

# 분산 인지의 관점에 따른 모델링 중심 초등 과학 수업의 해석

오필석

(경인교육대학교)

## An Interpretation of Modeling-based Elementary Science Lessons from a Perspective of Distributed Cognition

Oh, Phil Seok

(Gyeongin National University of Education)

### ABSTRACT

The purpose of this study was to interpret modeling-based elementary science lessons from a perspective of distributed cognition. Data sources included three consecutive elementary science lessons dealing with particle models of gases and students' worksheet generated from modeling activities during the lessons. The data were analyzed in ways that could reveal the affordances and constraints of students' mental models and an external model in the science textbook, as well as the evolution of the models. The results showed that the students' mental models and the external model provided both affordances for and constraints to scientific problem solving and that the models evolved in the process of overcoming the constraints. Implications for science lessons and science education research were suggested.

**Key words:** distributed cognition, model, modeling, elementary science

### I. 서 론

학교의 과학 교육에서 고려해야 할 중요한 원리 중의 하나는 과학자들의 실제 연구 활동의 특징을 반영하여 학생들의 학습 활동을 조직하는 것이다. 이러한 원리 속에서 강조되는 과학자들의 활동은 지금까지 '과학의 과정(processes of science)' 또는 '과학적 탐구(scientific inquiry)'라고 불려왔다. 그런데, 최근 미국의 과학 교육 개혁 문서들(National Research Council, 2012; NGSS Lead States, 2013)에서는 과학자들이 연구하는 동안 수행하는 관습적인 실천 행위들(practices)을 8가지로 집약하여 제시함으로써 과학의 과정이나 탐구의 의미를 좀 더 명확하게 지시하였다. 이 중 연구자들이 많은 관심과 노력을 기울이고 있는 것 중의 하나로는 '모델을 개발하고 사용하기(developing and using models)', 즉,

모델링(modeling)을 꼽을 수 있다.

모델은 관심의 대상이 되는 물체나 현상, 과정, 아이디어를 대신 나타낸 표상을 뜻하는 것으로, 언어 외에도 그림, 기호, 물질 등 여러 가지 비언어적인 수단을 통해 표현된다(Gilbert & Boulter, 2000; Oh & Oh, 2011). 이러한 모델은 복잡한 자연 현상이나 추상적인 이론을 조작 가능하고 구체적인 형태로 나타내어 현상을 설명하고 예측할 수 있게 함으로써 전문적인 과학 연구에 기여한다(Giere *et al.*, 2006; Nersessian, 2008). 학생들은 모델링을 기반으로 하는 과학 학습 활동에 참여함으로써 과학자적인 실천 행위를 경험할 수 있고, 과학의 개념을 이해하며, 과학의 본성에 대한 이해 또한 증진할 수 있다(유연준과 오필석, 2016; Gobert & Pallant, 2004; Lehrer *et al.*, 2008). 이러한 까닭에 많은 과학 교육 연구자들이 모델과 모델링을 활용한 과학 수업을 개

이 논문은 2015년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2015S1A5A2A01010327).

2016.12.17(접수), 2016.12.22(1심통과), 2017.1.18(2심통과), 2017.1.22(3심통과), 2017.2.23(최종통과)

E-mail: philoh@ginue.ac.kr(오필석)

발하여 각급 학교에 적용하고 있다(박수경, 2015; 양찬호 등, 2016; 유연준과 오필석, 2016; 이차은과 김희백, 2016).

그런데 이렇게 모델을 활용한 학교 과학 프로그램이 증가하고 있음에도 불구하고, 프로그램의 효과나 그것과 관련된 학생들의 개념을 조사하는 것을 넘어서 모델 중심의 과학 수업을 이론적인 차원에서 해석한 연구는 미흡한 실정이다. 이 점을 고려하여 본 연구에서는 모델을 활용한 초등 과학 수업을 ‘분산 인지(distributed cognition, DCog)’라는 인지 이론의 관점에서 해석하여 모델 중심의 과학 교육 및 관련 연구의 질적 향상에 기여하고자 한다. 구체적으로 본 연구에서는 2009년 개정 과학 교육과정(교육과학기술부, 2011)에 따른 초등학교 6학년 ‘여러 가지 기체’ 단원에서 기체의 성질을 입자 모델로 설명하는 총 3차시의 수업을 분석하였다. 기체를 비롯한 물질의 입자성은 여러 가지 화학 개념을 이해하는 데 바탕이 된다(Novick & Nussbaum, 1981). 하지만 물질의 입자 모델은 눈으로 직접 확인하기 어려운 추상적인 것으로, 학생들뿐만 아니라, 교사들도 그것을 과학적으로 이해하는 데 많은 어려움을 겪는 것으로 알려져 있다(남초이 등, 2009; 윤희정과 우애자, 2007; Novick & Nussbaum, 1981). 이에 따라 지금까지 이 분야에서는 물질의 입자 모델과 관련하여 학생들이 가지고 있는 오개념을 조사하고, 오개념을 과학적인 개념으로 변화시키거나, 해당 개념을 옳게 가르치고자 하는 수업 방법에 관한 연구가 많이 이루어졌다(강훈식 등, 2006; 박재원과 백성혜, 2004; 신남수 등, 2014; 윤승아 등, 1999; 한재영 등, 2006). 특히 물질의 입자성에 관한 수업 처리 중에는 모델과 같은 시각적 표상을 활용하는 것이 적지 않게 포함되어 있고, 개념적 영역이나 정의적 영역 등에서 일정 정도의 효과가 있는 것으로 보고되고 있다(강훈식 등, 2006; 박재원과 백성혜, 2004; 변순화, 2008; 변순화 등, 2007; 한재영 등, 2006).

그럼에도 불구하고 그동안의 연구들은 대개 전통적인 실험 연구의 형태로 이루어져 학생들의 개념 변화나 사고의 과정을 구체적으로 파악하기 어려웠다. 또, 물질의 입자성을 표상하는 비유 모델을 활용한 수업에서 학생 사고의 특징을 조사한 일부 연구(김경순 등, 2006; 변순화, 2008)의 경우에도 학생들이 비유물의 속성을 목표물의 속성과 잘 대응하여 이해하는지의 여부와 학생들의 개념 학습에

도움이 되는 비유물의 특징을 분석하는 데 초점을 맞추었으며, 교육과정 상의 이유로 분석 대상 또한 중학생으로 제한되어 있었다. 또한 그동안의 연구 전통에서는 개별 학생이나 학생들 간의 관계를 통해 드러나는 인지 과정에 초점을 두어 과학 학습을 해석해 왔다. 예를 들어, 학생들의 정신 모델을 탐색적으로 조사하고, 과학적인 개념과 비교하여 그 오인의 정도를 분류하곤 하였다. 이와는 달리 본 연구에서는 DCog의 관점에서 학생들의 정신 모델(mental model)과 외적 모델(external model)을 하나의 결합된 인지 체계로 파악하고, 기체 입자의 움직임에 관한 문제를 해결하는 상황에서 초등학생들이 가지고 있는 정신 모델과 외적 모델의 능동적인 역할에 초점을 맞추어 모델이 제공하는 가능성(affordance)뿐만 아니라, 모델이 지니는 제약(constraint)과 모델의 변화 과정을 해석해 보고자 한다. 이렇게 외부 환경을 포함한 인지 체계를 분석 단위로 하여 학습을 분석한 연구물은 국내외적으로 소수에 불과하고(예: 김현진 등, 2015), 특히 과학 교육 분야에서는 거의 찾아보기 어렵다. 따라서 본 연구는 과학 수업을 분석하는 새로운 이론적 관점과 그 실례를 예시적으로 제시하는 선구적인 시도라는 점에서 의의를 찾을 수 있을 것이다.

본 연구에서 답하고자 하는 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 기체 입자의 움직임에 관한 초등 과학 수업에서 학생들의 정신 모델과 외적 모델은 과학 문제 해결에 어떤 가능성을 제공하는가?

둘째, 학생들의 정신 모델과 외적 모델은 기체 입자의 움직임에 관한 과학 문제 해결에 어떤 제약을 제공하는가?

셋째, 모델이 제공하는 제약은 어떻게 해결되어 모델이 새롭게 변화하는가?

## II. 이론적 배경

### 1. 분산 인지

DCog는 인지가 오직 사람의 뇌에서만 발생하는 것이 아니라, 몸과 몸의 외부에 존재하는 환경에 분산되어 발생한다는 이론적인 주장을 말한다(Cash, 2013; Glăveanu, 2014). 이는 단순히 몸의 다른 부분이나 환경에 존재하는 것들이 뇌의 인지 활동을 돕는 보조물의 역할을 한다는 전통적인 입장을 넘어

서는 것이다. 또, 여러 사람들이 협력하면 문제를 더 효과적으로 해결할 수 있다는 집단 지성(collective intelligence)의 견해와도 차이가 있다. DCOg는 뇌를 제외한 몸과 환경에 존재하는 대상들의 차별적인 역할에 주목하며, 그들이 인지 과정에 필수불가결하고, 사람과 함께 하나의 통합된 인지 체계를 구성한다고 주장한다(신상규, 2011; 천현득, 2011).

DCog의 대표적인 예로는 배의 항해 시스템이 여러 가지 표상 매체들로 이루어진 분산된 인지 체계라는 Hutchins(1995)의 연구가 자주 거론된다. 하지만 과학 교육자들에게는 그러한 공학적인 예보다는 Giere(2006a, b, 2007)가 언급한 허블 우주 망원경이 DCOg의 사례로서 좀 더 이해하기 쉬울 수 있다. Giere(2006a, b)에 따르면, 허블 우주 망원경은 천문학을 비롯한 여러 분야의 과학자들이 컴퓨터, 인공위성 등과 같은 인공물과 함께 혼성 시스템(hybrid system)을 이룬 것이다. 이 시스템은 2003년에 ‘Abell 1689 은하단’을 중력 렌즈로 이용하여 우주의 나이가 140억년 즈음 되었다는 것을 보여주는 이미지를 산출하였다. Giere(2007)는 이러한 성과를, 허블 망원경이 지구로부터 22억 광년이나 떨어진 Abell 1689 은하단까지도 그 분산 인지 체계에 통합하여 이루어낸 것이라고 해석하였다. 그런데, 이와 같은 천문학적인 관측과 계산 과정을 과학자가 자신의 머릿속에서만 수행하는 것은 거의 불가능하고, 따라서 허블 시스템은 “개별 과학자가 할 수 없는 복잡한 과학적 과제를 수행하기 위해 만들어진 정교하고 복잡한 인지 체계”(천현득, 2011)라고 할 수 있다. Giere(2002)는 허블 망원경 외에도 과학자들이 시각적 표상이나 모델을 활용하여 수행하는 추론이 DCOg의 또 다른 예라고 강조한다.

그런데 DCOg에 관해서는 크게 두 가지 서로 다른 입장이 존재한다. 그 중 하나는 좀 더 극단적인 것으로, 문제 해결에 필요한 정보를 저장하고 있는 컴퓨터와 같은 기계조차도 인지의 담지자라고 주장한다. 이러한 입장에서는 ‘인지’가 외적 대상들에 분산되는 방식으로 확장될 뿐만 아니라, ‘마음’ 혹은 ‘자아’ 또한 사람의 몸을 넘어서 확장된다고 말한다(신상규, 2012; Clark & Chalmers, 1998). 예컨대, Clark & Chalmers(1998)는 사람의 피부나 두개골을 마음의 경계로 하는 입장을 거부하고, 마음이 외부의 환경에도 존재할 수 있다고 하는 ‘확장된 마음(extended mind)’ 이론을 전개하였다. 다만 그들

은 마음이 외부로 무한히 확장되지 않고, 뇌의 내부적인 과정과 기능적으로 유사한 역할을 하는 외부 세계의 일부만이 확장된 마음에 포함될 수 있다고 주장하였다.

이와는 달리 좀 더 온건한 입장에서는 ‘인지’가 외부 세계로 분산될 수는 있어도 ‘마음’은 인간의 몸 밖으로 확장될 수 없으며, 인지의 담지자는 여전히 사람이라고 주장한다. 예를 들어, Giere(2006b, 2007)는 마음이 외부 세계로 확장되는 것이라면 Abell 1689를 이용하여 천체 사진을 산출해 낸 허블 인지 체계에서는 마음이 22억 광년 밖으로 확장된 것인가 라고 비판적인 질문을 던진다. 즉, Giere(2007, 2012)에 따르면, 마음이 인간의 몸 밖으로 분산될 수는 없으며, 여전히 사람의 마음과 행위 능력(agency)이 인지 과정에서 중핵적인 역할을 한다.

위와 같이 DCOg는 인지 과정이 사람을 둘러싼 외부 환경에 분산된다고 하면서도 ‘마음도 확장될 수 있는가?’, ‘만약 그렇다면 마음을 어디까지로 확장할 수 있는가?’ 등의 쟁점들을 남겨 놓고 있어, 아직 일관된 입장으로 정리하기는 어렵다(신상규, 2011, 2012; 이영의, 2008, 2012; 천현득, 2011; Cash, 2013; Glăveanu, 2014). 그런데 Nersessian과 동료 연구자들은 이러한 난해한 쟁점을 직접적으로 다루지 않으면서도 DCOg의 관점에서 모델을 활용하는 과학자들의 활동을 설득력 있게 연구하였다(Aurigemma *et al.*, 2013; Chandrasekharan & Nersessian, 2015; Liu *et al.*, 2008; Nersessian, 2006, 2008; Nersessian & Patton, 2009). 이 점을 고려하여 본 연구에서는 Nersessian의 견해를 이론적인 관점으로 선택하여 모델링 중심의 초등 과학 수업을 DCOg의 관점에서 시험적으로 해석해 보고자 한다.

## 2. Nersessian의 견해와 본 연구의 관점

Giere(2002)와 마찬가지로 Nersessian은 모델을 활용한 과학자들의 실천 행위, 즉 모델링이 DCOg의 대표적인 사례의 하나라고 말한다. 그러면서도 외적으로 표상된 모델이 인지적인 부하(cognitive load)를 줄여주는 방식으로 사람의 사고를 돕는다는 널리 알려진 비유는 과학 모델의 역할을 기술하는 데 충분하지 않다고 지적한다. 왜냐하면 그러한 비유에 따르면 문제 해결을 위한 정신 활동과 외적 도구의 작동이 서로 동등하고(equivalent), 따라서 모델의 역할은 사람의 인지적인 부하가 커질 때에만

선택적으로 사용할 수 있는 것으로 제한되기 때문이다(Aurigemma *et al.*, 2013; Nersessian, 2006; Nersessian & Patton, 2009).

DCog에 대한 Nersessian의 기본적인 입장은 내적 인지 과정과 외적 인지 과정은 차이가 있다는 사실에 기초하고 있다(신상규, 2011, 2012; 천현득, 2011). 이때 사람의 내적 인지 과정과 외부의 인공물을 통해 발생하는 인지 과정이 차별적이라는 주장은 Gierle (2006a, b, 2007)가 언급한 허블 우주 망원경 시스템을 떠올려 보면 쉽게 이해할 수 있다. 이에 더하여 Nersessian은 사람이 내적으로 형성하는 모델, 즉 정신 모델과 밖으로 표상된 외적 모델 간의 관계를 ‘결합(coupling)’이라는 개념으로 설명한다(Aurigemma *et al.*, 2013; Chandrasekharan & Nersessian, 2015; Liu *et al.*, 2008; Nersessian, 2006, 2008; Nersessian & Patton, 2009). 이는 정신 모델과 외적 모델이 서로 상보적인 역할을 하며, 매우 밀접하게 결합함으로써 하나의 분산된 인지 체계를 구성한다는 것을 뜻한다. 보다 구체적으로, Nersessian에 따르면 외적 모델이 정신 모델을 그대로 예시(instantiation)한 것이라는 해석은 과학 모델의 성격을 적절히 설명하지 못한 것이다. 왜냐하면 정신 모델은 본질적으로 추상적인 것이므로 정신 모델의 특징이 외적 모델로 동등하게 표현될 수 없고, 정신 모델은 외적으로 표현되는 동안 문제의 맥락에 따라 외연을 달리 하며 나타나기 때문이다. 마찬가지로 외적 모델의 작동을 내적으로 동일하게 수행한다는 것 또한 불가능하다. 오히려 외적 모델은 정신 모델로는 구현하기 어려운 복잡한 현상을 모의(simulation)할 수 있게 함으로써 정신 모델만으로는 해결할 수 없는 문제를 해결할 수 있게 해 준다. 다시 말하자면, 외적 모델에 대한 “구체적 작동(material manipulation)”은 정신 모델의 “개념적 작동(conceptual manipulation)”과는 다른 독립적인 내용을 분산된 인지 체계에 제공하며(Baird, 2004), 따라서 외적 모델은 단순히 내적 사고 과정을 보조하는 것이 아니라, 정신 모델과 차별적으로 기능하면서 분산된 인지의 한 부분을 담당한다고 할 수 있다.

위와 같은 Nersessian과 동료 연구자들의 견해를 본 연구에서 초등 과학 수업에 적용하였을 때 고려하고자 하는 세 가지 세부적인 관점에 따라 다시 정리하여 제시하면 다음과 같다.

첫째, 과학자는 기존의 모델을 회상해 내거나, 새

로운 모델을 구성하고, 모델을 작동해 봄으로써 문제를 해결할 수 있게 된다. 이렇게 모델의 작동을 통해 문제를 해결할 수 있게 되는 것을 모델이 제공하는 ‘가능성(affordance)’이라고 할 수 있다. 모델이 문제 해결의 가능성을 제공한다는 사실을 증거하는 여러 가지 사례들 중에서 Nersessian은 일반인들도 쉽게 이해할 수 있는 테트리스(Tetris) 비디오 게임을 다룬 Kirsh and Maglio(1994)의 연구를 수차례 인용한다(Chandrasekharan & Nersessian, 2015; Liu *et al.*, 2008). 이 게임에서는 게이머가 과제를 성공적으로 수행하기 위해 머릿속에서 테트리스 블록을 회전시켜 보는 활동을 하는데, 이러한 정신 모델의 작동은 게이머가 실제로 화면상에서 블록을 움직이는 활동을 수월하게 할 수 있게 해 준다. 또한 게이머가 화면상에서 블록을 필요 이상으로 이리저리 회전시켜 보는 것과 같은 외적 모델의 작동은 인식 행위(epistemic action)로서 역할을 하며, 그 블록에 맞는 위치를 발견하고자 하는 내적 인지 과정과 연계된다. 따라서 참여자들의 문제 해결 과정을 통해 그들의 정신 모델이나 이와 결합된 외적 모델이 문제 해결에 제공하는 가능성을 짐작할 수 있다.

둘째, 정신 모델이나 외적 모델의 작동은 새로운 ‘제약(constraint)’을 야기하기도 한다. 이때 제약이란 현재의 모델이 보다 세련된 것으로 발전하기 위하여 설명해야 할 현상이나 해결해야 할 문제를 뜻하는 것으로, 과학자는 모델을 수정하거나 새로운 모델을 창안하는 활동에 참여함으로써 기존의 모델이 지니는 제약을 해소해 나간다. Nersessian(2008)은 과학자가 여러 가지 제약을 만족시키며, 모델을 수정하고 발전시킨 대표적인 사례로서 Maxwell의 전자기장 모델의 발전 과정을 제시한다. 그녀에 따르면 Maxwell의 전자기장 모델은 전기력과 자기력의 생성과 전달을 통합적으로 설명할 수 있어야 한다는 매우 포괄적인 초기의 제약으로부터 출발하여 자기 쌍극자, 암페어의 법칙, 쿨롱의 법칙 등 보다 세밀한 제약들을 차례로 만족시키는 과정을 통해 점차 세련되고 과학적인 것으로 발전하였다. 즉, 과학적 실천 행위의 하나로서 모델링은 기존의 모델이 지니는 제약을 만족시키고, 새로운 문제 해결의 가능성을 제공하는 반복적이고 순환적인 과정이라고 할 수 있다(Nersessian, 2006).

셋째, 정신 모델과 외적 모델을 결합된 분산 인

지 체계로 파악하는 Nersessian의 관점에서는 위와 같은 순환적인 모델링 과정에서 정신 모델과 외적 모델이 상보적인 역할을 하며 함께 발전해 간다. 이와 관련하여 Nersessian과 동료들은 외적 모델의 역할이 단순히 인지적 부하를 낮추는 것에 있지 않다는 점을 거듭 지적하면서, 외적 모델의 작동은 정신 모델에 새로운 제약이나 자세한 정보(detail), 자원(resource) 등을 제공함으로써 정신 모델의 발달에 영향을 미치게 된다고 강조한다(Aurigemma et al., 2013; Nersessian, 2006; Nersessian & Patton, 2009). 또한 Nersessian(2006)은 “인지는 사람과 인공물물이 이루어진 분산된 체계 내에서 발생하며 ... 모델 체계를 이용한 추론은 제약을 만족시키는 과정(constraint satisfaction process)으로서 정신 모델과 물리적 모델[외적 모델]을 함께 만들고(co-construction), 작동하고 개선하는 것을 포함한다.”(p. 699)라고 자신의 견해를 집약적으로 제시하였다. 이렇게 모델을 포함한 분산 인지 체계 내에서 이루어지는 정신 모델과 외적 모델의 상호 변화 과정을 모델의 공진화(coevolution, Giere, 2002)라고 부를 수 있다.

본 연구에서는 이상과 같은 DCog에 관한 Nersessian의 이론적인 입장을 분석 관점으로 선택하여 모델링 중심의 초등 과학 수업을 그 흐름에 따라 질적으로 기술하면서 기체의 성질에 관한 학생들의 정신 모델과 기체 입자의 운동을 설명하기 위해 교과서에서 제시하는 외적 모델이 제공하는 가능성과 제약, 그리고 모델의 진화에 관한 연구 문제에 차례로 답하게 될 것이다.

### III. 연구 방법

#### 1. 연구 참여 교사

본 연구에서는 현직 초등학교 교사인 윤지수(가명) 교사의 수업을 분석 대상으로 하였다. 윤 교사는 수도권에 한 교육대학교를 졸업하고, 군복무를 마친 후 초등학교에 발령을 받았으며, 본 연구를 위한 수업을 진행할 당시 경기도 소재의 한 초등학교에서 3년간 근무하고 있었다. 또, 당시 윤 교사는 교육대학원 석사 과정에 재학하면서 본 연구자가 진행하는 수업과 연구 프로젝트에 참여하여 서로

간에 래포(rapport)를 형성하여 왔다. 특히 윤 교사는 자신의 수업과 학교생활을 진솔하게 이야기하고, 고민이 되는 일에 관해서는 동료 교사들의 조언을 구하는 등 개방적인 태도를 견지하였다. 따라서 본 연구자는 차츰 윤 교사의 수업에 관심을 갖게 되었으며, 기회가 생기면 수업을 직접 참여관찰할 수 있다는 약속을 받았다.

#### 2. 분석 대상 수업

본 연구를 위한 참여관찰과 자료 수집은 초등학교 6학년 1학기 과학, 여러 가지 기체 단원의 수업이 시작되는 2015년 6월에 총 3차시에 걸쳐 이루어졌다. 먼저 윤지수 교사는 6월 16일에 블록 타임제를 이용하여 이 단원의 1~2차시 수업을 연속하여 진행하였고, 본 연구자가 이를 참여관찰하였다. 1~2차시 수업을 참여관찰하는 동안 교실 앞뒤에 카메라를 설치하여 교사와 학생들의 활동을 녹화하였으며, 앞쪽에 있는 카메라는 고정시켜 놓고 연구자가 뒤쪽에 있는 카메라를 필요에 따라 이동해 가면서 수업을 관찰하였다.<sup>1)</sup> 3차시 수업은 6월 25일에 진행되었는데, 이때는 교사가 직접 교실 뒤쪽에 카메라를 고정시켜 놓고 수업을 녹화하였다. 윤 교사의 수업에는 총 26명(남=15명, 여=11명)의 학생들이 참여하였으며, 본 연구에서는 이들을 A~Z까지 임의의 부호를 써서 구별하였다.

녹화된 수업은 모두 교과서에 제시된 활동을 교사가 재구성하여 기체의 운동을 입자 모델로 나타내는 것에 초점에 둔 모델링 중심의 수업이었다. 예를 들어, 수업 중에 학생들은 드라이아이스 조각을 넣은 지퍼 백(zipper bag)의 변화를 예상해 보고, 비치 볼(beach ball)과 플라스틱 구슬을 이용하여 기체 입자의 움직임을 표상하는 외적 모델을 만들고, 특정한 물질을 담은 용기의 냄새를 맡아 보는 등 크게 3가지 주요 활동에 참여하였으며, 기체의 성질에 관한 자신의 정신 모델을 그림으로 표현하기도 하였다. 이와 같은 총 3차시 분량의 연속적인 수업 녹화물이 본 연구를 위한 주된 분석 대상이 되었다. 이와 더불어 수업 중에 학생들이 작성한 활동지의 복사본을 수집하여 분석에 활용하였다. 이 활동지는 윤 교사의 수업에서 이루어진 주요 활동

<sup>1)</sup> 이 1~2차시 수업은 본 연구자가 참여한 초등학교 교과서의 어휘에 관한 연구(양정실 등, 2015)의 세부 과제의 하나로서 본 연구와는 다른 관점에서 분석된 바 있다.

에 따라 크게 3가지 범주의 질문으로 나뉘어져 있었는데, 처음에는 학생들이 드라이아이스 조각을 넣은 지퍼 백이 시간이 지나면 어떻게 변할지 예상해 보고 그 까닭을 적도록 하였으며, 이 후 두 차례 주요 활동을 마친 후에 각각 기체의 움직임에 대한 자신의 생각을 그림 또는 글과 그림으로 표현해 보도록 하였다. 이와 더불어, 수업 후에는 교사와 면담을 실시하여 수업의 전체적인 맥락을 해석하는 보조 자료로 활용하였다.

### 3. 분석 방법

본 연구의 분석 과정에서는 윤지수 교사의 수업 녹화물을 모두 전사한 후, 녹화된 영상과 전사지, 학생들이 작성한 활동지를 함께 보면서 수업의 특징을 DCog의 관점에 따라 해석하였다. 특히 본 연구가 DCog라는 새로운 이론적 관점을 적용하여 모델링 중심의 초등 과학 수업을 해석하는 시험적인 연구라는 점을 고려하여, DCog의 여러 가지 입장 중 모델 중심의 과학 활동에 이를 접목하였던 Nersessian(Aurigemma *et al.*, 2013; Chandrasekharan & Nersessian, 2015; Liu *et al.*, 2008; Nersessian, 2006, 2008; Nersessian & Patton, 2009)의 견해를 바탕으로 분석을 진행하였다. 앞서 기술한 바와 같이, DCog에 관한 Nersessian의 관점에서는 정신 모델과 외적 모델을 하나의 결합된 인지 체계로 보고, 모델의 능동적인 역할에 초점을 맞추어 문제 해결 과정에서 모델이 제공하는 가능성과 제약을 파악하고자 한다. 또, 모델링을 모델이 지니는 제약을 극복해가는 순환적인 과정으로 이해함으로써 모델의 변화 과정에도 관심을 가진다. 이에 따라 본 연구에서는 윤 교사의 수업을 시간적인 순서에 따라 살펴보면서 학생들이 가지고 있는 정신 모델과 교과서에서 제시하는 외적 모델이 기체 입자의 움직임에 관한 문제를 해결하는 데 어떤 가능성과 제약을 제공하는지 분석하였다. 또, 이들 모델이 지니는 제약이 어떤 방법으로 극복되어 기존의 모델이 새로운 것으로 진화하는지 검토하였다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 지금까지 주로 과학자들의 전문적인 활동을 해석하는 데 사용되었던 DCog를 과학 수업을 해석하는 데 적용하여 얻게 된 시사점을 도출하였다.

분석 과정에서는 윤지수 교사의 수업에 참여한 학생들을 알파벳 부호를 사용하여 나타내었으며, 이를 활동지와 담화 장면에서 학생들을 식별하는

데 이용하였다. 활동지의 각 질문에 대한 학생들의 응답은 사전에 분류틀을 마련하지 않고 실제 응답에서 나타나는 사례를 토대로 유형별로 분류하였다. 학생과 교사, 학생과 연구자 간에 이루어진 담화 역시 별도의 분류틀을 설정하지 않은 채 실제 수업 장면 속에서 정신 모델과 외적 모델의 역할과 변화를 분석하는 데 사용하였으며, 본 논문의 주요 주장을 지지하는 사례를 추출하는 데 활용하였다. 다만 본 논문에서 인용된 담화 장면에서 누구인지 확인하지 못한 학생들은 등장 순서에 따라 번호를 붙여 ‘학생1’, ‘학생2’와 같이 표시하였다.

이상과 같이 분석한 결과를 윤지수 교사로부터 참여자 검토(member checking)를 받아 타당성을 확인 받았으며, 이 과정에서 윤 교사가 추가로 제공한 정보와 의견을 바탕으로 일차적인 분석 결과를 수정, 보완하였다. 예를 들어, 윤 교사는 자신이 수업에 이용한 재료들을 구체적으로 지시해 주었으며, 비치볼과 플라스틱 구슬로 된 외적 모델을 사용한 교사의 의도를 부연 설명해 주었고, 이러한 내용을 본 논문에서 반영하였다. 최종적으로, 논문에서 기술된 수업의 특징과 인용된 담화 사례 등을 원자료와 대조하여 서로 일치하는 것을 확인함으로써 연구 결과와 결론을 확정하였다.

## IV. 연구 결과

이 장에서는 윤지수 교사의 총 3개 차시 수업을 수업 및 학생 활동지에 대한 분석 결과와 함께 질적으로 기술하면서 학생들의 정신 모델과 외적 모델이 과학 문제 해결을 어떻게 가능하게 하고, 그 과정에서 어떤 제약들을 만들어 내었으며, 그것이 어떻게 해결되어 모델이 새롭게 변화하였는지를 DCog의 관점에 따라 해석하였다.

### 1. 정신 모델이 제공하는 가능성과 제약

윤 교사의 여러 가지 기체 단원의 수업은 학생들이 드라이아이스 조각을 넣은 지퍼 백이 시간이 지나면 어떻게 될지 예상하는 활동으로 시작되었다. 이 활동은 교과서 상으로는 본래 3차시에 수행하게 되어 있지만(교육부, 2015a), 윤 교사는 교과서의 순서를 재구성하여 기체 입자의 존재와 운동을 도입하는 활동으로 이를 활용하였다. DCog의 관점에서 말하자면, 이러한 도입 활동을 통해 학생들은

자신의 정신 모델을 이용하여 문제를 해결하는 첫 번째 경험을 하게 되었다고 말할 수 있다. 따라서 학생들이 예상하는 것을 통해 기체의 성질에 관한 그들의 정신 모델을 미루어 짐작할 수 있다.

윤 교사는 드라이아이스 조각을 지퍼 백에 넣은 후 접착테이프를 이용하여 지퍼 백을 칠판에 부착한 다음, “여기[지퍼 백]가 이제 어떻게 변할까?”라며 질문을 던졌다. 연이어 약 2분간 모든 학생들이 자신의 예상과 그렇게 예상한 이유를 활동지에 기록하도록 하고, 대부분의 학생들이 ‘부풀어 오른다.’고 예상한 것을 확인한 후, 다음과 같이 질문하여 학생들의 생각을 확인하였다.

교사: 자, 선생님이 쪽 볼 때 여러분 다 ‘부풀어 오른다.’고 썼는데, 그 이유를 볼까? ... 한번 이유를 들어보자. 왜 부풀게 될까?

학생1: 드라이아이스에서요, 이산화탄소가 계속 배출되어 가지고 부풀어요.

교사: 이산화탄소를 배출한다고? 그럼, 드라이아이스를 [넣고 지퍼 백을] 잠그면 이산화탄소가 만들어진다는 거예요?

학생1: 그건 아니고요 ... 어떤지 잘 모르겠어요.

교사: 또 그렇게 생각한 이유를 한번 얘기해 볼 친구?

...

학생A: 드라이아이스에서 나온 연기가 비닐 팩을 채워서.

이 수업에서 학생들이 작성한 활동지를 살펴보면, 실제로 이 문제에는 총 24명의 학생들이 답하였고, 그들 모두가 지퍼 백이 부풀어 오를 것이라고 예상하였다. 또, 그렇게 예상한 까닭으로 23명의 학생들이 드라이아이스에서 기체 혹은 공기, 연기가 나오기 때문이라고 하였으며, 2명은 드라이아이스에서 나오는 기체를 이산화탄소라고 적시하기도 하였다.

위와 같은 담화 장면과 학생 활동지를 바탕으로 할 때, 윤 교사의 학생들은 자신의 정신 모델을 적용하여 첫 번째로 주어진 문제를 비교적 성공적으로 해결하였다고 할 수 있다. 즉, 학생들은 기체가 공간을 차지하는 성질이 있다는 정신 모델을 가지고 있으며, 이것이 드라이아이스와 지퍼 백에 관한 문제를 수월하게 해결하게 하였다고 할 수 있다. 다시 말해, 이와 같은 성공적인 문제 해결은 학생들의 정신 모델이 제공하는 가능성이라고 해석할

수 있다.

그럼에도 불구하고, 교사와의 대화나 활동지에 기록된 것만으로는 학생들이 기체가 어떻게 지퍼 백을 부풀게 한다고 생각하는지 정확히 알기 어려웠다. 이 활동을 도입 활동으로 사용하고 있는 초등학교 과학 교과서의 3차시 본문 내용에는 “기체 입자들은 서로 멀리 떨어져 자유롭게 움직이[고] 따라서 기체는 용기 전체에 골고루 퍼지고 그 용기를 가득 채워 공간을 차지[한다.]”(교육부, 2015a)고 기술되어 있다. 즉, 교육과정에서는 학생들이 기체 입자가 자유롭게 움직여 공간을 차지한다는 정신 모델을 형성하는 것을 목표로 하고 있음을 알 수 있다. 하지만 윤 교사의 학생들이 그러한 정신 모델을 가지고 있다거나, 현재까지의 활동으로 그 정도의 정신 모델을 형성하였다고는 말하기 어려웠다. 그래서 윤 교사는 학생들에게 기체가 눈에 보이지 않는 작은 입자들로 이루어졌고 이 입자들이 자유롭게 움직인다는 것을 암시하기 위하여 먼지가 날리는 영상을 잠시 보여준 후 다시 질문하였다. 그러나 학생들은 여전히 윤 교사의 의도를 파악하지 못한 채 다음과 같이 답하였다.

교사: 자, 여기 보시면 먼지 관찰을 했는데, 여러분들 먼지가 어떻게 움직입니까? ...

학생들: 꿀렁꿀렁.

교사: 꿀렁꿀렁? 꿀렁꿀렁, 출렁출렁, 이거야? (웃음)

결론적으로, 윤 교사의 학생들이 가지고 있는 정신 모델은 기체가 공간을 차지하는 성질이 있으므로 지퍼 백을 부풀게 한다는 것은 설명할 수 있었지만, 기체가 어떻게 하여 공간을 차지하는지에 관해서는 잘 설명하지 못하였다. 즉, 기체가 공간을 차지하는 구체적인 기작(mechanism)을 제시하는 것이 학생들의 정신 모델이 지니는 제약이라고 할 수 있다. 이렇게 학생들의 정신 모델이 제약을 드러나게 된 까닭에 대해서는 적어도 두 가지 해석이 가능하다. 즉, 기체의 성질에 관한 학생들의 정신 모델이 과학적인 견지에서 볼 때 아직 미성숙하다는 해석이 그 하나이고, 윤 교사가 제시한 문제 상황이 기체가 공간을 차지하는 기작을 구체적으로 제시하도록 요구하지 않았으므로 학생들도 그러한 구체적인 외연을 갖추어 자신의 정신 모델을 나타낼 필요성을 느끼지 못했을 것이라는 해석이 또 다

른 하나이다. 따라서 보다 세련된 기체 입자 모델을 제공하거나, 새로운 문제 상황을 제시하여 학생들이 가지고 있는 정신 모델의 제약을 극복하는 것이 윤 교사의 수업의 다음 과제가 되었다.

## 2. 외적 모델이 제공하는 가능성과 제약

윤지수 교사는 드라이아이스를 넣은 지퍼 백을 팽팽하게 부풀게 하는 기체 입자의 운동을 나타내기 위해 교과서에 제시된 “탐구 활동: 비치 볼 속 구슬의 움직임 관찰하기”(교육부, 2015a)를 도입하였다. 이 활동에서는 비치 볼 속에 작은 플라스틱 구슬을 여러 개 넣고, 비치 볼을 흔들면서 구슬의 움직임과 구슬 사이의 거리가 어떻게 변하는지 관찰하도록 되어 있다. 이를 통해 학생들은 교육과정에서 의도하는 것과 같이 ‘기체 입자들이 자유롭게 움직여 끌고루 퍼지고 공간을 차지한다.’는 것을 이해할 것이 기대된다. DCOg의 관점에서 말하자면, 비치 볼과 구슬로 된 외적 모델이 학생들의 인지 체계에 결합되어 기체 입자가 끌고루 퍼져 공간을 차지하는 것을 표상해 보임으로써 앞서 학생들의 정신 모델이 제공한 제약을 극복하고, 문제를 해결하는 역할을 하게 되었다고 할 수 있다.

윤 교사는 “기체가 어떻게 움직이는지 지금 우리가 그걸 만들어 보도록 할거야.”라고 말하며, 학생들이 조별로 비치 볼과 구슬 모델을 제작하여 흔들어 보도록 하였다. 또, 학생들이 활동하는 동안 순회 지도를 하며 학생들과 자유롭게 이야기하였고, 조별로 모델을 만들어 움직여보는 모습을 학생들이 직접 휴대 전화 동영상으로 찍어 온라인 공간에 탑재하도록 하여 학생들의 흥미와 적극적인 참여를 유도하였다. 그런데, 윤 교사가 순회 지도하는 동안 이루어진 다음과 같은 대화에서 학생들이 외적 모델을 구성하는 요소인 구슬과 구슬의 움직임이 표상하는 것에 관해 혼란스러워 한다는 사실을 발견할 수 있었다.

- 학생2: 선생님! 잠깐 여기, 구슬 있잖아요. 이게 나타내는 거 뭐예요?  
 교사: 그건 너희가 생각을 해 봐야지. ... 그런데 아까 그 먼지랑 비슷한 게 뭐라고 이야기했더라?  
 학생3: 기체!  
 교사: 자, 선생님이 기체가 눈에 안 보인다고 했잖아. ... 어떻게 움직인다고 했지?  
 학생2: (양 손을 좌우로 흔들어 바람을 일으키며) 이렇

게, 이렇게.

- 교사: ... 바람이 없잖아. 여기[비치 볼] 안에는, 안에 바람이 없잖아.  
 학생2: 공기를 넣었잖아요.  
 교사: 공기? 안에 공기의 흐름이 없잖아.  
 학생4: 그게 아니라, 흔들어 가지고 움직이는 거지. ...  
 학생2: (교사를 향해) 그러니까 우리가 흔들어야 기체의 역할을 하는 거죠?

위 대화에서 윤 교사의 학생들은 외적 모델의 작동을 통해 입자가 움직이고 퍼져서 기체가 공간을 차지한다는 것을 인지하게 되었음을 알 수 있다. 하지만 과학적인 아이디어와는 달리 학생들은 ‘공기’를 ‘기체’와는 다른 것으로 여기고, 공기의 흐름에 따라 기체 입자가 움직인다거나, 외부에서 힘을 주어 흔들어야 기체 입자가 운동한다고 생각하였다. 이와 유사하게 조별 활동을 모두 마치고 전체 학급 토론을 할 때에도 학생들의 답변에는 기체 입자의 움직임에 관한 여러 가지 생각이 혼재되어 나타났다.

- 교사: 구슬의 움직임이, 어떻게 움직여?  
 학생5: 막, 아무렇게나. 자유롭게.  
 교사: ... 얘기를 한번 더, 얘기를 한번씩 들어봐야겠어요. ... 아까 흔들었죠? ... 왜?  
 학생5: 구슬을 움직이게 하기 위해서.  
 교사: 움직이게 하기 위해서? 그 움직임이 어떻게 나타났어요?  
 학생5: 공을 흔드는 방향으로.  
 교사: 그 비치볼 안에다가 구슬을 넣었잖아. (학생들: 네.) 거기다가 구슬을 넣은 다음, 구슬 흔들기 전에 어땠어요?  
 학생들: 가만히 있었어요.  
 교사: ... 가만히 있는 거지. 여기서도 보면은, 아까 드라이아이스에, 또 날아다니는 기체도 처음에는 가만히 있는 거지. ... 그래서 [비치 볼을] 흔들었을 때 어떻게 되는 거지? ... 막 흔들어 대고 이랬더니?  
 학생들: 구슬이 바람에 날아 다녀요.

즉, 윤 교사의 수업에서는 외적 모델이 학생들의 인지 체계에 통합되어 기체 입자의 존재와 입자의 움직임을 시각적으로 보여줌으로써 기체가 공간을 차지하는 까닭을 설명할 수 있게 하였지만, 이러한 가능성과 더불어 기체 입자가 스스로 움직인다는



과학적인 아이디어는 제대로 표상하지 못하는 제약을 함께 제공하였다는 것을 알 수 있다. 따라서 윤 교사는 학생들에게 자신이 어제 붙여 놓은 풍선의 크기가 줄어든 것을 보여주면서 기체 입자가 고무막을 통과할 정도로 작다는 것을 강조하고, 비닐 봉지와 고무풍선 속에 라면스프, 식초, 간장, 콜라 등 여러 가지 액체를 넣어 냄새를 맡게 하는 활동을 통해 기체 입자가 자유롭게 움직인다는 생각을 강화하려고 하였다. 하지만 이러한 연이은 활동 또한 비치 볼과 구슬을 이용하여 만든 외적 모델이 지니고 있는 제약, 즉 기체 입자가 바람과 같은 외부 힘의 작용에 의해 움직인다는 생각을 해결하는데에는 도움이 되지 못하였다. 이러한 사실은 윤 교사의 학생들이 1~2차시 수업의 마지막 활동으로 자신이 생각하는 기체 입자를 그림으로 표현한 결과를 통해서 확인할 수 있다.

Table 1은 윤 교사의 학생들이 생각한 기체 입자의 그림을 유형별로 분류한 것이다. 이는 비치 볼과 구슬로 된 외적 모델의 영향을 받은 학생들의 정신 모델이 그림의 형식으로 표현된 것이라고 할 수 있다. 그런데, 기체 입자에 관한 학생들의 정신 모델은 Table 1에서 보는 것과 같이 크게 세 가지 유형으로 분류되었다.

Table 1에서 알 수 있는 것처럼, 윤 교사의 수업에서는 가장 많은 비율(48%)의 학생들이 기체 입자와 함께 바람을 나타내는 그림을 그려 주었다. 따라서 이를 통해 적지 않은 학생들이 기체 입자가 바람과 같은 외부 힘의 작용에 의해 움직인다는 정신 모델을 형성하고 있음을 알 수 있었다. 특히 Table 1에서 두 번째 예시 그림을 그린 학생 S는 수업을 참여관찰하던 연구자가 활동지를 작성하는 동안 조용히 물었을 때 다음과 같이 답하였다.

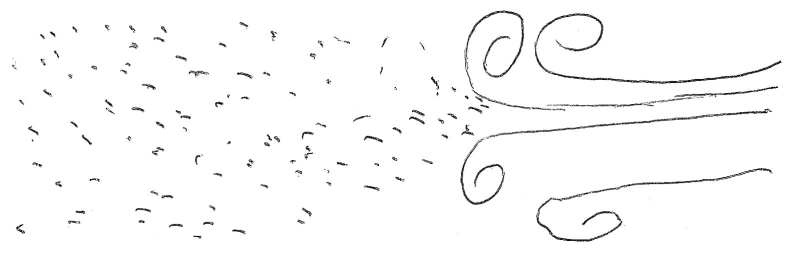
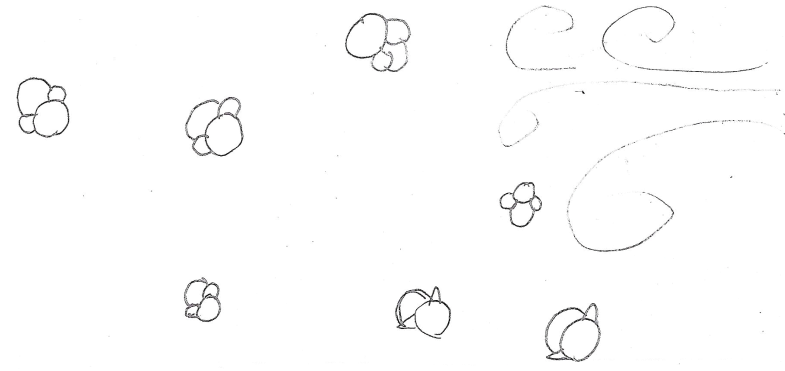
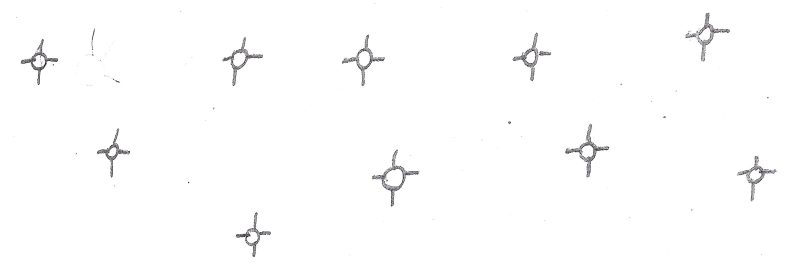

연구자: (학생의 활동지에서 입자 모양의 그림을 가리키며) 이게 뭐야?  
 학생: 그냥 입자에요.  
 연구자: 무슨, 뭐의 입자?  
 학생: 먼지 입자?  
 연구자: 이거는?  
 학생: 그건 바람이요.  
 연구자: 바람? 바람에 입자가 날리는 거야?  
 학생: 네.  
 연구자: 음, 그러면 너희는 콜라[를 넣은 풍선의 냄새를 맡는 활동] 했나? 콜라 입자도 한 번 그려

봐봐.  
 학생: (조금 뾰족한 모양의 콜라 입자를 그린다.)  
 연구자: 모양이 조금 다르네, 콜라 입자는.  
 학생: 네.  
 연구자: 그러니까 콜라 입자가 바람에 날려서 냄새를 맡는다는 얘기야?  
 학생: 네.

이뿐만 아니라 학생 S는 3차시 수업을 시작하면서 교사가 기체 입자에 대한 자신의 생각을 다시 그림으로 표현해 보라고 했을 때 바람을 일으키는 선풍기를 그려 넣기까지 하였다. 이렇게 외부에서 작용하는 다른 힘에 의해 기체 입자가 움직인다는 정신 모델을 표현한 학생들과 더불어 일부 학생들(36%)은 자신의 활동지에 기체 입자를 고정된 것으로 나타내어서 이 학생들이 입자가 스스로 움직인다는 정신 모델을 형성하고 있는지는 정확히 판단하기 어려웠다. 이들과는 달리 가장 적은 비율(16%)의 학생들이 자신의 활동지에 바람과 같은 외부 힘의 작용 없이 기체 입자가 움직이는 정신 모델을 표현하였다. 예를 들어, Table 1의 마지막 예시 그림을 제시한 학생 F는 종이 위에 빗겨 찍듯이 연필 자국을 표시하여 입자가 스스로 움직이는 것을 표현하고, 굴곡이 있는 화살표를 통해 기체 입자가 자유롭게 움직인다는 것을 나타내었다.

결론적으로, 비치 볼과 구슬을 이용한 외적 모델이 학생들의 인지 체계에 결합되어 입자가 움직이므로 기체가 공간을 차지한다는 것을 보여주는 데에는 어느 정도 성공하였으나, 입자가 스스로 운동한다는 과학적인 아이디어는 충실하게 표상하지 못하였고, 그러한 외적 모델의 영향으로 적지 않은 학생들이 기체 입자가 외부 힘에 의해 움직인다는 정신 모델을 표현하게 되었다고 할 수 있다. DCog의 관점에서는 첫 번째 과제에서 기체가 공간을 차지하는 기작을 표현하지 못했던 학생들이 입자가 운동하는 모습을 그림으로 나타낼 수 있게 되었다는 사실을 외적 모델이 제공한 문제 해결의 가능성이라고 해석할 수 있다. 그럼에도 불구하고 상당수의 학생들이 기체 입자가 스스로 움직이는 정신 모델을 표현하지 못한 것은 비치 볼과 구슬로 만들어진 외적 모델이 지니는 본질적인 제약 때문이라고 할 수 있다. DCog의 관점에 따라 비치 볼과 구슬 모델이 지니는 제약을 극복하기 위해서는 두 가지 방안이 있을 수 있다. 첫째는 기체 입자가 스스로

Table 1. Students' expressed mental models of gases

유형	학생 수	예
		
바람과 같은 외부 힘의 작용에 의해 움직이는 기체 입자 모델	12 (48%)	
움직임이 없는 기체 입자 모델	9 (36%)	
바람과 같은 외부 힘의 작용이 없이 움직이는 기체 입자 모델	4 (16%)	

움직이는 것을 표상하는 새로운 외적 모델을 제시하는 것이고, 둘째는 정신 모델의 개념적인 작동을 통해 비치 볼과 구슬 모델이 제공하는 제약을 해소하는 것이다. 윤지수 교사의 다음 3차시 수업은 이 중 후자의 전략을 택하여 이루어졌다.

### 3. 모델의 진화

이제까지 기술한 총 2차시 수업에도 불구하고, 비치 볼과 구슬로 된 외적 모델이 지니는 본질적인 제약이 상당수 학생들의 정신 모델에도 반영되어 있음을 확인한 윤지수 교사는 3차시 수업에서 학생들의 정신 모델을 변화시키기 위한 새로운 문제 상황을 구상하였다. 윤 교사의 새로운 문제는 교실의 출입문과 창문을 모두 닫아 바람이 들어오지 않도록

록 한 후, 식초와 스프를 부은 라면을 담은 용기를 교탁 위에 올려놓고 냄새가 나는지 확인하게 하는 것이었다. 이것은 외부의 다른 힘에 의하여 기체 입자가 움직인다는 학생들의 정신 모델과 상충되는 현상으로, 윤 교사는 이를 통해 학생들의 정신 모델을 개념적으로 작동시키고, 그 결과로 좀 더 과학적인 모델로 변화시키려고 의도하였다.

윤 교사는 학생들이 냄새를 맡을 수 있는지 여러 번 확인하기도 하고, 냄새가 나지 않는다고 말하는 학생들에게는 바람을 일으키지 말고 조용히 앞으로 나와서 냄새를 맡아 보도록 하였다. 이에 학생들은 “식초 냄새 같아.”, “시큼한 냄새 나는데.”, “향 냄새 아냐?”, “한약 냄새 같아.”, “고소한 냄새”, “라면냄새”라며 자유롭게 자신이 지각한 냄새를 표현하였다. 교실에 있는 대부분의 학생들이 냄새를 맡았다는 것을 확인한 윤 교사는 이러한 현상으로부터 알 수 있는 기체의 성질이 무엇인지 질문을 던졌다.

- 교사: 자, 선풍기도 없이 냄새를 알 수 있었다면, 기체에게 어떤 성질이 있는 걸까요?  
 학생6: 입자가 공기 중에 퍼진다.  
 교사: 입자가 공기 중에 퍼진다. 자, 아까 보면 처음에, (손을 든 학생을 지목하며) 어.  
 학생7: 기체가 공간을 채우는 성질이 있다.  
 교사: 공간을 채우는 성질이, 냄새를 맡을 수 있는 거는 냄새가 퍼지면서 공간을 채웠다는 거죠. 또? ...  
 학생8: 공기 중으로 냄새가 흩어진다.

위와 같은 학생들의 답변을 토대로 할 때, 윤 교사가 제공한 새로운 활동을 통해 학생들은 자신의 정신 모델을 또 한 번 정교하게 변화시켰다고 짐작할 수 있다. 이러한 사실을 좀 더 정확히 파악하기 위하여 윤 교사는 학생들이 활동지에 기체가 어떤 성질이 있다고 말할 수 있는지 글과 그림으로 표현하도록 하였다. 이렇게 3차시 수업에서 윤 교사의 학생들이 작성한 활동지를 살펴보면, 1차시의 첫 번째 문제에 답하지 못했던 학생 중 1명을 제외한 25명의 학생들이 모두 입자가 ‘퍼진다’고 답하였고, 특히 7명(28%)의 학생들은 다음의 예와 같이 기체가 스스로 움직인다는 것을 정확하게 표현하기도 하였다.

- 기체의 입자는 공기 중으로 퍼진다. 기체는 움직인다.

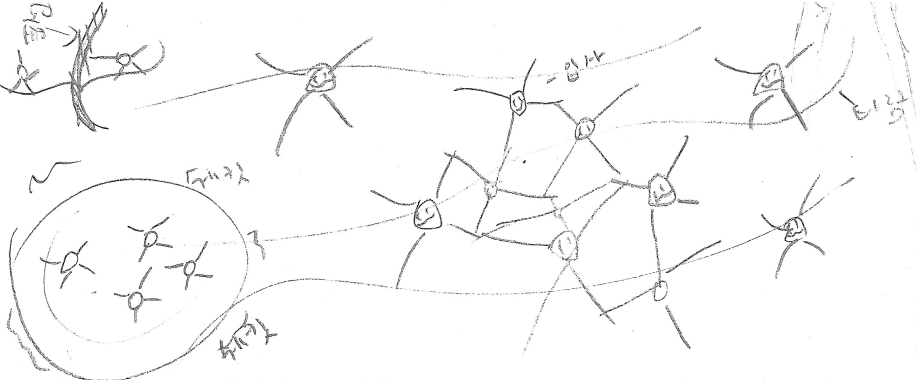

바람이 불지 않아도. (학생L)

- 혼자서 공기 중으로 퍼진다. (학생M)
- 기체의 입자가 공기 중으로 퍼진다. 지멋대로 움직임. (학생R)
- 기체는 언제나 움직인다. 공기 중으로 퍼진다. (학생W)

또한 학생들은 기체의 움직임에 관한 정신 모델을 표현한 그림에서도 모두 바람과 같은 외부 힘의 작용이 없이 입자가 퍼지는 것을 나타내었다. 따라서 학생들의 정신 모델이 교사가 제시한 새로운 문제 상황을 통해 기체 입자가 스스로 움직이고 퍼져서 공간을 채운다는 생각으로 변화된 것을 알 수 있었다. 이와 같은 정신 모델의 진화 과정은 Table 2에 제시한 학생 M의 사례를 통해 예시적으로 파악할 수 있다. 학생 M은 첫 번째 문제에서 단순히 드라이아이스가 기체를 내뿜기 때문에 지퍼 백이 부풀다고 답하여 기체 입자의 운동에 의해 지퍼 백이 부풀어 오르는 구체적인 기작은 표현하지 못하였다. 하지만 비치 볼과 구슬을 이용하여 외적 모델을 만들어 본 후에는 입자로 구성된 기체의 역동적인 움직임을 나타내는 정신 모델을 갖게 되었다. 그림에도 불구하고, 그림으로 표상된 학생 M의 정신 모델을 살펴보면, 기체 입자가 움직이는 원인을 바람이라고 하여 그의 정신 모델이 외적 모델이 지니는 제약의 영향을 받았음을 알 수 있다. 그러나 바람이 없는 교실에서도 냄새를 맡을 수 있다는 것을 경험한 후에는 기체 입자가 “자유[롭게]” 움직이는 정신 모델을 표상하여 최종적으로 교육과정에서 의도한 성취 기준에 이르게 되었음을 알 수 있다.

이상과 같이 윤지수 교사의 모델링 중심의 과학 수업을 통해 학생들의 정신 모델은 스스로 움직이는 기체 입자 모델로 점차 진화하게 되었다고 해석할 수 있다. 따라서 DCog의 관점에서 이후에 전개될 수업은 학생들의 진화된 정신 모델을 반영하여 기체 입자가 스스로 움직이는 것을 표상하는 외적 모델을 이용하여 기체 입자의 운동에 의해 발생하는 좀 더 다양한 현상을 다루는 것이 되리라고 기대할 수 있다. 왜냐하면 그렇게 될 때 기존의 비치 볼과 구슬 모델이 지니고 있는 제약이 해소되어 정신 모델과 외적 모델의 공진화가 이루어질 수 있기 때문이다. 하지만 윤 교사의 수업에서는 이러한 새로운 외적 모델의 개발까지는 관찰할 수 없었다. 따라서 기체 입자의 자유로운 운동을 표상하는 외

**Table 2.** An example of the evolution of a student's mental model of gases

구분	학생의 정신 모델
드라이아이스 조각을 넣은 지퍼 백의 변화에 대한 학생 응답	· [지퍼 백이] 부풀다. · 드라이아이스가 기체를 내뿜으니까
비치 볼과 구슬로 된 외적 모델을 혼들어 보는 활동을 수행한 후 학생이 표현한 정신 모델	
용기에 담긴 물질의 냄새를 맡는 활동을 수행한 후 학생이 표현한 정신 모델	

적 모델을 고안하여 수업에 활용하는 것이 새로운 교육과정에 따른 교과서 개발과 실제 수업에서 실현되어야 할 중요한 과제 중의 하나라고 제안할 수 있다.

### V. 결 론

지금까지 본 연구에서는 기체 입자 모델을 다루는 초등 과학 수업을 DCog라는 이론적인 관점에서 해석하였다. 그 결과, 학생들의 정신 모델과 외적 모델은 과학 문제를 해결할 수 있는 가능성과 제약을 함께 제공하였으며, 모델이 제공하는 제약을 극복하는 과정에서 모델이 진화하고 학생들의 사고가 발달하였음을 알 수 있었다. 앞 장에서 상술한 연구의 결과로부터 도출할 수 있는 과학 수업 및 과학 교육 연구에 관한 시사점을 결론으로 제시하면 다음과 같다.

첫째, 우리나라에서는 2009년 개정 과학 교육과

정에서 초등학교 6학년에 기체의 입자 모델을 도입하여 ‘기체 입자가 스스로 운동한다.’는 개념을 가르치도록 하였으나, 이미 발표된 2015년 개정 교육과정에서는 이를 다시 초등학교 과학 교육과정에서 제외하였다(교육부, 2015b). 하지만 구체적으로 수업에서 어떤 어려움이 있어 해당 내용이 제외되었는지는 학술적으로 연구하여 보고된 바가 없다. 따라서 교육과정 전이기에 있는 현 시기에 관련 수업에 대해 연구하여 초등학교에서 기체 입자 모델에 관한 수업의 제한점을 이해하고, 새로운 교육과정에 따른 다른 학년의 과학 수업에 시사하는 일이 필요하다. 본 연구의 결과를 바탕으로 말하자면, 학생들이 기체 입자의 운동을 과학적으로 충분히 이해하지 못하는 데에는 학생들이 비유물과 목표물의 속성을 잘 연결시키지 못하는 대응 오류(김경순 등, 2006; 변순화, 2008)를 범하는 것 외에도, 교과서에서 제시하는 외적 모델이 지니는 본질적인 제약이 원인이 된다는 것을 알 수 있다. 따라서 입자

가 스스로 움직인다는 내용을 포함하고 있지 못한 정신 모델에 개념적인 도전이 될 수 있는 문제 상황을 개발하거나, 입자가 자유롭게 움직이는 것을 표상하는 외적 모델을 개발하여 탐구 활동에 활용하는 것이 기존의 수업이 지니는 제한점을 해결할 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다.

둘째, 모델은 자연 현상이나 과학의 아이디어를 다양한 형식으로 표상한 것으로, 그것을 개발하고 사용하는 과정에서 여러 가지 가능성과 제약을 드러낸다. 그런데 모델링 활동을 통해 드러나는 제약들은 모델이 가지고 있는 본질적인 속성 중의 하나로, 모델링 활동 중에 단순히 피할 수 있는 것이 아니라, 여러 가지 적절한 전략을 통해 극복해야 하는 것들이다. 이 점에서 DCog의 관점에 따라 분석한 윤지수 교사의 수업은 학생들의 정신 모델과 교과서에 수록된 외적 모델이 지니고 있는 제약들을 극복해 나가는 과정에서 학생들의 정신 모델이 좀 더 과학적으로 변할 수 있음을 보여주었다는 점에서도 의의를 찾을 수 있다. 즉, 학생들의 정신 모델은 기존 오개념 연구들에서 주장하는 것처럼 견고하게 유지된 채 인지 과정에서 유일하게 지배적인 역할을 하는 것이 아니라, 문제의 맥락에 따라 다르게 외연되어 나타나고, 외적 모델과의 상호 작용에 따라 달라질 수 있다.<sup>2)</sup> 따라서 학생들이 과학적으로 타당한 모델을 형성하게 하기 위한 과학 수업에서는 다양한 문제 상황과 외적 모델을 적극적으로 활용하여 정신 모델의 다채로운 발현과 외적 모델과의 상호 작용을 도모할 필요가 있다.

셋째, 그동안의 과학 교육 연구에서는 학생들의 정신 모델을 주로 실제 문제 해결 상황이 아닌 탈 맥락적인 상황에서 조사하고, 그 오인의 정도에 따라 오개념으로 분류하여 왔다. 이와는 달리 DCog의 관점에서는 학생과 외부 환경을 하나의 결합된 인지 체계로 파악하므로 인지 과정에 대한 분석의 시선이 사람뿐만 아니라, 모델과 같은 인공물에게도 균형 있게 주어진다. 본 연구에서도 비치 볼과 플라스틱 구슬을 이용하여 만든 외적 모델의 능동적인 역할에 일정 정도 분석의 초점을 둬으로써 기존의 수업을 새로운 방식으로 해석할 수 있었으며, 앞으로 가능한 수업의 방향 또한 제시할 수 있었다.

이와 같이 DCog 이론을 접목한 과학 교육 연구는 수업에 활용되는 사물에 대한 새로운 관심을 불러일으킬 수 있다. 특히 과학 수업은 다른 교과와는 달리 학생들이 실험실습 활동을 통해 여러 가지 실험실습 장치와 다채로운 형식의 모델 등을 접할 기회가 많이 주어진다. 따라서 학생들을 둘러싼 다양한 종류의 사물들이 학생들의 사고와 그들과의 상호 작용에 미치는 영향에 대해 탐구하는 일은 과학 교육 연구의 새로운 지평을 여는 좋은 계기가 될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- 강훈식, 이성미, 노태희 (2006). 다중 표상 학습에 적용한 그리기와 쓰기에서 시각적 정보의 형태에 따른 교수 효과. *한국과학교육학회지*, 26(3), 367-375.
- 교육과학기술부 (2011). *과학과 교육과정*. 서울: 교육과학기술부.
- 교육부 (2015a). 5~6학년군 과학 ③ 과학 6-1. 서울: 미래엔.
- 교육부 (2015b). *과학과 교육과정*. 서울: 교육부.
- 김경순, 신은주, 변순화, 노태희 (2006). 비유를 사용한 화학 개념 학습에서 유발되는 학생들의 대응 오류 분석. *한국과학교육학회지*, 26(4), 592-600.
- 김현진, 남광우, 한정혜, 윤옥경 (2015). 모바일기기 활용 초등학교 협력적 현장학습에서 분산인지 기반 학습과정 분석. *교육정보미디어연구*, 21(3), 361-387.
- 남초이, 박규석, 백성혜 (2009). 중등 과학 교사들의 기본 입자에 대한 사고 조사. *대한화학회지*, 53(6), 774-783.
- 박수경 (2015). 지질구조에 대한 모델링기반 학습에서 나타나는 논증패턴과 정신모형 수준에 대한 분석. *한국과학교육학회지*, 35(5), 919-929.
- 박재원, 백성혜 (2004). 초등학교 과학 수업에 적용한 입자 모델의 컴퓨터 애니메이션 교수자료의 학습 효과. *초등과학교육*, 23(2), 116-122.
- 변순화 (2008). 물질의 입자성 학습에서 체험 중심 비유를 사용한 과학 수업의 효과 및 학습 과정 조사. 서울대학교 박사학위 논문.
- 변순화, 김경순, 최숙영, 노태희, 차정호 (2007). 화학 개념 학습에서 물리적 비유를 사용한 학생 중심 비유 수업의 효과. *한국과학교육학회지*, 27(7), 631-638.
- 신남수, 고은정, 최취임, 정대홍 (2014). Learning progression을 적용한 중·고등학생의 ‘물질의 입자성’에 관

<sup>2)</sup> 이렇게 정신 모델이 다르게 발현되거나 달라지는 까닭이 이미 완성된 형태로 존재하는 정신 모델들 중에서 맥락에 따라 서로 다른 정신 모델이 활성화되기 때문인지, 아니면 맥락에 따라 서로 다른 요소들이나 자원들이 활성화되어 다른 정신 모델을 형성하기 때문인지는 추후 연구를 통해 좀 더 탐색할 필요가 있다.

- 한 지식과 미시적 표상에 대한 특성 분석. 한국과학교육학회지, 34(5), 437-447.
- 신상규 (2011). 확장된 마음과 동등성 원리. 철학적 분석, 23, 83-108.
- 신상규 (2012). 확장된 마음과 자아의 경계. 철학논집, 31, 55-89.
- 양정실, 권점례, 신호재, 박재현, 오필석, 이미미 (2015). 초등학교 교과서의 어휘 실태 분석 연구. 서울: 한국교육과정평가원.
- 양찬호, 김수현, 조민진, 노태희 (2016). 물질의 입자성에 대한 모형 구성 과정에서 나타나는 소집단 토론과 전체 학급 토론의 특징. 한국과학교육학회지, 36(3), 361-369.
- 유연준, 오필석 (2016). 초등학생들의 계절의 변화 단원의 학습에서 모델링 중심 과학 탐구 수업의 효과. 초등과학교육, 35(2), 265-276.
- 윤승아, 구인선, 김봉곤, 강대호 (1999). 기체의 성질에 대한 중·고등학생들의 오개념 연구. 대한화학회지, 43(5), 564-577.
- 윤회정, 우애자 (2007). 고등학생과 대학생의 기체의 성질에 관한 오개념 비교. 교과교육학연구, 11(2), 567-582.
- 이영의 (2008). 분산된 인지와 마음. 철학연구, 36, 3-30.
- 이영의 (2012). 확장된 마음 이론의 쟁점들. 철학논집, 31, 29-54.
- 이차은, 김희백 (2016). 과학적 모형 구성 과정에서 나타난 사고 질문의 개념적 자원 활성화의 이해: 인식론적 프레임과 위치 짓기 프레임의 중심으로. 한국과학교육학회지, 36(3), 471-483.
- 천현득 (2011). 분산된 인지와 비확장적 마음. 과학철학, 14(2), 121-140.
- 한재영, 이지영, 박진하, 노태희 (2006). 물질의 입자 개념 학습에서 그림 그리기와 그림 분석하기의 효과: 시각적 학습양식에 따른 비교. 한구과학교육학회지, 26(1), 9-15.
- Aurigemma, J., Chandrasekharan, S., Nersessian, N. J. & Newstetter, W. (2013). Turning experiments into objects: The cognitive processes involved in the design of a lab-on-a-chip device. *Journal of Engineering Education*, 102(1), 117-140.
- Baird, D. (2004). *Thing knowledge: A philosophy of scientific instruments*. Berkely, CA: University of California Press.
- Cash, M. (2013). Cognition without borders: "Third wave" socially distributed cognition and relational autonomy. *Cognitive Systems Research*, 25/26, 61-71.
- Chandrasekharan, S. & Nersessian, N. J. (2015). Building cognition: The construction of computational representations for scientific discovery. *Cognitive Science*, 39, 1727-1763.
- Clark, A. & Chalmers, D. (1998). The extended mind. *Analysis*, 58(1), 7-19.
- Giere, R. N. (2002). Models as parts of distributed cognition systems. In L. Magnani & N. Nersessian (Eds.), *Model-based reasoning: Science, technology, values* (pp. 227-242). New York: Kluwer/Plenum.
- Giere, R. N. (2006a). *Scientific perspectivism*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (2006b). The role of agency in distributed cognitive systems. *Philosophy of Science*, 73, 710-719.
- Giere, R. N. (2007). Distributed cognition without distributed knowing. *Social Epistemology*, 21(3), 313-320.
- Giere, R. N. (2012). Scientific cognition: Human centered but not human bound. *Philosophical Explorations*, 15(2), 199-206.
- Giere, R. N., Bickle, J. & Mauldin, R. F. (2006). *Understanding scientific reasoning* (5th ed.). Belmont, CA: Thomson Wadsworth.
- Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (Eds.) (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Glăveanu, V. P. (2014). *Distributed creativity: Thinking outside the box of the creative individual*. New York: Springer.
- Gobert, J. D. & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 13(1), 7-22.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kirsh, D. & Maglio, P. (1994). On distinguishing epistemic from pragmatic actions. *Cognitive Science*, 18(14), 513-549.
- Lehrer, R., Schauble, L. & Lucas, D. (2008). Supporting development of the epistemology of inquiry. *Cognitive Development*, 23, 512-520.
- Liu, Z., Nersessian, N. J. & Stasko, J. T. (2008). Distributed cognition as a theoretical framework for information visualization. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 14(6), 1173-1180.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nersessian, N. J. (2006). Model-based reasoning in distributed cognitive systems. *Philosophy of Science*, 73,

699-709.

Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. Cambridge, MA: The MIT Press.

Nersessian, N. J. & Patton, C. (2009). Model-based reasoning in interdisciplinary engineering. In A. W. M. Meijers (Ed.), *The handbook of the philosophy of technology & engineering sciences* (pp. 678-718). Berlin: Springer.

NGSS Lead States (2013). *Next generation science stan-*

*dards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.

Novick, S. & Nussbaum, J. (1991). Pupils understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 508-509.

Oh, P. S. & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.