

# 지구계 교육과 소재로서 순환에 대한 이해

김윤지 · 정진우\*

한국교원대학교

## Understandings on the Cycle as a substance and ESE

Yun Ji Kim · Jin Woo Jeong\*

Korea National University of Education

**Abstract:** Examining research papers and other texts on the subject, this study summarizes previous studies, with focus on circulation as a subtopic of Earth Systems Education. In relation to the Earth Systems unit included in the revised 10th-grade science textbook, this study explains the meaning of Earth Systems and the basic concepts of Earth System Science. It surveys the origin and application of Earth Systems Education, which developed primarily in the U. S., and introduces its objectives, concepts, and communicated content. It also reviews the contents of Earth Systems Education adopted in the Korean school curriculum, and provides a comparative analysis of the content on circulation appearing in Earth Science I textbooks. Finally, it is proposed that an understanding among educators of Earth Systems and of its necessity as a subject of education is imperative for Earth Systems Education to become firmly established as a compulsory component of the national school curriculum.

**Key words:** cycle, earth system, ESE, earth science

### I. 서 론

지구에서 살아가는 우리에게 지구 온난화로 인한 기상이변과 오존 구멍에 대한 이슈는 우리가 지구계를 친근하게 느끼게 했을 뿐 아니라(Ben Zvi Assaraf, Orion, 2005b), 지구 환경 문제가 사회와 국가 차원의 쟁점을 넘어 일상생활 속에서 개인의 의사 결정과 행동에 영향을 미치는 중대한 요인이 되었다. 이러한 사회적 관심과 영향력의 증대는 과학교육을 통해 지구계에 대한 학생들의 관심과 이해를 높여야 할 필요성을 제기하여 Mayer(1995)는 학교 과학 프로그램을 통해 지구계에 대한 지식을 효과적으로 발달시켜야 함을 주장하였고, Ben Zvi Assaraf, Orion(2005b)은 학교 과학교육의 주목표를 환경적 소양(environmental literacy)의 발달로 두고 학생들에게 지구 환경 문제를 보다 전체론적 이해를 통해 해결하는데 필요한 기술을 제공하는 것이어야 한다고 제안하였다. 우리나라의 현행 7차 교육과정에서는 과학 학습의 최종적인 목표를 과학적 소양으로 설정하였고(교육부, 1997), 개정 교육과정에서 과학은 국민 소양 교육으로 이루어지며 과학교육의 목표를 국민으로서 갖추어야 할 과학적 소양을 기르는데 두고 있음

을 강조하여 기술하고 있다(교육과학기술부, 2007).

우리의 행성 지구에 초점을 맞추어 학교 과학교육이 이루어져야 함을 역설하였던 Mayer *et al.*(1992)은 지구계 교육(Earth Systems Education)을 지구 과학 교육과정으로 가르쳐야 할 뿐만 아니라 미국의 과학 교육과정 K-12의 전체적인 구성과 조직에 있어서 지구계 과학(Earth System Science)을 개념의 기반으로 재고가 이루어져야 한다고 주장하였다. 또한 Mayer(1995)는 미래의 시민이 될 학생들이 과학적 소양인이 되기 위해서 반드시 이해해야 할 물리, 화학, 생물 과정을 지구계에서의 부분적 과정으로부터 내용을 가르쳐야 한다는 의견을 제시하면서 통합 과학 교육과정의 발달을 위해 지구계 교육 체계가 채택되어야 한다는 주장을 피력하였다. Lee, Fortner(2005)에 따르면 국제 지구과학교육 협회에 참석한 15개국 51명의 지구과학교육 전문가들은 새로운 세기의 교육과정에서 가장 중요한 항목으로 통합적 접근을 선택하였고, 미국, 독일, 프랑스, 이스라엘 등 세계의 여러 나라에서 이미 과학교육 목표로 지구 환경 시대에 필요한 과학적 소양의 함양을 설정하여 지구계 프로그램을 개발·적용하고 있으며, 아시아에서는 일본, 대만, 싱가포르를 중심으로 지구 환경 시대의 새

\*교신저자: 정진우(jjeong@knu.ac.kr)

\*\*2009.08.25(접수) 2009.10.08(1심통과) 2009.11.04(2심통과) 2009.11.05(최종통과)

로운 교육과정 개발과 관련 연구가 진행되고 있다(신동희 등, 2005; 이효녕, 2006; 이효녕, 권영륜, 2008). 국내에서도 통합 과학 교육이 강조되는 국제적 동향에 대해 최미화, 최병순(1999)이 통합 주제를 중심으로 중학교 수준의 통합과학 교육과정의 내용 구성을 제안한 바 있고, 김만희, 김범기(2002)가 학제 간 노력의 필요성을 주장하며 시스템 과학을 도입할 것을 제안한 연구 사례를 찾아볼 수 있다.

현행 교육과정에서 지구계 교육의 핵심이 되는 지구계의 구성과 하위계의 상호작용에 대한 내용은 고등학교 선택 교과인 지구과학 I 에서 제시되었으나, 개정 교육과정에서는 국민공통기본교과인 10학년 과학에 지구계 단원이 구성되어 지구과학 교과를 선택하여 배우지 않더라도 해당 학년의 모든 학생들에게 지구계 교육의 기회가 주어지게 되었다. Mayer *et al.*(1992)과 Mayer(1995)에 따르면 지구계를 이해하는 체계들 중에 지구계는 상호작용하는 수권, 지권, 빙권, 기권, 생물권의 하위계들로 구성되어 있다는 내용이 포함되며, Mayer, Armstrong(1990)은 지구에 대한 21세기의 관점으로 필수적인 개념 중에 지구의 하위계는 자연적인 과정과 순환을 통해 끊임없이 진화하고 변화하고 상호작용한다는 내용을 포함하고 있다. 우리 교육과정에 반영된 지구계 관점에서 하위계의 상호작용은 순환으로 설명되며(교육부, 1997), 자연 현상은 순환 등 하위계의 상호 작용에 의한 에너지 평형 과정으로 이해될 수 있다고 명시하고 있다(교육과학기술부, 2007).

본 연구는 지구과학 교육자들을 중심으로 연구되고 있는 지구계 교육 이론과 교재 및 교육과정에 반영된 교육 내용을 고찰하고자 한다. 또한 하나의 시스템으로서 지구계를 구성하는 부분들에 대한 이해와 또 다른 부분들 사이의 관계에 대해 시스템적 특징과 하위계에서의 상호작용을 교수·학습할 수 있는 소재인 순환에 초점을 맞추어 선행 연구를 고찰하고 교육과정 및 교과서 분석을 통해 교육적 시사점을 모색한다.

## II. 지구계 교육

### 1. 지구계(Earth System)의 의미

‘지구계(Earth System)’라는 용어는 지구가 어떻게 활동하는가에 초점을 맞춘 상대적으로 새로운 접

근이다. 지구계 과학에서는 지구를 태양계와 그 하위계들(subsystems)인 지권(geosphere), 기권(atmosphere), 수권(hydrosphere), 생물권(biosphere)의 관계가 분리되지 않고 상호작용하는 하나의 시스템으로 인지한다(Clark, Carpenter, 2006). 지구 시스템적 견해를 교수·학습하기 위해서 교사와 학생들은 시스템이라는 개념을 이해할 필요가 있는데(Ben Zvi Assaraf, Orion, 2005b), 시스템 사고에 대한 다양한 선행 연구들로부터 Kali *et al.*(2003)은 시스템을 부분들이 상호작용하는 전체로 정의하였으며, 시스템 사고를 부분과 부분들 사이의 전체적 연관 관계로 정리하였다.

현행 7차 교육과정에서 지구계 교육 내용을 중심으로 다룬 지구과학 I 교과의 ‘하나뿐인 지구’ 단원에서는 지구계를 ‘지구 환경’이라는 표현으로 언급하였고(교육부, 1997), 개정 교육과정과 지구계 교육 관련 문헌들에서 지구계는 ‘지구시스템’으로 혼용되고 있다(교육과학기술부, 2007; 이효녕, 권영륜, 2008).

지구계의 개념을 설명한 일부 문헌에서 빙권을 독립적인 하나의 하위계로 밝히고(Mayer, Armstrong, 1990; Mayer *et al.*, 1992; Mayer, 1995), 인간을 사회 과학의 관점에서 인간시스템(Human-systems)으로 지구계 구성요소로 구분하는 견해도 있으며(Pitman, 2005), 인간을 중심으로 빙권을 수권으로부터 분리하여 5개의 하위계로 이루어진 지구계를 표상하는 견해도 있다(이효녕 등, 2004). 그러나 지구계를 연구한 다수의 문헌과 우리나라 교육과정으로부터 보다 일반적인 견해에서는 지구계의 구성을 지권, 수권(빙권 포함), 기권, 생물권의 4가지 하위계 및 외권(우주과학 영역)으로 구분한다(정진우 등, 1999; 교육과학기술부, 2007)(그림 1).

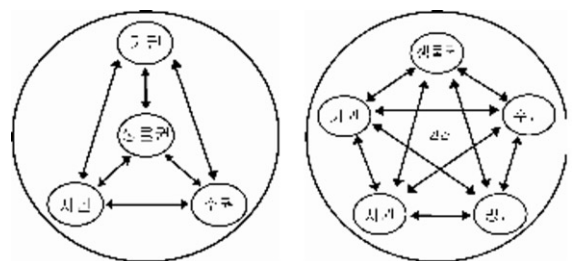


그림 1 지구계의 상호작용 모델(정진우 등, 1999; 이효녕 등, 2004)

## 2. 지구계 과학(Earth System Science)의 기초

지구계 과학은 지구에 대한 전체론적 연구이다. 지구계 과학을 통해 하나의 시스템으로서 지구를 이해하고, 지구의 변화와 발전을 설명하고, 전 지구적 변화를 일으키는 인간 활동의 효과 문제를 풀기 위해 구성 하위계들 사이의 상호작용을 조사하여 다양한 과학적이고 기술적인 영역들의 근원을 정리한다(Mahootian, 1997). 지구계 과학은 전통적인 지구과학 개념에서의 지질학, 기상학, 해양학과 생물학이 연계되면서 개념 지식의 실제적 토대를 형성하고 있으며(Johnson *et al.*, 1997), 세계를 하나의 복잡한 모델로 재구성하게 되는데, 전통적 관점에서 자연과 인간 영역의 상호작용으로 가장 단순하게 설명되고 자연현상과 사회의 복잡성을 다루며 지구의 서로 다른 계들을 전체적으로 보는 관점에서 한 영역의 변화와 과정은 다른 모든 영역에 작용하는 특징을 갖는다(Libarkin, Kurdzziel, 2006). Sell *et al.*(2006)은 지구과학의 주요 패러다임을 지구계가 현상 · 과정 · 순환으로 상호작용하는 물리적 시스템 개념이라 주장한 바 있고, Pitman(2005)은 시스템이 추가된 지구계 과학은 지구과학과 다르다는 점을 강조하였다.

지구계 과학은 인구 변화, 경제 성장, 사회 변화 등을 반영하여 생물지화학적으로 순환하는 인간과 토양, 물, 대기, 해양, 빙권, 생태계 등을 포함하는 생물물리학적 시스템 사이의 상호작용의 특징을 연구하며(Pitman, 2005), 넓은 의미에서 지구계 과학의 개념에는 전 지구적 변화를 증가시키는 인간의 활동에 대한 사회적 특징과 인지를 포함한다(Johnson *et al.*, 1997). 지구계 과학의 핵심은 이 시스템 내의 역동적이고 물리적인 상호작용 과정이며, 지구계 과학에서 인간의 노력과 미래의 요구와 관련하여 물의 행성과 물리적 기후 시스템의 과학적 측면을 이해하는 것이 필수적이다(Johnson *et al.*, 2000; Oeschger, 2000; Johnson, 2006).

지구계는 단지 지구계 자체에 대한 주제나 테마일 뿐만 아니라 둘 이상의 학문을 연계하는 과학적 방법으로(Chang, 2005), 지구계 과학은 지구계 교육 프로그램을 통합하는 방법을 제공하였다(Clark, Carpenter, 2006). NASA를 중심으로 1991년부터 2006년까지 이루어진 지구계 교육 프로그램을 정리한 Johnson(2006)의 논문에서, 지구계를 다수의 과학

분야들로 나타낸 개략도인 삼각도에는 물리, 화학, 수학과 같은 기초적인 영역들이 있고 전 지구적 변화를 일으키는 사회적 이론 및 활동 과정이 포함되어 있으며 과학으로 일반화되어 정의되지 않는 많은 요소들이 포함되어 있다.

## 3. 지구계 교육(Earth Systems Education)의 내용

1985년 9월 미국 K-12 과정의 지구과학 교육 프로그램을 개선하기 위해 교육학자들과 지구과학자들의 협의가 시작되었고, 1987년 가을 워싱턴에서 과학교육학자들과 과학 협회 대표자들은 K-12 과정과 관련하여 행성 지구에 대한 최신 개념들을 확인하기 위해 과학자들의 회의를 소집하였으며, 17살 연령의 모든 학생들이 행성 지구에 대해 실제로 이해할 수 있도록 국립 학교에서 무엇을 가르칠 것인가를 재구성하고자 하는 국가적 안건이 제기되었다(Mayer, Armstrong, 1990). 위스콘신 대학의 기상학자인 Francis Bretherton을 의장으로 미국 정부기관 대표 과학자들의 위원회로부터 발표된 '브리던(Bretherton) 보고서'에서는 행성 지구에 대한 학습의 목표와 과정을 '지구계 과학'이라는 용어로 재개념화 하였으며, K-12 과학 교육과정 전체의 조직과 구성을 재고하는 개념의 기초를 제공하였다. 브리던 보고서를 작성했던 이들을 포함하여 40명의 과학자들과 교육학자들은 1988년 4월 워싱턴에 모여 협회를 구성하고, 모든 국민들이 이해할 수 있어야 한다는 생각을 기반으로 지구과학의 기본 체제를 구조화하였다(Mayer, 1995).

미국 과학진흥협회(AAAS)의 'Project 2061' 과 과학 교사협회(NSTA)의 'Scope, Sequence, Coordination' 프로젝트가 진행되었는데, 특히 'Project 2061'은 K-12 과학 교육과정의 내용을 재개념화 하는 기반을 닦기 위한 중요한 시도가 되었다. 지구계 교육 프로그램 'Program for Leadership in Earth Systems Education(PLESE)'은 미국과학재단(NSF)으로부터 지원 받은 프로젝트로서 오하이오 주립대학과 북콜로라도 대학을 중심으로 준비되어 1990년 봄에 국립과학협회의 교사 능력 향상 프로그램으로 승인 받아 오하이오 주립대학에서 실시하게 되었다(Mayer *et al.*, 1992). 1990년 5월 오하이오 콜럼버스에서 PLESE 준비 위원회가 소집되어 Project 2061 보고서와 1988년 4월에 열렸던 협의회 결과물을 포함시켜 프로

그럼의 교수 지침으로 이용할 수 있는 지구계 교육의 체제로서 7가지 이해의 틀을 개발하였다(Mayer, 1995).

오하이오 대학의 보고서를 정리한 Mayer, Armstrong (1990)의 논문에서 21세기 행성 지구에 대한 관점의 개선을 위해 필수적으로 선행되어야 할 4가지 목표와 10가지 개념을 밝혔으며, Mayer *et al.*(1992)의 논문에서는 지구계 교육의 체제인 7가지 이해 항목을 소개하였고, Mayer(1995)의 논문에서 7가지 이해의 틀에 대한 구체적 내용을 자세하게 기술하여 설명하고 있다.

목표 1. 과학적 사고 : 모든 사람들은 지구과학의 경험적이고 기술적이며 역사적인 과정을 사용한 과학적 탐구의 본성을 이해할 수 있다.

목표 2. 지식 : 모든 사람들은 지구에서 일어나는 과정과 조직 그리고 예상되는 변화를 설명하고 기술할 수 있다.

목표 3. 책임감 : 모든 사람들은 환경과 자원이라는 주제에 대해 응답할 수 있다.

목표 4. 감상 : 모든 사람들은 지구에 대한 미적인 감상을 개발할 수 있다.

- 영문(Mayer, Armstrong(1990)), 변안(조구성과 강현아, 2002)

개념 1. 지구계는 거대한 우주 내에 있는 태양계의 한 작은 부분이다.

개념 2. 지구계는 하위계로서 상호작용하는 물, 육지, 얼음, 공기 및 생물을 포함하고 있다.

개념 3. 지구의 하위계(물, 육지, 얼음, 공기 및 생물)는 자연적인 과정과 순환을 통하여 끊임없이 진화하고 변화하고 상호작용한다.

개념 4. 지구의 자연적 과정은 수십 억 년으로부터 1초를 나눈 시간 규모로 일어난다.

개념 5. 지구 하위계의 대부분은 한계가 있으며, 과용, 오용 및 인간 활동에 의한 변화로 인해 상처받기 쉽다. 이러한 예로는 화석 연료, 광물, 담수, 토양, 식물 및 동물이 있다.

개념 6. 우리가 하위계를 잘 이해하면 할수록, 우리의 자원을 더 잘 이용할 수 있다. 인간은 광물 및 물과 같은 지구의 자원을 이용한다.

개념 7. 인간의 활동은 의식적이건 무의식적이건 지구의 하위계에 영향을 준다.

개념 8. 하위계에 대한 훌륭한 이해는 보다 큰 미적 감상을 자극한다.

개념 9. 기술의 발달은 지구를 이해하는 우리의 능력을 계속 향상시킬 것이다.

개념 10. 지구과학자는 지구 하위계의 기원, 과정 및 진화를 연구하는 사람이다. 그들은 미래의 사건의 가능성을 평가하고 자원을 찾는데 그들의 전문적인 지식을 이용한다.

- 영문(Mayer, Armstrong(1990)), 변안(정진우 등, 1999)

이해 1. 지구는 유일하며, 드물게 아름답고 대단히 가치 있는 행성이다.

이해 2. 집단적이거나 개인적, 혹은 의식적이거나 무의식적인 인간의 활동은 지구계에 심각한 영향을 준다.

이해 3. 과학적 사고와 기술의 발달은 지구와 우주를 이해하고 이용할 수 있는 능력을 증가시킨다.

이해 4. 지구계는 상호작용하는 물(수권), 암석(지권), 얼음(빙권), 공기(대기권), 생명(생물권)의 하위계로 구성되어 있다.

이해 5. 지구는 40억 년 이상 오래되었으며, 지구의 하위계는 끊임없이 진화하고 있다.

이해 6. 지구는 광대하고 오래된 우주 속 태양계의 작은 하위계이다.

이해 7. 많은 사람들이 지구의 기원과 과정, 진화의 연구에 관련된 직업과 흥미를 가지고 있다.

- 영문(Mayer *et al.*, 1992; Mayer, 1995), 변안(Mayer 등, 2007)

#### 4. 지구계 교육의 적용

1990년대 이후 지구과학교육의 발달은 교육과정과 교수학습에서 시스템적 접근의 도약으로 특징지을 수 있다(Kali, 2003). 교수학습에 있어서 시스템을 다루는 것은 전 지구적 변화가 지역에 어떻게 영향을 미치는가, 지역적 변화는 지구의 상태에 어떻게 연관되는가, 지구의 자연 상태는 어떻게 조절 되는가를 탐구하는 한편, 지권·기권·수권과 생물권을 포함한 복잡한 과정에 의해 연관되는 상호 역동적인 시스템이 하나의 전체로서 우리의 행성이라는 견해와 이해를 학

생들에게 주입하기 위해서이다(Raia, 2005). Mayer (1995)는 지구계 교육의 구성 체제가 통합 과학 교육으로 진보하고자 하는 의미를 담고 있으며, 미술, 음악, 문학 등의 교과와 통합하여 행성 지구에 대한 이해를 증진시켜 통합과학 교육과정의 발달을 가져올 것이라 하였다(Mayer, 1989; 1995). Clark, Carpenter (2006) 역시 지구계적 접근은 지구과학 개념뿐만 아니라 생물과 물리를 통틀어 과학을 통합하는데 초점이 맞추어져 적용되고 있다는 견해를 확인하였다. 또한 Mayer와의 공동 연구를 통해서 이효녕 등(2004)은 지구계 교육이 물리, 화학, 생물, 지구과학 영역의 과학 내용을 지구계와 연관하여 다루고 있으며, 환경 교육에서 다루는 인간 활동에 대한 책임 의식과 지구 환경에 대한 감사 의식 및 가치 등을 강조하는 심미적 내용이 포함되어 있음을 밝힌 바 있다.

지구계 교육이 국내에 처음 소개된 것은 1995년 경기도 중등교사 연수에서 한국교원대 정진우 교수를 통해서였으며, 1996년 5월 우리나라에서 열린 국제 과학교육 세미나에 Mayer가 참석하면서 널리 알려지게 되었다(임은경 등, 2000). 대학 교육과정에서부터 도입되어 지구과학 교사를 양성하는 대학들의 교수요목 및 교사 임용시험에서 지구계 교육은 주요 내용 범주를 차지하며(정진우 등, 1999; 김찬중 등, 2008; 김상달 등, 2009), 지구과학 전공서적은 지구계의 관점에서 지권, 수권, 기권, 생물권 및 외권(천문)으로 지구계 과학 영역을 구성하여 출판되고 있다(김경렬 등, 2003; 박인수 등, 2008; Mayer 등, 2007).

지구계 교육을 국내의 교육 현장에 도입하고자 시도했던 노력은 오하이오 주립대학에서 개발한 지구계 교육 활동 프로그램을 번안하고 수정·보완하여 투입한 연구들로 표면화된다. 임은경 등(2000)은 '지질학적 시간' 프로그램을 중학교 1학년에 투입하여 교사와 학생들의 긍정적인 인식과 반응을 보고했으며, 조규성, 강현아(2002)는 '지구 기후 게임' 프로그램을 고등학교 2학년에 투입하여 학생들의 과학에 대한 긍정적인 태도 변화를 확인하였고, 조규성 등(2006)은 '화산 폭발과 지구 기후의 변화' 프로그램을 고등학교 2학년에 투입하여 과학에 대한 인식·흥미·태도에서 긍정적인 변화가 나타남을 보였다. 교사와 학생의 인지에 대한 연구로 이정아 등(2007)은 중학교·고등학교 교사 각 1명의 사례연구를 통해 지구계 교육에 대한 인식과 지향을 분석하여 전 지구적 과학소양

에 대한 교사의 인식이 지구계 수업 지향에 영향을 미친다고 밝혔으며, 유은정 등(2007)은 과학영재 8학년 학생들이 작성한 지질답사 보고서에서 지구계에 대한 이해 정도와 지구계의 의미 생성 방법을 탐색하여 대부분의 학생들이 지식-이야기 형태를 보인다고 보고하였다.

우리나라 교육과정을 기준으로 과학교육 현장의 여건을 반영하는 지구계 모듈을 개발하여 고등학교 2학년 지구과학 I 수업에 적용한 이효녕, 권영륜(2008)은 지구계 주제 중심의 모듈 수업이 지구 환경의 구성요소와 지구계의 하위계들에 대한 개념의 학습에 효과적이라는 결과를 보여주었다. 유은정 등(2008)은 8학년 과학 '지구와 별' 단원에 대해 글로벌 과학적 소양의 목표를 강조하는 GSL(글로벌 과학적 소양) 수업 모듈을 개발하고 적용하여 학생들의 과학의 본성에 대한 이해가 철학적·심리학적·역사학적 관점에서 향상되었음을 밝혔고, 오현석 등(2009)은 태양계 행성의 리모델링 활동에서 그리기와 쓰기로 표현된 학생들의 지구계에 대한 이해를 분석하여 지구 소양과 같은 지구계 수업의 영향이 나타남을 확인하였다.

## 5. 지구계 교육의 소재로서 순환

Mayer, Armstrong(1990)의 지구계 교육을 소개한 논문에서 지구에 대한 21세기의 관점을 전개하는데 필수적인 개념 중 세 번째 항목으로 지구의 하위계는 자연적인 과정과 순환을 통해 끊임없이 진화하고 변화하고 상호작용한다는 내용을 포함하였으며, Mayer *et al.*(1992)과 Mayer(1995)의 논문에서 지구계를 이해하는 7가지 틀 중 네 번째 항목은 지구계가 상호작용하는 물(수권, 암석(지권), 얼음(빙권), 공기(대기권), 생명(생물권)의 하위계들로 구성되어 있다는 내용이다. 지구계의 관점에서 물의 순환을 소재로 시스템 사고를 연구했던 Ben zvi Assarf, Orion (2005b)은 물질과 에너지 변환이라고 불리는 하위계 사이의 관계가 지화학적·생화학적 순환임을 강조하면서, 지구계를 이해하는데 도움을 주는 8가지 능력을 다음과 같이 정의하고 7번째 항목으로 시스템의 순환적인 성질을 이해하는 능력을 포함시켰다.

능력 1. 시스템의 구성요소와 시스템 내의 과정을 확인하는 능력

- 능력 2. 시스템의 구성요소들 사이의 관계를 확인하는 능력
- 능력 3. 관계의 관점에서 시스템의 구성요소와 과정을 조직하는 능력
- 능력 4. 일반화 하는 능력
- 능력 5. 시스템 내의 동적 관계를 확인하는 능력
- 능력 6. 시스템의 숨겨진 부분을 이해하는 능력
- 능력 7. 시스템의 순환성을 이해하는 능력
- 능력 8. 일시적으로 사고하는 능력: 회상과 예상

순환은 지구과학과 물리, 화학, 생물의 과학 교과뿐만 아니라 환경을 비롯한 학교의 여러 교과목에서 서로 다른 주제 영역을 통합시킬 수 있는 개념이다. 순환이라는 소재에 초점을 맞추어 이루어진 연구는 환경 교육의 관점에서 Boschhuizen, Brinkman(1995)이 220명의 고등학생들에게 위계적 개념도(hierarchical concept mapping)를 작성하게 하여 순환의 개념이 어떤 교과와 연계되는지 분석한 연구를 시작으로 볼 수 있다. 생물 교과와 연관시킨 학생들이 27.5%, 환경 교과와 연관시킨 학생들이 26.2%로 다수를 차지하였으며, 12.7%는 철학, 12.5%는 사회, 21.1%는 기타 교과에 순환 개념을 연계하였다. 이 연구에서 지구과학은 하나의 교과로 분석 기준이 되지 못하고 물과 기후의 순환은 지리, 물의 상태 변화는 물리, 시간과 우주의 순환은 철학, 행성의 공전은 천문 등의 항목으로 분석 되었는데, 순환 개념을 지리 교과와 연관시킨 학생은 7.6%, 천문 교과와 연관시킨 학생은 0.7%에 지나지 않았다.

지구계 교육의 대표적인 연구자로서 Nir Orion은 암석의 순환과 물의 순환을 소재로 연구를 수행하였다. 공동 연구자인 Kali(2003)가 지각 시스템의 역동적이고 순환적인 이해를 발달시키기 위해서 암석의 순환 과정과 결과에 대해 고등학생들이 학습할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 소개하였고, Kali *et al.*(2003)의 논문에서 학습 소프트웨어를 적용한 지식 통합 활동으로 지각에서 암석 순환의 역동적이고 순환적인 본성에 대한 학생들의 인식이 높아졌음을 확인하였다. 또한 이 연구를 통해 지화학적·생화학적으로 복잡한 시스템을 다루는 능력은 우리의 행성에 대한 역동적이고 순환적인 시스템적 인식을 발달시키는 능력에 기초한다고 주장하였다. 물 순환에 대한 인식을 조사한 Ben Zvi Assaraf, Orion(2005a)

의 연구에서는 고등학생들 대부분이 물과 관련하여 생물 및 지질학 과정을 다양하게 이해하고 있지만, 역동적·순환적·시스템적 인식이 부족하며 물의 순환 과정에 많은 선개념과 오개념을 포함하고 있음을 지적하였다. 이와 연계된 시스템 사고에 대한 연구에서 Ben Zvi Assaraf, Orion(2005b)는 학생 개인의 인지적 능력과 탐구 기반 학습을 통한 지식 통합 활동이 시스템적 인식에 영향을 주는 주요인이 되며, 물의 순환을 인식하는 학생들의 능력은 과학 지식과 인지적 능력 모두에 의존한다는 결론을 밝혔다.

물의 순환을 주제로 Young *et al.*(2001)은 창의적 이야기 쓰기와 읽기를 교수 방법으로 적용하자고 제안하였는데, 창의적 이야기 쓰기로 과학적 개념에 대한 이해를 표현함과 동시에 획득할 수 있고, 창의적 이야기 읽기를 통해 관련 개념들을 친근하게 포용하며 물의 순환에 대한 기본적인 개념을 재검토하게 된다고 하였다. 시 쓰기 방법을 질소 순환의 수업에 적용했던 Townsend *et al.*(2007)의 연구에서 초등학교 고학년, 고등학생, 초등 예비 교사인 대학생들은 질소 순환에 대해 더 많은 흥미를 느끼고 더 많은 지식을 획득하였으며, 학습자들과 교사들은 동기를 부여하는 유익한 수업 활동이라고 평가하였다. Sibley *et al.*(2007)는 암석·물·탄소 순환의 교수와 평가 도구로 박스 그림(box diagram)을 적용하였는데, 많은 학습자들이 눈에 보이지 않거나 명백하지 않은 시스템의 부분을 인지하는 비판적 능력이 부족하여 암석과 탄소의 순환을 박스 그림으로 묘사하는데 오류가 많으며, 물의 순환에는 화학 반응이 포함되어 있지 않으므로 박스 그림을 완성하는데 보다 성공적이라고 연구 결과를 설명하였다.

국내에서 이루어진 지구계의 순환에 대한 연구는 문병찬 등(2004)이 지구과학 예비교사들을 대상으로 화석연료 사용의 결과로서 지구 하위계에서의 탄소 순환 개념과 시스템 사고의 적용을 조사하여, 암권에서의 탄소 순환에 대한 이해가 낮으며 시스템 사고가 이루어지지 않거나 그 수준이 낮음을 보고하였다. 물의 순환에 대한 Ben Zvi Assaraf, Orion(2005a, 2005b)의 연구를 기초로 고등학생들의 물 순환 과정과 구성요소에 대한 이해를 조사한 이동은 등(2008)은 기권과 수권에서 물의 순환 과정에 대한 인식은 높으나 암권과 생물권에서의 영향에 대한 인식이 부족하며, 단선적 사고로 물의 순환을 이해하여 지구계 관

점이 부족하다고 밝혔다. 이와 연계하여 물의 순환에 대한 지구과학 예비교사들의 인식을 조사한 정진우 등(2007)과 초등 예비교사들의 인식을 조사한 정진우, 김윤지(2008)의 논문을 통해 대학생이며 예비교사인 연구대상 학생들이 물의 순환을 기권과 수권에서의 주된 작용으로 인식하고, 암권 및 생물권에서 물의 작용과 인간이 물의 순환 구성요소로서 미치는 영향에 대한 인식이 매우 부족하며, 지표에서의 과정에 비해 지하에서 물의 순환 과정에 대한 인식의 표출이 적다는 결과를 발표하였다.

### 6. 교육과정 및 교과서에 반영된 지구계의 순환

현행 7차 교육과정에서 지구계 교육 내용은 고등학교 선택 교과인 지구과학 I의 하나뿐인 지구 단원에 포함되어 지구 환경의 구성 요소인 기권, 수권, 암권, 생물권에 대해 순환을 통한 각 권에서의 상호작용을 열린 계의 관점에서 정성적으로 설명하도록 하였으며(교육부, 1997), 2007년에 발표된 개정 교육과정에서는 국민공통기본교과인 10학년 과학에 지구계의 구성과 각 권 사이의 상호작용 등의 내용을 다루는 지구계 단원이 구성되었다(교육과학기술부, 2007)(표 1).

물의 순환과 암석의 순환은 현행 7차와 개정 교육과

정 모두 초등학교와 중학교에서 기초적으로 다루지만, 현행 교육과정에서 고등학교 지구과학 I에서 다루었던 전 지구적 규모의 대기 대순환과 해양 대순환에 대한 내용을 개정 교육과정에서는 9학년에 포함하였다. 또한 현행 교육과정에서 선택 교과인 지구과학 I을 통해 지구 환경의 각 권에서 상호작용을 에너지 순환과 이산화탄소의 순환으로 설명하도록 하였으나, 개정 교육과정은 10학년의 지구계 단원에서 탄소 순환, 물의 순환, 에너지 순환 등 하위계의 상호 작용에 의한 에너지 평형 과정으로 자연 현상을 이해하도록 하였다(교육부, 1997; 교육과학기술부, 2007)(표 2).

표 2. 7차 및 개정 교육과정에 명시된 지구계의 순환 내용

현행 교육과정에 반영된 지구계 교육의 주요 내용을 포함하는 고등학교 지구과학 I 검정 교과서 6종에 실린 지구계의 순환 유형을 분석해보면, 교육과정 해설서에서 언급한 에너지 순환과 탄소의 순환은 6종 모두에서 다루고 있지만, 물의 순환은 4종의 교과서에 암석·황의 순환은 일부 교과서에 포함되어 있을 뿐이다. 또한 교과서 본문에 간략하게 순환의 요소들

표 1  
7차 및 개정 교육과정에 반영된 지구계 교육

항목		지구계의 구성과 상호작용에 대한 내용
7차	교과	지구과학 I, I.하나뿐인 지구, (나)지구의 구성
	교육과정	1) 기권, 수권, 암권, 생물권의 구조와 특성을 통하여 전지구적인 관점에서 지구 환경의 구성을 이해한다. 2) 지구 환경을 구성하고 있는 각 권의 에너지 및 물질의 순환을 통하여 각 권의 상호 작용을 이해한다.
	해설	1) 지구 환경의 구성 요소인 기권, 수권, 암권, 생물권을 설명하되, 지나치게 세분화되지 않도록 하며, 각 권의 구조와 특성을 열린 계의 관점에서 정성적으로 설명한다. 2) 지구 환경을 구성하고 있는 각 권에서 에너지 순환과 이산화탄소의 순환으로 각 권의 상호 작용을 설명하고 각 권을 열린 계로 파악하여 설명한다.
개정	교과	10학년 과학, (1)지구계
	교육과정	(가) 지구계는 지권, 기권, 수권, 생물권, 외권 등으로 구성되어 있음을 이해한다. (나) 지표의 변화와 날씨의 변화를 각 권의 상호 작용을 통한 에너지 평형 과정과 관련지어 이해한다. [탐구 활동](가) 지구 시스템의 상호 작용에 대한 사례 조사하기
	해설	(가) 지구계를 구성하는 하위 권을 지나치게 세분하여 상세히 다루지 않고, 각 권의 구조와 특성을 상호 작용의 관점에서 소개하는 수준으로 다룬다. (나) 지표의 변화나 날씨의 변화 등 지구상의 여러 현상은 지구를 구성하는 각 권의 상호 작용(탄소 순환, 물의 순환, 에너지 순환 등)에 의한 에너지 평형 과정임을 이해할 수 있도록 한다.

**표 2**  
7차 및 개정 교육과정에 명시된 지구계의 순환 내용

교육과정	학년	단원	지구계의 순환 내용
7차	5	물의 여행	물의 순환
	7	지각의 물질	암석의 순환
	9	물의 순환과 날씨 변화	물의 순환
	고	하나뿐인 지구	에너지 순환, 이산화탄소의 순환
	고	살아 있는 지구	대기 대순환, 해양 대순환
개정	6	날씨의 변화	물의 순환
	7	지각의 물질과 변화	암석의 순환
	9	대기의 성질과 일기 변화	대기 대순환
	9	해수의 성분과 운동	해양 대순환
	10	지구계	탄소 순환, 물의 순환, 에너지 순환

**표 3**  
지구과학 I 교과서에 반영된 지구계의 순환 내용

순환 유형	A			B			C			D			E			F			
	설명	삽화	탐구	설명	삽화	탐구	설명	삽화	탐구	설명	삽화	탐구	설명	삽화	탐구	설명	삽화	탐구	
에너지	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○			
탄소	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
물				○	○		○	○		○	○	○	○	○					
암석																○	○	○	○
황															○	○			

에 대해 언급할 뿐, 순환의 과정에 대한 충분한 설명 없이 탐구 활동이나 문제 풀이만을 통해서 내용을 전개한 사례도 찾아볼 수 있다(표 3).

에너지 순환에 대해 A 교과서는 지구 환경에서 상호작용에 필요한 에너지를 태양·지구 내부·조력 에너지의 3 요소로 소개하고, 탐구 활동을 통해 상호작용에 필요한 에너지를 정성적으로 비교하는 활동을 제시할 뿐, 에너지가 순환하는 과정에 대한 설명이 충분하게 기술되지 않았다. B 교과서 역시 탐구 활동을 통해서 태양 에너지와 지구 내부 에너지가 어떤 영향을 미치는지 찾아보는 활동을 제시하고, 본문에서는 답에 해당하는 내용을 주로 설명하는데 집중하고 있다. C 교과서는 에너지의 순환을 물의 순환과 연관 지어 물의 순환 과정 중에 에너지가 출입하는 과정으로 설명하고, 물과 에너지의 순환이라는 제목으로 모식적인 삽화를 제시하였다. D 교과서 역시 물의 순환과 연관하여 탐구 활동을 통해 물의 순환 삽화를 제시하

면서 에너지 작용을 설명하도록 하는 활동을 제시하고 있다. E 교과서는 탐구 활동을 통해 태양·지구 내부·조력 에너지의 전환과 역할에 대한 물음을 제시하고, 본문에서 답에 해당하는 내용을 설명하고 있다. F 교과서는 탐구 활동으로 암석의 순환 과정 중에서 에너지가 어떻게 이용되는지 토의하는 활동을 제시한 후, 본문에서 암석의 순환 과정과 연관하여 에너지의 출입을 설명하고 있다.

교과서 C와 D에서는 탐구 활동을 통해 물의 순환에 대한 모식적인 삽화를 제시하면서 물의 순환 과정 중에 발생하는 에너지의 출입과 작용을 설명하도록 하는 문항을 제시하였다. 또한 물의 순환을 내용으로 다룬 B, C, E 교과서는 상호작용 단원이 아니라 지구 환경의 구성 단원에서 수권에 대한 내용 설명 중에 물의 순환 요소와 과정에 대한 내용이 간략하게 포함되어 있었다. 암석 순환을 다룬 교과서 E는 물질 순환의 예를 물, 질소, 탄소, 황 등으로 제시하며 탐구 활동을



통해서 암석의 순환 과정을 설명하도록 문항을 제시하였고, 교과서 F는 에너지의 순환을 설명하기 위한 탐구 활동으로 암석의 순환 삽화 속에 기권과 수권 및 생물권을 표시하여 각 권에서 상호작용을 나타내었으며 암석의 순환 과정 중 에너지의 이용에 대해 토의하는 활동을 제시하였다.

6종의 교과서 분석을 통해 삽화들을 비교한 결과, 고등학교 2학년 과정에서 선택하는 지구과학 I 교과서에 포함되어 있음에도 불구하고 지나치게 단순화하여 초등학교 5학년 ‘물의 여행’ 단원에 포함된 물의 순환 삽화와 내용 구성에 큰 차이를 보이지 않았으며, 이는 암석의 순환을 표현한 삽화에서도 다르지 않았다. 초등학교 5학년 과학 교과서에 제시된 물의 순환 삽화, 고등학교 지구과학 I D 교과서의 탐구 활동에 포함된 물의 순환 삽화, 그리고 물의 순환에 대해 연구한 Ben Zvi Assaraf, Orion(2005b)의 논문에서 제시한 물의 순환 삽화를 차례로 비교해보면 분명하게 확인할 수 있다(그림 2).

탄소 순환에 대해 A 교과서는 이산화탄소를 예로 들어 순환 과정을 설명하면서 탄소의 순환을 산소와 연관 지어 삽화를 제시하였으나, 각 권의 영역이 표시되지 않아 하위계에서 탄소의 순환 과정을 충분히 설명하기 어려울 것으로 판단되었다. B 교과서는 이산화탄소가 다른 하위계로부터 기권으로 방출되고 기권에서 다른 하위계로 순환하는 과정을 설명하면서 생성되고 소모된다는 부적합한 용어로 표현하고 있었다. C 교과서는 탐구 활동에서 탄소 순환을 정량적으로 나타낸 삽화를 통해 탄소의 존재 형태와 양을 표시하고 탄소의 존재 형태에 따른 역할에 대해 설명하였으며, D 교과서는 각 권에서 탄소의 존재 형태에 대해 묻고 답에 해당하는 설명을 제시하였다. E 교과서는 탐구 활동을 통해 탄소의 순환 과정을 포함하였다. F

교과서는 지구 환경 내에서 탄소량의 분포에 대한 탐구 활동 이후 본문에서 삽화와 함께 탄소의 순환 과정을 구체적으로 설명하고 있다. 또한 교과서 D와 E에서는 탄소의 순환에 대한 내용을 다루면서 대기 중 이산화탄소 양의 평형과 인간 활동에 의한 탄소 양의 증가로 인해 발생한 지구 온난화 내용을 포함하였다. 교과서 E에 유일하게 포함된 황의 순환에 대한 내용은 화산 분출로 화산재와 황 기체가 태양 에너지를 차단하여 지구 온도가 낮아지고 식량 부족 문제가 생겼던 인도 탐보라 화산의 사례를 들어 단원이 끝난 후에 ‘과학과 환경’ 란을 통해 소개되었다.

#### IV. 논의 및 제언

학교 과학교육의 목표가 국민으로서 갖추어야 할 과학적 소양을 양성하는데 있음을 강조하고(교육과학기술부, 2007), 미래의 시민들이 과학적 소양인이 되기 위해서 반드시 지구계 교육이 이루어져한다고 주장했던 Mayer(1995)의 논문을 인용하지 않더라도 현재를 살아가는 우리들은 오존 구멍의 크기에 관심을 갖고, 지구 온난화로 인한 이변들을 걱정하고 있다. 국제적으로 다 학문적 연구 경향과 학제 간 노력이 역설되고, 통합 교육의 필요성이 논의되어 과학 교육과정의 개정이 이루어지고 있는 현 시점에서 지구계 교육은 지구를 중심으로 과학 및 환경 교과를 포함한 여러 교과에 통합적인 주제를 제공할 수 있다는 점에서 매우 중요한 의의를 갖는다.

지구계 교육의 기원으로 볼 수 있는 미국 오하이오 주립대학에서는 오늘날에도 Mayer를 중심으로 지구계 교육 프로그램을 개발하고 적용하여 그 효과에 대한 연구를 진행하는 한편, 미국을 넘어 국제적으로 교사 연수를 실시하여 전 세계에 지구계 교육을 전파하

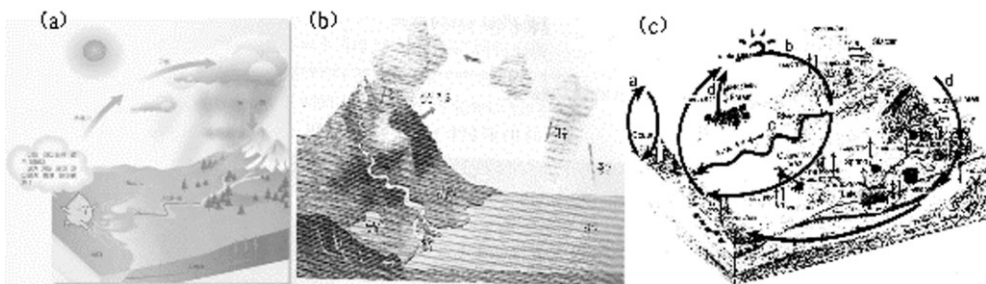


그림 2 물의 순환을 모식적으로 표현한 삽화 비교(a: 5학년 과학 교과서, b: 고등학교 지구과학 I의 D 교과서, c: Ben-Zvi-Assaraf, Orion(2005b))

고 있다. 국외에서 지구과학 교육학자들은 미래의 과학교육에 대해 통합적 접근을 가장 중요한 안건으로 인식하고 있으며, 학교 현장에서 지구계 교육을 실천하기 위해 교육과정과 교수학습에 대한 연구들이 집중적으로 이루어지고 있다. 그러나 국내에서는 일부 지구과학 교육학자들에 의해 지구계 교육이 소개되며 관련 연구가 수행되고, 대학 교재를 통해 예비교사들의 교육 내용으로 포함되고 있을 뿐, 실제 학교 현장에 지구계 교육을 보급하기 위한 노력은 부족한 실정이다.

우리나라의 현행 7차 교육과정에서 고등학교 선택 교과로 지구과학 I 을 이수하는 일부 학생들에게만 '지구계'에 대한 내용이 '지구 환경'이라고 표현되어 학습의 기회가 주어졌던데 반해, 개정 교육과정에서는 국민 공통 기본 교육과정에 해당하는 10학년 과학 교과에 '지구계' 단원이 포함되었다. 그동안 일부 지구과학 교육학자들의 목소리에 지나지 않았던 지구계 교육이 국민 공통 기본 교육 내용으로 굳건하게 정착하기 위해서는 지구과학교육 전공자들을 중심으로 지구계 교수학습 프로그램이 개발되고 널리 보급되어야 할 것으로 생각된다. 또한 오하이오 주립대학에서 교사들을 대상으로 실시되는 PLESE의 사례와 같이 국내에서도 예비 교사 및 현직 교사들을 대상으로 한 교사 연수 프로그램의 필요성에 대해 주장하고 싶다. 이를 통해 학교 현장에서 지구과학 교과를 담당하고 있는 교사들 뿐 아니라 물리·화학·생물·환경 등을 전공한 과학교육학자들의 지구계에 대한 인식 변화 또한 이루어져야 할 것으로 사료된다.

현행 및 개정 교육과정의 지구계 단원에서 지구계를 구성하고 있는 하위계들 사이의 상호작용과 그 영향을 설명하기 위해서 다양한 물질과 에너지의 순환이라는 소재를 활용한다. 하나의 시스템으로 특징되는 지구에서 살아가고 있는 우리들에게 순환이라는 개념은 지구 구성원으로서 인간의 작용과 그로 인한 피드백의 효과를 인지하게 한다는 점에서 그 교육적 의미를 충분히 가늠할 수 있을 것이다. 과학교육학자들이 오늘날 끊임없이 강조하는 과학적 소양·환경적 소양·지구적 소양을 양성하기 위해서 지구계 교육의 소재로서 순환은 과학 이야기를 풀어가는 화두가 되어 줄 것으로 기대된다. 또한 학교 현장에서는 개정 교육과정에 신설된 '자유 탐구' 활동의 소재로서 물·암석·탄소·에너지 등 순환의 여러 유형들을 활용하여 지구계에 대한 학습자의 이해를 향상 시킬 수 있는 한

가지 방안이 되어주기를 바란다.

우리나라에서 지구계 교육을 실천하기 위해 가장 우선되어야 할 것은 학교 현장에서 학습자들과 대면하는 교사들 그리고 교사 교육을 담당하는 교육자들의 지구계에 대한 이해와 지구계 교육의 필요성에 대한 인식이라고 생각된다. '태양'과 '태양계'가 같지 않듯이 우리가 그동안 가르쳐왔던 '지구'와 앞으로 가르치려고 하는 '지구계'가 어떻게 다른지에 대해서 지구계 교육을 실천하는 교육자들의 노력에 관심을 갖고, 한 걸음 나아가 동참해주기를 기대하는 바이다.

## 국문 요약

지구계 교육 연구와 문헌을 고찰하며 지구계 교육의 소재로서 순환에 초점을 맞추어 선행 연구들을 정리하였다. 개정 교육과정의 10학년 과학 교과에 포함된 지구계 단원과 연관하여 지구계의 의미와 지구계 과학의 기초 개념에 대해 설명하였다. 지구계 교육의 기원에 대해 미국을 중심으로 하여 적용 과정을 살펴보고, 교육 목표와 개념 및 이해 내용을 소개하였다. 우리나라 교육과정에 반영된 지구계 교육 내용을 검토하고, 지구과학 I 교과서에서 순환에 대한 내용을 비교분석 하였다. 지구계 교육이 국민공통기본 교육 내용으로 굳건하게 정착되기 위해서 교육자들의 지구계에 대한 이해와 지구계 교육의 필요성에 대한 인식이 요구된다고 제안한다.

## 참고 문헌

- 경재복, 윤일희, 이경훈, 김기룡, 황원기, 이기영 (2003). 고등학교 지구과학 I. (주)중앙교육진흥연구소.
- 교육부 (1997). 제7차 교육과정 : 과학과 교육과정 및 해설.
- 교육과학기술부 (2007). 제7차 개정 교육과정 : 과학과 교육과정 및 해설.
- 김경렬, 김동희, 김혜영, 박창범, 전종갑, 조문섭 (2003). 지구시스템의 이해. 서울: 박학사.
- 김만희, 김범기 (2002). 현대 과학교육의 동향과 시스템사고 패러다임의 비교 연구. 한국과학교육학회지, 22(1), 64-75.
- 김상달, 정진우, 국동식, 권치순, 이문원, 김희수, 김순식, 김종희, 박영신, 신동희, 이기영, 이양락, 이

용섭, 주국영, 최성봉 (2009). 지구과학교육론. 서울: 교육과학사.

김찬중, 구자옥, 김경진, 김상달, 김종희, 김희수, 명전옥, 박영신, 박정웅, 신동희, 신명경, 오필석, 이기영, 이양락, 이은아, 이효녕, 정진우, 정철, 최승연 (2008). 지구과학 교재 연구 및 지도. 서울: 자유아카데미.

김희수, 정남식, 신동원, 박정웅, 이정식, 한홍열, 박용선 (2003). 고등학교 지구과학 I. (주)천재교육.

문병찬, 정진우, 경재복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호 (2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구 시스템의 관련개념과 시스템 사고의 적용. 한국지구과학회지, 25(8), 684-696.

박수인, 권석민, 김인수, 신흥렬, 안건상 (2008). 지구 시스템 과학. 서울: 교육과학사.

신동희, 이양락, 이기영, 이은아, 이규석 (2005). 지구 환경을 고려한 미래 지향적 지구과학 교육과정 제안. 한국과학교육학회지, 25(2), 239-259.

오현석, 김제홍, 유은정, 김찬중 (2009). 지구계 수업 모듈 중 그리기 활동을 통한 학생들의 인지 특성 분석. 한국지구과학회지, 30(1), 96-110.

우종옥, 정진우, 위수민, 임청환, 홍성일, 이석형 (2003). 고등학교 지구과학 I. (주)교학사.

유은정, 오현석, 김찬중 (2008). 글로벌 과학적 소양 함양을 위한 수업이 학생들의 과학적 본성에 대한 관점에 미치는 영향. 한국지구과학회지, 29(7), 602-616.

유은정, 이선경, 김찬중 (2007). 야외지질답사 보고서에 나타난 과학영재학생들의 지구계 이해와 지구계 의미 생성 탐색. 한국지구과학회지, 28(6), 671-683.

이규석, 이창진, 김정률, 이용준, 강진철, 김재현 (2003). 고등학교 지구과학 I. 대한교과서(주).

이동은, 정진우, 김윤지 (2008). 고등학생들의 물 순환 과정과 구성 요소에 대한 이해. 한국과학교육학회지, 28(1), 24-31.

이문원, 전성용, 권석민, 진만식, 신석주, 임부철 (2003). 고등학교 지구과학 I. (주)금성출판사.

이정아, 맹성호, 김찬중 (2007). 지구계 교육에 대한 과학 교사의 인식과 지향: 사례연구. 한국지구과학회지, 28(6), 705-717.

이효녕, 권영륜 (2008). 지구계 주제 중심의 지구과학 모듈 개발 및 적용. 한국지구과학회지, 29(2), 175-188.

이효녕, Fortner, R. W., Mayer, V. J. (2004). 지구시스템교육: 한국의 통합 과학교육과정 구성. 중등교육연구, 52(1), 397-426.

임은경, 홍상욱, 정진우 (2000). 지구계 교육의 현장 적용에 관한 연구. 한국지구과학회지, 21(2), 93-102.

정진우, 김윤지 (2008). 물의 순환에 대한 초등 예비 교사들의 지구 시스템적 인식. 초등과학교육, 27(4), 319-327.

정진우, 김윤지, 정구송 (2007). 물의 순환에 대한 예비 지구과학 교사들의 인식. 한국지구과학회지, 28(6), 699-706.

정진우, 우종옥, 김찬중, 임청환, 이연우, 소원주, 정남식, 이경훈, 이항로, 홍성일, 윤선진, 정철, 박진홍 (1999). 지구과학교육론. 서울: 교육과학사.

조규성, 강현아 (2002). 지구계교육 프로그램의 적용에 따른 학습자의 반응 -지구 기후 계임을 중심으로. 한국지구과학회지, 23(4), 299-308.

조규성, 이광호, 장지영, 강현아 (2006). 10학년 '과학' 수업에서 지구계 교육 프로그램 적용 방안 및 학생 반응 - '화산 폭발과 기후의 변화' 를 중심으로. 한국지구과학회지, 27(3), 251-259.

최미화, 최병순 (1999). 통합주제를 중심으로 한 중학교 수준의 통합과학 내용 구성 방안. 한국과학교육학회지, 19(2), 204-216.

허창희, 박병훈, 정성표, 김병국 (2003). 고등학교 지구과학 I. (주)지학사.

Mayer, V. J., 남정희, 이효녕 (2007). 통합과학의 이해: 지구 시스템적 접근. 서울: 자유아카데미.

Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005a). A Study of Junior High Students' Perception of the Water Cycle. Journal of Geoscience Education, 53(4), 366-373.

Ben-Zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005b). Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. Journal of Research in Science Teaching, 42(5), 518-560.

Boschhuizen, R., & Brinkman, F. G. (1995). The concept of cycles for environmental education. Environmental Education Research, 1(2), 147-158.

Chang, C. Y. (2005). Taiwanese Science, Life Technology Curriculum Standards, Earth Systems Education. International Journal of

Science Education, 27(5), 625-638.

Clark, I. F., & Carpenter, J. R. (2006). Development, implementation, evaluation of a standards-based earth systems education course for middle school teachers. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 272-282.

Johnson, D. R. (2006). Earth System Science: A model for teaching science as state, process, understanding?. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 202-207.

Johnson, D. R., Ruzek, M., & Kalb, M. (1997). What is Earth System Science?. *Geoscience, Remote Sensing*, 2, 688-691.

Johnson D. R., Ruzek, M., & Kalb, M. (2000). Earth System Science, the internet. *Computers & Geosciences*, 26(6), 669-676.

Kali, Y. (2003). A Virtual Journey within the Rock-Cycle: A Software kit for the Development of Systems-Thinking in the Context of the Earth's Crust. *Journal of Geoscience Education*, 51(2), 165-170.

Kali, Y., Orion, N., & Eylon, S. B. (2003). Effect of knowledge Integration Activities on Students' Perception of the Earth's Crust as a Cyclic System. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.

Lee, H., & Fortner, R. W. (2005). International geoscience educators' perceptions of approaches to K-12 science education for the 21st century. *Journal of Geoscience Education*, 53(2), 198-203.

Libarkin, J. C., & Kurdziel, J. P. (2006). Ontology, the Teaching of Earth System Science. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 408-413.

Mahootian, F. (1997). System thinking, system modeling in the Earth System Science classroom. *Geoscience, Remote Sensing*, 2, 695-697.

Mayer, V. J. (1989). Earth appreciation. *The Science Teacher*, 56(3), 22-25.

Mayer, V. J. (1995). Using the Earth System for integrating the science curriculum. *Science Education*, 79(4), 375-391.

Mayer, V. J., & Armstrong, R. E. (1990). What every 17 year old should know about planet Earth: The report of a conference of educators, geoscientists. *Science Education*, 74(2), 155-165.

Mayer, V. J., Brown, V. J., Graham, M., & Jax, D. W. (1992). The role of planet Earth in the new science curriculum. *Journal of Geoscience Education*, 40(1), 66-73.

Oeschger, H. (2000). Perspectives on global change science: isotopes in the Earth System, past, present. *Quaternary Science Reviews*, 19(1), 37-44.

Pitman, A. J. (2005). On the role of geography in Earth System Science. *Geoforum*, 36(2), 137-148.

Raia, F. (2005). Students' understanding of complex dynamic systems. *Journal of Geoscience Education*, 53(3), 297-308.

Sell, K. S., Herbert, B. E., Stuessy, C. L., & Schielack, J. (2006). Supporting student conceptual model development of complex Earth Systems through the use of multiple representations, inquiry. *Journal of Geoscience Education*, 54(3), 396-407.

Sibley, D. F., Anderson, C. W., Heidemann, M., Merrill, J. E., Parker, J. M., & Szymanski, D. W. (2007). Box diagrams to Assess Students' Systems Thinking about the Rock, Water, Carbon Cycles. *Journal of Geoscience Education*, 55(2), 138-146.

Townsend, M., Rule, A. C., Meyer, M. A., & Dockstader, C. J. (2007). Teaching the Nitrogen Cycle, Human Health Interactions. *Journal of Geoscience Education*, 55(2), 158-168.

Young, R., Virmani, J., & Kusek, K. M. (2001). Creative writing, the water cycle. *Science Scope*, 25(1), 30-35.