

ORIGINAL ARTICLE

## 고등학생들의 공간지각능력에 따른 탄소 순환 개념 연구

이지은<sup>1</sup> · 한 신<sup>1\*</sup> · 박태윤<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>한국교육원대학교, <sup>2</sup>연세대학교)

### Conception of Carbon Cycle in High School Students According to the Difference of Spatial Perception Ability

Ji-Eun Lee<sup>1</sup> · Shin Han<sup>1\*</sup> · Taeyoon Park<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Korea National University of Education, <sup>2</sup>Yonsei University)

#### ABSTRACT

It is the purpose of the study to investigate how high school students understand the concept of carbon cycle according to their spatial perception ability. For this, a total of 30 male students and 33 female students, who belong to the science course of the 2nd grade at a general co-education high school located in a megalopolis of Korea and have finished the class of Earth Science I in the first semester, took part in the spatial perception ability test, and four male students and four female students were selected as members of two groups : one group of higher spatial perception ability and the other group of lower spatial perception ability, and they agreed to participate in the study and have got the test of the carbon cycle concept. The results are as followings. It was found that the students who had higher spatial perception ability recorded more scores in the carbon cycle concept, state change concept, and process concept at the factor of word association and the carbon cycle concept, state change and process concept at the factor of drawing than those who had lower spatial perception ability. Connecting link used in the systemic viewpoint was disclosed like this in the factor of causal map of those who had higher spatial perception ability : one student 2 and another one student 1 and the other two students 0 : and in the factor of drawing three students 1 and the other 0 ; But nothing was found in the factors of causal map and drawing of those who had lower spatial perception ability. In addition, it was also found that those students who had higher spatial perception ability, when compared with those students who had lower spatial perception ability, have understood the fact that carbon moves through the interaction of the earth system's lower parts; Three students, who showed higher spatial perception ability, had a low level of systemic thinking concept, and one student who had higher spatial perception ability and four students who had lower spatial perception ability did not have a systemic thinking concept.

**Key words** : spatial perception ability, carbon cycle, systemic thinking, concept

Received 30 November, 2017; Revised 25 December, 2017; Accepted 26 December, 2017

\*Corresponding author : Shin Han, Korea National University of Education, 250 Taeseongtabyeon-ro, Gangnae-myeon, Heungdeok-gu, Cheongju-city Chungcheongbuk-do, 28173, Korea

Phone: +82-10-7707-0214

E-mail: geoscience@naver.com

본 논문은 이지은의 2016년도 석사 학위논문의 내용을 발췌 정리하였음.

© The Korean Society of Earth Sciences Education . All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

1980년대 후반부터 급격하게 발달한 과학과 기술로 태풍 등에 의한 자연재해, 지구온난화, 엘니뇨 등의 많은 현상들의 원인과 과정에 대한 분석이 가능해졌을 뿐만 아니라 그 결과까지 예측할 수 있게 되었다. 이러한 자연 현상은 다양한 요인들의 상호작용으로 나타나는 복잡한 시스템의 특성을 가지고 있으며, 지구환경과 관련되어 발생하는 현상들은 지구의 기본 구성요소인 기권, 지권, 수권, 생물권, 인간 활동 사이의 상호작용에 의한 산물임이 밝혀졌다. 이에 지구를 하나의 시스템으로 인식하고 지구환경 연구에서 시스템적인 접근이나 종합적인 해석과 이해 등의 새로운 방법이 적용되었다(이창진, 2003; 이효녕과 권영륜, 2008).

시스템 사고는 어떤 공통의 과정에서 부분으로 작용하는 힘을 파악하고 그 힘들의 상호관계성을 분석할 수 있는 모든 기법, 방법, 원칙 등을 총 망라한 상당히 광범위한 지식체계를 말한다. 다시 말해, 시스템 사고란 모든 존재와 활동 일체를 시스템으로 간주하는 사고이며, 시스템의 활동은 상호 유기적으로 이루어진다고 보는 사고 또는 철학적 견해이다(문병찬 외, 2004).

시스템 사고를 갖추기 위해서는 역동적 사고(dynamic thinking)와 조작적 사고(operational thinking)가 요구된다. 역동적 사고란 어느 한 시점에서 문제가 되는 행태의 요인을 찾기보다는 시간의 흐름에 따른 문제 형태의 변화 추이를 찾으려는 사고를 말한다. 변화 추이는 장기간에 걸쳐 나타나는 것이기 때문에 쉽게 찾을 수 없다. 따라서 시스템 사고는 장기적이고 맥락적인 시각에서 특정 시점에서의 사건보다 시간의 흐름에 따른 형태 유형에 초점을 맞추게 된다(김동환, 2004). 조작적 사고란 “변화가 실제적으로 어떻게 해서 일어나는가?”에 초점을 맞추는 사고이다. 즉 시스템 작동의 메커니즘을 파악하고자 하는 것이다. 조작적 사고란 추상적이거나 수학적인 모델을 가지고 현실 변화를 예측하려는 사고가 아니라 현실 변화 과정에 무엇이 어떻게 일어나고 있는가를 파악하려는 사고이다(이효녕 외, 2011). 지구 시스템적 견해를 교수 학습하기 위해서 교사와 학생들은 시스템이라는 개념을 이해할 필요가 있으며(Ben-zvi-Assaraf와 Orion, 2005b), 서로 연

관되어 복잡한 상호작용을 이루고 있는 지구시스템 학습에서 학생들이 어떻게 이해하고 있는지 알아보는 것은 의미가 있다(문병찬 외, 2004).

지구 시스템에 관한 연구로 문병찬 외(2004)는 지구과학 예비교사들을 대상으로 화석 연료 사용의 결과로 지구 하위계에서의 탄소 순환의 개념과 시스템 사고의 적용을 조사하였다. 그 결과 탄소 순환에 대한 시스템 사고를 적용하지 못하거나 낮은 수준의 시스템 사고를 수행하고 있고, 단선적 사고나 단편적인 부분에 집중한 사고의 한계를 지적하였다. 이동은과 한신(2011)는 중학생들의 물 순환 과정과 구성요소에 대한 이해를 조사하였는데, 학생들이 지구시스템 안에서의 구성요소들을 하나의 통합된 체계로 종합하는 것을 어려워하며 단선적인 사고로 물 순환을 이해하고 있음을 보여주었다. 물 순환에 대한 지구과학 예비교사들의 인식을 연구한 정진우 외(2007)는 연구 대상 대학생들이 물 순환을 기권과 수권에서의 주된 작용으로 인식하고, 암권 및 생물권에서 물의 작용과 인간이 물 순환 구성요소로 미치는 영향에 대한 인식이 매우 부족하며, 지하에서 물 순환 과정에 대한 인식이 적다는 결과를 발표하였다. Sweeney와 Sternman(2000)의 연구에서 많은 학생들은 높은 수준의 시스템 사고를 이해하고 적용하는데 매우 어려움을 느끼고 있고, 강천덕 외(2008)는 고등학생들이 낮은 수준의 시스템 사고를 하고 있으며 내용에 대한 이해가 부족하다고 지적하였다. 그리고 이두연 외(2013)는 지구시스템에서 매우 중요하게 인식되고 있는 탄소 순환에 대한 학생들의 시스템 사고가 미흡함을 지적하였다.

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(이두연 외, 2013). 학생들이 경험하지 못하고, 경험적 공간의 한계를 넘어서는 다양한 개념들과 관련된 다양한 개념들의 이해는 공간능력의 발달과 매우 밀접하게 연관되고 있다(Black, 2005; Burton과 Mattiotti, 2011; Pretty와 Rule, 2008; Self와 Gollidge, 1994; Titus와 Horsman, 2009). 공간 능력은 공간 시각과 공간 방향의 두 요인으로 결정되는 능력이며, 공간 시각은 2차원과 3차원의 물체를 심적으로 회전하는 능력(mental representation and rotation)과 관련된 것이며, 공간 방향은 시각적 요소들을 공간적

으로 배열하거나 방향을 결정하는 능력과 관련되며 (McGee, 1979), 공간 감각, 공간 지각력, 공간 시각화 등의 용어로 사용되고 있다(이성미와 방정숙, 2007). 이를 토대로 연구자에 따라서는 시지각(visual perception) 및 심적 표상(mental representation)도 중요한 요소로 포함하는 경우도 있다(오영과 이준, 2004). 공간능력은 공간감각, 공간지각력, 공간시각화 등의 용어로도 사용되고 있으며(이성미와 방정숙, 2007), 공간 능력에 대한 정의는 연구자에 따라 조금씩 다르게 표현한다. 그러나 대부분의 연구자들은 공간능력을 공간시각과 공간방향의 두 요인이 독립적으로 존재한다는 공통된 견해를 보이고 있다. 따라서 입체적인 대상을 정신적으로 형상화하고 때 올려서 물체의 상대적 위치와 거리 관계 등을 인지할 수 있는 능력으로 공간지각능력을 정의할 수 있다.

탄소 순환과 같은 복잡한 시스템을 바르게 이해하기 위해서는 각 요소 간 상호작용을 고려한 시스템 사고의 적용이 적절하며(문병찬 외, 2004), 시간적, 공간적 측면에서 복잡한 시스템의 특징을 갖고 있는 탄소 순환을 학생들이 이해하는 데 있어 공간 지각능력이 필요하며, 학생의 공간지각능력 정도에 따라 탄소 순환에 대한 이해의 차이가 있을 것으로 판단된다. 이미 천문학 영역에서는 천문 관련 개념과 공간 능력과의 상관관계를 조사한 연구가 있었으나(김수정 외, 2012; 이석희와 이용섭, 2012; 이용섭, 2013; 이용섭과 김순식, 2012; 전만국 외, 2013), 탄소순환과 관련된 영역에서는 상관관계를 바탕으로 관련 학습 개념들이 어떻게 이해되고 있는지 조사한 연구는 구체적으로 찾아보기 어렵다.

따라서 이 연구에서는 10학년 학생들을 대상으로 공간지각능력 차이에 따라 탄소 순환 개념에는 어떠한 차이를 보이는지 알아보고자 한다.

## II. 연구 방법 및 절차

### 1. 연구 대상

Table 1. Participants' personal information

대상	학생 A	학생 B	학생 C	학생 D	학생 E	학생 F	학생 G	학생 H
성별	남	남	남	남	여	여	여	여
공간지각능력	상	상	하	하	상	상	하	하

본 연구의 연구 대상은 광역시 소재의 평준화 일 반계 남녀공학 S고등학교 2학년 학생들 중 1학기에 지구과학 I 을 이수한 자연계열 남학생 30명과 여학생 33명을 대상으로 하였다. 공간지각능력에 따른 고등학생들의 탄소 순환 개념 분석을 위하여 공간 지각능력 검사를 실시한 후 공간지각능력이 상위 25%이내와 하위 25%이내인 학생들을 각각 공간지각능력 상·하 두 집단으로 구분한 후, 본 연구에 적극적인 참여의사를 밝힌 학생들 중 공간지각능력이 높은 남학생 2명과 여학생 2명, 공간지각능력이 낮은 남학생 2명과 여학생 2명을 연구 대상으로 선정하였다(Table 1). 위 학교의 학생들을 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 파악하기 위함이다.

### 2. 검사 도구 및 분석 방법

#### 가. 공간지각능력 검사 도구

공간능력을 측정하는 검사 도구는 KTC(Korea Testing Center)에서 개발한 표준화검사인 적성검사 중 공간능력에 해당하는 총 20문항으로 검사하였다. 검사지는 4지 선다형으로 20분간 실시하였다. 이 검사지는 입체적 공간능력을 이해하는 능력을 측정하기 위한 것이며, 입체도의 평면화와 평면도의 구성화 능력을 측정하는 문항과 평면도로 된 입체를 시각으로 지각·식별하는 능력을 측정하는 문항으로 구성되어 있다. 이 문항은 머릿속으로 주어진 입체 도형을 회전하여 상상하거나 또는 투시하여 문제를 해결하는 방식으로 구성되어 있다. 이 문항의 내적 신뢰도는 0.80이며, 여러 연구에서 사용되었다(김범기 외, 1996; 이경훈과 임종욱, 2010).

#### 나. 탄소 순환 개념 검사지

본 연구에서 사용한 탄소 순환 개념 검사지는 이두

연(2013)이 지구시스템적 관점에 기반한 고등학생들의 탄소 순환 개념을 알아보기 위해 개발한 것으로 단어 연상, 인과지도, 그림 그리기로 이루어져 있다.

1) 단어 연상

단어 연상, 즉 단어 간 관계 분석은 학생들의 시스템 사고 과정과 요소를 알아보는데 유용하게 사용된다(Ben-zvi-Assaraf와 Orion, 2005b). 이 검사지의 단어 연상은 연구 대상들이 연상한 탄소 순환 개념, 상태 변화와 과정 개념을 파악하기 위한 도구이며, 단어 연상의 예시로 물의 순환이 Fig. 1과 같이 제시되어 있다. 본 연구에서 연구 대상 학생들이 알고 있는 탄소 순환 개념들을 생각나는 대로 연결하여 적도록 하였다. 그리고 연상된 개념들을 지구시스템과의 관련성에 따라 기권, 수권, 지권, 생물권으로 분류하게 하였다.

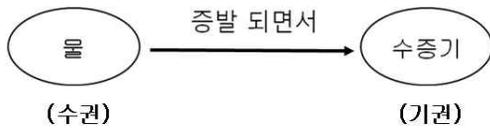


Fig. 1. Example of word associations

연구 대상 학생들을 대상으로 탄소 순환 개념 검사를 실시하여 학생들이 적어놓은 단어 연상 결과를

토대로 지구시스템의 하위영역에 관련한 탄소 순환 개념, 상태 변화 개념, 과정 개념을 직접 그 수를 헤아려 수치화 하였다. Table 2는 지구시스템의 하위영역에 따른 탄소 순환 개념을, Table 3은 상태 변화 개념과 과정 개념을 나타낸 것이며, 학생들이 표현한 탄소 순환 개념 검사를 하기 위한 것이다.

2) 인과 지도

시스템 사고를 이용하여 어떤 문제에 대해 분석을 하기 위해 사용되어지는 도구로 인과지도(casual map)와 인지지도(cognitive map)가 있다(김동환, 2004). 시스템 사고에서 말하는 시스템에는 요소와 요소와의 관계라는 의미가 담겨 있다. 즉, 시스템의 요소들 사이의 관계를 피드백 고리로 표현하고 전체의 구조를 형성하여 나타낼 수 있다.

본 연구에 이용된 검사지의 인과지도는 다음과 같은 단계에 따라 문항이 구성되어 있다. 첫째, 연구 대상들은 탄소 순환 개념들을 이용하여 탄소 순환에 대해 하나의 문장을 만들어 본다. 둘째, 탄소 순환 인과지도를 작성하도록 한다. 인과지도 그리기에서 시스템적 관점에서 사용된 연결고리를 수치화하였으며, 탄소 순환 개념을 지구시스템 각 하위영역 별로 그 개수를 파악하여 수치화하였다.

3) 그림 그리기

Table 2. Carbon cycle concept for each type

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	화석 연료소비, 공장 매연, 자동차 운동

Table 3. State change and process concept according to each type

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

그림 그리기 또한 학생들의 주어진 주제에서 발생하는 현상에 대한 생각을 알아보는데 유용하게 이용된다(김윤지와 정진우, 2009). 그림으로 표현할 수 있기 때문에 연구 대상자들의 시스템 사고 분석에도 용이하게 사용될 수 있으며, 지구시스템에서 일어나는 탄소 순환에 대해 연구 대상자들의 종합적인 사고 과정과 함께 단어 연상이나 인과지도에서 볼 수 없었던 사고 과정도 볼 수 있다. 그림 그리기 능력의 한계에 의한 영향을 줄이기 위해 최대한 많은 항목을 그림에 넣도록 하였다. 연구 대상 학생들의 그림은 탄소 순환 개념과 지구시스템을 구성하는 하위 영역에서의 상태 변화와 과정 개념, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리 수를 파악하여 분석하였다.

#### 4) 면담

비구조화된 형태의 면담을 통해 이 연구에 참여한 학생들이 작성한 검사지의 모든 영역에서 미흡한 부분이나 특정 영역에 대한 학생들의 세밀한 생각과 의견을 수집하여 기록하였다.

### III. 연구 결과 및 논의

#### 공간지각능력이 높은 학생들의 탄소 순환 개념

##### 가. 단어 연상

A 학생은 ‘탄소→금강석→다이아몬드, 탄소→흑연→연필심, 탄소→더욱 단단한 철→각종 다리 철도 등등에 쓰임, 탄소→이산화탄소→산소→이산화탄소, 탄소→일산화탄소’의 개념을 보였으며, 탄소 순환 개념을 생물권과 기권, 지권과 지권의 상호작용으로 연결하였다.

B 학생은 ‘생물체 유기물→석탄, 대기 중의 CO<sub>2</sub>→석회암, CO<sub>2</sub>→C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>→CO<sub>2</sub>’와 같이 연상하였다. 이는 탄소 순환 개념을 단선적인 사고로 연결하여 표현하고 있어 이동은과 한신(2011)과 비슷한 결과를 보이고 있다. 즉, 이동은과 한신(2011)에서 중학생들은 물의 순환 과정과 구성요소에 대해 단선적 사고로 이해하고 있었는데 이것은 본 연구의 탄소 순환과 비슷한 연구 결과이다. 이는 학생들이 지구계에 대한 거시적 개념이 결핍되었기 때문인 것으로 판단된다.

E 학생은 ‘수증기→구름→비→하천·바다, 동·식물→화석연료→CO<sub>2</sub>→O<sub>2</sub>’로 표현하였다. 연상된 개념들 중에서 ‘수증기→구름→비→하천·바다’는 물의 순환으로 탄소 순환과는 관련이 없음을 면담을 통해 확인하였고, 이는 물의 증발과 응결의 탄소의 순환과 연결하는 오개념으로 판단된다.

F는 ‘포도당→이산화탄소, 마그마→이산화탄소, 이산화탄소→석회암’으로 연상하였다. 연상된 개념들 중 석회암을 수권으로 분류하였는데 이는 연상된 개념들 중 ‘이산화탄소→석회암’은 ‘이산화탄소가 물에 녹으면서 석회암이 된다.’는 의미임을 면담을 통해 확인하였다. 이산화탄소가 물에 녹아들어 석회암이 되는 과정에 대해 정확하게 알고 있지 못하였으며, 탄소 순환 개념 검사지에 석회암을 수권으로 분류하여 적었지만 면담을 통해 석회암을 지권으로 분류할 수 있다는 것을 확인하였다.

공간지각능력이 높은 학생들의 단어 연상에 나타난 결과를 정리하면 Table 4와 같이 나타낼 수 있다. 탄소 순환 개념은 18개로 나타났으며 생물권이 인간 활동을 포함하여 7개로 가장 많았고, 지권이 6개, 기권이 5개, 수권이 0개로 나타났다. 이는 기권에 관련하여 가장 많은 개념과 지권에 관련하여 가장 적은 개념이 나타난 문병찬 외(2004)의 탄소 순환에 대한 예비교사들의 인과지도 분석 결과와는 차이가 있다. 이는 본 연구에서 학생들이 유기물을 C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>과 포도당으로, 생물을 동물과 식물, 생명체 등으로 다양하게 활용하였기 때문으로 파악된다. 인간 활동과 관련된 개념이 1개로 나타났는데 이는 탄소 순환에 인간 활동의 작용과 영향에 대한 인식이 부족하기 때문으로 판단되며, 정진우 외(2007)에서 예비 지구과학 교사들이 물의 순환에 미치는 인간 활동의 영향을 매우 낮게 인식하고 있는 결과와 동일한 맥락이다. 또한 문병찬 외(2004)의 예비교사들의 인과지도 분석에서는 수권과 관련한 개념이 나타났지만 본 연구의 공간지각능력이 높은 학생들은 수권과 관련한 탄소 순환 개념을 연상하지 못했다. 이에 대해 면담을 통해 확인한 결과 학생 2명은 탄소가 물에 녹아 존재함을 알고 있었지만 단어 연상에 작성하지 않았고, 나머지 학생 2명은 수권에서 탄소가 어떤 형태로 존재하는지 알지 못했다. 이러한 차이는 고등학생들과 예비교사의 사고 수준 차이에 있는 것으로 판단된다. 상태 변화 개념은 2명이 1개, 2명은 0개, 과정 개념은 4명 모두 3개로 동

일하게 나타났다. 고등학생들의 지구온난화에 대한 시스템 사고를 확인한 이효녕 외(2011)에서 시스템 사고 향상을 위한 교육프로그램 적용 전에 나타난 과정 개념보다 적었다. 이러한 결과는 지구온난화가 전 지구적 환경 문제로 다뤄지면서 사회적인 관심이 높아진데 비해 탄소 순환에 대한 학생들의 관심은 적기 때문으로 판단된다.

#### 나. 인과지도

A는 ‘화석 연료를 태우니까 CO<sub>2</sub>가 발생하여 대기 중 CO<sub>2</sub>가 축적되고, 온실 효과로 지구의 기후가 높아져 극지방의 빙하가 녹아 해수면이 높아진다. 이 때문에 인간의 삶의 터전이 줄어들고 이로 인해 인구가 감소하고 극지방 동물도 멸종하게 된다. 인구가 줄어들기 때문에 화석연료의 사용이 엄청나게 줄어든다.’와 같이 탄소 순환을 지구 기후변화와 인구 수의 변화로 연결하는 시스템적인 사고를 보였다. 그러나 탄소 순환 개념의 인과 관계를 효율적으로 연결하지 못하여 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 나타나지 않았다. 김동환(2000)은 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조하였는데, 이러한 맥락에서 학생 A는 인과지도로 볼 때 시스템 사고 개념이 거의 없다고 판단된다.

B는 ‘인간이 호흡을 하면 부산물로 CO<sub>2</sub>가 방출되고, 이로 인해 CO<sub>2</sub>가 증가한다. 식물이 광합성을 통해 CO<sub>2</sub>를 이용하여 CO<sub>2</sub>가 감소하게 된다.’로 제시된 개념과 연상된 개념을 연결해 만든 문장에서도 ‘식물이 광합성을 하여 CO<sub>2</sub>가 유기물이 된다.’로 표현하였다. 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강

조한 김동환(2000)의 견해로 볼 때, 학생 B는 시스템 사고 개념이 없는 것으로 판단된다.

E는 단어 연상에서와 마찬가지로 물 순환과 관련된 인과지도를 작성하였는데 면담을 통해 탄소 순환과는 관련이 없는 것을 확인하였다. 인과지도에서 ‘식물이 광합성을 할 때 태양에너지와 CO<sub>2</sub>를 사용하여 O<sub>2</sub>가 생성된다. 인간과 동물, 식물이 세포호흡을 할 때 O<sub>2</sub>를 사용하여 CO<sub>2</sub>가 방출되고 다시 CO<sub>2</sub>는 광합성을 할 때 이용된다. 유기물이 지층에 쌓이면서 화석이 생성되고 화석 연료를 사용 하게 되면 CO<sub>2</sub>가 방출되고 다시 식물의 광합성에 이용된다.’로 표현하였다. Manni와 Maharaj(2004)는 인과지도의 피드백 순환고리의 수가 많은 학생들은 시스템 특성에 대한 이해 정도와 다양한 사고 수행능력이 높다고 하였다. 이러한 맥락에서 학생 A는 시스템 사고를 하고 있으나 시스템적 관점에서 사용된 연결고리가 1개에 불과하여 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높지 않으며, 시스템 사고 개념이 낮은 수준으로 판단된다.

F는 ‘화산폭발이 일어나 대기 중으로 CO<sub>2</sub> 가스가 방출된다. 화산 폭발에 의한 이산화탄소와 화석 연료의 연소로 발생된 메탄 가스에 의해 지구 온난화가 일어나며, 프레온 가스도 이산화탄소 가스를 만드는데 기여를 해서 지구 온난화에 의해 빙하가 녹아서 감소한다. 감소된 빙하는 바다로 유입된다. 또한 CO<sub>2</sub> 가스가 바다로 유입되어 석회암이 형성되고 부식(화학적 풍화)이 일어나서 석회 동굴이 형성되면 석회 동굴 내부의 생명체가 증가하고 생물의 호흡이 더 증가하여 대기 중으로 CO<sub>2</sub> 가스가 방출된다. 방출된 CO<sub>2</sub> 가스는 지구 온난화를 일으키거나 식물의 광합성에 쓰인다.’ 같이 가장 많은 시스템 관점에서 사용된 연결고리가 나타났으나 비과학적

Table 4. Word association analysis of students with high spatial perception ability

	학생 A	학생 B	학생 E	학생 F
기권	2	1	1	1
수권				
지권	2	2		2
생물권		3	2	1
인간 활동			1	
Total	4	6	4	4
상태 변화	1		1	
과정	3	3	3	3
Total	4	3	4	3

인 개념 연결을 포함하고 있으며, 인과지도의 피드백 순환고리의 수가 많은 학생들일수록 다양한 사고 수행능력과 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높다고 제시한 Manni와 Maharaj(2004)의 견해로 비추어 볼 때, 학생 F는 시스템 사고 개념이 낮은 수준으로 판단된다.

공간지각능력이 높은 학생들의 인과지도에서 나타난 결과를 정리하면 Table 5와 같이 나타낼 수 있다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 공간지각능력이 높은 학생들 4명중 1명이 2개, 1명이 1개, 2명은 연결고리를 나타내지 못하였다. 문병찬 외(2004)의 탄소 순환에 대한 예비교사들의 인과지도 분석 결과에서 피드백 순환고리가 완성된 학생은 2명으로 나타난 것과 같은 결과이다. 김동환(2000)은 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조하였다. 이러한 견해로 볼 때, 인과지도에서 다양한 개념을 연결하여 2개의 연결고리를 완성한 학생 1명은 시스템 사고 개념이 있지만 비과학적인 개념 연결을 포함하고 있어 그 수준이 높지 않은 것으로 판단되며, 1개의 연결고리를 완성한 학생 1명 또한 시스템 사고 개념의 수준이 낮다고 판단된다. 또한 연결고리를 완성하지 못한 2명은 시스템 사고 개념이 거의 없다고 판단된다.

#### 다. 그림 그리기

A는 Fig. 2와 같이 화산 폭발, 인간의 호흡, 화석 연료의 사용, 석회암에 묶은 염산을 떨어뜨리는 그림으로 이산화탄소 발생을 표현하였으며 그림의 중앙에는 식물의 광합성을 통해 CO<sub>2</sub>와 빛과 물이 만나면 산소와 포도당으로 바뀐다는 것을 표현하였다. 그림의 오른쪽에는 산소를 이용하여 인간 및 동물

의 호흡과 인간의 음식(포도당) 섭취를 표현하였다. 그림들을 연결하는 선이나 화살표가 없이 각각 그려져 있었으나 면담을 통해 각각의 그림은 서로 연결되어 있으며 특히 ‘집에 화초를 키울 경우 사람이 집에서 생활 할 때 CO<sub>2</sub>가 나오면 화초들이 CO<sub>2</sub>와 물과 빛을 이용해서 포도당과 산소를 만드는데 그 산소를 다시 사람이 호흡을 하기 때문에 순환된다.’라고 그림을 설명하였다. 또한 학생 A는 면담을 통해 ‘화산 발생, 화석 연료의 사용, 묶은 염산을 석회암에 떨어뜨리는 과정에서 발생한 CO<sub>2</sub>는 식물의 광합성에 쓰여 산소를 발생시키고 이 산소가 인간 및 동물의 호흡과 인간의 음식물(포도당) 섭취로 이어지지만 탄소 순환이 일어나지 않는다.’고 설명하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 지권 2개, 생물권 4개, 인간 활동 1개이고, 지권과 기권을 3개, 생물권과 기권을 2개, 생물권과 생물권을 1개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 1개로 나타났다. 김동환(2000)은 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조하였다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리가 인과지도에서는 없었으며 그림 그리기에서 1개가 나타난 것으로 볼 때, 학생 A의 시스템 사고 개념은 낮은 수준으로 판단된다.

B는 Fig. 3과 같이 ‘태양에너지를 통해 식물이 태양에너지와 CO<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>를 이용해서 유기물인 포도당을 만들고, 식물 역시 세포호흡을 해서 그 유기물을 에너지로 만들기 위해서 다시 분해한다.’고 표현하였다. 그리고 ‘인간도 세포호흡을 해서 CO<sub>2</sub>를 방출한다.’는 것을 그림과 화학식으로 표현하였다. 그림을 연결하는 선이나 화살표가 나타나있지 않아 그림 중에서 연결되는 부분이 있는지 면담을 통해 확인한 결과 ‘인간의 날숨으로 방출한 CO<sub>2</sub>를 식물이 이용하여 광합성을 해서 유기물을 합성한다.’라고

Table 5. Causal Maps of Students with high spatial perception ability

	학생 A	학생 B	학생 E	학생 F
기권	1	1	1	2
수권				
지권				3
생물권		2	4	2
인간 활동	1		1	1
상태변화와 과정	1	2	3	5
연결 고리			1	2

설명을 하였으나 탄소 순환이 일어남을 설명하지는 못하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 생물권 3개이며, 기권과 생물권을 2개의 과정으로 연결하였으나 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 없었다. 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조한 김동환(2000)의 견해로 볼 때, 인과지도와 그림 그리기에서 시스템적 관점에서 사용된 연결고리를 나타내지 못한 학생 B는 시스템 사고 개념이 없는 것으로 판단된다.

E는 Fig. 4와 같이 ‘식물이 태양에너지와 공기 중의 이산화탄소를 이용하여 광합성을 해서 산소가

배출되고 이 산소는 또 동물과 식물의 세포호흡에 이용되어 CO<sub>2</sub>가 생성되는 순환이 반복된다.’는 것으로 표현하였다. 또 ‘유기물들이 지층에 쌓이면서 화석이 생성되고 화석 연료를 태우면서 배출된 CO<sub>2</sub>는 다시 식물의 광합성에 이용되는 순환이 이루어진다.’는 것으로 표현하였다. 물 순환을 함께 그렸으나 물 순환은 탄소 순환과 관계없음을 면담으로 확인하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 지권 1개, 생물권 3개, 인간 활동 1개이며, 생물권과 기권을 2개, 생물권과 지권을 1개, 지권과 기권을 1개의 과정으로 연결하였고 시스템적 관점에서 사용된 연결고리

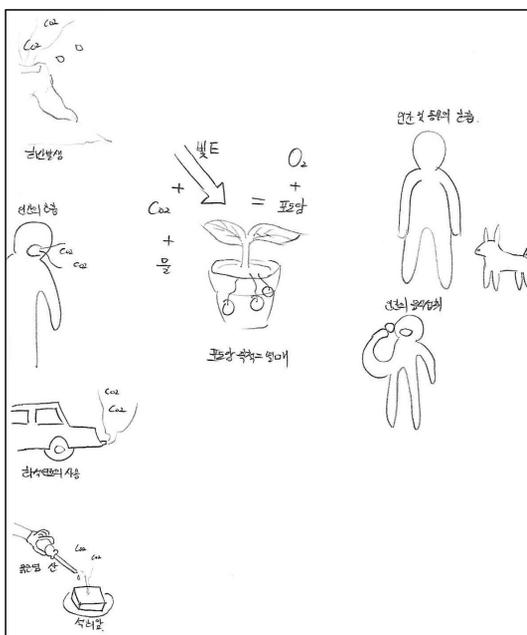


Fig. 2. Student A's Drawing

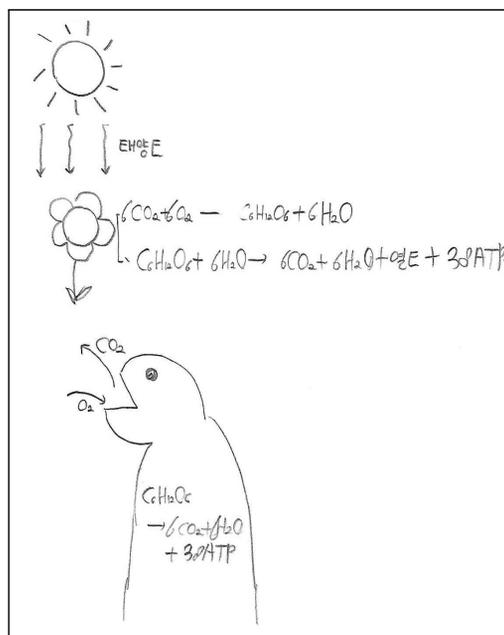


Fig. 3. Student B's Drawing

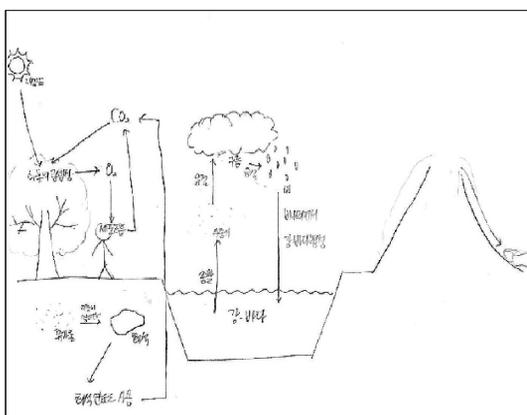


Fig. 4. Student E's Drawing

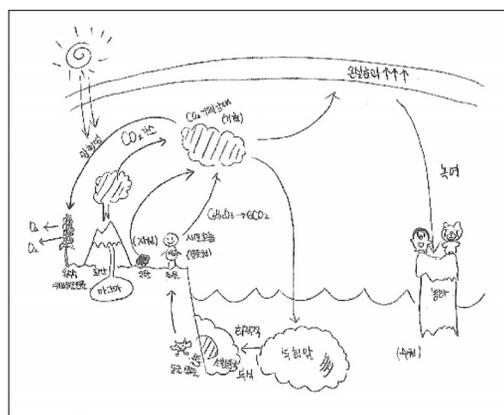


Fig. 5. Student F's Drawing

는 1개로 나타났다. 인과지도의 피드백 순환고리의 수가 많은 학생들은 다양한 사고 수행능력과 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높다고 한 Manni와 Maharaj(2004)의 견해로 비추어 볼 때, 학생 E는 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높지 않고 시스템 사고 개념이 낮은 수준으로 판단된다.

F는 Fig. 5와 같이 ‘화산 폭발, 석탄의 연소, 사람과 동물의 호흡에 의해 CO<sub>2</sub>가 방출된다. 방출된 CO<sub>2</sub>는 식물의 광합성에 쓰여 O<sub>2</sub>가 발생되고 바이오 연료로도 전환될 수 있으며, 또한 CO<sub>2</sub>가 바다로 들어가 석회암이 된다. 석회암은 화학적 풍화로 석회 동굴로 되고 동굴 생물들이 증가하여 세포호흡을 통해 CO<sub>2</sub>가 방출되는 순환을 한다. CO<sub>2</sub>는 온실효과를 부추겨 지구 온난화를 일으키고 빙하를 녹여 빙하에 살고 있는 생명체의 수가 줄어든다.’고 표현하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 지권 3개, 생물권 3개, 인간 활동 1개이고, 지권과 기권을 2개, 기권과 생물권을 2개, 기권과 수권을 1개, 지권과 수권을 1개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 1개로 나타났다. 화산 폭발, 석탄의 연소, 사람과 동물의 호흡에 의해 CO<sub>2</sub>가 온실효과를 부추겨 지구 온난화를 일으킨다는 것은 지구시스템에서 탄소 순환과 지구 온난화를 고려하는 시스템적인 사고로 볼 수 있다. 그러나 Manni와 Maharaj(2004)는 시스템 사고에 관련된 연구에서 인과지도의 피드백 순환고리의 수가 많은 학생들일수록 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높다고 하였다. 이러한 맥락에서, 학생 F는 시스템적 관점에서 사용된 연결고리가 인과지도에서 2개, 그림 그리기에서 1개로 시스템 사고 개념이 있으나 시스템 특성에 대한 이해 정도와 시스템 사고 개념의 수준이 낮다고 판단된다.

공간지각능력이 높은 학생들의 그림 그리기에서

나타난 결과를 정리하면 Table 6과 같이 나타낼 수 있다. 그림 그리기에서 나타난 탄소 순환 개념은 26개, 상태 변화와 과정은 18개로 단어 연상이나 인과지도에서보다 더 많이 나타났다. 이는 단어 연상이나 인과지도로 표현하지 못했던 것을 그림을 통해 쉽게 표현할 수 있었기 때문으로 판단된다. 그러나 수업 시간에 배운 내용 이외의 내용은 찾아보기 어려웠는데, 이는 강천덕 외(2008)에서 고등학생들의 물의 순환에 대한 지구시스템 관련 개념과 시스템 사고를 조사한 결과와 비슷하다. 그림 그리기에서 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 3명이 1개, 1명이 0개로 나타났다. Manni와 Maharaj(2004)의 연구에서 인과지도의 피드백 순환고리의 수가 많은 학생들은 다양한 사고 수행능력과 시스템 특성에 대한 이해 정도가 높다고 제시하였다. 이러한 맥락에서 본 연구에 참여한 공간지각능력이 높은 학생 3명의 시스템 사고 개념은 낮은 수준으로 판단되며, 1명은 탄소 순환에 대해 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다. 이것은 Sweeney와 Sterman(2000)의 연구에서 높은 수준의 시스템 사고를 이해하고 적용하는 데에 학생들이 매우 어려움을 느끼는 결과와 비슷하다.

## 2. 공간지각능력이 낮은 학생

### 가. 단어 연상

C는 단어 연상에서 연상된 개념들은 물의 순환과 관련된 것으로서 탄소 순환 개념은 찾아볼 수 없어서 탄소 순환과 관련이 있는지 면담을 통해 확인한 결과 학생 C는 탄소 순환에 대한 이해가 매우 부족하였다. 학생 C의 탄소 순환 개념이 전혀 없었다. 탄소 순환 개념을 ‘태양열발전, 햇빛, 나무, 생물, 산소, 생물들이 살아가는 중요한 것, 바람, 풍력발전’으로

Table 6. Drawing analysis of Students with high spatial perception ability

	학생 A	학생 B	학생 E	학생 F
기권	1	1	1	1
수권				
지권	2		1	3
생물권	4	3	3	3
인간 활동	1		1	1
상태변화와 과정	6	2	4	6
연결 고리	1		1	1

연결하여 나타냈으며, 면담을 통해 이러한 개념들이 탄소 순환과 관련이 있는지 질문을 하였으나 탄소에 대해 생각하지 않고 생물권만 생각하여 작성하였다고 답하였다. 즉, 탄소 순환과 관계가 없는 개념들을 연결한 것이었으며, 상태 변화와 과정 개념은 나타나지 않았다.

D는 단어 연상에서 ‘화산폭발→이산화탄소’로 연상하면서 기권 1개, 지권 2개로 연상하였다. 이는 이동은과 한신(2011)에서 중학생들이 물의 순환 과정과 구성요소에 대해 단선적 사고로 이해하고 있는 결과와 비슷하다. 그리고 탄소 순환 개념을 ‘화산폭발에 의해 이산화탄소가 대기로 유입된다.’로 지권과 기권의 상호작용으로 연결하였으며, 상태 변화와 과정 개념은 과정 개념 1개로 나타났다.

G는 단어 연상에서 탄소 순환 개념을 ‘사람→CO2’로 탄소 순환 개념을 단선적인 사고로 연결하여 표현하고 있는 것으로 이동은과 한신(2011)의 연구 결과와 비슷하다. 이것은 학생 G가 지구시스템과 탄소 순환에 대한 이해가 부족하기 때문으로 생각된다. 그리고 탄소 순환 개념을 ‘사람이 호흡을 하면서 CO2가 나온다.’와 같이 생물권과 기권의 상호작용으로 연결하였다.

H는 탄소 순환 개념 검사지에 표현한 것만으로 탄소 순환 개념을 파악하는데 어려움이 있어 면담을 통해 확인하였다. 학생 H는 탄소 순환 개념을 ‘빙하→물, 구름→비’로 표현하였다. 연상된 개념들이 탄소 순환과 관련이 있는지 묻는 질문에 잘 모르겠다고 답하였으나, 이후 다시 빙하, 물, 구름, 비에 탄소가 들어있는지를 묻는 연구자의 질문에 빙하와 구름에 탄소가 있다는 답을 하였다. 또, 빙하가 물이 되는 과정과 구름이 비로 되는 과정에서 탄소는 어

떻게 되는지 묻자 탄소가 없어진다고 답을 하였으나 학생은 왜 탄소가 없어지는지에 대해 충분히 설명하지 못하고 모르겠다고 답변하였다. 면담에서 학생의 답변을 살펴볼 때, 학생 H는 물의 순환과 탄소 순환을 제대로 이해하지 못하고 혼돈하고 있는 것으로 판단된다. 또한 빙하를 지권으로 알고 있는 오개념이 나타났으며, 탄소 순환 개념이 나타나지 않았다.

공간지각능력이 낮은 학생들의 단어 연상에 나타난 결과를 정리하면 Table 7과 같이 나타낼 수 있다. 탄소 순환 개념은 4개로 나타났으며 기권이 2개, 지권이 1개, 생물권이 1개, 수권과 인간 활동에 대해서는 나타나지 않았으며, 과정 개념은 2개, 상태 변화 개념은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 이두연 외(2013)에서 시스템적 관점에 기반한 고등학생들의 탄소 순환 개념 분석 결과보다 매우 적게 나타난 것이다. 이러한 차이는 공간지각능력이 낮은 학생들의 탄소 순환에 대한 이해 정도와 사고 수준이 낮은 데에서 비롯되었다고 판단되며, 학생 C와 H는 탄소 순환과 물 순환을 구분하여 이해하지 못하고 혼돈하고 있는 것으로 나타났다. 또한 인간 활동과 관련된 개념이 전혀 나타나지 않았다. 이는 탄소 순환에 인간 활동의 작용과 영향에 대한 인식이 매우 부족하기 때문으로 판단되며, 정진우 외(2007)에서 예비 지구 과학 교사들이 물의 순환에 미치는 인간 활동의 영향을 매우 낮게 인식하고 있는 결과와 비슷하다.

나. 인과지도

학생 C는 ‘식물이 태양에너지를 받아 광합성을 하면서 이산화탄소를 빨아들이고 산소를 내뿜어서 동물이나 인간이 그 산소를 마시고 이산화탄소를

Table 7. Word association analysis of students with low spatial perception ability

	학생 C	학생 D	학생 G	학생 H
기권		1	1	
수권				
지권		1		
생물권			1	
인간 활동				
Total	0	2	2	0
상태 변화				
과정		1	1	
Total	0	1	1	0

대기 중으로 방출시켜서 지구 온실효과가 나타나고 빙하가 녹아서 해수면이 상승한다.’로 표현하였는데, 이를 통해 볼 때 시스템 관점에서 사용된 연결고리는 나타나지 않았다. 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조한 김동환(2000)의 견해로 볼 때, 학생 C는 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다.

학생 D는 ‘인간의 화석 연료 사용으로 이산화탄소가 발생해서 지구 온난화 속도가 급증되어 지구가 더워진다. 봄과 가을의 개념이 점차 사라지게 되고 여름과 겨울만 남게 되어 사람들이 견디기 힘든 기후가 된다.’로 표현하였지만, 학생 D 역시 시스템 관점에서 사용된 연결고리는 없었다.

학생 G의 경우, 인과지도를 처음 접하는 학생도 작성할 수 있도록 탄소 순환 개념 검사지에 인과지도의 예시가 제시되어 있었으나 학생 G는 작성하지 못하였으며, 인과지도를 작성하기 전에 작성한 문장에서 ‘화산이 폭발하면 마그마에서 화석 연료가 굳어서 석회암이 된다.’와 같이 비과학적인 개념 연결과 오개념을 보였다. 즉, 학생 G는 탄소 순환에 대해 단편적인 개념을 지구시스템의 하위영역의 상호작용으로 연결하지 못 할 뿐만 아니라 오개념을 갖고 있었다. 이것은 공간능력이 낮은 학생이 지구자전에 관해 암기된 단편적인 개념을 입체적인 우주공간과 연결하지 못하고 잘못된 개념을 많이 갖고 있다고 한 이경훈과 임종욱(2010)과 같은 맥락으로 보아도 무리가 없다고 판단된다.

학생 H는 ‘자동차 매연이 나오면 CO<sub>2</sub>가 증가한다. 그러면 기온이 상승해서 지구 온난화가 일어난다.’로 표현하였으며, 인과지도에 나타난 탄소 순환 개념은 기권 1개, 인간 활동 1개이며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 나타나지 않았다.

공간지각능력이 낮은 학생들의 인과지도에 나타

난 결과를 정리하면 Table 8과 같이 나타낼 수 있다. 공간지각능력이 낮은 학생들 3명은 시스템적 관점에서 사용된 연결고리를 나타내지 못하였고, 1명은 인과지도를 작성하지 못하였다. 이동은과 한신(2011)에서 중학생들이 지구시스템에 관한 이해도가 낮고 단선적인 사고로 물 순환을 이해하고 있었는데, 시스템 관점에서 사용된 연결고리를 나타내지 못한 학생 3명의 결과와 일치한다. 인과지도를 작성하지 못한 1명의 학생을 포함하여 공간지각능력이 낮은 학생들 모두 지구 시스템에 관한 이해 정도가 낮고 시스템 사고보다 단선적인 사고로 탄소 순환을 이해하고 있다고 판단된다. 김동환(2000)은 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조하였는데 이러한 견해로 볼 때, 공간지각능력이 낮은 학생들 모두 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다. 또한 3명의 학생에게서 오개념을 볼 수 있었는데, 이것은 이효녕 외(2012)에서 공간지각능력이 낮은 학생들은 판운동관련 개념에 많은 오개념이 있다는 결과와 같은 맥락으로 볼 수 있다.

**다. 그림 그리기**

학생 C는 Fig. 6과 같이 ‘화산이 폭발하면 대기 중으로 메탄가스가 방출되고 화산재가 태양빛을 가려서 기온이 내려가 빙하가 증가한다.’고 표현하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 지권 1개이며, 지권과 기권을 1개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 없었다. 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조한 김동환(2000)의 견해로 비추어 볼 때, 학생 C는 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다.

Table 8. Causal Maps of Students with high spatial perception ability

	학생 C	학생 D	학생 G	학생 H
기권	1	1		1
수권				
지권				
생물권	3			
인간 활동		1		1
상태변화와 과정	2			
연결 고리				

학생 D는 Fig. 7과 같이 ‘인간의 화석 연료 사용으로 이산화탄소가 발생해서 지구 온난화 속도가 급증되어 지구가 더워지며 봄과 가을의 구분이 힘들게 되어 여름 겨울만 남아 너무 덥거나 추워진다. 그리고 오존층이 파괴되어 너무 덥거나 너무 추워지게 되고, 사람들이 견디기 힘든 기후가 된다. 오존층 파괴로 방사능이 누출되고 DNA의 이상이 발생하며 대기 중 방사능으로 인해 인간의 질병이 발생하고 지구가 멸망할 수도 있다.’고 표현하였는데, 지구 온난화로 인해 오존층이 파괴된다는 오개념을 보여주었다. 이는 지구온난화를 중심으로 고등학생들의 시스템 사고를 연구한 이효녕 외(2011)에서 나타난 오개념과 비슷하며, 또한 이효녕 외(2012)에서 공간지각능력이 낮은 학생들은 판 운동 관련 개념

에 많은 오개념이 있다는 결과와 같은 맥락으로 보아도 무리가 없을 것이다. 학생 D의 그림에서는 탄소 순환 개념이 기권 1개, 인간 활동 1개이며, 지권과 기권을 1개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 나타나지 않았다. 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조한 김동환(2000)의 견해로 볼 때, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리가 인과지도와 그림 그리기에서 나타나지 않은 학생 D는 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다.

학생 G의 Fig 8은 ‘연탄을 태우면 공기 중으로 CO2가 방출된다.’는 것을 표현한 것으로 탄소 순환이 일어나는 과정으로 표현하지는 못하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 인간 활동 1개이고, 지권과

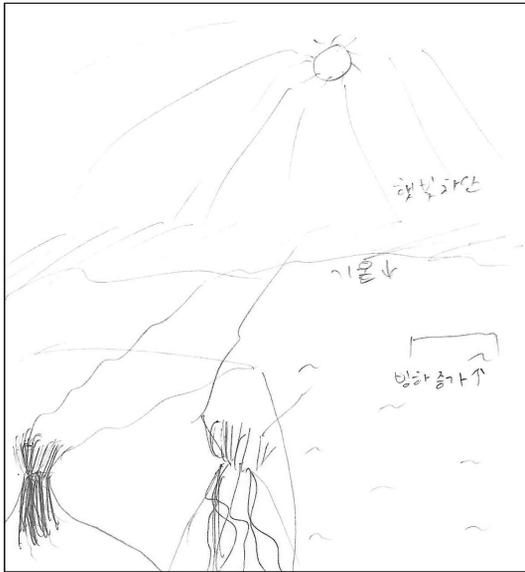


Fig. 6. Student C's Drawing

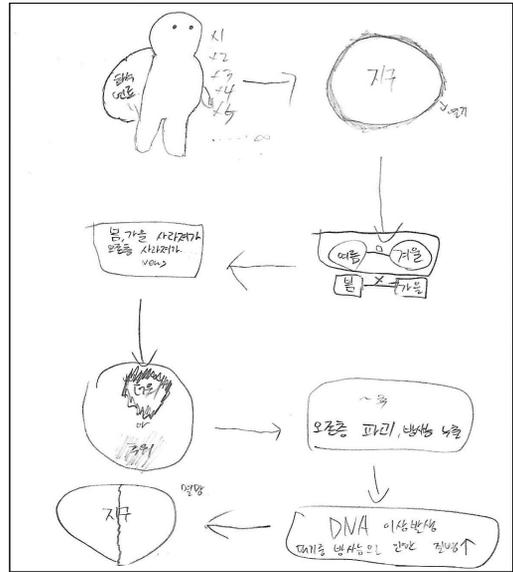


Fig. 7. Student D's Drawing

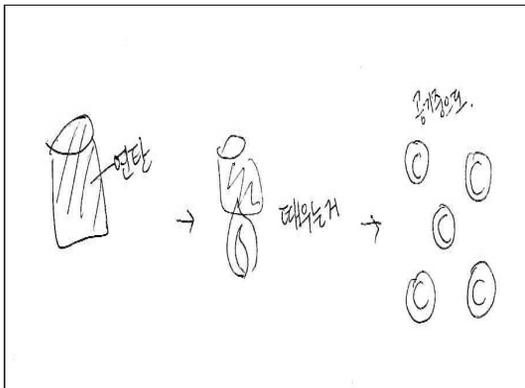


Fig. 8. Student G's Drawing

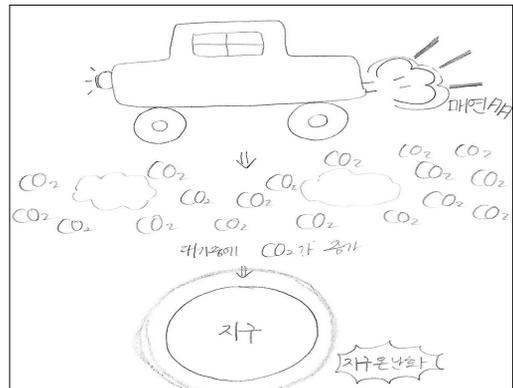


Fig. 9. Student H's Drawing

기권을 1개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 나타나지 않았다. 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조한 김동환(2000)의 견해에 비추어 보았을 때, 학생 G는 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다.

학생 H는 그림 9와 같이 ‘자동차에서 매연이 나오면 대기 중에 CO2가 증가하여 지구 기온이 상승하여 지구 온난화가 일어난다.’고 그림을 표현하였다. 탄소 순환 개념이 기권 1개, 인간 활동 1개이고, 지권과 기권을 1개의 과정으로 연결하였으며, 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 나타나지 않았다. 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 시스템 사고를 수행할 수 있다고 강조한 김동환(2000)의 견해에 비추어 보았을 때, 학생 H는 시스템 사고 개념이 없다고 판단된다.

공간지각능력이 낮은 학생들의 그림 그리기에서 나타난 결과를 정리하면 Table 9와 같이 나타낼 수 있다. 그림 그리기에서 탄소 순환 개념은 8개, 상태 변화와 과정 개념은 4개로 나타났다. 이 결과는 이 두연 외(2013)의 그림 그리기에 나타난 결과에 못 미치는 것으로 공간지각능력이 낮은 학생들의 탄소 순환에 대한 이해 정도와 사고 수준이 낮은 데에 원인이 있는 것으로 파악된다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 전혀 나타나지 않았다. 김동환(2000)은 시스템 사고를 수행하기 위해서는 인과지도에서 피드백 순환고리가 완성되어야 한다고 강조하였는데, 이러한 맥락에서 본 연구에 참여한 공간지각능력이 낮은 학생들은 탄소 순환에 대해 시스템 사고 개념이 전혀 없다고 판단된다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 공간지각능력에 따른 고등학생들의 탄소 순환 개념에 차이가 있는지를 알아보고자 하였다. 광역시 소재의 평준화 일반계 자연계열 남녀 학생 중 공간지각능력 상·하 두 집단의 남녀학생 각각 2명씩 총 8명을 대상으로 얻어진 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 공간지각능력이 높은 학생들은 탄소 순환 개념이 단어 연상에서 18개, 그림 그리기 26개로 나타났고, 단어 연상에서 상태 변화 개념이 2개, 과정 개념이 2개, 그림 그리기에서 상태 변화와 과정 개념은 18개로 나타났다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 인과지도에서 1명이 2개, 1명이 1개, 2명이 0개로 나타났으며, 그림그리기에서는 3명이 1개, 1명이 0개로 나타났다. 공간지각 능력이 낮은 학생들은 탄소 순환 개념이 단어 연상에서 4개, 그림 그리기에서 8개로 나타났고, 단어 연상에서 상태 변화 개념이 0개, 과정 개념이 2개, 그림 그리기에서 상태 변화와 과정 개념은 4개로 나타났다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 인과지도와 그림 그리기에서 4명 모두 나타내지 못하였다. 공간지각 능력이 높은 학생들이 공간지각능력이 낮은 학생들에 비해 지구시스템의 하위 영역의 상호작용에 의해 탄소가 이동하는 것을 잘 이해하고 있었다. 또한 공간지각능력이 높은 학생 A, E, F는 낮은 수준이지만 시스템 사고 개념을 가지고 있었으며, 공간지각능력이 높은 학생 B와 낮은 학생 4명은 시스템 사고 개념이 없었다.

둘째, 공간지각능력이 높은 남학생들과 여학생들의 단어 연상과 그림 그리기에서 탄소 순환 개념, 그림 그리기의 상태 변화와 과정 개념은 큰 차이가 나타나지 않았으며, 단어 연상에서 상태 변화 개념, 과정 개념은 동일하게 나타났다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 인과지도에서 남학생들은 2명이

Table 9. Drawing analysis of Students with low spatial perception ability

	학생 C	학생 D	학생 G	학생 H
기권	1	1	1	1
수권				
지권	1			
생물권				
인간 활동		1	1	1
상태변화와 과정	1	1	1	1
연결 고리				

0개, 여학생들은 1명이 2개, 1명이 1개로 나타났으며, 그림 그리기에서는 남학생들은 1명이 1개, 1명이 0개, 여학생들은 2명이 1개로 나타났다. 공간지각능력이 높은 경우 여학생들은 낮은 수준이지만 시스템 사고 개념이 있었으며, 남학생들은 시스템 사고 개념이 없거나 있더라도 낮은 수준으로 나타났다. 반면 공간지각능력이 낮은 남학생들과 여학생들의 단어 연상에서 탄소 순환 개념, 상태 변화 개념, 과정 개념이 동일하게 나타났으며, 그림 그리기에서는 탄소 순환 개념, 상태 변화와 과정 개념도 동일하게 나타났다. 인과지도와 그림 그리기에서 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 남학생들과 여학생들 모두 나타나지 않았다. 공간지각능력이 낮은 남학생들과 여학생들 모두 지구시스템 하위 영역의 상호작용으로 탄소 순환이 일어나는 개념에 대한 이해 정도가 낮고 시스템 사고 개념이 없었다.

지구환경에서 발생하는 자연현상은 단순한 원인이 아닌 지구시스템 하위영역의 상호작용을 통해 복잡한 과정에서 이루어진 결과라고 할 수 있다. 이러한 자연 현상을 이해하기 위해서는 지구시스템 하위영역의 상호작용을 이해하고 있어야 하며, 시간적·공간적 규모가 큰 지구과학의 탐구 대상을 이해하기 위해서는 공간지각능력 또한 필요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 공간지각능력에 따른 고등학생들의 탄소 순환 개념을 알아보았다. 본 연구를 통해 시간적·공간적 측면에서 복잡한 시스템의 특징을 갖고 있는 탄소 순환에 대한 학생들의 이해 정도는 공간지각능력의 영향이 있는 것으로 나타났다. 학생들의 탄소 순환에 대한 이해를 향상시키기 위해서는 학생들의 공간지각능력 차이를 고려한 다양한 교육프로그램이 개발되어야 할 필요가 있다.

## 국문요약

본 연구의 목적은 공간지각능력에 따른 고등학생들의 탄소 순환 개념을 알아보고자 하는 것이다. 이를 위하여 광역시 소재의 평준화 일반계 남녀공학 S 고등학교 학생들 중 2학년 1학기에 지구과학 I 을 이수한 자연계열 남학생 30명과 여학생 33명을 대상으로 공간지각능력 검사를 실시하고 공간지각능력 상·하 두 집단의 학생들 중에서 본 연구 참여에

동의한 남학생 4명과 여학생 4명을 대상으로 탄소 순환 개념 검사를 실시하였다. 본 연구의 결과, 공간지각능력이 높은 학생들은 공간지각능력이 낮은 학생들 보다 단어연상에서 탄소 순환 개념, 상태 변화 개념, 과정 개념이 더 많았으며 그림 그리기에서 탄소 순환 개념, 상태 변화와 과정 개념도 더 많은 것으로 나타났다. 시스템적 관점에서 사용된 연결고리는 공간지각능력이 높은 학생들의 인과지도에서 1명이 2개, 1명이 1개, 2명이 0개로 나타났고 그림 그리기에서 3명이 1개, 1명이 0개로 나타났으며 공간지각능력이 낮은 학생들의 인과지도와 그림 그리기에서는 전혀 나타나지 않았다. 공간지각능력이 높은 학생들은 공간지각능력이 낮은 학생들에 비해 지구시스템의 하위영역의 상호작용으로 탄소가 이동하는 것을 이해하고 있었다. 공간지각능력이 높은 3명의 학생들은 낮은 수준의 시스템 사고 개념이 있었으며 공간지각능력이 높은 학생 1명과 공간지각능력이 낮은 학생들 4명은 시스템 사고 개념이 없었다.

주요어: 공간지각능력, 탄소 순환, 시스템 사고, 개념

## References

- 강천덕, 이효녕, 윤일희, 김은주 (2008). 물의 순환에 대한 고등학생들의 지구시스템 관련 개념과 시스템 사고의 분석. *경북대학교 과학교육연구지*, 32(1), 61-72.
- 김동환 (2000). 김대중 대통령의 인과지도: 1997년도 금융위기의 원인과 극복에 관한 김대중 대통령의 시스템 사고. *한국시스템다이내믹스학회지*, 1(1), 5-28.
- 김동환 (2004). 시스템사고, 선학사.
- 김범기, 이항로, 김기정 (1996). 천문 개념 성취도와 공간능력과의 상관관계에 관한 연구. *초등과학 교육*, 15(2), 315-325.
- 김수정, 김형범, 한신, 정진우 (2012). 초등학생의 공간능력 수준차이에 따른 지구자전에 관한 개념 분석. *대한지구과학교육학회지*, 5(1), 20-30.
- 김윤지, 정진우 (2009). 지구계 교육과 소재로서 순환에 대한 이해. *한국과학교육학회지*, 29(8), 951-962.

- 문병찬, 정진우, 경제복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호 (2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스템의 관련 개념과 시스템 사고의 적용. 한국지구과학회지, 25(8), 684-696.
- 오영, 이준 (2004). 공간능력. 군자출판사, 서울, 124 p.
- 이경훈, 임종욱 (2010). 공간능력에 따른 중학생의 지하수에 대한 개념. 한국지구과학회지, 31(3), 267-275.
- 이동은, 한 신 (2011). 중학교 2학년 학생들의 순환 개념 이해에 대한 연구. 대한지구과학교육학회지, 4(2), 126-133.
- 이두연, 오은숙, 김형범, 정진우 (2013). 고등학생들의 지구시스템 관점에 기반한 탄소 순환 개념 분석. 경북대학교 과학교육연구지, 37(1), 157-169.
- 이석희, 이용섭 (2012). 스토리텔링 기법을 적용한 ‘태양계와 별’ 수업이 과학학습 동기와 공간지각능력에 미치는 효과. 대한지구과학교육학회지, 5(1), 105-113.
- 이성미, 방정숙 (2007). 초등학생들의 공간감각 이해 능력 실태 조사. 수학교육, 46(3), 273-292.
- 이용섭 (2013). 초등과학의 ‘지구와 우주’ 영역에서 초등예비교사의 지식수준과 공간지각 능력과의 관계. 대한지구과학교육학회지, 6(3), 252-260.
- 이용섭, 김순식 (2012). 과학기반 STEAM 천문학습 프로그램이 공간지각능력 및 과학적 태도에 미치는 효과. 대한지구과학교육학회지, 5(3), 297-306.
- 이창진 (2003). 지구과학의 정체성과 학문 분류. 한국지구과학회지, 24(7), 650-656.
- 이호, 조현준, 이효녕 (2007). 달 크레이터 생성에 대한 대학생들의 정신모형 분석. 한국지구과학회지, 28(6), 655-672.
- 이효녕, 권영륜 (2008). 지구계 주제 중심의 지구과학 모듈 개발 및 적용. 한국지구과학회지, 29(2), 175-188.
- 이효녕, 권용주, 오희진, 이현동 (2011). 고등학생들의 시스템 사고 향상을 위한 교육프로그램 개발 및 적용 - 지구온난화를 중심으로. 한국지구과학회지, 32(7), 784-797.
- 이효녕, 조현준, 박미란 (2012). 공간능력의 차이에 따른 10학년 학생들의 관운동 관련 개념에 대한 이해 분석. 한국지구과학회지, 33(4), 360-375.
- 전만국, 김형범, 정진우 (2013). 초등학생의 공간능력에 따른 태양의 고도에 관한 개념. 대한지구과학교육학회지, 6(1), 28-39.
- 정진우, 김윤지, 정구송 (2007). 물의 순환에 대한 예비 지구과학 교사들의 인식. 한국지구과학회지, 28(6), 699-706.
- 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.
- Black, A. A. (2005). Spatial ability and Earth science conceptual understanding. Journal of Geoscience Education, 53(4), 402-414.
- Burton, E. P., & Mattiotti, G. K. (2011). Cognition and self-efficacy of stratigraphy and geologic time: Implications for improving undergraduate student performance in geological reasoning. Journal of Geoscience Education, 59(3), 163-173.
- Maani, K. E. & Maharaj, V. (2004). Links between System Thinking and Complex Decision Making. System Dynamics Review, 20(1), 21-48.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental, genetic, hormonal and neurological Influences. Psychological Bulletin, 86(5), 889-917.
- Pretty, M. R., & Rule, A. C. (2008). Effective materials for increasing young children's spatial and mapping skills. Journal of Geoscience Education, 56(1), 5-14.
- Self, C. M., & Golledge, R. G. (1994). Sex-related differences in spatial ability: What every geography educator should know. Journal of Geography, 93(5), 234-243.
- Sweeney, L. B. & Serman, J. D. (2000). Bathtub Dynamics; Initial Results of a Systems Thinkings Inventory. System Dynamics Review, 16(4), 249-286.
- Titus, S., & Horsman, E. (2009). Characterizing and improving spatial visualization skills. Journal of Geoscience Education, 57(4), 242-254.