

ORIGINAL ARTICLE

## 순위 선다형 문항을 이용한 초·중·고등학생의 천문학적 사고 분석

최준태<sup>1</sup> · 이기영<sup>1\*</sup> · 박재용<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>강원대학교 · <sup>2</sup>서울교육대학교)

### Analysing Astronomical Thinking of Elementary, Middle, and High School Students Using Ordered Multiple Choice Items

Joontae Choi<sup>1</sup> · Kiyoung Lee<sup>1\*</sup> · Jaeyong Park<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Kangwon National University · <sup>2</sup>Seoul National University of Education)

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the astronomical thinking level of elementary, middle, and high school students using ordered multiple choice items. For this purpose, we constructed a questionnaire comprising three items about spatial thinking and system thinking. This survey was conducted and applied to 1,066 students in the 5th grade, 8th grade, and 11th grade in 12 schools located in Gangwon Province. The collected student response data were analyzed by applying inferential statistics of classical test theory and Rasch model. The results of the analysis were as follows; First, in the level of spatial thinking, students were able to grasp the spatial location and orientation of the celestial body, but were not able to convert the celestial motion of two-dimensional plane into three-dimensional plane, and it was revealed that there is no statistically significant difference in the spatial thinking of students among grade levels. Second, in the level of system thinking, students were able to identify the components and relationship between components of the celestial motion system, but could not identify the patterns of the system, and it was revealed that there was statistically significant difference among the system thinking of students in different grade levels, unlike in spatial thinking. Third, the astronomical thinking expressed in certain context (content) was very similar regardless of grade level. Through this, we could confirm the context-dependency or content-dependency of the astronomical thinking of students. It is expected that the results of this study can be used as basic data for exploring ways to enhance astronomical thinking level in school science classes.

**Key words** : astronomical thinking, system thinking, spatial thinking, ordered multiple choice item

## 1. 서론

태양계의 구성, 지구와 달의 운동, 행성의 운동을 포함하는 천문 현상은 초, 중, 고등학교에서 공통으로 다루고 있는 우주 영역의 핵심 주제 중 하나이다. 2015

개정 과학과 교육과정에서도 공통 교육과정인 과학 과목과 선택 중심 교육과정(일반·진로 선택)인 지구과 학II 과목의 내용 체계에 ‘태양계의 구성과 운동’을 핵심 개념으로 설정하였고 학생들로 하여금 다양한 천문 현상이 나타나는 원인을 이해하도록 하고 있다. 일몰

Received 23 July, 2018; Revised 20 August, 2018; Accepted 27 August, 2018

\*Corresponding author: Kiyoung Lee, Kangwon National University,

1 Gangwondaehak-gil, Chuncheon-si, Gangwon-do, 24341, Korea

Phone : +82-10-9419-8098

E-mail : leeky@kangwon.ac.kr

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

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

과 일출, 계절의 변화, 행성의 운동 등 여러 천문 현상은 누구나 일상생활에서 쉽게 경험할 수 있기에 자연스럽게 흥미와 호기심을 갖게 될 뿐만 아니라 학생들이 흥미롭게 학습할 수 있는 주제이기도 하다(Byun et al., 2004; Yoon, 2011; Dunlop, 2000; Ministry of Education, 2015).

그러나 천문 현상에 대한 학습을 마친 후 학생들이 성취해야 할 기준을 담은 교육과정의 의도나 천문 현상 자체에 대한 학생들의 높은 관심과 달리 학생들은 천문 개념이나 천문 현상이 나타나는 까닭을 이해하는데 어려움을 겪는 것으로 알려져 있다(Lim & Kim, 1994; Ko et al., 2014; Byun et al., 2004; Maeng et al., 2014; Oh et al., 2015). 그러한 까닭은 천문에서 다루는 대상이 지구에서 원거리에 위치해 있고 반복적인 관찰이 불가능하며, 시공간적으로 규모가 매우 큰 조건에서 나타나는 현상이기 때문이다(Kim et al., 2005; NRC, 1996; Ko et al., 2014). 또한 학생들이 천문 개념이나 천문 현상을 이해하는 과정에서 겪는 어려움은 단순히 교수·학습의 곤란도를 높이는 차원을 넘어 천문 현상에 대한 학생들의 오개념으로 이어지기도 한다. 천문 현상은 지구과학 교과에서 학생들의 오개념이 가장 많이 나타나는 영역 중 하나로, 저학년 학생들뿐만 아니라 학교급이 다른 고학년의 학생들에게서도 오개념이 많이 나타나는 것으로 알려져 있다(Jang, 1994; Byun et al., 2004; Seo, 2002). 예를 들어, 세계 우수한 대학을 졸업한 학생들도 계절의 변화가 지구 자전축의 기울기, 지구의 공전과 관계된다는 사실을 대부분 모르고 있었으며(Schneps, 1988), 천문 개념 습득을 묻는 평가에서 피상적 직관에 의존한 대답이 많았다(AAAS, 1993). 이에 대해 여러 연구자들은 저학년에 천문 개념을 바르게 이해하지 못한 것이 새로운 개념의 이해를 방해하는 요인으로 작용하기 때문으로 분석하고 있다(Koo J., 2000; Myeong, 2001; Nussbaum, 1979; Smith & Schroeder, 1979; Tracy, 1990).

한편, 학생들이 천문 현상이 나타나는 원인을 온전히 이해하지 못하고 많은 오개념을 형성하는 주된 원인은 고차적 사고 수준을 요구하는 천문 개념 자체의 속성에서 찾을 수 있겠지만, 천문 현상에 대한 교사의 이해 수준과 교수·학습 방식에도 그 원인이 있는 것으로 알려져 있다. 그 예로, Oh et al.(2015)과 Lee et al.(2014)은 천문 내용에 대한 교사들의 이해와 과학적

소양이 부족하여 천문 개념을 심층적으로 가르치는 데 어려움을 겪고 있음을 지적하였고, Liu & Hmelo-Silver (2009)와 Byun et al.(2004)은 교과서 중심의 전통적 교수·학습 방식을 통해 지식을 습득하거나 단순 암기식으로 수업이 진행되는 환경에서는 학생들이 천체의 운동이나 구조를 제대로 이해하기 어렵다는 문제를 제기하였다.

최근 지구과학 교육에서는 학생들이 천체의 운동과 구조를 효과적으로 학습하기 위한 과학적 탐구 실행으로 천문학적 사고(astronomical thinking)가 강조되고 있다(Lee et al., 2014; Maeng et al., 2014). 천문학적 사고는 과학 내용지식으로서 천체의 운동과 구조를 다루는 것과 함께 학생들이 천체의 운동과 구조를 효과적으로 학습하기 위한 과학 탐구실행 능력을 길러주자는 취지에서 도입된 개념이다. 다시 말해, 학생들이 천문 개념 및 천문 현상을 바르게 이해하기 위해서는 관련 지식의 습득만으로 한계가 있으며, 천문학적 사고를 통해 그에 필요한 탐구실행 능력을 함께 길러주어야 한다는 것이다. 이러한 천문학적 사고는 Maeng et al.(2014)이 천체의 운동과 천체의 구조를 종합적으로 고려한 천문 시스템의 학습 발달 과정을 조사하기 위한 연구에서 처음 제안된 것으로, 이들 연구자는 미국의 NGSS (2012)에서 천체의 운동과 관련하여 설정한 기초공통 개념(crosscutting concepts)인 패턴, 규모, 비율 및 정량화, 안정성과 변화에 대한 분석을 토대로 천문학적 사고를 공간적 사고(spatial thinking)와 시스템 사고(systems thinking)를 포함하는 개념으로 정의하였다. 이에 따르면 공간적 사고에는 천체의 위치 변화와 지리적 방향을 판단하는 능력, 2차원의 평면 자료를 3차원의 공간적 자료로 또는 그 반대로 서로 전환하는 능력, 지구에서 보는 관점에서 파악한 천문 현상을 우주에서 보는 관점에서 재구성하고 이것을 천체의 상대적 운동으로 파악하는 능력 등이 포함된다. 또한 시스템 사고는 천문 현상의 패턴을 이해하고, 시스템 구성 요소들 간의 상호관계를 이해하며, 각 구성 요소들의 부분적인 정보를 전체적으로 종합하여 시스템의 규모와 비율 및 변화를 이해하고 설명할 수 있는 모델을 구성하는 과정으로 정의된다(Maeng et al., 2014). NGSS에서 천체의 운동과 관련하여 정한 기초공통 개념을 공간적 사고와 시스템 사고로 명확하게 구분할 수 없고, 공간적 사고와 시스템 사고가 유기적으로 연결되어 있

기 때문에 두 요인을 뚜렷하게 구분할 수 없는 한계가 있지만, 공간적 사고는 주로 천체의 운동을 이해하고 설명하는 과정에서, 시스템적 사고는 여러 천체들 사이의 역학적 관계를 이해하고 설명하는 과정에서 적용되는 개념이라고 할 수 있다.

이 연구에서는 천문학적 사고에 대한 Maeng et al.(2014)의 조작적 정의(operational definition)에 따라 Fig. 1과 같이 천문학적 개념 이해를 위한 탐구실행 능력으로 천문학적 사고를 사용하였으며, 그 구성 요인으로 공간적 사고와 시스템 사고를 포함하였다. 이 연구에서 사용하는 공간적 사고와 시스템 사고는 범교과적 또는 일반적으로 사용되는 개념이 아니라 천문 분야에 특정적인(specific) 사고 능력을 의미한다. 따라서 일반적으로 두루 사용되고 있는 공간적 사고나 시스템 사고의 정의와 기본적인 맥락을 함께 하지만 적용 대상이 천문에 한정되어 사용되기 때문에 하부 요소나 사고 수준을 구체적으로 구분하는 데 차이가 있다.

천체들은 끊임없이 서로에게 영향을 주고받으며 운동하고 있고, 동시에 그러한 천체들이 역학적 관계를 통해 시스템을 구성하고 있다. 따라서 천문 개념 및 천문 현상을 제대로 이해하기 위해서는 천체의 운동과 구조를 함께 파악할 수 있어야 한다(Lee et al., 2015; Oh et al., 2015). 즉, 천체의 운동을 이해하기 위해 공간 능력, 공간 전환 능력, 공간 지각 능력, 공간 시간화 능력을 포함하는 공간적 사고를 개발할 필요가 있으며 (Black, 2005; Plummer, 2014; Lee, 2012; Lim, 2007; Yoon & Kim, 2010; Kim et al., 2003; Shin & Lee, 2011; Kim et al., 1998; Koo, 2000; Seo, 2002), 시간적, 공간적 규모가 매우 큰 상황에서 나타나는 현상을 파악해야

하므로 전문성을 갖춘 교사의 효과적인 중재도 요구된다(Kim et al., 2003; Lee et al., 2015). 이와 함께 천체의 구조를 이해하기 위해서는 시스템적으로 접근할 필요가 있다. 우주는 복잡한 구조를 가지고 있지만 우주라는 거대한 시스템을 구성하는 요소들 간에는 서로 위계가 있고 나름의 패턴에 따라 움직이고 있다. 따라서 우주에서 천체의 운동과 그 구조를 이해하기 위해서는 시스템적 사고가 요구된다(American Geological Institute, 2012).

지구과학 교육에서는 이미 오래 전부터 천문학적 사고의 중요성을 인식하고 이와 관련된 능력을 향상시켜야 한다는 공감대가 형성되어 있었지만, 실제 연구를 통해 그에 대한 구체적인 방안을 제시한 경우는 그 사례가 매우 적다. 국내에서는 Maeng et al.(2014)이 순위 선다형 문항을 이용한 천문 시스템 학습 발달과정 개발 및 타당화 연구를 통해 공간적 사고와 시스템적 사고에 기반한 천문 시스템의 가설적 학습 발달과정을 제시하였고, Oh et al.(2015)은 지구의 운동과 태양계 관련 단원에서 초등학생의 학습 발달과정에 대한 타당성을 검증하는 과정에서 학생들의 공간적 사고와 시스템적 사고의 발달 과정을 조사하였다. 이들 연구는 천문학적 사고에 관한 연구의 기반을 마련하고 천문 시스템의 학습 발달과정을 측정하기 위한 검사 문항 개발 및 이를 이용한 가설적 학습 발달과정을 제시하였다는 점에서 긍정적인 평가를 받았다. 그 후 지금까지 몇몇의 연구가 수행되었지만 학생들의 천문학적 사고 수준이 어느 정도이며 또 어떤 방법을 통해 그 수준을 향상시킬 수 있는지에 대한 연구는 이루어지지 않았다. 이에 이 연구에서는 초, 중, 고 학생들의 천문 개념 및 천문 현상에 대한 이해 수준을 천문학적 사고에 초점을 맞추어 그 실태를 조사하고자 한다. 이 연구는 앞으로 진행할 연구 즉, 학생들의 천문학적 사고를 향상시키기 위한 방안을 마련하고 그 효과를 검증하는 데 필요한 기초 연구로서의 성격을 띠고 있다.

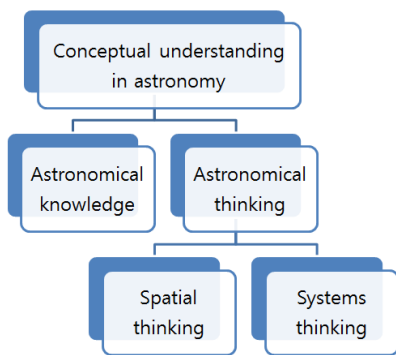


Fig. 1. Schematic expression for status of astronomical thinking in conceptual understanding

## II. 이론적 배경

### 1. 천문학적 사고의 배경 및 정의

지구과학 학습에서 학생들이 천문 영역을 어렵게

생각하는 것은 거대한 공간에서 역학적 관계를 이루며 계속해서 움직이고 있는 천체들의 운동을 머릿속에 그려가며 시간의 변화에 따른 천체들의 상대적인 위치를 파악해야 하기 때문이다. 그러므로 천문 개념을 제대로 이해하기 위해서는 공간과 시스템에 대한 종합적인 이해가 필수적이다(Lee et al., 2014).

Maeng et al.(2014)은 ‘지구, 지구-달 계, 태양계, 그리고 은하와 우주를 포함하여 천체의 구조와 운동을 종합’하여 천문 시스템(astronomical systems)이라 지칭하였고, 이러한 천문 시스템을 이해하기 위해서는 천체의 운동과 구조를 종합적으로 고려해야 하는데 이때 학생들이 천체의 운동과 구조를 효과적으로 학습하기 위한 과학적 탐구실험의 구인으로 천문학적 사고를 선정하였다. 천문학적 사고는 공간적 사고와 시스템 사고로 구성되며, 이러한 구분 방식은 이후 국내 여러 연구자들에 의해 인용되어 천문학적 맥락에서 공간적 사고와 시스템 사고에 대한 연구가 이루어져왔다(Lee et al., 2014; Lee et al., 2015; Lee et al., 2016; Oh et al., 2015; Oh et al., 2018).

공간적 사고는 ‘공간에 대한 의미를 이해하는 공간적 개념, 사물의 공간적인 형태나 구조를 시각화하는 방식, 그리고 공간적 표현 방식을 활용하여 사물의 구조와 성질, 기능 등을 이해하고 설명하는 추론 과정까지 포함하는 종합적인 사고 능력(NRC, 2006)’으로, 이러한 공간적 사고는 학생들이 천문 현상에 대한 이해를 증진시키고 천문 현상과 관련된 과학적 활동에 참여를 확장시킬 수 있는 근본적 토대가 된다(Plummer, 2014). Maeng et al.(2014)은 이러한 선행 연구를 바탕으로 학생들이 천문 시스템을 학습할 때 활용되는 공간적 사고를 ‘천체의 위치 변화와 지리적 방향을 판단하는 능력, 2차원의 평면 자료를 3차원의 공간적 자료로 또는 그 반대로 서로 전환하는 능력, 지구에서 보는 관점에서 파악한 천문 현상을 우주에서 보는 관점에서 재구성하고 이것을 천체의 상대적 운동으로 파악하는 능력 등을 포함하는 것’으로 정의하였다.

한편, 천체의 운동 및 구조와 관련된 현상들은 작은 규모에서 형성된 부분적인 결과를 종합하여 전체적인 큰 규모에 해당하는 설명 모델로서 파악되는 경우가 많으며, 여러 전체들의 역학적 관계가 시스템적으로 이루어져 형성된다. 따라서 천체의 운동과 그 구조를 이해하기 위해서는 천문 시스템의 시스템적 특징을 모

형화하는 시스템 모델링 및 그와 관련된 시스템적 사고가 중요하게 요구된다(Maeng et al., 2014). 천문 시스템 학습 발달과정 개발을 연구한 Maeng et al.(2014)과 그 후속 연구를 수행한 Oh et al.(2015)은 시스템 사고의 특성을 밝힌 Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005, 2010)과 Orion & Basis(2008)의 연구를 토대로 시스템을 이해하는데 필요한 시스템 사고의 특성들이 천문 시스템에서 천체들 간의 구조를 이해하는 과정에서 부분적으로 재구성되어 적용될 수 있다고 보았다. Maeng et al.(2014)은 선행 연구들에서 규명된 시스템 사고에 대한 특성들을 바탕으로 학생들이 천문 시스템을 학습할 때 활용되는 시스템 사고를 ‘천문 시스템 내에서 천문현상의 패턴을 이해하고, 시스템 구성 요소들 간의 상호관계를 이해하며, 각 구성 요소들의 부분적인 정보를 전체적으로 종합하여 시스템의 규모와 비율 및 변화를 이해하고 설명할 수 있는 모델을 구성하는 과정’이라고 정의하였다.

Maeng et al.(2014)이 정의한 공간적 사고는 천문 시스템의 이해 중에서 주로 천체의 운동을 이해하고 설명하는 과정에서 주로 적용되며, 시스템 사고는 천문 시스템의 이해 중에서 주로 천문 시스템의 구조를 이해하고 설명하는 과정에서 주로 적용된다. 하지만 여러 천체들의 운동은 시스템적으로 관련되어 발생하기에 천체의 운동에 대한 매커니즘과 원리를 이해하기 위해서는 천체들 간의 구조에 대한 이해가 필요하며, 또 3차원 공간의 우주에서 형성되는 천체들 간의 구조를 이해하기 위해서는 시간적, 공간적 규모가 큰 조건에서 발생하는 천체의 운동에 대한 이해가 선행되어야 한다. 따라서 이 연구에서 천문학적 사고를 구성하는 공간적 사고와 시스템 사고는 상호 배타적인 것이 아니며 교차관계이거나 포함 관계일 것으로 추정된다. 하지만, 이것은 추정일 뿐 두 가지 사고의 관계나 위계를 명확히 규명하기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

## 2. 공간적 사고

공간적 사고 활동에서 요구되는 능력인 공간 능력(spatial ability)에 대한 연구는 1920년대 공학에서 처음 시작하여 2000년대까지 활발하게 연구가 진행되었으며(Choi, 2004; Jeong et al., 2009; Kim, 2007; Kim, 2008; Kim et al., 2005; Kim & Oh, 2008; Koo, 2000;

Lee, 2013; Lim, 2007; Tandi Clausen-May et al., 1998), 기하학과 자연과학은 물론이고 항공우주공학, 건축공학, 환경공학 등의 공학 분야, 인지심리학, 경제예측, 지리학 등의 사회과학 분야 그리고 체육, 미술 등의 예술학까지 매우 폭넓은 분야에서 연구되었다. 공간 능력에 대한 그동안의 많은 연구들에 비추어 볼 때 공간 능력을 서로 다른 유형의 문제들을 해결하는 데 이용되는 정신 과정(mental processes)으로 아울러 표현할 수 있지만, 연구자들에 따라 공간 능력에 대한 명칭과 정의가 조금씩 다르며 그 하위 요인들에 대한 구분에 차이가 있다(Kim, 2008, Clement, 1981).

Mcgee(1979)는 공간 능력을 크게 공간 시각화와 공간 방향화로 구분하였는데 공간 시각화를 마음속으로 조작, 회전 그리고 방향을 바꾸는 능력이라고 하였으며, 공간 방향화를 공간 요소들 간의 배열을 이해하고 방향의 변화를 알 수 있는 능력이라 하였다. Tartre(1990)도 Mcgee(1979)와 동일하게 공간 능력을 공간 시각화와 공간 방향화로 구분하였지만, 공간 시각화를 다시 회전과 변환으로 나누고 공간 방향화를 재조직된 전체와 부분으로 세분화 하였다. Clements(1999)는 공간 능력을 공간 시각화 능력과 공간 방향화 능력으로 구분하며 공간 시각화 능력을 정신적 표상을 구성할 수 있으며 또한 조작할 수 있는 능력으로, 공간 방향화 능력을 정신적 지도를 구성할 수 있는 능력으로 정의함으로써 기존의 공간 시각화 능력과 공간 방향화 능력에 대한 개념을 포괄적으로 기술하였다. 이에 더하여 Lohman(1979)은 공간 능력을 공간적 관계, 공간적 방향, 시각화 세 가지로 분류하고 공간적 관계를 다시 2차원 심적 회전, 입방체 비교, 3차원 심적 회전으로 나누었으며, 시각화는 형태 판, 종이접기, 전개도 접기로 세분하여 정리하였다. Lin & Petersen(1985)은 공간 능력을 공간 지각력, 정신적 회전, 공간 시각화로 구분하고 공간 지각력을 공간과 공간 사이의 서로의 관계를 인지할 수 있는 능력, 정신적 회전은 2차원을 3차원으로 3차원을 2차원으로 회전한 결과를 식별할 수 있는 능력, 공간 시각화를 머릿속에 있는 것을 볼 수 있도록 가시화 할 수 있는 능력이라고 정의하였다(Kennedy et al., 2004).

지구과학은 기본적으로 공간 데이터에 대한 전문적인 인지적, 정신적 조작을 요구하는 공간 과학이다. 즉, 공간 자료와 공간 묘사는 지구과학의 핵심으로, 학생

들은 지구과학의 내용을 이해하기 위하여 그들의 공간 능력을 이용해야만 한다(Liben & Titus, 2012). 지구과학 분야에서 학생들의 공간 능력에 대한 연구는 주로 지질학과 천문학 분야에서 수행되었는데, 천문학에서는 비형식 과학교육인 관측 프로그램이나, 천문대 현장체험학습 프로그램이 공간 개념의 향상에 미치는 효과를 다룬 연구들과 초·중·고 학생들의 공간 능력과 천체운동 개념 사이의 상관관계를 조사한 연구들이 주로 진행되었다(Plummer, 2009, 2014; Shin et al., 2011). 이외에 Yoon & Kim(2010)은 지식 공간론을 활용하여 천문학 개념의 위계를 분석하였고, Lee(2013)는 학생들의 공간 능력과 과학탐구 능력 사이의 상관관계를 연구하기도 하였다. 최근에 와서는 천문 분야를 중심으로 공간 능력을 공간적 사고라는 용어로 대체한 연구들이 수행되고 있다. Lee et al.(2014)는 공간적 사고를 공간 위치(spatial position)와 공간 방향(spatial orientation), 그리고 공간 전환(spatial transformation)으로 구분하였는데, 공간 위치는 지구 기반에서 바라보는 관점에서 관측된 천체의 위치와 우주에서 내려다보는 관점에서 표현된 우주 공간 상의 천체의 위치를 모두 의미하며, 공간 방향은 지구에서 보는 동서남북의 방향을 인식하고 이것을 우주에서 보는 방향과 연관시키는 사고능력을 의미한다. 또 공간 전환은 지구에서 보는 관점에서 관측된 천문학적 현상(예, 별의 일주운동)들을 우주에서 보는 관점의 모델(예, 천구 모형)과 연관 지어 설명하는 것으로, 이는 ‘관점 전환(perspective change)’이라고 하며 가장 높은 수준의 공간적 사고로 간주된다.

Kim et al.(2005)은 초등학교 학생들의 공간 능력과 천체 운동 개념 및 과학 탐구 능력과의 관계에 대한 연구에서 공간 능력과 과학 탐구 능력에 대한 성취 수준은 중간 정도의 수준을 보이는 반면 천체 운동 개념에 대한 성취도는 매우 낮게 나타났는데, 그 원인을 직접 관찰이 어렵고 ‘공간적 사고’ 활동을 필요로 하기 때문이라고 설명하였다. Testa & Galano(2015)는 천체의 움직임을 이해하기 위한 첫 번째 인지 능력으로 공간적 사고를 뽑았는데 왜냐하면 척도, 비율 그리고 패턴의 개념을 포함하고 있기 때문이라고 하였다. Lee et al.(2015)는 천문 분야를 이해하는데 선행되어야 하는 능력은 다름 아닌 공간적 사고이며, 특히 천체의 운동과 관련한 내용은 천체의 위치와 방향, 평면과 공간의 전환, 공간 안에서 움직임 등을 이해해야 하므로 천문

학에 특징적인 공간적 사고가 필수적이라고 하였다.

### 3. 시스템 사고

시스템은 ‘전체로 작용하기 위해 서로 상호 작용하는 부분들의 집합’(Kauffman, 1980)으로 정의되며, 이에 따라 시스템 사고는 각각의 요소들을 하나의 시스템으로 볼 수 있는 사고 능력을 말한다(Meadows, 2008; Senge, 2006, 2012). 같은 맥락에서 NRC(2012, p 3)에서는 시스템 사고를 전체 시스템을 구성하는 어떤 한 부분의 작은 움직임과 변화 또는 특정한 기능이 전체 시스템에 어떻게 영향을 주는지를 파악하는 능력으로 정의하며, 각 요소들이 작동하는 과정에서 서로 다른 부분들이 상호작용하는 것에 대한 분석과 평가 그리고 추론하는 과정까지를 포함하는 개념으로 보았다. AGI(2012)의 EarthComm.(p. 133)에서도 시스템 사고의 핵심 요소를 시간과 공간에 대하여 시스템을 구성하는 각 부분의 위치, 변화, 공간 규모, 시간 규모, 시스템들 간의 상호작용으로 기술하고 있다.

한편, Ben-Zvi Assaraf & Orion(2005)은 시스템 사고와 관련된 선행 연구들에 대한 검토 결과를 바탕으로 지구 시스템 내에서 물질의 순환을 예로 들어 시스템 사고의 특성을 다음과 같이 8가지로 분류하여 제시하였다.

- (1) 시스템의 구성 요소들과 시스템 내에서의 진행 과정을 식별하는 능력: 물의 순환 시스템 특징 이해- 바다, 강, 호수, 빙하, 만년설, 비 등의 구성 요소를 식별할 수 있는 능력과 증발, 응결, 강수, 침투, 용해, 동결 등의 과정을 이해하는 능력을 말한다.
- (2) 시스템의 구성 요소들 간의 관계를 파악하는 능력: 수용액의 조성, 바위를 통과할 때의 물, 수질에 직접 영향을 미칠 수 있는 오염의 이해 등을 들 수 있다.
- (3) 관계의 틀 내에서 시스템의 구성 요소와 진행 과정을 조직할 수 있는 능력: 물 순환 그림은 좋은 예이다.
- (4) 시스템 내에서 역동적인 관계를 밝혀낼 수 있는 능력: 지구 시스템 속에서 물질의 변형을 이해하는 것은 물 순환 시스템에서 역동적 관계를

찾아내는 것과 관련이 있다. 물은 모래와 돌을 통해 여과되고 또한 돌 속에 있는 광물질을 용해한다.

- (5) 자연의 순환 시스템을 이해하는 능력 : 증발과 강수를 통한 육지와 바다의 연결, 식물의 지하수 삼투와 증발과 연결된다.
- (6) 시스템의 작동 원리를 이해하고 일반화 할 수 있는 능력: 이 일반화는 물 순환 시스템의 역동적이고 순환적이라는 이해를 가지고 표현할 수 있어야 한다. 이와 같은 이해는 물 순환 시스템의 맥락에서 환경을 위협하는 요인들을 예방하는데 구현될 수 있다.
- (7) 시스템의 숨겨진 차원 이해하기: 인식하는 패턴과 상호관계는 표면에 나타나지 않는다. 물 순환 시스템은 이 시스템의 특성과 표면 아래 숨겨진 의미 있는 부분들을 이해할 수 있는 좋은 예이다.
- (8) 시간적 사고(회상과 예측) 능력: 미래에 일어나는 사건은 과거에 시스템 내에서 상호작용한 결과임을 인식한다.

또한 이들은 후속 연구를 통해 위에서 언급한 8가지 시스템 사고의 특성을 세 단계의 연속적인 시스템 단계로 구분하였다. 시스템 사고의 특성 중 (1)은 첫 번째 단계인 ‘분석하기’에 해당하고, (2)-(5)는 두 번째 단계인 ‘종합하기’에 해당하며, (6)-(8)은 세 번째 단계인 ‘실행하기’에 해당하는데, 이때 하위 단계는 다음 단계를 위한 기반이 된다(Ben-Zvi Assaraf & Orion, 2010). 하지만 이와 같은 시스템 사고는 주로 지구 시스템 내의 물질 순환에 국한되므로 태양계나 우주를 다루고 있는 천문 시스템에 그대로 적용하기에는 한계가 있다. 세상을 구성하는 물질 시스템은 입자→지구→태양계→은하→우주로 점점 커지는 규모로 나눌 수 있는데, 이 중 천문 시스템은 지구, 태양, 은하와 우주를 모두 포함하는 가장 큰 규모의 시스템이다(Oh et al., 2015). 그렇기에 천체의 운동과 구조는 작은 규모에서 형성된 부분적인 결과를 종합하여 전체적인 큰 규모에 해당하는 설명 모델로서 파악되는 경우가 많으며, 여러 천체들의 역학적 관계가 시스템적으로 이루어져 형성된다. 따라서 천체의 운동과 구조를 이해하려면 시스템 모델링 및 그와 관련된 시스템적 사고가

필요하다(Maeng et al., 2014).

Ben-Zvi Assaraf & Orion(2010)가 분류한 시스템 사고의 특성들은 천체들 간의 구조를 이해하는 과정에서 부분적으로 재구성하여 사용될 수 있다. 예를 들어, 태양계를 이해하려면 태양계를 구성하는 각각의 하위 구성 요소(행성, 행성의 공전)들을 먼저 파악하고, 다음 단계로 행성, 위성, 소행성들 간의 관계를 파악하고 각 천체들 간의 역학적 상호작용을 이해해야 하며, 행성들을 관측할 때 각 행성의 상대적인 위치의 변화에서 행성 운동의 패턴을 찾고 그 결과를 재구성하여 태양 중심의 공전 모델을 만들고 설명할 수 있어야 한다(Maeng et al., 2014). 이러한 관점에서 Oh et al.(2015)은 천문 시스템 사고를 위계성과 연속성을 지닌 능력으로 새롭게 정의하고, 천문 시스템 사고의 4단계 요소를 다음과 같이 제안하였다.

첫째, 천문 시스템 내에서 천문 현상의 시스템 구성 요소를 파악하고 그 특성을 이해하며, 이를 바탕으로 시스템의 구성 요소들을 분류할 수 있어야 한다.

둘째, 시스템 구성 요소들 간의 상호관계를 이해하여 구성 요소들 간의 관계나 시스템 구성 요소들 간의 에너지나 물질의 흐름을 파악할 수 있어야 한다.

셋째, 각 구성 요소들의 관계를 전체적으로 종합하여 표면적으로 드러나지 않은 시스템의 부분까지도 포함하여 경향성이나 주기성을 이해하여 시스템 요소들 간의 위계를 파악하거나 시스템을 조직할 수 있어야 한다.

넷째, 시스템의 중심에 따른 공간적 사고 능력을 바탕으로 통합적 관점으로 해당 시스템을 하위 시스템을 포함하여 표현된 모델로 구성하여 나타낼 수 있어야 한다.

### III. 연구방법

#### 1. 연구절차

이 연구에서는 기초 조사 연구로 선행 연구를 토대로 천문학적 사고에 대한 관련 문헌을 조사하고 분석하였다. 이를 토대로 과학교육 전문가 협의를 거쳐 천문학적 사고를 검사하기 위한 검사 도구를 구성하였으

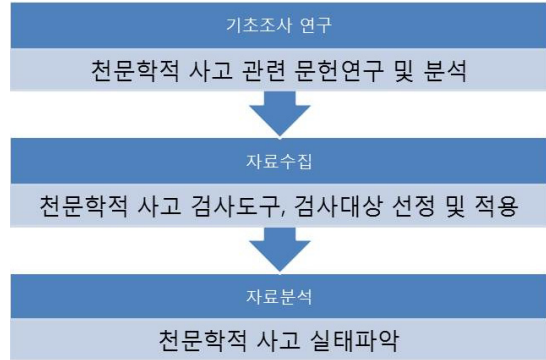


Fig. 2. Procedure of the study

며, 이를 초, 중, 고등학교 학생들에게 적용하여 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 추리 통계와 Rasch 모델 등을 통해 분석함으로써 학생들의 천문학적 사고 수준을 파악하였다.

#### 2. 검사도구

천문 개념의 이해 수준을 조사하기 위해 이 연구에서는 Lee et al. (2014)에 의하여 개발된 순위 선다형(Ordered multiple-choice, OMC) 문항의 일부를 활용하였다.

순위 선다형 문항은 문제의 상황을 제시하고 이 상황과 관련된 학습자의 개념 이해 정도를 수준별로 설정하여 각 수준을 선다형 문항의 선택지로 제시한 것으로, 선택지의 수준은 각 선택지가 모두 다른 수준을 설정할 수도 있고 같은 수준을 중복되게 만들 수도 있다. 순위 선다형 문항은 다수의 학생을 동시에 동일한 문항으로 평가하여 통계적 경향성을 파악할 수 있으며(Briggs et al., 2006), 다양한 수준의 선택지를 포함함으로써 각 선택지를 선택한 것이 학생들의 개념 이해 정도를 반영할 수 있게 하여 더 많은 개념 이해에 대한 진단적 정보를 제공할 수 있다. 따라서 순위 선다형 문항을 이용한 평가 결과는 측정하려는 구인에 대한 학생들의 인지적 발달 모델을 제시해 줄 수 있다는 장점을 가진다(Seong et al., 2013). 순위 선다형 문항을 활용한 연구로는 지구의 운동에 대한 학습 발달 과정(Briggs et al., 2006), 힘과 운동에 대한 학습 발달 과정(Alonzo & Steedle, 2009), 물의 순환에 대한 연구(Seong et al., 2013), 천문 시스템 학습 발달과정 개발 및 타당화 연구(Meang et al., 2014)와 Rasch 모델을 통한 초등

학교 학생들의 등호 이해분석(Kim et al., 2016) 등이 있다.

Table 1은 이 연구에서 사용된 6개의 OMC 문항의 내용과 실행(천문학적 사고)을 정리한 것이다. 내용으로는 지구의 운동, 하루 동안 천체의 운동, 달의 운동이며, 실행으로는 천문학적 사고(공간적 사고와 시스템 사고) 중 각 문항을 해결하기 위해 요구되는 것이다. Fig. 2와 3은 지구의 운동에 대한 공간적 사고를 측정하는 문항과 시스템 사고를 측정하는 문항의 예시를 각각 나타낸 것이다.

Table 2는 Table 1의 각 문항을 구성하는 4개 수준의 선택지에 대한 설명이다. 수준 1은 가장 낮은 수준의

선택지에 대한 설명이며, 수준 4는 가장 높은 수준의 선택지에 대한 설명이다. 이 연구에서 사용된 순위 다형 문항은 각 선택지가 모두 다른 수준을 나타내도록 개발된 것으로, 선택지의 수준은 학생들의 천문학적 사고에 대한 발달 수준을 고려하여 작성함으로써 수준의 발달 과정을 파악할 수 있도록 한 것이다. 예컨대, 수준 1을 선택한 학생은 천체의 위치 변화와 운동의 방향을 평면 자료에서 보이는 그대로 기술하는 공간적 사고를 가졌고, 천체의 운동 모형에서 태양 중심(heliocentric)이 아닌 지구 중심(geocentric)의 형태로 나타내는 수준이다. 반면, 수준 4를 선택한 학생들은 지구 관점(Earth-based)에서의 천체 운동 모델을 우주 관

Table 1. Overview of the contents and practices of ordered multiple-choice items

문항번호	1	2	3	4	5	6
내용	범주	지구의 운동		하루 동안의 천체운동		달의 운동
	개념	공전	연주운동	일주운동 (지구기반)	일주운동 (우주기반)	공전
실행 (천문학적 사고)	공간적 사고	시스템 사고	공간적 사고	시스템 사고	공간적 사고	시스템 사고

Table 2. Explanation of each level of the OMC items (Modified from Maeng et al.(2014))

범주	수준 1	수준 2	수준 3	수준 4	
지구의 운동	문항 1	지구의 공전 방향을 전혀 이해하지 못하고 있으며, 별 자리의 운동 방향을 잘못 이해하고 있음	별자리의 이동경로는 서술 했지만 왜 그렇게 움직이는 가는 설명하지 못함	별자리의 이동 경로를 설명 하였지만 이동하는 이유는 설명하지 못함.	지구에서의 별자리이동을 지구 공전과 연관 지어 설명함.
	문항 2	태양의 이동 경로를 이해하지 못함	계절에 따라 태양의 일주권이 길이와 높이가 변하는 패턴을 인식하고, 낮의 길이가 변함을 인식함	문항2: 계절에 따라 태양 일주운동 시 남중고도의 변화에 따라 낮의 길이가 달라지는 연관성을 파악함	우주에서 내려다 본 관점에서 모델을 적용하여 태양의 일주권의 변화와 낮의 길이 변화의 관계를 설명함.
하루 동안 천체의 운동	문항 3	하루 동안 지구에서 본 태양과 달, 별의 위치 변화와 운동을 이해하지 못함	하루 동안 지구에서 본 태양, 달, 별의 위치 변화를 연속적인 일주권으로 인식함	하루 동안 지구에서 본 태양, 달, 별의 위치 변화를 나누어서 인식함	하루 동안 지구에서 본 태양, 달, 별의 위치 변화와 운동을 정확하게 이해함
	문항 4	태양, 달, 별의 위치를 이해하지 못함	지구에서 본 태양, 달, 별의 위치를 우주에서 본 2차원적 태양 중심 모델로 설명함	하루 동안 태양, 달, 별의 상대적 위치 관계를 우주에서 내려다 본 3차원적 모델로 묘사하여 지구에서 관측한 자료와 연관시킬 수 있음	지구에서 본 태양, 달, 별의 위치 관계를 우주에서 본 3차원적 모델로 설명함
달의 운동	문항 5	태양 중심의 지구-달 계 모델에서 달의 위치 변화와 운동을 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하는 것으로 표현함	태양 중심의 지구-달 계 모델에서 지구의 위치 변화와 운동을 2차원적 모델로 설명함	우주에서 내려다 본 지구-달 계 모델에서 지구의 위치 변화와 운동을 3차원적 모델로 묘사할 수 있음	우주에서 본 지구-달 계의 모델에서 지구의 위치 변화와 운동을 3차원적 모델로 설명함
	문항 6	지구를 중심으로 태양이 공전하는 것으로 표현함	지구를 중심으로 하는 달의 공전방향을 인식하지 못함	3차원적으로 표시된 태양 중심의 지구-달 계 모델에서 달의 위치와 달의 위상을 연결 시켜 설명하고 있다.	3차원적으로 표현된 태양 중심의 지구-달 계 모델에서 달의 위치와 달의 위상을 연결 시켜 설명함



점(space-based)에서의 천체 운동의 모델과 서로 연관 시켜 전환시킬 수 있으며, 천체 운동 모델을 구성하는

하위 요소들 간의 상호 연관성을 파악하고 이를 설명 모델에 적용할 수 있는 수준이다.

1. 다음 그림 (가)는 우리나라의 겨울철(12월~2월)에 남쪽 하늘에서 오리온 자리를 관찰하고 그 모습을 표현한 것이고, 그림 (나)는 같은 시기에 지구가 태양 주위를 공전하는 모습을 나타낸 것이다.(단, 그림에서 오리온 자리는 실제보다 과장되어 표시됨)

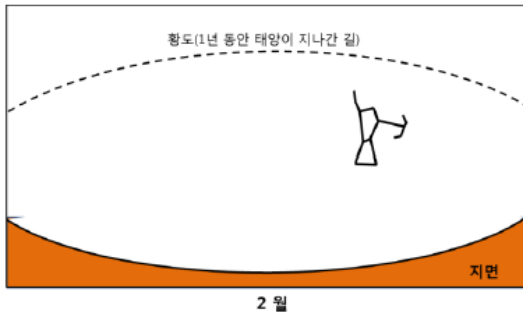
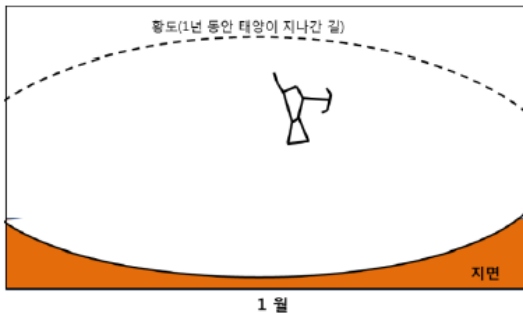
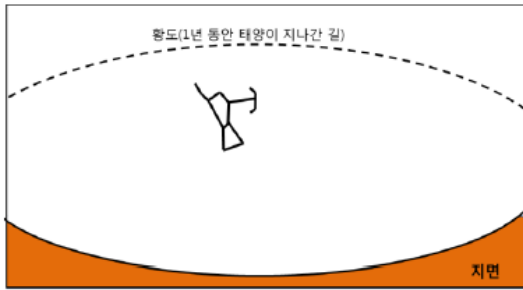


그림 (가)

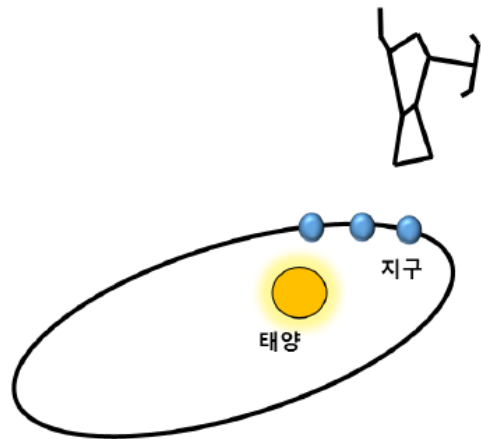


그림 (나)

그림 (가)와 그림 (나)를 참고하여 오리온 자리와 지구의 움직임에 대하여 서술한 것 중 자신의 생각과 가장 일치하는 것을 고르시오.

- A. 지구가 반시계 방향으로 공전해서 오리온 자리는 황도면과 평행하게 동에서 서로 움직인다.
- B. 지구가 반시계 방향으로 공전해서 오리온 자리는 동에서 서로 움직인다.
- C. 오리온 자리는 황도와 나란하게 동쪽에서 서쪽으로 움직인다.
- D. 오리온 자리는 황도와 나란하게 왼쪽에서 오른쪽으로 움직인다.

Fig. 3. An example of item for testing spatial thinking

2. 다음 그림 (가)는 우리나라에서 3개월 간격으로 하루 동안 태양이 지나간 길(일주권)을 관찰하여 나타낸 것이고, 그림 (나)는 우리나라에서 해가 뜨고 지는 시각을 나타낸 그래프다.

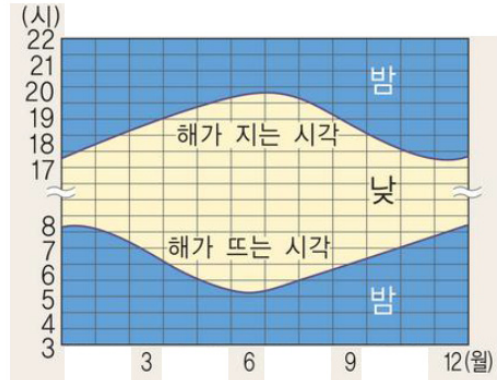
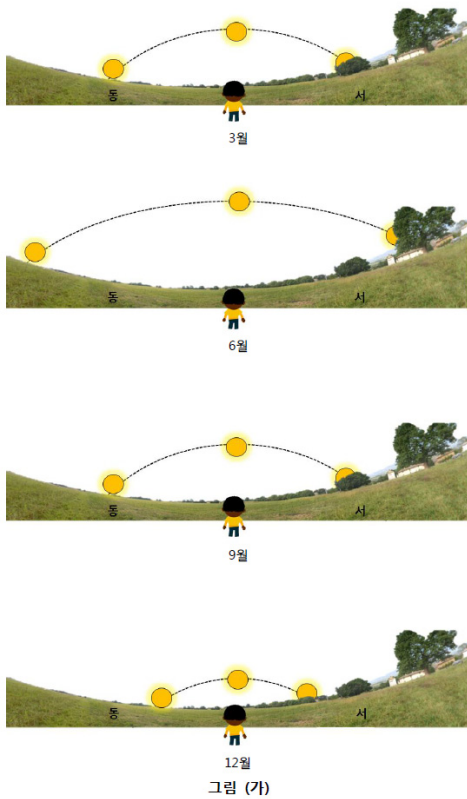


그림 (나)

1년 동안 태양이 뜨고 지는 경로와 낮과 밤의 길이에 대하여 서술한 것 중 자신의 생각과 가장 일치하는 것을 고르시오.

- A. 태양은 동쪽에서 떠서 서쪽으로 움직이고, 낮의 길이는 짧다가 길어졌다가 다시 짧아진다.
- B. 태양이 동에서 서로 움직이는 동안 남중고도가 높을 때 낮의 길이가 길고, 남중고도가 낮을 때 낮의 길이가 짧다.
- C. 태양이 동쪽에서 서쪽으로 움직이는 경로의 높이가 변화하며, 낮의 길이는 짧다가 길어졌다가 다시 짧아진다.
- D. 태양이 북동쪽에서 떠서 북서쪽으로 질 때 낮의 길이가 길고, 남동쪽에서 떠서 남서쪽으로 질 때 낮의 길이가 짧다.

Fig. 4. An example of item for testing systems thinking

### 3. 자료 수집 및 분석

이 연구에서는 강원도 지역 소재의 12개 학교 5학년, 8학년, 11학년 학생 총 1,066명을 대상으로 천문학적 사고 검사지를 투입하였다. 5학년부터 지구와 달의 운동과 같이 구체적 천문 개념을 배우기 시작하기 때문에 연구 대상에 포함시켰으며, 11학년은 지구과학 I 교과를 이수하는 학생들이 일부 포함되었지만 대부분의 학생들은 지구과학을 선택하지 않은 학생들이다.

먼저 검사를 진행하는 12개교의 과학교사와 담임교사에게 검사에 대한 자세한 설명과 양해를 구하였고, 6 문항을 검사하는데 30분을 할애하여 피험자가 충분한 시간을 가지고 사고할 수 있도록 안내하였다.

수집된 자료는 다양한 통계 기법을 사용하여 분석하였다. 기본적인 기술 통계를 통해 초, 중, 고등학생들의 천문학적 사고 수준의 평균 및 표준 편차를 산출하였으며, 추리 통계를 통해 학년 및 성별에 의한 차이를 분석하였다. 학년 간 차이는 일원배치분산분석(ANOVA)의

Table 3. Subject of the study

학년	학교 수	참여 학생 수	
		남	여
5학년	5	181	162
8학년	4	318	56
11학년	3	220	129
합계	12	719	347

로 분석되었으며, 성별 차이는 *t*-검정으로 분석하였다. 사후 검정으로는 *t*-검정을 실시하였다. 또한, 학생들의 응답 반응을 문항 반응 이론(item response theory)에 기초한 Rasch 모델을 적용하여 Wright map을 산출함으로써 문항의 곤란도와 피험자의 능력을 분석하였다.

## IV. 연구 결과 및 논의

### 1. 천문학적 사고 수준 분석 결과

초, 중, 고등학생들의 천문학적 사고 수준을 알아보기 위하여 6개의 순위 선다형 문항으로 구성된 검사지를 투입하였으며, 이에 대한 학생들의 응답을 정량적으로 분석하였다.

Fig. 5는 5학년, 8학년, 11학년의 문항별 수준의 평균을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 Y축이 문항별 수준을 나타내는데 가장 낮은 수준을 1수준으로 하고 가장 높은 수준을 4수준으로 설정하였다. 또한, 공간적 사고와 시스템 사고 수준의 경향성을 한눈에 알아볼 수 있도록 하기 위해 그래프의 좌측을 공간적 사고 문항(문항 1, 3, 5), 우측을 시스템 사고 문항(문항

2, 4, 6)으로 재배치하였다.

그래프에서 보는 바와 같이 천문학적 사고 수준의 평균은 학년이 올라감에 따라 증가하는 경향을 보였으나(5학년 2.54, 8학년 2.60, 11학년 2.77), 그 차이가 크지는 않았다. 천문학적 사고를 공간적 사고와 시스템 사고를 분리하여 분석한 결과, 공간적 사고 수준의 평균은 2.63이었고 시스템 사고 수준의 평균은 2.64로 동일한 수준이었으며, 이러한 경향성은 3개 학년에서 거의 비슷하게 나타났다. 또한, 각 학년마다 쉬운 문항과 어려운 문항이 거의 일치하는 경향을 보였는데, 가장 쉬운 문항은 시스템사고의 4번 문항(전체 평균 2.97)이었으며, 가장 어려운 문항은 시스템 사고의 2번 문항(전체 평균 2.33)이었다. 한편, Table 4는 공간적 사고와 시스템 사고로 구분하여 학년별 수준을 정리한 것이다. 공간적 사고는 학년 간 차이가 뚜렷하지 않은 반면 시스템사고는 공간적 사고에 비해 학년 간 차이가 뚜렷하게 나타났다. 특히, 5학년과 8학년 간 차이에 비해 8학년과 11학년간의 차이가 큰 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 중학생들을 대상으로 수학 성취도와 공간능력의 상관관계를 연구하였는데 일반적으로 수학 성취도는 학년이 올라감에 따라 차이가 심화된 반면 공간 능력의 차이는 감소하였다는 Jeon(1997)의 연구 결과와 일맥상통하며, 초등학생들의 공간 감각 이해 능력이 학년이 올라갈수록 잘 하리라는 예측과는 달리 2, 4, 6학년에서 큰 차이가 나타나지 않았다는 Lee et al.(2007)의 연구 결과와도 일치한다.

Table 5는 학생들의 천문학적 사고 수준이 학년에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해 ANOVA를 실시한 결과이다. 분석 결과, 전체 천문학적 사고 수준에는 집단 간 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 하지만, 천문학적 사고를 공간적 사고와 시스템 사고로 분리하여 분석한 결과에서는 공간적 사고는 학년 간 유의미한 차이가 없었으며 시스템 사

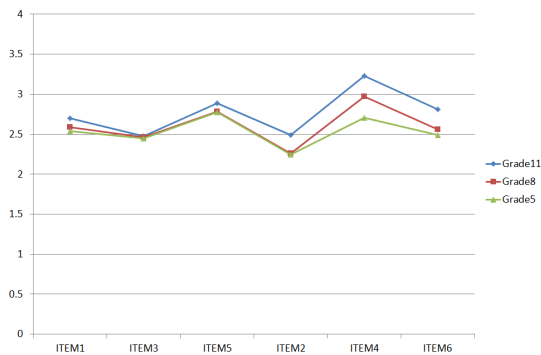


Fig. 5. Comparison of mean level for each item between school grade

Table 4. Comparison of mean level between spatial thinking and system thinking

	공간적 사고				시스템 사고				총 평균
	문항1	문항3	문항5	평균	문항2	문항4	문항6	평균	
5학년	2.54	2.45	2.78	2.59	2.25	2.70	2.49	2.48	2.54
8학년	2.59	2.46	2.78	2.61	2.26	2.97	2.56	2.60	2.60
11학년	2.70	2.48	2.89	2.69	2.49	3.23	2.81	2.84	2.77
평균	2.1	2.46	2.82		2.33	2.97	2.62		
총 평균	2.63				2.64				2.64

Table 5. Results of ANOVA for students' level of astronomical thinking by school grade

		제공합	자유도	평균제곱	F	유의확률	
공간적 사고	문항1	집단간	4.585	2	2.292	2.107	0.122
	문항3	집단간	0.131	2	0.066	0.049	0.952
	문항5	집단간	2.650	2	1.325	1.060	0.347
시스템 사고	문항2	집단간	13.457	2	6.728	6.791	0.001*
	문항4	집단간	48.498	2	24.249	22.076	0.000*
	문항6	집단간	19.012	2	9.506	7.845	0.000*
전체		집단간	9.923	2	4.961	21.714	0.000*

\* $p < 0.01$ 

고에서만 학년에 따라 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 사후 분석을 위해 t-검증을 실시한 결과, 전체 천문학적 사고에서 5학년과 8학년 간 차이는 유의미하지 않았으며, 5학년과 11학년 및 8학년과 11학년 간에는 각각 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 공간적 사고에서는 5, 8, 11학년 간 모두 유의미 차이가 나타나지 않았다. 시스템 사고의 경우, 문항에 따라 상이한 결과가 나타났다. 문항 4에서는 5, 8, 11학년 간 모두 유의미 차이가 있는 것으로 나타났으나, 문항 2와 문항 6에서는 5학년과 8학년 간에는 유의미한 차이가 없었고 5학년과 11학년 및 8학년과 11학년 간에만 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 초등학교에서 중학교로 학년이 올라갈 때 학생들의 천문학적 사고 수준에 의미 있는 향상이 없으며 고등학교에서야 천문학적 사고 수준의 의미 있는 진전이 있음을 말해준다. 이것은 연구자의 예상을 벗어나는 다소 의외의 결과로, 중학생이 초등학생에 비해 천문 지식은 많다 하더라도 천체의 운동을 지구적 관점에서 공간 전환하여 우주적 관점으로 연결하여 설명하고, 시스템적으로 경향성을 파악하여 모델링하는 능력에서는 별다른 차이가 없다는 것으로 해석할 수 있다. 다시 말해, 천문학적 지식의 수준과 천문학적 사고 수준

이 비례하지 않을 수 있음을 시사한다.

한편, 평가 문항의 형식이 학생들에게 영향을 주었을 것으로 추정된다. 이 연구에서 개발된 문항이 기존의 지식(내용) 위주의 평가 문항에 실행(사고)을 접목(embedded)한 것이므로, 평가하고자 하는 지식의 수준은 비슷하더라도 문항의 형식과 맥락이 다르기 때문에 학생들에게 생소할 수는 있을 것으로 생각된다. 따라서 중학생들이라 하더라도 문항의 맥락과 순위 선다형 답지들을 구별하는데 어려움을 겪었을 수 있다.

Table 6은 천문학적 사고 수준이 성별에 따라 유의미한 차이가 나타나는지 알아보기 위해 독립표본 t-검증을 실시한 결과이다. 분석 결과, 전체 천문학적 사고 수준에서 성별에 따른 차이는 통계적으로 유의미하지 않는 것으로 나타났다. 공간적 사고와 시스템 사고에서도 마찬가지로 성별에 따른 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 중학생의 공간 시각화 능력에서 뚜렷한 성차가 있다는 Jeon(1997)의 연구와 초등학생들의 공간 시각화 능력에서 남학생이 여학생보다 더 높게 나타났다는 결과(Park, 2013)와는 상이한 결과이다. 그러나 5~11세까지 아동에서 공간 개념을 획득하고 발달하는 데는 남녀차가 없다는 Yun(1991)의 결과와 초등학교 3학년과 6학년을 대상으로 공간능력

Table 6. Results of t-test for students' level of astronomical thinking by gender

		N	평균	표준편차	t	유의확률 (양측)	
공간적 사고	문항1	남	711	2.60	1.045	-0.242	0.808
		여	346	2.62	1.043		
	문항3	남	714	2.48	1.181	0.660	0.509
		여	344	2.43	1.110		
	문항5	남	709	2.82	1.126	0.370	0.712
		여	344	2.80	1.104		
시스템 사고	문항2	남	716	2.34	0.997	0.394	0.693
		여	346	2.31	1.011		
	문항4	남	719	2.99	1.051	0.973	0.331
		여	347	2.93	1.104		
	문항6	남	714	2.63	1.111	0.582	0.561
		여	342	2.59	1.103		
전체	남	719	2.65	0.485	1.052	0.293	
	여	347	2.61	0.492			

검사에 대한 남녀차를 조사한 결과 남학생이 여학생에 비해 평균은 약간 높게 나왔으나 통계적으로 유의미한 차이를 보이지는 않았다는(Kim, et al., 2005, Choi, 2004) 결과 그리고 대학원 지질학과 1학기 학생들을 대상으로 조사한 결과에도 남녀차가 없다는(Orion et al., 1997) 연구와는 일치하는 결과이다.

## 2. Rasch 모델 적용 결과

### 가. Wright map 분석 결과

Fig. 6은 이 연구에서 사용된 6개 평가 문항에 대한 5학년, 8학년, 11학년 학생들의 응답 반응을 Rasch 모델에 적용한 결과로 산출된 Wright map(person-item map)으로, 문항의 곤란도(difficulty)와 피험자의 능력(ability)을 동일한 측정을 위해 사용한 동일한 스케일의 로지트(logit) 단위로 환산한 값을 하나의 맵에 표시한 것이다(Bond & Fox, 2007).

Wright map에서 가장 왼쪽에 표시된 MEASURE 값(3, 2, 1, 0, -1, -2, -3)은 피험자의 능력과 문항의 곤란도에 대한 로지트 값인데, 양(+)의 값일수록 피험자의 능력과 문항의 곤란도가 높다는 것을 의미한다. 중앙 세로선 왼쪽의 PERSON은 피험자들의 능력에 따른 위치와 인원수를 나타낸 것인데, '#'과 '.'으로 표시된다. '#'과 '.'에 해당되는 인원수는 Wright map마다 다르게 표시되는데, Fig. 5에서 보면 5학년의 경우 '#'이 4명이고 '.'은 1~3명

에 해당된다. 중앙 세로선 오른쪽의 ITEM에는 문항의 수준별 위치가 표시되어 있는데, 이것은 Rasch-Thurstone 임계값을 로지트로 환산한 것이다. Rasch-Thurstone 임계 값은 같은 로지트 값을 가지는 피험자들이 그 문항의 특정 수준을 응답할 확률의 누적 값이 50% 또는 응답하지 않을 확률의 누적 값이 50%가 되는 것을 의미하므로 각 문항별 수준의 Rasch-Thurstone 임계 값은 해당 수준의 곤란도를 나타낸다(Heo & Lee, 2018).

한편, 중앙 세로선에는 2개의 'M'이 표시되어 있는데, 세로선을 기준으로 왼쪽 'M'은 피험자들의 상대적인 능력을 로지트 단위로 환산한 평균값이며, 오른쪽 'M'은 문항 곤란도의 평균값을 나타낸 것으로 항상 0에 맞춰져 있다.

Fig. 5의 Wright map에서 천문학적 사고에 대한 피험자들의 능력 및 문항의 수준에 대한 배치를 학년별로 비교 분석하여 보면 다음과 같은 특징을 확인할 수 있다; 첫째, 5, 8, 11학년 모두 피험자 능력 평균 MEASURE 값이 0과 1사이의 양(+)의 값을 나타내는데, 이것은 문항의 평균 곤란도에 비해 학생들의 평균 능력이 조금 높다는 것을 의미한다. 또한, 학년이 올라갈수록 피험자의 평균 능력이 증가함을 확인할 수 있는데, 이것은 학생들의 천문학적 사고 능력이 학년이 올라감에 따라 증가함을 의미한다. 즉, 5학년 학생들의 평균적인 천문학적 사고 능력은 수준 4에 훨씬 못 미치는 반면, 8학년 학생들은 수준 4에 근접하고 있으며,

11학년 학생들은 곤란도가 가장 낮은 문항 4의 수준 4(ITEM4.4)보다 조금 높은 것으로 나타난다. 둘째, 5학년, 8학년, 11학년 학생들이 반응한 문항의 곤란도가 비슷한 경향성을 나타낸다. 3개 학년에서 모두 가장 어려웠던 문항은 2번 문항이었으며, 상대적으로 쉬웠던 문항은 4번과 5번 문항이었다. 상대적인 문항의 곤란도 순서 또한 매우 비슷하게 나타났다. 8학년과 11학년은 문항 2-3-1-6-5-4 순서로 상대적인 곤란도가 동일하게 나타났으며, 5학년은 2-3-6-1-4-5 순서로 차이는 있었으나 이 차이는 매우 근소한 것으로 분석된다. 이와 같은 결과는 특정 상황(내용)에서 발견되는 천문학적 사고가 학년에 관계없이 매우 유사함을 의미하며, 이것은 천문학적 사고의 상황(내용) 의존성(context-dependency or content-dependency)을 나타내는

것으로 판단된다. 다시 말해, ‘지구의 운동’이라는 상황(내용)에서 발견되는 천문학적 사고와 ‘달의 운동’이라는 상황(내용)에서 발견되는 천문학적 사고 수준이 서로 다르다는 것이다.

**나. Item fit 분석 결과**

피험자들의 응답에 대하여 Rasch 모델에 기반한 예측 값과 실제 자료 값 사이의 부합 정도를 비교하기 위하여 item fit을 산출하였다(Table 7).

Item fit은 outfit과 infit으로 구성되는데, infit은 피험자의 능력에 따라 문항의 곤란도에 맞게 Rasch 모델이 예측한 경향성(inlier)을 보이는지를 설명하며, outfit은 Rasch 모델의 예상 결과에서 벗어난 사례(outlier)를 설

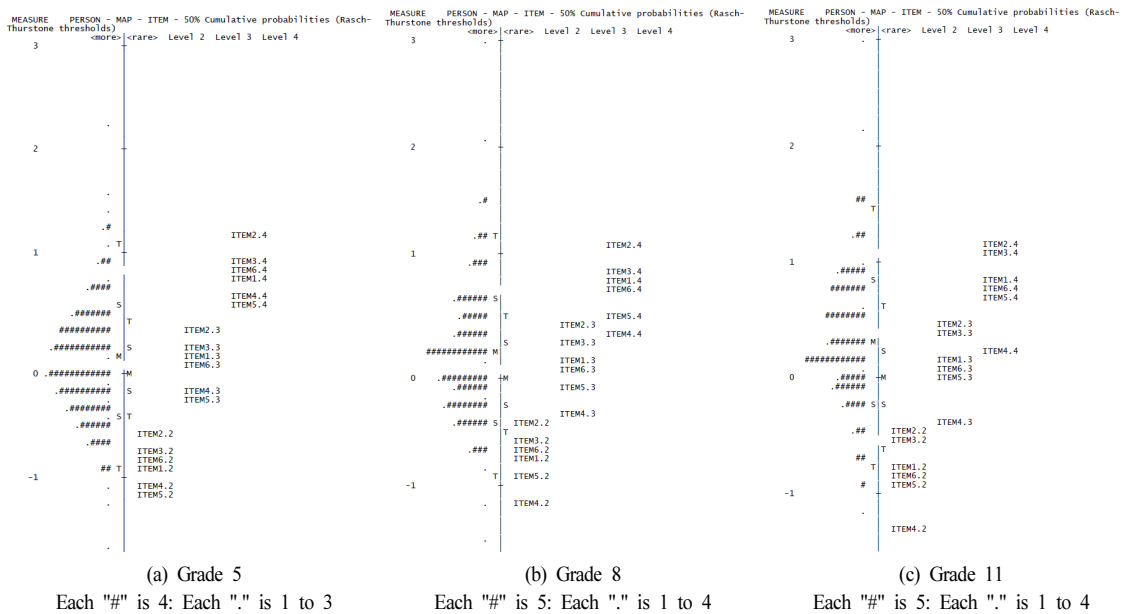


Fig. 6. Comparison of Wright map between school grade

Table 7. Item fit estimated from Rasch model

	MNSQ	문항1	문항3	문항5	문항2	문항4	문항6
INFIT	5학년	0.95	1.16	0.96	1.12	0.92	0.92
	8학년	1.02	1.28	1.02	0.94	0.95	0.82
	11학년	1.05	1.29	0.90	0.86	1.06	0.91
OUTFIT	5학년	0.98	1.17	0.93	1.17	0.92	0.91
	8학년	1.01	1.27	1.02	0.97	0.92	0.80
	11학년	1.02	1.27	0.86	0.89	0.97	0.88

명한다(Heo & Lee, 2018).

Table 7에서 산출된 것은 infit과 outfit의 MNSQ (meansquare) 값으로, 1.0을 평균으로 하기 때문에 일반적으로 문제가 없는 범위는 0.5~1.5로 간주한다(Wright & Linacre, 1994), MNSQ 값이 1.0보다 큰 경우 Rasch 모델로 예측하기 힘든 경우(underfit)로 판단하고, 1.0보다 작은 경우 Rasch 모델로 예측이 너무 정확한 경우(overfit)로 판단한다. 이 연구에서 사용된 6개의 문항에 대한 item fit 값은 infit이 0.82~1.29의 범위로, outfit은 0.80~1.27의 범위로 나타났는데 모두 Rasch 모델의 예측 기준에서 크게 벗어나지 않은 적절한 범위인 것으로 판단된다.

## V. 결론 및 제언

지구과학 교과에서 많은 비중을 차지하는 천문 영역은 초·중·고등학교 학생들에게 흥미와 호기심을 불러일으키는 대상이다. 하지만 이러한 정서적 측면과 달리 많은 학생들이 교육과정에 제시되어 있는 천체의 운동과 구조를 이해하는 데 어려움을 겪고 있으며, 시공간적 변화와 함께 추상적 개념이 포함되어 있어서 학생들이 낮은 학업성취를 보이는 영역 중 하나이다. 이러한 어려움을 극복하기 위한 방안의 하나로 최근 지구과학 교육에서는 천문학적 지식을 활용할 수 있는 탐구 실행 능력으로서 천문학적 사고가 강조되고 있다. 이 연구에서는 선행 연구를 토대로 초·중·고등학생들의 천문학적 사고를 측정할 수 있는 검사를 실시하여 천문 개념 및 천문 현상에 대한 학생들의 이해 수준을 천문학적 사고에 초점을 맞추어 확인하고자 하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 천문학적 사고 중 공간적 사고와 관련하여 학생들은 천체의 공간 위치와 방향은 파악할 수 있었지만 2차원 평면에서의 천체 운동을 3차원에서의 운동으로 변환하지 못하는 것으로 나타났으며, 고등학생들도 지구에서 관측된 천체의 겉보기 운동을 우주 기반의 관점으로 전환하여 파악하는 수준에는 이르지 못하는 것으로 조사되었다. 또한, 학생들의 공간적 사고 수준은 학년 간 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 학년이 올라감에 따라 다루는 천문 지식의 양은 많아졌지만 탐구 실행 능력에 해

당하는 천문학적 사고는 학년에 비례하여 증가하지 않는다는 것을 의미하는 것으로, 지식 중심으로 이루어지고 있는 현행 천문 교육이 탐구 실행 중심으로 변화될 필요가 있음을 시사한다.

둘째, 천문학적 사고 중 시스템 사고와 관련하여 학생들은 천체의 운동 시스템을 구성하는 요소와 요소들 사이의 연관은 파악할 수 있으나 시스템의 경향성은 파악하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 공간적 사고에서의 수준과 유사하게 고등학생들도 통합적 관점으로 천체의 운동 시스템을 하위 시스템을 포함하여 표현된 모델로 구성할 수 있는 수준에는 이르지 못한 것으로 조사되었다. 하지만, 학생들의 시스템 사고 수준은 공간적 사고 수준과 달리 학년에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 특히 고등학생들의 시스템 사고 수준이 초등학생 및 중학생들에 비해 유의미하게 높은 것으로 드러났다. 이러한 결과는 천문학 분야에 특정한 시스템 사고가 보편적인 시스템 사고와 어떻게 다른지, 그리고 천문학적 사고로서 시스템 사고가 공간적 사고와 어떻게 연관되어 있는지 후속 연구를 통해 규명될 필요가 있음을 시사한다.

셋째, 특정 상황(내용)에서 발견되는 천문학적 사고가 학년에 관계없이 매우 유사한 것으로 나타났으며, 이를 통해 천문학적 사고의 상황(내용) 의존성을 확인할 수 있었다. 즉, 어떤 천체의 운동을 다루는 상황이냐에 따라 천문학적 사고 능력이 발견되는 수준이 달라진다는 것이다. 이것은 천문학적 사고의 영역-특수성(domain-specificity)을 의미하는 것으로 해석된다. 다시 말해, 학생들의 천문학적 사고가 모든 영역에 동일하게 발견되는 것이 아니라 어떤 영역을 다루는가에 따라 발견되는 사고 수준이 달라진다는 것이다. 또한, 다루는 천문 내용 지식과 무관하게 천문학적 사고가 동등한 수준으로 발견되지 않으므로, 천문학적 사고를 내용과 분리하여 별개로 교육하는 것은 바람직하지 않을 뿐 더러 효과적이지도 않음을 시사한다.

이 연구를 통해 얻은 결과는 학교 수업에서 천문학적 사고 수준을 높일 수 있는 방법을 탐색하기 위한 기초 연구 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 더불어 학교 천문 수업에서 천문 개념의 이해를 효과적으로 향상시키기 위해서는 지식에 실행(천문학적 사고)이 조합된(embedded) 교수활동이 개발될 필요가 있

음을 제안한다. 현재 교실에서 지식 전달 위주로 이루어지는 교수활동을 천문학적 사고가 조합된 형태의 교수활동으로 전환하는 데는 여러 한계가 있으며 이 때문에 그 효과도 제한적일 수밖에 없다. 그러므로 야외에서 실제 관측할 수 있는 천체 운동을 대상으로 현장 체험 학습을 통하여 천문학적 사고를 발전시킬 수 있는 교육 프로그램이 개발될 필요가 있다.

## 국문요약

이 연구의 목적은 순위 선다형 문항을 이용하여 초·중·고 학생들의 천문학적 사고 수준을 파악하는 것이다. 이를 위하여 각각 3개의 공간적 사고와 시스템 사고 측정 문항으로 구성된 검사지를 구성하고, 이를 강원도 소재 12개 학교 5학년, 8학년, 11학년 학생 총 1,066명을 대상으로 투입하였다. 수집된 학생 응답 자료를 고전 검사 이론의 추리 통계와 문항 반응 이론의 Rasch 모델에 적용하여 분석하였다. 분석 결과는 다음과 같다; 첫째, 천문학적 사고 중 공간적 사고 수준은 천체의 공간 위치와 방향은 파악할 수 있지만 2차원 평면에서의 천체 운동을 3차원으로 변환하지 못하는 것으로 나타났으며, 학년에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 분석되었다. 둘째, 천문학적 사고 중 시스템 사고 수준은 천체의 운동 시스템을 구성하는 요소와 요소 간 연관은 파악할 수 있으나 시스템의 경향성은 파악하지 못하는 것으로 나타났으며, 공간적 사고와는 달리 학년에 따라 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 셋째, 특정 상황(내용)에서 발견되는 천문학적 사고가 학년에 관계없이 매우 유사한 것으로 나타났으며, 이를 통해 천문학적 사고의 상황(내용) 의존성을 확인할 수 있었다. 이 연구 결과들은 학교 수업에서 천문학적 사고 수준을 높일 수 있는 방법을 탐색하기 위한 기초 연구 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주제어: 천문학적 사고, 공간적 사고, 시스템 사고, 순위 선다형 문항

## References

- AAAS(American Association for the Advancement of Science). (1993). *Benchmarks for science literacy*. Oxford University Press, NY, p. 448.
- Alonzo, A. C., & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93(3), 389-421.
- Baxter, J. (1989). Children's understanding of familiar astronomical events. *International Journal of Science Education*, 11(5), 502-513.
- Ben-zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 366-373.
- Ben-zvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2010). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 540-563.
- Black, A. (2005). Spatial ability and Earth Science conceptual understanding. *Journal of Geoscience Education*. 53(4), 402-414.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C. & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11, 33-63.
- Byun, J., Jung, J., Moon, B., & Jeong, J. (2004). High school student conceptions on the motion of the earth and the moon. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25(7), 519-531.
- Choi, M. (2004). Study on Gender Differences in Elementary School Children's Spatial ability. Master Thesis, Major in Elementary Mathematics Education Graduate School of Korea National University Education. Chung-Buk, Korea.
- Clement, M. A. (1981). Spatial ability, visual imagery, and mathematic performance. *Educational Studies in Mathematics*, 12(3), 267-299.
- Clements, D. H. (1999). Geometric and spatial thinking in young children. In V. C. Juanita (Ed.), *Mathematics in the early years* (pp. 66-79). Reston, VA: National Council of Teachers of Mathematics.
- Dunlop, J. (2000). *How children observe the universe*. Publications of the Astronomical Society of Australia,



- 17(2), 194-206.
- EarthComm, American Geological Institute. (2012). 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, p. 1018.
- Ha, O., & Lee, Y. (1997). Study on the conceptual type of elementary students concerning on the earth's rotation. The Korean Elementary Science Education Society, 16(1), 103-122.
- Heo, J., & Lee, K. (2018). A Proposal of Curriculum and Teaching Sequence for Seasonal Change by Exploring a Learning Progression.
- Jang, T. (1994). The Children's Conceptions on the Motion of the Earth and Moon. Master Thesis, Major in Elementary Science Education Graduate School of Korea National University of Education Chung-buk, Korea.
- Jeon, S. (1997). A study for spatial visualization ability of middle school students. Master Thesis, Mathematics Education, Major The Graduate School of Education, Ewha Womans University.
- Jeong, I., Goh, S., & Park, M. (2009). Development of Instructional Materials and Test Items for Students' Spatial Ability. Journal of the Korean School Mathematics Society, 2(1), 71-97.
- Johnson, D. R. (2006). Earth system science: A model for teaching science as state, process and understanding?. Journal of Geoscience Education, 54, 202-207.
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. Journal of Research in Science Teaching, 33(4), 369-391.
- Kauffman, D. L., 1980, Systems one: An introduction to systems thinking. Future Systems, Minneapolis, USA, 44.
- Kennedy, L. M., Tipps, S., & Johnson, A. (2004). Guiding Children's Learning of Mathematics, Eleventh Edition.
- Kim, B., Jeong, J., Yang, I., & Jeong, J. (1998). Concepts in Motion of Earth and Moon to Spatial Ability, Visual-Perception-Recall Ability, Learning Styles, 17(2), 103-119.
- Kim, D. H. (2004). Systems Thinking. Sunhaksa.
- Kim, E. (2008). The Relation between level of the discriminating constellations and space ability in 4th grade of elementary school. Master Thesis, Major in Elementary Science Education Graduate School of Education, Daegu National University of Education.
- Kim, H., Seo, C., & Lee, H. (2003). Development of the Test Tool Astronomical Spatial Concept Level. Journal of the Korean Society of Earth Science Education, 24(6), 508-523.
- Kim, J. (1988). Relationship between conceptual performance on the celestial movements and spatial ability of elementary students. Master Thesis, Major in Elementary Science Education Graduate School of Korea National University of Education, Chung-buk, Korea.
- Kim, J., Pang, J., & Choi, J. (2016). An Analysis of Elementary Students' Understanding of the Equal Sign by Using Rasch Model. J. Korean Soc. Math. Ed. Ser. A: The Mathematical Education, 55(1), 1-19.
- Kim, N., & Oh, E. (2008). A study on the Elementary School Student's Spatial Abilities. J. Korea Soc. Math. Ed. Ser. C: Education of Primary School Mathematics, 11(1), 21-38.
- Kim, S., Lee, Y., & Lee, S. (2005). Correlations of elementary students' spatial abilities with their conceptions of celestial motion and science process skills. Journal of the Korean Earth Science Society, 26(6), 461-468.
- Kim, Y. (2007). A Survey on 6th Grade Students' Spatial Sense and Spatial Reasoning: Focused on Three Dimensions. Master Thesis, Major in Elementary Mathematics Education Graduate School of Education Korea National university of Education, Chung-Buk, Korea.
- Ko, M., Kim, N., & Yang, I. (2014). A case study on the conceptual simulation observed in explanation of elementary school students about the causes of the seasonal change. Journal of the Korean Society of Earth Science Education, 7(1), 43-53.
- Koo, J. (2000). The Correlation between Conception of Celestial Motion and Spatial Ability in High School.

- Master Thesis, Major in Secondary Science Education Graduate School of Education. Korea National University of Education, Chung-buk, KOREA.
- Lee, J., Lee, K., Park, Y., Maeng, S., & Oh, H. (2015). A Case Study on Spatial Thinking Revealed in Elementary School Science Class on Solar System and Stars. *The Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(2), 179-197.
- Lee, K. (2013). The Effects of Flash Panorama-based Virtual Field Trips on Middle School Students' Spatial Visualization Ability, Conceptual Understanding, and Perceptions. *Jour. Korean Earth Science Society*, 34(2), 162-172.
- Lee, K., Maeng, S., Park, Y., Lee, J., & 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, S., & Pang, J. (2007). An Investigation on the Understanding of Spatial Sense of Elementary School Students. *J. Korea Soc. Math. Ed. Ser. A: The Mathematical Education*, 46(3), 273-292.
- Lee, Y. (2012). The effects of the space perception ability and creative personality "Source of season change" using small inquiry method. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 5(3), 307-315.
- Lee, Y., Kwak, Y. & 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)
- Liben, L. S. & Titus, S. J., 2012, The importance of spatial thinking for geoscience education: Insights from the crossroads of geoscience and cognitive science. in Kastens, K.A., and Manduca, C.A. (eds.), *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences*: Geological Society of America Special Paper 486, 51-70.
- Lim, C., & 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).
- Lim, J. (2007). The concept on the rotation of the earth of the middle school students in the third year according to their spatial sensibility. Master Thesis, Korea National University of Education.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence an characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child Development*, 56, 1479-1498.
- Liu, L., & 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.
- Lohman, D. F. (1979). *Spatial ability: A review and reanalysis of the correlational literature* (Tech. Rep. No. 8), Stanford, CA: Stanford University, Aptitude Research project, School of Education. (NTIS NO. AD-A075 972).
- Maeng, S., & Lee, K. (2015). Cross-Sectional Item Response Analysis of Geocognition Assessment for the Development of Plate Tectonics Learning Progressions: Rasch Model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(1), 37-52.
- Maeng, S., Lee, K., Park, Y. Lee, J., & Oh, H. (2014). A learning progression for understanding of astronomical system using ordered multiple-choice assessment. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 34(8), 703-718.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental genetic, hormonal and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918.
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems*, Washington, D. C.: Chelsea green. p.240.
- Ministry of Education (2015). 2015 revised science curriculum. Ministry of Education Notice 74.
- Myeong, J. (2001). Reasons for Unsuccessful Earth Science Problem Solving of Pre-service Teachers: A Study on the Motions of the Moon and the Planets, *Jour. Korean Earth Science Society*, 22(5), 339-349.
- National Research Council. (1996). *National science education standards*, Washington, D. C.: National Academies Press.

- National Research Council. (2006). Learning to think spatially, Washington, D. C.: National Academies Press.
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, cross cutting concepts, and core ideas. Washington, D. C.: National Academies Press.
- Nussbaum, J. (1979). Children's conception of the Earth as a cosmic body: A cross-age study. *Science Education*, 63(1), 83-93.
- Oh, H., Lee, K., Park, Y., Maeng, S., & Lee, J. (2015). 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. *The Journal of the Korean Earth Science Society*, 36(6), 591-608.
- Orion, N., Ben-Chaim, D., & Kali, Y. (1997). Relationship between earth-science education and spatial visualization, *Journal of Geoscience Education*, 45, 129-132.
- Park, S. (2013). Spatial Ability and Mathematical Achievement of Elementary School Students. *J. Korea Soc. Math. Ed. Ser. C: Education of Primary School Mathematics*, 16(3), 303-313.
- Plummer, J. D. (2009). Early Elementary Students' Development of Astronomy Concepts in the Planetarium. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(2), 192-209.
- Plummer, J. D. (2014). Spatial thinking as the dimension of progress in an astronomy learning progression. *Studies in Science Education*, 1-45. Advance online publication.
- Schneps, M. H.(Project Director). (1988). A Private universe (Videotape).
- Shin, M., & Lee, Y. (2011). The Effects of RSM-Based Astronomical Observation Program on Astronomical Spatial Concept and Self-Directed Learning for the Scientific Gifted Students. *Journal of Gifted/Talented Education*, 21(4), 993-1009.
- Shin, M., & Lee, Y. (2011). The Effect of PBL-based Astronomical Observation Program on Science Process Skills and Scientific Attitudes in Elementary Science-Gifted Students. *Journal of the Korean society of earth science education*, 4(1), 20-31.
- Seong, Y., Maeng, S., & Jang, S. (2013). A Learning Progression for Water Cycle from Fourth to Sixth Graders with Ordered Multiple-Choice Items. *Journal of Korean elementary science education*, 32(2), 139-158.
- Seo, C. (2002). Development of a Test for the Level of Astronomical Space Concepts. Master thesis, Department of Earth Science Graduate School, Kong Ju, National University.
- Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art & practice of the learning organization*, New York: Crown Business.
- Senge, P. M. (2012). *Schools that learn (Updated and Revised): A fifth discipline fieldbook for educators, parents, and everyone who cares about education*, New York: Double day.
- Smith, W. S., & Schroeder, C. K. (1979). Instruction of Fourth Grade Girls and Boy son Spatial Visualization. *Science Education*, 63(1), 61-66.
- Tandi. C. M., & Smith, P. (1998). *Spatial Ability: A Handbook for Teachers*, National Foundation for Educational Research, National Foundation for Educational Research, The Mere, Upton Park, Slough, Berkshire SL1 2DQ. National Foundation for Educational Research 1998 Registered Charity No. 313392.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial orientation skill and mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(3), 216-229.
- Testa, I., & Galano, S. (2015). Development and validation of a learning progression for change of seasons, solar and lunar eclipses, and moon phases. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 11.
- Tracy, D. M. (1990). Toy-Playing Behavior, Sex-Role Orientation, Spatial Ability, and Science Achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(6), 637-649.
- Yoon, M. & 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).

Yoon, M. B. (2011). Investigating the Effects of Teaching Based on an Analysis of High School Students' Knowledge State of Concepts Associated with Astronomical Observation. *Journal of Korean Earth Science Society*,

32(7), 902-912.

Yun, K. (1991). A Study on the development of the child's(Five to eleven year-old)conception of space. Master Thesis, Elementary Education, Major The Graduate School of Education, Ewha Womans University.