

## 최근 천문학 연구 키워드와 천체 분야 교육과정 내용 요소 비교 분석

신현정<sup>1</sup>, 권우진<sup>1\*</sup>, 가석현<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>서울대학교, <sup>2</sup>국립대만사범대학

### A Comparative Analysis of Keywords in Astronomical Journals and Concepts in Secondary School Astronomy Curriculum

Hyeonjeong Shin<sup>1</sup>, Woojin Kwon<sup>1\*</sup>, Seok-Hyun Ga<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Seoul National University, <sup>2</sup>National Taiwan Normal University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 14 March 2022  
Received in revised form  
12 April 2022  
9 May 2022  
Accepted 10 May 2022

##### Keywords:

Astronomy education,  
Astronomy curriculum, 2015  
revised national curriculum,  
Astronomical research keywords

#### ABSTRACT

In recent years, astronomy has been snowballing: including Higgs particle discovery, black hole imaging, extraterrestrial exploration, and deep space observation. Students are also largely interested in astronomy. The purpose of this study is to discover what needs to be improved in the current astronomy curriculum in light of recent scientists' researches and discoveries. We collected keywords from all papers published from 2011 to 2020 in four selected journals-ApJ, ApJL, A&A, and MNRAS- by R package to examine research trends. The curriculum contents were extracted by synthesizing the in-service teachers' coding results in the 2015 revised curriculum document of six subjects (Science, Integrated Science, Earth Science I, Earth Science II, Physics II, Convergence Science). The research results are as follows: first, keywords that appear steadily in astronomy are 'galaxies: formation, galaxy: active, star: formation, accretion, method: numerical.' Second, astronomy curriculum includes all areas except the 'High Energy Astrophysical Phenomena' area within the common science curriculum learned by all students. Third, it is necessary to review the placement of content elements by subject and grade and to consider introducing new concepts based on astronomy research keywords. This is an exploratory study to compare curriculum and the field of scientific research that forms the basis of the subject. We expect to provide implications for a future revision of the astronomy curriculum as a primary ground investigation.

## 1. 서론

인류는 언제부터 밤하늘을 관찰하기 시작했을까? 벽화로 남겨진 것만 보면, 적어도 15,000년 전 프랑스의 라스코 동굴 벽화를 그린 구석기인들과 10,000년 전 터키의 괴베클리 테페(Göbekli Tepe)에 석조 건축물을 지은 신석기인들과 7,000년 전 차탈회위크(Catalhöyük) 도시를 건설한 고대인들은 황도대의 개념을 알고 있음이 분명하다(Sweatman & Coombs, 2019). 오히려 연구자들은 그동안 우리가 고대인들의 천문학적 지식을 심각하게 과소평가해왔으며, 더 오래된 동굴벽화에서도 천문 현상 관측의 흔적을 발견할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

천문학은 인류의 탄생과 함께 시작했다고 해도 과언이 아닐 정도로 오래된 학문인(Türk & Kalkan, 2015) 동시에 빠르게 발전하고 있는 최첨단 과학 분야 중 하나이다(Bailey, Prather, & Slater, 2004). 천문학적 발견에 대한 일반 시민들의 흥미와 관심이 높아서 수학, 물리, 화학 등 일반 과학 분야에 비해 언론 보도 비중도 더 높은 편이다. 최근 20년간 노벨물리학상<sup>1)</sup> 수상 목록을 살펴보면 지난 수십 년간 이뤄졌던 천문학 분야의 거대 연구 프로젝트들의 성과들이 그 중요성을 인정받고 있을 뿐 아니라 천문학 분야 자체가 빠르게 성장하고

있음을 확인할 수 있다(Table 1). 2001년부터 2010년까지 10년 사이 천문학과 직접적으로 관련된 주제로 노벨물리학상을 수상한 사례는, 우주 중성미자 검출 및 우주 X선원 발견에 대한 공헌(2002년), 우주 마이크로파 배경복사의 흑체복사 형태와 이방성 연구(2006년)로 두 번에 불과했다. 그러나 2011년부터는 초신성 관찰을 통한 우주의 가속팽창 발견에 대한 수상을 시작으로 우주 초기 힉스 보손 존재 예측(2013년), 중성미자 진동 발견(2015년), 중력과 관측(2017년), 물리적 우주론에 대한 이론적 발견 및 외계행성 발견(2019년), 일반 상대성 이론의 블랙홀 예측 발견 및 은하 중심 초거대질량체 발견(2020년)까지 여섯 번이나 천문학이 차지했다.

최근 천문학 연구 중 대부분은 시공간을 초월한 국제 협력과 많은 예산이 요구되는 거대 프로젝트로 이뤄지며, 최첨단 기술에 기반한 초연결 사회의 전형을 보여주고 있다(Salimpour *et al.*, 2021). 예를 들어, 2013년 수상 내용은 기본 입자들의 질량을 부여하는 힉스 보손 개념으로 우주 탄생(Big Bang) 극초기에 일어난 메커니즘을 설명하는 이론이다. 1964년 영국의 이론 물리학자 피터 힉스(Higgs, 1964)를 포함해 여러 과학자에 의해 예견되었지만(Englert & Brout, 1964; Guralnik, Hagen, & Kibble, 1964; Guralnik, 2009), 수십년 간 예측 이론에 머물렀다가 프랑스와 스위스 국경에 건설된 대형 강입자가속

\* 교신저자 : 권우진 (wkwon@snu.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2022.42.2.289>

1) 특정 위원회가 선정하고 수여하는 상으로 지역 및 국가 편중, 주제 편향, 선발 과정 등에 대한 비판이 많으나, 전 세계 과학자와 언론들이 주목하는 상 중의 하나이고, 과학 분야 상중에서는 대중의 인지도가 가장 높으며, 교육 자료로도 많이 활용되고 있으므로 노벨상 수상 목록은 주요 과학적 발견을 확인하는 지표가 될 만하다.

Table 1. List of the Nobel prize related to astronomy in physics during 2011~2020

Year	Laureates	Rationale <sup>2)</sup>
2011	Saul Perlmutter Brian P. Schmidt Adam G. Riess	“for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae”
2013	François Englert Peter Higgs	“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN’s Large Hadron Collider”
2015	Takaaki Kajita Arthur B. McDonald	“for the discovery of neutrino oscillations, which shows that neutrinos have mass”
2017	Rainer Weiss Kip Thorne Barry Barish	“for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves”
2019	James Peebles	“for theoretical discoveries in physical cosmology”
	Michel Mayor Didier Queloz	“for the discovery of an exoplanet orbiting a solar-type star”
2020	Roger Penrose	“for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity”
	Reinhard Genzel Andrea Ghez	“for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy”

기(LHC, Large Hadron Collider) 실험을 통해 2013년에 힉스 보손의 존재가 확인되면서<sup>3)</sup> 노벨상 수상으로 이어졌다. LHC의 경우 수십 년 동안 여러 나라에서 8조원 이상 지원받아 운영하고 있는 시설이다. 마찬가지로 2019년 상반기에 M87 은하 중심에 자리한 거대질량 블랙홀을 촬영하여 ‘블랙홀 이미지’를 발표하며 전세계인의 이목을 집중 시킨 ‘EHT (Event Horizon Telescope) 프로젝트<sup>4)</sup>’ 역시 전 세계 36개 기관이 참여해 2006년부터 진행된 거대 연구 프로젝트이다(Akiyama *et al.*, 2019). 단순하게는 지상에 대형 망원경을 설치하거나 관측용 우주망원경 하나를 로켓으로 쏘아 궤도에 올려놓는 것조차도 많은 인력과 자원이 요구되는 일이다.

이처럼 정부와 기업 차원에서 우주 개발을 추진하고 천문학 연구를 지원하는 것은, 천문학이 단지 우주에 대한 우리의 이해를 확장시키고 존재와 세계의 근원을 밝히는 것에(Kim, *et al.*, 2016) 그치는 것이 아니라 동역학, 광학, 컴퓨팅, 수학, 분석 화학 등 유관 학문의 발전을 견인하는 동력으로 작용해(Türk & Kalkan, 2015; Salimpour *et al.*, 2021) 사회 전반에 걸친 과학기술 발전에 기여할 수 있기 때문이다. 가령 LHC 실험의 경우 가동 시 각 관측소(ATLAS, CMS, LHCb 등)마다 초당 기가바이트(GB)의 데이터를 생산하는데(CERN, 2017, p.55) 이 과정에서 빅데이터를 처리할 수 있는 컴퓨팅 기술의 발전이 함께 일어날 수밖에 없으며, EHT 프로젝트 역시 컴퓨터 그래픽 처리 알고리즘 개발 연구와 함께 이뤄졌다.

학생들은 일상에서 언론 보도 등을 통해 블랙홀 이미지부터 누리호 발사, 우주여행 상품 등장, 화성 탐사 및 유인 달탐사선 발사 계획 등 천문학에 관련된 다양한 주제를 접하고 있다. 생활에서 자주 접하는 주제에 대한 관심은 과학 교육에 대한 요구로 이어져, Park, *et al.* (2016)의 연구에 따르면, 우리나라 9~10학년 학생들이 과학 수업

에서 배우고 싶어 하는 내용 중 65.9%가 현대과학에 해당하고, 이 중 천문학 분야와 관련된 주제로는 핵/힉스입자, 블랙홀 원리, 달의 뒷면 관찰, 우주팽창, 인공위성 발사 등이 있었다. 지구과학 I, II 내용 중 고등학생들의 흥미가 가장 높은 단원 역시 우주 단원이다(Lee, Kim, & Kwak, 2007; Kim, 2021). 따라서 현재 과학 교육과정에 포함된 내용 요소들이 현대 사회에서 이뤄지고 있는 천문학의 발전을 이해하고 참여할 수 있는 과학적 소양을 키워주기에 적절한, 즉 학생들의 관심과 흥미, 요구나 경험을 충족시킬 수 있는 내용으로 구성되어 있는지 검토할 필요가 있다.

과학 교육의 목표 중 하나는 과학기술 사회를 살아갈 미래 시민들이 ‘과학적 소양(scientific literacy)’을 갖추도록 하는 것이다(van Eijck, 2010; Park, 2016). 2015 개정 교육과정에서는 과학 교과 성격에 “모든 학생이 과학의 개념을 이해하고 과학적 탐구 능력과 태도를 함양하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르기 위한 교과”로 규정하고 있다(MOE, 2015). 마찬가지로 ‘미래세대를 위한 과학교육표준(Korean Science Education Standards, KSES)’에서도 과학 교육의 목표를 학생을 포함한 모든 시민이 갖추어야 할 과학적 소양으로 두고, “과학 관련 역량과 지식을 지니고 개인과 사회의 문제해결에 민주시민으로서 참여하고 실천하는 태도와 능력”을 과학적 소양으로 정의하고 있다(Song *et al.*, 2019). 즉 과학적 소양은 과학적 탐구 역량과 개념이나 지식에 대한 이해를 기본 토대로 하고 있다고 볼 수 있다(Tytler, 2007, pp. 41-43; Durant, 1993).

van Eijck (2010)은 지식과 과학적 소양의 관계에 주목하며 과학 지식을 ‘집합적 인간 활동에서의 창발적 특성(emergent feature of collective human activity)’으로서 접근할 것을 강조한다. 과학 지식을 단지 ‘인지적 목표’로 접근한 경우 어떻게 그 지식을 알게 되었는가에 대한 실제적인 탐구 수행에 대한 이해를 얻을 수 없고, ‘(과학자) 개인이 구성한 지식’으로서 접근하는 것은 과학자, 동료, 기구, 물질들, 그 외 동맹들이 연결되며 사실이 제조되는 과정으로서의 과학(Latour, 1999; Callon, 2001), 즉 과학의 본성인 복잡성과 역동성을 제대로 이해할 수 없기 때문이다. 지난 20년 동안 급속히 성장한 천문학은

2) 노벨상 공식 홈페이지에서 연도별 수상 내용 및 수상자의 연설, 기타 교육 자료들을 찾아볼 수 있다. Retrieved Nov. 10. 2021 from <https://www.nobelprize.org/>  
 3) Heilprin, J. (2013, March 14). Now confident: CERN physicists say new particle is Higgs boson (Update 3). PhysOrg. Retrieved from <https://phys.org/news/2013-03-confident-cern-physicists-higgs-boson.html>  
 4) Official webpage. Retrieved Nov. 10. 2021 from <https://eventhorizontelescope.org/>

현대 사회에서 과학 지식이 역동적으로, 즉 ‘집합적 인간 활동 (Collective human activity)’의 우연과 필연을 엮어 창발적으로 구성되는 특성의 전형을 보여주고 있다. 예를 들어, 태양계 탐사선 ‘뉴호라이즌스’는 프로젝트를 시작한 지 26년 만인 2015년 명왕성에 근접해 수 시간 동안 셀 수 없이 많은 사진을 찍었다.<sup>5)</sup> 여기에는 천문학자는 물론 기계공학자, 컴퓨터과학자 등 과학 기술계 종사자들뿐 아니라 예산을 배정하는 국회의원, NASA의 행정가들, 과학교사들, 로켓 발사지에 진을 치고 있거나 온라인 생중계를 지켜보는 많은 시민이 참여했고, 동시에 통신 성공, 장비 이상, 경보음, 시간 지연, 플랫폼, 행사장 등 비인간들의 행위 하나하나에 울고 웃었다(Sterm & Grinspoon, 2018). 학생들은 학교에서 명왕성의 하트 무늬 사진으로 밸런타인데이 엽서를 만들면서 ‘태양계의 형성-행성의 조건-우주 탐사’를 교과서에만 있는 지식이 아니라 “이미 내가 어떤 식으로든 참여하고 있는 사회 속에서 내 옆에 생생하게 살아있는 과학을 마주하고 있다는 감각을 일깨울 수 있는 것”이다(van Eijck, 2010).

여러 나라의 과학과 교육과정 문서를 분석해보면 과학의 ‘핵심 개념’이 과학적 역량과 소양을 습득하기 위해 가장 기본적인 틀, 사회를 이해하기 위한 본질적인 개념, 삶의 경험을 이해하고 문제를 해결하기 위한 도구 등의 여러 의미를 가지고 교육과정을 구조화하는 중요한 역할을 하고 있는 것으로 나타난다(Kim & Chung, 2017). Vesterinen, Toppanen & Aksela (2016)의 연구에서는 학생들에게 과학기술에 대한 전문적인 지식이 문제를 이해하는 방법뿐 아니라 해결책을 만들어 내는 도구로서 활용되고 이에 기반한 행동(informed action)으로 연결될 수 있으므로 결국 과학 지식에 대한 이해가 시민의식 교육에서도 중요한 역할을 하고 있다고 주장한다.

과학 교육과정 개발에 있어서 가장 기본적인 뼈대를 이루는 것은 ‘어떤 개념이 어떤 학교급과 과목에 포함되는가’이다. 따라서 지금까지 과목별은 물론 하위 세부 분야별 교육과정 분석에 대해 지속적인 논의가 이뤄져 온 것이다(e.g. Choi & Kwon, 2011; Lee & Lee, 2016; Choi, Ko, & Lee, 2019; Yoon & Nam, 2020; Kwak & Shin 2021; Park, Park, & Kim, 2021). 더군다나 향후 고교학점제가 본격적으로 시행되면서 다양한 선택과목 개발의 기초 연구로서 분야별 교육과정에 대한 관심이 높아지는 추세이다(Kim, 2019; Kim & Kwak, 2020; Lee, et al., 2020). 천문학 분야의 경우 초등학교 교육과정 내용 분석 연구(Lim & Jeong, 1993; Choi & Kwon, 2011; Lee, 2020)와 고등학

교 지구과학 과목의 우주 단위 개념 구성을 살펴볼 수 있는 연구(Kim & Yoo, 1997; Kim, 2021), STS적 과학적 소양에 초점을 맞춰 3~10학년 과학에서 천문학이 포함된 지구과학 영역을 살펴본 연구(Jo & Jeong, 2016) 등이 있으나 7학년부터 12학년까지 천문학 교육과정 내용 요소를 과목별로 분석한 연구는 찾아보기 어렵다. Salimpour et al.(2021)은 국외에서도 천문학에 초점을 맞춘 전체 교육과정 분석 연구를 찾기 어려웠다고 보고한 바 있다.

본 연구의 목적은 최근 10년간 천문학 연구 저널에 나타난 주요 키워드와 2015개정 교육과정의 천문학 분야 내용 구성을 비교 분석하는 것이다. 이를 통해 2015개정 교육과정에 포함되지 않았으나 중요하다고 평가받고 있는 천문학 개념들을 발견하고, 각각의 교육적 의미를 탐색하여 현재 개발 중인 차기 교육과정에 시사점을 제시할 수 있을 것으로 기대한다. 본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

- 첫째, 최근 10년간 천문학 주요 저널 키워드 변화의 특징은 무엇인가?
- 둘째, 2015개정 중·고등학교 과학교육과정에서 천문학 내용 요소는 어떻게 구성되어 있는가?
- 셋째, 천문학 내용 영역별로 교육과정 반영도는 어떤 특징이 있는가?

## II. 연구 방법

### 1. 천문학 분야 내용 영역 분석틀 생성

천문학은 빅뱅 이후 초기 우주의 특성에서부터 지구 주위의 태양과 태양계 행성의 특징까지 아우르는 방대한 시공간 범위를 다루는 학문이다. 다양한 세부 연구 분야들로 나뉘질 수밖에 없는데, 교육과정, 학회, 학술지, 연구기관, 연구프로젝트마다 조금씩 다르게 영역을 설정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 최근 천문학 연구 성과와 과학 교육과정을 비교하고자 하는 연구 목적에 따라 우선 기존의 천문학 세부 영역 분류체계를 토대로 교육과정의 내용 요소와 저널의 키워드에 공통으로 적용할 수 있도록 기본 분석틀을 개발하였다.

교육과정에서 천문학 내용 영역 구분을 살펴보기 위해 2015 개정 교육과정의 내용 체계표에 있는 ‘영역’, ‘핵심개념’, ‘일반화된 지식’ 중 천문학에 해당하는 부분을 Table 2와 같이 정리하였다. 과학, 지구과학I, 지구과학II 과목의 경우 ‘우주’ 영역의 내용체계를 공유하고 있으나 그 외 과목들은 각 과목의 성격에 따라 다양하게 구분되어 있다.

Table 2. The content system about astronomy in national curriculum (MOE, 2015)

Subject	Area	Core Concepts	Generalized Knowledge
과학 지구과학 I 지구과학 II	우주	태양계의 구성과 운동	태양계는 태양, 행성, 위성 등 다양한 천체로 구성되어 있다. 태양계 천체들의 운동으로 인해 다양한 현상이 나타난다.
		별의 특성과 진화	우주에는 수많은 별이 존재하며, 표면 온도, 밝기 등과 같은 물리량에 따라 분류된다. 별의 질량에 따라 내부 구조 및 진화 경로가 달라진다.
		우주의 구조와 진화	우리는하는 별, 성간 물질 등으로 구성된다. 우주는 다양한 은하로 구성되며 팽창하고 있다.
통합과학	물질과 규칙성	물질의 규칙성과 결합	지구 구성 물질의 원소는 빅뱅과 별의 진화 과정을 통해 만들어졌으며, 원자에서 방출되는 전자기파를 활용하여 자연 현상에 대한 다양한 정보를 수집한다.
	환경과 에너지	발전과 신재생 에너지	화석연료를 대체하기 위하여 다양한 신재생 에너지를 개발하고 있다.

5) Talber, T (2015, Jul 15). New Horizons Spacecraft Displays Pluto's Big Heart. NASA. Retrieved from <https://www.nasa.gov/feature/new-horizons-spacecraft-displays-pluto-s-big-heart-0>

Subject	Area	Core Concepts	Generalized Knowledge
물리 II	힘과 운동	시공간과 운동	시공간의 측정은 상대성이 있다.
		우주의 기원	우주의 기원을 설명할 수 있다.
		빅뱅과 기본 입자	빅뱅에 의해 기본 입자가 순차적으로 생성되었다.
		원자의 형성	빅뱅 초반에 기본 입자로부터 수소와 헬륨이 생성되었다.
		별과 은하	별의 진화를 통해 수소, 헬륨보다 무거운 원자가 생성되었고, 원자의 공유 결합으로 다양한 성간 화합물이 생성되었다.
		태양계의 형성	태양계의 형성 과정을 이해하고 이를 지구형 행성과 목성형 행성으로 구분할 수 있다.
		태양계의 역학	태양계는 다양한 역학 시스템의 조화로 유지되고 있다.
융합과학	우주의 기원과 진화	행성의 대기	행성의 물리적 특성에 따라 행성의 대기가 달라진다.

Table 3. Comparative analysis on categories within astronomy

Korean School Curriculum	Society		Archive	Observatory		Final
	KAS	IAU	arXiv@	ALMA	JSWT	
태양계의 구성과 운동 별의 특성과 진화 우주의 구조와 진화 물질의 규칙성과 결합 시공간과 운동 우주의 기원 빅뱅과 기본 입자 원자의 형성 별과 은하 태양계의 형성 태양계의 역학 행성의 대기	태양우주환경 행성계과학 광학천문 우주전파 천문관측기기	Facilities, Technologies and Data Science High Energy Phenomena and Fundamental Physics Sun and Heliosphere Planetary Systems and Astrobiology Stars and Stellar Physics Interstellar Matter and Local Universe Galaxies and Cosmology	Solar and Stellar Astrophysics Earth and Planetary Astrophysics Cosmology and Nongalactic Astrophysics Instrumentation and Methods for Astrophysics Astrophysics of Galaxies High Energy Astrophysical Phenomena	Circumstellar disks, exoplanets and the solar system Stellar evolution and the Sun ISM, star formation and astrochemistry Galaxies and galactic nuclei Cosmology and the high redshift universe	Stellar Populations and the ISM Stellar Physics and Stellar Types Solar System Large-Scale Structure of the Universe Galaxies and the IGM Exoplanets and Exoplanet Formation Supermassive Black Holes and Active Galaxies	Sun and Solar Activity Earth and Planetary System Stars and Stellar Evolution Interstellar Matter and Local Universe Galaxies and Cosmology High Energy Astrophysical Phenomena Technologies and Data Science for Astronomy

천문학계에서는 총 5가지 사례를 종합했다. 우선 학회로는 ‘한국천문학회(The Korean Astronomical Society, KAS)’의 분과 구분과 ‘국제천문연맹(International Astronomical Union, IAU)’의 Science-Division 구분을 살펴보았다. 한국천문학회의 분과 구분은 ‘광학천문’과 같이 내용을 기준으로 한 것과 ‘젊은 천문학자 모임’과 같이 학자 유형별 분류가 혼재되어 있어서 이 중 내용 분과인 5개 분과-광학천문, 우주전파, 태양우주환경, 행성계과학, 천문관측기기-만 참고하였다. IAU의 경우 Science 부문은 총 9개 분과로 구성되어 있는데, 이 중 ‘기초천문학(Fundamental Astronomy)’의 경우 천문연구의 기준이 되는 측정단위나 기본 상수의 정확도를 높이고 용어를 정비하는 성격을 띠며, ‘천문 교육 및 대중화 분과(Education, Outreach and Heritage)’는 다양한 천문 활동 및 사업을 다루는 분과로 천문학의 내용 영역과 거리가 멀기 때문에 제외하고, 직접 관련된 분과인 7개만 채택하였다. 다음으로 천문학자들이 많이 활용하는 아카이브 플랫폼인 ‘arXiv.org’ (Cornell University 운영)에서 ‘Astrophysics’의 하위 영역 5가지를 살펴보았다. 마지막으로 대형 관측 프로젝트인 ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array)와 JWST (James Webb Space Telescope)의 관측제안서 분류 기준을 참고하였다.

그러나 최근 대부분의 과학계와 마찬가지로 천문학에서도 융합연구가 활발하게 진행되고 있으며, IAU에서도 A~J 코드를 부여한 기존의 분과로 분류되기 어려운 주제들의 경우 GHJ, BHJ 등 세 개 영역을 합쳐 제시하는 등 다양한 융합을 장려하고 있다. 또한, 하나의 관측 대상에서도 다양한 영역으로 접근하여 연구할 수 있으며, 새로

운 관측 도구나 방법의 등장에 따라 유연하게 수정될 수 있어 이들 분류 기준이 절대적인 것은 결코 아니나 전체적인 내용을 체계적으로 검토하는 데 유용하기 때문에 분류 기준을 토대로 분석틀을 개발한 것이다. 천문학계에서 활용되고 있는 내용 분류 기준을 1차 검토한 결과 교육과정 내용 체계표의 영역보다는 핵심 개념과 비교하는 것이 타당하다고 판단하였고, 지금까지 검토한 모든 내용 영역 분류 기준을 Table 3으로 종합한 후 연구진 협의를 거쳐 최종적으로 7개의 내용 영역 구분을 도출하였다. 각 영역의 범위를 요약하면 다음과 같다.

- Sun and Solar Activity (태양과 태양 활동): 태양의 특징과 태양 활동으로 일어나는 현상
- Earth and Planetary System (지구와 행성계): 행성의 특징, 위성, 행성 탐사
- Stars and Stellar Evolution (별과 별의 진화): 별의 특징, 별의 진화 과정
- Interstellar Matter and Local Universe (성간 물질과 우리은하): 우리 은하, 성간 물질, 원시성의 탄생
- Galaxies and Cosmology (외부은하와 우주론): 외부은하, 우주의 구조, 우주론
- High Energy Astrophysical Phenomena (고에너지 천체 현상): 초거대블랙홀, 감마선 폭발
- Technologies and Data Science for Astronomy (기술 및 데이터 분석): 관측기술, 데이터 분석, 천문학 연구 방법

Table 4. The features of named journals in Astronomy

Name	abbrev.	IF*	History	description
The Astrophysical Journal	ApJ	5.87	1895~	US. main journal of AAS
The Astrophysical Journal Letters	ApJL	7.41	1967~	US. rapid publication on high-impact research
Astronomy & Astrophysics	A&A	5.80	1884~	EU. five journals merged in 1969
Monthly Notice of the Royal Astronomical Society	MNRAS	5.29	1827~	UK. no charge for publication

\* 2020 JIF value

Table 5. The numbers of crawled articles in each journal for ten years

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
ApJ	2505	3106	2929	2844	3045	3037	3108	3008	(3192)	(3052)	29,826
ApJL	758	681	667	680	628	587	556	584	(643)	(735)	6,519
A&A	1838	1929	1764	1760	1807	1860	1812	1917	1896	2132	18,715
MNRAS	2228	2438	2690	2545	2898	3047	3366	3614	3802	3757	30,385

## 2. 최근 천문학 연구 키워드 수집 및 분석

최근 천문학계에서 활발하게 연구되고 있는 주제를 파악하기 위해, 천문학 분야 주요 저널 중 발행국가와 저널별 특성을 고려하여 4개의 학술지를 선정하였다(Table 4). The Astrophysical Journal (ApJ)은 ‘미국 천문학회(American Astronomical Society, AAS)’에서 발행하는 대표 저널이며, 같은 기관에서 The Astrophysical Journal Letters (ApJL)도 발행하는데, Letters는 보다 최신의, 영향력 있는 연구 성과들을 빠르게 출판하는 것에 초점을 두고 있으며, 발행 편수가 ApJ의 1/4 정도다. Astronomy & Astrophysics (A&A)는 유럽 연합의 27개국 이 참여하는 ‘European Southern Observatory’에서 매월 발간하고 있는 저널로 1969년부터 발행되었으나, 원래 프랑스, 네덜란드, 독일에서 발행되고 있던 5개의 저널이 합쳐진 것으로 이 중 가장 오래된 저널은 1884년부터 발행된 프랑스의 ‘Bulletin Astronomique’다. Monthly Notice of the Royal Astronomical Society (MNRAS)는 영국에서 발행되는 저널로 Monthly라는 명칭과 달리 현재는 연간 9회 발행되고 있다. 다른 저널에 비해 다양한 분야의 융복합 연구들까지 폭넓은 범위의 연구 성과들이 게재되고, 투고료가 무료라는 특징이 있어서인지 연구 키워드와 분포가 상대적으로 다양하게 나타났다. 이상의 4개 저널은 모두 천문학 분야에서 인용 지수(IF) 상위 25% 내에 드는 국제 저널이자 근대 천문학의 역사가 오래되고 국제 천문학계에서 큰 비중을 차지하고 있는 지역인 미국, 영국, EU를 대표하고, 특정 주제에 국한되어 있지 않은 저널이기에 본 연구의 분석 대상으로 선정했다.

ApJ, ApJL, MNRAS, A&A를 대상으로 2011년~2020년에 게재된 논문 전체에 대해 키워드의 출현 빈도를 분석하였다. 원자료는 SCOPUS(<https://www.scopus.com>)에 등재된 데이터베이스가 사용되었고, 분석은 Microsoft R Open 4.0.2와 계량서지학을 위한 R 패키지인 bibliometrix 3.0을 이용하였다. SCOPUS의 데이터베이스는 회당 최대 3,000개의 서지 항목에 대해서만 ‘내보내기’가 가능하므로, 학술지의 게재 편수에 따라 연도별 또는 반기별로 추출한 후, 후처리를 통해 데이터를 통합하였다. 분석에 사용된 논문의 수는 Table 5와 같다.

1차 분석에서는 연구 대상인 4개 저널에 2011년~2020년 기간 동안 출판된 논문(journal article)에 표기된 키워드의 등장 빈도를 연도별로 합산하여 내림차순으로 나열한 후 연도별로 20위까지의 키워드를 모두 추출하였다. 즉, 10년 동안 한 번이라도 빈도순으로 20위 안에 든 키워드는 모두 추출한 것이다. 순위를 기반으로 인덱스값을 산출하여 연도별 변화 추이를 비교하였다. 중복 키워드를 제거하고 정리한 총 69개의 키워드를 ‘천문학 내용 영역 분석틀’의 7개 영역으로 재배치하여 교육과정 내용 요소와 비교하였다.

2차 분석에서는 전체 키워드 중에서 해당 키워드의 비중을 계산하여 4% 이상인 키워드만 추출하고, 2011년부터 2020년까지 비중 변화 경향을 살펴보았다. 다만 ApJ, ApJL의 경우 2019년 하반기에 키워드 체계가 개정되면서<sup>6)</sup> 2019년과 2020년에는 비중이 4%보다 큰 키워드가 나타나지 않았기 때문에 2011년부터 2018년까지의 변화 경향만을 나타냈다. 전체 경향 분석에서 제외된 2019년과 2020년은 개정 이후 다양해지고 새롭게 주목받는 키워드가 대거 등장하였기에 상위 10개 키워드를 표로 정리하여 정성적인 경향 분석에 참고하였다.

2차 분석 결과로서 해당 기간 키워드 비중 변화를 시각화하기 위해 비율 값을 상자 수염 도표(box-and-whisker plot)로 표현하였다. 해당 도표에는 제 1사분위 값( $Q_1$ )과 제 3사분위 값( $Q_3$ )을 밑변으로 하는 상자 안에 제 2사분위 값( $Q_2$ )에 해당되는 직선이 그려져 있다. 연도별 값과  $Q_3$ ,  $Q_1$ 과의 차이를 각각 모두 구하고,  $Q_3$ 과의 차이가 사분위 수 범위(IQR, interquartile range,  $Q_3-Q_1$ )의 1.5배 이내인 값 중의 최댓값과  $Q_1$ 과의 차이가 사분위 수 범위(IQR)의 1.5배 이내인 값 중의 최솟값을 점선 형태의 수염(--)으로 연결한다.  $Q_3$ 과의 차이가 1.5IQR 보다 큰 값이나  $Q_1$ 과의 차이가 1.5IQR 보다 작은 값은 점(○)으로 표기하였다. 또한, 변화의 추세를 파악하기 위해, 연도별 등장 비중

6) AAS Publishing. (8 May 2019). AAS Journals Started Using New Keywords on June 3rd.. 개정의 방향은 천문학계에서 표준화되고 있는 주제 키워드 시스템인 UAT(Unified Astronomy Thesaurus)를 도입하는 것으로써, 그 결과 이전 키워드 체계보다 좀 더 다양하고 광범위해졌다. 가령 이전 키워드에 ‘galaxies: active’만 있었다면, 개정된 키워드 목록에서는 ‘active galaxies’, ‘active galactic nuclei’ 등을 찾아볼 수 있고, 블랙홀과 관련된 키워드 역시 ‘black holes’, ‘supermassive black holes’, ‘astrophysical black holes’, ‘black hole physics’ 등 다양하다. Retrieved Feb. 21, 2022. from <https://journals.aas.org/news/aas-journals-uat/>

Table 6. An analysis example of middle school sciences in astronomy areas.

Ch	Achievement standards	R*	T1	T3	T5	T6	Final concepts
(23) 별과 우주	[9과23-02**]우리는하의 모양, 크기, 구성 천체를 설명할 수 있다.	우리는하, 막대나선은하, 크기, 파색, 광년, 성단, 성운	헤일로, 나선팔, 우리는하의 모양, 크기, 은하수, 산개성단, 구상성단, 성운, 방출성운, 반사성운, 암흑성운, 성간물질	우리는하, 구상성단, 산개성단, 반사성운, 암흑성운, 방출성운	정상나선 은하, 막대 나선은하, 불규칙 은하, 타원은하, 성간물질	우리는하, 크기, 성단, 성운, 별	우리는하, 막대나선은하, 우리는하의 크기, 성단, 성운, 성간물질
	[9과23-03]우주가 팽창하고 있음을 모형으로 설명할 수 있다. [해설] 우주팽창과 관련된 심화된 내용(적색 편이, 허블 법칙, 가속 팽창 등)은 다루지 않는다.	우주팽창	우주팽창, 우주팽창 모형	우주팽창, 은하, 우주 나이	우주팽창, 허블법칙	우주팽창	우주팽창, 우주 나이

변화에 대해 양측 T-검정을 실시하고 Pearson 상관계수(R<sup>7</sup>)를 구한 후, 이를 각 상자의 색으로 표현하였다. 양적 상관(R=1)을 붉은색으로, 부적 상관(R=-1)은 파란색, 비중 변화가 거의 없는 경우(R=0)는 흰색으로 나타냈으며, 그 사잇값은 그라데이션으로 시각화하였다. 이 도표만으로 연도별 키워드 비중 변화값을 정확히 아는 데는 한계가 있으나 조사 기간 비중 변화 추세와 변화량을 한눈에 읽어낼 수 있을 것으로 기대한다. 다만 독자들의 이해를 돕고자 연도별로 극적인 변화를 보여 결과 해석에 인용된 연도별 변화 경향 분석 데이터의 일부를 부록으로 제시하였다(Appendix 1).

### 3. 교육과정 자료수집 및 분석

연구 목적에 따라 ‘국가교육과정 정보센터(NCIC)’에 탑재된 2015 개정 교육과정 문서를 토대로 중등등학교급의 공통과목, 선택과목 전체를 대상으로 천체 영역 단원을 선정하였다. 먼저 중학교 ‘과학’ 과목에서는 ‘우주’ 영역에 해당하는 ‘(10) 태양계’, ‘(23) 별과 우주’ 단원이 있다. 고등학교 ‘통합과학’에는 ‘물질의 규칙성’ 영역에 있는 ‘물질의 규칙성과 결합’ 단원의 일부(우주 초기의 원소(생성), 태양계에서의 원소 생성)가 천체 분야에 해당한다. ‘지구과학I’에서는 ‘(5) 별과 외계행성계’, ‘(6) 외부은하와 우주팽창’이 있고, ‘지구과학II’에서는 ‘(6) 행성의 운동’, ‘(7) 우리는하와 우주의 구조’가 있다. ‘물리II’에서는 ‘(1) 역학적 상호 작용’에서 케플러 법칙, 중력렌즈 효과와 블랙홀 및 항성 질량을 다룬 부분이 있고, ‘융합과학’에서는 ‘(1) 우주의 기원과 진화’ 단원 전체와 ‘(2) 태양계와 지구’ 중 지구 시스템 전까지 약 절반 정도가 천체 분야에 해당한다.

2015 개정 교육과정에서는 전체 과목 내용을 ‘핵심개념’, ‘일반화된 지식’, ‘내용 요소’를 담은 내용체계표로 정리하고, 단원별로 ‘성취 기준’, ‘학습 요소’, 그리고 일부 성취기준에 대한 ‘성취기준 해설’을 제시하는데, 단원별 ‘학습 요소’는 내용체계표의 ‘내용 요소’와 같다. 분석 초기에는 과학 교육과정 문서에 부록으로 첨부된 ‘학교급별 내용 체계표’(MOE, 2015, 252-272)를 기본으로 하여 천문학 저널의 키워드에 대응한다고 판단된 ‘내용 요소’만을 대상으로 비교분석을 시도하였다. 그러나 교육과정의 ‘내용 요소’는 과목별로 수준과 차원

이 다르게 제시되어 있다는 문제점을 발견하였다. 예를 들어, 같은 과목인 중학교 과학 안에서도 ‘일식과 월식’같이 상당히 구체적인 개념으로 제시된 내용 요소가 있는 반면, ‘우리는하의 모양과 구성 천체’처럼 비교적 포괄적이고 추상적인, 즉 이를 이해하기 위해서 여러 가지 하위 개념들이 필요한 내용 요소가 함께 제시된 것이다. ‘핵심 개념’의 의미조차 ‘빅 아이디어’부터 ‘교과 내 기초 개념’, ‘영역, 주제, 소재 등의 기타 의미’, ‘중요한 것’, ‘지역적인 것’까지 다양한 의미와 성격을 가진 것으로 나타난다는 선행 연구의 결과를 확인할 수 있었다(Lee & Hong, 2017a). 따라서 내용 요소 수준의 균형을 맞추기 위해 ‘성취기준’과 ‘성취기준 해설’을 참고하여 내용 요소를 다시 추출하는 내용 분석(content analysis) 과정을 추가하였다.

내용 요소 선정의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 ‘다음의 성취기준을 달성하기 위해 필요하다고 생각하는 과학 개념을 성취기준 해설을 참고하여 모두 적어주세요’라는 안내에 따라 연구자와 현직 지구과학 교사 6명이 독립적으로 코딩을 수행하였다. 연구자를 포함하여 중학교 과학, 고등학교 통합과학과 지구과학I 코더는 5명, 지구과학II 코더는 4명, 융합과학 코더는 3명이었으며, 물리II의 경우 해당 성취기준이 두 개뿐이어서 연구자만 코딩하였다. 모든 과목의 코딩 결과는 회의를 통해 함께 검토하면서 종합하였으며, Table 6는 분석 과정에 대한 이해를 돕기 위한 예시로 중학교 과학 분석 결과의 일부를 나타낸 것이다.

최종 선정된 내용 요소들은 연구방법I에서 개발한 ‘천문학 분야 내용 영역 구분’ 분석틀에 따라 분류하였다. 분류 과정은 지구과학교육 석사학위가 있는 현직 교사 1인, 지구과학교육 전문가 1인, 천문학자 1인이 합의에 이를 때까지 반복적인 검토와 논의를 통해 이뤄졌다. 예를 들어, ‘암흑물질’은 초기에 ‘Interstellar Matter and Local Universe’로 분류했었지만, 반복 검토 과정에서 ‘지구과학I’에서는 ‘[12지과 I 06-03]우주의 대부분이 암흑 에너지와 암흑물질로 이루어져 있음을 설명할 수 있다.’라는 성취기준 맥락으로 제시되어 있어 우리는하와 성간 물질 영역보다는 ‘Galaxies and Cosmology’에 더 적합하다는 의견이 제시되었다. 반면 ‘지구과학II’에서는 ‘[12지과II 07-05]우리는하의 속도 곡선을 이용하여 우리는하의 질량과 빛을 내지 않는 물질이 존재함을 설명할 수 있다.’라는 맥락 속에서 제시되어 있어 기존 분류 영역이 타당하므로, 같은 개념이지만 과목에 따라 다른 영역에 분류하는 것으로 합의하였다. 비슷하게 ‘중력렌즈효과’의 경우에도 ‘지구과학I’에서는 우주에 암흑물질이 존재한다는 증거

$$7) \text{Correl}(X, Y) = R = \frac{\sum_i^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_i^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_i^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \text{ (Pearson 상관계수)}$$

이자 탐지 방법의 하나로 제시하고 있으므로 ‘Galaxies and Cosmology’ 영역으로 분류했고, ‘물리II’에서는 일반상대성이론의 증거로서 태양 중력에 의한 별빛의 휘어짐을 예시로 설명하고 있으므로 ‘Stars and Stellar Evolution’ 영역으로 분류되었다. ‘융합과학’의 ‘태양계 형성 과정’은 초기에 ‘Sun and Solar Activity’ 영역으로 보았으나 반복 검토를 통해 성간 물질인 성운의 회전에 의해 디스크가 생성되는 과정이므로 ‘Interstellar Matter and Local Universe’ 영역에 분류하는 것이 더 타당한 것으로 합의되었다.

#### IV. 연구 결과

연구 문제에 따라 먼저 최근 10년간 천문학 주요 저널 키워드 변화의 특징에 대한 정량적 분석 결과를 살펴보고, 주요 키워드 의 핵심 논문들 일부의 내용을 바탕으로 키워드별 의미와 변화 경향을 해석하

였다. 두 번째로 2015개정 중·고등학교 과학교육과정 중 천문학 내용 요소들을 추출하여 7개 범주로 구분하고, 과목별 내용 요소 분포의 특징을 설명하였다. 마지막으로 교육과정 내용 요소와 저널별 키워드를 종합한 Table 8을 영역별로 비교 분석하고 교육과정 반영도를 검토한 후 천문학 교육과정 구성에 대한 시사점을 논의하고자 한다.

#### 1. 천문학 주요 저널 키워드 변화 특징

우선 전체적으로 중요한 키워드를 파악하기 위해 2011년부터 2020년까지 10년 동안 주요 천문학 저널 4종에 게재된 논문에서 제시한 키워드를 빈도순으로 정리하였고, 이중 상위 10위까지의 키워드를 Table 7로 정리하였다. 모든 저널에서 공통으로 등장하는 키워드를 살펴보면, galaxies: evolution, galaxies: active, stars: formation, accretion, accretion disks, methods: numerical 등이다. 이 키워드들은

Table 7. The top 10 keywords most frequently shown in individual astronomy journals for the past ten years

ord.	ApJ		ApJL		A&A		MNRAS	
	Keyword	freq.	Keyword	freq.	Keyword	freq.	Keyword	freq.
1	galaxies: evolution	2075	galaxies: evolution	396	methods: numerical	1260	galaxies: evolution	3319
2	galaxies: active	1892	galaxies: active	304	methods: data analysis	1201	methods: numerical	3142
3	methods: numerical	1592	stars: neutron	274	stars: formation	1140	galaxies: active	2073
4	accretion	1423	galaxies: high-redshift	260	galaxies: active	1079	accretion	2016
5	accretion disks	1393	accretion	244	techniques: spectroscopic	997	accretion discs	1852
6	stars: formation	1329	accretion disks	236	galaxies: evolution	989	galaxies: formation	1809
7	magnetohydrodynamics (mhd)	1287	sun: corona	236	ism: molecules	970	large-scale structure of universe	1773
8	sun: corona	1222	methods: numerical	226	stars: abundances	916	cosmology: theory	1600
9	galaxies: high-redshift	1096	stars: formation	225	astrochemistry	742	methods: data analysis	1568
10	supernovae: general	1055	black hole physics	220	accretion	728	galaxies: kinematics and dynamics	1333

Table 8. Numbers of keywords in basic categories for individual astronomical journals

Index	Basic Categories	ApJ	ApJL	A&A	MNRAS	Total	Keywords
S	Sun and Solar Activity	5	6	2	0	13	sun: corona / sun: flares / sun: magnetic fields / solar wind / sun: activity / sun: surface / magnetism
E	Earth and Planetary System	2	7	3	0	12	planetary systems / astrochemistry / planets and satellites: formation / atmospheres / exoplanets / extrasolar rocky planets
St	Stars and Stellar Evolution	6	7	6	3	19	supernovae: general / stellar dynamics / binary stars / x-rays: binaries / stars: neutron / stars: abundances / stars: black holes / stars: fundamental / stars: parameters / stars: early-type / stars: atmospheres / stars: evolution
I	Interstellar Matter and Local Universe	16	17	12	5	45	ism: molecules / ism: dust / ism: extinction / ism: clouds / magnetic fields / circumstellar matter / interstellar medium / magnetohydrodynamics (mhd) / hydrodynamics / radiative transfer / milky way galaxy physics / protoplanetary disks / stars: formation / accretion / accretion discs / shock waves / jets / plasmas / turbulence / galactic center / dark matter
G	Galaxies and Cosmology	8	7	5	12	20	galaxies: evolution / galaxies: formation / galaxies: kinetics and dynamics / galaxies: clusters: general / galaxies: ism / galaxies: haloes / galaxies: high-redshift / galaxies: star formation / large-scale structure of universe / cosmology: observations / cosmology: theory
H	High Energy Astrophysical Phenomena	2	10	1	2	13	galaxies: active / black hole physics / supermassive black holes / active galactic nuclei / gamma-ray / gamma-ray bursts / quasars / gravitational waves
T	Technologies and Data Science for Astronomy	2	2	6	3	10	methods: numerical / methods: data analysis / methods: statistical / methods: observational / techniques: spectroscopic / techniques: photometric
	Total	41	56	35	25	132	

10년 간 꾸준히 높은 순위를 유지하고 있는 것으로 보아 최근 천문학계에서는 외부은하 및 강착원반을 비롯한 별의 탄생 초기 단계에 대한 연구가 많이 이뤄지고 있으며, 연구방법이 중요한 키워드로 선택되고 있음을 알 수 있다.

또한, 연도별 상위 20개의 키워드를 천문학 내용 영역 분석들에 따라 나눠 정리하여(Table 8), 각 영역에 해당하는 키워드와 어떤 영역에서 다양한 키워드가 나왔는지를 살펴보았다. Table 8에서 ‘Total’은 영역별 키워드 수를 단순 합산한 값이고, ‘Keywords’에는 저널 간 중복된 키워드를 제거하고 제시하였다. 주목할 만한 특징으로, Interstellar Matter and Local Universe 영역에 해당하는 키워드가 가장 다양했고, Galaxies and Cosmology, Stars and Stellar Evolution이 그 뒤를 이었다. 이 외 영역들은 12~15개 사이로 비슷하게 등장했는데, 영역별 키워드의 구체적인 분석은 이어지는 비중 분석과 함께 저널별로 상술하고자 한다.

저널별로 2011년~2018년(ApJ, ApJL), 또는 2011년~2020년(A&A, MNRAS) 동안 꾸준히 중요한 비중을 차지하고 있는 키워드와 증가 혹은 감소의 변화를 보이는 키워드들을 선정하여 연도와 등장빈도 비율에 대한 Pearson 상관계수를 구하고(Table 9), 이를 시각화

하였다(Figure 1~4). 그리고 전체 경향 분석에서 제외된 ApJ와 ApJL의 2019년과 2020년의 상위 10개 키워드는 Table 10과 같다. 이 시기에 high energy astrophysics, gravitational waves, supermassive black holes, exoplanets 등 2018년까지는 상위 20위에서 발견되지 않았던 키워드들이 새롭게 나타나고 있음을 확인할 수 있다.

ApJ와 ApJL은 같은 기관에서 발행하는 논문이므로 영역별 키워드의 종류, 영역별 분포, 비중이 다른 저널에 비해 상대적으로 유사했다. 우선 ApJ에서 증가하는 키워드로 sun: magnetic fields, sun: flare, stars: neutron, ism: molecules가 있었으며, 꾸준한 키워드로는 galaxies: active, accretion, methods: numerical, accretion discs, sun: corona, galaxies: high-redshift, 감소하는 키워드로는 galaxies: evolution, hydrodynamics, cosmology: observations, planetary system, stars: formation이 있었다(Figure 1). 특히 ApJ에서 ‘sun: magnetic field’, ‘sun: flares’ 등 태양과 관련된 키워드가 다른 저널에 비해 눈에 띄게 뚜렷한 상승세를 보이는 것이 특징적이다. 2011, 2012년에는 전혀 등장하지 않았으나, 2013년에 등장하여 2015년까지 급격히 증가하였고 그 이후에는 완만하게 증가 추세를 유지하고 있다(see Appendix 1). 2020년 발사된 태양 탐사선 ‘Solar Obiter’가 2022년에 수성보다

Table 9. Pearson correlation coefficient between years and frequency ratio of keywords\*\*

ApJ		ApJL		A&A		MNRAS	
keyword	R	keyword	R	keyword	R	keyword	R
sun: magnetic fields	0.92121	planets and satellites: atmospheres	0.79506	methods: numerical	0.77915	methods: numerical	0.61794
stars: neutron	0.87170	methods: data analysis	0.72098	methods: data analysis	0.71322	methods: data analysis	0.58572
sun: flares	0.79179	sun: magnetic fields	0.65894	accretion	0.63387	hydrodynamics	0.44808
ism: molecules	0.53531	radiative transfer	0.43559	galaxies: evolution	0.60353	methods: statistical	0.41800
supernovae: general	0.48543	protoplanetary disks	0.37109	accretion discs	0.58882	galaxies: evolution	0.21654
galaxies: active	0.06956	techniques: spectroscopic	0.28317	radiative transfer	0.23946	black hole physics	0.11332
accretion	0.00507	galaxies: ism	0.19196	techniques: spectroscopic	0.17520	accretion discs	0.09573
methods: numerical	-0.00277	accretion	0.13676	galaxies: active	0.13238	galaxies: active	0.06831
accretion discs	-0.13893	techniques: photometric	0.11323	ism: molecules	-0.00161	galaxies: haloes	0.02167
sun: corona	-0.17638	accretion discs	0.09492	stars: abundances	-0.39573	galaxies: high-redshift	-0.06100
galaxies: high-redshift	-0.17888	methods: numerical	-0.03099	ism: clouds	-0.41492	galaxies: kinematics and dynamics	-0.20149
black hole physics	-0.28987	mhd	-0.15759	stars: formation	-0.55416	accretion	-0.23379
mhd	-0.31078	x-rays: binaries	-0.18541	mhd	-0.56903	stars	-0.28456
galaxies: evolution	-0.54721	galaxies: evolution	-0.25190	stars: fundamental parameters	-0.72074	cosmology: observations	-0.30339
hydrodynamics	-0.68178	astrochemistry	-0.37078	x-rays: binaries	-0.79946	individual	-0.33776
cosmology: observations	-0.77991	circumstellar matter	-0.51593	planetary systems	-0.84233	galaxies	-0.35669
planetary systems	-0.79150	ism: molecules	-0.60443	circumstellar matter	-0.92338	dark matter	-0.40121
stars: formation	-0.85821	stars: abundances	-0.70331			galaxies: clusters: general	-0.42912
		stars: evolution	-0.73452			galaxies: formation	-0.44545
		planetary systems	-0.74473			large-scale structure of universe	-0.49530
		ism: clouds	-0.80664			stars: formation	-0.52298
		galaxies: active	-0.82854			cosmology: theory	-0.64687
		stars: formation	-0.91812				
		stars: fundamental parameters	-0.92009				

\* p<0.005 for all values

\*\* 상관계수(R) 절대값이 0.5 이상인 키워드들은, 양적 상관인 경우(R>0.5) 붉은색으로, 부적 상관인 경우(R<-0.5) 파란색으로 나타냄.



Table 10. The top 10 keywords most frequently shown in 2019-2020 in ApJ and ApJL

order by freq.	ApJ		ApJL	
	2019	2020	2019	2020
1	galaxies: evolution	star formation	stars: neutron	high energy astrophysics
2	galaxies: active	supermassive black holes	gravitational waves	active galactic nuclei
3	methods: numerical	interstellar medium	supernovae: general	gravitational waves
4	accretion	active galactic nuclei	solar wind	magnetohydrodynamics
5	accretion disks	neutron stars	galaxies: active	supermassive black holes
6	supernovae: general	solar wind	protoplanetary disks	astrophysical black holes
7	stars: formation	galaxy evolution	methods: numerical	dwarf galaxies
8	sun: corona	protoplanetary disks	accretion	exoplanet atmospheres
9	galaxies: high-redshift	solar coronal mass ejections	accretion disks	exoplanets
10	stars: neutron	large-scale structure of the universe	galaxies: high-redshift	extrasolar rocky planets

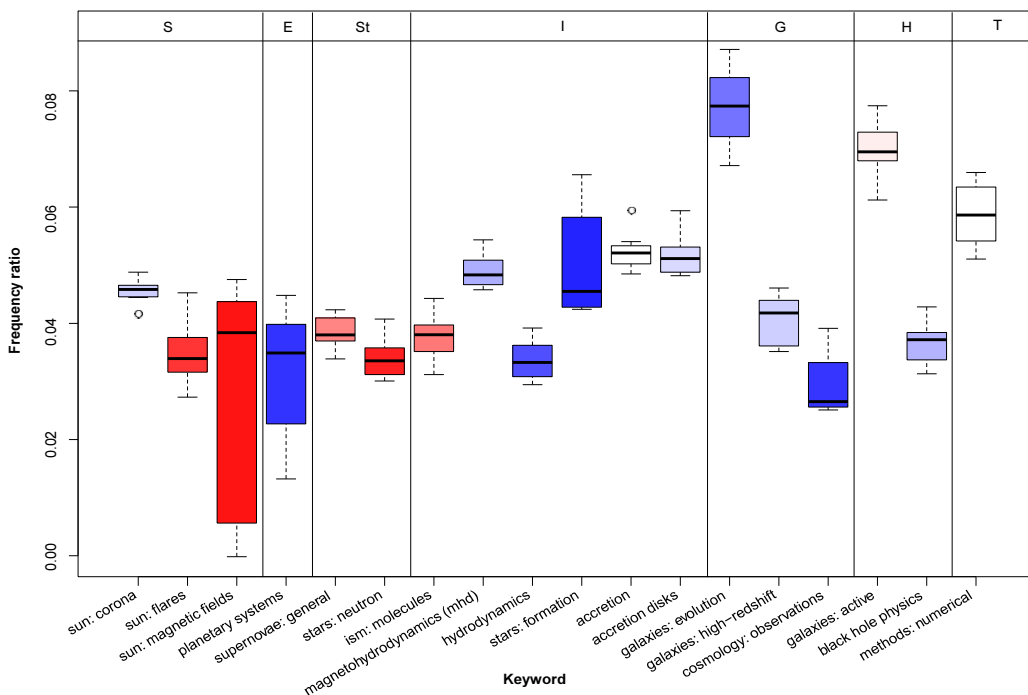


Figure 1. ApJ

안쪽 궤도에 진입해 근접 태양 관측을 시작하면 태양에 대한 연구가 더욱 활발해질 것으로 보인다.<sup>8)</sup> ‘star: formation’은 전체 키워드 중 6번째로 많이 등장한 키워드이지만, 가장 뚜렷하게 감소 추세가 나타나고 있다. 다만, 초기 별 형성과도 관련된 키워드인 성간물질의 accretion discs와 accretion이 꾸준히 상위권을 유지하는 것으로 보아 포괄적인 의미의 키워드보다 좀 더 구체적인 키워드를 선택하는 경향으로 해석될 수도 있을 것이다. 이 두 키워드는 활동성 은하핵의 강착 원반과도 관련이 있으나 본 연구에서는 키워드 간의 관계를 파악하지는 않았다. 더군다나 protoplanetary disks의 비중이 2015년부터 높아지고 있다. ApJ에서는 4% 미만이라 Figure 1에 나타나지 않았으나 ApJL에서는 2015년부터 급격히 순위가 높아지면서 증가 경향으로 나타난다(Figure 2, Appendix 1). 2015년은 ALMA (Atacama Large

Millimeter/submillimeter Array)의 고해상도 전파관측 결과가 발표되기 시작한 시점으로서 그동안 모델링을 통해 간접적으로 추정하던 protoplanetary disks의 세부구조를 직접 관측할 수 있게 되었기 때문으로 보인다.

ApJL은 최신 연구 동향을 빠르게 반영하고자 하는 저널의 성격에 맞게 10년 동안 가장 다양한 키워드가 나타나고 있다(Table 8). 특히 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’ 영역에 해당하는 연구들이 다른 저널에 비해 압도적으로 많았는데, ‘astrophysical black holes, supermassive black holes, active galactic nuclei, gamma-ray bursts, quasars, gravitational waves, high energy astrophysics’는 이 저널에서만 나타난 키워드이다. 이는 비중 변화 경향을 나타낸 Figure 2보다는 여기에서 제외된 시기인 2019년과 2020년의 상위권 키워드를 정리한 Table 10에서 확인할 수 있다. 특히 2020년은 2019년 4월 공개되어 큰 관심을 모은 ‘블랙홀 이미지’의 연구그룹인 EHT<sup>4)</sup>의 성과와 함께 블랙홀 관련 연구들이 다수 발표되는 시기로서 활동성 은하핵 및 거

8) NASA. (Feb. 10. 2020). “Solar Orbiter Launch Takes Solar Science to New Heights” Retrieved Feb. 04. 2022. from <https://www.nasa.gov/press-release/solar-orbiter-launch-takes-solar-science-to-new-heights>

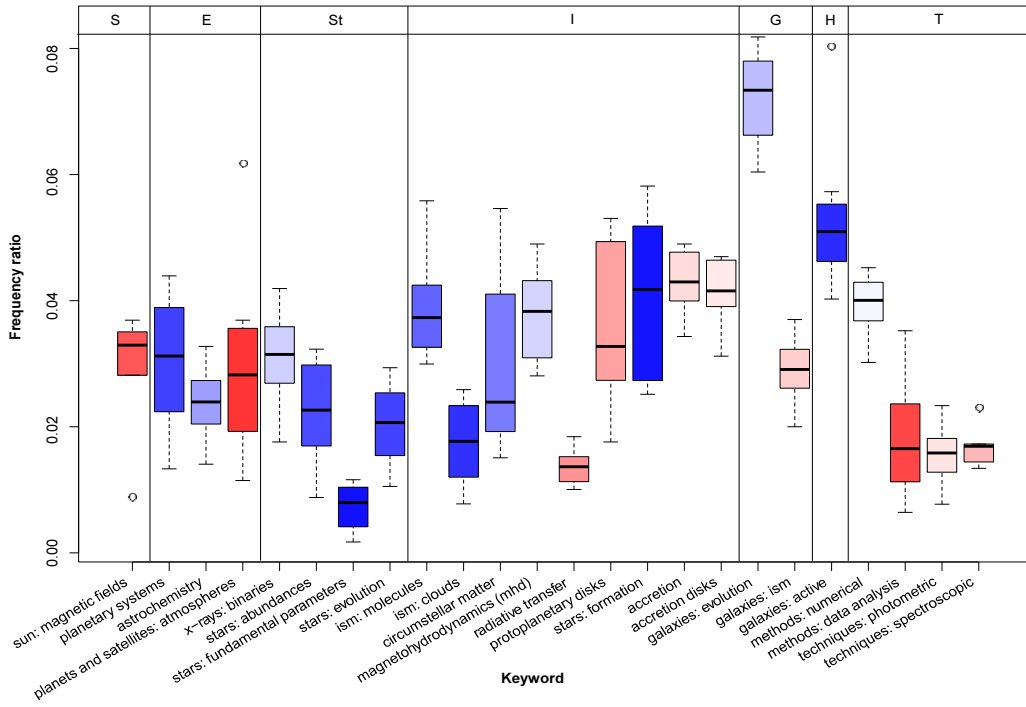


Figure 2. ApJL

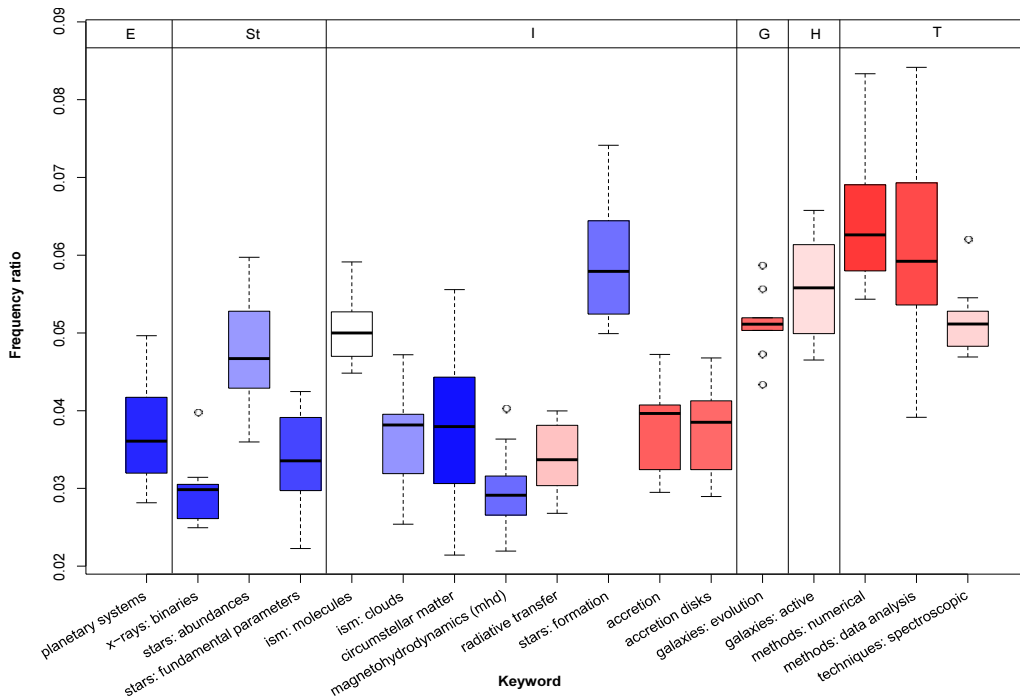


Figure 3. A&A

대 블랙홀에 대한 키워드들이 상위권에 위치하고 있다. 이 외 ‘gamma-ray bursts’는 2016, 2017년에 주목받았고, ‘gravitational waves’는 2016년에 등장하여 2019년 2위, 2020년에는 3위를 차지하는 등 최근 급격히 증가하였다(Table 10, Appendix 2). 또한 외계행성 탐사 관련 키워드인 ‘exoplanets, exoplanet atmospheres, extrasolar rocky planets’가 이 저널에만 있는데, 모두 2020년에 새로 상위권에 등장한 키워드이다. ApJL에서는 증가하는 키워드로 planets and satellites: atmosphere, methods: datanalysis, sun: magnetic fields가 있었으며, 꾸준한 키워드로는 galaxies: ism, accretion, techniques: photometric,

accretion disks, 감소하는 키워드로는 circumstellar matter, ism: molecules, stars: abundances, stars: evolution, planetary systems, ism: clouds, galaxies: active, stars: formation, stars: fundamental parameters 가 있었다.

A&A의 키워드 분포에서 특기할 만한 점은 다른 영역에 비해 ‘Interstellar Matter and Local Universe’ 영역에 해당하는 키워드가 압도적으로 많다는 점이다. 또한, 다양한 연구 방법과 관련된 ‘methods’와 ‘techniques’ 키워드가 상위권에 나타나고 있다. 저널별 상위 20개의 키워드에서 연구 방법 관련 키워드의 수를 살펴보면,

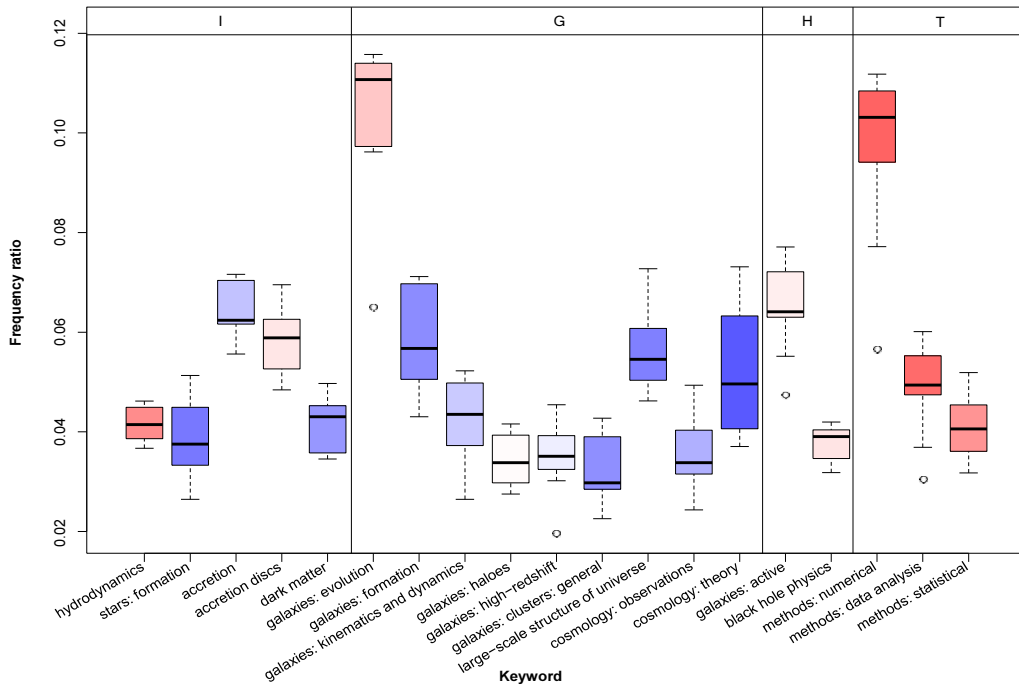


Figure 4. MNRAS

ApJ와 ApJL은 ‘numerical’과 ‘data analysis’ 2가지, MNRAS는 ‘statistical’이 추가된 3가지만 있었는데, A&A에는 ‘observational’, ‘techniques: spectroscopic’, ‘techniques: photometric’을 포함해 총 6가지로 제시되어 있다. A&A에서는 증가하는 키워드로 methods: numerical, methods: data analysis, accretion, galaxies: evolution, accretion discs가 있었으며, 꾸준한 키워드로는 techniques: spectroscopic, galaxies: active, ism: molecules, 감소하는 키워드로는 star: formation, magnetohydrodynamics (mhd), stars: fundamental parameters, x-rays: binary, planetary systems, circumstellar matter가 있었다.

MNRAS의 키워드 분포 특징은 ‘Sun and Solar Activity’와 ‘Earth and Planetary system’ 영역의 키워드가 없고, 나머지 영역에 비해 ‘Galaxies and Cosmology’ 영역이 압도적으로 많고 다양한 연구 키워드를 포함하고 있다는 점이다. 다른 세 저널과 비교해서 이 영역의 키워드 종류가 가장 많다(Table 8). MNRAS에서는 증가하는 키워드로 methods: numerical, methods: data analysis가 있었으며, 꾸준한 키워드로는 black hole physics, accretion discs, galaxies: active, galaxies: haloes, galaxies: high-redshift, 감소하는 키워드로는 black hole physics, accretion discs, galaxies: active, galaxies: haloes, galaxies: high-redshift가 있었다.

이상의 결과를 종합하면 다음과 같다. 전체 저널 상위 20개 키워드를 살펴보면, ‘Interstellar Matter and Local Universe’와 관련된 키워드가 가장 많이 등장하였다(Table 8). 또한 연구 방법론과 관련된 ‘methods: data analysis’, ‘methods: numerical’와 태양의 자기장 연구와 관련된 ‘sun: magnetic field’는 뚜렷한 증가 추세를 보여주었다. 은하의 진화와 관련된 ‘galaxies: evolution’은 ApJ와 ApJL에서 감소 추세인 반면, A&A와 MNRAS에서는 증가 추세를 보여주었다. ‘planetary systems’, ‘star: formation’은 모든 저널에서 뚜렷한 감소 추세가 나타나지만 ‘star: formation’과 관련된 ‘accretion’, ‘accretion disks’, ‘protoplanetary disks’가 상위권을 유지하거나(ApJ, ApJL,

MNRAS) 뚜렷한 증가 추세를(A&A) 보이므로 연구의 초점과 키워드 선택 경향의 이동으로 해석될 수도 있다.

## 2. 2015개정 교육과정 내용 요소 구성 특징

먼저 내용의 분포를 살펴보기 전에 교육과정 구조 속에서 천문학 내용 요소가 포함된 과목의 성격을 확인해 보았다. 선택과목에 포함된 내용의 경우 일부 학생들만 배울 수 있기 때문에, 단순히 내용 요소 분석표에 있다고 해서 교육과정에 해당 내용이 충분히 반영되어 있다고 쉽게 평가하기는 어렵기 때문이다. 우선 중학생, 즉 7학년부터 9학년에 해당하는 ‘과학’은 의무교육에 해당하는 ‘공통 교육과정’으로 모든 학생이 배우는 과목이다. 고등학생인 10학년부터 ‘선택 중심 교육과정’이 적용되지만, 공통 과목인 ‘통합과학’은 1학년 때 모두 이수하도록 되어 있고(Han, 2019), 우리나라의 고등학교 진학률이 83.9%에 이르기 때문에) 대부분의 학생들이 배우고 있다고 볼 수 있다. 고2(11학년)부터 일반 선택 과목인 ‘지구과학’, 진로 선택 과목인 ‘지구과학II’, ‘물리과학II’, ‘융합과학’은 학생의 희망 및 기관별 개설 여부에 따라 이수 여부가 달라진다. 2015 개정 교육과정에 따른 선택 과목 편성 운영 현황을 조사한 Cho *et al.* (2018)의 연구에 따르면 지구과학을 개설한 고등학교의 비율은 73.5%에 달하고 일부 지역에서는 모든 고등학교(100%)에서 개설된 데 비해, 지구과학II(1.8%), 물리과학II(2.3%), 융합과학(6.8%)의 경우 현저히 낮은 비율로 개설되고 있어, 진로 선택 과목에만 포함된 내용 요소의 경우 대부분의 학생들이 접하지 못하고 중등교육과정이 마무리되는 셈이다.

Table 11은 7학년~12학년에 적용되는 2015 개정 과학 교육과정에 포함된 천문학 분야 내용 요소를 정리하여 본 연구에서 개발한 7개 범주로 재배치하여 표로 나타낸 것이다.

9) 교육부 보도자료 (2021.9.15.자). 「경제협력개발기구(OECD) 교육지표 2021」 결과 발표

Table 11. Astronomy concepts in each subjects of 2015 revised curriculum and major keywords in scientific journals

Basic Categories	Common		General elective	Career elective subjects		Keywords in Selected Journals
	Middle(7-9)	Integrated Science(10)	Earth Science I	Earth Science II	Converged Science	
Sun and Solar Activity	태양의 표면(흑점, 플레어, 채층, 쌀알무늬), 태양의 대기(홍염, 코로나), 태양 활동, 태양풍	태양 수소 핵융합 반응			태양 내부 구조, 태양 수소 핵융합 반응	sun: corona* sun: flares* sun: magnetic fields* solar wind sun: activity sun: surface magnetism
Earth and Planetary System	태양계, 지구와 달의 크기, 지구형 행성, 목성형 행성, 자전, 공전, 겉보기 운동, 일주운동, 연주운동, 달의 공전, 달의 위상 변화, 일식, 월식, 밀도, 주기, 고리, 질량	지구형 행성, 목성형 행성	외계행성계, 시공전속도, 시선속도, 식현상, 궤도 면, 도플러효과, 미세 중력 렌즈, 생명가능지대, 액체 상태 물, 별의 수명, 행성의 대기, 중심별의 온도	내행성, 외행성, 합, 최대 이각, 역행, 순행, 일주운동, 연주운동, 지구중심설, 태양중심설, 금성의 위상·크기 변화, 회합 주기, 화성의 공전, 궤도 반경, 겉보기 운동, 공전 속도, 타원궤도의 법칙, 면적속도 일정의 법칙, 공전 주기와 장반경 관계, 만유인력, 중력	행성의 공전, 지구형 행성, 목성형 행성, 케플러의 법칙(타원궤도, 면적속도일정의 법칙, 주기와 장반경의 관계) 만유인력, 지구와 달의 운동, 자전, 일식, 월식, 행성 탈출속도, 행성의 대기, 원심력, 중력, 기체 분자량, 역학적 에너지	planetary systems astrochemistry planets and satellites: formation atmospheres*  exoplanets extrasolar rocky planets
Stars and Stellar Evolution	연주시차, 천문단위 (AU, pc), 흡수스펙트럼, 별의 등급(겉보기, 절대), 별의 표면온도	수소핵융합, 성운, 별의 진화, 별 내부 합성원소, 초신성, 무거운 원소	별의 광도, 별의 온도, 절대등급, 흑체, 별의 색깔, 스테판-볼츠만 법칙, 흡수선스펙트럼, 분광형, 빈의 변위법칙 H-R도, 별의 진화, 별의 질량과 반지름, 원시별, 주계열성, 행성상성운, 백색왜성, 초신성, 블랙홀, 적색거성, 초거성, 별의 수명, PP반응, CNO 순환반응, 정역학적 평형, 별의 내부 구조	쌍성계의 질량 세페이드 변광성, 주기-광도 관계, 별의 거리, 별의 등급	별의 진화, 핵융합반응, 적색거성, 초거성, 블랙홀, 중성자별, 초신성, 무거운 원소	supernovae: general* stellar dynamics binary stars x-rays: binaries stars: neutron* abundances* black holes fundamental parameters early-type atmospheres evolution
Interstellar Matter and Local Universe	우리은하, 막대나선은하, 우리은하의 크기, 성단, 성운, 성간물질	별의 탄생, 태양계 형성과정		주계열 맞추기, 성단의 진화, 전향점, 산개성단, 구상성단, 은하중심, 팽대부, 헤일로, 나선팔, 성간터플, 별빛 소광, 적외선 관측, 성간 기체, 성간 적색화, 별빛 산란, 흡수, HI, HII 영역, 우리은하 구조, 별의 시선 속도, 접선 속도, 고유운동, 은하 회전 속도 곡선, 은하질량과 광도, 21cm수소선, 색초과, 암흑물질, 케플러 회전, 강제 회전	태양계 형성과정, 원시별, 은하의 크기, 은하의 구조, 성간화합물	ism: molecules*, dust, extinction, clouds magnetic fields circumstellar matter interstellar medium magnetohydrodynamics hydrodynamics* radiative transfer* milky way galaxy physics protoplanetary disks* stars: formation* accretion* (discs)* shock waves jets, plasmas turbulence galactic center dark matter
Galaxies and Cosmology	우주팽창, 우주의 나이	우주초기의 원소 (수소, 헬륨)	충돌 은하, 허블 법칙, 빅뱅(대폭발) 우주론, 우주 배경 복사, 급팽창 우주론, 암흑물질, 중력 렌즈 효과, 암흑 에너지, 표준모형, 은하 분류체계, 타원은하, 정상나선 은하, 막대나선은하, 가속팽창우주, 수소 헬륨 질량비, 은하 적색편이,	은하군, 은하단, 초은하단, 국부은하군, 은하장성 보이더 우주 거대구조	허블 법칙, 우주 팽창, 우주의 나이, 허블상수, 빅뱅우주론, 적색편이, 쿼크, 렙톤, 양성자, 중성자, 수소, 헬륨, 원자, 핵융합반응, 우주배경복사, 은하 간 공간, 초은하단,	galaxies: evolution* formation* kinetics and dynamics clusters: general ism* haloes high-redshift star formation

Basic Categories	Common		General elective	Career elective subjects		Keywords in Selected Journals
	Middle(7-9)	Integrated Science(10)	Earth Science I	Earth Science II	Converged Science	
			우주의 평탄성, 임계밀도, Ia형 초신성		우주 거대구조	large-scale structure of universe cosmology: observations theory
High Energy Astrophysical Phenomena			진파은하, 퀘이사, 세이퍼트 은하	Physics II 블랙홀, 중력파		galaxies: active* black hole physics* supermassive black holes active galactic nuclei gamma-ray (bursts) quasars gravitational waves*
Technologies and Data Science for Astronomy	우주탐사선, 우주망원경, 인공위성, 우주탐사의 의의	분광관측, 선스펙트럼, 파장	우주망원경, 선스펙트럼, 직접 관측	지평좌표계, 적도좌표계, 천구, 남중고도, 적경, 적위, 방위각, 고도, 자오선, 전파 관측	선스펙트럼, 분광 관측,	methods: numerical* data analysis* statistical observational techniques: spectroscopic* photometric*

\* 천문학 저널 키워드 분석 결과 도출된 주목할만한 키워드로서, 10년 간 꾸준히 큰 비중을 유지하거나 비중이 증가하는 키워드를 표시함.

먼저 중학교의 교육과정 내용 요소를 살펴보자. 2015개정 교육과정 문서에서는 중학교 과학 주제를 학년별로 제시하지 않았으나 학년별로 발행되는 검정교과서들을 살펴보면 1학년을 제외하고, 2학년 때 ‘태양계’, 3학년 때 ‘별과 우주’를 배운다. 7개 범주로 재배치해 본 결과 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’를 제외하고 모든 영역을 골고루 다루고 있음을 확인할 수 있다. 특히 초등학교 교육과정에 포함된 ‘지구의 모습’(3학년), ‘태양계와 별’(5학년), ‘지구와 달의 운동’(6학년), ‘계절의 변화’(6학년) 내용을 모두 포함하고 있어 학교급 간 교육과정 연계가 잘 되어 있다고 볼 수 있다. 초등학교와 중학교 과학에 포함된 이 내용 요소들에 대해 Choi & Kwon (2011)은 “천문학을 이해하는 데 가장 기초적이며 필수적인 요소”라고 한 바 있다. 중학교 때부터 새롭게 배우는 범주는 ‘Interstellar Matter and Local Universe’, ‘Galaxies and Cosmology’, ‘Technologies and Data Science for Astronomy’이며, 우리은하의 구조, 대폭발(빅뱅) 우주론, 우주탐사와 인공위성 등의 내용으로 구성되어 있다. 교육과정 내용 요소 분석으로는 성취기준 [9과23-02]에 해당하는 우리은하와 [9과23-03]에 해당하는 우주팽창 모형 사이의 개념적 간극이 있었는데, 교과서에 따라 간극을 해소하기 위해 ‘외부은하’ 개념을 간략히 다루기도 하고,<sup>10)</sup> 교육과정대로 우리은하 다음에 바로 우주팽창 모형으로 이어지기도 했다.<sup>11)</sup>

반면 대폭발 우주론과 함께 시작하는 고등학교 1학년 ‘통합과학’은 천문학 관련 내용 요소의 양이 적지만 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’를 제외한 모든 범주의 내용을 골고루 다루고 있다. 1단원 물질의 규칙성과 결합 앞부분에서 대폭발 이후 생성되는 쿼크, 양성자, 원자 등 입자 형성 과정, 우주의 원소 종류를 확인하기 위한 분광관측의 기본 원리, 별의 진화와 태양계의 형성 과정을 다루고 있으며,

9단원 에너지에서 태양 수소 핵융합을 설명하고 있다. 특히 1단원은 상당히 어려운 천문학 개념들이 집약적으로 포함되어 있으며, 이 부분의 내용 전개 방식이 ‘융합과학’과 매우 유사하다. 해당 개념을 깊이 있게 탐구하고 이해하는 것보다는 ‘지구의 물질’ 즉, 우리 주변의 모든 물질(원소)이 어떻게 형성되었는지를 설명하기 위한 스토리텔링에 초점을 맞추고 있는 것이다. 따라서 제시된 탐구 활동이 제대로 수행되기 어려울 수 있다. 예를 들면, 교육과정에 제시된 예시로서 실제 여러 교과서에서 구현된 “빅뱅 우주론이 확립되는 과정에서 쟁점이 되었던 문제나 관측 증거를 조사하고 토론하기”(MOE, 2015)의 경우, ‘허블의 법칙’, ‘우주배경복사’, ‘중성자 붕괴물’ 등 빅뱅 이론의 관측 증거 자체에 대해서도 학생들이 스스로 조사하는 활동만으로는 이것들이 왜 증거가 되는지 이해하기 어려운 개념들인데, 심지어 대립되는 쟁점 이론인 ‘정상 우주 이론’에 대해서는 언급되지도 않는 상태에서 토론이 가능할지 의문이다. 그럼에도 중학교까지 다루지 않았던 별의 진화, 초기 우주 진화, 태양계 형성 과정 등을 담고 있는 것은 긍정적인 측면으로 볼 수 있는데, ‘통합과학’이 진로 선택 과정으로 넘어가기 전 모든 고등학생이 배우게 되는 마지막 공통 교과라는 점을 고려하면 더욱 그렇다. 이로써 고등학교 1학년까지 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’를 제외하고 모든 영역의 천문학 기본 개념을 대략적으로나마 접할 수 있기 때문이다. 그러나 해당 개념의 비중이나 관련 탐구 활동의 적절성에 대한 검토가 필요한 것으로 보인다.

지구과학I, 지구과학II, 물리II, 융합과학은 고등학교 2~3학년 때 학생들의 흥미와 진로희망, 즉 인문사회·자연과학·예체능·전문기술 중점 과정 등에 따라 배울 수도 있고 안 배울 수 있는 과목들이다. 특히 일반 선택 과목에 해당하는 ‘지구과학’을 개설한 고등학교가 전체의 73.5%에 달한다고 해서(Cho *et al.*, 2018) 전체 학생의 73.5%가 이수하는 것은 아닌 것에 주의해야 한다. 개설된 고교에 재학 중인 학생 중 일부가 선택한다는 의미이며, Lee & Kwak (2020)의 연구에

10) 교과서 예. 김호련 외 12인 (2019). 중3 과학. 동아출판; 김성진 외 16인 (2019). 중3 과학. 미래엔; 노태희 외 12인 (2019). 중3 과학. 천재교육.

11) 교과서 예. 임태훈 외 11인 (2019). 중3 과학. 비상교과서.

따르면, 12개 시·도 교육청 소속 학생 중 지구과학I 수강 비율은 54.4% 정도였다.

지구과학I은 중학교 과학 및 고등학교 통합과학에 소개된 지구과학 개념과 연계하여 개념을 심화 학습하는 과목으로서 과목의 성격을 “지구와 우주에 대한 통합적인 이해를 바탕으로 현대 지식 기반 사회의 시민이 갖추어야 할 지구과학에 대한 기초 소양을 함양하기 위한 과목”으로 규정하고 있으며(MOE, 2015, 192), 이 중 천체와 우주 영역의 구성에 대한 설명은 다음과 같다.

천체와 우주 영역에서는 태양 정도의 질량을 가지는 별의 진화 경로와 각 단계별 진화적 특성, 외계 행성계의 탐사 방법과 외계 생명체 탐사, 은하의 종류와 우주팽창 등을 주제로 구성하여 태양계 너머의 우주로 시야를 넓혀 생명 존재 가능 지대 탐사와 현재 받아들이고 있는 우주론 모형을 비롯하여 우주 탐사에서 최근의 연구 성과와 경향을 반영하여 구성한다(MOE, 2015, pp. 192-193).

지구과학II는 지구와 우주에 대해 흥미가 많은 학생들의 지적 호기심을 충족시키며 이공계 진학자를 위한 과목으로, 과목 성격에 대해 “고등학교 통합과학 및 지구과학I에서 다룬 개념과 긴밀한 연계를 가지면서 관련 개념을 심화하고 정량적으로 접근할 수 있도록 구성”한다고 서술되어 있으며(MOE, 2015, 208), 천체와 우주 영역의 구체적인 내용 구성 방향에 대한 별도 설명 부분은 없다.

지구과학I과 지구과학II의 내용 요소 분포의 특징은 두 과목 사이에 겹치는 주제가 없다는 것이다. 영역별로 살펴보면 ‘Earth and Planetary System’ 영역에서는 지구과학I은 외계행성 탐사만 다루고 있고, 지구과학II는 지구와 달, 태양계 행성의 운동 역학을 중심으로 다루고 있다. ‘Stars and Stellar Evolution’ 영역에서는 지구과학I에서 개별 별의 진화와 구조에 대해 상세히 다루고 있지만, 지구과학II에서는 쌍성계의 역학적 관계, 다양한 척도를 이용한 별까지의 거리 구하기 등 정량적인 주제들이 제시되어 있다. ‘Interstellar Matter and Local Universe’에 해당하는 성운, 성단, 성간물질, 우리은하의 구조, 소광, 별의 고유 운동, 은하 회전 속도 곡선 등의 내용은 지구과학II에만 들어 있다. 대신 지구과학I에는 ‘Galaxies and Cosmology’ 영역에 해당하는 다양한 은하의 종류, 우주 배경복사, 우주론, 암흑물질, 가속팽창 우주, 빅뱅의 증거, 적색편이, 우주의 평탄성 등을 다루고 있으며, 지구과학II에 있는 내용은 은하단, 은하군, 우주 거대 구조 등이다. 공통 교과군에 없었던 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’ 영역이 지구과학I에서 비로소 등장하게 되는데, 중심에 자리잡고 있는 거대질량 블랙홀에 의해 강한 에너지를 방출하는 전파은하, 퀘이사, 세이퍼트 은하를 소개하고 있다. ‘Technologies and Data Science for Astronomy’ 영역에 해당하는 내용 요소로는 지구과학I에 우주망원경, 스펙트럼이 있고, 지구과학II에 좌표계가 있다.

전반적으로 ‘기초 소양’으로서의 지구과학I, ‘이공계 진학자’를 위한 지구과학II라는 과목 성격에 따라 정성적으로 이해할 수 있는 주제들이나 수식이 도입되더라도 실제 유도하거나 풀지 않고 변수간의 관계를 파악하는 정도의 주제들은 지구과학I에 포함되어 있고, 수식을 도입해서 정량적으로 풀어 이해하는 주제들은 지구과학II에 배정된 것으로 파악된다. 그러나 지구과학I과 II의 과목 성격에 따른 주제 선정이 단순히 정량적인 접근 여부라는 인상을 주는 것은 재고의 여지가 있다. 다른 관점에서 보면 통합과학에서 이미 우주론을 다루고

있으므로 일반 선택 과목인 지구과학I에는 오히려 통합과학에 없는 우리은하와 성간물질을 포함해서 교양을 넓히고, 해당 분야를 깊이 공부하고 싶은 학생들만 선택하는 지구과학II에서 통합과학에서 가볍게 다룬 우주론 개념을 심화시킬 수 있는 깊이 있는 탐구를 제시하는 것이 타당할 수 있다.

물리II에서는 ‘중력’ 주제에 해당하는 내용 요소 중에서 우주에 있는 천체를 대상으로 한 것으로는 뉴턴 법칙으로부터 케플러 법칙을 유도해서 천체의 운동을 중력의 관점에서 이해하는 것이 있었고, 매우 강한 중력에 의해 나타나는 천체 현상인 중력렌즈 현상, 블랙홀, 중력과 등의 원리를 소개하고 있었다. 내용 요소의 양이 적어 Table 11에서는 지구과학II 열의 해당 영역에 작은 표를 삽입하는 방식으로 제시하였다.

융합과학은 2009 교육과정에서 융합형 ‘과학’으로 개발된 것을 과목 구조와 내용 요소 변화 없이 유지한 과목이다(Lee & Hong, 2017b). “우주의 탄생에서부터 태양계의 형성 및 지구의 생명체 출현에 이르는 과정에 관한 주요 과학 개념을 파악하고”(MOE, 2015, p. 241)라는 설명에 맞게 천문학 역시 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’를 제외하고 전 영역에 해당하는 내용이 모두 포함되어 있을 정도로 방대한 개념을 포함하고 있었다.

방대한 내용의 요지는 다음과 같다. 대폭발(빅뱅) 우주론, 초기 우주 생성 입자, 원자의 구조, 우주 배경 복사와 정상 우주론, 허블의 법칙 등 우주론으로 시작해서 별의 탄생, 별 내부에서 이뤄지는 핵융합 반응, 별의 죽음으로서 중성자별과 블랙홀, 초신성폭발이 나온다. 초신성 폭발로 형성된 잔해 중 일부인 태양계 성운이 응축 및 강착(accretion) 되어 원시별이 형성되고 수소핵융합 반응이 일어난다. 원시별 주위에 강착된 원반에서 행성들이 만들어지고, 여러 가지 특징에 따라 지구형 행성과 목성형 행성으로 나눌 수 있다. 행성의 공전 궤도는 케플러의 법칙을 따르고, 행성의 질량에 따라 중력이 달라지며 탈출속도에 따라 행성의 대기 구성 성분이 달라진다. 지구와 달은 자전과 공전을 하고 달의 위상이 바뀌며 일식과 월식이 일어난다.

이 모든 개념이 총 6개 단원 중 1, 2단원에 모두 포함되어 있다. 따라서 앞서 ‘통합과학’의 도입부와 마찬가지로 각각의 개념을 심도 있게 탐구해서 이해하기보다 큰 이야기 흐름을 따라가는 것에 초점을 둘 수밖에 없고, 2009 교육과정 때부터 교사와 학생들로부터 ‘어렵다’는 평가를 상당히 많이 받아 왔다(Jung et al., 2012; Lee, 2013; Sim, 2014).

전체적으로 살펴보면 융합과학에 포함된 천문학 내용 요소 중 ‘Stars and Stellar Evolution’, ‘Interstellar Matter and Local Universe’, ‘Galaxies and Cosmology’, ‘Technologies and Data Science for Astronomy’ 영역에 해당하는 내용 요소는 같은 맥락의 통합과학과 비슷하게 구성되어 있고, ‘Earth and Planetary System’ 영역에 해당하는 내용 요소의 경우 지구과학II와 유사하다. 다만 융합과학의 1단원은 1학년 통합과학과 중복된 내용 요소가 많아 조정이 필요하다.

덧붙여 여타 별 내부 ‘핵융합 반응’은 ‘Stars and Stellar Evolution’으로 분류했는데, 통합과학과 융합과학의 ‘태양 수소 핵융합 반응’만 ‘Sun and Solar Activity’에 분류한 이유는, 이 과목에서는 태양의 내부 구조와 함께 질량-에너지 등가 원리를 적용해 중심핵에서의 수소 핵융합 반응을 자세히 다루고 있고, 태양 활동의 원천으로서 이 에너지의 일부가 지구의 에너지 순환을 일으킨다는 맥락에서 제시된 개념이기 때문이다. 또한, 기타 별에서의 핵융합 반응과 달리 태양의 핵융

합 반응에서 방출되는 중성미자는 지구에서 검출되고 관련된 거대 프로젝트들이 꾸준히 진행되고 있기도 하다.<sup>12)</sup> 따라서 ‘태양 수소 핵융합 반응’은 태양의 활동에 관한 연구 영역인 ‘Sun and Solar Activity’에 적합하다고 판단하였다.

### 3. 천문학 내용 영역별 교육과정 반영도 분석

이 절에서는 연구결과1과 2, 즉 최신 천문학 연구 키워드 변화의 특징과 과학 교육과정 내용 요소 구성의 특징을 종합하고 7개 영역별로 비교 분석하여 논의하고자 한다. 이를 위해, 1차 분석을 통해 추출한 키워드 69개를 7개 영역으로 재배치하고, 이를 과목별 천문학 내용 요소 구성표인 Table 11의 가장 오른쪽 열에 ‘Keywords in Selected Journals’로 제시하였다.

먼저 4개 영역, ‘Earth and Planetary System’, ‘Stars and Stellar Evolution’, ‘Interstellar Matter and Local Universe’, ‘Galaxies and Cosmology’의 경우는 비교적 교육과정에 많이 반영된 것으로 판단되고, 특히 ‘Stars and Stellar Evolution’은 천문학 분야에서 연구되고 있는 주제들이 충실히 담겨있다. 나머지 세 개 영역에서 몇 가지 고찰해 봐야 할 부분을 논의해보면 다음과 같다.

‘Earth and Planetary System’의 경우 지구과학I에서 외계 행성계 및 생명가능지대를 배우고, 지구과학II에서 행성 역학을 다루고 있다. 지난 10년 간 외계행성 탐사용 우주 망원경인 Kepler와 TESS가 활약하여 지금까지 수천 개의 외계행성을 찾아냈으며 관련 연구가 활발히 이뤄지고 있기 때문에, 지구과학I에서 외계 행성 탐사 비중이 늘어난 것은 최신 연구 성과를 잘 반영한 것으로 보인다. 그러나 사실상 외계행성 탐사 원리는 물론, 발견된 외계행성이 지구형 행성인지 목성형 행성인지, 모성과의 거리가 어느 정도 떨어져 있는지, 대기의 구성 성분이 무엇일지에 대해 탐구 및 추론할 수 있으려면 ‘행성 역학’에 대한 이해가 선행되어야 하는데, 모든 내용이 지구과학II에 포함되어 있다. 내용 요소 분석 결과로만 보면 지구과학I까지만 이수한 경우 행성 궤도 운동의 기본 원리인 케플러의 법칙조차 접해보지 못하는 것이다. 따라서 행성 역학 중 일부 기본 개념들은 외계행성 탐사와 함께 지구과학I에서 다룰 필요가 있다. 또 하나는 행성 시스템 영역의 연구 키워드와 비교해봤을 때, 교육과정은 역학적 특징에 치우쳐 있는 것을 볼 수 있다. 최근 관측 및 분석 기술의 발달로 ‘astrochemistry’, ‘planets and satellites: atmospheres’ 등 흙, 대기, 액체 등 행성을 구성하는 물질에 관한 연구가 활발히 이뤄지고 있으므로 역학 외에 화학적 특성 부분이 보완되는 것이 필요하다.

‘Interstellar Matter and Local Universe’의 경우 우리은하의 구조와 회전, 성단, 성운, 성간물질 등 기본 개념들이 잘 반영되어 있으나 현재 천문학 분야의 연구 동향과 비교해봤을 때 고찰해 봐야 할 개념은 ‘별의 탄생’이다. 통합과학에서 별의 탄생, 태양계 형성 과정을 모두 다루는데, 별의 탄생은 동그란 성운 중 밀도가 좀 더 높은 부분을 중심으로 뭉쳐져 별이 태어난다고 설명하고, 태양계 형성 과정은 성운 응축 과정에서 강착 원반(accretion discs)이 생성되고 그 원반에서 행성들이 만들어지는 것으로 설명한다. 이후 지구과학I과 II에서는 별의 형성을 다루지 않고, 융합과학은 통합과학과 같은 방식이다. 이

것의 문제점은 첫째, 별과 태양계 형성 과정이 다른 과정인 것처럼 인식될 수 있다는 것이다. 그러나 태양도 우주의 다른 별과 같은 항성이며, 외계 행성계 탐사에서 밝혀졌듯이 별이 행성계를 가지는 것은 흔한 일이다. 둘째, 키워드를 살펴보면 알 수 있듯이 ‘stars: formation’은 꾸준히 중요했던 연구 주제였고, 그중에서도 별 탄생 초기에 대한 ‘protoplanetary disks’, ‘accretion’, ‘accretion discs’, ‘jet’ 등이 많이 연구되고 있다. 그러나 현재 교육과정에서는 별의 탄생 부분의 비중이 작고 진화 과정에만 초점이 맞춰져 있고, 교과서에서 오개념이 생길 수 있도록 표현된 부분들이 발견되어 검토가 요구된다. ‘별의 탄생’은 전파천문학의 발전으로 인해 별이 탄생하는 성운의 특성이나 응축 및 강착 시 회전축에서 나오는 제트류 등 별의 탄생에 관한 연구가 많이 이뤄졌고, 이는 태양계 기원과도 밀접한 주제이므로 교육과정에 반영될 필요가 있다.

‘Galaxies and Cosmology’ 영역의 교육과정 내용 요소는 중학교부터 고등학교 때까지 골고루 배치되어 있다. 그러나 공통 과목인 중학교 과학과 통합과학이 모두 외부은하보다는 우주론에 초점을 둔 것은 재고의 여지가 많다고 여겨진다. 해당 영역의 키워드를 살펴보면 ‘galaxies’라는 상위 범주 아래 ‘evolution, formation, dynamics, clusters, ism, haloes, high-redshift, star formation’ 등 많은 키워드가 있어 외부은하에 관해 다양한 연구들이 진행되고 있음을 알 수 있다. 특히 연구 대상인 4개 저널 모두에서 ‘galaxies: evolution’은 큰 비중을 차지하고 있는 연구 주제이다(Table 7). 관측 및 분석 기술 발달로 새로운 연구 성과들도 많이 나왔으며, 앞으로 더 활발하게 연구가 될 분야이므로, 공통 과목인 두 개 중 한 과목에서라도 외부은하의 개념을 좀 더 자세히 다루는 것은 필요하다. 지구과학I에 있는 외부은하 모양 분류는 더 낮은 학년에서도 가능할 것이며, 이미 중학교 과학 교과서 중 이를 수록한 교과서도 있다.<sup>13)</sup> 지구과학I에서는 모양 분류보다는 최신 연구 성과를 반영하여 외부은하 개념 보완 검토를 제안한다.

위의 4개 영역에 비해 나머지 3개 영역은 상대적으로 교육과정에 반영도가 낮았는데, ‘Sun and Solar Activity’, ‘High Energy Astrophysical Phenomena’, ‘Technologies and Data Science for Astronomy’이었다.

‘Sun and Solar Activity’의 연구 대상인 태양은 매일 보기 때문에 가장 친숙한 천체이다. 일반 별과 같으면서도 태양의 모든 활동은 지구 에너지의 원천이자 다방면에서 직접적으로 영향을 주기 때문에 중요하고, 일반 별의 특성 중 멀리 떨어져 있어 관측되기 어려운 것들을 태양을 통해 연구함으로써 이해를 넓혀나갈 수 있기도 하다. 지구, 달, 행성과 함께 전 세계 모든 교육과정에서 등장하는 것은(Salimpour et al., 2021) 어찌 보면 당연한 일이다. 현재 교육과정 상으로는 해당 영역이 지구과학I, II에 등장하지 않는다. 물론 모든 과목에 포함되어야 할 필요는 없으며, 공통 과목까지로 충분하다면 이후에는 다른 영역에 좀 더 집중하는 것이 교육과정 내용의 적정화 측면에서도 옳다. 다만 연구 키워드와 비교해보았을 때 고찰해보아야 할 부분은, ‘sun: magnetic fields’, ‘sun: surface magnetism’ 등 태양 자기장에 관한 연구가 많이 이뤄지고 있는데, 현재 교육과정에서는 다루지 않는다는 점이다. 중학교 과학에서 태양 표면의 쌀알무늬, 흑점, 플레어, 홍염 등의 현상들을 모양과 용어만 제시할 뿐 그 원인 중 하나인 자기장에 대해서는 언급하지 않고, ‘고에너지 입자’, ‘오로라’, ‘자기

12) The Science Times. 이성규(2020.11.27.자). 태양의 1% 유명입자, 정체 밝혀졌다.

13) 김성진 외 16인 (2019). 중3 과학. 미래엔.

폭풍’, ‘우주 기상’, ‘태양풍’이라는 용어들이 등장하고 있는 형편이다. 통합과학의 태양 수소 핵융합 부분에서는 중심핵만 언급할 뿐 내부 구조를 다루지 않아 태양 활동의 메커니즘을 이해하기 어렵다. 2020년 2월 유럽 우주국(ESA)과 미 항공우주국(NASA)은 수성보다 가까이에서 태양을 관측하는 ‘Solar Orbiter’<sup>14)</sup>를 발사했고, 2021년 11월부터 관측이 시작되었다. 왜 태양 자기장 활동이 11년 주기인지(흑점 개수 변화의 원인), 태양 대기인 코로나 온도가 수백만 도에 이르는지, 태양풍이 어떻게 그렇게 빠르게 가속될 수 있는지 등 여러 흥미로운 연구들이 이뤄질 예정이다. 지구과학은 아니더라도 진로 선택 과목으로 ‘행성우주과학’(안)이 신설된다면 ‘Sun and Solar Activity’ 영역에 대한 재검토가 이뤄지기를 기대한다.

‘High Energy Astrophysical Phenomena’ 영역은 해당하는 키워드를 살펴보면 galaxies: active, black hole physics, supermassive black holes, active galactic nuclei, gamma-ray, quasars, gravitational waves 등이 있으며, 별의 종말 중 한 과정으로서 ‘Stars and Stellar Evolution’ 영역에도 블랙홀이 있지만, 이 영역으로 분류되는 블랙홀은 은하 중심에 위치하고 훨씬 큰 에너지를 방출하는 거대 질량 블랙홀을 말한다. 지구과학에서 quasars, galaxies: active, active galactic nuclei를 소개하고 있고, 교육과정 내용 요소에는 없으나 교과서에는 고에너지 특이 은하의 핵에 ‘거대질량 블랙홀(supermassive black holes)’이 있다고 설명하고 있다. 그리고 물리II에서 거대 중력의 예시로 ‘중력과 (gravitational waves)’를 언급하고 있다.

이 지점에서 생각해봐야 할 것은 특이은하 뿐 아니라 우리은하를 포함해 모든 은하의 중심에 거대 질량 블랙홀이 있다는 점이다. 블랙홀은 과학적 원리를 이해하는 것이 어렵지만 동시에 대중들이 가장 흥미로워하는 천체이기도 하다. 예를 들면, 2019년 4월 처녀자리A은하(M87) 중심에서 찍은 블랙홀 관측 이미지가 공개되면서 세상을 떠들썩하게 했는데, 우리나라에서도 초등학교부터 전 연령을 대상으로 한 해설 프로그램이 매진되는 등<sup>15)</sup> 큰 관심을 모았다. 사실 그 이전에, 블랙홀이 중심 테마인 169분짜리 영화 <인터스텔라>(2014)가 우리나라에서 천만 관객을 돌파하지 않았는가. 따라서 우리은하의 구조를 다루고 있는 중학교 과학이나 지구과학II에서 우리은하 중심에 ‘거대질량 블랙홀’이 있다는 사실이 포함된다면, 과학에 대한 흥미를 자극할 수 있는 역할을 할 것이다. 암흑물질이나 암흑에너지는 블랙홀보다도 정체를 모르지만 지구과학I, II에서 모두 다루고 있는 것과 같은 맥락으로 볼 수 있는 것이다. 이 영역은 ApJ의 2020년 최빈 키워드 2위(supermassive black holes)와 4위(active galactic nuclei)를, 마찬가지로 2020년 ApJL에서는 1위(high energy astrophysics), 2위(active galactic nuclei), 3위(gravitational waves), 5위(supermassive black holes)를 차지할 정도로 활발히 연구되고 있으며(Table 10), 2017년과 2020년 노벨 물리학상의 연구 분야이기도 하다(Table 1). 어려운 영역이라 교육과정 반영도는 낮을 수밖에 없겠지만, 극적인 천문 현상만큼 언론에도 자주 소개가 되고 학생들도 많은 흥미를 가지고 있으므로, 적절성 여부를 잘 검토하여 반영해보는 것을 제안한다.

‘Technologies and Data Science for Astronomy’ 영역은 천문학

탐구 방법에 해당한다. 따라서 이 영역에 해당하는 요소들은 교과서에 실린 탐구 활동을 분석해야 다양한 탐구방법론이 반영되었는지를 제대로 판단할 수 있을 것이다. 성취기준을 중심으로 내용 요소를 분석한 본 연구의 범위 내에서의 결과, 교육과정 내용 요소에 포함되는 것은 우주 탐사선의 종류, 역사, 의의, 우주망원경 등이며, 가장 많이 언급되는 탐구 방법은 키워드에서 ‘methods: observational’, ‘techniques: spectroscopic’에 해당하는 분광(스펙트럼)관측이다. 이 영역에서 주목할만한 점은 크게 두 가지로 나타났다.

첫째, 이 영역의 내용 요소가 부실한 것은 천문학 교육과정의 구성이 실제 천문학의 탐구 과정을 경험할 수 있는 관측이나 데이터 처리 보다는 이론적 개념 이해 중심인 것은 아닌지 고찰해 볼 필요가 있다(Choi & Yoon, 2019). 천문학 저널의 키워드를 살펴보면, ‘methods: numerical’, ‘methods: data analysis’, ‘methods: statistical’, ‘techniques: photometric’ 등 다양한 탐구방법론이 주요 키워드로 제시되고 있을 뿐더러 꾸준한 상위권을 차지하고 있음을 알 수 있다. 다른 나라의 과학 교육과정을 분석한 Kim & Chung (2017)은 핵심 개념의 의미와 역할에 대해 지식 단어나 내용의 한계를 넘어 기능, 가치 등으로 확장할 것을 제안하고 있다. 과학 지식 하나가 물고기 한 마리라면, 탐구 방법은 물고기 잡는 법으로 비유할 수 있다. 천문학에서 새로운 관측 도구, 데이터 처리 알고리즘이 개발되면서 새로운 지식들이 쏟아져 나오는 것처럼, 과학에서는 새로운 지식을 발견하는 방법으로써 탐구 역량이 매우 중요하다(Fitzgerald et al., 2016). 현재 교육과정의 구성이 지식 이해를 위한 탐구로만 역할이 축소되어 있지 않은지 검토해 볼 필요가 있다. 향후 과학 교육과정 개정을 논의할 때 과학의 핵심 개념과 학습 요소를 어떻게 구성할 것인지에 대한 많은 연구들이 필요하다.

두 번째로, 좌표계가 일반고에서 선택할 수 있는 가장 심화 과목인 지구과학II에 있다는 것은 재고의 여지가 있다고 판단된다. 좌표계에 해당하는 지평좌표계, 적도좌표계, 천구, 남중고도, 적경, 적위, 방위각, 고도, 자오선 등은 천체를 관측하기 위한 기본 개념이기 때문이다(Plummer, 2014). 망원경으로 관측할 때 설치하는 가대는 지평좌표계 원리인 경위대식과 적도좌표계 원리인 적도의식 등이 있으며 관측 대상을 찾을 때 좌표계에 대한 이해를 바탕으로 한다. 선행 연구에서 천구좌표계와 같은 천문학적 공간 개념이 천체 관측 개념보다 선행되는 것이 효과적인 것으로 나타났음에도(Yoon, 2011) 지구과학II에 배치된 것은, 시공간적 개념과 공간추리 능력이 필요하고 일상생활에서 경험 기회가 적어 기본 개념이라도 어려워하기 때문일 것이다(Yoon, 2011; Türk & Kalkan, 2015). 그러나 이는 관측에 앞서 천체의 위치와 변화를 파악하기 위한 개념 구조 구축 없이 천체 현상만 살펴보는 셈이 될 뿐 아니라(Choi & Yoon, 2019), 오히려 천문 시스템을 효과적으로 학습하기 위한 사고력으로서의 천문학적 공간지각능력(Maeng et al., 2014; Lee et al., 2015)을 연습하고 향상시킬 수 있는 기회를 너무 늦게 제공하는 것일 수 있다. 논리적 위계를 고려하고 가상현실이 도입되고 있는 학교 현장 변화를 적극 수용하면 좌표계와 같은 개념이 오히려 공통 과목에 포함되는 것도 가능할 것이다.

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 최근 10년간 천문학 연구 저널에 나타난 주요 키워

14) The European Space Agency. “Solar Orbiter” main homepage Retrieved from [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Space\\_Science/Solar\\_Orbiter](https://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Solar_Orbiter)

15) 국립과천과학관, 프로그램 안내(2019.4.12.자). 인류 최초 블랙홀 관측 영상 공개 기념 특별 해설.



드와 2015개정 교육과정의 천문학 분야 내용 요소를 비교 분석하고, 향후 천문학 교육과정 구성에 대한 교육학적 시사점을 얻고자 하였다. 이를 위해 천문학 주요 저널 중 4개를 선정하고, 2011년부터 2020년 까지 발표된 논문의 키워드를 모두 수집하고, 빈도와 비중의 변화를 분석하여 10년간 꾸준히 상위권을 차지하고 있는 핵심 연구 키워드, 중요도가 낮아지고 있는 키워드, 중요도가 높아지는 키워드를 제시하였다. 교육과정 내용 요소 분석 과정은 2015 과학 교육과정 문서의 내용 체계표, 성취기준, 성취기준 해설, 학습 요소를 중심으로 현직 교사들의 분석과 논의를 통해 이루어졌다. 각각을 7개의 천문학 기본 영역(Basic Categories) 분석틀에 재배치하여 비교분석을 수행하였으며, 교육과정 개정 측면에서 검토가 필요한 부분들을 제안하였다.

첫째, 지난 10년간 천문학에서 꾸준히 높은 비중을 차지한 키워드로는 galaxies: formation, galaxy: active, star: formation, accretion (discs), method: numerical 등이 있었고, 비중이 높아지는 키워드로는 sun: magnetic fields, protoplanetary disks, astrochemistry, method: data analysis, methods: statistical 등이 있었다. 다양한 파장대의 망원경 관측 기술이 발전하고 이미지 데이터와 빅데이터 분석 알고리즘이 크게 향상됨에 따라 연구 대상과 주제도 세분화되는 경향이 나타난다. 예를 들어, stars: formation 키워드의 비중이 전체적으로 다소 낮아지는 추세에 있으나 다른 키워드와의 관계를 살펴보면 protoplanetary disks, accretion discs, accretions 등의 비중이 증가하면서 좀 더 구체적으로 표현한 키워드로 대체되는 것으로 보인다.

둘째, 과목별로 살펴보면, 7~10학년까지 공통 과학에서 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’ 영역을 제외한 모든 영역의 내용을 배울 수 있고, 지구과학Ⅱ에 서로 다른 영역이나 주제를 배치함으로써 천문학의 모든 분야를 아우를 수 있도록 교육과정이 구성된 것을 알 수 있다. 다만 통합과학의 경우 제시된 개념과 긴밀하게 연계된 탐구 활동이 제안될 필요가 있으며, 융합과학과 중복된 내용 요소들이 대부분이라 융합과학의 과목을 재정의하고 내용 요소 조정이 필요한 것으로 보인다. 또한 지구과학Ⅱ의 경우 기본심화 개념 탐구보다는 서로 다른 영역의 내용 요소가 배치되었는데, 향후 교육과정 개정 과정에서는 공통 과목, 일반 선택, 진로 선택 과목의 성격과 과목 연계에 대해 다양한 측면에서 논의가 이루어질 필요가 있다. 서로 다른 영역을 다룸으로써 폭넓은 주제를 다룰 수 있다는 장점을 살리는 한편 중요한 개념들은 기본-심화 탐구로 연계하여 제시함으로써 진로 탐색의 기회도 제공할 것을 제안한다.

구체적으로 살펴보면, 2022 교육과정 총론 시안<sup>16)</sup>에 의하면 종래의 지구과학Ⅱ는 ‘지구시스템과학’과 ‘행성우주과학’으로 나뉘어 사실상 천문학이 독립 과목화되어 개발될 것으로 보이나 현재의 지구과학Ⅱ의 개설률(1.8%)을 고려했을 때 기존의 교육과정에 포함된 내용 요소를 단순히 재배치하는 수준으로 구성될 경우 ‘있으나 마나’한 과목으로 전락할 위험이 농후하다는 것이다. 고교학점제에 관한 여러 연구는 주로 선택과목을 어떻게 구성할 것인지(Kim & Kwak, 2020), 학교 교육과정에서 어떻게 구현할 것인지(Kim & Seo, 2018; Seo, 2020; Lee, 2021), 관련 쟁점은 무엇인지(Park & Uhm, 2018; Han, 2019) 등이었다. 그러나 각 선택과목의 성격과 내용을 어떻게 규정할 것인지에 대한 구체적인 근거를 마련하기 위한 연구들이 매우 부족한

실정이다. 이전 학년의 교육과정 내용 요소와의 연계성을 면밀히 검토하여 심화하는 개념, 다른 분야와 융합되는 개념 등 체계적이고 다양하게 검토하여 구성함으로써 진정한 진로 선택 과목으로서의 역할을 하도록 개발되어야 할 것이다.

셋째, 천문학 영역별로 살펴보면, 교육과정에 가장 많이 반영된 분야는 ‘Stars and Stellar Evolution’이며, 나머지 영역들은 구체적인 키워드 수준에서 몇 가지 개선점들을 제안하였다. 특히 천문학 연구 키워드와 비교해봤을 때 태양 자기장, 별의 탄생, 외부은하의 형성과 진화의 경우 개념의 중요도와 타당도를 판단하여 교육과정을 보완할 필요가 있다고 본다. 교육과정에서 상대적으로 비중이 낮은 두 영역 중 하나인 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’의 경우 상대적으로 어려운 개념들이기는 하지만 최근 활발하게 연구되고 있어 언론 보도 등을 통해 생활 속에서 접할 수 있는 주제들이므로 자세한 원리를 다루지 않더라도 학생들의 흥미와 호기심을 충족시켜주는 관점으로 접근할 수 있을 것이다. 다른 하나인 ‘Technologies and Data Science for Astronomy’의 경우 과학 탐구 역량과 직결되는 부분으로 내용 요소에는 적게 포함된 것을 당연하게 볼 수도 있다. 하지만 천문학은 특히 관측 장비 및 데이터 처리 기술의 획기적인 발달로 인해 빠르게 성장하고 있는 분야로서 천문학자들 사이에서나 키워드에서도 관측 방법이 독립 분과로 중요한 비중을 차지하고 있었다. 역량 중심 교육과정이라는 방향을 고려하여 ‘핵심 개념’의 역할과 의미를 확장하여 과학 탐구 방법을 지식과 동등한 수준에서 명시적으로 제시하는 것을 검토할 수 있을 것이다.

이와 관련해서 천문학 교육과정에서 탐구 활동의 내용과 유형에 대한 연구가 더 많이 이뤄질 필요가 있다. 기존 교육과정에 부족한 실질적인 관측과 데이터 처리 실습을 보완할 수 있는 개별 프로그램 개발 및 적용, 제안에 대한 연구 등이 있었으나(Kim & Shim, 2018; Kim *et al.*, 2018; Choi & Yoon, 2019) 보다 실질적으로 많은 학생의 경험으로 이어지기 위해서는 교육과정 수준에서 다양한 탐구 활동들이 제시되어야 한다. 예를 들어, 천문학 교육과정 전체에 대해 중단 혹은 횡단으로 탐구 활동의 유형과 변천을 살펴보면서 보완할 부분이나 유형별 균형을 제안할 수도 있을 것이다. 구체적으로는 천문학 분야에서 생성되는 막대한 데이터를 활용하는 탐구 활동을 상상해볼 수도 있다(Tytler, 2007). Sloan Digital Sky Survey와 같은 프로젝트(Hey, Tansley, & Tolle, 2009)나 Virtual Observatory<sup>17)</sup>에서 제공하는 막대한 데이터와 이를 분석할 수 있는 무료 온라인 도구나 소프트웨어 패키지들을 사용하는 접근은 최근 강조되고 있는 AI와 빅데이터 교육과 시너지 효과를 낼 것으로 기대할 수 있다. 한편 그동안 천문학에서 인간의 경험을 초월하는 시공간을 다룬다는 점이 기본 공간 개념 형성을 어렵게 만드는 주된 요인이었지만(Raipaul *et al.*, 2018), 이제 쉽게 제작하고 조작할 수 있는 3D 소프트웨어 활용 및 가상현실, 증강현실, 메타버스 등 흥미롭고 효과적인 3D 콘텐츠를 활용한 접근은 이러한 제약을 상당히 완화해줄 것이다. 이는 교육과정 수행에 있어서 기본 개념 형성에 들이는 시간과 노력을 감소시켜 탐구 활동과 실습 시간을 확보하는 것으로 이어질 수 있다.

그동안 교과 교육과정 비교 분석 연구는 주로 같은 성격을 지닌 교육과정들 사이를 비교하는 접근들이었고(Lee & Lee, 2016; Yoon &

16) 교육부 보도자료(2021.11.24.자). 2022 개정 교육과정 총론 주요사항(시안), 붙임3. 고등학교 교과목 구성(안), p.47.

17) International Virtual Observatory Alliance. Retrieved Jan. 31. 2022. from <https://ivoa.net/>

Nam, 2020; Kim, 2021), 과목의 근간을 이루는 실제 학문 분야와 직접 비교한 연구는 드물었다. 따라서 본 연구는 탐색적 성격으로서 여러 측면에서 제한점을 갖게 된다. 먼저 천문학 연구와 교육과정의 목표 자체가 다르기 때문에 연구 키워드와 교육과정 내용 요소의 수준과 성격이 본질적으로 다를 수밖에 없으므로 접근과 해석에 있어서 신중해야 했다. 교육과정은 과학적 소양 함양을 목표로 천문학의 가장 기초 개념부터 심화 개념까지 다양한 범위를 담고 있지만 연구 키워드는 전문가들이 새로운 사실을 발견하고 지식을 합의해가는 과정 한가운데에 있는 첨단 연구 동향을 반영하고 있기 때문이다. 가령 ‘지구와 달의 운동’같은 ‘행성 역학’은 교육과정에서 많은 비중을 차지하고 있는 중요한 주제이나(Salimpour, et al., 2021) 천문학자들에게는 이미 충분히 정립된 지식으로서 외계행성계같은 새로운 주제를 탐구할 때 활용하는 도구일 뿐 연구 키워드가 되지 않는다. 따라서 본 연구에서도 최신 연구 키워드와 교육과정 속 개념 자체를 단순히 비교하기보다는 그 주제를 접했을 때 이해할 수 있는 과학적 소양 기반이 될 수 있는 기본 개념들이 교육과정에서 어떻게 구성되어 있는지를 함께 살펴보면서 분석하고자 하였다.

한편 연구 결과로 제시한 비교 분석표에 수록된 언어를 통일하지 않고 교육과정 내용 요소는 한글로, 저널의 키워드는 영어 그대로 두었다. 연구 진행 과정에서 교육과정 내용 요소를 천문학 용어 사전을 참고하여 영어로 바꾸거나 저널의 키워드를 한글로 바꾸는 것에 대한 논의도 있었으나 용어사전에 없는 용어들에 대한 문제, 번역 과정에서 의미 왜곡 가능성이 제기되었고, 교육과정이나 천문학을 연구하는 독자의 입장에서도 각각의 원어로 제시하는 것이 파악하기 쉬울 것으로 판단하였다. 또한 서로 다른 언어를 유지한 것은 같은 개념이라도 각 분야에서 성격과 수준이 다를 수밖에 없다는 것을 끊임없이 환기시키는 효과도 있었다. 예를 들어 교육과정에서의 ‘초신성’과 천문학 저널에서의 ‘supernovae’를 단순히 1:1로 대응시키는 것을 지양하고 각 분야의 특성과 목표, 개념을 둘러싼 맥락을 다시 살펴보고자 한 것이다.

또한, 본 연구에서는 키워드의 출현 빈도만 분석했기 때문에 개별 연구 주제의 중요도나 전체적인 맥락에서 그 주제가 차지하고 있는 위치, 해당 주제에 대한 연구 내용 등에 대한 구체적인 분석과 통찰이 부족하다. 교육과정 내용 요소와의 비교 분석이라는 연구 목적에 따른 연구 범위 제한 역시 연구 동향에 대한 체계적이고 깊이 있는 분석을 제한하였다. 본 연구의 제한점을 바탕으로 후속 연구로서 교육과정 개발을 염두에 둔 천문학 연구 동향 분석, 해당 분야 진로진학 희망자가 선택할 전문 과목의 교육과정을 체계적으로 조직하기 위해서 내용 요소와 개념 위계 분석, 천문학 특화 과학관의 전시 내용 체계 마련 등에 대한 연구가 이어질 수 있을 것이다.

세상에 존재하는 지식의 양에 비해 교육과정에 담을 수 있는 양은 한정돼 있기 때문에 어떤 지식, 기능, 태도를 넣을 것인가에 대한 질문은 여전히 가장 중요하지만 어려운 질문이며, 교육목표를 무엇으로 두느냐에 따라 달라진다(Tyler, 2004). 물론 학생들의 사고 능력, 학문의 구조, 유용성을 고려했을 때 학교 교육과정으로 적합하다는 어느 정도의 합의가 되어 수십 년간 변함없이 학교에서 가르치고 있는 기본 개념들, 예를 들어 천문학에서 지구의 모양과 운동, 태양, 달, 계절 변화, 낮밤 주기, 중력과 같은 개념들도 있다(Choi & Kwon, 2011; Lelliott & Rollnick, 2010; Bryce & Blown, 2012). 반면 새로운 주제

들을 도입하는 부분에 대해서는 논의도 부족할 뿐 아니라(Lelliott & Rollnick, 2010) ‘학습량 적정화’ 기조하에 과학 내용 요소 감량에 대한 압박이 존재하는 상황에서 서로 다른 교육 목표를 갖고 있는 참여자들이 모두 합의하는 결과를 얻는 것은 매우 어려운 일이다(Lee, 2013). 그러나 과학은 특히 지식이 빠르게 생성되며 변하고 있는 분야이다. 우리가 살아가고 있는 현대 사회 자체가 과학기술 기반 사회로서 일반 시민들에게 요구되는 과학적 소양의 주제와 범위도 점차 확장되고 있으며, 많은 학생이 언론 보도나 학교 밖에서 접하는 최신 과학에 흥미와 호기심을 갖고 있다(Park, 2016). 이에 따라 대폭발(빅뱅) 우주론이나 우주 초기 생성 입자들과 같이 일반적으로 너무 어렵다고 여겨지는 주제들을 공통 과목 내용으로 도입하는 혁신적 시도와(MOE, 2009) 이것이 교사들의 능동적 수용과 전파로 이어질 수 있는 방안을 모색하는 연구가 있었고(Ha et al., 2014), 이제는 10년째 자리를 잡고 있다. 덴마크, 남아프리카 공화국, 스웨덴과 같은 몇몇 나라에서는 초등학교 교육과정에서 ‘우주에 생명이 살 수 있을까?’라는 주제로 전파천문학, 빅뱅 이론, 우주 생물학 등을 포함하는 경우도 있다(Salimpour et al., 2021). 암흑물질과 암흑에너지는 존재한다는 사실 외에는 밝혀진 바가 거의 없지만 우리 과학 교육과정에 포함되어 있지 않은가. 같은 천문학 개념을 복잡하고 어렵게 접근할 수도 있고, 새롭고 신기하니 호기심을 이끌어 낼 수 있다고 접근할 수도 있는 것이다. 물론 핵심 개념들이 지나치게 많을 경우 교사에게 부담으로 작용하겠지만, 지나치게 적거나 시의성이 떨어질 경우 학생들의 핵심 개념 습득 부족이나(Kim & Chung, 2017) 흥미 상실로 이어질 수 있으므로 과학의 발전과 학교 교육과정의 설계 원리를 비롯해 여러 가지 측면에서 핵심 개념을 엄선하기 위한 논리와 근거를 마련하는 연구와 논의가 충분히 이뤄져야 한다.

천문학은 ‘Gateway science’라고 표현될 정도로 학생들에게 과학적 소양과 STEM에 대한 흥미를 높이는 데에 유용하여 세계 주요 국가들의 교육과정에 모두 포함되어 있다. OECD 국가의 70% 이상이 초등학교 1학년 때부터 우주를 가르치고 있다는 사실은(Salimpour et al., 2021), 국력의 지표로 여겨질 정도로 첨단 기술이 집약돼 있고 새로운 연구 성과들이 쏟아지는 분야로서 천문학의 중요성이 교육과정에 반영된 것으로 볼 수 있다. 현재 진행되고 있는 굵직한 프로젝트들만 해도, 2021년 달의 뒷면 착륙에 성공했고, 역사상 가장 거대한 프로젝트였던 제임스 웹 우주 망원경이 2022년 1월에 성공적으로 궤도에 안착해 곧 심우주 관측을 시작할 예정이며, 2022년에는 또 하나의 우주정거장이 완공되고, 대한민국의 첫 달탐사선이 발사될 예정이다. 국가적, 국제적 규모의 우주 프로젝트들은 과학 탐구의 생생한 사례로서 과학에 대한 흥미를 이끌어낼 수 있고, 과학 전공이 아닌 학생들에게도 과학적 소양으로서 사회에서의 과학의 역할과 과학적 과정에 대한 이해를 향상시키는 데 중요한 역할을 수행할 것이다(Prather, Rudolph, & Brissenden, 2009). 이러한 배경에 비추어 봐도 천문학 교육과정에 대한 연구가 다양한 측면에서 이루어질 필요가 있다.

과학 교육과정은 기본 개념을 토대로 하되 학생들의 흥미와 호기심을 이끌어 내고 시민의 과학적 소양을 증진할 수 있는 현대의 과학 연구 성과를 포용할 수 있는 방식을 모색해야 할 것이다(Martins, 2016). 본 연구의 탐색적 시도를 기반으로 관련 연구 방법이 보다 정교화되고, 교육과정을 구성하는 내용 요소 선정과 구성에 대한 다양한 관점과 논의가 제기되기를 기대한다.

## 국문요약

힉스입자 발견, 블랙홀 이미지 촬영, 외계행성 탐사, 깊은 우주탐사, 중력과 관측 등 최근 천문학은 매우 빠르게 성장하고 있으며, 학생들도 상대적으로 흥미가 높은 분야이다. 본 연구의 목적은 최근 10년간 천문학 연구 저널에서 높은 빈도로 등장한 키워드들과 중학교 교과 교육과정에 포함된 천문학 내용 요소를 7개 영역별로 비교하여 천문학 교육과정 개선에 대한 시사점을 얻는 것이다. 우선 선정된 4개 저널-ApJ, ApJL, A&A, MNRAS-에 2011년부터 2020년까지 게재된 모든 논문의 키워드를 R 패키지로 수집하여 연구 동향을 살펴보았다. 교육과정 내용 요소는 7학년부터 12학년 학생이 배우는 과목 중 천문학 내용 요소가 포함된 6개 과목(과학, 통합과학, 지구과학, 지구과학II, 물리II, 융합과학)의 2015 개정 교육과정 문서에 제시된 내용 체계표, 성취기준, 성취기준해설을 현직 교사들이 코딩한 결과를 종합하여 추출하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 첫째, 천문학에서 꾸준히 많이 등장하는 키워드는 ‘galaxies: formation, galaxies: active, star: formation, accretion, accretion discs, method: numerical’이다. 둘째, 천문학 교육과정은 모든 학생이 배우는 공통 과학 과목 안에서 ‘High Energy Astrophysical Phenomena’ 영역을 제외한 모든 영역을 포함하도록 구성되었으나 키워드 수준에서 보면 과목별, 학년별 내용 요소 배치와 새롭게 도입할 만한 주제에 대한 검토가 필요한 것으로 나타났다. 본 연구는 과목의 근간을 이루는 과학연구 분야와 교육과정을 비교한 탐색적 연구로서, 연구 결과는 향후 천문학 교육과정 개정에 시사점을 줄 수 있는 기초 연구가 되길 기대한다.

**주제어:** 천문학 교육, 천문학 교육과정, 2015 개정 교육과정, 천문학 연구 키워드

## References

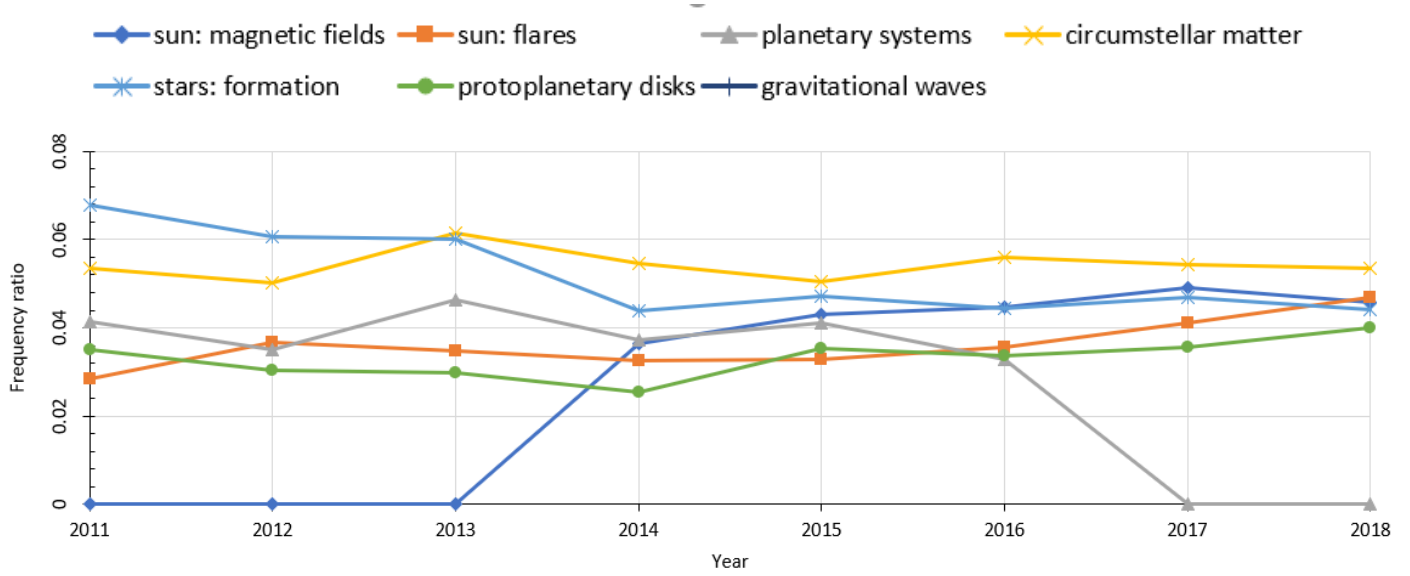
- Akiyama, K., Alberdi, A., Alef, W., Asada, K., Azulay, R., Baczo, A. K., ... & Rao, R. (2019). First M87 event horizon telescope results. VI. The shadow and mass of the central black hole. *The Astrophysical Journal Letters*, 875(1), L6.
- Bailey, J. M., Prather, E. E., & Slater, T. F. (2004). Reflecting on the history of astronomy education research to plan for the future. *Advances in Space Research*, 34(10 SPEC. ISS.), 2136-2144.
- Bryce, T. G. K., & Blown, E. J. (2012). The Novice-Expert Continuum in Astronomy Knowledge. *International Journal of Science Education*, 34(4), 545-587.
- Callon, M. (2001). Actor Network Theory. In N. J. Smelser & P. B. Baltes (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (pp. 62-66). Oxford: Elsevier Science.
- CERN. (2017). LHC the Guide. Education, Communications and Outreach Group, February 2017 CERN-Brochure-2017-002-Eng. Retrieved from <https://home.cern/resources/brochure/knowledge-sharing/lhc-facts-and-figures>.
- Cho, S., Kim, H., Kim, G., Ji, S., Kim, Y., Yu, H., & Kim, D. (2018). An Inquire into the organization and operate of optional subjects following the 2015 revised curriculum system. Policy Reserach Report, MOE-2018-25.
- Choi, D.-Y., & Yoon, M.-B. (2019). The Development of an Astronomical Observing Education Program for High School Science Club Activities-Inquiring Distances of Open Clusters Using Small Telescopes-. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 40(3), 300-312.
- Choi, H. D., & Kwon, C. S. (2011). Contents analysis of astronomy in science textbooks of elementary school according to the changes of the curriculum. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 4(1), 32-42.
- Choi, J., Ko, Y., & Lee, H. (2019). Comparative analysis of socioscientific issues presented in the 2015 integrated science and social studies textbooks. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 19(16), 1233-1256.
- Durant, J. R. (1993). What is scientific literacy? In J. R. Durant & J. Gregory (Eds.), *Science and culture in Europe* (pp. 129-137). London: Science Museum.
- Englert, F., & Brout, R. (1964). Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons. *Physical Review Letters*, 13(9), 321-323.
- Ghez, A. M., Salim, S., Hornstein, S. D., Tanner, A., Lu, J. R., Morris, M., ... & Duchêne, G. (2005). Stellar orbits around the galactic center black hole. *The Astrophysical Journal*, 620(2), 744.
- Guralnik, G. S., Hagen, C. R., & Kibble, T. W. B. (1964). Global conservation laws and massless particles. *Physical Review Letters*, 13(20), 585-587.
- Guralnik, G. S. (2009). The History of the Guralnik, Hagen, and Kibble development of the theory of spontaneous symmetry breaking and gauge particles. *International Journal of Modern Physics A*, 24(14), 2601-2627.
- Fitzgerald, M., McKinnon, D. H., Danaia, L., & Deehan, J. (2016). A Large-Scale Inquiry-Based Astronomy Intervention Project: Impact on Students' Content Knowledge Performance and Views of Their High School Science Classroom. *Research in Science Education*, 46(6), 901-916.
- Ha, M., Shin, S., Lee, J. K., Park, H., Chung, D. H., & Lim, J. K. (2014). The study of causal model on science teachers' adoption of 'Science' focusing on the fusion in the 2009 revised curriculum. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(3), 235-246.
- Han, H. C. (2019). Exploring issues and future research direction related to high school curriculum for the introduction of high school credit System. *The Journal of Curriculum Studies*, 37(2), 53-81.
- Hey, T., Tansley, S., & Tolle, K. M. (2009). Jim Gray on eScience: a transformed scientific method. In *The Forth Paradigm*. (pp.xvii-xxxi).
- Higgs, P. W. (1964). Broken symmetries and the masses of gauge bosons. *Physical Review Letters*, 13(16), 508-509.
- Hurd, P. D. (1958). Scientific literacy: its meaning for American schools. *Educational Leadership*, 16(1), 13-16.
- Jo, M.-S., & Jeong, J.-W. (2016). Analysis of Scientific Literacy on Korean Science Curriculum of Earth Science Contents. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 9(3), 269-275.
- Jung, J. S., Kim, D. W., Lim, J. K., Lee, Y. J., Kim, E., & Lim, S. M. (2012). High school students' opinions about fusing 'Science' textbook. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 5(2), 189-196.
- Kim, H. B., & Yoo, K. H. (1997). Concept Mapping Based on Chapter 「Iii.Universe」 of High School Earth Science Textbook. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 17(4), 461-479.
- Kim, H. U., Jeong, S. J., Jeong, S. R., & Mun, S. Y. (2018). Effects of Science Classes Using 3D Planetarium Program on Elementary School Students' Science Learning Motivation and Spatial Perception. *School Science Journal*, 12(1), 37-48.
- Kim, H. (2021). Exploration of Contents Composition of High School Earth Science for the 2022 Revised Curriculum: Focus on the Area of Astronomy. *Journal of The Korean Association for Science Education*, 41(6), 441-454.
- Kim, J., & Chung, A. J. (2017). International Comparison Study on Essential Concepts of Science Curriculum: Focus on the United States, Canada, Australia and England. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 37(1), 215-223.
- Kim, L. J., & Seo, K. H. (2018). Curriculum Reform through High School Credit System. *The Journal of Curriculum Studies*, 36(1), 113-138.
- Kim, S. K., Park, E. J., Kim, C. J., & Choe, S. U. (2016). International Comparative Study on Astronomical Exhibits: Focus on Exhibit Characteristics and Earth Science Curriculum Reflected in Exhibits. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(6), 925-934.
- Kim, W., & Shim, H. (2018). Effects of the Planetarium Lesson on Students' Understanding of Astronomical Concepts. *Journal of Science Education*, 42(1), 49-65.
- Kim, Y. (2019). Reconstruction of Earth Science High School Selective Courses: Centered on the Solid Earth Area. *Schoo Science Journal*, 13(3), 283-302.
- Kim, Y., & Kwak, Y. (2020). Research on reconstruction of earth science elective courses. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 13(1), 40-52.
- Kwak, Y., & Shin, Y. (2021). Exploring Ways to Improve Integrated Science and Science Laboratory Experiments in Preparation for the 2022 Revised Curriculum. *Journal of Science Education*, 45(2), 143-155.
- Latour, B. (1999). *Pandora's hope: Essays on the reality of science studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lee, H. (2020). Investigating the Improvement of Concept and Inquiry Activities in Elementary School Science Textbook of the 2015 Revised

- Curriculum-Focus on Earth Science Section. *Journal of Science Education*, 12(3), 300-317.
- Lee, I., & Kwak, Y. (2020). Exploration of the Status of Course Completion and Ways to Raise Selection Rates of General Elective Courses in the 2015 Revised Science Curriculum. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 40(2), 217-226.
- Lee, J. A., Lee, K., Park, Y. S., Maeng, S., & 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*, 35(2), 179-197.
- Lee, G. -G., & Hong, H. -G. (2017a). Analysis on the Meaning Change of the Term 'Core Concept' in the 2015 Revised National Curriculum. *The Journal of Curriculum and Evaluation*, 20(2), 1-30.
- Lee, G. -G., & Hong, H. -G. (2017b). A Comparison of 'Integrated Science' and 'Converged Science' of the 2015 Revised National Curriculum through Core Concepts. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(6), 981-992.
- Lee, M. (2021). Research on Teacher's Perceptions regarding Student Evaluation and College Admission System for the High School Credit System. *Journal of Educational Evaluation*, 34(1), 207-230.
- Lee, S.-e. (2013). A study on the structure of conflicts in subject curriculum development: Focusing on 2009 science curriculum development. *The Journal of Curriculum Studies*, 31(4), 77-110.
- Lee, S. -K., Kim, N., Ju, H., Kwak, Y., Park, Y. -K., Park, H., & Jeon, P.-r. (2020). Strategies for Strengthening Environmental Education in the Next National Curriculum: A Preliminary Study on the Development of a Framework for Content Analysis of Environmental Education. *The Korean Society for Environmental Education*, 33(3), 247-261.
- Lee, Y.-a, & Lee, H. (2016). Comparative Analysis on the Articulation between the 2009 Revised Science Curriculum and the U.S. NGSS: Focus on the Contents of Geosphere in Earth Science. *Secondary Education Institute*, 64(3), 701-724.
- Lee, Y. R., Kim, D. Y., & Kwak, Y. S. (2007). Research on Ways to Improve the 7th National Earth Science I, II Curriculum. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 27(4), 328-336.
- Lim, C. -H., & Jeong, J. -W. (1993). An analysis of contents and problems on astronomical area in the elementary science textbooks. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 13(2), 247-256.
- Lelliott, A., & Rollnick, M. (2010). Big ideas: A review of astronomy education research 1974-2008. *International Journal of Science Education*, 32(13), 1771-1799.
- Maeng, S., Lee, K., Park, Y. -S., Lee, J. -A., & Oh, H. (2014). Development and Validation of a Learning Progression for Astronomical System Using Ordered Multiple-Choice Items. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(8), 703-718.
- Martins, A. F. P. (2016). Knowledge about science in science education research from the perspective of Ludwik Fleck's epistemology. *Research in Science Education*, 46(4), 511-524.
- MOE (Ministry of Education) (2009). 2009 revised Science National Curriculum. Ministry of Education.
- MOE (Ministry of Education) (2015). 2015 revised Science National Curriculum. Ministry of Education.
- Organtini, G. (2016). The Higgs mechanism for undergraduate students. *Nuclear and Particle Physics Proceedings*, 273-275, 2572-2574.
- Park, H. J., Park, W. K., & Kim, Y. (2021). Analysis of Medical Student's Need for Pre-Medical Course on the Contents of Science Curriculum in High School. *Journal of Science Education*, 45(1), 129-141.
- Park, J. (2016). Discussions about the three aspects of scientific literacy: Focus on integrative understanding, settlement in curriculum, and civic education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(3), 413-422.
- Park, J., Liu, C., Huang, C., Shen, M., & Shin, M. -K. (2016). Introducing modern science and high technology in schools. In H. -S. Lin, J. K. Gilbert, & C. -J., Lien (Eds.), *Science Education Research and Practice in East Asia: Trends and Perspectives* (pp. 391-416)
- Park, K. Y., & Uhm, J. Y. (2018). Exploration on issues and tasks in introducing high school credit system. *Korean Journal of Educational Research*, 56(4), 1-29.
- Plummer, J. D. (2014). Spatial thinking as the dimension of progress in an astronomy learning progression. *Studies in Science Education*, 50(1), 1-45.
- Rajpaul, V. M., Lindström, C., Engel, M. C., Brendehaug, M., & Allie, S. (2018). Cross-sectional study of students' knowledge of sizes and distances of astronomical objects. *Physical Review Physics Education Research*, 14(2).
- Prather, E. E., Rudolph, A. L., & Brissenden, G. (2009). Teaching and learning astronomy in the 21st century. *Physics Today*, 41-47.
- Salimpour, S., Bartlett, S., Fitzgerald, M. T., McKinnon, D. H., Cutts, K. R., James, C. R., Miller, S., Danaia, L., Hollow, R. P., Cabezon, S., Faye, M., Tomita, A., Max, C., de Korte, M., Baudouin, C., Birkenbauma, D., Kallery, M., Anjos, S., Wu, Q., ... & Ortiz-Gil, A. (2021). The Gateway Science: a Review of Astronomy in the OECD School Curricula, Including China and South Africa. *Research in Science Education*, 51(4), 975-996.
- Seo, B. (2020). The introduction of high school credit system and change in high schools. *Journal of Sociology of Education*, 30(3), 55-79.
- Sim, J. H. (2014). The teachers' perception of the implementation of high-school integrated science developed by 2009 revised science curriculum. *Journal of Curriculum Evaluation*, 17(1), 53-76.
- Song, J., Kang, S. J., Kwak, Y., Kim, D., Kim, S., Na, J., ... & Joung, Y. J. (2019). Contents and features of 'Korean Science Education Standards (KSES)' for the next generation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 39(3), 465-478.
- Stern, A., & Grinspoon, D. (2018). Chasing New Horizons: inside the epic first mission to Pluto. *Picador*.
- Sweatman, M. B., & Coombs, A. (2019). "Decoding European Palaeolithic Art: Extremely Ancient Knowledge of Precession of the Equinoxes." *Athens Journal of History*, 5(1), 1-30.
- Türk, C., & Kalkan, H. (2015). The Effect of Planetariums on Teaching Specific Astronomy Concepts. *Journal of Science Education and Technology*, 24(1), 1-15.
- Tyler, R. W. (2004) *Basic Principles of Curriculum and Instruction*. In Flinders D. J, Thornton, S. J. (Eds.) *The Curriculum Studies Reader*. 2nd. NY: RoutledgeFalmer.
- Tytler, R. (2007). Re-imagining science education: engaging students in science for Australia's future. *Australian Education Review*.
- van Eijck, M. (2010). Addressing the dynamics of science in curricular reform for scientific literacy: The case of genomics. *International Journal of Science Education*, 32(8), 2429-2449.
- Vesterinen, V. M., Tolppanen, S., & Aksela, M. (2016). Toward citizenship science education: what students do to make the world a better place? *International Journal of Science Education*, 38(1), 30-50.
- Yoon, J. A., & Nam, Y. (2020). Comparison of the science education curriculum and the environmental education curriculum for promoting environmental education. *Journal of the Korean earth science society*, 41(2), 155-175.
- 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 the Korean earth science society*, 32(7), 902-912.(in Korean)

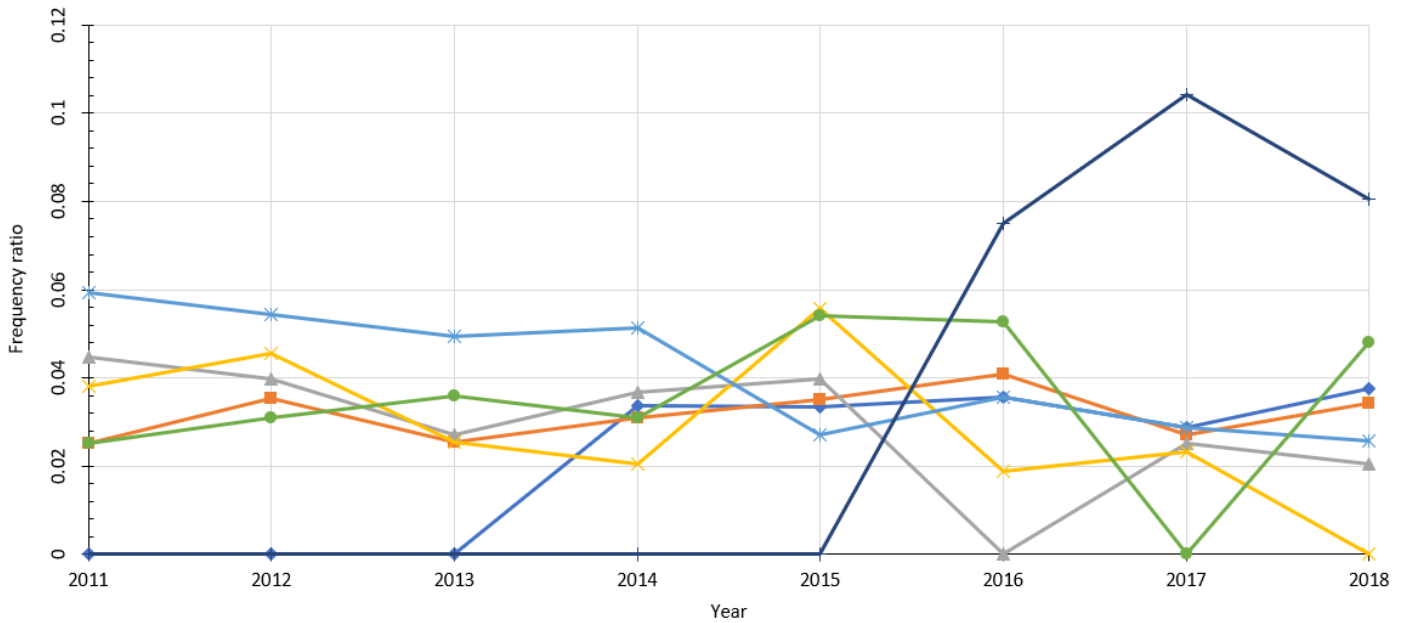
## 저자정보

신현정(서울대학교 학생)  
 권우진(서울대학교 교수)  
 가석현(국립대만사범대학 교수)

Appendix 1. Time variations of frequency ratios for selected keywords. (a) in ApJ (b) in ApJL.



(a)



(b)