

지구 시스템 내 물질 순환에 대한 중·고등학교 학생들의 시스템 사고 분석: 인간의 활동이 순환에 미치는 영향을 고려하여

오현석 · 이기영^{1*} · 김권중¹

춘천교육대학교 · ¹강원대학교

Analysis of Secondary School Students' System Thinking on the Cycle of Matter in Earth System: Considering the Impact of Human Activity on the Cycle

Hyunseok Oh · Kiyoung Lee^{1*} · Kwonjung Kim¹

Chuncheon National University of Education · ¹Kangwon National University

Abstract: The purpose of this study is to analyze the level and characteristics of system thinking of middle and high school students on cycle of matter in the Earth system considering the impact of human activities on the cycle. For this purpose, we developed items for assessment and assessment rubric through the analysis of 2015 revised curriculum and applying systems thinking, respectively. Middle and high school students who participated in the Korea Earth Science Olympiad were the subjects of this study. The level of system thinking was determined using the assessment rubric for student responses collected using items for assessment. The characteristics of system thinking were identified using word analysis. Based on these, the improvement of the curriculum considering the impact of human activities was discussed. The results of the study are as follows: first, the system thinking level of most secondary school students was low in identifying or classifying system elements for matter cycle, and high levels, such as system relationship or generalization of patterns, were found to be relatively small. It was found that students had a higher level of system thinking in the carbon cycle than in the water cycle. Second, in terms of the characteristics of system thinking about water cycle, water was recognized as a major system element and mainly related with evaporation between atmosphere and other system elements. Whereas, in the carbon cycle, carbon dioxide was regarded as a major system element, and photosynthesis and respiration were represented in relation with the biosphere. Third, for education considering the impact of human activities on the matter cycle in the Earth system, it is proposed improving the curriculum considering the socio-ecological system by extending the existing earth system.

keywords : system thinking, water cycle, carbon cycle, human activity, Earth system

I. 서론

최근 지구과학교육에서는 시·공간적으로 밀접하게 관련된 지구와 우주에 관한 현상을 통합적으로 이해하는 데 초점을 맞추어 지구계를 구성하는 각 권의 상호 작용과 에너지 순환으로 유지되는 지구의 역동성을 강조하고 있으며, 고체 지구, 유체 지구, 천체의

각 영역별로 생명체를 위한 최적의 환경인 지구의 소중함을 강조하고 있다. 이는 지구를 하나의 '시스템'으로 간주하고 총체적(holistic) 관점에서 접근을 시도한 지구 시스템 교육(Earth System Education)의 근간이라고 볼 수 있다.

지구 시스템 교육은 1990년대 초부터 미국에서 학교 과학교육을 재구성하려는 주요한 노력으로 인식되

* 교신저자: 이기영 (leeky@kangwon.ac.kr)

** 이 논문은 2018년도 강원대학교 국립대학 육성사업비로 연구하였음.

*** 2021년 9월 28일 접수, 2021년 12월 8일 수정원고 접수, 2021년 12월 8일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2021.45.3.275>

어왔으며, 과학자와 과학교육자의 이론적 기반을 바탕으로 현장 교육자들이 자발적으로 시작하였다. 현재는 미국 이외에도 여러 국가에서 과학 교육과정의 개혁을 위해 지구 시스템적 접근법을 활용하고 있으며, 우리나라에서도 교육과정 개발자나 연구자들이 국가 수준 교육과정의 지구과학 내용에 지구 시스템 교육을 반영해왔다(Lee *et al.*, 2004). 미국의 현행 과학 교육과정인 Next Generation Science Standards (NGSS)는 학생이 알아야 할 것과 할 수 있는 것을 반영해 표준 또는 목표를 정하고 있는데, 지구 및 우주 과학 영역에서 'ESS2 지구 시스템'을 핵심 내용으로 제시하고 있다. 'ESS2 지구 시스템'에서는 지구 구성 물질과 권(-sphere), 판구조론과 대규모 권의 상호 작용, 지표상의 과정에서 물의 역할, 날씨와 기후, 생물 지질학으로 구성되는 지구 시스템 교육을 강조하고 학생들이 수업을 통해 수행되어야 할 개념과 기술을 강조하고 있다(NGSS, 2013).

한편, 우리나라 2015 개정 과학과 교육과정에서는 '통합과학' 교과를 새롭게 신설하였는데, 통합과학에서 다루고 있는 핵심개념 중 하나가 바로 '시스템'이다. '통합과학'은 기존 과학과의 구성 영역인 운동과 에너지, 물질, 생명, 지구와 우주 등을 통합하거나 융합하여 다시 물질과 규칙성, 시스템과 상호 작용, 변화와 다양성 및 환경과 에너지의 영역으로 재구성하였는데, 시스템과 상호 작용에서는 지구 시스템에서 에너지와 물질 순환을 다룬다(MOE, 2015).

지구 시스템에서의 물질 순환은 크게 물 순환과 탄소 순환으로 구분되며, 이에 대한 연구는 꾸준히 진행되어왔다. 먼저, 물 순환에 관한 선행 연구를 살펴보면 다음과 같다. Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005)은 학생들의 물의 순환에 대한 인식을 물의 순환의 과정과 물의 순환의 요소로 나누어 살펴보고, 물의 순환의 개념에 대한 학생들의 인식에서 드러난 단어들이 기권, 수권, 지권, 생명권 등의 지구계의 각 권과의 연계를 살펴보았다. 그 결과 물의 순환 시스템을 위한 8가지의 위계적인 시스템 사고(The System Thinking Hierarchical: 이하 STH)의 모델을 제시하였다. 이 모델에서 시스템 사고의 능력을 "한 시스템의 구성요소와 그 시스템에서 발생하는 현상들의 과정을 파악하는 능력, 시스템의 구성요소 간의 간단한 관계를 파악하는 능력, 시스템 내의 역동적 관계를 파악하는 능력, 시스템의 구성요소와 과정 및 그 상호 작용을 연관성의 측면에서 조직하는 능력, 시스템 내에서 물질과 에너지의 순환을 파악하는 능력, 자료의 패턴과 상호관련성을 바탕으로 시스템의 내적 특성을 인지하는 능력, 시스템의 메커니즘을 이해하고 일반화

하는 능력, 미래지향적 또는 과거역산적 추론을 통한 시간적 사고능력"(p. 523)의 8가지로 구분하여 특성을 제시하였다. 이들은 후속 연구를 통하여 이러한 위계적 시스템 사고 특성을 3단계의 연속적인 시스템 사고 단계로 발전시켜 제시하였다(Orion & Basis, 2008; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010a; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010b).

국내의 연구로는 Kim & Maeng (2019)의 연구에서 초등학생을 대상으로 물의 순환 학습 상황에서 시스템 사고의 특징을 양상별로 정리하였고, Seong *et al.* (2013)은 물의 순환에 대한 초등학생들의 이해를 순위 선다형(ordered multiple-choice) 문항을 이용하여 조사하여 학습발달과정(learning progression)을 제시하였다. 고등학생을 대상으로 한 Lee *et al.* (2008)의 연구에서는 물 순환 과정과 구성요소에 대한 고등학생들의 이해를 살펴보았다. 탄소 순환에 관한 국내연구는 주로 고등학생을 대상으로 하였는데, Lee *et al.* (2013)은 고등학생들의 지구 시스템적 관점에 기반한 탄소 순환 개념을 분석하였다. 한편, Lee *et al.* (2017)은 공간지각능력에 따른 고등학생들의 탄소 순환 개념을 알아보고자 하였으며, 이를 통해 공간지각능력이 높은 학생들은 공간지각능력이 낮은 학생들보다 단어 연상에서 탄소 순환, 상태 변화(상태, 온도, 열, 냉각, 연소, 승화, 용해), 과정(광합성, 섭취, 죽음, 증발, 호흡, 침전, 유수, 강수)에 대한 개념을 더 상세히 알고 있다는 연구 결과를 보고하였다.

하지만, 위와 같은 선행 연구들은 주로 기존의 지구 시스템 사고의 전통적인 관점에서 물 순환과 탄소 순환을 다루고 있으며, 인간의 활동에 의한 영향의 측면에서 물질 순환을 포함하지 못한 것으로 분석되기에 이 연구에서는 지구 시스템 내에서 인간의 활동이 물질 순환에 미치는 영향을 포함하여 중·고등학교 학생들의 시스템 사고 수준과 특성을 분석해보고자 한다.

이 연구는 지구 시스템에서 물질의 순환에 대한 학생들의 학습발달과정 개발에서 가설적 발달경로 설정을 위한 기초연구의 성격을 갖는다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 지구 시스템 내 물질의 순환에 대한 중·고등학교 학생들의 시스템 사고 수준은 어떠한가?

둘째, 지구 시스템 내 물질의 순환에 대한 중·고등학교 학생들의 시스템 사고 특성은 어떠한가?

셋째, 인간 활동이 물질의 순환에 미치는 영향의 관점에서 물질의 순환에 대한 교육과정 개선 방향은 어떠한가?

II. 연구 방법 및 내용

1. 연구 절차

이 연구는 크게 세 단계를 거쳐서 수행되었다. 먼저 학생들의 교육과정을 이수한 후 물과 탄소의 순환에 대한 사고 수준과 특성을 알아보기 위하여, 2015 개정 교육과정 분석을 통하여 문항을 개발하였다. 물과 탄소의 순환 문항에 대한 학생들의 글과 그림으로 이루어진 반응을 연구 자료로 수집하였으며, 수집된 자료를 평가 루브릭에 적용하여 시스템 사고 수준을 분석하였다. 단어 분석 시 그림을 포함한 학생들의 표현에 포함된 단어의 빈도 분석을 하고 단어 구름(word cloud)으로 가시화하였으며 이를 이용하여 학생들의 시스템 사고 특성을 파악하였다. 마지막으로 이러한 분석 결과를 토대로 인간 활동이 미치는 영향의 관점에서 물질의 순환에 대한 교육과정 개선 방향에 대하여 논의하였다. 연구 절차 간단하게 나타내면 Figure 1과 같다.

2. 평가 문항 개발

이 연구는 물질의 순환에 대한 학생들의 시스템 사고 수준과 특성을 알아보기 위한 것으로, 물질 순환 중 물의 순환과 탄소 순환에 대한 교육과정을 분석하였다. 교육 과정 분석 결과를 토대로 평가 문항을 개발하였다.

먼저, 2015 개정 교육과정의 성취기준에 드러난 물의 순환과 탄소 순환에 관한 내용을 근거로 하였다.

지구 시스템에 대한 10학년 통합과학의 첫 번째 성취기준인 [10통과04-01]은 “지구 시스템은 태양계라는 시스템의 구성요소이면서 그 자체로 수많은 생명체를 포함하는 시스템임을 추론하고, 지구 시스템을 구성하는 하위 요소를 분석할 수 있다.”이고, 두 번째 성취기준인 [10통과04-02]는 “다양한 자연 현상이 지구 시스템 내부 물질의 순환과 에너지 흐름의 결과임을 기권과 수권의 상호 작용을 사례로 논증할 수 있다.”이다(MOE, 2015). 교육과정 성취기준에 따르면, 지구 시스템을 구성하는 하위 요소들을 배우고 기권과 수권의 상호 작용에 대해서 중점적으로 학습한다. 또한, 지구 시스템의 균형이 깨짐으로써 인간에게 주는 영향은 학습하지만, 이에 반대 상황인 인간 활동이 지구 시스템의 균형을 깨뜨리는 경우는 학습하지 않는다.

물의 순환과 관련된 내용은 생명체에서 물의 소중함을 살펴보고, 지구 곳곳에서 발생하는 물 부족 현상을 해결하기 위한 과학, 기술, 공학의 적용 사례, 적정 기술의 적용 사례 등을 조사함으로써 창의적 문제 해결력을 기르고, 과학의 필요성을 인식하도록 하는 것이다. 이와 관련한 첫 번째 성취기준은 “물이 이동하거나 상태가 변하면서 순환하는 과정을 생명체, 지표면, 공기 사이에서 일어나는 다양한 현상과 관련지어 설명할 수 있다.”이고 두 번째 성취기준은 “물의 중요성을 알고 물 부족 현상을 해결하기 위해 창의적 방법을 활용한 사례를 조사할 수 있다.”이다(MOE, 2015).

반면, 탄소 순환과 관련된 내용은 2015 개정 과학과 교육과정에 직접적으로 명시되어 있는 단원이 없다. 단, 교과서에만 본문에 탄소 순환 그림과 함께 설명으로 기술되거나 물의 순환에 대한 개념 적용으로

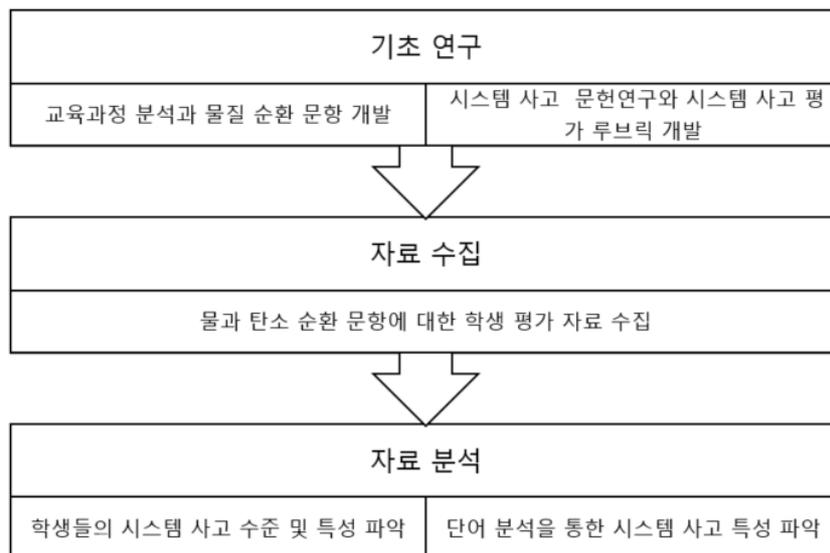


Figure 1. The procedure of research.

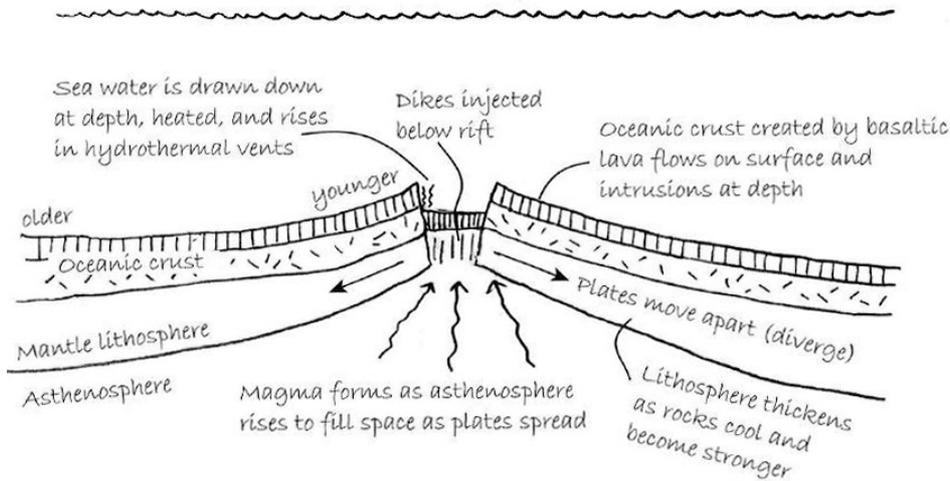


Figure 2. The example of concept sketch (Johnson & Reynolds, 2005)

심화학습에서 탄소의 순환이 제시되어 있다.

교육과정 분석 결과를 바탕으로 물과 탄소 순환에 대한 평가 문항은 기본적으로 Johnson & Reynolds (2005)의 개념 그리기의 형태로 취하였다. 지구과학 교육에서 학생들의 과학 개념이나 개념의 변화를 탐색하는 연구에서 그림분석 방법이 오래전부터 이용되어 왔다. Jeong & Jeong (2007)은 지구 내부에 대한 고등학생들의 개념 이해를 탐색하는 데 그림분석을 이용하였다. 달 크레이터 생성에 대한 대학생들의 정신모형을 분석한 Lee *et al.* (2007)의 연구에서도 그림분석을 사용하였다. 한편, 그리기에 나타난 학생들의 내적 심상에 초점을 두고 구성주의 관점에서 해석학적으로 분석한 Shepardson (2005)의 연구나 인지심리학에 기반을 두고 인식론적으로 분석한 환경 분야의 Alerby (2000) 연구는 구체 모형으로써 그리기로 표상된 심상에 초점을 두었다. 따라서 설문이나 면담 등의 언어적 요소로는 측정할 수 없는 학생들의 내적이며 시각적인 심상을 확인하기 위해서 해석학적이면서 인식론적 관점의 그림분석 방법을 지구과학 분야의 연구에 적용한 사례로는 지구계 관련 연구인 Oh *et al.* (2009)와 같이 행성 테라포밍에 대한 그림분석을 통해 중학생의 인지 특성을 탐색한 선행 연구가 있으며, 중학생들의 지구 이미지를 통하여 인지 특성을 탐색한 Oh & Kim (2010)의 연구도 있다. 이러한 선행 연구들이 탐색한 인지 특성은 사실상 학생들의 인지 구조 속에 투영되어있는 심상의 내용 특성을 살펴본 것이라고 볼 수 있다. 하지만 학생들이 모든 표상을 그리기 만으로 충분히 나타낼 수 없기에 이러한 연구에도 한계가 존재한다. 그래서 그리기의 표상이 구체 모형으로의 표현됨의 한계에 벗어나기 위하여 그리기에 개념을 포함하도록 하고 의미가 부여된 단어와 서술 표현을 첨가하는 개념 그리기 방법이 있다

(Figure 2).

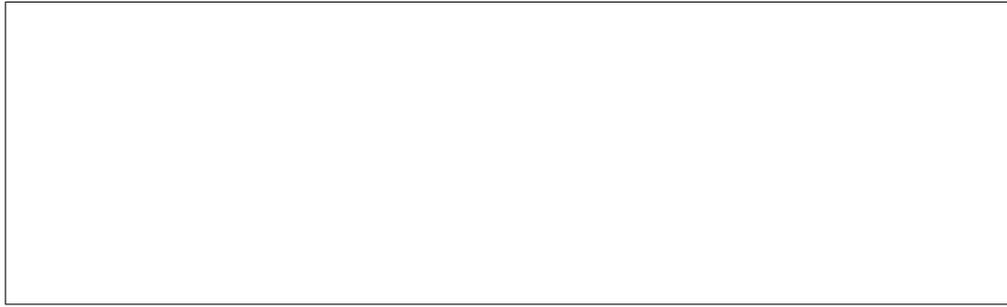
Johnson & Reynolds (2005)는 판구조론을 설명하는 지질학 수업에서 개념 그리기를 학습과 교수 그리고 평가에까지 적용하는 연구를 수행하였다. 그 결과 수업 도구로 사용한 개념 그리기가 학생들이 판구조론에 대한 시스템적 이해를 증진 시켰으며 이를 개념 그리기를 통하여 확인할 수 있다고 하였다. 이 밖에도 지구과학 분야 중에서 지구 내부 구조와 판구조론과 관련 학습에서 개념 그리기를 통하여 연구 참여자들의 정신모형을 탐색하는 많은 연구가 수행되어왔다 (Gobert, 2005; Libarkin, 2006; Libarkin *et al.*, 2005). 따라서 Figure 3과 같이, 본 연구에서 평가 문항은 학생들이 물의 순환에 관한 생각을 글이 포함된 그림으로 그리고, 이를 설명할 수 있도록 글로 서술하도록 구성하였다. 탄소의 순환에 관한 문항도 물의 순환과 동일하게 구성하였다.

3. 평가 루브릭 개발

2015 개정 과학과 교육과정의 물질의 순환에 대한 내용 분석 결과를 기반으로 학생들의 시스템 사고 평가 준거를 마련하기 위한 평가 루브릭을 개발하였다.

먼저, 시스템적 실행이 위계적 관계를 형성하며 순차적으로 발달한다는 선행 연구 결과를 바탕으로 (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Orion & Basis, 2008), 문헌 연구에서 추출한 시스템 사고 요소의 위계를 4개의 수준으로 구분하였다. 수준의 위계는 기본적으로 Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005)의 STH 모델과 STH 모델을 적용하여 시스템 사고의 위계를 4개의 수준으로 구분한 Oh *et al.* (2015) 연구 결과를 적용하였다. 수준 1은 시스템을 구성하는 하위 요소를 구분하는 것이다. 여기서 수준 1을 다시 구성요

문1) 우리가 살아가는 데는 물이 꼭 필요한 존재 이며, 행성에서 생명체가 존재하기 위한 필수 요소이기도 하다. 푸른 행성 지구에서 물은 시스템을 구성하는 여러 하위 권역(수권, 지권, 기권, 생물권)에 다양한 형태로 존재하고 있다. 각 권역에 존재하는 물의 형태 및 물의 이동을 고려하여 지구 시스템 내에서의 물의 순환에 대하여 상세하게 그림으로 나타내시오.



위에서 그린 물의 순환을 왜 그렇게 표현하였는지 구체적으로 설명하시오.

Figure 3. Illustration of item for water cycle

소를 확인하는 1-a 수준과 이보다 상위의 1-b 수준으로 시스템 구성요소를 구분하는 것을 설정하였다. 수준 2는 시스템의 하위 요소 간의 관계 맺기를 하는 것으로 시스템 요소 간의 연관에 해당한다. 수준 3은 하위 요소 간의 관계를 일반화하고, 마지막 수준 4에서는 시스템 모델링 하는 것이다.

이 연구에서는 STH 모델을 적용한 Oh *et al.* (2015) 연구의 시스템 사고 수준을 기준으로 물질의 순환에 대한 지구 시스템 간의 상호 작용, 물질의 분포 형태 그리고 물질의 순환 고리 연결을 핵심 개념으로 설정하고 4개의 수준으로 구분하였다. 단순하게 지구 시스템을 구성하는 각 하부 시스템 간의 상호 작용만 언급하고 물질의 분포에 관한 내용이 빈약한 경우를 최하위 수준인 수준 1로 설정하였다. 이는 시스템 사고 수준으로 보았을 때, 지구 시스템의 단순한

요소인 각 하위계만을 언급한 것으로 전체 물질 순환에 대한 사고 시스템의 요소에 해당한다. 수준 1보다 한 단계 상위 수준으로는 물질의 분포 형태를 표현하는 것은 물질 순환에 대한 사고 시스템 요소의 분류로 보아 수준 2로 설정하였다. 수준 3은 물질의 순환에서 시스템 요소인 분포 형태 간의 물질 이동은 시스템 요소 간의 관계에 해당하므로 시스템 사고 수준이 더 상위에 있다고 볼 수 있다. 수준 4는 하위 시스템 간의 관계를 일반화한 것은 STH 모델의 다섯 번째 수준인 물질과 에너지의 순환 구성하기로 시스템 사고 수준에서는 경향의 일반화로 볼 수 있으며, 물질의 순환 시스템에서는 가장 상위 수준으로 보았다. 이처럼 STH 모델과 시스템 사고 수준을 적용하여 개발한 물질의 순환에 대한 시스템 사고 평가 루브릭은 Table 1과 같다.

Table 1. Assessment rubric for cycle of matter in Earth system

수준	평가 기준	시스템 사고 수준 (Oh et al, 2015)	STH 모델 (Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005)
4	물질의 분포 형태를 모두 표현하고, 분포 형태 간 물질의 순환 고리(이동)가 연결되었다.	3. 경향의 일반화	8. 시간적 사고 능력 7. 일반화하기 6. 시스템의 숨겨진 측면 인식하기 5. 물질과 에너지의 순환 구성하기
3	물질의 분포 형태를 모두 나타내고, 물질의 순환 고리(이동)이 일부가 표현하였다.	2. 관계 찾기(연관)	4. 시스템 요소와 과정 그리고 요소 간 상호 작용 조직하기 3. 복잡한 관계 맺기 2. 기본 관계 맺기
2	물질의 분포 형태가 표현되었다.	1-b. 구성 요소 분류	1. 구성 요소 확인
1	지구 시스템 각 권(지권, 기권, 수권, 생물권)의 상호작용만 표현하였다.	1-a 구성 요소 확인	

4. 자료 수집

물질 순환에 대한 중·고등학생들의 시스템 사고 수준과 특성을 파악하기 위해 지구과학에 흥미가 있고 한국 지구과학 올림피아드에 참여한 중·고등학생 154명(중학교 3학년 8명, 고등학교 1학년 79명 그리고 고등학교 2학년 67명)을 연구 대상으로 선정하였다. 현 교육과정에서 물의 순환은 초등학교 3~4학년 군에서 학습하며, 중학교 1~3학년 군에서 물의 이동과 증산작용 단원에서 물을 이동을 학습한다. 그리고 고등학교 1학년 통합과학에서 지구 시스템에서 물의 순환에 대해 학습하도록 구성되어 있다. 탄소 순환에 대해서는 고등학교 1학년 통합과학 지구 시스템에서 탄소 순환을 학습하며, 심화 선택 과목 중 융합과학에서 탄소 순환을 학습하도록 구성되어 있다. 연구에 참여한 학생들의 물과 탄소 순환에 대한 평가 문항에 대한 그림과 글로 구성된 응답 154건을 수집하였다.

5. 자료 분석

개념 그리기로 구성된 평가 문항에 대한 학생들의 글과 그림의 반응에서 단어를 추출한 후 그 빈도를 분석하여, 물의 순환에 대한 학생들의 지구 시스템 사고 수준을 살펴보았다. 평가 문항에 대한 학생들의 응답을 분석하여 문항 반응에서 추출한 단어로 빈도 분석한 결과를 단어 구름으로 시각화하여 표현하였다.

글과 그림으로 표현된 학생들의 반응을 단어의 빈도를 분석하는 것은 Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005)의 연구에서 제시된 연구 방법을 인용한 것이다. 한편, 단어 구름은 일반적으로 태그 클라우드(tag cloud)라고도 하며, 메타 데이터에서 얻어진 태그들을 분석하여 중요도나 인기도 등을 고려하여 시각적으로 늘어놓아 웹 사이트에 표시하는 것이다. 보통은 2차원의 표와 같은 형태로 태그들이 배치되며 이때 순서는 알파벳이나 가나다순으로 배치된다. 시각적인 중요도를 강조를 위해 각 태그는 그 중요도나 인기도에 따라 글자의 색상이나 굵기 등 형태가 변한다. 사용자는 이렇게 표시된 태그 중 마음에 드는 키워드를 발견하고 그것을 선택하여 그 메타 데이터에 원래 연결된 웹 페이지로 이동하게 된다. 이러한 단어 구름 기법은 종종 텍스트 문서, 질적 연구 데이터, 대중 연설 등에서 단어 빈도를 시각화하는 데 사용한다. 본 연구에서는 단어 구름을 이용하여 물과 탄소의 순환에서 학생들이 중요한 개념으로 생각하는 단어를 시각화하여 인지 특성 분석에 사용하였다.

연구 결과로 개발된 평가 루브릭을 적용하여 글과

그림으로 표현된 학생들의 응답에 대한 수준을 판단하였다. 단어 분석에서 H₂O와 물처럼 같은 의미인데 다른 형태로 표현되었거나 뜻이 유사한 단어는 하나의 단어로 고려하였다. 학생들의 응답에 대한 분석과 수준 판단은 평가의 신뢰도를 확보하기 위하여 2명의 공동 연구자가 교차로 검토하여 단어 분석에서 단어를 선별 및 선정하였고, 시스템 사고 수준 분석에서는 수준이 일치되는 부분을 해석하는 과정을 거쳤다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 물질의 순환에 대한 학생들의 시스템 사고 수준

연구 대상자의 문항에 대한 응답을 평가 루브릭에 적용하여 시스템 사고의 수준을 분석한 결과, 물의 순환의 경우 교육과정에 명시된 시스템 요소인 물이 분포하는 지구 시스템의 하위계와 물의 형태가 표현된 수준 2에 해당하는 학생들이 108명으로 가장 많았으며, 연구 대상자 전체의 약 70%를 차지하였다. 반면, 교육과정에서 명시된 물의 분포 형태를 모두 나타내어 시스템 요소를 모두 파악하고, 시스템 요소 간에 관계 맺기를 하여 물의 흐름이나 이동을 표현한 수준 3에 해당하는 학생들은 17명으로 전체 인원 대비 비율로는 약 11%를 차지하였다. 한편, 7명만 수준 4에 해당하는 시스템 요소 간의 연관을 확장하여 시스템 사고에서 경향의 일반화가 이루어지는 물의 순환 고리로 연결하였으며, 약 4.5%의 비율을 차지하였다. 그밖에 무응답인 학생도 5명으로 약 3.2%를 차지하였다(Table 4).

한편, 탄소의 순환에 대한 학생들의 응답을 시스템 사고 수준에 대해 분석한 결과도 물의 순환에서와 마찬가지로 탄소가 분포하는 지구 시스템의 하위계와 분포 형태가 표현된 수준 2에 해당하는 학생들이 93명으로 가장 많았다. 수준 2의 학생들은 연구 대상자 전체의 약 60.4%를 차지하였다. 반면, 탄소의 분포 형태를 모두 표현하여 시스템 요소를 모두 파악하고, 시스템 요소 간에 관계 맺기를 하여 탄소의 이동을 표현한 수준 3에 해당하는 학생들은 20명으로 전체 인원 대비 비율로는 약 13.0%를 차지하였다. 또한, 19명만 수준 4에 해당하는 탄소의 이동을 나타내어 탄소의 순환 고리와 연결하였으며, 약 11.7%의 비율을 차지하였다. 그밖에 무응답인 학생도 9명으로 약 5.8%를 차지하였다(Table 2).

Table 2. Students' level of system thinking

		4수준	3수준	2수준	1수준	무응답	총 계
물의 순환	학생 수(명)	7	17	108	16	5	154
	비율(%)	4.5	11.1	70.2	10.4	3.2	100.0
탄소의 순환	학생 수(명)	19	20	93	13	9	154
	비율(%)	12.3	13.0	60.4	8.4	5.8	100.0

이처럼 물질의 순환에 대한 시스템 사고 수준은 물과 탄소의 순환 모두 수준 2가 가장 많이 나타났으며, 상위 정착적인 수준 4는 물의 순환보다 탄소의 순환에서 더 많이 나타났다. 이는 현 2015 개정 교육과정에서 물의 순환에 대한 학습 내용을 초등학교 3~4학년 군에 융합 단원으로 배치되어 있을 뿐만 아니라, 그 내용 수준이 전체적인 시스템의 하위계 간의 경향의 일반화 수준인 물질의 순환을 구성하지 못하고 기권과 수권 사이의 관계 맺기인 시스템 연관의 시스템 사고 수준으로 증발과 강수 현상에 초점을 두고 있는 것의 영향으로 보인다.

물의 순환에서 Figure 4와 같이 시스템 사고를 수준별 사례를 통하여 살펴보면, 수준 1의 경우는 물의 분포 형태나 물의 이동에 대한 구체적인 현상의 표현 없이, 암석권과 수권 그리고 기권 사이에서의 순환만 화살표로 표시하여 지구 시스템의 각 권의 상호 작용만을 나타낸 것이다. 수준 2의 학생은 수권인 바다에

서 출발한 물이 다른 분포 형태로의 이동을 명확히 나타내고 있지는 않지만, 물이 분포하는 형태를 기권에서 강수, 지권에서 하천과 지하수 그리고 생물권에서는 동물의 음용 수를 그림으로 표현하고 있다. 즉, 물의 분포 형태 간의 물의 이동은 명확히 표현하지 못하였지만, 교육과정에 명시된 물의 분포 형태가 일부이긴 하지만, 부분적으로 표현하고 있는 수준이다. 한편, 수준 3의 경우는 그림에서 수권에서 바다를 비롯하여 빙하를 포함하여 나타내고 있으며, 수권과 지권을 연계하여 하천과 지하수를 나타내고 있다. 그리고 기권에서는 강수를 구름에 포함하여 나타내고 있다. 물의 이동에서는 증발과 강수와 같이, 물의 분포 형태인 바닷물과 기권의 구름 사이의 연결인 증발과 강수만을 나타내는 등 일부를 표현하고 있다. 마지막으로 수준 4의 학생은 바다, 빙하, 지하수, 강, 계곡, 비나 눈, 만년설, 구름 등 교육과정에 명시된 물의 분포 형태를 모두 나타내고 있다.

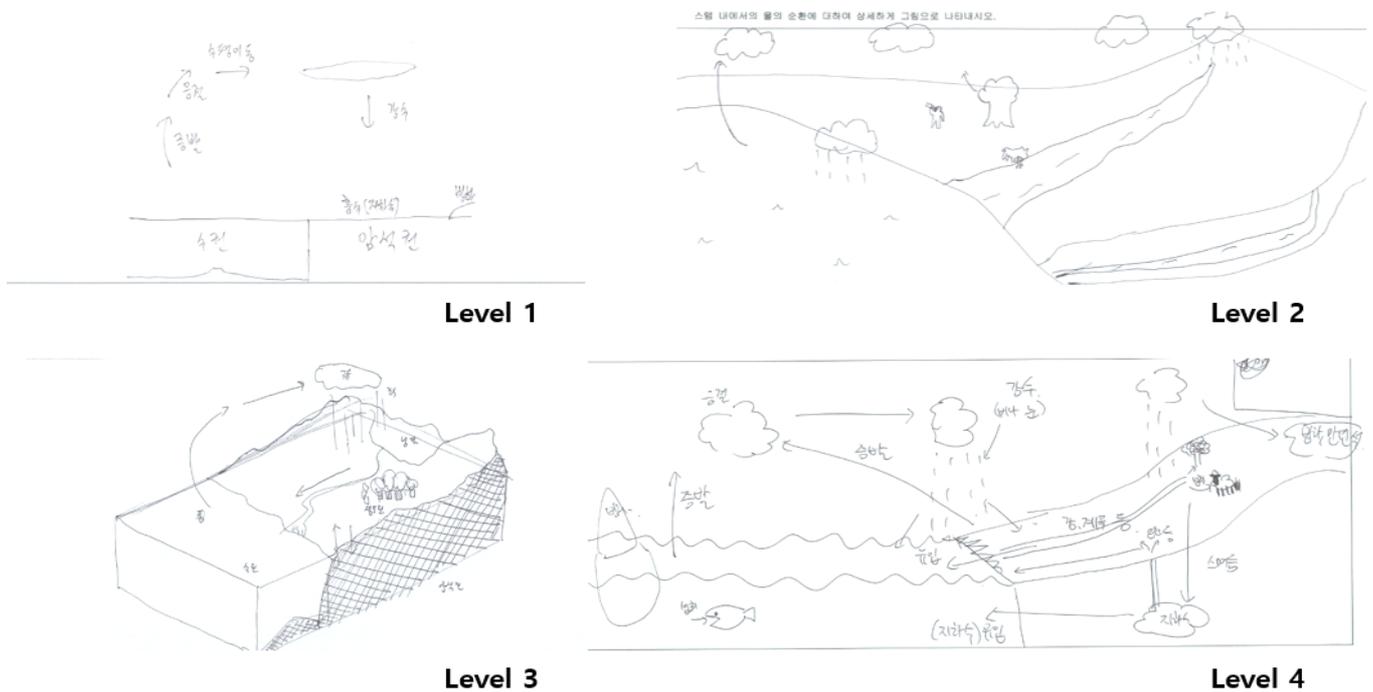


Figure 4. Examples of students' drawing response according to system thinking level of water cycle

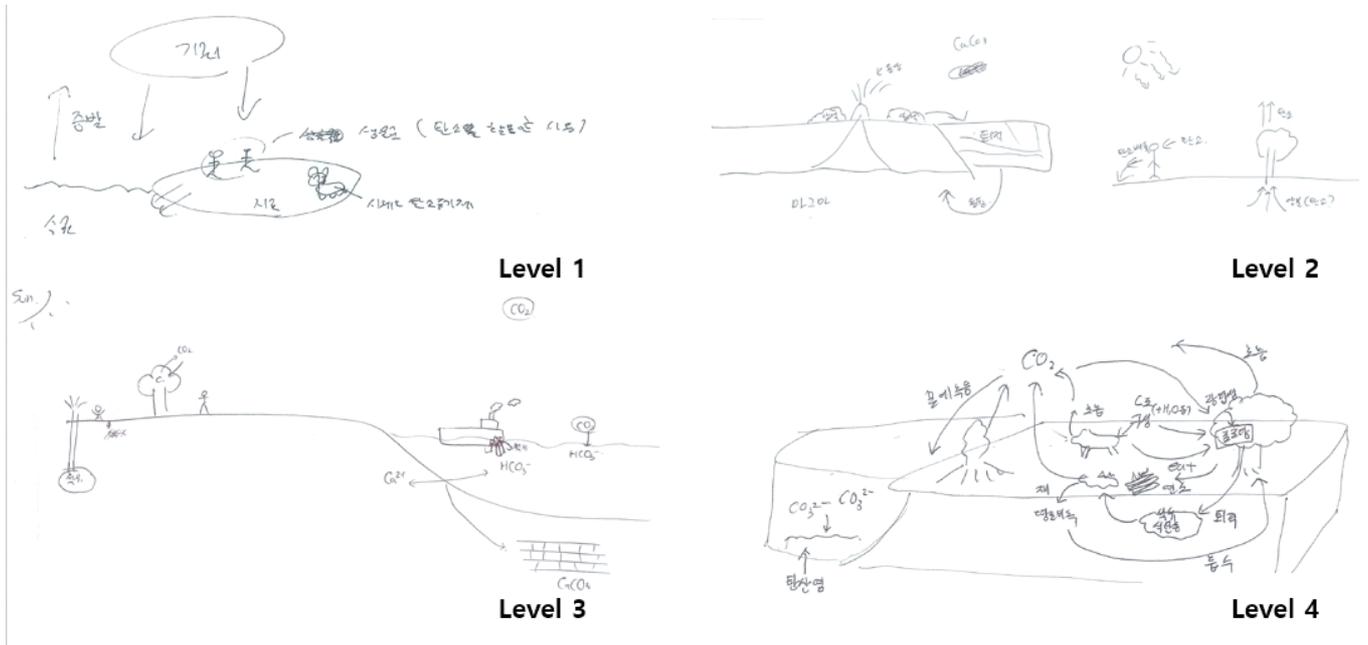


Figure 5. Examples of students' drawing response according to system thinking level of carbon cycle

탄소의 순환에 대해서도 Figure 5와 같이 시스템 사고를 수준별 사례를 통하여 살펴보면, 수준 1의 경우는 탄소의 분포 형태나 탄소의 이동에 대한 구체적인 분포 형태나 이동 현상의 표현 없이, 생물권, 지권과 수권 그리고 기권 사이에서의 순환만 화살표로 표시하여 지구 시스템의 각 권의 상호 작용만을 나타낸 것이다. 수준 2의 학생은 지권 내에서 탄소 순환 중에 탄소의 형태가 불분명한 상태로 탄소의 변화나 상태로만 언급하고 있다. 또한, 사람이 탄소를 흡수해서 배출하고 나무가 탄소를 흡수하여 탄소를 배출하는 것으로 나타내고 있지만, 이 역시 명확하게 이동 형태를 표현하지는 않는다. 즉, 탄소의 분포 형태 간의 탄소 이동을 명확히 표현하지 못하지만, 탄소가 분포하는 형태를 지권에서 마그마, 퇴적물, 지표의 용암과 암석, 생물권에서 사람과 나무를 글과 그림으로 표현하여 탄소의 분포 형태가 일부이긴 하지만, 부분적으로 표현하고 있는 수준이다. 한편, 수준 3의 경우는 탄소의 분포와 형태로는 그림에서 수권에서 탄소가 탄산염의 형태로 녹아 있는 바다 나타내고 있으며, 기권과 생물권을 연계하여 대기 중의 이산화 탄소와 나무와 사람을 구성하고 있는 원소로 탄소를 표현하고 있다. 그리고 지권에서 지층 내에 침전된 탄산칼슘과 화석 연료인 석유를 표현하고 있다. 탄소의 이동에서는 광합성과 같이, 탄소의 분포 형태인 기권의 이산화 탄소와 나무의 탄소 간의 광합성과 호흡을 나타내거나 대기 중의 이산화 탄소나 화석 연료 사용에 따른 수권 내의 탄산염의 용해와 탄산염과 지권에서 공급된 칼슘 이온의 결합에 따른 탄산칼슘의 형성을 나타

내는 등 탄소 순환의 일부를 표현하고 있다. 수준 4의 학생은 대기 중의 이산화 탄소, 동물, 나무, 포도당, 화산 활동, 재, 석유, 석탄, 탄산염, 탄산 이온 등 교과서에 제시된 탄소의 분포 형태를 모두 나타내고 있다. 탄소의 이동에서는 대기 중의 이산화 탄소를 정점으로 나무와의 광합성과 호흡, 동물의 호흡, 화산 활동에 의한 가스 분출 그리고 이산화 탄소의 수권에 용해되는 것까지 모두 표현하고 있으며, 연소 과정을 통하여 재를 거쳐 땅을 비옥하게 만들거나 퇴적되어 석유나 석탄을 만드는 등의 탄소 이동을 탄소의 순환으로 잘 나타내고 있다.

2. 물질의 순환에 대한 학생들의 시스템 사고 특성

Figure 6은 물의 순환에서 학생들의 응답에 드러난 단어의 빈도로 단어 구름을 나타낸 것이다. 물의 순환에 대한 단어 구름에서 가장 두드러지게 나타나는 단어는 '증발'이다. 다음은 '물'이 두드러지게 나타나고 '지권', '기권', '바다', '수권', '생물권', 그리고 '비'와 같은 단어가 드러나 보인다. 단어 중 '증발'은 물의 상태변화로 수권이나 지권 등에 존재하는 물이 기권으로 이동하는 것을 표현하는 단어이다. 한편, '지권', '수권', '기권' 그리고 '생물권'은 지구계의 하위계에 해당하는 단어로 물이 분포하는 위치를 나타내는 단어이며, '물', '바다', '비' 그리고 '지하수'는 물의 서로 다른 형태를 표현하는 단어이다. 즉, 물의 이동에 해당하는 '증발'을 제외하고는 모두 물의 형태나 물의



Figure 6. Word cloud for water cycle

분포에 해당하는 단어가 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

Table 3은 물의 순환에 대해 ‘물질의 분포 위치와 형태’와 ‘물질의 이동과 흐름’으로 구분하여 단어의 빈도를 나타낸 것이다. 학생들의 글과 그림에서 가장 많이 표현된 단어는 ‘증발’이다. ‘증발’은 물의 분포 위치와 형태가 아닌, 물의 흐름이나 이동에 대한 상태변화로 과학 현상에 관계된 단어이다. 다음으로 높은 빈도가 나타난 단어는 ‘물’, ‘지권’, ‘수권’, ‘바다’, ‘지하수’, ‘기권’, ‘생물권’ 그리고 ‘비’까지 모두 물의 형태로서 다른 표현이거나 물이 분포하는 위치에 해당하는 지구계의 하위 요소들이다. 학생들이 표현한 물의 분포 위치나 형태에 대한 단어의 종류가 65개이며, 물의 이동이나 흐름에 대한 단어의 종류는 46개로 물이 분포하는 하위계와 물의 형태에 대한 어휘가 더 다양하게 나타났다. 가장 많이 등장했던 ‘증발’을 제외하고는 물의 분포 위치와 형태 항목이 물의 이동이나 흐름보다 상대적으로 많이 나타나는 경향을 보이는 이유는 학생들에게 시각적으로 판단이 가능한 물질이나 장소에 대하여 단어나 그림으로 표상하기가 더 수월했을 것으로 판단된다. 물의 분포 위치와 형태 분류 항목에서는 H₂O를 비롯하여 ‘물’에 해당하는 물의 형태에 관한 단어가 가장 많이 나타났고 다음으로는 물이 분포 위치인 지권과 수권이 가장 많이 표현되었다. 물의 형태로는 물 다음으로는 바다와 지하수가 높은 빈도로 등장하였으나, 그 빈도의 차이가 크지 않았다.

이러한 경향은 물의 분포 위치 항목에서도 유사하게 나타나는데, 지권과 수권이 가장 많이 등장하고 이어서 기권과 생물권이 뒤를 잇고 있다. 하지만 이 또한 빈도의 차이가 크지 않았다.

Figure 7은 탄소의 순환에서 학생들의 응답에 드러난 단어의 빈도로 단어 구름을 나타낸 것이다. 눈에 띄게 높은 빈도를 보이는 단어는 ‘이산화 탄소’이다. 다음으로는 지구 시스템의 하위계인 ‘지권’, ‘기권’, ‘수권’, ‘생물권’이 우세하게 나타났다. 이러한 결과는 탄소의 형태에 해당하는 단어로 ‘이산화 탄소’와 ‘화석 연료’가 가장 많이 등장하는 것으로 설명할 수 있다. 지권에서 탄소가 석탄이나 석유와 같은 화석 연료나 흑연과 금강석 등의 연계 단어로 많이 나타나기 때문이다. 유사하게 학생들은 단어 빈도가 가장 높은 ‘이산화 탄소’가 주로 분포하는 곳으로 기권을 고려한 것으로 추정된다. 생물권은 ‘광합성’과 ‘호흡’으로 연관되고 있는 것으로 보인다. 또한, 실제로는 지구상의 이산화 탄소가 탄산의 형태로 가장 많이 녹아 있는 ‘수권’도 단어 구름에서 잘 드러나고 있다. 한편 물질의 이동과 흐름에 해당하는 단어로는 ‘광합성’과 ‘호흡’을 제외하면 크게 두드러진 단어는 없음을 알 수 있다.

Table 4는 탄소의 순환에 대해 ‘물질의 분포 위치와 형태’와 ‘물질의 이동과 흐름’으로 구분하여 단어의 빈도를 나타낸 것이다. 총 2,187개의 단어가 추출되었는데 학생들이 표현한 탄소의 분포와 형태에 대한 단

Table 3. Word frequency of water cycle

단어	빈도	구분	단어	빈도	구분
물	165	물질의 분포 위치와 형태	증발	235	물질의 이동과 흐름
지권	154		강수	117	
수권	148		흡수	94	
바다	141		유입	72	
지하수	141		이동	61	
기권	135		응결	61	
생물권	130		순환	50	
비	128		형성	41	

어가 53개이며 탄소의 이동과 흐름에 대한 단어는 25개로, 물의 순환과 마찬가지로 물질의 분포와 형태에 대한 단어가 더 다양하게 나타났다. 가장 많이 등장했던 ‘이산화 탄소’를 포함하여 물질의 분포와 형태 항목이 물질의 이동과 흐름 항목보다 상대적으로 많이 나타나는 경향을 보인다. 반면, 탄소가 표현되지 않고 화학적으로 탄소 형태가 그대로 존재하는 흑연은 전혀 나타나지 않지만, 환경 문제 등으로 가장 이슈인 ‘이산화 탄소’가 최대 빈도로 등장하고 있다.

물질의 분포 위치와 형태 항목에서는 ‘이산화 탄소’가 기체 형태로 분포하는 하위계인 ‘기권’이 ‘이산화 탄소’ 다음으로 많이 등장하기는 하지만, 탄소가 분포하는 지구 시스템의 하위계인 ‘지권’, ‘수권’ 그리고 ‘생물권’이 유의미한 차이 없이 거의 고른 빈도를 보인다. 한편, 물질의 이동과 흐름 항목으로는 물질의 분포 위치와 형태 항목에서 최대 빈도로 등장한 단어인 ‘이산화 탄소’와 관련이 있는 ‘광합성’과

‘호흡’이 가장 높은 빈도로 등장하였다. 이 두 단어는 기권과 생물계 사이의 탄소 이동을 의미한다. 학생들은 생물을 중심으로 탄소 이동을 생각하는 경우가 가장 높은 빈도로 등장한다는 것을 알 수 있다. ‘광합성’과 ‘호흡’ 다음으로는 기권이나 지권과 수권 사이의 탄소 이동에 해당하는 ‘용해’와 ‘녹다’가 높은 빈도로 등장한다. 그 밖에도 수권으로의 탄소 이동으로는 ‘유수 작용’과 관련된 단어가 나타나며, 그 밖에도 ‘퇴적’을 비롯한 퇴적 관련된 단어가 지권과 수권을 연결하여 탄소 이동을 표현하는 단어로 등장하였다.

한편, 학생들이 그림과 설명으로 표현한 단어 중 물질의 분포 위치와 형태에 해당하는 단어들은 지구계를 구성하는 시스템 요소에 해당하고, 물질의 이동과 흐름에 해당하는 단어들은 시스템 요소 간의 관계를 맺는 시스템 연관에 해당한다고 볼 수 있다. 따라서 물의 순환과 탄소의 순환에서 등장하는 단어를 시스템 요소와 시스템 연관이라는 시스템 사고의 수준에



Figure 7. Word cloud for carbon cycle

Table 4. Word frequency of carbon cycle

단어	빈도	구분	단어	빈도	구분
이산화 탄소	131	물질의 분포 위치와 형태	광합성	88	물질의 이동과 흐름
기권	127		호흡	87	
지권	126		용해	43	
수권	120		녹다	41	
생물권	115		인간 활동	34	
화석 연료	68		퇴적	33	
탄산칼슘	53		연소	28	
석회암	51		배출	26	
탄산이온	45		방출	24	

따라 분류할 수 있다. Figure 8은 학생들의 물질 순환에 대한 시스템 사고의 특성을 종합하여 다이어그램으로 나타낸 것이다. 원의 크기와 화살표의 굵기는 빈도에 비례하여 나타내었다. 이러한 결과는 물의 순환의 경우, 학생들은 물을 주요 시스템 요소로 인지하고 있다. 물이 지구 시스템 내에서 어디든지 다양한 형태로 고르게 분포하고 있는 것으로 인지하고 있다. 특히 기권과 증발로 시스템 요소 간의 관계를 맺는 물의 순환 시스템 연관으로 표상하는 것으로 보인다. 탄소 순환의 경우, 이산화 탄소를 주요 시스템 요소로 인지하고 있다. 관련된 지구계 하위 요소가 시스템 요소로 비슷하게 나타나지만, 생물권과 광합성과 호흡 현상으로 탄소 순환의 시스템 연관이 가장 두드러지게 나타난다. 물의 순환에서는 인간 활동의 영향이 나타나지 않지만, 탄소의 순환에서는 지권과 생물권과 연결된 화석 연료와 이산화 탄소의 관계에서만 인간 활동에 의한 영향이 나타나고 있다.

3. 인간 활동이 순환에 미치는 영향을 고려한 교육과정 개선 방향 논의

물질 순환에서 인간 활동이 미치는 영향을 고려하기 위해서는 기존의 지구 시스템을 사회-생태 시스템으로 확장하여 살펴보아야 한다. Figure 9는 환경 시스템 내의 인간의 행동과 물의 관계를 나타내는 모델이다. 이 모델은 인간 활동에 의한 사회 시스템이 자연 시스템과 분리될 수 없음을 강조하고 있다. 환경 시스템에는 자연 구성요소와 연결된 인간 활동의 공학 요소가 모두 포함된다. 환경 시스템 상자 안의 화살표는 연결된 자연 시스템과 그 시스템에 내재된 인간 활동의 공학 요소를 통해 표면, 토양, 지하수, 대기 및 생물 시스템에서 물이 이동하는 과정을 나타낸다. 또한, 환경 시스템은 인간 활동의 사회 및 경제 시스템과 불가분의 관계가 있는데, 각 시스템 상자 밖의 화살표는 시스템 간의 영향을 의미한다. 먼저 환경 시스템은 인간의 사회 및 경제 시스템에 인간 활동에

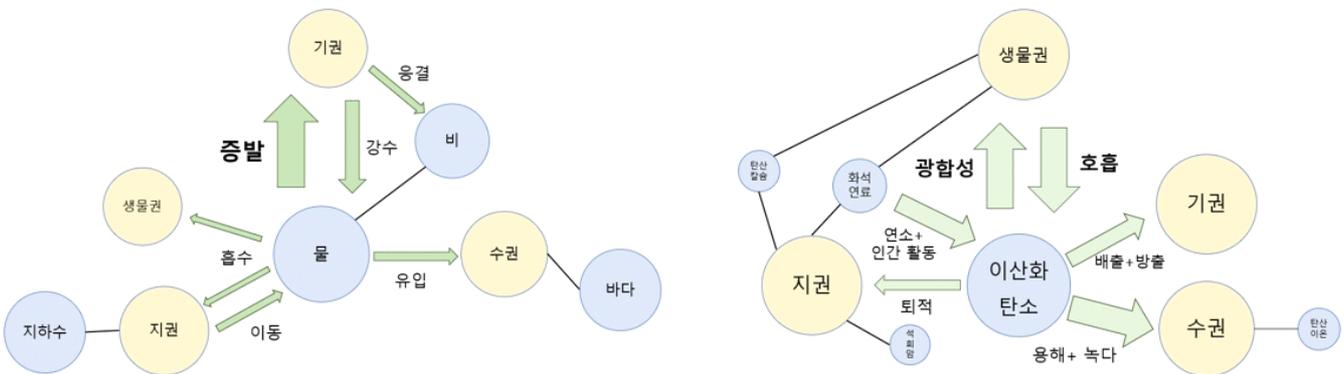


Figure 8. Systemic diagram for water cycle (left) and carbon cycle (right)

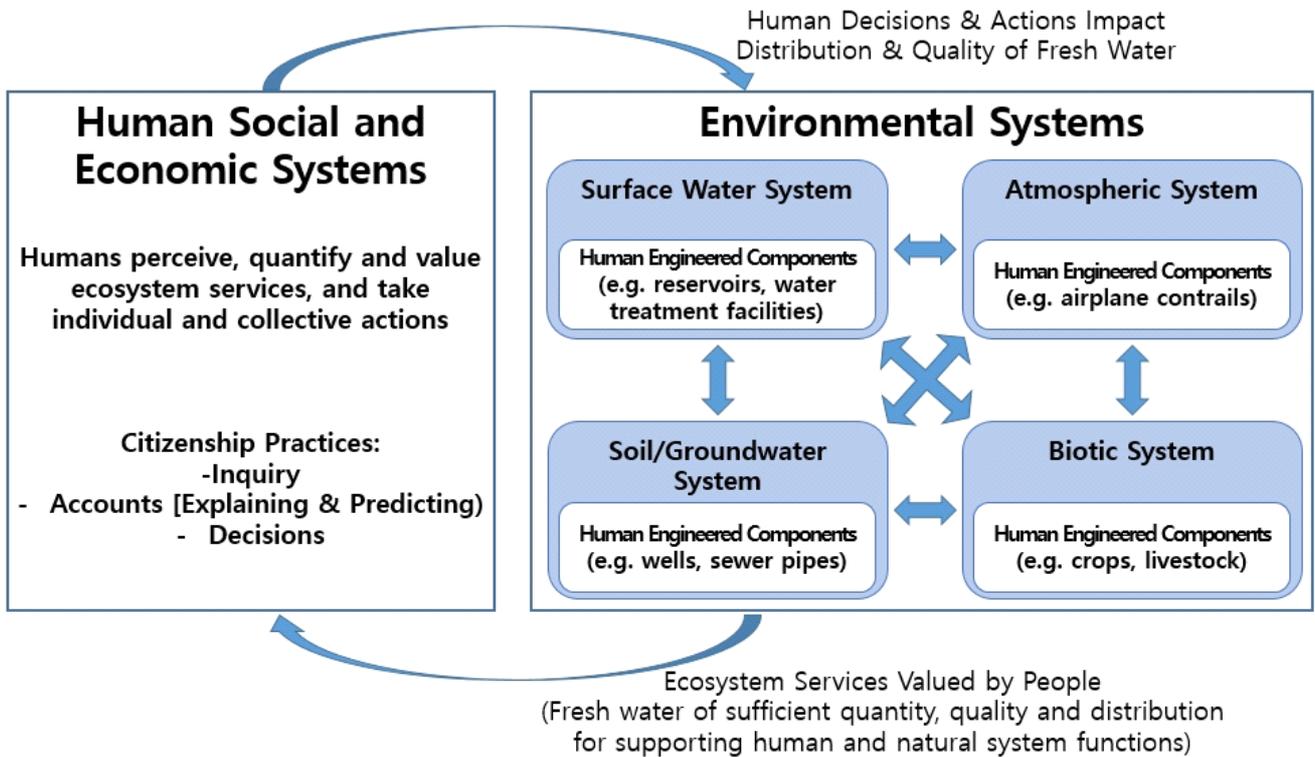


Figure 9. Model for water cycle in socio-ecological systems (From Gunckel *et al.*, 2012b)

유용한 가치가 있는 담수를 제공한다. 반면, 인간의 사회 및 경제 시스템은 인간의 결정과 활동으로 환경 시스템 내 담수의 분포와 질에 영향을 미치게 된다. 여기서 인간의 사회 및 경제 시스템이 담수 공급을 위해 구축할 수 있는 기술은 환경 시스템 내의 자연 법칙에 의해 통제된다. 이러한 물의 순환과 담수의 공급에 대하여, 인간의 사회 경제적 시스템과 환경 시스템의 연결된 특성을 사회-생태 시스템이라 한다 (Gunckel *et al.*, 2012a).

하지만, 학생들이 표현한 시스템 연관인 물의 흐름이나 이동에서는 사회-생태 시스템 내의 인간 활동의 영향이 거의 나타나지 않고 있다. 시스템 사고 수준 4의 사례에서 물의 순환과 관련된 지구계 시스템 요소인 수권에서의 바다와 기권에서의 구름 사이의 연관뿐만 아니라, 생물권을 포함한 모든 지구계 시스템에서의 연관이 나타나고 있다. 하지만, 사회-생태 시스템의 측면에서 살펴보면 인간 활동의 영향 없이 기존의 지구계에 해당하는 환경 시스템 내에서 자연 속의 물의 순환만 드러나고 있다. 초·중 교육과정에서 물의 이용에 대해서도 다루고는 있지만, 물의 이로운 점이나 물 부족 현상을 해결하는 방법에만 교육의 초점을 맞추고 있고 그 현상의 원인에 대하여 다루고 있지 않기 때문일 것이다. 즉, 학생들의 시스템 사고에서는 환경이나 생태 시스템이 나타나지만, 인간이 물의 순환에 미치는 영향 요소를 제외한 시스템 요소

와 연관만을 교육과정에 부합되게 나타내고 있다. 수준 4의 경우 학교 교육과정을 충실히 이행하여 학습한 학생의 경우 초등학교, 중학교, 고등학교 1학년까지의 학습을 통해 충분히 이해했을 것으로 판단된다. 그러나 오히려 지구 시스템만 고려한 교육과정이 인간 활동의 영향이 시스템 사고로 표상되지 않는 원인으로 생각된다.

실제 초등학교부터 고등학교의 과학과 교육과정 중 물의 순환은 자연적인 형태의 물의 순환만 언급하고 있고 물의 가치나 이용할 수 있는 물의 종류나 형태 정도만 언급하고 있다. 반면, 인간 활동에 의한 공학 요소를 통해 표면, 토양, 지하수, 대기 및 생물과 같은 시스템 요소 간의 시스템 연관인 물의 흐름이나 이동에서의 담수 생산이나 담수 공급량 조절 등의 사회-생태 시스템에 대해서는 전혀 언급이 없다. 환경 단원에서 환경 시스템에서의 인간 공학적인 측면을 학습하고는 있으나 과학과 교육과정 상 물의 순환 단원에서는 인간 공학적인 측면을 다루고 있지 않다. 그래서 학생들이 지구 시스템을 확장하여 인간의 영향이 포함된 사회-시스템에 연계하여 생각하는 것이 불가능할 것이다.

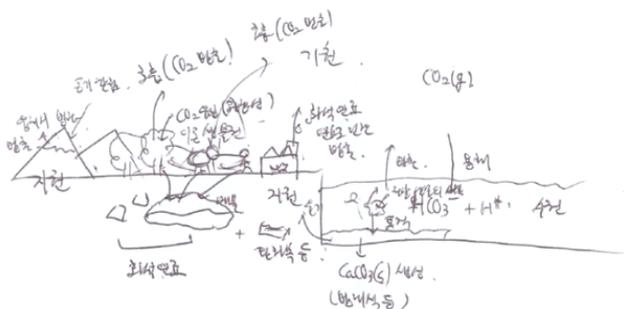
물의 순환에서는 시스템 연관에서 인간의 영향이 거의 등장하지 않는다. 반면, 탄소의 순환에서는 직접적으로 인간 활동에 관해 나타난 단어의 빈도는 34회이다. 이 경우에도 대부분 '이산화 탄소'와 연관이 있

는데, 인간 활동의 영향으로 대기 중으로 이산화 탄소를 방출하는 것이다. 연소(28회)나 방출(24)과 같은 추가적인 단어까지 포함하여 인간 활동으로 시스템 요소인 지구 하위계 간의 연관인 탄소의 이동이 발생하는 경우는 총 86회 등장한다. 이러한 결과는 학생들은 탄소가 지구 시스템 내에서 하위계에 어디든지 다양한 형태로 고르게 분포하고 있는 것으로 인지하는 것으로 해석할 수 있다. 또한, 생물을 중심으로 광합성이나 호흡 등으로 시스템 연관을 가장 많이 생각하고 있지만, 연소와 방출을 포함한 인간 활동에 의한 시스템 연관도 많이 등장하기에, 학생들이 물의 순환 보다 탄소의 순환에 대하여 인간 활동의 영향을 많이 고려하고 있는 것으로 해석된다. 특히, 사회-생태 시스템에서 볼 때는 생태 시스템 내에서 물리적 시스템으로 볼 수 있는 지구 시스템의 하위계인 생물계(주로 녹색 식물)와 기권 간의 탄소 순환뿐만 아니라, 인간의 사회-경제 시스템이 환경 시스템에 미치는 영향이 연소나 방출로 나타나고 있다. 또한, 학생들이 표출한 단어에서 환경 시스템이 인간의 사회-경제 시스템에 미치는 영향인 화석 연료(68회)가 나타나고 있다. 다만 환경 시스템이 인간의 사회-경제 시스템에 영향을 미치는 예시 중 하나인 식량에 대한 언급이 전혀 등장하지 않는다.

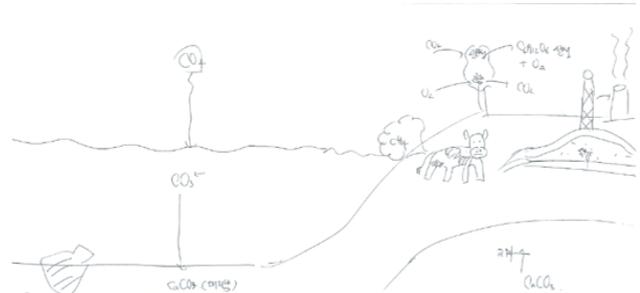
탄소 순환에 대한 시스템 사고 수준 4에서 시스템 요소들이 탄소의 이동이나 흐름으로 시스템 요소 간 관계 맺기를 통하여 시스템 요소 간의 연관들이 일반화되어 탄소 순환으로 나타나고 있다. 덧붙여, 사회 생태 시스템에서 화석 연료의 형성으로 환경 시스템이 인간의 사회-경제 시스템에 영향을 미치는 것이 드러났다. 즉, 공장이나 자동차 등에서 화석 연료를 연소시켜 기권으로 이산화 탄소를 방출하는 형태로 인간의 사회-경제 시스템이 환경 시스템에 미치는 영

향으로 인간 활동이 나타나고 있다(Figure 9). 기후 변화와 지구온난화 관점에서 교육과정에서 지구 시스템적인 접근을 통하여 탄소의 순환과 연계하여 학습할 필요가 있는 부분으로 판단된다. 비록 시스템 사고의 수준에 따른 분류에서는 수준 4로 분류되지는 못하지만, 수준 3에서도 인간 활동의 영향이 드러나는 경우가 있다(Figure 10). 시스템 사고를 고려했을 때, 탄소의 순환 고리를 전체적으로 표현하지는 못해 경향의 일반화를 하지 못했지만, 관계 찾기의 수준에서 화석 연료의 사용을 통한 기권으로의 탄소 순환을 표현하고 있다. 예를 들면, 대부분 사례에서는 공장에서의 연소를 통한 이산화 탄소의 배출을 나타내었고 일부의 경우 자동차의 배기가스 형태로 탄소의 배출하여 인간의 사회-경제 시스템이 생태 시스템에 미치는 영향이 표현되었다. 이로써 탄소 순환이 지구 시스템적으로 완전하게 표현되지 못하는 수준에서도 인간 활동의 영향이 나타나고 있다.

이처럼 학생들의 물질 순환에 대한 시스템 사고에서 나타났듯이, 물의 순환과 유사하게 탄소의 순환에 미치는 인간의 영향에 대해서는 사회-생태 시스템 내에서 나타낼 수 있다. Figure 11은 탄소 순환에 대해 이해하기 위한 과학적 지식을 나타내는 루프 다이어그램인 동시에 지상 생태계에서 탄소 순환에 관한 연구 영역을 개념적으로 구성한 방법을 나타낸다. 탄소의 순환에 대한 사회-생태 시스템의 핵심 요소는 물의 순환처럼 환경 시스템과 인간의 사회 및 경제 시스템과 이 두 시스템 사이의 연관을 상호작용으로 나타내는 인간의 영향과 환경 시스템이다. 따라서 인간 활동에 의한 영향을 반영한 물질 순환 교육을 위해서는 사회-생태 시스템을 고려한 방향으로 교육과정이 개선될 필요가 있다.



Level 4



Level 3

Figure 10. Example of students' drawing response including impacts of human activity on the carbon cycle

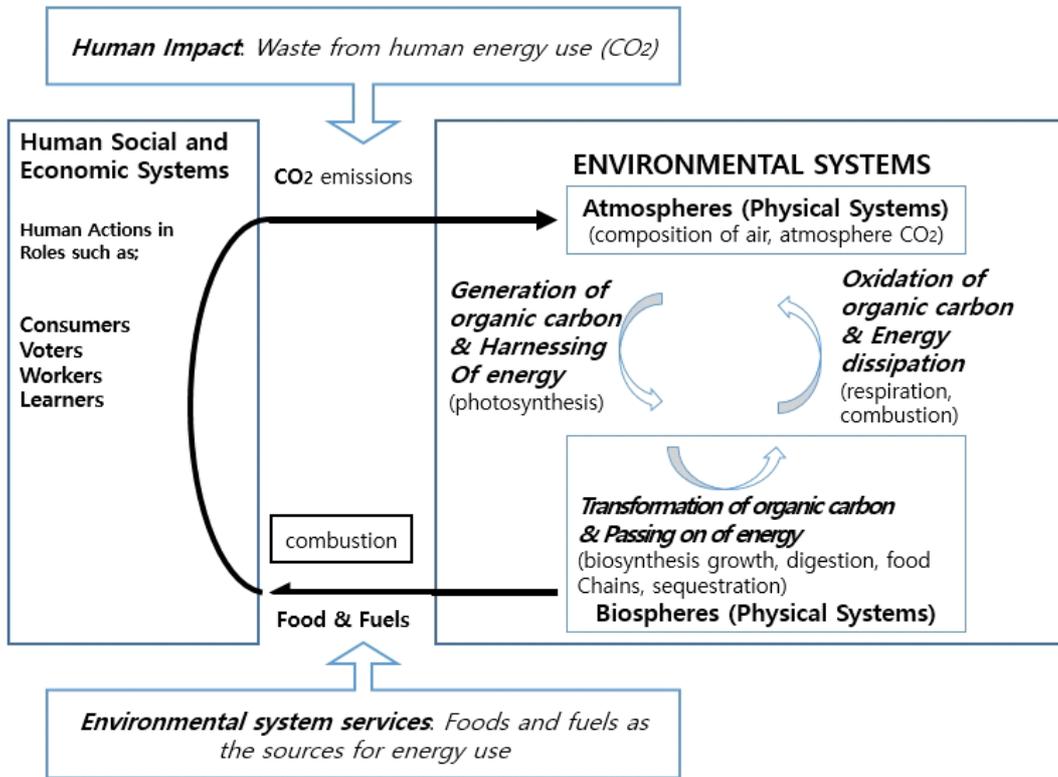


Figure 11. Loop diagram for carbon cycle in socio-ecological systems (From Mohan *et al.*, 2009)

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 지구 시스템 내 물질 순환에 대한 학생들의 이해를 시스템적 사고 수준과 특성으로 구분하여 살펴보고자 하였다. 또한, 학생들의 이해에서 인간의 활동이 지구 시스템 내 물질 순환에 미치는 영향이 반영될 수 있도록 하기 위한 교육과정의 개선 방향을 논의하고자 하였다. 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 물질의 순환에 대한 시스템 사고 수준은 물과 탄소의 순환 모두 수준 2가 가장 많이 나타났으며, 수준 3과 수준 4는 물의 순환보다 탄소의 순환에서 더 높은 비율로 나타났다. 이와 같은 결과는 대다수 중등학교 학생의 시스템 사고 수준이 물질의 순환에 대한 시스템 요소를 확인하거나 분류하는 낮은 수준에 머무르고 있음을 의미한다. 또한, 시스템 요소 간의 관계 맺기와 그 연관을 일반화할 수 있는 더 높은 수준으로 시스템 사고를 개발할 수 있는 지구 시스템 교육의 필요성을 시사한다고 볼 수 있다. 시스템 사고의 3수준과 4수준이 탄소의 순환에서 더 많이 나타나는 것은 물의 순환을 구체적으로 명시한 교육과정이 초등학교 3~4학년 군에 융합 단원으로 배정되어 있고 그 내용 수준이 기권과 수권 사이의 증발과 강수에

초점을 두고 있는 영향인 것으로 분석된다.

둘째, 학생들이 표현한 단어 분석에서 나타난 시스템 사고의 특성은 물의 순환에서는 물을 주요 시스템 요소로 인지한 상태로 기권과 다른 시스템 요소 간에 주로 증발로 연관을 나타내고 있었다. 탄소의 순환에서는 이산화 탄소를 주요 시스템 요소로 간주하여 생물권과의 연관으로 광합성과 호흡을 표상하고 있었다. 물과 탄소의 순환 모두에서 지구계의 하위계는 시스템 요소로 유사한 빈도로 표상되었지만, 인간 활동의 경우는 물의 순환에서는 거의 나타나지 않고, 탄소 순환에서만 화석 연료와 이산화 탄소의 연관으로 나타나고 있었다. 이와 같은 결과는 물질의 분포 위치와 형태로 시스템 요소를 나타내고 있으며, 물질의 이동과 흐름으로 시스템 요소 간의 관계 맺기인 연관을 표상하고 있음을 의미한다. 또한, 물의 순환에서 인간의 활동에 의한 영향이 더 명시적으로 포함될 필요가 있음을 시사한다.

셋째, 지구 시스템 내 물질의 순환에서 인간 활동의 영향을 고려한 교육을 위해서 기존의 지구 시스템에서 확장하여 사회-생태 시스템을 고려한 교육과정의 개선을 논의하였다. 이 연구를 통해, 학생들은 물의 순환을 자연 현상으로만 인식할 뿐 인간 활동의 영향은 거의 고려하지 않으며, 탄소 순환에서는 지구 시스템

국문 요약

템 내에서 인간 활동이 미치는 영향을 부분적으로 인지하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 실마리로서 사회-생태 시스템을 고려한 방향으로의 교육과정의 개선 필요성을 주장하였다. 생물권의 하나의 요소에 불과한 인간의 활동으로 지구 온난화, 해수면 상승 등 전 지구적 위험들이 나타나고 있지만, 교육과정에서는 이러한 내용에 대한 반응이 미흡한 실정이다. 특히, 지구 시스템 교육 중 물질의 순환인 물의 순환과 탄소의 순환에는 교과서에 있는 그림에서조차 인간의 활동에 의한 영향이 많이 결여되어 있다. 교과서는 학생들의 인식에 직접적인 영향을 미치게 되므로 현행 교육과정에 사회-생태 시스템의 관점을 반영할 필요가 있다는 것이다.

위와 같은 결론을 바탕으로 물의 순환과 탄소의 순환에 대한 교육과정 개선과 후속 연구를 위한 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 인간의 활동이 순환에 미치는 영향까지 고려한 사회-생태 시스템 내의 물의 순환에 대한 학습 단원을 차세대 교육과정에서 중학교급 이상으로 이동 및 재구성할 필요가 있다. 개정 교육과정에서도 융합과학의 단원을 유지한다면, 2015 개정 교육과정에서 물의 순환 단원이 초등학교 3~4학년 군에 위치한 부분을 중학교 교육과정으로 이동하고 인간 활동의 영향을 추가하여 다룰 필요가 있다. 즉 기존의 지구계만 고려한 시스템을 사회-생태 시스템으로 확장이 필요하다. 또 다른 방법으로는 현재의 초등학교에서 물의 순환은 현상학적 관점을 기반으로 물의 여행 측면에서 순환 자체에 성취기준의 초점을 두고, 중학교 이상 학교 군에서 물의 순환에 영향을 미치는 인간의 활동과 이에 따른 이상 기후 현상을 덧붙여 물의 순환 학습을 강화할 필요가 있다.

둘째, 인간 활동에 의한 영향을 포함하는 관점에서 학생들의 지구 시스템 내 물질 순환에 대한 학생들의 이해 특성을 조사할 필요가 있다. 이러한 관점에서 최근 수행된 Son & Jeong (2019)의 연구는 주목할 만하다. 이 연구에서는 시스템 사고력 평가를 위한 활동지와 루브릭 개발 연구를 통해 인간 활동으로 변화될 모습을 개념도로 작성하고 이를 서술하는 방식으로 인간 활동이 우리에게 미치는 영향에 대해 생각하도록 하였다. 이를 통해 루브릭을 환경, 경제, 정치 등 3가지 측면 이상으로 사고를 확장하고 있는지에 대한 평가가 이루어지도록 하였다. 이 연구의 결과를 확장하여 이러한 방향으로 후속 연구가 이루어진다면 교육과정 개선을 위한 경험적 근거로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

이 연구의 목적은 인간 활동의 영향을 고려하여 지구 시스템 내에서 물질 순환에 대한 중·고등학생들의 시스템 사고의 수준과 특성을 분석하는 것이다. 이를 위해 2015 개정 교육과정 분석을 통해 평가 문항을 개발하였으며, 시스템 사고를 적용하여 평가 루브릭을 개발하였다. 한국 지구과학 올림피아드에 참여한 중·고등학생을 연구 대상으로 하였다. 평가 문항을 이용하여 수집된 학생 응답을 평가 루브릭을 이용하여 시스템 사고 수준을 결정하였으며, 단어 분석을 이용하여 시스템 사고의 특성을 파악하였다. 이를 토대로 인간 활동의 영향을 고려한 교육과정 개선을 논의하였다. 연구 결과는 다음과 같다: 첫째, 대다수 중등학교 학생의 시스템 사고 수준이 물질의 순환에 대한 시스템 요소를 확인하거나 분류하는 낮은 수준이었으며, 시스템 연관이나 경향의 일반화와 같은 높은 수준은 상대적으로 비율인 것으로 나타났다. 물의 순환보다 탄소의 순환에서 학생들의 시스템 사고 수준이 높은 것으로 나타났다. 둘째, 물질 순환에 대한 시스템 사고의 특성은 물의 순환에서는 물을 주요 시스템 요소로 인지한 상태로 기원과 다른 시스템 요소 간에 주로 증발로 연관을 나타내고 있었다. 탄소의 순환에서는 이산화 탄소를 주요 시스템 요소로 간주하여 생물권과의 연관으로 광합성과 호흡을 표상하고 있었다. 셋째, 지구 시스템 내 물질의 순환에서 인간 활동의 영향을 고려한 교육을 위해서 기존의 지구 시스템에서 확장하여 사회-생태 시스템을 고려한 교육과정의 개선을 제언하였다.

주제어: 시스템 사고, 물의 순환, 탄소 순환, 인간의 활동, 지구 시스템

References

- Alerby, E. (2000). A way of visualising children's and young people's thoughts about environment: A study of drawings. *Environmental Education Research*, 6(3), 205-222.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of Earth System education. *Journal of Research in Science Teaching*,

- 42(5), 518-560.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010a). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Ben-Zvi Assaraf, O., & Orion, N. (2010b). Four case studies, six years later: developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1253-1280.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Gunckel, K. L., Covitt, B. A., Salinas, I., & Anderson, C. W. (2012a). A learning progression for water in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 843-868.
- Gunckel, K. L., Mohan, L., Covitt, B. A., & Anderson, C. W. (2012b). Addressing challenges in developing learning progressions for environmental science literacy. In A. Alonzo & A. W. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science*. Boston, MA: Sense Publishers.
- Kim, B., & Maeng, S. (2020). Characteristics of Elementary Students' System Thinking in Learning of Water Cycle. *Elementary Science Education*, 39(3), 412-432. (in Korean)
- Jeong, K. S., & Jeong, J. W. (2007). Alternative Conceptions of High School Students about the Crust and Interior of the Earth. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(3), 266-276. (in Korean)
- Johnson, J. K., & Reynolds, S. J. (2005). Concept sketches-Using student- and instructor-generated, annotated sketches for learning, teaching, and assessment in geology courses. *Journal of Geoscience Education*, 53(1), 85-95.
- Lee, D. E., Jeong, J. W., & Kim, Y. J. (2008). Understanding the water cycle process and composition elements of high school students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 28(1), 24-31. (in Korean)
- Lee, D. Y., Oh, E. S., Kim, H. B., & Jeong, J. W. (2013). Analysis of carbon cycling concepts based on earth systems perspective of high school Students. *Journal of Science Education*, 37(1), 157-169. (in Korean)
- Lee, H., Cho, H. J., & Lee, H. N. (2007). An analysis of undergraduate students' mental models on the mechanism of the moon craters formation. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(6), 653-670. (in Korean)
- Lee, H., Fortner, R. W., & Mayer, V. J. (2004). Earth systems education: An integrated science curriculum construct for Korea. *The Secondary Education Research*, 52, 397-426.
- Lee, J., Han S., & Park, T. (2017). Conception of carbon cycling in high school students according to the difference of spatial perception ability. *Journal of Korean Society of Earth Science Education*, 10(3), 308-322. (in Korean)
- Libarkin, J. C. (2006). College student conceptions of geological phenomena and their importance in classroom instruction. *Planet*, 17(1), 6-9.
- Libarkin, J. C., Anderson, S. W., Dahl, J., Belifuss, M., & Boone, W. (2005). Qualitative analysis of college students' ideas about the earth: Interviews and open-ended questionnaires. *Journal of Geoscience Education*, 53(1), 17-26.
- Ministry of Education [MOE]. (2015). *2015 revised science curriculum*. Ministry of Education 2015-74 (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: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 675-698.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*.

The National Academies Press, Washington, DC, USA. 533 p.

저 자 정 보

- Oh, H. S., & Kim, C. J. (2010). An analysis of earth system understandings (ESU) of 8th-grade students' imagery about 'the Earth' represented by words and drawings. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31(1), 71-87. (in Korean)
- Oh, H. S., Kim, J. H., Yu, E. J., & Kim, C. J. (2009). An analysis of students' cognitive characteristics through a drawing activity in teaching module of the earth systems education. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30(1), 96-110. (in Korean)
- Oh, H., Lee, K., Park, YS., Maeng, S. & Lee, JA. (2015). An analysis of systems thinking revealed in middle school astronomy classes: The case of science teachers' teaching practices for the unit of stars and universe. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 36(6), 591-608. (in Korean)
- Orion, N., & Basis, T. (2008). Characterization of high school students' system thinking skills in the context of earth systems. Presented in the 2008 NARST Annual Meeting, March, 2008. Baltimore, U.S.A.
- Seong, Y., Maeng, S., & Jang, S. (2013). A learning progression for water cycle from fourth to sixth graders with ordered multiple-choice items. *Journal of the Korean Elementary Science Education Society*, 32(2), 139-158. (in Korean)
- Shepardson, D.P. (2005). Students ideas: What is an environment? *The Journal of Environmental Education*, 36(4), 49-58.
- Son, M. H., & Jeong, D. H (2019). Development worksheet and rubric for system thinking assesment -Focused on the earth system unit in 'Integrated Science'. *School Science Journal*, 13(1), 78-94. (in Korean)

- 오 현 석 (춘천교육대학교 조교수)
- 이 기 영 (강원대학교 교수)
- 김 권 중 (강원대학교 대학원생)