

## 예비 지구과학교사들의 기후변화 모델 평가 기준 탐색

하윤희 · 차현정 · 신현정 · 김찬종\*

서울대학교 지구과학교육과, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1

### Exploring Criteria of Evaluation of Climate Change Models by Preservice Earth Science Teachers

Yoon-hee Ha, Hyun-jung Cha, Hyeonjeong Shin, and Chan-jong Kim\*

Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

**Abstract:** This study explores the criteria of climate change model evaluation by preservice Earth science teachers. The participants in this study were 25 preservice Earth science teachers who attended lectures on modeling-based science learning for 3 weeks in an Earth science education major course. The evaluation criteria of climate change models were categorized inductively using reports written by preservice Earth science teachers and post-interviews. The results showed that preservice Earth science teachers used various epistemic and communicative criteria to evaluate climate change models. Implications for modeling-based climate-change learning were suggested based on these results.

**Keywords:** climate change education, modeling-based science learning, scientific model and modeling, scientific model evaluation, pre-service earth science teacher.

**요약:** 본 연구의 목적은 예비 지구과학교사들이 학생에 의해 구성된 기후변화 모델을 평가하는 기준을 탐색하는 것이다. 대도시 소재 대학 지구과학교육과 전공 수업에서 3주간 모델링 기반 과학 학습에 대한 강의를 수강한 예비 지구과학교사 25명이 연구에 참여하였다. 예비 지구과학교사들이 작성한 고등학생들이 구성한 7개의 기후변화 모델을 평가하는 보고서와 사후 인터뷰 자료를 수집하여 기후변화 모델 평가 기준을 귀납적으로 범주화하였다. 연구 결과 예비 지구과학교사들이 기후변화 모델을 평가할 때 다양한 인식론적 기준과 의사소통 기준을 동원하였음을 확인하였다. 연구 결과를 바탕으로 모델링 기반 기후변화 학습에 대한 시사점을 도출하였다.

**주요어:** 기후변화교육, 모델링 기반 과학 학습, 과학적 모델 및 모델링, 과학 모델 평가, 예비 지구과학교사

## 서론

기후변화는 인류가 당면한 최대의 위기로 최근 교육분야에서도 그 어느 때보다 기후변화 교육의 중요성에 대한 인식이 증가하고 있다(Anderson, 2012; Monroe et al., 2019; Park, et al., 2020). 기후변화는 여러 교과 교육 분야에서 나름의 방식으로 다루어지

고 있지만, 과학교육은 그중에서도 특히 중요한 위치에 있다. 기후변화의 과정, 원인, 영향 등은 과학적 개념이나 원리를 기반으로 이해할 수 있기 때문이다(Sharma, 2012). Kim and Choi(2010)는 기후변화 현상을 지구 시스템 내의 상호작용과 함께 종합적으로 이해할 필요성을 강조하였으며, 기후변화 교육에 대한 선행연구들도 기후변화 원인과 현상, 영향에 대해 종합적인 이해를 강조한다(Woo and Nam, 2012; Park et al., 2020). 하지만 국내의 학교 교육 맥락에서 기후변화 내용은 잘 선택되지 않는 환경 교과나 각기 다른 교과 내에서 간략히 다루어지기에(Kwon and Moon, 2009), 기후변화의 원인, 현상, 영향 그리고 지구 시스템의 상호작용을 통합적으로 다루는 데에는 현실적인 어려움이 있다.

\*Corresponding author: Chajokim@gmail.com  
Tel: +82-2-880-9092

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

IPCC에서는 기후변화를 나타내는 과학적 근거가 되는 여러 지표들과 과학적 모델링을 바탕으로 기후변화의 영향, 가능한 미래에 대한 예측이 담긴 보고서를 발간했는데(IPCC, 2013), 이는 기후변화에 대한 최선의 이해를 제공하여 기후변화를 완화하기 위한 정책을 입안하고, 실질적으로 전 지구적인 대응을 강화하기 위한 노력의 근거가 된다. 따라서 IPCC의 보고서와 같이 기후변화를 복합적인 요인, 인과관계, 메커니즘, 데이터에 기반한 모델링을 통해 다루는 것은 그 자체로 진정한 과학 탐구이며, 기후변화와 기후변화가 인간의 삶에 미치는 영향을 제대로 이해하기 위해 필수적이다.

이처럼 기후변화를 이해하는데 과학적 모델링이 중요하며, 지구과학 교과 학습 맥락에서 기후변화를 다루는 방안으로 모델링 기반 학습이 유용하다. 모델은 자연현상을 설명하고 예측하는 일종의 표상, 설명 체계이며(NRC, 1996), 모델링은 과학적 탐구를 구성하는 중요한 실천 행위 중의 하나이다(Duschl and Grandy, 2008; Oh and Lee, 2014). 따라서 교실 수업에서 기후변화를 모델링 기반 학습을 통해 다루는 것은 과학 탐구를 경험하게 한다는 측면에서 의미가 있다. 특히 기후변화는 광범위하고 복잡한 현상으로 다양한 자료를 기반으로 설명 체계를 구성하는 모델링 기반 학습의 목적을 구현하는데 적합한 주제이다.

기후변화 주제를 모델링 기반 학습으로 구현하는 연구는 드물게 이루어져 왔다. Park(2020)은 기후변화 모델링 기반 탐구를 실행하였는데 주로 ‘온실가스 배출’과 같은 인간 요인과 관련된 자료를 중심으로 모델링이 이루어졌다. Zangori et al.(2017)은 탄소순환의 관점에서 기후변화의 시스템적인 성격을 다루었다. 상기 연구들은 기후변화를 일으키는 인위적인 요인에 초점을 맞추거나, 지구시스템에서 탄소라는 물질의 순환에 초점을 두고 있기에, 기후변화 원인, 현상, 영향 등 광범위한 기후변화의 과정을 다루고 있지 못하다는 한계가 있다. 국내외 연구물들에 포함된 기후변화 교육 프로그램의 내용, 구조 등을 분석한 Park et al.(2020)에 따르면 대부분의 기후변화 교육 프로그램은 기후변화의 ‘인위적인 요인’을 포함하고 있었지만, ‘자연적인 요인’을 포함한 것은 40%에 불과했다. 하지만 기후변화를 총체적으로 이해하기 위해서는 지구계 각 권역 그리고 다양한 시공간 스케일을 가지는 실제 관측자료에 기반해 과거, 현재, 미래의 기후변화를 설명 및 예측할 수 있는 과학적 모

델링이 필수적이다.

교실 현장에서 모델링에 기반한 기후변화 학습이 활발히 이루어지기 위해서는 교사 및 학생을 중심으로 한 탐색적 연구를 통해 관련 이해를 심화할 필요가 있다. 특히 모델과 모델링에 대한 교수 내용 지식이 구체적인 학습 주제와의 관계 속에서 의미를 가진다는 점(Cho et al., 2017) 그리고 모델링 기반 학습이 학생을 지도하는 교사의 실행 능력에 의해 상당히 좌우된다는 점(Justi and Van Driel, 2005)을 고려하면, 기후변화라는 주제를 모델링 기반 학습에 적용하고자 할 때 교사의 인식과 실행에 관한 연구는 특히 중요하다. 특히 모델 평가의 기준은 그 자체가 과학적 실행에 대한 이해를 보여주므로, 교사의 모델 평가 기준을 탐색하는 것은 교사의 이해를 파악하여 모델링 기반 학습을 위한 유용한 지침을 제공할 수 있기 때문에 중요하다(Nelson and Davis., 2012; Pluta et al., 2011). 또한 교사가 기후변화 모델에 대한 어떤 평가 기준을 가지고 있는지는 학생들이 기후변화 모델을 구성하는 상황에서 어떻게 학생들을 지도하고 어떤 점을 강조할 것인지와 관련되므로 이를 탐색할 필요가 있다.

과학 모델 평가 상황에서 동원되는 인식론적 기준과 관련된 선행연구들은 크게 세 범주로 나뉜다. 첫째, 과학자와 학생 또는 일반인들이 가지고 있는 인식론적 기준을 상호 비교하는 연구이다(Hogan and Maglienti, 2001). 이 연구는 모델 평가의 주제에 따라 일부 다른 인식론적 기준이 동원됨을 보였다. 둘째, 모델에 대한 인식론적 기준이나 모델링에 대한 수업을 제공하고 그 효과를 탐색하는 연구이다(Chang and Chang, 2013; Cheng and Brown, 2010; Schwarz and White, 2005, Smith et al., 2000; Penner et al., 1997). 이 연구들은 대부분 인식론적 기준이나 모델링 수업을 제공한 집단과 그렇지 않은 집단을 비교하여 처치 그룹에서 모델에 대한 이해나 성취가 향상했다는 연구 결과들을 공유한다. 한 예로 Cheong and Brown(2010)은 시각화(visualization)과 설명력(explanatory power)에 대한 기준을 비계로 제공한 집단이 그렇지 않은 집단에 비해 더욱 일관성 있고 정교한 설명 모델을 개발, 평가, 수정했음을 보여주었다. 이 연구들은 모델 평가를 위한 인식론적 기준을 모델링 능력을 향상시키거나 모델에 대한 인식을 발전시키기 위한 메타 모델링 지식(Meta Modeling Knowledge, MMK)으로서의 모델 평가 기준에 주목

한 것이다. 셋째, 교사와 학생이 가지고 있는 모델 평가 기준을 조사하는 연구이다. 예비 교사가 모델을 구성하거나 평가하는 상황에서 어떤 기준을 동원하는지(Oh and Lee, 2014), 학생들이 생각하는 좋은 모델에 대한 평가 기준은 무엇인지(Pluta et al., 2011), 초등학교 교사가 학생이 생성하는 과학 모델을 평가할 때 사용하는 기준은 무엇인지(Nelson and Davis, 2012)를 조사하는 연구이다. 상기 연구들은 과학 모델과 모델링 기반 학습의 다양한 양상을 이해하기 위해 여러 목적에 따라 이루어졌으며, 연구 방법이나 설계 역시 상이하다. 이들 연구는 공통적으로 모델 구성과 수정 과정에서의 평가 기준과 PCK-SM (Pedagogical Content Knowledge-Scientific Model)으로서 평가 기준의 중요성을 강조하지만 특별히 어떤 평가 기준을 절대적으로 중요한 것으로 보지는 않는다.

과학교육 분야에서 대부분의 모델 평가 기준 관련 연구는 모델링 기반 학습에 대한 이해를 확장하고자 하는 목적으로 이루어졌다. 하지만 많은 연구들은 모델의 종류나 주제에 따라 평가 기준이 달라지는 것에는 크게 주목하지는 않고 있다(Nelson and Davis, 2012; Oh and Lee, 2014; Pluta et al., 2011). 교사들의 모델 정의와 목적에 대한 인식은 그들이 가르치는 과목의 특성에 따라 달라진다는 점에 비추어 볼 때(Cho et al., 2017), 과학 모델을 평가하는 기준은 모델이 설명하고자 하는 현상에 따라 강조되는 측면이 다를 것이다. 본 연구에서는 이러한 모델 평가 기준의 내용 의존적인 특성에 기대어 기후변화 모델과 관련된 평가 기준들을 탐색하고자 한다.

본 연구는 모델링 기반 기후변화 학습에 대한 탐색적 연구로 향후 학교에서 기후변화 교육을 실행할

주체인 예비 지구과학교사가 고등학생이 모델링 기반 탐구를 통해 구성한 기후변화 모델을 평가할 때 동원하는 기준을 탐색하고자 한다. 이는 우리나라에서 기후변화가 단지 교과와 일부 단원 내용으로 소개되는 상황에서 모델링 기반 학습의 방법으로 새롭게 도입하고자 할 때, 중요한 시사점을 제공할 것이다.

## 연구 방법

### 1. 연구 맥락

이 연구는 연구진이 소속된 기관의 생명윤리 위원회 심의를 통해 연구계획과 연구 참여자 모집 과정에 대한 검토 및 승인 후 연구 참여자를 모집하여 수행되었다. 대도시 소재의 사범대학 지구과학교육과에서 지구과학교육 관련 전공 필수 과목을 수강하는 학생들 중 연구 참여에 동의한다는 의사를 밝힌 25명의 학생들이 참여하였다. 해당 과목은 3학년 이상의 학생들이 수강하였으며, 이들은 지구과학교육과의 주요 내용학 강의를 이수하고, 과학교육 교직과목 강의를 수강한 경험이 있다. 해당 과목을 통해서는 과학적 소양, 과학과 교육과정, 다양한 학습 이론 및 교수 학습 모델에 대해 학습하였으며, Table 1에 제시한 바와 같이 7주차부터 9주차까지 모델, 모델링, 모델링 기반 학습에 대해 학습하였다.

3주간 이루어진 수업의 목적은 예비 지구과학교사로서 모델, 모델링, 모델링 기반 교수와 학습을 이해하고, 적절한 지구과학 주제를 선택하여 모델링 기반 수업을 직접 계획하고, 소집단별 토론과 전체 토론 과정을 거쳐 모델링 기반 수업에 대한 이해와 실행 능력을 높이고, 향후 중고등학교 현장에서 적절하게

Table 1. Contents of classes and tasks

강의 주차	수업 내용 및 과제
7주	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모델링 기반 교수와 학습에 대한 이해</li> <li>• 과제 1: 모델링 기반 학습에 적용될 수 있는 중학교 혹은 고등학교 지구과학 주제를 선택하여 수업 계획해보기</li> </ul>
8주-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소집단 활동: 과제 1에 대해서 공유하고 토론</li> <li>• 전체 학생 활동: 소집단별 논의 결과를 전체 학생들과 공유하고 토론</li> </ul>
8주-2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 본격적인 수업 전, 모델과 모델링에 대한 선지식 설문 조사</li> <li>• 설문 조사 결과의 공유</li> <li>• 모델의 정의와 모델의 분류</li> <li>• 과학자들의 활동과 과학적 방법</li> <li>• 과학교육에서의 모델 활동, 모델 구성, 모델 평가</li> <li>• 실제 고등학교에서 이루어진 기후변화 모델링 수업 소개</li> <li>• <b>과제 2:</b> 7명의 학생들이 구성한 기후변화 모델을 자신만의 기준으로 평가해보기</li> </ul>
9주	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소집단 활동: 과제 2에 대해서 공유하고 토론</li> <li>• 전체 학생 활동: 조별 논의 결과를 전체 학생들과 공유하고 토론</li> </ul>

모델링 기반 수업을 수행할 수 있는 역량을 기르는데 있었다. 이를 위해 예비 교사들은 강의 7주차에 과학교육 분야에서 논의되고 있는 개념 변화, 정신 모델(mental model), 교과서에 주로 등장하는 모델(평면적 그림 모델, 입체적 물질 모델, 모상 모델, 표현 모델)의 형태, 최근 강조되고 있는 실행(practice)의 특징(NRC, 2012)을 배웠으며, 실제 중학교 현장에서 이루어진 태양 자전 모델링 수업(Cha, 2020)의 사례를 중심으로 모델링 기반 수업 과정을 살펴보고 중학교 혹은 고등학교 지구과학 주제 중 모델링 수업으로 적합한 주제를 선택하여 실제로 모델링 기반 수업을 계획해보는 과제(과제 1)를 수행하였다. 강의 8주차 첫 번째 시간에는 조별 활동을 통해 과제 1에 대해서 서로 공유하고 적절하게 모델링 기반 수업을 계획하였는지 논의하는 시간을 가졌다. 약 50분 동안 이루어진 조별 활동 이후에는 전체 활동이 진행되었으며 조별 활동에서 논의된 내용을 모든 학생들과 공유하고 토론하는 시간을 가졌다. 8주차 두 번째 시간에는 모델과 모델링에 대한 구체적인 내용을 학습하기 전 Cho et al.(2017)에서 사용된 설문 문항에 기반하여 학생들이 가지고 있는 모델과 모델링에 대한 선지식을 알아보고, 설문 조사 결과를 공유하면서 모델의 정의, 과학 탐구 방법으로서의 모델링을 다루었다. 또한 과학자들이 하는 활동과 과학적 방법의 다섯 단계(문제 설정, 모델 구성, 모델 평가, 과학자 공동체내의 합의, 일반 대중들에게 전파) (Giere et al., 2006), 모델링 과정에서의 제약조건(Nersessian, 1995; Nersessian, 2002), 모델의 분류(Oh et al., 2007), 과학교육에서의 모델 및 모델링 활용, 그리고 모델 생성, 모델 평가, 모델 수정으로 구성되는 모델링 과정(Clement, 2008; Rea-Ramirez et al., 2008)을 학습하였다. 마지막으로 실제 고등학교의 기후변화 동아리 활동에서 이루어진 기후변화 모델링 수업을 소개하였으며 고등학생들이 모델링 수업을 통해 구성한 기후변화 모델의 예시들을 접할 수 있었다. 8주차에 수행한 과제 2는 이전에 실시된 다른 연구에서 고등학생들이 구성한 기후변화 모델을 직접 평가하는 보고서를 작성하는 것이었다. 마지막 9주차에는 약 50분 동안 소집단별 활동을 통해 과제 2에 대해서 공유하고 각자가 정한 모델 평가 기준의 적절성에 대해서 논의하였다. 소집단 활동이 끝난 후 전체 활동이 진행되었으며, 소집단 활동에서 논의한 내용을 발표 자료로 정리하여 전체 활동에서 모든 학생들과

공유하고 토론하였다.

## 2. 자료수집 및 분석방법

### 자료수집

이 연구에서는 예비 지구과학교사들이 고등학생들이 구성한 기후변화 모델을 평가할 때 사용하는 기준을 탐색하기 위해 과제 2의 개별 과제 보고서, 사후 인터뷰 자료를 주 연구 자료로 사용하였다.

예비 교사들이 작성한 기후변화 모델 평가 기준에 대한 과제 2의 구체적인 내용은 다음과 같다. 우선 예비 교사들은 Fig. 1의 예시와 같은 고등학생들이 모델링 기반 기후변화 수업 과정에서 작성한 기후변화 모델 7개를 살펴보고 가장 잘 구성된 모델과 가장 잘 구성되지 않았다고 판단한 모델을 선택하였다. 그리고 그렇게 판단하게 한 자신만의 모델 평가 기준을 상세히 서술하고, 개별 모델에 대해서도 구체적으로 평가하였다. 예비 교사들은 보고서의 분량이나 양식 등의 제약이 없이 자유로운 형식으로 보고서를 작성하였다. 그다음 소집단 활동에서 과제 2의 결과를 함께 공유하고 전체 활동에서 발표하고 토의하였다. 학기가 끝난 이후 연구 참여자 중 인터뷰 참여에 동의한 12명에 대해 사후 인터뷰를 진행하였다. 사후 인터뷰를 통해 다시 한번 예비 교사들이 기후변화 모델을 보면서 평가 기준을 회상하고, 즉흥적으로 평가하도록 하여 보고서 분석의 내용을 확실히 하거나 보완하였다. 또한 이러한 평가 기준과 관련된 구체적인 생각을 파악하기 위해 기후변화 모델과 모델링 기반 기후변화 학습에 대한 일반적인 질문을 다루었다. 예컨대 ‘기후변화를 모델링 기반 학습을 통해 다루는 것의 장점과 단점은 무엇이라고 생각하십니까?’, ‘기후변화 모델’이 다른 모델과 다른 점은 무엇인가요?’, ‘과학자들이 모델을 평가하는 기준과 교사가 학생의 모델을 평가하는 기준은 무엇인가요?’ 등이 있다.

### 분석방법

본 연구는 예비지구과학 교사들이 작성한 보고서에 나타난 기후변화 모델 평가 기준을 탐색하여 모델링 기반 기후변화 학습에 대한 시사점을 도출하는 것에 중점을 두었다. Fig. 2는 예비지구과학 교사들이 작성한 보고서의 예시이다. 먼저 네 명의 연구자가 예비 교사들이 제출한 보고서를 전체적으로 읽으면서 뚜렷하게 명시되었거나 반복되는 구문들을 기록하며 임시 코딩을 수행하고(Saldaña, 2016), 과학적 모델의

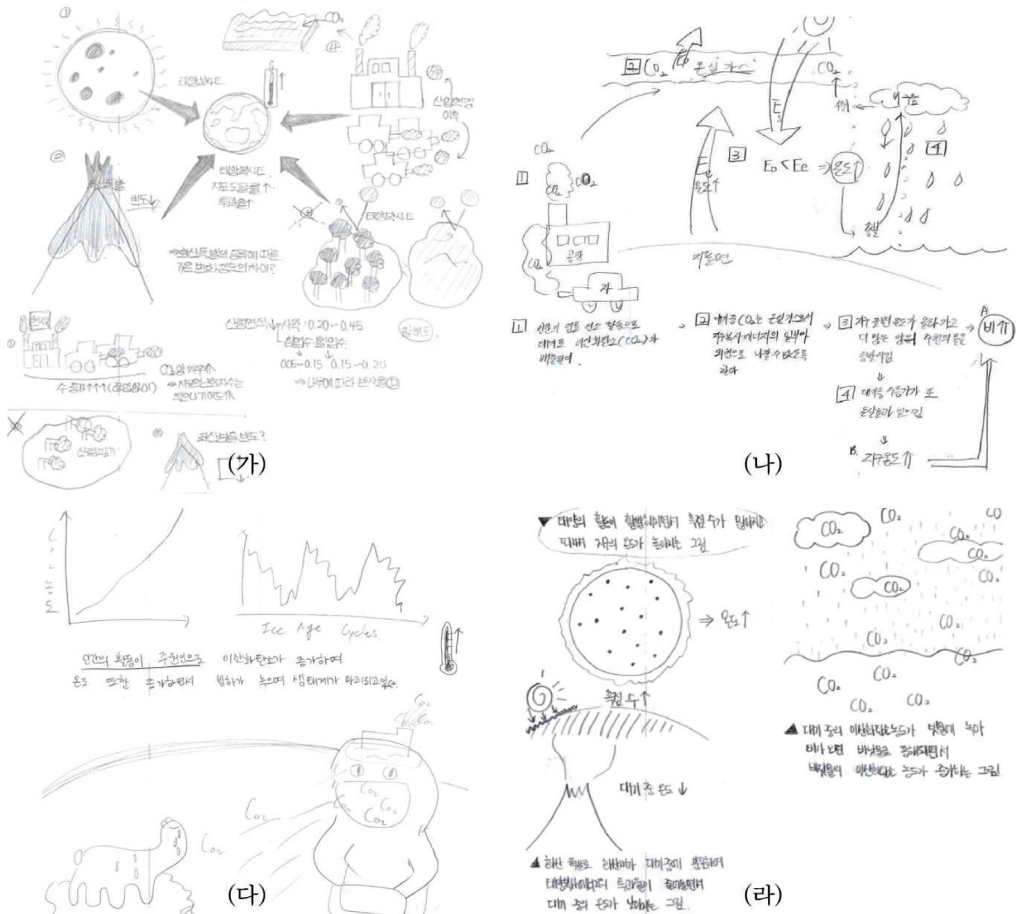


Fig. 1. Examples of high school student's climate change models evaluated by preservice earth science teachers

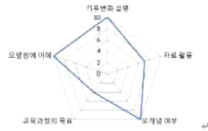
평가 기준을 제시한 선행 연구들(Oh and Lee, 2014; Pluta et al., 2011)을 바탕으로 만든 이론적 범주 구분과 비교하여 1차 분석 틀을 구성하였다. 1차 분석 틀을 활용해 연구 주제에 기반한 코딩(Strauss and Corbin, 1998)을 시작하되 선행연구들의 과학적 모델링 주제는 기후변화가 아니었고 연구 맥락도 다르므로, 원자료에서 추출될 주제 및 맥락 특이적 범주를 수집하는 것을 2차 코딩의 방향으로 설정하였다. 2차 코딩은 연구자들이 개별적으로 진행하되 한줄씩(line-by-line) 꼼꼼하게 읽어나가며 1차 분석 틀을 바탕으로 다시 코딩하였는데, 1차 범주 중에 해당되지 않거나 또 다른 성격의 의미를 가진다고 판단되는 코드가 나온 경우 개인이 추가 검토하지 않고 최대한 기록하여 새롭게 도출되는 코드들을 가능한 많이 수집하고자 하였다. 각자 도출한 주제(평가 기준) 코드를

모두 공유하고 1차 분석틀의 범주들까지 모두 같은 위계로 펼친 후에 중복되는 것과 비슷한 의미의 주제를 합쳐가며 목록을 줄여나갔고, 상위 범주와 하위 범주를 구분해 나갔다. 간혹 표현상으로는 유사하지만 다른 의미를 포함할 가능성이 있는 경우가 있었다. 예를 들어, “적절한 표상을 사용했다.”라는 말은 ‘시각적으로 명료하여 다른 사람이 이해하기 용이하다.’, ‘표현하려는 내용에 적절한 글, 그림, 화살표 등을 사용하였다.’ 와 같이 최소한 2가지 의미로 사용되었을 가능성이 있었다. 이에 그 의미를 분명하기 위해 사후 인터뷰를 실시하였다.

과학교육전문가 4인으로 구성된 연구진이 첫번째 회의에서 코딩 결과가 일치하지 않는 경우 원자료 코드를 놓고 토의를 반복하는 방식으로 모든 주제에 대한 합의를 통해 2차 분석 틀을 구성하였다. 이후 3

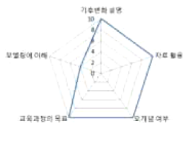
3. 학생 모델 평가

3.1 학생 기후변화 모델 1 (41/50)



모델 1은 과학적으로 타당한 내용으로 기후변화를 잘 설명하였다(10점). 제시된 자료 중에는 복사 열량 자료를 이용하였지만 다른 자료는 사용하지 않고 인간의 연로 연소로 이산화탄소가 발생하고 이 이산화탄소가 온실효과를 일으킨다는 상식을 주로 이용하였다(7점). 모델 1에서 특별한 오개념은 발견되지 않았고(10점), 인간에 의한 기후 변화와 자연에 의한 기후 변화를 구분 하고자 한 교육과정의 취지와는 다르게 인간에 의한 온실 효과에만 초점을 맞추었다(4점). 마지막으로, 단순 자료 나열이 아닌 자신만의 언어로 모델을 잘 설명하였다(10점)

3.2 학생 기후변화 모델 2 (44/50)



모델 2는 과학적으로 타당한 내용으로 기후변화를 잘 설명하였다(10점). 제시된 자료 중에서 확산 활동에 의하여 기온이 낮아진다는 것, CO<sub>2</sub> 배출량이 증가한다는 것, 온실가스 배출원에 대한 것, 병하 면적 감소에 대한 것 등 다양한 자료들을 이용하였다(10점). 모델 2에서 특별한 오개념은 발견되지 않았고(10점), 인간에 의한 기후변화와 자연에 의한 기후변화를 구분하고자 하는 교육과정의 취지에 맞게 확산에 의한 기온 변화와 인간에 의한 기온 변화를 비교하였다(10점). 단순히 자료를 나열한 한 것이 아니라 확산은 기온을 낮추는데 왜 전체 기온은 올라가는지에 잘 설명

(7) 학생 설계 모델 7 평가



그림 7 학생 설계 모델 7

모델 평가 기준	점수
1. 실제 현상을 얼마나 정확하게 설명하고 있는가	3
2. 다른 학생이 이해하기 쉬운 설명으로 이루어져 있는가	5
3. 목표 모델들과 양립가능한가	3
4. 다른 학생들이 모두 동의할 수 있는 설명인가	

표 8 학생 설계 모델 7 평가 결과

모델 7에서는 태양 흑점 수 증가로 인한 지구 온도 증가, 화산 폭발로 인한 기온 감소, 그리고 대기 중 이산화탄소가 바다로 유입되는 원리를 글과 그림을 적절히 사용하여 잘 설명하였다. 제시된 자료를 적극적으로 활용하고자 노력한 흔적이 보이며, 제시된 자료가 어떤 과정에 의해 나타난 것인지 추측하고자 한 것으로 보인다. 세 설명 모두 적절하지만, 서로를 연관시켜 궁극적으로 왜 지구의 온도가 증가하는 지, 바다의 이산화탄소량이 증가한다면 해양의 pH가 낮아지며 궁극적으로 해양 생태계에 부정적인 영향을 미칠 것이라는 설명을 추가한다면 좋은 모델이 될 것 같다. 그리고 태양 활동의 증가도 지구 온도 상승에 영향을 미칠 것이지만, 현재 지구온난화의 가장 큰 원인인 인간 활동에 의한 대기 중 이산화탄소 증가 때문임에 대해 설명을 자세히 하면 좋을 것 같다고 판단했다.

Fig. 2. Examples of reports written by preservice earth science teachers

차 코딩에서는 2차 분석 틀을 적용하여 원자료를 다시 처음부터 코딩하면서 분석 틀의 타당도를 확인해 나갔고, 주제별로 코딩된 구문의 수를 세어 정량적 근거를 마련하였다. 이때 역시 새로운 주제가 등장할 가능성을 열어두었으나 3차 코딩 종료 후 이루어진 두 번째 연구진 회의에서 더 이상 새로운 주제가 나타나지 않는 것에 모두가 합의하였다.

연구진은 토의를 통해 2차 분석 틀의 범주명을 좀 더 명확한 표현으로 가다듬었으며, 선행 연구에서 사용한 명칭을 그대로 수용한 것도 있고, 새롭게 명명하기도 했다. 가령, ‘external coherence’, ‘evidential criteria’, ‘clarity’는 선행 연구들에서 가져온 것이고, ‘explanation scope’, ‘comprehensiveness’, ‘appropriateness of the representation’은 본 연구 자료에서 귀납적으로 도출된 근거를 바탕으로 새로 명명한 범주들이다. 합의에 이를 때까지 하위 주제들을 보다 상위 범주로 조정하고 수정하는 작업을 반복했고, 최종적으로 예비 지구과학 교사들의 기후변화 모델 평가 기준 범주를 마련하였다. 최종 범주가 확정된 후 해당 기준이 등장한 횟수를 세고, 과제 보고서 또는 사후 인터뷰 자료에서 대표적인 사례들을 발췌하여 연구 결과를 정리하였다.

연구 결과

Table 2는 예비 지구과학교사들이 고등학생들의 기후변화 모델을 평가할 때 동원한 기준들을 범주화한 것이다. 인식론적 기준(epistemic criteria)은 논리적 추론(logical reasoning), 포괄성(comprehensiveness), 외적정합성(external coherence), 증거 관련 기준(evidential criteria), 설명 범위(explanation scope)의 다섯 개의 범주로 범주화하였다. 이 중 논리적 추론은 추론(reasoning) 측면과 오류(error), 외적 정합성은 이론(theory), 목표 모델(target model), 실세계(real world), 증거 측면은 지지(supported by evidence), 적절한 사용(proper use of evidence), 다양성(variety of evidence)의 세부 기준으로 나누어졌다. 의사소통 기준(communicative criteria)은 표상의 적절성(appropriateness of the representation), 명료성(clarity)의 두 범주로 나누어졌다. 최종적으로 총 7개의 범주와 15개의 세부 기준을 도출하여 예비 지구과학교사의 평가 기준 중에서 해당 기준이 등장한 빈도수를 세고, 관련 사례를 제시하였다.

**Table 2.** Climate change model evaluation criteria used by preservice earth science teachers

Criterion	Description or example	Frequency
Epistemic criteria		
Logical Reasoning		
Reasoning	A model explains Causal relationships, mechanisms, etc. in detail and specific reasoning.	23
Error	A model does not include logical and conceptual errors.	8
Comprehensiveness	A model comprehensively explains all the observations.	7
External Coherence		
Theory	A model is coherent with well-established scientific theories or models.	7
Target model	A model fits the curriculum or the teacher's target model.	5
Real world	A model consistent with the real world.	3
Evidential criteria		
Supported by evidence	A model is supported by evidence (data).	5
Proper use of evidence	A model is Based on the correct interpretation of the material.	4
Variety of evidence	A model uses a variety of data (related to factors of climate change) to explain.	16
Explanation scope	Interactions between earth system and interrelationships between factors of climate change	13
	Radiant equilibrium process	3
	Carbon cycle process	3
	Impact of climate change on ecosystems.	3
Communicative criteria		
Appropriateness of the representation	Effective and appropriate representations (words, illustrations, arrows, etc.) should be used.	12
Clarity	A model should be visually clear and easy for others to understand.	12

### 1. 인식론적 기준(epistemic criteria)

인식론적 기준은 과학지식을 평가하는데 동원되는 기준이다. 과학 모델을 평가할 때 동원하는 기준은 그 자체가 모델의 목적, 모델의 본성에 대한 인식과 관련된다(Pluta et al., 2011). Schwarz and White (2005)는 학생들에게 모델을 평가하는 인식론적 기준을 제공하고 그것을 통해 자신, 동료, 연구자가 구성한 모델을 평가하도록 하였는데, 인식론적 기준을 사용하여 모델을 평가해 본 학생들이 모델링의 본성, 탐구에 대해 더 잘 이해한다는 것을 발견하였다. 이 외에도 다수의 연구들은 인식론적 기준을 제공했을 경우 학생의 모델 또는 모델의 목적에 대한 이해가 향상됨을 보여주었다. 이는 모델에 대한 학생들이 인식론적 기준이 그가 가진 모델의 본성과 탐구에 대한 이해와 관련된다는 것을 보여준다. 본 연구에서는 예비 지구과학교사들이 과학 지식으로서 모델이 갖추어야 할 기준으로 논리적 추론, 포괄성, 외적 정합성, 증거, 설명 범위와 관련된 나름의 인식론적 기준을 가지고 있음을 확인하였다. 그 구체적인 내용은 다음과 같다.

### 논리적 추론(logical reasoning)

모델 평가 기준으로서 논리적 추론과 관련된 기준은 첫째, 모델이 인과관계, 메커니즘 등을 포함한 충분한 추론을 담고 있는지 둘째, 논리적 오류나 오개념을 포함하였는지와 관련된다. 본 연구에서는 25명 중 23명으로 대부분의 예비 지구과학교사들이 인과관계나 메커니즘을 설명하는 추론을 포함하였는지를 기후변화 모델 평가 기준으로 사용하였다. 즉 대부분의 예비 지구과학교사들이 기후변화 모델을 평가할 때 추론을 가장 기본적인 기준으로 사용하였고, 특히 복잡하게 얽혀 있는 인과관계를 포함해 여러 가지 요인이 기후변화를 일으키는 메커니즘을 구체적으로 설명하는 것이 중요하다고 보았다.

예비교사 A: 모델을 설정할 때 메커니즘을 자세하게 설명하는지, 이전의 결과가 다음 현상에 미치는 영향이 타당하고 잘 드러나 있는지

과제 2의 보고서 외에 사후 인터뷰에서도 연구 참여자들 대부분이 기후변화를 다른 주제에 비해 피드백 작용, 인과관계 표현이 더욱 강조되는 주제로 인

식하고 있음이 드러났다.

예비 교사 B: 이 기후변화 같은 경우는 원인과 결과를 설명하는 그런 모델에 좀 더 가까우니까 예를 들면, 다른 태양계가 어떻게 생겼는가 아니면 DNA가 어떻게 생겼는가 그런 모델 구상할 때는 그런 원인과 결과에 관련된 그런 상관관계를 분석하는 그런 모델 아니니까.

예비 교사 E: (연구자가 예시로 든) 말씀하신 심장은 실제적인 모델이 존재하는 실제적인 현상이라고 해야 하나 심장이라고 딱 명확하게 표현할 수 있는 게 존재하잖아요. (중략) 변인 간의 상관관계가 아니라 그냥 지식을 나열한 거라고 제가 생각을 했거든요. 그 심장은 그렇죠. 기후변화할 때는 피드백 작용이라고 해가지고 변인들 간의 인과관계가 중요하잖아요. 그것을 구체적으로 이해해야 모델을 표현할 수 있고.

8명의 예비 지구과학교사는 논리적 추론의 오류 여부를 기후변화 모델 평가 기준으로 삼았다. 비논리적이거나 추론을 포함한 경우 모델 평가에서 정량 평가에서 감점을 하거나, 잘 구성되지 않은 모델로 평가하였다. 하지만 일부 예비 교사들은 학생들이 구성한 모델은 완성형이 아니라 계속해서 수정, 보완될 수 있는 가능성을 포함한 것으로 보고, 일부 비논리적 추론이나 오개념이 포함되어 있더라도 그것을 모델을 평가하는 기준으로 삼지 않았다.

예비교사 C: 오개념 사실 이거는 학생들이 이렇게 모델을 구성할 때는, 평가를 할때는, 평가 기준에는 들어가지 않는 항목이라고 저는 생각을 하고요. 하지만 추후에 교사가 그 해당 이게 오개념이라는 사실을 인지하고 학생에게 알려주어야 어떻게 보면 잘못 가지고 있는 선입견이나 그런 것도 추가적으로 파악을 해서 좀 더 그거와 연관되는 꼭 교과서상에 있는 내용이 아니더라도 과학 지식이나 그런 사고방식을 좀 교정을 해주는 방향으로 나아가는게 좋다고 생각합니다.

### 포괄성(comprehensiveness)

포괄성은 기후변화와 관련된 여러 관측자료와 관련된 다양한 요인들을 종합하여 기후변화라는 하나의 모델로 표현했는지를 평가하는 기준이다. 즉 기후변화 모델은 서로 복잡하게 얽힌 자료들과 그들의 관계를 모두 포괄하는 종합적인 설명 체계를 이루어야 한다는 것이다. 7명의 교사가 이 기준을 사용하여 평가하였다. 이 기준은 기후변화라는 주제의 특성과 깊이 관련된 것으로 보인다. 과학 모델 평가와 관련된 선행 연구들에서는 주로 물리학, 생물학 관련 과학

모델을 평가하였다. 물리 분야에서 힘과 운동(Schwarz and White, 2005), 전기회로(Oh and Lee, 2014), 자석과 자성(Cheng and Brown, 2010), 증발과 응결(Nelson and Davis, 2012), 생물 분야에서 식물의 생태(Hogan and Maglienti, 2001)와 관련되었다. 상기 주제들은 자연 현상의 기초적인 원리와 관련된다. 따라서 기후변화에 비해 적은 수의 추론을 필요로 하고, 원리를 이해하여 표현하는 방식이 더욱 중요하다. Nelson and Davis(2012)는 초등학생들의 증발과 응결 모델을 교사가 평가하는 기준을 조사하였는데 연구에 참여한 교사 중 91%가 모델의 외적인 특징(neatness, artistic quality, arrows, labels...etc)과 관련된 aesthetics & features 범주의 기준을 사용한 것으로 나타났다. Nelson and Davis(2012)에서 사용한 ‘증발, 응축’ 모델과는 달리 기후변화라는 현상은 더욱 광범위한 특성을 가지는 주제로, 이를 설명하기 위해서는 수많은 자료들을 해석하고, 데이터 간의 연관성을 고려하고, 영향력을 비교해야 한다. 그리고 그 결과를 종합하여 ‘기후변화 모델’을 구성해야 한다. 예비 지구과학교사들은 기후변화라는 주제가 가지는 그러한 특성을 고려하여, 하나의 종합적인 설명 체계로 나타내야 한다는 것을 강조한 것으로 볼 수 있다.

예비 교사 C: 여러 기후변화 요인들을 종합해서 한번밖에 단순히 어떻게 보면 기후변화라는 게 단순히 A라는 원인 때문에 일어나고 가 아니고, 여러 가지가 서로 얽히고설켜 있잖아요. 그거를 잘 이렇게 내용적으로도 그림, 도식으로도 잘 나타내주었던 것 같고.. (생략)

예비 교사 D: 각각 요소가 따로 독립된 것이 아닌 한 그림에 모이도록

예비 교사 A는 지진을 예로 들어 지진을 학습할 때는 지구계 권역들과의 상호작용 관점에서 다루어지기보다는 지진의 원리 측면에서 주로 다루어진다는 점을 언급하면서 이와는 대조적으로 기후변화 주제는 기권만이 아니라 다른 지구계 권역과도 얽혀 있는 현상이라는 점을 언급하였다.

예비 교사 A: 지진에 관련된 내용을 배웠을 때 그게 뭐 꼭 기후변화처럼 모든 (지구계) 권역들이 다 상호작용하는 건 아니잖아요. 그냥 어떤 그 예를 들면 지진이 일어난다고 하면은 그게 어떤 힘을 받아서 모 이렇게 파동으로 전달된다. 이런 식으로까지 배우지. 일단 기권 수권 이런 것까지 일단 배우지는 않잖아요.



예비 교사 O는 과거 자신의 학생 시절에는 지구과학 내용을 각각 따로 배웠지만, 모델을 구성하게 되면 이전에 따로 배운 내용들을 종합하게 되고, 융합해서 생각할 수 있다고 언급했다.

예비 교사 O: 제 기억으로는 지구과학 배웠을 때 자료들을 그냥 따로따로 배웠던 것 같아요. 맥락 없이 이런 이런 거고 그런데 모델을 세우면 이런 것들을 조합하게 되잖아요. 그래서 이런 것들을 섞으면서 학생들이 교과서에 없는 그런 스토리도 만들어내고, 당연히 오개념이 있을 수도 있지만 그런 교사가 교처주면 되는 거니까 이런 걸 융합해서 생각할 수 있는 것 같아요.

예비 교사 I는 기후변화와 관련된 다양한 자료가 다양한 해석의 가능성을 가지고 있음에 주목했다. 지구와 태양의 공전이나 자전이나 월식을 설명하는 모델을 예로 들면서 이러한 모델은 대부분이 비슷한 메커니즘으로 표현되는 것에 반해 기후변화는 동일한 자료를 제공해도 다양하게 해석할 수 있는 여지가 있다는 것을 언급하였다. 즉 기후변화에 대한 다양한 자료를 종합해서 포괄적인 설명을 구성하는 과정을 하나의 정답을 향해 수렴해가는 과정이 아니라고 인식하고 있었다.

예비 교사 I: 지구 태양 공전 자전. 이런 자료만을 주어졌을 때 학생이 메커니즘을 거의 동일하게 만들 것 같아요. 예를 들어 지구의 그림자가 달에 비추는 거 다 이거 이외에는 사실은 월식을 설명하기가 어려운데 하지만 이제 대기 기후변화 모델은 같은 자료를 제공해도 해석의 여지가 되게 다양할 것 같아요.

실제로 본 연구에서 활용한 학생이 구성한 7개의 기후변화 모델은 설명 범위, 추론, 사용한 자료, 표상 측면에서 전부 다양한 형태로 구성되어있었다.

### 외적 정합성(external coherence)

외적 정합성은 모델이 선행 과학 이론과 같은 해당 모델 외부의 요소와 합치되는지를 의미하는 기준이다. 교사나 학생들의 모델 평가 기준에 대한 선행 연구에서 외적 정합성의 기준은 모델이 기준에 잘 정립된 ‘과학 이론’에 부합하는지를 의미했다. Oh and Lee(2014)은 모델 평가와 관련한 선행연구들을 고찰한 것을 토대로 외적 정합성의 기준을 “모델의 내용이 이미 잘 알려진 다른 과학 이론과 모순되지 않음을 의미한다.” 라고 정의하였다. 본 연구에서는 7명의 예비 교사가 기존 과학 이론과 부합하는지를

외적 정합성의 기준으로 사용하였다.

예비 교사 E: 과학적 사실 및 원리와 합치하는지, 충돌하지 않는지

한편 본 연구에서는 5명의 예비 교사가 교사의 목표 모델(target model)이나 교육과정을 외적 정합성 판단 기준으로 삼았다. 일부 예비 교사들이 학생들의 과학 모델을 평가할 때 동원하는 외적 정합성의 기준에는 기준에 잘 정립된 과학 이론보다는 교육과정 이 중요하게 작용하기도 하였다. 이는 과학 교수학습 맥락에서 과학교사가 모델을 평가 하는 경우와 과학 지식 생산 맥락에서 과학자가 모델을 평가하는 경우의 목적과 상황이 다르기 때문으로 볼 수 있다.

예비 교사 F: 과학자 공동체 내의 합의가 아닌, 교육과정에서 제시하는 목표 모델(target model)에 맞춰 가는 합의이다.

예비 교사 C: 평가 기준은 일단 첫 번째 가장 포괄적으로 보는 부분은 아무래도 역시 교과서 기준이죠. 당연히 이 활동도 교과서에서 짚어주고 있는 그 내용을 학생이 올바르게 인식을 하고 있는지 아닌지 지식적인 부분에 대해서 일단 평가를 하는 기준이 있고(생략)

모델을 평가하는 주체에 따라 과학 모델을 바라보는 외적 정합성의 기준이 다를 수 있다는 결과를 보여주는 선행 연구가 있다. Hogan and Maglienti (2001)는 8학년 학생, 일반인, 공학자, 과학자들이 결론을 도출하는 추론 과정에서 사용하는 인식론적 기준을 비교하였는데, 과학자나 공학자에 비해 학생과 일반인들은 자신의 추론이나 생각, 가치에 비추어 그럴듯한지 여부가 더욱 중요한 기준으로 작용했다는 것이다. 본 연구는 교수와 학습 맥락에서 강조되는 외적 정합성의 기준이 드러났다는 점에서 새로운 결과를 보여주었다.

그 외에 3명의 예비 교사는 과학 모델이 실세계와 잘 들어맞는지를 평가 기준으로 삼았다.

예비 교사 F: 모델은 실세계에서 관찰, 실험을 통해 얻어진 자료를 통해 예측하여 논리적으로 구성된 것으로 실세계와 잘 맞는지 안 맞는지 확인하는 작업을 통해 평가받는다.

### 증거(evidence)

본 연구에서는 예비 교사들이 사용한 증거에 대한 평가 기준을 3가지로 범주화할 수 있었다. 첫째, 모델은 ‘증거에 의해 지지’되어야 한다는 기준으로 5명의 예비 교사가 사용하였다. 둘째, ‘증거의 적절한 사

용'은 모델은 자료에 대한 정확한 해석에 근거하고, 모델에 적절한 자료를 사용해야 한다는 것을 의미한다. 이 기준은 4명의 예비 교사가 사용하였다. 마지막으로, '증거의 다양성' 기준은 기후변화 모델은 다양한 데이터를 근거로 설명되어야 한다는 것과 관련된다. 이는 16명의 예비 교사가 사용한 기준이다.

예비 교사 H: 자료를 증거로 삼고 있어야 좋은 모델이 된다고 생각

예비 교사 I: 인간활동 요인의 근거로는 산업혁명 이후 그래프를 사용해야 한다.

예비 교사 J: 조건들을 반영한 개수를 토대로

모델에서 증거에 대한 관점 또한 모델의 본성에 대해 어떤 이해를 가지고 있는지와 관련된다. 모델을 평가하는 증거 관련 기준에 관한 일부 선행 연구는 다른 결과를 보여주기도 한다. Grosslight et al.(1991)은 중고등학생의 모델의 본성에 대한 인식을 조사하였는데, 거의 모든 7학년 학생들이 모델을 만들 때 증거의 역할을 상세히 설명하지 않았다는 것을 언급하였다. 이에 대해 Pluta et al.(2011)은 Grosslight et al.(1991)의 연구에서 학생들이 좋은 모델에 대한 기준을 세울 수 있는 정확한 사례를 제시하지 못했기 때문에 학생들이 모델링과 인식론적 기준에 대한 이해가 피상적인 수준에 머물러 있었을 것이라고 지적했다. Pluta et al.(2011)은 그러한 고찰을 바탕으로 학생들에게 화산을 12가지의 다양한 표상 형태로 표현한 모델을 제시하여, 학생들에게 다양한 모델의 형태를 생각하도록 하였고, 또한 지구온난화, 먹이사슬, 물의 순환, 식물의 성장, 양서류의 성장 등 다양한 주제에 걸쳐 모델을 제시하였다. 그 결과 연구 참여자들 대부분이 모델에서 증거가 중요하다는 것을 언급하였다고 보고하였다. 그런데 이 연구에서 학생들이 제시한 좋은 모델의 기준 중 'quantity of support'는 오로지 2%의 학생들이 사용한 것으로 나타났다. 'quantity of support'는 본 연구의 '증거의 다양성' 기준과 유사한 기준이며, 16명의 예비 교사가 사용한 기준이다. 본 연구에서 절반 이상의 연구 참여자가 증거의 다양성을 고려한 것은 연구 참여자의 차이도 있지만 이는 '기후변화'라는 주제적 특성과도 일부 관련되어 있는 것으로 보인다. 기후변화를 설명하기 위해 다양한 관측 자료와 그것에 기반한 추론들이 기후변화 모델을 지지하는 증거가 되기 때문이다.

### 설명범위(explanation scope)

설명 범위는 모델이 특정한 개념이나 원리에 대한 설명을 포함하고 있는지를 의미한다. 본 연구에서는 예비 지구과학교사들이 사용한 기후변화의 설명 범위와 관련된 기준을 크게 네 가지로 범주화하였다.

첫째, '지구계 시스템의 상호작용과 기후변화 요인 간의 상호 관련성' 기준은 기권, 지권, 수권, 생물권을 의미하는 지구계의 각 권역 간의 상호작용이나 각 관측자료들이 서로 어떻게 관련되는지를 포함해야 한다는 것을 의미한다. 13명의 예비 교사들이 이 기준을 언급하였다. 즉, 많은 예비 지구과학교사들이 기후변화 모델의 설명 범위를 '기권'이나 '기후' 그 자체에 한정하고 있지 않았다. 구체적으로 각 기후변화 요인 간의 관련성, 기후변화의 각 요인들이 지구계 각 권역에 어떤 영향을 미치는지 양성/음성 피드백 과정이 드러나도록 기후변화 모델을 구성해야 한다는 것을 언급한 교사들도 있었다.

예비 교사 J: 전반적으로 학생들의 기후변화 모델에 대한 이해는 떨어지는 편이었으며, 자료 간에 상호 영향을 주는 양성 혹은 음성 피드백을 제시한 학생들은 거의 없었고 현상의 나열 정도로 그친 것을 확인할 수 있었다.

둘째, '복사평형의 원리' 기준은 기후변화를 설명할 때 지구복사에너지와 태양복사에너지의 출입을 포함해 온실효과나 복사평형의 원리를 설명해야 한다는 것을 의미한다. 3명의 교사가 해당 기준을 언급하였다.

예비 교사 A: (잘 구성된 모델은) 대기 중 이산화탄소 농도의 증가, 지구 온난화에 기여하는 정도, 복사평형 과정과 온실효과 등의 개념을 적절하게 조합하여 모델을 설정하였다.

셋째, '탄소 순환'은 기후변화를 설명할 때 이산화탄소와 같은 온실 기체의 역할, 탄소 순환과 관련된 내용이 포함되어야 한다는 것을 의미한다. 3명의 예비 교사가 기후변화를 온실 기체와 관련지어 설명해야 한다고 하였다. 예비 교사 K는 탄소 순환의 과정을 많이 포함하여 설명할수록 좋은 기후변화 모델이라고 평가하였다.

예비 교사 K: 탄소 순환의 과정을 3가지 이상 서술(예: 인간이 화석연료를 사용하면서 지구 내부에 있던 이산화탄소가 대기로 배출된다).

Zangori et al.(2017)은 기후변화의 다학제적 본성을 이해하고, 과학적인 추론을 향상시키기 위해 모델링 기반으로 기후변화를 다루어야 할 필요성을 주장하였으며, 특히 탄소순환과 기후변화 사이의 피드백 과정에 대한 이해가 중요하다는 것을 강조하였다. 본 연구는 탄소순환에 초점을 두기보다 더욱 광범위한 기후 시스템의 관점에서 다양한 기후변화 요인(자연적, 인간, 천문학적)을 함께 고려하는 모델을 학생들이 구성하였고, 그것에 대한 예비 교사들의 평가 기준을 조사한 것이기에, 탄소순환과 관련된 기준이 상대적으로 덜 드러난 것으로 보인다.

넷째, ‘기후변화가 생태계에 미치는 영향’은 기후변화가 생태계에 어떤 영향을 미치는지에 대한 설명을 포함하였는지와 관련된 기준으로, 3명의 예비 교사가 해당 기준을 언급하였다.

예비 교사 K: 해양의 용존 산소량으로 인한 변화 서술 (해양 생태계가 위협받고 있다는 것 서술)

이 기준에 대해서는 일부 교사들의 의견이 상이했다. 한 예비 교사는 특정 모델에 낮은 평가 점수를 준 이유로 ‘생태계 파괴와 같은 관련 없는 내용을 포함하였다(예비 교사 N).’라고 언급하였다. 이를 통해 대부분의 기후변화 교육 프로그램들은 생태계에 미치는 영향을 포함해 다루고 있기는 하지만(Park et al., 2020), 일부 교사들은 그와는 다른 생각을 가지고 있을 수도 있다는 것을 확인하였다. 이와 관련해서는 후속 연구를 통해 추가적으로 조사할 필요가 있다.

## 2. 의사소통 기준(communicative criteria)

의사소통 기준은 모델이 얼마나 의사소통에 용이하게 구성되었는지를 평가하는 기준이다. 즉 모델의 사용 목적과 관련된다. Pluta et al.(2011)은 명료성(clarity), 조직성(organization), 집중성(focus) 및 청중(audience) 등의 기준은 주로 의사소통과 관련되며 거의 모든 종류의 과학 모델에 적용된다는 점을 언급하였다. 본 연구에서는 의사소통 관련 기준이 표상의 적절성(appropriateness of the representation), 명료성(clarity)의 두 가지 기준으로 범주화할 수 있었으며, 각각 12명으로 절반에 가까운 예비 교사들이 각각 표상의 적절성과 명료성에 관련된 기준을 사용한 것으로 나타났다.

## 표상의 적절성(appropriateness of the representation)

표상의 적절성은 모델을 통한 효과적인 의사소통과 관련된 기준이다. 12명의 예비 교사들이 글, 그림, 화살표, 그래프 등 표현하고자 하는 현상에 적절한 표상 방식을 사용할수록 효과적인 모델이라고 언급하였다.

예비 교사 L: 자연 현상에 맞는 적절한 표상 매체와 표상 방법을 사용해야 더 좋은 모델이라고 할 수 있을 것이다. 화산 폭발이나 태양흑점과 같은 실제 현상들은 그림으로 동적인 모델을 구성하는 것이 좋지만 둘 이상의 변인들의 관계를 보이는 데에는 그래프나 그림을 통해서 설명하는 것이 더 효과적인 경우도 있으므로 모델의 가동성 또한 고려하여 모델을 구성하는 것이 좋다.

## 명료성(clarity)

명료성은 모델의 표현이 시각적으로 명료하여 다른 사람이 이해하기 쉬운지를 평가하는 기준이다. 12명의 교사들이 해당 기준을 언급하였다.

예비 교사 L: 그림들이 무엇을 표현하고자 하였는지 짐작하기 어려웠다

예비 교사 M: 학생(자신)이 이해를 했더라도 이를 구체적으로 명시해주는 것이 다른 학생들이 이해하기에 좋은 모델이라고 생각하기에 조금 더 구체적인 설명이 추가되면 좋을 것 같다.

과학 모델을 구성하는 목적 중의 하나가 의사소통이므로 표상의 적절성과 명료성은 모델을 평가하는 중요한 기준이라고 볼 수 있다. 그렇지만 표현이 명료한지와 사용된 표상 형태가 적절한지가 모델의 본질적인 내용과 관련된 요소는 아닐 수 있다. 특정 모델이 담고 있는 과학적 원리나 추론은 변화하지 않으면서 시각적 명료성을 높이거나, 표상 방식을 달리 해서 표현할 수 있기 때문이다.

## 결론 및 논의

본 연구의 목적은 예비 지구과학교사들이 학생의 기후변화 모델을 평가할 때 사용하는 기준들을 탐색하는 것이었다. 이를 위해 대도시 소재 사범대학에서 지구과학교육을 전공하며, 모델과 모델링 기반 학습 관련 강의를 수강한 예비 지구과학교사 25명의 기후변화 모델 평가 과제 보고서와, 사후 인터뷰 자료를

분석하여, 기후변화 모델 평가 기준의 범주와 구체적인 사례를 조사하였다. 연구를 통해 도출한 결론은 다음과 같다.

첫째, 예비 지구과학교사들이 사용한 기후변화 모델 평가 기준은 크게 과학지식으로서 갖추어야 할 조건과 관련된 인식론적 기준과 모델 사용의 사회적 목적과 관련된 의사소통 기준으로 범주화할 수 있었다. 세부 기준 중에서 과반수의 예비 지구과학교사가 사용한 기준은 논리적 추론, 증거에 의한 지지, 설명 범위(기후변화 요인 간의 상호 관련성과 지구계 시스템의 상호작용)이다.

둘째, 본 연구에 참여한 예비 지구과학교사 중 대다수인 23명이 인과관계나 메커니즘을 설명하는 논리적 추론 관련 기준을 기후변화 모델 평가 기준으로 사용하였다. 8명이 추론의 논리적, 개념적 오류 여부를 평가 기준으로 삼았다. 추론의 오류를 평가 기준으로 삼지 않은 교사들 중 일부는 학생들이 구성한 모델을 완성된 결과가 아닌 발전하는 과정 중에 있는 것으로 보았다.

셋째, 16명의 예비 지구과학교사는 모델이 다양한 증거에 의해 지지되어야 한다는 평가 기준을 사용하였다. 이는 기후변화 모델을 구성하는 과정이 다양한 관측자료를 기반으로 이루어졌기 때문으로 볼 수 있다.

넷째, 13명의 예비 지구과학교사가 기후변화 요인 간의 상호 관련성과 지구계 시스템의 상호작용을 기후변화의 설명 범위와 관련된 평가 기준으로 사용하였다. 이와 대조적으로 현재 지구과학 교육과정에서 강조되는 복사평형, 탄소 순환을 설명 범위 기준으로 사용한 예비 지구과학교사는 각각 3명이었다. 이는 기후변화를 모델링 기반 학습의 방법으로 다루었을 때 더욱 강조되는 설명 범위로 볼 수 있다.

연구 결과를 통해 도출한 시사점은 다음과 같다.

첫째, 기후변화 모델은 평가 과정에서 다양한 인식론적 기준들이 동원되므로, 과학지식으로서 과학 모델에 대한 인식을 구체화할 수 있는 소재로 활용할 수 있다. Nelson and Davis(2012)의 연구에서는 예비 교사들이 증발과 응축에 대한 학생 모델을 평가할 때 증거 관련 기준보다 미적 기준과 같은 모델의 표현과 관련된 기준을 더욱 많이 사용한 것으로 나타났다. 이와 달리 본 연구에서는 증거 사용 관련 기준과 논리적 추론 기준을 가장 많은 예비 교사들이 사용하였다. 즉 어떤 모델을 평가하는가에 따라서 일부 다른 기준이 강조될 수 있다. 특히 본 연구의 결과에

서 두드러진 ‘포괄성’의 기준은 많은 자료를 해석하고 그것을 종합하여 추론하고 설명하는 탐구 기능과 관련되는데 선행연구들에서는 크게 강조되지 않았던 부분이다. 기후변화와 같은 광범위한 현상을 모델링 기반 학습의 주제로 삼을 경우 선행 연구들에서 강조되지 않았던 다양한 인식론적 평가 기준을 동원하게 하여 학생과 교사의 과학 모델에 대한 인식을 구체화할 수 있을 것이다.

둘째, 기후변화는 지구과학 교과에서 각 분과학문을 함께 다룰 수 있는 주제 통합의 소재로 활용할 수 있을 것이다. 절반 이상의 예비 지구과학교사는 학생의 기후변화 모델이 지구계 각 권역 간의 상호작용의 양상을 설명하고 있는지를 평가 기준으로 삼았다. 이러한 기준을 사용한 예비 지구과학교사들이 생각하는 기후변화 모델은 단순히 기후가 왜 변화했고 앞으로 어떻게 변화할 것인지 만을 설명하는 게 아니라 기후변화가 지구계 각 권역에 미치는 영향, 지구계 권역 간의 상호작용, 양성, 음성 피드백 과정 등 지구 시스템의 관점에서 설명되어야 한다. 시스템적 사고, 통합적 사고가 점차 중요해지고 있는 상황에서 지구 기후변화는 지구과학의 각 분과를 통합할 수 있는 좋은 소재가 될 수 있을 것이다.

셋째, 기후변화 주제를 모델링 기반 학습의 형태로 다룰 경우 자료 해석, 논리적 추론을 통해 종합적인 설명을 구성하는 등 학생들이 과학 탐구의 구체적인 기능들을 습득할 수 있을 것이다. 앞서 예비 지구과학교사들이 인식하고 있는 것과 같이 기후변화 모델링을 위해서는 수많은 관측 자료들을 해석 및 비교 검토하고 그것을 바탕으로 과학적 추론을 이끌어내는 과정이 필수적이기 때문이다.

넷째, 본 연구의 결과는 과학자들이 과학 모델 혹은 과학 지식을 평가할 때 동원하는 외적 정합성의 기준과 교사가 학생의 모델을 평가할 때 동원하는 외적 정합성의 기준이 다를 수 있음을 보여주었다. Oh and Lee(2014)의 연구에서 예비 초등 교사들은 자신들이 옳다고 믿는 과학 이론에 비추어 상대방의 모델의 타당성을 평가한 것과 달리 본 연구에 참여한 예비 지구과학교사들의 일부는 지구과학 교육과정의 내용과 일치하는지를 중심으로 기후변화 모델을 평가하였다. 학문적 맥락에서의 모델 평가와 과학 수업에서의 모델 평가는 그 맥락이 다른데, 과학지식을 평가하는 인식론적 기준도 그 맥락의 영향을 받는 것이다. 우리나라와 같은 국가 교육과정이 강력한 영

향력을 행사하는 체제에서는 교육과정이 제시하는 기후변화 관련 내용의 폭과 깊이가 교사에 의한 기후변화 교육의 방향을 상당 부분 결정할 것이다. 따라서 지구과학 교육과정에서 기후변화를 어떻게, 어디까지 제시할 것인지에 대한 논의도 충분히 이루어져야 할 것이다.

예비 지구과학교사들의 기후변화 모델 평가 기준은 기후변화 모델링이 단순히 기후변화를 완벽히 설명하는 정답을 구하거나, 몇 가지 개념을 이해하는 것 이상임을 보여준다. 이들의 평가 기준에 따르면 기후변화 모델은 상호 연관된 지구 시스템의 관계를 이해하여, 지구계 각 권역에서 일어나는 일들을 종합적으로 사고하고, 복잡한 메커니즘과 인과관계를 포괄적으로 설명하는 과정에서 논리적 추론을 통해 구성되어야 한다.

기존의 과학교육 분야의 모델 평가 관련 연구는 물리(Cheng and Brown, 2010; Nelson and Davis, 2012; Oh and Lee, 2014; Schwarz and White, 2005) 생물(Hogan and Maglienti, 2001) 분야에서 주로 이루어져왔는데, 이 연구는 ‘기후변화’이기 때문에 더욱 강조되는 인식론적 기준을 탐색함으로써 지구과학 분야에서 주로 다루는 현상들의 특성인 시공간 스케일이 광범위하고 복잡성을 띠는 기후변화 현상을 모델링 기반 학습을 통해 다루기 위한 기초를 마련했다는 것에 의의가 있다.

한편 이 연구는 대도시 소재 사범대학에 재학 중인 일부 예비 지구과학교사를 대상으로 이루어졌다. 따라서 모든 예비 지구과학교사의 생각으로 일반화하기는 어렵다는 한계가 있다. 또한 이 연구는 사범대학 지구과학교육전공 과정에서 다루었던 모델과 모델링 기반 학습에 대한 내용이 예비 교사들의 인식과 모델 평가 기준을 형성하는데 어떤 역할을 했는지에 대해서는 조사하고 있지 않아 추가적인 연구가 필요하다. 또한 현장 지구과학교사들에 대한 연구가 필요하며, 학생들이 기후변화 모델을 구성해가는 과정에서 서로의 모델을 평가, 수정할 때 동원하는 다양한 기준들 또한 탐색할 필요가 있다.

## 사 사

이 논문은 2019년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2019S1A5A2 A03048062).

## References

- Anderson, A., 2012, Climate change education for mitigation and adaptation. *Journal of Education for Sustainable Development*, 6(2), 191-206.
- Cha, H.J., 2020, Understanding of middle school students' practice in modeling-based learning about solar rotation using SOHO data: Focusing on conceptual resources and authority. Korea. Seoul National University, Seoul, Korea, 251 p. (in Korean)
- Cheng, M.F., and Brown, D.E., 2010, Conceptual resources in self-developed explanatory models: The importance of integrating conscious and intuitive knowledge. *International Journal of Science Education*, 32(17), 2367-2392.
- Chang, H.Y., and Chang, H.C., 2013, Scaffolding students' online critiquing of expert-and peer-generated molecular models of chemical reactions. *International Journal of Science Education*, 35(12), 2028-2056.
- Cho, E., Kim, C.J., and Choe, S.U., 2017, An investigation into the secondary science teachers' perception on scientific models and modeling. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(5), 859-877. (in Korean)
- Clement, J., 2008, Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. In J.J. Clement, and M.A. Rea-Ramirez (eds.). *Model based learning and instruction in science* (pp. 203-243). NY: Springer
- Duschl, R.A., and Grandy, R.E., 2008, Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates. In R.A. Duschl, and R.E. Grandy (eds.). *Teaching scientific inquiry: recommendations for research and implementation*, Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands, 1-37.
- Giere, R., Bickle, J., and Mauldin, R., 2006, Understanding scientific reasoning. Thomson/Wadsworth, Belmont, CA, 320 p.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., and Smith, C.L., 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.
- Hogan, K., and Maglienti, M., 2001, Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 38(6), 663-687.
- IPCC., 2013, Summary for policymakers. In: *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Stocker,

- T.F., D. Qin, G-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Justi, R., and Van Driel, J., 2005, A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modelling. *Research in Science Education*, 35(2), 197-219.
- Kim, C.K., and Choi, D.H., 2010, Thoughts on climate change education in Korea. *Hwankyungkyoyuk*, 23(1), 1-12. (in Korean)
- Kwon, J.Y., and Moon, Y.S., 2009, Development of the goal and the content system for the climate change education. *Hwankyungkyoyuk*, 22(1), 68-82. (in Korean)
- Monroe, M.C., Plate, R.R., Oxarart, A., Bowers, A., and Chaves, W.A., 2019, Identifying effective climate change education strategies: a systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791-812.
- Nelson, M.M., and Davis, E.A., 2012, Preservice elementary teachers' evaluations of elementary students' scientific models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. *International Journal of Science Education*, 34(12), 1931-1959.
- Nersessian, N.J., 1995, Should physicists preach what they practice?. *Science and Education*, 4(3), 203-226.
- Nersessian, N.J., 2002, The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Stich, and M. Siegal (eds.), *The cognitive basis of science*. Cambridge University Press, Cambridge, 17-34.
- National Research Council., 1996, *National science education standards*. National Academies Press.
- National Research Council., 2012, *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. National Academies Press.
- Oh, P.S., Jon, W.S., and Yoo, J.M., 2007, Analysis of scientific models in the earth domain of the 10 th grade science textbooks. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(4), 393-404. (in Korean)
- Oh, P.S., and Lee, J.S., 2014, Criteria for evaluating scientific models used by pre-service elementary teachers. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 34(2), 135-146. (in Korean)
- Park, N.E., Choe, S.U., and Kim, C.J., 2020, Analysis of climate change education (CCE) programs: Focusing on cultivating citizen activists to respond to climate change. *Asia Pacific Science Education*, 1(aop), 1-26.
- Park, W.Y., 2020, *The impact of project activities on cultivation of ecological citizenship in high school climate change club*. Korea. Seoul National University, Seoul, Korea, 158 p. (in Korean)
- Penner, D.E., Giles, N.D., Lehrer, R., and Schauble, L., 1997, Building functional models: Designing an elbow. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 34(2), 125-143.
- Pluta, W.J., Chinn, C.A., and Duncan, R.G., 2011, Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486-511.
- Rea-Ramirez, M.A., Clement, J., and Núñez-Oviedo, M.C., 2008, An instructional model derived from model construction and criticism theory. In J.J. Clement and M.A. Rea-Ramirez. (eds.), *Model based learning and instruction in science*, Springer, Netherlands, 23-43.
- Saldaña, J., and Omasta, M., 2016, *Qualitative research: Analyzing life*. Sage Publications.
- Schwarz, C.V., and White, B.Y., 2005, Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and instruction*, 23(2), 165-205.
- Strauss, A., and Corbin, J., 1998, *Basic of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Sage. 270 p. (Translated by Shin, G. L., 2001, Hyunmunsa)
- Sharma, A., 2012, Global climate change: What has science education got to do with it?. *Science and Education*, 21(1), 33-53.
- Smith, C.L., Maclin, D., Houghton, C. and Hennessey, M.G., 2000, Sixth-grade students' epistemologies of science: The impact of school science experiences on epistemological development. *Cognition and Instruction*, 18, 349-422.
- Woo, J., and Nam, Y.S., 2012, Development and application of climate change education program in middle school science. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 32(5), 938-953. (in Korean)
- Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P., and Sadler, T.D., 2017, Student development of model-based reasoning about carbon cycling and climate change in a socio-scientific issues unit. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(10), 1249-1273.