

# 초등학생의 계절 변화 원인에 관한 지구본 활용 모델링 분석

석운수 · 윤혜경<sup>†</sup>

## Analysis of Elementary Students Modeling Using the Globe on the Cause of Seasonal Change

Suk, Yun Su · Yoon, Hye-Gyoung<sup>†</sup>

### 국문 초록

계절 변화를 이해하기 위해서는 3차원 공간 속에서 천체들의 관계를 이해하는 것이 필요하며 이를 위해 학생들이 직접 3차원 모델을 구성하여 사용하고, 평가 및 수정하는 모델링 활동이 중요하다. 이 연구에서는 초등학생이 지구본과 전구를 사용하여 계절 변화 원인으로 지구의 운동을 3차원 공간에서 모델링하는 과정을 분석하였다. 초등학교 6학년 17명이 참여하였으며 모델링 수업은 계절 변화와 관련된 현상과 개념을 탐색한 뒤 현상의 원인이 되는 지구의 운동을 지구본과 전구를 사용하여 학생들이 직접 모델을 구성하고 이를 활용하여 계절 변화를 설명하는 과정으로 진행되었다. 학생들의 모델링 과정을 녹화한 비디오 자료, 학생들의 활동지, 사후 면담 전사본을 연구 자료로 사용하였고, 삼각 검증을 통해 자료의 신빙성을 확보하였다. 모델링 수준 분석 틀은 선행 연구를 기초로 구성하였으며 모델에 대한 이해와 모델링 실행뿐만 아니라 지구의 운동 관련 개념을 고려하여 구성하였다. 최종 확정된 분석 틀에서는 3차원 모델링 수준을 1수준부터 3수준까지 구분하였고 각 수준에서 나타날 수 있는 학생의 수행을 구체화하였다. 연구 결과, 계절 변화를 설명하기 위한 초등학생의 지구본 활용 모델링 수준은 크게 두 가지로 나타났다. 지구의 자전 및 자전축의 기울기, 지구의 공전을 고려하였으나 경험적 증거를 활용하지 못하는 수준(2수준)과 지구의 자전 및 자전축의 기울기, 공전을 고려하고 경험적 증거를 활용하는 수준(3수준)으로 나타났다. 그러나 학생들이 경험적 증거를 활용하여 모델링을 하는 경우도 과학적 모델 구성으로 이어지지 못하였는데, 이 연구에서는 그 원인을 모델링 시 사용하는 도구의 특징과 관련지어 탐색하였다.

**주제어:** 계절 변화, 지구의 운동, 3차원 모델링, 지구본 모델, 모델링 수준

### ABSTRACT

To understand seasonal changes it is necessary to understand the relationship between celestial bodies in a three-dimensional space, and to this end, modeling activities in which students directly construct, use, evaluate, and modify three-dimensional models are important. In this study, the process of elementary school students using globes and light bulbs to model Earth's motion in a three-dimensional space as a cause of seasonal changes was analyzed. Seventeen sixth graders participated in the modeling process. After exploring phenomena and concepts related to seasonal change, students constructed models using globes and bulbs and used them to explain seasonal changes. Video data recording students' modeling process, students' activity sheets, and transcripts of post-interview were used as research data, and data triangulation was conducted. The modeling level analysis framework was also developed based on previous studies. In particular, the framework was developed in detail in this study in consideration of the concept of Earth's motion as well as understanding model

이 논문은 석운수의 2022년도 석사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.

이 논문은 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2021R111A3040733).

2022.10.05(접수), 2022.10.13(1심통과), 2022.10.19(2심통과), 2022.10.20(최종통과)

E-mail: yoonhk@cnu.ac.kr(윤혜경)

and implementing modeling. In the final analysis framework, the 3D modeling level was classified from level 1 to level 3, and student performance that may appear at each level was specified. As a result of the study, there were two main levels of modeling using globes for elementary school students to explain seasonal changes. The rotation and tilt of the axis of rotation and revolution of the earth were considered but the level at which empirical evidence was not used (level 2), the level at which empirical evidence was used to explain seasonal changes (level 3). However, even when students use empirical evidence, it did not lead to the construction of a scientific model. In this study, the cause was explored in relation to the characteristics of the tool used for modeling.

**Key words:** seasonal change, Earth's motion, 3D modeling, globe model, modeling level

## I. 서 론

최근 과학교육에서는 학생들이 과학자 공동체의 인식적 실행을 경험하며 스스로 지식을 구성하는 것의 중요성을 강조하고 있다(Duschl, 2008). 과학자들은 관찰한 자연현상의 패턴을 설명하고 그 본성에 대해 깊게 탐구하기 위해 모델을 개발, 평가, 수정하는 활동을 하는데(Passmore et al., 2009), 많은 연구에서는 과학적 모델과 모델 구성이 과학자의 활동에서 핵심적인 부분이며, 과학 탐구의 본질로 이해될 수 있다고 말한다(Giere, 1988; Giere et al., 2006; Schwarz et al., 2009). 미국의 과학교육 개혁 문서(Next Generation Science Standards, NGSS Lead States, 2013)에서는 과학교육의 중요한 목표 중 하나가 학생들 스스로 증거에 바탕을 둔 모델을 만드는 능력을 기르는 것이라며 ‘모델을 개발하고 사용하기(Developing and Using Models)’를 과학적 실행의 한 요소로 제시하였고, 국내 과학교육에서도 과학적 모델과 모델링에 관한 관심이 점차 증가하여 2015 개정 과학과 교육과정에서는 ‘모형의 개발과 사용’을 기능으로 명시하여 모델링을 더욱 강조하였다(교육부, 2015).

모델링은 자연현상에 대한 표상이자 이에 대한 설명체계인 모델을 만드는 과정을 뜻하며(Harrison & Treagust, 2000), 모델은 실제의 상세한 부분이 생략되어 있지만, 가장 중요한 부분을 포착하는 표상(representation)을 의미한다(교육부, 2015; National Research Council, 2012). 모델을 활용한 과학 교수 학습 과정에서 학생들은 자신만의 관점에서 모델을 생성하고, 모델을 뒷받침하는 증거를 찾아 모델을 평가 및 수정할 수 있다. 이때 눈으로 직접 보기 힘든 추상적인 요소나 메커니즘에 대한 과학 지식을 구성하며 과학자의 탐구 방법을 경험하게 된다

(Baek & Schwarz, 2015; Gilbert et al., 2000).

하지만 일부 연구에서는 학교 현장에서 모델링 활동이 제대로 일어나지 못하고 있다고 지적한다(Prins et al., 2008; Treagust et al., 2002). 교사들은 학생들이 모델을 구성하도록 돕기보다 교사의 지식을 전달하기 위해 모델을 사용하거나(오필석, 2009), 모델에 관한 학생들의 생각과 능력에 대해 알지 못하여 실제 수업에 적극적으로 반영하지 못하는 경우(Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 1999)가 있다. 또한, 학생들도 모델을 과학적 현상의 복제품으로 간주하거나(Grosslight et al., 1991), 모델링 과정에서 자기의 생각을 나타내는 것을 어려워하며, 모델 구성의 목적이나 모델링의 중요성 등에 대해 알지 못하고 수동적인 태도로 정답을 찾으려 하여(이차은과 김희백, 2016) 모델링 활동에서 어려움을 겪는다.

오필석(2007)에 의하면, 다수의 지구과학 교육 연구에서 과학적 모델의 중요성을 강조하며, 학생들이 참여하는 여러 가지 형태의 모델 기반 수업을 수행한 뒤 효과를 보고하였다. 이러한 선행 연구에서는 지구과학에는 영역 특이적인(domain-specific) 표상 형식이 존재하고, 그것을 활용하는 것이 지구과학을 학습하는 데에도 핵심적인 역할을 한다고 주장했다. 또한, 효과적인 지구과학 학습을 위해 학생들이 모델을 구성하고 조작하는 활동에 능동적으로 참여할 필요가 있음을 강조했다. 천체와 관련된 개념 및 영역에서는 3차원 공간 속에서 천체들의 관계를 이해하고 그에 따른 시점을 파악하는 것이 중요한 영역 특이성이라고 할 수 있다. 하지만 대부분의 모델링 관련 과학교육 연구에서는 3차원 공간 속 천체들의 관계를 2차원의 그림으로 표상한 평면적인 모델을 수집하여 연구해 왔으며, 3차원 공간 개념이 반영된 입체적인 모델에 관한 연구는

많이 이뤄지지 않고 있다.

특히 계절 변화는 지구의 자전 및 자전축의 기울기, 공전의 복합적인 운동이 일차적인 원인이 되어 나타나는 현상으로, 큰 규모의 시·공간 속에서 여러 요인들이 인과적으로 연결되기 때문에 많은 학생과 교사들이 어려워하는 개념이다. 계절 변화 원인에 대해 2015 개정 과학과 교육과정에서는 ‘모형 실험’을 통해 계절 변화 원인을 탐구하도록 성취기준을 제시하였고(‘계절 변화의 원인은 지구 자전축이 기울어진 채 공전하기 때문임을 모형실험을 통해 설명할 수 있다’), 교과서에서도 지구본과 전구 모델을 통해 학생들이 계절 변화 원인을 이해하도록 설명을 제시하고 있다(교육부, 2015).

교과서에는 모형실험이 그림과 함께 제시되어 있는데 학생들이 지구본과 전구를 교과서 그림처럼 배치해 보는 수동적인 모델링 활동으로, 모델이 활용된 수업임에도 불구하고 학생들이 스스로 지식을 구성하는 적극적인 모델링 활동으로 보기 어렵다.

정선라와 이용복(2013)은 계절 변화를 설명하는 개념을 크게 3단계의 인과 관계로 구분하였고, 각 단계를 1차 원인, 2차 원인, 3차 원인이라 명명하였다. 1차 원인은 우주 기반 관점에서 본 지구 자전축의 경사, 지구의 자전 및 공전을 가리키고, 2차 원인은 지구의 운동으로 생겨나는 태양의 남중고도 변화이다. 3차 원인은 지구 기반 관점에서 일정 면적, 일정 시간에 특정 지표면에서 태양의 남중고도 변화로 달라지는 태양 에너지의 양과 일조 시간이다. 이러한 ‘계절 변화 원인’은 학생들이 많은 오개념을 가지고 있는 단원이며(고경만, 2000; 채동현, 2011) 교사에게도 가장 가르치기 어려운 단원 중 하나이다(최선영과 여상인, 2010). 이에 성지영(2014)은 모델을 활용한 계절의 변화 수업에서 학생들이 겪는 어려움을 질적으로 분석하기도 하였다. 학생들은 자기의 생각을 모델로 나타내기 보다 잘 알려진 모델을 기억하여 표현하려고 하는 과정에서 어려움을 겪기도 하고 전구와 지구본을 사용하는 과정에서는 특정 부분을 비추는 전구의 특성 때문에 모델 구성에 어려움을 겪기도 하며 동료와의 상호작용으로 인한 어려움을 겪기도 하였다. 이외에도 여러 가지 과학적 오개념이나 모델에 대한 잘못된 인식, 관찰자 시점의 변화에 따른 어려움 등이 발견되었다(성지영, 2014).

그러나 이러한 여러 가지 어려움에도 불구하고 지구본과 전구를 활용한 모델링 활동은 초등학생이 직접 구체물을 조작하며 3차원 공간에서 지구의 운동으로 인한 계절 변화를 설명할 수 있다는 장점이 있다. 초등학생들이 지구본과 전구를 활용한 모델링 활동에서 구체적으로 어떠한 특징을 보이는지, 그러한 특징을 모델링 수준의 측면에서 어떻게 평가할 수 있는지 연구하는 것은 지구본과 전구를 활용한 모델링 활동을 개선하는 데 도움이 될 수 있을 것이다.

따라서 이 연구에서는 초등학생들 스스로 지구본과 전구를 활용하여 3차원 공간에서 직접 지구의 운동을 모델링 하여 계절 변화의 원인을 탐구하는 수업을 계획하였고 초등학생이 계절 변화 원인에 관하여 지구본과 전구를 활용한 3차원 모델을 구성하고 사용하는 모델링 수준 및 모델링 과정의 어려움을 분석하여 모델링 중심의 과학 교수·학습에 관한 시사점을 얻고자 하였다.

모델링 과정의 어려움을 분석하고자 한 이유는 모델링 수준이 높다는 것이 반드시 과학적 모델과 유사하다는 것을 의미하지는 않으므로 학생들이 과학적 모델에 근접하지 못한 경우 그 이유를 별도로 살펴볼 필요가 있다고 여겼기 때문이다. 특히 이 연구에서는 3차원 모델링 과정의 어려움을 모델링 도구의 특성과 관련하여 분석하고자 하였다. 기존의 모델링 연구에서는 주로 학생의 모델링 수행 능력과 메타 모델링 지식에 주로 초점을 두었지만(Baek et al., 2011; Schwarz & White, 2005; Schwarz et al., 2009), 인지 과정이나 학습 과정에서 환경이나 인공물 역시 주요한 역할을 하므로(Hutchins, 1995) 모델링 과정에서도 모델링 도구의 적절성과 그 역할에 대한 고찰이 필요하다고 보았다.

## II. 연구 방법

### 1) 연구 참여자

이 연구의 참여자는 강원도 중소도시의 초등학교 6학년 한 학급 내 17명 학생이었다. 이 학생들은 직전 학기에 계절 변화와 관련된 과학적 개념을 교과서를 통해 학습했으나 교사의 설명 중심 수업을 들었으며 직접 지구본과 전구 실험을 활용해서 모델을 만들어 본 경험은 없었다. 즉 교과서에는 계절 변화의 원인이 되는 지구의 운동을 지구본으로

조작하는 활동이 포함되어 있지만, 학생들은 이것을 이론적으로만 학습하였고 계절 변화 원인이 되는 지구의 운동을 직접, 3차원 공간에서 다뤄본 경험이 없었다. 따라서 학생들이 직접 지구의 운동을 모델링 할 때 다양한 특징이 나타날 것이라 예상하였다. 연구에 참여한 초등학생 17명은 3~4명씩 자유롭게 소집단을 구성하여 활동하도록 하였다.

## 2) 연구 절차 및 자료 수집

이 연구를 시작하며 먼저 모델 및 모델링 관련 선행 연구를 고찰하였다. 이를 바탕으로 학생들의 모델링 실행이 효과적으로 나타날 수 있도록 모델링 수업 절차를 고안하였다. 모델링 수업 절차는 Schwarz et al.(2009)의 모델링 수업 절차와 Baek et al.(2011)의 모델 중심 수업 절차(Model-Centered Instructional Sequence: MIS)를 참고하여 Fig. 1과 같은 단계로 진행하였다.

첫 번째 단계는 ‘현상 탐색하기’이다. 탐구하려는 현상을 확인하고, 관련된 데이터를 확인하여 무엇에 대한 모델을 구성해야 하는지 파악한다. 구체적으로, 계절이 변화하면 달라지는 것들(기온, 낮의 길이 등)을 떠올려보고, 월별 기온 변화 그래프와 월별 낮의 길이 그래프를 통해 계절 변화에 따른 현상을 파악하도록 하였다. 두 번째 단계는 ‘과학적 개념, 시뮬레이션 탐색하기’이다. 계절 변화를 설명하기 위한 핵심 과학 개념인 태양의 남중고도가 무엇인지 이해하고 계절별 태양의 남중고도 변화와 그림자 길이 변화를 파악하도록 하였다. 이때, 계절별 태양의 남중고도 변화와 낮의 길이 변화는 ‘스텔라리움(Stellarium)’ 시뮬레이션 프로그램을 활용하였다. 연구 참여자들은 모델링 수업에 참여하기 전 6학년 2학기 과학 ‘계절의 변화’ 단원을 학습한

경험이 있어 첫 번째, 두 번째 단계는 1차시에 간단히 진행하였다.

세 번째 단계는 ‘모델 구성 및 평가하기’이다. 3~4명의 소집단별로 토의를 통해 하나의 가설을 세우고 가설에 맞게 모델을 구성한다. 모델링 재료로 갖 없는 전구와 각도를 조절할 수 있는 지구본을 제공하고 자율적으로 필요한 재료를 추가하였다. 네 번째 단계는 ‘수정된 모델 사용하기’이다. 소집단별로 완성한 모델을 사용하여 계절 변화와 관련된 현상을 설명하거나 관련된 다른 현상을 예측하였다. 각 소집단에서 최종 모델을 완성한 뒤 계절이 변화하는 까닭을 설명하는 영상을 촬영하도록 하여 자연스럽게 모델을 사용 및 평가하는 계기가 되도록 하였다. 수업 중에는 총 5개의 소집단에서 모델링 활동을 하였으나 그중 한 소집단의 녹화 영상은 소음으로 인해 학생의 설명이 들리지 않아 분석에서 제외하였다.

## 3) 모델링 수준 분석 틀 개발 및 자료 분석

초등학생의 3차원 모델링 수준을 분석하기 위해 Schwarz et al.(2009)의 모델링 학습 발달 과정(Learning Progression, 이하 LP) 중 ‘설명 및 예측을 위한 지식 생성 도구로서 모델의 LP’를 바탕으로 이 연구의 분석 틀을 개발하였다. Schwarz et al.(2009)의 모델링 LP는 과학의 특정 내용 영역에만 사용되는 것이 아니라 다른 영역에도 적용될 수 있는 일반적인 틀로, 특정 개념이 어떻게 발달하는지보다 모델에 대한 학생들의 이해와 모델링 실행 그 자체에 초점을 맞추고 있어(Schwarz et al., 2009) 초등학생의 모델링을 분석하기에 적합하다. Schwarz et al.(2009)은 모델링의 수준을 1수준부터 4수준으로 분석하였는데, 이 연구에서는 4수준을 제외하고 1수

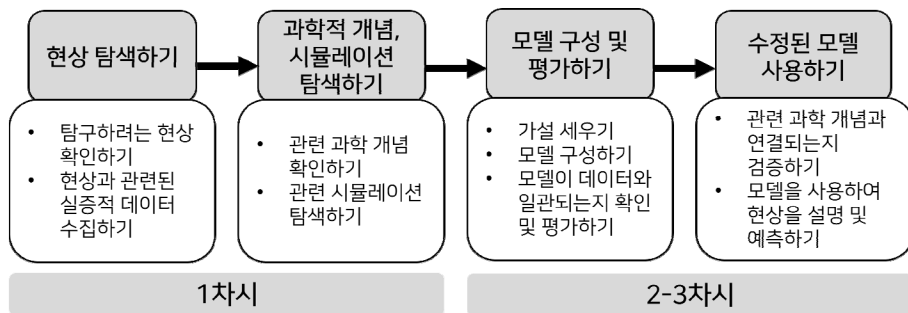


Fig. 1. Overview of the modeling class in this study

준부터 3수준까지만 모델링 수준을 구분하였다. 왜냐하면, 4수준은 학생들이 자발적으로 모델을 구성하여 사용하는 수준으로, 이 연구에서는 수업에 앞서 모델링의 목적과 탐구 현상을 명시하였기 때문이다. 또한, 제한된 수업 시간으로 인해 학생들이 자발적으로 모델을 사용하는 상황은 본 연구 자료로 수집할 수 없었고, Schwarz et al.(2009)의 연구에서도 4수준에 도달한 학생은 매우 드물었으므로 3차원 모델링 수준은 최고 3수준으로 규정하였다. 하지만, 이 연구에서 다루는 3차원 모델링은 공간적 사고(spatial thinking)가 필요한 천체 영역의 모델링으로, 학생들은 움직이는 지구 위 관측자로서 여러 천문 현상을 설명하고 직접 관찰할 수 없는 지구의 운동을 설명해야 한다는 점에서(Plummer & Krajcik, 2010) 일반적인 모델링과 다른 특수성을 가진다. 공간적 사고에 대한 견해는 연구자마다 차이가 있는데, 맹승호 등(2014)은 공간적 사고를 천체의 위치 변화와 지리적 방향을 판단하는 능력, 2차원의 평면 자료를 3차원의 공간 자료로 또는 그 반대로 서로 전환하는 능력, 지구 기반 관점에서 파악한 천문 현상을 우주 기반 관점에서 재구성하고 이것을 천체의 상대적 운동으로 파악하는 능력으로 정의하였다. 따라서 본 연구에서는 3차원 모델링 수준 분석을 위해 천체 운동에 대한 과학 개념 또는 공간적 사고와 관련된 요소를 포함하여 각 수준을 구

체화하였다. 이때 2015 개정 과학과 교육과정(교육부, 2015)과 계절 변화 원인에 관한 선행 연구(노자현 등, 2020; 정선라와 이용복, 2013) 및 천체 영역에서의 공간적 사고에 관한 선행 연구(맹승호 등, 2014; 이기영 등, 2014; 이정아 등, 2015; National Research Council & Downs, 2006; Plummer, 2014)를 참고하였다.

이러한 선행 연구를 바탕으로 일반적인 모델링 학습 발달 과정(Learning Progress)에 천체 영역의 특수성을 반영하여 3차원 모델링 수준 분석 틀을 개발하였다. 개발한 분석 틀로 이 연구에서 수집한 3차원 모델링 자료를 반복적으로 분석하며 연구 참여자들의 모델링 분석에 필요한 기준을 세부적으로 마련하고, 과학교육 전문가 1인과 정기적인 세미나 및 수정을 거쳐 3차원 모델링 분석 틀을 최종적으로 아래 Table 1과 같이 완성하였다.

‘1수준’은 모델은 현상을 단순히 보여주는 수단이라고 생각하여 눈에 보이는 현상을 표면적으로 묘사하기 위해 모델을 구성하는 수준이다. ‘2수준’은 모델은 의사소통의 수단이라 생각해 현상에 관해 자신이 이해한 것을 표현하기 위해 눈에 보이지 않는 것을 포함하여 모델을 구성하는 수준이다. ‘3수준’은 모델은 사고를 돕는 수단이라 생각하여 현상을 제대로 이해하고 설명하기 위해 모델을 구성하는 수준이다. 각 수준에 해당하는 구체적인 학생

Table 1. 3D modeling level analysis framework developed in this study

수준	학생의 수행				분석 코드
	모델에 대한 이해	모델링 실행	3차원 모델링 실행	구체적인 예시	
3	모델은 사고를 돕는 수단이다.	모델의 강점과 약점을 분석하고 현상을 더 나은 설명을 위한 대안을 떠올려 모델을 구성한다. 모델을 사용하여 관련된 초점 현상 및 관련된 여러 현상을 설명하고 예측한다.	지구의 운동과 계절 변화와의 관계를 밝혀내기 위해 경험적 증거를 바탕으로 모델을 구성하고 사용한다.	· 지구 기반 시점에서 태양의 시운동을 관찰하여 태양의 남중고도 변화를 확인하고 계절 변화를 설명 및 예측하였다.	3-4
				· 낮의 길이를 측정(비교)하여 태양의 남중고도 변화를 확인하고 계절 변화를 설명 및 예측하였다.	3-3
				· 태양 빛의 방향을 어렵하여 태양의 남중고도 변화를 확인하고 계절 변화를 설명 및 예측하였다.	3-2
				· 그림자 길이 변화를 관찰하여 태양의 남중고도 변화를 확인하고 계절 변화를 설명 및 예측하였다.	3-1
2	모델은 자신의 이해를 다른 사람에게 알려주기 위한 의사소통 수단이다.	단순히 눈에 보이는 것 외에도 보이지 않는 것들을 포함하여 모델을 구성한다.	지구의 운동을 고려하여 계절 변화를 표현한다.	· 자전축의 기울기를 고려하여 계절 변화를 나타내었다.	2-3
				· 지구의 공전을 고려하여 계절 변화를 나타내었다.	2-2
				· 지구의 자전을 고려하여 계절 변화를 나타내었다.	2-1
1	모델은 현상을 단순히 보여주는 수단이다.	모델은 현상을 단순히 보여주는 수 초점을 맞추어 모델을 구성한다.	태양 또는 지구의 위치가 달라짐을 표현한다.	· 지구의 위치를 변화시켜 계절 변화를 나타내었다.	1-1

의 수행을 세분화해 분석 코드로 정리하였고, 아래와 같이 모델링 과정에서 나타난 학생의 말과 행동에 분석 코드를 표기해 소집단별 모델링 수준을 평정하였다.

- 학생1: (지구본을 제자리에 두고[1-1\*] 설명하는 학생의 말을 끊고 손가락으로 큰 원을 그리며) 지구가 이렇게 돌아야지! [1-1]
- 학생2: (자전축이 기울어진 지구본[2-3]을 전구 높이에 맞추고, 시계 방향으로 자전[2-1\*], 반시계 방향으로 공전[2-2]시키며 90° 공전할 때마다) 이렇게, 이렇게, 이렇게, 이렇게.
- 학생3: (지구본은 제자리에 두고, 전구를 켜며) 그림자가 길어서 겨울이에요. [3-1]

위에 제시된 것처럼 본 연구에서 수집한 모델링 자료에서 각 분석 코드로 해석되는 말과 행동이 나타난 경우, 해당 부분에 밑줄을 치고 괄호 안에 분석 코드를 표기하였다. 만약, ‘학생1’ 또는 ‘학생2’의 행동처럼 비과학적이거나 대안 개념이 반영된 경우, 분석 코드 옆에 ‘\*’을 함께 표시하였다. 이러한 방법으로 분석 코드를 모두 표기한 후, 소집단 모델링에 특정 수준의 분석 코드가 하나라도 있으면 본 연구에서는 해당 수준으로 소집단별 모델링을 평정하였다. 예를 들어, ‘학생3’의 발화에 [3-1]의 분석 코드가 있으므로 ‘학생3’이 속한 소집단의 모델링은 3수준이라고 분석하였다. 연구 결과의 신빙성 확보하기 위해 세 가지 자료(수업 녹화 영상 및 소집단별 활동 영상, 학생 활동지, 사후 면담)를 수집하여 종합적으로 검토하는 삼각 검증을 사용하였다.

### 3) 모델링 도구로 인한 모델링에서의 어려움 분석

모델링 수준이 높다는 것이 학생들이 구성한 모델이 과학적 모델이라는 것을 의미하지는 않는다. 학생이 열심히 증거에 기초한 모델링을 시도하더라도 학생이 가진 인지적 자원이 부족하거나 모델링 도구가 적절하지 않거나 혹은 그 밖의 다른 원인으로 학생들이 구성한 모델은 비과학적 모델에 가까울 수 있다.

이 연구에서는 각 모둠의 모델링 수준을 분석한 후 학생들의 모델이 과학적 모델이 아닌 경우 그 주요 원인을 모델링 도구와 관련하여 탐색하였다.

즉, 지구본과 전구라는 도구를 활용함으로써 발생하는 어려움에 초점을 두고 이들의 특성으로 인해 생기는 학생들의 어려움에 대해 탐색하였다. 먼저 학생들의 모델링 과정을 반복적으로 검토하며 각 모둠에서 과학적 모델 구성에 방해가 되었다고 생각하는 장면을 추출하고, 그 장면에서 어떠한 요소가 과학적 모델 구성을 방해하였는지 메모하였다. 그리고 두 개 모둠 이상에서 나타나는 특징을 중심으로 비슷한 내용을 두 연구자가 동의할 때까지 범주화하며 합하는 방법으로 주요 결과를 추출하였다.

## III. 연구 결과 및 논의

### 1. 지구본을 활용한 모델링 수준 분석

계절 변화 원인을 설명하기 위한 지구본 모델링 과정을 녹화한 비디오 및 전사본, 학생 활동지, 사후 면담 내용 등을 종합하여 각 소집단의 모델링 수준을 Table 1에 근거하여 분석하였다. 전체적인 모델링 수준 분석 결과를 요약하면 Table 2와 같다. 계절 변화를 단순히 보여 주는 1수준의 모델링은 나타나지 않았고, 자신이 이해한 계절 변화를 지구의 운동을 고려해 설명하는 2수준의 모델링은 소집단 A와 소집단 C에서 나타났다. 또 경험적 증거를 활용해 지구의 운동에 의한 계절 변화를 설명하는 3수준은 소집단 B와 D에서 나타났다. 소집단별 구체적인 모델링 내용은 아래에 자세히 서술하였다.

Table 2. Results of modeling level analysis on the cause of seasonal change using the globe

코드	구체적인 모델링 실행 예시	소집단			
		A	B	C	D
3-4	지구 기반 시점에서 태양의 시운동 관찰				
3-3	낮의 길이를 측정(비교)		○		
3-2	태양 빛의 방향을 어렵				○*
3-1	그림자 길이 변화를 관찰		○		
2-3	자전축의 기울기	○		○*	○*
2-2	지구의 공전	○		○	○
2-1	지구의 자전	○	○		○
1-1	지구 위치 변화	○	○*	○	○
모델링 수준		2	3*	2*	3*

\*: 비과학적이거나 대안 개념이 포함된 경우이다.

**1) 소집단 A: 지구의 자전, 공전, 자전축의 기울기를 표현**

소집단 A의 모델링은 2수준으로 분석되었다. 지구의 자전 및 자전축의 기울기, 공전을 포함한 지구의 운동을 나타내는 모델을 구성하였고, 계절을 표현하기 위해 모델을 사용했기 때문이다. 학생들의 모델링은 실제 3차원 공간에서 이루어졌지만, 전반적인 특징과 내용을 간략하게 나타내기 위해 본 논문에서는 연구자가 학생들의 3차원 모델링 내용을 2차원 그림으로 나타내기도 하였다. Fig. 2는 소집단 A의 지구본 모델을 연구자가 요약하여 나타낸 것이다.

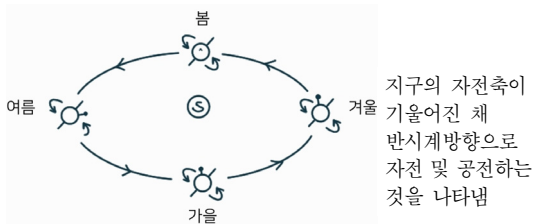


Fig. 2. Initial and final globe models of group A

A 모둠은 지구의 자전축이 기울어진 채 태양을 중심으로 지구가 반시계방향으로 원형을 그리며 공전하는 것을 표현하였다. 이때, 봄, 여름, 가을, 겨울의 사계절을 모두 구분하여 나타냈는데, 각 계절에서는 대한민국 위치에 붙인 사람 모양의 자석이 전구를 향하도록 구성하였다. 하지만, 소집단 A의 활동은 모델을 사용해 태양의 남중고도와 연결 지어 계절의 변화를 설명하는 수준으로는 이어지지 못했다.



A1: (Fig 2의 각 계절 위치에서) 이것은 봄이고, 이것은 여름이고, 이것은 가을이고, 이것은 겨울이에요. [1-1, 2-1, 2-2, 2-3]

교사: 남중고도를 지금 설명해야 합니다. 사계절은 설명했는데, 그렇지?

A1: 남중고도요?

교사: 네.

A1: 어떻게 해야 되지?

위 담화문에서 알 수 있듯이, 교사가 A1에게 태양의 남중고도와 관련지어 계절 변화를 설명하도록 요구했지만, A1은 답하지 못하였다. 이 상황을

지켜보던 A2, A3도 어떠한 의견도 내지 않았다. 즉 소집단 A는 지구의 위치 변화를 표현하고[1-1], 지구의 자전[2-1], 지구의 공전[2-2], 자전축의 기울기 [2-3]를 모두 포함한 모델을 구성했지만, 그림자의 길이나 태양 빛의 방향이나 낮의 길이 등을 증거로 활용하지 못하였다. 따라서 2수준으로 분석할 수 있다.

소집단 A는 이미 알고 있는 것을 보여주는 수단으로써 지구본 모델을 구성하였지만, 현상을 설명하고 예측하며 사고를 돕는 수단으로 모델을 사용하지는 않았다.

**2) 소집단 B: 그림자 길이와 낮의 길이 변화로 계절 변화를 설명**

소집단 B의 3차원 모델링은 3수준으로 분석하였다. 모델을 구성할 때 계절 변화와 관련된 여러 대안적인 모델들을 비교하여 가장 설명력이 높은 모델을 선정했으며, 모델에서 관찰할 수 있는 그림자의 길이나 낮의 길이에 대한 증거를 바탕으로 계절에 따른 태양의 남중고도 변화를 설명했기 때문이다. Fig. 3은 소집단 B의 지구본 모델을 연구자가 요약하여 나타낸 것이다.

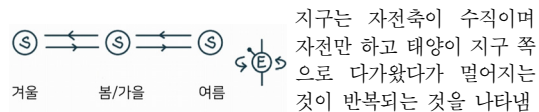
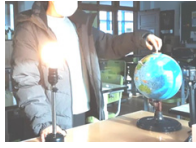
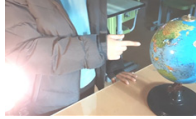


Fig. 3. Final globe models of group B

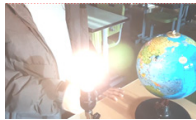
태양은 직선 방향으로 앞뒤로 이동하며 지구와 가까워졌다 멀어졌다 하는 것을 반복하고, 지구의 위치는 고정인 채 반시계방향으로 자전한다. 이때 자전축은 태양의 운동 궤도에 대하여 수직이다. 소집단 B가 1차시에 작성한 활동지에는 계절 변화의 원인이 되는 지구의 운동에 대해 과학적인 가설(지구가 자전축이 기울어진 채 공전한다는 내용의 가설)이 서술되어 있었다. 하지만, 2~3차시에 학생들은 계절 변화 현상을 ‘이상하게’ 설명해보겠다고 다짐하며 가설을 수차례 수정해 Fig. 3과 같은 모델을 구성하였다. 이는 계절 변화가 태양과 지구 사이의 거리 변화 때문이라고 생각하는 비과학적인 모델이다. 그럼에도 본 연구에서 소집단 B의 모델링을 3수준으로 분석한 이유는 아래 담화에서 확인할 수 있다.



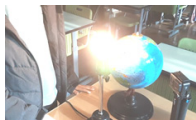
B1: 일단 지구는 자전축이 기울어져 있지 않고 이렇게 가만히 수직으로 있어요. [2-1]



그다음에 태양이 멀리 있을 땐 그림자가 길어서 겨울이에요. [3-1]



(전구를 지구본 쪽으로 더 가져오며) 그리고 애가 중간쯤에 있으면 그림자가 더 짧아져요. [3-1]

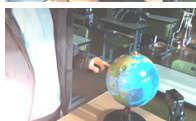


교사: 짧아졌어?  
B1: 네. (전구를 지구본 바로 앞으로 더 가져오며 [1-1\*]) 짧아진 거예요. 이것 봐요.

교사: 다시 다시.  
B1: (전구를 멀리 두고 사람 모양 자석의 그림자 끝을 손가락으로 가리키며) 이쯤이에요. (전구를 조금 더 가까이하며) 여기까지 하면 (그림자가) 이쯤이에요. (전구를 매우 가까이하며) 이렇게 하면 (그림자가) 여기예요. (중략)



교사: 그럼 낮의 길이, 밤의 길이도 바뀌어?  
B1: (전구를 지구에 가까이 두고 지구본 옆, 한 곳을 가리키며) 여기 있으면 이곳이 더 밝은데,



전구가 뒤로(멀리) 가면 이곳이 더 어두워져요. 그리고 더 뒤로 가면 이곳이 또 어두워져요. [3-3]

교사: 그럼 전구가 멀리 있으면 (지구본의) 밝은 구역이 좁으니까 낮의 길이가 짧고, 가까이 있으면 밝은 구역이 더 (넓어져) 뒤까지 갔으니까 낮의 길이가 더 길다?  
B1: 맞아요. [3-3]

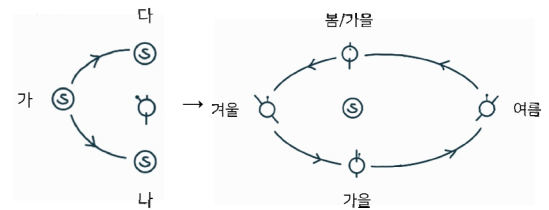
담화에 나타난 것처럼 소집단 B가 구성한 모델은 지구가 제자리에서 자전하고[2-1], 태양이 지구와 가까워지다 멀어지는 것을 반복한다[1-1\*]. 이러한 모델을 사용해 그림자 길이 변화를 관찰하였고 [3-1], 계절에 따른 낮의 길이 변화 현상도 추가로 설명해내며[3-3] 모델의 설명력을 높였다. 또한, 모델을 사용해 하루 동안 그림자의 길이 변화도 예측하며 모델을 통해 지식을 구성하거나 확인하는 모

습을 보여 소집단 B의 모델링은 모델을 사고의 수단으로 생각하는 3수준이라고 분석하였다.

하지만, 소집단 B가 3수준의 모델링을 수행했음에도 비과학적인 모델을 구성한 점은 눈여겨볼 만하다. 이는 충분한 모델 평가가 이뤄지지 않았다는 점과 지구본과 전구가 모델 구성 매체로서 갖는 한계에 기인한다. 이에 관한 자세한 내용은 다음 절에서 다룰 것이다.

### 3) 소집단 C: 그림자에 주목하였으나 그림자 길이 변화와 계절 변화를 연관 짓지 못함

소집단 C의 3차원 모델링 수준은 2수준으로 분석하였다. 소집단 C는 초기에 태양이 지구 주위를 움직이는 것으로 모델을 구성하였으나 지구가 태양 주위를 공전하는 것으로 모델을 수정하며 최종 모델을 완성하였다. 계절 변화를 설명하기 위한 실증적 증거로서 지구 위 사람의 그림자를 관찰하려는 시도가 있었지만, 그림자의 길이를 관찰한 대로 말하거나 기록하지 않았으며, 과학 개념의 부족으로 수집한 증거와 현상을 논리적으로 연결 짓지 못했다. 이는 실증적 증거를 수집하였다고 보기 어려우므로 3수준이 아닌 2수준으로 분석하였다. Fig. 4는 소집단 C의 모델링을 요약하여 나타낸 것이다.



지구는 가만히 있고 태양이 지구 주위를 움직이는 모델에서 지구가 태양 주위를 공전하는 모델로 수정되었고, 자전축이 기울어졌지만 기울어진 방향이 일정하지 않음을 나타냄.

Fig. 4. Globe models of group C  
(left: initial model, right: final model)

소집단 C가 구성한 초기 모델은 지구가 제자리에 있고, 태양이 위치를 바꾸는 모델로, 지구의 운동은 전혀 고려되지 않은 모델이었다. 초기 모델을 구성한 뒤 소집단 C는 모델을 사용해 대한민국 위 사람 모양 자석의 그림자를 관찰하려고 했다. 하지만 지구본에 그림자가 생기지 않자 소집단 C는 모델에 문제가 있다고 평가하며 교사에게 도움을 요청하였다. 아래 담화에 교사와 C3의 대화가 나타났다.



C3: 선생님, (중략) (초기 모델의 '가'처럼 전구와 지구본을 놓고) 이렇게 낮을 때, 정면에서는 그림자가 나오는데, (초기 모델의 '나', '다'처럼 전구를 놓고) 여기서 붙이면 그림자가 안 나와요.

교사: (중략) (사람 모양 자석이 전구를 향하도록 지구본을 자전시키며) 이렇게 돼야지 남쪽을 보는 거야. 그러면 그림자가 생기지? (다시 '나'처럼 전구와 지구본을 놓고) 이렇게 놓으면 낮이 아니야. 자석이 전구를 보고 있어야겠지. 이게 남중고도야.

C3: (그림자가 생긴 것을 확인하고) 그럼 이게 끝인 거예요?  
교사: 아니, 계절마다 남중고도가 달라지는 걸 설명해야지.

C3은 전구를 이동했을 때 그림자가 생기지 않는 것을 보고 왜 그림자가 생기지 않는지 스스로 원인을 파악하지 못했다. 교사는 C3에게 그림자 형성 원리를 포함해 태양의 남중고도 개념을 다시 알려주며 소집단 C가 모델링을 이어가도록 하였다. 그럼에도 여전히 C3는 그림자 길이와 태양의 남중고도 사이의 관계를 추론하고 이해하지는 못했다.

교사: (지구본 모델을 가리키며) 지금 무슨 계절인 것 같아?

C3: 겨울...

교사: 겨울 같아? 이제 옆으로 옮겨봐. (지구본을 공전하며) 이걸 무슨 계절인 것 같아? (사람 모양 자석이 태양 쪽으로 향하게 지구본을 자전시키고) 자석이 태양 쪽을 정확하게 봐야 하지? 그림자의 길이가 어때? 아까보다 짧아졌어, 길어졌어?

C3: 짧아졌어요.

교사: 짧아졌지? 짧아지면 어떤 계절일까?

C3: 이걸 겨울이요.

교사: 짧아지면 겨울인 것 같아? 다시 해보자.

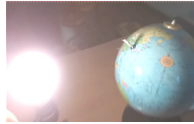
위 담화에는 교사가 지구본 모델을 조작하며 C3에게 그림자와 태양의 남중고도 사이의 관계를 알려주는 장면이 제시되어 있다. C3는 그림자의 길이가 짧아진 것을 보고 겨울이라고 대답하였고, 이를 통해 C3는 그림자의 길이와 태양의 남중고도 사이의 관계에 대한 이해가 부족하다고 해석할 수 있다. 이러한 어려움은 최종 모델을 구성해 계절 변화를 설명할 때까지도 극복되지 못했다.



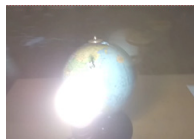
C3: 이렇게 그림자의 길이를 봤을 때 짧은 걸 보면 겨울인 것 같고



(자전축을 90° 회전시키는 [2-3\*] 동시에 지구본도 반시계 방향으로 90° 이동시키고[1-1, 2-2] 여전히 짧은 그림자의 길이를 확인하며) 이렇게 그림자의 길이를 보면, 짧긴 짧지만 길어진 걸 보면 가을인 것 같고,



(자전축을 90° 회전시키는 동시에 지구본도 반시계 방향으로 90° 이동한다. 이때 지구본과 전구 사이의 거리를 눈에 띄게 멀리 두며) 여기서 봤을 때 그림자의 길이가 아까보다 훨씬 길어져서 여름인 것 같아서,



(다시 자전축을 90° 회전시키는 동시에 지구본도 반시계 방향으로 90° 이동시키고, 이번엔 지구본을 전구에 가까이 두며) 그리고 이거는 그림자 길이 봤을 때 아까보다 짧아져서 봄이나 가을 중에 있을 것 같다고 생각해서, (중략) 낮에 태양의 높이는 여름이 제일 높다고 생각합니다.

위 담화에 나타난 바와 같이 소집단 C의 최종 모델은 태양이 아닌 지구가 공전하고[1-1, 2-2], 지구의 자전축은 초기 모델과 같이 기울어지도록 구성하였다. 그렇지만 자전축이 기울어진 방향이 일정하지 않고[2-3\*], 지구가 360° 공전할 때 자전축도 360° 회전하여 지구가 자전하지 않아도 지구 위 사람 모양 자석이 항상 남중하는 모델을 구성하였다. 사실상 이 모델을 사용해 태양의 남중고도 변화를 설명하는 것은 과학적으로 불가능하지만, 소집단 C는 그림자가 가장 길어지면 여름이라는 오개념을 가지고 있어 실제로는 그림자가 짧아졌는데 더 길어졌다고 말하는 모습을 확인할 수 있다.

소집단 C의 모델링을 요약하면, 교사의 도움을 받아 모델에 지구의 운동을 반영해 2수준의 모델링으로 발전하였지만, 위와 같이 증거를 왜곡하는 모습은 3수준의 모델링으로 분석하기엔 한계가 있다.

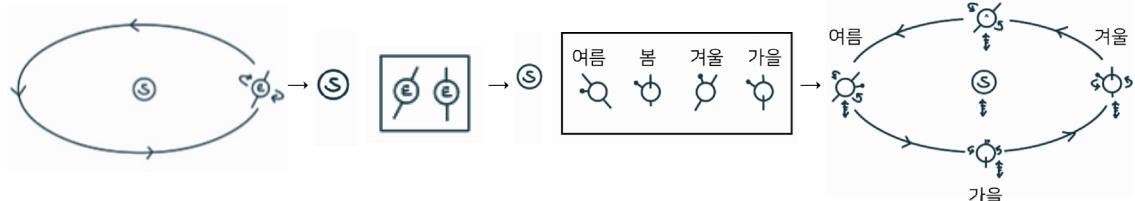
#### 4) 소집단 D: 여러 대안 모델을 제안하고 태양 고도와 관련지어 계절 변화를 설명하는 모델 채택

소집단 D의 3차원 모델링은 3수준이다. 모델을 통해 관찰한 현상과 기존에 알고 있던 과학적 지식

을 바탕으로 지구본 모델을 구성하였고, 계절 변화에 대해 모델을 사용해 수집한 증거들끼리 모순되지 않고 일관된 설명체계를 갖출 수 있도록 모델 평가와 수정을 거듭했기 때문이다. 또한, 소집단 D의 학생들은 서로가 구성한 지구본 모델의 설명력을 평가하고 약점을 찾아 개선하였다. 이처럼 여러 대안 모델을 검토하여 설명력이 높은 모델을 구성하는 모습은 3수준의 모델링이라 볼 수 있다. 아래 Fig. 5는 소집단 D가 모델링 과정에서 구성한 여러 대안 모델의 변화를 그림으로 나타낸 것이다.

처음 소집단 D는 자전축이 기울어진 채 반시계 방향으로 자전 및 공전하는 지구본 모델을 구성했지만(초기 모델), 계절 변화를 설명하지 못했다. 이후 대한민국을 기준으로 정하고 자전축의 기울기를 변화시키는 모델을 구성해 태양 고도가 자전축의 기울기에 따라 달라지는 것을 확인하였다(수정 모델 1). 하지만 이는 기준에 소집단 D가 알고 있는 과학 지식과 어긋난다고 평가하며 새롭게 모델을 수정하였다. 아래 담화에 소집단 D가 자신들의 모델을 평가하고 수정하는 모습이 나타나 있다.

- D4: (기울어진 자전축을 수직으로 바꾸며) 이게 각도를 이렇게 해야지.
- D1: 이건 자전축이 수직이잖아!  
(중략)
- D4: 이렇게 되는 거야. (자전축이 기울어졌을 때 대한민국과 전구를 손으로 연결하며[3-2]) 여기 보면 태양이 이렇게 높잖아. (자전축을 수직으로 바꾼 뒤 다시 대한민국과 전구를 손으로 다시 연결하며) 그런데 이렇게 되면...



지구의 자전축이 기울어진 채 자전과 공전하는 모델은 구성했지만 계절 변화를 설명하지 못함

태양 고도 변화를 설명하기 위해 지구의 자전축 기울기가 변하는 모델을 구성함

지구 위에 사람 모양의 자석을 붙이고 자전축 기울기는 고정하고, 자전축이 기울어진 방향을 변화시키며 계절을 표현함

지구본과 태양의 높이를 같게 맞춰 모델을 구성함. 자전축이 기울어진 채 지구가 공전하지만, 자전축 방향이 일정하지 않음

D1: (D4의 말을 끊고) 아니, 잠깐만 얘 들어. 지구가 기울어서 공전하는데 [2-2, 2-3], (자전축이 수직인 지구본을 가리키며) 이건 진짜 지구가 아니잖아.

위 담화에서는 지구와 태양을 잇는 선으로 태양의 남중고도 변화를 확인할 수 있는[3-2] 모델을 구성하려는 동시에 지구 자전축의 기울기를 변화시키지 않고 기울어진 상태를 유지하며[2-3] 공전하는[2-2] 지구의 운동을 반영하려는 소집단 D의 모습이 드러난다. 이후 소집단 D는 새로운 재료인 사람 모양의 자석을 추가하여 모델을 다시 수정하였다. 대한민국 위에 사람을 놓고, 지구의 자전축이 기울어진 방향에 따라 계절이 달라지는 모델을 구성하였다(수정 모델 2). 하지만 모델 평가를 통해 지구의 공전을 표현하지 않았다는 점을 깨닫고 다시 모델을 수정하였다.

- D1: (지구본을 책상 위에 올리고, 기울어진 지구의 자전축이 전구를 향하도록 놓은 뒤) 이게 여름. (지구의 공전 없이 자전축의 방향만 반시계 방향으로 90°씩 회전하며) 이게 봄. 이게 겨울. 이게 가을! (자전축을 조금 더 돌리다가 뭔가 이상하다는 듯한 말투로) 어?
- D4: (손가락으로 큰 원을 그리며) 지구가 이렇게 돌아야지! [2-2]

위 담화에서 확인할 수 있듯이 소집단 D는 지구의 공전을 추가로 표현하고자 했으며[2-2], 지구의 자전, 자전축의 기울기를 모두 고려하여 자전축이 기울어진 채 태양 주위를 공전 및 자전하여 계절이

Fig. 5. Globe models of group D (left: initial model, middle: revised model 1, revised model 2, right: final model)

달라지는 모델을 구성하고자 노력하였다. 비록 소집단 D의 최종 모델은 지구의 자전축이 기울어진 방향이 일정하지 않은 채 공전해서[2-3\*] 실제 지구의 운동과 차이가 있지만, 소집단 내 활발한 토의를 통해 지구의 운동을 과학적으로 반영하고 증거를 바탕으로 계절 변화를 설명하려 했다.

소집단 D는 계절 변화를 설명하기 위해 지구본과 전구의 높이를 같게 맞춘 뒤, 지구본 위 사람 자석의 머리와 전구가 이루는 각을 어렵하여 태양의 남중고도를 예상하였다[3-2]. 아래에 제시된 면담에는 소집단 D가 계절 변화를 설명하는 모습이 담겨 있다.

D1: 여름은 태양과 지구가 이렇게 수직으로 빛이 쏘지고요, 봄은 약간 좀 대각선? 겨울도 봄이랑 다르게 좀 더 (태양 빛이) 위로 올라가서, 태양 빛을 더 세게 받는 건 여름이어서 수직으로...[3-2]

교사: 이건 뭐가 달라져서 그런 거야?

D1: 지구가 자전하고 공전하면서 이렇게..자전축이 기울어진 상태로 자전, 공전해서 [1-1, 2-1, 2-2, 2-3] 각도가 달라져요. [3-2]

위 담화에서 확인할 수 있듯이, 소집단 D가 계절 변화를 설명하기 위해 태양의 남중고도 변화를 확인한 방법은 우주 기반 시점에서 지구에 입사하는 태양 빛을 손으로 가시화하고 태양 빛의 방향을 어렵하는 방법이다[3-2]. 이 방법은 지구의 자전축이 기울어진 방향에 따른 계절 변화를 설명할 수 있다는 장점이 있지만, 전구와 지구본 사이의 거리 또는 전구와 지구본의 높이 차이에 변화가 생겨 태양 빛의 방향이 달라져 변인 통제가 어렵다는 문제가 있었다. 그렇지만 소집단 D는 모델링 과정에서 모두가 적극적으로 자신의 의견을 발표하고 토의하며 모델 평가 및 수정이 활발하게 일어났다. 이를 통해 여러 대안 모델에서 강점은 수용하고 약점은 보완하며 모델을 구성하였고, 주어진 시간 내에 모델에서 수집한 증거를 바탕으로 계절 변화를 설명하려 노력했다. 따라서 이러한 소집단 D의 3차원 모델링은 3수준으로 볼 수 있다.

## 2. 지구본을 활용한 모델링에서의 어려움

앞서 지구본을 활용한 학생들의 모델링 수준을 분석한 결과 2개 모듈(A, C)은 2수준, 2개 모듈(B, D)은 3수준을 나타냈지만, 네 모듈 중 과학적으로

올바른 지구의 운동을 표현한 모듈은 A 모듈 한 모듈에 불과했다. 그러나 A 모듈은 이미 알고 있던 지구의 운동을 표현한 것일 뿐, 증거를 바탕으로 현상을 설명하는 진정한 모델링 활동을 수행한 것으로 보기 힘들다.

경험적 증거를 바탕으로 모델을 통해 계절 변화의 원인을 설명하려 했던 B, D 모듈은 모델링 수준이 높은 편인데 왜 과학적 모델에 도달하지 못했는가? 또, C 모듈은 왜 과학적 모델에 근접하지 못했는가? 학생들의 활동 과정을 반복적으로 검토한 결과 학생들이 과학적 모델에 도달하지 못한 원인을 특히 모델링 도구와 관련해서 다음과 같이 크게 두 가지로 구분할 수 있었다.

### 1) 정교한 모델 구성의 어려움: 거리나 높이, 크기의 조정이 어려움

전구와 지구본을 활용할 때 학생들은 정교한 모델 구성에 어려움을 겪었다. 지구본을 기울이거나 움직이며 지구의 자전 및 공전은 쉽게 나타낼 수 있었지만, 지구본과 전구의 높이를 나란하게 맞추거나 지구본의 공전궤도를 원형에 가깝게 나타내는 것, 자전축이 기울어진 방향을 일정하게 유지하는 것은 잘 표현하지 못했다. 다음 그림은 지구본과 전구의 높이나 둘 사이의 거리 조정에 어려움이 있었던 소집단 D의 활동 장면이다.

소집단 D의 경우 Fig. 6에 나타난 것처럼 전구와 지구본을 책상 위에 올려놓아 전구가 지구본보다 높은 위치에 있고, 전구와 지구본 사이 거리를 가깝게 놓은 모델을 구성하였다. 그런 뒤 대한민국과 전구 사이를 손가락으로 연결하며 계절에 따른 태양의 남중고도 변화를 확인했다[3-2]. 하지만 전구와 지구본 사이 거리가 너무 가까워 대한민국과 전구를 잇는 연결선(태양의 남중고도)이 지표면에 대해 90° 가까이 되자, 소집단 D는 태양의 남중고도 변화를 구분하기 힘들어 모델을 수정하였다. D1의 제안에 따라 Fig. 7에 나타난 바와 같이 전구와 지구본 사이의 거리를 멀리 떨어뜨리고, 지구본을 들어 전구와 지구본의 높이를 맞추려 노력했다. 하지만, 지구본의 높이가 고정되지 않아 손으로 대한민국과 전구를 연결하며 태양의 남중고도를 어렵하여도 확실하게 남중고도 변화를 확인하지는 못했다.



Fig. 6. Model of group D before adjusting for bulb-globe height and distance



Fig. 7. Model of group D adjusting for bulb-globe height and distance



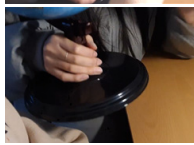
D1: (지구본을 들고 전구와 나란하게 맞추며) 여름이 이거고요.

교사: 여름에 태양의 남중고도가 어떤데?



D1: (지구본을 책상 위에 내려놓는다.)

D2: (사람 자석과 전구를 잇는 손동작을 하며) 애 시점에서는 높죠.



D1: 만약에 이렇게 있다 치면 (지구본을 몸쪽으로 당겨 높이 들고, 전구에서 나오는 빛이 지구에 나란하게 들어오는 손동작을 하며) 직각이잖아요. 이렇게 수직이잖아요.

(제자리에서 지구본을 든 채, 지구본을 시계방향으로 90° 자전하는 동시에 자전축도 반시계방향으로 90° 회전시켜 사람 자석이 전구 쪽을 향하도록 맞추고) 그리고 봄이 이거거든요.

(지구본을 들고 움직여 전구로부터 거리가 가까워지고 지구본의 높이도 전구보다 조금 낮아진 상태의 지구본 모델을 바라보며) 봄은 약간 조금 더...

D2: 떨어졌어요.

교사: 아까랑 뭐가 달라졌어?

D1: (머뭇거리며) 애는 뭔가... (지구본을 책상 위에 내려놓는다.)

D2: (책상 위에 높인 지구본에서 사람 모양 자석과 전구를 잇는 손동작을 하며) 애 얼굴 시점에서 약간 낮아졌어요.

D4: 애가 봄이라고?



위 담화에서는 학생들이 지구본을 책상 위로 들었다가 다시 내려놓는 모습이 반복된다. 교사가 태양의 남중고도와 관련지어 설명하도록 요구하자,

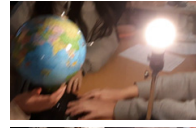
D1과 D2는 전구와 지구본 사이를 손으로 이으며 여름에는 태양의 남중고도가 높아 수직에 가깝고, 겨울에는 태양의 남중고도가 낮아진다는 것을 지구본으로 직접 보여주려 하였다. 하지만, 지구본의 위치가 고정되어 있지 않아 높이가 계속 바뀌어 전구와 지구본을 손으로 연결해도 태양의 남중고도 변화가 분명하게 드러나지 않았다. D4도 이를 인지하여 D1과 D2의 설명에 동의하지 않고 본인이 직접 다시 계절 변화를 설명하려 시도하였다. 제자리에서 지구본의 자전축만 회전하며 계절을 구분한 D1과 달리, D4는 지구본이 기울어진 채 공전하는 모델을 구성해 설명하였다. 그런데 지구본을 공전했을 때 자전축이 기울어진 방향이 바뀌어 사계절이 뒤죽박죽 섞이게 되는 문제가 나타났다. 다음 담화에서 이를 확인할 수 있다.



D1: (책상 위에 놓인 지구본을 보고) 애가 여름. 아아...



D4: 여기가 봄. (지구본을 D1에게서 가져와 시계방향으로 90°움긴 뒤) 여기가 봄.



D4: (지구본을 반시계 방향으로 90° 공전하고) 돌아가면서 이렇게 하면... 어? 겨울인데?



D1: (지구본의 자전축을 살짝 회전하며) 여름이 되게 놓고) 여름. 여름.

D2: 네.



D1: (지구본을 제자리에서 들어올린 다음 자전축을 회전한 뒤 대한민국에 전구가 남중하도록 지구본을 자전하며) 가을?

교사: 완성된 게 맞아?

담화에서는 D4가 지구본의 위치가 봄이 되도록 놓은 뒤 공전했지만, 이후 지구본이 여름으로 보이지 않자 당황해하였다. 이를 본 D1은 자전축을 회전시켜 자신이 알고 있는 여름의 모습으로 지구본을 놓았다. 이들은 자전축이 기울어진 방향을 일정하게 유지하며 지구본을 공전해야 함을 인식하지 못하고, 지구본 공전과 자전축 방향을 분리하여 생

각하였다. 결국, 최종 모델을 구성할 때까지도 이 문제를 해결하지 못한 채 마무리하였다. 이와 비슷하게 소집단 C도 지구본을 공전시킬 때 자전축의 방향이 일정하게 유지되지 않은 모델을 구성하였다.

지구본은 회전하거나 이동하는 것이 편리해서 지구본으로 지구의 자전과 공전을 쉽게 표현할 수 있다고 생각할 수 있다. 하지만 소집단 C, D의 모델링을 살펴봤을 때 지구본의 높이, 기울어진 자전축 등을 반영해 정교하게 모델을 구성하고자 해도 학생들은 3차원 공간 속에서 지구본을 의도한 대로 조작하는 것을 어려워하였고, 이는 학생들이 더 높은 수준의 모델링을 수행하거나, 계절 변화에 관한 과학 지식을 형성하는 것에 제약이 되기도 하였다.

## 2) 모델 자체에 대한 평가의 어려움: 태양 빛과 전구의 차이점을 인식하기 어려움

모델은 자연현상의 주요 특징을 표상한 것으로, 이를 활용할 때 실제 현상과의 차이점을 파악하고 이해하는 것이 중요하다. 하지만 전구를 활용해 모델을 구성할 때, 학생들은 태양을 표상한 모델인 전구와 실제 태양의 차이점을 인식하는 데에 어려움이 있었다. 태양 빛과 달리 평행하게 입사하지 않는 전구의 빛에 의해 그림자가 형성되는 것을 관

찰한 일부 소집단은 계절 변화가 ‘자전축이 기울어진 채 공전하는 지구의 운동’ 때문이 아니라 ‘태양과 지구 사이의 거리 변화’ 때문이라는 가설의 모델을 구성하기도 했다. Fig. 8과 Fig. 9는 소집단 B와 소집단 C가 그림자의 길이를 관찰하면서 계절 변화를 설명하는 장면이다.

소집단 B는 직선 방향으로 운동하는 전구가 지구본에 가까워질수록 그림자의 길이가 짧아지는 모델을 구성해 계절 변화를 설명하였다. 이들은 계절 변화가 ‘태양과 지구 사이의 거리 변화’에 근거한다는 가설을 세워 그림자의 길이와 낮의 길이를 측정해 수집한 증거를 바탕으로 계절 변화를 설명했다. 한편, 소집단 C는 자전축이 기울어진 지구본이 전구 주위를 공전하는 모델을 구성했는데, 지구본이 90° 공전할 때마다 자전축도 같은 방향으로 90° 회전하여 ‘기울어진 자전축’이 계절 변화에 영향을 미치지 않게 되었다. 하지만, 의도치 않게 소집단 C는 전구와 지구본 사이 거리를 일정하게 유지하지 않고 지구본을 공전시켰고 그 결과 그림자의 길이가 달라짐을 관찰하게 되었다. 학생 활동지와 면담을 분석했을 때 소집단 C는 그림자의 길이가 달라진 까닭이 전구와 지구본 사이의 거리 변화 때문임을 스스로 인식하지 못했다는 점에서 소집



Fig. 8. A model in which the length of the shadow varies depending on the distance between the light bulb and the globe (group B)



Fig. 9. A model in which the length of the shadow varies depending on the distance between the light bulb and the globe (group C)

단 B와 차이가 있다.

이처럼 ‘태양과 지구본 사이 거리 변화’를 가설로 한 모델을 구성해 계절 변화를 설명할 수 있었던 이유는 전구에서 나온 빛과 태양에서 나온 빛에는 차이가 있지만, 이러한 차이점을 인식하지 못해 전구가 갖는 한계를 보완하지 못했기 때문이다. 실제 태양은 지구보다 훨씬 크고(지구 지름의 약 109 배) 지구로부터 매우 멀리 떨어져 있어(지구로부터 약 1억 5,000만 km) 태양 빛은 지구에 거의 평행하게 도달한다고 가정할 수 있다. 따라서 공전궤도를 따라 지구가 공전할 때 태양과 지구 사이 거리가 달라져도 지구 위 특정 지점에서 관측되는 태양의 남중고도에는 영향을 거의 미치지 않는다. 하지만 본 연구에서 활용한 전구는 지구본보다 크기가 작고 전구와 지구본 사이의 거리도 대략 30 cm 내외로 가까워 전구와 지구본 사이의 거리가 달라지면 지구본 위에 생기는 그림자의 길이가 달라진다. 따라서 전구와 태양의 차이점을 인식하지 못하면 태양-지구 거리에 따라 태양의 남중고도가 달라진다는 비과학적인 개념 형성으로 이어질 수 있다. 이러한 한계를 극복하려면 전구의 높이와 지구본 위 특정 지점(예를 들어, 대한민국 위치)의 높이를 나란하게 맞춰 전구-지구본 사이 거리가 그림자의 길이에 미치는 영향을 줄이거나, 지구본-전구가 일정한 거리를 유지하며 원형 궤도로 공전하는 모델을 구성해 전구가 갖는 한계를 극복할 수 있다.

하지만, 소집단 B, C 모두 태양을 표상하는 매체로서 전구가 갖는 한계를 인식하지 못했고, 특히 3수준의 모델링을 수행한 소집단 B는 자신의 가설과 모델이 비과학적인 모델임을 알면서도 왜 비과학적 모델을 사용해도 계절 변화가 설명되는지 의심하지 않았다. 수업 후 면담에서도 소집단 B는 지구본 모델을 구성했을 때 계절 변화를 설명하는 것이 매우 ‘쉬웠다’ 말하였고, 전구가 갖는 한계를 평가하려는 태도가 보이지 않았다.

모델을 구성하는 재료, 매체, 도구 등의 한계를 평가하지 않고 모델을 구성해 증거를 수집하면, 소집단 B, C처럼 비록 증거를 바탕으로 현상을 설명해 높은 수준의 모델링을 수행하였다 해도, 비과학적 모델로 종결될 수 있다.

#### IV. 결론 및 논의

지구본과 전구를 사용한 모델은 초등학생이 직접 구체물을 조작할 수 있고 3차원 공간에서 지구의 운동을 쉽게 나타낼 수 있다. 학생들이 자전축의 기울기를 쉽게 기울일 수 있으며, 손으로 지구본을 돌리거나 지구본을 들고 이동하며 지구의 자전과 공전을 쉽게 나타낼 수 있다. 이와 같은 장점으로 초등 과학 수업에서 계절 변화를 설명할 때 많이 활용되고 있다.

이 연구에서는 초등학생들이 자유롭게 소집단을 구성하여 지구본과 전구를 활용해 계절 변화 원인에 관해 모델링하는 수업을 진행하였고, 초등학생들의 소집단별 3차원 모델링 수준을 분석하였다. 연구결과, 초등학생들이 계절 변화를 설명하기 위해 지구본 모델을 구성할 때의 모델링 수준은 크게 두 가지로 나타났다. 지구의 자전 및 자전축의 기울기, 지구의 공전을 고려하였으나 경험적 증거를 활용하지 못하는 수준(2수준)과 지구의 자전 및 자전축의 기울기, 공전을 고려하고 경험적 증거를 활용하는 수준(3수준)이다.

소집단 A는 자전축이 기울어진 채로 태양 주위를 공전하는 지구의 운동을 정확하게 고려하여 모델을 구성하였지만, 계절별로 태양의 남중고도가 달라지는 것을 증거를 활용하여 설명하지 못해 2수준으로 분석되었다. 소집단 B는 비과학적인 모델을 구성했음에도 지구 위 물체의 그림자 길이 변화를 측정하여 계절에 따른 태양의 남중고도 변화를 설명하는 방법 외에 다른 방법으로도 계절 변화를 설명했으며 모델을 사용해 계절 변화와 관련된 다른 현상도 함께 설명함으로써 모델의 설명력을 높였기 때문에 3수준으로 분석되었다. 소집단 C는 처음엔 지구의 운동을 전혀 고려하지 못한 채 모델을 구성했지만, 교사의 도움으로 지구의 운동을 반영하여 최종 지구본 모델을 구성했다. 하지만 기본적인 과학 개념의 부족으로 3수준으로 이어지진 못했다. 소집단 D는 여러 대안 모델의 가능성을 열어두고 모델 평가를 통해 과학적 모델에 가까운 모델을 구성하였고 지구 위 사람과 태양광선이 이루는 각을 어렵하여 태양의 남중고도를 짐작해 계절 변화를 설명했기 때문에 3수준으로 분석되었다.

그러나 경험적 증거를 활용함에도 학생들의 모델링 활동은 과학적 모델 구성으로 귀결되지는 못

하였다. 학생들이 과학적 모델을 구성하기 어려웠던 이유를 모델링 도구의 특성 면에서 분석한 결과 크게 두 가지 특징이 발견되었다. 이것은 지구본과 전구로 구성된 모델 자체의 특성과 관련된 것이다. 첫째, 지구본과 전구의 높이를 맞추고, 지구의 공전 궤도를 태양-지구 사이 거리가 일정한 원형으로 만들거나, 지구본을 공전할 때 자전축이 기울어진 방향을 일정하게 유지하는 등 학생들이 지구본으로는 지구의 운동을 정교하게 표현하기 어려웠다. 그 결과 지구본 모델이 지구의 운동을 일관적으로 표현하지 못해 계절 변화 원인에 대한 설명이 제자리에 맴돌거나, 모델에서 수집한 증거가 일관적이지 않아 설명하기 어려웠다(소집단 D). 둘째, 지구본 모델을 사용하여 계절 변화를 설명할 때 전구의 빛을 활용하게 되는데 전구는 빛이 사방으로 퍼져나가지만, 실제 태양광은 지구에 거의 평행하게 입사한다. 이러한 이유로 지구본 모델에서 빛은 지구본에 평행하게 입사하지 못한다는 한계가 있어 학생들이 그림자 길이나 남중고도를 경험적 증거로 활용하는 데 어려움을 겪었다. 지구본과 전구의 높이가 달라 지구본에 빛이 평행하게 입사하지 않을 때 지구본과 전구 사이의 거리가 지구 위 그림자의 길이에 영향을 미치는 사례가 있었고, 태양-지구 거리에 따라 태양의 남중고도가 달라진다고 설명한 소집단도 있었다(소집단 B).

물론 하나의 모델이 모든 현상을 설명할 수 있는 것은 아니다(윤혜경 등, 2020). 예를 들면, 실제 지구와 태양의 크기 비율은 이 모델에 반영하기 어려우며 꼭 반영할 필요가 있는 것은 아니다. 그러나 학생들은 같은 현상을 여러 모델로 설명하고 모델의 설명력을 비교해 보거나 모델 자체의 적절성을 평가하는 기회를 가지는 것이 필요하다. 지구본 모델 자체에 대한 평가 활동이 없는 경우 학생들은 전구와 태양 빛의 차이를 발견하거나 이해하기 어렵다. 그래서 학생들은 모델을 통해 그림자 길이나 남중고도를 어렵더라도 스스로 구성한 모델을 과학적 모델로 발전시키기 어렵다. 학생들이 지구본 모델에 대한 평가를 통해 모델의 한계를 인식한다면 좀 더 과학적인 설명이 가능할 것으로 생각된다. 지구본 모델을 활용할 때의 이러한 어려움은 성지영(2014)의 연구에서도 유사하게 지적된 바 있다.

지구본과 전구를 활용한 계절 변화 원인에 대한 초등학생의 모델링 수준을 분석한 이 연구를 통해

다음과 같은 시사점을 얻을 수 있다.

첫째, 초등학생들은 계절 변화 원인을 설명하기 위한 모델링 과정에서 지구의 운동을 고려하여 모델을 구성할 수 있었지만, 경험적 증거를 활용하여 계절 변화를 설명하는 것은 많은 학생이 어려워하였다. 따라서 과학 수업에서 초등학생들이 모델을 사용해서 수집한 데이터나, 모델에서 관찰된 데이터를 기반으로 현상을 설명해보는 시도가 더욱 필요함을 알 수 있다.

둘째, 초등학생들의 모델링을 돕기 위한 구체적인 교수 방법과 교사의 역할에 관한 연구가 필요하다. 특히, 학생들이 모델링 과정에서 경험적 증거를 활용함에도 불구하고 비과학적인 모델을 구성한 경우, 모델 평가를 통해 모델을 과학적으로 수정할 수 있도록 교사의 적절한 안내가 매우 중요하다. 특히 계절 변화를 설명하기 위해 그림자의 길이를 측정할 때 지구에 입사하는 빛이 평행하다는 것이 선행되어야 한다. 하지만, 전구의 빛은 평행하지 않고, 학생들이 스스로 변인을 통제해 빛을 평행하게 입사하도록 모델을 구성하길 기대하는 것은 어렵다. 이에 대한 교사의 지원과 도움이 필요하다.

셋째, 지구본 모델만 사용하는 경우 우주 기반 관점과 지구 기반 관점을 변환하여 천체의 운동을 해석하는 능력을 기르기 어렵다. 지구본 위에 사람 모양 자석을 붙인다 해도, 지구본 모델을 구성하고 사용하는 학생들은 모두 지구본 밖에 있어, 지구 기반 시점을 유연하게 떠올리기 어렵다. 연구에 참여한 모든 소집단에서 지구본 위에 사람 모양을 붙였지만, 지구 기반 시점에서 계절 변화를 설명하려는 시도가 없었다는 연구결과를 보면 지구본과 전구로는 지구 기반 시점을 고려하기 어렵다는 것을 의미한다. 따라서 전구와 지구본을 활용해 구성하는 모델의 한계를 극복하고, 우주 기반 시점과 지구 기반 시점을 유연하게 사고할 수 있는 수업을 구성하려면 지구본을 활용하는 모델링 이외에 다른 모델링 매체나 방법이 추가로 필요하다.

## 참고문헌

- 고경만(2000). 계절의 변화에 대한 초등학생들의 개념. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 교육부(2015). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호.

- 노자현, 손준호, 김종희(2020). 초등학생의 계절 변화 개념 검사를 위한 도구 개발. *대한지구과학교육학회지*, 13(1), 74-89.
- 맹승호, 이기영, 박영신, 이정아, 오현석(2014). 순위 선 다형 문항을 이용한 천문 시스템 학습 발달과정 개발 및 타당화 연구. *한국과학교육학회지*, 34(8), 703-718.
- 석윤수(2022). 계절 변화 원인에 관한 초등학생의 3차원 모델링 수준 분석. *춘천교육대학교 대학원 석사학위 논문*.
- 성지영(2014). 모델을 활용한 계절의 변화 수업에서 초등 학생들이 겪는 어려움. *경인교육대학교 대학원 석사학위논문*.
- 오필석(2007). 중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 27(7), 645-662.
- 오필석(2009). 과학과 과학 교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등 교사들의 인식. *초등과학교육*, 28(4), 450-466.
- 윤혜경, 장병기, 이선경, 박정우, 박형용(2020). 함께 생각해 보는 과학수업의 딜레마. *복스힐*.
- 이기영, 맹승호, 박영신, 이정아, 오현석(2014). 별과 우주 단원에 대한 중학교 과학교사의 주제: 특이적 PCK 사례 연구. *한국과학교육학회지*, 34(4), 393-406.
- 이정아, 이기영, 박영신, 맹승호, 오현석(2015). 초등학교 태양계와 별 수업에서 나타나는 공간적 사고 사례 연구. *한국과학교육학회지*, 35(2), 179-197.
- 이차은, 김희백(2016). 과학적 모형 구성 과정에서 나타난 사고 질문의 개념적 자원 활성화의 이해: 인식론적 프레임핑과 위치 짓기 프레임핑을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 36(3), 471-483.
- 정선라, 이용복(2013). 계절변화 개념 위계에 관한 연구. *한국지구과학회지*, 34(4), 366-367.
- 채동현(2011). 계절 변화의 원인에 대한 초등학교 6학년 학생들의 선개념 조사. *초등과학교육*, 30(2), 204-212.
- 최선영, 여상인(2010). 초등과학수업에서 교사가 느끼는 어려운 초등과학교과서 단원에 대한 조사. *과학교육논총*, 23, 89-102.
- Baek, H., & Schwarz, C. V. (2015). The influence of curriculum, instruction, technology, and social interactions on two fifth-grade students' epistemologies in modeling throughout a model-based curriculum unit. *Journal of Science Education and Technology*, 24(2), 216-233.
- Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H., & Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. In *Models and modeling* (pp. 195-218). Springer.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining Science: A Cognitive Approach*. University of Chicago Press.
- Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. F. (2006). *Understanding Scientific Reasoning*. Thomson Wadsworth.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In *Developing Models in Science Education*. Springer.
- 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. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.
- Hutchins, E. (1995). How a cockpit remembers its speeds. *Cognitive Science*, 19(3), 265-288.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- National Research Council, & Downs, R. M. (2006). *Learning to Think Spatially*. National Academies Press.
- National Research Council. (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, by States*. The National Academies Press.
- Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model-based inquiry and school science: Creating connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.
- Plummer, J. D. (2014). Spatial thinking as the dimension of progress in an astronomy learning progression. *Studies in Science Education*, 50(1), 1-45.
- Plummer, J. D., & Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an earth-based perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 768-787.
- Prins, G. T., Bulte, A. M., van Driel, J. H., & Pilot, A.



- (2008). Selection of authentic modelling practices as contexts for chemistry education. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1867-1890.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., ... & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal for Science Education*, 21(11), 1141-1153.

---

석윤수, 원주치악초등학교 교사(Suk, Yun Su; Teacher, Wonju Chiak Elementary School).

† 윤혜경, 춘천교육대학교 교수(Yoon, Hye-Gyoung; Professor, Chuncheon National University of Education).