

## 중학교 과학 천문 수업에서 나타나는 시스템 사고 분석: 별과 우주 단원에 대한 과학 교사의 교수 실행 사례

오현석<sup>1</sup> · 이기영<sup>2,\*</sup> · 박영신<sup>3</sup> · 맹승호<sup>4</sup> · 이정아<sup>5</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 사범대학 부설중학교, 02796, 서울특별시 성북구 월곡로 36

<sup>2</sup>강원대학교 과학교육학부, 24341, 강원도 춘천시 강원대학길 1

<sup>3</sup>조선대학교 지구과학교육과, 61452, 광주광역시 동구 필문대로 309

<sup>4</sup>서울교육대학교 과학교육과, 06639, 서울특별시 서초구 중앙로 96

<sup>5</sup>서울대학교 지구과학교육과, 08826, 서울특별시 관악구 관악로 1

## An Analysis of Systems Thinking Revealed in Middle School Astronomy Classes: The Case of Science Teachers' Teaching Practices for the Unit of Stars and Universe

Hyunseok Oh<sup>1</sup>, Kiyoung Lee<sup>2,\*</sup>, Young-Shin Park<sup>3</sup>,  
Seungho Maeng<sup>4</sup>, and Jeong-A Lee<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Middle School, Seoul National University, Seoul 02796, Korea

<sup>2</sup>Division of Science Education, Kangwon National University, Gangwon 24341, Korea

<sup>3</sup>Department of Earth Science Education, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

<sup>4</sup>Department of Science Education, Seoul National University Education, Seoul 06639, Korea

<sup>5</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

**Abstract:** The purpose of this study was to analyze system thinking revealed in science teachers' teaching practices of middle school astronomy classes. Astronomy lessons were video-taped from four eighth grade science teachers. The video recordings were all transcribed and analyzed by employing a framework for systems thinking analysis after modifying an existing frame of hierarchical structure used in relevant previous studies. In addition, four participants were interviewed in order to uncover their orientation toward teaching using video stimulated recall method. Findings are as follows: All participating teachers were not able to employ the four levels of system thinking appropriately and only utilized the low level of systems thinking. They also demonstrated teacher-centered practices for employing system thinking despite their student-centered orientation toward teaching. The main reason for these results may be that teachers focused more on spatial thinking, than on system thinking as well as the lack of teacher's knowledge about the content and formative assessment of non-earth science teachers. Implications on how to effectively employ the system thinking in astronomy class are discussed in this paper.

**Keywords:** system thinking, framework for systems thinking analysis, astronomy class, astronomical thinking

\*Corresponding author: leeky@kangwon.ac.kr

Tel: +82-33-250-6752

Fax: +82-33-242-9598

**요약:** 이 연구의 목적은 중학교 천문 수업에 대한 과학 교사의 교수 실행에서 나타나는 시스템 사고를 분석하는 것이다. 이를 위해 4명의 중학교 8학년 과학 교사의 천문 단원 수업을 녹화하였고 녹화된 수업은 모두 전사하였으며, 선행 연구의 시스템 사고 위계 구조를 수정하여 개발한 시스템 사고 분석틀을 적용하여 이들을 분석하였다. 또한, 수업 분석 후 참여 교사의 과학 수업에 대한 지향과 교수학적 생각을 심층적으로 분석하기 위해 비디오 자극 회상 면담을 실시하였다. 연구 결과는 다음과 같다: 모든 참여 교사들은 천문 수업에서 시스템 사고의 위계를 제대로 반영하지 못하였으며, 낮은 수준의 시스템 사고만을 활용하는 것으로 나타났다. 또한, 교사가 학생 중심의 교수 지향을 지녔다 하더라도 시스템 사고의 교수 실행은 교사 중심으로 진행되는 것으로 나타났다. 천문 수업의 교수 실행에서 시스템 사고가 부족하게 나타나는 것은 공간적 사고에 보다 집중하는 것과 지구과학 비전공 교사로서의 천문 내용 및 형성 평가 지식 부족 때문인 것으로 판단된다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 천문 수업에서 효과적인 시스템 사고의 도입 방안을 논의하였다.

주요어: 시스템 사고, 시스템 사고 분석틀, 천문 수업, 천문학적 사고

## 서론

중등 교육과정에서 천문학 영역은 학생들이 가장 어려워하는 지구과학의 영역 중 하나이며, 교사들에게도 가르치기 어렵고 자신 없어 하는 분야이다(Lee et al., 2005). 특히, 중학생의 모든 학년에서 천문학을 어렵게 느끼고 있으며(Lim and Kim, 1994) 천체의 운동과 공간 개념 등에 관한 이해가 부족한 것으로 밝혀졌다(Yoon and Kim, 2010). 그래서 천문학 영역은 효과적인 교수-학습을 위해서는 영역 또는 주제-특이적(domain or topic-specific) 교수 전략과 탐구 실행이 요구되는 대표적인 분야라 할 수 있다. 우리나라의 경우 과학교사들은 국가 교육과정에 따라 집필된 과학 교과서를 중심으로 수업을 진행하고 있다. 하지만, 대부분의 과학 교과서는 통합적 이해와 조절(mediating) 행동 이해를 발달시키는 빅 아이디어(big idea)들 보다는 학습해야 하는 사실들의 묶음으로서 과학 학습에 조력하기 때문에, 이러한 교과서 중심의 수업 방식은 복잡한 현상에 대한 체계적이며 통합적인 이해를 발달시키는데 효과적이지 못하다(Liu and Hmelo-Silver, 2009).

최근 지구과학 교육에서는 천문학 영역의 핵심 개념에 대한 올바른 이해를 위해 공간적 사고(spatial thinking)나 시스템 사고(systems thinking)와 같은 천문학적 사고(astronomical thinking) 능력이 강조되고 있다(Lee et al., 2014; Maeng et al., 2014). 하지만, 학생들뿐만 아니라 교사들조차 이러한 천문학적 사고를 가르치는 핵심 개념에 적절하게 조합하지 못하는 것으로 보고된다(Lee et al., 2014). 또한, 천문 분야를 학습하여 이해하는 데 선결되어야 하는 능력 중 하나로 공간적 사고로 보고(Plummer, 2014), 초등학교 태양계와 별 수업에서 나타나는 공간적 사고 사

례를 살펴본 최근 연구의 천문학적 사고 중 공간적 사고는 주로 천체의 운동을 설명하는 수업에서 필요하다는 결과(Lee et al., 2015)에 주목할 필요가 있다. 그렇다면 ‘천체의 구조를 살펴볼 경우에는 어떠한 천문학적 사고 능력이 필요한 것인가?’에 대한 의문은 천문 영역이 다루는 대상에서 출발해야 할 것이다. 특히 천문 영역이 다루는 주 대상인 우주는 매우 다양한 물질들이 복잡한 구조 속에서 운동과 에너지 흐름 등 여러 가지 물리 현상들을 일으키면서 구성되어 있다. 이러한 요소들과 물질들 사이에는 병렬적인 나열로 불규칙하게 놓여있는 것이 아니라 우주를 구성하는 요소나 물질들 간에는 분명히 위계를 바탕으로 한 구조가 존재하고 구성 물질의 움직임에도 일정한 패턴이 있다. 즉, 우주는 매우 복잡한 시스템으로 구성되어 있기에 우주를 다루는 지구과학 천문 영역의 학습에서는 이러한 시스템을 고려한 접근이 필요하다(American Geological Institute, 2012).

지구과학 교육 분야에서 이미 시스템적 접근이 연구되어왔다. 대표적인 예시가 지구계 교육(Earth Systems Education: 이하 ESE)이다. ESE는 기존의 전통적인 과학교육이 분과적이고 개별적인 접근인 것과는 달리 지구에 대한 계(system)적 접근을 취하여 통합적 관점을 추구한다(Johnson, 2006). Mayer(1993)는 지구에 대한 통합적 이해를 바탕으로 ESE의 핵심인 7개의 지구계 이해를 제시하였는데, 특히 4번째 이해인 지구 하위계들의 상호 작용의 과정과 그 영향에 대한 이해에서 시스템적 접근이 잘 드러나고 있다. 하지만 국내의 교육 현장에 ESE를 적용하여 수행되어온 연구를 살펴보면, 물의 순환, 화산 폭발과 기후 변화 그리고 지구 온난화 등과 같이 지구계 내의 주제로 한정되고 있다. 다시 말해서, ESE에서는 상대적으로 천문영역에 대한 시스템적 접근은 거의

다루어지지 못하고 있다. 태양계 행성 리모델링이 주제인 ESE 수업 모듈에 대한 Oh et al.(2009)의 연구도 외형적으로는 천문 영역의 ESE 수업 모듈을 다루고 있지만 내용적으로는 행성 리모델링 과정에서 다루는 시스템의 범위가 태양계를 벗어나지 못하고 있으며 연구 결과에서 나타나는 분석 결과에서도 주로 지구계의 하위계 간의 상호작용을 살펴보는 한계가 있다.

이 연구에서는 천문학적 사고 중 시스템 사고에 초점을 두어 천체의 구조를 주로 다루는 중학교 수업 단원의 3개의 주제(별자리와 별의 위치, 연주시차와 별의 거리, 우리 은하와 우주의 팽창)를 선정하여 시스템 사고가 수업 중에 실제로 나타나는 양상을 4명의 중학교 과학 교사의 교수 실행 사례를 바탕으로 분석하였다. 왜냐하면, 학교현장에서 교수·학습을 결정하는 매우 중요한 역할을 하는 것은 바로 교사이며(National Council of Teachers of Mathematics, 1991), 과학 교사의 수업 전문성은 과학 교사가 갖춘 전문적 지식과, 그 교사가 나타내는 전문가적 수행 능력을 중심으로 논의되어 왔기(Oh et al., 2008; So, 2003) 때문이다. 따라서 본 연구의 분석 결과는 과학 교사들의 시스템 사고를 고려한 천문 영역 수업 개선에 도움을 주어 학생들의 천문학적 사고의 한 축인 시스템 사고를 향상시키기 위한 근거 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 연구 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 천체의 구조를 주제로 한 중학교 천문 영역 수업에서 나타나는 시스템 사고 수준은 어떠한가?

둘째, 중학교 천문 영역 교수 실행에서 나타나는 시스템 사고의 사례별 특징과 제한 요인은 무엇인가?

### 이론적 배경

시스템은 일반적으로 “전체로 작용하기 위해 서로 상호 작용하는 부분들의 집합(Kauffman, 1980)”으로 정의된다. 이러한 관점에서 세상을 구성하는 물질 시스템은 규모 측면에서 원자를 구성하는 입자에서부터 점차 커져 지구, 태양계, 은하를 거쳐 우주가 맨 상위 시스템을 이룬다. 지구과학에서 다루는 천문 영역은 이들 중 가장 규모가 큰 지구, 태양, 은하 그리고 우주를 다루고 있는 천문 시스템(astronomical system)이다. American Geological Institute (2012)에서 개정 발행한 EarthComm. (p. 133)에서도 “우주, 은하, 태양계, 항성(별), 소행성대 그리고 행성과 달 시스템이

우리가 볼 수 있는 과학에서 알려진 가장 큰 시스템이다. 이러한 천문 시스템은 거대한 양의 물질들과 에너지를 모두 포함하여 매우 복잡하고 모든 시스템처럼 다양한 크기의 부분을 가지고 있다. (중략). 천문학의 모든 시스템은 특정한 구조나 모양을 가지고 있으며 거대한 시스템의 구조는 물리법칙에 의하여 조절되고 물질과 중력의 관계는 핵심적인 역할을 한다. 물리학을 이용하여 시스템의 구조를 살펴보는 것으로 그 시스템을 조절하는 요소들에 관한 중요한 단서를 제공할 수 있다.”라고 하며 지구과학의 천문 영역에서 시스템의 중요성을 강조하고 있다.

일반적으로 시스템 사고는 시스템의 여러 가지 요소들을 독립된 하나하나의 요소로 생각하는 것이 아니라 서로 연결된 시스템으로 바라보는 사고 능력을 뜻한다(Meadows, 2008; Senge, 2006, 2012). 유사한 맥락으로 National Research Council (2012, p 3)에서도 시스템 사고는 “전체 시스템을 구성하는 어느 한 부분의 작동이나 변화 또는 특정한 기능이 어떻게 전체 시스템에 영향을 주어 전체 시스템이 작동하게 되는지 이해하는 능력으로서, 시스템 작동 과정에서 서로 다른 각각의 요소들이 상호작용하는 것에 대한 판단과 의사결정, 시스템 분석, 시스템 평가 및 추상적인 추론 과정을 포함한다.”고 서술하고 있다. 이러한 시스템 사고는 최근 과학교육분야에서도 역동적인 시스템의 특성을 분석하여 결과를 예측하는 데 유용하며(Kali et al., 2003; Moon et al., 2004; Lee et al., 2011) 질적 사고인 동시에 수준 높은 사고 기술 이기에(Frank, 2000) 학생들의 인지적 학업 성취와 더불어 과학적 사고 및 창의성 신장 등 사고교육 목표 달성에 있어 큰 비중을 차지한다(Moon and Song, 2012).

Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005)은 사회 시스템(social systems), 기술 시스템(technological systems), 생체 시스템(biological systems) 그리고 자연 시스템(natural systems)에 대한 리뷰를 정리하여 물의 순환 시스템을 위한 위계적인 시스템 사고(The System Thinking Hierarchical; 이하 STH)의 모델을 제시하였다. 이 모델에서 시스템 사고의 능력을 “한 시스템의 구성 요소와 그 시스템에서 발생하는 현상들의 과정을 파악하는 능력, 시스템의 구성 요소들 간의 간단한 관계를 파악하는 능력, 시스템 내의 역동적 관계를 파악하는 능력, 시스템의 구성요소와 과정 및 그 상호작용을 연관성의 측면에서 조직하는 능력, 시스

템 내에서 물질과 에너지의 순환을 파악하는 능력, 자료의 패턴과 상호관련성을 바탕으로 시스템의 내적 특성을 인지하는 능력, 시스템의 메커니즘을 이해하고 일반화하는 능력, 미래지향적 또는 과거역산적 추론을 통한 시간적 사고 능력”(p. 523)의 8가지로 구분하여 특성을 제시하였다. 이들은 후속 연구들을 통하여 이러한 8가지의 위계적 시스템 사고 특성을 3단계의 연속적인 시스템 사고 단계로 발전시켜 제시하였다. 첫 번째 단계는 시스템 구성요소들을 분석하기이고 두 번째 단계는 시스템 구성요소들을 통합하기이며 마지막 단계는 실행하기이다. 하위 단계에 해당하는 사고 능력들은 다음 단계의 시스템 사고로의 발달을 위한 기반이 된다(Ben-Zvi Assaraf and Orion, 2005; Orion and Basis, 2008; Ben-Zvi Assaraf and Orion, 2010a; Ben-Zvi Assaraf and Orion, 2010b)고 주장하였다.

하지만, Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005)의 STH들은 물의 순환 시스템과 같이 주로 지구 시스템 이내의 상황에서의 시스템 사고에 관한 것으로, 이를 적용한 기존의 지구과학교육에서 살펴본 시스템 사고(Lee et al., 2011)를 사고시스템의 대상이 우주, 은하, 태양계 그리고 지구인 천문 시스템에 그대로 적용하는 것은 무리가 있다. 즉, 천체의 구조와 관련된 현상들은 작은 규모에서 형성된 부분적인 결과를 종합하여 전체적인 큰 규모에 해당하는 설명 모델로서 파악되는 경우가 많으며, 여러 천체들의 역학적 관계가 시스템적으로 이루어져 형성된다. 한편, Richmond(2004)는 시스템 사고가 궁극적으로 2가지 실행으로 구성되어 있다고 보았으며, 그 두 가지 실행을 정신 모형 구성하기(constructing mental model)와 결과를 도출하거나 결론을 내리기 위한 모의 실현하기(simulating)에 해당한다고 하였다. Richmond(2004)의 아이디어는 STH 모델의 마지막 단계인 ‘실행하기’를 천문 영역에서 천문 시스템을 설명하는 모델을 구성하여 일반화하는 능력으로 확장할 수 있도록 해준다. 또한 미국의 차세대 과학교육 기준(The Next Generation Science Standards; 이하 NGSS)에서는 천체와 관련된 기초공통 개념(crosscutting concepts)으로 시스템 모델(system model)을 시스템에 대한 이해의 종합으로써 시스템을 예측하게 해주고 시스템 간의 상호 작용을 살펴보는 실행에 중요한 역할을 하는 것으로 보고 있다(NGSS Lead States, 2013). 이를 천문 영역에서의 시스템 사고에 적용하면, 천문 시

템 사고의 최상위 위계는 과학적 모델의 형성에 해당한다. 따라서 천체의 구조를 이해하기 위해서는 천문 시스템의 시스템적 특징을 과학적 모델로 표상하는 시스템 모델링을 정점으로 하여 그와 관련된 시스템적 사고가 중요하게 요구된다. 따라서 Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005)이 분류한 시스템 사고의 위계적 특성들은 천문 시스템에서 천체들 간의 구조를 이해하는 과정에서 부분적으로 재구성되어 적용될 수 있다.

이를 위해 천문 영역에서 시스템 사고의 요소들을 추출해보면, Lee et al.(2014)과 Maeng et al.(2014)의 연구에서 천문학 사고를 공간적 사고와 시스템 사고로 구분하였는데, 시스템 사고는 패턴(pattern), 상호 의존성(inter-dependance), 통합적 사고(holistic thinking) 등을 그 요소로 보고 있다. 패턴은 천문학적 현상의 경향성 및 주기성을 찾아내는 것을 의미하며, 상호 의존성은 천문학적 현상들이 시스템 구성 요소들 간에 독립적인 것이 아니라 상호 연관되어 있음을 파악하는 것을 의미한다. 통합적 사고는 천문 시스템을 구성하는 부분과 전체를 구별하고 이들 간의 위계(hierarchy)를 파악하는 것을 의미한다(Lee et al., 2014). 또한, American Geological Institute (2012)의 EarthComm. (p. 133)에서도 천문 영역에 필요한 시스템 사고의 요소들을 질문의 형태로 제시하고 있다. 이를 정리해보면, 시간과 공간에 대하여 천문 시스템을 구성하는 각 부분과 그 부분의 위치, 물질 변화와 에너지의 역할을 바탕으로 한 주요 변화 과정, 공간 규모, 시간 규모 그리고 시스템들 간의 영향을 천문 영역에서 시스템 사고의 핵심 요소로 보고 있다. 그리고 이는 미국의 NGSS에서 지구우주과학(Earth and Space Science)의 내용과도 상응한다. 이와 같이 기존 문헌에 등장하는 천문 영역에서의 시스템 사고 관련 요소 추출하면, 우주를 구성하는 구성 요소, 시스템적 규모와 비율(scale and proportion), 천체들의 규모와 위치에 따른 구조(structure), 천체들의 위계, 시간의 변화에 따른 에너지나 물질의 흐름 또는 변화, 전체 시스템의 모델링(system modeling) 등으로 정리할 수 있다.

이와 같은 맥락에서 학생들이 천문 시스템을 학습할 때 활용되는 시스템 사고를 다음과 같이 사고의 위계성과 순차적으로 발전하는 연속성을 지닌 능력으로 새롭게 정의할 수 있다. 첫째, 천문 시스템 내에서 천문현상의 시스템 구성 요소를 파악하고 그 특

성을 이해하며, 이를 바탕으로 시스템의 구성요소들을 분류할 수 있어야 한다. 둘째, 시스템 구성요소들 간의 상호관계를 이해하여 구성 요소들 간의 관계나 시스템 구성요소들 간의 에너지나 물질의 흐름을 파악할 수 있어야 한다. 셋째, 각 구성요소들의 관계를 전체적으로 종합하여 표면적으로 드러나지 않은 시스템의 부분까지도 포함하여 경향성이나 주기성을 이해하여 시스템 요소들 간의 위계를 파악하거나 시스템을 조직할 수 있어야 한다. 마지막으로 시스템의 중심에 따른 공간적 사고 능력을 바탕으로 통합적(holistic) 관점으로 해당 시스템을 하위 시스템을 포함하여 표현된 모델(expressed model)로 구성하여 나타낼 수 있어야 한다. 시스템 사고에 대한 이와 같은 정의는 천문 시스템의 이해 중에서 주로 천문 시스템의 구조를 이해하고 설명하는 과정에서 주로 적용된다.

## 연구 방법 및 내용

### 연구 절차

이 연구는 세 단계를 거쳐서 수행되었다. 먼저 관련 문헌의 조사와 정리를 통하여 기존 연구 성과를 파악하고, 시스템 사고를 정리하였으며, 천문영역에 대한 시스템 사고 분석틀(framework for systems thinking analysis)을 개발하였다. 다음 단계에서는 연구 참여자를 선정하고 수업을 관찰 및 촬영하였으며 수업 후 비디오 회상 자극 면담법(video stimulated

recall method)을 이용한 인터뷰를 실시하여 연구 자료를 수집하였다. 마지막으로 수업 자료를 개발된 분석틀을 적용하여 분석하였으며, 분석 결과를 공동 연구진이 검토하여 합의된 분석 결과를 도출하고 검증을 거쳤다(Fig. 1).

### 분석틀 개발

시스템 사고 분석틀 개발은 4단계에 걸쳐서 이루어졌다. 이 과정 중에 3명의 중등 지구과학교육 전공 교수와 2명의 교사 경력 10년 이상인 지구과학교육 전공 교육학 박사들로 구성된 5명의 공동 연구진은 월 4회의 워크숍을 화상회의와 병행하여 2013년 9월부터 2014년 2월까지 총 24회의 연구 모임을 수행하였다.

먼저 선행 연구결과를 바탕으로 천문 시스템의 구성 요소를 파악하는 사고를 시스템 사고의 수준의 하위 정착점(lower anchor, Maeng et al. 2013)으로 하고, 시스템 사고의 정점인 상위 정착점을 Richmond (2004)의 정신 모형을 구성하여 모의 실현하기에 해당하는 시스템 모델링으로 설정하였다. 시스템적 실행이 위계적 관계를 형성하며 순차적으로 발달하기에 (Ben-Zvi Assaraf and Orion, 2005; Orion and Basis, 2008), 연구진이 문헌 연구를 통하여 추출해낸 시스템 사고 요소들의 위계를 4개의 수준으로 구분하였는데, 수준의 위계는 기본적으로 Ben-Zvi Assaraf and Orion (2005)의 STH 모델을 적용하여 설정하였다. 상위 정착점에 도달하는 마지막 수준 4는 천체

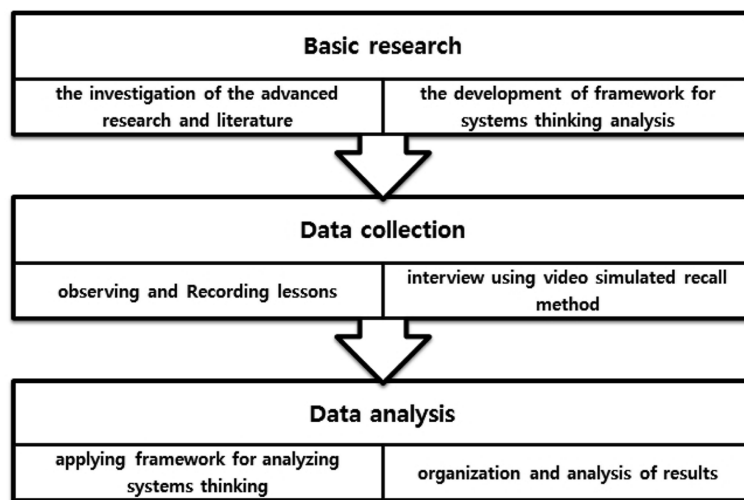


Fig. 1. Procedure of the study.

의 구조를 구성하는 하위 요소를 구분하고, 그 요소들 간의 상호 관련성을 이해할 뿐만 아니라, 각 요소들을 종합하여 천체의 구조의 규모와 비율, 변화 등과 같은 전체적인 시스템의 특성을 설명할 수 있는 경우인 시스템 모델링에 해당한다. 본 연구에서 연구진은 천문학적 사고의 상위 정착점을 통합적 사고로 보고 STH의 최종 수준인 실행하기의 연장선상의 측면에서 이와 같은 시스템 모델링을 수준 4로 설정하였다. 본 연구에서 설정하는 시스템 사고의 수준은 시스템의 구성요소들 간의 사고 정도를 수준으로 구분한 Lee et al.(2011)의 연구와는 달리 실행의 위계적 관계를 의미하는 것이다. 이렇게 문헌 연구를 바탕으로 설정된 수준들을 기준으로 작성된 구인 구성도에 맞추어 시스템 사고의 위계를 검증하기 위한 순위 선다형 문항(ordered multiple-choice items)을 개발하였다. 순위 선다형 문항은 학생들의 정답과 오답을 구분하는 것이 아니라, 문항에 포함된 선택지들이 학생들의 개념 이해의 수준 및 시스템 사고의 실행의 위계에 따라 순위를 정하여 구성되는 형태를 띤다(Briggs et al., 2006; Briggs and Alonzo, 2012). 개발된 순위 선다형 평가 문항들은 서울, 경기, 인천, 강원 그리고 광주 지역의 초등학교 5~6학년과 중학교 2학년 1,289명을 대상으로 평가를 실시하였다. 이 평가 문항은 천문 시스템에 대한 학습 발달과정을 조사하기 위한 평가 시스템으로서 Berkeley Evaluation and Assessment Research (BEAR) Center에서 제안

한 구인 모델링 방식(construct modeling approach, Wilson, 2005)을 적용하였다. 구인 모델링 방식은 ‘구인특화, 평가문항 개발, 평가결과 기술, 측정 모델’로 이루어진 4단계의 구성단위로 이루어진다(Maeng et al., 2014). Meng et al.(2014)의 선행 연구에서 평가 결과를 문항의 곤란도(difficulty)만을 문항의 모수(parameter)로 반영하여 문항 응답 확률을 계산하는 Rash 모델을 사용하여 시스템 사고의 위계의 일치와 타당성을 검증하였다. 최종적으로, Table 1과 같이 천문 영역 수업 실행 분석에 적용하기에 적합한 시스템 사고의 분석틀을 개발하였다. 개발된 분석틀은 학회 발표 등을 통해 전문가들과의 토의를 거침으로써 타당도를 추가로 확보하였다.

**자료 수집**

1) 연구 참여자와 수업 관찰

연구를 위해 서울을 비롯한 중부지방의 다양한 지역에서 천문 영역이 교육과정에 포함되어 있는 중학교 2학년 과학을 지도하는 과학 교사 4명을 선정하였다. 이 연구가 성별, 학력, 경력, 전공 변인에 따른 시스템 사고의 수준 차를 분석하는 것은 아니기 때문에 이들 변인을 별도로 통제하여 참여 교사를 선정한 것은 아니었다. 연구 참여 교사들의 수업에서 나타나는 천문학적 사고 중 시스템 사고를 분석하기 위하여, 2012년 12월에 중학교 과학의 천문 영역인 ‘별과 우주’ 단원을 3주 동안 교사별로 4~5차시 정도

**Table 1.** Framework for systems thinking analysis

Levels	System Thinking Components	Practice using Astronomical Systems Thinking	STH Model (Ben-Zvi Assaraf and Orion, 2005)
Level 1	1-a Identify components	<ul style="list-style-type: none"> <li>Find the components of a system</li> <li>Identify characteristic of the system's components</li> </ul>	1. identify the components
	1-b Classify components	<ul style="list-style-type: none"> <li>Classify the system's components</li> </ul>	
Level 2	Make relationship	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identify relationships between or among the system's components.</li> <li>Identify hierarchy between or among the system's or systems' components.</li> <li>Identify cycles of matter and energy within the system.</li> </ul>	2. identify basic relationships 3. identify complex relationships 4. organize the systems' components, processes, and their interactions 5. identify cycles of matter and energy
Level 3	Generalize patterns	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generalize patterns through interactions of the systems' components and interrelationships not shown concretely.</li> <li>Indicate the position and trajectory based on the pattern</li> </ul>	6. recognize hidden dimensions of the system 7. make generalizations 8. think temporally
Level 4	System modeling	<ul style="list-style-type: none"> <li>Represent system as scientific model including sub-systems in holistic perspective.</li> </ul>	-

**Table 2.** Background information of the participants

Name	Y	H	B	K
Gender	Female	Female	Female	Female
Teaching careers	16	14	2	14
Education	B.S.	B.S.	B.S.	B.S.
Science background	Chemistry	Physics	Earth Science	Biology
Locality	Chuncheon	Hongcheon	Incheon	Seoul

의 수업을 관찰하고 촬영하여 녹화하였다. 교사별로 수업 치수가 다른 이유는 수업 구성과 방법에 따라 동일 주제에 배정되는 수업 시수가 다르기 때문이었다. 3개 주제(별자리와 별의 위치, 연주시차와 별의 거리, 우리 은하와 우주의 팽창)에 대하여 자료를 수집하였는데, 이 단원의 주제 중 연구 목적에 부합되는 성운과 성단 그리고 우리 은하 수업을 분석 대상으로 선정하였다. 연구자의 수업 녹화에 의한 영향을 최소화하기 위하여 참여 교사가 학생들에게 수업 녹화의 취지를 충분히 설명하게 하여 평소와 같이 최대한 자연스러운 상태에서 수업이 이루어지도록 하였다. Table 2는 이 연구에 참여한 4명의 중학교 과학 교사들의 기본적인 배경 정보를 정리한 것이다.

2) 참여교사 인터뷰

수업 녹화 후에 각 수업에 대한 참여 교사의 교수학적 생각(pedagogical thinking)을 심층적으로 파악하기 위해 수업 중 행동에 대한 생각과 결정 그리고 그 이유를 파악하는데 효과적인 기법인 비디오 회상 자극 면담법(Calderhead, 1981)을 이용한 인터뷰를 진행하였다. 이러한 비디오 회상 자극 면담 기법은 교사에게 교수 에피소드(teaching episode)를 재생하고 수업 상황을 회고하게 하여 교사의 생각과 판단의 이유를 연구자에게 좀 더 적절하게 파악할 수 있도록 해주기 때문이다(Meade and McMeniman, 1992). 또한 수업 내용 중 천체의 구조에 해당하는 부분에서의 교사들의 수업 의도를 면밀하게 살펴보기에 비디오 회상 자극 면담 기법이 본 연구에 적절하다고 판단하였다.

자료 분석

1) 수업 분석

연구진은 선정된 수업에 대하여 시스템 사고가 어떻게 나타나고 있는지를 개발된 분석틀로 이용하여 분석하였다. 실제 수업 분석에서는 수업 영상을 전사된 수업 내용과 함께 수업 시퀀스에 따라 반복하여

분석하였다. 단, 연구 참여자 중 K교사의 경우 교수 실행이 철저하게 교과서의 내용과 순서에 따라 실행되었고 다른 교사들의 수업과는 달리 수업 중 교사의 개입이 매우 적은 상태로 교과서 내용을 학생들이 4인으로 구성된 모듈별로 정리하여 화이트보드를 이용하여 발표하는 방식의 독특한 수업 방법을 보이고 있다. 그래서 K교사의 수업 분석은 해당 교과서의 본문, 탐구/활동, 실험, 사진, 추가자료 등에서 시스템 사고의 단계에 해당하는 내용들을 찾아 수업 영상과 함께 분석하였다.

본 연구의 수업 분석은 사례 연구로써, 1차 분석에서는 1명의 연구자가 4명의 연구 참여자의 수업을 분석하였다. 2차 분석에서는 1차 분석의 결과를 나머지 4명의 공동 연구자가 각각 연구 참여자 1명씩의 수업 분석한 결과를 검토하였다. 이런 분석 과정을 모든 수업에 대하여 수행하였으며, 1차와 2차 분석에서 의견의 차이를 보이는 분석 결과는 5명의 공동 연구자가 모여 논의를 통하여 합의된 분석 결과를 도출하였다. 이와 같은 공동 연구자들 간의 상호 교차 검증과 인터뷰 과정에서 연구 참여자들의 검토를 통한 참여자 검증으로 분석 결과의 신뢰를 검증하였다.

2) 비디오 회상 자극 면담 자료 분석

연구진은 참여 교사들의 수업 종료 후 실시한 비디오 회상 자극 면담의 녹음을 전사하여 질적으로 분석하였다. 분석의 정확도를 높이기 위하여 1차로 참여교사들의 수업을 촬영하고 직접 면담을 실시한 연구자들이 분석하였으며, 2차로 1명의 연구자가 교수 실행을 중심으로 시스템 사고의 구현의 이유와 제한 요인을 중심으로 분석하였다. 또한, 전사된 수업 내용과 회상 자극 면담 과정에서 드러난 참여 교사들의 교수학적 생각과 신념을 바탕으로 교수 지향을 파악하여 교사들의 수업 방식과 비교해보았다. 분석 결과에 대한 연구 참여자들의 검토를 통하여 검증하여 분석 결과의 신뢰를 확보하였다.

## 연구 결과 및 논의

### 교수 실행에서 나타나는 시스템 사고의 수준별 사례

중학교 천문 영역 수업 중 교사의 교수 실행에서 나타나는 시스템 사고를 살펴보기 위하여 연구 결과로서 교사들의 천문 영역 수업 중에 드러나는 시스템 사고를 분석하였다. 분석틀에 의거하여 시스템 사고의 위계에 따라 1단계부터 4단계까지 우선순하, 성운 그리고 성단 주제 중심으로 분석 결과를 바탕으로 수준별 사례를 살펴보았다.

#### 1) 요소 파악하기와 분류하기

해당 단원에서 시스템 사고의 1단계인 시스템 구성 요소 파악하기와 분류하기의 예시는 다음과 같다. ‘파악하기(1-a)’에 해당하는 것은 밤하늘의 별을 직접 또는 사진이나 관측 프로그램으로 간접 관찰하여 시스템의 구성 요소인 천체를 파악하고 여러 천체들의 색깔과 밝기 그리고 구조와 같은 특성을 찾는 것이다. ‘특성 파악 후 분류하기(1-b)’에 해당하는 것은 성단과 성운의 사진 자료를 관찰하여 각각의 특성을 파악한 뒤 집단을 구별하고 각각의 집단 내에서도 재분류를 실행하는 것이다.

H교사와 Y교사의 경우, 성단과 성운 수업에서 요소 파악(1-a) 후 분류하기(1-b)의 시스템 사고의 순서를 따르지 않고 역으로 교사가 분류해 주고 요소의 특성을 교사 중심으로 설명하고 있는 것이 특징이다. 학생들이 시스템 사고의 1단계 실행을 해볼 기회를 주지 않고 교사가 직접 사진을 보면서 분류해 준 뒤 각각의 성단의 특성을 설명해주거나, 분류 기준에 따라 각각 성단의 특성을 설명을 해준 후 교과서 사진을 학생들과 살펴보고 그 기준에 맞게 학생들에게 분류한 결과를 확인하게 한다. 따라서 외형적으로 교사의 발문에서 시스템 사고의 1단계의 형태가 등장하기는 하지만, 학생들에게 특성을 파악하여 분류할 기회를 부여하지 않았기 때문에 학생들이 분류하기의 시스템 사고를 실행할 수 없으므로 시스템적 사고의 1단계를 유발하기에 적절한 교수 실행으로 보기에는 어렵다. 즉, 교사의 교수 실행에서는 시스템 사고 1단계에 해당하는 실행이 나타나고는 있지만, 학생들의 시스템 사고의 1단계를 유발하고자 하는 의도적인 교수 실행으로 보기 어렵다. 따라서 실질적으로 학생들의 시스템 사고 1단계를 유발하기에도 부족하

다고 볼 수 있다.

Y: 성은 한자로 별 이조 단은 집단을 의미 합니다 별들의 집단이에요. 별들이 모여 있는 형태가 달라요 아래쪽에 그림을 보면 두 사진이 비교가 되죠? 왼쪽은 전체가 모여 있긴 한데 확대해서 보니까 푸른 점들이 조금씩 거리가 떨어져 있지. 이런 성단을 뭐라 불러요?

S: 산개성단

Y: 산발적으로 흩어져 있다고 해서 산개성단이라고 불러요 두 번째 있는 거 오른쪽은 이게 좀 더 멀리서 보면 어디가 가장 밝게 보일까?

S: 가운데

Y: 가운데만 밝게 보이겠지 공 모양으로 이러한 성단을?

S: 구상성단

Y: 구상성단이라고 하는 거예요. 구상성단하고 산개성단의 차이가 뭐냐 두 개 다 처음에 얘기 했던 은하 내에 있는 식구들이야 누가 나이가 많다? 나이가 많은 거 이쪽에 있는 애들이 나이가 많아 나이가 많으면 혼자서 떨어져 살면 굉장히 외롭지 모여라 해서 같이 집단을 이루는 것이 구상성단인데 구세대라고 하자 이쪽은 나이가 젊은 신세대 신세대는 모이는 것도 좋아하지만 각자의 개성이 틀리기 때문에 어느 정도 흩어져 있다고 보면 되겠지 이쪽에는 젊은 별들이 많아요.

(Y교사의 성운과 성단 수업 중에서, S:학생들)

H: 성단은 역시 별들의 모임이지만 별들이 이렇게 모여 있는 상태를 성단이라고 하구요. 성운들도 물론 별들이 모여 있는 걸까요. 안모여 있는 걸까요. 모여 있어요. 당연히 모여 있는데 그 주변에 어떤 것? 뿌연 가스 같은 것들이 이렇게 모여 있는 상태를 성운이라고 합니다. 그래서 저기 보시면 성단의 종류엔 몇 가지가 있다? 두 가지가 있다. 보이나요? 별들의 모임을 성단이라고 하는데 그런 것들이 일정한 좁은 구간에 모여 있는 것을 성단이라고 하는 거야. 근데 모여 있는데도 이렇게 이런 식으로 아주 빠르게 모여 있을 수 있겠죠. 이런 것을 마치 뭉쳐있어 보여요? 중력 때문에 있을 수도 있고, 빠르게 모여 있을 때 모여 있는데 마치 공처럼 모여 있을 때는 구상성단이라고 해요. 구상성단. 그리고 모여 있긴 모여 있는데 약간 어떤 상태로 이렇게? 모여 있지만 흩어져있는 상태로 있으면 어우 막! 머리가 뭐라고 그래요? 산발이라고 하는 것처럼. 산개성단이라는 표현을 씁니다. 성단에 크게 두 종류가 있다. 산개성단과 구상성단이 있다. 이렇게 기억해주면 되요. 교과서에 있는 그림. 같이 봅시다.

(H교사의 성운과 성단 수업 중에서)

반면, B교사의 경우는, 성운과 성단을 한자어 풀이로 정의를 내려주는 사전 용어 정의작업을 하긴 하지만, 학생들에게 직접 성단과 성운의 특성을 파악



(1-a) 할 기회를 부여해주고 있다. B교사는 학생들이 사진 자료로 제공 되어진 천체들을 성단과 성운 두 그룹으로 분류(1-b) 하도록 유도하고 있다. 이러한 수업에서 학생들은 요소 파악하기(1-a)와 분류하기(1-b)를 직접 수행하게 되고 이를 통하여 시스템 사고의 1단계를 실행 할 수 있을 것이다.

B: 여러분이 직접 활동을 통해서 성운과 성단을 구분해 볼 거예요. 성운과 성단의 비교를 해보고 이것들의 개념을 설명 할 수 있어야 돼. 비교를 통해서, 두 번째는 성운과 성단에는 종류들이 여러 가지가 있어. 그것도 우리가 특징을 가지고 이것들이 어떤 종류인지 알아야 돼요. 여러분이 직접 특징을 가지고 이것들의 종류를 분류해 볼 거예요. 직접 해 볼 수 있을 만큼 쉬워요. 종이를 보면 그림이 6가지가 있죠? 이것들이 성운과 성단인데, 선생님이 써주지는 않았어요. 여러분들이 이 그림을 보고 탐구활동지에 있는 1, 2번을 할건데, 일단은 그림을 보고 두 가지로 분류를 해보는 탐구활동을 먼저 해볼 거예요. 선생님이 이거 나눠 줄테니까. 조별로 같이 보고 두 개로 나눠보세요. 그 후에 특징을 한 번 써 보세요.

(B교사의 성운과 성단 수업 중에서)

이러한 B교사의 교수 실행은 처음부터 계획된 것은 아니었지만, 다른 학급에서 동일한 수업을 먼저 수행해보고 학생들에게 사고의 순서대로 기존의 교사가 주도하던 것을 학생들이 직접 관찰하여 분류하게 시도한 것이다. 그리고 이러한 특성을 파악하고 분류하는 것이 과학자들이 하는 방식 즉, 시스템 사고의 단계임을 의식하고 있는 것이다.

B: 이거는 의도라기보다는 저도 그냥 이렇게 생각했어요. 과학자들도 성단 정의되어 있던 게 아니고 이런 식으로 관찰하고 이렇게 했으니까 충분히 애들도 할 수 있고 그래서 배열을 했거든요.

(B교사의 회상자극면담 중에서)

K교사의 경우, 해당 교과서에서 [탐구/토의] 자료로 제시된 오리온자리의 말머리성운 주변 영역을 찍은 사진과 쌍둥이자리의 어느 영역을 크게 확대한 사진들을 관찰하여 “성운은 어떤 특징이 있을까?”와 “성단은 어떤 특징이 있을까?”와 같이 성단과 성운의 특성을 파악하기(1-a)가 명시적으로 제시되어 있다. 그래서 학생들은 이 활동을 통하여 1단계 시스템 사고의 실행이 가능하게 된다. 하지만, 교과서에서 두 개의 활동이 병렬적으로 나열되어 있기 때문에 학생들은 성운과 성단을 별개의 요소로 생각할 뿐 시스템

을 구성하는 시스템 요소로 분류하지 못할 수도 있다. 그래서 교사가 교과서의 이 두 활동을 그대로 사용한다고 하더라도 두 활동을 잘 조직 한다면 시스템 구성 요소로써 천체를 성단과 성운의 두 그룹으로 분류하기(1-b)까지 가능하다. 하지만, 실제 K교사의 수업에서는 이러한 적절한 교사의 개입을 찾아볼 수 없었다.

## 2) 시스템 요소 간 관계 맺기

2번째 단계의 시스템 사고인 분석하여 시스템 요소 간 관계 맺기로써 예를 들면, 우리 은하 속의 성단과 성운, 성단과 별(항성), 성운과 별(항성) 등의 위계와 같은 관계를 1단계 사고(요소 파악하기와 분류하기)를 바탕으로 정하는 것이다.

성운과 별의 관계를 살펴보는 시스템 사고의 2단계의 경우, 학생들이 내용을 정리하여 발표하는 K교사의 수업을 제외하고는 모두 교사 주도로 내용 설명에서 주로 등장하고 있다. H교사의 경우는 성운을 3가지로 분류 한 후(1-b) 각각의 성운과 별에서 방출되는 에너지의 관계를 비유나 은유를 사용하여 교사가 학생들에게 일방적으로 설명하고 있다. 그런 후 학생들에게 교과서 그림 관찰을 통하여 각 성운의 특성을 파악(1-a)하게 한다.

H: 성운 종류가 세 가지가 있습니다. 뭐, 뭐, 뭐? 반사. 방출. 암흑. 그냥 보자. 우리 뒷 단원 할 때. 반사 배웠죠? 반사 어떤 거였죠? 그치. 튕기는 거. 받은 게 없으면 튕길 것도? 없어요. 스스로 빛을 낼 수 있는 거? 아니요. 빛을 받아서 보내는 거. 튕겨 내는 것을 뭐라고 한다? 반사라고 했어요. 그럼 여기서의 성운도 반사성운이니까 별까? 별들이 모여 있고 가스가 있는데 스스로 빛을 내는 것이 아니라 주변의 별빛을 받아서 반사시키는 성운을 뭐라고 한다? 반사성운이라고 해요. 그럼 그 밑의 방출은? (중략) 마지막 무슨 성운? 암흑. 암흑은 별까? 암흑. 암흑하면 뭐 생각나니? 비슷한말로 칠흑. 검은. 어두운. 그럼 뭐니까? 암흑 있어요. 근데 여기 인제 뭐가 별이 있으면 반짝반짝 빛 나겠조. 아 저기 별이 있어 근데 암흑성운은 뭐냐 하면 이렇게 성간물질들이 이렇게 앞에 서있는 거야. 그럼 뒤에 있는 빛이 여러분들 눈에 도달해? 못 도달해? 도달하지 못하고 뭔가 가리는 물질이 있겠지. 이것을 암흑성운이라고 보시면 돼요. 가리는 거. 구분할 수 있나요? 정말로? 진짜로? 교과서 사진 그대로 옮겨왔습니다.

(H교사의 성운과 성단 수업 중에서)

Y교사의 경우도 먼저 성운을 3가지로 분류 한 후

(1-b) 각각의 성운과 별에서 방출되는 에너지의 관계를 교사가 주도적으로 학생들에게 설명하고 있다. 그런 후 학생들에게 영상을 통하여 각 성운의 생성 과정과 특성을 파악(1-a)하게 한다. 다시 말해서, 학생들이 시스템 사고의 1단계를 거쳐 2단계 사고로 물질인 성운과 별 그리고 에너지인 별 빛의 관계를 학생들이 실행을 통해서 찾아 낸 것이 아니라, 교사의 설명으로만 전개되고 있는 것이다.

Y: 성운은 어떻게 해서 생기는 걸까? 성운 어떻게 만들어졌는지 모르겠지만 일단 복잡하다. 여기에 대표적인 3개의 성운이 있어요. 각각 성운이 뿌옇게 빛나는 정도에 따라서 3개 정도로 나누게 되는데 첫 번째가 무슨 성운이죠? 반사성운 두 번째가 방출성운 세 번째가 암흑성운이요. 애는 별이야 아니야 성운은? 별이 아니야 자기 스스로 빛을 낼 수 있어요? 자기 스스로 빛을 못내는 데 애는 어떻게 해서 빛나는 모습으로 보이느냐는 것이지 주변의 빛나는 존재가 있으면 그 빛을 받아서 튕겨내는 것이지. (중략) 이거 한번 보세요. 별들도 죽는데 순간 폭발하니까 빛이 밝게 보이겠지, 그래서 밤하늘에 별이 죽어가면서 불을 뿜고 나타내기 때문에 그것을 초신성이라고 얘기를 하는데, 초신성이 뿜 타지고 나면 모여 있을 수 있어? 없어? 모여 있을 수 없으니까 진해 들어 사방으로 흩어지겠지, 흩어지는 모습이야. 영상은 여기까지.  
(Y교사의 성운과 성단 수업 중에서)

반면, B교사의 경우는 학생들의 관찰(1-a)과 분류(1-b) 실행을 바탕으로 성운과 별의 에너지(별 빛)의 관계를 찾아보고자 한다. 다만 이 과정 중에 질문을 통하여 학생들의 각 성운의 색깔과 같은 관찰 내용만을 확인하고 교사 중심으로 성운과 별의 에너지의 관계를 조직하고 있다.

B: 별과 별 사이에는 아무 물질도 없는 것이 아니라 가스나 먼지 등의 작은 티끌들이 돌아다니는 거예요. 재네들이 모여 있으면 구름처럼 보이는 거예요. 성간물질들이 모여 있으면 여기 보이는 여기를 성운이라고 합니다. 성운은요 특징에 따라서 반사성운, 방출성운, 암흑성운 이렇게 나뉘네요. 그림을 보면 이해하기가 쉬워져요. 뒤쪽에서 오는 별빛을 막았다. 그럼 우리는 못 보겠지? 어떤 색으로 보일까?  
S: 검은색  
B: 그래서 애 이름이 암흑성운이야. 그리고 성간 물질들이 주변에 있는 별빛을 흡수해요. 별빛을 흡수하니까 온도가 올라가겠죠? 가열된 성운이 이제는 스스로 빛을 방출해요. 그러면서 빛을 내는 성운을 방출성운이라고 해요. 그리고 주변에 있는 별빛을 반사시켜서 보여주는 성운을 반사성운이라고 해요. 우리는 색을 보면 어떤 성운인지 알 수가 있

죠. 암흑성운은 여기를 보면 유명한 성운의 이름인 말머리 성운 이예요. 말머리처럼 생긴 게 보이니? 선생님이 준 프린트에도 있어요. 말머리가 무슨 색으로 보이니? 검은색으로 보이죠? 뒤에 있는 별빛을 차단시키기 때문에 어둡게 보이는 거예요. 그리고 방출성운 같은 경우에는 별빛을 흡수해서 가열됐다가 빛을 방출한다고 그랬죠? 그래서 붉은 색을 나타내는 성운이예요. 반사성운은 주변 별빛을 반사시킨다고 그랬죠? 애는 주로 푸른색을 띄게 되요. 색을 보고 성운이 무엇인지 알 수 있다.

(B교사의 성운과 성단 수업 중에서, S:학생들)

우리 은하 속에서 성단과 성운의 관계를 살펴보는 시스템 사고의 2단계의 경우, 교사 주도로 내용 설명에서 등장하고 있다. H교사의 경우는 우리 은하에서 출발하여 그 하부 시스템으로 성단과 성운을 대등한 위계 하에 거의 병렬적인 관계로 설명하고 있다. 한편, B교사의 경우는 우리 은하에 대한 언급 없이 H교사와는 반대로 별보다 규모가 큰 천체들로 성단과 성운을 살펴보고 있으며, 역시 두 천체 사이의 관계에 대한 구체적 언급은 없다. 두 교사의 공통점은 시스템 사고의 순서에 따라 1단계 사고를 유발한 후 2단계 사고인 요소 간 관계 맺기 중 하나인 위계에 대하여 학생들이 생각해 보는 실행이 나타나는 것이 아니라, 수업의 도입 부분에서 오늘 학습할 내용으로 성단과 성운을 소개함에 그치고 있다.

B: 그러면 이제는 별보다 더 큰 천체들에 대해서 배우도록 할 거야.  
(B교사의 성운과 성단 수업 중에서)  
H: 그럼 도대체 이 은하 안에 무엇이 있느냐? 뭐있을까요? 뭐라고 쓰여 있나요? 성단과 성운이라는 게 있습니다.  
(H교사의 성운과 성단 수업 중에서)

K교사의 경우, 학생들이 발표할 내용을 발췌하는 교과서에서는 성운과 성단에 대해서 이러한 시스템 요소 간 관계 맺기가 구체적으로 기술되어 있지 않다. 또한 성단과 성운을 교과서에서 동일 소단원 속의 병렬적인 관계의 소주제와 같이, 우리 은하를 구성하는 천체로써 성운과 성단에 대한 내용을 병렬적으로 기술하고 있다. 이러한 교과서의 내용 구성은 다른 교사들의 교수 실행 중에도 이 두 집단의 각각의 특징만을 찾는 실행(1-a)에만 집중하게 하고 있다. 이로 인하여 수업 중 학생들이 성단과 성운 두 집단의 우주 공간상이나 분류 상 서로의 시스템적 관계를 파악하지 못하게 할 수 있다. 다시 말해서, 교과

서의 영향으로 학생들은 성단과 성운을 시스템 속에 연관된 요소가 아니라 병렬적 관계의 집단으로 생각할 수도 있다.

이처럼 우리은하와 성단 간의 위계 속에서 시스템 요소들 간의 관계에 대해서 정확하게 인지하지 못하면 학생들은 우리 은하의 하부 시스템으로의 성단을 이해하는 것이 아니라 우리은하와 그 주변의 성단으로 생각하는 오개념을 가질 수도 있다. K교사의 수업 중에 학생들이 교사가 준비한 별도의 자료 없이 오직 교과서만을 수업에 이용하였다. 교과서에는 성단의 예시로 쌍둥이자리의 일부를 확대한 사진이 제시되어있는데, 이처럼 교과서 사진 자료만을 분석하다보면 특히 더 그럴 수 있다. 나머지 교사들의 실제 교수 실행에서도 성단의 내용을 학습한 후, 상위 시스템인 우리 은하와 관계 맺기를 하지 않고 있음을 볼 수 있다.

### 3) 패턴을 통한 일반화하기

시스템 사고의 3단계인 패턴 이해를 통하여 일반화하기의 예시로는 1~2단계의 우리 은하와 우리 은하의 구성 요소들에 관한 정보들을 종합하여 위에서(또는 옆에서) 본 우리 은하의 모습에 태양(혹은 태양계)의 위치, 성단(구상 성단과 산개 성단)들의 위치, 성운들의 위치, 별들의 위치를 거리 비율을 바탕으로 시스템의 구조를 표현하거나 설명할 수 있는 것이다.

K교사의 경우 학생들이 발췌한 교과서 384쪽의 우리 은하에 관한 그림을 살펴보면 우리 은하 속의 태양계가 아닌 태양만을 강조하여 나타내고 있어 3단계 사고를 표현하고 있다고 보기는 힘들다. 다만, 교과서 사진 속 우리 은하에서 성단과 성운이 모두 관찰 가능하기에 교사의 교수 실행을 통하여 3단계 시스템 사고를 충분히 유발할 수도 있다. 다시 말해서, 교사가 학생들에게 교과서 또는 교육과정을 재구성하여 가르친다면 3단계 시스템 사고의 구현이 가능하지만, K교사의 교수 실행처럼 교사의 개입이 없거나 교과서의 본문 기술과 자료를 그대로 이용하여 가르쳤기에 시스템 사고의 3단계가 구현되기 어렵다고 볼 수 있다. 실제 B교사의 경우도 우리 은하의 구성 요소인 성단과 성운의 특징 파악하기와 분류에만 교수 실행의 대부분을 할애하고 있다.

수업 분석 결과, 실질적으로 모든 선생님의 수업에서 명확하게 학생들의 시스템 사고의 3단계를 유발하는 교수 실행은 등장하지 못하고 있다. 다만, H교

사의 경우 수업의 도입부에서 교과서에 사진 자료로 등장하는 위에서 본 우리 은하의 모습에 대한 상상도와 은하수의 관찰 사진을 설명함에 있어서 3단계 시스템 사고인 조직하기를 교사 중심으로 개괄적으로 보여주고 있다. 교과서 사진 자료를 교사 중심으로 관찰하여 해석 한 후(1단계) 은하의 하부 시스템으로 태양계 시스템의 위계(2단계)를 비유적으로 설명한 뒤, 그 두 시스템의 상대적인 위치와 대략적인 중심으로 부티의 거리를 은하수 관측 자료 해석을 이용하여 3단계인 패턴을 통한 일반화하기의 결과물에 해당하는 교과서에 제시된 우리 은하의 상상도를 설명하고 있는 것이다. H교사는 연연중에 시스템 사고의 단계를 따라 교과서에 제시된 우리 은하와 은하수 관찰 사진을 해석하여 학생들에게 내용을 설명하고 있지만, 학생들에게 사진 속 천체들을 분석하고 비교하는 사고 실행으로 패턴을 파악하여 일반화할 기회를 부여하지 않고 있기에 시스템 사고를 3단계까지 유발하는 교수 실행으로 보기는 어렵다.

H: 태양 주변을 빙글빙글 돌고 있죠. 공전하듯이 이 은하도 뭔가를 중심으로 거대한 별들의 무리가 빙글빙글 돌고 있어요. 그런 거를 뭐라고 한다? 은하라고 합니다. 뭐라고 한다? 은하. 그래서 보면, 우리 태양도 은하의 한 구성원일 뿐이야. 그럼 누구 은하일까? 태양이 들어있으니까 여기 누구 학교야? 우리학교야. 선생님은? 우리 과학 선생님이. 너 네 집은? 우리 집. 그럼 태양이 있는 저 은하는 우리은하예요. ... (중략)... 그림 가장 중심에 핵이야. 태양은 치우쳐져있나요. 아니면 정 가운데 딱 박혀있나요? 약간 치우쳐 있습니다. 쉽게 생각하면 너희들이 우리 은하야. 나는 태양이야. 그럼 나는 어디 있을까요. 정 가운데 있지 못하고 약간 치우쳐 있는 거야. 근데 나는 뭐하니까? 자전을 해요. 별이 몇 개보이니? 2개보여. 이렇게 하나까 별로 없네? 몇 개보이지? 3개. 굉장히 많이 보이죠. 바로 요상태가 은하수라는 거예요.

(H교사의 우리 은하 수업 중 수업 도입부에서)

Y교사의 경우도 H교사와 유사하나, 추가적으로 지구의 공전에 따른 여름철과 겨울철의 은하수 관측 사실의 차이를 바탕으로 우리 은하의 구조를 조직적으로 설명하고 있으며, 성단의 위치도 구조적으로 설명하고 이를 수업 정리에서 반복하고 있다. 이를 통하여 3단계 시스템 사고인 패턴을 통한 일반화하기를 교사 중심으로 보여주고 있다. 다시 말해서, 교과서 사진 자료를 교사 중심으로 관찰하여 해석 한 후 (1단계) 은하의 하부 시스템으로 태양계 시스템과의

관계(2단계)를 비유적으로 설명한 뒤, 그 두 시스템의 상대적인 위치와 대략적인 중심으로부터의 거리를 은하수 관측 자료 해석을 이용하여 3단계인 패턴을 통한 일반화하기의 결과물에 해당하는 교과서에 제시된 우리 은하의 상상도를 설명하고 있는 것이다. Y교사도 은연중에 시스템 사고의 단계를 따라 교과서 사진을 해석해내었지만, 학생들의 시스템 사고를 3단계까지 유발하는 교수 실행으로 보기는 어렵다.

Y: 여기에 분포를 하고 있는데 “지구에서 나선팔에 분포하고 있는 많은 별들 태양과 같은 그런 역할을 하는 수천억 개나 되는 별들을 지구에서 바라보았을 때의 모습은 어떤 모습일까?”라는 거지. 실제로 보이는 모습 이거예요. 약간 비스듬하게 위에서 내려다본 모습인데 태양에서 공수자리 방향으로 쪽 뻗어보면 은하의 어디가 눈에 들어오겠습니까? 핵이 눈에 들어오죠. 은하의 핵 부분에 좀 더 많은 별들이 모여 있지. 가면서 나선팔이 겹쳐지겠죠. 이 방향을 보면 좀 더 밝기가 밝게 보이겠죠. 은하핵을 통과하니까 두툼하게 보이겠죠. 날찍하게 보이는 거야 그쪽이 아닌 이 반대편 방향을 보면 나선팔의 끝자락만 보일 거 아니야 별들이 많이 있겠어요? 적게 있겠어요?

S: 적게요

Y: 적게 있어 여기는 폭이 좀 좁아 보이게 되는 거야. 중간중간은 왜 갈라져 있을까? 예를 들어서 여러 개의 나선팔이 있는데 나선팔의 끝자락을 통과하게 되면 별이 많이 관측이 될까 안 될까? 그런 부분들이 갈라져 보이겠죠. 지구에서 어느 쪽 방향을 바라보느냐에 따라서 보이는 은하수의 형태가 다르게 되는데 이쪽 방향을 봤다가 저쪽방향을 봤다가 그러지? 어떻게 이게 가능하지?

S: 지구가 돌아서

Y: 지구가 태양 둘레를 공전하지 공전을 하는데 여기 위치에 있으면 당연히 태양이 없는 은하의 핵 중심 쪽을 볼 수밖에 없겠지. 이때가 계절이 여름이라는 거예요. 태양 주위를 공전을 해서 여름이 지나면 다음 계절 가을이 오겠죠. 가을이 지나고 다음계절이 겨울이 오겠지 겨울이 지나면 봄이 오고 겨울철에 보이는 은하수가 가장 어떨까? 여름의 반대편이 되니까 폭이 좁고 희미하게 되겠지 이렇게 은하수를 통해서 태양계가 속해 있는 은하의 형태를 대략적으로 잡아 볼 수도 있거든요? 여기는 우리은하의 구조에 대해서 설명이 되어 있습니다. (교과서에) 밑줄을 그어 볼까요.

(Y교사의 우리 은하 수업 중 수업 도입에서, S:학생들)

4) 시스템을 모델링하여 나타내기

천문 영역에서 시스템 사고의 최상위 수준은 해당 천문 시스템을 과학적 모델로 표현하여 나타낼 수

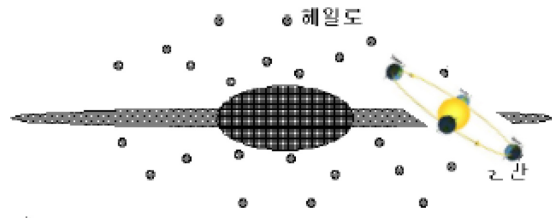


Fig. 2. System modeling-Milky way side view (Maeng et al., 2014)

있는 능력으로, 즉 시스템 모델링이다. 여기서는 Fig. 2와 같이 우리 은하 모델을 완성하여 표현하기에 해당한다. 수업 중에 시스템 모델링이 나타나기 위해서는 학생들 에게 개별이나 모둠별로 과학적 모델을 표현할 기회를 제공해야 하며, 모델링 수업이 아닌 이상은 대개는 형성평가의 형태로 수업 중에 실행될 수 있다. 이러한 천문학적 시스템 사고의 수준은 4명의 과학 교사의 수업에서는 전혀 나타나고 있지 않다. 모든 참여 교사들의 설명이나 수업의 실행에서도 나타나지 않을 뿐만 아니라, 학생들에게 수업 중 학습한 우리 은하에 대하여 종합적으로 이해하고 있는지 표상할 기회조차 부여하고 있지 못하다.

시스템 사고 구현의 사례별 특징과 제한 요인

수업 분석을 통하여 앞서 살펴본 바와 같이, 4명의 참여 과학 교사의 교수 실행 사례에서 낮은 수준의 시스템 사고들이 나타나고 있었다. 이러한 시스템 사고에 관한 교수 실행의 교사 사례별 특징과 제한 요인을 교사들의 수업 관찰을 통한 수업 방식 분석과 회상 자극 면담 분석을 이용하여 살펴보았다.

1) 시스템 사고 구현의 교사 사례별 특징

교수 실행 중에 나타난 시스템 사고 분석을 종합하여 보면, 주로 교사 주도의 강의식 수업을 실행하는 H교사와 Y교사는 교사의 발언에서는 시스템 사고의 1단계에서 3단계까지 나타나는 것으로 판단된다. 다만, 교사들은 학생들에게 시스템 사고를 유발할 기회를 제공하지 않기에 학생들의 시스템 사고를 유발하기에 적절한 교수 실행으로 보이지 않는다. 그래서 시스템 사고의 3단계까지는 수업 실행에서 유도하고 있지 못하고 전반적으로 2단계의 시스템 사고 구현에 머물고 있다. 이러한 2단계까지의 시스템 사고도 2단계에서 1단계로 사고 과정을 역행하는 순서로 수업을 구성하여 전개하고 있다. 이는 교사 본

인은 의식적이든 무의식적이든 시스템 사고를 지니고 있지만, 학생들에게 필요한 시스템 사고의 체계성과 체계성을 고려하지 못하고 있기 때문인 것으로 분석되어 진다. 또한, 교사 중심의 강의식 수업을 통하여 학습 전개를 빠르고 효과적으로 수행하고자 하는 교사의 교수 실행의 특징으로 보이며, 전반적으로 짧은 시간 내에 많은 량의 학습을 하고 있음이 나타난다. Y교사는 전형적인 관리 중심의 수업을 진행하면서, 주로 강의에 의존하여 교과서에 수록된 과학 개념의 습득을 강조한다. 여기에는 아무래도 비전공자이기에 교육과정에 충실한 교과서를 중심으로 학생들에게 교과서에 언급된 지식 내용 이해 수준의 교수 실행을 하고 있기 때문인 것으로 분석된다. 실제 시스템 사고에 대한 교수 실행에서도 교사 중심의 강의식 교수 실행을 수행하여 교과서를 학습 내용 기반으로 삼아 교사 중심으로 시스템 사고를 구현하고 있다.

Y: (교과서와 비교해서 수업 내용의) 순서를 바꾼다던 가 뻔하다던 가 더 설명한다던지 하는 것이 없어요. 자전축 기술의 문제도 (교과서에) 없어서 안했다고 했잖아요. 초등학교 때 배운 건데. 비전공자이기 때문에 교과서에 충실하자는 거겠죠. 가장 걱정하는 부분은 이해도 반응정도. 일단은 교과서에 있는 내용만으로도 버거워 하는 학생들이 많거든요. 이해를 한다고 하는 학생들은 사교육의 힘을 빌어서하기 때문에 교과서 내용에 과학 용어 자체가 한자어로 된 것도 많고 어휘력이 딸려요 아주 쉬운 개념임에도 불구하고 기본 용어의 의미파악을 잘 못하기 때문에 과학은 국어적인 글 하고는 조금 다르잖아요. 소설이나 맥락 속에서 단어의 뜻을 이해하기 보다는 부분 부분의 개념을 설명하는 경우가 많기 때문에 일단은 생소한 과학용어가 많고 이해하는데 버거워하는 애들이 많기 때문에 (Y교사의 회상자극면담 중에서)

한편, H교사는 수업 자체를 교사가 계획적으로 준비하고 교사 주도로 구성된 지식의 체계 안에서 흥미 유발 중심으로 학생을 수업에 참여시키고 있다. 수업 중에 학생들의 이해 수준을 고려하여 다양한 예시를 들어 설명하거나 다양한 교수 학습 자료를 제공하면서 수시로 질문을 통하여 학생들의 이해를 확인 하는 등 학생들의 참여를 유도하고 있다. 하지만 수업의 주도권을 계속 H교사가 가지고 있는 반면, 학생들은 학문 중심으로 교사의 강의식 설명을 통해 내용을 학습한 다음 실질적 참여는 교과서 사진이나 교사가 제공하는 학습 자료를 통하여 학습 내용의 확인이나 활동을 통한 체험 정도에 그치고 있다. 즉,

H교사의 수업은 지식의 체계성 안에서 교사의 설명으로 수행되는 학문 중심의 강의식 수업이 드러나고 있다. 이러한 학문적 접근이 H교사가 시스템 사고를 천문 영역 수업 중에 상위단계에서 하위단계로 하향식 전개를 한 원인으로 분석되어진다.

H: 저희 학교에 있는 아이들 수준에 맞춰서는 인지적으로 접근해서는 지구과학도 따분하고 재미없다고 생각해요. 예전에 저도 천체 물리학 같은 것도 글로 접근하니까 되게 재미가 없었거든요. 별을 보는 사람들은 처음엔 별의 낭만에 빠져서 학문적으로 들어가는 것처럼 정의적인 측면으로 많이 접근했던 것 같아요. 그냥 과학을 재밌어 해주고, 만만하게 생각했으면 좋겠다고 생각하고요. 그리고 하나라도 얻어가는 게 있게 깊이는 없더라도. 아 저거는 뭐구나. 이 정도. 관심 있는 친구들한테는 좀 더 학문적으로 접근하는 부분이 없지 않죠. (H교사의 회상자극면담 중에서)

한편, B교사의 경우는 교수 실행만 보았을 때 교사가 3단계까지의 시스템적 사고를 가졌다고 보기에 어렵다. 수업에서도 2단계 정도의 사고만 등장하고 있다. 이는 천문 시스템들 간의 종합적 시각에서 보는 사고(holistic thinking)가 부족할 때 나타날 수 있는 것으로, B교사는 교수활동을 위한 학습지에서 다루는 각각 소단원의 학습 내용을 중점으로 그 학습 요소들을 학생들에게 모두 전달하려는 교수 실행에 기반 하여 각 요소들로 세분화되고 빠짐없이 내용을 가르쳐서 학생들의 학업 성취도 평가를 대비하게 하고 있기 때문이다. 그래서 전반적인 수업을 교사 중심의 강의식으로 전개한다. 이로써 천문영역에 대한 전체와 부분의 시스템과 시스템들 간의 조직하기가 부족하게 나타나고 있다. 하지만, B교사는 시스템 사고에 대한 수업 실행에서는 비록 시스템 사고의 구현 수준은 낮다 하더라도 수업 중 학생들이 천문학적 시스템 사고를 실행할 기회를 모듈별 탐구를 통하여 부여하고 있다. 여기에는 Choi et al.(2009)의 사례 연구와 유사하게 교사의 다른 학급에서의 수업 경험을 통한 반성에서 오는 반성적 실천(reflection-in-practice)에 의한 교수 실행 변화가 보여 지고 있다. 교직경력이 2년밖에 되지 않는 B교사의 이러한 반성적 실천을 통한 교수 실행 변화는 향후 과학 교사들이 천문영역에서 시스템 사고의 중요성을 인지한다면, 교수 실행 개선의 가능성이 높을 것으로 예상되어지는 부분이다.

B: 이 반이 이 수업의 첫 반이 아니었어요. 다른 반에 가서도 수업을 했을 때 이 반 들어가서 애들이 생각보다 제가 예상한 답안이 있을 거 아니에요. 사실 '애들이 이 정도는 발견하겠지. 여기서 이렇게 귀추를 해야겠다.'라고 생각 했는데, 생각보다 잘 끌어내더라고요. 색깔도 이야기를 하고 '생각보다 잘 하네!'라고 느꼈거든요.

(B교사의 회상자극면담 중에서)

한편, K교사는 가장 특이한 경우로 교사의 시스템 사고의 수준이 교수 실행 중 거의 드러나지 않는다. K교사는 다른 교사들과는 달리 수업 중 교사의 개입이 거의 없이 학생 중심의 모듈별 발표식 수업을 전개하고 있기에 수업 영상 분석을 통해서도 좀처럼 시스템 사고의 구현을 살펴보기 어려웠다. 그래서 K교사의 수업 속에서 학생들은 교과서에 기술되어 있는 탐구와 실험을 바탕으로 본문의 내용을 학생들이 발췌한 뒤 정리하여 발표하다보니 Liu and Hmelo-Silver(2009)의 연구 결과와도 유사하게, 학생들이 교과서에 기술되어 있는 학습을 위한 사실들의 나열이나 시스템 요소들의 특징만을 나타내는 등의 하위 단계의 시스템 사고에 해당하는 부분만이 나타나고 있다. K교사의 경우, 학습 내용상으로는 교과서 중심으로 교수 실행을 할 수밖에 없는 이유를 지구과학 전공이 아님에 따른 교과내용지식 부족으로 생각하고 있는 것으로 분석된다.

K: 교과서에 충실하게 가르칠 수밖에 없는 거예요. 제가 아는 지구과학 지식도 없고, 수चना 이런 것도 자꾸 까먹어요.

(K교사의 회상자극면담 중에서)

## 2) 시스템 사고 교수 실행의 제한 요인

교사들의 실제 교수 실행에서 시스템 사고의 구현이 빈도가 낮고 수준이 낮은 이유를 분석해보았다. 먼저, 이유 중 하나는 교사들이 지구과학의 천문영역을 가르칠 때, 천문학 사고 중 시스템 사고보다는 공간적 사고를 중요시하고 있기 때문인 것으로 분석된다. 학생들이 천문 영역을 학습하는 과정에서 공간적 사고 능력의 부족에 따른 수업 중 학습 내용 이해의 곤란함을 고려하는 학생 이해에 대한 지식으로 볼 수 있다. 실제로 면담을 통해 지구과학 전공인 B교사는 천문학 사고 중 시스템 사고에 대한 고려보다는 관점 전환과 같은 공간적 사고에 중점을 두고 수업을 실행하고, H교사는 방위 개념과 같은 공간적 사고에 중점을 두고 교수 실행하고 있음을 알 수 있다.

B: 천문수업을 하게 된다면 천문내용의 이해에 필요한 사고 관점을 고민을 해 볼 필요가 있다는 거죠. 이거는 아까 천구수업에서 잠깐 얘기를 화면을 봐야 되는데 칠판에다 그린 그림이 이렇게 구를 그리고 지평선이 있고 지구 자전축이 지구가 이렇게 있는 그림이 있고 어떻게는 반대로 되는 그림이 있고 왔다 갔다 하는 거예요. 천구 위를 보여줬을 때 그때의 지구의 방향하고 칠판의 방향하고 반대가 되거든요 이렇게 우리는 머릿속에 천구가 있으니까 상관이 없는데 학생입장에서는 너무 혼란스럽기에 항상 학생의 관점에서 이것을 표현해줄 필요가 있어요.

(B교사의 회상자극면담 중에서)

H: 번번이 반복하는데 아이들이 방위 개념이 없어요. 단순한 동서남북부터 시계 반시계 방향, 북극, 남극, 북위, 남위 이런 것들. 처음 북반구 남반구도 제가 처음 가르쳤어요.

(H교사의 회상자극면담 중에서)

한편 교과서에 기술된 내용들이 시스템 사고의 상위 단계를 포함하지 못한 것도 다른 이유가 된다. K교사는 철저하게 교과서의 순서와 내용의 틀 내에서 수업을 진행하였다. Y교사의 경우도 교과서에서 지식 영역의 내용이 본문에 기술되어 있지 않으면 교과서의 그림이나 사진으로 제시되더라도 전혀 수업 중에 다루지 않음을 알 수 있었다. Y교사의 경우 교과서에서 여름철과 겨울철에 관찰한 은하수의 차이에 대한 연구자의 질문에 정확한 교과 지식을 지니고 있음이 드러났지만, 수업 중에 이에 대한 언급이 없었고 그 이유에 대해서는 교과서 내용에 없기 때문이라고 말하고 있다. 따라서 Y교사의 수업 중 나타나는 시스템 사고는 이와 같은 교과서 내의 한계에 부딪힐 수밖에 없다. 그리고 K교사와 마찬가지로 자신의 전공이 지구과학이 아니기 때문이라고 생각하기에 비전공 교사로서 지구과학 영역 중 천문분야에서 교과내용지식이 부족하여 교과서에 기술된 내용에만 의존한 것이 원인으로 분석된다. 결과적으로 비전공 교사들은 천문 영역 수업에서 시스템 사고에 대한 이해 및 의도적인 고려가 거의 나타나지 못하고 있으며 지구과학 전공인 B교사만이 구체적이지는 않지만, 과학자들이 이해하는 방식으로 낮은 수준의 시스템 사고를 고려하고 있음이 나타났다.

Y: 교과서에 없습니다. 계절변화에 대한 내용은 계절변화에 대해서 왜 여름인지 겨울인지. ...(중략)... 제가 전공자이고 흐름을 다 꿰고 있으면 한번쯤 설명을 했을 부분이지만 교과서 내용 외에는 더 깊이 안 들어가려고

R: 전공분야도 천문 영역과 똑같이 교과서 내용과 순서를 따라하시나요?

Y: 순서를 바꿔서 설명하는 경우도 있고 지난 학년 것도 연계지어 설명하는 경우도 있어요. 이번에 수업할 때는 그게 연결이 안 되더라고요. 전공이 아니다 보니까 자신 없어하는 부분도 있고 교과서 내용만 놓고 봤을 때는 무난하지만.  
(Y교사의 회상자극면담 중에서, R: 연구자)

마지막으로, 상위 단계인 시스템 모델링과 패턴을 통한 일반화하기가 수업 중에 거의 등장하지 못하는 이유는 교사들의 평가에 대한 지식의 부족이다. 즉, 형성평가가 없거나 단순한 지식만을 확인하는 ‘계획된 형성평가’(planned formative assessment, Cowie and Bell, 1999)에 국한되기 때문이다. 시스템 모델링과 같은 시스템 사고의 정점을 구현하기 위해서는 학생들에게 표현된 과학 모델로 표상해 볼 수 있는 실행을 할 수 있는 기회를 부여해야 하는데, 모든 교사들이 수업 중에 그러지 못하기에 전혀 나타나지 못하는 것이다. B교사의 경우는 매 수업 시간의 말미에 형성 평가의 형태로 수업 중 학습 한 내용을 점검하기는 하지만, 이는 교과서에 나열된 학습해야 하는 사실들만을 확인하고 있다. 이러한 평가는 ‘계획된 형성평가’에 국한되어 있어서 학생들의 학습 목표 도달 수준에 따라 수업 과정을 조절하거나 적절한 피드백을 줄 수 없는 한계를 가지고 있다. 즉, 계획된 형성평가를 통해서 학생들의 우리 은하의 구조에 대한 종합적인 시스템 사고를 지니게 되었는지 확인할 수 없다. 한편 K교사는 B교사와 달리, 형성평가를 매 수업 시간의 마무리가 아닌 다음 수업의 시작에서 실시하는데, 실시 시기만 다를 뿐이지 B교사처럼 교과서에 나열된 학습해야 하는 사실들만을 확인하고 있다.

K: 어제 배운 거 복습퀴즈 하고 시작하자. 책 다 덮고. 지난 시간에 우리 은하에 대해서 했었지. 1번. 은하수를 최초로 관측한 사람 이름 써봐. 그 다음 2번. 은하수가 뭘지. 적어봐. 은하수의 정체. 하나. 둘. 셋 들어. 갈릴레이 갈릴레오고 수많은 별들의 모임. 띠 모양으로 있는 그게 은하수죠. (채점 중)

K: 1번. 우리 은하를 옆에서 본 모습을 그리고, 그 총 길이. 옆의 지름이 몇이었는데 기억나나? 반지름을 써도 되고. 가운데가 볼록하고 원반모양을 하고 있죠. 총 지름은? 10만 광년이죠. 그 다음에 1번. 별과 별 사이에 존재하는 티끌이나 기체. 그걸 뭐라고 부르는지. 2번. 이런 1번들이 모여서 마치 구름 덩어리처럼 보이는 게 있다고 했죠? 3

번에는 종류를 써보세요.  
(K교사의 우주의 팽창 수업 중에서)

이러한 결과적인 지식에 치중한 형성평가에서는 시스템 사고의 최고 단계인 시스템 모델링은 전혀 등장하지 않고 있으며, 교사들은 수업 중에 실시하는 평가에 대해서 천문 수업의 일부로써 천문 사고의 발현이 아닌, 학교에서 정기적으로 실시하는 지필평가의 준비로서 계획된 형성평가의 가치를 두고 있는 것으로 보인다.

B: 학생들의 성적을 올리는 방법이 여러 가지 있을 수 있긴 있는데 (형성평가를 통해) 문제를 친숙하게 해서 문제를 풀게 할 수도 있어요. 똑같은 문제를 여러 번 풀면 문제가 기억나니까 푸는 거지 문제의 어떤 의미나 원리를 이해를 해서 적용 능력을 길러줄 수도 있는 거잖아요 대개의 경우에는 쉬운 방법을 선택 하죠 학교들이.  
(B교사의 회상자극면담 중에서)

Y교사의 경우는 명확하게 형성평가의 형태를 가지고 있지 않으나, 수업의 정리 부분에서 학생들에게 메타질문이 아닌 단순 확인 질문을 통하여 수업 중에 학습한 내용 지식에 대한 확인만을 하고 있다.

Y: 산개성단이 우리은하의 어디에 분포한다고 그랬어요? 나선 팔이죠? 나선팔을 측면에서 보면 은하의 뭐가 되는 거야? 면이 되는 거지 중심핵이 아니라 은하면에서 주로 발견되는 것 산개성단이다. 두 번째 질문. 우리은하의 구성원 중에서 나이가 가장 많은 천체들은 어디서 분다? 많은 천체들은 은하의 어디에서 볼 수 있죠? 나이 많은 성단들은 어디 있다 그랬어? 구상성단은 은하핵에 있다 그랬지.  
(Y교사의 우리 은하 수업 중에서)

## 결론 및 제언

이 연구에서는 중학교 2학년 ‘별과 우주’ 단원의 우리 은하의 구조에 대한 중학교 과학 교사들의 천문 영역 수업 중에 나타나는 시스템 사고에 대해 살펴보고 교수지향과 교수 실행에 따라 천문 영역 수업 중에 구현되는 시스템 사고의 특징이 어떻게 나타나는지 분석하였다. 문헌 연구를 통하여 시스템 실행이 위계적 관계를 형성하며 순차적으로 발달하기에 시스템 사고 분석틀을 개발하는 것을 선행하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 우리 은하의 구조에 대한 수업 중에 나타나는 시스템 사고는 실질적으로 2단계 사고인 시스템 요소 간 관계 맺기까지 나타나고 있었다. H교사와 Y

교사의 경우, 교사가 시스템 사고의 3단계까지 위계의 순서대로 교과서 사진을 해석해내었지만, 수업 도입을 위한 소개에 불과하였으며 학생들의 시스템 사고를 3단계인 패턴을 통한 일반화하기까지 유발하는 교수 실행으로 보기는 어려웠다. 특히, 시스템 사고의 실행 측면에서 과학 교과서는 Liu and Hmelo-Silver(2009)의 연구 결과와도 유사하게 학습을 위한 사실들의 나열이나 하위 단계의 시스템 사고에 해당하는 부분만을 명시한 채, 학습해야 하는 사실들의 묶음으로서 과학 학습에 조력하기에 K교사와 같이 교과서에 한정된 수업 실행으로는 시스템 사고를 구현할 수 없다. 실제의 교수 실행에서는 교사들이 이러한 교과서의 틀을 벗어나지 못해서 전반적으로 시스템 사고의 상위 단계의 실행이 등장하지 않고 있다. 따라서 K교사와 같이 교과서 중심의 과학 수업의 경우 학생 중심의 수업이라 할지라도, 수업 중 시스템 사고가 거의 등장하지 않으며 학생들은 학습을 위한 사실들을 배우거나 이해하는데 그치고 있다. 또한 비록 하위 단계의 시스템 사고의 실행의 경우만 드러났다고 하지만, B교사만이 학생들 중심으로 시스템 사고를 실행할 기회를 부여해주고 있고, H교사와 Y교사는 교사 중심의 시스템 사고의 단계와는 역순된 사고 실행 속에 교사 설명 위주로 수행하고 있었다. 그리고 교사들이 수업 중 형성 평가를 수행하기는 하지만, 가장 상위 단계의 시스템 사고인 시스템 모델링은 전혀 등장하지 않고 있었다. 이와 같은 결과는 과학교사들이 천문 영역 수업 중에 교과서를 이용하여 가르치더라도 교과서 내용 그대로가 아니라, 시스템 사고의 위계를 고려하여 학생들의 시스템 사고를 단계적으로 유발 할 수 있도록 수업을 실행할 필요가 있음을 시사한다.

둘째, 수업 중 시스템 사고의 구현이 교사 중심으로 진행되고 있었기에 학생들이 천체의 구조를 시스템 사고 능력을 바탕으로 파악할 기회와 부여가 적었다. K교사의 경우만 학생들이 교과서에 있는 활동들을 순차적으로 수행하고 본문 내용을 발췌해서 발표하였기에 학생 중심으로 수업이 전개되었으나, 학생 참여를 지향하는 H교사조차도 실제 시스템 사고의 구현에 있어서는 Y교사와 더불어 시스템 사고를 상위 단계에서 하위 단계로 하향식 접근을 하면서 교사 중심의 설명과 이해 위주의 수업 사례를 보여주고 있다. 반면, B교사는 학업 성취의 지향을 지녀 대체적으로 교사 중심의 수업을 진행하지만, 다른

학급에서의 동일한 수업의 경험을 바탕으로 한 반성적 실천에 의한 교수 실행 변화로 비록 1단계 사고에 불과하기는 하지만 학생들에게 시스템 사고를 수행할 수 있는 기회를 수업 실행 중에 부여해 주고 있었다. 이와 같은 결과로 볼 때, 교사의 교수 지향에 따라 시스템 사고의 구현이 달라질 수 있으므로 학생들에게 시스템 사고 능력을 함양하기 위해서는 교사 중심이 아닌 학생들이 위계에 따른 시스템 사고를 직접 실행할 수 있는 기회를 충분히 제공할 필요가 있을 것이다.

셋째, 전반적으로 천문 수업에서 시스템 사고의 구현이 적은 제한 요인으로는 과학 교사들의 시스템 사고에 비해 공간적 사고에 대한 상대적 집중, 교사의 교과 내용과 형성 평가에 대한 지식의 부족 때문인 것으로 나타났다. 교사들이 경험적으로 천문 영역에서 학생들이 상대적으로 공간적 사고에 많은 어려움을 겪기 때문에 천문학적 사고 중 공간적 사고에 집중하다보니 시스템 사고의 구현이 부족한 경우가 H교사와 B교사의 사례에서 나타나고 있다. 한편, Y교사와 K교사는 각자의 전공이 지구과학이 아니기에 천문 영역에 대한 교과 내용 지식의 부족으로 인하여 시스템 사고의 상위 단계가 거의 구현되어 있지 못한 교과서 중심으로 학습 내용을 한정하다보니 시스템 사고의 구현이 상대적으로 부족한 것으로 분석되어진다. 한편, 모든 교사의 사례에서 시스템 사고의 최상위 수준인 시스템 모델링이 나타나지 않은 것은 형성 평가에 대한 지식 부족인 것으로 분석되었다.

위와 같은 연구를 바탕으로 천문 수업에서 효과적인 시스템 사고의 구현을 위한 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 교사들이 천문 영역에서 시스템 사고의 개념과 그 위계성을 이해하여 이를 교수 실행에 반영할 수 있도록 해야 한다. 학생들이 시스템 요소를 파악하기와 분류하기부터 시스템 요소 간 관계 맺기를 거쳐 시스템 요소들 간의 패턴을 찾아낼 수 있도록 시스템 사고의 위계에 따라 수업을 수행하여야 한다. 특히, 시스템 사고의 최고 수준인 시스템 모델링의 경우는 학생들에게 학습한 시스템을 과학적 모델로 표상할 기회를 수업 중에 부여해야지만 구현할 수 있는 시스템 사고이다. 본 연구를 통하여 살펴본 학교 현장에서는 형성평가가 수업 말미에 관련 단편적 지식을 확인하거나 이전 시간에 배운 지식을 복습하는 형태로 이루어지고 있었는데 이보다는 학생들에게



시스템 모델링을 해볼 수 있도록 하는 것이 더 중요할 것이다. 별도의 수업의 모듈로 형성평가를 할애하지 않는 경우는 수업 과정 중 관측 자료를 바탕으로 단계적으로 시스템 사고를 수행하여 학생들이 직접 교사가 제공해 준 관측 사실을 설명하기 위한 과학적 모형을 구성하게 하는 모델링 수업을 수행하는 것도 시스템 사고를 유발하기 위한 지구과학 수업의 좋은 예시가 될 수 있을 것이다.

둘째, 지구과학 중 천문 영역에서의 시스템 사고의 중요성을 인식하게 하여 교사들이 학생들의 시스템적 사고를 단계적으로 촉발시킬 수 있도록 예비교사 양성 교육이나 교사 재교육에 반영해야 한다. 연구 참여 교사들은 명확한 시스템 사고에 대한 이해를 사전에 가지고 있지 않았지만, B교사처럼 반성적 실천에 의한 교수 실행 변화의 가능성이 엿보이는 만큼 직무연수와 같은 과학교사 재교육을 통하여 시스템 사고를 천문 영역 수업 중에 구현하는 교수 실행이 가능할 것으로 보인다. 또한, 지구과학 전공이 아니기에 부족한 교과 내용 지식과 공간적 사고에 대한 학생들의 어려운 이해에 대한 학생 이해 지식을 때문에 시스템 사고가 부족하게 구현되는 것으로 나타나기에 시스템 사고에 대한 교사 재교육 과정은 더욱 필요하다고 보이며, 근본적으로 시스템 사고에 대한 교육 내용은 예비교사 양성 과정에서부터 포함될 필요가 있다.

## 사 사

이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A5A2A03045044)

## References

- American Geological Institute, 2012, EarthComm., Second Edition: Project-based Space and Earth System Science (2nd Ed.); Teacher's Edition, Volume 1, Chapters 1-4, Its-About-Time. NY, USA, 1018 p.
- Ben-Zvi Assaraf, O. and Orion, N., 2005, 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., 2010a, System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 540-563.
- Ben-Zvi Assaraf, O. and Orion, N., 2010b, 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.
- Briggs, D. C. and Alonzo, A. C., 2012, The psychometric modeling of ordered multiple-choice item responses for diagnostic assessment with a learning progression. In A. C. Alonzo and A. W. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. Sense Publishers, Rotterdam, The Netherlands, 293-316.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C. and Wilson, M., 2006, Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11, 33-63.
- Calderhead, J., 1981, Stimulated recall: A method for research on teaching. *British Journal of Education Psychology*, 51, 211-217.
- Choi, J., Lee S., Kim, C., Yu, E., Kim, J. and Oh, H., 2009, A case study on reflection-in-practice in Science Teachers' Teaching Changes. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29, 793-811. (in Korean)
- Cowie, B. and Bell, B., 1999, A model of formative assessment in science education, *Assessment in Education*, 6, 101-116.
- Frank, M., 2000, Engineering Systems Thinking and Systems Thinking, *Systems Engineering*, 3, 163-168.
- Johnson, D. R., 2006, Earth system science: A model for teaching science as state, process and understanding? *Journal of Geoscience Education*, 54, 202-207.
- Kauffman, D. L., 1980, *Systems one: An introduction to systems thinking*. Future Systems, Minneapolis, USA, 44 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, 545-565.
- Lee, H., Kwon, Y. Oh, J. 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*, 33, 784-797. (in Korean)
- Lee, K., Maeng S., Park, Y., Lee, J. and Oh, H., 2014, A case study of middle school science teachers' topic-specific pedagogical content knowledge on the unit of stars and universe. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34, 393-406. (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, J., Lee, K., Park, Y., Maeng S. and Oh, H., 2015, A case study on spatial thinking revealed in elementary school science class on solar system and stars. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34, 179-197. (in Korean)
- Lee, Y., Kwak, Y. and Kim, D., 2005, Analysis and evaluation of the earth science content relevance in the 7th national science curriculum. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26, 759-770. (in Korean)
- Lim, C. and Kim, H., 1994, Analysis of middle school students' conception on atmospheric pressure and lunar motion. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 15, 157-169. (in Korean)
- Liu, L. and Hmelo-Silver, C. E., 2009, Promoting complex systems learning through the use of conceptual representations in hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 1023-1040.
- Maeng S., Lee, K., Park, Y., Lee, J. and Oh, H., 2014, Development and validation of a learning progression for astronomical systems using ordered multiple-choice items. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34, 703-718. (in Korean)
- Maeng, S., Seong, Y. and Jang, S., 2013, Present states, methodological features, and an exemplar study of the research on learning progressions. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33, 161-180. (in Korean)
- Mayer, V. J., 1993, Earth systems Science. *The Science Teacher*, 58, 34-39.
- Meade, P. and McMeniman, M., 1992, Stimulated recall: An effective methodology for examining successful teaching in science. *Australian Educational Researcher*, 19, 1-18.
- Meadows, D. H., 2008, *Thinking in systems*, Washington, DC: Chelsea green. 240 p.
- Moon, B., Jeong, J., Krung, 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).
- Moon, B. and Song, J., 2012, The effects of teaching and learning strategy for systems thinking education in elementary students. *Korean System Dynamics Review*, 13, 81-99. (in Korean)
- National Council of Teachers of Mathematics, 1991, *Professional standards for teaching mathematics*, Inc. Reston: VA. 196 p.
- National Research Council, 2012, *A framework for k-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. The National Academies Press., Washington, DC, USA, 358 p.
- NGSS Lead States, 2013. *Next Generation Science Standards: For States, By States*. The National Academies Press, Washington, DC, USA. 533 p.
- Oh, H. S., Kim, J. H., Yu, E. J. and Kim, C. J., 2009, An analysis of students' cognitive characteristics through a drawing activity in teaching module of the earth systems education. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30, 96-110. (in Korean)
- Oh, P. S., Lee, S. K., Lee, K. H., Kim, C. J., Kim, H. B., Jeon, C. H. and Oh, S. D., 2008, Methodological review of research literature on the expertise of science teachers. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 28, 47-66. (in Korean)
- Orion, N. and Basis, T., 2008, Characterization of High School Students' System Thinking Skills in the Context of Earth Systems. Presented in the 2008 NARST Annual Meeting. March, 2008. Baltimore, U.S.A.
- Plummer, J. D., 2014, Spatial thinking as the dimension of progress in an astronomy learning progression. *Studies in Science Education*, 50, 1-45.
- Richmond, B., 2004, *An introduction to systems thinking*. Isee Systems. Lebanon, USA 165 p.
- Senge, P. M., 2006, *The fifth discipline: The art & practice of the learning organization*, New York: Crown Business.
- Senge, P. M., 2012, *Schools that Iwarn (Updated and Revised): A fifth discipline fieldbook for educators, parents, and everyone who cares about education*, New York: Doubleday.
- So, K. H., 2003, Reconceptualization of teacher professionalism: Exploration of new directions. *Curriculum Studies*, 21, 77-96. (in Korean)
- Wilson, M., 2005, *Constructing measures; An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. 213 p.
- Yoon, M. and Kim, H., 2010, Hierarchical analysis of astronomical space concepts based on the knowledge space theory. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31, 259-266. (in Korean)

---

Manuscript received: May 14, 2015

Revised manuscript received: August 5, 2015

Manuscript accepted: August 21, 2015