 기반 학습 프로그램 개발 및 적용. 한국과학교육학회지. 22(2): 299-313.
- 전주연, 우애자 (2002) ‘산, 염기 적정’에 관한 웹 기반 시뮬레이션 학습 프로그램의 개발과 적용. 교과교육연구. 6(2): 57-70.
- Anderson CW and Berkheimer GD (1988) Matter and Molecules, Teacher's Guide: Science Book (Occasional Paper, No. 121); Michigan State University Institute for Research on Teaching: Michigan, U. S. A.
- Kulik CLC and Kulik JA (1986) Effectiveness of computer-based education in college. AEDS Journal, 19: 81-108.
- Kulik JA, Kulik CLC and Bangert-Drowns RL (1985) Effectiveness of computer-based education in elementary schools. Computers in Human Behavior, 1: 59-74.
- Mayer RE and Anderson RB (1991) Animations need narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. Journal of Educational Psychology 84, 444-452.
- Okey JR (1985) The effectiveness of computer-based education. ED 257 677.
- Shirts RB, Burt SR and Lemmon BJ. (2005). Boltzmann 3D: A java-based computer simulator for demonstrating and visually learning principles of molecular kinetic theory and statistical mechanics.
- Tasker R (2004) In A Chemist's Guide to Effective Teaching ; Pienta, N., Greenbowe, T., Cooper, M., Eds.; Prentice Hall: Sydney, Australia.; pp. 256-272.
- Williamson VM (2007) Particulate Mental Models: The Quest for Student Understanding Texas A&M University: Texas, U. S. A.