

# 중등 과학 교과서의 생명 영역에 제시된 과학적 모형들의 유형 분석

김미영 · 김희백\*

한국교육과정평가원 · 서울대학교

## Analysis of the Types of Scientific Models in the Life Domain of Science Textbooks

Kim, Mi-Young · Kim, Heui-Baik\*

Korea Institute for Curriculum and Evaluation · Seoul National University

**Abstract:** This study aims to develop an analytic framework that can be used to classify scientific models in science textbooks according to modes and attributes of representation and to investigate types of scientific models presented in the biology section of science textbooks for the 7<sup>th</sup> to 10<sup>th</sup> grades.

The results showed that modes of representation of scientific models are related to the nature of sub-areas of biology sections. Generally, the iconic model and symbolic model were in dominant use, including drawings of organs and explanations of working of systems. However, the chapters on ‘The Organization of Life’ and ‘The Continuity of Life’ showed a relatively high frequency in use of the actual model. The theoretical model was presented in a part of ‘The Continuity of Life’, due to its highly abstract characteristics. Moreover, the gestural model and analogical model showed very low frequency. From the perspective of attributes of representation, frequency of the static model was very high, while one of the dynamic models was very low. Therefore, efforts to recognize the properties of scientific concepts more clearly and to develop diverse types of models that can represent the concepts adequately are required.

Analysis of these types of scientific models can offer recognition of the usefulness and limitations of models in representing the concepts or phenomena, and can help us to design adequate models depicting particular properties of given concepts. Also, this type of analysis may motivate researchers to strive to reveal correct methods for and limits of using the scientific models that are presented in existing science textbooks, as well as to provide useful information to organize the science textbooks according to the revised 7<sup>th</sup> national science curriculum.

**Key words:** scientific model, mode of representation, attributes of representation

### I. 서론

과학이나 과학교육 분야에서는 과학 개념들을 설명하거나 나타내는 도구로서 다양한 표상(multiple representation)들이 사용되어 왔다. 최근에는 학교 과학수업이나 과학 교과서에서 여러 가지 표상들을 활용하여 학생들의 개념 이해를 도와야 한다는 주장이 더욱 강조되고 있다(Gilbert, 2004; Lemke, 1998). 이런 표상들 중의 하나인 모형(model)은 자연적 현상이나 과정을 묘사하는 일련의 아이디어들을 표현한 것이며, 여기에는 구체적 대상이나 과정을 언어적 또는 시각적 실재들로 나타낸 것, 수학적 알고리

즘, 문제해결 과정, 비유적 교수 모형 등이 포함될 수 있다(Harrison & Treagust, 1996; 2000). 이렇게 표상된 모형들은 어떤 현상에 대한 핵심적인 과정이나 기본 개념들을 나타내므로 학생들의 개념 이해에 중요한 역할을 하여 왔다(Grosslight *et al.*, 1991). 과학적 현상들 중 다수가 학생들이 직접적으로 경험하기 어렵거나, 교실에서의 통제된 실험을 수행하기가 불가능한 경우가 많다. 이런 현상이나 과정을 설명하는데 모형을 사용하는 것이 유용하며, 또한 모형을 사용하면 학생들이 과학 개념들에 보다 쉽게 접근하며 흥미로워한다고 주장하여 왔다(김미영, 김희백, 2007; 김희백 등, 2001; Clement, 2000).

\*교신저자: 김희백(hbkim56@snu.ac.kr)

\*\*2009.02.09(접수) 2009.03.13(1심통과) 2009.05.24(2심통과) 2009.05.26(최종통과)

이런 맥락에서 모형이 과학 학습에 어떻게 기능하는지에 대한 연구들이 진행되어 왔다. Buckley(2000)는 학생들이 선지식이나 새로운 정보 획득을 모형으로 표현하며, 그 다음 현상과 표상들 간의 상호작용을 통하여 과학적 개념에 대한 정신 모형(mental models)을 구성한다고 하였다. 또한 Gilbert(2004)는 모형이 복잡한 현상을 단순하게 묘사하는 과정에서 실제의 표상으로 기능하거나, 추상적인 실재를 시각화하거나, 실험 결과를 해석하기 위한 기초를 제공하거나, 설명을 할 수 있게 한다고 주장하였다. Coll et al.(2005)에 의하면, 특히 비유 모형은 추상적인 과학 개념들을 친숙하게, 시각적으로, 실제적으로 설명하기 때문에 교사와 학생들의 흥미를 유도한다고 하였다. 또한 모형의 사용은 학생들을 과학 지식, 경험, 과학적 문화로 안내하도록 도와주기도 하지만, 이런 비물질적 실재를 구체적 대상으로 표현하는 것은 개념적인 혼동을 가져올 수 있기 때문에 주의를 기울여야 한다고 주장하였다(Duit, 1999). 하지만 학생들은 추상적 과정과 개념들을 구체적 용어나 도구로 사고하는 것을 선호하며, 이런 예는 화학의 전류 단원에서 찾을 수 있는데, 전자를 확산적이고 동적인 것 대신에 고정되고 정적인 것으로 보거나(Chiu & Lin, 2005), 분자 결합을 어떤 힘이 아닌 물질적 연결로서 묘사하는 것을 들 수 있다(Harrison & Treagust, 2000). 따라서 교수 학습에 모형을 사용하는 것은 학생의 발달 수준에 따라 구체적인 비유 모형에서부터 수학적이고 이론적 모형으로 점차 변화시켜 가야 한다는 주장이 제기되었다.

Johnstone(1993)은 인지적 발달에 따른 사고 수준(levels of thought)의 추상성 정도를 ‘거시적(Macro)’, ‘초미시적(Submicro)’, ‘상징적(Symbolic)’의 세 가지로 나타낼 수 있으며, 여기서 ‘거시적’은 구체적(concrete) 수준에, ‘초미시적’과 ‘상징적’은 추상적(abstract) 수준에 해당한다고 하였다. 그는 일상의 구체적 경험으로부터 유래하는 ‘거시적’ 수준의 개념들과 ‘초미시적’과 ‘상징적’ 수준에 있는 개념의 추상적 속성 사이의 인지적 차이를 강조하였다. 궁극적으로 ‘거시적’ 수준의 개념에 대한 과학적 이해는 ‘초미시적’ 수준에서 일어나는 요소들의 상호작용과 기작을 인식해야 가능하다고 하였다. 그러므로 교수 과정에서 각 개념의 속성과 추상성 정도에 적합한 방식의 모형을 적용해야 한다고 하였다.

이와 관련하여 Rappoport와 Ashkenazi(2008)는 화학적 현상에 대해 거시적, 초미시적, 상징적 수준의 세 가지 표상 수준으로 나타낼 수 있다고 하였으며, 화학 전공자들과의 면담을 통해 거시적 수준과 상징적 수준은 시스템 수준을 표상하는데, 초미시적 수준은 그 시스템을 구성하는 구성 요소 수준을 표상하는데 사용할 수 있음을 밝혀내었다. 또한, Johnson-Laird(1983)는 학생들이 동일한 현상에 대해 다양한 모형을 사용할 수 있음을 알지 못하고, 교사와 학생 모두가 일시적이고 실용적인 모형 사용의 유용성과 한계를 정확하게 파악하지 못함으로써, 현상과 모형 간의 본질을 이해하지 못한다고 하였다.

이러한 점에서 볼 때, 교사가 교수학습 과정에서 해당 과학 개념의 속성에 적합한 모형을 실용적으로 사용하고, 학습의 효과를 높이기 위해서는 우선 모형에 대한 정의와 그 범주를 명료화하는 것이 필요하다. 이를 위해서 과학적 현상을 표상하는 모형들의 범주를 구분하고, 서로 다른 종류의 표상들을 어떻게 비교할 것인지를 논의하는 것과, 모형들을 분석하는 다양한 차원의 틀을 고안하는 것이 필요하다. 이런 모형들을 범주화하는 분류틀로써 Bailey(1994)는 세 가지 유형을 제안하였다. 첫째는 개념적 유형으로 다이어그램, 언어적 비유, 태양계 모형, 분자 모형 등과 같이 표현된 모형들이다. 둘째는 경험적 유형으로 경험적 자료로부터 나온 실제 사례를 묶어서 형성된 것이다. 그 예로 빛의 굴절, 눈의 모형이나 소화계를 설명하는 그림 등을 들 수 있다. 세 번째는 조작적 유형으로 개념적 유형과 경험적 유형을 둘 다 고려하여 나타난 표상을 의미한다. Mirham(Boulter & Buckley, 2000, 재인용)은 모형을 분류하는 또 다른 틀을 제시하였는데, 그것은 3가지 준거와 2가지 차원을 조합하여 구성된 물질적/상징적, 정적/동적, 확정적(정의되고 알려진 결과물)/확률적(가능성에 근거한 결과물)차원이다. 또한 오피석(2006)은 선행 연구들을 기반으로 하나의 모형을 세 가지 서로 다른 차원에서 분석할 수 있는 분류 틀을 개발하였다. 이 분류 틀은 과학적 모형을 표상 매체(medium of representation), 표상 방법(method of representation), 모형의 가동성(mobility)이란 세 가지 차원에서 분석하고 있다.

과학 수업에서 교사가 과학 개념을 가르치거나, 학생들이 개념을 습득하는데 큰 영향을 미치는 자료 중 하나는 교육 과정을 충실히 반영한 교과서라 할 수 있

다. 예전부터 과학 교과서에서 과학 개념, 현상, 과정을 설명하는데 다양한 범주의 모형들이 다루어져 왔지만, 그 모형들이 어떻게 분류되며 어떤 특성을 갖고 있는지, 또 과학적 개념이나 현상을 각 모형이 적절히 표상하고 있는지, 해당 모형이 학생들의 개념 학습에 어떻게 기능하는지 등에 대한 구체적인 연구가 이루어지지 않았다(김미영, 김희백, 2007; 오필석, 2006; Pozzer & Roth, 2003). 따라서 과학 교과서에 제시된 모형들을 범주화하고, 과학적 개념과 그것을 표상한 모형 간의 적합성에 대한 타당성 검토가 필요하다고 여겨진다. 이렇게 모형을 범주화하는 것은 현상을 표상하는 모형의 유용성과 한계를 파악할 수 있고, 특정 현상이나 개념에 적합한 모형을 선택하거나 고안하는데 도움을 줄 수 있다. 마지막으로 이런 작업은 현 교과서들에 나타난 과학적 모형 사용의 제한점과 바람직한 방향을 모색하게 함으로써 7차 개정 교육과정에 따른 과학 교과서를 구성하는데 유용한 정보를 제공해 줄 것이다. 이를 위해 구체적인 연구 문제는 다음과 같이 설정하였다.

- 1) 제7차 교육과정의 과학과 생명 영역에 제시된 모형들은 주제별로 그 표상 양식과 표상의 속성에서 어떤 차이를 보이는가?
- 2) 제7차 교육과정의 과학과 생명 영역에서 제시된 모형들은 각 사례별로 과학 개념의 존재론적 범주와 추상성 수준을 어떻게 표상하고 있는가?

## II. 연구 방법 및 내용

### 1. 분석 대상 교과서

이 연구에서는 제7차 교육과정의 과학과 교과서 생명 영역 내용을 '생물의 구성', '물질대사', '자극과 반응', '생명의 연속성' 등의 주제별로 구분하여 교과서에 제시된 모형들의 유형과 속성을 알아보았다. 제7차 과학과 교육과정 7학년~10학년의 생명 영역 내용 체계는 7학년~9학년의 경우 생물의 구성, 소화와 순환, 호흡과 배설, 식물의 구조와 기능, 자극과 반응, 생식과 발생, 유전과 진화 등으로 구성되며, 10학년은 '생명' 단원 내에 다시 물질대사, 자극과 반응, 생식과 발생으로 구분하고 있다. 따라서 8학년의 '소화와 순환', '호흡과 배설', '식물의 구조와 기능' 단원과 10학년의 '물질 대사'를 통합하여 '물질 대사'로 구분하였고, '자극과 반응' 주제는 8학년과 10학년의 단원을 통합하여 분석하였다. '생명의 연속성' 주제는 9학년의 '생식과 발생', '유전과 진화' 단원과 10학년의 '생식과 발생' 단원을 묶어 구분하였다. 본 연구에서는 중학교 과학(7~9학년)과 고등학교 과학(10학년) 교과서 중 실제 학교 현장에서 많이 사용하고 있는 순으로 각 3종씩을 선정하여 생명 영역의 모형들을 분석하였다. 이렇게 교과서 3종씩을 선정함으로써 특정 교과서에 제시된 모형들의 분석으로 인한 오류를 줄이고자 하였다.

표 1  
모형 분석 대상 교과서

학 년	교과서명	저자	출판사
7학년	과 학	이광만 외	A
		이성목 외	B
		김찬중 외	C
8학년	과 학	이광만 외	A
		이성목 외	B
		김찬중 외	C
9학년	과 학	이광만 외	A
		이성목 외	B
		김찬중 외	C
10학년	과 학	우규환 외	D
		이문원 외	E
		김찬중 외	F

## 2. 과학적 모형의 분류 틀 개발

본 연구에서 사용한 모형의 분류 틀은 오필석(2006)과 Roth *et al.*(1999)이 제안한 것을 통합하여 생명 영역의 특성에 맞게 재구성하였다(표 2).

먼저 오필석(2006)은 표상 매체, 표상 방식, 모형의 가동성 등 세 가지 차원에서 모형을 분석하였다. 표상 매체란 모형의 구현을 가능케 하는 매개체를 뜻하는 것으로, 이 차원에서는 과학적 모형을 언어-문장적 모형, 기호 모형, 평면적 그림 모형, 입체적 물질 모형, 몸짓 모형, 컴퓨터 모형 등으로 구분하였다. 둘째, 모형이 어떤 대상을 표상할 수 있게 하는 방법이나 원리의 차원에서 이론적 모형, 수학적 모형, 도해적 모형, 상징적 모형, 비유 모형으로 구분하였다. 마지막으로, 모형의 가동성이란 차원에서 정적 모형, 동적 모형, 조작적 모형으로 구분하였다. 이 분석틀은 모형을 세 가지 서로 다른 차원에서 분석하고 있으므로, 한 가지 차원만으로는 잘 드러내지 못하는 모형의 특성을 보다 체계적이고 정교하게 파악할 수 있는 장점을 갖는다. 이와 비교하여 Roth *et al.*(1999)은 고등학교 생명과학 교재에 제시된 표상들에 대하여 구체적이고 매우 세밀하게 표현된 것에서부터 보다 추상적이고 세밀하지 않은 것에 이르는 연속성 상에 사진, 자연스러운 그림, 지도-다이어그램, 그래프-표, 등식 등을 순서대로 나열하여 그 속성을 구분하였다. 여기서 등식에는 수학적식이나 화학식이 속하며, 표에는 수적 데이터, 통계 등이 포함된다. 이것은 학생들의 수준에 따라 구체적인 것에서 추상적인 것에 이르기까지 다양한 수준의 표상을 사용하는 것이 더 효과적임을 의미한다. 이 Roth *et al.*(1999)의 분류 틀은 현 교과서에 제시된 표상들 중 많은 수가 평면적 그림이나 사진으로 제시된 까닭에 이것을 구분하기에 적합한 속성을 갖고 있으므로 분석틀에 포함시켰다.

위의 오필석(2006)의 틀 중에서 표상 매체와 표상 방법은 서로 중복되며, 생명 영역의 모형 분석에는 부

적절한 부분이 많다. 예를 들어 평면적 그림 모형은 모상 모형과 거의 비슷한 개념이고, 기호 모형은 도해적 모형과 수학적 모형에 중복하여 포함될 수 있다. 또한 언어-문장적 모형과 컴퓨터 모형은 생명 영역에는 제시되지 않았다. 따라서 이 연구에서 사용한 모형의 분석틀은 다음과 같이 재구성하였다. 오필석(2006)의 분류 틀 중 표상 매체의 언어-문장적 모형, 컴퓨터 모형은 없애고, 나머지는 표상 양식에 통합시켰다. 평면적 그림 모형들의 대부분은 표상 양식의 모상 모형으로, 입체적 물질 모형은 실제적 모형으로 포함시켰고, 기호 모형은 상징적 모형(symbolic model)으로 명칭을 바꾸고, 수학적 모형과 도해적 모형을 포함하는 범주로 정의하였다. 이렇게 하여 표상 양식을 6가지로 분류한 다음, Roth *et al.*(1999)이 주장한 표상의 구체적 수준에서 추상적 수준에 이르는 연속적인 단계로 제시하였다. 그 순서는 실제적 모형에서 몸짓 모형, 비유적 모형, 모상 모형, 상징적 모형, 이론적 모형으로 추상성이 높아지는 것으로 판단하였다. 가동성 차원은 표상의 속성으로 용어를 수정하고, 동적 모형과 정적 모형의 2가지로 구분하였다. 오필석(2006)이 구분한 조작적 모형은 특정한 변인을 조작하면서 다른 변인의 변화를 관찰하는 실험과 같은 상황에 적용할 수 있는데, 여기서는 동적 모형에 포함하여 다루었다(표 2). 이런 과정으로 개발한 <표 2>의 분석틀을 과학교육 전문가 2명과 과학교사 2명에게 검토한 다음, 그 검토 내용에 따라 분석틀을 다시 수정하였다. 그 다음 2명의 연구자가 독립적으로 각각의 교과서를 분석한 다음, 서로 불일치한 모형에 대해 수차례의 협의를 거쳐 조정하여 분석의 일관성을 유지하도록 하였다.

## 3. 분석 방법

과학 교과서 생명 영역에 제시된 모형들을 주제별로 분석하기 위해 7학년에서 10학년까지의 내용을

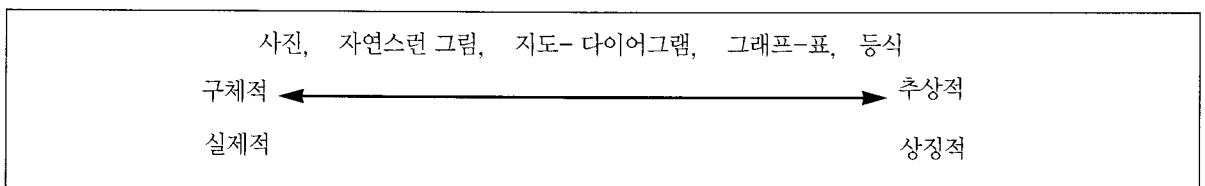


그림 1 표상이 상황을 나타내는 추상성 수준에 따른 구분(Roth *et al.*, 1999)

표 2  
과학적 모형의 분류 틀

분류 기준	모형의 유형	정의 및 예시
표상 양식 (mode of representation)	실제적 모형 (concrete model)	· 하나 이상의 재료 물질을 이용하여 어떤 대상이나 과정을 3차원적으로 사실적으로 표현한 모형 · 어떤 대상을 실제로 찍은 사진(구체적, 사실적인 표상) · 눈 모형, 호흡기 모형, 태아의 사진, 정자의 전자현미경 사진
	몸짓 모형 (gestural model)	· 몸이나 몸의 일부를 움직여 어떤 대상이나 대상의 변화, 과정을 표현한 모형 · 심장의 박동수 조절, 깃발을 이용한 호르몬 전달, 자극에 대한 반응 실험
	비유적 모형 (analogical model)	· 어떤 대상을 그것과 유사한 다른 것의 모습이나 성질을 이용하여 표상한 모형 · 효소에 대한 자물쇠-열쇠 모형, 온도 자동조절 장치
	모상 모형 (iconic model)	· 표상하고자 하는 사물이나 과정, 사건과 비슷하게 보이거나 기능하도록 구성된 실재하거나 가상의 사물이나 과정을 2차원적 그림이나 스케치 등으로 표현한 모형 · 사람의 호흡 기관, 귀의 구조, 출산 과정
	상징적 모형 (symbolic model)	· 언어나 선과 점, 색, 숫자, 부호 등 상징적 의미를 내포하는 약속된 기호 체계를 통하여 어떤 대상이나 대상들 사이의 관계를 표현한 모형 · 효소의 작용, 온도조절 장치, 혈당량 조절, 그래프, 수식
표상의 속성 (attribute of representation)	이론적 모형 (theoretical model)	· 이론적인 상황을 설정하여 어떤 사물이나 상태, 과정 등을 표상하는 모형 · 생식세포의 형성과정, 생식주기 동안 자궁의 변화
	정적 모형 (static model)	· 전체나 부분이 움직이지 않고 어떤 사물이나 상태, 과정, 아이디어 등을 표상하는 모형 · 세포나 인체 내 여러 기관을 나타낸 그림
	동적 모형 (dynamic model)	· 대상이 되는 사물이나 과정, 사건이 실제로 움직이거나 발생하는 모습을 표상한 모형 · 효소의 작용, 혈당량 조절

‘생물의 구성’, ‘물질 대사’, ‘자극과 반응’, ‘생명의 연속성’으로 구분한 다음, 모형의 각 유형별로 전체 빈도를 측정하였다. 예를 들면, 7학년 과학 교과서 3종의 ‘생물의 구성’ 단원에 제시된 모형들을 우선 표상 양식 차원에서 각 유형에 해당하는 전체 빈도를 나타내고, 다음에는 표상의 속성 차원에서 정적 모형과 동적 모형에 해당하는 전체 빈도를 각각 제시하였다. 다음으로 ‘물질 대사’의 경우에도 3종의 8학년 교과서 ‘소화와 순환’, ‘호흡과 배설’, ‘식물의 구조와 기능’ 단원과 10학년의 ‘물질 대사’ 단원에 제시된 모형들을 위와 동일하게 표상의 양식과 속성 차원에서 각각 분석하여 전체 빈도로 나타내었다. ‘자극과 반응’ 주제는 8학년과 10학년의 ‘자극과 반응’ 단원에 제시된 모형의 빈도를 합한 것이고, ‘생명의 연속성’ 주제는 9학년의 ‘생식과 발생’, ‘유전과 진화’ 단원과 10학년의 ‘생식’ 단원에 제시된 모형의 전체 빈도를 나

타낸 것이다.

다음으로 과학 교과서 생명 영역에 제시된 모형의 사례 분석은 모형이 표상화하는 내용에 따라 구조에 대한 이해, 구조와 기능의 연결 이해, 순차적 사건의 이해, 무작위적 사건의 이해를 돕는 모형의 네 범주로 구분하였다. 각 범주에 속하는 사례들을 선정한 후 Chi et al.(1994)의 존재론적 속성과 Rappoport와 Ashkenazi(2008)의 추상성 수준에 따라 사례를 분석하였으며, 이를 좀 더 구체적으로 제시하면 다음과 같다. 우선 생명 영역에서 다루는 내용 요소를 존재론적 속성에 따라 생명체를 구성하는 물질 범주와 이로 인해 나타나는 과정 범주로 나누었다. 여기서 물질 범주에는 물질로 구성된 시스템의 구조에 해당하는 내용이 속하며, 이는 추상성 수준에서 ‘거시적’ 수준에 속한다. 과정 범주에는 생물의 구조와 그 기능의 연결, 생명체에서 순차적으로 일어나는 일련의 사건, 무

작위적이고 독립적으로 일어나는 사건 등에 해당하는 내용이 속한다. 이런 과정 범주들은 ‘시간에 따라 나타나고’, ‘결과가 나타나는’ 속성을 지니고 있으며, 추상성 수준에서는 ‘거시적’ 수준과 ‘초미시적’ 수준으로 모두 제시될 수 있다. ‘거시적’ 수준에서는 생물체의 구조와 관련한 지각 가능한 기능 제시하기, 사건들의 순차적 제시, 사건들의 인과적 제시 등이 이에 속한다. ‘초미시적’ 수준에서는 특정한 현상이나 기능이 발현되는 구성 요소들의 기작 등을 들 수 있는데, 이들은 복잡하고 보다 추상성이 높은 개념들이다. 이런 기작들 중 일부의 개념은 분자적 수준이나 세포학적 수준으로 들어가 ‘상징적’ 수준에 해당하기도 한다. 여기서는 교과서에 제시된 모형의 사례 분석을 통해 이런 생명 영역의 내용 특성을 각 범주별로 표상 양식과 속성에 관련지어 구체적으로 알아보려고 하였다.

### Ⅲ. 연구 결과 및 논의

#### 1. 과학 교과서 생명 영역에 제시된 모형의 주제별 분석

제7차 교육과정 7학년에서 10학년까지의 과학 교과서 생명 영역에는 생물체의 구성 단위와 구성 체제, 동물과 식물의 구조와 기능, 자극에 대한 반응, 생식과 유전을 통한 생명의 연속성 등을 다루고 있다. 각 주제들에 대한 학생들의 개념 이해를 돕기 위해서는

눈에 보이지 않는 몸의 속 구조를 가시화한다거나, 각 부분의 구조적 특성을 좀 더 구체적으로 기능과 연결 짓거나, 복합적이고 추상적인 과정들은 전체적으로 연관지어 표상화하는 것이 필요하며, 그런 유용한 도구 중 하나가 모형이다. 따라서 과학 교과서의 생명 영역의 내용을 주제별로 구분하여 교과서에 제시된 모형들의 표상 양식과 속성을 분석하고, 각 모형이 해당하는 개념의 이해를 도울 수 있도록 제시되었는지 그 특성을 알아보았다.

#### 1) 교과서에 제시된 모형의 표상 양식에 대한 주제별 비교

3종의 과학 교과서에 제시된 모형들을 각 주제별로 표상 양식의 차원에서 분석한 결과는 <표 3>과 같다.

7학년의 ‘생물의 구성’ 단원을 보면 상징적 모형이 34.1%로 가장 많았고, 모상 모형, 실제적 모형 순이었다. 이 단원은 현미경 사용법, 세포의 관찰, 동물 세포와 식물 세포의 비교, 생물의 구성 단계 등의 주제로 구성되어 있다. 이런 주제들은 주로 세포나 조직의 구조에 대한 이해, 구성 조직의 원리에 대한 이해 등을 목표로 하므로, 현미경으로 관찰하거나 실물이나 그림을 통해 그 형태적 특징을 비교하는 것이 필요하다. 따라서 이 주제에서는 주로 세포나 조직의 구조를 구체적으로 또는 유사하게 나타낸 그림이나 사진 같은 모상 모형이나 상징화한 모식도와 같은 상징적 모형이 많이 사용되었음을 알 수 있다.

다음으로 ‘물질 대사’는 7학년의 ‘소화와 순환’,

**표 3**  
교과서에 제시된 모형의 표상 양식에 대한 주제별 비교

표상 양식	생물의 구성	물질대사	자극과 반응	생명의 연속성
실제적 모형	11(25.0)	52(25.6)	16(11.4)	74(31.1)
몸짓 모형	3( 6.8)	4( 2.0)	12( 8.5)	0( 0.0)
비유 모형	2( 4.6)	12( 5.9)	9( 6.4)	17( 7.1)
모상 모형	13(29.6)	64(31.5)	64(45.4)	78(32.8)
상징적 모형	15(34.1)	71(35.0)	35(24.8)	43(18.1)
이론적 모형	0( 0.0)	0( 0.0)	5( 3.6)	26(10.9)
소 계	44(100.0)	203(100.0)	141(100.0)	238(100.0)

\* 각 주제별로 3종의 과학 교과서에 제시된 모형들의 전체 빈도를 나타낸 것이다. 또한 주제별로 ‘생물의 구성’은 7학년 ‘생물의 구성’ 단원에 제시된 것이지만, ‘물질 대사’는 8학년의 ‘소화와 순환’, ‘호흡과 배설’, ‘식물의 구조와 기능’, ‘10학년의 물질 대사’ 단원 모두에 제시된 모형들의 전체 빈도를 나타낸 것이다. ‘자극과 반응’은 8학년과 10학년의 ‘자극과 반응’ 단원에 제시된 빈도를 합한 것이고, ‘생명의 연속성’은 9학년 ‘생식과 발생’, ‘유전과 진화’ 단원과 10학년의 ‘생식’ 단원에 제시된 전체 빈도를 의미한다. 이하 동일한 방식으로 분석하였다.

‘호흡과 배설’, 8학년의 ‘식물의 구조와 기능’, 10학년의 ‘물질 대사’ 단원 등으로 구성된다. 이 주제에 제시된 모형들은 역시 상징적 모형이 35.0%로 가장 많았고, 그 다음 모상 모형, 실제적 모형, 비유 모형, 몸짓 모형 순으로 나타났다. 이 ‘소화와 순환’, ‘호흡과 배설’ 단원은 사람 몸의 속 구조와 각 부분의 기능에 대한 내용으로 구성되어 있다. 따라서 각 기관의 구조와 기관들의 연결이나 각 기관의 작용을 화살표나 모식도 등으로 나타낸 상징적 모형이 적합하며, 또한 실제 기관을 2차원적 그림으로 비슷하게 나타낸 모상 모형 등도 많이 사용된 것이라고 여겨진다. <그림 2>는 10학년 ‘물질 대사’ 단원에서 효소의 기질 특이성을 표상한 상징적 모형의 한 예이다.

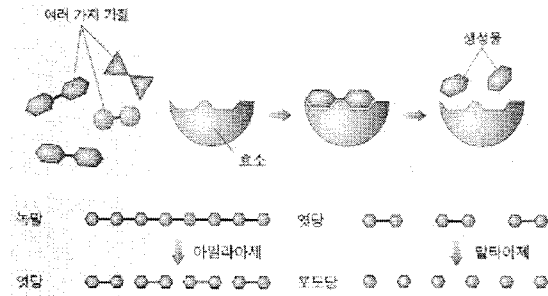


그림 2 효소의 기질 특이성(상징적 모형)

‘식물의 구조와 기능’에서는 식물의 속구조를 나타내는 모상 모형들이, 광합성 및 증산작용에 대해서는 과정이나 각 과정들 사이의 관계를 나타내는 상징적 모형들이 많이 사용된 것을 알 수 있다. 가상의 이론적 상황에서 어떤 대상의 상태를 표상하는 이론적 모형은 이런 주제를 표상하기에는 적절하지 않아 하나도 제시되지 않았다. 한편 비유 모형은 5.9% 정도 나타났다. 그 예로, 10학년에서 효소의 기질 특이성에 대한 열쇠-자물쇠 모형, 효소의 활성화 에너지 언덕 모형 등이 있다(그림 3). 또한 7학년의 신장을 정수기의 필터(A교과서, 190쪽)에 비유하거나, 소장벽의 주름을 오토바이의 냉각핀과 난방용 라디에이터(A교과서, 162쪽; C교과서, 180쪽)에, 사람의 호흡 과정을 자동차의 연료 연소(C교과서 203쪽)에 비유한 것 등이 이에 속한다(그림 4). Dagher(1994)는 교사들이 주로 과학 개념을 설명하고 묘사하기 위해 비유를 사용한다고 하였으며, Venville과 Treagust(1996)는

비유 사용이 학생들이 과학 개념과 사물의 속성이나 현상 간의 인과 관계를 재구성하는데 도움이 된다고 하였다.

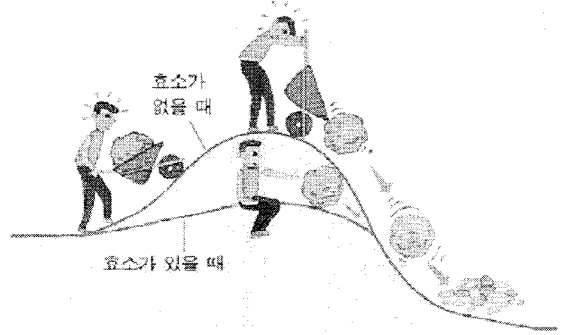


그림 3 효소의 활성화 에너지(비유 모형)

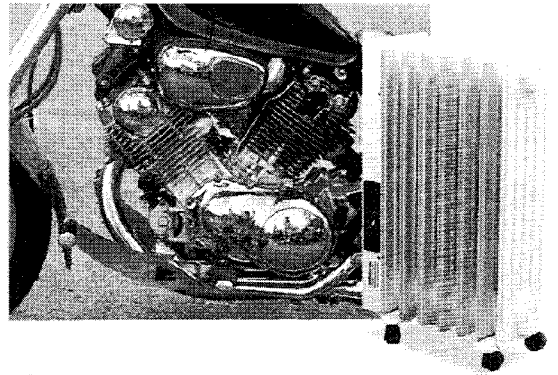


그림 4 냉각핀과 라디에이터(비유 모형)

8학년과 10학년의 ‘자극과 반응’ 단원에 제시된 모형은 모상 모형이 45.4%, 상징적 모형이 24.8%를 차지하였고, 실제적 모형, 몸짓 모형, 비유 모형, 이론적 모형 순으로 제시되었다. ‘자극과 반응’ 단원은 감각기의 구조와 기능, 신경계와 내분비계의 구조, 호르몬에 의한 항상성 조절 등을 다루고 있다. 감각기의 구조와 기능에 대하여는 그 개념의 속성상 시각기, 청각기, 후각기, 미각기 등을 보여주는 모상 모형이 많은 것이 타당하다. 또한 신경계와 호르몬에 의한 조절에서는 모상 모형과 함께 대상들 사이의 관계를 약속된 기호 체계를 통해 표현하는 상징적 모형을 사용하는 것이 바람직하다. 하지만 8학년 학생들이 이런 추상적 과정을 이해하기는 어렵다. 따라서 목표물을 구체적이고 친숙한 비유물로 나타낸 비유 모형을 좀 더 많이 구성할 필요가 있다. 또한 10학년의 신경계와 호르

몬에 의한 조절 과정에 대해서는 신경계와 호르몬 각 요소들 간의 관계와 기작을 체계적으로 표상할 수 있는 이론적 모형이 학생들의 개념 이해를 촉진시킬 수 있을 것이다.

다음으로 '생명의 연속성'은 9학년의 '생식과 발생'과 '유전과 진화', 10학년의 '생식' 단원으로 구성된다. 이 주제의 모형들은 표상 양식 차원에서 다른 주제와 비교하여 차이가 있었다. 모상 모형이나 상징적 모형의 비율이 각각 32.8%, 18.1%로 감소하고, 이론적 모형의 비율이 10.9%로 증가하였다. 앞의 '생물의 구성'과 '물질 대사' 주제는 이론적 모형이 하나도 없었고, '자극과 반응' 주제에서 3.6% 정도에 불과했던 것과 비교하면 상당한 정도로 증가한 것을 볼 수 있다. 생식 세포의 형성 과정에 대한 그림이나 기호는 이상화된 상황을 이용하여 생식 세포의 분리 과정을 표상한 것이며, 또 '대립 형질의 유전'이라든가 '중간 유전' 등의 개념을 설명하는데 있어 대립 인자들을 알파벳 기호로 나타내고 유전 열개를 기호 체계(숫자나 선)로 표상한 것 등은 모두 이론적 모형에 해당한다. 이 단원은 그 주제들의 속성상 이론적 모형으로 표상하기가 더 용이한 측면이 있다. 9학년에 제시된 '대립 형질의 유전'이나 '중간 유전', '자연 선택의 원리'나 '염색체의 무작위적 분리' 등은 Chi *et al.*(1994)이 주장한 '평형 범주'에 해당하는 개념들이다. 이 평형 범주의 개념은 추상적 속성을 지니며 분자적 수준에서 유전자와 염색체의 분리 과정을 이해할 수 있어야 하므로 학생들이 어려워한다고 알려져 있다. 따라서 이런 개념들은 가상적인 상황을 설정하여 유전자의 분배와 조합을 표상하는 이론적 모형이 학생들의 이해를 향상시키는데 보다 적합하다고 여겨진다.

모형의 표상 양식에 대해 주제별로 종합해 보면, 전체적으로는 모상 모형과 상징적 모형의 비율이 고르게 높았다. 하지만 '생물의 구성'과 '생명의 연속성' 주제에서는 세포의 관찰이나 동물 세포와 식물 세포의 현미경 사진, 개구리의 발생 과정, 태아의 발생 사

진 등을 많이 제시하고 있어 실제적 모형이 상대적으로 높게 나타났다. 또한 이론적 모형은 개념의 특성상 '자극과 반응' 주제에서 3.6%, '생명의 연속성'에서 10.9% 정도로 제시되었고, 다른 주제들에서는 거의 제시되지 않았다. 몸짓 모형이나 비유 모형은 4개 주제 모두에서 매우 낮은 비율을 보였다. 교과서라는 매체의 특성이 모상 모형이나 상징적 모형을 표상하기에 용이한 측면이 있지만, 학생들은 다양한 유형의 표상을 이용하고 직접 모형을 구성해 보는 것이 학습에 더 효과적이라는 주장들을 고려할 때 좀 더 다양한 유형의 모형 개발이 필요하다고 할 수 있다(김미영, 김희백, 2007; Gobert, 2000).

## 2) 교과서에 제시된 모형의 표상 속성에 대한 주제별 비교

교과서에 제시된 모형을 각 주제별로 표상의 속성 차원에서 그 유형을 분석하여 제시한 결과는 <표 4>와 같다.

표상의 속성 차원에서 각 주제별로 제시된 모형들을 살펴보면, 모든 주제에서 정적 모형이 88%이상으로 나타났다. 교과서라는 매체의 한계를 고려하더라도 너무 정적 모형으로만 치우쳐져 있는 것을 볼 수 있다. 과학 개념의 성공적인 학습을 위해서는 단순롭고 유사한 유형의 모형을 반복적으로 제시하는 것보다는 모형을 다채롭게 구성하거나 학생들이 직접 제작해 보는 활동을 구현하는 것이 더 효과적이라고 알려져 있다(Gobert, 2000). 또한 교과서의 표상들이 너무 정적 모형으로 치우쳐져 있으면, 학습자는 자칫 교과서의 개념을 지루하게 받아들일 수 있으며, 수동적인 자세로 접근할 가능성이 많다.

다양한 모형을 구성하는 방안으로 '자극과 반응' 주제에서는 눈, 귀, 피부 감각기의 구조를 색 고무 찰흙을 이용해서 직접 만들어보거나, '소 눈 해부' 등의 관찰 활동을 구성할 수도 있을 것이다. 자극의 전달이나 호르몬에 의한 조절은 생체 내에서 일어나는 과정

**표 4**  
교과서에 제시된 표상의 속성에 대한 주제별 비교

표상의 속성	생물의 구성	물질대사	자극과 반응	생명의 연속성
정적 모형	39(88.6)	190(93.6)	125(88.7)	222(93.3)
동적 모형	5(11.4)	13(6.4)	16(11.4)	16(6.7)
소계	44(100.0)	203(100.0)	141(100.0)	238(100.0)

빈도(%)



이므로 실제 실험이나 관찰이 어렵다. 이런 내용은 비유 모형이나 몸짓 모형을 이용하여 동적으로 표상할 수도 있다. 분석 대상 교과서 중 8학년의 '자극은 얼마나 빨리 전달될까?' (C교과서, 158쪽), 9학년의 '사람의 형질 유전' (A교과서, 268쪽), 10학년의 '혈당량은 어떻게 조절될까?' (C교과서, 211쪽) 등은 표상의 속성 측면에서 동적 모형으로 표현된 예이다. 또한 '소화 효소의 작용' 주제에 대해서는 고분자 물질이 저분자 물질로 분해되는 과정을 학생들이 실제 종이 모형을 붙이고 쪼개는 과정으로 표현하는 동적 모형을 고려해 볼 수 있다. 이와 같이 각 주제별로 과학 개념의 속성을 좀 더 명확히 파악해 보고, 표상의 속성 차원에서 그 개념을 적절히 표상할 수 있는 다양한 형태의 모형을 개발하는 것이 필요하다.

2. 과학 교과서 생명 영역에 제시된 모형의 사례 분석

다음에서는 과학 교과서에 제시된 모형들 중 유형별로 몇 가지 사례에 대한 분석을 제시하여 각 개념의 속성을 잘 표상할 수 있는 모형을 구성하고 적용하는데 구체적인 도움을 주고자 하였다.

1) 사례 1. 구조에 대한 이해를 돕는 모형

다음은 7학년 '생물의 구성' 단원에서 구조에 대한 이해를 돕는 모형을 제시한 것이다.

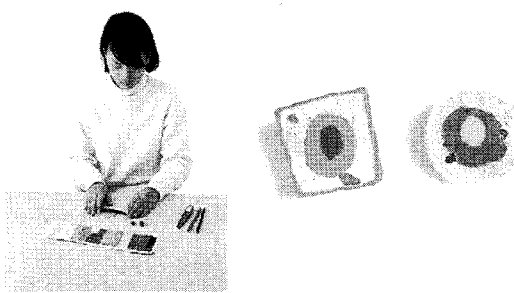


그림 5 세포 모형 만들기 (7학년, 디딤돌)

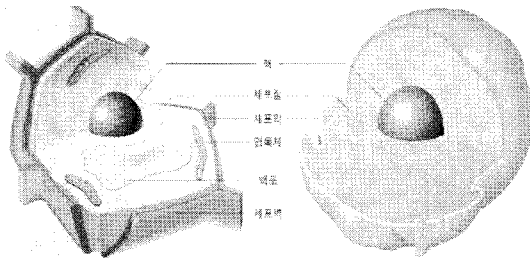


그림 6 식물 세포와 동물 세포 (7학년, 금성출판사)

<그림 5>와 <그림 6>에서 다루는 개념은 세포의 구조로서, 생물체의 기본 단위인 세포와 주요 세포 소기관의 명칭을 설명하고 있다. 이런 물질 범주에 속하는 개념은 '거시적' 수준에 속하므로 학생들이 모상 모형을 통해 비교적 쉽게 이해할 수 있다. <그림 5>은 학생들이 색 고무 찰흙을 사용하여 직접 세포 소기관을 만들어 세포를 완성하게 하는 조작 활동으로 학생들의 흥미를 유발할 수 있게 구성하였다. 이것의 표상 양식은 물질 재료를 이용한 실제적 모형에 속하고, 표상의 속성은 대상이 되는 사물을 실제로 구성하는 동적 모형에 속한다. 이에 비하여 <그림 6>은 식물 세포와 동물 세포의 구조를 단순화된 2차원적 그림으로 제시한 모상 모형이며, 정적 모형으로 구분할 수 있다.

위에서 제시한 세포 모형은 감지 가능한 '거시적' 수준에 속하지만 맨눈으로는 관찰하기 어려운 내용을 큰 규모로 구체화하여 학생의 이해를 돕고 있다. 이외에도 몸속에 있어서 쉽게 관찰할 수 없는 소화기관나 호흡기관의 모형도 추상성의 측면에서 '거시적' 수준에 속하는 것으로 모상 모형을 통해 학생의 이해를 돕고 있다.

2) 사례 2. 구조와 기능의 연결에 대한 이해를 돕는 모형

다음은 생물체의 구조와 그 기능을 연결지어 학생들의 이해를 돕는 모형의 예를 제시한 것이다.

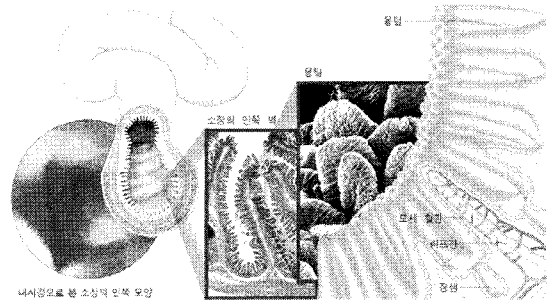


그림 7 소장의 내부 구조 (7학년, 금성출판사)

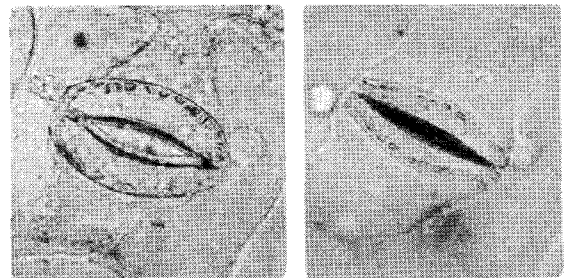


그림 8 기공의 개폐 (8학년, 금성출판사)

〈그림 7〉는 소장 내부 구조 사진(실제적 모형)과 모식도(모상 모형)를 나타낸 것이다. 소장 안쪽 벽의 주름과 융털을 사진과 그림으로 제시하여 학생들이 표면적과 양분 흡수와의 관련성을 보다 쉽게 이해할 수 있게 하였다. 〈그림 8〉은 기공의 여단합을 전자현미경 사진으로 나타낸 실제적 모형이며 정적 모형이다. 이런 모형은 학생들로 하여금 엽록체, 세포벽의 두께 차이, 공변세포의 팽창과 같은 공변세포의 구조를 기공 개폐와 연관지어 이해할 수 있도록 하였다. 위의 예들은 소장 표면적 확대와 흡수 촉진의 인과적 관계를 표상화하고, 공변세포의 구조를 개폐와 연관지어 표상화한다는 점에서 존재론적으로 과정-사건 범주에 속하며, 추상성 정도는 '거시적' 수준에 있다고 할 수 있다. 단순히 구조 변화에 따른 기능의 이해를 돕고자 할 때는 이처럼 실제 사진이나 그림으로 표상한 모형을 사용함으로써 교육적 효과를 높일 수 있을 것이다.

3) 사례 3. 순차적 사건의 이해를 돕는 모형

다음은 생물체 내에서 순차적으로 일어나는 일련의 과정이나 사건에 대한 이해를 돕기 위한 모형의 예이다. 이런 개념들은 Chi et al.(1994)의 과정-사건 범주에 속한 것으로 시작과 끝이 명료한 경계가 있으며 단위 사건은 시간적 순서에 따라 진행되는 속성을 갖고 있다.

〈그림 9〉는 소화관을 따라 영양소가 분해되는 과정

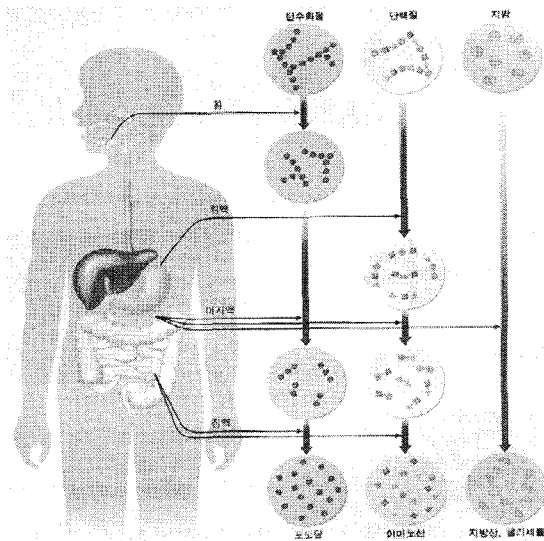


그림 9 영양소 소화 과정 (7학년, 금성출판사)

을 표상한 것으로 상징적 모형과 정적 모형에 해당한다. 각 영양소가 소화관을 지나면서 단계적으로 소화가 일어나는 과정을 모식적인 그림으로 나타낸 것이고, 〈그림 10〉는 동물 세포에서 일어나는 체세포 분열 과정을 이론적 모형과 정적 모형으로 제시한 것이다.

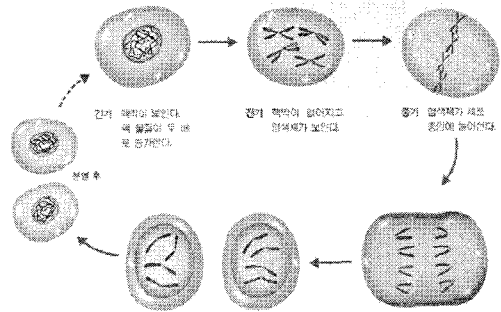


그림 10 동물세포의 체세포 분열 (9학년, 지학사)

소화과정 모형은 소화의 기작을 나타내기보다는 소화액에 의한 화학적 소화를 관찰한 결과에 근거하여 분자 크기 감소를 단계적으로 제시하고 있다는 점에서, 개념의 추상성 정도는 '거시적' 수준에 속한다고 할 수 있다. 이처럼 '거시적' 수준의 내용은 '초미시적' 내용에 비해 이해가 쉽게 되지만, 여러 소화기관에서 일어나는 소화를 단편적으로 제시하게 되면 전체 소화기관에서 일어나는 소화과정을 전체적으로 연계하여 이해하는데 어려움을 가질 수 있다. 이 모형은 소화과정의 각 단계를 구조화해서 표상화 함으로써 학생의 이해를 돕고 있다는데 교육적 의의가 있다고 할 수 있다. 또한 체세포 분열은 현미경 상에서 각 세포들마다 염색체의 행동은 관찰이 가능하여 '거시적' 수준에 속하지만, 한 세포 내에서 세포 분열이 순차적으로 진행되는 과정은 실제 관찰이 어렵다. 따라서 체세포 분열 모형은 여러 세포의 체세포 분열 단계를 순서적으로 연결지어 세포 분열 과정을 이해하도록 구성하였다는 특징을 갖는다. 이렇게 과학적 모형은 해당 개념의 속성과 학생들의 이해 수준을 고려하여 적절한 추상성 수준으로 제시함으로써 그 효과를 높일 수 있다. 그러나 과학적 모형은 과학적 증거를 기반으로 구성됨을 이해하는 것이 필요한데, 이에 관한 내용이 교과서에 전혀 언급되지 않은 점을 문제로 지적할 수 있다.

4) 사례 4. 무작위적인 사건의 이해를 돕는 모형

다음은 무작위적으로 일어나는 사건의 이해를 돕는 모형의 예이다. 생식세포 분열시 각 생식 세포로 분리되어 들어갔던 대립 유전자가 수정 시 다시 만나 새로운 유전자 조합이 만들어지는 것이나 다양한 환경적 요인과 생물적 요인이 무작위적으로 상호작용하여 일어나는 진화 개념 등은 Chi et al.(1994)이 구분한 존재론적 범주의 과정- 평형적 속성을 갖는 개념들이다. 특정 현상이 일어나게 하는 구성 요소인 유전자나 진화 관련 요인들이 각각 독립적으로 작용하여 그 결과가 나타나는 속성을 지니는 이런 개념들은 추상성이 높고, 실제 관찰이 용이하지 않기 때문에, 학생들이 이해하기 어렵하다고 알려져 있다(Venville & Treagust, 1998).

<그림 11>은 흰 바둑돌, 검은 바둑돌을 각 20개씩 넣은 2개의 유리병에서 각각 바둑돌을 한 개씩 꺼내어 짝을 지어 형질을 결정하는 활동이다. 여기서는 바

둑돌을 유전자에 비유하고, 검은 것이 흰 것에 대하여 우성이라고 가정하였다. 또한 2개의 주머니에서 바둑돌을 꺼내는 것은 감수 분열시 대립 유전자가 분리되어 각 생식 세포로 들어가는 과정을 나타낸 것이다. 이렇게 하여 무작위적인 각 조합으로 나오는 검은 형질과 흰 형질의 비를 계산하여 멘델의 유전 법칙을 구현해 보는 활동이다. 이것은 모형의 표상 양식 차원에서 비유 모형에 해당하며, 표상의 속성 차원에서는 바둑돌(유전자)을 직접 뽑아내어 조합을 형성해 보는 동적 모형에 해당한다. 학생들이 유전 현상에 대하여 친숙한 소재인 바둑돌로 조작 활동을 하므로 흥미를 느낄 수 있으며, 직접 검은 형질과 흰 형질을 판정해 보는 과정을 통해 멘델의 유전 법칙에 대해 보다 쉽게 이해하게 된다. 또한 이 모형은 분자적 수준에서 일어나는 유전자의 기능을 '초미시적' 수준과 '상징적' 수준으로 동시에 제시한 것이라 할 수 있다.

<그림 12>는 진화가 일어나는 과정을 모상 모형과



두 병에서 뽑은 바둑알	R과 R	R과 r	r과 R	r과 r
유전자형				
표현형				
개수				
유전자형의 비(RR : Rr : rr)				
표현형의 비(둥근 완두 : 주름진 완두)				

그림 11 꽃가루와 알세포 (9학년, 디딤돌)

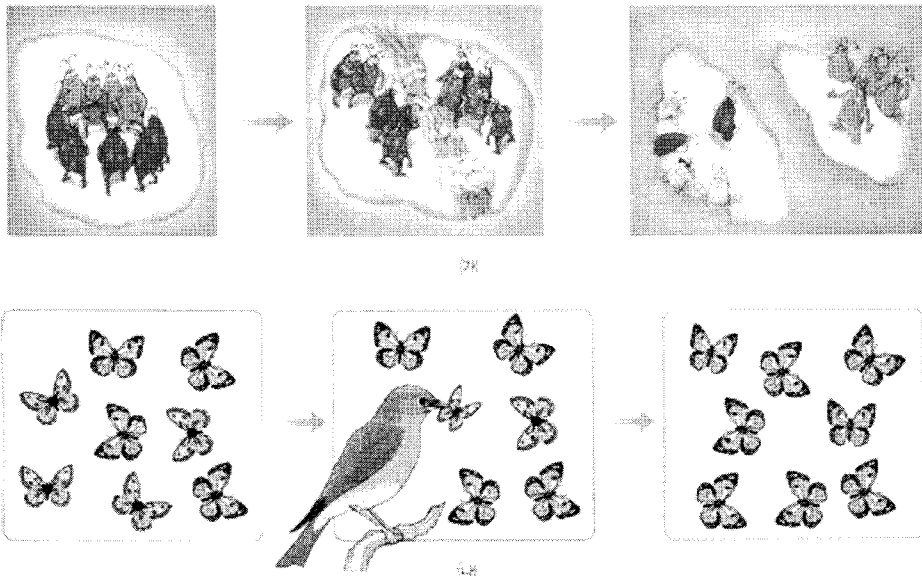


그림 12 진화의 여러 가지 원리 (9학년, 금성출판사)

정적 모형으로 제시한 것이다. 첫 번째 그림의 소재는 무당벌레이며, 개체군의 다양성을 색깔로 표시하고, 홍수로 인한 지리적 격리에 의해 생식적 격리가 일어나 서로 다른 진화 과정을 거치게 되었음을 표현하였다. 두 번째 그림은 무작위적 돌연변이에 의한 다양한 유전자 풀을 나비의 색으로 표현하고, 환경의 변화는 바탕색의 변화로 나타내었다. 또한 자연선택에 의한 유전자 풀의 변화를 새가 눈에 잘 띄는 나비를 우선적으로 잡아먹는 것으로 표현하였다. 진화는 Ferrari와 Chi(1998)의 과정-평형 범주에 속하는 추상적인 개념이지만, 이 모형은 진화가 진행되는 과정을 '거시적' 수준과 '초미시적' 수준으로 동시에 나타냄으로써 학생들이 보다 쉽게 이해하도록 하였다.

따라서 이런 모형들은 개념의 추상성 수준, 모형의 표상 양식이나 표상의 속성 등에 제한되지 않고, 학생들의 이해를 촉진할 수 있는 모형의 예를 제시한다고 할 수 있다.

앞에서 제시한 4가지 사례는 생명영역 교과서에서 생물체의 구조, 구조와 기능의 연결, 순차적 사건(과정-사건 범주), 무작위적 사건(과정-평형 범주)을 각각 모형으로 표상한 예이다. 이런 모형이 나타내는 과학적 개념은 구체적이고 관찰 가능한 것에서부터 추상적이고 관찰이 불가능한 것에 이르기까지 다양하다. 교과서라는 매체의 제한이 있지만, 표상 양식 차원에서는 모상 모형, 비유 모형, 상징적 모형, 이론적 모형이, 표상의 속성 차원에서는 동적 모형과 정적 모형이 적용되고 있었다. 따라서 과학적 개념의 추상성과 복잡성 수준, 매체의 제한점 등과는 관계없이 다양한 방식의 모형을 사용하여 그 과학적 개념을 효과적으로 표상할 수 있음을 알 수 있다.

#### IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 과학 교과서 생명 영역에 제시된 모형들을 그 표상 양식과 속성 차원에 따라 분류할 수 있는 분석틀을 개발한 다음, 교과서 생명 영역에 제시된 모형들을 분석하여 주제별로 어떤 특징을 나타내는지 알아보았다.

여기서 개발한 모형의 분석틀은 표상 양식과 속성 차원에서 접근하였다. 표상 양식은 6가지로 구분하여, 그 추상성의 수준에 따라 실제적 모형, 몸짓 모형, 비유적 모형, 모상 모형, 상징적 모형, 이론적 모형 순

으로 제시하였다. 또한 표상의 속성은 정적 모형과 동적 모형으로 분류하였다.

이 분석틀로 교과서 생명 영역에 표상된 모형들을 분석하여 얻은 결론은 다음과 같다. 모형의 표상 양식은 모상 모형과 상징적 모형의 비율이 고르게 높았지만, 단위별로 독특한 특징을 나타냈다. '생물의 구성'과 '생명의 연속성' 단위에서는 세포의 관찰이나 동물 세포와 식물 세포의 현미경 사진, 개구리의 발생 과정, 태아의 발생 사진 등을 많이 제시하고 있어 실제적 모형이 상대적으로 높게 나타났다. 또한 이론적 모형은 개념의 특성상 추상성이 높기 때문에 '자극과 반응'과 '생명의 연속성' 단위에서 매우 낮은 비율로 제시되었고, '생물의 구성'과 '물질 대사' 단위에서는 제시되지 않았다. 몸짓 모형이나 비유적 모형은 4개 단위 모두에서 매우 낮은 비율을 보였다. 표상의 속성 차원에서는 모든 단위에 걸쳐 정적 모형의 비율이 88%이상으로 매우 높았고, 동적 모형은 매우 낮은 비율을 보였다. 이를 종합하면, 교과서라는 매체의 특성이 모상 모형이나 상징적 모형, 정적 모형을 표상하기에 용이한 측면이 있지만, 학생들에게 다양한 유형의 표상을 이용하고 직접 모형을 구성해 보도록 하는 것이 학습에 더 효과적이라는 주장들을 고려할 때, 좀 더 다양한 유형의 모형 개발을 위한 노력이 필요함을 확인하였다.

다음으로 과학 교과서 생명 영역에 제시된 모형들 중 유형별로 몇 가지 사례를 제시하여 해당 과학 개념의 속성에 적합한 모형의 개발과 적용에 도움을 주고자 하였다. 교과서의 제시된 모형의 사례를 요약하면, 구조에 대한 이해를 돕는 모형, 구조와 기능의 연결을 돕는 모형, 순차적으로 일어나는 사건을 표상한 모형, 무작위적으로 일어나는 사건을 표상한 모형 등으로 구분되었다. 분석 결과, 모형의 표현 양식이나 속성이 과학 개념들의 추상성과 복잡성 수준, 매체의 속성 등을 제한하지 않음을 알 수 있었다. 생물체의 구조, 구조와 기능을 연결짓는 개념들은 시각적으로 그 특징을 잘 표현한 실제적 모형, 모상 모형 등이 효과적으로 개념을 표현하였다. 또한 순차적으로 일어나는 사건에 대해서는 영양소의 소화 과정을 순서대로 모식화하여 제시한 상징적 모형과 체세포 분열 과정을 이상적인 상황을 가정하여 각 시기별 특징을 차례대로 표상한 이론적 모형이 제시되었다. 이들은 표상의 속성 차원에서는 모두 정적 모형이었지만 각 개념을 효

과적으로 전달하고 있었다. 마지막으로 무작위적인 사건의 사례인 꽃가루와 알세포, 진화의 여러 가지 원리는 추상적이고 실제 관찰이 어려운 과정-평형 범주에 속하는 개념들을 표현한 모형이다. 이들은 각각 비유 모형-동적 모형, 모상 모형-정적 모형으로 구성하여 학생들의 개념 이해를 돕고 흥미를 유도할 수 있게 하였다. 이런 사례로부터 해당 과학 개념의 속성을 잘 표현할 수 있도록 모형을 어떻게 구성하는가에 따라 추상적이고 복잡한 과학 개념들도 효과적으로 표상할 수 있음을 확인하였다.

이런 사례 분석을 통해 모형의 각 요소들을 개념의 요소들과 관련지어 보고, 그 속성들을 비교함으로써, 학생들의 개념 이해를 촉진시키는 요소들을 찾을 수 있고 교사들에게 모형의 개발과 적용에 대한 유용한 지침을 제시할 수 있을 것이다. 또한 여기서는 과학 교과서에 제시된 모형만을 분석하였으므로 한계가 있지만, 실제 교실 현장에서 사용하는 비디오, 시뮬레이션 자료, 실험 활동 등을 분석해 본다면 보다 다양한 모형들이 과학 개념의 교수에 어떻게 유용하게 사용되는지 파악할 수 있을 것이다.

### 국문 요약

이 연구에서는 중등 과학 교과서의 과학적 모형들에 대해 그 표상 양식과 속성에 따라 분류하는 분석틀을 개발하여, 7~10학년 과학 교과서 생명 영역에 제시된 과학적 모형들의 유형을 분석하였다. 그 결과, 모형의 표상 양식은 생명 영역의 주제별로 특성을 나타냈다. 전체적으로는 기관의 형태를 표상한 그림이나 시스템의 작동에 대한 설명과 같은 모상 모형과 상징적 모형의 비율이 고르게 높았다. 그러나 '생물의 구성'과 '생명의 연속성'에서는 실제적 모형이 상대적으로 높게 나타났다. 또한 이론적 모형은 개념의 특성상 추상성이 높기 때문에 '생명의 연속성' 주제에서 일부 제시되었다. 몸짓 모형이나 비유적 모형은 매우 낮은 비율을 보였다. 표상의 속성 차원에서는 모든 주제에서 정적 모형의 비율이 매우 높았고, 동적 모형의 비율은 매우 낮았다. 따라서 과학 개념들의 특성을 좀 더 명확히 파악하고, 그 개념을 정확히 표상할 수 있는 다양한 유형의 모형들을 개발하려는 노력이 요구된다.

과학적 모형들에 대한 유형 분석은 개념이나 현상

을 표상하는 모형의 유용성과 한계를 파악할 수 있고, 특정 개념을 표상하는데 적합한 모형을 고안하는데 도움을 줄 수 있다. 또한 이런 유형의 분석은 현 교과서들에 나타난 과학적 모형 사용의 제한점과 바람직한 방향을 모색하게 할 뿐 아니라, 7차 개정 교육과정에 따른 과학 교과서를 구성하는데 유용한 정보를 제공해 줄 것이다.

### 참고 문헌

김미영, 김희백 (2007). 모형 기반 수업을 통한 혈액 순환 개념 변화의 다차원적 분석. *한국생물교육학회지*, 35(3), 407-424.

김희백, 김성하, 이선경, 김형련 (2001). 호르몬 작용 이해를 위한 동적 비유 모형 수업의 효과. *한국생물교육학회지*, 29(1), 57-64.

오필석 (2006). 지구과학교육에서 활용되는 과학적 모델의 분류틀 개발. *한국지구과학회 2006년도 춘계학술발표회 논문집*, 92.

Bailey, K. D. (1994). *Typologies and taxonomies: An introduction to classification techniques*. Thousand Oaks, California: Sage Publications.

Boulter, C. J., & Buckley, B. C. (2000). Constructing a typology of models for science education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 41-58). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), 895-935.

Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.

Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science*

Teaching, 42(4), 429-464.

Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.

Coll, R. K., France, B., & Taylor, I. (2005). The role of models and analogies in science education: Implications from research. *International Journal of Science Education*, 27(2), 183-198.

Dagher, Z. R. (1994). Does the use of analogies contribute to conceptual change? *Science Education*, 78(6), 601-614.

Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 155-169). London: Routledge Falmer.

Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998). The nature of naive explanations of natural selection. *Science Education*, 20(10), 1231-1256.

Gilbert, J. K. (2004). Models and modeling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.

Gobert, J. D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22(9), 937-977.

Grosslight L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of atoms and molecules: Implications for teaching chemistry. *Science Education*, 80(5), 509-534.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 937-977.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental*

*models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. *Journal of Chemical Education*, 70, 701-705.

Lemke, J. (1998). *Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text*. In Martin, J. R. & Veel, R. (eds.), *Reading science: Critical and functional perspectives on discourse of science*. Routledge, New York, USA, 87-113.

Pozzer, L. L., & Roth, W.-M. (2003). Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1089-1114.

Rappoport, L. T., & Ashkenazi, G. (2008). Connecting levels of representation: Emergent versus subemergent perspective. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1585-1603.

Roth, W.-M., Bowen, G. M., & McGinn, M. K. (1999). Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, 36, 977-1019.

Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1996). The role of analogies in promoting conceptual change in biology. *Instructional Science*, 24(4), 295-320.

Venville, G. J., & Treagust, D. F. (1998). Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretive framework. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1031-1055.