

태양 복사와 가시광선 복사 및 지구 복사와 적외선 복사의 관계에 대한 고등학생들의 인식

이종진^{1,2} · 서은경^{2,*} · 안유민²

¹대전동신과학고등학교, 34500, 대전광역시 동구 옥천로 423

²공주대학교 지구과학교육과, 32588, 충청남도 공주시 공주대학로 56

High School Student Perception of the Relationships between Solar and Visible Radiation and between Terrestrial and Infrared Radiation

Jong-Jin Lee^{1,2}, Eun-Kyoung Seo^{2,*}, and Yumin Ahn²

¹Daejeon Dongsin Science High School, Daejeon 34500, Korea

²Department of Earth Science Education, Kongju National University, Chungcheongnam-do 32588, Korea

Abstract: This study began with the hypothesis of whether “solar radiation” and “terrestrial radiation” can be replaced by “visible radiation” and “infrared radiation”, respectively. To this end, we investigated the perceptions of high school students who completed the Earth Science I course through a questionnaire to reveal how they perceived each concept. We also analyzed the descriptions and illustrations of textbooks that may have affected their perceptions. All of the students who participated in the questionnaire recognized solar radiation as radiation emitted only in the visible light region. About 35% of the students recognized convection, conduction, and latent heat as energy transfer by radiation in the Earth’s heat budget. By analyzing six types of Earth Science I textbooks in the 2015 revised curriculum, we observed that two types introduced the terms “shortwave radiation” and “longwave radiation” but had no explanation for them, while the other two described solar radiation as “radiation mainly in the visible light region” or “radiation in short wavelengths”. Regarding solar and terrestrial radiation in the last two types, there was no explanation for the wavelength regions, or ambiguous terms such as “short wavelength” and “long wavelength” were used. In addition, the two textbooks contained some errors in the illustration of the energy budget. Considering that textbooks described solar and terrestrial radiation without defining the exact terms for shortwave and longwave radiation, learners are likely to recognize solar and terrestrial radiation as visible and infrared radiation, respectively. This finding implies that vague statements or errors in textbooks can cause or reproduce students’ misconceptions. The discussion in this study is expected to be used as a helpful reference material for teaching and learning processes regarding the Earth’s radiation equilibrium and heat budget, and thereby contribute to proposing reasonable description plans for future textbook writing.

Keywords: solar radiation, terrestrial radiation, visible radiation, infrared radiation, misconception

요약: 이 연구는 ‘태양 복사’가 ‘가시광선 복사’로, ‘지구 복사’가 ‘적외선 복사’로 상호 대체될 수 있는 개념인가에 대한 문제 인식에서 출발하였다. 이를 위해 각 개념을 어떻게 인식하고 있는지를 드러낼 수 있는 질문지를 통하여 지구과학 I을 이수한 고등학생들의 인식을 조사하고, 이들의 인식에 영향을 미칠 수 있는 교과서의 서술 및 삽화를 분석하였다. 이 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 첫째, 조사에 참여한 학생들은 모두 태양 복사를 가시광선 영역에서만 방

*Corresponding author: ekseo@kongju.ac.kr
Tel: +82-41-850-8293, Fax: +82-41-850-8299

출되는 복사로 인식하고 있으며, 지구 열수지에서 대류·전도·습윤열을 복사에 의한 에너지 전달로 인식하고 있는 학생들도 약 35%로 나타났다. 둘째, 2015 개정 교육과정의 지구과학 I 6종 교과서를 분석한 결과, 2종에서는 ‘단파 복사’와 ‘장파 복사’라는 용어를 도입하지만 이들에 대한 설명이 없었으며, 다른 2종에서는 태양 복사를 각각 ‘주로 가시광선 형태의 복사’ 또는 ‘파장이 짧은 가시광선 복사’로 서술하였다. 그 밖의 2종 교과서에 있는 태양 복사와 지구 복사에 관하여, 파장 영역에 대한 설명이 없거나 ‘단파장/장파장’이라는 모호한 용어가 사용되었다. 아울러 2종의 교과서에서 열수지 삽화에 일부 오류가 발견되었다. 따라서 교과서들이 단파 복사와 장파 복사에 관한 정확한 용어 정의 없이 태양 복사와 지구 복사를 설명함에 따라 학습자들은 태양 복사와 지구 복사를 각각 가시광선 복사와 적외선 복사라는 개념으로 인식할 개연성이 있다. 이를 종합해 보면, 교과서에 기술된 불분명한 진술이나 오류가 학생들의 오개념을 유발하거나 재생산할 수 있음을 함의한다. 이 연구에서 논의된 바가 지구의 열수지와 복사 평형에 대한 교수·학습 과정의 유용한 참고 자료로 활용되고, 추후 교과서 집필에서도 합리적인 서술 방안을 제안하는 데 기여할 수 있으리라 기대한다.

주요어: 태양 복사, 지구 복사, 가시광선 복사, 적외선 복사, 오개념

서 론

지구계의 에너지원에는 태양 복사 에너지, 지구 내부 에너지, 조력 에너지가 있다. 특히 태양 복사 에너지는 지구 생명체들의 삶과 생명을 유지시키기 위한 가장 필수적인 요소로 지구계 전체 에너지원의 약 99.98%에 해당한다(e.g., Wolfson, 2017). 지구계에 도달한 태양 복사 에너지의 30%는 지구의 반사에 의해 우주 공간으로 되돌아가며(Ahrens, 2008; Lutgens and Tarbuck, 2008), 나머지는 낮 반구의 지구계로 들어오고 있다. 한편, 지구는 매 순간 낮 반구와 밤 반구 모두에서 우주 공간으로 지구 복사 에너지를 방출하고 있다. 장기간의 관점에서 지구 대기의 상단에서 지구계 안으로 입사하는 태양 복사 에너지의 총량과 지구 대기의 상단에서 우주 공간으로 방출하는 지구 복사 에너지의 총량은 서로 같다. 이러한 복사 평형 하에서 지구계 내 복사 에너지의 흡수와 방출, 지표와 대기 사이의 전도, 대류, 습윤열을 통한 열의 이동과 열수지에 대한 과학 개념은 우리나라 과학과 교육과정에서도 매우 중요하게 다루어지고 있다. 2015 개정 교육과정에서는 ‘온실 효과와 지구 온난화를 복사 평형의 관점으로 설명할 수 있어야 한다’고 명시하고 있으며(Ministry of Education, 2015), 2009 개정 교육과정 시기에서도 ‘태양이 지구계의 주요한 에너지원이며 위도에 따른 태양 복사 에너지와 지구 복사 에너지의 평형을 이해’할 것과 ‘지구 온난화를 지구 열수지와 관련지어 이해’할 것 등(Ministry of Education, Science and Technology, 2011)을 일관되게 강조하였다.

학생들로 하여금 지구과학의 주요 내용에 대해 과학 개념을 사용하여 타당한 과학적 설명을 구성할

수 있도록 하는 것은 지구과학 교수 과정에서 중요하게 고려되는 부분이며, 이를 위해 교사들은 다양한 교수 전략을 사용한다. 하지만 교수 의도와는 다르게 학습자의 개념은 학습자들이 지니고 있는 특유한 사고방식에 따라 각각 다른 형태의 개념으로 재구성될 수 있다(Novak, 1984). 그러므로 학습자의 개념 체계가 올바르면 과학 개념을 잘 구성할 수 있지만, 그렇지 않은 경우 오개념을 형성한다(Gilbert et al., 1982; Strike, 1983). 이러한 오개념은 경험적 지식의 성격을 띠기 때문에 변화에 저항적이며(Sinatra, 2005), 인지 갈등으로 학습자의 오개념이 과학 개념으로 변화했다 할지라도 본래의 오개념으로 회귀하는 견고성을 지니고 있다(Han et al., 2001; Lee et al., 2000; Park, 1999).

이에 많은 학자들은 오개념의 유형과 원인에 대해 밝히고자 하였으며, 오개념의 요인 중 하나로 교과서 내용의 부정확함과 불충분한 서술(Barrass, 1984; Hong, 2020; Kang, 2001; Kang et al., 2019; Nussbaum, 1981; Storey, 1989)을 꼽았다. 일례로 Kang et al. (2019)은 예비 교사들이 ‘절대 습도와 이슬점 온도는 비례한다’는 오개념을 가지고 있음을 파악하고, 이 오개념을 유발한 가장 중요한 요인이 교과서의 부정확한 서술 내용에서 기인하고 있음을 규명하기도 하였다.

한편 지구의 복사 평형 및 열수지와 관련하여 많은 학자들이 학생들의 오개념 유형의 분류, 오개념 원인에 대한 연구를 수행하였다(Hong, 2020; Kook, 2003; Lee et al., 2003). Lee et al. (2003)은 지구의 복사 평형에 관한 학생들의 오개념을 ‘복사와 복사 평형에 대한 개념 정의’, ‘지구의 복사 평형과 열평형과의 상호작용’, ‘지구의 열수지 그래프의 해석’ 등

7개의 유형으로 분류하였으며, 지구과학 교과서의 저자에 따라 기술과 설명이 상이하어 학생들의 학습에 어려움을 더하고 있다고 주장하였다. 또한 Kook (2003)은 교과서 분석을 바탕으로 온실 효과와 관련된 오개념 원인에 대해 교과서 내용 중 학습자에게 온실 효과와 관련된 오개념을 유발하거나 재강화할 가능성이 있는 설명, 그림, 도표, 실험들이 있음을 밝혔다. 더 나아가 Hong (2020)은 예비 교사들의 복사 평형에 대한 개념 연구를 통해 학생들의 오개념 중 교사의 과학 개념에 초점을 맞추어 교사의 학창 시절과 예비 교사 시절에 형성된 개념의 중요성에 대해 논하면서, 지구의 각 권역 사이의 상호작용 및 이에 따른 시간적 변화로 도달하게 되는 ‘평형’에 대한 과학 개념 부족이 복사 평형을 이해하는 데 방해 요인이 되었음을 밝혔다.

상술하였듯이 지구 복사 평형과 열수지는 교육과정에서도 매우 중요하게 다루는 요소이며, 이에 대한 과학적 설명을 구성할 때 ‘태양 복사’와 ‘지구 복사’는 매우 중요한 개념이다. 따라서 이를 확인하는 것 역시 평가에서 핵심적인 내용 요소 중 하나로 여겨지고 있다. 이에 국가 수준뿐만 아니라 단위 학교의 지필 평가에 해당 내용 요소를 다루면서 빈번히 출제되는 문항들을 재구성하여 Fig. 1에 제시하였다. Fig. 1은 지구에 도달하는 태양 복사 에너지를 100이라 할 때, 복사 평형 상태에 있는 지구의 열수지도 표로부터 지표에서 적외선 복사 에너지의 방출량과 흡수량의 크기를 비교할 수 있는지를 묻는 문항이다. 이 문항에서는 기존에 빈번히 등장하는 ‘태양 복사(단파 복사)’, ‘지구 복사(장파 복사)’의 개념 이외에 ‘적외선 복사’라는 용어를 제시하고 있다. 이는 ‘태양 복사’가 ‘가시광선 복사’로, ‘지구 복사’가 ‘적외선 복사’라는 개념과 상호 대체될 수 있는 것인가에 대한 의문을 촉발하였으며, 이 연구에서 태양 복사와 지구 복사 이외에 단파 복사, 장파 복사, 가시광선 복사, 적외선 복사에 대한 학생들의 개념 인식을 살펴보게 하는 출발점을 제공하였다. 또한 2015 개정 교육과정에 따른 6종의 지구과학 I 교과서에서 태양 복사와 지구 복사를 설명할 때, 단파 복사, 장파 복사, 가시광선 복사, 적외선 복사 등을 어떻게 기술하고 있는지, 이들 용어가 혼재되어 사용되고 있는지는 않은지 확인할 필요성이 대두되었다.

따라서 이 연구에서는 지구의 복사 평형 및 열수지에 대한 과학적 설명을 구성하는 데 필요한 핵심

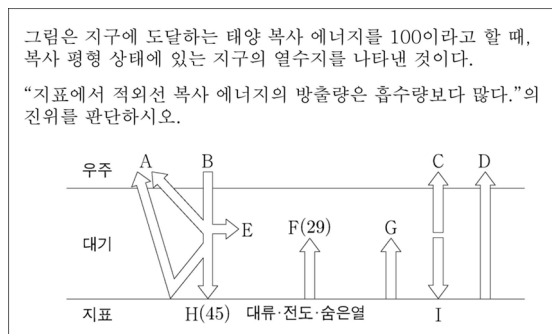


Fig. 1. An example of evaluation questions related to solar radiation and terrestrial radiation.

개념들이 학생들의 오개념으로 이어질 수 있는 연결 고리들을 발견하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 태양 복사(단파 복사)와 가시광선 복사의 관계, 지구 복사(장파 복사)와 적외선 복사의 관계에 대한 고등학생들의 인식은 어떠한가?

둘째, 고등학교 지구과학 I 교과서에서는 태양 복사, 가시광선 복사, 단파 복사, 지구 복사, 적외선 복사, 장파 복사의 관계를 어떻게 서술하고 있는가?

이들 연구 문제를 해결함으로써 태양 복사와 가시광선 복사, 지구 복사와 적외선 복사의 관계에 대한 올바른 과학 개념 형성을 지원하는 교과서 서술 방향을 제시하고자 한다.

복사와 관련된 대기과학적 설명

이 절은 본 연구에서 초점으로 삼은 연구 문제에 대한 학생들의 개념 인식 및 교과서 분석의 준거로 기능할 수 있을 것으로 생각한다. 이에 태양 복사와 지구 복사와 관련된 복사 에너지 방출 과정에 대한 문헌 연구를 실시하였다. 또한 단파 복사와 장파 복사의 용어 설명을 포함하였으며, 상세 내용은 다음과 같다.

태양 복사

태양 복사는 태양에서 방출되는 복사를 말하며, 태양은 플랑크의 복사 법칙을 따라 광범위한 파장에 걸쳐 다양한 강도로 복사 에너지를 방출하고 있다. 특히 대기과학에서 주로 사용되는 태양 복사 스펙트럼의 파장은 약 0.294 μm로 태양 복사 에너지의 98.5%가 이들 파장 영역에 존재하며, 이 파장 범위에

자외선, 가시광선, 근적외선이 있다(Gueimard, 2004).

플랑크의 복사 법칙을 이용하여 5,800 K의 온도를 갖는 물체가 방출하는 파장별 복사 에너지를 계산하였으며, 이를 통해 주요 파장 영역별 에너지 분포를 Table 1에 제시하였다. 이론적으로 4 μm 이하의 파장 범위에 태양 복사 에너지의 약 99%가 집중됨을 확인할 수 있다.

한편, 지표에 도달하는 태양 복사 에너지에 대해서 주요 파장 영역별 상대적 분포를 좀 더 상세히 알아보기 위하여 ASTM G-173-03 스펙트럼 자료를 사용하였다(NREL, 2015). 이 관측 자료는 특정 대기 조건 하에서 특정 방향(53°의 천정각)의 표면에서의 지상 태양 스펙트럼 조도($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$)이다. 이 지점에서 대기 상단의 단위 면적에 직각으로 도달한 태양 복사 에너지(검은색 선), 단위 면적의 지표면이 받은 태양 복사 에너지(파란색 선)와 단위 면적의 지표면이 적달광으로 받은 태양 복사 에너지(붉은색 선)를 0.28-0.4 μm 범위에서 파장별로 도시하였다(Fig. 2). 이 지점의 대기 상단에 도달한 태양 복사 에너지(검은색 선 아래의 영역)에 대한 지표에 도달하는 전체 복사 에너지(파란색 선 아래의 영역)의 비율은 74%, 직달 복사 에너지(붉은색 선 아래의 영역)는 약 65% 정도이다. 이들 복사 에너지의 주요 파장별 에너지의 비율은 Table 2와 같다. Table 2에 따르면 자외선과

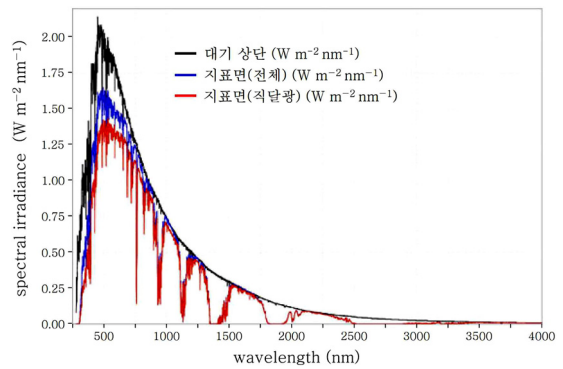


Fig. 2. ASTM G173-03 Reference Spectra derived from SMARTS v.2.9.2. Black line represents the extra-terrestrial solar spectrum, the blue line is the global irradiance for a tilted surface at 37°, and the red line represents the direct and circumsolar irradiance (adopted from NREL (2015)).

가시광선의 두 파장 영역이 차지하는 에너지는 전체 에너지의 약 55%이다. 그러나 파장이 0.78-4 μm 범위에 있는 근적외선이 차지하는 복사 에너지 비율도 43-46% 정도이다. 따라서 대기 상단에 도달하거나 대기를 통과하여 지표면에 도달하는 복사 에너지는 약 45%의 근적외선 에너지를 포함하고 있음을 확인할 수 있다.

Table 1. The distribution of radiation energy contained in the various wavelength regions for the emission spectrum of a black body at the temperature of 5800K. The energy was calculated by integrating the radiation over the wavelength region

region	wavelength range (μm)	percentage of the energy in the range to the total solar energy (%)
shorter than ultraviolet	0-0.1	4.38×10^{-6}
ultraviolet (UV)	0.1-0.4	12.35
visible (VIS) light	0.4-0.78	44.37
near-infrared (NIR)	0.78-4	42.31
short wavelength region of far-infrared (FIR)	4-50	0.97
longer than 50 μm	>50	6.18×10^{-4}

Table 2. The distribution of solar radiation energy contained in the UV, VIS, and NIR regions shown in Fig. 2. The energy was calculated by integrating the product of the wavelength and energy flux value provided by NREL (2015).

wavelength region	UV (0.28-0.4 μm)	VIS (0.4-0.78 μm)	NIR (0.78-4 μm)
Radiation reaching the top of the atmosphere (Total energy flux: 1348.76 W/m^2)	7.59%	47.04%	45.37%
Radiation reaching the surface (Total energy flux: 1001.03 W/m^2)	4.58%	52.00%	43.42%
Direct radiation reaching the surface at the zenith angle of 53° (Total energy flux: 900.72 W/m^2)	3.36%	50.80%	45.84%

Table 3. The distribution of radiation energy contained in the various wavelength regions for the emission spectrum of a black body at the temperature of 255K. The energy was calculated by integrating the radiation over the wavelength region

Region	Wavelength range (μm)	Percentage of the energy in the range to the total solar energy
shorter than NIR	0-0.78	0.00%
NIR	0.78-4	0.04%
short wavelength region of FIR	4-50	95.22%
longer than 50 μm	> 50	4.73%

지구 복사

장기간의 관점에서 지구가 복사 평형 상태에 있다면, 지구계에 입사한 태양 복사 에너지만큼을 지구가 우주 공간으로 방출하고 있어야 한다. 이 지구 복사 에너지는 대기의 창을 통해 곧바로 우주 공간으로 빠져나가는 지표 복사 에너지와 대기로부터 방출되는 복사 에너지로 구성된다. 복사 평형 상태에 있는 지구의 유효 온도가 255K라 할 때, 이 온도의 흑체가 방출하는 복사 에너지의 상대적 비율을 주요 파장 영역별로 Table 3에 나타내었다. 가시광선 파장까지의 에너지는 거의 없으며, 근적외선 영역은 0.04%, 근적외선보다 긴 파장 영역은 99.96%에 해당한다. 특히 지구 복사 에너지의 95% 정도가 4-50 μm 에 집중되어 있다(e.g., Sengupta et al., 2017). 따라서 지구 복사와 태양 복사 에너지가 집중되어 있는 파장 영역은 매우 다르며, 약 4 μm 를 기준으로 서로 뚜렷하게 구분됨을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 Nimbus4 위성이 대기 상단에서 사하라, 지중해, 남극 지역을 관측한 지구 복사 에너지를 파장별로 나타낸 것이다(Hanel et al., 1971). 이 관측 값들은 180-320K의 플랑크 흑체 복사선들 사이에 위치한다. 이 관측 자료는 지구 복사가 실제로 다양한 온도의 지구계 물체로부터 방출되고 있음을 보여준다.

단파 복사와 장파 복사

미국 기상 학회의 용어 사전에 따르면, 단파 복사와 장파 복사를 각각 다음과 같이 정의하고 있다(AMS, 2012).

- 단파 복사: “대기과학에서 관심을 가지는 태양 기원의 전자기 스펙트럼으로 가시광선 부분과 가시광선과 가까운 부분(대략적으로 0.4-4 μm 파장대)에 있는 복사이며, 지구 기원의 전자기 스펙트럼 복사와 구별하기 위해 사용되는 용어이다.”
- 장파 복사: “대기과학에서 관심을 가지는 지구

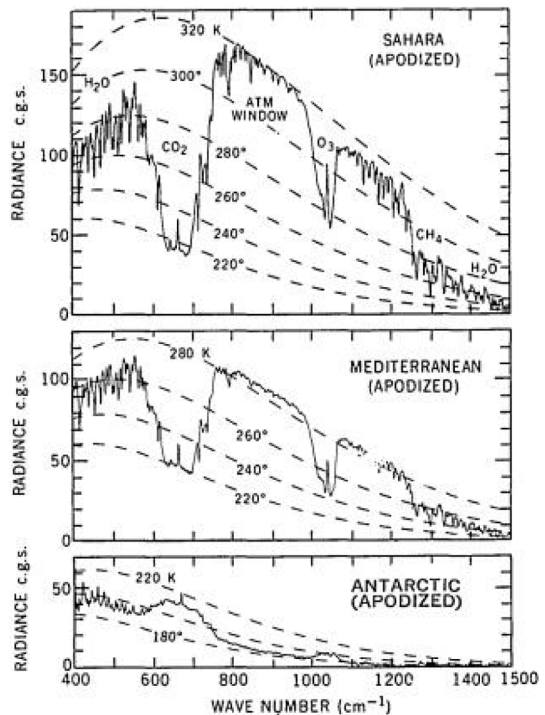


Fig. 3. Thermal emission spectra recorded by IRIS-D on Nimbus 4 for a hot desert case, an intermediate case over water, and an extremely cold case over the Antarctic. The apodized spectra have a spectral resolution between 2.8 and 3 cm^{-1} . Radiances of blackbodies at several temperatures are superimposed (adopted from Hanel et al. (1971)).

기원의 전자기 스펙트럼으로 약 4 μm 보다 긴 파장에 있는 복사이며, 태양 기원의 전자기 스펙트럼 복사와 구별하기 위해 사용되는 용어이다.”

즉, 단파 복사는 태양 복사를, 장파 복사는 지구 복사를 지칭하며, 각각 지구로 유입, 지구로부터 방출되는 복사를 구분하기 쉽도록 각 복사 스펙트럼에서 에너지가 집중된 파장 영역대로 나누어 사용하는 것으로, 4 μm 의 파장이 이 구분의 기준이 된다. 특히

단파 복사는 가시광선 영역만 포함하는 것이 아니라 근적외선과 근자외선 영역을 포함하고 있음을 다시 확인할 수 있다.

연구 방법 및 절차

앞서 언급하였듯이 이 연구의 문제 인식은 Fig. 1 과 같이 지구 복사가 적외선 복사로 대체될 수 있는 지를 생각하게 하는 평가 문항으로부터 촉발되었기에 연구진은 다음과 같은 사항을 연구의 가설로 삼았다.

“학습자는 태양 복사(단파 복사)와 가시광선 복사의 관계 및 지구 복사(장파 복사)와 적외선 복사의 관계를 구분하는 데 어려움을 겪을 것이다.”

그리고 여기에는 태양 복사, 단파 복사, 가시광선 복사, 지구 복사, 장파 복사, 적외선 복사에 대한 교과서의 부정확하거나 불충분한 서술이 일정 부분 영향을 미쳤을 것이라는 점을 전제하였다. 따라서 이 연구에서는 ‘태양 복사’와 ‘단파 복사’의 관계 및 ‘지구 복사’와 ‘장파 복사’의 관계, 또한 ‘태양 복사’와 ‘가시광선 복사’의 관계 및 ‘지구 복사’와 ‘적외선 복사’의 관계에 대한 학생들의 개념 인식을 확인하고, 이와 관련된 학습 단원을 포함하는 2015 개정 교육과정 6종의 지구과학 I 교과서의 서술 내용을 분석하였다.

가설의 검증을 위해 학생들이 학습한 개념을 바탕으로 위의 관계를 잘 구분 지어 설명할 수 있는지를 평가할 수 있는 일련의 체계적인 문항들을 개발하여 질문지를 설계하였다. 연구 참여자 및 질문지에 포함된 문항의 개발과 관련된 구체적인 연구 방법 및 절차는 다음과 같다.

2개 고등학교에 재학 중인 각각 71명과 63명의 학생들이 개념 인식의 조사에 참여하였다. 이들은 모두 지구과학 I을 기이수하였고, 연구 자료를 수집한 2021년 당시 지구과학 II 과목을 이수 중이었다. 연구진은 이들에게 Table 4의 문항에 응답하도록 요청하였는데, 이 문항들은 Fig. 1의 문항에 있는 ‘적외선 복사’라는 용어가 ‘지구 복사’를 대체할 수 있는가의 의문에 기초하였다. 다시 말하면 두 용어가 대체할 수 있는 준거 속성을 공유하는 개념인가에 대한 논점을 바탕으로 학습자들이 태양 복사와 가시광선 복사, 지구 복사와 적외선 복사의 관계를 어떻게 규정하고 있는지를 파악할 수 있도록 의도하였다. 이에 학습자들이 복사 평형 상태에 있는 지구의 열수지 도표에서 ‘가시광선 영역의 복사’와 ‘적외선 영역의 복사’의 방출(또는 흡수)과 관련된 요소에 해당하는 것과 ‘단파 복사’와 ‘장파 복사’에 해당하는 것을 분류하도록 문항을 설계하였다. 이를 통해 학습자들이

Table 4. The concept and content of the items in the questionnaire

개념	문항번호	내용
가시광선 복사 또는 적외선 복사로 구분		
	[문항1]	A-I를 가시광선 영역에서 복사를 방출(또는 흡수)하는지, 적외선 영역에서 복사를 방출(또는 흡수)하는지 구분하고 그 이유를 기술하는 문항
단파 복사 또는 장파 복사로 구분		
	[문항2]	A-I를 단파 복사와 장파 복사로 구분하고, 그 이유를 기술하는 문항
	2-1.	단파 복사와 장파 복사의 정의에 대해 구체적으로 서술하는 문항

가지고 있는 개념 인식을 더욱 상세하게 들여다보고자 하였다.

[문항1]은 복사 평형 상태에 있는 지구의 열수지 그림에서 A-I로 지칭한 각 요소들을 가시광선 영역에서 복사를 방출(또는 흡수)하는지, 적외선 영역에서 복사를 방출(또는 흡수)하는지 분류하도록 하였다. 이 문항에서는 학생들이 태양 복사와 지구 복사와 관련된 파장 영역을 어떻게 인식하는지를 살펴보고자 하였다. 아울러 가시광선 영역 또는 적외선 영역에 해당되는 요소를 분류함에 있어서 복수 선택이 가능함을 안내하였다. 이는 태양 복사의 에너지 스펙트럼에 가시광선 영역과 함께 적외선 영역이 포함되어 있음을 알고 있는지 살펴보기 위함이었다.

[문항2]에서는 A-I의 각 요소들을 단파 복사 또는 장파 복사로 분류하고 단파 복사와 장파 복사에 대한 정의를 서술하도록 요구하였으며, 이를 통해 단파 복사와 장파 복사에 대한 학습자의 인식을 이해하고자 하였다.

한편 Table 4의 문항은 지구과학 현직 교사 3명, 대기과학 전문가 1인의 검토 및 질문지의 내용 타당도 평가를 거친 후, 학생들에게 투입되었다. 각 문항에 대한 학생들의 인식을 정확히 파악하기 위해 사고 과정과 선택한 이유 등을 구체적으로 서술하도록 하였으며, 후속 질문이 선행 질문에 대한 힌트가 되어 선행 질문으로 다시 돌아가 이미 작성한 응답을 수정하지 않도록 안내하였다.

연구 결과 및 논의

태양 복사와 가시광선 복사, 지구 복사와 적외선 복사에 대한 학생들의 인식

연구에 참여한 학생들 중 유효 응답으로 인정된

89명의 응답을 분석하였으며, 응답 분포는 Table 5와 같다.

1) [문항1]: 가시광선 영역에서의 복사·적외선 영역에서의 복사로의 분류

Table 4의 [문항1]에서는 복사 평형 상태에 있는 지구 열수지 도표의 에너지 출입을 나타내는 A-I 중에서 가시광선 복사와 적외선 복사 각각에 해당하는 것을 선택하도록 하였으며, 복수 선택도 가능함을 명시하였다. 분석 대상인 89명 중 이 문항에 응답한 학생은 26명뿐이었는데, 이는 [문항2]에 비해 [문항1]에서 묻는 내용을 다소 생소하게 받아들였음을 의미한다.

Table 5에 제시한 바와 같이 가시광선 영역의 복사 에너지로 A와 B를 선택한 경우가 각각 15명과 14명으로 가장 높았으며, 태양 복사와 관련되는 E와 H를 선택한 경우도 각각 8명과 9명으로 높게 나타났다. 이는 최대 약 58%의 학생들이 가시광선 복사는 지구 복사와 연관되어 있지 않으며, 태양 복사와 연관되어 있음을 잘 인식하고 있음을 드러낸다. 특히 대기가 흡수하는 태양 복사 에너지 E의 대부분은 주로 자외선 또는 적외선 영역에서 이루어지지만, 가시광선 영역에서도 대기의 오존에 의한 흡수가 어느 정도 있는 것으로 알려져 있다(e.g., Hoffmann, 2007). 하지만 이 내용은 고등학교 교육과정에서 다루는 수준을 벗어나기 때문에 학생들이 대기과학적 이해를 바탕으로 E를 선택했다고 보기 힘들 것이다. 즉, 학생들은 태양 복사가 가시광선 복사라고 인정한 채, 대기에 의한 태양 복사의 흡수를 가시광선 복사의 흡수로 생각해 선택한 것으로 보인다. 따라서 E를 선택한 학생들은 태양 복사와 관련된 에너지 출입을 가시광선과 관련된다는 학생들의 인식을 찾을 수 있었다. 한편 이 문항에 응답한 26명의 학생들 중 약

Table 5. The distribution of respondents who selected each element shown in Table 4. for the items of the questionnaire

문항 (유효 응답 수)	내용	항목에 응답한 학생 수(명) 유효 응답 대비 비율(%)								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1 (26명)	가시광선 영역	15 57.7%	14 53.8%	9 34.6%	6 23.1%	8 30.8%	6 23.1%	5 19.2%	9 34.6%	5 19.2%
	적외선 영역	7 26.9%	6 23.1%	13 50%	13 50%	4 15.4%	9 34.6%	9 34.6%	3 11.5%	9 34.6%
2 (89명)	단파 복사	23 25.8%	38 42.7%	19 21.3%	14 15.7%	24 27.0%	28 31.5%	23 25.8%	12 13.5%	9 10.1%
	장파 복사	28 31.5%	19 21.3%	17 19.1%	53 59.6%	5 5.6%	28 31.5%	27 30.3%	7 7.9%	12 13.5%

24% 정도는 가시광선 복사로 지구 복사와 관련된 C(9명), D(6명)를 선택하였는데, 이들 중 일부는 서술형 답변에서 태양이 상부에 위치하기 때문에 A, B, C, D를 가시광선 복사와 관련되어 있다고 부연하였다. 이들은 태양 복사와 지구 복사의 뚜렷한 차이점이 방출 에너지의 파장 영역의 다름에 있다는 것을 정확히 인식하고 있지 못하는 것으로 볼 수 있다. 또한 대류·전도·습윤열인 F를 가시광선 복사로 선택한 학생도 약 23%(6명)로 나타났다.

한편, 적외선 영역의 복사 에너지로 분류한 답변을 살펴보면 다음과 같다. 26명의 학생들 중 약 50%의 학생들이 적외선 영역의 복사로 C (13명), D (13명), G (9명), I (9명) 항목을 선택하였다(Table 5). 따라서 이들은 지구 복사, 지표 복사, 대기 복사가 적외선 파장 영역에서 이루어짐을 잘 인식하고 있는 것으로 나타났다. 반면, 태양 복사인 A, B, E, H와 대류·전도·습윤열인 F를 적외선 복사로 선택한 학생들도 약 35% (9명)로 나타났다. 일부 서술형 답변에서 C와 D를 각각 대기와 지표에 의해 반사된 적외선 복사라고 기술하였는데, 이는 복사와 관련된 오개념을 형성하기 쉬운 학습 요소로 판단할 수 있다. 따라서 교과서의 내용이 부정확하고 불충분하거나 교사의 잘못된 설명에 의해 생길 수 있는 오개념(Barrass, 1984; Hong, 2020; Kang, 2001; Kang et al., 2019; Nussbaum, 1981; Storey, 1989) 형성을 방지하기 위해서라도 해당 학습 내용에서 복사 에너지의 방출 주체 및 에너지 스펙트럼에 대해 정확한 서술이 이루어져야 함을 재차 확인할 수 있다.

특히 가시광선 복사로 A, B, E, H를 선택함과 동시에, 적외선 복사로 C, D, G를 선택한 학생들은 12명으로 이 문항에 응답한 학생들의 약 50%를 차지한다. 이들은 태양 복사의 에너지 출입인 A, B, E, H에는 적외선 파장 영역에서의 복사가 없다고 인식하였다. 따라서 A, B, E, H를 가시광선만의 복사로 생각하고 있다는 추론이 가능하다. 한편 나머지 50%의 학생들은 가시광선 복사와 적외선 복사의 의미를 모르고 답한 것으로 나타났다.

[문항1]에 대한 응답을 분석함으로써 학생들은 다음과 같은 오개념을 가지고 있음을 추론할 수 있다. 첫째, 태양 복사 에너지는 가시광선 영역에서만 복사를 방출한다. 둘째, 지표에 입사하는 태양 복사 에너지는 가시광선 영역만 도달한다. 셋째, 태양 복사와 지구 복사를 열수지 도표에서 상부와 하부의 위치

관계로 인식한다. 넷째, 대류·전도·습윤열에 의한 에너지 전달 방식을 복사에 의한 것으로 인식한다.

2) [문항2]: 단파 복사·장파 복사로의 분류

Table 4의 [문항2]에서는 복사 평형 상태에 있는 지구 열수지 도표의 에너지 출입을 나타내는 A-I 중에서 각 단파 복사와 장파 복사에 해당하는 것을 선택하도록 하였으며, 단파 복사와 장파 복사의 정의에 대해서도 서술하도록 요구하였다. 이 문항에는 연구에 참여한 89명 전원이 응답하였다.

전체 응답자의 약 43%인 38명이 단파 복사로 B를 선택하고 있음에도 불구하고, 일부 응답자들은 입사하는 태양 복사의 반사 및 흡수에 해당하는 A, E, H를 단파 복사로 인식하지 못하고 있다. 또 응답자의 약 30%는 단파 복사로 C (19명), D (14명), G (23명), I (9명)를 선택하였다. 이들은 지구 복사를 단파 복사로 잘못 이해하고 있는 것으로 분석을 하였다.

한편 전체 응답자의 약 60%에 달하는 53명이 장파 복사로 D를 선택하였음에도 불구하고, C, G, I를 장파 복사라고 응답한 학생들은 각각 13, 19, 6명에 그쳤다. 이는 지표에서 방출되는 복사만을 장파 복사로 인식하며, 대기와 지표 사이에서 오고 가는 복사 에너지의 파장 영역에 대해서는 잘 이해하지 못하는 것으로 해석함이 타당할 것이다. 태양과 지구뿐만 아니라 특정 온도의 물체(예, 구름, 대기 등)가 방출하는 복사 에너지의 주된 파장 영역에 대한 기초 지식 없이 파장 영역의 장단(長短)으로 단파 복사와 장파 복사를 구분하기 때문인 것으로 나타났다. 이와 관련하여 단파 복사와 장파 복사의 용어 정의에 대한 학생들의 서술을 살펴보면, 단파 복사를 가시광선 복사, 장파 복사를 적외선 복사로 인식하고 있었다. 이는 2015 개정 교육과정 지구과학 I 교과서 6종 중 2종의 교과서에서 태양 복사 및 단파 복사, 지구 복사 및 장파 복사의 용어를 혼용하여 사용함에도 불구하고 단파 복사와 장파 복사의 정의를 따로 제공하고 있지 않다는 것과 무관하지 않을 것이다. 이 때문에 학생들은 태양 복사는 가시광선만을 포함하는 파장 영역에서의 복사 에너지로, 지구 복사는 적외선만을 포함하는 파장 영역에서의 복사 에너지로 자의적으로 연결 짓는 것으로 해석하였다.

[문항1], [문항2]의 응답 분포를 통해 전반적으로 학생들에게 ‘태양 복사(단파 복사)를 가시광선만의 복사로 인식’, ‘열 전달 방식인 대류·전도·습윤열을

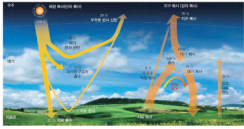

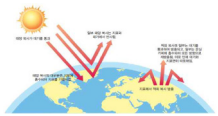
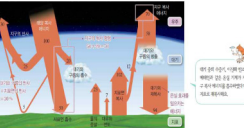
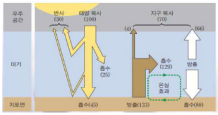
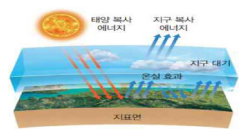
복사로 인식함에 따라 열평형과 복사 평형의 차이점을 구분하지 못하는 인식'이 있음을 발견할 수 있었다. 따라서 다음 절에서 6종의 2015 개정 교육과정 지구과학 I 교과서 분석을 통해 교과서의 서술이 학생들의 개념 형성에 어떠한 영향을 미칠 수 있는지를 조사하고자 한다.

2015 개정 교육과정 고등학교 지구과학 I 교과서 분석
현재 적용 중인 2015 개정 교육과정에 따른 지구과학 I의 6종 교과서에서 태양 복사와 지구 복사에

관련하여 기술하고 있는 본문의 주요 내용 및 삽화를 요약하여 Table 6에 정리하였다. 또한 응답 결과에 나타난 학생들의 인식의 원인과 그 특성을 교과서의 서술 방식과 연관 지어 살펴보았다.

교과서 a와 b의 삽화에서 '단파 복사'와 '장파 복사'의 용어를 사용하고 있으며, 교과서 c는 '단파장의 복사'와 '장파장의 복사'라는 용어를 본문에서 사용하고 있다(Table 6). 그러나 이들 교과서가 해당 용어를 사용하고 있음에도 불구하고, 파장 영역을 구체적으로 설명하고 있지 않기 때문에 학습자들에게 매우

Table 6. Contents of solar radiation and terrestrial radiation in Earth Science I textbooks of the 2015 revised curriculum.

분류 교과서	삽화	설명	오개념 유발 요인
a (Kwon et al., 2019)		“지구에서 우주로 에너지를 방출하는 과정에서 대기에 흡수된 에너지가 다시 지구로 재복사되어”	<ul style="list-style-type: none"> 단파 복사와 장파 복사에 대한 용어 설명없이 삽화에서 사용하고 있음 열수지 삽화에서 열수지 및 복사 평형을 다루면서 복사와는 다른 열 전달 방식인 ‘증발, 대류, 전도’를 지구 복사와 같은 색상, 같은 화살표를 사용함으로써 모두 ‘복사’ 방식의 열 전달 방식으로 오인할 수 있음
b (Lee et al., 2019)		“태양 복사 에너지에 비해 파장이 긴 지구 복사 에너지를 잘 흡수하여 온실 효과에 기여하는 기체를 온실 기체라고 하는데”	<ul style="list-style-type: none"> 단파 복사와 장파 복사에 대한 용어 설명없이 삽화에서 사용하고 있음 태양 복사와 지구 복사 에너지의 방출 파장과 더불어 온실 기체에 의한 복사 에너지 흡수를 다루지만, 온실 기체가 지구 복사 에너지만을 흡수한다고 오인할 수 있음
c (Kim et al., 2019)		“이들 온실 기체는 태양이 방출하는 단파장의 복사 에너지를 잘 통과 시키지만 지구가 방출하는 장파장의 복사 에너지는 대부분 흡수한 다음”	<ul style="list-style-type: none"> 단파장과 장파장의 용어를 사용하여 태양 복사와 지구 복사를 설명함 열수지 삽화에서 온실 효과를 설명하기 위한 복사 에너지의 화살표가 대기를 뚫고 다시 들어오는 모습은 오개념 형성을 일으킬 요소가 있음
d (Lee et al., 2019)		“이때 대기 중의 온실 기체가 주로 가시광선의 형태인 태양 복사 에너지는 대부분 통과시키지만 주로 적외선의 형태인 지구 복사 에너지는 흡수한다.”	<ul style="list-style-type: none"> 태양 복사를 ‘주로 가시광선 형태의 복사’라고 설명하였으나, Tables 1과 2에서 보여주었듯이 태양 복사 에너지의 약 50%가 가시광선 영역에 있기 때문에 ‘주로’라는 표현은 오개념을 유발할 수 있음 열수지 삽화에서 열수지 및 복사 평형을 다루면서 복사와는 다른 열 전달 방식인 ‘증발, 대류, 전도’를 복사와 같은 색상, 같은 화살표를 사용함으로써 모두 ‘복사’ 방식의 열 전달 방식으로 오인할 수 있음
e (Oh et al., 2019)		“이들은 파장이 짧은 가시광선의 태양 복사 에너지는 거의 통과시키고 파장이 긴 적외선의 지구 복사 에너지는 흡수하여”	<ul style="list-style-type: none"> Tables 1과 2에서 보여주었듯이 태양 복사 에너지의 약 50%가 가시광선 영역에 있기 때문에 태양 복사를 ‘파장이 짧은 가시광선 복사’로, 지구 복사를 ‘파장이 긴 적외선 복사’로의 교과서 표현은 오개념을 유발할 수 있음
f (Lee et al., 2019)		“지구 대기는 지구에 입사하는 태양 복사 에너지는 잘 통과시키지만, 지표에서 방출되는 지구 복사 에너지의 일부를 흡수하였다가 재복사하여 지표 온도를 높이는데”	<ul style="list-style-type: none"> 태양 복사와 지구 복사를 설명하는 데에 있어서 파장 영역에 대한 설명이 없음 삽화에서 태양 복사가 반사 없이 모두 지표까지 입사하는 모습과 대기가 지표 복사를 모두 흡수한 후 지표와 우주로 방출하는 모습으로 묘사된 것은 복사의 출입과 온실 효과에 대한 오개념을 유발할 수 있음

모호한 개념을 형성시키거나, 학습자의 자의적 판단에 의한 상대적이고 가변적인 과장을 기준으로 개념을 형성할 가능성이 높다.

한편 교과서 d, e는 태양 복사를 ‘주로 가시광선 형태’ 또는 ‘과장이 짧은(단파장의) 가시광선 복사’로 기술하고 있으며, 교과서 f는 과장에 대한 언급이 전혀 없었다. 물론 이러한 교과서 서술이 “지구 복사와 비교해서 태양 복사는 가시광선 영역에 상당한 복사에너지가 집중되어 있다”와 “태양 복사는 가시광선 영역에서 최대 복사 에너지를 방출하고 있다”라는 점 등을 강조하기 위한 설명으로 볼 수 있겠지만, 태양 복사에서 가시광선 영역의 에너지만을 강조하는 것은 실제 현상에 위배됨을 교수자는 인식하고 있어야 할 것이다. 앞서 이론적 배경과 관측 자료 모두에 기반하여 이 연구는 대기 상단이나 지표에 도달한 태양 복사 에너지의 43-46%가 근적외선 영역에 존재함을 보여주었다(Tables 1 and 2). 따라서 “태양 복사 에너지의 거의 대부분이 가시광선에 집중되어 있다”라고 서술하는 것은 태양 복사는 가시광선의 복사 또는 가시광선만의 복사라는 오개념을 쉽게 유발시킬 수 있는 부정확한 설명이라는 점에 유의할 필요가 있다.

또한 교과서 c와 f의 열수지 삽화에서 복사 에너지의 출입을 나타내는 화살표에 대한 부정확한 표현을 발견하였다. 이는 지구 복사 에너지의 화살표가 대기를 통과하여 대기 밖에서 다시 되돌아오는 모습으로 표현되거나 태양 복사가 반사 없이 모두 지표에 도달하는 것으로 묘사되었다. 이러한 부정확한 표현들은 각각 온실 효과와 지구의 알베도에 대한 오개념을 불러일으킬 가능성이 높은 삽화라 판단된다.

현재 지구과학 I의 교육과정은 ‘대기와 해양의 상호작용’ 단원 이후에 ‘별과 외계 행성계’ 단원에서 별의 물리량과 관련하여 스테판-볼츠만 법칙 등 복사 법칙에 대해 다루고 있다. 학습량을 적정화하고 학습 내용의 중복을 최소화하기 위하여 선행 단원인 ‘대기와 해양의 상호작용’에서는 ‘단파 복사’, ‘장파 복사’, ‘가시광선 복사’, ‘적외선 복사’에 대한 심도 있는 설명이 제한되었을 가능성이 높을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 제한점을 감안할지라도 ‘가시광선 영역에서 최대 에너지를 방출하는 태양 복사’ 또는 ‘태양 복사는 가시광선 영역에서 복사 에너지를 최대량 방출하고 있다’와 같은 방식으로 서술하는 것이 이 연구에서 발견한 오개념을 줄일 수 있는 합리적인 대안이 될 수 있을 것이다.

결론 및 제언

본 연구는 지구의 복사 평형과 열수지에 대해 ‘태양 복사’를 ‘가시광선 복사’로, ‘지구 복사’가 ‘적외선 복사’로 상호 대체될 수 있는 개념인가에 대한 문제 인식에서 출발하였다. 이에 태양 복사와 가시광선 복사의 관계 및 지구 복사와 적외선 복사의 관계, 단파 복사와 장파 복사에 대한 인식을 검증하기 위해 고안된 문항의 응답 결과를 분석하였다. 또한 태양 복사, 단파 복사, 가시광선 복사, 지구 복사, 장파 복사, 적외선 복사에 대한 학습자들의 개념 형성에 교과서의 서술이 어떠한 영향을 미칠 수 있는지를 살펴보았다.

태양 복사(단파 복사)와 가시광선 복사의 관계, 지구 복사(장파 복사)와 적외선 복사의 관계에 대한 고등학생들의 인식에서는 태양 복사를 가시광선만의 복사로 인식하고 있다는 점이 특징적이었다. 그리고 열수지 도표에서 대류·전도·습윤열을 복사에 의한 에너지 전달로 인식하는 등 열평형과 복사 평형을 명확하게 구분하지 못하는 것으로 드러났다.

한편 선행 연구들은 학생들의 오개념 형성의 원인 중 하나로 교과서 내용의 부정확함과 불충분한 서술 내용을 지목하였다(Barrass, 1984; Hong, 2020; Kang, 2001; Kang et al., 2019; Nussbaum, 1981; Storey, 1989). 따라서 인식 조사 결과로 나타난 학생들이 태양 복사를 가시광선만의 복사로 인식하거나 열평형과 복사 평형을 명확하게 구분하지 못하는 인식에는 교과서의 서술 내용이 영향을 미쳤을 것이라 판단하고, 지구 복사 평형과 관련한 2015 개정 교육과정 지구과학 I 6종의 교과서들을 분석하였다.

지구 복사 평형을 다루는 6종의 지구과학 I 교과서 서술과 삽화 내용에서는 다음과 같은 특징이 확인되었다. 첫째, 4종의 교과서에서는 단파 복사(단파장의 복사)와 장파 복사(장파장의 복사)의 용어를 사용하고 있지만, 이에 대한 용어 설명이 없거나 각 과정 영역을 정량화하여 구분하는 설명은 제시되지 않았다. 둘째, 나머지 2종의 교과서에서는 태양 복사를 각각 ‘주로 가시광선 형태’ 또는 ‘과장이 짧은 가시광선 복사’로 기술하고 있으며, 자외선이나 근적외선 영역 등 태양 복사에 해당하는 다른 과정 영역에 대한 언급은 등장하지 않았다. 셋째, 6종 중 2종의 교과서에서는 열수지 도표에서 복사 평형의 개념을 함께 다루는 경향이 나타났으며, 다른 2종의 교과서의 삽화에서는 복사 에너지 출입을 표현할 때 과학적 사실

과 부합하지 않거나 부정확한 화살표로 표기하는 경우도 있었다.

지구의 복사 평형에서 언급되는 여러 종류의 복사에 대한 고등학생들의 개념 인식 및 관련 교과서 내용 분석 결과를 바탕으로 다음의 논의를 도출할 수 있다. 교과서에서 태양 복사와 지구 복사에 대한 대체 개념으로 단파 복사와 장파 복사라는 용어를 사용하고 있지만, 이는 여전히 불확실하고 상대적 개념을 제공하게 되어 학습자들이 자의적으로 생각할 여지가 있다고 판단된다. 또한 태양 복사에 대해서 ‘주로 가시광선 형태’ 또는 ‘파장이 짧은(단파장의) 가시광선’으로 설명함에 따라 태양 복사는 대부분 가시광선으로 또는 가시광선만의 파장을 갖는 오개념으로 연결될 가능성이 충분히 있다고 생각한다. 앞서 이론적 배경과 관측 자료 모두에 기반하여 이 연구는 대기 상단이나 지표에 도달한 태양 복사 에너지의 43-46%가 근적외선 영역에 존재함을 보여주었다(Tables 1 and 2). 특히 모든 교과서에 실려있는 열수지 도표를 통해 복사 평형의 개념을 설명함에 따라, 학습자들에게 여러 가지의 에너지 전달 방식에 대한 혼동을 유발할 수 있어 이에 대한 부연과 강조가 필요할 것으로 판단된다. 그뿐만 아니라 열수지 도표에서 복사 에너지의 출입을 나타내는 화살표에 대한 부정확한 표기는 복사 평형 및 온실 효과에 대한 오개념을 일으킬 가능성이 높은 표현이라고 판단된다.

이렇듯 이 연구는 복사 평형과 관련된 학습자들의 개념 인식에서 드러난 특성이 교과서 서술의 불충분함 및 모호함과 무관하지 않을 수 있다는 점을 짚어내고 있다. 따라서 교과서의 서술 방향에서 학습자의 개념 인식을 고려하여 과학 용어의 명시적 정의 언급 및 용어의 혼용과 의미 구분 등에 대한 신중한 고려가 새삼 요구된다. 또한 관련 학습 내용을 다루는 언어적 상호작용에서 교사는 조금 더 충실하고 구체적인 언급을 통해 각종 용어에 대해 과학적으로 정확한 의미 구성을 의도해야 할 필요가 있음을 시사한다.

한편 이 연구에 참여한 고등학생의 표본 크기를 고려할 때 연구 결과를 일반화하기에는 다소 한계가 있을 수 있지만, 학생들이 태양 복사(단파 복사)와 가시광선 복사, 지구 복사(장파 복사)와 적외선 복사의 관계, 더 나아가 복사 평형과 열수지에 대한 정확한 과학적 개념을 형성하는 데 있어서 교과서의 역할이 매우 중요하다는 본 연구의 결론은 비교적 분

명하다. 즉 교과서에 기술된 불분명한 진술이나 오류는 학생들의 오개념을 유발하거나 재생산할 수 있다는 다른 연구자들의 주장과도 맥락을 함께 한다(Kook, 2003; Park et al., 2020). 그러나 이 연구에서 논의된 바가 교과서 기술에 반영되는 데는 시간적 지연이 불가피하므로, 교과서가 담고 있는 해당 내용에 대한 불충분함과 부정확함을 교사들이 인식하는 것의 중요성을 한층 강조하고자 한다. 교과서 및 교수 과정의 불완전함에 기인하여 학습자들이 겪을 수 있는 사고 안에서의 갈등 및 혼란을 최소화하기 위한 연구들이 다양한 지구과학 내용 요소에 대해 지속적으로 이루어지는 것이 필요하리라 사료된다.

사 사

이 논문은 2021년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었습니다.

References

- Ahrens, C.D., 2008, Essentials of meteorology:an invitation to the atmosphere. Brooks Cole, Utah, USA. 404 p. (translated by Min, K.D., Min, K.H., 2009 Sigmappress)
- American Meteorological Society, 2012, Glossary of meteorology. USA, https://glossary.ametsoc.org/wiki/Shortwave_radiation. (September 10th 2020)
- Barrass, R., 1984, Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of biology. *Journal of Biological Education*, 18, 201-206.
- Gilbert, J.K., Osborne, R.J., and Fensham, P.J., 1982, Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- Gueymard, C.A., 2004, The sun's total and spectral irradiance for solar energy applications and solar radiation models. *Solar Energy*, 76, 423-452.
- Han, I.S., Kwon, N.J., and Kwon, J.S., 2001, The effect of student's confidence of misconception upon the conceptual change in a conflict arousing instruction. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 21(4), 689-696. (in Korean)
- Hanel, R.A., Schlachman, B., Rogers, D., and Vanous, D., 1971, Nimbus 4 Michelson interferometer. *Applied Optics*, 10(6), 1376-1382.
- Hoffmann, G., 2007, Principles and working mechanisms of water-filtered infrared-A(wIRA) in relation to wound healing. *GMS Krankenhaushygiene Interdisziplinär*, 2(2), URL: https://www.researchgate.net/publication/41761571_Principles_and_working_mechanisms_of_water-filtered_

- infrared-A_wIRA_in_relation_to_wound_healing.
(October 2nd 2020)
- Hong, J.H., 2020, Study in conceptual understanding of preliminary teachers about the earth radiative equilibrium, Korea. Kongju National University, Chung-Nam, Korea, 99 p. (in Korean)
- Kang, D.H., 2001, The patterns of students' conceptions and teachers' teaching practices on dissolution, Korea. Korea National University of Education, Chung-Buk, Korea. 220 p. (in Korean)
- Kang, S.R., Seo, E.-K., and Kim, D.Y., 2019, Earth science prospective teachers' perception of the relationship between absolute humidity and dew point temperature. *Journal of The Korean Earth Science Society*, 40(6), 624-638. (in Korean)
- Kim, J.S., Lee, H.K., Kwon, O.S., Jang, S.K., Kwon, H.J., and Park, H.K., 2019, High school earth science I. YBM, Seoul, Korea, 239 p. (in Korean)
- Kook, D.S., 2003, Analysis of 10th grade science textbooks as the cause of misconceptions about the concept of the greenhouse effect. *Journal of the Korean Science Education Association*, 23(5), 592-598. (in Korean)
- Kwon, S.M., Lee, H.N., Jin, M.S., Boo, Y.P., Kim, T.J., and Cho, Y.W., 2019, High school earth science I. Kumsung Publishing, Seoul, Korea, 221 p. (in Korean)
- Lee, J.E., Kim, S.D., and Kim, J.H., 2003, Global environmental research and international cooperation; Poster Presentation: Analysis of the types of misconceptions of high school students on Earth's radiative equilibrium. academic presentation paper collection, Autumn, 185-185. (in Korean)
- Lee, J.W., Ryu, H.G., Choo, B.S., Moon, M.H., Lee, I.S., Seo, K.W., and Cho, M.A., 2019, High school earth science I. Mirae N, Seoul, Korea, 224 p. (in Korean)
- Lee, K.Y., Kim, H.S., Park, J.Y., Lee, S.M., Jung, J.H., and Choi, Y.O., 2019, High school earth science I. Visang Education, Seoul, Korea, 234 p. (in Korean)
- Lee, S.K., Park, H.J., and Kim, W.H., 2000, Student's conceptual ecologies concerning motivational beliefs and socio-cultural values in the context of general chemistry learning. *Journal of the Korean Chemical Society*, 44(3), 266-280. (in Korean)
- Lee, Y.J., Park, S.I., Lee, J.K., Jang, H.Y., Kim, Y.G., and Chang, Y.S., 2019, High school earth science I. Kyohaksa, Seoul, Korea, 203 p. (in Korean)
- Lutgens, F.K. and Tarbuck, E.J., 2008, *The Atmosphere: an introduction to meteorology*. Prentice Hall, NY, USA, 605 p. (translated by Ahn, J.B., Kim, J., Ryu, C.S., Park, S.G., Seo, M.S., Lee, H.W., Jung, I.W., and Jung, H.B., 2009, Sigma press)
- Ministry of Education, 2015, Science curriculum. Ministry of Education notice No. 2015-74 [Attachment 9].
- Ministry of Education, Science and Technology, 2011, Science curriculum. Ministry of Education, Science and Technology Notice No. 2011-361 [Attachment 9].
- Novak, J.D. and Gowin, D.B., 1984, *Learning how to learn*. Cambridge University Press, Cambridge, 199 p.
- Nussbaum, J., 1981, Towards the diagnosis by student teachers of pupil's misconceptions: An exercise with student teachers. *European Journal of Science Education*, 3, 159-169.
- NREL (National Renewable Energy Laboratory), 2015, Reference solar spectral irradiance: Air Mass 1.5 [WWW Document]. URL: <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/spectra-am1.5.html>. (December 10th 2021)
- Oh, P.S., Cho, H.G., Oh, S.J., Lee, H.W., Moon, B.K., So, Y.M., Jeon, H.J., and Park, C.Y., 2019, High school earth science I. Chunjae Education, Seoul, Korea, 222 p. (in Korean)
- Park, H.J., 1999, Strengthening of conceptual change theory: Conceptual ecology. *Journal of Holistic Education*, 3(2), 177-187. (in Korean)
- Park, K.A., Lee, J.Y., Lee, E.Y., Kim, Y.H., and Byun, D.S., 2020, Analysis of misconception on the north korea cold current in secondary-school science and earth science textbooks. *Journal of The Korean Earth Science Society*, 41(5), 490-503. (in Korean)
- Sengupta, M., Habte, A., Gueymard, C., Wilbert, S., and Renné, D., 2017, *Best practices handbook for the collection and use of solar resource data for solar energy applications: second edition*. National Renewable Energy Laboratory(NREL), USA, 233 p.
- Sinatra, G.M., 2005, "Warming Trend" in Conceptual Change Research: The Legacy of Paul R. Pintrich. *Journal of Educational Psychologist*, 40(2), 107-115.
- Storey, R., 1989, Textbook errors and misconceptions in biology: Photosynthesis. *The American Biology Teacher*, 51, 270-274.
- Strike, K.A., 1983, Misconceptions and conceptual change: Philosophical reflections on the research program, contributed paper, International Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics, Cornell University, NY, USA.
- Wolfson, R., 2017, *Energy, environment, and climate*. W. W. Norton & Company, NY, USA, 529 p.