

물의 순환 학습 상황에서 초등학생의 시스템 사고의 특징

김보민 · 맹승호[†]

Characteristics of Elementary Students' System Thinking in Learning of Water Cycle

Kim, Bo-Min · Maeng, Seungho[†]

ABSTRACT

The purpose of this study is to explore the characteristics and the level of fourth grade elementary students' system thinking when they learn the unit of "Journey of Water" in terms of four key elements of system thinking such as understanding of the structure of a system, non-linearity and cyclic features, inter-relations and feedback between system properties, and temporal and invisible aspects of a system. Data included students' worksheets and their responses to a set of Likert-scaled and written assessment items on water cycle. The results showed that the level of students' system thinking did not have any hierarchy in relation to the key elements of water cycle system. In addition, the aspects of individual student's system thinking on its sub-elements were different from each other. Also, there were core ideas of system thinking which were intensively considered according to a given context to understand a complex systemic subject. When students learn water cycle, understanding of non-linearity and inter-relations were weaker compared with other key elements of system thinking. Therefore, if these two factors are taught in advance, it can promote understanding of whole system of water cycle.

Key words: system thinking, children's understanding, earth system, water cycle, elementary science learning

I. 서 론

1. 연구의 필요성

시스템 사고는 "시스템을 구성하는 요소들의 작동이나 기능이 서로 영향을 주어 시스템의 전체적인 작동을 이루어내는 과정을 이해하는 능력이며, 시스템 내 구성 요소들 간의 상호작용을 분석하고 평가하며, 그 과정에 대한 추론 능력을 포함한다."(NRC, 2010, p. 3). 과학에서 다루는 자연현상 중 기후 변화나 생태계 파괴, 기상 이변, 에너지 문제 등과 같이 전 지구적 현상에 대한 집단 간 또는 국가 간 합리적 의사결정을 위해서는 각 현상들 간의 연관성에 주목하여 전체와 부분을 종합하고 문제를 통합적으로 인식하는 시스템적 접근이 중요하다(오현석과 성은모, 2013).

국내의 주요 과학교육 문서들에서도 자연에 대한 시스템적 이해 및 시스템 사고를 과학적 사고의 한 부분으로 중요하게 강조하고 있다. 한국과학창의재단(2019)이 발표한 미래세대 과학교육표준에서 과학적 소양을 갖추고 더불어 살아가는 창의적인 사람이 갖추어야 할 지식의 중요 요소로서 시스템과 상호작용을 포함하고 있으며, 미국의 Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013)에서도 기초 공통 개념(cross-cutting concepts) 중 하나로써 시스템과 시스템 모델을 담고 있다.

2015 교육과정의 초등학교 과학 중 생명과학과 지구과학 분야의 단원들은 시스템 사고를 명시적으로 언급하지는 않았지만, 그 내용에서 시스템 사고와 관련된 요소들을 찾을 수 있다. 예를 들면, 동물 및 식물의 생활 단원은 생물의 생김새와 생활방

이 논문은 김보민의 2020년도 석사학위논문에서 발췌 정리하였음.

2020.8.1(접수), 2020.8.11(1심통과), 2020.8.21(2심통과), 2020.8.21(최종통과)

E-mail: smaeng@cloud.snue.ac.kr(맹승호)

식이 자연환경과 관련됨을 학습할 때 시스템 사고가 필요하며, 식물 및 우리 몸의 구조와 기능 단위는 생명체의 각 기관이 유기적으로 연계되어 통합적으로 기능하는 양상을 이해하는데 시스템 사고가 필요하다. 그밖에 생물과 환경 단원에서 생물 및 비생물적 환경 요인을 포함하는 생태계에 대한 이해와 생태계 내에서 생물과 환경의 관련성을 학습할 때 시스템 사고가 필요하다. 한편, 지구 시스템의 관점에서 육지(지권)와 바다(수권)의 모습 및 공기(기권)의 특징과 역할을 다루는 지구의 모습 단원, 오랜 시간에 걸쳐 지표가 변화된 모습과 그 원인 간의 관계를 다루는 지표의 변화 단원, 지구 내부의 활동에 의해 일어나는 화산과 지진이 인간의 생활에 미치는 영향을 다루는 화산과 지진 단원, 태양과 행성들 간의 크기 및 거리 규모에 따른 구조적 관계를 다루는 태양계와 별 단원, 날씨에 영향을 주는 각 요소들과 날씨 현상의 복합적 이해를 다루는 날씨와 우리생활 단원, 태양의 고도, 낮의 길이, 지구 자전축의 경사 등 여러 요인이 복합적으로 적용되어 파악하게 되는 계절의 변화 단원 등에서도 시스템 사고가 필요하다. 이와 함께 2015 과학 교육과정에서 통합 단원 중 하나로 초등학교 3~4 학년군에 포함된 ‘물의 여행’ 단원은 물이 그 상태를 변화하면서 순환하는 과정을 생명 현상, 기상 현상과 관련 지어 통합적으로 이해(교육부, 2018) 하는데 역시 시스템 사고가 필요하다.

초등학교 과학 수업에 시스템 사고를 활용하는 것이 적절한가에 대한 비판적 의견이 제기될 수도 있다. 언어 능력이 제한되거나 추상적 사고 기술이 부족한 경우, 시스템 사고를 자연 현상에 적용하여 이해하거나 활용하기 어려울 수 있기(Ben-Zvi Assarf & Orion, 2010) 때문이다. 그러나 Sheehy *et al.* (2000)의 연구는 8세~11세 학생 100명을 대상으로 시스템 사고 활용 능력을 조사한 결과, 많은 학생이 환경 문제를 해결하기 위해 전체 시스템을 통찰하는 시스템 사고의 모습을 보였다. 이것은 적절한 전략과 도구, 그리고 적합한 맥락이 제공된다면 학생들의 시스템 사고가 발전할 수 있음을 보여준다.

그동안 국내 과학교육계에서 시스템 사고 연구는 학교 과학 수업에서 배우는 내용과 연계하여 시스템 사고를 다루기보다는 시스템 사고와 학습 내용이 서로 분리되어 제시되는 경우가 많았다(문병찬과 송진여, 2012; 송진여 등, 2015). 또한, 중고등

학생 또는 예비교사를 대상으로 시스템 사고 특성과 수준을 알아보고, 프로그램 적용 효과에 관한 연구(문병찬 등, 2004, 이현동, 2014; 정진우와 김윤지, 2008)는 많이 보고되었으나, 초등학생을 대상으로는 단기적 프로그램을 통해 시스템 사고의 효과를 알아보거나 시스템 사고의 일부분만을 다루는 연구(안현복, 2009)가 주로 제시되었다.

이에 본 연구에서는 2015 교육과정에 제시된 통합 단원으로서 물의 순환 주제에 대하여 시스템 사고를 반영한 ‘물의 여행’ 단원을 학습할 때 초등학생이 보이는 시스템 사고의 양상과 그 특징을 조사하여 학생들의 시스템 사고 수준을 구분하고자 하였다.

2. 시스템 사고

과학교육 분야에 적용된 시스템 사고는 연구자에 따라 그 의미와 하위 범주들이 다양하게 제시되었다. Kali *et al.* (2003)은 각 부분들이 상호 작용하는 전체적인 구조로서 시스템을 정의하였으며, 인과 관계를 바탕으로 부분과 부분 사이의 연관성을 통찰하는 사고로서 시스템 사고를 정의하였다. 이들의 시스템 사고는 역동성, 순환성, 피드백 과정, 시스템 간 상호 작용을 포함하였다. Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005)은 시스템 사고에 포함되는 하위 요소를 사고 능력의 관점에서 “시스템의 구성 요소를 구별하고, 그 현상의 과정을 파악하는 능력(A), 시스템의 구성 요소들 간의 관계를 파악하는 능력(B), 시스템 내의 역동적 관계를 파악하는 능력(C), 요소들 간의 관계의 측면에서 시스템의 구성 요소와 그 과정을 조직하는 능력(D), 시스템의 순환성을 파악하는 능력(E), 시스템의 보이지 않는 내적 특성을 인지하는 능력(F), 시스템의 메커니즘을 일반화하는 능력(G), 과거역사적 추론과 예상을 포함한 시간적 사고 능력(H)”(p. 523)을 구분하였다. Sibley *et al.* (2007)은 물 순환 과정과 저장을 표현하기 위한 박스 모형도를 적용하면서 Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005)의 시스템 사고 정의를 요약하여 “시스템 안에서 물질을 구분하고 물질의 위치, 물질의 이동 및 변화의 과정을 파악하기, 시스템의 서로 다른 하위 틀에서 물질 및 관련된 현상의 과정을 구조적으로 인식하기, 시스템의 순환적인 특성 이해하기, 시스템의 보이지 않거나 명료하지 않은 부분을 인식하기“(p. 138)로 제시하였다.

이후 Ben-Zvi Assaraf and Orion (2010)은 앞서 8가지 사고 능력을 ‘분석하기(사고 능력 A) - 종합하기(사고 능력 B~E) - 실행하기(사고 능력 F~H)’의 순서로 순차적으로 발달하는 위계적 관계(systems thinking hierarchy)의 측면에서 재구성하였다. 이와 달리 시스템 사고를 위계적이거나 계층적인 수준으로 나누지 않고 연속적인 과정으로 보는 시각도 있다. 예를 들면, Stave and Hopper (2007)는 ‘하위 요소 사이의 상호작용 인식 → 피드백 과정의 구분 → 역동적인 부분의 이해 → 흐름과 다양성의 구분 → 개념적인 모델의 활용 → 시뮬레이션 모델의 개발 → 시뮬레이션 검증을 활용한 정책의 실현’으로 이어지는 시스템 사고의 연속적인 과정(systems thinking continuum)을 제안하였다.

3. 물의 순환

2015 과학과 교육과정에서 통합 단원 중 하나로 초등학교 3~4 학년군에 포함된 ‘물의 여행’ 단원은 물이 그 상태를 변화하면서 순환하는 과정을 생명 현상, 기상 현상과 관련 지어 통합적으로 이해할 수 있게 하는 것을 목표로 한다(교육부, 2018). 물의 순환을 이해하려면 거대한 시스템으로서 지구를 인식하고, 지구 시스템의 구성 요소로서 수권, 기권, 암권, 생물권에서 물이 이동하는 과정과 각 권 사이의 상호작용 및 인간의 작용과 피드백을 인지하여 시스템의 역동성과 순환성을 파악하는 것이 필요하다(정진우와 김윤지, 2008; Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005; Covitt *et al.*, 2009). 또한, 물의 순환을 시스템과 상호작용의 측면에서 학습하기 위해서는 시스템 사고가 수반되어야 하며, 시스템 구성 요소와 필요성, 구성 요소 간의 상호작용으로 시스템이 어떻게 유지되며, 물의 순환의 결과로 나타나는 현상을 설명할 수 있어야 한다(김윤지와 정진우, 2009; 성연선, 2013).

물의 순환에 대한 학습을 주제로 한 Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005)의 연구는 이스라엘의 고등학생들이 물의 순환을 공기 또는 구름과 바다 사이의 순환으로 단순하게 인식하며, 물의 순환과 관련된 시스템 내의 역동적 관계를 파악하지는 못하는 경우가 많음을 제시한 바 있다. 한국의 고등학생들에게 물 순환 과정과 구성 요소에 대한 이해를 조사한 연구(이동은 등, 2008)도 기권과 수권에서 물의 순환 과정에 대한 인식은 높지만, 암권과 생물

권에서의 영향에 대한 인식이 부족하며, 단선적 사고로 물의 순환을 이해하여 시스템적 인식이 부족함을 보여주었다. 초등 예비교사를 대상으로 물의 순환에 대한 인식을 조사했던 정진우와 김윤지(2008)의 연구는 교육대학생들도 물의 순환을 기권과 수권의 주된 작용으로 인식하며, 지권의 과정이나 생물권의 과정은 인식하지 못함을 보여주었다. 물의 순환 체계를 정확히 이해하려면 물 순환과 관련된 지구 시스템의 구성 요소들 간의 관계에 대한 인식이 선행되어야 한다(Kali *et al.*, 2003). 그러나 초등학교 과학 교육과정에서는 지구 시스템을 구성하는 하위 권역에서 발생하는 현상들이 부분적으로 다루질 뿐이며, 지구 시스템의 관점에서 그리고 시스템 사고의 관점에서 각 현상들을 접근하지는 못하고 있다(문병찬, 2014).

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

본 연구에 서울 소재 K 초등학교 4학년 1개 학급에서 참여 의사를 밝힌 학생 24명(남 10명, 여 14명)이 참여하였다. 연구자는 이 학생들의 학급담임 교사로서 이 학생들을 두 학기 동안 계속 지도해 왔다. 물의 여행 단원은 4학년의 가장 마지막 단원이어서 수업을 진행하기 전에 교사와 학생들 간에 이미 친밀한 관계가 형성되어 있었다. 학생들의 과학 학업 성취 수준은 보통 수준이며, 특별한 학습 부진 학생은 없었다. 또한, 학생들은 과학 수업에서 소집단 실험 위주의 학습 경험이 많으며, 탐구 결과에 대해 활발하게 의견을 교류하며 참여하는 편이다.

2. 시스템 사고의 핵심 요소 선정

시스템 사고를 반영하여 물의 여행 단원의 수업을 구성하고, 수업 중 학생들이 작성한 활동지와 검사 문항의 응답 결과를 시스템 사고의 측면에서 구분하고 분석하기 위한 준거 틀로서 Table 1과 같은 시스템 사고의 핵심 요소를 선정하였다. 시스템 사고의 핵심 요소 선정은 이효령 등(2018)의 연구에서 소개된 시스템 사고 수준 측정에 필요한 문항 개발 기준틀 및 시스템 사고 측정을 위한 열린 응답 검사 평가 루브릭에 포함된 요소들을 고려하고, Ben-Zvi Assaraf & Orion (2005, 2010)이 제시한 시

Table 1. Key elements of system thinking (Modified from Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2005/2010 and Lee et al., 2018)

핵심 요소	목표	평가 항목
시스템의 구조	시스템 및 시스템을 구성하는 하위 요소를 구분할 수 있다. 시스템의 하위 요소들 간의 연결 관계를 설명할 수 있다.	· 시스템의 하위 요소 확인 · 하위 요소의 연결
비선형성과 순환성	시스템을 구성하는 하위 요소 간의 연결 관계를 피드백 고리와 방향성 및 순환성을 고려하여 설명할 수 있다.	· 하위 요소들 간 피드백 고리 인식 · 시스템 내 순환적 본성 이해
상호 관련성 및 피드백	하위 요소 사이의 상호 관련성과 피드백을 표현할 수 있다. 시스템 내 다양한 피드백을 활용하여 역동적 과정을 설명할 수 있다.	· 하위 요소들의 상호 관련성 · 피드백을 활용한 시스템의 역동성 인식
시간적 사고 및 비가시적 양상	시스템의 역동적 과정에서 시간에 따른 변화와 그 결과를 표현할 수 있다. 시스템 내 비가시적 양상을 파악하고 그 결과를 예측할 수 있다.	· 시간에 따른 변화 인식 · 시스템 내 비가시적 양상 이해

시스템 사고의 구성 요소 및 각 요소들 간의 위계적 관계를 참고하였다.

3. 자료 수집

이 연구에서 물의 여행 단원을 학습하는 상황에서 학생들의 시스템 사고의 양상과 수준을 조사하기 위한 자료는 수업 중 학생들이 작성한 활동지와 물의 순환에 대한 인식 조사 검사지를 통해 수집되었다. 활동지와 검사지는 Appendix 1~4에 제시하였다.

1) 물의 여행 단원의 수업 구성

물의 순환을 학습할 때 초등학생의 시스템 사고 양상을 알아보기 위해 ‘물의 여행’ 단원의 내용을 시스템 사고의 측면에서 재구성한 수업을 기획하였다. 수업을 구성할 때 Table 1에 제시했던 시스템 사고의 네 가지 핵심 요소가 반영될 수 있게 하였다. 수업 계획 및 수업 자료들은 과학교육 전문가 1인과 현직 교사 5명의 검토 과정을 거쳐 수정하고 보완하였다. 이 단원은 모두 10차시 수업으로 구성되었는데, 그 중 연구와 관련된 내용은 아래 Table

Table 2. The lesson periods structure of *the journey of water* with system thinking

차시	목표 및 학습 개념	학습 활동	활동과 관련된 시스템 사고
1~2	· 물 순환 체험 사례 도입 · 물 순환의 경로 알기 · 물의 순환	· 물을 주지 않아도 되는 실내정원(테라리움) 만들기(교과서 활동) · 실내정원의 물의 양 변화 예측 · 뚜껑이 닫힌 실내정원과 뚜껑이 열린 실내정원에서 물의 이동 경로 설명하기 · 활동지 1	· 시간에 따른 변화 · 시스템의 비선형성
3~4	· 물 순환의 경로에서 상태 변화 이해하기 · 물의 순환 · 물의 상태변화	· 과학 동화(아기 물방울의 여행)를 읽고 스토리맵 작성하기(교과서 활동) · 스토리맵을 물의 순환 흐름도로 표현하기 · 물이 이동하는 동안 물의 상태(고체, 액체, 기체) 표시하기	· 시스템의 하위 요소 및 연결 관계 인식 · 피드백 고리와 상호 관련성 인식
5	· 물 순환의 일반화 형태 이해 · 물의 순환	· 물의 순환 단어 지도 그리기 · 물 순환 모형실험(교과서 활동) · 활동지 2	· 하위 요소 간의 연결 관계 및 피드백 고리(비선형성) · 시스템의 순환성
6	· 물 순환을 몸으로 표현하기 · 물의 순환	· 물 순환의 흐름에 맞추어 슬래잡기 놀이	· 시스템의 순환성
7	· 물 순환과 지구 시스템의 이해 · 물의 순환 · 지구 시스템	· 지구에서 물이 존재하는 모습 이야기하기 · 물 순환이 육지, 바다, 공기, 생물 미치는 영향 설명하기 · 활동지 3	· 시스템의 하위 요소 확인 · 하위 요소 간 상호 관련성

2에 제시한 7개 차시의 수업이다. 나머지 8~10차시 수업은 물 부족 현상과 관련된 것이어서 이 연구에서 제외하였다.

2) 수업 중 활동지

수업 중 활동지는 2차시, 5차시, 7차시에 각각 학생들에게 나눠주어 작성하게 하였다. 활동지 1은 물을 주지 않는 실내정원의 뚜껑을 닫았을 때와 열었을 때를 비교하여 물이 어떻게 이동하는지를 나타내는 단어 지도를 그리게 하였다. 이를 통해 시스템의 비선형성과 시간에 따른 물의 양을 예측해 보도록 하여 시간적 사고와 관련된 시스템 사고 양상을 관찰하였다. 활동지 2는 물의 순환에 대한 과학 동화를 읽고 자신이 생각하는 물 순환 과정을 단어와 단어로 연결하고, 단어의 연결 관계를 물 순환의 일반적인 특징인 물의 상태 변화, 물의 양, 물의 위치에 따라 서술하는 단어 지도로 나타내게 하였다. 단어 지도를 통하여 시스템 사고에서 시스템을 구성하는 하위 요소를 파악하고 각 요소들 간의 연결 관계 및 하위 시스템의 구성 요소들의 피드백 고리 및 상호 관련성에 대한 인식을 알아보았다. 활동지 3은 육지, 바다, 공기, 생물에서 물이 어떻게 존재하는지를 표현하는 단어를 나열하게 하여 학생들이 물 순환과 관련된 다양한 구성 요소를 얼마나 많이 생각해볼 수 있는지를 알아보게 하였다. 그리고 물이 순환하는 동안 육지, 바다, 공기, 생물에 어떤 영향을 주는지를 쓰게 하여 물의 순환 과정에서 일어나는 하위 요소 사이의 상호작용을 파악하고자 하였다. 학생들이 작성한 활동지의 예시를 Appendix 1~3에 제시하였다.

3) 물의 순환에 대한 인식 검사지

본 연구에 사용한 검사지는 물의 순환에 대한 이해를 조사했던 Ben-Zvi Assarf & Orion (2005)의 연구에서 사용했던 검사지와 Schaffer (2013)에서 사용했던 검사지의 문항 중에서 시스템 사고와 관련된 문항들을 선별하여 초등학생 4학년의 수준에 맞게 수정 보완한 8개 문항으로 구성하였으며, 물의 여행 단원 수업을 모두 마친 후에 시행하였다. 문항 형태는 선행 연구의 문항을 조금 수정하여 4단계의 리커트 척도 선택 및 선택의 이유를 함께 서술하는 방식으로 하였다(검사지는 Appendix 4를 참고).

4. 자료 분석

학생들이 작성한 활동지와 검사 문항의 응답 결과를 시스템 사고의 측면에서 구분하고 분석하기 위해 앞서 Table 1에 제시했던 시스템 사고의 핵심 요소 및 평가 항목을 준거 틀로 삼아 자료를 분석하였다. 아래에 각 핵심 요소별로 자료를 분석한 방법을 서술한다.

1) 시스템의 구조

시스템 사고의 핵심 요소로서 시스템의 구조는 시스템의 하위 요소를 구분하는 것과 각 하위 요소들 간의 연결 관계를 파악하는 것이다. 물 순환과 관련된 시스템의 하위 요소 확인은 학생들이 활동지 3에서 육지, 바다, 공기 중, 생명체에서 물이 어떤 모습으로 존재하는지 적은 내용을 보고, 그 단어들이 지구 시스템의 구성 요소 중 '수권, 기권, 지권, 생물권, 인간 활동' 중 어디에 포함되는지를 조사하여 각 하위 요소를 인지하는 정도를 파악하였다. 시스템의 하위 요소의 연결은 학생들이 활동지 2의 물 순환에 대한 단어 지도를 나타낸 그림에서 지구 시스템의 하위 요소들을 서로 연결하는데 어떤 표현을 사용했는지, 그리고 그 표현에 적용된 개념이 올바른지 여부를 기준으로 판단하였다. 학생들이 시스템의 구성 요소를 인지한 사례 수와 물이 이동할 때 각 하위 요소들 간에 형성된 관계를 올바르게 인식한 사례 수에 따라 시스템의 구조에 대한 시스템 사고 수준을 구분하였다.

2) 비선형성과 순환성

시스템 사고는 현상에 영향을 주는 요소들이 단선적 또는 순차적으로 나열되기보다는 서로 연결되어 비선형적으로 구성됨을 파악하는 사고이다. 시스템 사고의 핵심 요소로서 비선형성은 학생들이 활동지 1과 활동지 2에서 물의 순환을 표현한 그림(단어 지도)이 선형적인지 비선형적인지, 그리고 피드백 고리가 얼마나 포함되어 있는지를 구분하여 조사하였다. 흐름도와 단어 지도의 비선형성 분석의 준거는 김윤지 등(2009)이 사용했던 순환 유형의 네 가지 형태 즉, 선형, 가지형, 원형, 복합형 구분을 사용하였다. 선형은 순환 요소들이 단일 방향의 선으로 배열된 형태이고, 가지형은 단일 방향의 선이 가지를 이루어 병렬적으로 발산하거나 수렴하는 형태를 말한다. 원형은 순환 요소가 한

방향 또는 두 방향으로 고리를 이루는 원 형태에 해당하고, 복합형은 선형의 가치와 양 방향의 피드백 고리를 모두 형성하여 복합적으로 배열된 형태이다. 원형 또는 복합형은 그림 안에 피드백 고리가 포함되므로 피드백 고리의 수에 따라 하위 요소 간의 연결 관계를 더 시스템적으로 표현한 것으로 볼 수 있다.

물의 순환과 관련된 시스템 사고에서 비선형성은 하위 요소 간의 연결 관계에서 시작점과 종료점이 없다는 순환성에 대한 인식을 포함한다. 학생들이 물의 순환과 관련된 시스템 요소들의 순환적 본성을 이해하는지를 확인하기 위하여 활동지 2에서 물 순환의 시작점과 끝점을 서술한 응답, 그리고 물의 순환에 대한 인식 검사지의 문항 1번(물의 순환은 바다에서 시작되어 지하수에서 끝난다)과 문항 8번(물을 순환시키는 에너지 대부분은 태양에서 비롯된다)에 대한 응답 결과를 조사하였다. 각 응답들은 비슷한 것끼리 묶어서 유형화하고 각 유형의 응답이 물 순환과 관련된 순환적 본성을 어느 정도 표현하느냐에 따라 그 수준을 구분하였다.

3) 상호 관련성 및 피드백

시스템을 구성하는 하위 요소들 간의 피드백은 상호 관련성에 대한 이해와 맞물려 있다. 하위 요소들 간의 상호 관련성을 학생들이 어떻게 인지하는지 알아보기 위하여 활동지 3의 응답에서 물 순환과 관련된 지구 시스템 하위 요소로서 육지, 바다, 공기, 생명체 사이의 상호작용을 “각 영역 내의 상호작용, 영역과 영역 사이의 상호작용, 각 영역과 인간의 상호작용”(고수진, 2009)을 기준으로 분석하였다. 학생들이 물의 순환 과정에서 수권, 기권, 지권, 생물권, 인간 활동의 상호작용에 대해 인식하고 있는 정도를 파악하기 위해 응답 유형의 따른 응답 빈도를 조사하였다. 각 유형은 다양한 하위 요소들(영역) 간의 관계를 물 순환 시스템과 연결시켜 표현할수록 높은 수준으로 구분하였다.

역동성은 시스템을 구성하는 하위 요소들 사이의 관계가 지속적으로 변화하는 양상을 나타내며, 그 상호 관계에 변화를 일으키는 요소가 피드백이다. 시스템 내의 강화적 피드백은 하위 요소들 간의 원인-결과 관계에서 변화가 더 커지는 방향으로 작용하며, 균형적 피드백은 원인-결과 관계에서 변화의 서로 다른 방향이 함께 서술되어 시스템

을 안정시키는 역할을 한다. 물 순환 시스템의 하위 요소 사이의 피드백 과정에서 형성된 역동적 과정에 대한 학생들의 이해를 조사하기 위해 물 순환에 대한 인식 검사지의 문항 3번(지구가 더워져서 물이 많이 증발하면 지구의 물의 양은 줄어들 것이다), 4번(지구의 인구가 늘어나면 지구의 물의 양은 줄어들 것이다)과 7번(공장에서 더러운 물을 주변 강물에 흘려보내서 물이 오염된다)에 대한 리커트 척도 선택과 그 이유가 강화적 피드백 또는 균형적 피드백을 나타내는지를 분석하였다. 세 문항에서 학생들이 요소들 간의 피드백 과정을 잘 찾아낼수록 높은 수준의 시스템 사고로 구분하였다.

4) 시간적 사고 및 비가시적 양상

물의 순환 시스템에서는 물의 위치가 이동하는 동안 시간의 흐름에 따라 물질 및 에너지의 전달과 교환, 상태 변화 등이 존재한다. 이처럼 시스템의 변화는 시간적 사고를 수반한다. 학생들이 물 순환과 관련하여 시간에 따른 물의 저장과 흐름의 양상을 예측하여 표현할 수 있는지 알아보기 위하여 활동지 1에서 실내 정원을 만들 때 시간이 지남에 따라 물의 양의 변화 모습을 예측한 응답을 유형에 따라 구분하였다. 또한, 물 순환에 대한 인식 검사지의 문항 2번(강물이 계속해서 바다로 흐르기 때문에 바닷물의 양은 날마다 증가한다)에 대한 응답을 통해 시간에 따른 물의 이동과 바닷물의 양을 예측하는 양상을 분석하였다.

시스템은 물의 순환처럼 아주 거시적일 수도 있고, 물 분자의 움직임처럼 미시적일 수도 있다. 이러한 특징은 학생들이 관찰할 수 없는 부분을 초래한다. 시스템 사고에서 시스템 내의 비가시적 차원에 대한 인식은 우리가 눈으로 관찰할 수 없거나 미시적인 현상에 대해 어떻게 이해하는지를 말한다. 물 순환과 관련하여 비가시적 양상에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위하여 물 순환에 대한 인식 검사지의 문항 5번(땅속에 있는 지하수는 젖은 스펀지처럼 암석의 작은 구멍에 들어 있다)과 문항 6번(비가 많이 오는 지역만 땅속에 지하수가 있다)에서 눈에 보이지 않는 지하수의 존재와 이동을 학생들이 어떻게 이해하고 있는지 분석하였다. 학생별로 세 문항의 응답을 함께 비교하여 응답 유형의 수준을 구분하였다.

III. 연구 결과

연구에 참여한 초등학생들이 물의 여행 단원을 학습할 때 나타냈던 시스템 사고의 양상과 그 수준을 시스템 사고의 핵심 요소별로 구분하여 제시한다.

1. 물의 순환에 대한 시스템 사고의 핵심 요소별 양상과 수준

1) 시스템의 구조 이해

물 순환 시스템의 구조에 대한 이해는 물이 분포하는 수권, 기권, 지권, 생물권에서 물의 순환 구성요소를 인식하는 것과, 물이 이동하는 과정으로서 증발이나 응결과 같은 순환 과정 요소를 인식하는

것으로 나눌 수 있다. 이 요소와 관련하여 활동지 3의 응답은 육지, 바다, 공기, 생물에서 물이 어떤 모습으로 존재하는지를 표현하는 단어를 쓰는 것이므로 각 단어들의 출현 빈도를 기준으로 분석하였다. 학생들이 물의 순환과 관련된 시스템 구성요소로서 활동지 3에 작성한 단어 나열 빈도는 ‘기권 > 수권 > 생물권 > 지권 > 인간 활동’ 순이었다 (Table 3).

학생들은 활동지 2의 단어 지도를 그려서 물이 이동할 때 물 순환에 대한 하위 요소들 간의 연결 관계를 표현하였다. 아래 Fig. 1은 단어들 간의 연결을 가장 많이 표현했던 한 학생의 단어 지도를 나타낸 것이다. 이 학생의 단어 지도는 물이 바다에 있다가 증발되어 구름이 되고, 구름이 비가 되며(강수), 비가 내려와 강물로 오거나(지표 흐름) 지

Table 3. Frequency of the sub-elements of water cycle system

	수권					기권					지권			생물권			인간 활동			
	바다	강	지하수	호수	빙하	구름	안개	김	강수	수증기	기타	땅	산	암석	틈	기타		식물	동물	인간
빈도	18	22	16	8	12	22	18	11	20	18	9	22	16	0	0	2	21	18	21	22
	76 (25.7%)					98 (33.1%)					40 (13.5%)			60 (20.3%)			22 (7.4%)			

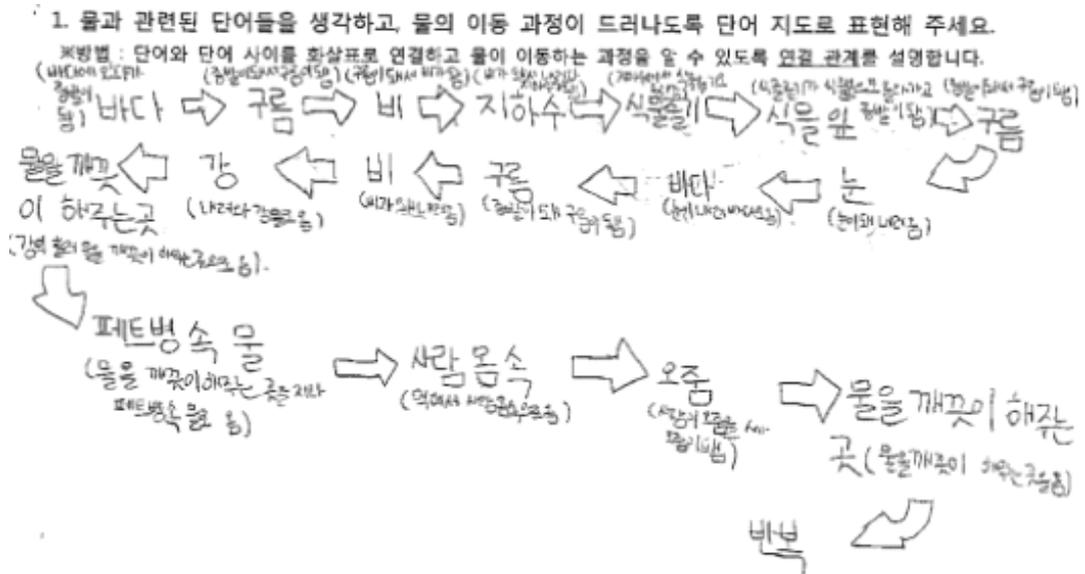


Fig. 1. A student's word-map including the largest number of relations between words.

하수가 되고(침투), 지하수에서 식물 줄기로 올라가서(식물의 흡수), 식물 잎으로 올라가 증발되며(증산작용), 물을 사람이 먹어서 몸속으로 오고(동물의 흡수), 사람이 오줌을 싸서(배설) 나간다는 내용을 담고 있다.

학생들의 단어 지도에서 각 단어들 간의 연결은 개념상 옳은 것도 있고, 그렇지 않은 경우도 있었다. 학생들이 활동지 2의 단어 지도에서 물 순환의 하위 요소들 간의 연결 관계를 바르게 표현한 사례만 묶어서 그 빈도를 Table 4에 제시하였다. 물의 순환과 관련되어 하위 요소 중 기권에 해당하는 응답 사례가 많았으므로, 물의 이동 과정으로 바다에서 증발하여 구름이 되고 강수 현상이 일어나는 것을 중심으로 구성 요소를 연결한 사례가 가장 많았다.

시스템의 구조 이해에 대한 학생들의 사고 수준을 구분하기 위하여 학생들이 인지한 물의 순환과 관련된 시스템의 구성 요소의 수와 물이 이동할 때 각 하위 요소들 간에 형성된 관계를 바르게 표현한 사례를 정량적으로 비교하였다. 학생들이 활동지 3에 언급한 시스템의 하위 요소의 수의 평균은 12.3개였고, 각 하위 요소 간 연결 관계를 바르게 표현한 사례의 평균은 4.5개였다. 이 값을 기준으로 상위 집단과 하위 집단으로 나누어 시스템의 구조에 대한 시스템 사고 수준을 4단계로 구분한 결과를 Table 5에 제시하였다. 수준 1은 ‘시스템의 하위 요소 확인’과 ‘하위 요소 연결’ 모두에서 평균보다 낮은 집단이다. 수준 2는 물 순환 구성 요소를 확인하는 것은 상위 집단이지만, 물 순환 구성 요소를 연결하는 것은 평균보다 낮은 집단이다. 수준 3은 물 순환 구성 요소의 확인은 평균보다 낮았지만, 구성 요소의 연결에서 상위 집단에 해당하는 경우이다. 시스템 사고가 연결과 통합을 강조한다는 점에서 구성 요소의 확인보다 구성 요소의 연결을 더 높은 수준으로 설정하였다. 수준 4는 물 순환 구성 요소와 물 순환 과정 요소 모두 평균보다 상위 집단인 경우이다. 시스템의 구조 파악에서 학생들의 수준 별 분포 현황은 4수준에 해당하는 학생이 8명

Table 5. The levels of understanding of water cycle system structure

수준	시스템의 하위 요소 확인	하위 요소의 바른 연결	학생 수 (n=24)	비율 (%)
1	하위 집단	하위 집단	7	29.2
2	상위 집단	하위 집단	3	12.5
3	하위 집단	상위 집단	6	25.0
4	상위 집단	상위 집단	8	33.3

(33.3%)으로 가장 많았으나, 이와 비슷하게 1수준에 있는 학생도 7명(29.2%)이었다. 이 결과에 의하면, 학생들은 대체로 물 순환에 대해 부분에 치중하지 않고, 시스템의 전체적인 맥락에서 구조를 파악할 수 있는 것으로 볼 수 있다.

2) 비선형성: 순환의 유형과 피드백 고리

시스템 사고에서 순환은 구성 요소의 연결이 출발지로 다시 돌아와 피드백 고리를 형성하는 것을 의미하며, 활동지 1과 활동지 2의 단어 지도에서 피드백 고리를 포함하는 원형과 복합형, 그렇지 않은 선형과 가지형으로 나누어 빈도를 비교하였다 (Table 6).

단원 초기에 실내 정원의 물의 순환을 단어 지도로 표현했던 활동지 1에서 학생들은 선형이나 원형으로 표현한 사례가 많았다. 그러나 물의 순환과 관련된 과학 동화를 읽고 모둠별로 스토리맵을 그리는 활동 후에 작성한 활동지 2의 단어 지도에서 순환 유형을 표현하지 못한 학생과 가지형으로 표현한 학생은 없었으며, 선형 또는 원형으로 표현한 학생 수가 증가하였다. 이 결과는 학생들이 물의 순환과 관련된 내용을 이해할수록 시스템 사고를 적용하여 순환의 특성을 반영한 형태로 표현하는 능력이 발전할 수 있음을 보여준다.

학생들이 물의 순환을 표현한 단어 지도에서 피드백 고리를 형성하는 사례 역시 활동지 1에 비해 활동지 2에서 증가하였다. 활동지 1에서는 단어 지

Table 4. Frequency of the inter-relations between the sub-elements of water cycle system

빈도	증발	응결	강수	침투	식물의 흡수	증산 작용	동물의 흡수	배설	결빙	용해	지표 흐름	지하 흐름	기타	합계
	15	5	17	5	10	3	12	8	7	4	8	2	12	108
	(13.9%)	(4.6%)	(15.7%)	(4.6%)	(9.3%)	(2.8%)	(11.1%)	(7.4%)	(6.5%)	(3.7%)	(7.4%)	(1.9%)	(11.1%)	

Table 6. The types of word-map for water cycle

유형	활동지 1 (n=24)		활동지 2 (n=24)	
	학생 수(명)	비율(%)	학생 수(명)	비율(%)
표현 못 함	3	12.5	0	0
선형	10	41.7	12	50.0
가지형	2	8.3	0	0
원형	7		10	
	피드백 고리	학생 수	피드백 고리	학생 수
			1	5
			2	2
			3	1
		4	2	
복합형	2	8.3	2	8.3

도를 원형으로 표현하더라도 피드백 고리가 단순히 한 갈래로 나타난 사례가 많았다. 이는 학생들이 물의 순환을 바다에서 시작하여, 구름에서 강수로 이어지는 단순한 과정으로 인지하고 있음을 보여준다. 그러나 활동지 2에서는 원형의 단어 지도에서 피드백 고리가 여러 개 표현되거나(Fig. 2), 피드백 고리를 포함하여 원형과 가지형이 혼재된 복합형 단어 지도의 사례가 보였다(Fig. 3).

활동지 1과 활동지 2에 표현된 단어 지도에서 순환의 유형과 피드백 고리를 근거로 시스템 사고의 수준을 4단계로 나누었다. 한 학생이 두 활동지에서 서로 다른 수준을 나타낸 경우는 둘 중 더 높은 수준에 해당하는 사례로 그 학생의 수준을 설정하였다. Table 7에 제시한 학생들의 수준별 분포를 보

면, 단어 지도에서 선형이나 가지형을 나타낸 1수준에 해당하는 학생이 10명(41.6%)으로 가장 많았다. 피드백 고리가 한 개 포함된 원형이나 복합형의 단어 지도를 표현한 2수준에 해당하는 학생이 9명(37.5%)이었다. 원형 또는 복합형의 단어 지도에서 피드백 고리가 두 개 포함된 사례인 3수준의 학생은 2명(8.3%)이 있었으며, 피드백 고리를 세 개 이상 포함한 사례인 4수준의 학생은 3명(12.5%)이었다. 시스템 사고에서 피드백 고리를 포함시켜 시스템 내 순환을 표현하는 것은 교사들에게도 어려운 과제로 인식되었는데(이경현 등, 2016), 이 연구의 학생들도 피드백 고리를 포함하여 물의 순환 시스템의 순환성을 표현할 때는 낮은 수준에 머무른 사례가 많았다.

1. 물과 관련된 단어들을 생각하고, 물의 이동 과정이 드러나도록 단어 지도로 표현해 주세요.
 *방법: 단어와 단어 사이를 화살표로 연결하고 물이 이동하는 과정을 알 수 있도록 순로, 순계를 설정합니다.



Fig. 2. A circular word-map.

1. 물과 관련된 단어들을 생각하고, 물의 이동 과정이 드러나도록 단어 지도로 표현해 주세요.
 *방법: 단어와 단어 사이를 화살표로 연결하고 물이 이동하는 과정을 알 수 있도록 순로, 순계를 설정합니다.

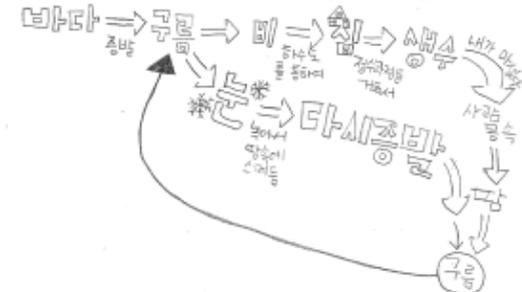


Fig. 3. A complex-typed word-map.

Table 7. The levels of students' understanding of non-linearity of water

수준	순환 유형	피드백 고리의 수	학생 수 (n=24)	비율(%)
1	선형 또는 가지형	0	10	41.6
2	원형 또는 복합형	1	9	37.5
3	원형 또는 복합형	2	2	8.3
4	원형 또는 복합형	3개 이상	3	12.5

3) 시스템의 순환성

물의 순환 과정을 표현할 때 그 시작점과 종료점의 순환성에 대한 인식을 알아보기 위하여 활동지 2에서 물 순환의 시작점과 끝점을 서술한 응답, 그리고 물의 순환에 대한 인식 검사지의 문항 1번과 문항 8번의 응답 결과를 분석하였다. 그 중 활동지 2에 대한 학생들의 응답 분석 결과를 Table 8에 제시하였다. 응답의 유형으로 (1)구체적인 시작점과 종료 지점을 설정하여 단선적으로 물의 이동을 설명한 경우는 3명(12.5%)으로 순환성에 대한 이해가 부족한 사례이다. (2)물의 시작점과 종료 지점을 동일하게 설정하여 순환성을 이해한 경우는 13명(54.2%)으로 가장 많았으며, 활동지 2에서 그린 단어 지도를 바탕으로 “바다에서 시작해서 바다에서

끝난다” 또는 “구름에서 시작해서 구름에서 끝난다”와 같이 순환성을 서술한 사례이다. (3)순환성을 직접 언급하여 문장으로 서술한 경우는 8명(33.3%)으로 “물은 계속해서 순환한다” 또는 “물의 순환은 끝이 없다”와 같이 순환성을 명시적으로 서술한 문장들이 많았다.

물의 순환에 대한 인식 검사지의 문항 1번에 학생들이 응답한 결과는 Table 9와 같다. 물 순환의 시작점과 끝점을 언급한 평가 서술문에 대해 ‘매우 그렇지 않다’고 응답한 학생이 16명(66.7%)으로 가장 많았다. 학생들은 이 응답을 선택한 이유에 대해 “물의 순환은 끝이 없기 때문이다”, “물의 순환은 끝나지 않고 계속하여 반복되는 것이기 때문이다”, 또는 “물의 순환은 정해져 있는 것이 아니라,

Table 8. Students' responses to the worksheet #2

수준	학생 설명	학생 응답 예시	학생 수 (n=24)	비율(%)
1	단선적으로 물의 이동 과정 설명	3. 물의 순환은 어디(무엇)에서 시작해서 어디(무엇)에서 끝나나요? 바다 → 구름	3	12.5
2	물의 시작점과 종료 지점을 동일하게 설정	3. 물의 순환은 어디(무엇)에서 시작해서 어디(무엇)에서 끝나나요? 바다에서 시작, 바다에서 끝	13	54.2
3	순환성을 직접 언급하여 문장으로 서술	3. 물의 순환은 어디(무엇)에서 시작해서 어디(무엇)에서 끝나나요? 시작은 때에 따라 계속 끝이 없다 (계속 반복하는 것)	8	33.3

Table 9. The number of students' responses to assessment item #1

수준	학생 설명	1. 물의 순환은 바다에서 시작되어 지하수에서 끝난다.			
		매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
3	물의 순환성 이해	0	0	0	16 (66.7%)
2	물 순환의 시작점과 종료점 설명	0	2 (8.3%)	5 (20.8%)	0
1	의인관에 따른 추론	0	1 (4.2%)	0	0

돌고 도는 것이기 때문이다”와 같이 서술하여 물의 여행 단원을 학습한 후에 물의 순환적 속성에 대해 충분히 이해하게 되었음을 알 수 있다.

물 순환의 에너지원인 태양을 학생들이 파악할 수 있는지를 조사했던 검사지 문항 8번에 대해 응답한 결과를 Table 10에 제시하였다. 이 문항에 ‘매우 그렇다’와 ‘조금 그렇다’로 긍정적인 선택을 제시한 학생이 모두 15명(62.5%)이었으며, 그 이유로 태양과 열에너지를 연결하여 서술한 경우가 많았다. 예를 들면, “태양으로 증발시키고 한쪽은 덥고 한쪽은 추우니까 응결이 되니까 큰 역할인 것 같아서” 또는 “물이 증발하기 위해서는 햇빛이 있어야 하기 때문이다”와 같이 증발의 원인으로 태양을 연상하여 물의 순환적 본성과 순환의 에너지원을 인식하였다.

활동지 2의 응답과 검사지 문항의 1번, 8번에 대한 응답 결과들은 각각 세 가지 수준으로 구분되었다. 학생별로 각 항목에서 나타난 수준을 차례대로 묶어서 연결한 유형을 근거로 물 순환과 관련된 순

환적 본성을 이해하는 양상을 네 가지 위계적 수준으로 다시 구분하였다(Table 11).

Table 11에 의하면, 학생들의 응답 유형은 물의 순환성을 명제로 표현하여 일반화시킬 수 있고, 물 순환의 주된 원인으로 열에너지나 태양으로 인한 증발을 연관시켜 이해할 수 있는 [4a] 수준이 13명으로 가장 많았다. [4b] 수준은 물 순환의 사례를 통해 순환성을 이해하고, 그 원인을 파악하는 유형으로서 4명이 해당하였다. 3수준의 학생(4명)은 물의 순환을 명제로 일반화하거나 예시를 들어 순환성을 이해하는 반면, 물 순환의 구체적인 원인을 인식하지는 못하고 단지 원인이 있음을 이해하는 유형이다. 그 밖에 물의 순환을 인식하지만, 그 원인에 대해 인지하지 못하는 2수준 및 1수준의 학생들이 일부 있었다.

4) 하위 요소 간 상호관련성

물 순환과 관련된 지구 시스템 내 하위 요소들 간의 상호 관련성에 대한 이해를 알아보기 위하여,

Table 10. The number of students' responses to assessment item #8

8. 물을 순환시키는 에너지 대부분은 태양에서 비롯된다.					
수준	학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
3	열에너지와의 관련성	3 (12.5%)	12 (50.0%)	0	2 (8.3%)
2	태양 외 다른 요인 언급	0	2 (8.3%)	1 (4.2%)	1 (4.2%)
1	에너지원 인식 못 함	0	3 (12.5%)	0	0

Table 11. The levels of students' understanding of the circularity and reasons of water cycle

수준	수준 별 세부 특성	활동지 2	문항 1	문항 8	학생 수	합계
4	[4a] 순환성 일반화 가능하며 물 순환의 주된 원인 이해	3	3	3	4	13 (54.2%)
		3	2	3	2	
		2	3	3	6	
	[4b] 구체적 예를 통한 순환성 이해와 물 순환의 주된 원인 이해	1	3	3	1	4 (16.7%)
2	2	3	3			
3	[3a] 순환성 일반화 가능하며 물 순환의 원인 감지	3	3	2	2	3 (12.5%)
		2	3	2	1	
	[3b] 구체적 예를 통한 순환성 이해와 물 순환의 원인 감지	1	2	2	1	1 (4.2%)
2	순환성 일반화 가능하지만 물 순환의 원인 인지 못 함	2	3	1	2	2 (8.3%)
1	구체적 예를 통한 순환성 이해와 물 순환의 원인 인지 못 함	2	1	1	1	1 (4.2%)

활동지 3에서 물이 순환하면서 육지, 바다, 공기, 생명체에 어떤 영향을 주는지에 대한 응답 사례를 모두 모아 지구 시스템의 하위 요소별로 출현 빈도를 분석한 결과를 Table 12에 제시하였다.

학생들은 수권과 기권을 주체로 한 상호 관련성을 주로 생각하였으며, 수권을 중심으로 한 상호작용을 언급한 빈도(65건)가 가장 높으며, 기권을 중심으로 한 상호작용의 빈도(33건)가 그 다음이었다. 사례별로 빈도가 높은 상호작용은 ‘수권 → 지권’의 사례(예: 흙에 수분기가 생겨서 촉촉해진다)와 ‘수권 → 생물권’의 사례(예: 생물이 물을 흡수하거나 수중 생물에게 삶의 공간을 제공한다)였으며, ‘기권 → 기권’의 사례(예: 수증기에서 구름이 만들어진다)와 ‘기권 → 지권’의 사례(예: 구름이 생긴 후 비가 내린다)도 많이 제시되었다.

물 순환의 하위 요소 간 상호 관련성에 대한 개별 학생들의 시스템 사고의 수준은 얼마나 다양한 하위 시스템과 관련지어 하위 요소들 간의 관계를 표현했느냐에 따라 구분하였다(Table 13). 수권, 기권, 지권, 생물권 및 인간 활동의 상호작용을 모두 기술한 학생(5명, 20.8%)은 4수준으로 구분되었다. 비슷한 빈도로 5개 하위 요소 중 셋 이상의 하위 시스템 간 상호작용을 표현한 학생들은 3수준으로 구분되었다(6명, 25%). 수권과 기권 두 시스템만을 중심으로 하위 요소 간 상호작용을 표현한 2수준의 학생들이 가장 많았다(11명, 45.8%).

5) 피드백의 역동성

물 순환 시스템의 하위 요소 사이의 강화적 피드백 또는 균형적 피드백에서 형성된 역동적 과정에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위해 물 순환에 대한 인식 검사지의 문항 3번, 4번과 7번에 대한 학생들의 응답 유형을 분석하였다.

문항 4번의 진술문 “지구의 인구가 늘어나면 지구의 물의 양은 줄어들 것이다”는 인구(원인)와 지구의 물의 양(결과)의 관계를 나타내는데, 학생들은 이 진술문에 대해 강화적 피드백을 중심으로 사고하는 사례가 많았다. Table 14를 보면, 학생들 중 절반 이상(16명, 66.7%)이 매우 그렇다 또는 조금 그렇다를 선택하였고, “인구가 늘어나면 물건이나 음식, 시설 등 물 사용량이 늘어나 지구에 있는 물의 양이 줄어들다”고 생각하였다. 이것은 인구와 물의 양 사이의 관계가 물 시스템의 변화를 가속화하는 강화적 피드백의 사례에 해당한다.

문항 7번의 진술문 “공장에서 더러운 물을 주변 강물에 흘려보내서 물이 오염된다”는 공장 폐수(원인)와 물의 오염(결과)의 관계를 담고 있는데, 이에 대한 응답에서 학생들은 폐수와 오염 간의 인과 관계에 대한 강화적 피드백을 인지하였다(Table 15, 매우 그렇다: 13명, 54.1%, 조금 그렇다: 9명, 37.5%). 그러나 선택 이유는 “강물을 오염시키는 물질이 강물과 섞여서 오염된다”(오염원을 인지)거나, “물이 오염되어 생물이 죽는다”(오염원과 생물의 관계)는 부분적인 서술과, “공장 폐수를 포함한

Table 12. Frequency of the response for understanding of the inter-relationships of sub-elements

	수권		기권		지권		생물권		합계												
	수권	기권	지권	생물권	인간 활동	수권	기권	지권		생물권	인간 활동	수권	기권	지권	생물권	인간 활동					
빈도	7	9	19	18	12	1	16	13	3	0	0	3	0	5	1	6	3	0	0	0	
합계	65 (56.0%)					33 (28.4%)					9 (37.5%)					9 (37.5%)					116

Table 13. The level of students' understanding of inter-relationships among sub-elements

수준	응답 유형	학생 수 (n=24)	비율 (%)
4	모든 하위 시스템에서의 작용 인식	5	20.8
3	[3a] 수권, 기권, 생물권에서의 작용 인식	4	16.7
	[3b] 수권, 기권, 지권에서의 작용 인식	2	8.3
2	수권과 기권에서의 작용 인식	11	45.8
1	수권에서의 작용 인식	2	8.3

Table 14. The number of students' responses to assessment item #4

4. 지구의 인구가 늘어나면 지구의 물의 양은 줄어들 것이다.				
학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
물 순환	0	1 (4.2%)	1 (4.2%)	1 (4.2%)
물 사용량 증가	12 (50.0%)	4 (16.7%)	0	0
보존 법칙	0	1 (4.2%)	0	2 (8.3%)
기타	2 (8.3%)	0	0	0

Table 15. The number of students' responses to assessment item #7

7. 공장에서 더러운 물을 주변 강물에 흘려보내서 물이 오염된다.				
학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
오염원의 이동과 수질의 관계	6 (25.0%)	4 (16.7%)	0	1 (4.2%)
오염원과 생물의 관계	2 (8.3%)	0	0	0
오염원을 인지	5 (20.8%)	3 (12.5%)	1 (4.2%)	
기타	0	2 (8.3%)	0	0

강물이 바다로 흘러가서 지구의 수질을 나쁘게 한다”(오염원 이동과 수질의 관계)는 전체적인 서술이 비슷한 비율로 제시되었다.

문항 3번의 진술문, “지구가 더워져서 물이 많이 증발하면 지구의 물의 양이 줄어들 것이다”는 기온과 증발량(원인), 지구의 물의 양(결과)의 관계에 대해 진술하고 있다. 이 세 요소 사이에 어떤 피드백을 고려하느냐에 따라 지구의 물의 양은 균형을 이루거나 변화할 수 있다. 이 진술문에 대한 학생들의 응답 결과를 Table 16에 제시하였다.

선택의 근거로 “더워지면 증발이 많이 일어나게 되므로 물이 줄어든다”고 하여 물의 증발량 증가만을 서술한 학생들의 사례(매우 그렇다: 4명, 16.7%, 조금 그렇다: 3명, 12.5%)는 균형적 피드백을 형성

하는 다른 요인들을 인식하지 못한 경우로 볼 수 있다. 반면에, “지구의 기온이 상승하면 빙하가 녹아서 물이 유입되므로 물의 양이 줄어들지 않는다”고 서술한 사례(조금 그렇지 않다: 3명, 12.5%)와 “물이 증발해도 다시 비가 되어 순환”하거나 “물이 증발하면 시간이 지날수록 구름이 무거워져서 다시 비나 눈으로 내리기 때문”과 같이 물이 순환하며 강수 현상에 의해 물의 양이 줄어들지 않는다고 서술한 사례(조금 그렇지 않다: 3명, 12.5%, 매우 그렇지 않다: 3명, 12.5%)는 증발에 의한 물의 양 감소와 빙하 또는 강수로 인한 물의 양 증가를 함께 고려하는 균형적 피드백을 인식한 것으로 볼 수 있다. 하지만 강수 현상을 언급하더라도 “물이 증발한 후 비가 오려면 시간이 오래 걸리므로 물의 양

Table 16. The number of students' responses to assessment item #3

3. 지구가 더워져서 물이 많이 증발하면 지구의 물의 양이 줄어들 것이다.				
학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
강수	2 (8.3%)	2 (8.3%)	3 (12.5%)	3 (12.5%)
빙하 용해	0	0	3 (12.5%)	0
보존 법칙	0	0	1 (4.2%)	2 (8.3%)
증발량 증가	4 (16.7%)	3 (12.5%)	0	0
기타	0	0	0	1 (4.2%)

이 감소한다”고 서술한 학생들도 일부 있었다(매우 그렇다: 2명, 8.3%, 조금 그렇다: 2명, 8.3%).

강화적 피드백을 강조한 문항 4번과 7번, 균형적 피드백을 강조한 문항 3번의 응답에서 학생들이 요소들 간의 피드백 과정을 잘 찾아낼수록 높은 수준의 시스템 사고로 구분하였다. Table 17을 보면, 세 문항에서 피드백 사례를 두 개 확인한 3수준에 해당하는 학생이 11명(45.8%)으로 가장 많았으며, 피드백 사례를 모두 찾을 수 있는 4수준에 해당하는 학생 수는 10명(41.6%)이었다. 4수준의 학생들은 강화적 피드백과 균형적 피드백을 모두 확인하여 시스템 사고를 잘 수행한 사례에 해당한다.

6) 시간적 사고 및 비가시적 양상

물 순환과 관련하여 시간에 따른 물의 저장과 흐

름의 양상을 예측하여 표현할 수 있는지 알아보기 위하여 활동지 1에서 실내 정원을 만들 때 시간이 지남에 따라 물의 양의 변화 모습을 예측한 응답을 유형에 따라 구분하였다(Table 18).

학생들 중 절반 정도(14명, 58.3%)는 물의 양이 변화 없을 것으로 예상하였으며, 그 이유로 “물이 증발한다고 해도 다시 뚜껑에서 응결돼서 떨어지기 때문” 또는 “증발해도 실내 정원이 뚜껑으로 막혀 있어서 빠져나갈 수 없기 때문”이라는 서술을 제시하였다. 물의 양이 증가한다고 생각한 학생들은 7명(29.2%)이었는데, “응결한 물방울 때문에 컵에 습기가 차다”거나 “흙이 젖어 있다”와 같이 관찰한 결과를 근거로 눈에 보이는 현상에 주목하여 응답하였다. 물이 처음보다 줄어들었다고 말한 학생들(3명, 12.5%)은 “증발하여 물이 사라졌기 때문” 또는 “미세한 구멍으로 물이 빠져나갔을 것”으로 추측하였다.

물 순환에 대한 인식 검사지의 문항 2번에 대한 학생들의 응답 결과(Table 19)를 보면, 시간의 흐름에 따라 바닷물의 양이 증가하지 않음을 선택한 학생들 중에는 “바닷물이 증발한다”, “바닷물이 수증기가 되고 구름이 된다”와 같이 수권과 기권의 상호작용 또는 “강물이 흘러가도 시간에 걸쳐 땅에 흡수되기 때문이다”는 수권과 지권의 상호작용을 제시한 학생들이 일부 있었다(조금 그렇지 않다: 3

Table 17. The level of understanding of feedback and its dynamics

수준	피드백 인식 유형	학생 수 (n=24)	비율 (%)
4	피드백을 모두 찾음	10	41.6
3	피드백을 2개 찾음	11	45.8
2	피드백을 1개 찾음	2	8.3
1	모든 문항에서 피드백을 찾지 못함	1	4.1

Table 18. Students' responses to the worksheet #1

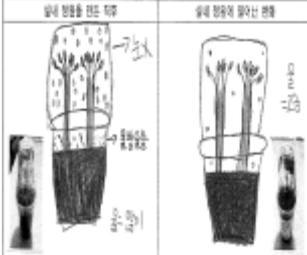
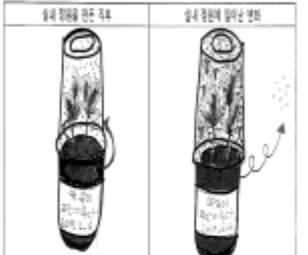
학생 설명	물의 양이 늘어날 것이다.	물의 양이 줄어들 것이다.	물의 양이 보존될 것이다.	
학생 응답 예시	<p>1. 실내 정원의 변화에 영향을 주고 그쪽으로 기록하여 봅니다.</p>  <p>실내 정원을 만든 직후 실내 정원에 있는 변화</p> <p>정원에는 물기가 정원에 물기가</p> <p>증발이 되어 물이 더 많아 보였습니다</p> <p>증기 통풍기나 증발합니다.</p> <p>겨울 실내 정원에 온 물의 양 < 겨울 실내 정원에 있는 물의 양</p> <p>여름 실내 정원에 온 물의 양 > 겨울 실내 정원에 있는 물의 양</p>	<p>1. 실내 정원의 변화를 관찰하여 기록 그쪽으로 기록하여 봅니다.</p>  <p>실내 정원을 만든 직후 실내 정원에 있는 변화</p> <p>증발이 되어 물이 증발이 되어 물이</p> <p>증기 통풍기나 증발합니다.</p> <p>겨울 실내 정원에 온 물의 양 < 겨울 실내 정원에 있는 물의 양</p> <p>여름 실내 정원에 온 물의 양 > 겨울 실내 정원에 있는 물의 양</p>	<p>1. 실내 정원의 변화를 관찰하여 기록 그쪽으로 기록하여 봅니다.</p>  <p>실내 정원을 만든 직후 실내 정원에 있는 변화</p> <p>증발이 되어 물이 증발이 되어 물이</p> <p>증기 통풍기나 증발합니다.</p> <p>겨울 실내 정원에 온 물의 양 < 겨울 실내 정원에 있는 물의 양</p> <p>여름 실내 정원에 온 물의 양 > 겨울 실내 정원에 있는 물의 양</p>	
	학생 수	7	3	14
	비율(%)	29.2	12.5	58.3

Table 19. The number of students' responses to assessment item #2

2. 강물이 계속해서 바다로 흐르기 때문에 바닷물의 양은 날마다 증가한다.				
학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
순환성	0	0	1 (4.2%)	4 (16.7%)
시스템 요소 간 상호작용	1 (4.2%)	2 (8.3%)	3 (12.5%)	4 (16.7%)
보존 법칙	0	0	1 (4.2%)	2 (8.3%)
기타	0	4 (16.7%)	2 (8.3%)	0

명, 12.5%, 매우 그렇지 않다: 4명, 16.7%). 그 밖에 “강물이 바다로 가면 바다에서 증발하여 구름이 되고, 이렇게 계속 순환해서”와 같이 시간에 따른 순환성을 언급한 학생들도 일부 있었다(조금 그렇지 않다: 1명, 4.2%, 매우 그렇지 않다: 4명, 16.7%).

강수에 의해 토양으로 스며든 물이 지하수를 형성하고, 토양 내 공극을 통해 지하수가 이동하는 것은 눈으로 관찰하기 어려운 미시적인 부분이다. 물 순환과 관련된 비가시적 양상에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위해 물 순환에 대한 인식 검사지 문항 5번에 대한 학생들의 응답 결과를 Table 20에 제시하였다.

눈에 보이지 않는 지하수의 분포 형태에 대해 학생들은 공극수의 개념을 가지고 있지 않지만, 위진술문에 대해 12명(50.0%)이 조금 그렇다고 응답하였다. 그러나 그 선택의 근거는 공극과 관계없이

“동굴에 가서 봤는데 그렇다”며 자신의 경험과 지하수를 연관시키거나, “지하수의 극히 일부 양만이 작은 구멍에 존재한다”고 생각하였다. 현무암과 같이 구멍이 많은 암석을 예시로 공극에 물이 존재함을 동의한 학생도 있었다.

구멍보다는 액체 상태인 물이 가지는 유동성에 더 초점을 둔 11명 중 5명은 “물은 땅을 자유자재로 다닐 수 있다”거나 “물길을 따라 지하에서 흐른다”와 같은 서술과 함께 조금 그렇다는 선택을 제시하였다. 이것은 지하수가 지하에서 통로를 통해 강물처럼 흐르는 것으로 묘사된 교과서의 삽화가 영향을 미쳤다고 판단된다. 나머지 6명은 물이 암석의 구멍에 머물러 있지 않고 흘러가거나 증발해서 남아 있지 않다는 서술을 제시하였다.

Table 21은 지하수의 이동과 관련된 문항 6번에 대한 학생들의 응답 결과를 나타낸 것이다. 이 진

Table 20. The number of students' responses to assessment item #5

5. 땅속에 있는 지하수는 젖은 스펀지처럼 암석의 작은 구멍에 들어 있다.				
학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
공극의 존재 여부	0	6 (25.0%)	2 (8.3%)	1 (4.2%)
물의 유동성	0	5 (20.8%)	4 (16.7%)	2 (8.3%)
닫힌 공간으로 인식	0	0	1 (4.2%)	2 (8.3%)
관련 경험	0	1 (4.2%)	0	0

Table 21. The number of students' responses to assessment item #6

6. 비가 많이 오는 지역만 땅속에 지하수가 있다.				
학생 설명	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
지하수의 이동	0	0	2 (8.3%)	1 (4.2%)
강수와 관련성	0	1 (4.2%)	1 (4.2%)	1 (4.2%)
지역마다 분리되어 존재	0	0	6 (25.0%)	10 (41.7%)
물의 필요에 의한 당위성	0	0	0	2 (8.3%)

술문에 대해 거의 모든 학생이 그렇지 않다는 선택을 했지만, “비가 많이 오지 않더라도 다른 곳에서 지하수가 이동하여 지하수가 존재할 수 있다”고 서술한 학생은 3명(12.5%)에 불과했다. 비가 많이 오는 지역의 지하수가 땅의 틈새를 통해 이동하여 다른 지역으로 이동할 수 있음에도 그 흐름이 눈에 보이지 않아 인식하기 어렵고, 지하수의 이동에는 시간적 간극 또한 존재하므로 이동하지 않는 것처럼 느껴질 수 있다. 가장 많은 학생(16명, 66.7%)이 “사막처럼 비가 오지 않는 지역도 땅 속에 지하수가 있는 것처럼 지하수는 지역마다 분리되어 존재”하기 때문에 위 진술문에 대해 그렇지 않다고 생각하였다.

문항 2, 5, 6번에서 과학적 개념을 반영하여 추론한 정도를 바탕으로 시간적 사고와 비가시적 양상에 대한 개별 학생들의 시스템 사고 수준을 4단계로 나누어 수준별 빈도를 조사한 결과를 Table 22에 제시하였다.

개별 학생들이 위 세 문항에 응답한 결과를 비교해 보면, 시스템 하위 요소의 상호작용과 순환성에 대한 이해를 바탕으로 시간적 사고를 보여준 학생들이 수준 4(2명, 8.3%)와 수준 3(15명, 62.5%)에 위치하며, 수준 3에 해당하는 학생들은 지하수의 분포와 이동 중 한 가지에 대해 과학적 개념을 바탕으로 비가시적 양상에 대한 사고를 보여주었다.

2. 시스템 사고의 핵심 요소별 수준별 분포 고찰

앞서 초등학생들이 물의 순환을 학습할 때 구현된 시스템 사고의 양상을 ‘시스템의 구조 이해, 비선형성(순환의 유형과 피드백 고리), 시스템의 순환성, 하위 요소 간 상호 관련성, 피드백의 역동성, 시간적 사고 및 비가시적 양상’으로 나누어 서술하였다. 각 요소들에 대한 학생들의 시스템 사고의 구

현 정도에 따라 네 단계의 수준으로 구분하였으며, 각 요소별로 전체 학생의 수준별 분포를 Fig. 4에 제시하였다.

Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005, 2010)은 시스템 사고가 수준별로 위계성을 가지며 발전한다고 주장하였다. 이들의 견해는 시스템 사고가 계층적인 위계성을 가지고 있다고 보며, 수준별 분포에서 상위 수준의 시스템 사고보다 하위 수준의 시스템 사고에서 학생이 더 많이 분포하는 것과 같이 피라미드 형태의 특징적인 패턴이 있을 것임을 가정하였다. 만약, 학생들의 시스템 사고가 위계성을 가진다면 이효녕 등(2018)의 연구에서 제안한 것처럼 ‘시스템의 구조 파악 → 비선형성 → 순환성 → 상호 관련성 → 피드백의 역동성 → 시간적 사고 및 비가시적 양상’의 순서로 하여 상위 단계로 갈수록 높은 수준에 해당하는 학생의 분포가 감소해야 할 것이다. 그러나 Fig. 4를 보면, 각 요소의 수준별로 학생 분포에서 일정한 경향성은 없었으며, 이효녕 등(2018)의 연구에서 시스템 사고의 중간 단계에 해당하는 순환성에서 4수준에 도달한 학생들이 많이 분포했으며(70.9%), 낮은 단계에 해당하는 비선형성은 1수준과 2수준에 머무는 학생들이 더 많았다(79.1%). 현재의 데이터만으로는 이와 같은 결과의 원인을 파악하기는 매우 제한적이지만, 학생들이 단어 지도에서 피드백 고리를 그림으로 나타내어 비선형성을 표현하는 과제가 쉽지 않았던 것과, 과학 동화를 통해 물의 순환에 대한 개념적 이해를 학습한 이후에 순환성을 조사했던 것이 시스템 사고의 수준 분포에 영향을 주었을 것으로 생각된다.

개별 학생의 시스템 사고가 핵심 요소별로 발현된 양상을 보면, 특별한 경향성을 찾기는 어려웠으며, 각 요소별로 일관성을 가지고 높은 수준을 나타내거나, 낮은 수준을 나타내는 학생은 드물었다. 그러므로 시스템 사고를 평균적이고 표준화하는 것이 타당하지 않을 수 있으며, 시스템 사고의 핵심 요소별로 필요한 특성과 학습자 개인의 성향에 맞추어 교수 활동을 구성하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

Fig. 4에서 시스템 사고의 핵심 요소별로 학생들의 수준 분포를 보면, 학생들이 물 순환을 학습할 때 시스템 사고의 핵심 요소에 대해 느끼는 난이도를 비교할 수 있다. 시스템의 구조 파악은 시스템을 이루는 하위 구성 요소를 확인하고, 각 단어 사

Table 22. The types and levels of responses to item #2, 5, & 6

수준	응답 유형	학생 수 (n=24)	비율 (%)
4	모든 문항을 바르게 설명함	2	8.3
3	2개 문항을 바르게 설명함	15	62.5
2	1개 문항을 바르게 설명함	4	16.6
1	모든 문항을 바르게 설명하지 못함	3	12.5

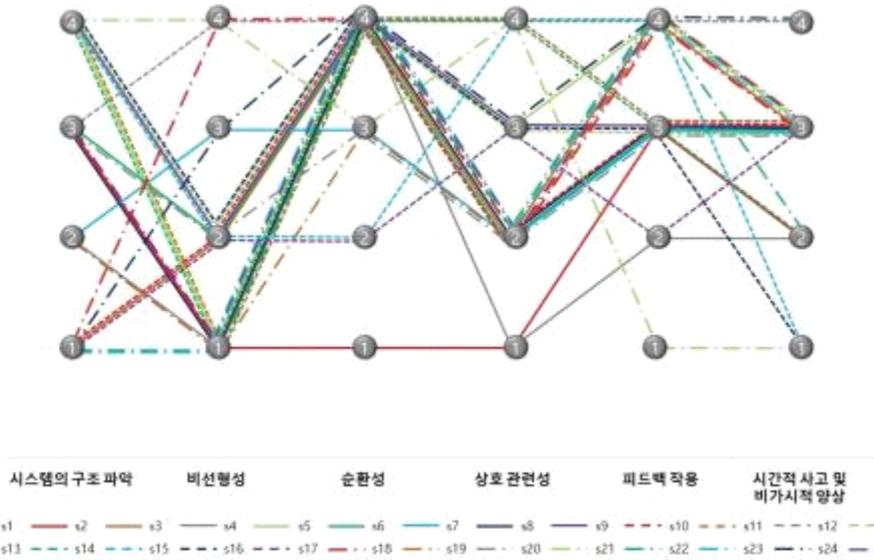


Fig. 4. Students' level on each core element of system thinking.

이의 연결을 살펴보는 것으로, 시스템 사고의 기저를 이루며 가장 기초적인 단계로 인식된다(이효녕 등, 2018). 본 연구에서도 물 순환 시스템의 하위 요소를 확인하고, 각 요소들 간의 연결 관계를 인식하는 시스템의 구조 파악에서 3수준 또는 4수준에 분포한 학생들이 비교적 많았다. 그러나 이 학생들이 비선형성(순환의 유형과 피드백 고리)에 대한 이해에서는 1수준과 2수준으로 떨어지는 양상을 보였다. 이는 시스템의 구조 파악에서 개별 구성요소와 과정을 잘 인식하더라도 이것을 시스템의 총체적인 시각에서 피드백 고리의 관점에서 조직하기 어려울 수 있음을 보여준다.

물 순환 시스템의 비선형성을 표현할 때는 학생들이 낮은 수준을 나타냈지만, 순환성에 대한 이해에 대한 학생들의 시스템 사고 수준은 4수준에 분포한 경우가 많았다. 물의 순환을 피드백 고리를 활용해 비선형적으로 표현하는 과제가 학생들에게 어려울 수 있으나, 그 과제를 수행하는 동안 물 순환의 의미를 이해하게 되어 시스템의 순환성에 대한 높은 수준에 도달할 수 있었음을 추리할 수 있다. 순환성에서 4수준에 도달했던 학생들 중 많은 학생들이 상호 관련성에서 다시 3수준 또는 2수준으로 하락하는데, 이 학생들이 물이 끊임없이 순환하는 것은 이해하였지만, 그 과정에서 일어나는 하위 시스템 사이의 상호작용은 잘 알지 못하였음을

보여준다. 학생들이 물의 순환을 이해할 때 개별 시스템 사이의 관계보다는 전체 시스템에 더 초점이 있는 것으로 볼 때, 부분에 대한 시각이 전체에 비해 낮다는 것을 알 수 있으며, 부분과 전체를 유기적으로 볼 수 있는 시스템 사고가 필요함을 보여준다.

피드백의 역동성에 대한 학생들의 이해는 3수준 또는 4수준으로 비교적 높았으며, 시간적 사고 및 비가시적 양상에 대해서는 피드백의 역동성과 비슷한 수준을 보이거나, 낮은 수준을 보이는 경우가 많았다. 학생들이 물의 순환 과정에서 일어나는 일련의 사건들을 중심으로 인과적 영향 관계를 잘 이해하지만, 피드백 작용에서 원인이 결과에 영향을 주기까지 걸리는 시간에 따른 예측과 지시수와 같은 비가시적 양상에 대해서는 다양한 양상을 보여줌을 알 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 초등학교 4학년 과학의 물의 여행 단원 학습에서 학생들이 수업 중에 작성한 활동지와 단원 수업 후 시행한 물의 순환에 대한 인식 검사지의 응답 자료를 시스템 사고의 핵심 요소에 따라 분석하여 초등학교생이 구현한 시스템 사고의 양상과 수준을 알아보았다. 연구 결과, 다음과 같은 결

론을 도출하였다.

첫째, 이 연구에 참여한 초등학생들이 구현한 시스템 사고의 양상은 Ben-Zvi Assaraf and Orion (2010)의 연구나 이효녕 등(2018)의 제안과 같은 각 핵심 요소 간에 뚜렷한 위계적인 관계를 형성하지는 않았다. 선행 연구에서 낮은 수준의 시스템 사고의 요소로 언급되었던 시스템의 구조 이해는 이 연구에서도 상대적으로 많은 학생이 3수준과 4수준에 도달하였다. 그러나 비선형성에 대한 이해는 선행 연구에서 낮은 수준의 시스템 사고로 제안된 것과 달리 이 연구에서는 1수준과 2수준을 보인 학생들이 많았다. 선행 연구에서 중간 수준에 해당하는 시스템 사고 요소인 순환성의 이해는 이 연구에서 70% 이상 학생들이 4수준에 도달하여 학생들에게 어렵지 않은 시스템 사고로 판단되었다. 비록 각 요소별로 측정한 도구와 검사 문항이 같지 않으므로 시스템 사고의 수준을 구분하는 기준이 요소마다 서로 다르다는 한계를 고려하더라도, 시스템 사고의 핵심 요소들은 그 자체의 특성에 따른 위계적 수준을 갖기보다는 시스템 사고가 적용되는 학습의 주제에 따라 각 핵심 요소들이 발현되는 수준이 달라질 수 있음을 주장할 수 있다.

둘째, 시스템 사고의 핵심 요소별로 사고가 발현되는 양상은 학생 개개인에 따라 다양한 패턴을 보였다. 즉, 한 학생이 일관성 있게 시스템 사고의 모든 핵심 요소에서 특정한 수준에 위치한다고 기술하기는 어렵다는 것이다. 학습 상황에 따라, 학습 주제에 따라 그 학생이 시스템 사고의 핵심 요소 중 어느 요소는 높은 수준에, 어느 요소는 낮은 수준에 도달한다는 진단이 가능할 수 있다. 따라서 시스템 사고의 적용이 필요한 학습 주제를 지도할 때 개별 학생이 시스템 사고의 핵심 요소에서 부족한 영역이 무엇인지 파악하려는 접근이 필요하다.

시스템 사고는 고차원적 사고이며, 시스템 사고의 하위 핵심 요소들이 가진 특성과 학습자 개인에 초점을 두어 교수·학습이 이루어지는 것이 필요하다. 학생들의 시스템 사고를 신장시키기 위해서는 시스템 사고에 대한 이해를 바탕으로 교사의 신중한 중재가 요구된다. 이 연구의 결과를 근거로 초등학교에서 물의 순환을 지도할 때 시스템 사고를 증진시키기 위한 시사점으로 다음을 제안한다.

첫째, 학생들은 수권과 기권을 중심으로 물의 순환 시스템의 요소를 생각하고, 강수 과정 중심, 지

표수 위주의 물 순환 과정에 편중된 인식을 하고 있으며, 이러한 인식은 전체적인 지구 시스템 내에서 물의 순환을 통찰하기 어렵게 한다. 현행 교과서에 제시된 물 순환은 바다에서 시작하여 구름에서 강수로 이어지는 흐름으로 설명되어 있으며, 이로 인해 학생들이 물의 순환을 한 갈래의 원형으로 표현되는 단순화된 과정으로 인식하게 될 수 있다. 따라서 수권과 기권 중심의 물 순환이 아니라, 학생들의 인식이 부족했던 지권 및 생물권에서 일어나는 물 순환과, 학생들이 가지적으로 관찰할 수 없는 부분을 생각해 볼 기회를 제공한다면 더 종합적인 지구 시스템의 관점에서 물의 순환을 이해할 수 있을 것이다. 또한, 물 순환을 다양한 하위 시스템 사이의 관련성을 탐색해 보거나, 개별 구성 요소와 과정 요소를 생산적으로 조직해 보는 활동과 같이 교육적 맥락을 다양하게 제시할 필요성이 제기된다.

둘째, 물의 순환은 ‘시스템이 가지는 순환성 이해’라는 시스템 사고와 일맥상통하며, 물이 순환하며 나타나는 현상은 ‘피드백 작용’을 인식하는 것과 맞닿아 있다. 그 결과, ‘순환성’과 ‘피드백 작용’에서 4수준에 해당하는 학생이 많았다. 이 결과는 지구 시스템과 같은 복잡한 시스템적 현상을 이해하려면 주어진 맥락에 따라 중점적으로 고려되어야 할 시스템 사고의 핵심 아이디어가 있음을 말해 준다. 따라서 ‘물은 이동하거나 상태가 변하면서 끊임없이 순환함을 설명할 수 있다.’, ‘물이 순환할 때 생명체, 지표면, 공기 사이에서 일어나는 현상을 설명할 수 있다.’와 같은 지식적 목표를 가지는 물의 순환 수업을 시스템 사고의 측면에서 접근할 때는 시스템 사고의 어떤 핵심 요소를 강조할 것인지를 명료히 할 필요가 있다.

셋째, 지구과학 분야에서 다루는 주제가 너무 거시적이거나 미시적인 차원일 경우, 학생들에게 높은 수준의 시스템 사고가 요구된다. 이 경우, 우리 눈으로 한눈에 관찰할 수 없거나 미시적인 부분과 같은 시스템 내 보이지 않는 비가시적 양상에 대한 이해를 촉진시킬 수 있도록 학생들이 다루는 시스템의 적절한 크기와 범위를 중재해 주거나 맥락적 상황을 선별하는 교사의 스캐폴딩이 필요하다.

참고문헌

고수진(2009). 초등학교 과학영재 학생들의 지구계에 대

- 한 이해. 경북대학교 대학원 석사학위논문. 교육부(2018). 3~4학년군 과학 교사용 지도서: 4-2. 서울: (주) 천재교육.
- 김윤지, 정진우(2009). 지구계 교육과 소재로서 순환에 대한 이해. 한국과학교육학회지, 29(8), 951-962.
- 김윤지, 정진우, 위수민(2009). 대학생들이 인식하는 지구계 순환의 구성 개념 분석. 한국과학교육학회지, 29(8), 963-977.
- 문병찬(2014). 초등과학교육에서 지구시스템 인식강화를 위한 시스템사고 교육 프로그램 개발 및 적용효과. 대한지구과학교육학회지, 7(3), 313-326.
- 문병찬, 송진여(2012). 초등학생들의 시스템사고 교수-학습 효과. 한국시스템다이내믹스 연구, 13(4), 81-99.
- 문병찬, 정진우, 경재복, 고영구, 윤석태, 김해경(2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스템의 관련개념과 시스템 사고의 적용. 한국지구과학회지, 25(8), 684-696.
- 성연선(2013). 구인 모델링 방식을 적용한 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달과정. 서울교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 송진여, 문병찬, 김종희(2015). 초등과학 수업에서 시스템사고 학습을 위한 교수-학습 프로그램 개발 및 적용. 대한지구과학교육학회지, 8(3), 318-331.
- 안현복(2009). 초등학교 5학년 학생들의 물 순환 구성요소와 물 순환 과정에 대한 이해. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 오현석, 성은모(2013). 융합인재역량 분석 - k대학교 공과대학 신기술융합학과 대학원 사례를 중심으로. 아시아교육연구, 14(4), 201-228.
- 이경현, 한문현, 김희백(2016). 생태계의 단계적 외적 표상화 과정에서 나타난 고등학생들의 시스템 사고 발달. 생물교육, 44(3), 447-462.
- 이동은, 정진우, 김윤지(2008). 고등학생들의 물 순환 과정과 구성 요소에 대한 이해. 한국과학교육학회지, 28(1), 24-31.
- 이현동(2014). 고등학생의 시스템 사고 척도 개발 및 타당화. 경북대학교 대학원 박사학위논문.
- 이효녕, 전재돈, 이현동(2018). 학생들의 시스템 사고 수준 측정을 위한 Framework와 rubric의 개발. 한국과학교육학회지, 38(3), 355-367.
- 정진우, 김윤지(2008). 물의 순환에 대한 초등 예비 교사들의 지구 시스템적 인식. 초등과학교육, 27(4), 319-327.
- 한국과학창의재단(2019). 미래세대 과학교육표준: 모든 한국인을 위한 과학적 소양. 한국과학창의재단.
- 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. (2010). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Covitt, B. A., Gunckel, K. L., & Anderson, C. W. (2009). Students' developing understanding of water in environmental systems. *Journal of Environmental Education*, 40(3), 37-51.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B. S. (2003). Effect of knowledge integration of the earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-556.
- National Research Council (2010). Exploring the intersection of science education and 21st century skills: A workshop summary. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013). Next generation science standards. Washington, DC: The National Academies Press.
- Schaffer, D. L. (2013). *The development and validation of a three-tier diagnostic test measuring pre-service elementary education and secondary science teachers' understanding of the water cycle*. Unpublished doctoral dissertation, University of Missouri-Columbia.
- Sheehy, J. W., Wylie, J. W., Mcguinness & Orchard, G. (2000). How children solve environmental problems: Using computer simulations to investigate systems thinking. *Environmental Education Research*, 6(2), 109-126.
- Stave, K., & Hopper, M. (2007). What constitutes systems thinking? An proposed taxonomy. Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society. Boston, MA.
- Sibley, D. F., Anderson, C. W., Heidemann M., Merrill, J. E., Parker, J. M. and Szymanski, D. W. (2007) Box diagrams to assess students' systems thinking about the rock, water and carbon cycles. *Journal of Geoscience Education*, 55(2), 138-146.

김보민, 서울공진초등학교 교사(Kim, Bo-Min; Teacher, Seoul Kongjin Elementary School).

† 맹승호, 서울교육대학교 교수(Maeng, Seungho; Professor, Seoul National University of Education).

Appendix 4. Questionnaire on the understanding of water cycle

아래 문장에 대해 자신의 의견을 선택하고 그렇게 생각하는 이유를 적어주세요.

번호	문장	의견			
		매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
1	물의 순환은 바다에서 시작되어 지하수에서 끝난다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
2	강물이 계속해서 바다로 흐르기 때문에 바닷물의 양은 날마다 증가한다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
3	지구가 더워져서 물이 많이 증발하면 지구의 물의 양이 줄어든 것이다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
4	지구의 인구가 늘어나면 지구의 물의 양은 줄어든 것이다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
5	땅속에 있는 지하수는 젖은 스펀지처럼 암석의 작은 구멍에 들어 있다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
6	비가 많이 오는 지역만 땅 속에 지하수가 있다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
7	공장에서 더러운 물을 주변 강물에 흘려보내서 물이 오염된다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					
8	물을 순환시키는 에너지는 대부분 태양에서 비롯된다.	매우 그렇다	조금 그렇다	조금 그렇지 않다	매우 그렇지 않다
왜냐 하면					