

고등학생들의 지구시스템 관점에 기반한 탄소 순환 개념 분석

이두연 · 오은숙 · 김형범 · 정진우*

한국교원대학교

Analysis of Carbon Cycle Concepts based on Earth Systems Perspective of High School Students

Doo-Yoen Lee · EunSuk Oh · Hyoungbum Kim · Jin-Woo Jeong*

Korea National University of Education

Abstract : The purpose of this study is to analyze carbon cycle concepts based on earth systems from the perspective of high school students. The subjects for this study were seven students who have completed Earth-science I curriculum. to analyze of carbon cycle concepts based on earth systems perspective, the methods of word association, casual map and drawing were used. The results of this study were as follows: first, 5 out of 7 students have suggested carbon cycle concepts less than three. Second, the carbon cycle concepts on the change of state were 2. Also, the carbon cycle concets on process were 8. Third, 2 out of 7 students present 2 feedback loops, 3 out of 7 students 1 feedback loops, but 2 out of 7 students couldn't present the feedback loops associated with carbon cycle. Finally, As for carbon cycle concepts through drawing, 1 out of 7 students drew 9 concepts, 3 out of 9 students drew 7 concepts and the rest of them drew 5, 4, 3 concepts respectively. These results suggest that concept and feedback loop thinking skills on carbon cycle are a low level. Therefore, It is suggested that more educational programs be developed on various topics in order for high school students to improve their system thinking skills as well as knowledge integration of earth systems.

keywords : Carbon cycle, Concept, Earth system, Earth-science

I. 서론

1. 연구의 필요성 및 목적

자연 현상은 다양한 요인들이 상호 작용하여 하나의 현상으로 표현되는 복잡한 시스템의 특성을 가지고 있다. 이러한 현상을 주로 다루는 지구과학 교육에서는 기권, 수권, 지권, 생물권 등이 상호 밀접한 관계를 이루고 있는 지구를 통합된 하나의 주제로 보고 있는 지구계 교육에 주목하고 있다.

지구계 교육은 지구적 소양을 갖추기 위해서 지

구계의 각 하위계, 나아가 지구 전체에 미치는 영향을 먼저 고려할 수 있는 안목을 기르는 것을 목적으로 하고, 현재 교육과정에도 많은 변화를 주고 있다. 이런 교육의 변화를 위해서는 학교 현장에서의 학생들의 지구계 개념에 대한 이해가 필요하다. 이에 자연 순환 개념 중 지구온난화와 같이 사회 이슈가 되고 있는 고등학교 2학년 학생들의 지구시스템적 관점에 기반한 탄소 순환에 대한 개념을 알아보고자 한다.

지구 시스템적 견해를 교수·학습하기 위해서 교사 and 학생들은 시스템이라는 개념을 이해할 필요가 있는데(Ben-zvi-Assaraf , Orion, 2005b), 시스

*교신저자 : 정진우(jjeong@knue.ac.kr)

**2013년 4월 5일 접수, 2013년 5월 16일 수정원고 접수, 2013년 5월 27일 채택

템 사고에 대한 다양한 선행 연구들로부터 Kali et al.(2003)은 시스템을 부분들이 상호작용하는 전체로 정의하였으며, 시스템 사고를 부분과 부분들 사이의 전체적 연관 관계로 정리하였다.

지구계의 순환에 관한 연구는 문병찬 등(2004)이 지구과학 예비교사들을 대상으로 지구 하위계에서의 탄소 순환의 개념과 시스템 사고의 적용을 조사한 결과, 암권에서의 탄소 순환에 대한 이해가 낮으며 시스템 사고는 이루어지지 않거나 그 수준이 낮았다. 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 수권에서의 물의 순환 과정에 대한 인식은 높으나 암권과 생물권에서의 영향에 대한 인식이 부족하며, 단선적 사고로 물의 순환을 이해하여 지구계 관점이 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 물의 순환을 기권과 수권에서의 주된 작용으로 인식하고, 암권 및 생물권에서 물의 작용과 인간이 물의 순환 구성요소로서 미치는 영향에 대한 인식이 매우 부족하며, 지표에서의 과정보다 지하에서 물의 순환 과정에 대한 인식의 표출이 적다는 결과를 발표하였다. Sweeney, Sterman(2000)의 연구에서 많은 학생들은 높은 수준의 시스템 사고를 이해하고 적용하는 데 매우 어려움을 느끼고 있고, 권용주 등(2011)는 생물교사의 생태계에 대한 학생 교육 시 교사들의 시스템 사고가 부족함을 보여주었고, 이효녕 등(2011)은 지구 온난화를 중심으로 고등학생들의 시스템 사고 향상을 위한 프로그램을 개발하여 적용한 결과 시스템 사고 수준이 향상됨을 보고, 체계적인 시스템 사고를 함양시키기 위해서는 교육프로그램 개발과 보급이 절실하다고 하고 있다.

특히, 지구에서 복잡한 시스템의 특징을 갖는 것은 암석 순환, 물 순환, 질소 순환 등 매우 다양하지만, 그 중에서도 탄소 순환은 시공간적 측면에서 서로 관련되는 요인들과 그 연계 과정이 매우 복잡하다. 탄소 순환에서 지권의 탄소들은 화석연료에

많은 부분을 의존하는 인간생활과 밀접한 관계를 맺고 있을 뿐만 아니라, 대기 중의 탄소는 지구의 온실효과, 그리고 식물들의 광합성에 관여하는 등 그 역할이 매우 크다고 볼 수 있다. 그러므로 탄소 순환과 같은 복잡한 시스템을 바르게 이해하는데 있어서는 각 요소 간 상호작용과 이 작용들이 시스템에 미치는 피드백 효과를 고려한 시스템 사고의 적용이 적절할 것으로 생각된다. 이에 지구 시스템 과학 교육의 주제로서 고등학교 지구과학 I 교과서에서 다루고 있는 탄소 순환에 대한 학생들의 개념을 지구시스템의 관점에서 분석하고자 한다. 따라서, 학생들의 지구시스템적 관점에 기반한 탄소 순환 개념을 알아보기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 시스템 사고 관련 검사를 이용한 탄소 순환 개념은 어떠한가?

1.1 학생들의 탄소 순환 관련 연상된 개념에는 어떤 것들이 있는가?

1.2 학생들의 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념에는 어떤 것들이 있는가?

1.3 학생들의 탄소 순환 관련 시스템적 연결 고리는 어떻게 나타나는가?

2. 그림 그리기를 통해서 본 탄소 순환 관련 개념은 어떻게 나타나는가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

이 연구에서 연구대상은 경상북도 포항시 소재의 평준화 일반계 남녀공학 D고등학교 2학년 학생들 중 지구과학 I 교과를 이수한 과학 동아리 학생으로 본 연구에 참여의사를 적극적으로 밝힌 학생 7명을 대상으로 선정하였다. 위 학교의 학생들로 선정하게 된 이유는 연구자가 근무하는 학교로서 연구 진행 중 학생들에게 좀 더 주의를 기울이며 학생 검사지를 살펴보고 확인이 필요한 경우 면담을 통하여 자세한 학생들의 탄소 순환 개념을 지구시

시스템적 관점에서 파악하기 위함이다.

2. 연구 절차

이 연구를 위하여 시스템 사고와 지구계 교육에 관한 국내·외의 문헌과 지구계의 ‘순환’ 관련 선행 연구 및 자료 수집을 하여 검사지를 개발하였다. 개발한 ‘물 순환’에 대한 시스템 사고 수준 검사지를 참고하여 검사지의 틀은 유지하면서 ‘탄소 순환’에 관한 내용으로 수정을 하여 지구과학 전문가 1인과 박사과정수료 지구과학 교사 2인, 석사과정 지구과학 교사 2인으로 구성된 협의회에서 2차에 걸쳐 시스템 사고 검사지와 탄소 순환 관련 개념 검사지를 수정하였다. 개발된 검사지는 경상북도 특수목적고 K고등학교 과학 동아리 학생 5명을 대상으로 예비 투입을 하여 그 결과를 바탕으로 수정 및 보완을 하였다. 특히, 지구계 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 검사지의 개념을 추가하거나 학생들이 이해하기 쉬운 개념으로 수정하였다. 포항시에 소재한 D고등학교 과학 동아리 학생 7명을 연구 대상자를 선정하여 검사를 실시하여 면담을 거친 후 결과를 분석하였다.

3. 측정 도구

이 연구에 사용된 학생들의 시스템 사고를 알아보기 위한 검사지는 이효녕, 김승환(2009)이 개발한 ‘물 순환’에 대한 시스템 사고 수준과 이효녕 등(2011)의 ‘지구온난화’에 대한 시스템 사고 수준 검사지를 참고하여 검사지의 틀은 유지하면서 ‘탄소 순환’에 관한 내용으로 수정을 하여 개발되었다. 개발된 시스템 사고 검사지와 탄소 순환 관련 개념 검사지는 지구과학 전문가 1인과 박사과정수료 지구과학 교사 2인, 석사과정 지구과학 교사 2인으로 구성된 협의회에서 2차의 협의를 통해 개발한 검사지의 목표와의 일치성, 논리적 전개, 문항의 적절성에 대해 코멘트를 받아 수정 및 보완을 하여 내용 타당도 검증을 받았다.

4. 자료 처리 및 분석

1) 단어 연상

단어 연상(Word Association)은 학생들의 사고 요소와 과정을 알아보는 데 유용하게 사용된다(Ben-zvi-Assef, Orion, 2005b). 본 연구에서는 탄소 순환과 관련된 친숙한 개념들을 생각나는 대로 자연 현상이나 인간 활동과 연결하여 적도록 한 후, 연상된 개념들을 지구 시스템과의 관련성에 따라 기권, 수권, 지권, 생물권으로 분류하였다. 예시로 학생들이 잘 알고 있는 물의 순환을 그림 1와 같이 제시한다.

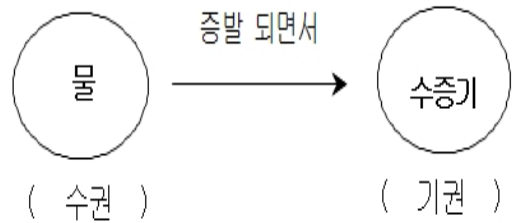


그림 1. 단어 연상 예시

학생들이 적은 결과를 토대로 지구 시스템 하위 영역에 관한 개념의 수와 연결 과정을 파악한 후 인과지도 분석이나 그림 그리기 분석에 반영하며, 면담을 통해서 사용된 단어들 사이의 연결에 대해서 물어보고 이들 연결에서 피드백 순환이 존재하는지 파악하였다.

표 1은 지구 시스템 하위 영역에 따른 탄소 순환 관련 개념을, 표 2는 탄소 순환 관련 상태변화와 과정 개념으로, 학생들이 표현한 탄소 순환 관련 개념 검사를 하기위한 것이다.

표 1. 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념

유형	개념
기권	일산화탄소, 이산화탄소, 메탄, 화산가스
수권	바다, 강, 비, 지하수, 빙하
지권	화석연료, 탄소, 석회암, 마그마, 화산
생물권	식물, 동물, 나무, 사람, 유기물
인간 활동	화석연료 소비, 공장 매연, 자동차 운행

표 2. 각 유형에 따른 상태변화와 과정 개념

유형	개념
상태변화	상태(액체, 기체, 고체), 온도, 열, 냉각, 연소, 승화, 응해
과정	광합성, 섭취, 죽음, 증발, 호흡, 침전, 용해, 유수, 강수

2) 인과지도

시스템 사고를 이용하여 어떤 문제에 대한 분석을 하기 위해 사용되는 도구로 인과지도(casual map)와 인지지도(cognitive map)가 있다(김동환, 2004). 시스템 사고에서 말하는 시스템에는 요소와 요소와의 관계라는 의미가 담겨있다. 본 연구에서는 다음과 같은 단계에 따라 문항을 구성하여 검사지를 투입하였다. 첫째, 학생들은 탄소 순환 관련 연상된 개념과 연구자가 제시한 개념에서 적당한 개념들을 이용하여 탄소 순환에 대해 하나의 문장을 만들어 본다. 둘째, 학생들의 인과 지도 분석을 통하여, 시스템 요소와 그 과정을 알아내는 능력, 지구 시스템의 양상 파악, 요소를 조직하고 관계의 틀 안에서 위치시키는 능력 등을 알아내기 위하여, 탄소 순환 관련 비계층적인 인과지도를 작성하도록 한다. 그 결과에 대하여서는 그리기에 사용한 탄소 순환 관련 개념 수, 시스템적 관점에서 사용된 개념들의 연결 고리 수를 수치화하여 정량적으로 분석하였다.

3) 그림 그리기

그림 그리기 또한 학생들의 주어진 주제에서 발생하는 현상에 대한 생각을 알아보는데 유용하게 이용된다(김윤지, 정진우, 2009; Ben-zvi-Asseraf, Orion, 2005b). 그림 그리기는 그림으로 표현할 수 있기 때문에 학생들의 시스템 사고 분석에도 용이하게 사용되며, 지구 시스템 안에서 일어나는 탄소 순환에 대해 학생들의 종합적인 사고 과정과 함께 단어 연상 등 인과지도에서 볼 수 없었던 사고 과정도 볼 수 있다. 그림 그리기 능력의 한계에 의한 영향을 줄이기 위해 최대한 많은 항목을 그림에 넣도록 하였다. 그림 분석은 이산화탄소와 인간의 영향, 탄소의 배출과 유입 과정에서 나타나는 탄소 순환 관련 개념과 지구 시스템을 구성하는 하위 영역에서의 상태 변화와 순환 과정, 개념 연결에 있어서 시스템적 관점에서 사용된 연결고리 수를 파악하였다.

4) 면담

면담은 비구조화된 형태로 학생들이 작성한 검사지의 모든 영역에서 미흡한 부분이나 특정 영역에 대한 학생들의 보다 세밀한 생각과 의견을 얻기 위해 사용 하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 탄소 순환 관련 연상된 개념

학생들이 적어놓은 결과를 토대로 먼저 탄소 순환 관련 연상된 개념을 지구 시스템적 관점에서 범주화하여 분석하였고, 생물권에 해당하는 개념 중 인간이 탄소의 순환에 미치는 영향을 알아보기 위해 인간 활동 범주를 첨가하여 각 지구 시스템의 하위영역에 해당하는 탄소 순환 관련 연상된 개념 수를 정량화하였다. 시스템 사고 검사지를 분석한 결과는 표 3과 같다.

표 3. 탄소 순환 관련 연상된 개념

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 D	학생 E	학생 F	학생 G
기권	1	1	1	2	1	1	1
수권				1			
지권	1	1		2			2
생물권			2	3	2	1	2
인간 활동				1			1
total	2	2	3	9	3	2	6

지구 시스템의 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 연상된 개념을 보면 학생 A는 기권의 이산화탄소와 지권의 탄소를 간단한 수준으로 표현하였다. 이동은 등(2008)에서 고등학생들은 물의 순환 과정과 구성요소에 대해 단선적 사고로 이해하고 있었는데 이것은 본 연구의 탄소 순환과 비슷한 결과이다. 이는 학생들이 지구계에 대한 인식이 부족하기 때문으로 생각된다. 학생 B는 간단한 수준의 기권의 이산화탄소와 지권의 탄소를 표현하였고, 탄소 순환 관련 연상된 개념이 총 2개로, 지구시스템 각 하위 영역에 대해 구체적으로 다양하게 연상하지는 않았지만 ‘탄소 순환 → CO₂ 가 여기저기 옮겨 다니면서 물이 순환하는 것처럼 지구상에서 순환한다.’와 같이 탄소의 순환을 거시적으로 표현하였다. 학생 C는 ‘CO₂ → 식물 → 동물 → 식물 → 물 → 수증기 → 비(구름) → 식물’로 표현하였는데 ‘식물 → 물 → 수증기 → 비(구름) → 식물’로 나타난 것은 물의 증발과 응결을 탄소의 순환과 연결하는 오개념을 가지고 있었다. 실제로 탄소 순환 관련 연상된 개념은 기권 1개, 생물권 2개로 총 3개의 개념으로 파악되었다. 학생 D는 기권 2개, 수권 1개, 지권 2개, 생물권 3개, 인간 활동 1개, 총 9개로 7명의 학생 중 가장 많았으며 다양한 지구 시스템 하위 영역에서의 탄소의 순환을 보여주었다. 탄소 순환 관련 개념을 ‘나무 → 이산화탄소 → 바다 → 석회암 → 마그마 → 화산가스 → 이산화탄소 → 식물 → 초식동물 → 화석연료 → 이산화탄소’ 순으로 연상하였다. 시스템 사고 검사지에 표현된 내용만으로는 탄소가 지구시스템 하위 영역에서 어떤 형태로 존재하며 순환하는지 알 수 없어서 면담을 통해 나무에는 유기물, 바다에는 이온, 식물

에는 유기물, 초식 동물에는 유기물의 형태로 존재함을 확인하였다. 학생 E는 기권 1개, 생물권 2개이며, ‘사람 → 이산화탄소 → 식물 → 사람 → 이산화탄소’ 순으로 주로 탄소의 순환을 호흡과 광합성에 의한 생물권과 기권의 상호작용으로 이해하였다. 학생 F는 ‘C₆H₁₂O₆ → CO₂ + H₂O + ATP + 열에너지’로 표현하였는데, 이는 생물권의 C₆H₁₂O₆ (포도당)이 세포호흡을 통해 CO₂(이산화탄소)로 방출되는 것으로 탄소 순환 관련 연상된 개념은 기권 1개, 생물권 1개, 총 2개로 파악되었다. 학생 G는 기권 1개, 지권 2개, 생물권 2개, 인간 활동 1개, 총 6개로 수권을 제외한 지구 시스템 하위 영역에서의 탄소의 순환을 표현하였다. 특히 공장에서 이산화탄소를 배출하는 것을 이해하고 인간 활동이 탄소의 순환에 미치는 영향을 나타내었다. ‘동물 → 이산화탄소, 이산화탄소 → 석회암, 화산 → 이산화탄소, 이산화탄소 → 식물, 공장 → 이산화탄소’로 연상하였다.

결과적으로, 탄소 순환 관련 연상된 개념의 수는 27개가 나타났으며 생물권이 인간 활동을 포함하여 12개로 가장 많았으며, 기권이 8개, 지권이 6개, 수권이 1개로 가장 적었다. 이 결과는 문병찬 등(2004)에서 탄소 순환에 대한 예비교사들의 인과지도에서 나타난 개념보다 적으며 기권에 관심이 많고 암석권과 관련되어서는 낮은 관심을 보이는 결과와는 차이가 있다. 그러나 본 연구에서 생물권 관련 개념이 많은 이유는 주로 동물과 사람, 식물이 중복되어 탄소 순환 관련 개념에 활용되었기 때문이므로 실질적으로는 탄소 순환에서 기권에 높은 관심을 가지고 있는 편이라고 생각된다. 탄소 순환 관련된 연상된 개념의 수 27개는 이효녕, 김승환(2009)에서

고등학생을 대상으로 ‘물 순환(Water cycle)’ 대한 연상된 사용된 개념의 수 20여개와 비슷한 결과이다. 문병찬 등(2004)에서 나타난 개념의 수와 차이를 보이는 것은 고등학생과 예비 교사의 사고 수준에 차이로 있는 것으로 판단된다.

2. 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념

탄소 순환 관련 개념의 연결은 에너지를 수반한 화학적 상태변화와 단순한 형태 과정으로 나누어 분석하였다. 시스템 사고 검사지를 분석한 결과는 표 4과 같다.

학생 A는 ‘탄소가 순환하면서 이산화탄소가 된다.’로 탄소 순환 관련 개념의 연결을 구체적인 과정이 아니라 포괄적인 의미의 순환을 과정으로 이해하고 표현하였다. 학생 B는 ‘지권의 탄소가 방출되면서 기권의 이산화탄소가 된다.’로 탄소 순환 관련 개념을 지권과 기권의 상호작용으로 연결하였다. 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념은 단순한 과정만을 나타내었다. 학생 C는 ‘대기 중의 이산화탄소가 광합성 작용으로 식물의 유기물이 되고, 동물이 식물의 유기물을 섭취하며, 동물은 죽어 양분이 되어 식물로 이동한다.’로 탄소 순환 관련 개념을 기권과 생물권, 생물권과 생물권, 지권과 생물권의 상호 작용으로 연결하였다. 즉, 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념은 상태 변화는 알지 못했지만 3개의 과정을 나타내었다. 학생 D는 ‘나무의 호흡 작용으로 대기 중으로 이산화탄소가 방출되며, 대기 중의 이산화탄소는 바다에 용해되고, 바다에 용해되어 있던 이산화탄소는 해저에 침전되어 석회암이 되고, 석회암이 용해되어 마그마가 되며, 마그마가 분출하면서 대기 중으로 화산가스를 방출하고, 화산 가스 중의 이산화탄소는 광합

성 작용으로 식물의 유기물이 되고, 초식동물이 식물의 유기물을 섭취하며, 초식동물은 죽어서 매몰되면 화석연료가 되며, 화석 연료를 연소하면 대기 중으로 이산화탄소가 방출된다.’로 탄소 순환 관련 개념을 생물권과 기권, 기권과 수권, 수권과 지권, 지권과 기권, 생물권과 생물권의 상호 작용으로 연결하였다. 지구시스템 모든 하위 영역에서 다양한 상태 변화와 과정으로 표현하였으며, 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념은 상태 변화 개념 2개, 과정 개념 7개로 7명의 학생 중 유일하게 상태 변화 개념을 포함하여 가장 많이 나타내었다. 학생 E는 ‘사람의 호흡 작용으로 대기 중으로 이산화탄소가 방출되고, 이산화탄소는 식물의 광합성 작용으로 식물의 유기물이 되고, 식물의 유기물을 사람이 섭취하며, 사람은 호흡 작용으로 대기 중으로 이산화탄소를 방출한다.’로 탄소 순환 관련 개념을 생물권과 기권, 생물권과 생물권의 상호 작용으로 연결하였다. 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념은 표 15와 같이 상태 변화는 알지 못했지만 3개의 과정을 나타내었다. 학생 F는 ‘ $C_6H_{12}O_6$ 이 세포호흡으로 CO_2 가 된다.’로 탄소 순환 관련 개념을 생물권과 기권의 상호 작용으로 연결하였고, 상태 변화와 과정 개념은 1개의 과정을 나타내었다. 학생 G는 ‘동물의 호흡 작용으로 대기 중으로 이산화탄소가 방출되며, 대기 중의 이산화탄소는 땅 속에 침전되어 석회암이 되고, 화산이 폭발하면서 대기 중으로 이산화탄소를 방출하고, 이산화탄소는 광합성 작용으로 식물의 유기물이 되고, 공장에서 매연으로 이산화탄소를 방출한다.’로 탄소 순환 관련 개념을 생물권과 기권, 기권과 지권의 상호 작용으로 연결하였다. 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념은 상태 변화는 알지 못했지만, 과정 개념 5개로 표현하였다.

표 4. 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정 개념

유형	학생 A	학생 B	학생 C	학생 D	학생 E	학생 F	학생 G
상태 변화				2			
과정	1	1	3	7	3	1	5
total	1	1	3	9	3	1	5

결과적으로, 상태변화 개념을 나타낸 학생은 1명이었으며 과정 개념은 5명이 3개 이하로 표현하였다. 이것은 이효녕 등(2011)에서 지구온난화를 중심으로 고등학생들의 시스템 사고를 확인한 결과보다 과정의 수가 적었다. 이는 사회적 이슈화가 되고 있는 지구온난화보다 탄소 순환에 관심이 적으며 지구시스템 하위계의 상호작용에 대한 인식이 부족한 것으로 판단된다.

인과지도에 대한 결과 분석을 정량적으로 실시하기 위해 사용 개념 및 개념들의 연결고리는 직접 그 수를 헤아려 수치화하였으며, 지구시스템 각 하위 영역에 따른 탄소 순환 관련 개념 수를 파악하였다. 개념들의 연결 중 과학적 연결은 과학의 기본 법칙에 인정되거나 탄소 순환과 관련하여 이미 학자들의 연구를 통해 검증된 내용이나 관련 서적에 제시된 것을 의미하며, 비과학적 연결은 과학의 기본 법칙에 위배되거나 과학적 근거를 갖지 못하는 경우에 해당하는 것을 의미한다. 표 5는 학생들

3. 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리

표 5. 탄소 순환에 대한 학생들의 과학적 개념 연결과 비과학적 개념 연결

	과학적 개념 연결	비과학적 개념 연결
학생 A	식물이 광합성을 하면 CO ₂ 가 소모 된다.	
학생 B	동물이 죽으면 사체가 분해되면 메탄이 되어 대기 중으로 방출된다. 화산이 폭발하면 대기 중으로 CO ₂ 가 방출 된다. 식물이 광합성 하여 대기 중으로 수증기를 방출한다. CO ₂ 증가로 인해 기후가 따뜻해져 빙하가 녹는다.	
학생 C	동물은 유기물을 흡수하고 CO ₂ 와 메탄을 대기 중으로 방출 한다. 인간은 호흡을 통하여 CO ₂ 를 대기 중으로 방출 한다. 식물은 CO ₂ 와 태양E를 흡수하여 유기물을 생성한다. 메탄과 CO ₂ 의 과도한 방출은 기후를 변화 시킨다.	
학생 D	식물이 태양E로 광합성을 하여 포도당을 만든다. 동물과 식물이 죽어 화석 연료가 된다. 인간이 화석연료를 이용하여 CO ₂ 를 만든다. 동물과 식물이 호흡을 통해 CO ₂ 를 만든다. 메탄을 연소 시키면 CO ₂ 가 발생한다. 탄소는 기권, 수권, 지권, 생물권 등으로 순환한다. 유기물 안의 탄소가 CO ₂ 의 형태가 되어 순환한다. 지질시대에 CO ₂ 가 바다나 식물 등에 의해 고정되면서 기후가 변화되었다. 동물과 식물로 만들어진 화석 연료의 대부분의 성분은 메테인이다. 화산 폭발을 통해 대기 중으로 CO ₂ 가 방출 된다.	바다에서 대기 중의 CO ₂ 가 고정되어 석회암이 된다.
학생 E	인간이 호흡을 하면 대기 중으로 CO ₂ 가 방출된다. 식물이 CO ₂ 와 태양E를 이용해 광합성을 한다. 화산의 폭발로 대기에 CO ₂ 를 대량 분출한다. 동물과 식물이 죽어서 땅에 묻히면 썩으면서 메탄이 발생 한다. 동물과 식물이 죽어서 땅속에 강한 열과 압력을 받으면 화석연료가 만들어 진다.	비가 내려 대기 중의 CO ₂ 가 바다로 들어가면 모이고 모여 석회암이 된다.
학생 F	CO ₂ 로 식물이 자라고 그 식물을 동물이 먹고 그 동물을 인간이 먹고 인간이 죽으며 화장해서 CO ₂ 가 나오거나 매장해서 분해되고 양분이 되어서 그걸 다시 식물이 이용하며 순환된다.	
학생 G	화석연료 사용으로 인해 대기에 CO ₂ 가 방출되어 기후가 높아져 빙하가 녹고 있다. 인간과 동물은 호흡을 하여 대기 중으로 CO ₂ 를 방출하지만 식물은 흡수한다. 화산이 폭발해 폭발한 물질에서 CO ₂ 가 나온다. 대기 중의 CO ₂ 는 순환한다.	CO ₂ 가 석회암으로 땅속에 침전 된다.

표 6. 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 및 연결 고리 수

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 D	학생 E	학생 F	학생 G
개념수	3	4	1	9	6	4	6
기권	1	2	1	2	2	1	1
수권				1			
지권				3	1	1	3
생물권	2	2		2	3	2	2
인간 활동				1			
상태변화와 과정수	2	3	1	5	7	3	3
연결고리수	1	2		2	1	1	

이 작성한 인과 지도의 문장 만들기를 과학적 개념 연결과 비과학적 개념 연결로 학생들의 진술을 구분하였다.

인과지도 그리기 시스템 사고 검사지를 분석한 결과는 표 6과 같다.

학생 A는 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 1개, 생물권 2개, 과정 2개이며, 과학적인 개념 연결로 되어있으며 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 1개이며 단순한 수준의 연결이었다. 학생 B는 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 2개, 생물권 2개, 과정 3개이며, ‘대기 중의 메탄이 식물의 광합성에 이용된다.’는 비과학적인 개념 연결을 포함하고 있으나 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 2개이며 하나의 상황에서 두 가지 방향의 결과를 생각하는 모습을 보여주었다. 학생 C는 ‘어떤 식으로든 CO₂가 생겨나서 온실효과가 일어나고, 온실 효과가 증대하여 지구 온난화가 나타나며, 기온 상승으로 빙하가 녹고, 빙하가 녹으면 해수면이 상승하고, 해수면 상승으로 바다의 면적이 증가하며, 바다의 면적이 증가하여 저지대가 침수된다.’로 인과 관계를 연결하기 전에 제시된 개념과 연상된 개념을 연결하여 문장으로 만든 것에는 대기 중에 CO₂가 생기는 과정을 여러 문장으로 표현하였으나 인과 관계 연결에 있어서는 과정을 생략하고 간단하게 어떤 식으로든 대기 중에 CO₂가 생성된다고 나타내었고, 이 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 1개, 과정 1개이며, 탄소 순환을 지구 온난화와 연결하는 시스템

적인 사고를 보였으나 탄소 순환 관련 개념의 인과 관계를 효율적으로 연결하지 못하여 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 없었다. 학생 D는 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 2개, 수권 1개, 지권 3개, 생물권 2개, 인간 활동 1개, 과정 5개이며, ‘대기 중의 CO₂가 바다에 고정된다.’는 비과학적인 개념 연결을 포함하고 있으나 지구시스템 모든 하위 영역에서 탄소 순환 관련 연결 과정을 보여주었으며 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 2개이었다. 학생 E는 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 2개, 지권 1개, 생물권 3개, 과정 7개이며, 특히 광합성으로 녹말을 생성한 식물이 땅속에 매몰되어 화석 연료가 되는 과정과 식물이 썩으면서 대기 중으로 메탄을 방출하는 2가지 방향으로 탄소의 순환 과정을 생각하였다.

‘비가 내려 대기 중의 CO₂가 바다로 들어가면 모이고 모여 석회암이 된다.’는 비과학적 개념 연결을 포함하여 탄소 순환 관련 개념을 다양한 연결 과정으로 표현하였으나 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 1개이었다. 지구시스템 하위 영역에서의 탄소 순환 과정을 인과적으로 잘 연결하지 못하였다. 학생 F는 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 1개, 지권 1개, 생물권 2개, 과정 3개이며, 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 1개이었다. 학생 G는 대기 중의 CO₂ 증가와 감소에 따른 두 가지 방향의 기후 변화를 고려하는 두 가지 경우의 시스템 사고를 수행하였으나 탄소 순환 관련 개념을 인과 관계로 연결하여 피드백하는 시스템 사고

는 보이지는 않았다. 각 유형에 따른 탄소 순환 관련 개념 수는 기권 1개, 지권 3개, 생물권 2개, 과정 3개이며, 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 없었다.

결과적으로, 탄소 순환 관련 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 7명 중 2명이 2개, 3명이 1개로 나타났으며 2명은 연결 고리를 나타내지 못하였다. 이 결과는 문병찬 등(2004)에서 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스템 관련 개념에 나타난 연결 고리 결과와 비슷하다. Maani, Maharaj (2004)는 인과지도에서 피드백 연결고리의 수가 많은 학생들의 경우 다양한 사고의 수행능력과 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높았음을 제시하였다. 이러한 맥락에서 연구에 참여한 고등학생들은 탄소 순환에 대해 시스템 사고를 적용하지 못하였거나 적용했더라도 미흡한 수준의 시스템 사고를 수행하고 있는 것으로 판단된다.

4. 그림 그리기를 이용한 탄소 순환 관련 개념

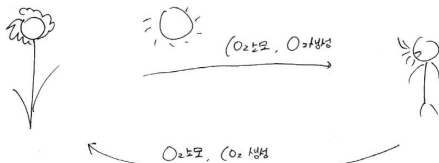


그림 2. 학생 A의 그림 그리기

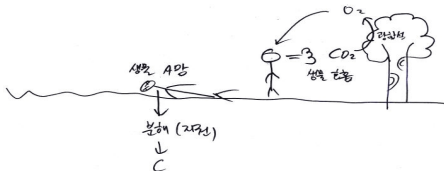


그림 3. 학생 B의 그림 그리기

학생 A는 그림 2과 같이 꽃과 사람을 그려 놓고 태양에너지를 이용하여 대기에 있는 CO₂가 식물의 광합성과 사람의 호흡을 통하여 순환되는 것을 표현하였다. 이는 탄소 순환 관련 개념이 기권 1개,

생물권 2개이고, 기권과 생물권을 2개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 1개이었다.

학생 B는 그림 3과 같이 생물이 죽어서 분해되어 땅속에 탄소가 이동하는 그림과 생물의 호흡으로 CO₂가 대기 중으로 방출되고 이것은 식물의 광합성에 이용되며 광합성 결과 생성된 O₂가 호흡에 이용되는 그림을 나타내었다. 이는 탄소 순환 관련 개념이 지권 1개, 기권 1개, 생물권 2개이며, 생물권과 지권을 1개 과정, 생물권과 기권을 2개의 과정으로 연결하였지만 지권, 기권, 생물권의 연결 관계는 표현하지 못하여 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 없었다.

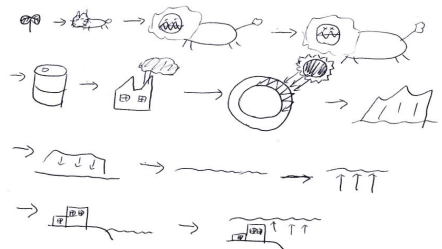


그림 4. 학생 C의 그림 그리기

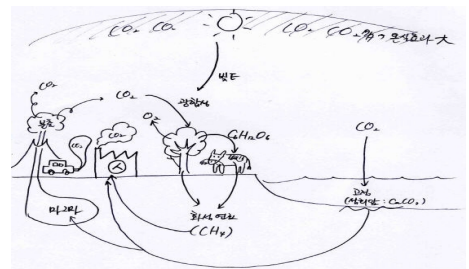


그림 5. 학생 D의 그림 그리기

학생 C는 그림 4과 같이 ‘식물을 초식 동물이 섭취하고, 초식 동물을 육식동물이 섭취하며, 육식동물의 사체가 석유가 되고, 공장에서 석유를 연소하며, 공장 매연에 있는 이산화탄소가 지구온난화를 일으키고, 지구 온난화에 의해 빙하가 녹고, 빙하가 녹아서 해수면이 상승하며, 해수면이 상승하여 저지대가 잠기어 육지 면적이 감소한다.’ 를 그

림으로 나타내었다. 그림에 나타난 탄소 순환 관련 개념은 기권 1개, 지권 2개, 생물권 3개, 인간 활동 1개이며, 생물권과 지권을 1개 과정, 생물권과 생물권을 2개의 과정으로 연결하였으나 탄소 순환 관련 개념의 인과 관계를 효율적으로 연결하지 못하여 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 없었다. 공장에서의 화석 연료 사용에 의한 대기 중 CO₂의 증가로 지구 온난화가 일어나고 이 때문에 빙하가 녹아서 육지 면적이 감소하는 것을 나타내며 지구 시스템에서 탄소 순환과 지구온난화를 고려하는 시스템 사고를 수행하였다.

학생 D는 그림 5과 같이 ‘대기 중의 CO₂가 식물의 광합성에 이용되어 포도당을 만들고, 식물과 식물을 섭취한 동물이 매몰되어 화석 연료를 만들며, 화석 연료는 공장에서 인간 활동에 의해 다시 대기 중으로 CO₂를 방출한다.’, ‘대기 중의 CO₂가 바다에 고정되어 석회암이 되고 이것은 다시 공장에서 인간 활동에 의해 대기 중으로 CO₂를 방출한다.’, ‘인간 활동에 의한 자동차 배기가스로 대기 중으로 CO₂를 방출한다.’, ‘땅속의 화석 연료와 석회암이 마그마가 되고 이것이 분출되어 대기 중으로 CO₂를 방출한다.’, ‘대기 중의 CO₂ 증가는 온실 효과를 증대시킨다.’를 그림으로 나타내었다. 그림에 나타난 탄소 순환 관련 개념은 기권 1개, 수권 1개, 지권 3개, 생물권 2개, 인간 활동 2개이며, 생물권과 지권을 1개 과정, 기권과 수권을 1개 과정, 수권과 지권을 1개 과정, 지권과 기권을 2의 과정, 생물권과 생물권을 1개 과정으로 연결하였다. 기권, 수권, 지권, 생물권, 인간 활동 모두를 고려하였으며, 탄소가 지구시스템 각각의 하위 영역에 독립적으로 존재하는 것이 아니라 상호 작용하며 순환하는 모습을 보여 주었으며 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 3개이었다. 그리고 대기 중의 CO₂ 증가로 인한 온실 효과 증대를 표현하여 탄소의 순환에서 지구온난화를 연결하는 순환적인 사고를 나타내었다.

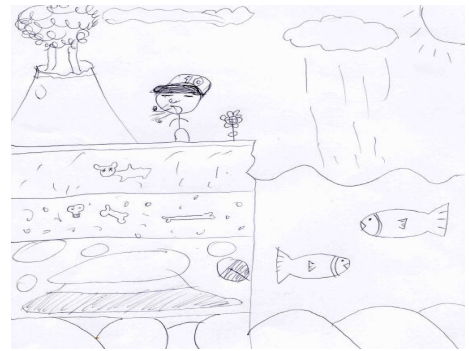


그림 6. 학생 E의 그림 그리기

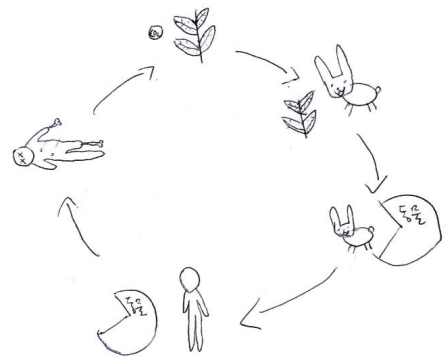


그림 7. 학생 F의 그림 그리기

학생 E는 그림 6과 같이 그림에 나타난 탄소 순환 관련 개념은 기권 1개, 수권 1개, 지권 2개, 생물권 3개이며, 개념을 연결하는 과정을 나타내지 않아서 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 없었다. 기권, 지권, 수권에서의 다양한 활동 장면들을 그림으로 나타내었고, 특히 지권을 여러 개의 층으로 나누어 구체적으로 표현하였다. 그러나 지구시스템 하위 영역에서의 연결 관계는 표현하지 못하는 미흡한 수준의 시스템 사고를 보였다.

학생 F는 그림 7과 같이 ‘식물을 초식 동물이 섭취하고, 초식 동물을 육식동물이 섭취하며, 사람이 육식 동물을 섭취하고, 사람이 죽어서 양분이 되어 식물로 이동한다.’를 그림으로 나타내었다. 그림에 나타난 탄소 순환 관련 개념은 지권 1개, 생물권 4개이며, 생물권과 생물권을 1개의 과정, 생물권과 지권을 1개의 과정으로 연결하였고, 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 1개이었다

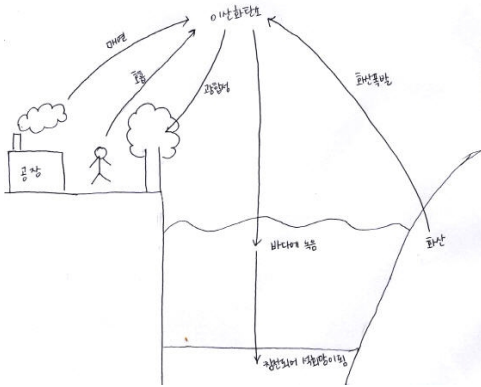


그림 8. 학생 G의 그림 그리기

학생 G는 그림 8과 같이 ‘공장의 매연으로 CO₂가 대기 중으로 방출되고, 사람의 호흡 작용으로 CO₂가 대기 중으로 방출되고, 화산 폭발로 CO₂가 대기 중으로 방출되며, 대기 중의 CO₂는 식물의 광합성에 이용되고, 대기 중의 CO₂는 바다에 녹고, 바다에 녹아있던 CO₂는 침전되어 석회암이 된다.’를 그림으로 나타내었다. 그림에 나타난 탄소 순환 관련 개념은 기권 1개, 수권 1개, 지권 2개, 생물권 2개, 인간 활동 1개이며, 생물권과 기권을 3개의 과정, 기권과 수권을 1개의 과정, 기권과 지권을 1개의 과정, 수권과 지권을 1개의 과정으로 연결하였고, 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리는 1개이었다. 지권, 기권, 수권, 생물권, 인간 활동 모두를 그려 상호 작용을 간략하게 나타내었다. 위 결과를 정리하면 표 7과 같이 나타낼 수 있다.

표 7. 그림 그리기 분석

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 D	학생 E	학생 F	학생 G
개념 수	3	4	7	9	7	5	7
기권	1	1	1	1	1	1	1
수권				1	1		1
지권		1	2	3	2		2
생물권	2	2	3	2	3	4	2
인간 활동			1	2			1
상태 변화와 과정수	2	3	3	6		2	6
연결고리수	1	0	0	3	0	1	1

단어 연상과 인과 지도, 그림 그리기를 통한 시스템 사고 검사에서 나타난 탄소 순환 관련 개념, 상태변화와 과정 개념, 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리 수는 각각의 검사에서 약간의 차이는 보이나 학생들의 시스템 사고 수행 정도는 각각의 검사지에서 거의 비슷하게 나타났다. 김동환(2004)은 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과 지도에서 피드백 연결고리가 완성되어야 한다는 것을 강조하였다. 7명 중 1명은 탄소 순환 관련 다양한 개념과 그 인과 관계를 다양하게 연결하여 피드백 연결고리를 완성하였고, 6명은 탄소 순환 관련 개념을 잘 연결하지 못하며 피드백 연결 고리를 완성하지 못하였다. 연구에 참여한 7명의 학생 중 1명은 시스템 사고를 수행하고 있으며, 6명은 시스템 사고를 거의 수행하고 못하고 있는 것으로 판단된다. 이는 Sweeney(2000)의 연구에서 많은 학생들은 높은 수준의 시스템 사고를 이해하고 적용하는 데 매우 어려움을 느끼고 있는 것으로 나타난 것과 비슷한 결과이다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 학생들이 탄소 순환을 어떻게 이해하고 있으며, 탄소 순환을 지구 시스템과 관련지어 시스템 사고를 수행하고 있는지를 알아보고자 하였다. 평준화 일반계 고등학교 2학년 중 지구과학 I을 이수한 학생 7명을 대상으로 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하고 종합하여 결론을 내리면 다음

과 같다.

첫째, 단어 연상을 통하여 나타난 탄소 순환 관련 연상된 개념은 표 3에서와 같이 기권 8개, 수권 1개, 지권 6개, 생물권 10개, 인간 활동 2개로 총 27개이며, 학생 2명을 제외한 5명이 3개 이하의 탄소 순환 관련 개념을 연상하였다. 학생들의 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정의 개념은 상태변화 2개, 과정 8개로 나타났다. 구체적으로 상태변화는 용해와 연소, 과정의 개념에는 호흡, 용해, 침전, 분출, 광합성, 섭취, 매물, 광합성이 확인되었다. 또한, 학생들의 탄소 순환 관련 시스템적 연결 고리는 표 6에서와 같이 2명의 학생이 2개의 연결고리를 나타내었고, 3명의 학생이 1개, 2명의 학생은 연결 고리를 나타내지 못하였다. 둘째, 그림 그리기를 통해서 본 탄소 순환 관련 개념은 1명의 학생이 9개의 개념을, 3명의 학생이 7개, 나머지 학생들은 각각 5개, 4개, 3개의 개념을 그림으로 표현하였다. 탄소 순환 관련 상태변화와 과정 수는 2명의 학생이 6개, 2명의 학생이 3개, 2명의 학생이 2개, 1명의 학생은 상태변화와 과정을 나타내지 못하였다. 시스템적 관점에서 사용된 연결 고리 수는 1명이 3개, 3명이 1개, 3명이 0개이었다. 학생들은 지구 시스템에서 매우 중요하게 인식되고 있는 탄소 순환에 대해서 적은 수의 개념과 연결 고리를 나타내고 있는데, 이는 시스템 사고가 미흡함을 말해주고 있는 것이다.

자연 현상은 모든 것이 연결되어 있어 단순히 하나의 개념으로 현상을 설명할 수는 없으며, 근래는 원인을 파악하고 문제를 해결하기 위해서는 전체를 볼 수 있는 지구 시스템적 사고로 설명되어지고 있기 때문에, 자연현상을 설명하고 이해시키는 과학 교육에서는 이러한 시스템적 활동이 더욱 더 필요해지고 있다. 이러한 관점에서 지구 시스템적 활동과 시스템적 사고의 향상을 위하여 교육과정의 개선이 필요하다. 시스템 사고를 향상시키기 위해서는 학생들의 개념 수준에 따른 시스템 사고 향상을 위한 프로그램 개발과 이를 평가 할 다양한 평가도구의 개발도 필요하다. 그뿐만 아니라, 시스템 사고 향상 수업을 받은 학생들의 성적 변화와 진로 선택에 있어서 높아진 시스템 사고능력이 학생들에

게 어떠한 영향을 주었는지에 대해서도 보다 구체적으로 연구할 필요성이 있다.

참고 문헌

- 권용주, 김원정, 이효녕, 변정호, 이일선(2011). 생태계에 대한 생물교사의 시스템 사고 분석. 한국생물교육학회지. 39(4), 529-543.
- 김동환(2004). 시스템사고. 서울:선학사.
- 김윤지, 정진우(2009). 지구계 교육과 소재로서 순환에 대한 이해. 한국과학교육학회지. 29(8), 951-962.
- 문병찬, 정진우, 경재복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호(2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구 시스템의 관련개념과 시스템 사고의 적용. 한국지구과학회지. 25(8), 684-696.
- 이동은, 정진우, 김윤지(2008). 고등학생들의 물 순환 과정과 구성 요소에 대한 이해. 한국과학교육학회지. 28(1), 24-31.
- 이효녕, 권용주, 오희진, 이현동(2011). 고등학생들의 시스템 사고 향상을 위한 교육프로그램 개발 및 적용 : 지구온난화를 중심으로. 한국지구과학회지. 32(7), 784-797.
- 이효녕, 김승환(2009). 과학 영재 학생들의 사고 양식에 따른 지구 시스템에 대한 인지 특성. 과학교육연구지. 33(1), 12-30.
- 정진우, 김윤지(2008). 물의 순환에 대한 초등 예비 교사들의 지구 시스템적 인식. 초등과학교육지. 27(4), 319-327.
- 정진우, 김윤지, 정구송(2007). 물의 순환에 대한 예비 지구과학 교사들의 인식. 한국지구과학회지. 28(6), 697-704.
- 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.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B-S.(2003). Effect of knowledge intergration activities on students' perception of the Earth' s crust as a cyclic system, *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-565.
- Maani, K.E & Maharaj, V.(2004). Links between systems thinking and complex decision making. *System Dynamics Review*, 20(1), 21-48.
- Sweeney L.B. & Sterman, J.D.(2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinkings inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249-286.

국 문 요 약

본 연구의 목적은 고등학생들의 지구시스템적 관점에 기반한 탄소 순환 개념을 분석하고자 한다. 이를 위한 연구 대상으로 고등학교 학생들 중 지구과학 I 교과를 이수한 학생으로 본 연구에 참여 의

사를 밝힌 7명의 학생들을 선정하여 지구시스템적 관점에 기반한 탄소 순환 개념을 분석하였다. 탄소 순환 개념 분석을 위해 학생들에게 탄소 순환과 관련된 단어 연상, 인과 지도 그리기, 그림 그리기를 실시하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫 번째, 학생들의 탄소 순환 관련 연상된 개념은 7명 중 5명이 3개 이하로 나타났다. 두 번째, 학생들의 탄소 순환 관련 상태 변화와 과정의 개념은 상태 변화 2개, 과정 8개로 나타났다. 세 번째, 학생들의 탄소 순환 관련 연결 고리는 2명의 학생이 2개, 3명의 학생이 1개의 연결 고리를 나타내었고, 2명의 학생은 연결 고리를 나타내지 못하였다. 네 번째, 그림 그리기를 통해서 본 탄소 순환 관련 개념은 1명의 학생이 9개, 3명의 학생이 7개, 나머지 학생들은 각각 5개, 4개, 3개의 개념을 그림으로 표현하였다. 이는 연구 대상 7명의 학생 중 1명은 시스템 사고를 잘 수행하고 있으며, 6명은 탄소 순환에 대한 적은 개념과 연결 고리로 시스템 사고가 미흡함을 보여준다.

학생들에게 지구 시스템과 연결된 지식이나 시스템 사고를 향상시키기 위해서는 고등학교 교육과정의 다양한 교육프로그램이 개발되어야 할 것이다.

주요어: 탄소순환, 개념, 지구시스템, 지구과학