

# 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형의 효과: 고등학생의 원운동 관련 기초 개념과 정신모형의 발달 측면에서

박지연 · 이경호\*

서울대학교 물리교육과

## The Effect of 4M Learning Cycle Teaching Model based on the Integrated Mental Model Theory: Focusing on Learning Circular Motion of High School Students

Jiyeon Park · Gyoungho Lee\*

Seoul National University, Department of Physics Education

**Abstract:** Circular motion has been one of the most difficult concepts for students to understand. To facilitate for students to form scientific mental models about circular motion, this study developed 4M learning cycle teaching model based on the integrated mental model theory and strategies. For this study, fifty-three eleventh graders at a technical high school in Incheon were taught for 3 class hours. We conducted tests of basic physics concept and mental model of circular motion before, after, and two months after instruction. In results, we found that there were statistically significant improvement in the test of basic physics concept and mental model related with circular motion after instruction. Especially, this teaching model affected learning effectiveness of Correctness and Coherence of mental model.

Key words: circular motion, 4M learning cycle teaching model, the integrated mental model theory

### I. 서론

원운동은 물리학 수업에서 중요한 주제 중 하나로서, 등속 원운동에 대한 내용이 중·고등학생과 일반물리 수강생들을 대상으로 다루어지고 있다(Leff, 2002). 이같이 과학과 교육과정에서 중요시되고 있는 원운동은 곡선 도로 상의 자동차 주행, 놀이기구 등 일상생활에서도 많이 적용되는 과학개념이나 수업 후에도 학생들의 어려움이 잘 해소되지 않는다는 것이 여러 연구를 통해 보고되고 있다(박지연 등, 2006; 송진웅 등, 2004, 이경호, 2007; 이주현, 송진웅, 2006; Warren, 1971). 여러 과학교육 연구자들은 학생들이 원운동에 대해 올바른 개념을 형성하도록 시범실험, 과학사 도입 등을 시도하였으나 원운동에 대한 오개념은 쉽게 변화되지 않았다(박문주, 1995; 박지연 등, 2006; 신종호 등, 2005; 오원근, 김재우, 1997).

원운동의 과학적 이해를 위해서는 변위, 속도, 가속

도와 같은 기본적인 운동학에 대한 이해를 비롯하여 마찰력, 중력 등과 같은 힘에 관한 지식이 필요하다. 또한, 뉴턴의 운동법칙, 좌표계가 비관성계일 경우 나타나는 가상적인 힘인 관성력에 대한 이해 등 많은 개념적 지식과 고차원적 사고능력과 같은 과정적 지식이 요구되기 때문이다. 뿐만 아니라 자동차를 타고 곡선 도로를 돌 때의 경험이나 놀이기구를 탄 경험 등을 통해 형성된 잘못된 맥락적 지식과 신념 등이 학생들의 원운동 학습의 어려움을 유발시킬 수 있다. 예를 들어, 원심력은 관성 좌표계에 대해 회전 좌표계에서 볼 수 있는 가상적인 힘으로 기술되어야 함에도 불구하고 학생들은 일상생활 속에서 원심력을 직접 경험하기 때문에 이를 실제로 작용하는 힘으로 생각하는 경우가 많다. 이처럼 원운동 학습 어려움을 유발하는 원인은 단순히 “원운동하는 물체는 접선방향으로 힘이 작용한다.”와 같은 개념적 지식에 의해서만 발생하는 것이 아니라 과정적 지식, 맥락적 지식 등과 같은 다양한 지식들과 인

\*교신저자: 이경호(ghlee@snu.ac.kr)  
\*\*2008.01.28(접수) 2008.05.07(1심통과) 2008.06.08(최종통과)

식론적, 존재론적, 동기론적 신념, 행동, 환경 등 여러 가지 원인들 간의 관계 속에서 발생된다. 따라서 학생들의 원운동 학습 어려움을 해소하기 위해서는 먼저 선행연구 결과 등을 바탕으로 학생 어려움의 원인을 전체적으로 그리고 구조적으로 파악한 후 이를 해소시키기 위한 구체적인 수업전략을 선정하거나 개발할 필요가 있다. 즉, 학생들이 원운동 학습 시 겪는 어려움을 해소시키기 위해서는 과학개념만을 학생들에게 단순히 제시하는 것만으로는 부족하며 학생이 학습 시 겪는 어려움을 알아보고 이를 해소하기 위한 구체적인 전략들을 고안·적용할 수 있는 수업모형이 요구된다.

한편, 1980년 대 이후 학생들의 과학개념에 대한 오개념을 과학적인 개념으로 변화시키기 위한 수업 방법에 관한 연구가 활발히 이루어졌다(Duit, 2002). 하지만 이러한 연구들은 오개념 자체를 과학적 개념으로 변화시키는 것에만 초점을 맞출 뿐 왜 그러한 오개념이 어떻게 형성되었는지, 어떠한 원인으로 인해 물리학습에 어려움을 겪는지에 대한 이해는 부족하였다. 따라서 많은 경우 수업 후에도 학생들의 어려움이 제대로 해소되지 못하였다. 어려움을 해소하기 위해서 수업은 단순히 학생들이 가진 잘못된 생각을 과학개념으로 대체하는 것이 아니라 건전한 신념을 기반으로 환경과 학생들의 지식이 상호작용한 결과로서 과학적인 지식과 신념이 형성될 수 있는 방향으로 이루어져야 한다. 따라서 학생들이 과학학습 시 겪는 어려움을 해소시키기 위한 수업모형과 전략을 개발하기 위해서는 학생들의 다양한 어려움의 원인을 체계적으로 분석하는데 토대가 될 수 있는 통합적 정신모형 이론에 근거한 지식 신념들을 바탕으로 할 필요가 있다.

통합적 정신모형 이론(Lee et al., 2005)에 따르면 감각기억을 통해 주의(attention)를 받은 정보는 작업기억 속에서 표상되고, 이와 동시에 문제 상황과 관련된 기반 지식이 활성화되어 작업기억 속에 표상된다. 이 과정에서 메타인지, 사고전략 등의 요소들이 관련되어 최종적으로 문제 해결의 표상으로서 정신모형이 형성되게 된다. 즉, 이 이론은 학습을 선형적으로 보기보다 외부에서 제시된 학습과제 등의 환경과 같은 학생 외적 요인과 지식(개념적, 과정적, 맥락적 지식)과 신념(동기적, 인식론적, 존재론적 신념), 행동의 학생요인이 능동적으로 상호작용하는 것에 초점을 맞추고 있다. 그리고 이 이론에 근거한 지식 신념들(이경호, 2007)은 위에서 언급한 요소들을 고려하였기에 학생들이 과학 학습 시 겪는 어려움과 원인을 체계적으로 분석할 수 있는 틀을 제공함으로써 어려움 해소를 위한 교수적 시

사점을 제공한다.

이러한 맥락에서 학생들이 겪는 과학학습 어려움 해소를 위해 고안된 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형은 다음의 4단계로 구성되었다: 정신모형 평가/어려움 점검 및 반성 단계와 학습할 과학개념에 대한 정신모형을 떠올리고 한계를 느끼게 하는 정신모형 탐색 및 반성 단계, 학습할 개념에 대해 학생들의 정신모형을 과학적으로 발전시키는 정신모형 발달 단계 및 반성 단계, 학습한 개념을 확장시키는 정신모형 정교화 단계 및 반성 단계가 순환적으로 이루어진다. 학생들의 과학학습에서 발생하는 어려움을 해소하기 위해서 각 단계에서는 조사·분석된 학생들의 어려움의 원인을 지식, 신념, 행동, 환경 영역으로 분류하고 이를 해소하기 위해 선정·고안된 수업전략을 적용하도록 하였다.

본 연구에서는 4M 순환학습 수업모형이 학생들의 원운동 학습 어려움 해소에 효과가 있는지를 원운동 정신모형 변화를 통해 살펴봄으로써 개발된 수업모형과 전략의 효과를 검증하고자 하였다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 4M 순환학습 수업모형은 고등학생의 원운동 정신모형 발달에 어떤 영향을 미치는가?
2. 4M 순환학습 수업모형은 고등학생의 원운동 관련 기초 물리개념의 발달에 어떤 영향을 미치는가?

## II. 이론적 배경

### 1. 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형

통합적 정신모형 이론에서는 학생들이 문제 상황에서 떠올린 생각을 정신모형으로, 학생들의 사고과정은 정신모형 형성과정으로 설명한다. 따라서 기존의 과학 교육 목표인 과학적 개념획득과 과학적 사고력 향상은 이 이론 관점에서는 학생들이 문제 상황에서 과학적인 정신모형 형성에 영향을 끼치는 요인들(지식, 신념, 행동, 환경)을 바탕으로 과학적인 정신모형 표현으로 재서술될 수 있다. 따라서 통합적 정신모형 이론을 토대로 개발된 순환학습 수업모형과 전략의 목표는 학생들이 겪는 어려움을 해소하고 보다 과학적인 정신모형을 형성할 수 있도록 정신모형 형성에 영향을 끼치는 지식, 신념, 행동, 환경의 요소가 보다 더 과학적이고 바람직한 방향으로 변화시켜갈 수 있도록 촉진시키는 것이다.

이에 따라 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환 학습 수업모형은 과학학습 어려움 해소를 통해 과학개념에 대한 과학적 정신모형을 형성할 수 있도록 학생들의 지식(개념적/과정적/맥락적 지식), 신념(존재론적/인식론적/동기적 신념), 행동과 같은 학생 요인과 학생 외적 요인을 고려하였다. 또한 학생들의 어려움과 원인 그리고 이를 해소할 수 있는 방안을 수업과정에 고려하였다. 즉, 학생들의 학습과정과 학습에 영향을 끼치는 요인들에 대한 설명을 해주는 바탕이 되는 통합적 정신모형 이론, 이 이론에서 언급한 학습에 영향을 끼치는 요인들을 분류하여 어려움의 원인을 분석할 수 있는 도구로써 그리고 그러한 어려움 해소를 위한 각각의 수업전략을 제공해줄 수 있는 길잡이로써 지식 신념들, 실제 수업이 이루어지는 순서와 전략에 대한 아이디어의 토대로서 순환학습 모형을 기반으로 하여 4M 순환학습 수업모형이 개발되었다.

이 수업모형의 첫 단계인 정신모형 평가/어려움 점검 단계에서 교사는 수업 전 학생들의 어려움과 원인을 탐색하여 이를 해소시키기 위한 수업전략을 선정·고안하게 된다. 두 번째 단계는 수업전략이 직접 적용되는 학습할 과학개념에 대한 정신모형을 떠올리고 한계를 느끼게 하는 정신모형 탐색 단계이다. 세 번째 단계는 학습할 과학개념에 대한 과학적 정신모형으로 발전시켜 나가는 정신모형 발달 단계이며, 다음 단계는 학습한 과학개념을 확장시키는 정신모형 정교화 단계

이다. 그리고 다시 학습한 개념에 대한 학생들의 정신모형을 평가하고 학습 시 학생들이 지각한 어려움을 조사하여 이를 수업시간에 다시 피드백해 줄 수 있도록 정신모형 평가/어려움 점검 단계가 순환고리를 형성하고 있다. 또한, 각 단계마다 정신모형과 그 형성과정을 반성할 수 있도록 하는 반성 단계를 둬으로써, 학생 스스로 자신의 정신모형을 발전시킬 수 있는 자기주도적 학습이 이루어지도록 하였다(그림 1).

수업 전 예비 단계로서의 정신모형 평가/어려움 점검 단계에서 교사가 학생들의 어려움과 원인을 조사할 때 학생들이 자신의 어려움과 원인을 지각하거나 정신모형의 한계를 인식할 수 있으며, 이 과정에서 학생들이 학습동기와 메타인지를 유발시킬 수 있다. 또한 실제 수업이 이루어지는 각 단계에서도 교사는 지속적으로 학생들의 어려움과 그 원인을 탐색하여 이를 해소시키기 위한 전략을 수업에 적용해야 한다. 실제 수업 단계별로 주요 수업전략을 살펴보면 표 1과 같다.

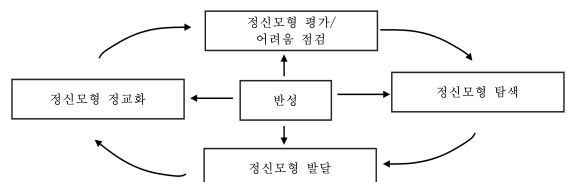


그림 1 4M 순환학습 수업모형

표 1  
주요 수업전략

단계	주요 수업전략
정신모형 탐색 및 반성	1. 학습할 내용에 대한 정신모형을 떠올릴 기회[학습할 내용과 관련된 이전 학습 내용의 관계에 대한 정신모형을 떠올릴 기회]를 제공
	2. 학생들이 떠올린 정신모형에 대해 한계를 느낄 기회 제공
	3. 학생이 자신의 정신모형을 문제 상황에 적용해볼 기회를 제공
	4. 학생의 흥미, 호기심, 중요성을 유발할 수 있는 전략을 사용
정신모형 발달 및 반성	5. 교사는 과학적 정신모형 형성과정을 구체적으로 제시
	6. 과학적 정신모형 형성과정과 자신의 정신모형 형성과정을 비교할 기회를 제공
	7. 학생들의 자신감을 유발하는 전략을 사용
정신모형 정교화 및 반성	8. 학생의 정신모형을 일상의 다른 상황에 적용할 기회를 제공
	9. 학생들에게 학습 내용을 전체적으로 구조화할 기회를 제공
	10. 학생들의 만족감을 유발하는 전략을 사용
정신모형 평가/어려움 점검 및 반성	11. 본 학습 시 느낀 어려움과 원인을 생각해보는 기회를 제공
	12. 교수할 내용에 대한 어려움과 원인을 파악
전체	13. 학생들의 어려움 해소를 위한 지식 신념들 요소를 효과적으로 고려
	14. 학생들이 자신의 정신모형을 지속적으로 반성할 수 있는 기회를 제공
	15. 교사와 학생, 학생과 학생 간 상호작용이 활발히 이루어지도록 기회를 제공

표 2

학생들이 원운동 학습에서 겪는 어려움

	어려움 원인	학생들이 원운동 학습에서 겪는 어려움
		<p><b>[운동학 관련]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 등속 원운동은 속도가 일정한 운동이다.</li> <li>(2) 원운동하는 물체에 작용하는 힘, 속도, 가속도를 표시하는 것을 어려워함(원운동 궤도 방향으로 힘이 작용한다고 생각, 원운동하는 물체의 속도와 가속도 구별을 잘 못함)</li> <li>(3) 원운동 관련 물리량(주기, 진동수, 각속도, 각변위, 선속력 등), 수학적 표현들의 의미와 단위 이해의 어려움</li> <li>(4) 원운동 상황을 기술하는 그래프 작성과 해석의 어려움</li> </ol> <p><b>[힘 관련]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 일정한 속력으로 원운동하는 물체는 등속 직선 운동과 같이 힘이 작용하지 않는 것이다.</li> <li>(2) 구심력은 중력, 마찰력 등과 같이 원운동을 설명할 때 필요한 기본적인 힘이다.(예: 학생들은 구심력을 중력, 마찰력 등과 같이 기본적인 힘의 한 종류라고 생각하는 사례가 많다.)</li> <li>(3) 등속 원운동을 하고 있는 물체에는 원의 중심 바깥 방향으로 힘인 구심력이 작용해야 한다</li> <li>(4) 수평면에서 원궤도를 일정한 속력으로 운동하는 물체에는 마찰력과 구심력이 작용한다.</li> <li>(5) 실을 잡고 있는 손 방향으로 작용하는 실의 장력과 원궤도 상의 접선방향으로 나가려는 힘의 합력으로 물체는 등속 원운동한다.</li> <li>(6) 지구가 인공위성을 잡아당기는 중력과 인공위성이 도는 원궤도 상의 접선방향으로 나가려는 힘의 합력으로 인공위성은 등속 원운동한다.</li> <li>(7) 원심력도 구심력과 같은 실제적인 작용이다.</li> <li>(8) 등속 원운동을 하고 있는 물체에는 원의 중심 바깥 방향으로 힘인 원심력이 작용해야 한다.</li> <li>(9) 원운동하는 물체는 바깥 방향으로 힘이 작용해서 줄이 끊어지면 공이 바깥 방향으로 나간다.</li> <li>(10) 원운동을 하려면 접선 방향의 힘이 필요하다.</li> </ol>
개념적 지식		<p><b>[운동의 법칙 관련]</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 속력이 일정한 원운동은 관성 때문에 힘이 없어도 일어난다.</li> <li>(2) 등속 원운동을 하기 위해서는 원궤도의 접선 방향으로 힘이 작용해야 한다.</li> <li>(3) 등속 원운동은 일정한 속력으로 운동하므로 크기가 같은 원심력과 구심력이 물체에 함께 작용해야 한다.</li> <li>(4) 지구가 태양으로 가까워지거나 멀어지지 않고 평형을 이루기 때문에 원심력과 구심력은 크기가 같고 방향이 반대이다.</li> </ol>
과정적 지식		<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 좌표계 구분을 하지 못함</li> <li>(2) 잘못된 영역 전이 (예) 전자기 단위에서의 역전</li> <li>(3) 원운동 관련된 공식의 수학적 유도의 어려움</li> <li>(4) 문제에 어떤 공식을 사용하고 각각의 공식에 어떤 숫자를 넣어야 할지를 모름</li> <li>(5) 많은 학생들의 원운동 관련 문항에 대한 응답은 물체 사이의 상호작용에 대한 인과적인 메카니즘에 대하여 생각해 보지 않고 교과서에 제시되었던 설명을 떠올려서 말하는 특징을 보인다. 따라서 추진력과 구심력이 마찰력의 구성성분임을 인식하지 못하고 마찰력과 무관하게 등속 원운동 하는 물체에 작용하는 힘으로 추진력과 구심력을 언급하고 있다.(메타인지 전략 부족)</li> <li>(6) 학생들은 원운동 문제를 접할 때 문제의 정확한 이해를 통해 논리적으로 풀기보다는 학교 등에서 배운 지식을 단순 회상하거나 예전에 해결했던 유사문제를 통해 유비추리를 하려는 경향</li> </ol>
맥락적 지식		<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 경험의 과잉 일반화. 즉, 학생들은 원운동 문제를 접할 때 문제의 정확한 이해를 통해 논리적으로 풀기보다는 일상생활에서 경험을 통해 유비추리를 하려는 경향</li> <li>(2) 맥락에 따라 원운동에 작용하는 힘의 종류를 다르게 기술</li> </ol>
신념	동기적 신념	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 재미없다. 머리를 써서 고민하는 자체가.</li> <li>(2) 배워야 하는 과목이라서 배우는 것일 뿐.</li> <li>(3) 머리용량이 부족</li> <li>(4) 노력이 부족</li> </ol>
인식론적 신념		<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 원운동 개념에 관한 역사적 발전 과정에 대한 인식 없음</li> <li>(2) 원운동이 다른 물리 개념, 영역과 별개라고 생각</li> </ol>

지식

표 2  
Continued

어려움 원인	학생들이 원운동 학습에서 겪는 어려움
	(3) 원운동을 잘 이해한다는 것은 학습내용을 빨리 학습하는 것이라고 생각 (4) 원운동 이해를 위해 본인의 독립적인 사고를 강조하기보다 단순히 교사, 교과서를 통해 학습하려는 경향
존재론적 신념	(1) 원운동을 하는 물체는 밖으로 나가려는 속성을 갖고 있다. (2) 원운동하는 물체에 작용하는 힘들이 사건 등의 잘못된 범주에 포함시킴
행동	(1) 물리 개념 간 관계를 파악하려 하지 않고 단순히 암기하려는 시도 (2) 시험 때 벼락치기 공부 (3) 수동적인 학습자세 (4) 원운동 관련 수학적 표현들이 어떻게 나왔는지 학습하기보다 단순한 암기
환경	(1) 교육과정 상 문제 ① 1차원 운동에 대한 오랜 기간 그리고 반복적인 학습 ② 학습의 위계(연계성 있는 교수활동의 부족) ③ 교과서에 제시된 실험과 설명 상의 문제 ④ 원운동에 대한 정량적인 접근 부족 (2) 어려운 용어 (구심력, 원심력...) (3) 원운동 학습에 대한 평가방법의 한계 (4) 교사의 문제 ① 교사의 원운동에 대한 잘못된 이해 혹은 충분하지 못한 이해 ② 교사의 원운동에 대한 수업전략 부족

**2. 원운동 학습에서 학생 사고의 특징과 학습 상의 어려움**

원운동에 대한 오개념을 알아보는 기존의 연구들에서는 원운동과 관련된 개념적 지식에 대한 오개념과 그 유형만을 조사하는 경우가 많았다. 그리고 이러한 개념적 지식 중에서도 실에 공을 매달아 학생의 머리 위에서 수평하게 등속 원운동을 시켰을 때 그 등속 원운동을 하는 공에 작용하는 힘을 묻거나 우주 공간에서 원운동하는 인공위성에 작용하는 힘을 묻는 문항 등 구심력에만 초점을 맞추고 있는 경우가 많다. 그러나 학습이라는 것은 학생들이 가진 단편적인 생각만을 토대로 이루어지는 것이 아니다. 학습은 학생의 지식과 신념, 행동, 그리고 환경의 상호작용 결과로서 이루어지기 때문에 원운동 학습 시 학생들이 겪는 어려움을 해소시키기 위해서는 원운동에 대한 개념적 지식 뿐 아니라 과정적 지식, 맥락적 지식, 신념, 행동, 환경 등의 측면에서 원운동 학습의 어려움과 그 원인을 먼저 분석할 필요가 있다. 원운동은 원운동 자체의 핵심 개념뿐 아니라 관련된 배경 지식에 대한 이해정도가 개념변화에 영향을 주기 때문에 원운동 단일 개념보다는 개념체계 전반을 동시적으로 고려할 필요가 있다. 예를 들어, 원심력은 학생들이 원운동 학습 시 배워야 하는 용어이나 학생들이 이해하는데 매우 어려워하는 개념 중 하나이다(이주현, 송진웅, 2006). 학생들은 원심력을 현

상적으로 설명할 수는 있으나 뉴턴 역학에서 말하는 ‘힘’개념을 이용하여 논리적으로 설명하는 데에는 어려움을 느낀다(이주현, 송진웅, 2006). 또한 비과학적으로 원심력을 설명하는 학생들의 경우, 물체의 운동을 기술할 때 물체가 속해있는 좌표계의 가속 여부를 고려하지 않았다. 이는 오원근, 김재우(1997)의 연구 결과인 중학교 1학년 학생들은 운동을 관측할 때 기준계가 달라지면 관측결과가 달라진다는 것을 생각할 수는 있지만 이를 타당하게 적용하지는 못함에서도 드러난다. 원운동 학습의 어려움과 원인을 문헌연구(구안서 등, 1990; 김익균, 1991; 박문주, 1995; 박지연 등, 2006; 송진웅, 2004; 이경호 등, 2005; 이주현, 송진웅, 2006; 정대영, 1990; Roth et al., 2001; Warren, 1971)를 토대로 지식 신념들을 이용하여 분석한 것이 표 2이다.

**III. 연구 방법**

**1. 연구 참여자**

본 연구는 인천에 소재한 P 전문계 고등학교 2학년에 재학 중인 남학생들을 대상으로 실시되었다. 연구 참여자인 공업계 고등학교 학생들 대다수는 입학 당시부터 중학교에서의 학업 성적이 중하위 그룹에 속했던 관계로 기초 학력이 낮으며, 학습의욕 및 흥미가 적은 편이었다. 일주일 동안 진행된 수업 및 검사에서 한 번

이라도 참여하지 않은 경우 최종 분석 시 제외하였으며, 이에 따라 본 연구에 참여한 대상자는 총 53명이었다. 그리고 본 연구에서는 본 수업모형 개발자인, 교육경력 8년의 물리교사 1인에 의해서 수업이 이루어졌다.

**2. 연구 과정**

3월 물리 I 수업 첫 시간에 과학(물리)학습 동기 검사, 기초 물리개념 검사, VASS(Views about Science Survey) 검사를 실시하였다. 3~5월 사이 진행된 수업의 주요 특징은 다음과 같다. 학생들이 1학기 말인 6월에 이루어질 등속 원운동 학습을 위해 필요한 선행 지식에 대한 학습이 단계적으로 이루어지도록 “운동의 표현 → 힘 → 운동의 법칙 → 원운동 단계”로 수업을 구성하였다(그림 2). 이는 등속 원운동을 이해하기 위해서는 속도, 가속도 등과 같은 운동학, 운동의 원인인 힘, 힘과 운동의 관계를 정립한 운동의 법칙에 대한 이해가 선행되어야 하기 때문이다. 이렇게 함으로써 개발된 수업모형과 전략이 교사와 학생들 모두에게 익숙해지도록 하였다. 또한, 개발된 수업모형과 전략의 효과성을 제대로 살펴볼 수 있도록 하였다. 즉, 이와같이 함으로써 학기 초부터 말까지 수업의 일관성을 유지하고 학생들이 새로운 수업모형에 익숙해지도록 하였다. 이는 여러 선행결과를 통해서도 알 수 있듯이 동기적 신념, 인식론적 신념, 존재론적 신념, 학습전략 등은 단 몇 차시 수업을 통해서 향상되기 어렵기 때문이다.

그림 2의 각 개념별로 문헌연구와 주단위 보고서, 마인드맵 작성 등을 통해서 교사는 학생들의 어려움을 조사, 분석하여 이를 해소하기 위한 수업전략을 선택·적용하였다. 예를 들어, 많은 학생들이 언급했던 어려움은 문제해결 부분이었다. 학생들은 문제를 아무리 읽어도 어떻게 접근해야 할지 막막하다고 호소하였다. 이를 해결하기 위해서는 물리개념의 이해를 토대로 문제가 요구하는 바를 체계적으로 해결할 수 있도록 하는 문제해결 전략 학습이 필요하다고 보았다. 이에 ALPs(Active Learning Problem sheets)에서 학습단원에 적절한 것을 선택하여 수정·적용하였다. 그 이유로 ALPs에는 각 문제풀이 단계를 구체적으로 제시하고 있어서 문제

해결 전략 학습의 초기 단계인 학생들이 문제해결 시 이를 길잡이로 여길 수 있다고 보았기 때문이다. 물리개념 학습 후, 학생들에게 문제해결 단계를 거치는 것이 중요함을 매번 강조한 후, ALPs를 과제로 제시함으로써 학생들이 충분히 고민할 시간을 주었다. 그리고 그 다음 시간에 한 학생이 나와서 해결해보도록 한 후, 다른 학생들과 함께 잘못된 부분을 찾아보는 시간을 가졌다.

ALPs 뿐만 아니라 형성평가 문항을 해결할 때도 학생 혼자 해결하기 보다는 소집단 활동을 통해 해결하는 과정을 경험하도록 하였다. 이렇게 함으로써 학생들이 본인의 생각을 밖으로 낼 수 있는 기회, 다른 학생들의 생각과 자신의 생각을 비교할 수 있는 기회를 제공하고자 하였다. 또한, 각 차시마다 물리개념 설명 이전에 그 물리개념 혹은 운동 상황과 관련해서 떠오르는 것들, 일상 생활에서 관련지을 수 있는 것들에 대해 환기시켰으며, 매차시가 끝날 때 물리개념을 가지고 연결하여 설명해주고자 하였다. 매주 주단위 보고서를 작성함으로써 학생 자신이 학습과정에서 느끼는 어려움과 그 원인을 생각해보게 하는 기회를 제공하였다. 이외에도 과학사 자료를 통한 인식론적 신념과 동기적 신념의 향상, 마인드맵 작성을 통한 개념 간 연결 강조와 학습전략 향상을 위한 수업전략을 지속적으로 수업에 적용하였다.

6월 원운동 수업이 이루어지기 전 사전검사로써 원운동 학습의 어려움 조사, 원운동 정신모형 검사, 기초 물리개념 검사를 실시하였다. 원운동 수업은 단순히 원운동 문제만을 수학적으로 해결하는 것에 주안점을 두지 않고 원운동에 대한 정성적인 이해를 목표로 하였다. 그리고 정신모형 형성에 영향을 미치는 다른 요인 예를 들어, 동기, 사고, 존재론적 신념, 인식론적 신념, 메타인지 등을 고려한 수업전략을 통한 종합적인 이해가 될 수 있는 수업이 되도록 총 3차시로 구성하였다. 원운동 수업실시 전 교사는 기존 연구결과와 원운동 수업 전 학생들이 그런 마인드맵을 토대로 학생들이 수업 전 겪는 원운동 학습 어려움을 지식 신념들로 분석하였고 이를 해소하기 위한 수업전략을 개발하였다. 뿐만 아니라 매 차시 학생들이 작성한 1분 페이퍼를 통

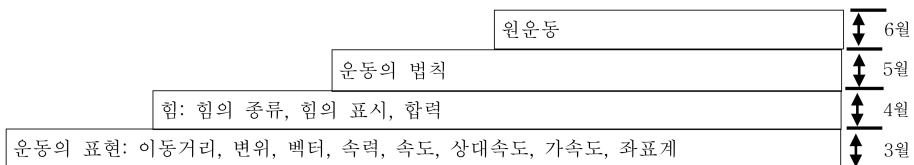


그림 2 원운동 학습을 위한 단계별 교수

해 조사된 어려움을 토대로 수업전략을 조금씩 수정·보완하여 수업에 적용하였다.

차시별 수업은 개념적 지식의 순서에 따라 1차시에서는 등속 원운동하는 물체의 속도와 가속도, 2차시에서는 등속 원운동하는 물체에 작용하는 힘, 3차시에서는 관찰자의 위치에 따른 등속 원운동에 대한 학습이 이루어졌다. 그리고 매 차시는 원운동 학습 어려움 해소를 위해 문헌연구, 사례연구 뿐 아니라 수업 중 1분 페이지를 통해 조사, 분석된 원운동 학습 어려움과 그 원인을 해소시키기 위한 수업전략이 정신모형 탐색 및 반성, 정신모형 발달 및 반성, 정신모형 정교화 및 반성, 정신모형 평가/어려움 점검 및 반성의 각 단계에 맞게 적용되었다.

각 차시별로 살펴보면 1차시에서는 일상생활에서 원운동 중요성을 설명할 수 있는 예들을 사진을 통해 제시함으로써 원운동 학습의 중요성과 흥미를 유발시켰다. 다음으로 학생들이 직접 그린 마인드맵을 제시하여 원운동 정신모형의 한계를 인식하도록 함과 동시에 과학자적으로 볼 때, 과학자들도 원운동 이해에 많은 어려움을 겪었음을 보였다. 이렇게 함으로써 학생들에게 자신의 실수에 실망하지 않고 자신감을 유발하는 전략을 구사하였다. 이후 원운동 사진을 제시하여 원운동의 정의와 표현 시 필요한 용어들을 소집단 활동을 통해 이끌어내었다. 교사에 의한 원운동 관련 물리량 설명 다음으로 원운동 표현 물리량을 적용할 수 있는 문제 상황을 제시하여 이를 소집단 별로 논의토록 함으로써 학습한 내용이 일상생활에서 어떻게 적용이 되는지 적용해 봄으로써 원운동 정신모형을 정교화하도록 하였다. 마지막으로 1분 페이지를 통해 본 학습 시 겪은 어려움과 원운동에 대한 자신의 정신모형을 반성할 수 있는 기회를 제공하였다. 1분 페이지는 “무엇이 오늘 수업의 핵심 주제였는가? 그리고 이 핵심 주제를 중심으로 마인드맵을 작성하면?”, “오늘 수업에서 명확히 이해되지 못한 개념 혹은 문제는 무엇인가 그리고 그 원인은?”, “여러분들이 내용을 더 잘 이해하기 위해서 선생님이 무엇을 했으면 좋겠는가?”라는 질문으로 구성되었다.

2차시에는 지난 시간 작성한 학생의 마인드맵 중 한 개(지난 학습을 잘 구조화하면서 구심력 혹은 원심력을 언급한 학생 것으로)와 본인의 정신모형 비교하여 차이점을 인식토록 하며, 원운동을 시키기 위해서는 힘이 필요한지 이를 어떻게 알았는지 질문으로 시작하였다. 과학사 속 원운동 개념의 발달 과정에 대한 소집단별 논의가 이루어지도록 함으로써 과학사적으로도 이

해하기 어려운 개념임을 통해 자신감을 유발시키고 비과학적인 견해로부터 과학적인 견해로 발전해 가는 과정을 인식토록 함으로써 건전한 인식론적 신념을 향상을 꾀하였다. 아스트로젝스를 이용한 시범실험을 통해 학생들의 정신모형을 시각적으로 표현할 기회 제공한 후 소집단별 논의를 통해 원운동하는 물체에 작용하는 힘에 대한 정신모형의 한계를 인식토록 하였다. 이후 실제 실험을 함으로써 정신모형 탐색 단계에서 제시한 원운동 상황에 대한 정신모형을 정교화하도록 하여 처음 정신모형과 비교하는 기회를 제공함으로써 만족감을 유발하도록 하였다. 1분 페이지는 수행과제로 작성토록 하였다.

3차시에서는 2차시에 과제로 제시했던 1분 페이지에 작성된 학생들의 마인드맵 중 원심력이 언급된 것 하나를 제시하여 모든 학생들이 자신의 원운동 정신모형과 비교해볼 수 있도록 함으로써 원운동 학습 어려움과 원인을 생각해볼 수 있는 기회를 제공하였다. 다음으로 일상생활에서 원심력 용어가 사용되는 예를 통해 원심력이라는 용어에 대한 존재론적, 인식론적 신념 질문(원심력이란 어떤 힘일까?, 원심력은 어떤 물리량과 관계가 있을까?, 왜 원심력이란 단어가 도입되었을까?)을 유도하였다. 이후 관찰자의 위치에 따라 운동이 달리 보이는 동영상과 POE 전략을 이용해 학생들이 자신의 정신모형과 그 형성과정에 한계를 지각하도록 하였으며, 흥미도 유발하였다. 과학적 정신모형 형성과정을 운동의 상대성, 좌표계, 관성력을 중심으로 설명한 후 원운동 상황에 학습한 내용을 적용 및 과학적 정신모형과 비교할 기회를 제공하였다. 정신모형을 정교화하기 위해서 일상생활 속 원심력을 경험하는 상황(정신모형 탐색 단계에서 언급된 회전목마 상황)을 관찰자의 위치(회전목마에 탄 사람과 밖에서 구경하는 사람)에 따라 기술하도록 하였다. 마지막으로 1분 페이지를 작성한 후, 3시간 동안 학습한 내용을 바탕으로 원운동을 구조화해 볼 수 있는 기회를 제공하였다. 과제로 3차시에 걸친 원운동 학습에 대한 주단위 보고서를 작성토록 하였다. 이는 원운동 개념을 중심으로 3차시 수업을 통합적으로 연결시켜 봄으로써 원운동 학습 전반에 관해 반성해볼 수 있는 기회를 제공하기 위함이었다.

3차시의 수업 후 원운동 정신모형 검사, 기초 물리개념 검사, 과학(물리)학습 동기 검사, VASS 검사를 실시하였으며, 여름방학이 지난 후, 8월 말에 지연 사후 검사로서 원운동 정신모형 검사와 기초 물리개념 검사를 실시하였다(그림 3).

본 논문에서는 수업모형이 학생들의 원운동 정신모

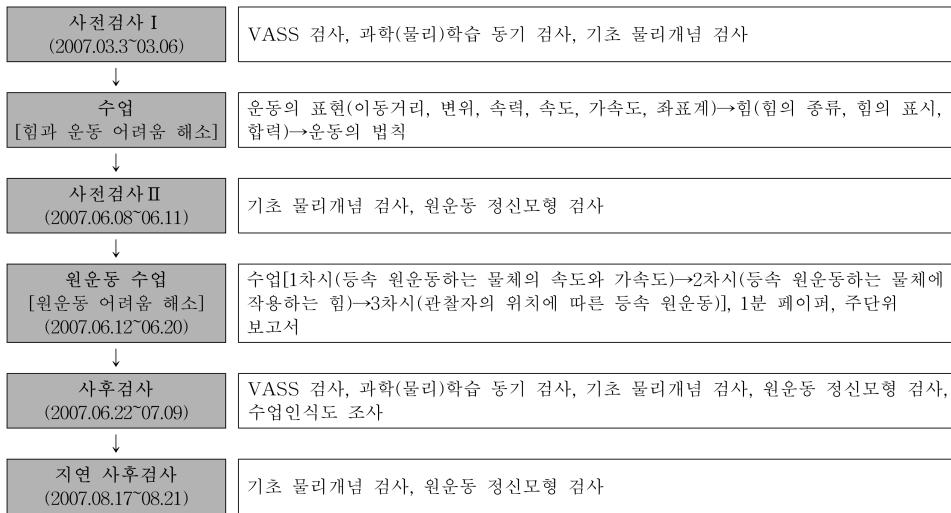


그림 3 연구 과정

형 발달과 원운동 기초 개념의 발달에 미친 영향을 분석하고자 하였으므로 실시한 검사들 중 원운동 정신모형 검사와 기초 물리개념 검사에 대한 결과만을 소개하였다.

### 3. 검사 도구

본 연구에서 실시한 사전검사에는 원운동 정신모형 검사, 과학(물리)학습 동기 검사, VASS 검사, 기초 물리개념 검사 등이 포함되었다. 수업이 이루어지는 중에는 1분 페이지를 이용하여 어려움을 조사하였다. 사후 검사에는 사전검사 시 실시한 동일한 검사에 더해 수업인식도에 대한 검사를 첨가하였다. 마지막으로 지연 사후검사 시에는 원운동 정신모형 검사와 기초 물리개념 검사만을 실시하였다.

#### 1) 원운동 정신모형 검사

##### ① 원운동 정신모형 검사 도구

본 검사 도구는 이전 원운동 정신모형 검사 도구를 토대로 그 한계점을 수정·보완하여 개발되었다. 구체적으로 원운동에 대한 학생들의 총체적인 정신모형을 알아보기 위해서 그림 4와 같이 문항을 구성하였으며, 문항은 크게 2문항이었다. 이는 맥락에 따라서 활성화 되는 정신모형에 차이가 있기에(Bao *et al.*, 2002; Meltzer, 2004; Mestre, 2004; Sinatra, 2002; Steinberg & Sabella, 1997), 원운동 정신모형을 알아보기 위해서는 다양한 맥락을 제공할 필요가 있었기 때문이다. 한편, Fransworth(1934), Saunders와 Jesunathadas(1988)은 학생에게 제시된 과제 혹은 문제의 맥락을 친숙성



그림 4 원운동 정신모형 검사 도구 문항에 포함된 상황

(familiarity) 여부로 구분하였으며, 이는 학생들의 응답에 영향을 끼침을 확인하였다. Johnson-Laird 등(1972)은 친숙성(familiarity)과 구체성(concreteness)로 학생들에게 제시된 문제나 과제의 맥락을 구분하였다. 그리고 그들은 학생들이 친숙한 상황일수록 보다 구체적인 상황으로 인식하며, 친숙하지 않은 상황은 추상적인 상황으로 인식함을 보인 후, 이러한 상황에 따라 학생들의 응답이 달라짐을 설명하였다. 따라서 원운동 정신모형 검사 도구를 개발할 때에는 이러한 맥락의 친숙성을 고려하여 문항을 구성할 필요가 있다.

1번 문항은 과학 교과서에서 운동방향이 바뀌는 운동의 예로서 많이 사용된 고무마개를 돌리는 상황을 제시한 후, 인지적 요소들, 예를 들어 속도, 가속도와 같은 운동학, 관성 등과 같은 운동의 법칙, 힘들로 원운동을 어떻게 표상하는지를 확인할 수 있도록 구성하였다. 2번 문항은 학생들이 일상에서 경험해 보지 않은 친숙하지 않은 상황의 예로서 등속 원운동하는 원판 위의 동전 상황을 제시한 후, 이와 관련해서 묻는 문항은 1번 문항과 동일하게 구성하였다(표 3). 개발된 연구 방법은 물리교육 전문가 6인에게 내용 타당도를 검증받았다.

#### 2) 기초 물리개념 검사 도구

기초 물리개념 검사 도구는 학생들이 물리교과에서



표 3

원운동 정신모형 검사 문항 구성

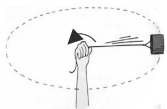

문항	문항 내용
1번 (고무마개를 돌리는 상황) 	(1) 원운동하는 물체의 속도의 방향을 표시하고 그렇게 생각한 이유 확인
	(2) 원운동하는 물체의 관성과 그렇게 생각한 이유
	(3) 원운동하는 물체의 가속도의 방향을 표시하고 그렇게 생각한 이유
	(4) 원운동하는 물체에 작용하는 힘과 존재론적 신념 확인
	(5) 위 문제해결시의 인식론적 신념 확인
	(6) 위 문제해결시 사고과정의 특징
	(7) 문제 상황에서 떠올린 관련 물리 개념을 확인하고 이들 관계를 확인하기 위한 마인드맵 그리기
2번 (원판 위 동전이 돌아가는 상황) 	(1) 원운동하는 물체의 속도의 방향을 표시하고 그렇게 생각한 이유 확인
	(2) 원운동하는 물체의 관성과 그렇게 생각한 이유
	(3) 원운동하는 물체의 가속도의 방향을 표시하고 그렇게 생각한 이유
	(4) 원운동하는 물체에 작용하는 힘과 존재론적 신념 확인
	(5) 위 문제해결시의 인식론적 신념 확인
	(6) 위 문제해결시 사고과정의 특징
	(7) 문제 상황에서 떠올린 관련 물리 개념을 확인하고 이들 관계를 확인하기 위한 마인드맵 그리기

표 4

기초 물리개념 검사 목록

문항번호	FCI 문항번호	분류영역	FCI
1	2	3법칙	3법칙(임페투스)
2	4	1법칙	1법칙(합력이 0 인 경우)
3	7	2법칙	운동학(속도의 벡터합) 2법칙(추진력)
4	13	3법칙	3법칙(연속적인 힘이 작용하는 경우) 1법칙(작용하던 힘이 사라지는 경우)
5	18	힘	중첩의 원리(사라지는 힘) 힘의 종류(중력)
6	20	운동학	운동학(변위와 속도의 구별)
7	21	운동학	운동학(속도와 가속도의 구별)
8	25	2법칙	운동학(가속도가 일정한 경우 속도의 변화를 수반) 2법칙(힘이 일정하게 작용하면 가속도도 일정)
9	26	1법칙	1법칙(합력이 작용하지 않으면 속도는 일정)
10	29	힘	힘의 종류(마찰력)

다루는 속력, 가속도, 뉴턴의 제 1, 2, 3법칙 등과 같은 중요 개념들을 이해하는 정도를 측정하는 10가지 문항들로 구성되었다. 본 검사는 원운동 학습 단계(운동의 표현, 힘, 운동의 법칙)를 고려하여 FCI(Hestenes *et al.*, 1992) 29문항 중에서 10문항을 선택하여 구성하였다. 즉, 원운동을 이해하기 위해서 속도, 가속도와 같은 운동학, 힘, 운동의 법칙에 관한 개념적 지식이 과학적이어야 한다. 따라서 원운동 정신모형에 학생들의 힘과 운동에 관한 개념적 지식이 어떤 영향을 끼치는지 알아보기 위해 널리 알려진 FCI 문항을 이용하였

고, 29개의 문항 중 운동학, 힘, 운동법칙(1, 2, 3법칙) 영역별로 문항 길이, 고등학생 수준에 적합하나 여부를 판단하여 선별한 후, 각 단계별로 2문항으로 압축하였다. 결과적으로 2, 4, 7, 13, 18, 20, 21, 25, 26, 29문항, 총 10개로 정리하였다(표 4). 개발된 검사 도구는 물리교육 전문가 6인의 고등학생 수준 적합성 여부와 내용 타당도 검증을 받았다.

#### 4. 자료 분석

원운동 정신모형 검사의 응답을 정량화하기 위해 정

신모형의 구성요소인 Correctness, Coherence, Completeness(Chi & Roscoe, 2002; Perkins *et al.*, 2004; Redish, 2003)을 이용하여 채점하였다. 과학적 정신모형을 형성했다고 하기 위해서는 표현된 정신모형이 올바라 하기에 Correctness 측면을, 정신모형의 맥락에 따른 일관성 여부를 알아보기 위해 Coherence 측면을, 원운동과 관련된 핵심 명제를 포함하고 있는지 여부를 알아보기 위해 Completeness 측면을 살펴봐야 한다. 검사 도구를 통해 얻은 표현된 정신모형을 이와 같은 3C 측면에서 정량화시키는 방법은 표 5와 같으며, Correctness, Coherence, Completeness 점수는 모두 120점 만점으로 환산하여 분석하였다. 채점 과정에서 분석의 신뢰도를 높이기 위해 3명의 연구자가 학생 6명의 검사지를 무작위로 선정하여 채점하였다. 그리고 그 결과를 일치시킨 후 연구자 중 한 명이 모든 검사지를 채점하였다.

#### IV. 결과 및 논의

본 연구에서는 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형을 토대로 하여 원운동 단원에 대한 수업지도안을 개발하였다. 그리고 개발된 수업지도안을 원운동 수업에 적용하여 학생들의 정신모형 형성과정에 미치는 효과를 알아보고자 하였다. 즉, 고등학생의 원운동 학습 어려움 해소를 위한 수업 전후 정신모

형 변화를 알아보고자 수업 전, 수업 직후, 수업이 끝난 지 약 2개월 후에 걸쳐서 연구를 실시하였다. 먼저 4M 순환학습 수업모형이 고등학생들의 원운동 학습 어려움 해소에 도움이 되었는지를 살펴보기 위해 원운동 정신모형 변화와 정신모형 형성에 영향을 끼치는 기초 물리개념의 향상 정도를 살펴보았다. 연구 문제를 중심으로 본 연구에서 밝혀진 결과는 다음과 같다.

##### 1. 4M 순환학습 수업모형은 고등학생의 원운동 정신모형 발달에 어떤 영향을 미치는가?

4M 순환학습 수업모형을 적용한 수업이 학생들의 원운동에 대한 과학적 정신모형 형성에 유의미한 영향을 끼쳤는지 그리고 학생들의 원운동 정신모형 지속성에 끼쳤는지를 살펴보기 위해서 사전검사II, 사후, 지연 사후검사 시 원운동 정신모형 검사지를 통해 얻어진 Correctness, Coherence, Completeness와 세 점수의 합인, 3C total과 같은 측정변수들의 점수에 대해 대응표본 t검증(paired t-test)을 실시한 결과를 표 6에 제시하였다.

4M 순환학습 수업모형이 적용된 수업을 받기 전보다 받은 후에 학생들의 Correctness, Coherence, Completeness 점수와 이들의 합인 3C total 점수 모두가 높아졌다. 구체적으로 Completeness를 제외한 Correctness, Coherence는 사전검사II 점수와 사후검사 점수 간, 사

표 5  
3C의 채점 기준

변인	채점기준
Correctness	1번 (1), (2), (3), (4)와 2번 (1), (2), (3), (4) 채점하여 맞은 개수
Coherence	1번과 2번의 (1), (2), (3), (4)의 응답 일치도
Completeness	1번 (6) 마인드맵 점수와 2번 (6) 마인드맵 점수의 합

표 6  
검사시점에 따른 정신모형 구성요소의 점수 차이(N=53)

측정변수	평균			정신모형 향상여부 (사전검사II, 사후검사 t검증)		정신모형 지속여부 (사후검사, 지연 사후검사 t검증)	
	사전검사II	사후검사	지연 사후검사	t	p	t	p
Correctness	33.40 (22.91)	55.75 (30.62)	56.04 (33.43)	-5.33	.000	-.08	.938
Coherence	48.68 (32.35)	71.89 (35.47)	71.32 (34.92)	-3.60	.001	.11	.913
Completeness	53.28 (10.80)	68.23 (13.05)	56.42 (10.64)	-6.98	.000	7.00	.000
3C total	135.36 (41.94)	195.87 (64.80)	183.77 (63.41)	-6.61	.000	1.61	.113

사전검사Ⅱ 점수와 지연 사후검사 점수 간에 통계적으로 유의미한 결과를 보였고( $p < .05$ ), 사후검사 점수와 지연 사후검사 점수 간에는 통계적으로 유의미한 결과를 보이지 않았다( $p < .05$ ). 이를 통해 4M 순환학습 수업모형을 적용한 원운동 수업에 의해 원운동에 대한 Correctness, Coherence, 3C total 점수가 향상되었을 뿐만 아니라 시간이 흐른 뒤에도 학습 효과가 지속되고 있음을 알 수 있다. 반면, Completeness는 사전검사Ⅱ 점수와 사후검사 점수 간, 사후검사 점수와 지연 사후검사 점수 차이가 통계적으로 유의미하였다( $p < .05$ ). 이는 Correctness, Coherence와 마찬가지로 수업에 의해 Completeness가 향상되기는 하였으나, 학습 효과는 지속되지 않았음을 보여준다. 즉, 약 2개월의 시간에 의해 원운동과 관련된 지식들의 관계가 지속되지 못했음을 의미한다. 따라서 수업에서 이 부분을 향상시키는 수업전략이 효과적이지 못했다고 해석할 수 있고, 다른 한편으로 이 결과 자체가 Completeness의 독특한 특성을 보여주는 것일 수도 있다고 볼 수 있다. 단순한 개념적 지식의 옳고 그름의 차이를 알아보는 Correctness와 맥락에 따른 일관성 여부를 알아보는 Coherence는 단편적이다. 한편, Completeness는 관련 지식의 구조도로 형성되기 어려울 뿐 아니라 유지되기도 어렵다는 특징을 가지고 있음을 이 결과를 통해 알아낼 수 있었다. 이는 사전검사Ⅱ 점수와 사후검사 점수 간 차이와 사후검사 점수와 지연 사후검사 점수 간 차이를 통해서도 확인될 수 있다.

사전검사Ⅱ 점수와 사후검사 점수 사이의 변화를 살펴보면, 사전검사Ⅱ에 비해 사후검사 시 Correctness의 경우는 22.35가, Coherence의 경우는 23.21이 향상된 반면, Completeness는 14.95가 향상되었을 뿐이다. 다

음으로 사후검사 점수와 지연 사후검사 점수 변화를 살펴보면, Correctness와 Coherence 점수는 거의 변화되지 않은 반면, Completeness는 11.81이나 하락되었다. 하지만 이러한 하락폭은 Correctness, Coherence, Completeness의 합인 3C total의 평균 점수 변화에 통계적으로 유의미한 영향을 미치지지는 못하였다.

**2. 4M 순환학습 수업모형은 고등학생의 원운동 정신모형 형성을 위한 기초 물리개념의 발달에 어떤 영향을 미치는가?**

원운동 수업 이전에 과학적 원운동 정신모형 향상을 위해 바탕이 되는 물리개념에 대한 통합적 정신모형에 기반한 4M 순환학습 수업모형을 적용한 수업이 3월부터 원운동 수업 직전까지 이루어졌기 때문에 기초 물리개념 검사를 학기 초(3월; 사전검사 I), 사전검사(6월 원운동 수업 전; 사전검사Ⅱ), 사후검사(6월 원운동 수업 후), 지연 사후검사(8월) 시 4차례에 걸쳐서 실시하였다. 따라서 4M 순환학습 수업모형을 적용한 수업이 학생들의 원운동 기초 물리개념 발달에 유의미한 영향을 끼쳤는지를 살펴보기 위해서 검사시점 간 기초 물리개념 검사 점수에 대해 대응표본 t검증(paired t-test)을 실시하였다. 구체적인 결과는 표 7에 제시하였다.

학기 초 검사 시 평균 기초 물리개념 점수는 2.45(표준편차 1.19)로 가장 낮았으며, 수업 전 검사 시 평균 기초 물리개념 점수는 2.98(표준편차 1.66)로 학기 초 검사 때보다 높아졌다. 수업 후 검사 시 평균 기초 물리개념 점수는 3.38(표준편차 1.62), 지연 사후검사 시 평균 기초 물리개념 점수는 3.72(표준편차 1.87)로 평균 점수가 가장 높았다. 또한, t검증 결과, 사전검사 I 과 사전검사Ⅱ 간, 사전검사 I 과 사후검사 간에 기초

표 7  
검사시점에 따른 기초 물리개념 점수 차이(N=53)

구분	평균				원운동 수업을 포함하지 않은 원운동 수업 전까지 기초 물리개념 향상 여부 (사전 I 과Ⅱ t검증)		원운동 수업을 포함한 원운동 수업에 의한 기초 물리개념 향상 여부 (사전 I 과 사후 t검증)		원운동 수업에 의한 원운동 수업에 의한 기초 물리개념 향상 여부 (사전Ⅱ와 사후 t검증)		원운동 수업에 의한 원운동 수업에 의한 기초 물리개념 향상 지속 여부 (사후, 지연 사후 t검증)	
	사전 I	사전Ⅱ	사후	지연 사후	t	p	t	p	t	p	t	p
기초 물리개념 검사	2.45 (1.19)	2.98 (1.66)	3.38 (1.62)	3.72 (1.87)	-2.27	.027	-4.23	.000	-1.89	.064	-1.67	.101

**표 8**  
기초 물리개념 향상도와 Correctness 향상도의 상관관계(N=53)

	1학기 수업을 통한 기초 물리개념 향상도 (사후검사 점수 - 사전검사 I 점수)	원운동 수업을 통한 기초 물리개념 향상도 (사후검사 점수 - 사전검사II 점수)
Correctness 향상도	.359**	.352**

Correctness 향상도 = 사후검사의 Correctness 점수 - 사전검사II의 Correctness 점수.

\*\* p<.01.

물리개념 검사 점수 차이가 통계적으로 유의미하였으나(p<.05), 사전검사II와 사후검사 간, 사후검사와 지연 사후검사 간에는 통계적으로 유의미하지 않았다(p<.05). 이는 원운동 수업을 포함하여 1학기 동안 이루어진 수업이 학생들의 힘과 운동에 관한 기초 물리개념 이해에 효과적이었음을 의미한다. 뿐만 아니라 사후검사와 지연 사후검사에서 유의미하지 않은 결과가 나온 것을 통해 학습 효과가 지속되었음을 알 수 있다.

한편, 기초 물리개념 향상 정도와 수업에 의한 원운동 정신모형 Correctness 점수의 향상 정도 사이의 상관관계를 살펴본 결과가 표 8과 같았다.

Correctness 향상도는 1학기 수업을 통한 기초 물리개념 향상도, 그리고 원운동 수업을 통한 기초 물리개념 향상도와 유의미한 상관이 있었다. 이는 1학기 물리 I 수업과 원운동 수업 모두에 의해 기초 물리개념 점수가 향상할수록 원운동 수업에 의한 원운동 정신모형의 Correctness 점수도 향상되는 경향이 있다는 것을 의미한다. 반면, Correctness를 제외한 정신모형 구성요소인 사전검사II와 사후검사 점수 차이인 Coherence, Completeness 향상도와 기초 물리개념 향상도와는 통계적으로 유의미한 차이가 없었다. 이는 기초 물리개념 검사가 힘과 운동에 대한 표현된 정신모형의 옳고 그름을 판별할 뿐, 힘과 운동에 관한 맥락적 일관성이나 개념들 간의 관계까지 알아보는 검사 도구가 아니기 때문으로 해석될 수 있다.

## V. 요약 및 시사점

원운동을 이해하기 위해서는 원운동과 관련된 속도, 관성, 가속도, 힘에 대한 과학적 이해가 선행되어야 한다는 점과, 경험 등을 통해서 형성된 잘못된 맥락적 지식과 신념 등과 같은 다양한 원인들로 인하여 학생들은 원운동 학습 시 많은 어려움을 느끼게 된다. 따라서, 학생들의 원운동 학습 어려움을 해소하기 위해서는 먼저 선행연구 결과 등을 바탕으로 학생 어려움의 원인을 전체적으로 그리고 구조적으로 탐색한 후, 이를 해소시키

기 위한 구체적인 수업전략을 개발, 모색할 필요가 있다. 또한 어려움의 원인이 다양한만큼 학생들이 원운동 학습 시 겪는 어려움을 해소시키기 위해서는 단순히 한 개의 수업전략만을 적용하는 것으로 부족하며 학생이 학습 시 겪는 어려움을 알아보고 이를 해소하기 위한 구체적인 전략들을 고안해내야 한다. 이에 본 연구에서는 학생들의 원운동 학습 어려움을 해소시키고자 통합적 정신모형 이론을 기반으로 개발된 4M 순환학습 수업모형과 전략을 3차시의 원운동 수업에 적용한 후, 학생들의 원운동 학습 어려움 해소에 도움이 되었는지를, 그리고 그 효과의 지속 여부를 알아보기 위해 원운동 정신모형을 정신모형의 Correctness, Coherence, Completeness 세 측면에서 효과가 있는지를 살펴보았다. 그리고 개발된 수업모형과 전략에 의한 기초 물리개념의 향상 정도를 살펴보았다.

연구 문제 1에서는 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형의 효과와 지속 여부를 알아보기 위해서 원운동 정신모형의 3C 점수를 살펴보았다. 연구 결과, 수업을 받은 학생들의 정신모형을 정량화 한 3C total 점수 뿐 아니라 표현된 정신모형의 옳음 여부를 판단하는 Correctness, 학생 개념의 견고성 여부 즉, 맥락의존성 정도를 알아보는 Coherence, 원운동과 관련된 개념구조를 알아보는 Completeness 점수 또한 향상된 것으로 나타났다. 이는 개발된 순환학습 수업모형 및 전략이 학생들의 원운동 학습에 도움을 주었음을 의미한다.

연구 문제 2에서는 개발된 수업모형이 기초 물리개념 향상에 도움이 되는지를 알아보았다. 원운동 학습에 영향을 끼치는 요소 중 먼저 기초 물리개념의 경우 원운동 수업에서는 특별히 힘과 운동 개념 향상을 위한 수업이 이루어지지 않았기에 힘과 운동 개념이 향상되었음이 보이지 않았으나, 원운동 수업 이전 개발된 수업모형을 적용한 힘과 운동 수업을 통해서는 향상되었음을 알 수 있었다. 이를 통해 개발된 수업모형과 전략이 학생들의 원운동 학습뿐 아니라 힘과 운동 학습에도 효과적이었음을 의미한다. 즉, 본 연구를 통해 기존

과학 수업모형들과 달리 어려움의 원인들을 총체적으로 고려한 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형을 적용한 결과 원운동 정신모형 형성에 영향을 끼치는 요소들인 기초 물리개념 향상에 효과적이었을 뿐 아니라, 학생들의 원운동 정신모형이 보다 과학적으로 변화시키는 데에 효과가 있음이 확인되었다.

과학적 정신모형 변화를 위해서 학생들이 현재 가지고 있는 어려움의 원인을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형은 기존의 수업모형들과는 달리 어려움의 원인을 지식, 신념, 행동, 환경 측면으로 종합적으로 분석한 후, 이를 해소시키기 위한 구체적인 수업전략을 수업에 적용함으로써 학생들의 원운동 학습 어려움을 해소시키고자 했다는 점이 다른 수업모형과 차별되는 부분이 있다. 또한, 수업모형의 각 단계별 수업전략을 구체적으로 제시했다는 점이 특징이다. 본 연구를 통해 개발된 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형이 다양한 과학내용에 적용되면서 지속적으로 발전되어져야 할 것이다.

### 국문요약

원운동은 물리수업에서 중요한 주제 중 하나이다. 특히, 등속 원운동은 우리나라 중등 교육과정에서 반드시 다루는 핵심 내용이다. 학생들은 원운동 학습 시 많은 어려움을 겪으며, 수업 후에도 이러한 어려움이 잘 해소되지 않아서 다양한 교수·학습 방법이 적용되어 왔다. 그러나 학생들은 수업 전에 이미 가지고 있는 원운동에 대한 선개념을 수업 후에도 지속시킬 뿐 아니라, 원운동 학습 자체에 대한 어려움을 많이 제기하고 있다. 이에 본 연구에서는 원운동 학습 어려움 해소를 위해 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형과 전략을 토대로 수업자료를 개발하였다. 그리고 이를 인천 소재 실업계 고등학생 53명을 대상으로 수업을 실시하여 기초 물리개념과 원운동 정신모형의 변화를 알아보았다. 분석 결과, 학생들의 기초 물리개념과 원운동 정신모형의 Correctness, Coherence, Completeness가 모두 향상되었음을 확인하였다.

### 참고문헌

김익균 (1991). 대립개념의 증거적 비판 논의와 반성적 사고를 통한 대학생의 힘과 가속도 개념변화. 서울대학교 박사학위 논문.

구안서, 안병균, 김익균 (1990). 학습 후 고등학교 학생들의 힘과 운동개념 조사. *과학교육연구논총*, 7, 79-109.

박문주(1995). 힘과 운동과의 관계에서 학생의 오개념 변화를 위한 시범에 대한 학생의 반응 분석. *숙명여자대학교 석사학위논문*.

박지연, 이경호, 신중호, 송상호(2006). 과학수업 후 변하는 것과 변하지 않는 것: 정신모형 이론을 중심으로 한 고등학생의 원운동 개념변화 사례 분석. *한국과학교육학회지*, 26(4), 475-491.

신중호, 신태섭, 이승희, 이경호, 박지연, 송상호(2006). 정신모형 수업이 원운동 정신모형 변화에 미치는 영향. *아시아교육연구*, 7(1), 163-187.

송진웅, 김익균, 김영민, 군성기, 오원근, 박종원(2004). 학생의 물리 오개념 지도. 서울: 북스힐.

오원근, 김재우(1997). 기준계와 운동의 상대성에 대한 중학교 1학년의 개념. *한국과학교육학회지*, 17(4), 373-381.

이경호(2007). 왜 학생들은 물리학을 어려워하는가?: 지식 신념틀을 이용한 물리학습의 어려움에 대한 구조적 분석을 향하여. *Sae Mulli*, 54(4), 284-295.

이주현, 송진웅(2006). 원심력에 관한 대학생들의 이해 유형 조사. *한국과학교육학회지*, 26(4), 132-142.

정대영 (1990). 고등학생의 힘과 운동에 대한 수업 전후 개념 변화. *서울대학교 석사학위 논문*.

Bao, L., Hogg, K., & Zollman, D. (2002). Model analysis of fine structures of student models: An example with Newton's third law. *American Journal of physics*, 70(7), 766-778.

Chi, M. T. H. & Roscoe, R. D.(2002). The Processes and challenges of conceptual change. In M. Limon & M. Mason(Eds.). *Reconsidering Conceptual Change: Issues in Theory and Practice*. Netherlands: Kluwer academic publishers.

Duit, R.(2002). Conceptual change-still a powerful frame for improving science teaching and learning?. Paper presented at the Third European Symposium on Conceptual Change. Turku, Finland.

Farnsworth, P. R. (1934). Examinations in familiar and unfamiliar surroundings. *Journal of Social Psychology*, 5, 128-129.

Hestenes, D., Well, M., & Swackhanmer, G.(1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, March, 141-158.

P. N., Legrenzi, P., & Legrenzi, M. S. (1972). Reasoning and a sense of reality. *Brithish Journal of Psychology*, 63, 395-400.

Meltzer, D.(2004). How do you hit a moving target? Addressing the dynamics of students' thinking. *Proceedings of a conference on Physics Education*, Sacramento, California.

Mestre, J. P.(2004). Is transfer ubiquitous or rare?

New paradigms for studying transfer. Proceedings of a conference on Physics Education, Sacramento, California.

Lee, G., Shin, J., Park J., Song, S., Kim, Y., & Bao, L. (2005). An integrated theoretical structure of mental model: Toward understanding how students form their ideas about science. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 25(6), 698-707.

Leff, H. S. (2002). Acceleration for circular motion. *American Journal of Physics*, 70(5), 490-492.

Perkins, K., Adams, W., Pollock, S., Wieman, C., & Finkelstein, N.(2004). Correlating student attitudes with student learning using the Colorado Learning Attitudes about Science Survey. Proceedings of a conference on Physics Education, Sacramento, California.

Redish, E. F. (2003). *Teaching Physics*. John Wiley & Sons, INC.

Roth, W., Lucas, K. B., & McRobbie, C. J. (2001). Students' talk about rotational motion within and across contexts, and implications for future learning. *International Journal of Science Education*, 23(2), 151-179.

Saunders, W. L., & Jesunathadas, J. (1988). The effect of task content upon proportional reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), 59-67.

Sinatra, G. M. (2002). Motivational, social, and contextual aspects of conceptual change: A commentary. In M. Limón, & L. Mason (Eds.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (pp.187-197). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer academic publishers.

Steinberg, R. N., & Sabella, M. S. (1997). Performance on multiple-choice diagnostics and complementary exam problems. *The Physics Teacher*, 35, 150-155.

Warren, J. W.(1971). Circular motion, *Physics Education*, 6(2), 74-78.