

가상현실 실험이 학업 성취도와 과학 관련 태도 및 창의성에 미치는 효과: 10학년 과학 교과-물질 단원을 중심으로

홍춘표¹, 김용연^{2*}

¹공주대학교 화학교육과, 충청남도 314-701

²양명고등학교, 경기도 430-012

The Effect of a Virtual Reality Experiment Program on the Science Achievement, Science Related Attitude and Scientific Creativity: Centering the Chemistry Unit in the 10th Grade Science Textbook

Chun Pyo Hong¹, Yong Yeon Kim^{2*}

¹Department of Chemistry Education, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

²Yang Myeong High School, Kyonggi 430-012, Korea

요약

이 연구는 고등학생들을 대상으로 과학 교과 중 화학 단원에 대하여 가상현실 실험 프로그램의 효과를 분석한 것이다. 이를 위하여 3D-Works와 VRML을 이용하여 고등학교 10학년 과학 교과서 내에 있는 화학 단위 중 8가지의 실험 주제로 구성된 가상현실 실험 프로그램을 개발하였다. 고등학교 10학년 126명을 대상으로 3개월간 전통적인 실험 수업을 적용한 통제 집단과 가상현실 실험 프로그램을 적용한 실험 집단에 대하여 적용 전과 적용 후에 과학 교과에 대한 학업 성취도, 과학 관련 태도, 창의성 영역 등에 대한 검사를 실시하였다. 연구결과 가상현실 실험 프로그램은 전통적인 실험 수업보다 학생들의 지적인 영역과 정의적 영역은 향상시키는 것으로 조사되었으나 학습자의 창의성은 거의 향상시키지 못하였다. 앞으로는 좀 더 현실감을 높이고 보다 간단한 사용법과 단순한 프로세스를 가진 가상현실 과학 교과 학습프로그램이 개발되어야 할 것이다. 학습자의 창의성을 향상시킬 수 있는 가상현실 실험 프로그램을 개발하는 것 또한 흥미로운 주제가 될 것이다.

주제어 : VR, virtual reality, VR experiment, virtual reality experiment, VR tools, chemistry achievement, science related attitude, scientific creativity.

서론

최근 대두되고 있는 지식 기반 사회에서 지식관의 변화는 학교에서 이루어지고 있는 지식 교육의 문제에 대하여 근본적인 변화를 요구하고 있다. 과거의 학교 교육과정에서는 명제적 지식 중심의 객관적인 지식의 체계가 중심을 이루고 있었다면 앞으로는 감성적이고 행동적인 차원까지를 포섭하는 다양한 지

식, 그리고 주관적이고 구성적인 지식과 경험을 포함시킬 것을 요구하고 있다(Beichner, 1990).

이와 더불어 21세기에는 초고속 정보 통신망을 기반으로 하는 컴퓨터와 인터넷이 교육은 물론 산업 제반의 전 분야에서 큰 변화를 주는 고도의 정보화 사회가 예상된다. 특히 웹에 기반한 교육(WBI)의 활용 범위는 상호작용이 가능한 원격 교육을 실현 가능케 함으로써 시·공간을 초월한 새로운 학습 형태, 즉 통신망을 이용한 열린 교육 체제로의 변화를 꾀하고 있다. 이에 따라 학습자에 대한 개별화의 요구와 효율적인 교수-학습을 위한 다양한 웹 코스웨어가 개발되고 있다(오필우 등, 1999).

* 교신저자: chemy007@hanmail.net

• 2010년 7월 20일 접수, 2010년 8월 7일 수정, 2010년 8월 7일 통과

우리나라 제 7 차 교육과정의 교육목표는 “건강한 인성과 창의성을 함양하는 기초·기본교육의 충실”로 되어있다. 이러한 목표달성을 위해서 “세계화·정보화 시대에 적응할 수 있는 교육”을 그 내용으로 하고 있으며, 운영 방법 면에서는 “학습자 중심”이 되어야 할 것을 기본 방향으로 정하고 있다(교육인적자원부, 2001).

이러한 추세를 반영하듯 컴퓨터의 사용은 학습에 매우 중요한 도구로써 점점 강조되고 있다. 컴퓨터는 학습자 중심의 멀티미디어 교수 환경을 제공하며, 정보의 원천 기능을 가진 교육 도구로써의 기능을 갖고 있고, 인터넷 인터페이스 기술의 발달로 인해 교수-학습의 환경 변화에도 커다란 영향을 미치고 있다(Peat and Fernandez, 2000; Baggott and Wright, 1997).

또한, 선진 각국에서는 이미 오래전부터 정보화 정책을 구체적으로 수립하였고, 특히 미국(미국의 교육 연구 네트워크화 - NREN ; National Research and Education Network)이나 일본(신사회 자본), 영국(JANET ; Joint Academic Network)에서는 정부 기관 및 각종 공공기관은 물론 학교에서도 정보화가 가속화되고 있다(유양근, 2001; Scanlon et al., 2002).

이에 따라 정보통신부는 우리나라도 2015년까지 정보 고속도로를 구축하여 정보 통신의 구현, 멀티미디어 정보 산업의 육성과 국가 정보력을 강화하기 위한 국가 정보화 정책을 발표하였다. 이를 위해 국가 정보화 정책의 일환으로 진행되고 있는 각 급 학교의 교육정보화에 1997년 이전부터 매년 수천억 원의 예산을 투입하고 있다(교육인적자원부, 1998, 2004, 2005; 임원철, 1999).

이러한 사회적인 기반 위에서 여러 가지 기술적인 발달은 웹을 기반으로 한 교육 자료 및 교육 프로그램의 개발을 촉진하게 하였고, 인터넷은 수업 시간동안 교사를 위한 교육 도구로써의 기능은 물론 학습자로 하여금 자기 주도적 교수-학습 활동을 가능하게 하였으며, 학습자 개개인뿐만 아니라 집단별로도 다양한 교수-학습 활동을 가능하게 하였다(심규철 등, 2001; Anderson et al., 1999; Baggott and Wright, 1997; Kapa, 1999; Newton, 1997; Van Biljon et al., 1999).

과학은 자연 현상을 이해하고 그 이유를 설명하려는 활동 중의 하나로 자연에 대한 연구 과정인 탐구와 탐구의 결과물인 지식으로 이루어져 있으며(조희형 등, 1994) 이 중 화학 교과는 물질의 변화에 대하여 연구하는 학문 분야라고 할 수 있다(최병순 등, 2004).

Anderson 과 Berkheimer(1998)는 화학 교과가 반응 물질이 생성 물질로 변화하면서 새로운 물질이 생겨나는 화학 변화에

대한 학습으로, 반응물질들 사이에서 구체적으로 어떤 변화 과정을 거쳐서 생성물이 되는지 그 과정을 알기는 매우 어렵다고 보았다. 따라서 물질의 입자성에 주안점을 둔 영상적 표현을 통해 미시 세계와 거시 세계의 현상을 표현함으로써 학생들에게 화학 변화에 대한 개념을 효과적으로 생성시킬 수 있다는 연구를 수행한 바 있다.

또한, Boo(1998)는 “학생들은 화학 반응이 일어나는 과정에서 입자들 간의 상호 작용을 혼동하고 있으며 입자의 세계를 직접 경험하거나 느낄 수 없어 거시적 현상과의 연결을 통한 학습을 어려워한다.”고 하였다.

따라서 복이순(2000)은 화학 변화 과정을 가시화하여 학습의 효율성을 높이고자 중학교 학생들을 대상으로 VRML과 Java applet을 이용하여 웹기반의 화학 결합 학습 코스웨어를 개발하여 구성주의 학습 이론에 입각하여 학습자의 능동적인 참여와 흥미를 유발하기 위한 연구를 하였으며, 오창호(2001)는 웹에서 쉽게 활용할 수 있는 학습프로그램인 플래시를 이용하여 고등학교 화학II 교과 중 화학 결합에 대한 개념 형성의 유무를 알아 본 연구를 진행하였고, 이혜영(2007)은 대학교 3학년 학생들을 대상으로 분자 동력학적으로 시뮬레이션 된 화학 반응을 통해 미시적 수준의 화학 반응을 고찰하고 학생들의 생각 변화를 질적으로 연구하여 화학 반응 동역상의 효과를 알아본 결과 의미 있는 성과를 얻을 수 있었다.

이러한 여러 시도 중에서 가장 구체적으로 화학 반응 모형을 제시할 수 있는 방법 중의 하나가 바로 가상현실 시스템을 활용한 방법이다.

가상현실(VR: Virtual Reality)이란 용어는 1989년 Jarrow Lanier에 의해 처음 쓰인 말로 이와 유사한 표현으로는 인공 환경, 가상 세계, 사이버 스페이스 등의 개념으로 사용되기도 하는데(Beier, 2000), 인간이 가진 기술을 집약하여 만들어낸 가상 세계 또는 컴퓨터가 만든 가상의 공간을 현실감 있게 느끼는 것이라고 말할 수 있다. 즉, 실제 환경과 유사하게 만들어진 컴퓨터 모델 속에 들어가 시각, 청각, 촉각 같은 감각들을 이용하여 그 속에서 정의된 세계를 경험하고 대화식으로 정보를 주고받는 것을 말한다(심규철 등, 2001).

가상현실 프로그램의 교육적인 효과에 대하여 Pantedlidis(1993)는 실험적이고 능동적인 학습이 가능하고 동료 간의 협력이 촉진되며, 학습동기가 촉진되고 다양한 학습에 융통성과 적응성을 길러주며, 현실에서 불가능한 학습을 가능하게 하고 평가 도구로도 유용하다는 점을 들었다.

가상 교육의 교육적 가능성에 대하여 연구한 이재훈(2006)도 가상 교육에 대하여 가상 공간은 시간과 공간의 제약에서 탈피할 수 있으며, 익명성을 통한 학습의 확장을 가져올 수 있고, 정보의 공유가 용이하며, 능동적이고 자발적 학습이 가능하고 학습에 대한 흥미나 동기 요인에 따라 학습의 효율성이 결정된다고 하였다.

그러나 지금까지의 연구들은 대부분 직접적인 학교 현장과는 무관하게 특정 이론이나 가상현실 프로그램의 기능적인 특성들을 강조하기 위하여 개발한 연구들로 일선 학교 현장에서 직접 적용하기에는 다소 무리가 있었다.

따라서 본 연구에서는 현재 학교에서 사용되고 있는 J출판사의 10학년 과학 교과서 및 교사용 지도서에 제시된 탐구 실험을 바탕으로 직접 학교 교육 현장에서 적용할 수 있는 탐구 실험과 동일한 주제의 가상현실 실험 프로그램을 개발하였다. 그런 다음 가상현실 실험프로그램을 적용한 실험 집단과 동일한 내용을 직접 실험한 통제 집단 학생들 사이에 학업 성취도 및 정의적 영역, 창의성을 비교·분석함으로써 가상현실 실험 프로그램의 효용성을 알아보았다.

연구 내용 및 방법

연구 대상 및 연구 주제

본 연구는 수도권 대도시 지역에 소재하고 있는 인문계 남자 고등학교와 여자 고등학교 각 1개교의 10학년 과학반과 클럽 활동반 학생들을 대상으로 하였다. 본 연구는 총 3개월간 실시하였는데 과학반 학생들은 각 학교에서 자체적으로 운영하는 동아리 학생들이며 클럽 활동반은 두 학교의 정규 클럽활동 시간에 편성된 학생들 중 희망자를 대상으로 하였다.

연구대상 학생들은 물질 단원 이전의 에너지 단원을 학습하던 상태였으므로 본 연구에 투입되기 전 물질단원을 별도로 학습하지 않은 상태였으며, 내신 성적을 위한 별도의 학습도 하지 않은 상태였다.

표 1. 연구 대상

구 분	성별(%)	소계	계
실험 집단	남 32(54)	59	126
	여 27(46)		
통제 집단	남 37(55)	67	
	여 30(45)		

과학반 학생들로 구성된 실험 집단은 남학생 32명, 여학생 27명, 전체 59명이었으며 클럽 활동반 학생들로 구성된 통제 집단은 남학생 37명, 여학생 30명, 전체 67명으로 표 1과 같았다.

본 연구를 위해 선정된 주제는 10학년 과학 교과서의 물질 단원에 제시된 탐구 실험으로 다음과 같은 8개의 주제이다.

- 전해질과 비전해질
- 전해질이 전류를 통하는 이유
- 이온의 검출
- 산과 염기의 성질
- 중화반응
- 반응속도의 측정
- 반응속도에 미치는 농도의 영향
- 반응속도에 미치는 온도와 촉매의 영향

연구 방법

본 연구를 위해 사용한 교수·학습 과정안은 교과서를 개발한 J출판사의 교사용 지도서를 바탕으로 10학년 학습 내용을 보완하여 사용하였다. J출판사의 교수·학습 과정안은 전통적인 형태로 '도입-전개-정리'의 과정을 거치며 전개 부분에 주로 탐구 실험이 주어지는데 이 부분에서 가상현실 실험 프로그램과 교과서에 제시된 실험을 각각 실험 집단과 통제 집단에 실시하였다.

지도교사는 대상 학생들이 재학하고 있는 학교의 교사 각 1명씩 2명이었으며, 실험 집단과 통제 집단의 수업은 교사의 수업 횟수에 따른 변인을 없애기 위하여 각각 오전과 오후로 나눠 실험 집단과 통제 집단을 상호 번갈아가면서 실험을 진행하였다. 수업은 토요일 휴무일을 이용하여 실시하였으며 각 주제별로 1시간 30분씩, 하루에 2가지 주제에 대하여 3시간 동안 진행하였고 선행 학습은 미리하지 않도록 하였다.

학급은 실험 대상 학교에서 실험 집단과 통제 집단 각 1개 학급씩 총 4개 학급으로 편성 운영하였다. 학습자들은 2인 1조의 모둠으로 편성하였고, 실험 집단 학생들에게는 가상현실 실험프로그램을 실시하였고 통제 집단 학생들에게는 교과서의 실험을 실시하였다. 실험 집단에 속한 학습자들은 각각 노트북에 가상현실 실험 프로그램을 설치한 다음 동일 주제의 교과서 실험을 대신하여 같은 시간 동안 실습을 수행하였다.

검사 도구

본 연구는 교수·학습 현장에서 가상현실 실험 프로그램이 일

반 실험 실습에 비하여 어떤 장점과 단점을 가지고 있는가를 알아보는 연구로 학습자를 대상으로 학업 성취도 검사와 과학 수업 및 실험 실습에 대한 태도 검사, 컴퓨터에 대한 태도 검사, 가상현실 실험 프로그램에 대한 태도 검사, 창의성 검사의 다섯 가지 항목에 대한 사전·사후 검사를 실시하여 가상현실 실험 프로그램과 일반 실험 실습이 학습자에 미치는 영향을 비교·분석하였다.

1) 학업 성취도 검사

학업 성취도 검사지는 10학년 과학 교과 중 화학 부분에 속하는 물질 단원에 대하여 사전 검사 25문항과 사후 검사 25문항을 객관식 5지 선다형의 동형 검사지 형태로 제작하였다. 각 문항의 배점은 4점씩 총 100점 만점으로 계산하였으며, 문항의 내용 및 타당도 검증을 위해서 화학 교육 전문가 3명의 검토를 거쳤다.

2) 과학 수업 및 실험에 대한 태도 검사

일반적으로 학생들은 과학 수업에 대하여 어려움과 흥미, 호기심 등을 동시에 가지고 있는데, 과학 수업에 대한 학생들의 태도는 학업 성취도와 많은 상관관계를 가지고 있다. 따라서 학습 과제에 대한 학생들의 태도는 매우 중요한 데, 이를 측정하기 위하여 허명(1993)은 Fraser(1981)가 개발한 과학 수업 및 실험 태도 검사지인 TOSRA(Test of Science Related Attitudes)를 번역하여 국내에 소개하였다.

본 연구에서는 TOSRA의 70문항 중 “과학 수업은 재미있다. 과학 수업이 기다려진다.” 등의 과학수업에 대한 흥미를 묻는 문항 8개와 “과학 실험은 시간 낭비이다. 실험 수업 시간을 늘려야한다고 생각한다.” 등의 실험에 대한 문항 4개 등 모두 12문항으로 재구성한 반승록(2000)의 과학 수업에 대한 태도 검사지(Cronbach의 α 신뢰도 계수 .83)를 사용하였다. 이 검사지의 답지는 5단계의 리커트 척도로 구성되어 있고, 사전 검사와 사후 검사에 동일한 검사지를 사용하였다.

위 검사지에 덧붙여 검사 항목 중 학습자의 태도에 가장 큰 영향을 미친 항목이 무엇인지 알아보기 위하여 “13. 위에서 선택한 항목 중 가장 중요하다고 생각하는 것은 무엇인가?”와 “14. 위의 13번과 같이 생각한 이유는?”, “15. 기타 과학수업 및 실험에 대하여 자유로운 의견을 제시해 주세요.”의 항목을 추가하여 15문항으로 재구성하였다.

3) 컴퓨터에 대한 태도 검사

가상현실 실험이 컴퓨터를 기반으로 이루어지는 수업이므로 가상현실 실험 프로그램을 통한 학생들의 컴퓨터에 대한 인식 변화는 매우 중요한 요소라고 볼 수 있다.

따라서 프로그램의 처지 전후 학생들의 컴퓨터에 대한 인식 및 태도 변화를 알아보기 위해 Gardner 등(1993)이 개발한 CAS(Computer Attitude Scale) 검사지를 사용하였다.

CAS(Cronbach의 α 신뢰도 계수 .93) 검사지는 모두 29문항으로 이루어져 있는데 이 중 컴퓨터에 대한 “선호도와 불안감 및 자신감” 항목에 대하여 각 4문항씩 총 12문항을 선별하였다.

위 검사지에 덧붙여 컴퓨터가 학습자들의 태도에 가장 큰 영향을 미친 항목이 무엇인지 알아보기 위하여 “과학 수업 및 실험에 대한 태도 검사”와 동일한 세 가지 항목을 추가하여 총 15문항으로 재구성한 검사지를 사용하였다.

이 검사지의 답지는 5단계의 리커트 척도로 구성되어 있고 상위 12문항에 대하여만 채점하였으며 사전 검사와 사후 검사에 동일한 검사지를 사용하였다.

4) 가상현실 실험 프로그램에 대한 태도 검사

본 연구를 위해 개발한 가상현실 실험 프로그램에 대하여 학생들은 어떻게 생각하는지를 알아보기 위하여 프로그램 적용 전후에 가상현실 실험 프로그램에 대한 학생들의 인식도 및 태도를 조사하였다. 검사지는 반승록(2000)이 개발한 가상 실험 실 학습에 대한 인식 설문 조사 검사지 중 본 연구에 맞는 항목만 추출하여 사용하였다. 이 검사지는 총 15문항으로 구성되어 있는데 이 중 “4. 가상실험은 혼자 할 수 있어 좋았다.”와 “12. 가상실험은 실험화면의 도구나 시험관의 물이 움직여 좋았다.”의 문항을 제외한 13문항을 선별한 후, “14. 학습에 가장 큰 영향을 준 요인은?” 항목과 “15. 기타 가상현실 실험 프로그램에 대하여 자유로운 의견을 제시해 주세요.”를 묻는 항목을 추가하여 15문항으로 재구성하였다. 이 검사지도 다른 태도 검사지와 마찬가지로 5단계의 리커트 척도로 구성되어 있고 상위 13문항에 대하여 사전, 사후 검사에 동일한 검사지를 사용하였다.

5) 창의성 검사

최근 우리나라에서 영재교육이 강조되면서 과학 교과 학습을 통한 창의성 향상 방안에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다. 그만큼 과학 교과 학습과 창의성은 깊은 상관관계를 가지고 있다고 할 수 있다.

이런 뜻에서 본 연구를 위해 개발된 가상현실 실험 프로그램이 학생들의 창의성 신장에 미치는 영향을 알아보는 것은 매우 의미 있는 일이라고 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 창의성 검사도구 중에서 가장 일반적으로 사용되고 있는 토랜스의 일반 창의성 검사(TTCT: Torrance Test of Creativity Thinking) 중 도형부분의 A형 검사를 30분간 실시한 다음 전문 채점 기관에 의뢰하여 채점하여 그 의미를 분석하였다.

연구 결과 및 논의

가상현실 실험 프로그램의 개발

본 연구를 위해 개발한 가상현실 실험 프로그램은 위에 제시한 바와 같이 10학년 과학 교과 중 물질 단원에 대한 8개 주제이다.

본 프로그램은 가상현실 전용 저작도구인 3-D Works 프로그램과 가상현실 구현 언어인 VRML (Virtual Reality Modeling Language)로 제작하여 Applet이나 플래시를 이용한 기존의 연구 프로그램보다 훨씬 더 정교하고 현실감 있는 화면을 구성할 수 있어 학습자의 학습 효율을 좀 더 높일 수 있도록 하였다.

또한 각 주제의 실험 프로그램은 각 단계를 그물망 구조 형식으로 연결하여 학습자가 잘못된 실험을 진행하였을 경우에는 각 단계별로 되돌아가 다시 실험을 진행할 수 있도록 하였다. 즉, 학습자는 같은 실험 프로그램을 사용하지만 각각 다른 과정을 거쳐 실험할 수 있으므로 학습자의 능동성 면에서 기존 프로그램보다 많이 개선되었다고 할 수 있다.

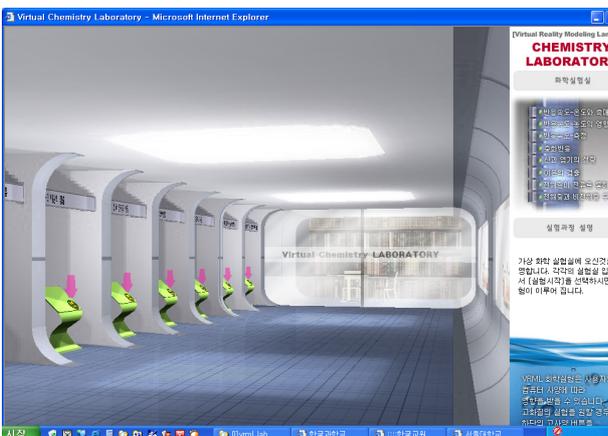


그림 1. 가상현실 실험실 메인 화면

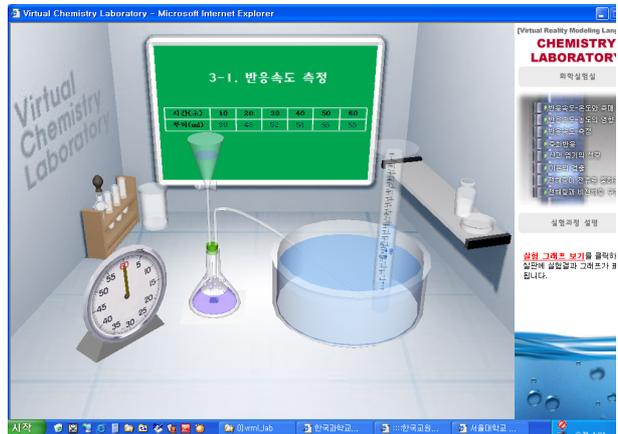


그림 2. 가상현실 실험 프로그램

가상현실 실험 프로그램은 학교현장에서 문제가 되고 있는 학습자의 컴퓨터 사양을 고려하여 저사양과 고사양으로 나누어 작동되도록 설계하였다. 화면의 구현 방식도 전체 화면보기와 일부 화면보기로 나누어 구현되도록 하였으며 웹상의 인터넷 환경에서도 작동이 가능하지만 본 연구에서는 프로그램 사용상의 효율을 좀 더 높이기 위하여 모든 노트북 컴퓨터에 직접 설치하여 연구에 투입하였다.

그림 1은 '가상현실 실험실의 입구 화면'을 나타낸 것이다. 가상 실험실은 크게 좌우의 2단으로 구성되었는데 좌측에는 실험실의 전경이 3차원으로 펼쳐져 있고 우측에는 실험과정과 안내, 주의사항, 실험 목록 등이 배치되어 있어 실험을 진행하는 안내서 역할을 하도록 구성하였다.

그림 2는 실험 진행 내용 중 '반응속도 측정 실험'을 나타낸 것이다. 다른 실험도 그림 2와 같은 형식의 format으로 구성되어 있다.

실험 집단의 동질성 검증

실험 집단과 통제 집단의 동질성 유무를 확인하기 위하여 지적 영역의 학업 성취도와 정의적 영역의 과학 수업 및 실험에 대한 태도, 컴퓨터에 대한 인식도 및 태도, 가상현실 실험 프로그램에 대한 인식도 및 태도검사 및 창의성 검사를 실시하였다. 각 검사는 종류별로 사전 검사와 사후 검사에 동일한 검사지를 사용하였다.

모든 자료의 통계 처리는 통계 처리 전문 프로그램인 SPSS Ver. 12.0을 사용하였다.

표 2~6의 결과에서 보는 바와 같이 통제 집단과 실험 집단은 통계적으로 유의미한 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

표 2. 과학 성취도 검사에 대한 t-검정 결과

구 분	평균	표준편차	대상	t점수	유의수준
통제 집단	2.62	8.90	126	-.279	.643
실험 집단	2.49	12.51			

표 3. 과학 수업 및 실험 관련 태도 검사에 대한 t-검정 결과

구 분	평균	표준편차	대상	t점수	유의수준
통제 집단	2.02	11.39	126	-.147	.832
실험 집단	1.99	10.13			

표 4. 컴퓨터 관련 인식도 및 태도 검사에 대한 t-검정 결과

구 분	평균	표준편차	대상	t점수	유의수준
통제 집단	2.16	5.27	126	-.135	.753
실험 집단	2.06	4.39			

표 5. 가상현실 실험 프로그램 관련 인식도 및 태도 검사에 대한 t-검정 결과

구 분	평균	표준편차	대상	t점수	유의수준
통제 집단	1.82	18.82	126	-.118	.715
실험 집단	1.89	17.28			

표 6. 가상현실 실험 프로그램 관련 창의성 검사에 대한 t-검정 결과

구 분	평균	표준편차	대상	t점수	유의수준
통제 집단	2.57	6.52	126	-.131	.672
실험 집단	2.49	5.45			

학업 성취도 검사 결과 분석

본 연구에서 개발한 가상현실 실험 프로그램이 학습자의 학업성취도 향상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 표 7과 표 8에서 보는 바와 같이 사전 검사와 사후 검사의 변화 및 공변량 분석을 실시하였다. 검사지의 신뢰도(Cronbach's alpha)는 사전 검사지와 사후 검사지 각각 0.87과 0.89였다.

표 7과 같이 사전검사에서 통제 집단은 평균 2.62점, 실험 집단은 평균 2.49점을 획득하여 통제 집단이 평균 0.13점 높았

표 7. 과학 성취도 검사 결과

구 분	대상	사전 검사		사후 검사	
		평균	표준편차	평균	표준편차
통제 집단	67	2.62	8.90	3.68	7.90
실험 집단	59	2.49	12.51	4.37	8.15
계	126				

다. 그러나 사후검사에서 통제 집단은 평균 3.68점, 실험 집단은 평균 4.37점으로 실험 집단이 평균 0.69점 더 높아 졌고, 각각 상승폭도 1.06점, 1.88점씩 상승하여 실험 집단의 상승폭이 평균 0.82점 더 높은 것으로 나타났다.

위의 결과가 통계적으로 유의미한지를 알아보기 위하여 사전검사와 사후검사를 공변인자로 공분산분석을 한 결과 표 8에서 보는 바와 같이 통계적으로 매우 유의미하다는 결론을 얻을 수 있었다.

따라서 가상현실 실험 프로그램을 적용한 수업은 전통적인 실험 수업보다 학습자의 학업 성취도를 향상시키는 데 보다 더 효과적임을 알 수 있었다.

표 8. 과학 성취도 검사에 대한 공분산분석(ANCOVA) 결과

구 분	제곱합	자유도	평균제곱	F분포	유의수준
사전 검사	1083,231	1	1083,231	6,622	.011
주효과	635,276	1	635,276	3,883	**.001
사후 검사	2933,175	2	1466,588	8,965	.000
오차	20121,115	123	163,586		
계	23054,290	125			

**유의수준 <.01

과학 수업 및 실험에 대한 태도 검사 결과 분석

가상현실 실험 프로그램이 과학 수업 및 실험에 대한 학습자의 인식도나 태도에 어떤 영향을 주는지 알아보았다. 표 9와 표 10은 사전 검사와 사후 검사의 변화 및 공분산분석 결과이다. 검사지의 신뢰도(Cronbach's alpha)는 사전 검사지와 사후 검사지 각각 0.81과 0.85였다.

표 9에서 보는 바와 같이 사전 검사에서 통제 집단은 평균 2.02점, 실험 집단은 평균 1.99점을 획득하여 통제 집단이 평균 0.03점 높았다. 그러나 사후 검사에서는 통제 집단은 평균 2.11점, 실험 집단은 평균 2.26점으로 실험 집단이 평균 0.15점 더 높아졌고, 각각 상승폭도 0.09점, 0.27점씩 상승하여 실험 집단의 상승폭이 0.18점 더 높은 것으로 나타났다.

표 9. 과학 수업 및 실험에 대한 태도 검사 결과

구 분	대상	사전 검사		사후 검사	
		평균	표준편차	평균	표준편차
통제 집단	67	2.02	11.39	2.11	9.56
실험 집단	59	1.99	10.13	2.26	11.25
계	126				

표 10. 과학 수업 및 실험관련 태도 검사에 대한 공분산분석(ANCOVA) 결과

구 분	제곱합	자유도	평균제곱	F분포	유의수준
사전 검사	1326.136	1	1326.136	6.190	.005
주효과	857.187	1	857.187	4.001	**0.02
사후 검사	4135.739	2	2067.870	9.652	.000
오차	26351.181	123	214.237		
계	30486.920	125			

**유의수준<.01

표 10을 보면 사전 검사와 사후 검사 간에 유의미한 차이가 있다는 결론을 얻을 수 있으므로 가상현실 실험 프로그램을 적용한 수업이 전통적인 실험 수업 보다 학습자의 과학 수업이나 실험 수업에 대한 태도 향상에 효과적이라고 말할 수 있다.

또한, “과학 수업에 대한 선호도” 항목을 분석한 결과 리커트 척도의 5점 만점 중 평균 3.27점(표준편차 4.57)으로 학생들은 과학 과목을 선호하는 것으로 조사되었다.

검사 결과 중 표준 편차는 4.57로 큰 편인데 이는 학생들이 과학 수업에 대한 선호와 비선호에 대한 구분이 확실하고 같은 항목에 대해서도 과학 및 실험에 대하여 갖는 태도 측면에서 많은 차이가 있다는 사실을 확인할 수 있었다.

과학 수업을 좋아하는 이유로 학생들은 “과학 실험이 재미있다.” 36.2%, “과학 수업이 재미있다.” 26.9%의 순이었다. 기타 의견으로 “과학자를 좋아해서, 과학 관련 서적에 대한 독서를 좋아해서” 등의 소수 의견이 있었다.

반면에 과학 수업을 좋아하지 않는 이유로는 “교과 내용이 어려워서(45.2%), 실험이 위험해서(25.7%), 선생님이 싫어서(11.2%)” 등의 이유가 있는 것으로 조사되었다.

따라서 과학 교과에 대한 선호도가 높은 학생들은 과학 교과에 대하여 흥미를 느끼고 재미있어하는 반면 과학교과를 좋아하지 않는 학생들은 교과 내용의 난이도나 실험, 과학 교사 등에 대한 불만을 가지고 있다는 것을 알 수 있었다.

컴퓨터에 대한 태도 검사 결과 분석

가상현실 실험 프로그램이 컴퓨터에 대한 학습자의 인식도나 태도를 향상시키는지 알아보기 위하여 표 11과 표 12에서 보는 바와 같이 사전검사와 사후검사의 변화 및 공분산분석을 실시하였다. 검사지의 신뢰도(Cronbach's alpha)는 사전 검사지와 사후 검사지 각각 0.85와 0.89였다.

표 11. 컴퓨터에 대한 태도 검사 결과

구 분	대상	사전 검사		사후 검사	
		평균	표준편차	평균	표준편차
통제 집단	67	2.16	5.27	2.18	3.17
실험 집단	59	2.06	4.39	2.44	2.19
계	126				

표 11에서 보는 바와 같이 사전검사에서 통제 집단은 평균 2.16점, 실험 집단은 평균 2.06점으로 나타나 통제 집단이 평균 0.10점 높았으나 사후검사에서는 통제 집단은 평균 2.18점, 실험 집단은 평균 2.44점으로 실험 집단이 평균 0.26점 더 높아졌고, 각각 상승폭도 0.02점, 0.38점씩 상승하여 실험 집단의 상승폭이 0.36점 더 높은 것으로 나타났다.

위 결과를 공분산분석 한 결과 통계적으로 유의미하다는 결론을 얻을 수 있었다(표 12, $p < .01$).

이상의 결과는 가상현실 실험 프로그램이 전통적인 실험보다 학습자의 컴퓨터 활용 수업에 대한 인식도나 태도를 향상시키고 있다는 점을 보여주고 있다.

또한, 컴퓨터를 사용하는 수업의 선호도를 조사한 결과 5점 만점 중 평균 3.92점(표준편차 2.94)으로 컴퓨터 이용 수업에 대한 학생들의 선호도는 높은 것으로 조사되었다.

위 내용을 자세히 분석해 보면 학생들이 컴퓨터 이용 수업을 좋아하는 이유로 “컴퓨터를 활용한 수업이 즐겁다.”라는 의견이 87.2%로 가장 많았으며 “컴퓨터 사용에 자신 있어서(8.3%)”라는 내용이 그 다음이었고 기타 의견으로는 “게임을 할 수 있어서” 등이 있었다.

반면에 컴퓨터 활용 수업을 좋아하지 않는 이유로는 “수업시간이 산만해져서(33.1%), 수업 내용에 대하여 기억효과가 없어서(24.9%), 학교 컴퓨터의 성능이 떨어져서(15.5%)” 등의 이유가 있는 것으로 조사되었다.

학습자의 컴퓨터에 대한 선호도 조사에 대한 표준 편차는

표 12. 컴퓨터 관련 태도 검사에 대한 공분산분석(ANCOVA) 결과

구 분	제곱합	자유도	평균제곱	F분포	유의수준
사전 검사	8183.124	1	8183.124	58.675	.012
주효과	472.149	1	472.149	3.385	**0.001
사후 검사	1624.182	2	812.091	5.823	.000
오차	17154.297	123	139.466		
계	18778.479	125			

**유의수준<.01

2.94로 과학수업이나 실험에 대한 편차보다는 다소 적은 것으로 조사되어 학습자간 선호도의 차이가 과학수업이나 실험에 대한 선호도보다 적은 것을 확인 할 있었다. 이는 컴퓨터 활용 수업을 좋아하는 학생들의 비중 중 “컴퓨터 활용수업이 즐거워서”라고 답한 학생의 비중이 87.2%로 다른 조사에 비해 상대적으로 크게 조사된 것에 기인한 것으로 학생들의 컴퓨터에 대한 관심이 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다.

가상현실 실험 프로그램에 대한 태도 검사 결과 분석

가상현실 실험 프로그램에 대한 학생들의 태도를 분석하여 표 13에 제시하였다. 검사지의 신뢰도(Cronbach's alpha)는 0.75(사전 검사)와 0.77(사후 검사)이었다.

사전검사에서 통제 집단은 평균 1.82점, 실험 집단은 평균 1.89점으로 실험 집단이 평균 0.07점 높았으나 사후검사에서도 통제 집단은 평균 1.94점, 실험 집단은 평균 2.56점으로 실험 집단이 평균 0.62점 더 높아졌고, 각각 상승폭도 0.12점, 0.67점씩 상승하여 실험 집단의 상승폭이 0.55점 더 큰 것으로 나타났다.

위 결과가 통계적으로 유의미한지를 알아보기 위하여 사전 검사 점수를 공변인자로 공분산분석을 한 결과 표 14에서 보는 바와 같이 통계적으로 유의미하다는 결론을 얻을 수 있었다 ($p < .01$).

표 13. 가상현실 실험 프로그램에 대한 태도 검사 결과

구 분	대상	사전 검사		사후 검사	
		평균	표준편차	평균	표준편차
통제 집단	67	1.82	18.82	1.94	8.08
실험 집단	59	1.89	17.28	2.56	5.17
계	126				

표 14. 가상현실 실험 프로그램 관련 태도 검사에 대한 공분산분석(ANCOVA) 결과

구 분	제곱합	자유도	평균제곱	F분포	유의수준
사전 검사	6325.351	1	6325.351	62.038	.005
주효과	375.097	1	375.097	3.679	**0.01
사후 검사	1421.760	2	710.880	6.972	.000
오차	12541.118	123	101.960		
계	13962.878	125			

**유의수준 < .01

그러므로 가상현실 실험 프로그램을 적용한 수업이 일선 학교의 실험 수업보다 가상현실 실험 프로그램을 대하는 학습자의 태도를 향상시키고 있다는 것을 알 수 있었다.

가상현실 실험 프로그램을 사용하는 수업의 선호도를 조사한 결과 5점 만점 중 평균 3.83점으로 가상현실 실험 프로그램을 이용한 수업에 대한 학생의 선호도 높다는 사실을 알 수 있었다(표준편차 4.18).

학습자가 가상현실 실험 프로그램 활용 수업을 좋아하는 이유로는 “현실감을 느낄 수 있어서”라는 의견이 75.3%로 가장 많았으며 “게임과 유사해서” 라는 내용이 5.2%로 그 다음이었고 기타 의견으로는 “과학자가 되어서 연구하는 것 같아서, 실제 실험을 하기가 힘들고 위험해서” 등이 있었다.

반면 가상현실 실험 프로그램 활용 수업을 좋아하지 않는 이유로는 “내용이 복잡해서(41.1%), 게임식 프로그램과 큰 차이가 없어서(19.5%), 학교 컴퓨터의 기능이 떨어져서(18.1%)” 등의 이유와 기타로 “현실감이 떨어져서” 등의 이유가 있는 것으로 조사되었다. 따라서 학생들은 가상현실 실험 프로그램 활용 수업에 대하여 프로그램의 현실감이나 게임과의 친숙도 등을 선호하는 이유로 들고 있었으나, 내용이 복잡하고 기존의 프로그램과의 차이를 크게 느끼지 못해서 등의 이유를 들어 가상현실 실험 프로그램을 선호하지 않는다는 사실도 알 수 있었다.

이상의 결과로 보아 좀 더 실질적인 가상현실 실험 프로그램의 개발이 필요하며, 지금보다 사용이 더 간단하고 프로그램의 사용이나 접근이 보다 용이한 프로세스의 개발 노력이 필요하다고 판단된다.

가상현실 실험 프로그램에 대한 창의성 검사 결과 분석

가상현실 실험 프로그램이 학습자의 창의성을 향상시키는지 알아보기 위하여 두 집단 간에 TTCT검사지의 평균 점수에 대한 분석을 실시하였다(표 15, 16). 이 검사의 신뢰도는 사전 검사와 사후 검사 각각 0.67과 0.71이었다.

검사 결과 사전 검사에서는 통제 집단이 실험 집단보다 평균

표 15. 가상현실 실험 프로그램에 대한 창의성 검사 결과

구 분	대상	사전 검사		사후 검사	
		평균	표준편차	평균	표준편차
통제 집단	67	2.57	6.52	2.64	5.27
실험 집단	59	2.49	5.45	2.52	4.10
계	126				

표 16. 가상현실 실험 프로그램 관련 창의성 검사에 대한 공분산분석 (ANCOVA) 결과

구 분	제곱합	자유도	평균제곱	F분포	유의수준
사전 검사	5023.253	1	5023.253	5.100	.003
주효과	9958.173	1	9958.173	10.111	** .113
사후 검사	12131.112	2	6065.556	6.159	.001
오차	121141.125	123	984.887		
계	23054.290	125			

**유의수준) .01

0.08점, 사후 검사에서도 0.12점 더 높은 것으로 조사되었다.

표 15의 결과 값에 대하여 사전 검사 점수를 공변인으로 공분산분석을 실시한 결과, 가상현실 실험 프로그램 수업은 학생들의 창의성을 향상시키는데 유의미하지 않다는 결론을 얻을 수 있었다.

따라서 가상현실 실험 프로그램을 적용한 수업은 전통적인 설명식 수업과 더불어 학생들의 창의성을 향상시키는 데에는 효과적이지 못하다고 말할 수 있다.

결론 및 제언

본 연구를 위해 10학년 과학 교과서 중 물질 단원의 8개 주제에 대하여 3-D Works 프로그램과 VRML을 이용하여 가상현실 실험 프로그램을 개발한 후, 수도권 대도시에 소재한 남여 인문계 고등학교 10학년 학생 126명을 대상으로 두 개의 동질 집단으로 나눠 실험 집단에는 가상현실 실험 프로그램을 도입한 수업을 실시하고 통제 집단에는 실제 실험을 수행하는 수업을 3개월간 실시하였다.

두 집단을 대상으로 사전검사와 사후검사를 실시한 후 검사 결과에 대하여 공분산분석을 실시하여 가상현실 실험 프로그램이 실제 실험실습 수업에 비하여 학습자의 지적인 영역과 정의적 영역 및 창의성 향상에 어떤 영향을 미치는지에 대한 효과를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

본 연구에서 개발한 가상현실 실험 프로그램은 실제 실험 수업보다 과학 교과에 대한 학습자의 학업성취도를 향상시키는데 보다 더 효과적이었고, 학습자가 과학수업이나, 컴퓨터에 대하여 갖는 인식도나 태도를 향상시키는 데에도 효과적인 것으로 나타났다.

세부 내용으로 보면 과학교과에 대하여 흥미를 느끼고 재미 있어하는 학생일수록 과학교과에 대한 선호도가 상대적으로 높

았고, 컴퓨터에 대하여 흥미와 자신감을 가지고 있는 학생일수록 컴퓨터 활용 수업을 선호하는 것으로 조사되었다.

또한 가상현실 실험 프로그램을 활용한 수업을 선호하는 학생들은 그 이유로 프로그램에 현실감이 있어 좋았다는 등을 들고 있었으나, 기존의 프로그램과 크게 차이를 느끼지 못해서 등의 이유를 들어 가상현실 실험 프로그램을 선호하지 않는 학생들도 있었다. 이런 사실로 보아 학습자가 접하고 있는 정보 기기의 학습 환경에 대한 격차도 매우 커 이를 반영한 보조학습 자료의 개발도 필요함을 알 수 있었다.

학습자의 입장에서 볼 때, 교육 현장에서 교육 정보화 기자재의 성능과 교육 여건은 날로 개선되고 있는데 이를 학습자가 능동적으로 활용하고 학습 동기를 유발하며 보다 정확하게 학습 내용을 학습할 수 있는 실험 프로그램을 학생들은 원하고 있는 것으로 나타났다.

따라서 기존의 Java applet이나 Flash 등의 단순한 영상적인 학습 자료들 보다는 좀 더 현실감 있고, 몰입감이 있으며 구체적인 내용을 구현할 수 있는 3D 형식의 가상현실 실험 프로그램은 학습자의 학업 성취도나 탐구 능력 등을 향상하는 데 보다 더 효과적인 대안이 될 수도 있을 것으로 생각된다.

본 가상현실 실험 프로그램은 학습자의 창의성을 향상시키는 못하는 것으로 조사되었다. 따라서 창의성을 향상시킬 수 있는 가상현실 시스템의 개발에 대한 연구도 필요하다고 생각된다.

학생들의 요구를 종합해 보면 앞으로 개발해야 할 과학 교과 관련 가상현실 학습 프로그램은 보다 간단한 사용법과 단순한 프로세스를 가지고 좀 더 현실감을 높이는 프로그램이 되어야 하고 학습자의 흥미를 유발할 수 있는 프로그램이 되어야 할 것이다. 이를 위해 프로그램 내에서 각 상황에 맞게 분기할 수 있는 그물망 구조의 분기형 프로그램의 개발이 필수적인 것으로 생각되며, 가능하다면 현재 너무 높은 가격으로 인해 사용이 극히 제한적인 실제 가상현실 설비를 학교 현장에서 학생들에게 직접 적용할 수 있도록 경제적인 가상현실 실험 프로그램의 시스템 개발에 대한 연구도 추가로 필요할 것으로 생각된다.

가상현실 실험 시스템이 효율적이라고 하여 모든 실험을 가상현실로 대체할 수는 없을 것이다. 탐구 과정은 지적, 정의적, 기능적, 사회적 영역과 더불어 화학 교과에서 매우 중요한 부분의 하나이므로, 가상현실 실험 시스템의 도입은 직접적인 탐구가 어렵거나 탐구 과정에 위험이 따르는 경우, 직접적인 탐구보다 가상현실 시스템이 더 효과적인 경우 등에 제한적으로 사용

하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 또한 교사는 가상현실 실험 시스템을 도입한 실험의 실시 전후 실제 탐구 과정과 가상현실 실험 시스템의 비교 등을 통해 직접적인 탐구 과정의 보완책으로 가상현실 시스템을 사용한다는 점을 학생들에 교육하는 것도 필요할 것이다. 따라서 앞으로 이를 위한 추가 연구도 더 필요하며 이를 위해 현재보다 더 완성도를 높이고 우수한 콘텐츠를 반영한, 몰입감이 더 뛰어난 가상현실 실험 시스템 등의 개발이 필요할 것이다.

또한, 본 연구는 장시간의 시간 소요로 학습자의 개별적인 학습과 연구과정에서 학생들의 컴퓨터의 사용 등 대한 통제 등이 어려워 일반 학생들을 배제하고 과학반 학생들과 클럽 활동 반 학생들만을 대상으로 연구를 진행하여 연구 대상에 대한 표준화가 다소 부족하였다고 판단된다. 따라서 이후 연구에서는 일반 학생들을 대상으로 한 추가의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Abstract

The purpose of this study is to analyze the effects of a Virtual Reality Experiment Program(VREP) for high school students. For this study, the VREP was developed by using the 3D-Works and Virtual Reality Modeling Language(VRML). The experiments consisted of eight chemistry experiment items from the 10th grade science textbook. We selected 126 10th grade high school students. They were divided into two groups. Experimental group's students had a VREP aided instruction and control group's students had a traditional explanatory teaching methods for three months. They were tested for science achievement, science related attitude and scientific creativity as a pretest, and then retested as a posttest. The result of this study is that the VREP aided instruction is more significant than the traditional explanatory teaching methods for the science achievement and science related attitude. But VREP was no significant improvement in the scientific creativity. And then we knew that we need to develop more improved science instructional VREP and VR tools which are simpler directions for use and process. Moreover, in the future it will be interesting to develop a VREP that makes improvement for the student's scientific creativity.

Key words: VR, virtual reality, VR experiment, virtual reality experiment, VR tools, chemistry achievement, science related attitude, scientific creativity.

참고문헌

교육인적자원부 (1998) '99 교육정보화촉진 시행계획.

교육인적자원부 (2001) 교육부 고시 1997-15호 고등학교 교육과정 해설: 총론, pp 103-104.

교육인적자원부 (2004) 2005년도 교육정보화촉진시행계획.

교육인적자원부 (2005) 2006년도 교육정보화촉진시행계획.

반승록 (2000) 중학교 '식물 증산작용' 실험에서 인터넷 가상 실험실이 탐구능력 신장에 미치는 효과. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

복이순 (2000) VRML을 이용한 웹 기반의 화학결합의 학습을 위한 코스웨어의 설계 및 구현. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

심규철, 박종석, 김현섭, 김재현, 박영철, 류혜일 (2001) 과학교육에서 가상현실 기법의 활용 모색. 한국과학교육학회지 21(4): 725-737.

오창호 (2001) 고등학교 화학에서 화학결합의 이해를 위한 Web 가상 모형 개발. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

오필우, 구덕희, 김영식, 김태영 (1999) VRML을 이용한 웹 기반 가상현실 역사 학습 코스웨어의 설계 및 구현. 한국컴퓨터 교육학회 논문지 2(1): 114.

유양근 (2001) 학교교육 정보화를 위한 디지털 도서관 모형에 관한 연구. 한국도서관·정보학회지 32(2): 94-115.

이재훈 (2006) 가상교육의 가능성과 한계에 대한 초등학교 교사의 인지도 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

이혜영 (2007) 화학반응의 이해를 돕기 위한 분자 동력학 시뮬레이션 적용. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

임완철 (1999) 가상학습 체제를 활용한 학생정보소양 교육방안에 관한 연구-생물 가상학습 체제(인터넷 스쿨 생물교실)를 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

조희형, 박승재 (1994) 과학론과 과학교육. 교육과학사.

최병순 외 14인 (2004) 화학 교재연구 및 지도. 자유아카데미. 허명 (1993) 초·중·고 학생의 과학 및 과학교과에 대한 태도 조사 연구. 한국과학교육학회지 13(3): 334-340.

Anderson CW and Berkheimer GD (1998) Matter and Molecules. Teacher's Guide: Science Book, Institute for Research on Teaching. College of Education, Michigan State University, Occasional Paper No. 121-122.

Anderson SJ, Noyes JM and Galand KJ (1999) Evaluation of the Internet as a Learning Tool. Journal of Computer Assisted Learning 15: 85-90.

Baggott L and Wright B (1997) Tutoring in School biology by Computer Conference. Journal of Biological Education

- 31(4): 279-287.
- Beichner R (1990) The effect of simultaneous motion presentation and generation in kinematics lab. *Journal of Research in Science Teaching* 27(6): 803-815.
- Beier KP (2000) Virtual Reality : A Short Introduction, <http://www-vrl.umich.edu/intro/index.html>
- Boo HK (1998) Student's Explanations of Some Aspects of Chemical Reaction. *Science Education* 70(5): 549-563.
- Fraser BJ (1981) Test of Science - Related Attitude: Handbook, Hawthorn, The Australian Council for Education Research, Macquarie University.
- Gardner DG, Discenza R and Dukes RL (1993) The measurement of computer attitude: An empirical comparison of available scales. *Journal of Educational Computing Research* 9(4): 487-507.
- Kapa E (1999) Problem Solving, Planning ability and Sharing Processes with LOGO. *Journal of Computer Assisted Learning* 15: 73-84.
- Newton LR (1997) Information Technology in Biology Teaching : Challenges and Opportunities. *Journal of Biological Education* 31(4): 274-278.
- Pantelidis VS (1993) Virtual Reality in the Classroom, *Educational Technology* 33(2): 23-27.
- Peat M and Fernandez A (2000) The Role of Information Technology in Biology Education: An Australian Perspective. *Journal of Biological Education* 34(2): 69-73.
- Scanlon E, Morris E, Palco T and Cooper M (2002) Contemporary approaches to learning science; Technologically-mediated practical work. *Studies in Science Education* 38: 73-114.
- Van Biljon JA, Tolmie CJ and du Plessis JP (1999) Magix- an ICAE System for Problem-Based Learning. *Computer & Education* 32: 65-81.