고등학생들의 시스템 사고 향상을 위한 교육프로그램 개발 및 적용 - 지구온난화를 중심으로 -

이호녕¹ · 권용주² · 오희진¹ · 이현동^{3,*}

¹경북대학교 과학교육학부 지구과학교육전공, 702-701, 대구광역시 북구 대학로 80

²한국교원대학교 생물교육과, 363-791, 충북 청원군 강내면 태성답연로 250

³달성고등학교, 703-804, 대구광역시 서구 달구벌대로 1725

Development and Application of the Educational Program to Increase High School Students' Systems Thinking Skills - Focus on Global Warming -

Hyonyong Lee¹, Yongju Kwon², Hee-Jin Oh¹, and Hyun-Dong Lee^{3,*}

¹Department of Earth Science Education, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

²Department of Biology Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea

³Dalseong High School, Daegu 703-804, Korea

Abstract: The purposes of this study are: (1) to develop educational program designed to improve high school students' knowledge integration and their system thinking skills about global warming and (2) to identify the change of students' system thinking level. The developed program was implemented to twenty seven high school students, and six students grouped into three highs and three lows in their performance were selected to analyze their level of system thinking. The word association, casual map and drawing were used to measure and identify any significant change. As a result, the low level system thinking group improved their system thinking skills for global warming and the earth and sub-systems after the intervention. However, participants' misconception remained the same. And the high level systems thinking group showed more organize system thinking skills about a global warming topic. It is suggested that more educational programs be developed on various topics in order for high school students to improve their systems thinking skills as well as knowledge integration of earth systems and earth environment in school curriculum.

Keywords: systems thinking, systems thinking level, Earth systems, global warming, educational program, high school students

요 약: 이 연구에서는 고등학생들의 시스템 사고 향상을 위해 지구온난화 주제를 중심으로 교육프로그램을 개발하고 이를 학교 현장에 적용하여 학생들의 시스템 사고 향상 정도를 파악하였다. 현직 교사와 전문가들에게 타당성을 검증 받은 지구온난화 교육프로그램을 학생 27명에게 투입하였으며 시스템 사고 수준이 낮은 학생 3명과 수준이 높은 학생 3명, 총 6명의 학생을 연구대상으로 선정하고 활동 전 후로 단어 간 관계분석, 인과지도 그리기, 그림 그리기를 적용하여 시스템 사고 수준 변화정도를 살펴보았다. 그 결과 시스템 사고 수준이 낮은 그룹은 활동 후 지구온난화에 대한 시스템 사고 정도가 향상된 모습을 보였으나 오개념이 유지되는 특성을 보였다. 그리고 시스템 사고 수준이 높은 학생들은 자신들이 가지고 있었던 개념들은 활동 후 더 뚜렷해지고 체계적인 시스템 사고를 하고 있었다. 학생들에게 지구 시스템과 연결된 지식이나 지구 환경 개념을 학습하는 데 있어서 필요한 시스템 사고를 함양시키고 과학교육과정에 새로운 활력을 불어넣기 위해서는 이러한 교육프로그램들이 많이 개발되어야 하며 또한 실제 학교 현장에서 많이 활용할 수 있도록 개발된 자료들이 잘 보급될 수 있어야 할 것이다.

주요어: 시스템 사고, 시스템 사고 수준, 지구시스템, 지구온난화, 교육프로그램, 고등학생

*Corresponding author: tm81c101@hanmail.net

Tel: +82-10-9785-1011

Fax: +82-53-940-3513

서론

1980-90년대는 기상관측이 시작된 이래로 가장 온난한 시기였으며, 이러한 상태는 21세기에도 지속되고 있다(Hewton, 2007). 중요한 것은 온난해진 기온만이 아닌 온도 변화에 따라 나타난 지구 기후 변화가 더 큰 문제가 되고 있다. 예를 들어, 1987년에 있었던 영국과 서부 유럽의 비정상적인 강풍, 자메이카와 멕시코, 일본을 강타한 강력해진 열대 저기압, 폭풍 해일, 홍수와 가뭄 등의 엄청난 재해를 유발하는 극단적인 기상과 기후현상이 더불어 같이 나타나 지구 곳곳의 생명과 재산에 심각한 피해를 주고 있다. 최근 들어, 북극의 빙하 해빙에 의한 지구 환경 변화에 과학계나 언론에서는 큰 관심을 보이고 있다. 북극의 빙하변화가 다른 지구 하위계에 영향을 다룬 ‘북극의 눈물’ 다큐멘터리가 대중의 많은 관심을 받았으며, 또한 북극의 해빙과 함께 올라간 기온 때문에 북극 상공의 제트기류가 남하하여 2010년부터 2011년까지 이어진 겨울에는 예년과 다른 기상현상이 찾아왔다(기상청, 2010; MBC미디어, 2008).

학생들이 위와 같은 현상에 대한 영향과 지구 환경 내의 상호작용에 대해 충분히 이해하기 위해서는 지구를 이루는 구성요소의 한 부분만이 아닌 지구 시스템에 대한 전체적인 이해와 관심이 필요하다(Mayer et al., 2007). 지구 시스템 관련 지식이나 현상을 효과적으로 학습하고 이것이 학생들에게 의미있는 수업이 되기 위해서는 고등사고 능력인 시스템 사고(systems thinking) 함양이 매우 중요하다(문병찬, 2004). 학교 현장에서 다루고 있는 교과서의 지구온난화 관련 단위에서는 온실효과와 지구온난화에 대한 구분을 정확하게 제시하지 못해 학생들이 이 두 가지의 개념을 오인할 가능성을 가지고 있고 대기효과를 일으키는 온실기체에 대한 설명이나 지구 대기효과를 알아보기 위한 실험 등도 매우 부족하며, 이를 보완하기 위해 효과적인 지구온난화의 학습에 적용될 수 있는 교수·학습 프로그램이 필요한 실정이다(국동식, 2003). 지구 시스템을 구성하는 요소들끼리 상호작용을 통해 나타나는 지구온난화 현상을 효과적으로 학습하기 위해서는 고등사고 능력인 시스템 사고를 활용한 교육방법이 필요하다(Ben-zvi-Assaraf and Orion, 2005a, 2005b, 2010; Kali et al., 2003). 특히, 2009 개정 과학과 교육과정을 살펴보면, 지구과학 영역에서 지구계가 지구과학 영역을 아우르는 개념적인

초점으로 적용되고 있으며, 중학교 1학년 내용에서 “과학 교과에서 다루는 순환계, 생태계, 소화계 등 여러 가지 계를 학습하여 지구계 및 지구계의 구성 요소와 특징을 알게 한다.”라고 기술되어 있다(교육과 학기기술부, 2011). 교육과정에서 제시된 것 처럼 학생들에게 생활 속, 과학 내의 “시스템”에 대한 이해가 필요하며, 시스템적인 지식을 효율적으로 학습하기 위해서는 시스템 사고를 기초로하는 교육이 필요할 것이다(문병찬과 김해경, 2007; Ben-zvi-Assaraf and Orion, 2005a, 2005b, 2010).

시스템 사고는 이미 정치학, 사회학에서는 적용되어 중요한 정책결정에 큰 역할을 해오고 있고 이제는 교육의 전반적인 곳에서 시스템 사고가 적용되고 있다. 구성하는 개념적인 시스템 사고란 일반 시스템 이론(general system theory)의 한 형태인 시스템 다이내믹스(system dynamics)로부터 복잡한 컴퓨터 시뮬레이션을 제외하고 일반인이 이해하기 쉬운 부분을 추출해내어 재조직한 사고의 방법론이다(김동환, 2004). 시스템 사고 과정은 세 가지 단계로 요약하여 볼 수 있다. 첫째는 시스템의 부분의 이해, 둘째는, 이러한 부분의 연결의 이해, 세 번째는 전체로서의 시스템의 이해이다(O'Connor and McDermmot, 1997). 또한 시스템 사고는 학생들이 배우고 적용하기 쉬우며, 다양한 분야에 적용할 수 있고 공유와 확장이 가능한 고등 사고 능력이라는 장점을 가진다(김동환, 2004). 이러한 사고과정은 지구 시스템 교육에 활발하게 적용되고 있는 이유 중 하나는 지구를 구성하고 있는 시스템 요소 간의 통합 및 상호작용이 중요하게 다루어지고 있기 때문이다. 학습자는 지구 시스템에 관련된 주제를 학습함에 있어서 학생들의 사고에 유기적으로 연결되지 못하고 떨어져 존재하는 ‘지식의 섬’을 하나하나 학습하는 것이 아니라 자신의 직접적인 활동으로 개념들을 터득하고 이러한 개념들을 하나의 시스템이라는 틀 안에서 어떻게 상호작용하며 그 순환이 이루어지는 과정을 지식 통합 활동을 통해 배우는 것이다(Ben-zvi-Assaraf and Orion, 2005a). 이렇게 학습한 지식 체계는 하나의 전체로서의 사고에 기여하여 변화하는 사회, 지식에 능동적으로 대처할 수 있는 유연한 사고를 할 수 있도록 해주며 피드백 루프를 스스로 인식하여 하나의 순환적인 맥락을 파악할 수 있다.

지구 시스템을 구성하는 요소들 간의 상호작용을 통해 나타나는 현상을 효과적으로 학습하기 위해서는

고등사고 능력과정인 시스템 사고와 지구 시스템 교육을 바탕으로 한 교육이 이루어져야 할 것이다(김윤지와 정진우, 2009; Ben-zvi-Assaraf and Orion, 2005b). 그리고 이를 위해 학교현장에서 쉽게 수업이 이루어지도록 교육 자료가 제작, 보급될 필요가 있다(Ben-zvi-Assaraf and Orion, 2010).

이 연구에서는 지구 시스템에서 최근 중요하게 대두되고 있는 지구온난화에 대해 학생들이 어느 수준까지 시스템 사고를 하고 있는지 조사한다. 그리고 시스템 사고를 향상 시킬 수 있는 지구온난화 교육 프로그램을 개발하고 학교 현장에 투입하여 학생들의 가진 시스템 사고 수준 변화를 탐색하는 것을 목적으로 다음의 구체적인 연구 내용을 설정하였다.

- 1) 지구온난화에 대한 시스템사고 향상을 위한 교수-학습자료의 개발
- 2) 개발된 프로그램 적용 전 후 학생들의 지구온난화에 대한 시스템 사고 수준의 변화 분석

연구방법

교육프로그램의 개발

교육프로그램의 개발을 위해 지구 시스템 교육을 기반으로 한 교육자료 제공 사이트인 Teachers' Domain (WBGH Educational Foundation, 2009)에 제시된 지구온난화 수업 계획을 기초로 하였다. 이 내용은 크게 지구온난화의 이해와 지구온난화의 영향 2가지 주제로 구분되어 있었으며, 자세한 자료의 활용은 교사 스스로가 자유롭게 사용할 수 있도록 지침을 만들어 제시하였다. 국동식(2002, 2003)이 제시한 온실 효과 및 지구온난화 관련 교과서 분석결과를 바탕으로 학교현장에서 부족할 수 있는 대기효과의 정의, 대기효과에서 수증기의 역할, 지구온난화의 개념, 지구온난화와 지구 시스템과의 관계 등을 포함할 수 있는 자료들을 활용하여 수업을 구성하였으며 개발한 교육프로그램의 수정과 보완을 위하여 초, 중, 고등학교 현장에서 학생을 가르치는 지구과학전공 박사과정 4명과 석사과정 3명으로부터 내용타당도 검증을 받았다. 검증 항목은 개발한 자료의 목표와의 일치성, 논리적 전개, 어휘의 난이도, 문항의 적절성, 종합적인 의견 총 5가지 문항에 대해 1-5점의 리커트식 척도를 이용하여 검증받았으며 각 문항에 대한 코멘트를 같이 받아 자료의 수정에 적극 반영하도록 하였다. 타당도 검증 결과는 '지구온난화의 이해'는

0.80, '지구온난화의 영향'은 0.83을 받았으며 코멘트 내용에서 대부분의 선생님들이 초등학교이나 중학교 저학년의 경우 내용이 조금 어려울 것 같다는 지적을 반영하여 대상 학년의 재선정 및 어려운 어휘, 문항수 등을 조정하였다. 그리고 K대학교 과학 영재 교육원 지구과학반 학생 15명을 대상으로 예비투입을 한 뒤 촬영된 수업영상을 보며 과학교육 전문가와 함께 수업 분석을 통해 학습용 플래시 내용의 순서 변경과 내용보충, 대기 효과 실험의 순서 변경, 학생용 학습지 내용의 수정 등을 거쳐 교육프로그램의 개발을 마쳤다. 또한 개발된 교육프로그램이 학교 현장에서 활용하기 쉽도록 수업용 플래쉬와 학습지를 제작하였다.

시스템 사고 수준 분석

이 연구에서는 먼저 지구온난화에 대한 시스템 사고 분석지를 이용하여 지구온난화에 대해 학생들이 어느 정도 시스템 사고를 하고 있는지 알아본다. 시스템 사고 분석지는 이효녕과 김승환(2009)이 개발한 '물순환'에 대한 시스템 사고 분석지를 수정하여 적용하였다.

기존 분석지의 내용 요소와 문항은 그대로 사용하였으며 시스템에 대한 개념이 생소한 학생들을 위해 예시를 포함한 안내서를 제작하였다. 안내서의 내용은 과학교육 전문가 2명, 지구과학교육을 전공하는 석박사 과정의 교사 9명이 참여한 세미나에 의해 검토하였다. 광역시 소재 S고등학교의 과학반 학생들 27명을 대상으로 지구온난화에 대한 시스템 사고 분석지를 투입하여 수업 전 학생들의 시스템 사고 수준을 분석한 뒤, 지구온난화의 이해 및 지구온난화의 영향을 다룬 수업을 2일에 걸쳐 총 4차시 수업을 진행하였다. 수업 투입 전 사전 검사지의 분석결과와 오개념, 지식의 섬, 시스템 사고 수준을 따져 6명의 학생을 선정하였으며 수업 중 이 학생들에게 좀 더 주의를 기울이며 학생 활동지를 살펴보고 현장 면담을 하였으며 이후 결과 분석과정에서 서면 면담을 통해 자세한 학생들의 사고 과정을 파악해 수업 전후의 시스템 사고 향상 정도를 분석하였다. 결과 분석을 위해 Assaraf(2005)의 논문에서 활용한 제시한 단어 간 관계분석, 인과 지도, 그림 그리기를 사용하였지만, 분석을 위한 개념 요소(관련 용어 등)는 우리나라 과학과 교육과정에서 다루는 내용과 관련 개념을 기초로 수정하여 활용하였다. 분석을 위한 기준

표와 자료도 2차에 걸친 세미나를 통해 피드백을 받고 최종 완성하였다.

단어 간 관계분석(word association)

학생들이 주제와 관련된 단어들을 자유롭게 나열하고 이러한 과정에서 각 단어들 간 관계와 피드백을 스스로 연상해보는 단어 간 관계분석은 학생들의 시스템 사고 요소와 과정을 알아보는 데 유용하게 사용되어진다(Assaraf, 2005). 이 연구에서는 지구온난화와 관련된 친숙한 단어들을 생각나는 대로 적어보며 적어놓은 단어들을 자연 현상이나 인간활동에 의해 연결하여 적도록 한다. 학생들이 적어놓은 결과를 토대로 지구 시스템의 하위영역에 관한 개념 수와 연결 과정을 파악하여 다음 인과지도 분석이나 그림 그리기 분석에 반영하며 면접을 통해서 적은 단어들 사이의 연결에 대해서 물어보고 이들 연결에서 피드백 순환이 존재하는 파악하고자 한다. 단어 연상에 대한 분석은 먼저 제시된 지구온난화와 관계된 구성요소를 지구 시스템적 관점에서 범주화하여 분석하였으며, 특히 생물권에 해당하는 개념 중 인간이 지구온난화에 미치는 작용과 영향을 알아보기 위해 인간활동 범주를 첨가하여, 각 구성 범주에 해당하는 구성요소의 단어를 연상하는 횟수로 정량화시켰다.

또한 학생들이 제시한 지구온난화와 관련된 구성요소간의 관계 연결은 에너지를 수반한 화학적 상태 변화 개념과 단순한 형태 과정으로 나누어 분석하였다.

Table 1. Representative concepts of each category in the word association task

분류	개념
기권	이산화탄소, 메탄, 오존, 온실가스, 대기(권), 기후, 날씨, 온실효과, 수증기, 온실효과
수권	바다, 해류, 비, 우박, 홍수, 해일, 빙하, 엘니뇨
지권	토양, 대륙, 암석, 화산, 틈(cracks), 화석, 자원
생물권	식물, 동물, 유기물, 인간
인간활동	연료소비, 물소비, 하수, 대기오염, 산업활동, 자동차 운행

Table 2. Representative Change of state and Processes in the word association task

분류	개념
상태의 변화	상태(액체, 기체, 고체), 온도, 열, 냉각, 연소
과정	증발, 응결, 강수, 침투, 모세관 작용, 증산, 흡수, 배출, 동결, 융해, 유수, 지하 흐름

인과 지도(causal map)

시스템 사고를 이용하여 어떤 문제에 대해 분석을 하기위해 사용되어지는 도구로 인과지도가 있다(김동환, 2004). 피드백 고리의 관계를 이용하여 연구자가 그 순환관계를 파악할 수 있도록 그려낸 지도가 인과 지도이다. 본 연구에서는 다음과 같은 단계에 따라 문항을 구성하여 검사지를 투입하였다. 첫째, 학생들은 단어 간 관계분석에서 사용한 개념들을 이용하여 지구온난화에 대해 하나의 문장을 만들어 본다(중복 사용 가능). 둘째, 대기효과와 지구온난화와 관계된 비계층적인 인과 지도를 작성하도록 한다. 학생들의 인과 지도 분석을 통하여, 시스템 요소와 그 과정을 알아내는 능력, 지구 시스템의 양상 파악, 시스템 안에서 동적인 관계들을 알아내는 능력, 인간적 활동 측면 파악, 요소를 조직하고 관계의 틀 안에서 위치시키는 능력 등을 알아낼 수 있다. 인과 지도 결과에 대한 분석을 정량적으로 실시하기 위해 인과지도 그리기에 사용한 개념의 수, 개념들의 연결 고리 수, 개념 지도 내에서 동적인 가치와 순환적 가치를 수치화하였다. 사용 개념 및 개념들이 연결고리는 직접 그 수를 헤아려 수치화하였으며, 앞의 도구들과 마찬가지로 시스템 각 영역별로 사용 개수를 파악하였다. 또한 시스템 내에서 나타난 동적 과정의 이해 정도를 파악하기 위하여 인과 지도의 역동적 정도를 수치화하였는데, 그 과정은 다음과 같다. ① ‘동적 개념’의 수 세기(과정을 나타내는 교점으로 연결되는 개념의 수) ② ‘분류 개념’의 수 세기(분류의 형태로 연결된 개념의 수) ③ 동적 개념의 수를 전체 개념의 수(동적 개념과 분류 개념의 합)으로 나눈 값으로 그 값은 0에서 1까지이다. 역동적 수치의 값은 학생들의 사고에 존재하는 개념들이 지식의 섬으로 존재하는지, 시스템적으로 연결이 존재하는지를 파악할 수 있는 수치로 0은 지식의 섬으로만 개념들이 존재하는 것이며, 1의 값은 개념들 사이의 시스템적 사고가 이루어짐을 보여주는 값이다. 시스템의 순환적 개념을 나타내는 것은 인과 지도에 구성된 순환의 수를 세어서 결정하는데, 주로 다음과 같은 다섯 단계로 나타나며, 그 수를 다시 5로 나누어 수치화하였다. 따라서 그 값은 0에서 1까지이다. 0의 값은 학생들의 사고 과정에 시스템적 순환과정이 존재하지 않음을 나타내며 1의 값은 다양한 하위계를 고려한 시스템 사고 수준이 높음을 나타낸다. 순환에 대한 내용은

① 자연적인 현상에 의한 온실효과 연결 ② 지구온난화에서 나타나는 탄소 순환 ③ 지구온난화가 나타날 때 대기와 바다의 상호작용 연결 ④ 지구온난화가 나타날 때의 물(빙하)의 순환 ⑤ 지구온난화에서의 인간의 영향의 연결로 다섯 단계로 나누었으며 이러한 순환고리에서 나타나는 강화적 피드백과 균형적 피드백의 유무까지 분석하였다.

그림 그리기

그림 그리기 또한 학생들이 주어진 주제에서 발생되는 현상에 대한 생각을 알아보는 데 유용하게 이용된다(김윤지와 정진우, 2009; Ben-zvi-Assaraf and Orion, 2005b). 또한 위에서 기록한 인과 지도를 그림으로 표현할 수 있기 때문에 학생들의 시스템 사고 분석에도 용이하게 사용될 수 있다. 게다가 지구 시스템 안에서 일어나는 지구온난화에 대해 학생들의 종합적인 사고 과정과 함께 단어 간 관계분석이나 인과지도에서 볼 수 없었던 사고 과정도 볼 수 있다. 학생들이 그려놓은 그림을 기초로 면담이나 서면 질문을 통하여 지구온난화에 대한 전반적인 과정들과 순환, 강화적 혹은 균형적 피드백을 살펴봄으로써 학생들의 종합적인 시스템 사고 수준을 파악하여 본다. 특히 그림 그리기의 능력 한계 영향을 줄이기 위해 최대한 많은 항목을 그림에 넣도록 하였다.

그림 분석은 온실효과와 인간의 영향, 온실효과의 배출과 유입 과정에서 나타나는 지구온난화에 대한 구성요소와 지구 시스템을 구성하는 하위 부분에 따라 그 구성요소들의 흐름 파악 정도를 분석하였다. 특히 지구온난화가 발생하는 과정에서 지구 시스템과 인간 활동을 포함하여 시스템 사고를 할 수 있는지에 대해 세밀하게 측정하여 분석하였다.

시스템 사고 수준

그림 그리기 및 단어 간 관계분석 및 인과지도에서 나타난 시스템 사고 정도와 종합하여 지구온난화 요소 사이의 순환성 정도를 표 4에서 제시한 내용에 근거하여 지구 시스템의 구성요소*들간 시스템 사고 정도를 다음과 같이 수준으로 표현하였다.

면담

면담은 비구조화된 형태로 학생들에게 작성된 질문

Table 3. systems thinking Level

수준	포함된 순환
수준 1	그려진 그림에서 순환이 나타나지 않음
수준 2	시스템 내 2개 하위계를 포함하는 순환을 표현
수준 3	시스템 내 3개 하위계를 포함하는 순환을 표현
수준 4	시스템 내 4개 하위계를 포함하는 순환을 표현
수준 5	시스템 내 5개 하위계 모두에서 순환을 표현

지의 모든 영역에서 미흡한 부분이나 특정 영역에 대한 생각과 의견을 보다 세밀히 얻기 위해 사용하였다. 특히 사전 검사지 분석 후 이루어진 수업에서 문장이나 인과지도에 오개념을 보인 학생과 개념들이 학생의 사고과정에서 지식의 섬으로 존재하는 학생들에게 좀 더 관심을 가지고 질문을 하여 정확한 학생의 생각을 파악하고자 하였다. 수업 이후 미흡한 내용에 대해서는 연구에 선정된 학생들에 전자메일을 이용한 서면 검사 형태로 실시하였다.

연구결과

프로그램 투입 전 시스템 사고 수준 분석

선정된 S고등학교 과학반 학생 27명을 대상으로 2009년 5월 교육프로그램 투입 전 시스템 사고의 수준을 분석하였다. 학생들이 다른 자료나 매체에 영향을 받지 않고 자신의 생각을 그대로 표현할 수 있도록 학교 안에서 시스템 사고 분석지를 제공하고 그 자리에서 작성하도록 하였으며, 학생들이 처음 접한 인과지도 그리기의 경우 예시를 제시하고 간단한 설명을 해주었으며, 그리기 어려운 경우 글로써 표현하도록 지도하였다. 그리고 분석지 투입 다음날부터 2일에 걸쳐 4차시의 교육프로그램을 투입하였다. 수업 현장에는 S고등학교 교사 1명이 참관하였으며 활동 과정을 모두 녹화하고 사진 촬영을 하여 수업 중 연구자가 놓칠 수 있는 학생들의 반응을 파악하고자 하였다.

교육프로그램 투입 전에 작성된 시스템 사고 분석지의 결과를 통해 6명의 학생을 선정하였다.

학생 A, 학생 B, 학생 C의 경우 사전 검사지에서 매우 뚜렷한 오개념을 보여 주었다. 이들의 오개념은 이산화탄소가 배출되어 대기 중에 그 농도가 증가하면 오존층 파괴로 이어지고 이로 인해 지구온난화가

*시스템 사고 수준의 조사를 위해 지구시스템을 지권, 수권, 빙권, 기권, 생물권과 인간활동으로 총 5개의 하위계로 구분하여 분석하였다.

Table 4. Selected Students' systems thinking Level

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 D	학생 E	학생 F
역동적 수치	0.17	0	0.07	0.38	0.38	0.32
순환적 수치	0.2	0	0.2	0	0.2	0.4
강화적 피드백	○	×	○	×	○	○
균형적 피드백	×	×	×	×	×	×
인간활동포함	○	○	×	○	○	○
시스템 사고 수준	수준 1	수준 1	수준 1	수준 2	수준 2	수준 3

가속된다는 생각을 가지고 있었다. 이 중 학생 B, C는 매우 견고한 형태의 오개념을 가지고 있었다. 1차시 수업 중 이야기를 통해 이산화탄소 농도는 오존층 파괴와 관련이 없으며 오존층 파괴는 지구온난화와 직접적인 관련이 없음을 보여 주었으나 학습지의 인과지도와 그림에서 여전히 이산화탄소와 오존층 파괴를 연결하고, 지구온난화에 오존층을 중요하게 표현하는 모습을 보여주었다. 그리고 이 학생들은 자신들이 가지고 있는 개념에 대해 지식의 섬이 뚜렷한 모습을 보여주고 시스템 사고 수준이 낮았다. 학생 D, 학생 E, 학생 F는 올바른 과학개념을 많이 가지고 있었으며 지식의 섬 수준도 약하고 어느 정도 시스템 사고를 수행하는 모습을 보여 주었다. 이와 같이 시스템 사고 수준이 다른 두 부류의 학생들을 선정하여 프로그램 투입 전과 후 그 변화 정도를 파악하였다.

학생 A, 학생 B, 학생 C의 프로그램 투입 전과 후의 시스템 사고정도의 변화

학생 A, 학생 B, 학생 C의 경우 사전 검사에서 지식의 섬 수준이 높고 시스템 사고 수준은 낮으며 지구온난화에 대해 오개념을 가지고 있는 학생들이었다. 이들의 프로그램 투입 후 변화 정도는 Table 5, 6, 7, 8과 같다.

학생 A: 사전 검사에서 학생 A의 경우 단어 간 관계분석에서 나열한 단어들은 지구온난화에 대한 간단한 수준의 단어들이었으며 그 연결 '화석연료 사용으로 온실효과가 나타난다', '오존층이 파괴되어 빙하면적이 줄어든다' 등의 단순한 관계만을 표현하였으며 지구온난화와 대기효과의 차이를 잘 알지 못하였으며 오존층과 지구온난화를 연결하는 오개념을 보여주고 있었다. 그리고 인과지도에서는 피드백 연결고리가 하나 보였으나 이는 매우 단순한 수준의 연결이었으며 자신이 알고 있는 개념들을 효과적으로 연결하지 못하였다. 게다가 그림에서는 지권, 기권, 생물권, 수권, 인간 활동 모두를 그려놓기는 하였으나

Table 5. Analysis of pre- and post-word association survey (students A, B, C) (단위: 개)

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 A	학생 B	학생 C
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
기권	7	3	10	12	9	8
수권	3	1	4	4	3	4
지권				2	1	2
생물권	1			2	2	2
인간활동	2	1	1	4	3	3
Total	13	5	15	24	18	19

Table 6. Analysis of pre- and post-casual map survey (students A, B, C) (단위: 개)

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 A	학생 B	학생 C
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
개념수	5	5	10	21	18	22
기권	2	5	4	8	7	10
수권	2		2	3	3	5
지권			1	2	2	2
생물권			2	2	2	2
인간활동	1		1	6	4	3
과정수	1		4	7	6	9
연결고리 수	5	3	10	15	17	21
동적개념	1	0	4	7	6	9
분류개념	5	5	10	21	18	22
동적+분류	6	5	14	28	24	31

Table 7. Analysis of pre- and post-drawing (students A, B, C) (단위: 개)

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 A	학생 B	학생 C
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
개념양상	10	5	5	17	9	15
기권	4	2	2	7	2	6
수권	1		3	2	2	3
지권	2			2	1	2
생물권	1	1		2	2	2
인간활동	2	2	2	4	2	2
과정양상	2	1	2	4	3	5

Table 8. Changes of Systems thinking Level (students A, B, C)

	학생 A	학생 B	학생 C	학생 A	학생 B	학생 C
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
역동적 수치	0.17	0	0.07	0.25	0.25	0.29
순환적 수치	0.2	0	0.2	0.8	0.6	0.6
강화적 피드백	○	×	○	○	○	○
균형적 피드백	×	×	×	×	×	×
인간활동 포함	○	○	×	○	○	○
시스템 사고 수준	수준 1	수준 1	수준 1	수준 4	수준 2	수준 4

이들의 연결 관계는 표현하지 못하는 시스템 사고 수준 1의 모습을 보였다. 그러나 수업 후 단어 간 관계분석에서 보여준 내용은 ‘인간 활동 증가 → 이산화탄소 배출 증가 → 기온 상승 → 빙하 면적 감소 → 북극의 동물들이 살 터전을 잃음, 해수면 상승 → 대륙 면적 감소...’로 이어지며 개념들 간의 관계 고리를 형성하는 모습을 보여주었다. 게다가 북극의 빙하가 녹음으로써 북극해의 염분농도 변화 및 이로 인한 해류의 변화 가능성까지 생각하는 모습을 보여주었다. 그리고 사전 검사에서 나타난 오존층 파괴가 지구온난화를 유발하는 오개념에 대해 질문한 결과 오존층 파괴와 지구온난화는 직접적인 관계가 없으며 오존도 간접적으로 영향을 주는 온실기체라 답하였다. 인과 지도를 분석한 결과에는 수권과 인간 활동, 인간 활동과 기권, 지권을 포함한 인과 지도를 그렸으며, 인간 활동을 포함한 시스템 사고를 수행하는 모습을 보여주었다. 사전 검사에서 보여주었던 단순한 강화적 피드백이 아닌 다양한 하위계를 고려한 강화적 피드백도 보여주었다. 특히 그림 그리기에서 지식의 섬처럼 떨어져 존재하는 하위계들의 모습이 아닌 서로 연결되어 영향을 주는 모습을 보여 주었다. 이를 분석하여 수치화한 결과는 위의 Table 8과 같으며 시스템 사고는 수준 4로 나타났다(Fig. 1, 2).

학생 B: 사전검사에서 단어 간 관계분석을 살펴보면 ‘이산화탄소의 배출 → 오존층파괴 → 입사 태양에너지의 증가 → 빙하용해’의 과정을 보여주었다. 인과 지도와 그림에서도 이와 같은 흐름을 그대로 그리는 오개념이 매우 견고한 모습을 보여준 학생이었다. 첫

Fig. 1. Pre-Drawing (student-A).

Fig. 2. Post-Drawing (student-A).

날 수업 2차시가 진행되는 동안 학생 B에게 오존층 파괴가 어떻게 이루어지는가에 대해 물으니 “이산화탄소나 메탄과 같은 화석연료를 사용하면서 나오는 온실기체에 의해 오존층 파괴가 일어나요”라는 대답을 하였다. 수업을 진행하며 오존층파괴와 함께 지구온난화의 관계를 설명해 주며 학습지 작성을 관찰해 보니 조금씩 올바른 과학개념으로 바뀌는 듯 했으나 인과지도나 그림에서는 여전히 이산화탄소와 오존층 파괴, 오존층 파괴와 지구온난화를 연결하는 견고한 오개념의 모습을 보여주었다. 이는 오랜 세월동안 지구온난화와 오존층 파괴에 대해 자신이 가지고 있는 개념이 오개념인지 알지 못하고 사고 속에서 관념화된 모습이라 보여진다. 지식의 섬 수준이나 시스템 사고를 살펴보면 수업 전에는 지식의 섬이 뚜렷하고 시스템 사고 수준도 매우 낮음을 알 수 있었다. 특히 그림 그리기에서는 지구 시스템 하위계에서 나타나는 모습을 표현하였으나 각각 떨어져 있는 지식의 섬과 오개념을 확실히 볼 수 있는 그림이었다. 수업 후 인과 지도에서는 인간 활동으로부터 시작하여 기권, 생물권, 수권과의 상호작용을 고려하며 상호관계를 그리는 모습을 보여주었다. 그리고 빙하의 감소로 시작하여 기온상승이 지속적으로 이루어질 것이라는 강화적 피드백의 모습도 보여주었다. 그러나 이러한 연결 고리들 안에서 ‘이산화탄소 → 오존층파괴’라는 오개념이 여전히 자리잡고 있고 태양 복사에너지와 지구 복사에너지의 차이를 확실히 구분지어 생각하지 못하는 지식의 섬이 조금 남은 듯 보였다(Fig. 3). 그림그리기에서는 수업 전과 비교하였을 때 좀 더 많은 하

Fig. 3. Post-Casual map (student-B).

위계와 과정을 고려한 그림을 그렸으나 각각의 하위 계들 간의 피드백 고리가 연결되어 순환되는 모습을 표현하기에는 조금 부족한 모습이었다.

학생 C: 사전 검사에서 많은 개념들을 나열하고 인과 지도도 다양한 가정 아래에서 많은 고리를 연결하여 그린 학생이었다. 하지만 이들 개념들 간에 시스템적 연결이 이루어져 있지 않고 ‘기온상승 → 계절이 사라짐 → 인간과 동·식물의 변화 → 적응’, ‘해수면 상승 → 대륙의 면적 감소 → 생물 감소’와 같이 각각 지식의 섬으로 존재하는 모습을 보였다. 특히 그림 그리기에서는 매우 적은 연결고리와 과정을 보여주었으며 이들과의 시스템적 연결은 존재하지 않았다. 또한 지구온난화와 오존층 파괴를 연결하는 오개념도 가지고 있었다. 수업을 진행하는 동안 여전히 오개념을 가지고 있는 것 같아 인과지도를 그리기 전 오존층과 지구온난화에 대해 다시 설명해 주며 이산화탄소 역할에 대해 묻자 “이산화탄소는 온실 기체이고, 온실효과에 영향을 주는 기체예요”, “지구온난화에서는 태양에서 들어오는 에너지보다 지구 복사에너지가 더 큰 역할을 하는 것 같아요”라는 대답을 하여 오개념이 과학개념으로 바로 잡힌 듯 보였으나 마지막 그림그리기에서는 여전히 오존층을 그려 넣는 모습을 보였다. 학생에게 그림에서 오존층은 왜 그렸는가에 대해 물으니 “오존층이 사라지면 자외선이 더 많이 들어와서 따뜻해져요...아닌가? 아~잘못 그렸어요”라고 말하며 자신이 그려 넣은 오존층이 지구온난화와 잘못 관련지었다고 다시 생각하는 모습을 보였다. 이로서 오개념이 학생의 사고 속에 견고하게 자리잡고 있음을 알 수 있었으나, 적절한 수업자료나 자극을 통해 과학개념으로 변할 수 있는 모습을 보였다. 그리고 수업 후 인과 지도나 단어 간 관계분석에서 자연적인 지구 기후변화에서 출발하여 기권, 수권, 지권, 생물권을 고려하는 시스템적 사고를 보여주었으며 지식의 섬이 많이 약해진 모습이었다. 특히 그림 그리기에서 가장 많은 변화가 보여졌다. 비록 오존층을 표현하긴 하였으나 입사 태양에너지로부터

Fig. 4. Pre-Drawing (student-C).

Fig. 5. Post-Drawing (student-C).

지구복사, 대기효과의 과정을 고려하고, 지권, 수권, 기권, 인간 활동을 고려하는 시스템 사고는 수준 4를 보여주었다(Fig. 4, 5).

학생 D, 학생 E, 학생 F의 프로그램 투입 전과 후의 시스템 사고정도의 변화

학생 D, 학생 E, 학생 F의 경우 사전 검사에서 지식의 섬 수준이 낮으며 지구온난화에 대해 올바른 개념을 가지고 있고 시스템 사고 수준이 다른 학생들에 조금 나은 수준을 보인 학생들이었다. 이들의 수업 후 변화 정도는 Table 9, 10, 11, 12와 같다.

학생 D: 사전 검사에서 단어간 관계분석에서는 다양한 지구 시스템의 하위권 개념들을 사고하여 연결 지었다. 하지만 인과지도나 그림 그리기에서는 이렇게 단어간 관계분석에서 제시한 연결들을 효율적으로 연결하지 못하는 모습을 보여주었다. 면담을 통해

Table 9. Analysis of pre- and post-word association survey (students D, E, F) (단위: 개)

	학생 D	학생 E	학생 F	학생 D	학생 E	학생 F
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
기권	10	7	8	12	11	18
수권	1	5	3	4	5	6
지권			2	2	2	3
생물권		2	2	2	2	4
인간활동	1	1	1	4	3	4
Total	12	15	16	24	23	35

Table 10. Analysis of pre- and post-casual map survey (students D, E, F) (단위: 개)

	학생 D	학생 E	학생 F	학생 D	학생 E	학생 F
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
개념수	8	8	15	24	20	28
기권	3	6	7	9	7	11
수권	3	2	5	7	5	8
지권				2	2	2
생물권			2	2	3	3
인간활동	2		1	4	3	4
과정수	5	5	7	12	9	15
연결고리 수	11	9	14	24	21	31
동적개념	5	5	7	12	9	15
분류개념	8	8	15	24	20	28
동적+분류	13	13	22	36	29	43

Table 11. Analysis of pre- and post-drawing (students D, E, F) (단위: 개)

	학생 D	학생 E	학생 F	학생 D	학생 E	학생 F
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
개념양상	7	9	9	18	17	18
기권	3	4	3	6	7	7
수권	2	3	2	3	4	2
지권		1	2	2	1	2
생물권	1		1	3	2	3
인간활동	1	1	1	4	3	4
과정양상	2	2	4	6	5	9

Table 12. Changes of Systems thinking Level (students D, E, F)

	학생 D	학생 E	학생 F	학생 D	학생 E	학생 F
	프로그램 투입 전			프로그램 투입 후		
역동적 수치	0.38	0.38	0.32	0.33	0.31	0.35
순환적 수치	0	0.2	0.4	1	0.8	1
강화적 피드백	×	○	○	○	○	○
균형적 피드백	×	×	×	○	×	○
인간활동 포함	○	○	○	○	○	○
시스템 사고 수준	수준 2	수준 2	수준 3	수준 5	수준 4	수준 5

“산업혁명과 지구온난화가 어떤 관계가 있을까?”라고 물으니 “산업혁명을 통해 화석연료 사용이 증가되고, 그래서 온실효과가 더 강해져서 지구온난화가 나타나요”라고 답했으며 이로 인해 지구에 일어날 변화에 대한 질문에서는 “지구온난화로 지구의 평균기온이 증가하면 해수 온도도 상승하고 그럼 바다의 이산화탄소 용해도도 낮아져 더 많은 온실기체가 대기로 들어오게 되요”라는 대답을 하였다. 이 학생의 경우 지식의 섬 수준이 낮고 시스템 사고도 이루어지고 있었으나 이를 제대로 표현하는 방법을 잘 모르는 학생이었다. 수업 중 학습지 작성시 인과 지도와 그림 그리기에 대해 그 방법을 자세히 설명해주고 다가가 살펴보니 사전 검사와는 달리 인과 지도에서는 지구의 자연적인 기후 변화 요인에서 출발하여 이온이 여름과 겨울의 기온 상승, 하강을 고려하여 두 가지의 경우의 시스템 사고를 수행하였으며 강화적 피드백 및 균형적 피드백의 사고도 보여 주었다. 그림에서도 인간 활동을 포함한 대기로의 온실기체의 흡수와 방출, 이것이 수권과 지권에 영향을 주는 모습 및 생물권의 변화까지 고려하는 모습을 보여주었다. 대기 중 수증기량이 증가할 경우 나타나는 변화에 대한 질문에서는 “대기 중 수증기가 증가하면 온실효과도 커지겠지만, 많은 수증기가 구름도 많이 만들어서 크게 영향을 많이 줄 것 같지는 않아요”라고 답하였다. 인과 지도에서 보여준 균형적 피드백 사고까지 그림에서는 보여주지 않았지만 수업 후 사고에 많은 변화를 보여준 학생이었다.

학생 E: 이 학생은 사전 검사지를 분석했을 때, 자신의 생각을 조리있게 표현한 학생은 아니었다. 6명의 연구대상 선정시 처음에는 빠졌지만 학생 활동지 기록 내용을 토대로 면담을 거친 결과 수업 전 올바른 과학개념을 가지고 있었으며 지구온난화에 대해 시스템 사고를 하고 있음을 알 수 있었으며 이를 토대로 학생 E를 포함하였다. 첫 수업 후 수업 활동지의 인과지도에서 ‘광합성하는 식물의 감소 → 이산화탄소 증가 → 온난화의 가속 → 해수의 이산화탄소가 대기로 방출 → 온난화의 가속 → 빙하감소 → 태양에너지의 반사를 감소 → 더 많은 에너지 흡수 → 온난화의 가속’으로 이어지는 강화적 피드백을 잘 보여주었으며 다양한 하위계를 생각하는 시스템적 사고도 매우 우수한 모습이었다. 이를 토대로 다음 날 수업 중 인간활동에 의한 강화된 온실효과가 지구 시스템의 하위계에 어떻게 영향을 주는 지 묻는 질문에 “하

Fig. 6. Post-casual map (student-D).

Fig. 7. Post-drawing (student-D).

석연료를 과도하게 사용하고, 산림을 벌채하면서 대기 중에 방출되는 이산화탄소가 많아지게 되고, 지구 온난화가 시작되면서 지구의 평균기온이 높아지고, 해수에 녹아있던 이산화탄소가 더 많이 대기 중에 나오게 되고, 북극 빙하가 녹아 북극곰이 줄어들게 되고, 해수면도 상승하면서 육지의 면적이 줄고 사람들이 살 터전을 잃게 될거예요”라고 대답을 하였다. 단어 간 관계분석에서도 자신이 설명한 것을 그대로 글로 표현하였으며 빙하에 대해서도 ‘빙하의 감소 → 알베도 감소 → 흡수하는 에너지 증가, 극지방의 물의 증발을 억제하는 빙하의 감소 → 많은 수증기의 대기 유입 → 기후의 변화’와 같이 기권과 수권의 상호작용을 고려한 답을 해주었다. 인간 활동에서 시작된 지구온난화로 생물권, 기권, 수권, 지권을 포함한 시스템 사고를 수행함을 알 수 있었다. 그림에서도 수업 전 그려놓았던 하위계들을 그대로 표현하였지만 이들의 상호관계와 흐름을 좀더 자세히 표현하고 연결하는 모습을 보였으며, 시스템 사고는 수준 4를 보여주었다(Fig. 8, 9).

학생 F: 이 학생은 연구에 참여한 학생 중 사전

Fig. 8. Pre-drawing (student-E).

Fig. 9. Post-drawing (student-E).

검사에서부터 매우 우수한 시스템 사고 수준을 보여주었다. 그리고 이러한 사고를 글이나 그림으로 표현하는 능력도 우수하였다(Fig. 10, 11).

수업 전 지구온난화에 대한 인과지도에서 하나의 상황설정에서 두 가지 방향의 결과를 생각하였으며 하나의 경우에는 시스템 사고를 수행하는 모습을 보여주었다. 그림 그리기에서는 인간 활동에서 시작하여 기권, 수권, 지권 등을 고려한 시스템 사고를 보여줄 수 있다. 수업 중 인간 활동에 의한 강화된 온실효과가 지구 시스템의 하위계에 어떻게 영향을 주는지 묻는 질문에 대해 “대기의 온도가 상승하면, 빙하가 녹고 태양에너지 반사량이 줄어들어서 대기의 온도가 상승해요. 그리고 해수면이 상승하면서 섬들이 잠기고 북극곰의 경우 살아가는 터전을 잃게 되요. 음~또, 대기 온도가 상승하면서 해수의 온도가 상승하고 태풍이 더 잘 발생하고 강해져서 생물들에게 많은 피해를 주게되요.”라고 답을 하였다. 하나의 상황에서 시작된 생각이 여러 지구 하위계를 고려하는 사고로 발전하는 모습을 보여주는 지식의 섬 수

Fig. 10. Pre-casual map: student-F.

Fig. 11. Pre-drawing: student-F.

준이 매우 약하고 시스템 사고 능력이 높은 학생이었다. 게다가 인과지도에서는 강화적 피드백뿐만 아니라 시스템의 평형 또한 고려하는 균형적 피드백의 모습을 보여주었으며, 이는 그림 그리기에서도 해수의 온도 변화를 강화와 균형 두 가지 모두를 그려주었다(Fig. 12, 13).

특히 인과지도에서는 밀란코비치 주기의 요인, 화산폭발, 생물권의 변화 등 자연적인 기후 변화 요인들에 대해 시작하여 이들이 서로 연결되는 시스템 사고를 보여주는 모습을 잘 나타내 주었다. 지구온난화가 진행되어 지구의 기온이 계속 상승하는 경우와 오히려 빙하가 증가하여 대기의 온도 감소로 이어지는 균형적 피드백을 고려하는 모습도 나타나고 있음을 알 수 있다. 그림 그리기에서도 인간 활동을 고려하여 기권, 수권, 지권, 생물권 모두를 고려하는 수준 5의 시스템 사고 수준을 보여 주었다. 그림에서 해수면 온도에 연결하여 ‘大, 小’를 연결한 이유에 대해 질문하니 “이게 많이 상승하고 적게 상승하는게 아니

Fig. 12. Post-casual map (student-F).

Fig. 13. Post-drawing (student-F).

라 해수 온도가 상승하거나 감소하는 걸 그린 건데 잘못 쓴 거 같네요”라고 말한 뒤, “지구온난화가 계속 진행되면 해류 흐름이 변화해서 오히려 빙하가 올 수 있다는 가능성도 있다고 들어요. 그럴 경우에는 해수 온도가 감소할거 같아서 그려 보았어요.”라고 대답하였다. 학생의 사고에서 강화적 피드백과 균형적 피드백을 모두 표현하는 모습이 나타났으며 하나의 상황에서 출발하여 다양한 결과를 생각하는 시스템 사고 능력을 보여주었다.

결론 및 제언

이 연구에서는 학생들의 시스템 사고 향상을 위하여 지구온난화 주제를 중심으로 교육프로그램을 개발하고 학생들에게 투입한 뒤 6명 학생의 시스템 사고 향상 정도를 알아보고자 하였다.

첫째, 교육프로그램 개발은 지구온난화의 이해, 지구온난화의 영향에 대한 주제로 각각 2차시 분량의 수업자료로 제작하였다. 학생들이 지구온난화에 대해 시스템적으로 접근할 수 있도록 다양한 멀티미디어

자료들을 활용하였다. 이러한 자료들은 국동식(2002, 2003)에서 제시된 학생들이 가진 지구온난화 및 온실효과와 관련된 오개념이나 교과서에서 빠진 중요한 개념들을 반영하여 제작하였다. 그리고 김윤지와 정진우(2009)에서 지구계 내의 순환을 소재로 한 교수내용의 다양화 및 학습자의 시스템 사고 향상을 위한 지원을 제안한 것처럼 학교 현장에서의 활용도를 높이기 위하여 수업자료를 플래시로 제작하였으며 교사용 학습지와 학생용 학습지를 PDF파일로 만들었다.

둘째, 선정된 6명의 학생들의 프로그램 투입 전 시스템 사고는 수준 1이 3명, 수준 2가 2명, 수준 3이 1명이었다. 특히 수준 1의 학생 3명은 지구온난화에 대한 개념에서 지식의 섬이 매우 뚜렷하였으며 지구 시스템의 하위계에 대한 시스템 사고가 매우 거의 나타나지 않았다. 또한 지구온난화에 대해 오개념도 가지고 있었다. 반면 수준 2의 2명과 수준 3을 나타낸 학생은 지구온난화에 대해 올바른 과학 개념을 가지고 있었으며 지식의 섬도 매우 약하게 보였으나 지구 시스템의 다양한 하위계를 고려한 시스템 사고가 불완전하게 나타났다.

셋째, 교육프로그램을 활용한 활동 후 시스템 사고가 수준이 낮았던 학생 A, C의 경우 시스템 사고가 수준 1에서 수준 4로 향상되었으며 학생 B는 수준 2로 향상되었다. Ben-zvi-Assaraf and Orion(2005a)에서 시스템 사고 향상을 위해 여러 가지 프로그램 및 지식 통합 활동을 제시하여 학생들의 수행을 분석한 결과 전체를 보는 관점이 훨씬 향상된 모습을 보여주듯 학생 A는 단어 간 관계분석 및 인과지도에서 수권과 인간 활동, 인간 활동과 기권, 지권을 고려하는 시스템 사고를 하였으며 그림 그리기에서도 지구 시스템의 다양한 하위관계를 고려하는 피드백 사고를 보여주었다. 학생 B는 시스템 사고 수준이 낮게 나왔지만 사전 검사와 비교하였을 때, 단어 간 관계분석과 인과지도에서는 기권, 수권, 생물권의 상호작용을 보여주었으며, 그림 그리기에서도 다양한 하위계의 과정을 고려하였으나 상호작용을 표현하기에는 조금 부족하였다. 학생 C도 단어 간 관계분석과 인과지도에서 기권, 수권, 지권, 생물권을 고려한 시스템 사고를 보여주었으며, 그림 그리기에서도 많은 시스템 사고를 표현하였다. 그리고 이들 세 학생의 경우 사전 검사에서 보여주었던 오개념이 학생 A의 경우 과학개념으로 바뀌었으며 학생 C는 과학개념으로 변화해 가는 모습을 보여주었다. 하지만 학생 B의 경

우 오개념이 바뀌지 않고 그대로 남아있었다.

넷째, 프로그램 투입 전 분석에서 시스템 사고 수준이 높았던 학생 D, F는 활동 후 시스템 사고가 수준 5로 향상되었으며 학생 E는 수준 4로 향상되었다. 학생 D는 단어 간 관계분석과 인과지도에서 기후 변화에 대한 다양한 경우에 대해 강화적, 균형적 피드백을 모두 고려한 시스템 사고를 하였으며 그림 그리기에서도 지구 시스템 각 하위계 전체에 대해 시스템 사고를 하는 모습을 보여주었다. 학생 E는 단어 간 관계분석과 인과지도에서 인간 활동에서 시작된 지구온난화로 기권, 수권, 생물권, 지권 모두를 고려하는 시스템 사고를 보여주었고, 그림에서도 지구 시스템 각 하위계의 상호관계와 흐름을 잘 표현해주었다. 학생 F는 단어 간 관계분석이나 인과지도에서 우수한 시스템 사고를 보여주었다. 하나의 상황에서 시작된 사고가 지구 시스템 하위계 모두를 고려하였으며, 강화적 피드백 및 균형적 피드백을 모두 고려할 줄 알았다. 그림 그리기에서도 자기의 사고 과정을 자신있게 표현하는 모습을 보여주었다. 이는 Kali et al.(2003)과 Ben-zvi-Assaraf and Orion(2010, 2005a, 2005b)에서 나타난 것처럼 고등사고능력 함양을 위해 적절한 프로그램이 제공된다면 학생들의 머릿속에 섬으로 존재하는 지식과 개념들이 전체적으로 연결되어 순환하는 시스템 사고가 향상되었다는 것과 일치하는 결과를 보여준다.

지구에서 발생하는 자연현상은 단순한 법칙과 원인이 아닌 이에 관련되는 지구 시스템 하위계들의 상호작용을 통해 복잡한 과정 속에서 이루어진 결과이다. 이러한 자연현상을 충분히 이해하려면 단선적인 사고가 아닌 전체 시스템의 하위계들의 특성을 이해하고 이들의 상호작용을 고려할 줄 아는 시스템 사고가 필요하다. 또한 이러한 사고는 과학교육의 전반적인 발전과 개선을 위해서도 매우 중요하다. 이와 같은 관점에서 최근 지구 환경에서 매우 중요하게 인식되고 있는 지구온난화에 대하여 학생들의 시스템 사고 향상을 위한 교수-학습 자료를 개발하고 학교 현장에서 직접 수업을 한 뒤 학생들의 그 변화를 살펴보았다.

처음에는 학생들의 생각 속에 섬처럼 따로 떨어져 있던 지구온난화에 대한 각각의 지식들이 서로 연결되고 순환과정을 이해하는 시스템 사고가 향상되는 모습을 볼 수 있었다. 물론 이 연구만으로 학생들의 완벽한 시스템 사고 향상을 단정지을 수는 없다. 학

생들이 가진 견고한 오개념을 과학개념으로 수정할 수 있는 자료들도 개발되어야 할 것이다. 그리고 점점 더 증가하고 있는 다양한 융합적 지식과 개념들을 체계적으로 학습하기 위해서는 초등교육부터의 체계적인 시스템 사고 교육이 필요하며(문병찬, 2009), 학생들의 사고양식에 따른 시스템 사고 향상 프로그램 등이 다양하게 개발될 필요가 있다(이효녕과 김승환, 2009). 또한 Ben-zvi-Assaraf and Orion(2010)의 연구에서처럼 시스템 사고능력 향상을 위한 수업을 받은 학생들의 성적향상 및 진로선택 등 고등사고능력이 학생에게 미치는 장기적인 영향에 대해서도 연구할 필요성이 있다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 연구되었음(NRF-2011-327-B00620).

참고문헌

- 교육과학기술부, 2011, 과학과 교육과정[별책9]. 교육과학기술부, 269 p.
- 교육인적자원부, 2000, 고등학교 교육과정 해설: 과학. 교육인적자원부, 75 p.
- 기후변화정보센터, 2010, <http://www.climate.go.kr/index.html>, (Retrieved July 11, 2011)
- 김도훈, 문태훈, 김동환, 1999, 시스템 다이내믹스. 대영문화사, 서울, 130 p.
- 김동환, 2000, 김대중 대통령의 시스템 사고. 집문당, 서울, 35 p.
- 김동환, 2004, 시스템사고. 선학사, 서울, 155 p.
- 김동환, 2005, 시스템사고의 적용에 관한 내면적 성찰. 정부학연구, 11, 63-85.
- 국동식, 2002, 온실효과에 대한 고등학교 공통과학교과서 분석. 한국과학교육학회, 23, 455-460.
- 국동식, 2003, 온실효과 개념에 대한 오개념 원인으로서의 10학년 과학 교과서 분석. 한국과학교육학회, 23, 592-598.
- 김만희, 김범기, 2002, 현대 과학교육의 동향과 시스템사고 패러다임의 비교 연구. 한국과학교육학회지, 22, 64-75.
- 김윤지, 정진우, 2009, 지구계 교육과 소재로서 순환에 대한 이해. 한국과학교육학회지, 29, 951-962.
- 김윤지, 정진우, 위수민, 2009, 대학생들이 인식하는 지구계 순환의 구성 개념 분석. 한국과학교육학회지, 29, 963-977.
- 박영순, 2004, PISA 검사 결과에서 드러난 만15세 한국 학생들의 온실효과에 대한 대안적 개념. 한국과학교육학회, 24, 668-674.
- 문병찬, 정진우, 경제복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호, 2004, 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스템의 관련개념과 시스템 사고의 적용. 한국지구과학회지, 25, 684-696.
- 문병찬, 김해경, 2007, 예비초등교사들의 시스템 사고 능력 및 특성에 대한 연구. 한국 시스템 다이내믹스연구, 8, 235-252.
- 박현웅, 최원용, 1999, 온실효과와 지구온난화. 화학세계, 39, 26-31.
- 신동희, 2000, 국내 지구과학교육 연구의 동향과 나아갈 방향. 한국지구과학회지, 21, 479-487.
- 신동희, 2001, 지구과학과 환경교육. 한국지구과학회지, 22, 147-158.
- 신동희, 이양락, 이규석, 이기영, 이은하, 2005, 지구환경을 고려한 미래지향적 지구과학 교육과정제안. 한국지구과학회지, 25, 239-259.
- 윤일희, 2004, 현대 기후학. 시그마프레스, 서울, 261 p.
- 이창진, 2003, 지구과학의 정체성과 학문 분류. 한국지구과학회지, 24, 650-656.
- 이효녕, 김승환, 2009, 과학영재학생들의 사고유형에 따른 지구 시스템적 인지 특성. 과학교육연구지, 33, 12-30.
- 임은경, 홍상욱, 정진우, 2000, 지구계 교육의 현장적용에 관한 연구. 한국지구과학회지, 21, 93-102.
- 전기정, 2000, 우리나라 IMF원인에 관한 연구: Mind Mapping을 통한 시스템 사고. 한국시스템 다이내믹스연구, 창간호, 32-60.
- 조규성, 강현아, 2002, 지구계교육 프로그램의 적용에 따른 학습자의 반응(지구 기후 게임을 중심으로). 한국지구과학회지, 23, 299-230.
- 제귀연, 안희수, 1999, 온실효과에 대한 학생들의 개념 분석. 한국과학교육학회, 19, 585-594.
- 허경철, 1999, 지식생성교육을 위한 지식의 구조 분석. 한국교육, 26, 101-127.
- 한국지구과학회, 2009, 재미있는 지구과학 이야기. 이치, 서울, 216 p.
- Mayer, V.J., 남정희, 이효녕, 2007, 통합과학의 이해: 지구 시스템적 접근. 자유아카데미, 서울, 261 p.
- MBC미디어, 2008, 북극의 눈물 DVD, MBC.
- Ben-zvi-Assaraf, O. and Orion, N., 2005a, A study of junior high students' perceptions of the water cycle. Journal of Geoscience Education, 53, 366-373.
- Ben-zvi-Assaraf, O. and Orion, N., 2005b, Development of system thinking skills in the context of Earth System Education. Journal of Research in Science Teaching, 42, 518-560.
- Ben-zvi-Assaraf, O. and Orion, N., 2010, System Thinking Skills at the Elementary School Level. Journal of Research in Science Teaching, 47, 540-563.
- Ben-zvi-Assaraf, O. and Orion, N., 2010, Four case studies, six years later: Developing system thinking skills in junior high school and sustaining them over time. Journal of Research in Science Teaching, 47,

- 1253-1280.
- Chen, D. and Stroup, W., 1993, General system theory: Toward a conceptual framework for science and technology education for all. *Journal of Science Education and Technology*, 2, 447-459.
- Dori, Y.J. and Tal, R.T., 2003, Teaching biotechnology through case studies-Can we improve higher order thinking skills of nonscience major? *Science Education*, 87, 767-793.
- Gudovitch, Y., 1997, The global Carbon cycle as a model for teaching earth systems in high school: Development, implementation and evaluation. Unpublished master's thesis. The Weizmann Institute of science, Rehovot Israel [in Hebrew].
- Hewton, J., 2007, 지구온난화. 한울아카데미, 서울, 148 p.
- Ison, R., 1999, Applying systems thinking to higher education. *Systems Research and Behavioral Science*, 16, 107-112.
- O'Connor, J. and McDermot, I., 1997, *The Art of Systems Thinking: Essential skills for creativity and problem solving*. Thorsons Publishers, London, UK, 288 p.
- Kali, Y., Orion, N., and Eylon, B-S., 2003, Effect of knowledge integration activities on students' perception of the Earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 545-556.
- Lang, M., 2002, The Earth as system: A topic for integrated science education. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, LA, USA, 18-148.
- Lee, J. and Fortner, R.W., 2000, Classification of environmental issues by perceived certainty and tangibility. *The International Journal of Environmental Education and Information*, 19, 11-20.
- Mayer, V.J., 1997, Science literacy in a global era. *Hyogo University of Teacher Education Journal*, 17, 75-89.
- Mayer, V.J. (ed.), 2002, *Global science literacy*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Netherlands, 242 p.
- Mayer, V.J. (ed.), 2003, *Implementing Global science literacy*. Earth Systems Education Program, The Ohio State University, OH, USA, 88 p.
- Mayer, V.J. and Fortner, R.W. (eds.), 1995, *Science is a study of Earth: A resource guide for science curriculum restructure*. The Ohio State University, OH, USA, 64 p.
- Mayer, V.J. and Kumano, Y., 1999, The role of system science in future school science curricula. *Studies in Science Education*, 34, 71-97.
- McNamara, C., 1998, *Applied Systems thinking*. Paper presented at the annual meeting of the International Society for the Systems Sciences Conference. <http://www.newciv.org/ISSS/homepage.htm>.
- Clifford, N. and Richards, K., 2005, Earth system science: An oxymoron. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 379-383.
- Novick, S. and Nussbaum, J., 1978, Junior high school pupils understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62, 273-281.
- Perkins D.N. and Unger, C., 1999, Teaching and learning for understanding. In Reigeluth, C.M. (ed.), *Instructional design theories and models*. Lawrence Erlbaum Associates, NJ, USA, 91-144.
- Resnick, M., 1996, Beyond the Centralized Minds. *The Journal of The Learning Science*, 5, 1-22.
- Shultz, T.R., Fisher, G.W., Pratt, C.C., and Rulf, S., 1986, Selection of casual rules. *Child Developmental Psychology*, 12, 69-82.
- Sweeney, L.B. and Sterman, L.D., 2000, Bathtub dynamics: Initial results of a systems thinkings inventory. *System Dynamics Review*, 16, 249-286.
- WBGH Educational Foundation, 2009, <http://www.teachersdomain.org> (March 11, 2009)

2011년 8월 16일 접수

2011년 10월 17일 수정원고 접수

2011년 11월 29일 채택