

지구 온난화에 대한 학습발달과정 탐색: 중학교를 중심으로

유은정 · 이기영^{1*} · 곽영순² · 박재용³

한국교육과정평가원 · ¹강원대학교 · ²한국교원대학교 · ³서울교육대학교

Exploring Learning Progressions for Global Warming: Focus on Middle School Level

Eun-Jeong Yu · Kiyoung Lee^{1*} · Youngsun Kwak² · Jaeyong Park³

Korea Institute for Curriculum and Evaluation · ¹Kangwon National University ·

²Korea National University of Education · ³Seoul National University of Education

Abstract: The purpose of this study is to explore learning progressions for global warming at middle school level. For this purpose, we conducted a construct modeling approach that specifies constructs, item designs, outcome spaces, and measurement model steps from April to October, 2021. In order to develop student assessment items, we analyzed the 2015 revised curriculum and textbooks of middle school and categorized a concept hierarchy for each construct to create a construct map. The assessment items were developed into multiple-choice, short answer, and essay questions according to the selected constructs to strengthen the linkage between the constructs and the items. Based on the three-step grading criteria for each item, an online assessment of 21 minor items developed for middle school students show that many students met 'high' level, but none met 'low' level. In this manner, the initial set lower anchor was reset to level 0, the original set upper anchor was lowered from level 4 to level 3, and the hypothetical learning progression for global warming was presented in the following order: phenomenal, conceptual, and mechanical understandings. The results of the research have raised implications for reorganizing the next science curriculum and improving the assessment system.

keywords: global warming, learning progressions, middle school students

I. 서론

고체 폭탄 다이내마이트를 발명한 노벨(A. Nobel)의 유언에 따라 스웨덴 왕립 과학원 노벨위원회는 2021년 10월 5일 물리학계에서 최고의 영예로 꼽히는 노벨 물리학상을 3명의 과학자에게 수여하였다. 이들 중 “지구 기후를 물리적으로 모델링하고, 기후 변동성을 정량화하여, 신뢰할 수 있는 지구 온난화 예측에 기여”한 슈쿠로(M. Syukuro)와 하셀만(K. Hasselmann) 기상학자에게 노벨 물리학상이 수여된 이례적인 수상 소식은 인간에 의한 지구 온난화가 인류의 생존과 관련된 시급한 과제 중 하나라는 강한 메시지를 재차 확인시켜 주는 계기가 되었다(Chaos Science, 2021; The Science Times, 2021).

2021년 8월에 발간된 IPCC 6차 보고서에 따르면, 인간의 영향에 의해 과거 2000년 동안 유례없이 빠른 속도로 지구가 온난화 되었고, 인간의 영향으로 대기와 해양, 육지가 온난해지고 있는 것은 명백한 사실이며, 대기권, 해양권, 빙권, 생물권에서 광범위하고 급속한 변화가 발생하고 있다. 특히, 1850~1900년부터 2010~2019년까지 인간이 유발한 지구 표면 온도 총 증가량은 0.8~1.3 °C이며, 최적 추정치는 1.07 °C로, 이 중 온실 기체가 1.0~2.0 °C 온난화에 기여하였다고 명백히 밝히고 있다(IPCC, 2021). 이와 같이 인간의 영향에 의한 지구 온난화 관련 이슈는 최근 사회, 정치, 경제, 문화 등 전 영역에 영향을 미치고 있으며, 세계 각국의 글로벌 기업들과 금융 기관들은 탄소세, 탄소 배출권, 탄소 국경세 등 탄소 중립에 사활을 걸

* 교신저자: 이기영 (leeky@kangwon.ac.kr)

** 이 연구는 2021년 한국교육과정평가원 연구보고서 ‘교과별 핵심 개념에 대한 학생의 이해 특성 분석과 교수학습 전략 탐색(RRI 2021-4)’의 일부 내용을 발췌하여 수정·재구성한 것임.

*** 2022년 3월 15일 접수, 2022년 4월 4일 수정원고 접수, 2022년 4월 13일 채택

http://dx.doi.org/10.21796/jse.2022.46.1.1

2 유은정 · 이기영 · 곽영순 · 박재용

고 있다(Kim, 2021). 과학과의 경우 지구 온난화에 대한 이해는 복잡하고 다층적이며 비구조적인 SSI (Socio- Scientific Issues) 학습 주제로 활용되고 있으며, 범교과학습의 일환으로 초·중·고등학교 과학, 사회, 환경 교과 학습 내용으로 확장해 가며 학생들의 동기를 증가시키기 위해 많은 관심을 기울이고 있다(Sadler, 2009).

우리 삶에 이처럼 깊숙이 관여하고 있는 지구 온난화 위기 상황 속에서, 지구 온난화 관련 실천역량의 하위 요소를 탐색한 Lee *et al.* (2021)은 지구 온난화 관련 대응 실천 역량 중에서 지구 온난화 관련 지식이 가장 기본적으로 전제되어야 하는 요소임을 언급하였다. 그러나 선행 연구(Chung & Yu, 2021; Han *et al.*, 2000; Hong, 2021; Park & Lee, 2009)를 살펴보면, 예비 교사나 초·중·고·대학생에 이르기까지 지구 온난화 관련 과학 개념에 대한 지식 구축이 의미 있게 이루어지지 못하고 있으며, 인간이 초래한 지구 온난화에 대한 과학적 주장에 대해 정교한 의미를 확립할 수 있도록 조력하는 학습 환경 및 비계 설정 마련에 상당한 어려움이 있는 것으로 보고되고 있다(Lombardi *et al.*, 2017).

지구 온난화란 대기 중에 있는 온실 기체가 지표로부터 방출되는 장파인 적외선을 흡수하여 지구 표면의 대기나 해양의 평균 온도가 상승하는 현상을 의미하지만 협의로는 산업혁명 이후, 인간 활동에 의해 대기 중으로 배출되는 온실 기체가 적절한 양을 초과하여 발생하는 심각한 온실 효과를 의미한다. 그동안 지구 온난화 관련 선행 연구들은 주로 학생들의 대안 개념을 탐색하는 것에 초점이 맞추어져 있어, 지구 온난화에 대한 학생들의 능동적인 의미 구성 과정을 장기적인 관점에서 체계적으로 살펴보는 데 제한점이 있었다. 최근 더욱 심각해진 지구 온난화 관련 이슈를 학생들이 정확하게 이해하고 해석하고 의사소통하기 위해서는 지구 온난화를 각 권의 상호 작용과 관련지어 인간에 의한 영향을 종합적으로 해석할 수 있어야 한다. 그러나 2015 개정 교육과정을 살펴보면, 지구계 관련 학습 내용은 중학교 1학년 '지권의 변화'에서 다루며, 지구 온난화 관련 학습 내용은 중학교 3학년 '기권과 날씨'에서 다루어 지구계의 구성 요소와 지구 온난화를 본질적 개념으로 이해할 가능성이 있다. 이에 지구계의 구성 요소와 상호 작용을 인간의 영향에 의한 지구 온난화 현상과 통합적으로 인식할 수 있도록 지구 온난화에 대한 일련의 학습발달과정(Learning Progression)을 체계적으로 살펴보는 것이 필요하다.

학습발달과정은 과학 개념에 대한 학생들의 이해 및 과학적 탐구 실행 능력이 오랜 기간에 걸쳐 적절

한 과학교수활동에 의해 발전되고 정교화되는 과정을 의미하는 것으로(Alonzo & Steedle, 2009; Corcoran *et al.*, 2009; NRC, 2007), 하위 정착점(lower anchor), 중간 단계(intermediate), 상위 정착점(upper anchor)과 같은 질적으로 서로 다른 몇 개의 성취 수준들로 구성된다. 하위 정착점은 교수학습을 시작할 때 학습의 출발점이 되는 학생들의 현재의 이해 수준이자 탐구 실행 능력으로 자연 현상에 대한 거시적 이해나 일상적 개념 등 낮은 수준의 이해 및 오개념을 포함한다(Alonzo & Steedle, 2009; Mohan, Chen, & Anderson, 2009). 반면, 상위 정착점은 교수학습을 마무리 하는 단계에서 학생들이 도달하게 될 것으로 예상되는 개념 이해 및 탐구 실행 능력으로, 과학 개념의 정확한 이해 및 과학 탐구 기능의 정교한 실행 능력을 갖춘 가장 상위의 기대되는 이해 수준에 해당한다(NRC, 2007). 한편, 중간 단계는 상위 정착점과 하위 정착점을 이어주는 디딤돌 역할을 하는 것으로 학습발달과정이 오개념 연구와 차별화 되는 지점을 가장 잘 설명해 줄 수 있는 단계이며, 다양한 학습발달경로를 규명할 수 있는 근거가 되는 단계이기도 하다(Heo & Lee, 2018). 이러한 학습발달과정의 가설적 경로는 정책 입안자에게는 체계적인 교육과정 설계에, 현장 교사에게는 수업 목표 설정과 선개념 진단 도구 및 평가 전략 수립에 유용한 준거가 될 수 있다(Stevens *et al.*, 2010).

최근 이러한 학습발달과정의 차별화된 가치와 효용성에 대한 관심이 증대되면서, 과학과에서는 운동과 에너지(Alonzo & Steedle, 2009), 물질(Noh *et al.*, 2016; Stevens *et al.*, 2010), 생명(Yeo & Lee, 2016; Furtak, 2012), 지구와 우주(Lee *et al.*, 2016; Plummer & Krajcik, 2010) 등 각 영역의 핵심 개념에 대해 학생들의 학습발달과정을 탐색한 연구가 국내외에 질적, 양적으로 점차 증가하고 있다. 그러나 범교과 차원에서 매우 중요한 이슈로 다루고 있는 지구 온난화에 대한 학습발달 양상을 탐색한 연구를 국내에서는 찾아보기 힘들다. 따라서 학생들의 과학과 핵심 개념에 대한 체계적인 학습발달과정 연구를 다각도로 수행하여 현장 교사들의 교수학습 실제에 적용하고 수정·보완하는 환류 과정을 반복적으로 수행할 필요가 있다.

지구 온난화 관련 내용은 현재 2015 개정 교육과정에서 환경·지속가능발전 교육을 범교과 학습 주제 중 하나로 총론에서 제시되어 있을 뿐만 아니라, 앞으로 개정될 2022 개정 교육과정에서 지속가능한 발전, 기후 위기 대응, 생태전환 등에 포함된 가치(생명존중, 지속 가능, 생태·환경 감수성 등)를 총론의 교육목표에 명시적으로 제시하고 있다(MOE, 2021). 지구 온난화

관련 주제는 인류가 당면한 최대 과제이자 최근 교육과정 개정의 방향에서도 중요하게 강조되고 있다. 지구 온난화에 대한 정의, 과정, 원인, 영향 등은 과학 개념이나 원리를 기반으로 이해해야 하므로 여러 교과 중에서도 과학 교과에서 특히 중요한 위치를 차지함에도 국내에서 아직까지 학습발달과정에 대한 연구가 수행되지 않았다. 학습발달과정은 단순히 학생들의 성취 여부를 판단하기 위함이 아니라, 학습과정에서 무엇이 문제이며, 다음 발달 단계로 나아가기 위해 어떻게 보완해야 하는지를 도와주는 지도와 같은 역할을 할 수 있고(Lee *et al.*, 2016), 교육과정, 수업, 평가의 각 단계에서 교사와 학생이 대면할 수 있는 여러 가지 어려움을 예상하여 효과적인 교수학습 기회를 제공하는 데 기여할 수 있다(Osborne *et al.*, 2016).

이에 본 연구에서는 중학교 수준에서 지구 온난화를 학생들이 어떻게 이해하고 있는지 확인하기 위하여, 개념 이해 검사지를 제작하고 학생 이해 특성과 수준을 분석하고자 한다. 이를 통해 지구 온난화에 대한 학습발달과정을 가설적으로 제안하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

2021년 7월 13일부터 7월 24일까지 중학교 3학년 118명의 학생들이 지구 온난화에 대한 개념 이해 평가에 온라인으로 참여하였다. 이들은 수도권 소재 과학전시관에서 운영되는 영재교육원 학생 56명과 자율

학교 중 하나인 미래학교 학생 62명의 중학교 3학년 학생들이다. 유목적표집 방식으로 연구 참여자를 선정한 이유는 다음과 같다.

첫째, 지구 온난화 관련 핵심 개념을 2015 개정 과학과 교육과정에서 살펴보면(Table 1), 중학교 1~3학년 '고체 지구' 영역의 '지구계와 역장', '대기와 해양' 영역의 '대기의 운동과 순환'에 해당되며, 각 핵심 개념에 대한 내용 요소는 '계', '지구계', '지구계의 구성 요소', '지구계의 상호 작용', '태양 복사 에너지', '지구 복사 에너지', '복사 평형', '온실 효과', '온실 기체', '지구 온난화'로 구성되어 있다. 따라서 해당 내용에 대한 학습을 완료한 중학교 3학년 학생을 대상으로 개념 이해 검사를 실시하였다. 둘째, 본 연구가 수행된 2021년 7월 당시 대부분의 학교에서 COVID-19로 인해 원격 수업을 실시하고 있었다. 학생들의 연구 참여에 대한 동의뿐만 아니라 온라인 평가에서는 학생 참여가 무엇보다 중요한 변수였다. 따라서 과학에 흥미가 높아 자발적으로 과학전시관에서 진행되는 영재원 온·오프라인 수업에 참여하고 있는 영재원 학생들과 디지털기기를 활용한 프로젝트 학습 등 원격 수업에 익숙하며 적극적으로 수업에 참여하는 경향이 높은 미래학교 학생들을 대상으로 하였다. 마지막으로 학습발달과정을 제안하기 위해서는 학생들의 개념 이해 평가 결과가 가능한 넓게 분포하여 다양한 수준의 학생들의 이해 특성이 나타나야 한다. 따라서 수학·과학에 흥미가 높고 상대적으로 성적이 우수한 수·과학 영재 학생들과 과학에 대한 흥미가 낮은 편이고 과학 학업 성적이 상대적으로 중하위권이 많이 분포한 소규모 여자중학교이나 자신의 생각을 표현하는 서답형 글쓰기 평가에 매우 익숙한 미래학교 학생들을 대상으로 하였다.

Table 1. Middle school science curriculum and textbook contents related to global warming

핵심 개념	일반화된 지식	성취기준	내용 요소 (중학교 1~3학년)	교과서
지구계와 역장	지구계는 지권, 수권, 기권, 생물권, 외권으로 구성되고, 각 권은 상호 작용한다.	[9과01-01] 지구계의 구성 요소를 알고, 지권의 층상 구조와 그 특징을 설명할 수 있다.	<ul style="list-style-type: none"> 계 지구계 지구계의 구성 요소 지구계의 상호 작용 	중1 과학 I. 지권의 변화 지구계와 지권의 층상구조
대기의 운동과 순환	기권은 성층 구조를 이루고 있으며, 위도에 따른 열수지 차이로 인해 대기의 순환이 일어난다.	[9과18-01] 기권의 층상 구조를 이해하고, 온실 효과와 지구 온난화를 복사 평형의 관점으로 설명할 수 있다.	<ul style="list-style-type: none"> 태양 복사 에너지 지구 복사 에너지 복사 평형 온실 효과 온실 기체 지구 온난화 	중3 과학 II. 기권과 날씨 기권과 지구 기온

2. 연구 절차

본 연구는 2021년 4월부터 10월까지 수행한 과학과 핵심 개념에 대한 학생 이해 특성 분석과 교수학습 전략을 탐색한 연구의 일부이다. 교육과정 및 학습 발달과정에 전문성이 있는 지구과학교육 전문가 4인과 교수학습 자료 개발에 전문성을 갖춘 현장 과학교사 6인(물리학, 화학, 생명과학, 지구과학 각 1인 이상)이 연구에 참여하였다. 지구 온난화에 대한 학습 발달과정을 탐색하기 위하여 Wilson (2005)이 제안한 구인 모델링 방식(construct modeling approach)에 따라 구인 특화, 평가 문항 개발, 평가 결과 기술, 측정 모델 적용의 4단계로 연구를 수행하였다(Figure 1).

첫째, 구인 특화 단계에서는 평가를 위한 구인 구성도를 작성하기 위하여 2021년 4월부터 5월까지 지구 온난화 관련 핵심 개념과 일반화된 원리를 교육과정에서 살펴보고, 현장에서 가장 많이 활용되는 3종의 교과서를 분석하여 내용 요소에 대한 조직과 구성을 비교·분석하였다. 둘째, 구인 구성도의 수준별 진술에 기반하여 2021년 4월부터 7월까지 선다형과 단답형 및 서술형으로 총 21개의 평가 문항을 개발하였다. 셋째, 평가 결과를 기술하기 위하여 2021년 7월 13일부터 7월 24일까지 총 118명의 중3 학생을 대상으로 온라인 평가를 실시하고, 모든 문항에 성실히 응답한 97명의 응답을 최종 수집하여 분석하였다. 마지막으로 측정 모델 적용 단계에서는 학생들의 개념 이해에 대한 경험적 자료를 1단계에서 작성한 구인 구성도와 비교하여 통계적 방법으로 타당성을 검증하였다. 학생 온라인 평가가 완료된 2021년 7월부터 10월까지 Rasch 모델에 적용하여 Wrightmap (person-item map)을 산출하고, 이를 통해 지구 온난화에 대한 가설적 학습발달과정을 제안하였다.

구인 특화 및 평가 문항 개발 과정에서는 과학교사와 과학교육 전문가가 공동으로 참여하였고, 평가 결

과 기술 및 측정 모델 적용 과정에서는 과학교육 전문가가 수차례 논의하고 합의하는 과정을 거쳤다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 구인 특화

지구 온난화에 대한 핵심 개념을 중심으로 학생 이해 특성 검사 문항을 개발하기 위해 구인 선정이 우선되어야 한다. 교육과정에 제시된 지구 온난화 관련 핵심 개념과 일반화된 원리가 교과서에 어떻게 반영되어 있는지 살펴보기 위하여 3종의 교과서(미래엔: A, 비상교육: B, 천재교육: C)를 분석하여 내용 요소에 대한 조직과 구성을 비교·분석하였다. 내용 요소별 교과서 본문 진술 내용은 큰 차이는 없지만 해당 내용 요소의 학습 활동 제시 여부는 다소 차이가 나타났다. 내용 요소의 교과서별 반영 현황을 정리하면 Table 2와 같다.

내용 요소가 도입글 보다는 본문(텍스트)에 주로 시각 자료와 함께 명시적으로 제시되었고, 활동과 정리/평가에서 대부분의 내용을 다루고 있었으며, 보조 자료 활용은 특정 내용 요소에 대해서만 기술되는 특징을 보였다. 지구계와 지구 온난화 주제에 대한 학생 이해 수준을 범주화하기 위해 교과서 내용 및 구성 체계를 바탕으로 구인을 추출해서 특화할 필요가 있다. 이에 검사지 개발에 참여한 과학교사 6인과 지구과학교육 전문가 4인이 학생 이해의 특성을 구분할 구인을 설정하고, 이를 정교화하는 과정을 4차례 반복하였다. 지구 온난화 관련하여 학생들의 대안 개념을 조사한 선행연구를 참고하여 최종적으로 2개의 구인에 대해 각각의 하부 수준을 설정하였다. 구인 1에 대해서는 4개 Level, 구인 2에 대해서는 5개 Level의 개념 위계를 범주화하고 지구 온난화에 대한 구인 구성도를 작성하였다(Table 3).

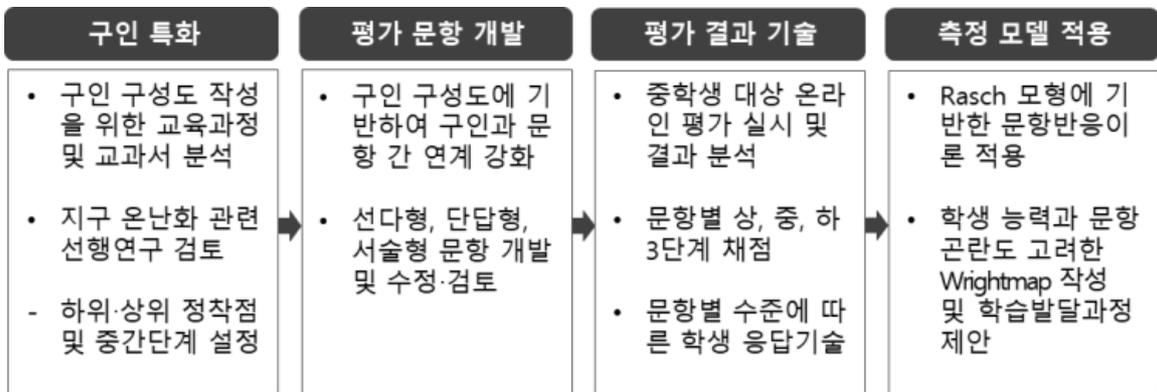


Figure 1. Research procedure

Table 2. States of global warming related content elements in middle school textbooks

내용 요소	교과서 구성 체계																	
	도입			본문(텍스트)			시각 자료			활동			정리/평가			보조 자료		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
계	○			○	○	○	○			○			○	○	○			
지구계	△		△	○	○	○	△	○	○	△		○	○	○	△			○
지구계의 구성 요소		△		○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○		○	
지구계의 상호 작용				○		○				○			○	△				
태양 복사 에너지				○	○	○	○	○	○			△	○		○			
지구 복사 에너지				○	○	○	○	○	○	○		△	△		○			
복사 평형	△	△	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
온실 효과			△	○	○	○	○	○	○				○		○			
온실 기체				○	○	○				○	○	○	○	○				
지구 온난화	△	△		○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○			○

○ 명시적 진술 및 표현 있음, △ 암묵적 진술 및 표현 있음

- 암묵적 진술 및 표현의 예: 중 3 교과서 A (p. 58)의 복사 평형 단원 도입부 중 ‘연못의 물이 햇빛을 계속 받아도 뜨거워지지 않는 까닭은 무엇일까?’ 부분과 같이 복사 평형이라는 용어는 사용하지 않았으나 해당 개념을 도출해내기 위한 진술이 있음.

Table 3. Construct map

구인	지구계 구성 요소, 기권, 수권, 생물권, 외권 상호 작용하는 하나의 계이다.	에너지 평형이 유지되는 지구계에서 인간 활동의 영향으로 지구 온난화 현상이 일어날 수 있다.
5	-	복사 평형의 의미를 알고, 온실 효과와 복사 평형 관점에서 설명하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명하며, 인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 있다.
4	지구계 구성 요소를 알고, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명하며, 이를 종합하여 지구계의 의미를 설명할 수 있다.	복사 평형의 의미를 알고, 온실 효과와 복사 평형 관점에서 설명하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명하며, 인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 없다.
Level 3	지구계 구성 요소를 알고, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명하지만, 이를 종합하여 지구계의 의미를 설명할 수 없다.	복사 평형의 의미를 알고, 온실 효과와 복사 평형 관점에서 설명하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명하지 못하며, 인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 없다.
2	지구계 구성 요소를 알고, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명하지 못하며, 이를 종합하여 지구계의 의미를 설명할 수 없다.	복사 평형의 의미를 알고, 온실 효과와 복사 평형 관점에서 설명하지 못하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명하지 못하며, 인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 없다.
1	지구계 구성 요소를 모르고, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명하지 못하며, 이를 종합하여 지구계의 의미를 설명할 수 없다.	복사 평형의 의미를 모르고, 온실 효과를 복사 평형 관점에서 설명하지 못하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명하지 못하며, 인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 없다.

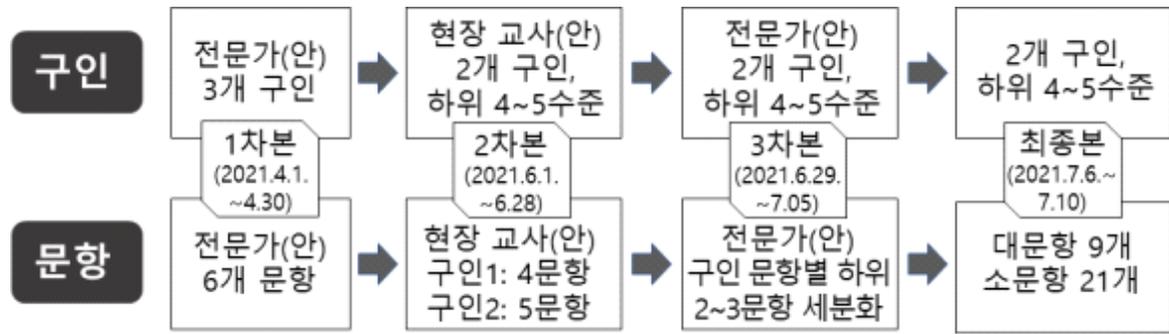


Figure 2. Procedure of assessment items development

2. 평가 문항 개발

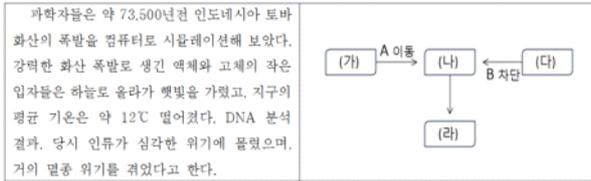
선정된 구인에 따라 그에 부합하는 문항을 동시에 제작하면서, 구인과 문항 간 연계를 강화하였다. Figure 2는 과학교사와 과학교육 전문가가 구인과 문항의 초안을 지속적으로 수정, 개선하는 과정을 나타낸 것이다.

학생 이해 평가 문항은 최종적으로 2개 구인, 9개 대문항에 대해 소문항 총 21개가 제작되었다. 총 4차에 걸쳐 문항 수정 및 검토가 이루어졌는데, 1차본은 학습발달과정 연구 경험이 많은 지구과학교육 전문가들이 초안을 제작하였다. 이를 해당 수업에 맞게 과학 교사 그룹이 구체화·초점화하여 2차본을 개발하였다. 다시 2차본에 대해 지구과학교육 전문가 2인이 표현

Table 4. Composition of assessment items

구인	문항 요약	평가 요소	하위 문항 (유형)
구인 1	1-1. 지구계의 그림에서 각 구성 요소 명칭 쓰기	지구계의 구성 요소	1-1 (단답형)
	1-2. 지구계의 상호 작용하는 각 권의 종류 쓰기	각 권의 상호 작용	1-2 (단답형)
	1-3. 지구계의 상호 작용 사례에서 물질과 에너지 이동 순서대로 서술하기	각 권의 상호 작용으로 인한 물질과 에너지 이동	1-3-1, 1-3-2 (단답형, 서술형)
	1-4. 지구를 하나의 계라고 말하는 의미 서술하기	지구계의 의미	1-4 (서술형)
구인 2	2-1. 기호로 나타낸 태양과 지구 복사 에너지들의 관계로 복사 평형 설명하기	복사 평형의 의미	2-1 (서술형)
	2-2. 온실 효과가 나타나는 경우를 찾고, 이때에도 복사 평형을 이루고 있음을 나타내기/기호로 표시된 에너지의 출입에서 온실 효과 찾기	온실 효과와 복사 평형	2-2-1, 2-2-2, 2-2-3, 2-2-4, 2-2-5, 2-2-6, 2-2-7, 2-2-8 (선택형, 단답형, 서술형)
	2-3. 알고 있는 온실 기체를 제시하고, 온실 기체의 증가 그래프를 보고 지구의 평균 기온 예상하기/온실 기체와 평균 기온의 관계 서술하기	온실 기체와 평균 기온의 관계	2-3-1, 2-3-2, 2-3-3 (단답형, 서술형)
	2-4. 기호로 나타낸 에너지 이동량을 사용해서 온실 기체가 증가할 때 나타나는 과정을 설명하고, 그 결과 지구 평균 기온 예상하기	지구 온난화와 열수지	2-4 (서술형)
	2-5. 이산화 탄소 증가의 원인이 된 인간 활동의 예를 들고, 이때 각 권의 상호 작용 설명하기/지구 온난화 속도 늦추는 방법 설명하기	인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안	2-5-1, 2-5-2, 2-5-3 (서술형)
계			21

1-3. 다음은 과거 지구계에서 일어난 사건을 계구성한 설명을 읽고, 숨어있는 내용이 그림으로 나타낸 것이다. (가)-(라)는 지구계를 구성하는 각 권이며, A와 B는 물질과 에너지를 순서 없이 나타낸 것이다.



① 토바 화산 폭발 사건에서 나타난 각 권의 상호 작용과 그 과정에서 이동하는 물질과 에너지의 관계를 나타낸 그림에서 (가)-(라), A와 B에 알맞은 말을 쓰시오.

② 위 그림에서 각 권에서 물질과 에너지가 이동하면서 나타나는 각 권의 상호 작용을 설명하시오.

1-4. 다음은 지구계에 대한 물범과 캥수어의 대화 중 일부이다.

물범: 지구를 '지구계'라고 하는데 '계'는 무슨 뜻이야?
 캥수: 다양한 요소로 이루어진 전체 안에서 서로 영향을 주고받는 구성 요소들의 모임을 계라고 하는 거야.

물범: 그래. 계의 정의가 그렇다면, 왜 지구를 지구계라고 하는 거지?
 캥수: 예를 하나 들어 볼게. 지구의 평균 기온이 높아지면 북극의 해빙이 녹아, 햇빛을 반사하던 해빙이 녹으면 햇빛이 더 많이 들어와서 기온이 더 올라가겠지? 그럼 바닷물의 온도와 염분이 변하면서 빙하도 녹게 되고, 그럼 우리 같은 생물의 먹이나 생활도 바뀌고, 심지어는 해류의 흐름까지 변화시키게 되지.

물범: 가만가만, 캥수 내가 말한 사례에는 도대체 몇 가지 구성 요소가 등장하는 거니?
 캥수: 바로 그거야. 내가 말한 사례에서도 지구계라고 말하는 이유가 드러나지. 지구가 하나의 계인 이유는

A에 들어갈 내용을 쓰시오.

Figure 3. Examples of assessment items

의 적절성, 논리의 위계 및 명료성, 문항 제작을 위한 평가 요소의 구체화 등을 검토·수정하여 3차본을 완성하였다. 3차본을 다시 과학교사 그룹에게 현장 적합성 검토를 의뢰하여 교육과정 및 교과서, 실제 중학생 수준 등을 고려한 의견 수렴 과정을 거쳐 최종적으로 4차본 문항 개발을 완료하였다. 문항 수정 과정에서 가독성 향상, 답안 작성 방향과 수준의 제한, 세부적 인지 상태 파악, 구인과 평가 요소의 일치, 평가 요소의 타당성 등을 고려하였다. Table 4는 최종 개발된 평가 문항의 평가 요소와 개략적 문항 내용, 문항 유형을 정리한 것이다. 복사 평형, 온실 효과와 지구 온난화는 어느 정도 개념의 위계가 있지만, 학생들은 이들을 분절된 형태로 인식하기 쉽다. 따라서 기본 개념의 관계를 잘 연관 짓고 있는지 파악하기 위해 하위 문항을 배치하고, 선택형, 단답형과 서술형 문항을 구성했다. Figure 3은 평가 문항의 예시를 나타낸 것이다.

3. 평가 결과 기술

2021년 7월 13일부터 7월 24일까지 총 118명의 중 3 학생을 대상으로 온라인 평가를 실시하고, 모든 문

항에 성실히 응답한 97명의 응답을 수집하여 각 문항별로 학생 응답을 분석하였다. 과학교사 그룹 5인과 과학교육 전문가 1인이 논의하여 각 문항별로 상, 중, 하 3단계 채점 기준을 정하여 3, 2, 1점을 각각 부여하였다. 문항별로 2인의 채점자를 정하여 채점의 타당도를 상호 점검하며 일관성 있게 문항별 채점 기준에 따른 점수를 부여하고, 이를 분석하여 기술하였다. Figure 4는 개념 이해 검사지를 중학교 3학년 97명에게 적용한 평가 결과 문항별 수준 분포를 나타낸 것이다.

문항별 3단계 채점 기준에 의거하여, '상' 수준에 해당하는 학생들의 비율이 높게 나타난 문항은 2-5 (인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안), 1-1(지구계의 구성 요소), 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계)으로 각각 91.8%, 81.4%, 74.2%로 나타나 이 문항들의 경우 대다수의 학생들의 이해도가 상당히 높은 것을 알 수 있다. 여기서 주목할 점은 2-5 문항(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)의 경우, 출제자는 가장 상위 수준의 평가 문항으로 예상한 문제였는데, 학생 응답 결과 '상' 수준의 학생이 90% 이상이라는 점에 대해서는 면밀한 검토가 필요해 보였다. 이에 모든 문항에 대해 영재원 학생과

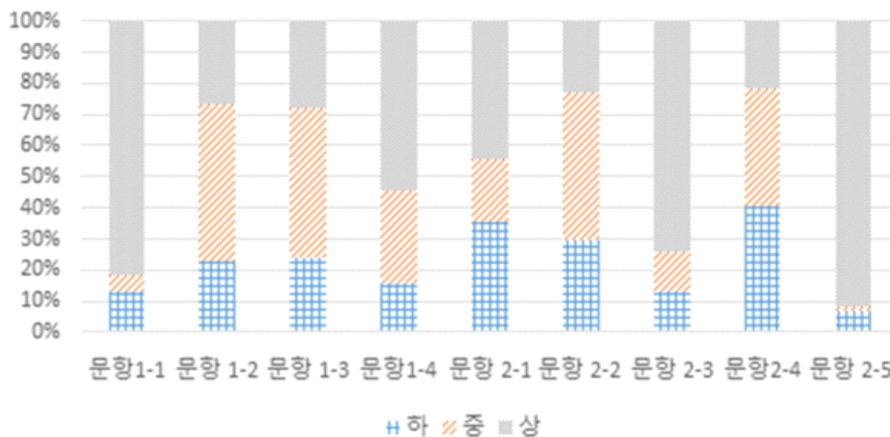


Figure 4. Students' level distribution by item

미래학교 학생의 '상' 수준에 속하는 학생들의 정답률을 검토해 본 결과, 2-5 문항을 제외하고는 영재원 학생의 정답률이 미래학교 학생의 정답률보다 높은 것을 발견할 수 있었다. 그러나 2-5 문항의 경우 오히려 미래학교 학생(92.0%)이 영재원 학생(91.7%)보다 '상' 수준에 속하는 학생 비율이 0.3%p 더 높게 나타났다. 또한 영재원 학생은 1-1 문항(지구계의 구성 요소)에서 문항 곤란도가 가장 낮았던 반면, 미래학교 학생의 경우 2-5 문항(인간 활동이 지구 온난화에 미친 영향)에서 문항 곤란도가 가장 낮게 나타났다. 이러한 결과를 통해 미래학교 학생들의 경우 지구 온난화와 관련된 기후변화 주제에 대해 지속가능발전교육과 관련하여 학생들의 참여와 실천이 매우 높는데 이러한 요인이 응답에 영향을 준 것으로 판단되었다. 따라서 2-5 문항에 대한 Rasch 모형을 적용한 해석에서 연구 참여자 변인을 고려하여 해석할 필요성이 있다. 다음으로 '하' 수준에 해당하는 학생 비율이 타문항에 비해 높은 문항은 2-4(지구 온난화와 열수지), 2-1(복사 평형의 의미)로 각각 40.2%, 35.1%였으나 전체적으로 문항별 '하' 수준에 해당하는 학생 비율이 높지 않음을 알 수 있다. 한편, '중' 수준에 해당하는 학생들의 비율이 높은 문항은 1-2(각 권의 상호작용), 1-3(각 권의 상호작용으로 인한 물질과 에너지 이동), 2-2(온실 효과와 복사 평형)로 각각 50.5%, 48.5%, 47.4%로 나타났다. 이상에서 언급한 지구 온난화에 대한 중학생들의 개념 이해에 대한 경험적 자료를 1단계에서 작성한 구인 구성도와 비교하여 통계적 방법으로 타당성을 검증하였다.

4. 측정 모델 적용

Figure 5는 모든 문항(구인 2개/대문항 9개/소문항 21개)에 대한 학생 97명의 응답 반응을 Rasch 모형에 적용하여 결과로 산출한 Wrightmap (person-item map)이다. Wrightmap은 피험자의 능력(ability)과 문항의 곤란도(difficulty)를 같은 척도로 비교하기 위하여 동일한 스케일(scale)의 로지트(logit) 단위로 환산한 값을 하나의 맵에 표시한 것이다. Wrightmap에서 가장 왼쪽에 표시된 MEASURE 값(4, 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3, -4)은 피험자의 능력과 문항의 곤란도를 로그 척도로 나타낸 로지트 값으로, 양(+)의 값을 가질수록 피험자 능력과 문항 곤란도가 높아지는 것을 의미하며, 음(-)의 값은 이와 반대이다. 중앙 세로선 왼쪽의 PERSON은 피험자들의 능력에 따른 위치와 인원수를 나타낸 것인데, '#'과 '.'으로 표시된다. '#'과 '.'에 해당하는 인원수는 Wrightmap마다 다르게 표시되는데, 이 Wrightmap

에서 '#'은 2명, '.'은 1명을 나타낸다. 중앙 세로선 오른쪽의 ITEM에는 문항의 수준별 위치가 표시되어 있는데, 이것은 Rasch-Thurstone 임계값을 로지트로 환산한 것이다. Rasch-Thurstone 임계값은 같은 로지트를 가지는 피험자들이 그 문항의 특정 수준에 응답할 확률의 누적값이 50% 또는 응답하지 않을 확률의 누적값이 50%가 되는 것을 의미하므로, 각 문항 수준의 Rasch-Thurstone 임계값은 해당 수준의 곤란도를 나타낸다. 즉, Rasch-Thurstone 임계값이 높은 곳에(위쪽에) 위치할수록 문항 곤란도가 높다는 것을 의미한다. 한편, 중앙 세로선에는 2개의 'M'이 표시되어 있는데, 세로선을 기준으로 왼쪽의 'M'은 피험자들의 상대적인 능력을 로지트 단위로 환산한 평균값이며, 오른쪽 'M'은 문항 곤란도의 평균값을 나타낸 것이다. 즉, 세로선 왼쪽에 표시된 'M'은 피험자의 평균 능력을, 오른쪽에 표시된 'M'은 문항의 평균 곤란도를 의미한다. 이때, Wrightmap에서는 다른 변인의 곤란도를 상대적인 로지트 값으로 표시하기 위하여 문항 곤란도의 평균값은 항상 0이 되게 맞춰져 있다. 또한, 세로선의 좌측과 우측에 표시된 'S'와 'T'는 각각 피험자의 능력과 문항 곤란도의 1 표준편차 범위(68%), 2 표준편차 범위(95%)를 의미한다(Wright & Linacre, 1994; Lee & Park, 2017). Rasch 모형 측정 결과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 학생들의 평균 능력은 로지트 값이 0.86 정도로 9개 대문항의 평균 곤란도에 비해 높게 나타났는데, 이는 학생들의 능력이 문항의 평균 곤란도보다 높다는 것을 의미한다. 구인별 문항 곤란도가 낮은 것부터 높은 순으로 나열하면, 구인 1(지구계의 상호작용)의 경우 1-1(지구계의 구성 요소), 1-4(지구계의 의미), 1-3(각 권의 상호작용으로 인한 물질과 에너지 이동), 1-2(각 권의 상호작용) 순으로 문항 곤란도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 구인 2(복사 평형과 온실 효과)의 경우 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안), 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계), 2-1(복사 평형의 의미), 2-2(온실 효과와 복사 평형), 2-4(지구 온난화와 열수지) 순으로 문항 곤란도가 높아졌다. 구인 1과 2를 통틀어 학생들에게 가장 어려웠던 문항은 2-4(지구 온난화와 열수지)이었으며, 가장 쉬었던 문항은 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)인 것으로 나타났다.

둘째, 문항 곤란도와 평균 곤란도 관계를 구인별로 살펴보면, 문항 곤란도가 평균 곤란도보다 높게 나타난 문항은 구인 1(지구계의 상호작용)의 경우 1-2(각 권의 상호작용), 1-3(각 권의 상호작용으로 인한 물질과 에너지 이동), 1-4(지구계의 의미)이고, 구인 2(복사 평형과 온실효과)의 경우 2-1(복사 평형의 의

미), 2-2(온실 효과와 복사 평형), 2-4(지구 온난화와 열수지) 이다. 반면, 문항 곤란도가 평균 곤란도보다 낮게 나타난 문항은 구인 1의 경우 1-1(지구계의 구성 요소)이고, 구인 2의 경우 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계), 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)이다. 여기서 주목할 점은 구인 1의 1-1(지구계의 구성 요소), 1-4(지구계의 의미)와 구인 2의 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)의 문항 수준이다. 문항 1-4(지구계의 의미)의 '상' 수준은 문항 곤란도의 로지트 값이 1~3 사이에 속하는 5개의 문항 1-2(각 권의 상호 작용), 1-3(각 권의 상호 작용으로 인한 물질과 에너지 이동), 2-1(복사 평형의 의미), 2-2(온실 효과와 복사 평형), 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안) 문항의 '상' 수준에 비해 비교적 낮게 나타났다. 한편, 문항 1-4(지구계의 의미)의 '중' 수준도 '상' 수준에 해당하는 문항들의 양상과 비슷하게 나타났다. 이는 문항 1-4(지구계의 의미)의 수준을 현재 수준보다 더 높이는 방향으로 수정할 필요가 있음을 의미한다.

셋째, 구인에 따른 수준별 분포의 특징을 살펴보면, 구인 1의 1-1(지구계의 구성 요소)과 구인 2의 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계), 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안) 문항의 '상' 수준은 다른 문항들의 '상' 수준은 물론이고 구인 1의 1-2(각 권의 상호 작용), 1-3(각 권의 상호 작용으로 인한 물질과 에너지 이동)과 구인 2의 2-4(지구 온난화와 열수지), 2-2(온실 효과와 복사 평형) 문항의 '중' 수준에 비해서도 상대적으로 낮게 나타났다. 특히 구인 2의 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)의 경우는 그 차이가 매우 크게 나타났다. 이러한 결과는 구인 1의 1-1(지구계의 구성 요소)과 구인 2의 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계), 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)의 문항 수준을 상향 조정할 필요가 있음을 시사한다. 한편, 산출된 Wrightmap에서 눈에 띄는 특징은 9개 대문항의 '하' 수준에 해당하는 학생들이 없다는 것이다. 즉, 문항별 '하' 수준은 로지트 값 -4 미만으로, 이에 해당하는 학생들이 없어서 Wrightmap에 표시되지 않았다. 또한, 구인 1의 1-1(지구계의 구성 요소), 구인

2의 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계)과 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안) 문항의 '중' 수준에 속하는 학생도 4명에 불과한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 9개 대문항 모두 학생들의 능력에 비해 '하' 수준에 해당하는 문항의 곤란도가 너무 낮은 데서 기인한 것으로, 각 문항의 하위 정착점을 상향 조정할 필요가 있으며, 구인 1의 1-1(지구계의 구성 요소), 구인 2의 2-3(온실 기체와 평균 기온의 관계)과 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안) 문항의 '중' 수준을 더 높게 조정할 필요가 있음을 시사한다.

Wrightmap에 나타난 결과를 종합해 볼 때, 3수준에 속한 학생들이 너무 많고 '하' 수준에 속한 학생들이 없다는 것은 9개 대문항의 전반적인 수준을 상향 조정할 필요가 있음을 시사한다. 또한, 각 문항의 수준을 상향 조정하는 과정에서 같은 수준의 다른 문항보다 그 수준이 너무 낮게 나타났거나, 수준이 높게 책정되어 있지만 다른 문항보다 그 수준이 낮게 나타난 문항들은 그 수준을 더 높게 상향 조정할 필요가 있다. 즉, 대문항 9개 모두 학생들은 '중' 수준 이상의 이해를 보였으며, 이는 학생들이 지구계 및 지구 온난화와 관련된 개념을 비교적 잘 이해하고 있다고 판단할 수 있다.

한편, Table 5는 본 연구에서 사용된 9개 대문항의 item fit MNSQ (mean square value) 값을 산출한 것으로, 각 문항에 대한 학생들의 응답 결과가 Rasch 모델에 부합되는 정도를 보여준다.

Item fit는 Infit과 Outfit으로 구성되는데, infit은 문항의 곤란도와 피험자의 능력 수준에 맞게 배치된 사례가 발생하는 정도를 나타낸 것이며, outfit은 곤란도가 높은 문항인데 낮은 능력 수준의 학생이 응답하거나, 곤란도가 낮은 문항인데 능력 수준이 높은 학생이 응답하는 올바르지 않는 misfit에 해당된다(Maeng *et al.*, 2014). 보통 MNSQ 값은 1.0을 평균값으로 환산하기 때문에 수용 가능한 값의 범위는 0.5~1.5이다. 즉, MNSQ 값이 1.0보다 크면 설명되지 않은 변수가 많은 경우(undefit)이며, 1.0보다 작으면 모델이 과도하게 예측하는 경우(overfit)로 판단한다(Wright & Linacre, 1994). Table 5에 나타난 결과를 통해 본

Table 5. MNSQ value of item Infit and outfit

MNSQ	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	Mean
Infit	1.45	0.74	0.58	0.95	1.46	0.81	1.10	0.83	1.92	1.10
Outfit	1.15	0.82	0.57	0.95	1.74	0.95	1.05	0.80	3.04	1.23

연구에 사용된 9개 문항은 대체적으로 수용 가능한 범위에 포함된 것으로 나타났으나, 문항 2-1과 2-5의 경우는 적합 범위를 벗어나 수정이 필요한 것으로 분석되었다. 그러나 2-5의 경우는 MMSQ 값이 infit과 outfit 모두 허용 범위를 많이 벗어나 있어 추후 활용 시 삭제를 고려해야 할 것으로 판단된다. 이러한 결과는 추후 심도 있는 검토가 필요할 것으로 보이나 미래학교 학생 변인이 상당한 영향을 끼친 것으로 판단된다. 즉, 2-5 문항(인간 활동이 지구 온난화에 미친 영향)의 경우 앞서 언급한 바와 같이, 과학에 대한 흥미가 낮은 편이고, 과학 학업 성취도가 상대적으로 중하위권이 많이 분포한 미래학교 학생들의 경우, 기후 변화와 지구 온난화 문제에 대해 지속가능발전교육과 관련하여 문제의식과 실천적 참여가 매우 높은 학생들이 많았던 점에 주목할 필요가 있다. 미래 학교 학생의 정답률이 영재원 학생들의 정답률 보다 높았던 유일한 문항이 2-5 문항이었을 뿐만 아니라 영재원 학생들은 1-1 문항(지구계의 구성 요소)에서 가장 문항 곤란도가 낮게 나타난 반면 미래학교 학생들은

2-5(인간 활동이 지구 온난화에 미친 영향) 문항에서 가장 문항 곤란도가 낮은 특징을 보였다.

본 연구에서 제시한 학생들의 학습 이해도 분석을 위해 주의할 점을 언급하면 다음과 같다.

첫째, Rasch 모형은 기본적으로 학생들의 능력을 추정하는 데 있어서 문항의 곤란도만을 고려한다. 측정 상황에 따라 문항 이외의 다른 요인들도 학생의 반응에 영향을 줄 수 있으므로 학생 평가 상황이 오프라인이 아닌 온라인으로 이루어졌다는 맥락을 고려하여 이와 관련된 여러 측면을 함께 검토하여 해석할 필요가 있다. 둘째, Rasch 모형에서 학생들의 적합도 통계치를 이용하여 기대와 크게 다른 반응을 보인 학생들을 선별해내고 이러한 학생들의 반응형태분석을 실시하여 학생들의 부적합 원인을 진단해보는 것도 의미가 있을 것이다. 후속 연구를 통해, 본 연구에서 분석한 학생 전체 집단의 특성뿐만 아니라 학생 개인별 이해도 특성을 세밀하게 분석할 필요가 있다.

이상의 분석 결과를 고려하여 지구 온난화에 대한 구인 구성도 수준을 재설정하면 Figure 6과 같다.

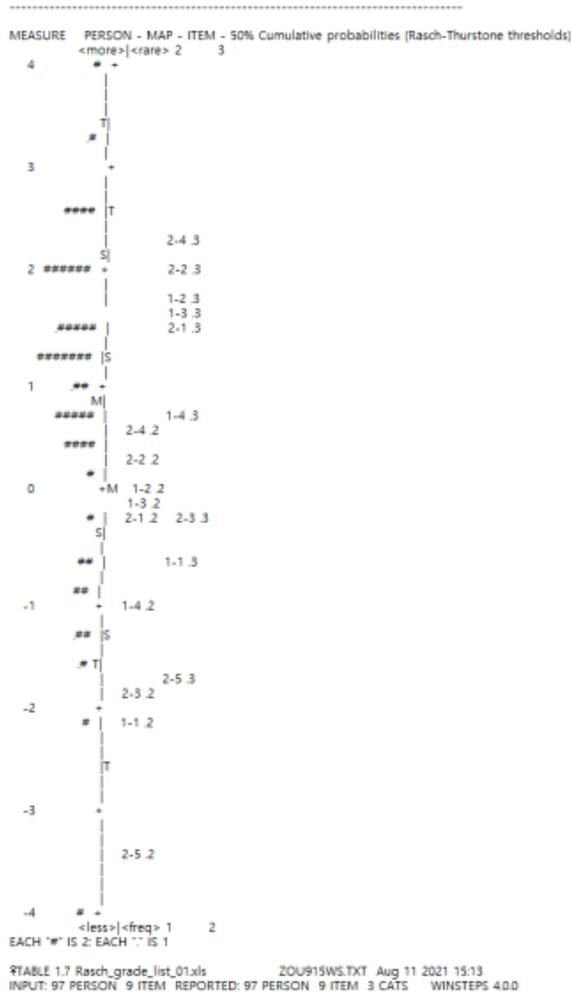


Figure 5. Wrightmap from Rasch analysis

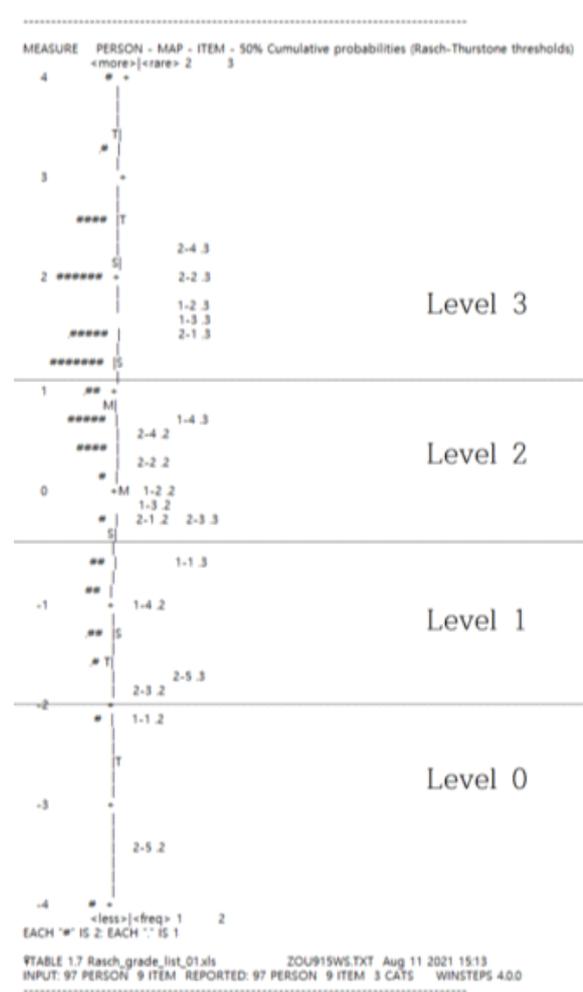


Figure 6. Wrightmap based on a revised construct map

학생들의 능력과 문항의 곤란도를 고려하여 구인구성도의 수준을 나누는 단계별 경계값(step point)을 재설정함에 있어, 다음 사항에 유의하여 결정하였다.

먼저, 구인 1과 구인 2의 단계를 함께 고려하였으며, 하나의 단계에 구인별 문항이 최소 하나씩은 포함되도록 하였다. 또한, 구인별 동일 문항의 다른 수준이 같은 단계에 포함되지 않도록 주의하였으며, 처음 설정한 구인 1의 4단계와 구인 2의 5단계 구분의 적절성을 Rasch 분석 결과에 의거하여 판단하였다. 그 결과 구인 2의 2-5(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)의 경우 학생들이 가장 쉽게 응답한 문항이었던 만큼 이를 하위 정착점으로 이동시켜 구인 2의 초기 5단계 구인 구성도를 구인 1과 마찬가지로 4단계로 조절하였다.

단, Rasch 분석 결과 4단계에서 Level 1에 해당하는 학생이 나타나지 않았던 점을 고려하여 초기에 설정한 Level 1을 Level 0으로, Level 4를 Level 3으로 조정하여 Level 0부터 Level 3까지 하향 조정된 4단계로 수정하고, 본 연구 대상자인 중학생의 경우 Level 1을 하위 정착점으로 정하고, Level 0은 추후 초등학생을 대상으로 한 연구에서 나타날 것으로 예상하였다.

결국 Figure 6에서 보는 바와 같이, 구인 1의 경우 처음 설정한 1-1, 1-2/1-3, 1-4의 단계(지구계의 구성 요소 → 각 권의 상호 작용/각 권의 상호 작용으로 인한 물질과 에너지 이동 → 지구계의 의미)별 경계 값을

을 조정하여 1-1, 1-4, 1-2/1-3 순서(지구계의 구성 요소 → 지구계의 의미 → 각 권의 상호 작용/각 권의 상호 작용으로 인한 물질과 에너지 이동)로 수정하였다. 즉, 하위 정착점은 그대로 지구계의 구성 요소로 유지하되 Level 1이 아닌 Level 0으로 설정하고, 상위 정착점을 초기에 설정했던 '지구계의 의미'에서 '각 권의 상호작용/각 권의 상호 작용으로 인한 물질과 에너지 이동'으로 재설정하였다. 한편, 구인 2의 경우 처음 설정한 2-1, 2-2, 2-3/2-4, 2-5의 단계(복사 평형의 의미 → 온실 효과와 복사 평형 → 온실 기체와 평균 기온의 관계/지구 온난화와 열수지 → 인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안)별 경계 값을 조정하여 2-5, 2-1/2-2, 2-3/2-4 순서(인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안 → 복사 평형의 의미/온실 효과와 복사 평형 → 온실 기체와 평균 기온의 관계/지구 온난화와 열수지)로 수정하였다. 즉, 초기에 상위 정착점이라 생각했던 '인간 활동에 의한 지구 온난화 인식과 해결 방안'(2-5)을 하위 정착점으로 옮기고 이를 Level 1이 아닌 Level 0으로 설정하였으며, 초기에 중간 단계로 설정했던 Level 3과 Level 4 각각에 해당되었던 '온실 기체와 평균 기온의 관계', '지구 온난화와 열수지'를 묶어 가장 상위 정착점인 Level 3으로 재설정하였다. 이상의 분석 결과를 바탕으로 수정된 구인 구성도를 제시하면 Table 6과 같다.

Table 6. Revised construct map

구인	지구는 지권, 기권, 수권, 생물권, 외권이 상호 작용하는 하나의 계이다.	에너지 평형이 유지되는 지구계에서 인간 활동의 영향으로 지구 온난화 현상이 일어날 수 있다.
3	지구계 구성 요소를 알고, 지구계의 의미를 설명할 수 있으며, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명할 수 있다.	인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 있고, 온실 효과를 복사 평형 관점에서 설명할 수 있으며, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명할 수 있다.
2	지구계 구성 요소를 알고, 지구계의 의미를 설명할 수 있으며, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명할 수 없다.	인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 있고, 온실 효과를 복사 평형 관점에서 설명할 수 있으며, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명할 수 없다.
1	지구계 구성 요소를 알고, 지구계의 의미를 설명할 수 없으며, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명할 수 없다.	인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 있고, 온실 효과를 설명하지 못하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 복사 평형 관점에서 설명할 수 없다.
0	지구계 구성 요소를 모르고, 지구계의 의미를 설명할 수 없으며, 각 권의 상호작용을 물질과 에너지의 이동으로 설명할 수 없다.	인간 활동에 의한 지구 온난화를 설명할 수 없으며, 온실 효과를 복사 평형 관점에서 설명하지 못하고, 온실 기체가 증가할 때 각 권의 에너지의 증감을 설명할 수 없다.

5. 가설적 학습발달과정 제안

이상의 연구 결과를 바탕으로 중학교 수준에서 지구 온난화에 대한 가설적 학습발달과정을 제안하면 Figure 7과 같다.

Figure 7에서 제시한 현상적 이해(phenomenal understanding), 개념적 이해(conceptual understanding), 기제적 이해(mechanical understanding) 순서에 따른 학습발달과정을 구체적으로 제안하면 다음과 같다. 첫째, 하위 정착점은 지구 온난화와 관련하여 인간 활동이 지구계에 미치는 영향을 현상적으로 이해하는 수준이다. 지구 온난화 관련 이슈는 21세기 인류의 최대 관심사인 만큼 과학교과 뿐만 아니라 범교과 차원의 지속가능발전교육의 주제로 타교과 교수·학습 과정이나, 대중 매체 혹은 인터넷 등 다양한 경로를 통해 학생들은 관련 내용을 접했을 가능성이 높다. 따라서 지구 온난화 관련 교수학습을 시작할 때 학습의 출발점으로 지구 온난화 관련 이슈를 일상생활에서 개인적 경험과 관련지어 현상적으로 이해하는 초보적 수준에서 시작하는 것이 바람직할 것이다. 이 수준의 학생들에게 지구 온난화 관련 과학 교수학습을 실천할 때에는 학생들의 경험에 근거한 여러 가지 대안 개념들을 과학적 개념으로 바꾸어주는데 중점을 두어야 할 것이다.

둘째, 중간 단계는 지구계에 나타나는 온실 효과와 인간의 영향에 의한 지구 온난화를 개념적으로 이해하는 수준으로 하위 정착점에 있는 학생들이 상위 정착점으로 이동할 수 있도록 여러 단계의 디딤돌을 교사가 적절하게 제공해주어야 한다. 이 수준의 학생들에게 지구 복사 평형에 대한 과학적 개념을 설명할 때, 과학 교과서에 제시된 시각적 표상 자료와 연결시켜 복사 평형의 관점에서 온실 효과와 지구 온난화를 이해할 수 있도록 도와주고, 복사 평형의 관점을 지구

에서 뿐만 아니라 달에도 적용할 수 있도록 교사의 세심한 스캐폴딩이 필요할 것이다. 개념의 위계를 구체적으로 언급하면 ‘인간 활동이 지구 온난화에 미친 영향’, ‘지구계의 구성 요소’, ‘온실 기체의 농도와 지구 평균 기온 사이의 관계’, ‘지구계의 의미’, ‘지구 복사 평형의 의미’, ‘지구계에서 물질과 에너지의 이동’, ‘지구계 구성 요소 사이의 상호 작용’, ‘복사 에너지의 열수지와 온실 효과’, ‘온실 효과와 복사 에너지의 열수지 변화’의 순으로 학습이 이루어질 필요가 있다.

마지막으로 상위 정착점은 인간의 영향으로 온실 기체가 증가할 때, 지구계 각 권의 상호작용에 의한 물질과 에너지의 증감 메커니즘을 기제적으로 이해하는 수준으로 학습이 마무리되는 단계에서 학생들이 도달하게 될 것으로 기대되는 가장 상위의 이해 수준이다. 이 수준의 학생들은 지구 온난화를 장기적인 관점에서 지구계가 각 권의 상호작용을 통해 에너지의 순출입 없이 복사 평형을 찾아가는 과정이라는 점을 정량적인 열수지 관계로 파악하고, 지구 온난화의 원인과 결과의 메커니즘을 바르게 설명할 수 있는 깊은 이해 수준에 도달하도록 과학 수업의 초점을 맞추어야 할 것이다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 지구 온난화에 대한 학습발달과정을 중학교 수준에서 탐색하기 위하여 구인 모델링 방식에 따라 중학교 3학년 118명의 학생을 대상으로 2021년 4월부터 10월까지 구인 특화, 평가 문항 개발, 평가 결과 기술, 측정 모델 적용의 4단계로 연구를 수행하였다. 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

지구 온난화에 대한 학생 이해 평가 문항을 개발하

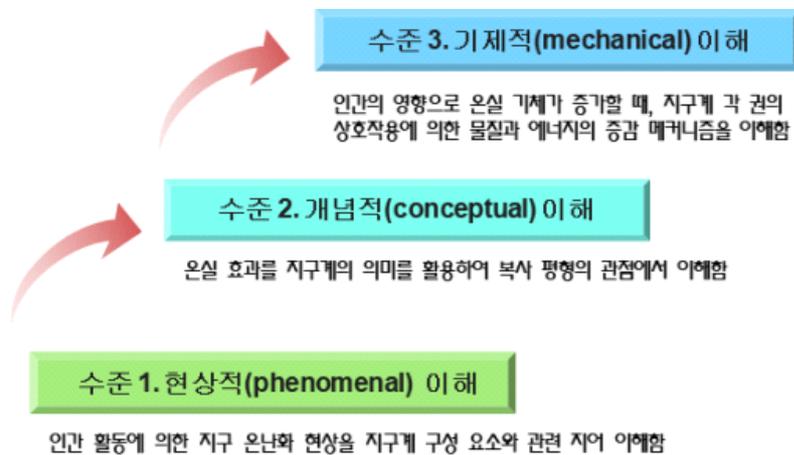


Figure 7. Hypothetical learning progression on global warming

기 위하여 중학교 교육과정과 교과서를 분석하여 내용 요소를 토대로 구인별 개념 위계를 범주화하여 구인 구성도를 작성하였다. 구인과 문항 간 연계를 강화하기 위하여 선정된 구인에 따라 총 21개의 소문항을 개발하였다. 개발된 문항을 중학생을 대상으로 온라인 평가를 실시하여 각 문항별로 상, 중, 하 3단계로 채점하고 학생 응답을 Rasch 모형에 적용하여 Wrightmap을 산출하였다. 학생들의 평균 능력과 문항의 평균 곤란도를 비교 분석한 결과, 문항별 '상' 수준의 학생은 많은 반면, 문항별 '하' 수준의 학생은 없는 것으로 나타나 문항 수준을 상향 조정할 필요성이 제기되었다. 이에 초기에 설정한 하위 정착점 Level 1을 Level 0으로 재설정하고, 초기에 상위 정착점으로 설정했던 구인 1의 Level 4와 구인 2의 Level 5를 Level 3으로 통합하여 하향 조정하였다. 연구 결과를 바탕으로 중학교 수준에서 지구계 관점으로 지구 온난화에 대한 가설적 학습발달과정을 현상적 이해, 개념적 이해, 기제적 이해 순으로 제안하였다. 이상의 연구 결과를 토대로 결론 및 후속 연구를 제안하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 학습발달과정을 제안하기 위하여 교육과정과 교과서 분석을 토대로 내용 요소를 확인하고, 그에 따른 구인을 설정하여 구인별 평가 문항을 개발하고, 개발된 문항을 실제 학교 현장에 적용하여 그 결과를 경험적, 통계적으로 분석하여 지구 온난화에 관한 가설적 학습발달과정을 제안하는 일련의 체계적 과정을 수행하였다. 학습발달과정은 과학의 핵심 개념과 과학적 활동에 대한 이해 과정을 논리적이고 순차적인 단계로 정교하게 기술한 틀(Corcoran *et al.*, 2009; Mohan *et al.*, 2009)이므로 핵심 개념을 중심으로 한 차기 과학과 교육과정을 재구성할 때 본 연구 결과는 이론적 기초를 제공할 수 있을 것이다. 다만, 본 연구에서는 연구 대상을 중학생으로 한정하였으며, 가설적 학습발달과정을 특정 학생들을 대상으로 한 경험적 증거에 의해 검증한 것이므로, 이러한 과정을 반복하여 학습발달과정을 정교화해 나간다면 보다 질 높은 교육과정 개발을 위한 표준을 제공할 수 있을 것이다. 후속 연구를 통해 지구 온난화에 대한 학습발달과정의 횡적, 종적 스펙트럼을 정교화해 나가는 작업을 반복하여 본 연구 결과에서 밝힌 가설적 학습발달과정에 대한 검증과 더불어, 정교하고 타당한 교수 계열을 제안할 필요가 있다.

둘째, 최근 국내에서도 학습발달과정에 대한 과학과 연구가 축적되고 있으나 21세기 인류의 최대 관심사인 지구 온난화 관련 주제에 대한 연구는 찾아보기 어렵다. 이에 본 연구에서 가설적으로 제안한 학습발달과정의 하위 정착점, 중간 단계, 상위 정착점을 통

해 학생들이 지구 온난화를 이해하는 방식을 명시적으로 나타내고 이를 통해 지구 온난화 관련 교수학습 방법을 계획하고, 실천하고, 반성할 수 있는 가이드라인을 제시한 것은 의미가 있다. 본 연구에서 제안한 지구 온난화에 관한 중학교 수준의 가설적 학습발달과정인 현상적, 개념적, 기제적 이해의 순서는 지구 온난화 관련 수업을 구성하는 데 상당한 시사점을 내포한다. 현재 지구과학 교육과정에서 주로 관찰과 현상 위주의 실생활과 연계된 현상 중심의 학습 내용을 학습 초기에 도입하여 학생들의 흥미와 호기심을 자극하는 동력으로 사용하는 것은 매우 적절해 보인다. 그러나 이러한 현상적 이해가 과학적 개념으로 성장·발달해가려면 다양한 과학적 개념을 학생 수준에 맞게 교수학습 과정에서 적절하게 디딤돌로 제공해줄 수 있는 중간 단계의 도움 자료를 교사가 제공할 필요가 있다. 선행연구(Chung & Yu, 2021)에서 밝힌 것처럼, 복사 평형, 온실 효과, 지구 온난화에 대한 분절적 과학 개념들이 지구계의 균형과 상호작용이라는 커다란 하나의 의미망으로 연결될 수 있도록, 본 연구에서 제안한 상위 정착점인 기제적 이해에 최종적으로 도달하는 것을 학습의 지향점으로 삼아야 할 것이다. 이를 통해 학생들이 지구 온난화 현상을 이해하고, 과학 개념을 적용하여 인간에 의한 지구 온난화 영향의 메커니즘을 해석하여 견고한 개념틀을 형성할 것으로 보인다. 본 연구에서 가설적으로 제안한 학습발달과정은 개인 학습자의 복잡하고 다층적인 맥락에 따른 수많은 경로와 차이가 있을 수 있으므로 적절한 과학 수업을 통해 보완해야 할 지점을 검증함으로써, 중간 단계가 될 수 있는 디딤돌을 계속해서 추가하는 작업이 필요하다.

마지막으로 본 연구에서는 지구 온난화 관련 학습발달과정을 탐색하기 위하여 학생 평가 문항을 구인별로 정교화하는 미시적 과정을 수행하였다. 본 연구에서 개발한 학생 이해 평가 문항은 성취기준 평가를 넘어 미래교육에서 지향하는 핵심 개념 중심의 학생 이해도를 파악하기 위해 범주화된 하위 상세문항을 개발하였다는 점에서 의의가 있다. 학생들이 지구 온난화에 대한 과학 개념을 깊이 있게 이해할 수 있도록 전이 가능한 핵심 개념 중심의 학습발달경로를 탐색하기 위해 본 연구에서는 현장 과학교사와 과학교육 전문가가 협력하여 평가 문항에 대한 정교화 작업을 통해 완성도를 높여갈 수 있었다. 따라서 학습발달과정 탐색을 위해 지금까지 개발된 다양한 평가 문항들에 대한 타당화 연구를 다각도로 진행한다면 학습자의 발전을 검토하고, 평가의 결과를 반영하여, 교수활동을 보완하는 평가 적응적 수업(Corcoran & Silander, 2009)에 대한 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

국문 요약

본 연구에서는 중학교 수준에서 지구 온난화에 대한 학습발달과정을 탐색하고자 하였다. 이를 위해 2021년 4월부터 10월까지 구인 특화, 문항 개발, 결과 기술, 측정 모델 단계로 구성된 구인 모델링 방식에 따라 연구를 수행하였다. 학생 평가 문항을 개발하기 위하여 중학교 교육과정과 교과서를 분석하여 내용 요소를 토대로 구인별 개념 위계를 범주화하여 구인 구성도를 작성하였다. 구인과 문항 간 연계를 강화하기 위하여 선정된 구인에 따른 평가 문항을 선택형, 단답형, 서술형으로 개발하였다. 개발된 총 21개의 소문항을 중학생을 대상으로 온라인 평가를 실시한 결과 문항별 3단계 채점 기준에 의거하여 ‘상’ 수준에 해당하는 학생은 많은 반면, ‘하’ 수준에 해당하는 학생은 없는 것으로 나타났다. 이에 초기에 설정한 하위 정착점을 Level 0으로, 상위 정착점을 Level 4에서 Level 3으로 하향 조정하여 구인 구성도를 수정하였으며, 이를 바탕으로 지구 온난화에 관한 가설적 학습발달과정을 현상적 이해, 개념적 이해, 기제적 이해 순으로 제안하였다. 연구 결과를 토대로 차기 과학과 교육과정의 재구성 및 평가 체제 개선을 위한 방안을 제안하였다.

주제어: 지구 온난화, 학습발달과정, 중학생

References

- Alonzo, A. C., & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education* 93(3), 389-421.
- Chaos Science (2021). *2021 Nobel Prize Commentary Lecture*. Academy of Advanced Sciences (KIAS), Chaos Foundation. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=Wx-whN5wt8k>. (in Korean)
- Chung, S., & Yu, E. (2021). Assessing middle school students' understanding of radiative equilibrium, the greenhouse effect, and global warming through their interpretation of heat balance data. *Journal of Korean Earth Science Society*, 42(6), 770-788. (in Korean)
- Corcoran, T., & Silander, M. (2009). Instruction in high schools: The evidence and the challenge. *The Future of Children*, 19(1), 157-183.
- Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform*. CPRE Research Reports. Retrieved from https://repository.upenn.edu/cpre_research_reports/53.
- Drake, S. M., & Burns, R. C. (2004). *Meeting standards through integrated curriculum*. Alexandria, VA: ASCD.
- Furtak, E. M. (2012). Linking a learning progression for natural selection to teachers' enactment of formative assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1181-1210.
- Han, J., Jeong, Y., & Noh, T. (2000). The conception of high school students about acid rain, ozone layer, and greenhouse effect. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(3), 364-370. (in Korean)
- Heo, J., & Lee, K. (2018). A proposal of curriculum and teaching sequence for seasonal change by exploring a learning progression. *Journal of Korean Earth Science Society*, 39(3), 260-274. (in Korean)
- Hong, J. (2021). A study on pre-service biology teachers' perceptions of global warming, greenhouse effect, ozone layer depletion, and acid rain. *The Korea Society of Energy and Climate Change Education*, 11(2), 165-173. (in Korean)
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2021). *Climate change 2021. The Physical science basis*. Summary for policymakers. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i>.
- Kim, J. (2021). *The ESG revolution is coming*. Miryang: Hans media. (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*. Research Report 2021-4, Jincheon: Korea Institute for Curriculum and Evaluation. (in Korean)
- Lee, K., & Park, J. (2017). Exploring a learning progression for integrated process skills in earth science inquiry. *Journal of Korean Earth Science Society*, 39(3), 260–274. (in Korean)
- Lee, K., Maeng, S., Park, Y., Lee, J. & Oh, H. (2016). Validation of learning progressions for earth's motion and solar system in Elementary grades: Focusing on construct validity and consequential validity. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(1), 177-190. (in Korean)
- Lee, M., Shin, H., Ga, S., & Kim, C. (2021). Analysis of the components of action competence for climate change using the delphi method. *Korean Journal of Environmental Education*, 34(3), 288-305. (in Korean)
- Lombardi, D., Bickel, E. S., Brandt, C. B., & Burg, C. (2017). Categorising students' evaluations of evidence and explanations about climate change. *International Journal of Global Warming* 12(3-4), 313-330.
- Maeng, S., Lee, K., Park, Y-S., Lee, J., & Oh, H. (2014). Development and validation of a learning progression for astronomical systems using ordered multiple-choice items. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(8), 703-718. (in Korean)
- Ministry of Education [MOE]. (2021). *The main points of the general outline of the 2022 revised curriculum* (draft). Ministry of Education press release (November 24, 2021). (in Korean)
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- National Research Council [NRC]. (2007). *Taking science to school*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Noh, T., Lee, J., Yang, C., Kang, S., & Kang, H. (2016). Investigation of learning progression for dissolution and solution concepts. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(2), 259-302. (in Korean)
- Osborne, J. F., Henderson, J. B., MacPherson, A., Szu, E., Wild, A., & Yao, S. Y. (2016). The development and validation of a learning progression for argumentation in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(6), 821-846.
- Park, S., & Lee, C. (2009). What is the origin of the wrong perception that the global warming is caused by the ultraviolet light coming through the ozone hole?. *The Korean Society for School Science*, 3(2), 133-139. (in Korean)
- Plummer, J. D., & Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an earth-based perspective. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 768-787.
- Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching* 47(6), 687-715.
- The Science Times (2021). *2021 This year's Nobel Prize in Physics*. Retrieved from <https://www.sciencetimes.co.kr/news/2021-%EC%98%AC%ED%95%B4-%EB%85%B8%EB%B2%A8%EB%AC%BC%EB%A6%AC%ED%95%99%EC%83%81%EC%9D%98-%ED%8A%B9%EC%A7%95>. (in Korean)
- Wilson, M. (2005). *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1994)

16 유은정 · 이기영 · 광영순 · 박재용

Reasonable mean-square fit value. *Rasch Measurement Transactions*, 8, 370-371.

Wright, B. D., & Linacre, J. M. (1994). Reasonable mean-square fit values. *Rasch Measurement Transactions*, 8(3), 370-371.

Yeo, C., & Lee, H. (2016). Developing and assessing a learning progression for the ecosystem. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(1), 29-43. (in Korean)

저 자 정 보

유 은 정 (한국교육과정평가원 부연구위원)

이 기 영 (강원대학교 교수)

광 영 순 (한국교원대학교 교수)

박 재 용 (서울교육대학교 조교수)