

과학 글쓰기를 통한 고등학생의 지구 시스템에 대한 이해와 시스템 사고의 분석

이현동¹ · 김태수² · 이효녕^{1,*}

¹경북대학교 지구과학교육과, 41566, 대구광역시 북구 대학로 80

²영남고등학교, 42748, 대구광역시 달서구 월곡로 300

An Analysis of High School Students' Systems Thinking and Understanding of the Earth Systems through their Science Writing

Hyundong Lee¹, Taesu Kim², and Hyonyong Lee^{1,*}

¹Department of Earth Science Education, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Yeongnam High School, Daegu, 42748, Korea

Abstract: The purposes of this study were to analyze high school students' understanding about the Earth system and systems thinking process, and to develop science writing programs designed to assess students' understanding about themes of Earth Science such as global warming, volcanoes, and desertification. A total of 8 11th grade students from general high schools participated in the writing program and draw the causal maps. The methods of this study are as follows. First, DAET-C was used to investigate the way of students' understanding about the Earth systems. What the students' best understood was the component of the Earth systems followed by the interaction of the Earth systems and the scientific literacy of Earth science. Second, feedback circulations on the causal maps were found in four students in global warming section, one student in volcanic eruption section, and four students in desertification section, which means that systems thinking was not largely employed by the students. Consequently, the student participants understood that the global change was happening in correlation with complex concepts and factors, but they were short of using systems thinking in their science study. Therefore, the result of this study suggests that more studies be conducted to develop systems thinking in Earth Science learning through science writing programs.

Keywords: Science Writing, Earth Systems Education, Earth System, Systems Thinking, Interaction

요약: 이 연구의 목적은 과학 글쓰기를 통해 고등학생의 지구 시스템에 대한 이해와 시스템 사고 과정을 분석하는 것이다. 글쓰기 활동에 활용한 자료는 지구과학 I 교과 내용 중 지구환경 변화에 관련된 3가지 주제(지구 온난화, 화산 분출, 사막화)이며 이와 관련된 과제를 개발하였다. 개발한 자료는 고등학교 2학년 학생 8명을 대상으로 투입하였으며 작성한 과학 글쓰기 내용을 바탕으로 DAET-C 체크리스트와 지구 시스템에 관련된 개념을 구성요소로 하여 인과지도 를 작성한 후, 이를 근거로 하여 시스템 사고의 관점에서 분석하였다. 그 결과로 첫째, 학생들은 지구 시스템의 구성, 지구 시스템의 상호작용, 지구과학적 소양, 시스템 순으로 지구 시스템을 이해하는 것으로 조사되었다. 둘째, 학생들의 과학 글쓰기 내용을 바탕으로 각각의 주제별로 인과지도를 작성한 결과 피드백 순환 고리가 나타난 학생은 연구에 참여한 8명 중 지구 온난화 관련 주제에서는 4명, 화산 분출 관련 주제에서는 1명, 사막화 관련 주제에서는 4명의 학생

*Corresponding author: hlee@knu.ac.kr

Tel: +82-53-950-5917

Fax: +82-53-950-5946

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.

이 지구 시스템에서 하위 요소 간의 상호작용을 고려하는 시스템 사고를 하고 있는 것으로 조사되었다. 결론적으로 연구에 참여한 학생들은 지구환경 변화가 지구계 하위 요소 사이의 상호작용을 통해 복잡한 과정 속에서 복합적으로 이루어지고 있다는 사고를 하고 있었으나, 지구 시스템의 순환에 대한 과정에서 시스템 사고는 미흡한 것으로 나타났다. 과학 글쓰기 활동을 활용하여 지구 시스템 교육과 시스템 사고를 향상시킬 수 있는 다양한 연구가 필요할 것이다.

주요어: 과학 글쓰기, 지구 시스템 교육, 지구 시스템, 시스템 사고, 상호작용

서론

현대 사회는 컴퓨터 네트워크를 비롯한 과학기술의 발달로 수많은 정보를 손쉽게 접할 수 있게 되었고 심지어 개인의 지식까지 정보적 가치를 가지게 되었다. 최근 들어 정보에 대한 접근 기회가 확대되면서 정보를 기억하고 재생하는 능력보다는 정보를 합리적으로 선택하고 문제를 창의적이고 비판적으로 해결할 수 있는 능력이 요구된다. 특히 사회적으로 다양한 규범들 속에서 일관된 행위 기준들을 발견하면서 올바르게 판단하고 여러 현상에 대해 능동적으로 대처할 수 있는 사고 능력이 강조되고 있다. 이러한 필요와 요구에 의해 최근 학교 교육에서도 이와 같은 사고 능력 향상을 위한 글쓰기 교육의 필요성이 강조되고 있다(Hwang, 2001; Linn and Eylon, 2006).

교육과 사회와의 밀접한 상호 관계에 근거해 볼 때, 현대 사회에서 강조되는 글쓰기 교육의 역할은 학습자들에게 다양한 문제를 해결할 수 있도록 합리적이고 창의적인 사고력을 신장하는 것에 그 비중을 높게 두고 있다(Kim, 2007). 이러한 창의적 사고력 신장을 위해 우리나라 과학과 교육과정에서는 2007 개정 교육과정에서 과학 글쓰기가 본격적으로 도입되었으며, 2009 개정 교육과정에서도 교수·학습 방법과 평가에서 과학 글쓰기에 대한 지침이 제시되었다(MEST, 2009; MOEHR, 2007).

과학 글쓰기는 자연 현상과 과학적 사실, 과학적 탐구를 바탕으로 과학적 사고를 요구하는 글쓰기라는 점에서 일반적인 글쓰기와 차이점이 있다(Hand et al., 2004; Shin et al., 2013). 과학 수업에서 학생들의 글쓰기 활동이 중요하게 인식되어지는 것은 글쓰기를 통해 학생들이 학습 내용을 인지하고 내면화할 수 있을 뿐 만 아니라, 글로 표현하는 과정에서 새로운 내용을 발견할 수 있기 때문이다(Nunan, 1999; Raimes, 1983). 또한 학생들은 글쓰기 활동의 문제해결과정에서 과학적 사고력인 추론을 사용한다. 학생들의 과학적 사고력은 글쓰기를 통해 확장될 수 있고, 글쓰기 속에서 학생들의 성향이 드러나기 때문에

학생들의 공통적인 쓰기 양상을 알 수 있다(Keys, 1999). 글쓰기 활동을 통해 학생들의 인지적인 측면 이외에 다양한 능력을 향상시킬 수 있는 것이다.

글쓰기 교육의 방법 중 하나인 과정 중심적 글쓰기 접근 방식은 글을 쓰는 과정에서 아이디어를 생성하고, 조직, 표현, 수정하는 과정을 강조하고 있고 글쓰기 행위를 하나의 문제 해결 과정으로 간주한다. 또한 글쓰기를 통해 학생의 문제 해결 능력과 사고력을 기를 수 있으며, 학생들이 글쓰기 활동 과정에서 자신이 생각하는 과학지식에 대한 체계적인 고찰 과정을 경험하고, 자신의 생각에 대한 오류를 발견하고 수정할 수 있는 기회를 가질 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 학생 스스로 오개념을 발견하고 수정할 필요성을 느끼게 됨으로써 개념변화에 있어서도 글쓰기 활동은 효과적인 방법이 될 수 있다(Lee and Choi, 2005).

이러한 과학 글쓰기에 활용되는 형식으로는 보고서 형식의 글쓰기, 마인드 맵핑을 이용한 글쓰기 등이 있으며(Yun and Wee, 2016), 국외에는 시스템 사고와 관련한 Box 인과지도를 바탕으로 한 글쓰기의 양식도 제시되었다(Sibley et al., 2007). 학습자는 글쓰기를 통하여 기존의 지식을 탐색하거나 강화, 개량할 수 있으며 자신의 사고를 분명히 파악할 수 있다(Hodson, 1993; Jeong and Yeau, 2013; Lee, 2009). 글쓰기를 활용하여 학습자는 단순 지식을 넘어선 종합적 사고 과정을 학습하게 되고 의미를 구성하는 과정을 거쳐 지식을 생성할 수 있다(Lee, 2004). 이러한 의미를 구성하는 글쓰기의 기본 원리는 전체를 이해하고 전체를 구성하는 각 하위 요소 사이의 상호작용을 고려하는 사고 방법인 시스템 사고와도 직접적으로 관련되어 있다(Hanson and Williams, 2008; Mayer and Kumano, 1999; O'Connor and McDermott, 1997).

시스템 사고는 넓은 의미로 어떤 공통의 과정에서 부분적으로 작용하는 힘을 파악하고 그 힘들의 상호관계성을 분석할 수 있는 모든 방법, 과정, 원칙 등을 모두 포함하는 광범위한 지식 체계를 말한다(Lee

et al., 2008). 과학적인 사고방식이지만, 직관적인 지혜를 추구하는 매우 유연한 사고방식이다. 시스템 사고는 논리적·종합적인 사고를 강조하면서도 이미 우리가 알고 있는 정보와 지식을 새롭게 조직화하여 시스템의 작동 원리와 체계를 직관적으로 이해하도록 도와주는 사고이다(Broks, 2016; Kim, 2004).

시스템을 구성하는 요소들 간 상호작용에 대한 개념들만으로 인과지도를 작성하고, 인과지도의 분석을 통해 시스템의 특성을 파악하는 연구방법이 Senge (1996)에 의해 소개되면서, 시스템 사고는 인과지도를 통해 시스템의 특성을 이해하는 독립적인 분석 도구로 활용되고 있다(Lee et al., 2011; Moon et al., 2004; Richmond, 1993). 시스템 사고를 통해 단일 시스템을 이해하는 과정에서 첫 번째 단계는 전체 시스템에 대한 구성 지도, 즉 인과지도를 작성하는 것으로 학생들의 시스템과 관련한 상호 작용 과정을 살펴볼 수 있다(Ben-Zvi-Assarf and Orion, 2005a; Lee et al., 2011; Sibley et al., 2007).

이러한 시스템 사고는 지구 시스템의 학습과 그 결과를 알아보는데 매우 유용하게 활용되고 있다(Jeon and Lee, 2015; Lee et al., 2011; Moon et al., 2004; Park and Lee, 2014). Moon et al. (2004)과 Lee et al. (2011)의 연구 결과를 살펴보면, Assarf and Orion (2005a, 2005b)의 연구에서 활용한 단어 간 관계분석, 인과지도, 그림 그리기 등의 질적 분석 도구를 활용하여 탄소 순환이나 지구 온난화 등의 주제에 대하여 학생들의 시스템 사고를 분석하였다. 이러한 기법들은 추후 이어지는 여러 시스템 사고 분석 연구에서도 지속적으로 활용되어지고 있다(Im and Lee, 2014; Jeon and Lee, 2015; Lee et al., 2013).

지구 시스템을 강조한 지구과학 교육의 내용은 미국의 AAAS에서 개발한 Project 2061과 NSTA의 Scope, Sequence and Coordination, 그리고 NRC의 과학 교육 기준 등에서 찾아볼 수 있다(AAAS, 1989, 1993; NRC, 1996, 2013; NSTA, 1996). 그 핵심 내용은 지구와 우주 과학의 교수학습에 있어서 지구 시스템이라는 거시적인 관점에서 다루는 것이다. 여기에는 지구과학적 소양의 배양과 지구 시스템에 대한 이해의 증진, 지구에 대한 감사의식이나 가치를 인식시키는 것도 포함하고 있다. 지구 시스템에 대한 교육은 1990년대 중반 이후에 미국의 현장 교육자들에 의해 자발적으로 시작되어 현재 미국 전역으로

확대되었을 뿐 아니라, 미국, 일본, 독일, 대만 등 여러 국가에서도 국가 교육과정의 개혁을 위해 지구 시스템 접근법을 사용하고 있다(Fortner, 1999; Yu et al., 2007).

우리나라에서는 1996년 5월 국제 과학 교육 세미나에 참가한 지구 시스템 교육의 연구 책임자인 Mayer의 연구 논문 발표가 있었고, 우리나라 교육과정의 지구과학 내용에 대한 체계적인 틀로서 활용되고 있다. 지구 시스템을 반영한 교육은 7차 교육과정에서부터 지속적으로 과학과 교육과정에 반영되어 2009 개정과 2015 개정 교육과정에서도 고등학교 과학의 단원에 '시스템과 상호작용'에 '지구 시스템'이 핵심 개념으로 제시되었다. 그러므로 과학교육에서 지구과학은 미래의 지구 환경을 살아갈 학생들에게 다양한 관점에서 통합적인 시스템 사고를 하게 함으로써 학생들의 흥미를 유발하는 것은 물론 자신들이 살아가고 있는 지구환경에 대한 중요성을 통합적이고 거시적인 관점에서 학습할 수 있도록 한다.

포괄적인 개념의 상위 요소와 하위 요소와의 상호 작용을 다루는 지구 시스템에서 여러 가지 자연 현상에 대하여 학습 할 때, 학습자들이 통합적인 사고인 시스템 사고를 할 수 있는지를 살펴보기 위한 도구로 글쓰기를 활용할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 학생들의 과학 글쓰기를 통해 고등학교 학생들의 지구 시스템에 대한 이해와 학생들의 사고에서 나타나는 시스템 사고의 상호작용을 Box형 인과지도 분석을 통해 알아보고자 한다.

연구 방법 및 절차

연구 절차

이 연구에서 개발한 과학 글쓰기 검사지는 2009 개정 과학과 교육과정의 지구과학 I 교과 내용 중 지구계의 상호작용 요소와 관련된 내용 요소를 추출하여 지구 온난화, 화산 분출, 사막화와 관련된 제시문을 구성하고, 이를 바탕으로 한 과학 글쓰기 문항을 개발하였다(Appendix 1). 개발한 검사지는 지구과학 교육 전문가 3명으로 내용 타당도를 검증 받았으며, 내용 타당도 검증에서 제시된 수정 사항들을 보완하여 최종 검사지 및 문항을 완성하였다. 최종 문항은 고등학교 2학년 학생 8명에게 투입하였다. 학생들이 글쓰기를 하는 과정에서 연구자는 학생들과 반구조화된 면담을 실시하여 글쓰기로 명확하게 표현되지 않

은 정보를 수집하였다. 학생들이 최종적으로 작성한 글쓰기 내용은 Box형 인과지도로 변환하였으며 Box형 인과지도와 면담 내용을 토대로 연구 결과를 정리 후 분석하였다.

연구 대상

이 연구의 대상은 K중소 도시에 소재한 인문계 고등학교 2학년 남학생 3명(A, B, C), 2학년 여학생 5명(D, E, F, G, H)으로 지구과학 I을 배운 자연공학 계열 학생이다. 이들은 중학교와 고등학교 1학년의 교육과정을 이수하면서 지구 시스템에 대한 기본적인 내용에 대하여 학습하였으며, 학업 성적은 모두 학생들이 속한 반에서 중상위권에 해당하였다. 이 연구를 위하여 학생들의 연구 참여 의사 및 학부모의 동의를 받았다. 그리고 이 연구에서 수업을 실시한 지구과학 담당 교사는 교직 경력 10년의 지구과학교육 전공자이며 석사과정을 수료하였다. 담당 교사는 학생들에게 마인드맵과 여러 매체를 활용한 수업을 실시하고 있으며 지구과학의 특성(시·공간적)과 지구과학에서 강조되는 사고나 탐구 등에 초점을 두고 학생들을 지도하고 있다.

검사 도구

과학 글쓰기 활동을 위한 검사 도구는 지구 온난화, 화산 분출, 사막화 현상 등 3가지 주제에 대하여 제시문과 문항으로 구성하였다. 이는 과학과 교육과정의 지구과학 I에 포함된 내용 요소를 추출하여 개발하였다. 각각의 주제별 과학 글쓰기 문항은 4가지 문항과 최종적으로 3가지 주제를 거시적인 관점에서 접근하여 시스템 사고를 어떻게 하고 있는지를 알기 위한 1문항을 제작하였다. 각 주제별로 4가지 문항 중 2 문항은 지구 시스템에 대한 학생들의 이해를 조사하기 위한 문항이며, 나머지 2 문항은 학생들의

시스템 사고를 알아보기 위한 문항으로 개발하였다 (Table 1).

이 연구에서 개발한 검사지는 모두 지구과학교육을 전공하고 있는 박사학위를 가진 전문가 3인, 4인의 박사과정의 고등학교 교사, 6인의 석사과정 고등학교 교사에게 내용 타당도를 의뢰하여 3가지 각 주제의 적합성, 개발된 제시문과 그에 따른 문항에 대한 적절성과 내용 타당도를 검증받았다. 내용 타당도 검증에서 제시된 전문가들의 수정 사항을 반영하여, 최종적으로 글쓰기 문항을 완성하였다.

분석 방법

과학 글쓰기를 통해 서술한 3가지 주제에서 각 문항에 대해 학생들이 작성한 글쓰기 내용을 바탕으로 지구 시스템에 대한 이해 정도를 분석하였다. 지구 시스템에 대한 이해 정도를 파악하는 도구로는 7가지 지구 시스템 이해틀(목표)속에 7개의 주요 기본 요소를 포함시켜 Go (2008)에 의해 개발된 DAET-C 체크리스트(Draw An Earth Test Checklist)를 사용하였다(Table 2). 과학 글쓰기를 통해 본 지구 시스템 핵심 요소인 지구 시스템의 구성, 지구 시스템의 상호작용, 시스템으로서의 지구, 기타 4가지 요소 등의 각 하위 요소들이 글 속에서 표현된 경우 관련 요소의 개수를 세어 학생들의 지구 시스템에 대한 이해 정도를 분석하였다.

그리고 학생들의 시스템 사고 정도를 파악하기 위하여 학생들이 작성한 ‘개념 지도’와 ‘원인·결과 형태의 짧은 문장으로 글쓰기’의 내용을 Box형 인과지도로 작성하기 위하여 그림으로 나타내었다. 정리된 내용과 그림을 분석하여, 제시된 3가지 주제에 대한 통합적 사고 분석 및 적용된 개념이 인과관계에 따른 시스템 사고의 모습을 분석하였다. 또한 인과지도에서는 Moon et al. (2004)의 연구에서 사용한 양(+)

Table 1. Science writing programs

번호	문항 내용
1	위의 제시된 글에서 지구 온난화(화산 폭발, 사막화)에 대한 지구환경의 구성 요소들이 서로 영향을 주고, 받으며 상호작용을 하고 있는지 개념지도로 표현하여 봅시다(단어들을 화살표로 연결하여 보세요. 만약 한 요소가 다른 여러 요소들과 상호작용을 할 경우, 그 화살표를 있는 대로 모두 표시하고 화살표에 색깔을 넣어서 표시해도 됩니다. 색깔을 넣었다면 그 색깔이 나타내는 의미가 무엇인지 자세히 적어 주세요).
2	위의 제시된 글에서 지구 온난화(화산 폭발, 사막화)에 관련된 여러 현상들을 나열하여 써 봅시다(단, 3가지 이상).
3	위 (2)에서 적어 본 현상들을 지구환경의 구성 요소들 즉, 각 권(수권, 지권, 기권, 생물권, 빙권)에 영향을 미치는 요소를 연결시켜(원인→결과) 짧은 문장으로 글을 써 봅시다(단, 3가지 이상).
4	위의 제시된 글에서 알게 된 사실을 바탕으로 우리 주변에서 볼 수 있는 환경 변화(예: 해수면 상승)에 대한 자신의 생각을 원인과 결과 형태로 나타내어 자신의 생각을 서술하여 글을 써 봅시다(단, 300자 내외로 적어 주세요).

Table 2. Composition of DAET-C checklist

	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)	(바)	(사)
지구 시스템의 구성	기권	수권	지권	생물권	인간 활동	외권	빙권
지구 시스템의 상호작용	권 내의 상호작용	권과 권 사이의 상호작용	인간의 상호작용				
시스템으로서의 지구	시스템으로서의 지구						
지구과학적 소양	심미적 요소	가치 요소	감사의식 요소				

과 음(-)의 연결 과정을 분석에 활용하였다. 양(+)
의 연결 과정은 원인이 결과의 상황을 더 강화시키는
방향으로 작용하는 경우, 음(-)의 연결 과정은 원인이
결과의 상황을 감소시키는 방향으로 작용하는 경
우로 정의하였다.

또한 8명의 학생들이 작성한 내용을 글쓰기로 명
확하게 표현되지 않은 정보를 수집하기 위하여 학생
들과 반구조화된 면담을 실시하여 결과에 대한 해석
을 보완하였다. 학생들이 글쓰기 활동을 하는 과정에
서 필요하다고 판단되는 경우 해당 학생에 대하여
면담을 실시하였으며 면담 내용은 녹음 후 전사를
하여 분석에 활용하였다.

연구 결과

지구 시스템에 대한 이해

학생들이 검사지에 작성한 과학 글쓰기의 내용 중
‘지구 시스템’에 대한 이해를 분석하였으며 8명의 학
생 중 F 학생의 글쓰기 내용을 예시로 제시하였다
(Table 3). F 학생이 작성한 글쓰기 내용으로부터
DAET-C 체크리스트에 해당하는 요소의 수를 세었으

며, 같은 방법으로 나머지 학생 7명 학생의 글쓰기
내용을 분석하였다. 그 결과, 8명의 학생들은 지구
시스템의 구성 관련 영역에 대하여 153개(68.9%)의
요소를 제시하였다(Table 4). 그 중 48개가 기권(가)
에 대한 요소였으며, 빙권(사)에 대한 요소가 8개로
가장 적었다. 지구 시스템의 상호작용 관련 영역에서
45개(20.3%)의 요소를 제시하였으며 그 중 지구 시
스템의 하위권과 다른 하위권 사이의 상호작용을 31
개로 가장 많이 제시하였다. 시스템 관련 영역에서 8
개(3.6%), 지구과학적 소양 관련 영역에서 16개
(7.2%) 요소들이 나타났다.

DAET-C 체크리스트의 결과를 분석한 결과, 학생
들은 지구 시스템의 구성에서 기권, 수권, 지권 등
지구 시스템의 하위계 구성에 대한 표현을 가장 많
이 하였다. 그리고 지구계의 상호작용에서는 각 하위
계 사이의 상호작용을 표현하였다. 반면 하나의 하위
계 안에서 나타나는 상호작용이나 인간과의 역할을
나타내는 것은 미흡하였다. 이는 지구계에서 하위계
사이의 상호작용에 대해서는 이해하고 있으나, 하나
의 하위계 안에서 나타나는 숨겨진 차원 사이의 상
호작용에 대한 사고가 부족한 것으로 분석된다. Ben-

Table 3. The summary of F student’s result

대상	영역	과학 글쓰기 내용
F 학생	지구 온난화	해수면의 온도가 지구 온난화에 상승함으로써 히말라야 빙하뿐만 아니라 지구상의 많은 빙하들이 녹아 내리고 있다. 그로 인해 히말라야의 빙하는 매년 10~15 m 정도 축소되고 있고, 해수면은 점점 높아지고 있다. 또 해수면 온도 상승은 빙하 소멸뿐만 아니라, 태풍이나 허리케인의 세력을 더욱 강화시키는데 일조를 한다. 태풍은 지구의 열에너지의 불균형을 해소하기 위해 저위도의 열을 고위도로 이동시키는데 그 과정에서 해수의 온도가 높게 유지됨으로 인해 따뜻한 수증기를 많이 공급받아 그 세력이 커지게 되어 결국 우리에게 문제가 생기고 그로 인해 먹이사슬에도 큰 피해를 입힌다. 그리고 해류의 흐름에 이상이 생겨서 플랑크톤의 영양 공급에 있어서 문제가 생겨 결국 파괴가 된다.
	화산분출	화산이 폭발함으로써 화산재가 대기 중에 분출되고, 그로 인해 지표에 도달하는 태양 E가 감소해서 지구의 평균 기온이 낮아진다. 반면에 화산가스도 함께 분출되어 온난화가 발생한다. 온난화가 발생할 때 해수의 온도가 상승하여 바다 생물에겐 큰 피해를 입힌다. 폭발할 때 지구 내부에 있던 마그마도 분출되어 흘러내려 인간을 비롯한 생물들을 뒤덮어(?) 삶의 터전을 파괴하는 등 큰 피해를 입힌다.
	사막화	사막화로 인해 사막이 생기고, 그로 인해 황사가 발생하여 생물권에 큰 피해를 준다. 또 사막화로 인해 숲이 없어져서 온난화가 가속되고 그로 인해 해수면을 더욱 상승하며 각종 염류까지 유입되어 결국 해양(물)이 오염된다. 그리고 물의 오염으로 인해 결국 물부족 현상까지 발생한다.

Table 4. The findings of DAET-C analysis

	(가)	(나)	(다)	(라)	(마)	(바)	(사)	계 (%)
지구 시스템의 구성	48	34	22	19	11	11	8	153 (68.9)
지구 시스템의 상호작용	13	31	1					45 (20.3)
시스템으로서의 지구	8							8 (3.6)
지구과학적 소양	4	12	0					16 (7.2)
계								222 (100.0)

zvi-Assarf and Orion (2005a)에 의해 숨겨진 차원을 고려하는 사고는 시스템 사고에서 상위 수준에 속한다고 분석되었다. 선행 연구 결과를 토대로 분석하면 이 연구에 참여한 학생들의 시스템 사고 수준은 중간 수준 이하로 분석된다(Ben-zvi-Assarf and Orion, 2005a, 2005b).

지구 환경 변화에 대한 통합적 사고

학생들은 지구 환경 변화와 관련한 3가지 주제에 대하여 각각 과학 글쓰기를 실시하고 난 후, 3개의 주제를 통합적인 관점에서 관련지어 글을 쓰는 활동도 실시하였다. 학생들이 작성한 통합적인 관점의 글 쓰기 결과물과 학생들이 그린 그림을 토대로 통합적 사고에 대한 결과를 분석하였다(Table 5, Fig. 1, 2, 3).

A, B, C, F, H 학생은 글쓰기를 통해서 자신들의 사고를 표현하였다. 이 학생들은 주로 화산 활동 활

동과 지구 온난화를 연결시켜 사고를 하고 있었으며 C 학생의 경우에는 인간의 활동을 고려한 내용을 진술하였다.

D, E, G 학생은 자신들의 생각을 그림으로 표현한 뒤, 이에 대한 내용을 그림 아래에 짧은 글로 서술하였다. D, E, G 학생들의 경우 공통적으로 제시한 내용이 ‘주로 화산 분출로 인하여 온실 가스가 대기 중으로 방출되어 지구온난화에 영향을 줄 것이며 이로 인하여 지구환경의 변화가 나타날 것’이었다. 그림에서도 화산 분출물로서 온실 가스가 배출되는 과정, 이 가스가 대기 중에서 여러 작용을 거쳐 지구 온난화에 영향을 주는 과정을 표현하였음을 확인할 수 있었다.

연구에 참여한 학생 대부분은 지구환경 변화가 서로 간의 상호작용에 의한 원인과 결과에 의해서 나타나는 현상들이며, 하나의 원인이 여러 환경 변화에

Table 5. Contents in integrating writing

학생	3가지 주제를 통합한 관점에서의 글쓰기 내용
A	화산 분출이 일어나면 이산화탄소, 메탄가스 등이 나와 온실 효과를 일으키게 됩니다. 그렇게 되면 지구 온난화가 심화됩니다. 지구 온난화가 심화되면서 사막화 과정을 더욱 촉진시키게 되어 지구환경에 변화를 가져옵니다.
B	화석 연료의 많은 사용이 지구 온난화를 발생시키지만 화산 분출도 지구 온난화에 영향을 준다. 이렇게 지속되면 지구 온난화는 사막화를 가속시키게 되어 사막화는 다시 지구 온난화를 가속시킨다.
C	위의 세 가지 모두 인간의 무분별한 개발과 이기적인 마음가짐에서 우러나온 것이라고 생각한다. 지금부터라도 우린 지금 당장의 이익만을 생각하여 자연을 이용하기 보단 미래 지향적인 태도를 가지고 자연을 이용하면서 살아야겠다.
D	Figure 2
E	Figure 3
F	이 3가지 주제가 독립적인 것은 아니다. 화산 분출로 인해 기온이 상승하여 지구 온난화가 발생하고, 그로 인해 풀이 살지 못해 사막화가 발생하는 등 한 가지에 대해 설명할 때, 꼭 그 나머지 것들이 한번 씩 언급이 된다. 즉, 지구의 현상들이 독립적으로 존재하는 것이 아니라 어떤 것이든지 간에 다른 것의 원인이 될 수 있고 결과가 될 수도 있고, 또 다른 것을 유발하는 매개체가 될 수도 있다고 생각한다.
G	Figure 4
H	서로 각 현상의 원인과 결과 또 다른 원인이 되고 결과를 낳는 관련이고 비록 현상은 다르지만 유사패턴의 관련을 가진 것 같다.

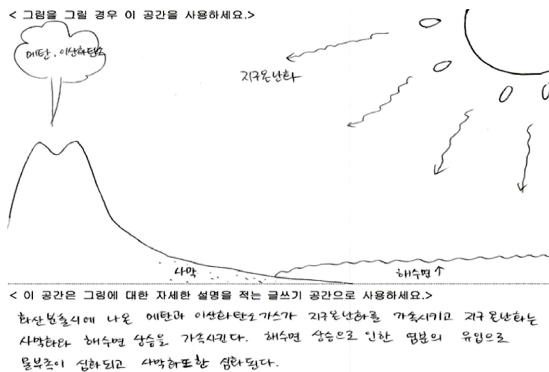


Fig. 1. D student's drawing.

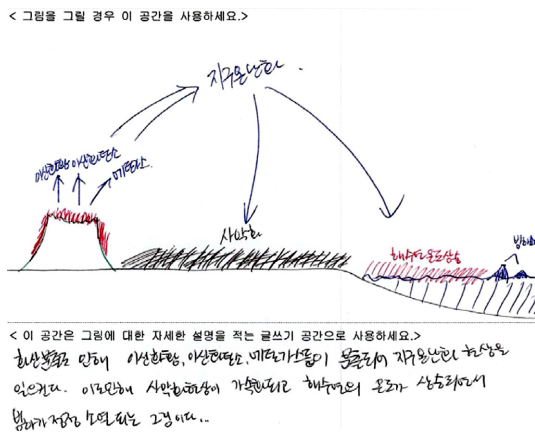


Fig. 2. E student's drawing.

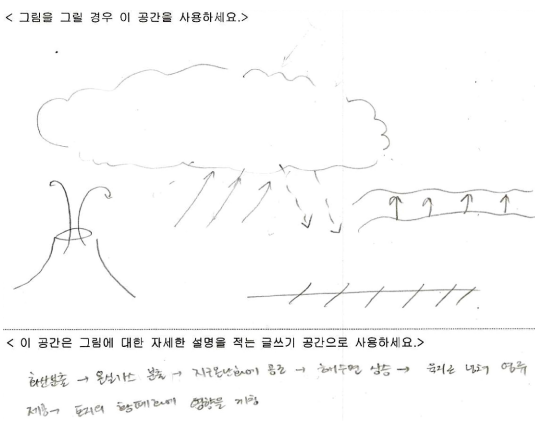


Fig. 3. G student's drawing.

영향을 미친다고 표현하였다. 또한 거시적인 관점에서 지구환경 변화가 복합적으로 이루어진 결과라고 사고하고 있었다. 그러나 지구 시스템 순환 과정에서 학생들은 하위계 사이의 순환에 따른 현상을 단선적

사고나 단편적인 부분에만 집중하여 표현하였고, 지구 시스템 전체의 특성을 서술하거나 표현하지는 못하였다. 이와 같은 결과는 지구 온난화에 대하여 학생들의 그림 그리기를 분석한 연구나 탄소 순환에 대하여 분석한 연구에서도 나타났듯이 학생들이 지구 시스템에 대한 상호작용에 대하여 작성할 때, 하위계의 상호작용에 초점을 맞추어 생각을 표현하는 경우 시스템 전체를 바라보는 사고 과정이 약해진다는 결과와 일치하는 경향을 보여준다(Lee et al., 2011; Lee et al., 2013)

인과지도 및 시스템 사고의 분석

학생들이 지구 시스템에 관련하여 거시적인 관점에서 시스템 사고를 하고 있는지를 알아보기 위해 인과지도에서 사용된 구성 요소들의 피드백 순환 고리가 나타나는지 알아보았다.

Box형 인과지도로 분석한 결과 지구 온난화에서는 B 학생은 '지구온난화→해수면 온도→이산화 탄소→지구온난화'로 연결되는 피드백 고리 1개, F 학생은 '지구온난화→수권→해수면 온도→태풍→기권→지구온난화' 등 피드백 고리가 4개, G 학생 3개, H 학생 1개로 나타났다. B 학생과 H 학생은 비록 피드백 고리가 1개만 나타났지만 지구온난화 개념에서 지구계 하위 요소 사이의 상호작용을 고려하고 있었다. F 학생과 G 학생은 지구계 하위 요소 사이와 인간의 활동도 연결하여 그 영향을 고려하는 모습을 보여주었다(Fig. 4, 5, 6, 7). 그리고 학생들이 표현한 피드백은 하위계의 상호작용 후 나타나는 결과가 이전의 출발 상황보다 증폭된 모습을 보여주는 강화적 피드백(reinforcing feedback)이라는 특징이 있었다(O'Connor and McDermot, 1997).

화산 분출에서는 F 학생이 '지구→지권→화산폭발→화산가스→온난화→해수면 온도→수권→지구' 등 피드백 고리 4개를 표현하였으나(Fig. 8), 나머지 7명의 학생들은 인과지도에서 피드백 고리가 나타나지 않는 것으로 분석되었다. F 학생은 지구 온난화의 인과지도에서도 많은 연결고리와 피드백 사고를 보여주었는데, 화산 분출에 대해서도 지구온난화에 따른 생물권의 영향, 화산재에 의한 변화, 기권에의 영향 등 다양한 지구계 상호작용에 대하여 피드백 사고를 하는 모습을 보여주었다.

F 학생이 보여준 사고 과정에 대해 추가적인 정보를 얻기 위해 실시한 면담 내용을 요약하면 아래와

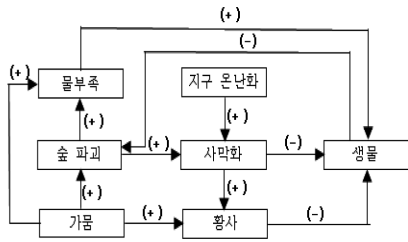


Fig. 9. B student's causal map about desertification.

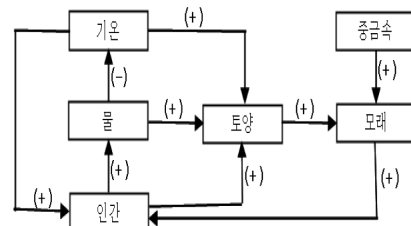


Fig. 11. G student's causal map about desertification.

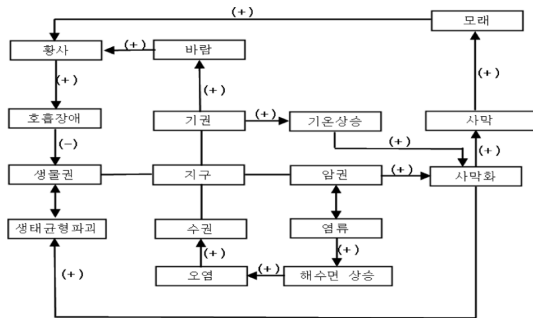


Fig. 10. F student's causal map about desertification.

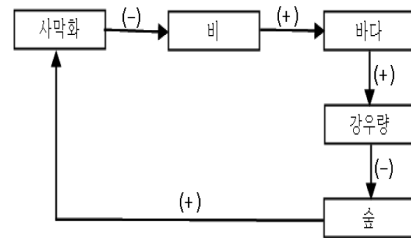


Fig. 12. H student's causal map about desertification.

나타내었으며, 화산재 분출로 태양에너지의 반사가 증가되면서 지구의 평균기온이 하강하게 되면서 기권에 영향을 미치고, 지표가 냉각되면서 화산 폭발이 여러 원인으로 상호작용을 하고 있음을 나타내었다. 화산 가스 방출로 인해 온난화가 증가되어 해수 온도가 상승하고, 이로 인하여 생물권에 영향을 준다고 하였다. 또한 지구 온난화가 기온 상승을 유발하여 기권에도 영향을 미친다고 표현하면서 각 권들 간의 인과 관계를 잘 이해하고 있었다.

사막화에서는 B 학생의 피드백 순환 고리는 '사막화→생물권→숲 파괴→사막화' 등 2개, F 학생은 '지구→지권→수권→지권' 등 4개, G 학생은 '물→토양→모래→인간→물' 등 3개, H 학생은 '사막화→수권→숲(파괴)→사막화' 1개의 피드백 순환 고리를 보여 주었다. 특히 F 학생의 경우 제시된 3개 주제에서 모두 지구 시스템 하위계의 상호작용을 고려한 시스템 사고를 보여주었다.

연구에 참여한 8명 학생들이 보여준 시스템 사고에 대한 전반적인 특징은 다음과 같다(Table 6).

Box형 인과지도에서 F 학생이 가장 많은 구성 요소 수를 제시하고 피드백 고리를 표현하였으며 나아가 관련 개념의 연결에서도 가장 많은 요소를 고려하고 있는 것으로 분석되었다. A, C, D, E 학생은

각 주제에 대하여 적지 않은 구성 요소 수를 제시하였음에도 불구하고 피드백 연결고리나 관련 개념들의 연결에서 순환의 모습을 표현하지 못하였다. 성별로 구분하여 볼 경우 남학생의 경우 연구에 참여한 3명 중 B 학생만이 지구온난화, 사막화 주제에서 하위 요소 간의 피드백으로 고려하는 시스템 사고를 보여주었으며 여학생의 경우 연구에 참여한 5명 중 3명(F, G, H)이 시스템 사고를 하고 있는 것으로 나타났다.

결론 및 제언

이 연구의 주요 목적은 과학 글쓰기를 통해 고등학교 학생들의 지구 시스템에 대한 이해와 학생들의 시스템 사고를 Box형 인과지도를 적용하여 분석하는 것이다. 이 연구의 결과를 토대로 결론과 제언을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 과학 글쓰기를 통한 학생들의 지구 시스템에 대한 이해를 조사한 결과, 지구 시스템의 구성 영역에서 가장 높은 빈도를 보여주었다. 다음으로 지구 시스템의 상호작용 관련 영역, 그 다음 지구과학적 소양, 시스템 관련 영역 순으로 조사되었으며 지구에 대한 감사 의식이 글쓰기 내용에는 나타나지 않았다. 이는 Go (2008) 연구에서 지구 시스템 구성, 지구 시스템의 상호작용, 지구과학적 소양 순으로 나타난 결과와 학생들은 지구과학적 소양 중 (다)에 해당하

Table 6. The analysis of systems thinking about 8 high school students

학생	구성 요소 수			피드백 순환 고리			관련 개념 연결		
	지구 온난화	화산 분출	사막화	지구 온난화	화산 분출	사막화	지구온난화	화산분출	사막화
A	9	6	5	0	0	0	수권↔기권 수권→빙권 수권→생물권	지권→지권 지권→기권 지권→생물권	무응답
B	10	7	7	1	0	2	생물권→지권→기권→수권→기권→생물권	지권→기권→지권→생물권 지권→지권→생물권 지권→수권→생물권	생물권→생물권→지권 지권→수권 지권→기권→생물권
C	11	12	14	0	0	0	수권↔기권 기권→빙권	지권→지권 지권→기권 기권→기권	지권→기권 기권→생물권
D	11	11	8	0	0	0	수권→기권 수권→빙권 수권→생물권	지권→지권 기권→기권	수권→생물권 지권→생물권 생물권→생물권
E	7	14	6	0	0	0	기권→수권 수권→빙권 수권→생물권	기권→기권 기권→지권 기권→수권	기권→기권 지권→지권 기권→수권
F	16	15	16	4	4	4	수권→기권→생물권→생물권 수권→생물권 수권→수권	지권→기권→지권 지권→수권→생물권 지권→지권 지권→생물권	지권→생물권 지권→기권→수권 지권→기권→생물권
G	10	9	6	3	0	3	수권→기권→생물권→수권 빙권→기권	지권→수권 지권→기권 지권→생물권	지권→생물권 생물권→지권
H	5	5	5	1	0	1	기권→생물권→수권→생물권 빙권→기권	지권→지권 기권→생물권 기권→기권	수권→생물권 기권→기권

는 ‘지구에 대한 감사의식 관련 요소’가 없다는 결과와 일치한다. 아울러 학생들은 인간 활동이 지구환경 변화에 큰 영향을 미치고 있으며, 부정적인 요소로 작용하고 있다고 인식하고 있었다.

둘째, 학생들의 시스템 사고에 대한 결과를 살펴보면, 지구 온난화와 사막화 주제의 글쓰기에서는 시스템 관련 피드백 순환 고리가 8명 중 4명에게 나타났다. 그러나 화산 분출에서는 8명 중 1명에게만 피드백 순환 고리가 나타났다. 연구에 참여한 학생들은 지구 시스템에 대한 이해를 과거 학습하였거나 경험을 통해 알고 있었음에도 불구하고 이 연구의 결과 모든 학생들이 시스템 사고를 수행하고 있지 않다고 분석되었다. 이는 선행 연구에서도 밝혀진 바와 같이 학생들이 배우는 개념을 ‘지식의 섬’처럼 독립된 개념으로 학습하며 상호작용이나 관련된 개념을 통합적으로 학습하지 않고 있다는 결과와 일치한다(Assarf and Orion, 2005a, 2005b; Lee et al., 2011; Lee et al., 2013).

또한 지구 시스템을 통합적인 관점에서 이해를 해야 한다는 부분을 제외하고 지구 시스템의 하위계 사이의 상호작용이나 피드백 과정을 살펴본 결과 Moon et al. (2004), Lee et al. (2008), Lee et al. (2011)의 연구 결과와 유사하게 학생들은 복잡한 시스템을 해석하고 이해함에 있어서 단선적 또는 단편적인 부분에 치중하는 사고를 통해 시스템 전체의 특성을 이해하는데 어려움을 겪고 있었다. Kang et al. (2008)의 연구에서도 물의 순환에 대한 학생들의 시스템 사고 수행 정도가 낮은 수준으로 분석되었는데, 이 연구 결과와 유사하게 학생들이 지구계의 상호작용 측면에서 낮은 수준의 시스템 사고를 하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과 또한 학생들이 지구 시스템과 관련된 학습을 할 때, 지식 통합 활동 등 학습한 지식이나 개념들을 통합적이고 시스템적으로 사고할 수 있도록 도와줄 수 있는 교육을 경험하지 못하였기 때문이라 해석된다.

이 연구에서는 지구 시스템에 대한 학생들의 사고

를 살펴보는 데에 시스템 사고가 매우 중요한 사고 과정으로 나타난다고 가정하고 이를 알아보기 위한 글쓰기 검사 도구를 통해 학생들의 시스템 사고를 분석하였다. 이를 통해 학생들이 가지고 있는 상호작용이나 다양한 피드백 사고를 분석하는데 글쓰기가 매우 유용하였다는 것을 알 수 있었으며, 나아가 선행 연구에서 제시한 글쓰기 교육과 시스템 사고의 관련성을 찾아 볼 수 있는 근거를 제공한다(Hwang and Chung, 2013; Im and Lee, 2014; Jung et al., 2010; Lee et al., 2011; Shin et al., 2013).

지구 시스템에 관련하여 시스템 사고는 지구에서 일어나는 대부분의 자연 현상이 단순한 법칙이나 원 인만으로 해석되기 보다는 다양한 개념들과 요인들의 상호 작용을 통해 복합적으로 이루어지며 서로 상호 순환되어져 나타나는 결과임을 알 수 있도록 해준다. 그리고 지구 시스템에 대한 이해 증진, 지구과학적 소양의 함양을 위해서 앞으로 학생들에게 다양한 과학 글쓰기 활동과 지구 시스템 교육을 실시하여 지식 통합 활동이나 시스템 사고를 증진시킬 필요가 있다. 이를 위하여 과학 글쓰기 활동과 다양한 지구 시스템 교육에 대한 지식 통합 활동 프로그램 개발 및 활용이 지속적으로 필요할 것이다.

또한 시스템 사고를 향상시킬 수 있는 통합 과학 주제에 대한 아이디어를 교육과정 내에서 지속적으로 찾아내는 노력이 필요하며, 찾아낸 주제에 대하여 과학 글쓰기 활동과 시스템 사고를 향상시킬 수 있는 체계적 프로그램 개발 및 활용이 필요하다. 그리고 이러한 프로그램의 투입 후 성별 또는 학년, 학교 급에 따라 시스템 사고에 어떠한 차이가 나타나는지 분석하는 추가적인 연구가 뒷받침 된다면 학생들의 시스템 사고 능력을 향상시킬 수 있는 좋은 근거가 되는 연구가 될 수 있을 것이다.

사 사

이 논문은 김태수의 2009년도 석사 학위논문을 기초로 보완하여 수정한 것임.

References

American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1989, Science for all americans. Oxford University Press, New York, USA, 272 p.
American Association for the Advancement of Science

[AAAS], 1993, Benchmark for science literacy. Oxford University Press, New York, USA, 448 p.
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.
Broks, A., 2016, Systems theory of systems thinking: General and particular within modern science and technology education. *Journal of Baltic Science Education*, 15(4), 408-410.
Fortner, R.W., 1999, Earth systems education: An introduction to the interdisciplinary science, examples of implementation, and implications [Course presentation]. Columbus, OH, USA.
Go, S., 2008, Gifted and talented elementary students' understandings about Earth system program. Unpublished M.E. thesis, Kyungpook National University, Daegu, Korea, 68 p.
Hand, B., Hohenshell, L., and Prain, V., 2004, Exploring students' responses to conceptual question when engaged with planned writing experiences: A study with year 10 science students. *Journal of research in Science Teaching*, 41(2), 186-210.
Hanson, H. and Williams, M., 2008, Using writing assignments to improve self-assessment and communication skills in an engineering statics course. *Journal of Engineering Education*, 97(4), 515-529.
Hodson, D., 1993, In science of rationale for multi cultural science education. *Science Education*, 28(2), 261-289.
Hwang, H., 2001, Effects of embedding approach for the improvement of critical thinking ability. *Korean Language Education Research*, 39(3), 187-188. (in Korean)
Hwang, S. and Chung, Y., 2013, The development of the science writing program: cultivating middle school students' scientific creativity. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(4), 751-762. (in Korean)
Im, Y. and Lee, H., 2014, Development and analysis of effects of writing educational program for improving system thinking ability. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 14, 407-427. (in Korean)
Jeon, J. and Lee, H., 2015, The development and application of STEAM education program based on systems thinking for high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(6), 1007-1018. (in Korean)
Jeong, M. and Yeau, S., 2013, Analysis of the science writing activities in the science textbooks of the 2009 revised curriculum: Focused on writing type, form,

- scientific literacy, critical thinking. *Biology Education*, 41(1), 119-134. (in Korean)
- Jung, H., Hahn, I., and Yeau, S., 2010, The effects of science achievement and science-related attitude by science writing activity for middle school students. *Biology Education*, 38(3), 407-422. (in Korean)
- Kang, C., Lee, H., Yoon, I., and Kim, E., 2008, Analysis of conceptions related to Earth system and systems-thinking of high school student about water cycle. *Journal of Science Education*, 32(1), 61-72. (in Korean)
- Keys, C., 1999, Revitalizing instruction in scientific genres: connecting knowledge production with writing to learn in science. *Science Education*, 83, 115-130.
- Kim, D., 2004, Systems thinking. Sunhaksa, Seoul, Korea, 43 p. (in Korean)
- Kim, Y., 2007, The Effects of writing activities on change of volcano concepts in the elementary school students. Unpublished M.E. thesis, Gwangju National University of Education, Gwangju, Korea, 17 p.
- Lee D., Jung, J., and Kim, Y., 2008, Understanding the water cycle process and composition elements of high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(1), 24-31. (in Korean)
- Lee, D., Oh, E., Kim, H., and Jeong, J., 2013, Analysis of carbon cycle concepts based on earth systems perspective of high school students. *Journal of Science Education*, 37, 157-169. (in Korean)
- Lee, H., 2004, The prior knowledge and misconception of elementary pupils using science writing. Unpublished M.E. thesis, Ewha Womans University, Seoul, Korea, 53 p.
- Lee, H., and Choi, K., 2005, The prior knowledge and misconception of elementary pupils using science writing. *Journal of Research in Curriculum & Instruction*, 8(3), 421-435. (in Korean)
- Lee, H., Kwon, Y., Oh, H., and Lee, H., 2011, Development and application of the educational program to increase high school students' systems thinking skills: Focus on global warming. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 32, 784-797. (in Korean)
- Lee, N., 2009, Analyzing the process of the conceptual change by application of science writing program. Unpublished M.E. thesis, Korea National University of Education, Chungju, Korea, 67 p.
- Linn, M.C. and Eylon, B., 2006, Science education: Integrating views of learning and instruction. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NY, USA, 53 p.
- Ministry of Education and Human Resources Development [MOEHR], 2007, A guide for science curriculum. Ministry of Education and Human Resources Development, Seoul, Korea.
- Ministry of Education, Science and Technology [MEST], 2009, Elementary and secondary school curriculum: General statement (MEST Notification No. 2009-41). Ministry of Education, Science and Technology, Seoul, Korea.
- Moon, B., Jeong, J., Kyung, J., Koh, Y., Youn, S., Kim, H., and Oh, K., 2004, Related conceptions to earth system and applying of systems thinking about carbon cycle of the preservice teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25, 684-696. (in Korean)
- Mayer, J. and Kumano, Y., 1999, The role of system science in future school science curricula. *Studies in Science Education*, 34, 71-97.
- National Research Council [NRC], 1996, National science education standard. National Academy Press, Washington, D.C., USA, 272 p.
- National Research Council[NRC], 2013, Next generation science standards: For states, by states. National Academy Press, Washington, D.C., USA, 532 p.
- National Science Teachers Association [NSTA], 1996, Scope, sequence, and coordination: A framework for high school science education (V. 3). NSTA, Washington, D.C., USA, 202 p.
- Nunan, D., 1999, Second language teaching and learning. Heinle & Heinle Publishers, Boston, USA, 73 p.
- O'Connor, J. and McDermmot, I., 1997, The art of systems thinking: Essential skills for creativity and problem solving. Thorsons, London, UK, 288 p.
- Park, B. and Lee, H., 2014, Development and application of systems thinking-based STEAM education program to improve secondary science gifted and talented students' systems thinking skill. *Journal of Gifted/Talented Education*, 24, 421-444. (in Korean)
- Raimes, A., 1983, Techniques in teaching writing. Oxford: Oxford University Press. 132 p.
- Richmond, B., 1993, System thinking: critical thinking skills for the 1990's and beyond. *System Dynamic Review*, 9(2), 113-134.
- Senge, P.M., 1996, The fifth discipline: Fieldbook. Broadway Business, New York, USA, 212 p.
- Shin, J., Shin, Y., Yoon, H., and Woo, A., 2013, The effects of science writing on middle school students' science-related attitude, learning motivation, and academic achievement. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(2), 511-521. (in Korean)
- 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.
- Yu, E., Lee, S., and Kim, C., 2007, Investigating science-talented students' understandings and meaning generation about the Earth systems based on their geological field trip reports. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(6), 672-683. (in Korean)

Yun, T. and Wee, S., 2016, An analysis of system thinking using mind map in middle school student for the gifted

and the general. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 16(7), 79-95. (in Korean)

Manuscript received: August 17, 2016

Revised manuscript received: February 6, 2017

Manuscript accepted: February 17, 2017

Appendix 1. Science writing items about global warming

※ 아래의 글은 지구 온난화에 대한 기사들입니다. 잘 읽고 여러 가지 글쓰기를 해 봅시다.

최근 미국 MIT 대학의 I 교수는 지난 50년 동안 있었던 태풍과 허리케인을 분석한 결과 점점 강력해졌다고 과학 학술지 '네이처'에 발표했다. 그리고 그 원인은 지구 온난화로 바다 온도가 상승했기 때문이라고 지적했다. 해수면 온도가 0.5°C 상승하면 태풍이나 허리케인의 위력이 약 두 배 증가한다는 것이다. I 교수팀의 계산이 단순하다는 주장도 있지만 학계는 지구 온난화가 태풍과 허리케인의 위력을 키우는 원인이라는데 대부분 입을 모으고 있다.

지구에 도달하는 태양 에너지는 극지역에서는 지면에 도달하는 태양 에너지량이 상대적으로 적어 에너지 부족 현상이 나타나고, 적도지역에서는 지면에 도달하는 태양 에너지량이 상대적으로 많아 적도에서는 에너지 과잉 현상이 나타나기 때문에 지구는 자체적으로 이런 열에너지의 불균형을 해소하는 메커니즘을 작동한다. 태풍이 대표적인 예인 것이다. 태풍은 저위도의 많은 열을 고위도로 이동시킨다. 그런데 태풍이 북상하는 동안에도 해수면 온도가 높은 상태로 유지되면 따뜻한 수증기를 계속 공급받을 수 있어 세력이 약해지지 않는 것이다.

2005년 미국을 강타했던 태풍 카트리나가 북상하던 도중 플로리다주를 거쳐 멕시코만에 들어오면서 위력이 극적으로 커졌다. 기상학자들은 태풍 카트리나가 이곳의 따뜻한 수증기에서 에너지를 더 얻어 훨씬 강력해진 것으로 분석하고 있다.

미국 국립해양대기청(NOAA) N 박사와 올드도미니언대 연안물리해양학센터 R 박사팀은 2003년 9월 15일자 「기후저널」에 미래의 허리케인 세기를 예측한 결과를 발표했다. 이들 연구팀은 화석연료로 인해 이산화탄소(CO₂)가 1년에 1%씩 증가한다고 가정하고 앞으로 80년 동안의 기상변화를 컴퓨터로 시뮬레이션 했다. 그 결과 기압은 14% 떨어졌으며 바람은 6%, 비는 18% 증가했고 결국 5.5등급에 달하는 허리케인이 발생하는 것으로 나타났다. 연구팀도 역시 그 원인을 이산화탄소 증가로 인한 해수면 온도 상승이라고 봤다. 시뮬레이션 결과 해수면 온도는 0.8~2.4°C까지 상승하였다고 발표하였다.

해수면 온도의 상승으로 인한 히말라야 빙하는 최근 그 길이가 매년 10~15 m씩 축소되고 있다. 히말라야 산맥의 빙하들 가운데 67%에서 이런 현상이 관측됐다. 빙하 소멸의 원인은 지구 온난화라고 하였다. 특히 1970년대부터 최근까지 북반구 중위도(북위 24~40도)의 연평균 기온이 0.6°C 올랐으나 히말라야 지역은 1°C 안팎이나 상승해 온난화가 급속히 진행 중인 것으로 나타났다.

밀란코비치의 빙하기 생성이론에 따르면 빙하기를 일으키는 지구의 운동은 세 가지다. 첫 번째는 태양주위를 도는 지구의 궤도 변화다. 지구의 공전궤도는 타원형이었다가 원에 가까운 모양으로 변화한다. 이 변화는 약 10만년과 약 41만년을 주기로 나타난다. 두 번째 운동은 지구의 세차운동. 지구의 자전축은 1만9천~2만3천년을 주기로 회전한다는 것이다. 세 번째는 지구 자전축이 4천만년을 주기로 약 22.0~24.5도 사이에서 커졌다 작아졌다하는 변화다. 현재는 23.5도 기울어져 있다. 이런 지구 운동을 고려해 얻은 결과는 과거 지구 기후의 실제 데이터와 잘 들어맞는다. 흥미로운 점은 현재 지구가 더워지고 있지만 지구의 운동에 의한 예측은 이미 빙하기로 다시 접어들고 있다는 것이다.

기상청 박00 박사는 '21세기 한반도 기후' 포럼에서 "1860년부터 현재까지 전 세계 기온은 0.6도 가량 상승했으나 30년 정도를 주기로 온난기와 냉각기가 반복됐다"며 "1980년대부터 시작된 온난기가 마감되고 다시 기온이 내려갈 것에 대비하지 않으면 농작물 생육 피해 등을 볼 수 있다"고 주장했다. 한국은 최근 30년 동안 겨울철 기온이 평균 0.5°C 상승했다. 그러나 서울 0.9°C, 경기울산 대구 0.8°C 등 대도시 주변의 기온이 상승해 도시화에 따른 녹지 파괴가 기온 상승의 핵심적인 요인으로 떠올랐다. 한반도의 예에서 보듯이 최근의 고온현상은 단순한 온실효과의 결과라기보다는 도시화에 따른 열섬 효과일 가능성이 크다는 것이다.

그리고 지구 온난화에 따라 해류에 이상이 생기면서 동해가 서서히 죽어가고 있다는 학설이 제기됐다. 일본 규슈 응용역학연구소의 윤00 박사는 최근 "온난화로 동해 해류가 약해지면서 바다 깊은 곳까지 산소 공급에 문제가 생기고 있다"고 지적했다. 그는 이어 "해류 약화의 결과로 플랑크톤에 영양공급이 제대로 이뤄지지 않아 먹이사슬이 파괴되고 있다"고 주장했다. 동해는 산소를 많이 포함해 해수가 심해로 뒤섞이는 장소로 이 과정에서 각종 박테리아와 플랑크톤이 영양을 공급받았다. 그런데 온난화로 해류가 약해져 이 같은 순환과정이 중단되면서 생태계 전체가 위협받고 있다는 것이다.

이처럼 지구 온난화라는 것은 대기 순환 시스템에만 영향을 주는 것은 아니다. 만약 지구에 대기와 바다가 없었다면 적도나 극지방은 인간이 살기에 부적당한 곳이 되었을 것이다. 대기와 바다가 순환함으로써 적도의 열기를 극지방으로 이동시켜주기 때문에 인간은 지구의 각 대륙에 퍼져 각각의 생활방식으로 살아갈 수 있는 것이다. 중요한 점은 열교환의 양을 따져볼 때 바닷물이 대기보다 3배나 더 많다는 것이다.

1) 위의 제시된 글에서 지구 온난화에 대한 지구환경의 구성 요소들이 서로 영향을 주고, 받으며 상호작용을 하고 있는지 개념지도로 표현해 주세요.

(단어들을 화살표로 연결하여 보세요. 만약 한 요소가 다른 여러 요소들과 상호작용을 할 경우, 그 화살표를 있는 대로 모두 표시하고 화살표에 색을 넣어서 표시해도 됩니다. 특정한 색을 넣었다면 그 색이 나타내는 의미가 무엇인지 자세히 적어 주세요).

2) 위의 제시된 글에서 지구 온난화에 관련된 여러 현상들을 나열하여 작성하세요(단, 3가지 이상).

3) 위 (2)에서 적어 본 현상들을 지구환경의 구성 요소들 즉, 각 권(수권, 지권, 기권, 생물권, 빙권)에 영향을 미치는 요소를 연결시켜(원인→결과) 짧은 문장으로 글을 작성하세요(단, 3가지 이상).

4) 위의 제시된 글에서 알게 된 사실을 바탕으로 우리 주변에서 볼 수 있는 환경 변화(예: 해수면 상승)에 대한 자신의 생각을 원인과 결과 형태로 나타내어 자신의 생각을 서술하여 글을 작성하세요(단, 300자 내외로 적어 주세요).