Brain, Digital, & Learning

pISSN : 2384-2474
eISSN : 2586-7490

RESEARCH ARTICLE

Analysis of Elementary School Students' Characteristic about Model Determiantion Process

Hansol Kim[1] · Ilho Yang[2*]
[1]Sunchang Elementary School
[2]Korea National University of Education

초등학생의 모델 확정 과정에 대한 특징 분석

김한솔[1] · 양일호[2*]
[1]선창초등학교 · [2]한국교원대학교

*Corresponding Author: yih118@knue.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the characteristics of elementary school students' modeling process and obtain implications for modeling learning in elementary school students. The task is a mystery tube, one of the black box activities. The internal structure of the mystery tube composed by the participants viewed as a model and conducted a study on the modeling process for elementary school students. The 'model determination process' was defined as the process of determining whether the model generated by participant is appropriate to explain the phenomenon. 22 6th graders of elementary school were deliberately sampled, and the same task was carried out once to four times per participant. There are a total of five characteristics of the model determination process obtained through data analysis: 'Determine the model at a superficial level', 'Determine the model that generated the mechanism to account for the whole phenomenon', 'Determine the model that generated the mechanism to account for the whole phenomenon', 'After verifying the mechanism through model externalization, the model is determined', and 'After integrating models including different mechanisms, the model is determined'. The conclusion is, first, in order to learn practical modeling by elementary school students, the input of tasks that fit the level of individual learners and proper scaffolding are required. Second, it was determined that elementary school students can also use the model as a cognitive tool.

Key words: Elementary school student, model determination, modeling process

Check for updates

OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2022, Vol. 12, No. 3, 479-498.
https://doi.org/10.31216/BDL.20220029

Received: September 02, 2022
Revised: September 22, 2022
Accepted: September 22, 2022

© 2022. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

사회의 변화에 따라 과학교육의 전략적 비전과 방향 또한 변화하고 있다(OECD, 2020). 미국과 한국에서 발표한 차세대과학교육표준(NGSS)과 미래세대과학교육표준(KSES)은 앞으로의 과학교육 방향에 대한 시사점을 제공한다. NGSS에서는 과학교육에 중심에 있는 탐구를 실천(practice)라는 새로운 관점으로 접근한다. 실천(practice)은 과학 탐구에 사용되는 영역 특수적 기능과 그 기능을 수행하기 위한 지식이 합쳐진 개념이다(NRC, 2012, p. 30). 과학적 실천의 하위요소로 질문하기, 모델을 개발하고 사용하기, 탐구를 계획하고 수행하기, 자료를 분석하고 해석하기, 설명을 구성하기, 증거로부터의 논증 참여하기, 정보 수집 및 평가 그리고 의사소통하기가 있다(NGSS). 이는 기존 탐구과정기능과 같은 탐구 기능 전이에 초점을 둔 전통적인 접근과 다르다(Oh, 2020). KSES에서도 과학적 탐구력의 하위 요소를 문제 인식 능력, 모델링 능력, 실험설계 및 실험수행 능력, 자료해석 및 자료변환 능력, 공학적 설계와 디자인 능력, 설명생성 및 논증 능력으로 제시하였고, 관찰, 측정, 분류와 같은 탐구과정으로 제시하지 않았다(MOE et al., 2019). NGSS와 KSES의 과학교육 방향에서 볼 수 있듯이 전통적인 탐구 관점의 전환, 그리고 최근 과학교육 변화에 대한 이해는 필수적이다.

과학교육 변화를 견인하고 과학적 소양을 갖춘 인재 양성을 위해 주목받는 것은 모델링이다. 모델링은 NGSS의 과학적 실천 8가지 중 중심적 역할을 하고(Lehrer & Schauble, 2019), 탐구 실천(practice) 과정을 경험하기에 적합하다(Upmeier zu Belzen et al., 2019). 모델링과 관련된 선행 연구를 살펴보면, 모델에 대한 인식 연구(Grosslight et al., 1991)부터 모델과 모델링에 대한 인식론적 지식인 메타 모델링 지식에 대한 연구(Lim et al., 2020; Schwarz, 2002; Schwarz et al., 2009; Upmeier zu Belzen et al., 2019), 모델 기반 학습에 대한 연구(Buckley, 2000; Clement, 2000), 모델링 기반 교수에 대한 연구(Constantinou et al., 2019; Gilbert, 2016) 등 모델링을 과학교육에 적용하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그런데 선행 연구의 연구 대상은 중학생 이상이 대다수이다. 1980년부터 2013년까지 이루어진 모델링 연구들을 종합하여 분석한 연구에서 30편 중 25편이 중고등학생을 대상으로 진행하였고(Namdar & Shen, 2015), 모델링 역량 평가를 위한 종합 연구에서도 23편 중 18편이 중고등학생 및 교사, 과학자를 대상으로 한 연구였다.

초등학생을 대상으로 한 모델링 연구가 상대적으로 적은 이유는 초등학생들이 모델을 생성하기 쉽지 않기 때문이다(Yoon, 2011). 하지만 5,6학년 학생도 모델링 실천을 통해 설명 모델을 생성하고 정교화시킬 수 있다는 연구(Schwarz et al., 2009), 모델을 만드는 것은 저학년에서부터 시작되고, 학년이 올라갈수록 학생들의 모델은 구체적인 수준에서 추상적인 수준으로 발전시켜야 한다는 연구(NRC, 2012) 등을 통해 단계적 모델링 교육을 위해서는 초등학생 대상 연구가 필수적이라는 것을 알 수 있다.

현재까지 연구된 초등학생을 대상으로 한 모델링 연구는 과학 학습을 위한 모델링 설계 프로젝트의 일환으로 모델링 중심 교육 시퀀스를 개발하고 투입하여 모델링 실천 요소의 효과를 확인하는 연구(Beak et al., 2011)가 대표적이다. 특히 모델링 수업을 개발하고 초등학생에게 투입하여 그 효과성을 분석하는 연구(Lim et al., 2020; Yoo & Oh, 2016)가 주를 이루고 있다. 초등 수준에 맞게 모델링 수업이나 모델링 관련 프로그램을 개발하는 것은 쉽지 않다. 그래서 선행 연구 결과는 초등학생의 모델링 역량 신장과 과학 실천의 경험에 대한 시사점을 얻을 수 있기 때문에 중요하다. 하지만 성인의 모델링 과정을 분석하여 모델링 전략을 탐색하거나(Krell & Hergert, 2019), 모델링 과정은 순환적이고 비선형적으로 진행된다는 연구(Justi & Gilbert, 2016)처럼 초등학생이 수행하는 모델링 과정에 대한 연구도 주목할 필요가 있다.

일반적인 모델링 과정은 모델러가 모델링의 목적과 사전 지식 및 경험을 고려하면서 현상을 관찰하는 것부터 시작한다. 이후 관찰된 현상과 관련된 변수를 나타내는 초기 밑그림을 내적 모델(또는 정신 모델)로 표상한다. 다음으로 관찰된 현상을 알고 있는 적합한 모델 또는 비유적 모델로 확인하려고 시도한다. 만약 모델이 적합하지 않거나 불충분하다면, 기존 모델을 기반으로 새로운 모델 요소 및 연결을 생성한다. 모델링이 진행되면서, 모델러는 모델의 내적 일관성과 현상의 적합성을 검토한다. 이러한 일련의 모델링 과정을 통해 하나 또는 그 이상의 외현화된 모델을 완성한다(Nersessian, 2008; Upmeier zu Belzen et al., 2019). 하지만 과학자의 모델링 과정은 엄격한 절차적 설명이나 특정 규칙에 대한 정의가 없다(Morgan & Morrison, 1999). 모델링 과정이 다양한 이유는 과학자마다 모델링을 활용하는 목적이 다르기 때문이다(Chiu & Lin, 2019). 그러므로 과학자들의 모델링 목적과 과정을 분석하는 것은 과학교육에 실천(practice)을 효과적으로 연계시킬 수 있다는 점에서 시사점이 있다(Berland et al., 2016). 또한 분석 결과의 현장 적용을 위해서는 초등학생의 모델링 과정에 대한 이론적이고 경험적인 근거가 필요하다. 즉, 실제 초등학생의 모델링 과정에 대한 특징을 분석하는 연구가 수행되어야 한다.

초등학생의 모델링은 그보다 나이가 더 많은 학생의 모델링과 다른 과정을 거친다(Krell & Kruger, 2016). 초등학생은 일반적으로 알려진 모델링 실천 요소인 모델 생성, 평가, 수정과 같은 일련의 순서(Clement, 1989)를 따르지 않고, 모델 생성 단계에서 수정이 일어나거나 현상 탐색 단계에서 평가가 일어난다(Louca & Zacharia, 2019). 또한 모델링 할 때 모델을 글이나 그림과 같은 외적 표상으로 표현하기 전에 현상에 대한 내적 표상인 정신 모델을 만든다(Justi & Gilbert, 2002; 2016). 하지만 초등학생들은 모델을 외적 표상으로 표현하기 전까지 내적 표상인 정신 모델을 만들지 않는다(Louca & Zacharia, 2019).

이처럼 초등학생의 모델링 과정은 일반적 과정이라고 여겨지는 모델링 과정과 다르다. 또한 선행 연구처럼 초등학생에게 모델링 수업에 참여하게 한 후, 모델링 능력이나 모델링 관련 지식을 확인하는 것만으로는 초등학생의 모델링 과정에 대한 시사점 도출이 어려울 수 있다. 보다 효과적인 모델링 과정에 대한 시사점을 얻기 위하여 본 연구에서는 초등학생이 모델링 과제 수행 과정을 질적으로 접근하고자 한다.

모델링 과정은 모델 생성, 평가, 수정 등의 단계로 세분화할 수 있다(Beak et al., 2011; Clement, 1989; Justi & Gilbert, 2002; Ha et al., 2009). 하지만 이러한 단계들은 모델러가 외현화한 모델을 연구한 것으로 모델링 과정을 질적으로 접근하는 것을 목적으로 하는 본 연구에 적용하기 어렵다. 그 이유는 질적 방법을 통해 모델 생성, 검증, 수정 등의 단계 간의 경계를 명확하게 구별하기 쉽지 않기 때문이다(Namdar & Shen, 2015). 이에 연구자는 초등학생이 다양한 모델링 과정을 거치면서 생성한 모델을 어떻게 확정하는지에 대한 연구가 없다는 점을 확인하였고, '모델 확정 과정'이라는 새로운 관점을 도입하였다. '모델 확정 과정'은 연구 참여자가 생성한 모델이 현상을 설명하기에 적합한지 판단하는 과정으로 정의하였다. 본 연구에서는 초등학생의 모델링에 대한 시사점을 얻기 위하여 모델 확정 과정에 대한 초등학생의 특징을 연구하고자 한다.

본 연구에서 '모델'은 연구 참여자가 생성하는 미스테리 튜브의 내부 구조에 대한 표상으로 정의한다. '외현화된 모델'은 연구 참여자가 과제를 수행하면서 내적으로 표상한 모델을 글 또는 그림으로 표현한 것으로 정의한다.

Methods

Participants

연구 참여자는 초등학교 6학년 22명이다. 이들에게 미스테리 튜브 과제를 수행하도록 한 후, 면담을 실시하였다. 연구 참여자는 사고발성하며 과제를 수행해야 하므로 이에 사고발성에 적합한 참여자를 연구자가 의도적으로 표집하였다. 연구 참여자 선정 기준은 다음과 같다. 첫째, 자발적인 참여 의지가 있는 학생. 둘째, 끈기가 있는 학생. 셋째, 학업성취도가 중상 이상인 학생. 넷째, 말을 잘하거나 평소에 말이 많은 학생. 위 기준에 부합하는 연구 참여자를 선정하기 위해 담임교사에게 연구의 목적 및 선정 기준을 설명하고 기준에 부합하는 연구 참여자를 추천받았다. 이후 연구자는 담임교사가 추천한 연구 참여자를 선정 기준에 따라 검토 후 최종 선정하였다.

Task Development

과학자들은 행성 내부 구조나 태양의 핵 또는 원자의 구조와 같이 직접적으로 관찰할 수 없는 자연 현상의 내적 작용을 이해하기 위해서 모델을 활용한다(Miller, 2014; Schwarz et al., 2009). 또한 과학자들은 자연 현상을 설명하기 위하여 모델을 생성하고 그 모델을 다양한 방법으로 검증하는 과정을 통해 새로운 지식을 얻는다. 과학교육에서는 과학자들의 자연 현상의 내적 작용 탐구와 비슷한 과제로 블랙박스 과제가 있다. 블랙박스 과제는 내부가 보이지 않는 물체의 내적 작용 또는 구조를 탐구하는 과제이다. 블랙박스 과제는 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 적합한 과제라고 판단하고, 초등학생의 모델과 모델링에 대한 시사점을 얻기 위하여 선정하였다. 선행 연구에 따르면, 블랙박스 과제는 과학의 본성에 대한 학습, 관찰과 추론의 차이 등 다양한 목적을 달성하기 위하여 주로 활용되고 있다(Lederman et al., 2014; Upmeier zu Belzen, 2014). 블랙박스 과제의 예로 미스테리 튜브, 사이펀의 원리가 적용된 블랙박스 등 다양한 종류가 있다(Krell & Hergert, 2019; Miller, 2014). 또한 블랙박스 과제는 연구 참여자의 사전 과학 개념이 필수적이지 않은 과제이다. Windschitl & Braaten (2008)은 만약 어린 학생들이 학습하는 현상에 대한 최소한의 기초 이해가 없을 경우, 제기하는 질문이 모호하고, 가설은 무작위로 추측하며, 결과를 논의할 의미있는 맥락을 갖지 못한다고 하였다. 이는 어떤 현상을 탐구하기 위한 최소한의 지식이 필요하다는 것을 의미한다. 하지만 본 연구의 과제는 특별한 과학 지식 없이도 과학적 탐구를 수행할 수 있는 과제이다. 블랙박스 과제는 위와 같은 문제점을 보완할 수 있으며, 어린 학생들이 모델링에 좀 더 적극적이고 의미있게 참여하도록 한다.

미스테리 튜브가 초등학생이 수행하기에 적합한 과제인가에 대한 논의는 다음과 같다. 미스테리 튜브는 중학생 이상을 대상으로 한 연구에서 적합한 과제로 사용되었지만, 어린 학생에게도 효과가 있다는 연구도 있으므로 초등학생에게도 적용가능하다(Lederman et al., 2014). 또한 연구 투입 전 과제의 난이도 점검을 위해 초등과학교육전공 석사과정 2명 및 초등학교 6학년 1명을 대상으로 예비 연구를 실시하였다. 예비 연구에 투입된 과제(Fig. 1)의 내부는 위아래 각 줄이 한번 엮여 있는 가장 간단한 구조이다. 예비 연구 결과, 초등학교 6학년이 과제를 수행하기에 난이도가 적절하였고, 모델링을 적극적으로 활용하는 것을 확인하였다.

이후 미스테리 튜브에 대한 타당도를 검증하였다. 초등학생의 모델링 수행 가능성, 모델링 기회 극대화, 모델링 시 필요한 배경지식의 최소화를 기준으로 과학교육 전문가 3인과 초등과학교육전공 석사과정 5명의 검토를 통해 과제의 타당도를 검증하였다. 그 결과 최종 선정된 과제는 다음과 같다(Fig. 1).

Fig. 1. The exterior and interior of the mystery tube

연구 참여자는 미스테리 튜브 과제를 수행하면서 조작된 변인의 결과로 나타나는 현상을 관찰하고 이를 바탕으로 보이지 않는 내부 구조의 모델을 생성하고 검증한다. 이를 위해서는 체계적인 조작과 일어나는 현상을 세밀하게 관찰하고 증거를 바탕으로 생성된 모델을 평가할 수 있는 능력이 필요하다. 미스테리 튜브 과제의 경우 배경 지식이 모델링 과정에 미치는 영향이 적다는 장점이 있지만 복잡한 자연 세계와 달리 조작할 수 있는 변인이 제한적이고 인과적 추론을 바탕으로 모델링을 해야 한다는 제한점도 지니고 있다.

Data Collection

사고발성 방법은 문제를 해결하는 연구 참여자의 인지과정에 대한 이론을 구성하고 평가하는 도구이다. 그러므로 사고발성 방법은 본 연구의 목적 달성에 적합한 자료 수집 방법이다. 하지만 사고발성을 해보지 않은 연구 참여자들은 사고발성을 하기 위해서 연습이 필요하다. 보통 15분 정도 연습을 하면 자연스럽게 사고발성할 수 있다(Van Someren et al., 1994). 이를 근거로 연구 참여자에게 사고발성 연습을 10분~15분 정도 수행하도록 하였다. 사고발성 연습 과제에 대한 예비 연구에서 사이다에 담긴 건포도 사진을 관찰하고 설명하는 과제를 투입하였다. 그러나 초등학생들은 사진자료만 보고 다양한 생각을 하지 못할 뿐만 아니라, 자신의 생각을 말로 표현하는 것을 어려워하였다. 이를 보완하기 위해 여러 색의 원판으로 구성된 하노이의 탑(한 기둥에 꽂힌 원판들을 그 순서 그대로 다른 기둥으로 옮겨서 다시 쌓는 것이다. 이때 2가지 조건을 만족시키며 원판을 이동시켜야 한다. 첫 번째 조건은 한 번에 한 개의 원판만 옮길 수 있고, 두 번째 조건은 큰 원판이 작은 원판 위에 있으면 안 된다는 것이다) 과제를 선정하였다. 여러 색의 원판으로 구성된 하노이의 탑 과제를 선정한 이유는 본 연구의 과제와의 유사성을 고려했기 때문이다. 본 연구의 과제인 미스테리 튜브는 각 줄 끝에 여러 색의 고리(Fig. 1)를 연결하였고, 고리의 색들은 하노이의 원판의 색과 비슷한 색으로 구성되어 있다. 이는 미스테리 튜브의 사고발성 과정을 원활하게 하기 위해 의도적으로 구성한 것이다. 하노이의 탑 과제로 사고발성을 연습하는 과정에서 사용하는 단어 및 행동을 말로 표현하는 방식은 미스테리 튜브 과제 수행할 때 사고발성하는 과정과 비슷한 상황을 만든다. 즉, 연구 참여자가 새로운 과제에 적응하는 시간을 줄여 원활한 사고발성을 하도록 하였다. 또한 사진이 아닌 실물로 하노이의 탑을 제시하여 생각을 말로 표현하는 것에 대한 거부감을 줄일 수 있도록 하였다. 사고발성 연습에 투입된 과제(Fig. 2)는 다음과 같다.

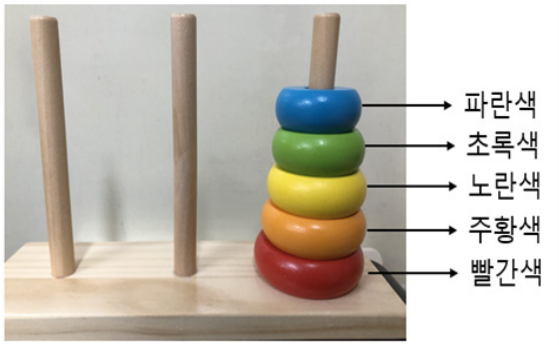

Fig. 2. Tower Task in Hanoi with Various Colored Plates

본 연구에서는 자료 수집에 대한 타당도와 신뢰도를 높이기 위하여 동영상 녹화, 면담, 과제 수행지 등을 이용하였다. 각각의 자료 수집 방법을 자세히 설명하면 다음과 같다. 연구 참여자의 사고발성 및 미스테리 튜브 조작 활동 전반의 행동이 중요한 자료이므로 연구 참여자의 과제 수행 활동을 동영상으로 촬영하였다.

연구 참여자가 과제 수행에 몰입하여 사고발성을 하지 않거나 소홀히 하는 경우 자료 수집이 잘 되지 않을 수 있다. 또한 초등학교 6학년 시기에는 논리적이고 체계적으로 문제를 해결하는 능력이 나타나기 시작한다. 그러므로 사고발성 과정에서 과제 해결과 관련된 논리적 사고를 모두 정확하게 표현하였다고 볼 수 없다. 이를 보완하기 위해 과제 수행 과정에서 사고발성이 잘 되지 않은 부분이나 추가 설명이 필요한 부분은 회고적 면담을 통해 보충하였다. 회고적 면담의 경우 자료의 질을 높이고자 연구 참여자 본인의 과제 수행 동영상을 보면서 면담을 진행하였다. 회고적 면담 과정 또한 동영상으로 촬영하였다.

연구자는 연구 참여자에게 과제 수행지를 제공하였다. 과제 수행지는 연구 참여자가 과제를 수행하면서 기록하거나 그림을 그리는 등 자유롭게 활용할 수 있는 활동지이다. 과제 수행지는 회고적 면담 보조 자료 및 수집된 자료 분석에 활용하였다. 이때 과제 수행지 내용은 통합되었고, 자료 분석 시 참고하였다.

연구 참여자별 과제 수행 횟수는 회기로 구분하였다. 여기서 한 회기는 과제수행과 회고적 면담 종료 시점까지이다. 각 회기 종료 후 연구 참여자에게 추가 과제 수행에 대한 의사를 물었다. 추가 과제 수행을 희망한 경우, 다음 회기를 시작하였고 이후의 과정은 첫 회기와 동일하다. 이 과정은 연구 참여자가 과제 수행 의향이 없을 때까지 반복되었다. 자료 수집 결과, 연구 참여자별로 각각 1~4회기 진행되었고, 모든 회기에서 연구 참여자가 수행한 미스테리 튜브 과제는 동일하다. 각 연구 참여자의 과제 수행 회기는 Table 1과 같다.

S1-1의 경우 S1은 연구 참여자를 구분하기 위하여 부여한 코드이고, 코드 뒤의 숫자는 연구 참여자가 수행한 과제의 수행 회기를 의미한다. 즉, S1-1은 연구 참여자 S1이 수행한 첫 번째 회기를 의미한다.

Table 1. Each study participant's task performance session

Gender	Study Participant Code -Task performance session	Gender	Study Participant Code -Task performance session
Male	S1-1 S1-2	Female	G3-1 G3-2
Female	S2-1	Female	G4-1
Female	S3-1 S3-2	Female	G5-1
Female	S4-1 S4-2 S4-3 S4-4	Female	G6-1 G6-2
Female	S5-1 S5-2	Male	G7-1 G7-2
Female	S6-1 S6-2 S6-3	Female	G8-1
Male	S7-1 S7-2	Female	G9-1
Female	S8-1	Male	G10-1
Female	S9-1 S9-2 S9-3	Male	G11-1 G11-2 G11-3
Female	G1-1 G1-2	Female	G12-1
Male	G2-1 G2-2	Male	G13-1

Data Analysis

본격적인 자료 분석 전에 연구 참여자의 과제 수행 동영상, 회고적 면담 동영상, 연구 참여자의 과제 수행지를 통합하였다. 특히 과제 수행 중 수집된 사고발성 및 행동 전사 자료와 과제 수행지의 글과 그림 자료를 통합하여 정리하였다. 이후 회고적 면담 전사 자료를 추가하였다. 수집된 자료의 통합틀 예시(Fig. 3)는 다음과 같다.

타임라인	행동	CVP	RVP
037	(그림 그리기-통, 고리 그림)		줄을 먼저 그려야 할지 고리를 먼저 그려야 할지 고민하고 있었어요.
038	(내부 X자 그림)	4개가 다 연결 돼 있으려면?	(4개가 연결은 되어 있다는 것은 확실하지만 어떻게 연결 되어 있는지 모르는 상태)
039		이러면 안 움직일텐데...	뭔가 이렇게 돼 있으면, 이걸 당겼을 때 짱짱해진다? 라고 생각했거든요. 처음에는. *짱짱해진다는 뜻? 한쪽에서 당기면 이게 들어올 것 아니에요. 얘도 들어오고, 얘도 들어오면 약간 뭔가 짱짱해져서 얘가 안 들어오려나 생각을 했는데. 그냥 계속 이게.. 그리고 있는게 맞는 것 같아서. 잠깐 다른 생각을 했다가 아닌 것 같아서 그냥 다시 그렸어요.
040		이걸 당기면?... 이게 당겨지고 여기도 당기지고 여기도 당겨지겠다. 이걸 당기면 여기도 당겨지고 여기도 당겨지고. 된 것 같아요.	

Fig. 3. Example of an integrated frame of collected data

과제 수행 행동 자료는 동영상 촬영으로 수집되었으며, 연구 참여자의 행동 및 행동 후 조작된 과제의 상태를 표기하여 행동의 전후 상황을 이해할 수 있도록 구성하였다. ‘CVP(Concurrent Verbal Protocol, 동시적 사고 구술 프로토콜)’는 연구 참여자의 과제 수행 과정에서 수집된 동시적 사고발성 내용이다. 모든 언어적 표현을 전사하였으며, 부정확한 언어 표현일 경우 행동에서 힌트를 얻어 보완하였다. ‘RVP (Retrospective Verbal Protocol, 회고적 사고 구술 프로토콜)’는 과제 수행 이후 회고적 면담 수행 과정에서 수집된 회고적 면담 내용이다. 이 또한 모든 언어적 표현을 전사하였으며, 사고의 선후 관계를 명확히 밝히고 사고의 순서에 맞게 내용을 수정하였다.

자료 분석은 질적 분석 절차에 따라 이루어졌다. 통합틀을 반복적으로 읽으면서 연구 참여자의 모델 확정 과정에 대한 정확한 해석이 이루어지도록 하였다. 해석의 정확성을 높이기 위하여 연구 참여자의 특징적인 사건 앞뒤의 행동과 CVP를 면밀히 분석하였다. 특히 연구 참여자가 특징적인 사건 전후에 표상한 모델(연구 참여자가 표상한 모델을 글 또는 그림으로 표현한 경우만 분석함)이 무엇인지 고려하였다. 이후 연구 참여자가 어떤 사고를 하며 모델링 하는지 분석한 후, 코딩하였다. 또한 연구 참여자별 개인적인 특징에 집중하기보다는 전체 연구 참여자가 공통적으로 보이는 특징에 집중하여 분석하였다. 이때 모델링 관련 이론이나 선행 연구의 관점을 배제한 상태에서 객관적으로 분석하였다. 예를 들어, “초록색을 당기면 이것(노란색 줄과 파란색 줄)까지 당겨지니까 초록색은 3줄과 연결돼 있고”라는 CVP와 “빨간색이랑 연결돼있다고 생각했어요”라는 RVP 및 “초록색 줄 당김”는 행동을 고려하여 “윗부분과 대각선이 연결된 모델”을 생성했다고 코딩하였다. 이후 각 코딩 결과는 동영상 자료를 다시 참고하여 정교화하였고, 유사한 유형들로 묶어 가며 분류하였다. 반복적인 검토 및 수정 과정을 통해 최종 코딩을 확정하였다. 최종 코딩은 모델 확정 과정에 영향을 미치는 정도를 기준으로 다시 분류하였다. 이 과정에서 모델 확정 과정에 크게 영향을 미치는 코딩을 추출하였고, 이 코딩 결과를 모델 확정 과정에서 드러나는 특징으로 분류하였다. 예를 들어, “윗부분과 대각선이 연결된 모델”, “모든 줄이 연결된 모델” 등의 코딩들은 “움직이면 연결되어 있다”는 메커니즘을 기반으로 생성된 모델을 코딩한 것이다. 이를 통합하여 “피상적인 수준의 모델을 확정한다”와 같은 특징을 추출하였다.

마지막으로 자료 분석 과정에서 연구의 타당도와 신뢰도를 확보하고자, 과학교육전문가 3인으로부터 자료 분석 과정인 코딩과 분석 결과를 검토받았다.

Results & Discussions

모델링 과정에서 현상의 메커니즘을 탐색하는 것은 과학적 시도의 핵심이다(Ke & Schwarz, 2019). 미스테리 튜브 과제는 보이지 않는 내부의 메커니즘을 탐구하는 것이 목적이다(Krell & Hergert, 2019). 연구 결과에서 논의되는 메커니즘은 미스테리 튜브 줄의 움직임을 설명할 수 있는 작동원리를 의미한다. 모델러들은 탐구를 통해 만든 메커니즘을 바탕으로 모델을 생성하고 검증하여 확정에 이른다.

Determine The Model at A Superficial Level

피상적인 수준의 모델은 소박한(naive) 메커니즘을 포함한 모델을 의미한다. 연구 참여자는 현상을 탐색하여 얻은 정보를 평소 줄에 대한 경험이나 직관적인 판단으로 소박한 메커니즘을 만들고 모델을 구성(Louca & Zacharia, 2019)한 후 확정한다. 여기서 소박한 메커니즘은 "움직이면 연결되어 있다"와 피상적인 수준의 작동원리이다. 미스테리 튜브 외부에 나와 있는 파란색 고리가 달린 줄을 당겼을 때, 노란색 고리가 달린 줄이 들어가는 것을 관찰한다. 이때 파란색 고리가 달린 줄과 노란색 고리가 달린 줄이 연결되어 있다는 모델을 구성하게 되고, 다음 현상 탐색을 통해 얻은 정보 또한 줄의 움직임 여부로 움직인 줄의 연결을 인식한다. 줄의 움직임 여부를 기준으로 얻은 추가적 정보들은 기존 모델에 더해지거나 교체된다. 연구 참여자는 현상 탐색을 통해 획득가능한 정보를 모두 얻었다고 판단하면 생성한 모델을 확정한다.

다음은 소박한 메커니즘을 포함한 '피상적인 수준의 모델을 확정한다'는 특징을 나타내는 S7-1의 사례이다.

행동 및 CVP: (초록색 고리가 달린 줄 당김)초록색이... 파란색.
행동 및 CVP: (그림 그리기-초록색과 파란색 연결)[RVP: (연결되어 있다는 것을 표현한) 그림이었어요.]
(중략)
행동 및 CVP: (노란색 고리가 달린 줄 당김)노란색을 당겨보면? 빨간색이 따라오네. 그러면은 빨간색은?
행동 및 CVP: (그림 그리기)노란색? 노란색이랑 연결.[RVP: 빨간색을 당기면 노란색이 따라 오니까. 2가지 경우를 다 그려본 거에요.]

S7-1은 줄을 당기고 움직인 줄이 무엇인지 정리하면서 모델을 생성하였다. 이는 움직인 줄끼리 연결되어 있다는 생각을 중심으로 모델을 생성해간다는 것을 알 수 있다.

다음은 G12-1의 사례이다.

행동 및 CVP: (빨간색 고리가 달린 줄 당기고 다시 줄을 넣어봄)[RVP: 빨간색 당겨보니까. 초록색이랑 파란색이 다 당겨왔어요. 뭐지 싶었어요. 이거 넣으면 저기(파)가 나올 것 같아서요. 넣어보니까. 나왔어요.. 둘이 연결되어 있다는 소리죠.]
행동 및 CVP: 빨간줄, 파란줄, 노란줄
행동 및 CVP: (노란색 고리가 달린 줄 약간 당기고 파란색 고리가 달린 줄 약간 당김)
행동 및 CVP: (빨간색 고리가 달린 줄 약간 당김)일단은 빨간줄은 파란줄이랑 연결되어 있는 건 맞고[RVP: 둘이 당기면 서로 나오니까.]

G12-1 또한 줄의 움직임 여부로 모델을 생성하고 있다는 것을 확인하였다.

본 연구의 과제인 미스테리 튜브는 특별한 과학적 지식 또는 개념없이 과학적 과정을 경험할 수 있다(Briggs, 2019). 결국 모델을 생성하기 위해 고려해야 하는 것은 줄에 대한 경험 또는 직관적인 판단이다. 학생들이 초기 모델을 구성할 때 비유를 사용하고 점차 초기 모델을 발전시킴으로써 더 새로운 모델을 구성한다(Ayse, 2007). 또한 어린 학생들은 관찰, 사전 지식, 아이디어 및 경험을 기반으로 피상적인 수준에서 모델링을 한다(Louca & Zacharia, 2019). 하지만 본 연구에서 투입된 과제는 과학지식이나 개념을 요구하지 않기 때문에 모델 생성에 활용가능한 비유를 탐색하고 적용하는 데 한계가 있다. 그러므로 소박한 메커니즘을 만들 때 주로 관찰을 통해 얻은 정보와 줄에 대한 경험을 활용한다고 볼 수 있다.

다음은 G6-2의 사례이다.

행동 및 CVP: (초록색 고리가 달린 줄 당김) 다시 초록색을 당기면?(노란색 고리가 달린 줄 당김) 노란색을 당기면? 아까 그 모양이에요. 확실한 것 같아요.[RVP: 이거는 이제. 어떻게 해도. 다 빼고 넣고 해도 다시 나오니까. 거의 100% 정도..]

G6-2는 초록색 고리가 달린 줄과 노란색 고리가 달린 줄을 차례로 당기면서 당겼을 때 어떤 줄이 움직이는지 확인하였다. 움직인 줄들이 구성한 모델에 구현되어 있으면 모델이 맞다고 판단하는 것이다.

다음은 G12-1의 사례이다.

행동 및 CVP: (빨간색 고리가 달린 줄을 약간 당김) 일단은 빨간색 줄은 파란색 줄이랑 연결되어 있는 건 맞고.[RVP: 둘이 당기면 서로 나오니까.]

(중략)

행동 및 CVP: (빨간색 고리가 달린 줄을 약간 당김) 다 알았어요.[RVP: 좀 줄이... 이렇게 연결되어 있는게 맞나(의심했어요)... 뭔가 뻔해서요.…이렇게 연결되어 있으면 쉽게 연결되어 있는게 아닌가 싶어서요.]

G12-1은 빨간색 고리가 달린 줄을 당겼을 때 파란색 고리가 달린 줄이 움직이자 두 줄이 서로 연결되어 있다고 판단하였다. G12-1의 RVP에서 생성한 모델이 피상적일 수도 있다고 의심했지만 무시하고 모델을 확정하였다. 결국 이 사례도 움직인 줄들이 모델에 구현되어 있으면 모델이 맞다고 판단한 것으로 볼 수 있다.

중고등학생 및 성인의 경우 어느 정도 모델이 만족스럽다고 느낄 때, 모델 평가로 나아간다(Hestenes, 1997). 여기서 만족스럽다는 것은 생성한 모델이 대상, 과정, 변수 등을 어느 정도 갖추었고 현상을 모두 설명할 수 있다고 느낀다는 의미이다. 초등학생의 경우 이러한 모델 구성요소나 모델의 완성도를 고려하지 못하고, 모델이 구성되면 스스로 평가 단계로 가지 못한다(Louca et al., 2011). 하지만 본 연구에서는 연구 참여자가 모델을 즉각적으로 평가할 수 있는 과제를 수행하기 때문에 평가의 수준은 낮지만 스스로 모델 평가 단계에 진입할 수 있다. 모델 평가 과정은 2가지 주요 형태를 보이는데(Louca & Zacharia, 2019), 첫째는 모델을 사용하여 수집한 자료나 모델 생성에 활용했던 경험을 회상하여 모델을 평가한다. 둘째, 모델의 논리적 측면을 평가한다. 본 연구에서는 연구 참여자들이 모델 평가 과정은 첫째 형태로 이루어진다. 모델 생성에 활용했던 줄의 움직임 여부와 모델 생성 간의 관계를 모델 평가에도 그대로 활용한다. 결론적으로 모델 생성과 모델 평가 방법이 동일하고, 모델 평가 과정 및 수준이 낮기 때문에 소박한 메커니즘을 포함한 피상적인 모델이 확정된다.

After Verifying The Mechanism with Distorted Information, The Model is Determined

모델링을 하기 위해서는 현상 탐색을 통해 얻은 정보가 필요하다. 하지만 현상 탐색을 통해 얻은 정보가 왜곡되는 경우 모델링을 적절하게 수행할 수 없다. 연구 참여자는 초기 몇 회의 조작을 통해 얻은 정보로 불완전한 모델을 생성한다. 생성된 불완전한 모델을 토대로 다음 현상 탐색 결과를 예측한다(Giere, 2006). 이때 실제 현상 탐색 결과가 불완전한 모델을 토대로 한 예상과 정확히 일치하지 않지만, 일치한다고 정보를 왜곡한다. 왜곡된 정보로 인해 불완전한 모델이 현상 설명에 적합한 모델이라고 확정하게 된다. 이는 연구 참여자가 객관적으로 현상 탐색하지 못하는 경우 발생하는 특징이라고 할 수 있다.

다음은 G1-1의 사례이다.

행동 및 CVP: 초록색을 당겨볼게요.
행동 및 CVP: (그림 그리기-초록색과 파란색 연결)[RVP: 얘(초)가 잘 안 당겨져가지고. 이 노랑 친구랑 빨간 친구랑 파랑 친구랑 다 당겨질까? 아니면. 파랑 친구랑 노랑 친구랑 당겨질까? 이런 여러 생각으로 가득 차 있었어요. 당겨보니까. 다 약간씩 당겨지는 것 같아서. 다 묶여 있구나. 라는 생각이 들었어요.]
행동 및 CVP: (빨 당김)빨간색[RVP: 초록색이랑 파란색이랑 갑자기 같이 오니까. 내 생각이 맞았구나 라는 생각이 들었어요.]

G1-1은 초기 현상 탐색 결과를 통해 다 묶여 있다는 모델을 생성하였다. 생성한 모델로 다음 현상 탐색 결과를 예상하고, 예상과 탐색 결과가 일치한다고 하였다. 하지만 프로토콜에서 보듯 빨간색을 당겼을 때 초록색 고리가 달린 줄과 파란색 고리가 달린 줄만 움직이고, 노란색 고리가 달린 줄은 움직이지 않았다. G1-1은 현상 탐색 결과를 왜곡하여 초기 생성한 메커니즘이 맞다는 증거로 활용하였다. G1-1은 모델링 과제를 완벽하게 해결하였다고 생각하였지만, 사실 현상 탐색 결과를 명확히 확인하지 않고 정보를 왜곡하여 수용한 것으로, 불완전한 현상 탐색의 결과라고 할 수 있다.

다음은 G3-1의 사례이다.

행동 및 CVP: 빨간색.
행동 및 CVP: (글쓰기)빨강색은 초록색이랑 움직이고[RVP: 이게요. 어떤 거는 하나만 되고 어떤 거는 2개 되고, 어떤 거는 3개 되니까. 일단 써가지고. 어 이렇게 다시 또 해보면은.. 또 이렇게 공통점이 나올 것 같아 가지고..]
(중략)
행동 및 CVP: (노 약간 당김)노랑을 해도?
행동 및 CVP: 이거 3개 다 움직이고[RVP: 이전에는 막.. 이 색은 2개만 움직이고.. 이어져 있고. 한 개는 한 개만 이어져 있고. 이렇게 생각했는데. 이게 다 해보니까. 다 3개씩 되어 있으니까. 다 연결되어 있다고 생각했어요..]

G3-1은 현상 탐색을 하며 얻은 정보를 정리한 후, 모델을 생성하였다. 이 모델은 모든 줄이 연결되어 있는 모델로 2줄이 통 내부에서 묶여 있는 그림으로 표현하였다. 하지만 줄을 당겼을 때 2줄만 움직이는 경우와 3줄만 움직이는 경우가 모두 있다고 기록된 것을 RVP를 통해 확인할 수 있다. 이는 G3-1이 정리해 둔 내용을 무시하여 1줄을 당겼을 때 모든 줄이 움직인다고 왜곡해서 해석한 경우로, 이 또한 불완전한 현상 탐색으로 인해 왜곡된 정보를 메커니즘 검증에 활용한 것이다. 이러한 경우 모델링이 진행될수록 모델의 수준이 정교화되지 않을 수 있다는 점을 시사한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 글과 그림으로 자신의 모델을 표현해볼 수 있도록 하여 좀 더 수준 높은 현상 탐색으로 나아갈 수 있도록 교사가 안내해야 한다.

Determine The Model that Generated The Mechanism to Account for The Whole Phenomenon

연구 참여자는 현상을 탐색하여 모델을 구성하고 평가하는 순환적인 과정을 거친다(Clement, 1989; Justi & Gilbert, 2002; Louca & Zacharia, 2015). 순환적인 과정이 반복되면서 피상적인 모델에서 정교화된 모델을 생성하게 된다. 모델이 정교화되면서 수준 높은 메커니즘이 포함된다. 하지만 이때 메커니즘은 불완전한 메커니즘으로 현상 전체를 설명할 수 있으나 올바르게 설명하지 못한다. 이후 불완전한 메커니즘을 중심으로 모델링을 진행하면서 모델 확정 과정에 도달하는 사례를 확인하였다.

다음은 S4-2의 사례와 S4-2가 그림으로 표현한 모델(Fig. 4)이다.

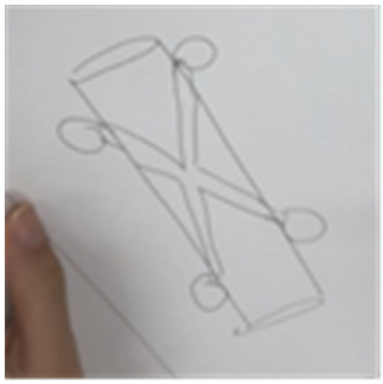

Fig. 4. S4-2의 외현화한 모델(Expressed model)

행동 및 CVP: (모든 줄이 나와 있는 상태로 배치)
(초록색 고리가 달린 줄 당김) 일단 이거 당기니까 3개 다 움직이고.
(중략)
행동 및 CVP: (모든 줄이 나와 있는 상태로 배치)
(초록색 고리가 달린 줄 당김)
(빨간색 고리가 달린 줄 당김) 됐다. 됐어요.
아까랑 똑같은 것 같아요.[RVP: 처음에 했을 때에도 당겼을 때 이렇게 움직이고. 처음에 당겼을 때도 3개 다 움직이고. 하나만 하면 3개 다 움직이고. 다 같이 움직이고.. 붙었을 때 빼고는 3개 다 움직이니까. 다 이어져 있는 것 같은데. 이렇게 꼬불꼬불 이어져 있는 건 아닌 것 같고. 이렇게 한줄(一자)로도 된건 아닌 것 같아가지고. 약간 X자가 제일 당겼을 때 당겼을 때 같이 움직이고 하는거에 적합할 것 같아가지고. 그냥 처음이랑 똑같이 생각했던 것 같아요.]

S4-2는 '다 이어져 있다'는 현상 전체를 설명할 수 있는 메커니즘을 발견한 후 지속적으로 평가하였다. 연구 참여자가 검증하는 메커니즘은 현상 전체를 설명할 수 있는 메커니즘이기는 하지만, 현상을 올바르게 설명할 수 있는 메커니즘은 아니다(불완전한 메커니즘). 왜냐하면 메커니즘으로 설명할 수 없는 조작 결과가 다수 존재하고 있기 때문이다. 현상 전체를 설명할 수 있는 메커니즘을 생성하기 전에는 현상 일부만 설명할

수 있는 메커니즘만 생성해왔으므로 현상을 올바르게 설명할 수 있는 메커니즘 존재 여부와 관계없이 현상 전체 설명에만 초점을 맞추게 된다. 여러 차례 평가하면서 불완전한 메커니즘이 확실하다고 판단하자 그림으로 모델을 표현하였다. 이때 RVP에서 드러난 것처럼 X자 모양인 모델이 불완전한 메커니즘을 구현하기에 가장 적합한 모델로 판단하고 그 모델로 확정하였다.

다음은 S5-1의 사례와 S5-1이 그림으로 표현한 모델(Fig. 5)이다.

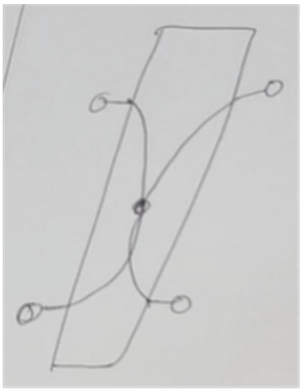

Fig. 5. S5-1의 외현화한 모델

S5-1은 '서로서로 연결되어 있다'는 불완전한 메커니즘(현상 전체를 설명할 수 있지만 올바르지 않은 메커니즘)을 지속적으로 평가하였다. S5-1의 사례와 마찬가지로 여러 차례 메커니즘을 평가하여 확실하다고 판단하자 그림으로 모델을 표현하였다. Fig. 4에서 외현화한 모델은 S5-1이 이전에 생성했던 모델 중 하나이다. S5-1이 생성했던 모델로는 가운데 매듭지어져 있는 모델, 4줄이 내부에서 엉켜있는 모델, 긴 줄이 여러 번 묶여 있는 모델이 있었다. S5-1은 불완전한 메커니즘을 구현하기에 가장 적합한 모델인 가운데 매듭지어져 있는 모델을 선택하고 모델 확정하였다.

연구 참여자들은 불완전한 메커니즘(현상 전체를 설명할 수 있지만 올바르지 않은 메커니즘)을 생성하기 전에 규칙이나 공통점에 대하여 언급하며 모델링을 진행하였다. 여기서 규칙이나 공통점과 같은 표현은 모델의 알고리즘을 탐색하는 과정과 비슷하다고 할 수 있다. 선행 연구에서는 모델링 기반 학습이 적용된 수업에서 모델링 프레임 유형을 3가지로 분석하였다. 초등학생의 모델링 프레임 유형은 초기 현상학적 설명 프레임, 현상에 대한 학생 나름의 "스토리" 구성 프레임, 알고리즘 구성 프레임이다(Louca et al., 2011). 본 연구에서 연구 참여자들이 현상 전체를 설명할 수 있는 메커니즘을 평가하고 모델로 구현하는 것은 현상학적 설명에서 알고리즘 구성 프레임으로 진행되는 것이라고 할 수 있다.

여기서 한 가지 주목할만한 점은 초등학생이 생성한 모델 평가 방법이다. 초등학생의 생성된 모델 평가 방법은 외현화한 모델이 현상을 잘 설명하는지 평가하는 것이 아니다. 모델을 표현하기 전에 가지고 있던 메커니즘만 평가하고, 그 메커니즘을 가장 잘 표현할 수 있는 모델을 특별한 평가 없이 표현하고 확정한다. 이는 Chittleborough & Treajust (2009)가 제시한 모델의 속성 중 표상의 정확성(How Accurate is the model?)과 모델의 지속성(The Permanency of the model)으로 설명할 수 있다. 표상의 정확성은 모델이 부분적인지 또는 전반적 모습을 보여주는지에 대한 속성이고, 모델의 지속성은 사실로 수용될 수 있는 표상인지 아니면 단지 아이디

어인지에 대한 속성이다. 연구 참여자들이 생성한 아이디어는 현상 전체를 설명할 수 있기 때문에 표상의 정확성은 확보할 수 있지만, 사실로 수용되는 표상, 즉 구체적인 모델을 만들어 낼 수 없어서 불완전한 메커니즘을 포함하여 모델을 확정하게 된다. 연구 참여자들은 표상의 정확성과 모델의 지속성 사이에서 갈등하게 되고 결국 표상의 정확성을 더 우선하여 불완전한 메커니즘(현상 전체를 설명할 수 있지만 올바르지 않은 메커니즘)만 평가하는 특징을 보이는 것이다.

After Verifying The Mechanism Through Model Externalization, The Model is Determined

표상한 모델이 명확하지 않거나 복잡하여 사고실험이 어려울 경우, 문제해결을 위한 전략으로 외현화된 모델을 만든다. 이때 외현화된 모델의 메커니즘을 파악하고 현상을 잘 설명할 수 있다고 판단하면 모델 확정한다.

다음은 G7-2의 사례와 G7-2가 그림으로 외현화한 모델(Fig. 6)이다.

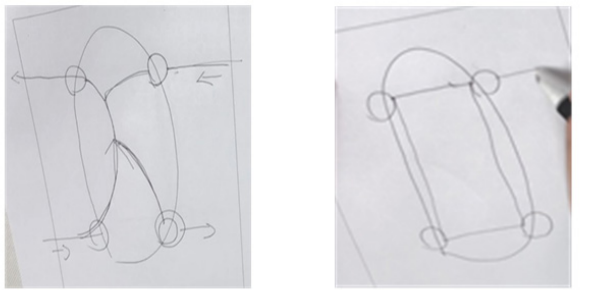

Fig. 6. G7-2's External Model

행동 및 CVP: 직선으로 연결되면?.. 이렇게(파빨-대각선) 이렇게(파초) 이렇게(파초) 이렇게(파노) 연결되는데.. 한번 그럼 곡선으로 해볼까? 곡선으로 이렇게 연결되어 있고, 이렇게 연결되어 있고, 이렇게 연결되어 있으면. 한쪽 줄이 빨려 들어올 때. 어.. 이렇게 빨간색(색깔은 중요하지 않다는 의미, 위치만 고려한 말임)이라고 예를 들면. 이쪽(과제에서 노의 위치)이 이렇게 빨려들어올 때. 파란색 줄인 이게 이걸 타고 가서. 이쪽으로 나올거고. 그러면 빨간색이(과제에서 노의 위치).. 빨간색(과제에서 노의 위치)를 당길 때... 그러면.. 빨간색(과제에서 노의 위치)을 당기면? 또 어느 줄을 당기든 이쪽으로 다 따라와서. 여기로 올거고. 그다음에 노란색(과제에서 빨의 위치)을 당기면(당겨오게 되면)? 이쪽(파)를 당겼던 (상태의) 줄이면 이게 노란색 줄까지 다 같이 이쪽(파)으로 올거란.. 말이야. 그러면.. 이쪽(파) 줄을 다시 이쪽(노)으로. 노란색(과제에서 빨의 위치)을 다시 당겼을 때. 이렇게 올라가서. 이쪽(빨)으로 당겼으니까. 다시 이쪽(빨)으로 가지 않을까?

행동 및 CVP: 그러면.. 일단 이거는... 곡선으로 그려봤으니까. 이번에는..

(중략)

행동 및 CVP: 직선으로 연결하는데 한줄로 연결되게. 그러면.. 이쪽(파노). 그다음에 이렇게. 이렇게. 이렇게(사각형 그림) 연결되어 있다고 치면. 이쪽(노)으로 줄을 당겼을 때 이쪽(파) 줄이 빨려오고. 요게(빨) 나와 있다고 치면 이쪽(노)을 당겼을 때는 이렇게 와서 (빨이) 당겨지고. 그 다음에 이쪽(초가 나와 있는 상태에서 노를)으로 당겼을 때는? 이렇게(□) 오던 이렇게(□) 오던 당겨질 수가 있을 것 같고. 그러면 한줄로 연결되어 있다는.. 이렇게 연결되어 있는 것 같다.

G7-2는 외현화된 모델을 그림으로 그리고 그 모델을 보며 줄의 움직임, 즉 모델의 메커니즘을 평가하였다. 곡선으로 그린 모델에 대한 평가가 끝난 후, 모델 수정 또는 거부에 대한 판단을 하지 않고 직선으로 그린 모델을 외현화하였다. G7-2는 2개의 외현화된 모델 후보를 가지고 둘 중 어느 것이 더 현상을 잘 설명하는 메커니즘을 포함하고 있는지에 대한 평가를 수행하였다. 이를 통해 메커니즘을 포함한 모델 평가에 외현화된 모델을 활용한다는 것을 확인하였다.

그림그리기 기반 모델링은 어린 학생들의 과학교육에 유용하고(Brooks, 2009), 외현화된 모델은 현상의 구조, 행동, 메커니즘에 대한 단서를 제공한다(Buckley & Boulter, 2000). 본 연구에서 외현화된 모델은 대부분 글을 포함한 그림 형태이다. 몇몇의 연구 참여자들은 그림의 형태로 외현화된 모델을 통해 모델의 메커니즘을 평가하였다. 이는 초등학생들도 그림과 같은 간단한 외현화된 모델을 활용하여 과학적으로 탐구할 수 있다는 것을 보여준다. 특히 모델이 현상을 예측하는 기능을 하고 그 덕분에 새로운 아이디어(메커니즘)를 평가해볼 수 있게 한다는 점에서 의미가 있다(Oh, 2009). Louca & Zacharia (2019)는 초등학생의 모델링을 모델링 역량 프레임워크(Krell et al., 2016)으로 분석하였다. 모델링 역량 프레임워크는 5개 측면과 3개의 수준으로 구분된다. 3개의 수준은 모델 대상에 대한 제한된 관점, 모델과 현상 간의 관계에 대한 관점, 과학적 아이디어로써의 모델을 인지하는 관점으로 제시하였다. 본 연구에서 외현화된 모델을 활용하는 것은 과학적 아이디어로써 모델을 인지하는 관점과 비슷한 맥락이다. 초등학생의 모델링 학습에 대한 연구(Louca & Zacharia, 2019)에서 과학적 아이디어로써 모델을 인지하는 관점을 보이는 학생은 발견하지 못한 것과는 대조된다. 따라서 초등학생도 모델에 대한 수준 높은 역할을 인식하고 활용할 수 있다는 점이 시사하는 바는 크다고 할 수 있다.

After Integrating Models with Different Mechanisms, The Model is Determined

초등학생은 모델링 하면서 다양한 메커니즘을 생성하고 수정한다. 이러한 메커니즘들은 현상의 일부만 설명할 수 있거나 다른 메커니즘과 모순되는 부분이 있다. 이때 현상을 완전히 설명할 수 있는 메커니즘을 포함한 모델을 생성하기 위해 다양한 전략과 시도를 하지만 만족스러운 메커니즘을 찾지 못했을 경우 현상의 일부만 설명할 수 있는 메커니즘들을 통합시켜 모델을 확정하는 것을 확인하였다.

다음은 S4-3의 사례와 S4-3가 그림으로 외현화한 모델(Fig. 7)이다.

Fig. 7. S4-3's External Model

행동 및 CVP: 음... 같이 움직였으니까 붙어 있으면 안될 텐데... 이렇게 있고. 음... 같이 움직였으니깐. 음... 여기 당기면 얘가 오고 얘도 같이 와야 되니깐. 음... 이렇게 되어 있다는 건가? 음... 이건 것 같아요..[RVP: 이렇게(一자) 이어져 있어야 되잖아요. 약간 이렇게 여기 안 닿고 이렇게 되는 것도 생각해봤는데. 이렇게 하면은 얘네 셋이 안 움직여지니까. 아닌 것 같기도 하고 긴가민가해가지고 그랬던 것 같아요.]

S4-3는 2개의 불완전한 메커니즘(현상 전체를 설명할 수 있지만 올바르지 않은 메커니즘)을 포함한 모델을 글과 그림으로 외현화하였다. 연구 참여자는 외현화된 모델의 한계를 인식하고 있었지만 수정하지 않고 모델을 확정하였다.

다음은 S9-2의 사례와 S9-2가 그림으로 외현화한 모델(Fig. 8)이다.

행동 및 CVP: (노 약간 당김 파노 절반만 나와 있는 상태로 배치됨)이거(노파)랑 이거(초빨)랑 멀리 연결되어 있는 것 같은데... 아닌가?[RVP: 파란색이랑 노란색이 좀 가까이 있는 것 같다.. 확실히? 파란색 노란색이라 초록색 빨간색이랑 좀 실 사이가 먼 것 같다?]

(중략)

행동 및 CVP: (초록색 고리가 달린 줄 당김)[RVP: 파란색이랑 노란색이 같이 당겨지니까 초록색이랑 빨간색도 당겨보려고... 파란색이랑 노란색이랑 같이 당겼을 때 둘이 되게 스무스하게 잘 움직인 것 같고. 초록색이랑 빨간색이랑 또 당겼을 때 2개 다 스무스하면 뭔가 따로따로(파노 따로 빨초 따로) 연결되어 있는 것 같아서...

(중략)

행동 및 CVP: 실이 들어 있나?[RVP: 이게 이렇게(파노) 이렇게(빨초) 연결되어 있으면. 이거 다 연결되어 있는데 어떻게 연결되어 있을까? 생각해보면 이 안에 또 다른 실이 하나 더 있을 수도 있으니까.]

(중략)

행동 및 CVP: 잘 모르겠는데.. 우선 해보자[RVP: 음.. 이걸 계속 이러고 있으면 안될 것 같아서. 계속 생각이 바뀌니까. 뭔가 아닐 것 같아서. 계속 해보는 것도 좀 그래 가지고. 우선 그려보자.]

S9-2는 기존에 얻은 정보로 현상의 일부분을 확실하게 설명할 수 있는 모델을 평가하였다. 평가한 모델의 메커니즘에 대한 한계를 인식하고, 현상 전체를 설명하기 위해 필요한 요소를 추가하고 확정하였다.

여기서 확정한 모델을 분석해보면 현상의 일부분만 설명할 수 있는 메커니즘을 포함한 모델(Fig. 8에서 위 아래 직선)과 모든 줄이 연결되어 있다는 아이디어가 구현된 불완전한 메커니즘이 포함된 모델(Fig. 8에서 ≍와 길쭉한 동그리미 부분)이 동시에 통합된 것을 확인하였다. 최종적으로 연구 참여자는 현상 전체를 올바르게 설명할 수 있는 메커니즘을 포함한 모델을 생성하지 못하였다. 모델링 목표가 내부 구조를 알아내는 것이 목적이기 때문에 S9-2는 현재까지 맞다고 생각하는 모든 메커니즘을 통합한 모델을 외현화하였다. 이는 연구 참여자가 과제를 종료해야 한다는 부담감이 작용하여 나타난 결과로 해석할 수 있다.

Fig. 8. S9-2's External Model

Conclusions & Implications

본 연구는 미스테리 튜브 과제를 해결하는 초등학생의 모델링 과정을 분석하기 위하여 모델 확정 과정에 대한 초등학생의 특징을 살펴보았다. 이를 위하여 6학년 학생 22명을 대상으로 미스테리 튜브 과제를 사고발성하며 해결하도록 하였고, 이후 회고적 면담을 실시하였다. 과제 수행 및 회고적 면담은 동영상으로 촬영되었고, 과제 수행 기록지까지 포함하여 연구 목적 달성을 위한 통합틀을 제작하여 분석하였다. 자료를 통해 도출된 초등학생의 모델 확정 과정에 대한 특징은 '피상적인 수준(superficial level)의 모델을 확정한다', '왜곡된 정보로 메커니즘을 검증한 후 모델을 확정한다', '현상 전체를 설명할 수 있는 메커니즘을 생성하면 모델을 확정한다', '모델 외현화를 통해 메커니즘을 검증한 후 확정한다', '서로 다른 메커니즘을 포함한 모델들을 통합한 후 모델을 확정한다'로 총 5가지이다.

본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다. 첫째, 초등학생의 실제적인 모델링 학습을 위해서 개별 학습자의 수준에 맞는 과제의 투입과 적절한 비계가 필요하다. 초등학생은 모델링 자체에 익숙하지 않고 체계적인 모델 평가 방법을 모르기 때문에 효과적인 모델링 학습을 위해서는 모델 평가 방법에 대한 다양한 지원이 필요하다. 둘째, 초등학생도 모델을 인지적 도구로 활용할 수 있다는 점을 확인하였다. 비록 인지적 도구로 활용 수준은 낮을지라도 초등학생에게 인지적 도구로 모델을 활용할 수 있는 교육을 위한 교수학습 전략 및 방법이 과학교육에서 중요하다는 점을 확인하였다. 특히 초등학생은 모델이 포함하고 있는 메커니즘이 불완전

하다는 것을 인지하고 있었다. 하지만 완전한 메커니즘을 포함한 모델을 생성하지 못했을 경우 현상의 일부만 설명할 수 있는 메커니즘을 통합시켜 모델을 확정하였다. 이는 초등학생의 모델링 학습 진전에 있어서 불완전한 메커니즘에 초점을 맞추는 교수학습 방법이 필요하다는 것을 의미한다.

본 연구를 통해서 얻을 수 있는 시사점은 다음과 같다. 초등학생의 모델링에 필요한 교수학습 전략 수립에 시사점을 제공할 것이다. 모델링에 대하여 교육과정에 명시되어 있지만, 교실에서는 모델링에 대한 구체적인 교수학습 전략은 없다고 할 수 있다. 초등학생이 모델 확정 과정의 특징을 분석함으로써 모델링에서 초등학생들이 겪는 어려움을 이해하고, 개별 학생들에게 적절한 모델링 학습 방향을 제공함으로써 모델링 학습에 대한 교수학습 전략을 수립하는데 이바지할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This article was revised by using Hansol Kim's 2022 Master's thesis.

References

Berland, L. K., Schwarz, C. V., Kirst, C., Kenyon, L., Lo, A. S., & Reiser, B. J. (2016). Epistemologies in practice: Making scientific practices meaningful for students. Journal of Research in Science Teaching, 53, 1082-1112.

Briggs, M. (2019). A more challenging mystery tube for teaching the nature of science. The Physics Teacher, 57, 300-303.

Brooks, M. (2009). Drawing, visualisation and young children's exploration of "big ideas". International Journal of Science Education, 31, 319-341.

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

Buckley, B. C., Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Eds.), Developing Models in Science Education (pp. 119-135). Dordrecht: Springer.

Chittleborough, G. D., & Treagust, D. F. (2009). Why models are advantageous to learning science. Educación Química, 20, 12-17.

Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2019). Modeling competence in science education. Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 1, 1-11.

Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. In Glover, J. A., Ronning, R. R., & Reynolds, C. R. (Eds.), Handbook of Creativity (pp. 341-381). New York: Plenum.

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

Constantinou, C. P., Nicolaou, C. T., & Papaevripidou, M. (2019). A framework for modeling-based learning, teaching, and assessment. In A. U. zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 39-58). Cham: Springer

Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. (2006). Understanding Scientific Reasoning. Thomson/Wadsworth.

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Models of modelling. In J. K. Gilbert & R Justi (Eds.), Modelling-based Teaching in Science Education (pp. 17-40). Cham: Springer.

Ha, J. H., Lee, H. J., & Kang, S. J. (2009). Perception of science high school students on modeling activity. Journal of Gifted/Talented Education. 19, 184-202.

Hestenes, D. (1997, March). Modeling methodology for physics teachers. In AIP conference proceedings (Vol. 399, No. 1, pp. 935-958). American Institute of Physics.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. International Journal of Science Education, 24, 369-387.

Ke, L., & Schwarz, C. V. (2019). Using epistemic considerations in teaching: Fostering students' meaningful engagement in scientific modeling. In A. U. zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), Towards a Competence-based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 181-199). Cham: Springer.

Krell, M., & Hergert, S. (2019). The black box approach: analyzing modeling strategies. In A. U. zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), Towards a Competence-based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 147-160). Cham: Springer.

Krell, M., & Krüger, D. (2016). Testing models: A key aspect to promote teaching activities related to models and modelling in biology lessons? Journal of Biological Education, 50, 160-173.

Krell, M., Upmeier zu Belzen, A., & Krüger, D. (2016). Modellkompetenz im biologieunterricht. biologiedidaktische forschung: Schwerpunkte und Forschungsgegenstände.

Lederman, J., Bartels, S., Lederman, N. & Gnanakkan, D. (2014). Demystifying nature of science: Two activities help young children understand nature of science. Science and Children, 52, 40.

Lehrer, R., & Schauble, L. (2019). Learning to play the modeling game. In A. U. zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), Towards a Competence-based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 221-236). Cham: Springer

Lim, S. E., Choe, S. U., Pack, C. M., & Kim, C. J. (2020). Exploring the influence of an explicit and reflective modeling instruction on elementary students' metamodeling knowledge. The Korean Association for Science Education, 40, 127-140.

Louca, L. T., & Zacharia, Z. C. (2019). Toward an epistemology of modeling-based learning in early science education. In A. U. zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 237-256). Cham: Springer.

Louca, L. T., Zacharia, Z. C., & Constantinou, C. P. (2011). In quest of productive modeling based learning discourse in elementary school science. Journal of Research in Science Teaching, 48, 919-951.

Miller, S. (2014). Modeling the nature of science with the mystery tube. The Physics Teacher, 52, 548-551.

Morgan, M. S., & Morrison, M. (1999). Models as Mediators. Cambridge: Cambridge University Press.

Namdar, B., & Shen, J. (2015). Modeling-oriented assessment in K-12 science education: A synthesis of research from 1980 to 2013 and new directions. International Journal of Science Education, 37, 993-1023.

National Research Council. (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academies Press.

Nersessian, N. (2008). Model-based reasoning in scientific practice. In R. A. Duschl, & R. E. Grandy (Eds.), Teaching Scientific Inquiry (pp. 57-79). Brill.

NGSS Lead States (2013). Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington: The National Academies Press.

OECD. (2020, March). PISA 2024 Strategic Vision and Direction for Science. Retrieved from https://www.oecd.org/pisa/publications/PISA-2024-Science-Strategic-Vision-Proposal.pdf

Oh, P. S. (2009). Preservice elementary teachers' perceptions on models used in science and science education. The Korean Society of Elementary Science Education, 28, 450-466.

Schwarz, C. V. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. In P. Bell, R. Stevens, & T. Satwicz (Eds.), Keeping Learning Complex: The Proceedings of The Fifth International Conference of the Learning Sciences (ICLS). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, 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: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 46, 632-654.

Upmeier zu Belzen, A. (2014). Black box: Modellierung von prozessen naturwissenschaftlicher erkenntnisgewinnung [Black box: Modeling processes in scientific inquiry]. In D. Luwig, C. Weber, & O. Zauzig (Eds.), Das Materielle Modell. Objektgeschichten Aus Der Wissenschaftlichen Praxis (pp. 99-106). Paderborn, Germany: Fink.

Upmeier zu Belzen, A., Jan H. van Driel., & Krüger, D. (2019). Introducing a framework for modeling competence. In A. U. zu Belzen, D. Krüger, & J. van Driel (Eds.), Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 3-19). Cham, Switzerland: Springer.

Van Someren, M., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. (1994). The Think Aloud Method: A Practical Approach to Modelling Cognitive. London: AcademicPress.

Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. Science Education, 92, 941-967.

Yoon, H. K. (2011). Pre-service elementary teachers' inquiry on a model of magnetism and changes in their biews of scientific models. The Korean Society of Elementary Science Education, 30, 353-366.

Authors Information

Kim, Hansol: Sunchang Elementary School, Teacher, First Author.

ORCID:https://orcid.org/0000-0001-8708-8196

Yang, Ilho: Korea National University of Education, Professor, Corresponding Author.

ORCID:https://orcid.org/0000-0002-4589-4197