

지구의 복사 평형에서 평형과 상호 작용 개념에 대한 예비 지구과학 교사들의 인식

홍주현 · 서은경^{1*}

대전여자중학교 · ¹공주대학교

Earth Science Prospective Teachers' Perceptions on Equilibrium and Interaction Concepts in Earth's Radiative Equilibrium

Joo Hyeon Hong · Eun-Kyoung Seo^{1*}

Daejeon Girl's Middle School · ¹Kongju National University

Abstract : This study examines how prospective earth science teachers perceive the concept of "equilibrium" and "interaction between Earth's spheres" in understanding Earth's radiative equilibrium and tries to identify their misconceptions. For this purpose, a questionnaire was designed and put to them to look into their thought flow based on the items that appeared in the national level evaluation. As a result of analyzing their answers, even though all the prospective teachers correctly described the concept of radiative equilibrium, about 90% of them did not apply the concept of radiative equilibrium to the new environment of the Earth without atmosphere. They do not seem to be able to smoothly derive the concept of a new 'interaction' between the changed regions and a new 'equilibrium' that will be reached over a long period of time. In this respect, it is likely that the textbooks had some influence on the formation of their concepts. In particular, high school Earth Science textbooks describe the Earth's radiation equilibrium in a quantitative manner, focusing on the heat budget of the equilibrium state rather than the process of reaching radiation equilibrium. Such an approach of textbooks might be an obstacle to fostering students into creative convergence-type talents pursued in the 2015 revised curriculum. Meanwhile, in order to eliminate the misconceptions of students often found in the understanding of Earth's radiation equilibrium, this study suggests that the core concepts need to be dealt with more attention even in college courses for training prospective teachers.

keywords : earth's radiative equilibrium, interaction, equilibrium, misconception, prospective earth science teachers

I. 서론

2020년부터 모든 중·고등학생들에게 적용된 2015 개정 교육과정은 '바른 인성을 갖춘 창의융합형 인재' 육성을 위한 핵심 역량을 새롭게 도입하였다(MOE, 2015). 이는 학교 교육을 통해 학생들이 단순 암기와 주입식 학습에서 벗어나, 학생들 스스로가 학습한 내용들을 기반으로 일종의 연결망 및 군집체인 핵심 개념을 이용하여 새로운 상황에 전이시킬 수 있도록 하기 위함이다(Kim *et al.*, 2021). 따라서 학습 개념을 깊이 이해하고 진정한 배움을 가지기 위해서는 학습자들이 교육 내용의 대상인 세계(사물)와 만나고 대화

를 해야 할 것이다(Sato, 2012). 이를 위해 중요한 것은 학생들의 선개념이다. 학습자의 선개념은 과학적 개념에 모순되더라도 학습자의 인지구조에 논리적으로 통합되어 교수학습의 영향을 크게 받지 않거나 그대로 존속하여 새로운 오개념으로 발달하기도 한다(e.g., Cho, 2007). 또한 오개념은 학습량에 관계없이 지속적으로 영향을 미치기 때문에 과거에 배운 학습의 영향 아래에 있을 수 있으며(Osborne and Freyberg, 1985), 학생들이 파지하고 있는 기존 개념을 강화시키거나 새로운 형태의 대체 개념으로 발전하기도 한다(Cho, 2007; Cho *et al.*, 2005; Gwon *et al.*, 2012; Kook, 2004). 이와 같이 특히 학습자들이 지니고 있

* 교신저자: 서은경 (ekseo@kongju.ac.kr)

** 이 논문은 홍주현의 2020년도 석사 학위논문을 기초로 보완 연구를 하여 수정한 것임.

*** 이 논문은 공주대학교 연구년 사업에 의하여 연구된 것임.

**** 2023년 2월 8일 접수, 2023년 4월 20일 수정원고 접수, 2023년 4월 20일 채택

http://dx.doi.org/10.21796/jse.2023.47.1.52

는 오개념은 단기간의 학습으로 쉽게 바뀌지 않으며 과학의 교수학습에 장애 요인으로 작용한다(Cho *et al.*, 2005; Lee, 2012).

한편, 학교 교육에서 교과서는 교사나 학습자 모두에게 가장 중요한 학습 자료이기 때문에 교과서의 개념 진술은 과학적이고 구체적이어야 하며, 교과서의 그림이나 도표는 과학 개념의 효과적 이해를 위해 시각적 효과를 가지도록 구성되어야 한다(Cho *et al.*, 2005; Gwon *et al.*, 2012; Kook, 2004). 그러나 교과서 저자에 따라 일정 개념에 대한 기술과 설명이 불충분하여 학습에 어려움이 더해지는 경우도 있다(Lee *et al.*, 2003). Kang *et al.* (2019)과 Kang (2020)는 전국 단위의 대학수학능력시험 지구과학 I 모의평가 문항에 대한 이의 제기가 교과서의 부정확한 개념 서술에 기반한 오개념으로부터 기인한 것임을 밝혔다. 이와 같이 지구과학의 중요 개념에 있어서 오개념과 이에 대한 교과서의 역할에 대한 연구들이 진행되어 왔다(e.g., Kang *et al.*, 2019; Lee *et al.*, 2022).

특히 복사 평형과 열평형 개념은 고등학교 지구과학 교육과정에서 매우 중요한 개념임에도 불구하고 학생들이 여전히 다양한 오개념을 형성하고 있는 것

으로 알려져 있다(Gwak, 2004; Je & An, 1999; Lee, 2000; Lee *et al.*, 2003; Lee *et al.*, 2022; Mun *et al.*, 2004; Yu *et al.*, 2022). 이들 개념의 이해 및 적용에 대한 평가 문항들은 국가 수준뿐만 아니라 단위 학교의 지필 평가에서 자주 등장하고 있다. Table 1은 한국교육과정평가원 대학수학능력시험과 모의평가의 지구과학 I에서 최근 출제된 문항의 질문 내용을 요약한 것이다. 대체로 이들은 지구 복사 평형 및 지구 온난화 상황에서 다양한 요소들의 에너지 출입 관계에서 요소의 변화를 묻는 방식이다. 특히 Table 2의 [문항 2]는 지구 복사 평형 개념과 관련된 열수지 변화 요소를 묻는 진술문을 제시한 것이다. 이 진술문에 대한 진위는 참이었다. 이 연구의 문제 인식은 “대기가 없다면 지구 복사는 증가한다.”라는 진술문의 진위 판단을 하는 데에 있어서 새로운 평형 및 새로운 상호 작용 개념까지 내포하여 판단해야 하는가에서 출발하였다. 대기가 없다면 현재의 각 권역들은 변화를 겪게 될 것이며, 권역간의 상호 작용을 통해 또 다른 평형 상태에 도달할 것임을 예상해볼 수 있다. 즉, 지구가 새로운 복사 평형 상태에 놓이게 되기까지 상당히 오랜 시간이 필요할 것이다. 따라서 과연 지구 복사가 증가하게 될 것인가에 대한 의문이 발생한다.

Table 1. Questions from Korea Institute for Curriculum and Evaluation dealing with surface-atmosphere interaction, energy balance, and radiative equilibrium.

지구과학 I 문항	복사 평형 관련 문항의 질문 내용
2014학년도 대학수학능력시험 7번	<ul style="list-style-type: none"> 지구 온난화의 영향으로 대기가 흡수하는 지표 복사와 대기가 지표로 방출하는 대기 복사 증가
2015학년도 대학수학능력시험 9월 모의평가 12번	<ul style="list-style-type: none"> 지표의 알베도에 영향을 주는 요인 온실 기체가 증가하면 대기가 지표로 방출하는 대기 복사 증가
2016학년도 대학수학능력시험 6월 모의평가 13번	<ul style="list-style-type: none"> 온실 효과의 영향으로 지표면 평균 온도 증가 지구의 알베도가 증가에 따른 지구 복사 감소
2016학년도 대학수학능력시험 9월 모의평가 14번	<ul style="list-style-type: none"> 온실기체가 증가하면 대기가 지표로 방출하는 대기 복사 증가
2017학년도 대학수학능력시험 9월 모의평가 10번	<ul style="list-style-type: none"> 대기-지표 간 상호 작용의 결과(온실 효과), 알베도, 지구 복사 지구 온난화의 영향으로 대기가 흡수하는 지표 복사 증가
2018학년도 대학수학능력시험 6월 모의평가 17번	<ul style="list-style-type: none"> 지구 온난화의 영향으로 대기가 지표로 방출하는 대기 복사 증가
2018학년도 대학수학능력시험 18번	<ul style="list-style-type: none"> 지구 복사의 어느 부분이 지표에서 방출하는 것인지 확인
2020학년도 대학수학능력시험 9월 모의평가 13번	<ul style="list-style-type: none"> 온실 기체의 증가로 대기가 지표로 방출하는 대기 복사 증가
2020학년도 대학수학능력시험 10번	<ul style="list-style-type: none"> 온실 기체의 증가로 대기가 흡수하는 지표 복사 증가

그럼에도 불구하고 이 문항에 대해 별다른 이론의 여지가 없었던 것과 이와 유사한 출제 문항들이 때때로 등장하는 것을 감안할 때, 출제자와 학습자가 한 권역의 변화가 다른 권역의 변화를 일으키며, 변화된 권역 간의 '상호 작용에 의해 도달하는 새로운 평형'의 개념을 도입하여 인식하지 않았던 것으로 보인다. 사실상 이러한 과학적 개념의 올바른 정립은 고교 과정의 수준을 넘어가는 것일 수 있다. 그러나 이러한 본질적인 핵심 내용을 간과하는 것은 고등학교 과학 교육 현장의 큰 손실로 이어질 수 있다. 특히, 연결성과 전이성의 특징을 가지는 핵심 개념이 과학적 개념 및 상황과는 동떨어지게 구성될 수 있을 것이다.

지구의 복사 평형과 관련하여 2015 개정 교육과정은 “온실 효과와 지구 온난화를 복사 평형의 관점으로 설명할 수 있어야 한다.”, “다양한 자연 현상이 지구 시스템 내부의 물질 순환과 에너지 흐름의 결과임을 논증할 수 있어야 한다.”라고 명시하며(Ministry of Education, 2015), 또한 2009 개정 교육과정은 ‘태양 복사 에너지와 지구 복사 에너지의 평형을 이해 및 지구 온난화를 지구 열수지와 관련지어 이해’, ‘에너지의 순환 및 물질 교환의 관점에서 지구계를 구성하는 각 권의 상호작용 이해’ 등을 강조하고 있다(Ministry of Education, Science and Technology, 2011).

따라서 지구 복사 평형을 지도할 예비 지구과학 교사들이 권역 간의 변화에 따른 ‘상호 작용에 의해 도달하는 새로운 평형’의 개념에 대해 어떠한 이해를 가지고 있는지를 우선 확인해볼 필요가 있다. 이를 위해 본 연구는 질문지를 개발하여 검사 도구로 사용하였다. 다만 예비 지구과학 교사들의 이해에는 대학에서의 학습뿐만 아니라 중등 교육과정에서의 학습 경험과도 무관하지 않을 것이다. 따라서 이들이 가지고 있는 복사 평형 개념에 대한 심층 인식을 분석하면서, 이들이 이수한 중·고교 교과서의 기술 방식이 이들의 개념 형성에 영향을 미쳤는지를 밝힐 필요가 있을 것으로 사료된다. 지구 복사 평형과 관련하여 지구과학 예비교사들의 인식을 연구하기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 예비 지구과학 교사는 ‘지구의 복사 평형’을 이해하는 데에 있어서 ‘평형에 도달하기까지의 과정(시간의 경과)’과 ‘각 권역 사이의 상호 작용’의 개념을 끌어들이는가?

둘째, 이와 관련하여 이들이 이수한 중·고등학교 교과서는 어떻게 서술하고 있는가?

이들 연구 문제의 해결을 통해 예비 교사뿐만 아니라 중·고등학교 학생들의 정확한 개념 형성에 있어서 방해 요소를 제거하며, 또한 올바른 과학 개념 형성을 위한 해결 방안을 제시하고자 한다. 더 나아가서 이

연구는 고등학교 학습 과정에서 다소 미흡했던 과학 개념들을 파악함으로써 대학 교육에서 좀 더 심도 있게 다루어지는 기회를 제공할 수 있으리라 사료된다.

II. 연구 방법 및 절차

본 연구는 국가 수준뿐만 아니라 단위 학교의 지필 평가에서 자주 출제되는 복사 평형 문항에 대한 문제 인식에 기반하여, 연구 대상인 예비 지구과학 교사들이 대기가 없는 새로운 지구 환경 상황의 인식과 더불어 변화된 권역간 오랜 기간 동안의 ‘상호 작용’과 이로 인한 새로운 ‘평형’의 개념을 이끌어 내는지의 여부를 살펴보고자 하였다. 이를 위해 이 장은 복사 평형과 관련한 대기과학적 배경 이론과 예비 교사들이 이수한 중·고교 교육과정을 살펴봄, 질문지를 구성하는 문항들에 대한 설계 의도를 제공한다.

1. 복사 평형에 대한 이론적 배경

우주 공간에서 지구를 볼 때, 지구의 반절은 태양 복사 에너지를 끊임없이 받고 있으며, 동시에 지구 전체는 복사 에너지를 지속적으로 방출하고 있다. 입사하는 태양 복사 에너지와 방출하는 지구 복사 에너지가 서로 균형을 이룰 때, 지구 시스템은 복사 평형 상태에 있게 된다(Ahrens, 2009). 특히 지난 수십년간 대기 중의 온실 기체의 증가는 이러한 평형 상태를 교란하여 지구 온난화를 일으키는 것으로 알려져 있다. 따라서 지구 온난화 현상을 이해하는 데 있어서 복사 평형의 개념은 핵심 학습 요소가 된다. 이 연구의 중심 개념인 열평형, 복사 평형, 열역학적 평형, 상호 작용에 대한 과학적 개념 정립을 위하여 4종의 대기과학 전공 교재를 기준으로 핵심 내용만을 요약하였다(Ackerman & Knox, 2002; Ahrens, 2009; KMS, 2003; Lutgens & Tarbuck, 2009).

가. 열평형(thermal equilibrium)이란 전도, 대류, 복사의 형태로 온도가 높은 곳의 물체에서 온도가 낮은 곳의 물체로 열에너지가 이동하여, 그 두 물체 사이의 온도가 서로 같아짐으로 인해 열에너지의 이동이 더 이상 없는 상태를 말한다(Adkins, 1983).

나. 복사 평형(radiative equilibrium)은 열평형의 특정한 경우로, 열 교환이 복사에 의해 전달되는 경우이다. 지구의 복사 평형은 어떤 물체가 흡수하는 복사 에너지와 방출하는 복사 에너지가 같은 상태를 말한다(Lutgens & Tarbuck, 2009). 지구의 온도가 장기적인 관점에서 상승하거나 하강하지 않고 일정한 상태를 유지하는 이유는 지구 전체가 복사 평형을 이루고 있기 때문이다(KMS, 2003).

다. 열역학적 평형(thermodynamic equilibrium)은 어떤 열역학계의 내부 상태로서, 물질이나 에너지의 거시적 알짜 흐름이 부재한 것을 말한다. 열역학적 평형 상태에서는 물질의 상전이 같은 거시적 열역학적 상태량은 변화하지 않는다. 달리 말하면, 계의 상태가 변화하는 것은 곧 열역학적 평형에서 벗어나 있다는 것을 의미한다(Adkins, 1983).

라. 상호 작용(interaction)은 둘 이상의 사물이나 현상이 서로 원인과 결과가 되는 작용이다(RIKS, 2009). 한쪽 방향으로 영향이 나타나는 인과관계와는 달리 양쪽 방향으로 영향이 나타난다.

2. 연구 대상들이 이수한 교육과정

본 연구는 대학에서 6학점의 대기과학 전공 필수 수업을 이수한 예비 지구과학 교사 24명을 대상으로 진행하였다. 이들이 이수한 교육과정별로 선정된 교과서는 2007 개정 교육과정 중학교 3학년 과학(두산동아 출판사)(Kim *et al.*, 2012), 2009 개정 교육과정 고등학교 1학년 과학(금성)(Ahn *et al.*, 2011), 2009 개정 교육과정 고등학교 지구과학 I(교학사)(Lee *et al.*, 2011a), 지구과학 I(천재교육)(Choi *et al.*, 2011a), 지구과학 II(교학사)(Lee *et al.*, 2011b), 지구과학 II(천재교육)(Choi *et al.*, 2011b)이다. 이후로는 이들 교과서를 각각 A, B, C, D, E, F로 지칭하였다. 이들 교과서의 온실 효과 및 지구 열수지 평형 서술과 그림에 포함된 평형, 복사 평형 및 상호 작용 개념을 중심으로 살펴보았다. 한편, 예비 교사들이 이수한 교육과정은 현재의 2015 개정 교육과정과 다소 다르지만, 지구의 복사 평형과 열수지는 지구과학에서 여전히 중요 개념으로 다루어지고 있다.

3. 질문지 설계

본 연구는 예비 지구과학 교사들이 지니는 '복사 평형' 개념에 대한 고찰을 시작으로, '상호 작용'과 '평형'의 개념을 적용하여 해결하는지를 탐색하기 위하여 일련의 순차적이고 체계적인 문항들을 개발하여 질문지를 설계하였다(Table 2). 본 연구에서 사용된 질문지는 현직 과학 교육 전문가 1명, 현직 교사 3명, 대기과학 전문가 1명과의 개별 면담에서 얻어진 분석 결과에 따라 크게 세 가지 필수 학습 요소를 지닌 총 6개의 문항으로 개발되었다. 특히 현직 교사 3명을 대상으로 예비 검사를 실시하여 문항의 적절성, 용어, 서술상의 문제 등을 수정·보완하였다. 이를 근거로 과학 교육 전문가 1명과 대기과학 전문가 1명의 검토를 거친 후 최종적으로 설문지를 보완하였다. 이러한 연

구 과정을 바탕으로 "학습자들은 한 권역의 변화로 인한 각 권 사이의 새로운 '상호 작용'과 오랜 시간에 걸쳐 도달하게 되는 '평형'(즉, 과정)에 대한 개념이 미흡할 것이다."라는 가설을 설정하여 질문지의 방향을 구성하였다. 질문지는 사고 과정을 자연스럽게 파악할 수 있도록 총 6개 문항으로 구성되어 있으며, 특히 대기가 없을 때, 각 권역의 변화를 인식했는지와 새롭게 도달하게 되는 평형 상태를 이끌어 낼 수 있는지를 확인하기 위하여 반성적 사고를 할 수 있는 기회를 제공하였다. 또한 판단 근거를 서술하도록 함으로써 사고의 흐름을 들여다 볼 수 있도록 설계하였다. 특히 예비 검사를 통해 문항의 적절성, 용어, 서술상의 문제 등을 수정, 보완하여 질문지를 최종적으로 확정하였다. 본 질문지는 대기과학 전문가와 현직 지구과학 교사들의 내용 타당도 검증 과정을 거쳐 검사의 목적과 평가 도구의 내용이 잘 일치하도록 구성되었다. 질문지 문항과 검사 내용을 Table 2에 나타내었으며, 각 문항에 대한 검사 내용의 설계 의도는 다음과 같다.

[문항 1]은 피설문자가 복사 평형에 대한 개념을 정의할 수 있는지 알아보기 위한 개방형 질문을 제시하였다.

[문항 2, 3]은 대기가 없을 때 지구의 모든 권역의 변화된 지구 환경을 인식하고, 기존의 평형 상태가 깨지면서 새롭게 도달하게 되는 복사 평형 상태를 인지하였는지에 관한 질문이다. 이 문항은 특히 전국 단위 평가에서 출제된 문항을 그대로 사용하였다. 이 문항에서 대기가 없을 때, 특히 지구 복사(a)가 '모든 권역으로부터 방출하는 지구 복사'를 의미하는 것인지 또는 '지표 복사'를 의미하는 것인지를 살펴보는 관점을 유지하였다.

[문항 4]는 이전 문항과 분리하여 새로운 페이지에 구성하였다. 이를 통해 이전 문항에서 대기가 없을 때 지구가 새로운 복사 평형에 도달하게 될 것을 고려했는지에 대한 반성적 생각의 기회를 제공하였다.

[문항 5, 6]을 통해 대기가 없을 때 각 권역들의 변화로 인해 지구 또는 지표의 알베도 변화를 고려하였는지와 이로 인한 지구의 새로운 복사 평형 상태를 상정하였는지를 알아보고자 하였다. 특히 [문항 5]에서는 설문지 연구대상인 예비 교사들에게 반성적으로 생각해볼 기회를 제공하였고, [문항 6]을 통해 대기가 없을 때 지구는 궁극적으로 알베도의 변화로 인해 새로운 복사 평형 상태로 진입함을 인지하는지를 살펴보고자 하였다. 또한 필수 학습 요소에 대한 연구 대상의 사고의 흐름을 좀 더 심층적으로 관찰하기 위하여 [문항 6]을 개방형 질문으로 구성하였다.

Table 2. The list of concept categories and intentions of questions in the questionnaire for this study

필수 학습 요소	검사 문항	측정 요소
지구의 복사 평형	<p>[문항 1] ‘복사 평형’이란 무엇인지 자유롭게 기술해주세요.</p>	복사 평형 정의
<p>지구의 복사 환경 변화</p>	<p>[문항 2, 3, 4] 그림은 복사 평형 상태에 있는 지구의 열수지를 나타낸 것입니다.</p> <p>[문항 2] 대기가 없다면 지구복사(a)는 어떻게 될까요? ① 감소한다. ② 일정하다. ③ 증가한다. ④ 알 수 없다.</p> <p>[문항 3] 그렇게 생각한 이유가 무엇인지 글과 그림으로 구체적으로 기술해주세요. (가능하다면 예시를 참조하여, 정량적으로 기술해주세요.)</p>	<p>변화된 지구 환경 인식 및 열수지 추론</p>
<p>지구 권역간 상호 작용</p>	<p>[문항 4] [문항 3]을 답할 때 복사 평형 상태하의 복사 수지(budget)를 기술했나요? ① 예 ② 아니요</p> <p>[문항 4.1] (‘②아니요’에 답한 분만 답변) 대기가 없다면 도달하는 새로운 복사 평형 상태를 고려한다면, 지구복사(a)는 어떻게 될까요?</p> <p>[문항 5, 6] 다음 문항에 대한 생각을 답해주세요.</p> <p>[문항 5] 대기가 없다면 지구의 알베도가 어떻게 될까요? ① 여전히 같다. ② 감소한다. ③ 증가한다. ④ 알 수 없다.</p> <p>[문항 6] 그 이유를 서술해주세요.</p>	<p>새로운 ‘평형’ 인식</p> <p>변화된 권역 간의 상호 작용 인식</p>

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

이 연구는 국가 수준과 단위 학교의 지필 교사의 평가 문항 내에 자주 등장하는 “대기가 없다면 지구 복사는 증가한다.”라는 진술문을 사용하여 예비 교사들의 개념 인식을 조사하였다. 특히 이 진술문에 대해서 반드시 언급되어야 할 것은 단서 조건이 충분하지 않았다는 점이다. 즉, “대기가 없다.”라는 문항의 조건은 “다른 권역의 복사적 특성은 그대로 유지되는 것인가?” 등과 같은 의문을 유발시킬 수 있다. 예를 들

어, “지구 전체의 알베도는 이전과 동일하다고 가정해야 하는가?”, “지표의 현재 알베도만을 고려하여 태양 복사에 대한 지구의 흡수를 산출해야 하는가?”, “마치 달과 같은 상태를 고려해야 한다면 변화된 지표면은 어떠한가?”, “기권의 대격변은 다른 권역에 영향을 주어 지구는 현재와는 완전히 다른 행성으로 변화하지 않는가?” 등과 같은 질문들이 서로 엮여 있을 것이다. 따라서 예비 교사들의 다양한 답변들을 예상해볼 수 있기 때문에 이들의 진위 판단에 대한 서술형 답변의 인과성, 합리성, 논리성 등을 고려하여 인식을 분석하였다. 특히 평형과 상호 작용에 대한 개념을 이끌어

내어 적용하고 있는지를 중점적으로 살펴보았다. 또한 이들에게 영향을 주었을 중·고등학교 과정의 교과서 서술 내용을 조사하였다.

1. 질문지 답변에 대한 분석

[문항 1]은 다소 포괄적인 개념에 대한 질문인 반면에, [문항 2]부터는 이 연구에서 궁극적으로 묻고자 하는 내용을 포함하고 있다. 이들 문항의 답변에 대한 분석은 다음과 같다.

1) [문항 1] 복사 평형 개념

[문항 1]은 ‘복사 평형’에 대해서 응답자들이 자유롭게 기술하도록 함으로써 이들의 개념 이해를 파악하고자 하였다. [문항 1]에 대해 13명(54%)은 흡수하는 복사량과 방출하는 복사량이 같은 것이라고 했고, 6명(25%)은 출입하는 복사가 평형을 이룬 상태라고 답변하였다. 5명(21%)은 출입하는 복사량이 같아져 온도가 변하지 않는다고 답변하였다. 답변자 모두가 복사 평형 개념을 바르게 정의하였다.

2) [문항 2, 3] 새로운 환경에서의 지구 복사 평형

지구에 대기가 없을 때 지구 복사(a)의 변화에 대해서 감소, 일정, 증가, 알 수 없음이라는 다양한 답변이 나왔으며, 이들은 각각 2명(8.3%), 1명(4.2%), 19명(79.2%), 2명(8.3%)이었다. 또한 서술형 답변을 통해 이들이 지니고 있는 개념을 아래와 같이 네 가지로 분류하였다.

첫째, 온실 효과 개념을 끌어들이 이해하였다. 이는 대기가 없을 때 지구 복사가 감소하거나 일정하다고 답변한 3명에게서 나타났다. 이들은 “온실 효과의 영향으로 지구 전체의 온도가 데워지기 때문에, 대기가 없으면 온실 효과의 부재로 인해 지구 전체의 온도가 감소함으로 지구 복사가 감소한다.”라고 답변하였다. 온실 효과가 지표뿐만 아니라 지구계 전체의 온도를 상승시킨다는 인식으로 보아 복사 평형 상태에 있는 지구 전체의 유효 복사 온도를 엄밀하게 이해하지 못하는 것으로 판단된다. 또한 이들은 대기가 없는 상황에 대해 알베도의 변화를 미처 생각하지 못하였다.

둘째, 복사 평형에 다소 불완전한 개념을 지닌다. 대기가 없을 때 지구 복사(a)가 증가한다고 답변한 19명 중 2명이 이에 해당한다. 온하 대기가 없을 때 지표의 알베도를 4단위로 고정시킨 채 지표가 태양 복사를 96단위만큼 흡수한다고 답변하면서, 지표는 여전히

독립적으로 133단위를 방출한다고 답변하였다. 이들은 복사 평형 상태의 열수지가 권역 간의 상호 작용에 의해 형성되는 것과 복사 평형을 전반적으로 잘 이해하지 못하는 것으로 보인다.

셋째, 대기-지표 간 흡수·방출하는 상호 작용 개념에 대해 다소 불충분한 이해를 발견하였다. 즉, 지구 복사가 증가한다고 답한 19명 중 17명은 지표면의 반사를 4단위로 고정된 채, 대기가 없으면 기존에 대기가 흡수했던 태양 복사가 그대로 지표로 입사하기 때문에 지표면이 태양 복사 96단위를 흡수·방출하여 지구 복사(a)가 70단위에서 96단위로 증가한다고 답변하였다. 지표의 알베도가 변하지 않았다면, 이들의 답변은 사실 옳을 것이다. 따라서 두 번째 답변 유형과는 달리, 이들은 복사 평형에 대해 올바른 개념을 갖고 있지만, 대기권 변화가 권역 간 새로운 상호 작용을 일으킬 수 있음을 미처 생각해내지 못한 것으로 판단된다. 문항에서 충분한 단서가 주어지지 않았음을 고려할 때 반성적 사고를 유도하는 [문항 4, 5]에 대한 답변을 살펴볼 여지가 있다.

넷째, ‘알 수 없다’라고 답한 2명의 답변자들은 “대기가 없어진 상황에서 알베도 변화에 의해 지구 복사(a)를 결정할 수 없다.”라고 진술하였다. 따라서 이들은 적어도 ‘복사 평형’과 주어진 상황에 대한 ‘상호 작용’에 대해 올바른 개념을 지니고 있는 것으로 사료된다.

3) [문항 4, 5, 6] 지구 알베도 변화

[문항 4, 5]를 통해 이들 예비 교사들이 새로운 상호 작용과 새로운 평형 상태에 대한 사고 실험을 이끌어낼 수 있는지를 살펴보았다. 22명(91.7%)이 [문항 4.1]에서 “새로운 복사 평형 상태를 고려하였다.”라고 답변하면서도 21명은 여전히 이전 문항의 답변과 달라지지 않았다. 다만 1명만이 지표의 알베도가 변화되어 지구가 새로운 복사 평형에 도달할 것이라고 답변하였다. 이와 같이 이전 문항에 대한 반성적 사고의 기회를 제공하였음에도 불구하고, 대부분의 응답자들은 지구 환경 변화를 여전히 인지하지 못하며 복사 평형을 지구 열수지 도표에 있는 에너지 출입의 산술적 계산으로 받아들이고 있다. 따라서 이들은 복사 평형의 과정에 대한 지구의 각 권역의 변화가 다른 권역과의 상호 작용을 통해 연쇄적인 변화 과정을 일으키고, 오랜 시간을 통해 또 다른 새로운 평형 상태로 진입한다는 가장 핵심 개념이 다소 미흡한 것으로 생각된다.

2. 중·고등학교 교과서 분석

지구의 복사 평형과 온실 효과 개념은 중학교 3학년 과학 ‘대기의 성질과 일기변화’, 고등학교 과학 ‘에너지와 환경’, 지구과학 I ‘행성으로서의 지구’, ‘기후변화’, 지구과학 II ‘대기의 운동과 순환’에서 다루어졌다. 이 단원들을 중심으로 학습자의 개념 형성에 영향

을 미쳤을 것으로 보이는 부분을 발췌하였다(Table 3). 특히 교과서에서 지구는 끊임없이 각 권역 사이에 ‘상호 작용’이라는 과정을 통해 ‘평형’이라는 상태에 도달하며, 또한 평형 상태에 도달하기 위해서는 ‘충분한 시간’이 필요함을 중요하게 다루고 있는지에 관심을 갖고 교과서를 살펴보았다.

Table 3. Descriptions of the Earth’s radiative equilibrium in middle school Science textbook, high school Science textbook, and Earth Science I and II textbooks

교과서	교과서 기술 내용	분석 내용
A 중학교 3학년	알루미늄 컵의 온도가 어느 정도 높아지면 컵 내부의 열에너지는 복사 형태로 방출 ... 온도가 높아질수록 방출되는 복사 에너지의 양 역시 증가한다. 그러므로 온도가 어느 정도 높아지면 흡수하는 에너지와 방출하는 에너지가 같아져 온도가 더 이상 변하지 않는다. ... 흡수하는 복사 에너지의 양과 방출하는 복사 에너지의 양이 같아 온도가 일정하게 유지되는 상태를 복사 평형이라고 한다. 지구 역시 태양으로부터 에너지를 받아들이지만 같은 양의 에너지를 방출하므로 복사 평형을 이룬다. 지구의 연평균 기온이 일정하게 유지되는 것은 이 때문이다. 지구로 들어오는 태양 복사 에너지의 양을 100이라고 할 때, 30 정도는 지구의 대기에서 반사되어 우주 공간으로 되돌아간다. 나머지 70 정도의 에너지는 ... 방출되는데, 그 양은 지구가 흡수한 양과 같은 70 정도이다.	온도가 높아질수록 방출하는 에너지가 증가해 점차 방출하는 에너지와 흡수하는 에너지의 양이 같아지는 평형 상태에 도달하는 설명이 적절함
B 고등학교 과학	태양에서 지구로 들어오는 에너지 중 약 29%는 구름 또는 지표면에서 반사되거나 ... 48%는 지표면에 흡수된다. 흡수된 태양 에너지는 수증기의 증발에 의한 숨은열이나 대류, 전도, 복사 등으로 지구 표면과 대기 사이를 순환한다. 그러나 지구는 태양 에너지를 흡수하고도 온도가 계속 증가하지 않고 일정하게 유지되고 있다. 이것은 지표면과 대기에 흡수된 71% 만큼의 태양 에너지가 다시 우주로 방출되기 때문이다. 이와 같이 지구로 들어오는 태양 에너지의 양과 지구에서 나가는 에너지의 양이 같아 지구의 에너지는 남거나 부족함이 없는 상태를 유지하게 된다. 이것을 지구의 복사 평형이라고 한다.	지구의 복사 평형과 지구의 열수지를 구분지어 설명 평형 상태에 도달하는 과정 설명 부족
C, D 지구과학 I	지구에는 흡수한 만큼의 태양 복사 에너지를 우주 공간으로 방출하여 복사 평형을 이루고 있으므로 지구의 평균 온도를 일정하게 유지할 수 있다. 지구는 태양으로부터 복사 에너지를 지속적으로 받고 있지만, 지구의 평균 온도는 크게 변하지 않는다. 이것은 지구가 태양으로부터 받은 만큼의 에너지를 복사 에너지의 형태로 우주 공간으로 방출하기 때문이다. 즉, 지구는 받는 만큼의 에너지를 방출하기 때문에 지구 전체는 에너지의 순출입이 없어 평균 온도의 변화가 없게 되는 것이다. 이때 받아들이는 에너지와 방출하는 에너지가 같으면 온도가 일정하게 유지되는데, 이것을 복사 평형이라고 한다.	복사 평형이 이루어진 상태에 있는 지구계를 기술하고 있음
E, F 지구과학 II	즉, 지표-대기가 흡수하는 복사 에너지양과 방출하는 복사 에너지양이 같은 복사 평형을 이루고 있고, 그 결과 지구의 연평균 기온은 매년 거의 일정하게 유지되고 있는 것이다. 지구로 입사되는 태양 복사 에너지(왼쪽)는 지구 전체에서 방출되는 지구 복사 에너지(오른쪽)와 평형을 이룬다. 1년 동안 지구가 태양으로부터 흡수하고 지구 복사로 방출하는 에너지의 양을 지구의 복사 수지라고 한다. 태양으로부터 오는 복사 에너지 중 지구 대기권 가장 자리에 도달하는 양을 100단위라고 했을 때, ... 따라서 실질적으로 지구가 받는 태양 복사 에너지양은 ... 재방출한다. 대기는 태양으로부터 25단위, 지표로부터 100단위를 흡수하여 ... 29단위의 손실을 본다. ... 지표는 복사 수지로 얻은 29단위의 에너지를, 8단위는 대류와 전도의 형태로, 21단위는 증발, 잠열의 형태로 대기에 전달한다. 이때 29단위의 에너지가 대기로 전달되는 과정에서 대기와 물의 순환이 일어나며, 이는 바람과 강수 현상으로 나타난다. 지구 전체로 볼 때는 태양으로부터 70단위를 흡수하고 다시 70단위를 방출하여 열평형을 이루는데, 이것은 지구의 평균 온도가 오랜 시간 동안 일정하게 유지되는 것으로부터 알 수 있다.	복사 평형을 입출입량을 토대로 산술적으로 접근 복사 평형에 이르는 과정, 시간의 흐름, 권역간의 상호 작용 설명이 없음

1) 물체의 복사 평형

복사 평형 개념을 학습하기 위해 복사의 기본 법칙과 평형에 대한 선수 학습이 어떻게 이루어졌는지를 조사하였다. 대부분의 중학교 1, 3학년 교과서에서 복사의 기본 법칙을 다루지만, 특히 중학교 3학년 과학 교과서(A)에 기술된 복사 평형 개념과 관련된 내용은 물체의 온도가 ‘어느 정도’ 높아져야 복사 방출이 발생한다라는 여지를 줄 수 있다(Table 3). 여기서 ‘어느 정도’라는 설명은 시간의 개념을 포함한 간접적 표현으로 보인다. 따라서 ‘평형’이라는 개념을 설명할 때 ‘시간’의 개념을 포함하여 명확히 서술하는 것을 제안한다.

2) 지구의 복사 평형

지구의 복사 에너지의 흡수와 방출 사이의 평형을 도입하는지와 상호 작용의 대표적 현상인 온실 효과에 대해서 대기와 지표의 권역 간 ‘상호 작용’을 통해 설명하는지를 살펴보았다.

중학교 교과서(A)는 온도가 높아질수록 방출하는 복사 에너지량이 증가해 흡수하는 에너지와 방출하는 에너지가 같아지는 상태를 복사 평형이라고 설명하였다. 이는 지구가 복사 평형 상태에 도달하기 위해서 주변과의 상호 작용을 통해 이루어 진다는 점과 충분한 시간이 필요함을 명확히 설명하고 있지 않다.

고등학교 교과서 B~F에서 “에너지 순출입의 변화가 없어 지구의 평균 온도가 유지된다”는 서술은 고등학교 수준에서 복사 평형의 정의를 잘 설명하고 있지만, 중학교 교과서 내용의 수준을 많이 벗어나지 못하고 있다. 즉, 복사 평형이 오랜 기간 동안 지구 환경이 변화되어가면서 열 평형 상태에 이르게 되는 과정임을 강조하기보다는 평형 상태의 에너지 출입량을 통한 산술적 계산에 집중하면서 본질적인 내용을 잃어버린 경향이 있다. 즉, 평형에 이르는 과정보다는 평형 상태를 강조하고 있다. 이러한 견해는 Yu *et al.* (2022)의 지구 온난화에 대한 학습발달과정 연구에서 제안한 내용과도 일맥 상통한다. 이 연구에 의하면 학생들이 지구 온난화를 장기적 관점에서 지구계 각 권역의 상호 작용으로 복사 평형을 찾아가는 과정으로 이해할 수 있도록 이끌어가야 한다고 제시하고 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 지구과학의 기본 개념에 속하지만 학습자들에게 오개념이 빈번히 형성될 수 있는 지구의 복

사 평형을 다루었다. 그동안 여러 선행 연구에서 복사 평형과 온실 효과에 대한 오개념이 다루어졌지만, ‘오랜 기간 동안 각 권역의 상호 작용 결과로 인해 도달하는 평형’에 대해 관심을 가진 연구는 없었다. 이 연구는 학생과 교사의 중간 단계라 할 수 있는 예비 교사들을 대상으로, ‘복사 평형’을 다룬 전국 단위의 지구과학 I 문항의 진술문을 질문지의 일부로 사용하였다. 이렇게 함으로써 학습자들이 복사 평형 개념을 학습할 때 어려움을 겪는 요소가 무엇이며, 어떠한 인식을 가지고 있는지를 규명하고자 하였다. 이 연구는 “예비 지구과학 교사들은 각 권역 사이의 ‘상호 작용’ 및 오랜 시간에 걸쳐 도달하게 되는 ‘평형’에 대해 불충분한 개념을 갖고 있을 것이다.”라는 가설을 설정하고, 이를 검증하기 위한 질문지를 설계하고, 이 질문지 답변에 담겨있는 사고의 흐름을 분석하였다. 이를 통해 답변자들의 인식에 대해서 정리하면 다음과 같다. 첫째, 온실 효과 개념을 끌어들이 이해하려는 특성이 12.5%의 답변). 12.5%의 답변자들은 대기가 없으면 온실 효과가 사라짐으로 인해 지구의 온도가 감소하여 지구 복사(a)가 감소한다고 보았다. 이는 복사 평형 상태에 있는 지구 전체의 유효 복사 온도를 엄밀하게 이해하지 못하는 것으로 판단된다. 둘째, 복사 평형에 전반에 다소 불완전한 개념을 갖고 있다(8.3%의 답변). 대기가 없을 때에도 지표의 알베도를 4 단위로 고정시킨 채, 지표는 여전히 독립적으로 133 단위를 방출한다고 답변하였다. 이는 권역 간의 상호 작용으로 기인한 지구 전체의 복사 평형에 대한 불완전한 개념으로부터 기인한 것으로 사료된다. 셋째, 대기-지표 간의 상호 작용 개념에 다소 불충분한 이해를 지닌다(약 71%의 답변). 이들 대부분이 ‘한 권역의 변화가 다른 권역들과 끊임 없이 상호 작용하는 것과 이로 인해 지구가 새로운 평형 상태로 진입할 것임’을 추론하는 종합적인 사고로 연결하지 못하였다. 마지막으로 답변자 중의 8.3%만이 대기 부재시의 지표 알베도에 대한 의문을 표현하였다. 이와 같이 모든 답변자들이 복사 평형 개념을 서술할 때는 바르게 표현하였음에도 불구하고, 대기와 지표 사이 및 지구 전체의 복사 평형 개념을 확대 적용하는 데 있어서 약 90%의 학생들은 어려움을 겪는 것으로 나타났다.

한편 교과서의 기술 방식이 예비 지구과학 교사들의 개념 형성에 어떠한 영향을 주었는지를 살펴보았다. 특히 고등학교 지구과학 교과서가 지구의 복사 평형을 설명하는 데에 있어서, 지구의 복사 에너지의 순출입 값을 통해 주로 산술적으로 접근하고 있음을 보인다. 즉, 복사 평형이 각 권 사이의 복잡한 상호 작용을 거쳐 오랜 시간 동안 이루어지는 것임을 심도 있게 다루고 있지 않는 실정이다. 이와 같이 교과서들은 복사 평형에 이르는 과정을 다루기보다는 복사 평

형 상태에 집중하는 것으로 보인다. 이러한 교과서의 서술 방식의 특성은 대부분의 학생들이 산술적으로 접근하고 있는 방식을 잘 뒷받침하고 있다.

본 연구에서 개발한 설문지의 답변과 교과서 내용을 종합해 보면, 모든 예비 교사들이 복사 평형 개념을 바르게 서술하였음에도 불구하고, 대부분의 예비 교사들은 복사 평형 개념을 확대 적용하는 데 있어서 전반적으로 올바른 확고한 개념 인식이 부족한 것으로 보인다. 특히, 각 권역 사이의 '상호 작용' 및 오랜 시간에 걸쳐 도달하게 되는 '평형'에 대해 미흡하거나 불완전한 개념을 지니고 있음을 발견하였다. 이러한 현상의 이유가 그들의 인지 수준에 의한 것일 수도 있겠지만, 교과서의 부정확하거나 친절하지 않은 기술 방식과 가르치는 교사가 정확한 개념을 전달하지 못함으로부터 기인했을 수 있다. 따라서 과학 개념에 대한 학습자의 오개념과 선개념을 발견하며 유의미한 인지 갈등을 유발해 개념을 변화시키는 진정한 배움이 있기 위해서 교과서의 기술 방식과 교사의 수업이 좀 더 본질적인 과학적 개념을 다루는 방향이어야 할 것이다. 더욱이 이 연구는 중·고교 과정뿐만 아니라 대학 과정에서도 '평형'과 '상호 작용'이라는 개념에 대해 좀 더 심층적으로 다루어질 필요가 있음을 시사하고 있다.

국 문 요 약

이 연구는 예비 지구과학 교사들이 지구 복사 평형을 이해하는 데에 있어서 '평형'이라는 개념과 '지구의 권역 간 상호 작용'을 어떻게 인식하고 있는지를 탐색하며, 이들이 갖는 오개념을 규명하고자 하였다. 이를 위해 국가 수준의 평가에서 등장한 문항을 중심으로 이들의 사고 흐름을 들여다 볼 수 있는 질문지를 설계하여 이들에게 투입하였다. 이 설문지의 답변을 분석한 결과, 모든 예비 교사들이 복사 평형 개념을 바르게 서술하였음에도 불구하고, 이들의 약 90%는 복사 평형 개념을 대기가 없는 새로운 지구 환경에 확대 적용하지 못하였다. 이들은 변화된 권역간 새로운 '상호 작용'의 개념 및 오랜 시간에 걸쳐 도달하게 되는 새로운 '평형'의 개념을 원활히 이끌어내지 못하는 것으로 보인다. 이러한 점에서, 예비 교사들의 이러한 개념 형성에 교과서가 어느 정도 영향을 주었을 것으로 보인다. 특히, 고등학교 지구과학 교과서에서는 지구가 복사 평형에 도달하는 과정보다는 평형 상태에서의 열 수지에 초점을 두어 복사 평형을 정량적 방식으로 설명하고 있다. 교과서의 이러한 접근 방식은 학생들을 2015 개정 교육과정에서 추구하는 창의융

합형 인재로 육성하기에는 걸림돌이 될 수 있을 것이다. 한편, 지구 복사 평형의 이해에서 자주 발견되는 학생들의 오개념 해소를 위해서 이 연구는 예비 교사를 양성하는 대학 과정에서도 지구 복사 평형의 개념에 대해 좀 더 주의 깊게 다뤄져야 함을 제안한다.

주제어: 지구 복사 평형, 상호 작용, 평형, 오개념, 예비 지구과학 교사

References

- Ackerman, S. A., & Knox, J. A. (2002). *Meteorology: Understanding the Atmosphere*. Belmont, CA: Brooks Cole.
- Adkins, C. J. (1983). *Equilibrium Thermodynamics*, (third ed.). London, England: McGraw-Hill
- Ahn, T., Ahn, J., Han, I., Kim, D., Lee, M., Gwon, S., Shin, S., Chae, G., Lee, S., Kim, M., Ha, Y., & Kim, Y. (2011). *High school science 1*. Seoul, Korea: Kumsung Publishing Co. Ltd.
- Ahrens, C. D. (2009). *Essentials of meteorology: an invitation to the atmosphere* (Min, K., Trans.). Belmont, CA: Thomson Learning.
- Cho, H., Kim, H., Yun, H., & Lee, K. (2005). *Theory and Practice of Science Education*. Paju: Kyoyookbook publishing company. (in Korean)
- Cho, H. (2007). *Science Education*. Paju: Kyoyookbook Publishing Company. (in Korean)
- Choi, B.-G., Lee, H., Choo, B., Moon, B., So, Y., Lee, J., Lee, C., & Cho, M. (2011a). *High school earth science I*. Seoul, Korea: ChunJae. (in Korean)
- Choi, B.-G., Lee, H., Choo, B., Moon, B., So, Y., Lee, C., & Cho, M. (2011b). *High school earth science II*. Seoul, Korea: ChunJae. (in Korean)
- Gwak, Y. (2004). Korean Fifteen-Year-Olds' Alternative Conceptions on the Greenhouse Effect Revealed in PISA Test Results. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 24(3), 668-674. (in Korean)
- Gwon, J., Kim, B., Wu, J., Jeong, W., Jeong, J., &

- Choi, B. (2012). *Science Education*. kyoyookbook publishing company. (in Korean)
- Je, K.-Y., & An, H.-S. (1999). The analysis of students' ideas about the greenhouse effect. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 19(4), 585-594. (in Korean)
- Kang, S.-R., Seo, E.-K., & Kim, D.-Y. (2019). Earth Science Prospective Teachers' Perceptions on the Relationship between Absolute Humidity and Dew Point Temperature. *Journal of Korean Earth Science Society*, 40(6), 624-638. (in Korean)
- Kang, S.-R. (2020). *A Study on Earth Science Prospective Teachers' Perceptions on the Relationship between Absolute Humidity and Dew Point Temperature* (Master's thesis). Kongju National University, Kongju, Korea. (in Korean)
- Kim, J., Kim, M., Yu, E., & Cha, J. (2021). *Analysis of students' understanding of big ideas in different subjects and exploration of teaching and learning strategies* (Report 2021-4). Jincheon: Korea Institute for Curriculum and Evaluation. (in Korean)
- Kook, D. (2004). Conceptions of Secondary School Science Teachers on Some Concepts of Atmosphere and Ocean. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(6), 402-408. (in Korean)
- Korean Meteorological Society [KMS]. (2003). *Introduction to Atmospheric Science*. Seoul: Sigmamapress publishing company. (in Korean)
- Lee, J. (2000). *Study in Alternative Concepts of Middle School Students about the Earth Radiative Equilibrium and Atmospheric Composition* (Master's thesis). Seoul National University, Seoul, Korea. (in Korean)
- Lee, J., Kim, S., & Kim, J. (2003). Analysis of High School Students' Misconception about the Earth Radiative Equilibrium. *Proceedings of Journal of the Korean Earth Science Society*, 2003(1), 155-155. (in Korean)
- Lee, T., Park, S., Kim, W., Kang, S., Lee, Y., Lee, H., Jang, H., Kim, B., & Lee, K. (2011a). *High school earth science I*. Seoul, Korea: Kyohaksa. (in Korean)
- Lee, T., Park, S., Kwon, S., Kim, W., Lee, Y., Lee, H., Jang, H., & Kim, B. (2011b). *High school earth science II*. Seoul, Korea: Kyohaksa. (in Korean)
- Kim, C., Kim, S., Hyeon, J., Kim, H., Kim, H., Cho, H., Song, J., Park, M., Kim, K., Yoon, Y., Kim, M., & Lee, T. (2012). *Middle school science 3*. Seoul, Korea: Doosan DongA Co., Ltd. (in Korean)
- Lee, C. (2012). *A pattern Analysis and Solution Study of Misconceptions Found in High School Students about Chemistry I Textbook: Focused on Molecular Motion* (Unpublished master's thesis). Kongju National University, Kongju, Korea. (in Korean)
- Lee, J.-J., Seo, E.-K., & Ahn, Y. (2022). High School Student Perception of the Relationships between Solar and Visible Radiation and between Terrestrial and Infrared Radiation. *Journal of Korean Earth Science Society*, 43(2), 312-323. (in Korean)
- Lutgens, F. K., & Tarbuck, E. J. (2009). *The atmosphere: an introduction to meteorology*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. (translated by Kim et al., 2016, Sigma Press)
- Ministry of Education [MOE]. (2015). *2015 개정 과학과 교육과정* [2015 Revised National Education Curriculum - Science] (Notification No. 2015-74 [Annex 9]). Seoul, Korea. (in Korean)
- Ministry of Education, Science and Technology [MEST]. (2011). *2011 과학과 교육과정* [2011 National Education Curriculum - Science] (Notification No. 2011-361 [Annex 9]). Seoul, Korea. (in Korean)
- Mun, B., Jeong, J., Gyeong, J., Go, Y., Yun, S., Kim, H., & Oh, K. (2004). Related Conception s to Earth System and Applying of systems Thinking about Carbon Cycle of the Preservice Teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25(8), 684-696. (in Korean)

- Osborne, R., & Freyberg, P. (1985). *Learning in science: The implications of children science*. Auckland, New Zealand: Heinemann Publishers.
- Research Institute of Korean Studies [RIKS]. (2009). *Korean Dictionary*. Korea University, Seoul, Korea. (in Korean)
- Sato, M. (2012). *School changes when class changes*. Seoul: Eduniety Publishing Company.
- Yu, E.-J., Lee, K., Kwak, Y., & Park, J. (2022). Exploring Learning Progressions for Global Warming: Focus on Middle School Level. *Journal of Science Education*, 46(1), 1-16. (in Korean)

저 자 정 보

홍 주 현

(대전여자중학교 교사)

서 은 경

(공주대학교 사범대학
지구과학교육과 & 공주대학교
과학교육연구소 교수)