



Editorial

‘지질과학의 학문연구 동향과 쟁점’ 발간사

장호완*, 우경식

대한민국학술원

Preface to the special issue ‘Trends and Issues in Geoscience Research’

Ho-Wan Chang*, Kyung Sik Woo

The National Academy of Sciences, Seoul 06579, Republic of Korea

Received: August 24, 2026

*Corresponding author: E-mail: changhow@snu.ac.kr

1. 특집호 발간 배경

대한민국학술원(이하 학술원)은 여러 과학 분야에서 축적된 학문적 성과를 바탕으로 현시대 학문 연구의 동향과 쟁점, 세계적 추세를 살펴보고, 우리나라 과학 연구의 미래를 이끌 나침반 역할을 할 수 있도록 매년 새로운 분야를 선정하여 ‘학문연구의 동향과 쟁점’을 시리즈로 발간해 왔다. 2024년에는 지질과학 분야의 도서 발간이 결정되었으며, 지질과학의 여러 세부분야를 대표하는 전문가들이 집필에 참여하여 2025년 12월 ‘학문연구의 동향과 쟁점: 지질과학’을 발간하였다.

그러나 이 저서는 비매품으로 일부 학회와 도서관 등에 제한적으로 배포되어 지질과학을 공부하는 학생과 연구자, 관련 분야 전문가들이 쉽게 접하기 어렵다는 한계가 있었다. 이에 보다 많은 독자들이 이 저서의 내용을 활용할 수 있도록 주요 원고를 『지질학회지』 특집호로 다시 발간하기로 하였다. 원 저서가 총 989쪽에 이르는 방대한 분량인 점을 고려하여 이번 특집호는 9월호와 12월호 두 차례로 나누어 발간하며, 9월호에는 11편, 12월호에는 16편의 논문 및 논평을 게재할 예정이다.

학술원 도서와 『지질학회지』 특집호 발간을 위해 애써 주신 모든 저자에게 깊이 감사드린다. 또한 도서 발간에 필요한 예산을 지원하고, 학술원 명의로 발간된 저서의 내용을 『지질학회지』 특집호를 통해 다시 게재할 수 있도록 허락해 준 대한민국학술원에도 진심으로 감사드린다. 아울러

특집호 발간을 승인해 준 대한지질학회와 특집호의 편집 및 발간을 위해 애써 주신 『지질학회지』 편집위원장 임현수 교수께 깊은 감사를 드린다.

마지막으로, 본 특집호에 수록된 논문 및 논평은 2025년 대한민국학술원에서 발간한 『학문연구의 동향과 쟁점: 지질과학』에 수록된 원고를 바탕으로 한 이차게재(secondary publication)임을 밝힌다. 이번 이차게재는 원 저서의 제한적인 배포에 따른 접근성의 한계를 보완하고 지질과학 분야의 연구 성과와 최신 동향을 보다 폭넓게 공유하기 위한 것으로, 원 출판기관인 대한민국학술원의 재게재 허락과 『지질학회지』의 승인을 받아 이루어졌다.

2. 특집호 발간 목적과 필요성

지질과학은 지표와 지하에서 일어나는 다양한 지질 현상과 변화, 유용 자원의 탐사와 확보, 지질재해의 원인과 발생 과정 등을 연구함으로써 인류의 삶과 사회 발전에 크게 기여해 왔다. 21세기에 들어 지질과학의 연구 대상과 방법은 더욱 다양화되고 심화되고 있다. 기후변화와 밀접하게 관련된 빙하·빙상·영구동토층 등 빙권의 변화에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있으며, 자원과 에너지 문제를 해결하기 위한 연구영역도 육상에서 심해저까지 확대되고 있다. 또한 지구 내부의 맨틀과 핵에 대한 연구뿐만 아니라 태양계의 행성과 위성으로까지 관심이 확대되면서 행성지질학도 중요한 지질과학 분야로 발전하고 있다.

한편, 오늘날 인류는 급격한 지구온난화에 따른 기후변화, 인구 증가와 도시화, 자연재해, 물과 에너지 자원의 확보 등 다양한 문제에 직면하고 있다. 이에 대응하기 위해서는 기후 및 환경변화의 예측, 지진·화산·산사태 등 자연재해의 예측과 피해 저감, 안정적인 수자원 확보, 지속 가능한 에너지와 광물자원의 개발 등 미래사회의 지속 가능성을 뒷받침할 과학적 연구와 정책 개발이 요구되고 있다.

이러한 시점에서 이 특집호가 지질과학 분야에 축적된 연구 성과를 종합적으로 분석하고 주요 연구 동향과 쟁점을 살펴봄으로써, 향후 지질과학이 나아갈 방향을 모색하는 지침서의 역할을 하기를 기대한다. 또한 지질과학의 국제적 연구 추세와 국내 연구 동향을 비교·분석하여 학문적 시야를 시·공간적으로 확대하고, 이를 바탕으로 학문 후속 세대가 우리나라 지질과학의 발전에 기여할 수 있는 계기가 되기를 기대한다.

3. 집필 내용과 지질과학 분야

지질과학은 전통적으로 암석학, 광물학, 층서학, 퇴적학, 고생물학, 광상학, 구조지질학, 지구화학 및 지구물리학 등 다양한 분야로 구분되어 왔으며, 연구 대상과 방법의 다양화에 따라 지질연대학, 수리지질학, 환경지질학, 해양지질학 등 여러 전문 분야가 발전해 왔다. 최근에는 빙권의 지질 및 환경변화, 지구 심부의 맨틀과 핵, 그리고 행성과 위성의 지질현상에 관한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 또한 개별 연구 분야만으로는 복잡한 자연현상을 종합적으로 규명하는 데 한계가 있다는 인식이 확산되면서, 다양한 연구 방법과 자료를 결합한 학제 간·융합 연구가 증가하고 있으며 이에 따라 새로운 세부 연구 분야도 지속적으로 파생되고 있다. 특히 21세기에 들어 우주 탐사가 본격화되면서 지질과학의 연구 대상은 지구를 넘어 행성과 위성, 소행성 및 운석 등 태양계 천체와 그 구성 물질로 확대되고 있다. 이러한 연구 대상과 방법의 다양화 및 융합으로 인해 오늘날 지질과학의 세부 분야를 명확하게 구분하는 것은 점차 어려워지고 있다.

3.1. 지구지질과학(Geology of Earth)

지구 내부는 지각, 맨틀, 외핵 및 내핵의 네 가지 주요 구성 요소로 나뉜다. 각 층의 구성 물질은 서로 다른 화학적 조성과 물리적 상태를 갖고 있으며, 이들의 상호작용은 지구 표면에서 일어나는 다양한 지질 현상에 영향을 미치고 있다. 따라서 지질과학의 연구 결과는 인간의 삶을 풍요롭게 하는 데 큰 영향을 미친다. 이러한 연구 결과는 유용 자원의 분포에 대한 자료를 제공하기도 하고 지진, 쓰나미, 화산 폭발과 같은 자연재해의 원인 규명과 예측을 통해 인류

의 삶을 보호하기도 한다. 또한 자연재해에 대한 과학적 대응 방안을 제시하고, 지구의 과거 기후변화에 대한 통찰력을 제공함으로써 기후변화에 대한 대응을 가능하게 하는 등, 지구환경의 전반적 개선에 이바지한다.

이처럼 지질과학은 광범위하여 그 관점에 따라 30여 개 분야로 나뉘기도 한다(EarthHow, 2026). 과학의 점진적인 전문화 추세에 따라 새로운 연구 분야와 융합적 분야가 등장하고 있는데, 이들 연구 분야 중에서 빙권지질학과 맨틀 지질학을 포함하여 지구지질과학의 주요 분야를 영문 알파벳 순서대로 나열하면 아래와 같다(Wikipedia, 2026).

- 1) Biogeology (생물지질학)-지구 생물권과 지각 사이의 상호 작용 연구
- 2) Economic geology (자원지질학)-천연자원에 대한 광상·성인적 연구
- 3) Engineering geology (지질공학)-구조물에 대한 지질공학 연구
- 4) Environmental geology (환경지질학)-환경에 대한 지질 과학적 연구
- 5) Geochemistry (지구화학)-지질 시스템의 화학적 특성과 반응에 관한 연구
- 6) Geologic modeling (지질모델링)-지각 내 물질 거동의 수치 모델링 연구
- 7) Geomorphology (지형학)-지표 지형의 형성 및 변화에 관한 연구
- 8) Geophysics (지구물리학)-지구와 구성 물질의 물리적 특성과 반응 연구
- 9) Glacial geology (빙권지질학)-빙권의 지질학적 작용과 기후변화 연구
- 10) Historical geology (지사학)-지구의 지질과학적 진화와 역사 연구
- 11) Hydrogeology (수리지질학)-지하수의 분포, 이동 및 물질의 거동 연구
- 12) Mantle geology (맨틀지질학)-지구형 맨틀의 구성 물질과 지질작용연구
- 13) Marine geology (해양지질학)-해양저의 퇴적 구성 물질과 형성 연구
- 14) Mineralogy (광물학)-지구를 구성하는 광물에 관한 연구
- 15) Mining geology (광산지질학)-천연자원의 개발, 추출에 관한 응용 연구
- 16) Palaeontology (고생물학)-고생물의 생태, 진화, 분포적 특징에 관한 연구
- 17) Petroleum geology (석유지질학)-탄화수소연료의 성인, 탐사 연구
- 18) Petrology (암석학)-암석의 형성, 구성, 분포 및 구조에

관련 연구

- 19) Sedimentology (퇴적학)-지표와 해양저의 퇴적물 분포, 형성 연구
- 20) Stratigraphy (층서학)-암석층과 그 형성에 관한 지사적 연구
- 21) Structural geology (구조지질학)-지각의 변형과 지질 구조 연구
- 22) Volcanology (화산학)-화산성인 및 형성 과정에 관련된 암석학적 연구

3.2. 행성지질학(Planetary Geology)

최근 수십 년 동안 우주 탐사가 본격화되면서 지질과학자의 관심과 연구 영역은 태양계의 다른 행성과 위성으로 확장되었으며, 행성지질학(때로는 천체지질학이라고도 함)이라는 새로운 학문 분야로 발전하였다. 이는 잘 알려진 지질과학적 원리를 적용하여 태양계의 다른 행성과 위성을 대상으로 연구하는 분야이다.

행성지질학의 연구 영역은 태양계의 다른 행성, 위성 및 행성 형성의 잔류물인 수많은 소행성과 혜성을 포함하며, 지구를 연구하여 얻은 지식을 사용하여 이들 구성 물질의 특성, 지형, 형성 과정을 연구하는 것이다(Byrne, 2021). 비교적 새로운 분야인 행성지질학은 지구의 지질 현상에 관한 연구 결과를 다른 천체로 확장하여 비교 연구하는데, 우리 지구에서 관찰되는 현상과 많은 차이를 보여주기도 한다. 지난 60여 년에 걸친 연구를 통해 태양계의 고체 천체들이 공유하는 기본적인 지질학적 특성과 지구에만 나타나는 특성을 구분할 수 있게 되었다(Byrne, 2021). 태양계의 여러 고체 천체에서는 화산활동, 구조적 변형 및 충돌 분화구 등에 대한 흔적을 볼 수 있으며, 화성을 비롯한 일부 천체에서는 지표 진화에 물이나 얼음이 중요한 역할을 하였음을 보여주는 증거도 찾을 수 있었다. 행성지질학의 하위 분야는 수성, 금성, 달, 화성을 비롯한 고체 천체와 목성, 토성, 천왕성, 해왕성의 위성에 관한 표면 또는 내부 구조를 연구하는 분야로서, 연구 대상과 행성 자료의 축적에 따라 여러 분야로 나뉜다(Wikipedia, 2026).

이외에도 태양계 밖 외계행성(Exoplanet), 특히 거대지구(Super-Earth) 등의 형성과 진화에 관한 연구로 행성과학의 연구 영역이 확대되고 있다. 우리나라에서는 주로 지구 내부의 맨틀 핵과 비교되는 행성과 위성의 내부 구조와 구성 물질, 행성 지표의 지질작용, 운석 등의 연구를 중심으로 행성의 진화 과정에 관한 연구들이 진행되고 있다. 지질과학 연구 분야는 지구지질학(Geology of Earth)과 행성지질학(Planetary Geology)을 포함하여 광범위한 연구 분야로 구성되어 있지만, 우리나라에서는 전체 지질과학자의 수가

외국에 비해 많지 않고, 또 일부 분야에만 연구자들이 집중되어 있으며, 그 외 분야에는 소수의 연구자가 분산되어 있다. 이는 외국에 비해 우리 사회의 지질과학에 대한 인식이 폭넓지 못한 것도 한 원인이 되겠지만, 세계화 시대에 이를 극복하고자 하는 우리나라 지질과학자들의 적극적인 노력이 필요하다고 할 수 있다.

4. 심시간 디지털 지구(DDE) 거대과학 프로그램

제4절에서는 지질과학 분야에서 수행되고 있는 연구의 국제적 동향을 살펴보고자 한다. 연구 분야의 동향은 국제 지질과학연맹(International Union of Geological Sciences; IUGS)에서 최근 제시한 내용을 인용하여 소개하고자 한다. 독자들은 이러한 국제적 연구 동향과 특집에서 소개될 우리나라 지질과학자들의 연구 동향 및 쟁점을 비교함으로써, 우리나라 지질과학이 앞으로 나아가야 할 방향을 짐작할 수 있을 것이다.

기후변화가 촉발하는 생태계 변화, 지표수와 지하수의 변화, 에너지와 자연재해에 이르기까지 지질과학 연구는 그 어느 때보다 사회적 중요성이 커지고 있다. 수많은 자료가 서로 얽힌 연구 영역에서 지질과학자들은 어떠한 분야를 우선적 연구 대상으로 선정해야 할 것인가를 고민해 왔으며, 빅데이터와 모델에 의해 주도되는 새로운 연구 패러다임과 지식을 활용하여 우선적으로 도전해야 할 연구 분야가 무엇인지 파악하고자 하였다.

이에 국제지질과학연맹(International Union of Geological Sciences: IUGS)이 주관하는 「심시간 디지털 지구(Deep-time Digital Earth: DDE)」 거대과학 프로그램(Big Science Program)을 통해 지질과학이 도전해야 할 연구 동향과 쟁점을 살펴볼 수 있다. 이와 관련된 아래의 내용은 IUGS의 DDE 웹사이트와 Springer Nature의 자료를 참고하였다(DDE, 2024; Nature Research Custom, 2024).

4.1. 심시간 디지털 지구(Deep-time Digital Earth: DDE)

심시간(deep time)은 지구의 역사를 인간의 시간 척도를 훨씬 넘어서는 장구한 지질학적 시간의 관점에서 바라보는 개념이다. 이 용어는 18세기 말 지질학자 James Hutton의 지질학적 시간 개념에 기원을 두고 있으며, 작가 John McPhee가 그의 저서 Basin and Range (1981)에서 ‘deep time’이라는 표현을 사용하면서 널리 사용하게 되었다. 일반적으로 심시간은 특정 지질시대의 경계로 엄밀하게 정의되는 용어라기보다는 지구의 형성과 진화를 이해하기 위한 장구한 지질학적 시간을 의미한다.

심시간 디지털 지구(DDE)는 지구가 형성된 이후 진화하고 변화해 온 과정과 관련된 방대한 지질과학 데이터를

통합하고 활용하기 위한 국제 거대과학 프로그램이다. 약 45억 년에 걸친 지질시대의 암석과 지층에는 지구의 진화에 관한 다양한 기록이 남아 있다. 이러한 자료에는 생명체의 진화와 기후변화, 지각판의 이동 및 지구 표면의 지형적 진화에 관한 자료 등이 포함된다. 심시간에 일어났던 탄소 순환과 같은 지구화학적 순환이 지구환경에 끼친 영향은 현재의 탄소 순환이 지구환경에 미치는 영향을 파악하는데 도움이 될 수 있다. 즉, 대규모 화산활동이나 해저에서 일어난 메탄의 방출과 같은 지질 현상이 당시의 지구환경을 크게 변화시켰음을 암석과 지층에 남겨진 흔적을 통해 추정할 수 있다.

지구의 대격변 사건 중 하나인 약 2억 5천2백만 년 전에 일어난 페름기 말 대량멸종(end-Permian mass extinction) 사건과 약 5천6백만 년 전에 나타난 팔레오세-에오세 최대 온난기(Paleocene-Eocene Thermal Maximum: PETM)는 대기 중 온실가스 증가 및 이와 관련된 급격한 지구온난화를 이해하는 데 중요한 사례로, 현재의 기후변화와 미래의 지구환경 변화를 이해하는 데 유용한 정보를 제공한다. 이러한 축적된 과거 자료를 활용하여 지질과학자들은 지구온난화, 물순환의 변화, 해수면과 해양의 염도 변화, 동식물 생태계 등에 어떠한 변화가 일어날 수 있는지를 예측하는데 중요한 자료를 제공할 수 있다.

DDE에서 다루는 자료에는 생명과 기후의 진화, 지각판의 이동과 같은 지구의 역사는 물론이고 지표 지형의 진화에 관한 다양한 데이터도 포함된다. 이 프로그램은 연구자들이 지구의 지질학적 과거에 일어났던 사건을 더욱 명확하게 밝히는 데 도움을 주는 동시에, 유용 자원의 분포와 활용 및 지구의 미래에 대한 통찰력을 얻는 데 기여할 수 있다. 이를 수행하기 위하여 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅, 기계학습 및 인공지능(AI)을 활용함으로써, DDE는 지구의 진화에 대한 이해와 지질과학의 응용 및 지속 가능한 발전을 위한 혁신을 촉진하는 거대과학 프로그램이라 할 수 있다. DDE는 IUGS가 공식적으로 인정한 최초의 거대과학 프로그램으로, 베이징에서 열린 제73차 IUGS 집행위원회 회의(2019년 2월)에서 공식적으로 출범하였다.

4.2. IUGS에서 선정한 중요 상위 30개 연구분야 동향 (Geoscientists vote on Earth's biggest challenges)

DDE 거대과학 프로그램은 2018년에 시작되었다(DDE, 2019). 국제지질과학연맹(IUGS)이 주도하여 전 세계의 학술 전문 협회, 학술기관 및 과학자들과 협력하여 이 프로그램을 추진하고 있다. DDE 거대과학 프로그램의 과학위원회 의장인 Hans Thybo 박사를 비롯한 연구진은 수년간에 걸친 주요 연구 결과를 종합하여 연구 분야 목록을 작성하였고, 여기에 데이터 중심의 평가 및 선정 방식을 결합함으

로써 지질과학의 최신 동향과 발전을 반영하였다고 한다.

구체적으로는 2014년부터 2023년까지 지질과학의 글로벌 연구 추세를 심층적으로 분석하기 위하여, Web of Science 및 Dimensions 데이터베이스에 수록된 466개 지질과학 학술지의 400,000편 이상의 논문과 기타 관련 학제 간 학술지 93종의 약 5,800편의 논문을 분석하였다. 또한 85개국 1,100명 이상의 연구자가 참여하여 11,000표 이상을 투표한 결과를 바탕으로 5개 연구영역, 즉 심시간(Deep Time), 심지구(Deep Earth), 심우주(Deep Space), 지구 빅데이터(Big Earth Data) 및 인간이 거주 가능한 지구(Habitable Earth) 연구영역에서 중요 상위 30개의 연구 분야를 선정하였다(그림 1a). 이 30개 연구 분야는 지질과학의 최신 동향과 발전을 반영하고 있으며, 사회·과학·기술과 긴밀하게 관련된 실제 문제를 해결할 잠재력이 있는 주요 연구 분야로서 미래 지질과학의 연구 동향을 종합적으로 제시하고 있다고 할 수 있다. 선정된 5개 연구영역별 연구 분야는 그림 1a과 같다.

4.2.1. 심시간(Deep Time) 연구영역: 7개 연구분야

심시간(Deep Time) 연구영역은 지구가 형성된 이후 약 45억 년이라는 오랜 시간을 거치면서 지구가 겪어 온 진화와 변화에 관련된 복잡한 지질 현상들을 연구하는 분야이다.

- 1) 대륙의 성장 및 초대륙의 형성 주기(Continental growth and supercontinent cycles)
- 2) 심해 퇴적작용(Deep ocean sedimentation)
- 3) 초기 지구 판구조론(Early plate tectonics)
- 4) 지구 빙하 역사(Earth glacial history)
- 5) 지질연대 측정(Geological dating)
- 6) 범지구적 대량 멸종 사건(Mass extinctions in Earth's history)
- 7) 과거, 현재 및 미래의 기후변화(Past, present and future climate change)

4.2.2. 심지구(Deep Earth) 연구영역: 6개 연구분야

지구 심부의 구조와 동역학 및 물질 진화에 관한 연구로서, 지구의 지각과 맨틀의 구조 및 물질 순환, 마그마의 형성과 진화, 맨틀 대류와 판구조 운동 및 이와 관련된 지구동역학적 연구들이 여기에 속한다.

- 1) 3차원 지구구조(3D Earth structure)
- 2) 지각 물질 순환(Crustal material recycling)
- 3) 마그마 시스템(Magma systems)
- 4) 지구의 조산 운동(Orogenic processes in Earth's history)

- 5) 판구조론과 맨틀 동역학(Plate tectonics and mantle dynamics)
- 6) 지형 변화와 지구 동역학(Topographic change and Earth dynamics)

4.2.3. 심우주(Deep Space) 연구영역: 2개 연구분야

심우주(Deep Space) 연구영역은 지구를 넘어 태양계의 행성과 위성 등 천체의 형성과 진화 및 이와 관련된 지질학적 현상을 연구하는 분야를 의미한다. 심우주의 범위에 대해서는 분야와 목적에 따라 다양한 정의가 사용되며, 국제전기통신연합(ITU)의 전파규정에서는 통신의 기술적 목적에 따라 지구로부터 약 200만 km 이상의 거리를 심우주(deep space)로 정의하고 있다.

- 1) 비교 행성학(Comparative planetology)
- 2) 지구의 초기 분화(Early differentiation of the Earth)

4.2.4. 지구 빅데이터(Big Earth Data) 연구영역: 2개 연구분야

지구 빅데이터는 다양한 지구과학 자료와 이들 빅데이터의 공유, 처리, 분석 및 시각화에 사용되는 이론, 방법, 알고리즘 및 기술을 포함하여 방대한 지구과학 자료를 처리하고 활용하는 연구를 말한다.

- 1) 지질과학적 기계학습과 빅데이터 분석(Machine learning

and Big Data analytics in geoscience)

- 2) 원격 탐사(Remote sensing)

4.2.5. 인류의 거주 가능한 지구(Habitable Earth) 연구영역: 13개 연구분야

인류가 지속 가능하게 살아갈 수 있는 지구가 되기 위해서는 인간을 비롯한 생명체가 살아가기에 적합한 환경이 유지되어야 한다. 즉 적절한 조성을 가진 대기와 물, 탄소를 비롯하여 에너지와 영양물질 등 생명체의 생존에 필요한 환경 조건이 유지되어야 하며, 지구에서는 다양한 지질학적·생지구화학적 과정을 통해 이러한 물질들이 끊임없이 순환해 왔다. 예를 들어 활발한 판구조 운동을 통해 지각 물질이 지구 내부로 섭입되고 화산활동 등을 통해 다시 지표로 공급되면서 물과 탄소를 비롯한 여러 물질의 장기적인 순환이 이루어진다. 그러나 산업화 이후 인간 활동에 따른 온실가스 배출과 토지 이용 변화 등은 지구의 기후와 환경에 큰 영향을 미치고 있으며, 이에 따른 급격한 기후변화와 환경변화는 인류의 지속 가능한 발전을 위협하는 중요한 요인이 되고 있다. 따라서 인간이 지속 가능하게 살아갈 수 있는 지구환경의 이해와 보전 및 자원의 지속 가능한 활용을 위한 주요 연구 분야는 아래와 같다.

- 1) 탄소 포집 및 저장(Carbon capture and storage)
- 2) 기후 및 지구조(Climate and tectonics)
- 3) 핵심 광물 자원(Critical minerals)
- 4) 에너지 자원(Energy resources)

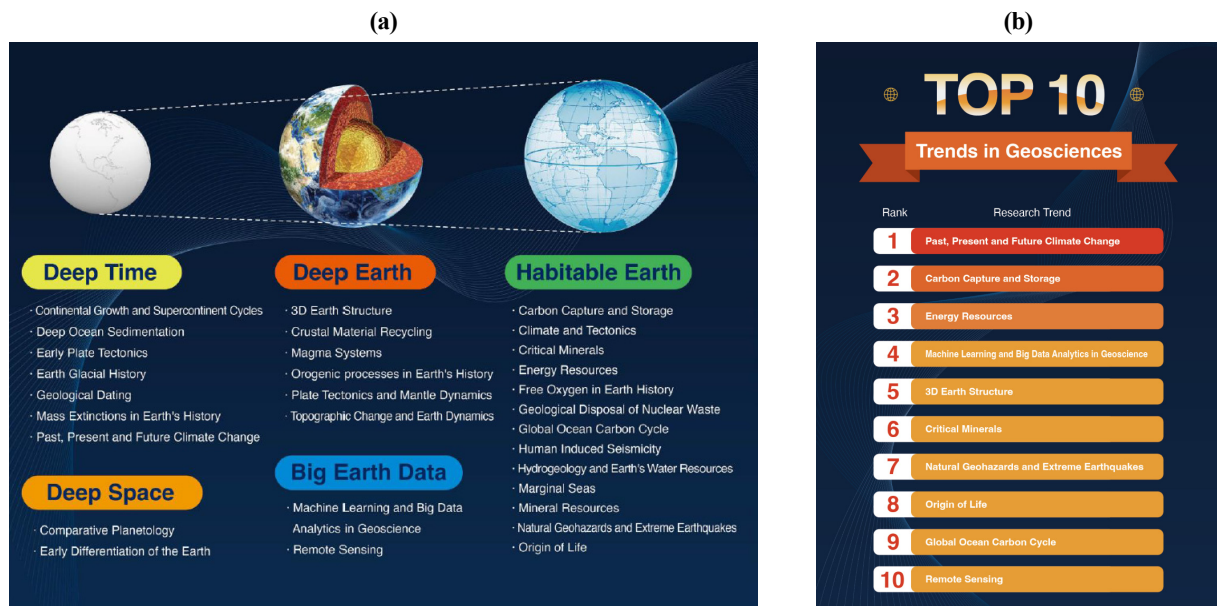


Fig. 1. (a) 30 trends in geosciences (Zhao *et al.*, 2024). (b) The top 10 trends in geosciences, according to a recent survey of more than a thousand experts (DDE, 2024).

- 5) 자유 산소의 지질시대적 변화 양상(Free oxygen in Earth history)
- 6) 방사성폐기물의 지질학적 처분(Geological disposal of nuclear waste)
- 7) 전 지구적 해양 탄소 순환(Global ocean carbon cycle)
- 8) 인공적 지진 연구(Human induced seismicity)
- 9) 수리지질학과 수자원(Hydrogeology and Earth's water resources)
- 10) 연근해 해양지질학(Marginal seas)
- 11) 광물 자원(Mineral resources)
- 12) 지질 재해와 대형 지진(Natural geohazards and extreme earthquakes)
- 13) 생명의 기원(Origin of life)

4.3. IUGS에서 선정한 최우선 상위 10개 연구분야 (TOP 10 Trends in Geosciences)

IUGS는 30개의 중요 연구 분야 중에서도 특히 우선적으로 해결해야 할 최상위 10개 연구 분야를 선정함으로써, 미래 지질과학이 수행해야 할 최우선 중점과제로 제시하였다. 이 설문조사는 국제지질과학연맹(IUGS)의 DDE 웹사이트를 통해 이루어졌으며, Springer Nature도 DDE와 협력하여 설문조사에 참여하였다. 이 설문조사는 다양한 채널을 통해 140,000~150,000명의 연구자에게 전달되었으며, DDE는 4년에 걸친 연구 결과를 종합한 보고서를 2024년 8월 부산에서 개최된 국제지질과학총회(International Geological Congress: IGC)의 IUGS 위원회 세션에 제출하여 발표하였다. Thybo 박사는 이 보고서의 목적이 지질과학의 주요 연구 동향과 혁신, 연구 방법 및 중요한 학술적 문제의 해결 방안에 대한 귀중한 통찰력을 제공하는 것이라고 하였다. 지구의 미래와 인류의 생존 및 지속 가능한 발전을 위해 지질과학 분야에서 가장 시급하게 수행해야 할 최우선 상위 10개 연구 분야는 그림 1b와 같다(Nature Research Custom, 2024).

- 1) 과거, 현재, 미래의 기후변화(Past, present and future climate change)
- 2) 탄소 포집 및 저장(Carbon capture and storage)
- 3) 에너지 자원(Energy resources)
- 4) 지질과학적 기계학습과 빅데이터 분석(Machine learning and Big Data analytics in geoscience)
- 5) 3차원 지구구조(3D Earth structure)
- 6) 핵심 광물 자원(Critical minerals)
- 7) 지질 재해와 대형 지진(Natural geohazards and extreme earthquakes)

- 8) 생명의 기원(Origin of life)
- 9) 전 지구적 해양 탄소 순환(Global ocean carbon cycle)
- 10) 원격탐사(Remote sensing)

최우선 상위 10개 연구 분야 중에서는 심시간 연구영역에 속하는 ‘과거, 현재 및 미래의 기후변화’와 관련된 연구 분야가 최우선 분야로 선정되었다. 나머지 분야 중 6개 분야는 ‘인간이 거주 가능한 지구(Habitable Earth)’ 연구영역에 속하며, 이를 지원하기 위한 ‘지구 빅데이터(Big Earth Data)’ 연구영역의 ‘기계학습과 빅데이터 분석’ 및 ‘원격탐사’의 2개 분야와 심지구(Deep Earth) 연구영역의 ‘3차원 지구구조’가 포함되어 있다.

DDE 과학위원회의 위원인 Cavazza 박사는 과거 지구의 기후변화가 앞으로 수십 년 동안 지속될 지구온난화를 이해하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있다고 설명하였다. 지질학적 과거의 기후는 지구 역사 전반에 걸쳐 큰 변화를 겪어 왔으며, 이러한 변화 중 일부는 현재의 기후변화를 이해하는 데 유용한 비교 사례를 제공한다. 지질학적 과거의 기록은 대기, 해양, 빙권, 생물권 및 기후를 포함한 지구시스템이 탄소 순환의 변화에 어떻게 반응하였는지를 보여준다. 기후변화를 규명하기 위한 수십억 년에 걸친 자료들은 지층, 토양, 해저 퇴적물, 빙하, 화석 및 기타 다양한 지질학적 기록 매체에 분산되어 있으므로, 이러한 방대한 자료를 종합하고 비교·분석하는 데 DDE가 중요한 역할을 할 수 있으며 인류가 직면한 주요 연구 과제의 해결을 위한 과학적 근거를 제공할 수 있다고 하였다(DDE, 2023).

따라서 기후변화의 양상을 규명하고 인류의 생존과 지속 가능한 발전을 위해 선정한 가장 시급한 10개 연구 분야는 어느 특정 전공 분야만으로 해결하기 어려우며, 지질과학의 다양한 전공 분야가 학제적으로 참여하여야 해결할 수 있을 것이다. 이러한 이유로 과거의 기후변화를 연구하는 빙하 및 빙권 관련 지질학과 초기 지구와 행성의 특성을 파악하기 위한 맨틀 및 행성지질학 등 다양한 연구 분야의 참여와 더불어 융합적이고 학제적인 연구가 필요하다.

5. 우리나라 지질과학 연구분야의 동향과 쟁점 : 학문적 수월성과 연구동향

현재 우리나라 지질과학은 다양한 분야에서 큰 발전을 이루고 있으며, 기존의 지질과학적 지식을 더욱 확장하고 재구성하고 있다. 특히 방사성 동위원소를 이용한 고정밀 지질연대측정이 국내에서도 가능해지면서, 지표와 지하를 구성하는 암석의 형성과 변화, 지체구조 및 생명의 진화에 대한 학제적 연구를 통해 복잡한 지질학적 진화 역사를 재구성하고 이에 대한 이해를 확대할 수 있게 되었다. 또한 고

해상도 지진파 토모그래피를 통해 지구 내부의 3차원 구조를 영상화함으로써 맨틀 플룸과 섭입대와 같은 지구동역학적 현상을 이해하고, 맨틀과 핵의 구조와 동역학을 규명하는 연구도 발전하고 있다. 이에 따라 국내 지질과학자들의 연구 성과와 국제 학술 활동의 수준도 크게 향상되었다.

이러한 시점에서 「학문연구의 동향과 쟁점」의 저술 취지에 동의한 집필자 37인으로부터 28개 연구 분야에 대한 동향을 파악할 수 있었다. 이들이 집필한 연구 분야 중에서 23개 연구 분야는 지구지질과학(Geology of Earth) 분야에 속하고, 5개 연구 분야는 맨틀지질학·행성지질학(Mantle-Planetary Geology) 분야에 속한다.

이들 28개 연구 분야는 IUGS가 제시한 주요 연구 분야와 직·간접적으로 관련되어 있다. 여기에 게재된 28개 연구 분야 중 20여 개는 미래 지구환경 변화에 대응하기 위한 핵심 분야인 기후변화, 자원·에너지 확보, 물·지하수의 확보와 유지관리 및 지질재해 대응 정책과 직·간접적으로 관련되어 있고, 나머지 8개 연구 분야는 지체구조, 지구 내부의 맨틀 및 행성지질학과 관련된 기초연구이다. 국제지질과학연맹(IUGS)의 연구영역 분류에 의하면, ‘심시간(Deep Time) 연구영역’에 8개 연구 분야, ‘심지구(Deep Earth) 연구영역’에 8개 연구 분야, ‘심우주(Deep Space) 연구영역’에 2개 연구 분야, ‘지구 빅데이터(Big Earth Data) 연구영역’에 1개 연구 분야 및 ‘인간이 거주 가능한 지구(Habitable Earth) 연구영역’에 9개 연구 분야가 포함된다. 각 논문은 해당 분야의 주요 연구 성과와 최신 연구 동향 및 쟁점을 종합적으로 제시하고 있다.

전체적으로는 지표·지각의 지체구조 연구와 자원·에너지, 기후·환경 변화 및 자연재해 대응 연구가 많은 부분을 차지하고 있으며, ‘기계학습과 빅데이터 분석’ 자체를 주제로 하는 전문 연구 분야는 포함되지 않았다. 그러나 유용 자원의 탐사와 지하수 자원의 예측 및 모델링을 비롯한 여러 연구 분야에서 기계학습과 빅데이터 분석 기법이 부분적으로 활용되고 있다.

지질 현상은 다양한 시간 및 공간 규모에서 일어나기 때문에, 이를 종합적으로 이해하기 위해서는 방대한 지질 자료의 축적과 빅데이터의 활용이 필요하지만, 제도적으로 여러 가지 문제점이 그 활성화를 가로막고 있다. 국내에서는 개별 연구자 및 연구기관에서 독자적으로 연구를 수행하고, 자료의 입력 및 보관도 각 기관의 고유한 형식을 따르는 경우가 많기 때문에 생산된 지질 자료에 대한 접근과 공유가 어려운 상황이다. 국제적으로도 지질 및 자원에 관한 일부 자료는 국가와 기관에 따라 접근이 제한되어 있다. 그러나 국가 간 또는 기관 간 관련 자료의 공유를 위한 협정과 자료 공개에 관한 제도적·법적 기반이 마련되고 데이터의 표준화와 상호운용성이 확보된다면, 학제 간 연구를 통해

이 분야의 연구도 더욱 활성화될 것으로 보인다.

따라서 위에서 언급한 28개 연구 분야와 지질과학의 다른 기초 분야가 함께 활성화됨으로써 우리나라 지질과학의 새로운 발전이 기대된다. 우리나라 연구자들이 저술한 28개 연구 분야의 목차는 IUGS가 제시한 연구영역의 분류에 따라 배열하였다.

6. 지속 가능한 인류사회를 위한 미래 지질과학

기후변화에 관한 정부 간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)는 1990년 제1차 평가보고서를 시작으로 2023년 제6차 평가보고서에 이르기까지 여러 차례 보고서를 발간하였다. 이 보고서의 작성에는 전 세계 여러 분야의 많은 학자들이 참여하였으며, 특히 제3차 평가보고서부터는 고기후에 관한 연구 결과도 기후변화를 이해하는 중요한 자료로 활용되어 왔다. 이와 함께 지구온난화를 다룬 「1.5°C 지구온난화 특별보고서」(2018), 기후변화와 토지의 관계를 다룬 「기후변화와 토지 특별보고서」(2019), 변화하는 기후에서의 해양 및 빙권을 다룬 「해양 및 빙권 특별보고서」(2019) 등이 발간되었다. 가장 최근에 발간된 제6차 평가보고서(AR6)에 의하면, 1850~1900년과 비교하여 2011~2020년의 전 지구 지표면 온도는 약 1.1°C 상승하였다. 또한 지속적인 온실가스 배출로 지구온난화가 심화될 경우 가까운 미래에 1.5°C에 도달할 가능성이 높으며, 21세기 말의 온난화 정도는 향후 온실가스 배출량에 따라 크게 달라질 것으로 전망하였다. 따라서 지구온난화가 심화됨에 따라 세계 모든 지역에서 기후변화와 관련된 위험이 증가할 것으로 예상되며, 기후변화, 사막화와 토지 황폐화, 빙권의 감소 및 해수면 상승 등은 인류사회와 생태계의 지속 가능한 발전을 위협하는 중요한 요인이 될 수 있다. IPCC 제6차 평가보고서(AR6)는 인간이 초래한 지구온난화를 제한하기 위해서는 인간 활동에 의한 CO₂ 배출량을 크게 감소시키고, 잔여 배출량과 제거량의 균형을 이루어 CO₂ 순배출량이 넷제로(Net-Zero)가 되어야 한다고 지적하고 있다(IPCC, 2023). 또한 인간과 생태계에 예상되는 손실과 피해를 줄이기 위해서는 향후 지속적이고 신속한 온실가스 감축 정책을 시행해야 함을 강조하고 있다. 한편, 우리나라는 이러한 국제사회의 노력에 발맞추어 2050년 탄소중립을 목표로 관련 정책을 추진하고 있다.

이러한 시점에서 지질과학은 미래 사회가 직면한 여러 문제를 해결하는 데 중요한 역할을 하는 학문으로 부상하고 있다. 유네스코(UNESCO)와 미국지구물리과학연맹(American Geophysical Union: AGU)이 공동으로 발행한 보고서인 「행동하는 지질과학: 지속가능한 개발 추진(Geoscience in Action: Advancing Sustainable Development; Capello *et al.*,

2023)』은 지질과학의 지식과 기술이 지속가능발전목표와 관련된 ‘사람(People)’, ‘지구(Planet)’, ‘번영(Prosperity)’의 영역에 어떻게 기여할 수 있는지를 설명하고 있다. 이러한 관점에서 지질과학은 지속 가능한 발전과 관련된 다양한 분야에 적극적으로 참여하여야 하며, 지질과학자들도 지속 가능한 미래 사회의 실현을 위해 중요한 역할을 담당하여야 할 것이다.

여기에는 기후변화의 특성 규명, 핵심광물과 희토류 원소를 비롯한 중요 광물자원의 탐사와 개발, 에너지 자원의 전환, 수자원 탐사와 관리, 자연재해 위험 저감, 탈탄소화의 가속화, 빙권의 감소와 해수면 상승 등에 관한 연구가 포함되며, 이를 위해 지질과학의 다양한 분야가 적극적으로 참여하여야 한다(Capello *et al.*, 2023). 즉 IUGS가 선정한 최우선 10개 연구 분야가 현재뿐만 아니라 미래에도 지속적으로, 보다 적극적으로 추진되어야 함을 의미한다. 아울러 지질과학자들은 최첨단 기술을 활용하고 인접 학문과의 학제 간 연구를 통해 아직 밝혀지지 않은 지구의 다양한 현상과 작동 원리를 규명하고, 지구와 행성계에 대한 지식을 더욱 확장하는 데에도 이바지하여야 할 것이다.

그러나 지질과학이 지속 가능한 미래 사회에 이바지할 수 있는 역량은 제한된 연구 인력과 사회적 인식 등 여러 제약 요인으로 인해 한계를 가질 수 있다. 이러한 한계는 지질과학자들의 지속적인 노력과 더불어 사회와 관련 기관의 적극적인 관심과 지원을 통해 극복할 수 있을 것이다.

7. 기대되는 성과와 활용

1) 지질과학의 방대한 분야 중에서 제한된 일부 분야만을 특집호에 게재함으로써 우리나라 지질과학이 당면한 분야별 연구 동향과 쟁점을 모두 포괄하지 못하는 한계가 있었다. 그러나 여기에 소개된 국내 28개 연구 분야의 동향함으로써도 현재 우리나라의 지질과학 연구가 국제적으로 주목받는 범지구적 연구 방향과 상당 부분 함께하고 있음을 알 수 있다.

2) 기후변화에 대비하여 고기후·고해양 연구는 과거의 지구환경 변화를 추적함으로써 미래의 기후변화를 이해하고 예측하는 데 매우 중요한 자료를 제공한다. 특히 과거의 기후 및 환경변화에 대한 지질학적 기록은 미래 기후를 예측하는 데 사용되는 다양한 기후모델의 성능을 평가하고 검증하는 데 중요한 자료로 활용될 수 있다.

3) 최근 전 지구적인 생물다양성의 급격한 감소와 높은 생물종 멸종률로 인해 학계에서는 현재의 생물다양성 위기가 지속될 경우 ‘제6의 대량멸종(sixth mass extinction)’으로 이어질 가능성을 우려하고 있다. 따라서 과거의 환경변화에 대한 생명체의 적응, 생존 및 멸종 과정을 이해하는 것

은 현재의 생물다양성 위기와 미래 생태계의 변화를 이해하는 데 중요하며, 이를 위한 지질과학 연구는 인류와 생태계의 지속 가능한 미래를 위한 중요한 정보를 제공할 것이다.

4) 무엇보다도 이 특집호가 지질과학의 길에 들어선 학문 후속세대에게 하나의 나침반이 되기를 바란다. 지구는 약 45억 년의 기록을 암석과 지층에 새겨 왔으며, 그 기록을 읽어내는 일은 여전히 미완의 과제로 남아 있다. 기후변화, 자원과 에너지, 자연재해, 그리고 행성과 우주로 확장되는 질문들 앞에서 젊은 연구자들의 호기심과 도전이야말로 우리나라 지질과학의 미래를 여는 가장 큰 힘이 될 것이다. 부디 이 특집호가 그 여정의 첫걸음에서 든든한 길잡이가 되기를 진심으로 기대한다.

5) 저자들은 고등학생들도 이해할 수 있도록 내용을 쉽게 풀어쓰는 데 최선을 다하였지만, 전문적인 학술용어와 내용으로 인해 일정한 한계가 있었다. 그러나 학생들의 진로를 지도하는 지구과학 교사나 세부 전공 분야를 모색하는 대학생과 대학원생들에게는 향후 진로와 연구 분야를 선택하는 데 유용한 참고 자료가 될 것으로 기대한다.

REFERENCES

- Byrne, P.K., 2021, Planetary geology. In Alderton, D. and Elias, S.A. (eds.), *Encyclopedia of Geology* (2nd ed.), 1, Academic Press.
- Capello, M., Caslin, E., Stewart, I., Cox, D., Shaughnessy, A., Atekwana, E., Handley, H.K., Bakamjian, T., Wouters, L., Winsten, M.S., Singh, V. and Mhopjeni, K., 2023, *Geoscience in Action: Advancing Sustainable Development*. UNESCO and American Geophysical Union, 87 p.
- Deep-time Digital Earth (DDE), 2019, Deep-time Digital Earth Forum Proceedings, February 26-28, 2019, Beijing, China. *Acta Geologica Sinica* (English Edition), 93.
- Deep-time Digital Earth (DDE), 2023, What is deep time and is it important? <https://www.ddeworld.org/blog/detail/199> (August 18, 2026).
- EarthHow, 2026, <https://earthhow.com/> (August 18, 2026).
- IPCC, 2023, *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Lee, H. and Romero, J., eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 184 p, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- McPhee, J., 1981, *Basin and Range*. The Noonday Press, New York.
- Nature Research Custom, 2024, Time to focus research on past, present and future climate change, say Earth scientists. <https://www.nature.com/articles/d42473-024-00095-2> (August 18, 2026).
- Wikipedia, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Outline_of_geology (August 1, 2026).
- Zhao, Y., Wang, M., Ding, J., Qi, J., Wu, L., Zhang, S., Fu, L., Wang, X. and Cheng, L., 2024, Data-enhanced revealing of trends in Geoscience. *Journal of Data and Information Science*, 9, 29-43.