



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

사고실험과 시뮬레이션을 활용한
물리 교수 학습자료 개발

제주대학교 교육대학원

물리교육전공

김 태 경

2023년 2월

사고실험과 시뮬레이션을 활용한
물리 교수 학습자료 개발

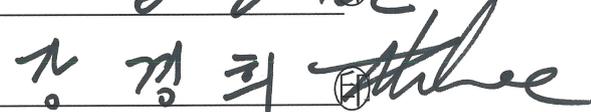
지도교수 고 석 태

김 태 경

이 논문을 교육학 석사학위 논문으로 제출함

2022년 12월

김태경의 교육학 석사학위 논문을 인준함

심사위원장 이 상철 
위 원 장 경희 
위 원 고 석태 

제주대학교 교육대학원

2022년 12월

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구의 목적	4
3. 선행연구 검토	5
4. 연구 범위 및 논문의 구성	7
5. 연구의 한계점	8
II. 이론적 배경	10
1. 과학적 탐구 방법	10
2. 시뮬레이션	14
가. 사고실험	17
나. 컴퓨터 시뮬레이션	27
3. 사고실험을 활용한 수업의 장점과 한계점	31
4. 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업의 장점과 한계점	35
5. 개념변화 학습모형	39
6. 발견학습 모형	42
III. 사고실험과 시뮬레이션을 활용한 물리 교수 학습자료 개발	45
1. 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션에 적합한 문제 상황	45
2. 개념변화 학습을 활용한 사고실험 교수 학습자료 개발	49
3. 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 교수 학습자료 개발	60
IV. 결론 및 제언	65
참고문헌	68
ABSTRACT	72

그 립 목 차

그림 1. 귀납적 탐구 과정	12
그림 2. 가설-연역적 탐구 과정	13
그림 3. 갈릴레이 사고실험	20
그림 4. 사고실험의 유형	21
그림 5. 맥스웰의 악마 사고실험	23
그림 6. 뉴턴의 양동이	24
그림 7. 사고실험의 과정	26
그림 8. 드라이버의 개념변화 학습모형의 과정	41
그림 9. 발견학습 모형의 과정	43
그림 10. 시뮬레이션과 사고실험의 관계	46
그림 11. 초록빛 전등 아래 놓인 빨간 사과에 관한 문제	51
그림 12. 빛과 파동 단위 개념변화 사고실험 학습 활동지 1	56
그림 13. 빛과 파동 단위 개념변화 사고실험 학습 활동지 2	57
그림 14. 빛과 파동 단위 개념변화 사고실험 수업 지도안	58
그림 15. 단진자 시뮬레이션 학습 활동지 1	61
그림 16. 단진자 시뮬레이션 학습 활동지 2	62
그림 17. 단진자 시뮬레이션 수업 지도안	63

표 목 차

표 1. 기초 과학적 방법의 요소	10
표 2. 시뮬레이션 연구 과정	15
표 3. 사고실험과 관련된 용어 정리	18
표 4. 슈뢰딩거의 고양이 사고실험	19
표 5. 갈릴레이 관성 사고실험	20
표 6. 갈릴레이의 낙하하는 물체 사고실험	21
표 7. 맥스웰의 악마 사고실험	23
표 8. 뉴턴의 양동이 사고실험	24
표 9. 하위헌스의 충돌법칙 확립을 위한 사고실험	25
표 10. 사고실험에 적합한 문제 상황	47
표 11. 컴퓨터 시뮬레이션에 적합한 문제 상황	48
표 12. 학년별 과학적 개념 선택 비율 및 최빈오개념	51
표 13. 과학적 개념과 예상되는 오개념	52
표 14. 사고실험을 활용한 개념변화 학습의 단계별 내용	53
표 15. 초록빛 전등 아래 놓인 빨간 사과에 관한 사고실험	54
표 16. 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 활용한 학습의 단계별 내용	64

국문초록

사고실험과 시뮬레이션을 활용한 물리 교수 학습자료 개발

과학 이론을 확립하는데 있어서 실험은 필수적인 과정이다. 과학자는 ‘과학적 방법’을 통해 자신의 이론을 인정받을 수 있다. 그러나 변인 통제의 어려움, 실험 장치 구현의 어려움 등 여러 요인들로 인해 실험 환경을 구현하기 어려운 경우가 있다. 이럴 때 과학자들은 ‘슈뢰딩거의 고양이 실험’과 같이 사고실험을 이용해 자신의 주장을 뒷받침하거나 타인의 주장을 반박하기도 했다. 최근에는 현실세계에 실험 상황을 구현하기 어렵거나 경제적인 측면을 고려해 실험을 컴퓨터 시뮬레이션으로 대체하기도 한다. 특히 물리 분야에서는 학생의 선개념 변화가 어렵기 때문에 두 실험을 활용하기에 적합하다.

사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션은 물리적 현실 세계에서 실험을 진행하지 않는다는 점에서 공통점이 있으나 도입 목적이나 그 특성에는 차이점이 있다. 해외에서는 두 실험의 효과나 차이점에 관한 연구가 활발히 이루어졌으나 국내에서는 사고실험과 시뮬레이션 실험을 비교하는 연구를 찾아보기 어렵다.

이에 본 연구에서는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 비교하여 각 실험에 적합한 문제 상황을 구분하였다. 또한 이를 바탕으로 물리 수업시간에 학생에게서 발견된 오개념을 수정하기 위해 사고실험을 활용한 교수 학습 자료, 현상으로부터 규칙성이나 통찰(insight)을 발견하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 교수 학습자료를 개발하였다. 본 연구를 통해 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 차이를 명확히 인지하여 과학 교사들이 적절한 상황에서 두 실험적 방법을 수업에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

*주요어 : 과학실험, 사고실험, 시뮬레이션

I. 서론

1. 연구의 필요성

과학 탐구 방법에는 귀납적 방법, 연역적 방법, 가설-연역적 방법 등 다양한 방법이 있다(이철구 외, 2018). 이 중 과학자들이 자신의 주장을 정당화하기 위해 이용하는 대표적인 과학 탐구 방법은 자연 현상의 규칙성을 찾는 귀납적 탐구 방법과 자연 현상에서 나타나는 규칙성 혹은 패턴이 왜 나타나는지를 설명하기 위한 가설-연역적 탐구 방법이 있다(이봉우 외, 2020).

귀납적 탐구 방법을 통해 찾아낸 자연 현상의 규칙성을 기술한 것을 ‘법칙’, 가설-연역적 방법에서 수립한 가설의 통합적 체계를 ‘이론’이라고 부른다(정용욱, 2014). 귀납적 방법을 통해 도출한 ‘법칙’, 가설-연역적 방법을 통해 제시된 ‘이론’ 모두 과학적 탐구 과정이 필요하며 그 결론이 신뢰할 수 있는 과정을 통해 도출된 것이고 재현 가능한 것이라야 법칙과 이론이 그 정당성을 부여받을 수 있다. 이런 과학적 탐구 과정에서 필요한 것이 바로 실험이다.

귀납적 탐구 방법에서는 자연을 있는 그대로 관찰하는 자연실험을 주로 이용하며 간혹 상황에 개입하여 조건을 조작하고 조작한 요인과 현상 간의 관계를 찾아내기도 한다. 자연실험에서는 밝혀지지 않았던 규칙성을 찾아내는 것이 핵심이며 이를 위해서는 관찰을 통해 다량의 자료를 수집하고 자료에 포함된 요소들 간의 관계를 분석하는 과정이 중요하다. 반면, 가설-연역적 탐구 방법에서는 주로 대조군과 실험군의 결과를 비교하는 대조 실험을 실시하며 대조 실험에서는 조작변인 외의 변인들을 통제하는 것이 중요하다. 변인 통제를 잘 하지 못한다면 조작변인 외의 변인이 영향을 주었을 가능성을 배제할 수 없기 때문에 그 실험 및 가설의 정당성은 신뢰성을 잃고 공격받을 것이다. 그러나 기술적인 어려움, 경제적인 문제 등으로 인해 완벽히 통제된 실험 수행에는 많은 어려움이 있다. 이처럼 실험에서의 변인이 완벽히 통제되지 않았다거나

조작변인과 상관없는 다른 요인이 개입했다는 이유로 또는 그 상황이 예외적인 상황이라는 주장으로 실험적 증거를 제시해도 납득하지 않는 경우가 있다(신바 유타카, 2016). 이런 경우 활용할 수 있는 방법이 바로 사고실험이다. 측정의 오차, 예외적인 상황 등 실험 자체의 정당성을 부인하며 결론을 받아들이지 않을 가능성이 존재하는 실제 실험과는 달리 사고실험은 알아내고자 하는 질문과 무관한 요소를 완전히 배제하고 논리적 과정을 통해 진행되지 때문에 위와 같은 반론을 제기할 수 없다. 이 외에도 고대부터 중세, 현대에 이르기까지 실제 실험이 불가능한 경우, 윤리적으로 허용되지 않은 경우 등 다양한 경우에 사고실험을 활용해 왔으며 20세기 중엽부터는 이런 사고실험에 많은 관심을 가지고 많은 연구자들이 연구하기 시작했다(신바 유타카, 2016).

물리에서 사고실험을 비롯한 연역적 사고의 필요성에 관한 연구는 박종원 외(1994, 1998), 송진웅(2003), 박지연, 이경호(2004) 등에 의해 지속적으로 연구되어 왔다. 박준형, 송진웅(2017)은 과학 이론을 발견하는 과정에는 직관적 사고가 발견되며, 직관을 통해 발견한 이론을 다른 과학자들에게 공유하고 검증받는 과정에서는 논리적 사고가 필요하다고 말했다. 즉, 이론의 발견에는 직관적 사고, 이론의 타당성 검증에는 논리적 사고가 필요한 것이다. 직관이나 일상생활의 경험으로부터 형성되는 지식을 ‘선개념(preconception)’이라고 하는데 이런 선개념이 과학적 개념과 일치하지 않는 경우 이를 ‘오개념(misconceptions)’이라고 부른다(박지연, 이경호, 2004). 경험주의자들은 학생의 지식이 현상의 관찰과 논리를 통해서만 증명되고 귀납적으로 축적된다고 본 반면, 구성주의에 따르면 관찰은 관찰자의 선개념에 영향을 받기 때문에 과학 교사들은 학생들의 선개념, 특히 오개념을 사전에 파악하는 것이 중요하다(송진웅, 2003). 또한 송진웅(2003)은 물리 분야의 현상들은 물체의 운동이나 빛, 열역학적 현상 등 학생들이 일상생활 속에서 감각을 통해 경험하는 경우가 많으며, 이처럼 감각 경험을 통해 형성된 개념은 쉽게 변화하지 않는다고 물리 오개념의 특징을 설명했다. Duit(1993)는 과학 오개념에 관한 연구 총 2800개 중 물리학 분야(역학, 전자기학, 열역학, 광학, 입자물리학, 에너지, 천체물리학, 현대물리학)의 오개념이 740개로 전체 오개념 연구의 약 25 %를 차지한다고 분석하였다(송진웅, 2003 재인용). 앞서 언급한 바와 같이 감각 경험을 통해 형성된 물리 분야 오개념을 수정하는 것은

매우 어려운 일이다(송진웅, 2003). Posner et al.(1982)에 따르면 오개념을 변화시키기 위해서는 선개념으로 설명할 수 없는 현상을 제시하여 선개념에 대한 불만족을 느끼는 과정이 필요하며 이때, 학습자가 이해할 수 있는 수준이면서 선개념으로 설명할 수 없는 현상을 설명 가능한 과학적 개념을 제시해야 한다. 여기에서 쓰일 수 있는 방법이 바로 사고실험이다. 사고실험은 논리적 과정을 통해 기존 이론의 모순점을 찾아낸다. 동역학 등 물리학 분야에서는 물체 속도의 방향은 그대로이고 크기가 점점 작아진다면 그 물체에는 운동 방향과 반대 방향으로 힘이 작용하고 있다는 전제 1, 연직 윗 방향으로 던져진 물체는 속도의 방향은 변하지 않고 크기만 감소한다는 전제 2로부터 연직 윗 방향으로 던져진 물체는 아랫 방향으로 힘이 작용한다는 결론을 내리는 연역적 과정을 통해 현상을 설명한다(박종원, 1998). 따라서 선개념이 고착화되어 실제 실험을 통해 선개념 변화가 어려운 물리 분야의 오개념을 변화시키기 위해서는 학습자로 하여금 오개념에 대한 불만족인 인지 갈등을 일으키고 논리적 과정을 통해 인지 갈등을 해소할 수 있는 과학적 개념을 제시하는 학습 과정이 필요하다.

사고실험 외에도 최근에는 현실적으로 구현하기 어렵다거나 비용 등을 고려해 실제 시스템을 가상의 디지털 환경에 구현하고 시뮬레이션을 통해 데이터를 수집, 분석하는 컴퓨터 시뮬레이션 실험(이하 컴퓨터 시뮬레이션)이 실제 실험을 대체하기도 한다. 사고실험과 달리 컴퓨터 시뮬레이션에서 구현되는 모델은 참이라고 여겨지는 이론이나 법칙에 근거하여 가상의 시스템에 복제되며 시간 가속을 통해 실제 실험에서 얻기 위해서는 방대한 시간이 들어가야 할 많은 양의 데이터를 짧은 시간 안에 얻어낼 수 있다. Dorr(1977)는 학생들이 시뮬레이션 환경을 직접 구축하도록 하는 것이 개념변화에 효과적이라고 주장하였으며 Windschitl & Andre(1998)는 시뮬레이션을 활용해 학생의 개념변화를 촉진시키는 수업에 관한 연구를 수행하였으며, Njoo & Jong(1993)은 컴퓨터 시뮬레이션을 발견학습에 활용하였다(박종원 외, 1999 재인용).

과학적 탐구 방법의 일부인 실험을 대체할 방법으로 최근 각광 받고 있는 사고실험과 시뮬레이션 실험에 대해 과학자들은 실험으로 인정할 수 있다는 입장과 실제 실험으로 인정할 수 없다는 입장으로 나뉘어 아직까지도 뜨거운

논쟁을 하고 있다. 이에 해외에서는 사고실험과 시뮬레이션 실험이 무엇인지, 그리고 공통점과 차이점을 분석하는 연구가 활발하게 진행되었음에도 불구하고 국내에서는 사고실험 관련 연구의 경우 철학적 사고실험에 관한 연구, 과학 사고실험 사례 분석에 관한 연구가 대부분이며 시뮬레이션에 관한 연구는 공학 관련 연구가 84.7 %로 주를 이루고 자연과학에 관한 시뮬레이션 연구는 전체의 2.6 %에 불과하다(나상태 외, 2016). 국내에서는 사고실험과 시뮬레이션 실험을 비교하는 연구를 찾아보기 어렵고 두 용어를 혼용하는 사례도 발생하고 있다.

두 실험이 실제 실험으로 인정받을 수 있느냐는 논쟁의 결론이 나지 않았기에 관련 연구가 깊게 진행되지 않은 것으로 보인다. 그러나 이런 논쟁은 차치하고 물리 분야에 두 실험을 활용한다면 비용 측면, 시간적 측면, 개념 습득 및 오개념 변화 등 얻을 수 있는 효과는 다양하다. 따라서, 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하기에 적합한 문제를 구분하고 두 실험을 활용할 수 있는 수업 자료를 개발하여 수업에의 적용 가능성을 탐색하는 연구가 필요하다.

2. 연구의 목적

앞서 1절에서 설명한 바와 같이 국내에는 사고실험과 시뮬레이션을 비교하는 연구가 미흡한 상황이며 해외에는 두 실험을 비교한 연구가 있으나 각 실험에 적합한 상황을 제시하고 이를 과학 수업에 활용하기 위한 방안에 관한 연구는 미흡한 상황이다.

본 연구는 사고실험과 시뮬레이션의 관계를 파악하고 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 활용에 적합한 문제 상황을 명확히 하여 두 실험을 과학과 수업에 활용하기 위한 교수 학습자료를 제작하는데 그 목적이 있다. 본 연구를 통해 사고실험과 시뮬레이션을 구분하여 용어 혼용을 방지할 수 있을 것으로 기대되며 제시한 문제 상황에서 과학과 수업에 두 실험을 활용한다면 제한된 수업 시간에서 실제 실험을 수행하지 않고도 오개념을 수정하거나 법칙을 확인하는 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

3. 선행연구 검토

Kuhn(1964)은 사고실험이 기본 이론과 모순되는 사례가 등장하는 과학의 위기 단계에서 활용되고 기본 개념에 대한 과학의 혁명을 불러오는데 도움이 되는 필수적인 분석 도구 중 하나라고 주장했다. Nersessian(1991)은 사고실험이 과학의 개념적 변화의 중심적 역할을 하기 때문에 사고실험의 잠재적 역할을 탐구해야 한다고 주장했으며 이후 과학 사고실험이 과학교육에서 어떻게 활용될 수 있는지, 사고실험의 잠재력에 관한 연구가 진행되었다. Gilbert & Reiner(2000)는 사고실험이 개념적 변화 촉진과 관련해 과학교육에서 중요한 역할을 하지만 사고실험 자체는 비교적 연구되지 않았다고 주장하며 실제 실험과의 비교를 통해 사고실험의 실험으로서의 입지를 설명하고 사고실험의 유형을 Brown(2011)의 기준에 따라 파괴적 사고실험, 건설적 사고실험, 플라톤적 사고실험 구분한다. 그는 각 유형의 사고실험은 이론의 반증, 확증, 이론 개발 등 목적이 서로 다르며 각 유형의 사고실험은 과학교육의 각기 다른 상황에 이용될 수 있다고 주장한다.

Klassen(2006) 또한 과학적, 철학적으로 사고실험이 중요하며 실제 과학 수업에서 학생들이 스스로 개념을 발견하도록 동기부여 하는 역할을 하기도 한다고 주장한다. 이처럼 사고실험이 과학교육에 유용하게 활용될 수 있다는 연구가 활발하게 이루어지고 있으나 사고실험은 시뮬레이션 실험과 공통점이 있어 용어 사용에 있어서도 혼동을 일으키는 경우가 빈번하다.

시뮬레이션 실험이란 실제 세계를 가상의 공간에 모델링하고 시뮬레이터를 이용해 실제 세계에 영향을 미치지 않고 수행하는 실험을 말하며 시뮬레이터의 종류에 따라 정신 시뮬레이션, 컴퓨터 시뮬레이션 등으로 나눌 수 있다. 선행연구를 살펴보면 2000년대 이전에는 시뮬레이션이라 하면 일반적으로 정신 시뮬레이션(mental simulation)을 의미하는 경우가 많았으며 2000년대 이후 점차 컴퓨터 시뮬레이션으로 그 용어의 사용이 변했음을 알 수 있다. 시뮬레이션의 종류 중 시뮬레이터가 인간의 인지구조인 경우 이를 정신 시뮬레이션 또는 멘탈 시뮬레이션으로 부르기 때문에 시뮬레이션과 사고실험 용어에 혼동이 있는

것으로 보인다. 그러나 과학과 철학에 있어 사고실험과 시뮬레이션 실험은 매우 중요한 역할을 하기 때문에, 두 실험을 명확히 하여 활용할 필요가 있다. 이에 Lenhard(2017)은 인지적 투명성을 바탕으로 두 실험을 구분하였으며 Zeimbekis(2011)은 사고실험이 특정 조건을 만족하는 경우 멘탈 시뮬레이션이 될 수 있다고 말한다. 이처럼 사고실험과 시뮬레이션 용어 및 개념에 관한 연구가 해외에서 활발하게 이루어지고 있는 반면, 국내 연구에는 두 실험의 개념과 용어를 확립하고 분류하고자 하는 연구는 찾아보기 어렵고, 대부분의 연구가 철학적 사고실험에 집중되어 있으며 과학적 사고실험에 관한 연구는 실제 현장에 적용했을 때의 효과에 관한 연구가 대부분이다.

본 연구에서는 선행연구를 기반으로 사고실험과 시뮬레이션 실험의 개념을 명확히 하고 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 목적에 따라 서로 다른 과학 교육 상황에 적용할 수 있는 수업 자료를 개발하여 두 실험의 활용 가능성을 탐색한다는 점에서 선행연구와 차별점을 가지고 있다. 국내에서 사고실험을 활용한 수업모형을 제안한 연구는 Park et al.(2000)에 의해 진행되었으며 그 과정을 ‘탐색’, ‘실행’, ‘반추’, ‘적용’의 4 단계로 구분하였다. 이는 순환학습 모형에 기반한 학습모형으로 보인다. 사고실험은 다양한 유형이 있지만 본 연구에서는 파괴적 사고실험을 활용한 학습자료 개발로 범위를 한정하였으며 파괴적 사고실험이 기존 이론을 반증하고 새로운 이론을 확립하는데 그 목적이 있으므로 학습자의 개념변화를 목적으로 하는 학습자료를 개발한다. 본 연구는 드라이버의 개념변화 학습모형에 기반하여 사고실험을 활용한 개념변화 학습자료를 개발하고, 시뮬레이션의 데이터 수집이라는 장점을 활용한 발견학습 기반 학습자료를 개발하여 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 과학수업에 활용할 수 있는 가능성을 탐색한다는 점에서 기존 연구와 차별화된다.

4. 연구 범위 및 논문의 구성

과학 탐구 방법에는 다양한 탐구 방법이 있으나 본 논문에서는 귀납적 탐구 방법과 가설-연역적 탐구 방법, 귀류법만을 다룬다. 또한 두 탐구 방법론에도 다양한 실험이 이용될 수 있으나 본 논문에서는 귀납적 탐구 방법에 이용되는 실험은 관측 또는 측정된 데이터를 바탕으로 변인 간 관계의 규칙성을 찾아내는 실험으로 정의하고, 연역적 탐구 방법에 이용되는 실험은 가설을 수립하고 이를 검증하는 실험으로 정의한다. 본 논문에 쓰이는 ‘사고실험’은 어떤 이론에 따른 가설을 검증하기 위해 머릿속에서 인지과정만으로 행해지는 실험으로 이 과정에서 멘탈 시뮬레이션을 활용하기 때문에 II장의 이론적 배경에서 선행연구의 용어 정리를 제외하고는 멘탈 시뮬레이션과 사고실험의 용어를 ‘사고실험’으로 통일한다. ‘시뮬레이션’이란 실제 시스템의 특성을 분석하여 컴퓨터나 인간의 사고 등의 환경에 실 시스템의 복제본인 모델을 제작하는 모델링을 포함해 그 모델을 구현시키는 일련의 과정을 말한다(Maria, 1997). 본 논문에서 사용된 ‘시뮬레이션 실험’은 과학적 모델링(scientific modeling)을 통해 과학적 이론에 기반한 모델을 생성하고 이 모델을 실행하는 시뮬레이션 과정을 통해 실험 결과 데이터를 얻어내는 실험으로 정의하며 ‘컴퓨터 시뮬레이션’은 시뮬레이션 중 모델을 구현하는 도구로 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 의미한다.

연구의 목적이 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 과학 수업에 활용하는데 있으므로 두 실험이 실험으로써 인정받을 수 있는지에 관한 논의는 이론적 배경에서 언급하되 실험으로 인정할지 여부에 결론을 내지는 않는다. 본 논문에서는 선행연구를 바탕으로 두 실험을 활용하기에 적합한 문제 상황을 제시하고 각 실험을 활용한 물리 학습자료를 개발하는 것을 연구 범위로 설정하고 있다.

본 논문은 I장의 서론에서 연구의 필요성과 연구의 목적을 제시하며 실제로 연구가 필요한지, 기존 연구와의 차이점은 무엇인지 검토하기 위해 선행연구 분석을 진행한다. I장의 4절에서는 연구의 범위 및 논문의 구성을 설명하고 5절에서는 연구의 한계점을 제시한다. II장의 이론적 배경의 1절에서는 과학 탐구

방법에 대해 알아보고 2절에서는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션에 대한 선행연구에서의 용어를 정리하고 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 과정과 특성, 목적에 대해 알아본다. 3절에서는 과학교육에서의 사고실험의 효과를 바탕으로 사고실험을 활용한 수업의 장점과 한계점을 정리하고 4절에서는 컴퓨터 시뮬레이션의 과학 수업에서 효과를 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업의 장점과 한계점에 대해서도 정리한다. 다음으로 II장의 5절과 6절에서는 각각 과학과 수업모형인 개념변화 학습모형, 발견학습 모형에 대해 알아본다. III장에서는 II장에서 분석한 사고실험과 시뮬레이션의 특성 및 목적을 바탕으로 두 실험의 관계를 규명하고 각 실험에 적합한 문제 상황을 제시한다. III장에서는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 특성을 바탕으로 이를 활용하기에 적합한 문제 상황에 대해 제시한 다음, 개념변화 학습을 활용한 사고실험 교수 학습자료와 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 교수 학습자료를 개발한다. IV장에서는 연구 결과로 제시된 수업 자료를 바탕으로 사고실험과 시뮬레이션 실험의 과학과 수업에 활용 가능성에 관한 결론을 내리고 본 연구 및 향후 연구 주제에 관한 제언을 함으로써 연구를 마무리한다.

5. 연구의 한계점

파괴적 사고실험, 직접적 사고실험, 추측적 사고실험, 매개적 사고실험 등 사고실험의 종류와 목적은 다양하며 각 사고실험은 다양한 상황에 적용하여 활용할 수 있으나 본 연구에서는 광원에 따른 물체의 색 인식이라는 상황에 관한 오개념을 수정하기 위해 사고실험 중 하나인 파괴적 사고실험을 활용한 수업 한 가지만을 제시했다는 데 그 한계점이 있다. 마찬가지로 컴퓨터 시뮬레이션 실험 또한 천체의 운동 분석, 원자 모형 시각화 등 다양하게 활용될 수 있는데 반해, 공기저항이 없는 상황에서의 단진자 주기에 영향을 주는 요인 분석 수업 한 가지만을 제안했다는 데 그 한계가 있다. 또한, 개발한 수업 자료를 수업에 적용하고 학습자에게서 각 실험의 목적에 맞는 효과가 나타나는지에

대한 분석을 실시하지 못했다는데 분명한 한계가 있다. 그러나 본 연구를 통해 두 실험에 적합한 상황을 분류하고 과학 수업에의 활용 가능성을 탐색했다는데 의의가 있으며 본 연구에서 정리한 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 실험의 특성과 적합한 문제 상황을 바탕으로 과학 수업에 다양하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 과학적 탐구 방법

과학적 탐구 방법은 과학 이론을 형성하거나 그 이론의 타당성을 검증하는 과정으로 과학적 방법으로 옥스퍼드 레퍼런스에서 과학적 방법에 대해 검색한 결과를 토대로 각 서적의 내용을 정리해보면, 과학적 방법은 ‘과학이 지식을 얻기 위해 관찰하고 법칙과 이론을 공식화하고, 실험을 통해 이론이나 가설을 검증하는 것에 기반을 둔 접근방식’으로 정리할 수 있다. Gauch et al.(2003)에 따르면 대부분 과학 저서에서 설명하고 있는 기초 과학적 방법은 가설을 설정하여 이를 검증하고 조작된 실험 또는 복제된 실험으로부터 데이터를 수집하는 과정을 포함하고 있다. <표 1>은 기초 과학적 방법에 포함되는 요소이다.

<표 1> 기초 과학적 방법의 요소

기초 과학적 방법
<ul style="list-style-type: none">• 가설의 공식화• 가설 검증• 연역적, 귀납적 논리• 반복되는 통제 실험• 데이터와 이론의 상호작용• 과학의 영역에 대한 제한

기초 과학적 방법의 요소에 대해 설명하였는데 위 요소들이 항상 모든 탐구 방법에 필요한 것은 아니다. 가설을 도입하지 않고 귀납법에 따라 자연의 규칙을 찾아내기도 한다. 과학적 탐구 방법에는 연역법, 귀납법, 가설연역법, 귀추법, 귀류법 등 다양한 방법이 있으며 각 탐구 방법은 장단점을 갖고 있다. 제시된

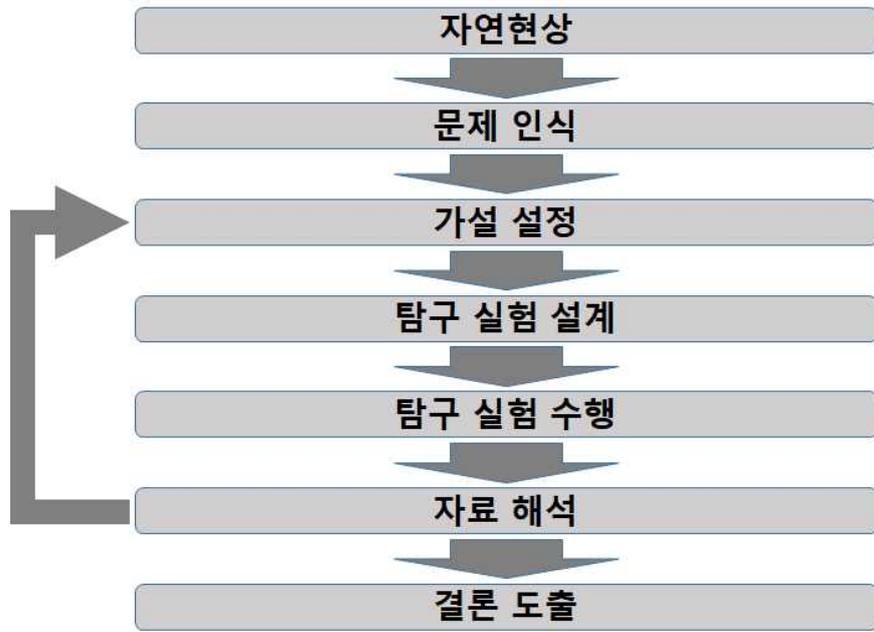
과학적 문제 상황에 따라 문제에 적합한 과학적 방법이 이용되며 세부 단계는 다르지만, 문제를 인식하고 나면 탐구 계획을 수립하고 실험을 통해 문제해결을 위한 결론을 도출한다는 점은 공통적이다. 관찰에 중점을 둔 실험, 가설을 검증하기 위한 대조 실험, 논박을 위한 사고실험 등 선택한 탐구 방법에 따라 실험 과정에서도 중점을 두는 부분이 다르다. 같은 현상에 대해 알아보고자 할 때도 문제를 어떻게 정의하느냐에 따라 다른 종류의 과학적 탐구 방법이 이용될 수 있다(이철구 외, 2018). 뉴턴의 운동 제2 법칙을 예로 들면, 물체에 작용한 힘의 세기와 물체의 가속도 사이 관계(규칙성) 찾기를 문제로 설정하면 관찰 실험 또는 통제된 실험에 따라 물체에 작용하는 힘의 세기가 달라질 때 물체의 가속도가 어떻게 변하는지 측정하고 둘 사이의 관계를 찾아내는 귀납적 탐구 방법을 이용하게 된다. 반면, ‘물체에 작용한 힘의 세기와 물체의 가속도는 비례하지 않을까?’라고 생각했다면 그 생각을 바탕으로 ‘물체에 작용한 힘의 세기가 2배가 되면 물체의 가속도도 2배가 될 것이다.’라는 가설을 세우고 가설-연역적 탐구 방법에 따라 물체에 작용하는 힘이 2배가 되었을 때 가속도가 정말 2배가 되는지 확인하고 생각에 기반을 둔 수차례의 가설 검증을 통해 결론을 얻어 낼 수 있다. 여러 방법론 중 본 논문에서는 시뮬레이션 실험과 사고실험이 활용될 수 있는 귀납적 탐구 방법과 가설-연역적 탐구 방법에 관해 알아본다.

귀납적 탐구 방법은 자연 현상을 관찰함으로써 얻은 데이터나 실험을 통해 얻은 결과에서 규칙성이나 패턴을 찾아내는 탐구 방법으로, 자연 현상으로부터 패턴을 찾고자 하는 관찰 주제를 선정하고 수립한 계획에 따라 관찰을 통해 자료를 수집한 뒤 수집한 자료로부터 규칙성이나 패턴을 발견하는 단계를 거쳐 진행된다. 귀납적 탐구 방법의 과정을 정리하면 [그림 1]과 같다.



[그림 1] 귀납적 탐구 과정

가설-연역적 탐구 방법은 자연 현상이나 관찰한 자료로부터 문제를 인식하고 제기된 문제를 설명하기 위해 가설을 수립하고 탐구 실험을 통해 가설을 검증하는 탐구 방법이다. 가설-연역적 탐구 과정은 현상 관찰을 통해 왜 그런 현상이 나타나는지 의문을 갖는 ‘문제인식 단계’, 문제를 설명하기 위한 잠정적인 답인 가설을 수립하는 ‘가설 설정 단계’, 수립한 가설을 바탕으로 현상을 예측하고 이를 검증하기 위한 탐구 실험을 계획하는 ‘탐구 실험 설계 단계’, 탐구 계획에 따라 실험을 수행하는 ‘탐구 실험 수행 단계’ 탐구 실험 결과를 가설과 비교하는 ‘자료 해석 단계’, 자료 해석을 바탕으로 결론을 내리는 ‘결론 도출 단계’로 나눌 수 있으며 자료 해석 단계에서 실험 결과와 가설이 일치하지 않으면 ‘가설 설정 단계’로 되돌아가 새로운 가설을 세운다. 가설-연역적 탐구 방법의 과정을 정리하면 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 가설-연역적 탐구 과정

귀류법은 어떤 주장이 잘못되었음을 보이기 위해 그 주장이 옳다고 가정하고 그 논리에 따라 논의하다가 모순된 결과가 나온다는 것을 보여 해당 주장이 틀렸음을 보이는 방법으로 과학적 탐구 방법이라기보다는 논리적 방법 또는 수학적 방법에 가깝다. 그러나 갈릴레이가 ‘무거운 물체가 가벼운 물체보다 빨리 낙하한다.’는 아리스토텔레스의 운동학을 반박하기 위해 그 주장이 옳다고 가정하고 두 물체를 연결해 낙하시켰을 때 발생하는 모순점을 통해 물체 운동학에 대한 과학적 패러다임을 변화시키는 등 귀류법은 과학사에서 어떤 이론을 반박하기 위해 이용되어 왔다.

위와 같은 과학적 탐구 방법을 통해 과학자들이 궁극적으로 이루고자 하는 것은 자연 현상에서 규칙을 찾고, 그런 현상이 나타나는 이유를 설명하고자 하는 것이다. 자연 현상의 규칙성을 기술한 것이 ‘법칙’이며, 법칙은 귀납적 탐구 과정을 통해 도출되기 때문에 새로운 사례에 의해 기각될 수 있다는 한계점을 갖는다. 반대로 말하면 많은 양의 관찰 데이터를 바탕으로 한 체계적이고 신뢰할만한 실험을 통해 도출된 법칙은 이에 반하는 사례가 나타나지 않는다면 기각되지 않음을 뜻한다. 한편, 자연 현상을 설명하는 것이 이론이며 이론으로써 인정받기

전 옳고 그름이 검증되지 않은 잠정적 이론을 ‘가설’이라고 하며, 가설-연역적 탐구 방법에 의한 실험은 가설이 옳은지 검증하기 위해 자연 현상을 단순 관찰하는 것이 아니라 특정 변인을 조작하며 관찰할 실험군, 조작할 변인을 제외한 모든 조건이 실험군과 동일하게 유지하는 대조군으로 나누어 철저한 통제와 조작 하에서 실험이 진행된다. 이는 대조 실험 또는 통제된 실험이라고 불리며 변인 통제가 제대로 이루어졌는지 등 대조 실험의 투명성과 타당성이 곧 가설 검증의 정당성이 된다.

2. 시뮬레이션

시뮬레이션은 실제 시스템의 동작을 이해하거나 다양한 전략을 평가하기 위해 실제 시스템을 모방한 모형을 만들고 그 모형을 이용해 실험을 수행하는 과정을 말한다(Shannon, 1975). 따라서 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 실제 시스템, 모형, 시뮬레이터가 필요하다(김영실, 백두권, 1995).

실제 시스템은 우리가 분석하고자 하는 궁극적인 대상이며 모형은 실제 시스템을 설명하는 복제본이라고 할 수 있다. 실제 시스템을 모형으로 구현하는 일련의 과정을 모델링(modeling)이라고 부르며 모델링은 시뮬레이션의 핵심 과정이 된다. 실제 시스템을 완전히 똑같이 구현하는 것은 현실적으로 어려울 뿐 아니라 실용적 측면에서도 경제성이 떨어지기 때문에 모형을 구현할 때는 실제 시스템의 특성을 반영해 실제 시스템과 유사하게 제작해야 하지만 실제 시스템을 똑같이 모방하여 실험 수행이 어려울 정도로 복잡해서는 안 된다는 두 문제 사이의 합의가 중요하다(Maria, 1997). 좋은 모형은 실험의 목적과 과정에 따라 실제 시스템의 중요한 특성 반영과 단순함 사이의 적절한 조화를 이루고 있는 모형이며 이를 위해서는 단순한 모형에서 시작해 점차적으로 모형의 복잡성을 늘려가는 방식으로 모델링을 진행한다. 시뮬레이터는 모형을 작동하고 명령을 수행하는 장치로 시뮬레이션은 시뮬레이터를 이용해 모형을 실행하는 행위를 말한다. 시뮬레이션은 시뮬레이터의 종류에 따라, 컴퓨터를 활용하는

경우는 컴퓨터 시뮬레이션, 인지적 과정을 활용하는 경우는 멘탈 시뮬레이션 등으로 부를 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션과 멘탈 시뮬레이션 외에도 실제 시스템을 축소하여 만든 물리적 모형을 이용한 물리적 시뮬레이션 등도 있다. 시뮬레이터의 종류는 모델링과 시뮬레이션 과정에 모두 영향을 미친다. 시뮬레이션은 어떤 모형을 이용하느냐에 따라 큰 영향을 받게 되는데 모형이 실제 시스템의 특성을 반영하지 못하는 경우 시뮬레이션 결과는 정당성을 잃게 된다. 이 때문에 시뮬레이션에서 모형 검증은 반드시 수반되어야 하는 과정이다. Maria(1997)에 따르면 시뮬레이션 연구의 과정은 <표 2>와 같다.

<표 2> 시뮬레이션 연구 과정

1단계	문제 식별
2단계	문제의 공식화
3단계	실제 시스템 데이터 수집
4단계	모형 공식화 및 개발
5단계	모형 검증
6단계	추후 사용을 위한 모형의 문서화
7단계	실험 설계
8단계	실험 수행을 위한 조건 설정
9단계	시뮬레이션 실행
10단계	결과 해석
11단계	추가 조치

시뮬레이션이 주로 공학 분야 또는 유통, 제조업 등에 활용되기 때문에 시뮬레이션 연구 과정 또한 해당 분야에 특화된 방식으로 발전한 것으로 보인다. 먼저, 현재 구현된 실제 시스템에서 문제점을 발견하고 문제가 되는 변인을 정량화

할 수 있도록 문제를 공식화 한다. 예를 들면, 제품 생산 공정에 기계를 추가로 구입해야 할지 결정해야 하는 문제가 발생했다면 기계 대수에 따른 일일 생산량을 분석하고 ‘일일 생산량/기계 대수’로 효율성 척도를 비교하겠다고 문제를 공식화하는 것이다. 문제가 공식화되면 실제 시스템으로부터 ‘기계의 배치도’, ‘기계가 1개 작업하는데 드는 시간’, ‘기계 고장률’, ‘작업자 동선’ 등 수집 가능한 데이터와 정보를 수집한다. 다음으로 수학적 모형으로 모델링 할 것인지, 소프트웨어를 이용한 모델링을 할 것인지, 수학적 모형으로 정했다면 어떤 수학적 모형인지 모형을 결정하고 수집된 데이터를 바탕으로 모형을 제작하고 시뮬레이션이 잘 작동하는지 확인한다. 그리고 시뮬레이션 과정과 결과를 실제 시스템과 비교하는 모델링을 거친다. 이 과정에서 오류가 발견되었다면 다시 모형 개발 단계로 돌아가 모형을 수정한다. 모형이 실제 시스템을 잘 설명한다는 것이 검증되었다면 이를 문서로 기록하고 우리가 공식화 한 문제에 대해 수행할 실험을 설계한다. 위의 예로 설명하면 모형에 투입된 기계 대수를 조작변수(독립변수)로, 일일 생산량을 종속변수로 정하고 조작변수를 2대부터 10대까지 변화시키면서 종속변수의 변화를 분석하는 실험을 계획하는 것이다. 실험을 설계했다면 시뮬레이션 횟수는 몇 회로 할 것인지, 1회 시뮬레이션에서는 며칠을 수행하여 일일 평균 생산량을 구할 것인지 등 시뮬레이션의 조건을 설정한 뒤 시뮬레이션을 실행해 데이터를 수집한다. 마지막으로 수집된 데이터를 바탕으로 결과 분석을 시행하고 데이터 분석 결과에 따라 기계를 추가 구입할 것인지 등의 의사결정을 내린다.

위의 시뮬레이션 연구 과정은 크게 두 단계로 나누어 볼 수 있다. 모형을 제작하는 모델링 과정과 모형을 통해 실험을 수행하는 시뮬레이션 과정이다. 문제를 인식하고 실제 시스템의 데이터를 수집해 모형을 제작, 검증하고 나면 그 모형을 가지고 마치 실제 시스템에서 실험하듯 실험 계획을 세우고, 자연 현상을 관찰하여 자료를 수집하듯 모형의 시뮬레이션을 관찰하여 데이터를 수집하고 그 데이터를 바탕으로 결과 분석 및 결론을 내리는 것이다.

가. 사고실험

앞서 언급한 바와 같이 시뮬레이션은 시뮬레이터의 종류에 따라 다양하다. 이 중에서 인간의 인지구조 또는 사고를 시뮬레이터로 이용한 시뮬레이션을 멘탈 시뮬레이션이라고 부르며 멘탈 시뮬레이션을 활용한 대표적인 실험이 사고실험이다. 여기서는 선행연구의 멘탈 시뮬레이션과 사고실험의 용어를 정리하고 사고실험 수행을 위해서는 반드시 멘탈 시뮬레이션이 수반되어야 한다는 점에 기인해 이후 본 연구에서는 멘탈 시뮬레이션과 사고실험의 용어를 ‘사고실험’으로 통칭하여 부르겠다.

사고실험은 중세 시대 과학과 철학 분야에서 활발하게 사용되었으며 가장 먼저 사고실험의 용어를 사용한 것은 ‘순수한 이성 실험(Experiment der reinen Vernunft)’라는 칸트의 용어를 바탕으로 과학적 사고실험을 정리한 덴마크 물리학자 외르스테드이다. 이후 마흐가 사고실험의 의미로 ‘Gedanken experiment’라는 용어를 논문에 사용하면서 사고실험의 개념을 정리하는 연구들이 점차 진행되었다. 그러나 현재까지도 사고실험은 명확히 정의되지 않았으며 이를 시뮬레이션과 용어를 혼동하여 사용하는 경우가 많다. Nersessian(2002)는 인과 관계를 결정하거나 그럴듯한 결과를 예측하기 위해 정신모델이 실행되는 과정을 ‘멘탈 시뮬레이션’이라고 불렀으며 Clement(2009)는 시스템의 미래 상태를 예측하는 과정을 ‘멘탈 시뮬레이션’이라고 정의했다(고민석, 2014 재인용). 고민석(2014)은 사고실험에서 나타나는 멘탈 시뮬레이션을 분석하기 위해 Nersessian(2002), Clement(2009), Gillbert & Reiner(2000), Galili(2007) 등의 선행연구를 바탕으로 멘탈 시뮬레이션과 사고실험, 개념적 시뮬레이션 용어를 구분하여 <표 3>과 같이 정리하였다.

<표 3> 사고실험과 관련된 용어 정리

용어	정리	연구자
멘탈 시뮬레이션	인과 관계를 결정하고, 그럴듯한 결과를 예측하기 위해 사건의 과정이 의식적으로 행해지거나 정신적 모델이 실행되는 과정	Nersessian(2002)
멘탈 시뮬레이션	시스템의 미래를 예측하는 과정	Clement(2009)
사고실험	이론을 근거로 관찰되지 않은 시스템의 미래 상태를 예측하여 고안된 사례	Gilbert & Reiner(2000) Clement(2009) Brown(2002)
사고실험	이론에 근거한 가설-연역적 추론과 정신적 조작의 2가지 요소를 포함하고 있는 실험	Galili(2007)
사고실험	다양한 분야에서 이론을 세우고 가설을 검증하기 위한 수단으로서 현실의 실험을 대신해 머릿속 추론만으로 행해지는 방법	신바 유타카(2016)
사고실험	지성과 상상력만을 사용한 사고법으로 넓은 의미에서 실험에 포함됨	조엘 레비(2019)

고민석(2014) 재구성

그 외에도 고등학교 과학과 교과서인 과학탐구실험(MiraeN)에서는 사고실험을 실제로 구현할 수 없는 상황을 상상의 실험을 통해 그 결과를 예측하는 것이라고 정의하였으며 과학탐구실험(지학사)에서는 머릿속에서 생각으로 진행하는 실험으로 실제로는 만들 수 없는 조건과 장치가 필요한 경우 사고실험을 활용한다고 명시하고 있다. 여러 연구에서 정의하는 사고실험의 공통적인 특성을 통해 정리해보면 사고실험은 주어진 문제 상황에 대해 정신적 사고에 가상의 상태를 가정하고 이를 실행하는 과정으로 통해 어떤 주장이나 결론을 끌어내는 일련의 활동으로 정리할 수 있다. 한편, 사고실험은 실제 실험과 달리 물리적 현실세계에서 이루어지는 실험이 아니라 인간의 사고 속에서 이루어지는 실험이기 때문에 이를 실험으로 인정할 수 있느냐는 논란에 대해서도 결론 맺어지지 않았다.

Gilbert & Reiner(2000)에 따르면 사고실험과 실제 실험은 모두 이론에 근거하여 실행하며 이론을 확립하거나 검증, 적용하는데 중점을 둔다는 점에서 공통점이 있지만, 사고실험은 일반적으로 한명의 사고 실험자만을 필요로 하는 반면 실제 실험은 과학자 집단에 의해 수행된다는 차이가 있다. 사고실험이

과학적 사고에서 필요한 이유로는 통찰력, 경제성, 실제 실험 불가능을 제시한다. 실제 실험이 사고실험에 비해 얻을 수 있는 통찰력이 낮은 경우 사고실험을 통해 과학적 탐구를 수행하며 그 외에도 우주에서 실험을 수행하는 등 막대한 비용이 들어가는 실험의 경우 사고실험으로 구현하게 되면 비용이 전혀 들지 않기 때문에 유용하다. 또한 생명체를 이용한 실험이나 실제 세계에서 변인 통제 불가능 때문에 사고실험을 수행하기도 한다. 가장 대표적인 것이 슈뢰딩거의 고양이 사고실험과 갈릴레이의 관성 사고실험이다.

<표 4> 슈뢰딩거의 고양이 사고실험(조엘 레비, 2019)

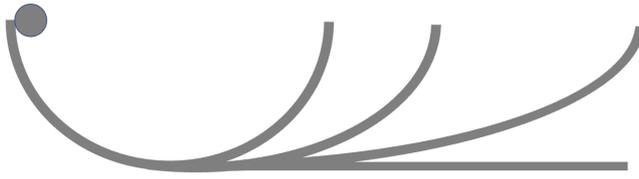
밀폐된 상자 안에 청산가리가 담긴 병과 고양이를 넣고, 청산가리가 담긴 병위에 가이어 계수기와 망치를 연결한 장치를 설치한다. 가이어 계수기를 통해 방사선이 감지되면 망치가 청산가리 병을 내려쳐 고양이는 죽게 된다. 여기에 1시간에 50% 확률로 핵붕괴 하는 우라늄 입자가 함께 들어있으며 우라늄 입자가 핵붕괴하게 되면 알파선이 방사되어 가이어 계수기 감지된다. 한 시간 후 고양이는 어떤 상태로 존재하겠는가?

슈뢰딩거의 고양이 사고실험은 슈뢰딩거가 미시세계와 거시세계의 구분이 명확하지 않다는 양자역학의 약점을 비판하기 위해 고안한 사고실험으로 <표 4>와 같이 사고실험이 수행된다. 당대 양자역학의 코펜하겐 해석에 따르면 관측하지 않은 경우 물체의 상태는 알 수 없으며 물체의 가능한 경우에 따라 확률적으로 중첩된 상태로 존재한다고 한다. 즉, 위 상황에서 상자를 열어 확인하지 않으면 고양이는 죽어있는 상태와 살아있는 상태가 중첩되어 공존한다는 뜻이다. 파동은 한 번에 두 가지 상태를 가지는 중첩 상태에 있을 수 있으나, 고양이는 죽어있으면서 살아있을 수 없다. 이런 모순을 밝히기 위해 슈뢰딩거는 위와 같은 사고실험을 고안한 것이다. 이 경우 고양이라는 생명체의 목숨을 가지고 실험하는 것은 비윤리적이며 실제로 실험한다고 해도 고양이의 생사 여부를 직접 확인하는 방법을 통해서만 결과를 확인할 수 있기 때문에 실제 실험이 아닌 사고실험을 이용한 것이다. 반면, 갈릴레이의 관성 사고실험의

내용은 <표 5>와 같으며 갈릴레이는 슈뢰딩거와 달리 생명체를 실험 대상으로 다루어야 하는 상황은 아니었으나 마찰을 완전히 없애는 것이 현실세계에서는 불가능했기 때문에 사고실험을 수행하였다.

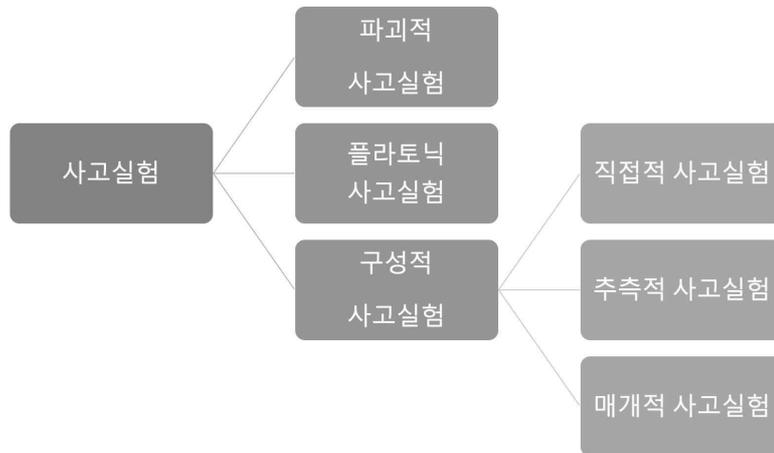
<표 5> 갈릴레이 관성 사고실험(강남화 외, 2017)

U자로 구부러진 마찰이 없는 레일의 한 쪽 끝에 공을 가만히 놓으면 공은 반대쪽 끝의 같은 높이에 도달하게 된다. 이때 레일을 구부려 도착하는 쪽 레일의 경사를 완만하게 한다. 그래도 역시 공은 처음 출발한 높이와 같은 높이가 될 때까지 운동할 것이다. 이제 도착하는 쪽 레일의 경사를 점점 더 완만하게 해보자. 그래도 계속해서 공은 처음 출발한 높이와 같은 높이가 될 때까지 운동할 것이다. 계속해서 경사를 완만하게 해 레일의 일부가 [그림 5]와 같이 지면과 나란하도록 완전히 평평하게 펴졌다고 하자. 이때도 공은 처음 출발한 높이와 같아질 때까지 운동할 것이며 평평한 레일에서는 처음 높이와 같은 높이에 도달할 수 없으므로 공은 계속해서 운동하게 된다.



[그림 3] 갈릴레이 사고실험

이는 실제 실험으로 실행하는 경우 변인 통제가 완벽하지 않을 수 있으며 오차가 존재하기 때문에 실험을 통해 입증한 이론에 반대하는 이들은 실험 결과를 받아들이지 않을 수 있다는 점을 감안하여 논리적 과정을 통해 자신의 주장이 옳음을 보인 것이다. 생명윤리, 현실적 불가능, 경제성 등 사고실험을 도입하는 이유도 다양하며 타인의 이론 반박, 자신의 이론 확증 등 사고실험을 활용하는 목적도 다양하다. Brown(2011)은 과학사에서 나오는 사고실험의 유형을 [그림 4]와 같이 파괴적 사고실험, 구성적 사고실험, 파괴적이면서 동시에 구성적인 플라토닉 사고실험으로 분류하였다.



[그림 4] 사고실험의 유형(Brown, 2011)

파괴적 사고실험은 어떤 이론에 반대되는 주장을 하기 위해 제시하는 사고실험으로 기존 이론이 가지고 있는 결점을 지적하는데 사용된다. 대표적인 파괴적 사고실험은 아리스토텔레스와 갈릴레이의 자유낙하 운동에 대한 논쟁에서 제시된 갈릴레이의 사고실험이다. 아리스토텔레스는 무거운 물체가 가벼운 물체보다 빠르게 낙하한다고 주장하였으며 이런 아리스토텔레스의 주장을 반박하기 위해 갈릴레이는 <표 6>과 같은 사고실험을 고안하였다.

<표 6> 갈릴레이의 낙하하는 물체 사고실험(신바 유타카, 2016)

1. 아리스토텔레스의 주장대로라면 무거운 물체가 가벼운 물체보다 빨리 떨어진다.
2. 무게가 없는 실로 가벼운 물체와 무거운 물체를 연결해 낙하시킨다고 생각해보자.
3. 무거운 물체의 입장에서는 천천히 떨어지는 가벼운 물체가 잡아당길 것이므로 무거운 물체를 단독으로 떨어뜨릴 때보다 천천히 떨어질 것이다.
4. 가벼운 물체의 입장에서는 빠르게 떨어지는 무거운 물체가 잡아당길 것이므로 가벼운 물체를 단독으로 떨어뜨릴 때보다 빠르게 떨어질 것이다.
5. 두 물체를 연결시킨 실의 길이가 0이 되게 해보자. 이제 두 물체는 한 덩어리가 되었으며 무게는 두 물체의 무게를 합으로 가장 무거운 물체가 되었다.
6. 그렇다면 두 물체를 연결한 하나의 덩어리는 기존의 무거운 물체보다 더 빨리 떨어져야 한다는 결론이 나와 기존의 결과와 모순된다.
7. 따라서 아리스토텔레스의 주장은 옳지 않다.

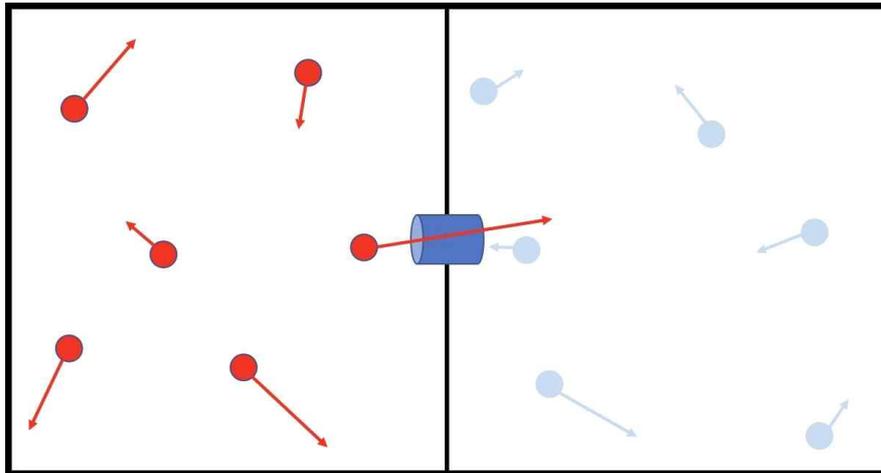
구성적 사고실험은 다시 직접적 사고실험과 추측적 사고실험, 매개적 사고실험으로 구분할 수 있다. 매개적 사고실험은 구체적이고 잘 표현된 이론을 바탕으로 도출된 결론을 직관적으로 보여주는 사고실험이다. 매개적 사고실험은 이미 확립된 이론이 추상적이거나 이 이론에 의한 결론이 직관적이지 않은 경우 설명을 돕기 위한 목적으로 활용되며 대표적인 매개적 사고실험의 사례는 열역학 제2 법칙의 위배에 관한 <표 7>의 맥스웰의 악마 사고실험이다. 맥스웰은 ‘열역학 제2 법칙인 엔트로피 증가 법칙에 위배되는 상황이 있을 수 있다.’는 주장에 대해 사람들이 직관적으로 납득하지 못하는 상황을 해결하기 위해 사고실험을 이용하였고 이 사고실험을 맥스웰의 주장을 더 직관적이고 납득 가능한 주장임을 보여주는 역할을 한다. 이처럼 어떤 구체적인 주장에 대해 직관적인 상황을 들어 이해 가능성을 높여줄 목적으로 사용되는 사고실험이 바로 매개적 사고실험이다.

추측적 사고실험은 주어진 이론으로부터 시작하는 것이 아니라 사고실험을 통해 제시된 현상을 설명하기 위해 이론을 형성할 목적으로 수행되는 사고실험이다. 추측적 사고실험은 문제가 되는 현상을 먼저 제시하고 이를 설명하기 위한 이론을 주장한다는 점에서 이론을 먼저 제시하고 이를 직관적으로 설명하기 위해 수행하는 매개적 사고실험과 차이가 있다.

<표 8>은 추측적 사고실험의 대표적 사례인 뉴턴의 양동이 사고실험이다. 뉴턴은 물이 채워진 양동이를 회전시키고 충분히 시간이 지난 상태와 처음의 상태를 비교했을 때 모두 양동이와 물 사이의 상대 운동이 없는 상대적 정지 상태임에도 불구하고 물의 표면 상태가 달라진다는 현상을 사고실험으로써 제시하였으며 이를 설명하기 위해 절대 공간의 개념을 도입하였다. 뉴턴은 완전한 정지 상태의 공간인 ‘절대 공간’이 존재하며 <표 8>의 (가) 상태는 절대 공간에 대해 물과 양동이 모두 정지해 있는 ‘절대 정지’ 상태이며 (다)의 상태는 물과 양동이 절대 공간에 대해 운동하고 있는 ‘절대 운동’ 상태라고 설명하였다. 이처럼 추측적 사고실험은 어떤 현상을 먼저 제시하고 이를 설명하기 위한 이론을 도입할 목적으로 사용된다.

<표 7> 맥스웰의 악마 사고실험(신바 유타카, 2016)

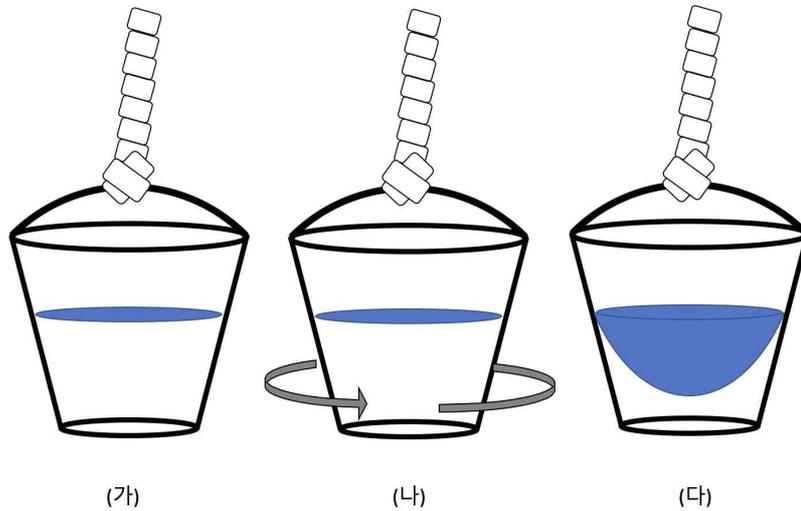
1. 기체의 온도는 해당 기체 분자의 평균 속력에 관계된다.
2. 칸막이를 사이에 두고 A와 B의 두 공간으로 나누어진 상자가 있다.
3. 칸막이에는 작은 밸브가 있으며 밸브를 열면 기체 분자가 밸브를 통해 칸막이를 넘어갈 수 있으며 밸브를 잠그면 기체 분자는 통과할 수 없다.
4. 이제 A공간에는 온도가 높은 기체를, B공간에는 온도가 낮은 기체를 채운다.
5. 기체 분자의 움직임을 볼 수 있는 악마가 밸브를 빠르게 여닫을 수 있다.
6. 악마는 A공간 기체 분자 중 (평균 속력보다) 빠른 속력의 분자가 접근할 때만 밸브를 열어 B공간으로 넘어갈 수 있도록 하고, 반대로 B공간에서는 (평균 속력보다) 느린 속력의 기체 분자가 접근할 때만 밸브를 열어 A공간으로 넘어갈 수 있도록 한다.
7. 시간이 충분히 흐르면 A공간의 기체는 평균 속력이 빨라지며 B공간의 기체는 평균 속력이 느려진다. 즉, A공간 기체는 온도가 올라가고 B공간의 기체는 온도가 내려간다.
8. 이는 열역학 제2 법칙에 위배된다.



[그림 5] 맥스웰의 악마 사고실험

<표 8> 뉴턴의 양동이 사고실험(Brown, 2011)

1. 물이 반쯤 채워진 양동이 있다.
2. 밧줄을 꼬아 양동이 손잡이에 묶어 놓는다.
3. 양동이를 잡고 있다가 놓는 순간 (가)와 같이 물과 양동이 사이에는 상대적 운동이 없으며 물의 표면도 평평한 상태가 된다.
4. 양동이 회전하면서 (나)와 같이 물과 양동이 사이에는 상대적 움직임이 발생하지만 물의 표면은 평평한 상태이다.
5. 충분한 시간이 흐르면 물과 양동이 사이에는 상대적 움직임이 없어지지만 (다)와 같이 물의 표면은 오목한 형태가 된다.
6. (가)의 상황과 (나)의 상황에서 모두 양동이와 물 사이 상대적 운동은 없다. 그러나 두 상황에서 물의 상태는 달라진다. 이를 어떻게 설명할 것인가?



[그림 6] 뉴턴의 양동이

마지막으로 직접적 사고실험은 추측된 현상이 아닌 문제가 없는 현상에서 시작한다는 점은 매개적 사고실험과 맥락을 같이 하지만 정제된 이론에서 시작하는 것이 아니라 정제된 이론을 도입해 설명한다는 점에서 추측적 사고실험의 성격도 가지고 있다. Brown(2011)은 직접적 사고실험과 매개적 사고실험이 이론의 모호한 정도의 차이로 구분할 수도 있다고 말한다. 즉, 정제되지 않은 이론이나 원리를 바탕으로 제시하는 사고실험의 문제를 하나씩 해결해 나가는 경우 직접적 사고실험으로 분류할 수 있으며 정제된 이론을

바탕으로 이를 설명하기 위한 사고실험을 제시하는 경우 매개적 사고실험으로 분류할 수 있다는 것이다. 대표적인 직접적 사고실험은 <표 9> 하위헌스의 충돌 법칙 확립을 위한 사고실험이다.

<표 9> 하위헌스의 충돌법칙 확립을 위한 사고실험(Brown, 2011)

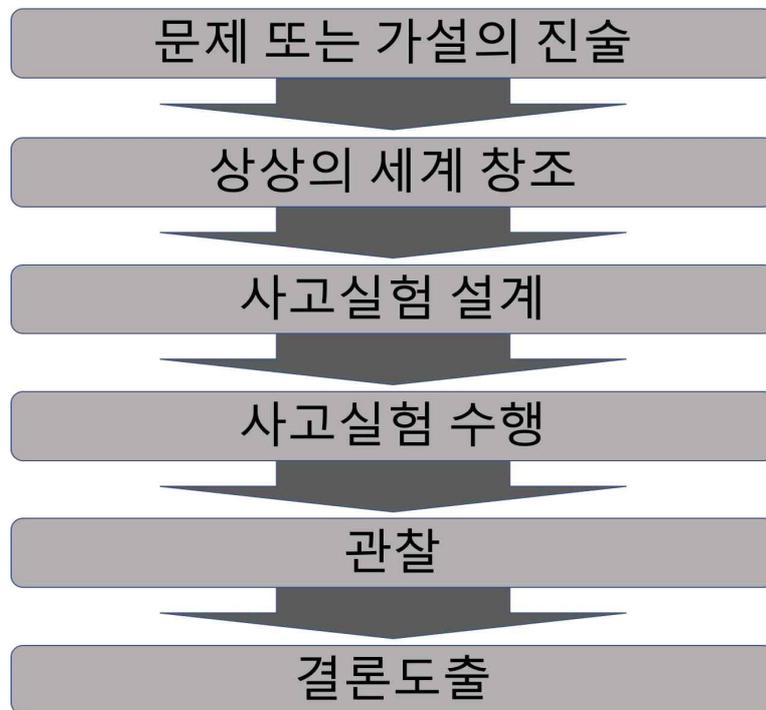
1. (가) 동일한 질량을 가진 두 물체가 서로 반대 방향으로 운동하다 충돌하는 경우 두 물체는 서로의 속력을 교환한다.
2. 부두에 정지해 있는 관찰자 A에 대해 v 의 속력으로 움직이는 배가 있고 그 배에는 관찰자 B가 타고 있다.
3. 배 위에 질량이 동일한 두 물체가 있고 물체1은 배의 운동과 같은 방향으로 v 의 속력으로 운동하고, 물체2는 배의 운동과 반대 방향으로 v 의 속력으로 운동하다 정면으로 충돌한다.
4. 이때 관찰자 B는 두 물체가 속도를 교환하여 물체1은 배의 운동과 반대 방향으로 v 의 속력으로, 물체2는 배의 운동 방향과 같은 방향으로 v 의 속력으로 운동하는 모습을 관찰할 수 있다. 여기까지는 (가)의 규칙과 동일하다.
5. 그러나 관찰자 A 입장에서 보면, 충돌 전 물체1은 배의 운동 방향으로 $2v$ 의 속력으로 운동하고 있었으며 물체2는 정지상태에 있었다. 충돌 후 물체1은 속력이 0이 되고 물체2는 배의 운동 방향과 같은 방향으로 $2v$ 의 속력을 갖게 된다.
6. 따라서 (나) 질량이 같은 물체가 충돌하는 경우 두 물체는 가지고 있던 모든 속도를 상대 물체에 전달한다.

하위헌스는 사고실험 전에 (가)와 같은 충돌 규칙을 가지고 있었으며 <표 9>와 같은 사고실험을 통해 (나)처럼 기존 충돌 규칙을 수정하게 되었다. 위의 사고실험 이후에도 하위헌스는 수차례의 사고실험을 통해 더 많은 충돌 규칙을 도출해냈다. 이처럼 직접적 사고실험은 완벽하지 않은 이론으로 시작하여 사고실험을 통해 그 이론을 확장하고 정교화하는데 그 목적이 있다.

어떤 사고실험은 파괴적인 사고실험임과 동시에 건설적 사고실험이기도 하다. 이를 플라토닉 사고실험이라 부르는데 <표 6>의 갈릴레이의 낙하하는 물체 사고실험이 대표적이다. 갈릴레이는 이 사고실험을 통해 아리스토텔레스의

주장을 반박하였을 뿐 아니라 같은 높이에서 낙하하는 모든 물체의 낙하 시간은 동일하다는 자신의 주장의 타당성을 입증하였다. 이는 기존 이론의 반증 사례가 된다는 점에서 파괴적 사고실험이면서 갈릴레이의 새로운 주장의 뒷받침이 되었다는 점에서 건설적 사고실험이다.

사고실험이 이론의 모순점을 발견하거나 새로운 이론의 필요성을 인식시킨다는 점에서 효과적이기는 하지만 이런 효과를 극대화하기 위해서는 사고실험도 체계를 갖추고 단계별로 수행될 필요성이 있다. 이에 Gilbert & Reiner(2000)는 사고실험을 [그림 9]와 같이 ‘문제 또는 가설의 진술’, ‘상상의 세계 형성’, ‘사고실험 설계’, ‘사고실험 수행’, ‘관찰’, ‘결론도출’의 단계로 나누었다.



[그림 9] 사고실험의 과정

문제 또는 가설의 진술 단계에서는 반증하고자 하는 이론이나 주장하고자 하는 가설을 제시한다. 가설을 제시하고 나면 이론을 반증하거나 입증하기 위해 인지구조 속에 상상의 환경을 구상하는 ‘상상의 세계 창조’ 과정을 거치게 되는데 이는 멘탈 시뮬레이션 입장에서 보면 구현하고자 하는 실제 시스템을 인지구조

속에 복제하는 모델링 과정으로 취급할 수 있다. 모델링을 완료하면 사고실험을 설계하고 수행하게 된다. 사고실험의 설계가 필요한 이유는 인지적 투명성과 논리성에 있다. 사고실험을 수행함에 있어 체계적으로 설계하지 않은 경우 하나의 단계에서 다음 단계로 넘어감에 있어 모호한 부분이 생기거나 실험자로 하여금 혼란을 초래할 수 있다. 또한 사고실험이 논리적 과정인 만큼 각 단계를 제시하는 순서도 중요하다. 사고실험을 수행하고 나면 ‘관찰’과정을 거치는데 여기서 관찰은 실제 실험에서 이루어지는 감각기관을 이용한 관찰과는 다르다. 사고실험에서의 관찰은 사고실험 결과 발생하는 의문점이나 모순점을 발견하는 과정을 말하며 이런 관찰을 통해 실험자는 마지막으로 기존 이론의 파괴 또는 새로운 이론의 도입과 같이 결론을 도출하게 된다.

<표 5>에서 제시한 갈릴레이의 관성 사고실험을 위 과정에 따라 단계를 나누어보면 다음과 같다. 갈릴레이는 ‘힘을 받지 않는 물체는 등속 직선 운동을 할 것’이라는 관성의 원리를 가설로써 진술한다. 다음으로 ‘서로 다른 기울기의 마찰이 없는 경사면을 따라 운동하는 공’이라는 상상의 세계를 창조하고, ‘일정한 높이에서 출발한 공이 기울기가 각각 다른 경사면을 따라 운동하여 공이 반대편 끝으로 가도록 하는 사고실험’을 설계하여, 각 경사면을 따라 공을 운동시키는 사고실험을 수행한다. 사고실험의 결과를 관찰하면 공은 처음 출발한 높이와 같은 높이가 될 때까지 운동한다는 점을 발견할 수 있다. 이를 통해 갈릴레이는 경사면의 기울기가 작을수록 공이 운동하는 거리가 길어지며 경사가 없는 경우 공은 계속해서 직진 운동을 한다는 결론을 내린다.

나. 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션이란 시뮬레이터로 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션을 의미하며 컴퓨터 시뮬레이션 실험이란 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 수행하는 실험을 말한다. 사고실험의 경우 실험에 필요한 실제 시스템의 특성을 반영했다고 가정하고 인지적 구조 속에 모형을 구축하는 반면 컴퓨터 시뮬레이션의 모델링에서는

실험에 필요한 특성 뿐 아니라 실제 시스템의 중요한 기타 특성까지 대량의 정보를 수집, 파악하여 프로그래밍이나 소프트웨어 툴을 이용하여 모형을 가상의 디지털 메모리에 구축하는 과정이 필요하다.

시뮬레이션 실험을 실험으로 인정할 수 있는지에 관해서는 논란이 있으며 Winsberg(2003)와 Parker(2009)는 시뮬레이션을 실험에 포함시키는 것을 옹호한 반면, Guala(2002) 등은 시뮬레이션은 실험이 아니라고 주장했다. 그러나 시뮬레이션을 실험으로 인정할 수 있는지 여부와 관계없이 컴퓨터 시뮬레이션은 여러 장점을 갖고 있어 실제 시스템을 분석하는데 활용되고 있다.

Banks(1999)에 따르면 컴퓨터 시뮬레이션은 다음과 같은 장점을 가진다. 첫째로 시간 가속과 감속을 할 수 있다는 장점이 있다. 컴퓨터 시뮬레이션은 실제 시스템의 속성을 반영하여 가상의 컴퓨터 환경에 모델을 구현하고 이를 실행시키는 과정으로 시뮬레이션 툴을 이용하면 실제 시스템에서 진행되는 현상의 시간 흐름을 가속시키거나 늦출 수 있다. 이런 기능을 통해 실제로 수행할 때 많은 시간을 필요로 하는 실험도 수초에서 수분의 짧은 시간 내에 시뮬레이션 실험을 수행할 수 있을 뿐 아니라 1초도 되지 않는 아주 짧은 시간에 발생하는 현상도 시간 흐름을 늦춰 관찰할 수 있다. 예를 들어, 지구의 공전에 관한 관찰 실험을 수행하는 경우 1회의 실험을 수행하기 위해서는 1년이라는 시간이 소요되기 때문에 측정 횟수를 늘려 신뢰도를 확보하기 위해서는 다소 많은 시간이 필요하다. 반면, 시뮬레이션에서는 물리적 시간을 가속할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 지구의 공전 상황을 1회 시뮬레이션 하는데 걸리는 시간을 수 초 정도로 매우 짧으며 이는 사고실험의 경우도 마찬가지다. 거의 모든 시뮬레이션 툴에는 시간가속 또는 감속 기능이 있다. 따라서 시뮬레이션을 수행하면 실제 실험에 비해 시간을 훨씬 단축할 수 있다. 반대로 너무 순식간에 발생해 관찰하기 어려운 빛을 이용한 실험 등의 경우 시뮬레이션을 통해 시간 감속을 한다면 실제 시스템보다 관찰을 수월하게 진행할 수 있다.

또한 컴퓨터 시뮬레이션 실험은 공간 척도의 축소 또는 확대가 가능하다는 장점도 갖는다. 행성의 운동과 같이 공간적 규모가 큰 실험의 경우 시각적으로 확인하는데 어려움이 있으며 시각적으로 확인하기 어렵다는 것은 직관적인 통찰을 얻기도 어렵다는 것을 의미한다. 그러나 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하는 경우

공간적 규모가 큰 현상도 동일한 비율로 축소하여 시각적으로 보여줄 수 있으며 필요한 경우 서로 다른 비율로 축소하고 시뮬레이션 하는 과정을 통해 새로운 현상이나 규칙을 발견할 수 있다. 서로 다른 비율로 축소하는 예는 행성의 운동을 분석하기 위해 동일한 비율로 축소하는 경우 태양의 크기가 다른 행성에 비해 너무 크며 전체 행성의 운동을 관찰하기 위해 축소하는 경우 행성의 크기가 공전 규모에 비해 너무 작아 관찰하기 어려워지는 경우 행성의 크기와 공전 궤도를 서로 다른 비율로 축소하는 경우가 있을 수 있다. 반면, 컴퓨터 시뮬레이션은 공간적 규모가 매우 작은 원자 단위에서 나타나는 현상을 확대하여 시각적으로 보여줄 수도 있다. 예를 들어, 원자핵과 전자 사이에 나타나는 현상은 그 규모가 너무 작아 관찰하기 어렵다는 문제가 있는데 이를 컴퓨터 시뮬레이션으로 시각화할 수 있다.

셋째로 변인 통제를 완벽하게 할 수 있다는 장점이 있다. 실제 실험에서는 실험실 환경에 해당하는 변인을 완벽히 통제하는 것은 불가능하거나 여러 변인 중 하나의 변인만을 조작하는 것이 어려운 경우가 있다. 그러나 실제 시스템을 컴퓨터 시뮬레이션으로 구현하게 되면 복잡한 시스템에서 하나의 변수를 조작하여 다른 변수에 미치는 영향을 더 잘 이해할 수 있다(Banks, 1999).

넷째로 컴퓨터 시뮬레이션은 올바른 선택을 돕는다는 장점이 있다. 실제 시스템에서 수많은 실험을 하기 위해서는 이에 따른 비용이 투입된다. 그러나 가상의 시스템에 구축된 모형으로 수행하는 시뮬레이션은 실험을 진행하는데 별도의 큰 비용이 들어가지 않는다. 따라서 조작변인을 조작하며 많은 실험을 할 수 있으며 많은 실험으로부터 얻은 방대한 양의 데이터 분석 결과를 바탕으로 의사 결정을 하기 때문에 실험이 한정적인 실제 시스템에 비해 올바른 의사 결정을 하는데 도움이 될 수 있다.

또 다른 장점은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 특정 현상이 왜 발생하는지 알 수 있다는 점이다. 시간 흐름을 조작하거나 변인을 완벽히 통제하는 것이 불가능한 실제 시스템과 달리 시뮬레이션에서는 시간을 포함한 모든 변인을 조작할 수 있다. 이를 통해 특정 현상이 발생한 원인이나 이를 발생시키는 변인과의 회귀 분석을 실시할 수도 있기 때문에 시뮬레이션은 특정 현상의 발생 원인을 찾는 것이 실제 시스템에 비해 수월하다.

여섯 번째 장점은 새로운 가능성을 탐색할 수 있다는 점이다. 실제 실험과는 달리 컴퓨터 시뮬레이션은 적은 노력으로 다양한 데이터를 수집할 수 있으며 실험자가 기존에 탐색하고자 했던 변인 간의 관계 외에도 다른 변인 간의 관계나 새로운 규칙성 등 다양한 가능성을 탐색할 수 있다. 데이터 분석 또한 시뮬레이션 분석 툴이나 컴퓨터를 통해 바로 수행할 수 있기 때문에 규칙성을 탐색하는데도 용이하다. 또한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 이론의 문제를 진단할 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션은 기존 이론을 바탕으로 모델을 구현하고 실행하는 과정을 시각적으로 확인할 수 있기 때문에 과학적 오류 등 문제를 발견할 수 있다.

마지막 장점은 시간적, 경제적 효율성을 들 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션은 실제 시스템에 영향을 미치지 않고 가상의 실험을 수행하는 과정이기 때문에 실제 시스템을 조작하는데 드는 비용을 절약할 수 있으며 실제 시스템의 변인을 조작하는데 시간이 오래 들어가는 실험의 경우도 컴퓨터 시뮬레이션에서는 단 몇 초 만에 조작할 수 있다.

마지막 장점으로 언급한 것처럼 컴퓨터 시뮬레이션은 실제 시스템에 영향을 미치지 않는다는 점에서 사고실험과 공통점을 가진다. 그러나 두 실험에는 명확한 차이점이 존재한다. Lenhard(2017)는 사고실험과 시뮬레이션 실험을 인지적 투명성 여부로 구분하였다. 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 모두 모형 기반 추론이라는 유사성을 가지지만 사고실험은 직관에 의존하며 시뮬레이션 실험은 직관에 얽매이지 않고 다양한 알고리즘을 활용할 수 있다는 점에서 차이점이 있다고 말한다. 사고실험은 인지적으로 투명해야하며 시뮬레이션 실험은 인지적 투명성이 필수 조건이 아니다. 사고실험은 실험자의 사고과정을 통해 수행되는 실험인 만큼 한 단계에서 다음 단계로 넘어갈 때 왜 그런 현상이 나타나는지에 대한 직관적인 이해와 다른 가능성이 완전히 배제되어야 한다. 사고실험이 너무 복잡해 한 단계에서 다음 단계로 넘어가는 과정에서 실험자에게 ‘다른 가능성이 있지 않을까?’라는 의문이 들게 되면 이 사고실험은 신뢰도와 타당성 측면에서 부정될 수 있다. 반면, 컴퓨터 시뮬레이션의 경우는 이론에 근거한 모형을 제작하는 과정에서 어떤 알고리즘을 썼는지는 중요하지 않다. 다만, 항상 이론에 근거한 결과 값을 출력해준다면 컴퓨터 시뮬레이션의 신뢰도와 타당성은 인정받을 수 있다.

신바 유타카(2016)는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션은 실제 실험을 수행하지 않는다는 점에서 유사성을 가지고 있으나 실험을 대신하는 주체에 차이가 있으며 논리적 추론 과정을 통해 이론이나 가설의 옳고 그름만을 판단하는 사고실험과는 달리 컴퓨터 시뮬레이션은 타당성을 인정받은 이론을 근거로 정량적 계산을 하는 과정이 포함된다는 점에서 그 목적이 다르다고 말한다.

사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션은 모델링 과정에도 차이가 있다. 컴퓨터 시뮬레이션 모델링은 사고실험에 비해 복잡하고 긴 시간을 필요로 하지만 이후 시뮬레이션을 수행하는 과정에서 컴퓨터 시뮬레이션은 구축된 모형의 조작 변수를 변경해가며 소프트웨어 또는 프로그래밍 코드를 실행시키고 결과 데이터를 수집하는 비교적 쉬운 과정인데 반해 사고실험에서는 실험 조건이나 논리적 과정을 명확히 하고 수행하지 않으면 결과에서 오류가 발생할 수 있다는 문제 때문에 사고실험을 수행하는 과정에서도 단계별 논리적 사고가 필요하다. 또한 시뮬레이션을 통해 데이터를 수집하는 시간이 매우 짧은 컴퓨터 시뮬레이션과 달리 사고실험을 통해 수치적 데이터를 확보한다고 하면 이는 시뮬레이터로 작동하는 사람의 계산 속도를 넘어설 수 없으며 아무리 빠르다 해도 컴퓨터보다 속도가 느릴 것이다. 이런 차이 때문에 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션은 사용에 있어서 그 목적이 달라야한다.

3. 사고실험을 활용한 수업의 장점과 한계점

이번 절에서는 사고실험을 활용한 수업의 장점과 한계점에 관해서 논한다. 사고실험의 장점은 다음과 같이 크게 네 가지로 정리해 볼 수 있다. 첫째로 사고실험의 장점은 장소와 환경에 구애를 받지 않는다는 점이다. 사고실험은 시뮬레이터가 인간의 인지구조인 만큼, 실험에 유일하게 필요한 준비물은 실험을 수행할 1명의 사람이다. 사고실험을 수행할 만큼 집중할 수 있는 상황이라면 다른 어떤 실험 도구도 필요 없으며 실제 실험과는 달리 장소나 주변 환경이 실험에 영향을 미치지 않는다는 장점이 있다. 이런 점이 사고실험의 장점으로

작용하는 이유는 주변 환경이 실험에 영향을 미치는 실제 실험의 경우 주변 환경에 대한 변인 통제에 주의를 기울여야 하며 이에 시간과 비용, 노력이 들어가지만 사고실험의 경우 실험자가 논하고자 하는 실제 시스템의 중요한 속성에만 집중하고 나머지 요인은 영향을 미치지 않는다고 가정하는 간단한 과정을 통해 완벽하게 변인 통제를 할 수 있기 때문이다. 가장 쉬운 예시가 마찰력이 작용하지 않는 상황이라고 가정한 III장 2절에서의 갈릴레이 관성 사고실험이다.

두 번째 장점은 관찰 한계점의 영향을 받지 않으며 변명의 여지가 없다는 점이다. 어떤 주장에 대해 실험적 증거를 제시해도 그 상황은 예외적인 상황이라 주장하며 납득하지 않는 경우가 있다(신바 유타카, 2016). 그러나 사고실험은 논리적 사고 과정을 통해 수행되므로 이런 변명의 여지가 없다. 대표적인 예는 낙하하는 물체에 관한 아리스토텔레스와 갈릴레이의 논쟁이다. 무거운 물체일수록 더 빨리 낙하한다는 아리스토텔레스의 주장에 대해 갈릴레이가 반론을 제기했으나 아리스토텔레스 주의자는 이를 받아들이지 않았고 이에 갈릴레이는 앞서 제시한 <표 6>과 같은 사고실험을 고안해 아리스토텔레스 주장의 논리적 모순을 지적하며 반증하였다. 또한 실제 실험에서는 인간의 직접적 관찰 또는 도구를 이용한 측정을 통해 관찰 데이터를 수집하기 때문에 관찰이 불완전한 경우 오차가 발생할 가능성이 있다. 관찰은 인간의 감각기관을 통해 정보를 수집하는 과정이므로 인간의 감각기관에 의존한다는 한계점이 있다. 아주 미세한 변화가 일어난 경우 관찰자가 이를 인지하지 못하면 관찰 결과를 실제 물리량과 다르게 기록할 가능성이 있다. 뿐만 아니라 ‘전류값은 전압에 비례한다.’와 같이 관찰자가 측정할 물리량에 대해 예상하는 값을 가지고 있는 경우, 실제로는 완전히 비례하는 결과가 나오지 않았더라도 예상했던 값으로 측정값을 읽어낼 가능성이 있다. 이를 관찰의 이론 의존성이라 한다. 이와 같이 관찰의 감각기관 의존성과 이론 의존성 때문에 실제 실험은 관찰의 한계점 측면에서 신뢰성을 공격받을 가능성이 있다. 실험을 수행하는 사람이 가지고 있는 선입견이나 주장하고자 하는 이론에 따라 그 결과를 다르게 받아들일 가능성이 있기 때문이다. 그러나 사고실험은 실제 실험과 달리 실제적인 관찰을 수행하지 않기 때문에 관찰의 한계점 측면에서 실험 결과가 공격받을 가능성은

존재하지 않는다는 장점이 있는 것이다.

세 번째 장점은 오개념 변화에 효과적이라는 점이다. 사고실험을 실험으로 인정할 수 있는가에 관한 논쟁은 끝나지 않았지만, Kuhn(1964)이나 Nersessian(1991), Gilbert & Reiner(2000), Klassen(2006) 등 많은 과학자와 과학 철학자에 의해 사고실험이 과학의 개념변화의 중점적 역할을 한다는 점은 인정받고 있다. 이처럼 학습자가 잘못된 과학 개념을 가지고 있는 경우 교사는 이를 과학적 개념으로 변화시키는데 사고실험을 활용할 수 있다.

네 번째는 앞서 제시한 학습 과정에 있는 ‘사고실험의 평가’ 및 ‘생각의 변화 검토’ 과정을 통해 학습자의 과학적 사고력을 증진시킬 수 있다는 점이다. Posner et al.(1982)에 따르면 오개념을 가지고 있는 학습자에게 과학적 지식을 제시한다고 해서 자신의 기존 지식을 바로 폐기하고 과학적 지식을 받아들이는 것이 아니다. 학습자가 인지 갈등을 통해 기존 지식에 대해 불만족을 느끼고 제시되는 과학적 지식이 이런 불만족을 해소할 수 있으며 이해 가능한 경우라면 개념변화가 일어날 수 있다. 오개념을 가진 학습자에게 문제 상황을 제시해 인지 갈등을 유발했다 할지라도 사고실험의 과정이 타당하지 않다고 여기는 경우 학습자는 과학적 지식을 받아들이지 않게 된다. 따라서 사고실험을 활용한 수업에서는 사고실험의 과정을 논리적 측면, 이해 가능성 측면, 직관성 측면에서 검토하는 과정이 필수적이며 이런 과정을 통해 학습자는 비판적 사고력과 과학적 사고력을 향상시킬 수 있게 된다.

그 외에도 사고실험은 기술적 한계로 인해 실제 실험을 수행할 수 없는 경우, 우주 환경을 조작해야하는 경우 등 원리적으로 실험이 불가능 한 경우, 생명 실험 등 윤리적 문제로 실험을 수행할 수 없는 경우에도 활용할 수 있다는 장점이 있다.

사고실험을 활용한 개념변화 학습모형이 과학적 사고력을 증진시키고 학습자의 오개념을 변화시키는데 효과적이지만 사고실험을 활용한 수업에도 한계점은 존재한다. 첫 번째로 사고실험을 활용한 수업에 적합한 학습자가 제한적이라는 점이다. 사고실험은 학습자의 머릿속에서 인지과정을 통해 수행된다는 점 때문에 제시되는 문제 상황을 인지구조 속에 모델링 할 수 없는 발달 단계에 있는 학습자는 사고실험의 수행 자체가 어려울 수 있다. 또한 사고실험이 실제 실험과는 달리 논리적인 과정을 통해 기존 생각을 반증하고

새로운 생각을 확립한다는 점 때문에 논리적 사고를 하기 어려운 학습자에게는 사고실험을 활용한 학습은 효과가 떨어질 수 있다. 제시된 상황을 인지구조 속에서 모델링하고 논리적 사고를 통해 기존 생각을 새로운 생각으로 변화시키는 위와 같은 학습은 피아제의 발달 단계 중 형식적 조작기에 도달한 학생을 대상으로 했을 때 가장 효과적일 수 있다. 따라서 교사는 학습자의 발달 수준을 미리 파악하고 학습 모형을 적용한 수업이 효과적으로 진행될 수 있는지 점검해야 한다.

두 번째 한계점으로는 학습자의 사전 개념 파악의 필요성을 들 수 있다. 교사는 수업 시간에 발생하는 사건이나 학습자의 반응에 따라 수업을 유기적으로 운영하지만 수업의 전체적인 과정을 수업 시작 전에 계획하며 학습에 필요한 탐구는 사전에 준비하는 과정을 거친다, 그러나 사고실험을 활용한 개념변화 학습은 그 목적이 학습자가 가지고 있는 기존의 생각이 당대의 과학 개념이나 이론에 부합하지 않는 경우에 적합하다. 학습자의 기존 생각이 과학적 개념과 일치하는 경우 학습자의 개념변화는 필요하지 않으며 이런 경우 개념변화 학습 또한 그 필요성을 잃게 된다, 따라서 교사는 학습자의 기존 생각에 오류가 없는지 사전에 파악하는 작업이 필요하다. 실제 학습자를 대상으로 조사하는 것이 가장 효율적이지만 수업 시간에 문제 상황을 제시하고 학습자들이 가지고 있는 생각을 듣고 난 뒤 적합한 사고실험을 준비하는 것은 불가능하기 때문에 교사는 대상이 되는 학습자들과 동일한 특성을 갖는 학생들이 많이 가지고 있는 오개념을 미리 파악하고 이를 수정하기 위한 사고실험을 준비해야 한다. 학습자의 오개념을 사전에 파악할 수 있는 방법은 통계 자료를 활용하는 것이다. 대표적으로 송진웅 외(2004)의 ‘학생의 물리 오개념 지도’, 윤성규 외(2007)의 ‘생물 오개념 연구와 지도’와 같은 학습 과정에서 노출된 학생의 오개념에 관한 내용을 정리한 자료를 활용할 필요가 있다. 개인차가 존재하기는 하나 학습자들은 동일한 발달 단계를 거쳐 성장하기 때문에 학생들의 발달 단계는 과거 같은 단원을 학습하던 학생들의 수준을 크게 벗어나지 않을 것이며 따라서 과거 학생들이 가지고 있는 오개념에 관한 자료는 현재 학생들이 가지고 있는 생각을 파악하는데 있어서도 유용한 자료가 된다. 교사는 이를 사전에 파악하여 개념변화 학습모형을 적용한 적절한 사고실험을 준비해야 학생들의 오개념 수정을 성공적으로 진행할 수

있을 것이다.

마지막은 사고실험이 오히려 학습자에게 혼란을 초래할 수 있다는 점이다. 사고실험은 눈으로 볼 수 있는 실험이 아니며 학습자의 인지과정을 통해 수행되는 만큼 사고실험이 직관적이지 않은 경우 학습자가 사고실험을 수행하는데 어려움을 겪을 수 있기 때문에 너무 복잡한 사고실험은 지양해야 한다. 위와 같은 사고실험의 장점과 단점을 바탕으로 사고실험을 활용할 방법을 탐색한다면 과학 수업에 효과적으로 사용할 수 있을 것이다.

4. 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업의 장점과 한계점

앞서 단진자의 주기에 영향을 주는 요인을 찾기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 수업 자료를 제시하였다. 이 외에도 컴퓨터 시뮬레이션은 시간, 공간적 제약을 받는 원자모형, 우주에서 천체의 운동 분석 등과 같은 상황에 적용하여 유용하게 활용할 수 있다. 이처럼 과학 실험 및 수업의 다양한 상황에 활용할 수 있는 시뮬레이션 실험의 장점은 다음과 같이 네 가지로 요약해 볼 수 있다.

첫째, 범교과적 융합 수업을 진행할 수 있다는 점이다. 시뮬레이션 실험의 과정은 크게 모델링과 실험 설계, 시뮬레이션의 3 단계로 나눌 수 있으며 모델링에는 다양한 모델이 활용될 수 있으며 대표적으로 수학적 모델링이 존재한다. 수학적 모델링을 위해서는 수학적 사고력이 필요하며 수학적 모델을 컴퓨터에 구현하기 위해서는 프로그래밍 언어에 관한 기초 지식을 바탕으로 한 프로그래밍 역량, 실험을 설계하기 위한 과학적 탐구 능력, 데이터 분석을 위한 정보 과학 지식도 필요하다. 따라서, 시뮬레이션 실험을 활용한 수업은 교사가 수업을 설계하기에 따라 다양한 교과역량을 신장시킬 수 있다는 장점이 있다.

둘째로 시간 가속 및 감속을 장점으로 제시할 수 있다. 실험의 신뢰성과 타당성을 인정받기 위해서는 수차례 반복 실험을 수행하고 조건을 변화시키며 각 독립변인이 종속변인에 미치는 영향을 분석해야 한다. 실험 과정을 수행할 때 마다 시간이 소요되기 때문에 실험 수행 횟수가 늘어날수록 결과를 얻어내는데 걸리는

시간은 늘어날 수밖에 없다. 반면, 시뮬레이션 실험은 모델의 복잡도와 컴퓨터 성능에 따라 시뮬레이션을 실행하는데 소요되는 시간이 달라지기는 하지만 시간 가속이 가능하다는 점에서 수초에서 수분에 이르기까지 실제 실험에 비해서 훨씬 짧은 시간이 소요되기 때문에 동일한 양의 데이터를 얻어내는데 걸리는 시간이 매우 짧다. 한편, 방사성 원소의 붕괴 등과 같이 실제 환경에서 매우 짧은 시간동안 일어나는 현상을 관찰하는데 있어서도 시뮬레이션 실험이 유리하다. 매우 짧은 시간동안 발생하는 현상을 관찰하기 어려운 실제 실험과 달리 시뮬레이션에서는 시간을 천천히 흐르게 할 수 있으므로 일어나는 현상을 컴퓨터를 통해 시각적으로 보여 줄 수 있다.

셋째로 다양한 통찰을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 실제 실험에서 특정 물리량을 측정하기 위해서는 측정 도구가 필요할 수 있으며 실험자가 해당 값을 측정해야 하기 때문에 실험이 더 복잡해지거나 실험에 소요되는 시간이 늘어날 수 있기 때문에 실험 목적에 따라 필요한 물리량만을 측정하여 데이터를 분석한다. 그러나 시뮬레이션에서 하나의 물리량을 측정한다는 것은 출력 변수를 하나 추가하는 것에 불과하기 때문에 시뮬레이션 실행 시간 자체에는 영향을 미치지 않는다. 따라서 시뮬레이션 실험을 수행할 때는 원하는 변인 값뿐만 아니라 다양한 변인의 값을 출력하는 것이 용이하며 다양한 물리량을 수집하면 예상치 못했던 변인 간의 관계나 규칙성을 발견하는 등 의외의 통찰을 얻을 수 있게 된다. 이는 빅데이터를 통해 통찰을 얻어내는 과정과 같으며 시뮬레이션 실험에서 다양한 물리량 데이터를 수집하는 것은 빅데이터 수집에 빗대어 표현할 수 있다.

마지막으로 학습자 수준별 맞춤형 수업이 가능하다는 점이다. 학습자가 초, 중등 학생과 같이 논리적 사고력이 낮거나 프로그래밍 역량이 부족한 경우 모델링 과정을 생략하고 시뮬레이션과 시뮬레이션 결과 데이터 분석 과정만을 통해 변인 간 규칙성을 발견하는 수업을 진행할 수 있으며, 프로그래밍 역량을 갖추고 있는 학습자를 대상으로 수업을 진행하는 경우 관련 이론을 먼저 설명하고 이를 바탕으로 한 모델을 제시하여 직접 프로그래밍 언어를 통해 시뮬레이션을 제작하는 수업으로 수준을 높일 수 있다. 또는 관련된 과학 이론을 학습하고 프로젝트 수업 방식으로 실제 시스템의 속성을 분석하는 단계, 이를 바탕으로 모델링 하는 단계, 시뮬레이션 실험을 설계하고 구현하는 단계, 시뮬레이션 실험을

수행하고 데이터를 분석하는 단계로 나누어 수업을 진행할 수도 있다. 시뮬레이션 실험은 모델링, 실험 설계, 시뮬레이션 수행을 단계적으로 나눌 수 있기 때문에 이처럼 학습자 수준에 따라 각 단계를 생략하고 제시해주는 방식으로 수업의 수준을 조절할 수 있다는 장점이 있다.

그러나 시뮬레이션 실험이 만능인 것은 아니다. 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 활용한 수업의 한계는 모델링과 시뮬레이션 과정 자체에도 존재한다. 모델링을 위해서는 전문적 지식이 필요한 경우가 대부분이며 또한 복잡한 시스템을 모델링 하는 경우 모델링에 들어가는 시간이 길어질 수 있다는 점은 시뮬레이션의 단점이다. 시뮬레이션에서 비용과 시간이 가장 많이 드는 과정이 바로 모델링이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 과학 수업에 활용하기 위해서는 사전에 실제 실험 환경을 분석하고 이를 모델링하여 컴퓨터 환경에 구현하는 과정이 필요하며 교사가 모델링과 시뮬레이션, 프로그래밍 능력을 갖추고 있지 않다면 수업에서 시뮬레이션을 활용하는데 어려움이 있을 것이다. 또한 능력을 갖추고 있다고 해도 앞서 언급한 바와 같이 모델을 제작하는데 많은 시간을 필요로 하기 때문에 수업 준비에 많은 시간이 소요된다는 한계점이 있다. 따라서 실험 환경을 모델링 할 때는 실험 목표와 수업 목표에 따라 실제 환경의 특성에 우선순위를 매기고 최대한 단순한 형태로 모델링 하는 것이 중요하다. 실제로 시뮬레이션 모델링을 할 때도 실제 시스템의 특성을 분석해 가장 단순한 모델을 제작하고 모델 검증을 통해 점차적으로 모델의 복잡도를 증가시키며 점진적으로 실제 시스템과 유사하게 제작하는 것이 일반적인 방법이다(Maria, 1997). 시뮬레이션 실험은 모델 제작에 많은 시간이 투입되는 것은 사실이지만 한 번 제작된 모델은 다방면으로 활용될 수 있으며 저장장치의 파손이나 훼손이 발생하지 않는 한 반영구적으로 사용 가능하다는 점을 고려하면 초기 투입되는 시간과 비용은 크지만 충분한 용량의 저장장치만 있다면 모델 제작 이후 유지에는 비용이 전혀 들어가지 않을 것이며 실험 환경을 매 번 구축할 필요 없이 컴퓨터를 통해 바로 시뮬레이션 할 수 있다는 점은 시뮬레이션 실험의 시간, 비용적 한계를 보완 할 수 있을 것이다.

컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업이 범교과적이며 융합 수업, 프로젝트 수업이라는 장점을 갖는 반면 이는 동시에 단점이 될 수도 있다. 교사가

시뮬레이션 활용 능력을 갖추고 있는 경우 학습자에게 통합교과적 수업을 진행할 수 있지만 과학 수업을 진행하는 교사가 시뮬레이션 활용 능력이 없는 경우 과학, 정보, 수학 등 다양한 교과에 대한 전문성을 갖추고 있는 각각의 교사가 공동으로 하나의 프로젝트 수업을 계획해야한다는 점은 시뮬레이션 수업의 한계점이 된다. 여러 분야의 교사가 함께 수업을 설계해야 하는 경우 한 명의 교사가 자신의 수업을 구상하는 것보다 많은 시간이 소요될 것이다. 시뮬레이션을 구현, 실행할 수 있는 전문가를 포함해 팀을 구성한다고 해도 각각의 교사가 시뮬레이션에 대한 기본적 이해를 갖고 있지 않은 경우 실제(real world) 실험 목적과 다른 시뮬레이션 실험이 구현될 수 있으며 수업을 설계, 진행하는데 있어서도 어려움이 있을 것이다, 따라서 교사가 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업을 수행하기 위해서는 모델링과 시뮬레이션에 대한 기본적인 지식을 갖추고 있어야 한다.

마지막으로 시뮬레이션 실험의 한계점은 실제(real world) 문제를 데이터 문제 혹은 시뮬레이션 가능한 문제로 정의 가능한 문제에 대해서만 실험이 가능하다는 점이다. 실제 실험에는 독립 변인과 종속 변인 간의 관계를 알아보는 실험도 있지만 자연 현상을 있는 그대로 관찰하여 정성적 통찰을 얻고자 하는 실험도 있다. 특히 종속 변인에 영향을 주는 요인이 무엇인지 알 수 없는 경우 관찰을 통해 종속 변인에 영향을 주는 변인을 탐색한다. 그러나 시뮬레이션 실험의 경우 종속 변인에 영향을 주는 변인을 정확히 알지 못하면 실제 시스템의 모든 특성과 영향을 줄 가능성이 있는 모든 변인을 적용하여 모델을 구축해야 한다. 이는 시간적, 경제적으로 효율적이지 않기 때문에 시뮬레이션 실험에 적합한 실험은 과학자들에 의해 이미 밝혀진 이론을 바탕으로 재현한 실험이다. 또한 시뮬레이션 분석을 위해서는 시각적 모델이나 수학적 모델이 필요한데 실제 시스템에 대한 정확한 분석이 되지 않은 경우 실제 시스템을 반영한 모델을 제작할 수 없으며 이런 경우 시뮬레이션 실험의 결과는 신뢰할 수 없게 된다. 예를 들어 터널링 현상을 관찰하기 위해 시뮬레이션 실험을 진행하는 경우, 경계면 전후 입자의 파동함수를 알지 못한다면 설계자가 임의로 터널링 확률을 지정하게 되며 이는 실제 시스템의 모델링이 아니라 설계자가 확률값으로 어떤 값을 집어넣느냐에 따라 실험 결과가 달라지기 때문에 실험 결과는 과학적, 논리적 타당성을 갖지 못한다. 이처럼 컴퓨터 시뮬레이션을

활용할 수 있는 실험이 제한적이라는 점은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업의 명확한 단점으로 보인다. 그러나 시뮬레이션 가능한 주제의 경우, 컴퓨터만 있다면 공간적 제약을 받지 않고 시각적으로 결과를 보여줄 수 있다는 장점이 있기에 교사는 수업에서 해결하고자 하는 실제(real world) 문제를 시뮬레이션 가능한 문제로 변환하는 능력을 갖출 필요가 있다.

컴퓨터 시뮬레이션은 위와 같은 장점과 단점이 있다. 모델링 복잡성 등의 단점을 보완하기 위해 간단하게 모델링 가능한 상황에 대해 시뮬레이션을 활용한다면 효과적으로 시뮬레이션을 사용할 수 있을 것이다. 따라서 시뮬레이션의 장단점을 바탕으로 과학 수업에 시뮬레이션을 활용할 방법을 탐색한다면 과학 수업에서 효과적으로 사용될 수 있을 것이다.

5. 개념변화 학습모형

구성주의에 따르면 지식은 학습자 개개인의 경험에 근거해 형성되는 주관적인 것이다. 피아제는 학습자가 감각기관의 자극을 통해 지각을 하게 되고 이를 통해 기존에 가지고 있던 인지구조와 일치하는 지각의 경우 동화를 통해, 기존 인지구조와 일치하지 않는 경우 조절을 통해 학습을 한다고 주장했으며 그에 따르면 학습을 통해 인지구조가 변하거나 강화되는 것을 학습이라고 부른다. 학습자는 주어진 상황이나 문제를 관찰이라는 행위를 통해 인지구조를 형성하게 되며 ‘관찰’이라는 행위 자체의 불완전성으로 인해 학습자는 실제 과학적 개념이나 이론과는 다른 인지구조를 형성할 수도 있다. 관찰의 감각기관 의존성, 인지구조 의존성, 이론 의존성 등으로 인해 동일한 상황에 대해서도 학습자 특성에 따라 관찰의 결과는 달라질 수 있다(변정호 외, 2009).

어떤 원인에 의해서든 학습자는 당대에 옳다고 여겨지는 과학적 지식과는 다른 인지구조를 형성할 수 있으며 과학교육에서는 이런 오개념을 바로잡아야 할 필요가 있다. Posner et al.(1982)에 따르면 개념변화가 일어나기 위한 몇 가지 조건이 있다. 먼저 학습자가 가지고 있는 기존 개념으로 설명할 수 없는

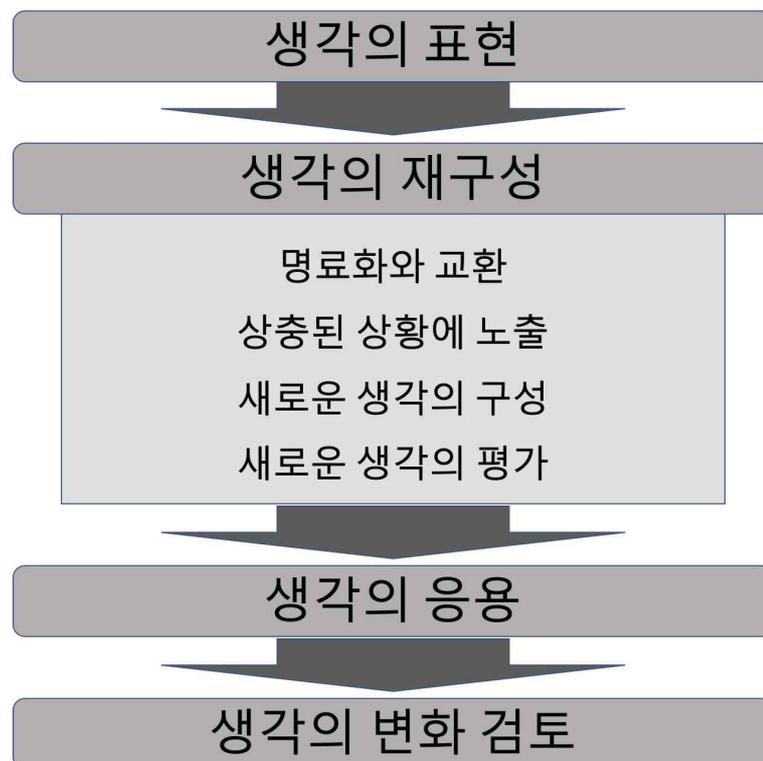
현상에 직면하는 경험을 통해 기존 개념으로 직면한 현상을 설명할 수 없다는 사실을 인식함으로써 기존 지식에 대한 불만족이 있어야 한다. 둘째는 이해 가능성이다. 새로 도입된 개념은 학습자가 이해할 수 있어야 하며 이해가 불가능하다면 새로운 개념을 통해 직면한 현상을 설명하는데 어려움을 겪을 것이며 학습자는 새로운 개념을 받아들이지 못 할 것이다. 셋째는 개연성이다. 새로운 개념이 기존 개념으로 설명할 수 없는 현상을 설명할 수 있을 것이라는 기대가 있어야 학습자는 새로운 개념을 받아들일 것이다. 마지막은 유용성이다. 새로운 개념은 학습자의 기존 개념으로 설명할 수 없던 현상을 설명함으로써 학습자에게 가치가 인정되어야하며 직면한 현상 외에도 다른 다양한 문제를 해결하는데 도움이 되리라는 기대가 있어야 학습자는 새로운 개념을 받아들여지게 된다.

개념변화 학습모형에 공통적으로 나오는 과정은 ‘인지갈등’이다. 파인즈와 웨스트는 학교에서 학습한 지식과 경험을 통해 자발적으로 학습한 지식이 일치하지 않는 경우 갈등 상황이 발생하며 이런 경우 자발적 학습 지식에 대한 개념변화 학습이 필요하다고 말했다.

하슈웨의 인지 갈등 모형에 따르면 기존의 선입 개념으로 설명할 수 없는 현실 세계의 현상을 직면하게 되면 인지 갈등 상황이 발생하며 이때, 새로운 과학 개념을 받아들임으로써 인지 갈등을 해결할 수 있다. 즉, 잘못된 선입 개념이 있는 경우 선입 개념으로 해결할 수 없는 상황을 제시하여 기존 개념을 올바른 과학 개념으로 바꾸는 것이다. 그러나 새로운 과학 개념으로 현실 세계의 현상을 해결한 뒤에도 학습자는 바로 과학 개념을 받아들이지 않는데 이런 경우 새로운 과학 개념이 기존의 현상들을 잘 설명할 수 있으며 새로운 현상도 설명할 수 있는 반면 기존의 개념은 새로운 현상을 잘 설명할 수 없음을 보여주거나 선입 개념이 새로운 과학 개념에 포함된다는 사실을 보여줌으로써 선입 개념과 과학 개념 간의 갈등을 해결하고 새로운 개념을 받아들여지게 할 수 있다.

위와 같은 인지 갈등 모형에 기반한 가장 대표적인 개념변화 학습모형은 드라이버의 개념변화 학습모형이다. 드라이버의 개념변화 학습모형은 학습자를 기존 지식으로 해결할 수 없는 문제에 노출시켜 대한 인지 갈등을 유발하는

방식으로 기존 지식에 대한 불만족을 갖게 한 뒤, 학습자가 이해할 수 있는 수준의 과학 개념이 제시된 문제를 해결할 수 있음을 보여주고 새로운 개념이 다른 문제에도 활용할 가능성이 높음을 인식할 수 있도록 하여 개념변화가 일어나도록 하는 학습 모형이다(Driver, 1985). 드라이버의 개념변화 학습모형의 학습 과정을 구체적으로 표현하면 [그림 8]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 8] 드라이버의 개념변화 학습모형의 과정

학습의 첫 번째 과정인 생각의 표현 단계에서 교사는 학습 내용과 관련된 현상이나 사례를 제시하며 학습자는 제시된 현상에 관한 자신의 생각을 글로 적어 표현하고 이를 발표하도록 한다. 두 번째 단계인 생각의 재구성 단계는 학습자가 기존에 가지고 있던 오개념을 새로운 과학적 개념으로 대체하는 단계로 명료화와 교환, 상충된 상황에 노출, 새로운 생각의 구성, 새로운 생각의 평가라는 4개의 세부적인 단계로 나눌 수 있으며 명료화와 교환 단계에서는 다른 학습자들이 발표한 여러 견해를 비교하여 각 견해의 장단점을 이야기하고 자신의 개념을

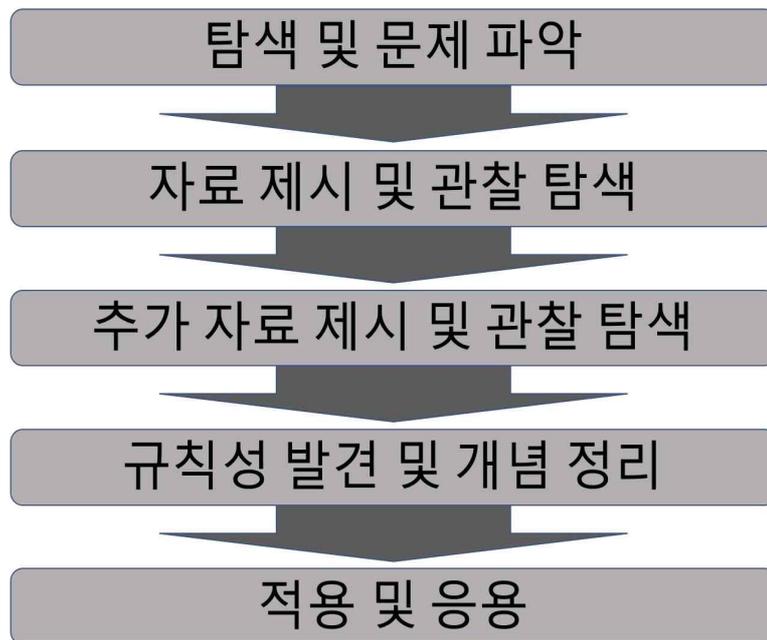
명료화한다. 다음으로 상충된 상황에 노출에서는 교사가 학습자의 오개념으로 설명할 수 없는 현상이나 문제를 제시한다. 이 단계에서 학습자들은 인지 갈등을 경험하게 되며 Posner et al.(1982)이 말하는 기존 지식에 대한 불만족이 나타나게 된다. 새로운 생각의 구성 과정에서는 인지 갈등을 통해 학습자의 생각에 변화가 있는지 스스로 생각해 볼 시간을 제공하고 발표하도록 한다. 이후 교사는 학습자의 인지 갈등을 해결하고 새로운 생각을 구성하는데 도움이 되는 학습자료를 제시하여 학습자가 새로운 생각을 구성하는 것을 돕는다. 학습자가 새로운 생각을 구성했다면 새로운 생각의 평가 과정에서 그 생각이 그럴듯한 것인지 타당성을 스스로 평가한다. 생각의 응용 단계에서 교사는 새로운 현상이나 문제를 제시하여 학습자들이 구성한 새로운 생각을 바탕으로 문제를 해결해 볼 수 있도록 한다. 이 과정에서 학습자들은 새로운 생각이 활용도가 높고 가치 있는 생각인지를 판단할 수 있다. 마지막 단계인 생각의 변화 검토 단계에서는 생각의 표현 단계에서 작성했던 학습자 자신의 기존 생각과 새로 구성된 개념을 비교하며 이를 통해 생각이 어떻게, 어느 정도 변화했는지를 확인할 수 있다.

이처럼 학습자의 오개념은 기존 개념으로 설명할 수 없는 상황을 제시해 인지 갈등을 일으킴으로써 새로운 개념의 필요성을 인식하도록 하고 이해 가능하고 그럴싸한 새로운 개념으로의 인지구조 변화를 유도할 수 있다. 인지구조 변화에 핵심은 인지 갈등 상황이 주어지는 것이며 이때 주어지는 상황은 반드시 실제 현상을 제시할 필요는 없으며 논리적 과정에서의 오류, 관찰 사실과 기존 개념의 불일치, 사고실험 등 다양한 방식으로 인지 갈등을 유발할 수 있다.

6. 발견학습 모형

발견학습 모형은 과학적 탐구 방법 중 귀납적 탐구 방법을 활용한 교수학습 모형이다. Bruner(1960)는 주입식 교육과 반대되는 개념으로 발견학습 모형을

제안하였으며 발견학습 모형은 교사의 학습 안내를 최소화 하고, 학습자가 스스로 학습목표에 도달할 수 있도록 학습 환경을 조성하는데 중점을 두고 있는 학습 모형이다. 발견학습 모형의 과정은 과학적 탐구 방법 중 귀납의 과정과 맥락을 같이한다. 학습자는 제시된 학습 자료를 관찰함으로써 규칙성을 발견하고 이를 명료화 된 개념으로 표현한다. [그림 9]는 발견학습 모형의 과정을 나타낸 것이다.



[그림 9] 발견학습 모형의 과정

탐색 및 문제 파악 단계에서 교사는 학습자의 발달 단계를 고려해 동기를 유발할 수 있는 학습자료를 제시한다. 이 단계에서 학습자는 제시된 학습자료를 탐색하고 학습 문제가 무엇인지 파악한다. 학습자가 학습 문제를 파악하고 나면 교사는 자료 제시 및 관찰 탐색 단계에서 문제해결에 필요한 학습자료를 제시하고 학습자가 학습자료를 관찰하도록 한다. 최대한 다양한 관찰이 이루어질 수 있도록 하며 관찰을 마치고 나면 학습자들은 관찰 결과를 정리해 발표함으로써 다른 학습자들과 관찰 결과를 공유한다. 추가 자료 제시 및 관찰 탐색 단계에서 교사는 문제해결에 필요한 또 다른 자료를 제공하고 학습자들은 새로운 자료를 관찰 탐색하여 관찰 결과를 정리하여 앞서 관찰한 결과와

비교한다. 이 과정에서 학습자는 이전 관찰 결과와 새로운 관찰 결과 사이의 공통점과 차이점을 알아낼 수 있다. 다시 관찰 결과를 정리하고 나면 발표를 통해 다른 학습자와 관찰 결과를 공유한다. 규칙성 발견 및 개념 정리 단계에서는 교사의 질문이나 학습자 간 토의를 통해 학습자들이 관찰 사실 간의 규칙성을 발견하게 된다. 이때 학습 목표로 의도한 규칙성이 발견되지 않았다면 다시 추가자료 제시 및 관찰 탐색 단계로 돌아가 추가 자료를 제시한다. 학습 결과로 의도했던 규칙성을 학습자가 발견한 경우 규칙성을 정리하여 개념 형태로 정리하여 표현하도록 한다. 마지막 응용 단계는 학습자가 발견한 규칙성을 새로운 상황이나 문제에 적용하여 개념을 활용하는 단계이다.

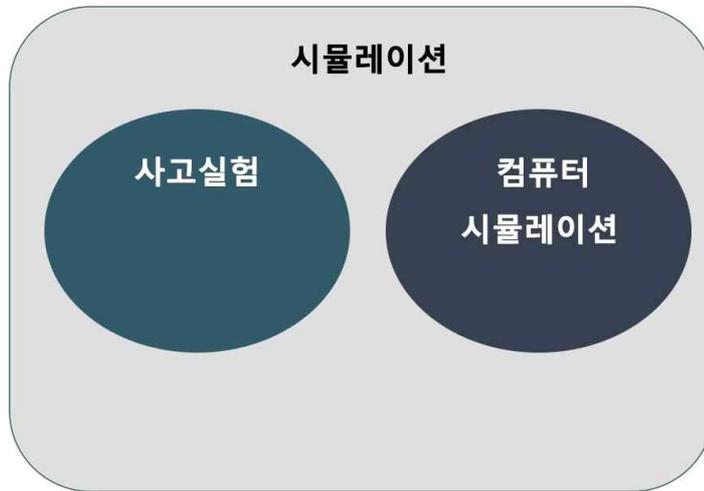
발견학습 모형의 핵심은 학습자가 능동적으로 규칙성을 발견한다는 것이다. 주어진 자료로부터 규칙성을 발견해 개념을 형성하는 발견학습 모형에서는 제시된 학습자료의 양이 많을수록 형성된 개념에 대한 믿음이 확고해지며 이는 귀납적 탐구 방법의 특징과도 일치한다. 학습자료는 다양한 상황일수록, 관찰을 통해 많은 데이터를 얻을 수 있을수록 발견학습에서 유용하게 활용될 수 있다.

Ⅲ. 사고실험과 시뮬레이션을 활용한 물리 교수 학습자료 개발

1. 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션에 적합한 문제 상황

사고실험과 시뮬레이션 실험은 실제 환경에서 실험하지 않는다는 공통점을 가지고 있지만 그 사용 목적이나 특성에는 차이가 있다. 이번 절에서는 선행연구에 기반하여 사고실험과 시뮬레이션의 관계를 명료화하고 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 목적과 특징의 차이를 바탕으로 두 실험에 적합한 문제 상황을 분류하여 정리한다.

이번 절에서는 시뮬레이션을 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 두 용어로 구분하여 사용한다. 두 실험의 구분은 시뮬레이션의 정의로부터 시작할 수 있다. 시뮬레이션이란 실제 시스템을 분석하기 위해 실제 시스템의 특성을 반영한 모형을 만들고 이 모형을 작동하는 일련의 과정을 말하며 모형을 구현하고 작동하는 장치인 시뮬레이터의 종류에 따라 시뮬레이션의 명칭을 나눌 수 있다. 시뮬레이터로 컴퓨터를 활용하는 경우 컴퓨터 시뮬레이션이라 부르며, 인간의 인지 또는 정신적 심상을 이용하는 경우 멘탈 시뮬레이션, 심상 시뮬레이션 등으로 부른다(고민석, 2014). 사고실험을 수행하기 위해서는 멘탈 시뮬레이션이 필수적이며 본 연구의 목적은 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하기에 적절한 상황을 구분하고 각 실험을 활용한 학습 자료를 개발하는데 있기 때문에 인간의 인지를 시뮬레이터로 활용하는 시뮬레이션의 경우 사고실험으로 용어를 통일한다. 시뮬레이션과 사고실험, 컴퓨터 시뮬레이션의 관계는 [그림 10]과 같이 나타낼 수 있다.



[그림 10] 시뮬레이션과 사고실험의 관계

앞서 설명한 바와 같이 시뮬레이션은 실제 시스템의 특성을 반영한 모형을 제작하고 이를 실행하는 일련의 과정 모두를 칭하며 그 종류는 사고실험, 컴퓨터 시뮬레이션, 물리적 시뮬레이션 등 시뮬레이터의 종류에 따라 다양하게 분류된다. 이 중에서 인간의 인지구조 속에서 논리적 과정을 통해 수행하면서 그 목적이 기존 이론의 모순 지적, 모순된 현상을 설명하기 위한 새로운 이론의 도입 필요성 주장, 이론의 직관적 설명에 있는 시뮬레이션을 사고실험이라고 부른다. 반면, 시뮬레이터를 컴퓨터로 사용하며 모형을 컴퓨터상에서 실행하는 시뮬레이션을 컴퓨터 시뮬레이션이라고 부른다.

사고실험은 그 유형에 따라 기존 이론을 반증하거나 문제 현상을 바탕으로 이론을 주장하거나 그 이론을 뒷받침하는데 목적이 있으며 조작변인 외, 다른 변인의 영향을 차단하고 논리적 과정을 통해 인지적으로 투명하게 수행되어야 한다는 특징이 있다. 사고실험 중 기존 이론에 반대되는 주장을 하기 위한 목적으로 수행되는 실험을 파괴적 사고실험으로 분류할 수 있으며 파괴적 사고실험과는 달리 이론을 확립하기 위한 목적의 사고실험을 건설적 사고실험으로 부른다. 건설적 사고실험은 제시한 이론을 구체화하고 직관적 이해를 돕기 위한 목적으로 수행되는 사고실험을 매개적 사고실험, 사고실험을 통해 기존 이론으로 설명하지 못하는 현상을 제시하고 새로운 이론의 필요성을

제시하기 위한 목적으로 수행되는 추측적 사고실험, 체계화 되지 않은 이론을 확장하고 체계적으로 정리하기 위한 목적으로 수행되는 직접적 사고실험으로 분류할 수 있다. 따라서 사고실험에 적합한 문제 상황은 <표 10>과 같은 경우이다.

<표 10> 사고실험에 적합한 문제 상황

- | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 실제 환경에서 구현하기 어려운 상황에 대한 실험을 수행하고자 하는 경우 2. 학습자가 오개념을 가지고 있는 경우 이를 수정하고자 하는 경우 3. 실험 결과를 관찰했지만 예외라고 주장하며 믿지 않는 경우 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

갈릴레이의 관성 사고실험과 같이 실제 환경에서 관찰력이 전혀 없는 상황을 구현하기 어려운 경우, 슈뢰딩거의 고양이 사고실험과 같이 생명을 가지고 실험해야 하기 때문에 생명 윤리적 측면에서 실험을 수행하기 어려운 경우 사고실험을 활용할 수 있다. 또한, 학습자가 오개념을 가지고 있는 경우 이를 수정하기 위해 파괴적 사고실험을 활용할 수 있다. Kuhn(1964)이나 Gilbert & Reiner(2000)와 같은 과학 철학자들에 의해 파괴적 사고실험이 개념적 변화에 중심적 역할을 할 수 있다는 것이 밝혀져 있는 만큼 과학 수업에서 개념변화 학습을 위해 사고실험을 활용하는 것은 매우 효과적이다. 마지막으로 실험적 증거를 제시해도 관찰의 불완전성을 지적하며 자신의 주장을 굽히지 않는 학습자에게도 사고실험은 효과적이다(신바 유타카, 2016). 실제 실험은 인간의 관찰을 통해 결과를 얻기 때문에 관찰의 감각기관 의존성, 이론 의존성을 지적하며 실험적 증거를 납득하지 않는 경우가 있다. 사고실험은 실제 실험과 달리 관찰이 아닌 논리적 사고 과정을 통해 수행되므로 다른 변인의 영향을 완전히 배제할 수 있으며 관찰의 문제점이 영향을 주지 않기 때문에 학습자의 오개념을 완전히 논박할 수 있기 때문에 실험적 증거를 받아들이지 않는 학습자에게 사고실험은 효과적이다.

컴퓨터 시뮬레이션 또한 실제 시스템에 영향을 미치지 않고 실험한다는 점에서 사고실험과 공통점이 있으나 확립된 이론을 바탕으로 실제 시스템의 속성 중

원하는 데이터만을 수집해 분석한다는 차별적 특징을 갖는다. 또 컴퓨터 시뮬레이션은 시간을 가속하거나 감속할 수 있으며 공간적 척도를 조절할 수 있다는 특징을 가지며 사고실험과는 달리 과정의 투명성이 필수 조건은 아니다. 컴퓨터 시뮬레이션은 이미 검증된 이론을 바탕으로 모형을 제작하며 이 모형을 실행하는 시뮬레이션 과정에서 어떤 알고리즘을 사용하든 이론에 부합하는 결과만을 도출한다면 그 알고리즘의 원리나 과정을 실험자가 반드시 파악해야 하는 것은 아니다. 컴퓨터 시뮬레이션의 특징을 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션 실험에 적합한 문제를 정리해보면 <표 11>과 같다.

<표 11> 컴퓨터 시뮬레이션에 적합한 문제 상황

- | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. 실제 환경에서 구현하기 어려운 상황을 시각적으로 확인하고자 하는 경우 2. 여러 변인들 사이의 관계를 찾고자 하는 경우 3. 실험을 수행하기에 현상의 지속 시간이 너무 짧거나 긴 경우 4. 현상을 관찰하기에 공간적 규모가 너무 크거나 짧은 경우 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

사고실험과 마찬가지로 컴퓨터 시뮬레이션도 실제 환경에서 구현하기 어려운 상황에 적합하다. 하지만 사고실험은 직관적으로 그 상황을 인지구조 속에 형상화 할 수 있어야 시뮬레이션이 가능한 반면, 컴퓨터 시뮬레이션은 모니터 등의 출력 장치를 통해 현상을 시각적으로 보여줄 수 있기 때문에 실제 환경에서 구현하기 어려운 현상을 제시하는 경우에 효과적으로 활용될 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션 실험은 컴퓨터를 도구로 수행되기 때문에 다양한 데이터를 수집하는데 용이하며 수집된 데이터를 바탕으로 변인들 사이의 관계나 규칙성을 발견하는데 활용될 수 있다.

컴퓨터 시뮬레이션은 시간 가속 및 감속이 가능하기 때문에 생물의 진화와 같이 오랜 기간에 걸쳐 발생하는 현상이나 반대로 아주 짧은 순간에 발생하는 현상에 대한 실험을 수행하거나 이를 시각적으로 보여주는 문제 상황에 적합하다. 공간 규모의 확대 및 축소 기능을 이용하면 태양계, 은하와 같이 공간적 규모가 큰 현상이나 세포나 원자 단위에서 발생하는 현상에 관한 실험을 수행하거나

시각적으로 제시하는 문제 상황에도 컴퓨터 시뮬레이션이 유용하게 활용될 수 있다.

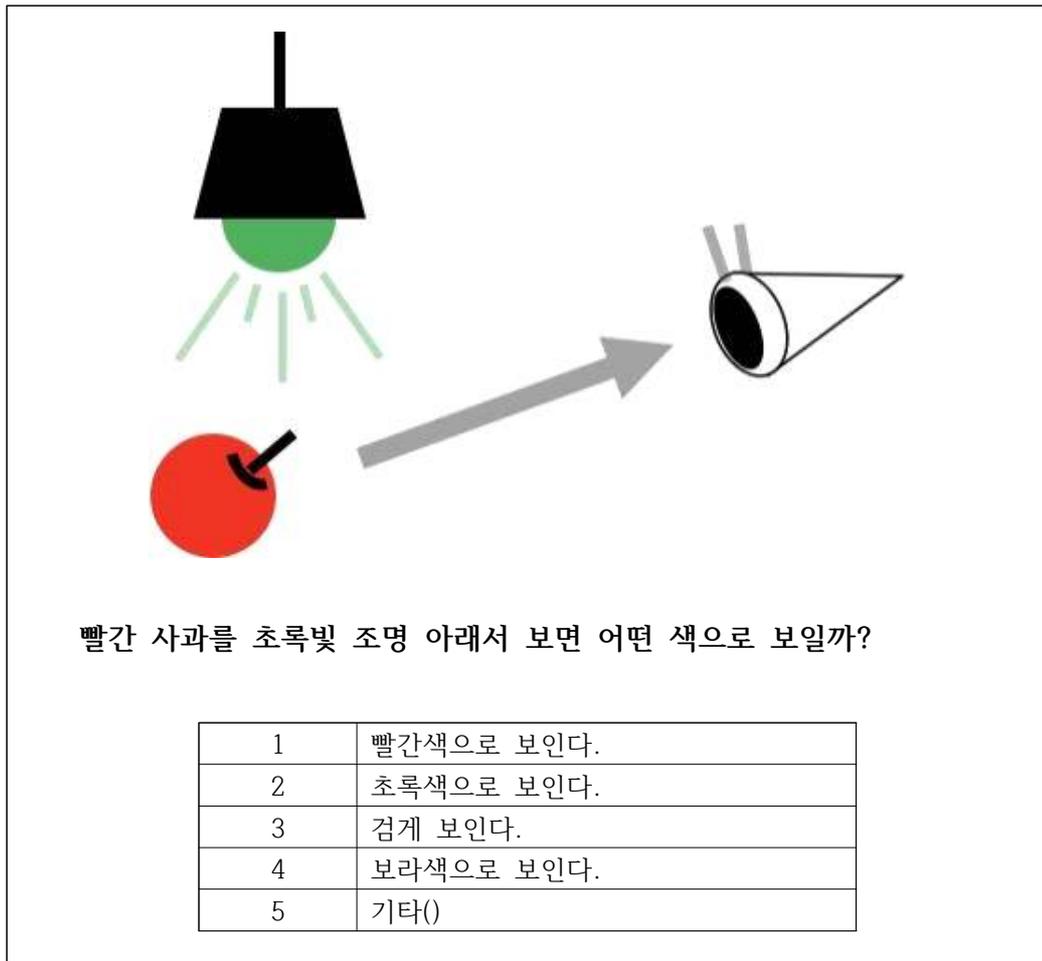
이번 절에서는 선행연구를 바탕으로 사고실험과 시뮬레이션의 관계를 정리하고 사고실험의 유형과 과정에 대해 점검하였다. 정리하면 시뮬레이션은 시뮬레이터의 종류에 따라 사고실험, 컴퓨터 시뮬레이션 등으로 구분할 수 있으며 두 실험 모두 실제 물리적 환경에서 구현하기 어려운 실험에 대해 수행하는 것이 효과적이라는 공통점이 있다. 반면, 사고실험은 학습자가 과학적 개념과는 다른 지식을 가지고 있으며 실제 실험 결과를 확인하고도 이를 받아들이지 않는 경우에 활용하는 것이 적합하며 반론의 여지를 남기지 않고 논리적으로 학습자의 개념변화를 일으키는 효과가 있다. 반면, 컴퓨터 시뮬레이션은 시간이나 공간의 규모가 너무 작거나 커서 관찰하기 어려운 현상을 시각적으로 표현하고자 하는 경우, 여러 변인 간의 관계나 규칙성을 찾고자 하는 경우에 효과적으로 활용될 수 있다.

2. 개념변화 학습을 활용한 사고실험 교수 학습자료 개발

이번 장에서는 사고실험의 과학 수업에의 활용 가능성을 탐색하기 위해 사고실험을 활용한 수업 자료를 개발한다. 앞서 3장에서 정리한 바와 같이 사고실험은 그 목적에 따라 파괴적 사고실험, 매개적 사고실험, 추측적 사고실험, 직접적 사고실험 등으로 분류할 수 있다. 이 중 파괴적 사고실험은 기존 이론을 반박하기 위해 사고실험을 통해 모순점을 지적하여 기존 이론을 폐기하는 목적을 가지고 있다. 이를 과학 수업에 적용하면 잘못된 지식 체계를 가지고 있는 학습자로 하여금 가지고 있는 지식의 문제점을 인식시키고 새로운 개념의 필요성을 인지하도록 하는데 파괴적 사고실험을 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 이번 절에서는 드라이버의 개념변화 학습을 활용한 사고실험 학습자료를 개발한다. 이에 따라 본 연구에서는 과학 교과 내용 체계 중 ‘파동과 빛’의 ‘광원에 따른 물체의 색’에 관한 내용을 주제로 한 개념변화 학습자료를

제안한다.

‘광원에 따른 물체의 색’을 개념변화 학습 주제로 선정된 이유는 다음과 같이 두 가지로 정리할 수 있다. 첫째, 학생의 물리 오개념 지도(송진웅 외, 2004)에 따르면 ‘초록빛 광원 아래 놓인 빨간 사과가 어떤 색으로 보일까?’라는 질문에 대해 ‘검게 보인다’라는 과학적 개념을 선택한 비율이 중학교 1학년 학생의 경우 55%, 중학교 3학년 학생의 경우 26%, 고등학교 2학년의 경우 70%, 과학고 1,2학년 학생의 경우 84%로 해당 내용이 중학교 1학년 ‘6. 빛과 파동’ 단원에 있음에도 중학생들이 과학적 개념을 선택한 비율이 중1, 중3 각각 55%, 26%로 평균을 내면 절반에 미치지 못한다는 부분에서 해당 내용에 대해 오개념을 가진 학습자가 많을 것으로 예상되기 때문이다. 또한 ‘기타’를 선택한 학생을 제외하면 중학교 1학년, 고등학교 2학년, 과학고 학생들은 모두 ‘보라색으로 보인다.’라는 오개념을 가장 많이 선택한 것으로 보아 학생들이 빛과 색의 합성을 혼동하여 인지하고 있을 것으로 예상된다. 송진웅 외(2004)의 연구에서 제시한 초록색 빛이 단색 파장의 빛인지 합성파의 빛인지를 명시하지 않은 부분은 모호함이 있으며 제시한 과학적 개념이 ‘검게 보인다.’라는 점을 통해 해당 빛은 단색 파장의 빛임을 알 수 있다. 사고실험의 특성 중 단순화를 고려해 본 연구에서 제시하는 사고실험에 빛이 단색 파장임을 명시하지는 않겠으나, 초록빛이 빨간빛 파장과 파란빛 파장의 합성파인 경우 빨간 사과는 초록빛 조명 아래서 여전히 빨간색으로 보일 수 있으므로 이런 과학적 지식은 교사가 반드시 갖추고 있어야 하며 관련 질문에 대해 대비해야 한다. 본 연구에서 개발한 학습 자료 중 수업 지도안 유의 사항에 해당 과학적 개념과 조건을 명시하여 혼란을 막을 수 있도록 하였다.



[그림 11] 초록빛 전등 아래 놓인 빨간 사과의 색에 관한 문제(송진웅 외, 2004)

<표 12> 학년별 과학적 개념 선택 비율 및 최빈 오개념(송진웅 외, 2004)

학년	과학적 개념 선택 비율	최빈 오개념
중1	55%	5(13%), 4(12%)
중3	26%	1(51%)
고2	70%	4(19%)
과학고1,2	84%	4(9%)

두 번째 이유로 실제 실험에서의 어려움이 있다. [그림 11]에서 제시한 것처럼 실제 실험을 위해서는 초록색 빛만을 내는 광원과 빨간빛만을 반사시키는

사과가 필요하다, 그러나 실제로는 빨간빛 외 아무런 빛도 반사시키지 않는 사과를 찾기는 불가능하며 이런 경우 빨간 사과라 할지라도 학생이 관찰할 때는 초록색 광원 아래서 완전히 검게 보이지 않을 가능성이 존재한다. 과학적 개념인 ‘검게 보인다.’와 달리 다른 색이 관찰되면 과학적 개념만으로 현상을 설명하는데 어려움이 있어, Posner et al.(1982)의 개념변화 조건 중 ‘새로운 개념이 기존 개념으로 설명 불가능한 현상을 설명할 수 있을 것이라는 기대’를 충족시키지 못하기 때문에 과학적 개념을 받아들이지 않을 가능성이 있다. 따라서, 완벽히 통제된 상황을 통해 학생들의 개념변화 조건을 만족시키기 위해서 사고실험을 활용하기에 적합한 주제로 판단할 수 있다.

학생의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위해서는 학생이 가지고 있는 오개념과 올바른 과학적 개념을 파악할 필요가 있으며 [그림 11]에서 제시한 상황에 대한 과학적 개념과 예상되는 학생의 오개념은 <표 13>과 같다.

<표 13> 과학적 개념과 예상되는 오개념

과학적 개념1	물체에 반사된 빛이 눈에 들어오면 색을 인지한다.
과학적 개념2	물체에 반사된 빛은 광원으로부터 나온다.
과학적 개념3	빛의 삼원색은 빨강, 초록, 파랑이다.
예상 오개념1	사과는 빨간색 이라는 고유의 색을 가지고 있다.
예상 오개념2	광원에서 나온 빛과 사과의 색이 합성된다.

<표 13>과 같은 학생의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위해 드라이버의 개념변화 모형에 기반한 사고실험 학습을 제안한다. 드라이버의 개념변화 학습모형은 크게 ‘생각의 표현’, ‘생각의 재구성’, ‘생각의 응용’, ‘생각의 변화 검토’의 네 단계로 나눌 수 있으며 ‘생각의 재구성’은 다시 ‘명료화와 교환’, ‘상충된 상황에 노출’, ‘새로운 생각의 구성’, ‘새로운 생각의 평가’의 세부 단계로 나누어 볼 수 있다. 사고실험은 생각의 재구성 단계에서 상충된 상황에 노출 단계부터 새로운 생각의 구성 단계에서 활용될 수 있으며 사고실험을 활용한

만큼 새로운 생각의 평가뿐 아니라 사고실험에 대한 평가도 실시할 필요가 있다. 기존 생각과 변화된 생각을 비교 검토하기 위해서는 기존의 생각을 기록해둘 필요가 있으므로 학습지나 유인물을 활용하는 것이 학습 효과를 극대화하기에 적합하다.

드라이버의 개념변화 모형에 근거한 사고실험 활용 수업을 <표 14>와 같이 제안한다.

<표 14> 사고실험을 활용한 개념변화 학습의 단계별 내용

단계	교수학습 내용
생각의 표현	문제를 제시하고 학생의 생각을 글로 기록하도록 안내
생각의 재구성	모둠별 토론과 발표를 통한 학생들 간의 생각 교환
	사고실험 수행을 통한 인지갈등 유발
	사고실험 수행 및 과학적 개념 제시
	사고실험 평가 및 과학적 개념의 평가
생각의 응용	새로운 문제 제시 및 과학적 개념을 통한 해결
생각의 변화 검토	기존 생각과 변화된 생각의 비교

생각의 표현 단계에서 교사는 [그림 11]의 문제 상황을 제시하고 학생들이 각자의 학습지에 자신의 생각과 그렇게 생각한 이유를 작성할 수 있도록 안내한다. 학생들의 처음 생각을 기록하는 과정을 통해 추후 생각의 변화 검토 단계에서 학생들의 기존 생각과 변화된 생각을 비교할 수 있으며 두 생각 간에 어떤 차이가 있는지도 명확히 할 수 있다. 학생들이 각자의 생각을 기록하고 나면, 명료화와 교환 단계에서는 모둠별로 학생들이 서로의 생각과 그렇게 생각한 이유에 대해 설명하고 다른 생각과 자신의 생각을 비교할 수 있는 기회를 제공한다. 조별 토의 시간 후에는 발표를 통해 전체 학생들이 다양한 생각들을 확인할 수 있도록 한다. 이 과정에서 생각이 변하는 학생들도 있을 수 있으며 자신의 생각을 설명하고 그렇게 생각한 근거를 바탕으로 상대를 설득하는

과정을 통해 핵심역량인 의사소통 역량이 신장될 수 있다. 다음으로 ‘상충된 상황에 노출’과 ‘새로운 생각의 구성’ 단계에서는 <표 15>의 사고실험을 제시하여 학생들에게 인지 갈등을 유발하고 과학적 개념을 제시한다. <표 15>의 4~9 과정에서 학생은 인지 갈등을 경험하게 될 것이다.

<표 15> 초록빛 조명 아래 놓인 빨간 사과에 관한 사고실험

1. 물체를 본다는 것은 물체에서 반사된 빛이 눈으로 들어왔기 때문이다.
2. 사과가 빨간색으로 보이는 것은 사과가 빨간빛을 반사해 빨간빛이 우리 눈으로 들어왔기 때문이다.
3. 사과에서 반사되는 빛은 광원인 조명에서 나온 것이다. 즉, 조명에서 나온 빛이 사과에 반사되어 우리 눈에 들어온다.
4. 조명에서 빨간빛이 나오지 않았다면 사과에서 빨간빛이 반사될 수 있을까?
5. 조명에서 빨간빛이 나오지 않았다면 사과는 빨간빛을 반사 시킬 수 없다.
6. 빛의 삼원색은 빨강, 초록, 파랑이다.
7. 초록빛에는 빨간빛이 포함되어 있지 않다.
8. 따라서 초록빛 조명 아래 사과에서는 빨간빛이 반사될 수 없으며, 사과는 초록빛을 반사 시키지 않기 때문에 사과에서는 어떤 색의 빛도 반사되지 않는다.
9. 아무 빛도 반사 시키지 못한 사과는 검게 보인다.

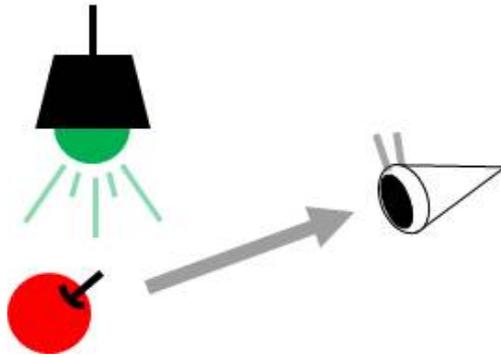
물체를 본다는 것이 물체에서 반사된 빛이 우리 눈으로 들어온다는 사실은 중학교 1학년 ‘빛과 파동’ 단원에서 ‘빛의 합성’을 학습하기 전 ‘물체를 보는 과정’에 대해 먼저 학습하기 때문에 학생들이 갖고 있는 과학적 개념으로 판단하였다. 한편, 학생들은 사고실험을 통해 사과에서 반사된 빛은 광원으로부터 왔다는 과학적 개념을 인지할 수 있으며 광원에서 나오지 않은 빛은 물체에서 반사될 수 없으며 물체는 광원에서 나온 빛 중 물체의 색에 해당하는 빛만을 반사시킨다는 지식을 습득하게 된다. 새로운 생각의 평가 단계에서는 학생들이 사고실험의 과정을 되돌아보며 논리적 결함이나 문제점은 없는지 스스로 검토할 수 있도록 한다. 이 과정에서 비판적 사고력을 기를

수 있을 것으로 기대된다. 생각의 응용 단계에서는 ‘파란빛 전등 아래에 있는 초록색 나뭇잎은 무슨 색으로 보일까?’, ‘빨간빛 전등 아래에 있는 노란색 바나나는 무슨 색으로 보일까?’ 등 새로 습득한 과학적 개념을 통해 해결할 수 있는 또 다른 문제 상황들을 제시해 학생들이 과학적 개념의 유용성을 인식할 수 있도록 유도한다. 마지막 생각의 변화 검토 단계에서는 생각의 표현 단계에서 작성했던 학생 자신의 처음 생각과 나중 생각을 비교하고 생각이 바뀌었다면 왜 바뀌게 되었는지 설명하는 글을 작성하도록 한다. 개발한 사고실험을 수업에 활용하기 위해 [그림 12]과 [그림 13]과 같이 학생 활동지를 개발하였으며 빛의 합성과 물체의 색에 관한 학생들의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키는 수업에 이를 활용할 수 있을 것이다. 각 활동지는 빛과 파동 단원 개념변화 사고실험 학습 활동지 1과 2로 명명하였으며 생각의 변화 검토를 통한 메타인지 활성화 효과를 극대화하기 위해 활동지는 수업 과정 단계에 따라 순서대로 제시한다. 이는 학생들이 활동지 2에 제시된 사고실험을 통해 답을 추측하고 자신의 기존 생각을 대체해 추측한 답을 작성하는 것을 예방하기 위한 조치로 기존 지식에 대한 불만족을 통한 인지갈등을 제공하기 위한 목적도 있다. 먼저 활동지 1의 <생각해보기>를 통해 초록빛 단색광 조명 아래 있는 빨간 사과가 어떤 색으로 보일지 문제 상황을 제시하고 이에 대한 생각과 이유를 반드시 활동지에 기록할 수 있도록 한다. 다음으로 <생각 나누기> 단계는 드라이버의 개념변화 모형에서 새로운 생각의 구성 단계 중 명료화와 교환 단계로 앞서 작성한 자신의 생각을 조원들과 공유하고 각자의 생각에 대해 장점을 평가할 수 있도록 안내한다. 조별 활동은 5~10분 정도의 시간을 제공하고 활동이 마무리 되면 교실 내 학생들이 전체 의견을 공유할 수 있도록 조별로 간단하게 발표하는 시간을 갖는다. 이때 의견 교환 과정을 통해 자신의 생각에 어떤 변화가 있었는지 생각해보는 시간을 제공하도록 한다. 이 과정에서 오개념을 가진 학생이 있는지 파악하고 사고실험을 수행하는 <생각실험> 활동으로 넘어간다. 여기서는 앞서 제시한 사고실험을 수행하되, 인지적 투명성을 위해 학생이 스스로 다음 장면을 생각할 수 있도록 안내된 질문에 학생들이 답하는 형식으로 사고실험을 진행한다. <과학적 생각> 활동에서는 사고실험에서 발생한 인지 갈등을 해소할 수 있는 과학적 개념을 제공하고 이를 적용할 수 있는 다른 문제상황도 제시한다. 마지막으로 <생각의 변화 검토> 활동을 통해 처음 생각과 어떤 점이 왜 변했는지 학생 스스로 생각의 변화를 비교해볼 수 있도록 유도한다.

2. 다양하게 보이는 색

___반 ___번 이름 _____

<생각해보기>



[상황] 캄캄한 밤, 빨간 사과가 초록색 조명 아래에 놓여 있다.

[물음] 이 사과는 무슨 색으로 보일까?

내 생각과 그렇게 생각한 이유를 적어봅시다.

사과의 색	
이유	

<생각 나누기>

1. 조원들과 서로의 생각을 말하고 각자의 생각에는 어떤 장점이 있는지 적어봅시다.

이름	생각의 장점

2. 생각에 변화가 있었나요?

[그림 12] 빛과 파동 단위 개념변화 사고실험 학습 활동지 1

2. 다양하게 보이는 색

___반 ___번 이름 _____

<생각실험>

1. 물체는 어떻게 볼 수 있을까?
2. 물체가 빨간색으로 보이는 이유는 무엇일까?
3. 사과에서 반사된 빛은 어디에서 왔을까?
4. 조명에서 빨간빛이 나오지 않았다면 사과에서 빨간빛이 반사될 수 있을까?
5. 빛의 삼원색은 빨강, 초록, 파랑이다. 그렇다면 초록빛에는 빨간빛이 포함되어 있을까?
6. 초록빛 조명 아래 빨간 사과는 무슨 색으로 보일까?

<과학적 생각>

생각실험을 통해 우리가 얻은 과학적 생각을 정리해보자.

과학적 생각 1	
과학적 생각 2	

과학적 생각을 다음 상황에 적용해보자.

상황 1	파란빛 조명 아래 초록색 나뭇잎은 무슨 색으로 보일까?
상황 2	빨간빛 조명 아래 초록색 나뭇잎은 무슨 색으로 보일까?

<생각 변화 검토하기>

<생각해보기> 단계에서의 생각과 지금의 생각을 비교해봅시다.
어떤 점이 변했나요? 변화하게 된 이유는 무엇인가요?

[그림 13] 빛과 파동 단원 개념변화 사고실험 학습 활동지 2

단원	대단원	VI. 빛과 파동	교과서	
	중단원	1. 빛	수업 시간	45분
	소단원	2. 다양하게 보이는 색	차시	3/15
학습목표		여러 종류의 조명 아래서 물체가 어떤 색으로 보일지 설명할 수 있다.		

<교수-학습 과정>

학습 단계	학습 과정	교수-학습 활동	자료 및 유의 사항
도입 (5분)	이전 차시 확인	◎ 빛의 삼원색과 빛의 합성 개념을 확인한다.	교과서, 활동지 1
	학습 목표 제시	◎ 학습 목표를 확인한다.	
	문제 제시	◎ 활동지 1을 통해 초록빛 아래 빨간 사과는 어떤 색으로 보일지, 문제 상황을 제시한다.	
전개 (35분)	생각의 표현	◎ 생각해보기 - 학생들이 문제 상황에 대한 자기 생각을 활동지에 기록하도록 한다. - 기록할 때 그렇게 생각한 이유도 함께 작성하도록 한다. ◎ 생각 나누기 - 조별 토의 활동을 통해 서로의 생각을 공유하도록 한다. - 서로 다른 생각이 있는 경우 다른 친구 생각의 장점을 찾아보고 이를 활동지에 작성한다. - 조별 토의 후 조별로 전체 학생들에게 발표하도록 하여 모든 학생이 다양한 생각을 공유할 수 있도록 한다. - 이 과정에서 변화된 생각이 있는지 스스로 생각해 볼 시간을 제공한다.	활동지 1, 2 - 필요한 경우 제시된 문제 상황에서 조명 빛은 단색광임을 설명한다. - 사고실험 과정에서 질문의 답을 찾지 못하는 경우 전차시 학습 내용을 상기시킨다.
	생각의 재구성	◎ 사고실험 - 문제 상황에 관한 사고실험을 수행한다. - 사고실험을 수행할 때도 기존 지식을 활용해 스스로 생각해 볼 수 있도록 단계별 질문을 통해 진행한다. <사고실험> 1. 물체는 어떻게 볼 수 있을까? - 물체에서 반사된 빛이 눈으로 들어왔기 때문이다. 2. 물체가 빨간색으로 보이는 이유는 무엇일까? - 사과가 빨간빛만 반사해 빨간빛이 우리 눈으로 들어왔기 때문이다. 3. 사과에서 반사된 빛은 어디에서 왔을까? - 광원인 조명에서 나온 빛이 사과에서 반사된 것이다. 4. 조명에서 빨간빛이 나오지 않았다면 사과에서 빨간빛이 반사될 수 있었을까? - 반사될 수 없었을 것이다. 5. 빛의 삼원색은 빨강, 초록, 파랑이다. 그렇다면, 초록빛에는 빨간 빛이 포함되어 있을까? - 포함되어 있지 않다. 6. 초록빛 조명 아래 빨간 사과는 무슨 색으로 보일까? - 초록빛에는 빨간빛이 포함되어 있지 않으므로 사과에서 빨간빛이 반사되지 않아 검게 보일 것이다. ◎ 과학적 생각 - 사고실험을 통해 갖게 된 과학적 개념을 정리한다. - 학생 스스로 생각할 시간을 제공하고 교사와 함께 정리하도록 한다.	

		<ul style="list-style-type: none"> - 사고실험에 문제점은 없었는지 그 과정을 비판적으로 검토하도록 유도한다. <p><과학적 개념></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 물체가 보이는 것은 광원에서 온 빛이 반사되었기 때문이다. 2. 물체는 자신의 색에 해당하는 빛만 반사 시킨다. 	
	생각의 응용	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 생각의 재구성 단계에서 형성한 과학적 생각(개념)을 여러 상황에 적용해 본다. <ul style="list-style-type: none"> - 파란빛 조명 아래 초록색 나뭇잎은 무슨 색으로 보일까? - 빨간빛 조명 아래 초록색 나뭇잎은 무슨 색으로 보일까? ◎ 새로운 상황에 과학적 개념을 적용할 수 있는지를 바탕으로 교사는 학생의 생각이 변화되었는지 점검한다. ◎ 적용 단계에서 수준별 문항으로 심화 문제도 제공한다. <ul style="list-style-type: none"> - 빨간빛 조명 아래 노란색 바나나는 무슨 색으로 보일까? - 노란빛 조명 아래 빨간 사과는 무슨 색으로 보일까? 	
	생각의 변화 검토	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 생각의 표현 과정의 생각해보기 활동에서 작성한 자신의 생각과 변화된 과학적 생각을 비교한다. <ul style="list-style-type: none"> - 어떤 점이 변했는지, 변하게 된 이유는 무엇인지 활동지에 작성할 수 있도록 한다. 	
정리 (5분)	형성 평가	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 물체의 색이 보이는 원리를 학생이 직접 설명하도록 한다. 	
	다음 차시 예고	<ul style="list-style-type: none"> ◎ 거울에 의한 상에 대한 차시 예고를 한다. 	

[그림 14] 빛과 파동 단위 개념변화 사고실험 수업 지도안

[그림 14]는 빛과 파동 단위 개념변화 사고실험 수업 지도안으로 각 단계에서 진행해야 할 교수-학습 활동을 기록하였으며 유의 사항에는 빛이 단색광임을 설명하도록 안내하였다.

이번 절에서 개발한 개념변화 학습자료는 학생들의 물체의 색을 인지하는 과정에 있는 학생들의 오개념을 변화시킬 목적으로 파괴적 사고실험을 활용한 학습자료이다. 완벽한 변인 통제가 어려운 실험 상황을 사고실험을 통해 접근했으며 위자료를 통해 사고실험이 과학과 교수학습에 활용될 수 있다는 가능성을 탐색했다는 데 자료 개발의 의의가 있다.

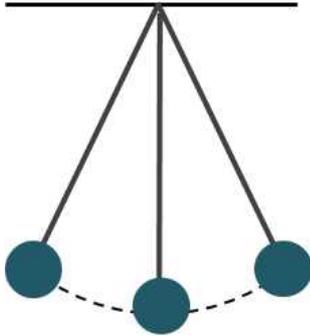
3. 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 교수 학습자료 개발

사고실험과 마찬가지로 컴퓨터 시뮬레이션도 실제 시스템에서 구축하기 어려운 환경에 대해 실험을 진행하기에 적합하다. 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션 실험 학습자료 주제로 ‘물체의 진자 운동’을 선택하였다. 진자 운동을 주제로 선정할 이유는 종속변인인 진자의 주기에 대해 진자의 길이, 추의 질량, 중력가속도 등 다양한 독립변인이 존재하며 공기저항을 완전히 제거한 실험 환경을 학교 실험실에서는 구현하기가 어렵기 때문이다. 이번 절에서 개발한 학습자료를 통한 학습 목표는 크게 단진자의 역학적 에너지 보존 확인과 시뮬레이션을 활용해 단진자 주기에 영향을 주는 요인 찾기의 두 가지로 제시하였다. 구글 검색을 통해서도 물리 시뮬레이션 모형은 쉽게 찾을 수 있으므로 본 연구에서는 단진자 운동 시뮬레이션을 별도로 제작하지는 않았으나 이를 활용할 수 있도록 학습 활동지와 수업 지도안을 개발하였다. 학습 활동지는 [그림 15], [그림 16]과 같이 두 장으로 구성하였으며 [그림 15]의 학습 활동지 1은 전 차시에 학습한 포물선 운동에서의 에너지 보존을 바탕으로 단진자의 역학적 에너지 보존에 대해 설명하는 개념설명 활동이 제시된다. 교사는 단진자에서 역학적 에너지가 보존됨을 설명하고 학생들이 최고점과 최저점에서의 역학적 에너지를 직접 작성해보도록 안내한다. 다음으로 역학적 에너지 보존 법칙을 이용해 최고점의 높이와 최저점에서 물체의 속력 사이 관계식을 유도한다. [그림 15]와 [그림 16]에 거쳐 <단진자 시뮬레이션>과 <단진자 주기에 영향을 주는 요인 찾기> 활동에서는 교사가 단진자 시뮬레이션을 사용법을 안내하고 학생들이 직접 시뮬레이션을 실행하면서 ‘물체의 질량’, ‘실의 길이’, ‘중력가속도’와 ‘진자의 주기’ 사이 관계를 찾을 수 있도록 한다. 처음에는 스스로 실험을 설계하고 시뮬레이션을 수행하도록 하며 추가로 시뮬레이션 활동을 할 때는 하나의 변인만을 조작하고 나머지 변인을 통제하여 독립변인과 종속변인 사이 관계를 찾기 위한 통제 실험을 수행할 수 있도록 교사가 안내한다. 시뮬레이션 결과 데이터를 시각화하는 작업도 중요한 역량이므로 직접 그린 그래프를 바탕으로 독립변인과 종속변인 사이 관계를 유추할 수 있도록 유도한다. 마지막으로 단진자의 접선 방향 힘, 단진동 주기 개념을 바탕으로 단진자 주기 공식을 유도해 직접 찾아낸 관계식과 비교하도록 한다.

2. 역학적 에너지 보존

___반 ___번 이름 _____

<단진자와 역학적 에너지 보존>



실에 물체를 매달고 실을 연직 방향화 θ 각도만큼 잡아당겼다 놓았을 때, 중력에 의해 반지름이 실의 길이와 같은 원을 따라 물체가 왕복운동 하는 것을 단진자 운동이라고 한다.

1. 질량 m 인 물체를 θ 각도에서 놓는 순간의 최저점으로부터 높이를 h 라고 하고, 최저점에서 물체의 속력을 v 라 할 때, 최고점과 최저점의 역학적 에너지를 적어보자.

최고점	
최저점	

2. 역학적 에너지 보존 법칙을 이용해 v 와 h 사이 관계식을 유도해보자.

<단진자 시뮬레이션>

1. 단진자 시뮬레이션을 통해 역학적 에너지가 보존되는지 확인해보자.
2. 단진자 시뮬레이션에서 ‘물체의 질량 m ’, ‘실의 길이 l ’, ‘중력가속도 g ’를 조작하며 단진자 주기 T 가 어떻게 되는지 활동지에 기록해 보자.

[그림 15] 단진자 시뮬레이션 학습 활동지 1

단원	대단원	1. 역학적 상호작용	교과서	
	중단원	3. 일과 에너지	수업 시간	100분(연차시 수업)
	소단원	2. 역학적 에너지 보존	차시	
학습목표		1. 단진자의 역학적 에너지가 보존됨을 알 수 있다. 2. 시뮬레이션을 통해 단진자 주기에 영향을 주는 요인을 찾을 수 있다.		

<교수-학습 과정>

학습 단계	학습 과정	교수-학습 활동	자료 및 유의 사항
도입 (5분)	이전 차시 확인	◎ 포물선 운동에서의 역학적 에너지 보존을 확인한다.	
	차시 열기	◎ 포물선 운동 외 2차원 운동에는 어떤 운동이 있을지 질문한다.	
	학습 목표 제시	◎ 학습 목표를 확인한다.	
전개 (90분)	개념 확인	◎ 단진자 운동에서 역학적 에너지 보존 - 포물선 운동에서 역학적 에너지 보존 학습을 바탕으로 단진자 운동에서 역학적 에너지 보존을 설명한다. - 단진자의 최고점과 최저점에서 역학적 에너지를 학생들이 적어보도록 한다. - 역학적 에너지 보존 법칙을 바탕으로 최저점에서의 속력과 최고점의 높이 사이 관계식을 찾아본다.	- 최고점, 최저점 외 물체의 역학적 에너지 일반식을 먼저 작성하도록 유도한다.
	시뮬레이션 및 규칙성 발견	◎ 시뮬레이션 - 단진자 운동 시뮬레이션을 제공하고 이용 방법을 설명한다. - ‘물체의 질량’, ‘실의 길이’, ‘중력가속도’ 등 독립변인을 조작하며 단진자 주기가 어떻게 변하는지 활동지에 기록하도록 한다.	- 하나의 독립변인에 대해 10회 이상 조작하도록 하며 필요한 경우 활동지 뒷면에 기록하도록 한다.
		◎ 규칙성 찾기 - 활동지에 기록한 내용을 바탕으로 단진자 주기에 영향을 주는 독립변인을 적어보도록 한다. - 각 독립변인과 단진자 주기 사이 관계 식을 찾을 수 있도록 한다.	
		◎ 추가 시뮬레이션 - 두 개의 독립변인은 통제하고 하나의 독립변인 만 10회씩 바꾸어가며 시뮬레이션하고 그 결과를 표에 기록하도록 한다.	
개념 확인	◎ 단진자의 복원력을 이용해 단진자 주기 공식을 설명한다.	- 처음엔 자유롭게 조작해보도록 하고 추가 시뮬레이션 과정에서는 안내된 실험을 수행할 수 있도록 한다.	
정리 (5분)	학습 내용 정리	◎ 학습한 내용을 정리한다.	
	다음 차시 예고	◎ 열과 일에 대한 차시 예고를 한다.	

[그림 17] 단진자 시뮬레이션 수업 지도안

[그림 16]은 앞서 제시한 단진자 시뮬레이션을 활용한 수업 지도안이다. 수업 지도안에서는 추가 시뮬레이션 활동을 1회 제시하였으나 학습자의 수준에 따라 각 독립 변인 값 조작을 안내하는 단계를 추가해 시뮬레이션 과정을 여러 차례로 나누어 수행할 수도 있다.

한편, 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 활용한 수업은 사전 활동과 발견학습 과정으로 나누어 <표 16>과 같이 변형하여 진행할 수도 있다. 사전 학습 과정에는 ‘문제 상황 제시’, ‘이론적 배경 학습’, ‘모델링’ 단계가 포함되며, 발견학습 과정에는 ‘시뮬레이션’, ‘규칙성 발견 및 개념정리’, ‘적용 및 응용’ 단계가 포함된다. 이처럼 사전 학습 단계에 ‘모델링’이 포함된 경우 모델링에 시간이 오래 소요될 수 있으며 교사와 학생 모두가 프로그래밍 또는 시뮬레이션 틀에 대한 활용 능력을 갖추고 있어야 한다.

<표 16> 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 활용한 학습의 단계별 내용

과정	단계	교수학습 내용
사전 학습	문제 상황 제시	단진자 운동 분석이라는 문제 상황 제시
	이론적 배경 학습	단진자 운동하는 물체의 자유 물체도를 그리고 운동방정식 통해 진자의 주기를 구하는 학습 진행
	모델링	이론적 배경을 바탕으로 시뮬레이션을 위한 모델 제작
발견 학습	시뮬레이션	제작한 모델로 시뮬레이션을 수행하고 데이터 수집
	규칙성 발견 및 개념정리	수집한 데이터를 바탕으로 단진자 주기에 영향을 미치는 변인 분석, 규칙 탐색
	적용 및 응용	발견한 규칙을 이론과 비교하고 실제 실험에 적용

이번 절에서는 단진자 운동을 주제로 시뮬레이션을 활용한 학습자료를 개발하였다. 본 연구는 과학과 수업에 활용되는 발견학습 모형에서 규칙을 찾는 과정에 시뮬레이션을 활용하는 방식으로 과학 수업에 활용할 수 있는 시뮬레이션 활용 학습자료를 개발했다는 데 의의가 있다.

VI. 결론 및 제언

본 연구에서는 국내외 선행연구를 바탕으로 사고실험과 시뮬레이션의 용어를 정리하고 사고실험과 시뮬레이션, 컴퓨터 시뮬레이션의 관계를 규명하였으며, 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 특성과 목적을 바탕으로 사고실험에 적합한 문제 상황, 시뮬레이션 실험에 적합한 문제 상황을 제시하였다. 또한 사고실험과 시뮬레이션 실험의 과학 수업에 활용 가능성을 탐색하기 위해 각 실험을 적용한 물리 학습자료를 개발하였다.

시뮬레이션은 시뮬레이터의 종류에 따라 인간의 인지구조를 이용하는 멘탈 시뮬레이션, 컴퓨터 프로그램을 이용하는 컴퓨터 시뮬레이션 등으로 구분할 수 있다. 시뮬레이션이란 실제 시스템의 중요 속성을 분석하고 이를 적용한 모형을 구축하는 모델링 과정, 모형을 이용해 실험을 수행하기 위해 실험을 설계하는 과정, 모델을 조작하고 실행시키는 시뮬레이션 과정의 세 단계로 크게 나눌 수 있다. 인간의 인지구조 속에서 사고 과정을 통해 시뮬레이션을 수행하는 실험을 사고실험이라고 부를 수 있다. 여러 과학자들이 정의하는 멘탈 시뮬레이션과 사고실험의 용어 정의는 다양하지만 이를 종합해 보면 기존 이론의 반증 또는 새로운 이론을 뒷받침하기 위한 근거 제시에 목적이 있으며 체계적이고 논리적으로 설계되어 수행되는 시뮬레이션 실험의 경우 사고실험으로 분류할 수 있다. 정리하면, 시뮬레이션 범주 안에 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션이 있으며 시뮬레이션을 이용한 실험 또한 체계를 갖추고 이론을 검증하거나 반증, 변인 간 관계를 찾기 위한 목적을 가지고 체계적으로 수행한다.

사고실험은 목적에 따라 파괴적 사고실험, 건설적 사고실험, 플라토닉 사고실험의 3가지 유형으로 분류할 수 있으며, 건설적 사고실험은 다시 직접적 사고실험, 추측적 사고실험, 매개적 사고실험으로 나눌 수 있다. 각 사고실험의 목적은 기존 이론의 반증, 문제가 확인되지 않은 상황에서 가정한 이론 점검, 확인된 현상을 설명하기 위한 이론 확립, 정제된 이론으로부터 결론 도출 등에 있다. 따라서 파괴적 사고실험은 기존의 잘못된 개념을 수정해야하는 문제 상황에

적합하며 건설적 사고실험은 자신의 이론을 점검하거나 이론을 바탕으로 결론을 도출해야 하는 문제 상황에 적합하다.

반면, 컴퓨터 시뮬레이션은 시간 가속 또는 감속, 공간 척도의 축소 또는 확대를 통해 컴퓨터 프로그램에 구현할 수 있다는 점이 가장 두드러진 특징이며 짧은 시간에 많은 양의 데이터를 수집하고 분석할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 컴퓨터 시뮬레이션 실험은 생물의 진화와 같이 장기간에 걸쳐 일어나는 현상을 분석하거나 방사성 원소 붕괴와 같이 매우 짧은 시간동안 일어나는 현상을 시각적으로 표현하는 문제 상황에 적합하다. 또한, 공간적 측면에서 보면 천체 현상과 같이 큰 규모의 공간에서 일어나는 현상에 관한 관찰 및 분석이나 원자 내에서 발생하는 현상에 대한 시각화 문제 상황에도 적합하며 측정하여 분석해야 할 물리량이 많은 경우 대량의 데이터를 통하여 새로운 통찰을 얻는데도 유리하다.

본 연구에서는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 실험에 적합한 문제 상황을 바탕으로 각 실험을 활용한 수업 자료를 개발하였다. 송진웅의 물리 오개념 지도를 바탕으로 학생이 오개념을 가지고 있을 것으로 예상되는 학습 주제에 대해 개념 변화 학습을 활용한 파괴적 사고실험을 고안하고 물리 수업에서의 활용 가능성을 탐색하기 위해, 연구에서 고안한 사고실험을 활용한 중학교 1학년 빛과 파동 단원의 학습 자료를 개발하여 수업에 활용할 수 있도록 했다는데 본 연구의 의의가 있다.

또한, 물체의 운동 중 단진자에 관한 내용에서 단진자의 주기에 영향을 미치는 요인을 분석하기 위한 수업에 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 학습 자료를 개발하였다. 시뮬레이션을 활용해 단진자 운동하는 물체의 질량, 실의 길이, 중력가속도와 진자의 주기 사이 관계를 찾아내는 수업을 시도할 수 있을 것으로 기대된다. 본 연구는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 실험의 목적과 장점을 바탕으로 과학 수업에의 활용 가능성을 탐색했다는데 그 의의가 있다.

본 연구를 바탕으로 다음과 같은 향후 연구 주제를 제안한다. 먼저, 개발한 수업 자료의 활용 및 적용 결과 분석에 관한 연구를 추가로 진행할 수 있다. 본 연구에서 개발한 수업 자료를 수업에 직접 적용하지 못했다는 한계를 보완하고 개발한 자료의 효과를 확인하기 위해 수업 자료를 파동과 빛 단원의 개념변화 수업에 적용하고 그 결과 학생들의 개념변화 효과에 관한 분석 연구를 진행할 수

있을 것이다. 다음으로 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 다양한 상황에 적용하는 연구를 향후 연구 주제로 제시한다. 본 연구에서는 사고실험과 컴퓨터 시뮬레이션 실험을 적용하기에 적합한 문제 상황을 분석하여 정리하였으므로 이를 바탕으로 수업 주제에 따른 다양한 상황에 두 실험을 적용한 수업 자료를 개발하여 추가적인 활용 가능성을 탐색할 수 있다. 마지막으로 사고실험과 시뮬레이션 실험을 활용한 수업모형 개발에 관한 향후 연구 주제를 제안한다. 본 연구에서 제안한 사고실험 활용 수업은 ‘사고실험의 평가’ 단계가 있다는 점에서 드라이버의 개념변화 학습모형과 구분되는 차이점이 있다. 이를 바탕으로 향후 연구를 통해 파괴적 사고실험을 활용한 개념변화 학습모형 개발, 건설적 사고실험을 활용한 발생학습 등 다양한 수업모형을 개발할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 수업도 ‘모델링’과 ‘시뮬레이션 제작’ 과정이 있다는 점에서 기존 발견학습과는 차이점이 있으므로 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 새로운 수업모형을 개발할 수 있는 가능성을 열었다는 점에 본 연구의 가치가 있다. 본 연구의 내용을 바탕으로 위와 같은 추가 연구를 수행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 강남화, 최호명, 최원석, 임성민, 강태욱, 김익수(2017). *고등학교 물리학 I*, 서울:천재교육, p.21.
- 고민석(2014). 공기 이동에 관한 사고실험에서 나타나는 멘탈 시뮬레이션 분석, 한국교원대학교 대학원 박사학위논문.
- 고민석, 양일호(2014). 예측의 문제 상황에 대한 멘탈 시뮬레이션에서 나타난 심상 시뮬레이션의 역할과 전략 분석, *한국과학교육학회지*, 34(3), pp.247-260.
- 김동렬(2009). Driver의 개념변화 학습 모형을 적용한 수업이 고등학생들의 식물의 광합성과 호흡의 오개념 교정에 미치는 효과, *한국과학교육학회지*, 29(5), pp.712-729.
- 김성원, 강순민, 김규태, 남정희, 손정주, 오문섭, 윤소영, 윤현정, 임재향, 장정은, 장훈휘, 전상학(2017). *고등학교 과학탐구실험*, 서울:지학사.
- 김성진, 안형수, 박가영, 최미화, 서인호, 한문정, 김혜경, 오현선, 구향모, 강희정, 김대준, 이진우, 류형근, 문무현, 이인순(2017). *고등학교 과학탐구실험*, 서울:Miraen.
- 김신곤(2008). 구성주의에 근거한 유아의 과학적 개념 변화 교수모형 개발, *한국영유아보육학회*, 52, pp.1-19.
- 김영실, 백두권(1995). 이산사건 모델링과 시뮬레이션, *정보과학회지*, 13(4), pp.6-19.
- 김희경, 송진웅(2004). 학생의 논변활동을 강조한 개방적 과학탐구활동 모형의 탐색, *한국과학교육학회지*, 24(6), pp.1216-1234.
- 나상태, 김자희, 정민호, 안주언(2016). 토픽 모델링을 이용한 시뮬레이션 연구 동향 분석, *한국시뮬레이션학회*.
- 마르틴 코헨(2007). *비트겐슈타인의 딱정벌레*, 파주:서광사.
- 마티아스 템플(2019). *R 시뮬레이션*, 서울:에이콘.
- 박우석, 김혜련(1999). 사고실험의 논리, *철학*, 58, pp.305-329.

- 박종원, 서정아, 정병훈, 박승재(1994). 힘과 운동 개념 변화를 위한 연역 논리 과제에 대한 중학생의 반응 분석, 한국과학교육학회지, 14(2), pp.133-142.
- 박종원(1998). 과학활동에서 연역적 사고의 역할, 한국과학교육학회지, 18(1), pp.1-17.
- 박종원, 오희균, 김두현(1999). 새로운 과학 교육 프로그램의 개발과 평가 I - 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 물리 탐구 실험 연수를 중심으로, 한국과학교육학회지, 19(4), pp.653-664.
- 박준형, 송진웅(2017). 열 현상에 대한 초등학생들의 문제해결 과정에서 나타나는 직관적 사고의 특징-발현의 맥락 및 논리적 사고와의 관계를 중심으로, 한국과학교육학회지, 37(3), pp.523-537.
- 박지연, 이경호(2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(mental model)까지. 한국과학교육학회지, 24(3), pp.621-637.
- 변정호, 이준기, 권용주(2009). 과학교육에서 제시하는 과학적 관찰의 의미와 과정에 대한 분석, 한국과학교육학회지, 29(5), pp.531-540.
- 송진웅(2003). 구성주의적 과학교육과 학생의 물리 誤概念 地圖, 수학교육, 42(2), pp.87-109.
- 송진웅, 김익균, 김영민, 권성기, 오원근, 박종원(2004). 학생의 물리 오개념 지도, 서울:북스힐.
- 신바 유타카(2016). 두뇌는 최강의 실험실, 서울:클레마(Clema).
- 안보미, 정도성(2017). 브루너의 발견학습 모형을 활용한 모바일 UI/UX 디자인 교육에 관한 연구; 초등학교 방과 후 학교 중심으로, 산업디자인학회, 11(4), pp.103-114.
- 윤성규, 김창만, 박양희(2007). 생물 오개념 연구와 지도, 서울:월드사이언스.
- 이봉우, 조현국, 강동승, 김희경, 지영래, 하상우, 최우석, 유수정, 김예진(2020). 과제연구 지도 가이드북(R&E Guide book), 한국과학창의재단.
- 이은주(2009). 어린이를 위한 철학 교육의 가능 근거-피아제의 인지 발달 이론 비판을 중심으로-, 동서철학연구, 51, pp.347-371.
- 이철구, 광명철, 장은경, 이원근(2018). 과학탐구보고서 소논문 쓰기, 서울:상상아카데미.

- 이호영, 최훈(2017). 이로운 사고 실험과 해로운 사고 실험, *범한철학*, 87, pp.31-64.
- 정수인(2001). 갈릴레오 자유낙하 사고실험에 대한 중학생들의 사고과정 분석, 전남대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 정용욱(2014). 법칙, 이론, 그리고 원리: 규범적 의미와 실제사용에서의 혼란, *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(5), pp.459-468.
- 조엘 레비(2019). 사고실험, 서울:이김.
- 황희숙(2018). 사고실험-상상의 작용과 한도에 대해, *한국철학회 철학연구*, 146, pp.307-328.
- Banks, J.(1999). Introduction to simulation, In *Proceedings of the 31st conference on Winter simulation: Simulation---a bridge to the future*-Volume 1(pp.7-13).
- Brown, J. R.(2011). *The laboratory of the mind: Thought experiments in the natural sciences*, Thames, Oxfordshire, England, UK: Routledge.
- Bruner, J. S.(1960). *The process of education*, NY: Vintage Books, 7.
- Driver, R.(1985). Changing perspectives on science lessons, *Recent advances in classroom research*.
- Gauch Jr, Hugh G., & Hugh G. Gauch(2003). *Scientific method in practice*, Cambridge University Press.
- Gilbert, J. K., & Reiner, M.(2000). Thought experiments in science education: potential and current realization, *International Journal of Science Education*, 22(3), pp.265-283.
- Guala, F.(2002). Models, simulations, and experiments. In *Model-based reasoning*; Boston, MA, USA: Springer, pp.59-74.
- Ingalls, R. G.(2011). Introduction to simulation, In *Proceedings of the 2011 winter simulation conference (WSC)*(pp. 1374-1388). IEEE.
- Klassen, S.(2006). The science thought experiment: How might it be used profitably in the classroom?, *Interchange*, 37(1), pp.77-96.

- Kuhn, T.(1964). A function for thought experiments, In *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, University of Chicago Press, pp.240-265.
- Lenhard, J.(2017). Thought experiments and simulation experiments: Exploring hypothetical worlds. *The Routledge companion to thought experiments*, pp.484-497.
- Maria, A.(1997). Introduction to modeling and simulation, In *Proceedings of the 29th conference on Winter simulation*, pp. 7-13.
- Nersessian, N. J.(1991). Why do thought experiment work, In *Proceedings of the Cognitive Science Society*, 13, pp.430-438.
- Park, J., Kim, I., Kwon, S., & Song, J.(2000). An analysis of thought experiments in the history of physics and implications for physics learning, In *International Conference on Physics Education: Physics Teacher Education Beyond*, pp.347-351.
- Parker, W. S.(2009). Does matter really matter? Computer simulations, experiments, and materiality. *Synthese*, 169(3), pp.483-496.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A.(1982). Toward a theory of conceptual change. *Science education*, 66(2), pp.211-227.
- Shannon, R. E. (1975). Simulation: A survey with research suggestions. *AIIE Transactions*, 7(3), pp.289-301.
- Shinod, N. K.(2021). Why Computer Simulation Cannot Be an End of Thought Experimentation, *Journal for General Philosophy of Science*, 52(3), pp.431-453.
- Winsberg, E.(2003). Simulated experiments: Methodology for a virtual world. *Philosophy of science*, 70(1), pp. 105-125.
- Zeimbekis, J.(2011). Thought experiments and mental simulations, In *Thought Experiments in Methodological and Historical Contexts*, pp.193-215.

ABSTRACT

Development of physics teaching and learning materials using thought experiments and simulations

Experiments are an essential process in establishing scientific theories.

A scientist's theory can be recognized through the 'scientific method'. However, there are cases in which it is difficult to implement an experimental environment due to various factors such as difficulty in variable control and difficulty in implementing experimental equipment. In this case, scientists used thought experiments, such as the Schrödinger's cat experiment, to support their own claims or refute others' claims. Recently, experiment is replaced in computer simulation, in case where it is difficult to implement an experiment in the real world or in consideration of economic aspects. Especially, in the field of physics, it is suitable to use these kind of experiments because it is difficult for students to change their preconceptions.

Thought experiments and computer simulations have something in common in that they do not conduct experiments in the real world, but there are differences in the purpose of introduction and their characteristics. Overseas, studies on the effects or differences between thought experiments and computer simulations are being actively conducted, but it is difficult to find such studies in Korea.

Therefore, in this study, compare thought experiment and computer simulation and suggest situations which are suitable for each experiments. Based on this, teaching and learning materials which correct misconceptions in physics using thought experiments and teaching and learning materials which discover regularities or insights in phenomena using computer simulation were developed. It is expected to clearly recognize the difference between thought experiments and computer simulations and science teachers will be able to use each experiment at the right situation in their class, by this study.

*key word: science experiment, thought experiment, simulation