



Review

지질도폭 자료의 데이터화: 국제적 동향과 국내 지질조사 및 지질정보 체계의 과제

기원서

한국지질자원연구원 지질조사연구본부 지질연구센터

Digital transformation of geological map data: Global trends and future challenges in geological mapping and information management

Weon-Seo Kee

Geological Research Center, Geological Survey Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea

Received: August 5, 2026 / Revised: August 18, 2026 / Accepted: August 18, 2026

*Corresponding author: +82-42-868-3346 / E-mail: wskee@kigam.re.kr

요약: 지질도는 국토의 지질정보를 종합적으로 표현한 국가 기본도로서 지질도 발간은 전적으로 정부의 정책과 지원으로 수행되어 왔다. 지질도는 우리가 살고 있는 지구에 관한 학술적 연구뿐만 아니라, 자원탐사, 환경, 지질재해, 국토의 이용 등, 다양한 분야에서 핵심적인 기초 자료로 폭넓게 활용된다. 이 논평에서는 해외의 지질도 제작, 자료 관리, 디지털 전환 및 공공서비스 체계를 살펴보고, 국내 지질도 발간과 지질정보 데이터화의 발전 과정을 검토하였다. 이를 바탕으로 향후 지질조사 분야에서 추진해야 할 주요 과제에 대하여 논의하였다. 지질도폭 자료의 디지털 전환은 국토의 개발 및 보존과 관련된 다양한 분야에서 지질정보의 활용성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 사용자들이 빅데이터화된 지질정보에 쉽게 접근하고 이를 활용할 수 있는 지질정보시스템 개발이 필수적이며, 지질정보를 종합적으로 관리하고 공급할 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 국내 지질정보의 신뢰성과 활용성을 높이기 위해서는 지질정보의 표준화, 새로운 지질정보를 반영한 기존 지질도의 체계적인 수정과 갱신, 그리고 그 결과를 적시에 이용자들에게 제공할 수 있는 프로그램의 개발이 시급하다. 이와 더불어 지질조사의 디지털 전환의 일환으로 고도화된 디지털 지질조사 시스템의 개발과 보급이 필요하며, 지하 심부에 대한 지질 데이터 융복합 해석 기반의 3D 지질도 및 지질모델링 기술의 발전이 요구된다.

주요어: 지질도, 디지털 전환, 지질정보시스템, 디지털 지질조사, 3차원 지질도 및 모델링

ABSTRACT: Geological maps are fundamental national base maps that provide an integrated representation of geological information. They serve as essential sources of information not only for scientific research on the solid Earth but also for resource exploration, environmental management, geohazard assessment, and land-use planning. Owing to their broad range of applications, geological maps have historically been produced through government-led geological survey programs supported by public funding. This review examines international practices in geological map production, data management, digital transformation, and public services, and traces development of geological map publication and the digitization of geological information in Korea. On this basis, the key priorities for future geological survey activities are discussed. The digital transformation of geological map sheets plays a critical role in enhancing the accessibility and applicability of geological information across a wide range of fields related to national land development and conservation. It is therefore essential to establish an integrated geological information system that enables users to readily access and utilize digital geological datasets, supported by an institutional framework for their comprehensive management and dissemination. To ensure the reliability of geological information, priority should be given to standardizing geological data, systematically revising and updating existing geological maps based on newly acquired information, and developing systems capable of delivering updated information to users in a timely manner. In parallel, advanced digital geological mapping systems should be developed and widely implemented as part of the broader digital transformation of geological investigations. Further advances are also needed in three-dimensional geological mapping and modeling technologies through the integrated interpretation of multidisciplinary deep subsurface geological data.

Key words: geological map, digital transformation, geological information system, digital geological mapping, three-dimensional geological mapping and modeling

1. 서언

지질도는 지표에 노출된 암석이나 지층을 종류와 지질 시대에 따라 구분하고 이들의 공간적 분포와 상호관계, 그리고 이에 수반된 지질구조, 각종 부존자원의 산출 상태 등을 다양한 색채·무늬·기호 등을 이용하여 도시한 지도이다. 지질도는 국토의 지질정보를 체계적으로 나타낸 가장 기초적이고 필수적인 국가 기본도로서, 자원탐사(광물, 지하수,

지열), 사회간접자본(Social Overhead Capital) 부지(원전, 방폐장, 항만, 도로, 철도, 터널, 지하구조물, 산업입지 등) 선정 및 지반환경 평가, 잠재적 지질재해의 근본 원인 규명, 지질환경 관리 및 보전 등, 국가 사회적 현안 해결에 광범위하게 활용되고 있을 뿐만 아니라 국토 지각에 관한 학술적 연구에 있어 가장 핵심적인 지표 자료로서 가치를 가진다.

지질도 발간은 전적으로 정부의 정책과 지원으로 수행

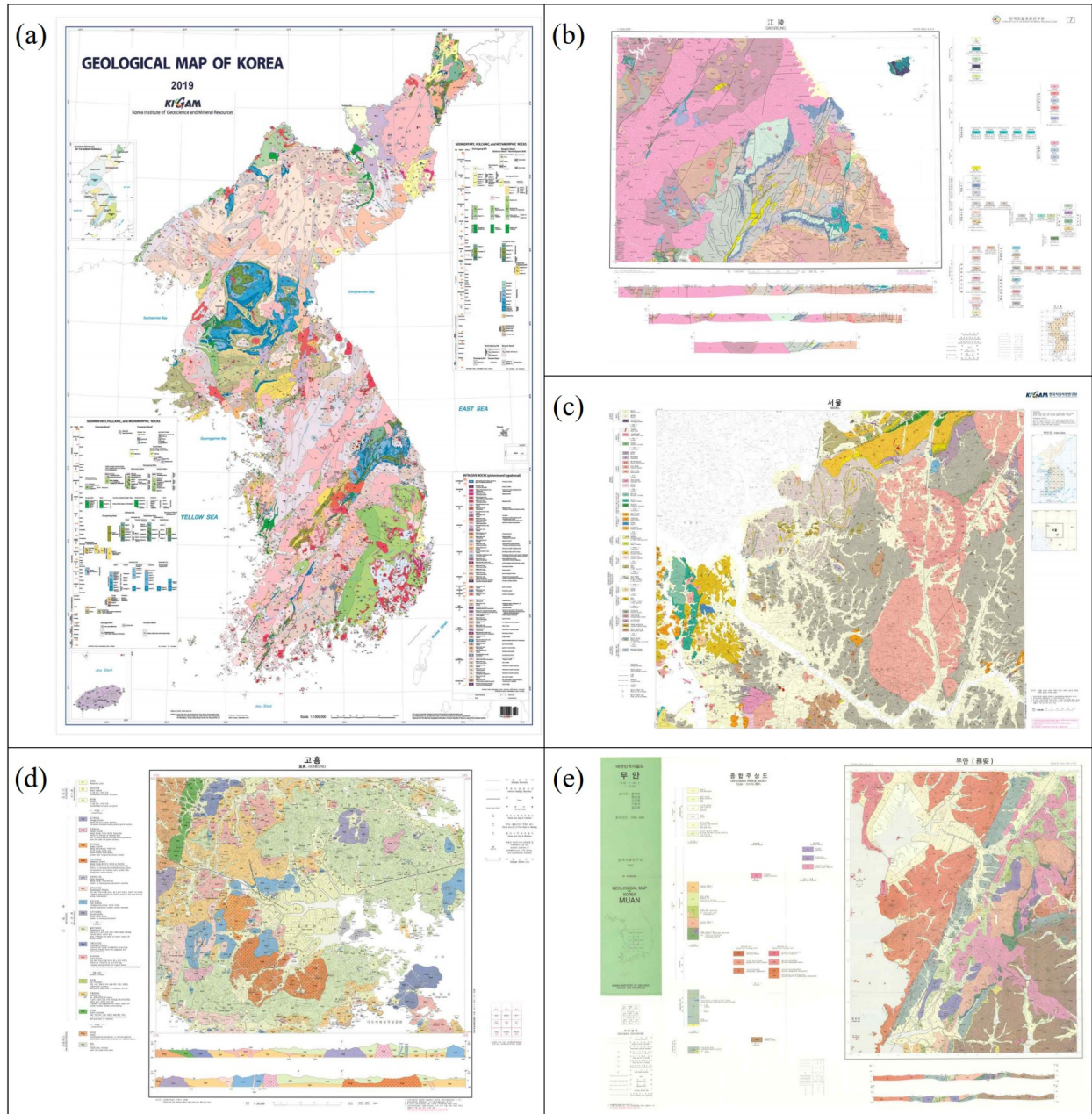


Fig. 1. Geological maps of various scales. (a) 1:1,000,000 Geological Map of Korea (Kee *et al.*, 2019). (b) 1:250,000 regional geological map, Gangneung Sheet (Kim *et al.*, 2001). (c) 1:100,000 sub-regional geological map, Seoul Sheet (Lee *et al.*, 2024). (d) 1:50,000 basic geological map, Goheung Sheet (Kim *et al.*, 2015). (e) 1:25,000 detailed geological map, Muan Sheet (Hwang *et al.*, 2000).

되는 범국가 차원의 사업이다. 국내에서는 지질도의 공공성, 도엽 체제의 통일성, 사업의 연속성 및 일관된 기술 체계 관리를 위하여 국가 기관(1976년 이후 정부출연연구기관으로 개편) 주도하에 수행되어 왔으며, 그동안 가장 기본이 되는 국토기본지질도(축척 1:50,000)를 비롯하여 다양한 축척(1:25,000, 1:100,000, 1:250,000, 1:1,000,000)의 지질도가 제작·발간되었다(그림 1). 국토기본지질도의 발간은 일제강점기인 1924년부터 시작되었으며, 해방 이후 현재까지 꾸준히 진행되어 총 357개 도엽으로 구성된 남한 전역의 기본지질도 발간이 2026년에 모두 완료될 예정이다. 이와 더불어 특수 목적으로 작성된 지질주제도인 제4기 지질도, 탄전지질도, 지체구조도, 지구조층서도, 해저지질도, 수문지질도 등도 발간되어 사용 목적에 따라 다양한 분야에서 활용되고 있다.

지질조사 역사가 오래된 국외 선진 지질조사소나 유관 기관들은 오래전부터 지질도 및 관련 자료의 보존과 정보화를 적극 추진해 왔다. 지질조사연구 자료를 체계적으로 수집, 분류, 정리, 보관할 수 있는 시설뿐만 아니라 법률과 제도 하에 자료의 훼손과 분실을 막는 데 심혈을 기울이고 있다. 또한 지질도 자료를 디지털화하여 연구자뿐만 아니라 산업 및 공공기관에서도 쉽게 접근하여 활용할 수 있는 국가적 자산으로 관리 운영하고 있다. 지질정보의 체계적인 관리와 활용을 위해 데이터 표준화 및 통합 데이터베이스 구축을 진행하였으며, 데이터 공유 체계와 관련된 법률과 제도를 갖추어 시행하고 있다.

국내에서도 이러한 흐름에 발맞추어 지질도 정보화를 추진하고 있으며, 지질정보의 활용성을 높이려는 노력이 지속되고 있다. 국내의 지질정보 기반 구축은 1990년대 말 기본지질도를 대상으로 시작되었으며, 구축된 지질도록 데이터는 전적으로 한국지질자원연구원의 지질정보시스템을 통하여 관리 운영되고 있다. 최근엔 급속도로 발전하고 있는 정보시스템과 모바일 환경에 맞추어 구축된 정보가 관련 산업과 연구 분야에서 활용될 수 있도록 적극적으로 대응하고 있다. 국내의 지질정보시스템의 데이터베이스 구성과 운영 체계는 아직 개선이 필요한 부분이 있지만 비교적 선도적 위치에 있는 것으로 평가된다.

본문에서는 국외 지질조사 기관들의 지질정보의 구축, 관리, 서비스 체계를 살펴보고, 국내 지질도록의 발간 현황, 지질정보의 데이터화 및 지질정보시스템 운영에 대해 기술하였다. 이와 더불어 향후 더욱 정확하고 체계적인 지질정보의 생산, 보급, 활용의 측면에서 기본지질도 업그레이드 및 수정·갱신 시스템 개발, 디지털 지질조사 시스템의 개발 및 보급, 그리고 데이터 기반의 3D 지질도 및 지질모델링 기술에 대해서도 논하고자 한다.

2. 국외 기관의 동향

2.1. 미국

미국의 지질도 발간은 1825년도부터 시작되었으며, 미국지질조사소(United States Geological Survey, USGS, <https://www.usgs.gov/>)는 1992년도부터 National Cooperative Geologic Mapping Program을 통해 미국지질학자협회(AASG), 연방(FEDMAP), 주(STATEMAP), 대학(EDMAP) 등과 협력하여 기본지질도를 제작하고 있다. USGS에서 발간된 전체 90,882매 지도 중 기반암과 관련된 지질도는 35,254매 출판되었다. 기본지질도의 축척은 1:24,000이지만, 목적에 따라 1:48,000, 1:62,000, 1:100,000, 1:125,000, 1:500,000 등의 다양한 축척으로 제작되고, 해당 지역의 지질학적 특징(분지, 광상, 제4기층, 단층대 등)에 따라 지질도에 포함된 정보가 다르게 구성된다.

지질도 공공 서비스는 홈페이지에서 웹서비스(Map Catalog, Stratigraphy, Map View, Topo View, Geolex, Geologic Map Schema 등)를 통해 제공되고 있다. Map Catalog는 지질도에 국한되지 않고, USGS에서 발행하는 모든 지도와 보고서를 검색할 수 있으며 제목, 주제, 축척, 저자, 발행연도, 발행기관 등을 검색하여 원하는 간행물을 찾을 수 있다. Map View는 Catalog와 연계되어 있으며, 50개 주와 미국 영토 내 19,000개 이상의 지질도와 보고서를 다운로드할 수 있고, New Mapping을 통해서 현재 조사되고 있는 지역과 담당자 정보를 확인할 수 있다. Geolex는 표준화된 지질층서단위, 암석명, 지역명 등을 검색할 수 있도록 제공하며, 지리적으로 인접한 국가인 캐나다와 멕시코의 지질용어 사전 블로그와 연동된다. 2030년까지 국가지리공간 데이터베이스에 3D 지질 프레임 모델 개발을 계획 중이다.

2.2. 일본

일본의 지질도 발간은 일본지질조사소(Geological Survey of Japan, GSJ; <https://www.gsj.jp/Map/JP/>) 주관으로 진행되고 있으며, 기본지질도의 축척은 우리나라와 같은 1:50,000이다. 1950년대부터 본격적으로 시작되어 행정구역 기준, 7개 지방 내 총 20개 하위 구역으로 구분하여 발간 중이다. 기본지질도는 총 1,292 도폭 중 현재 820 여개의 도폭이 발간되어 전체 도폭 대비 약 63%가 완성된 상황이다. 이 외에 축척 1:75,000, 1:200,000, 1:500,000 등의 지질도를 발간하고 있으며, 이 중 축척 1:75,000 지질도는 1966년까지 319개 도폭이 제작된 이후로 발간이 중단되었다. 축척 1:200,000 및 1:500,000 지질도는 일본 전 국토에 대해 1차 발간이 완료되었으며, 축척 1:200,000 지질도는 2차 개정판을 제작·발간하는 중이다(총 119개 도폭 중 20개 도폭 2차 개정판 발간). 일본 전국 지질도는 1:2,000,000 축척을

기본으로 하며 2002년 5차 개정판을 마지막으로 발간하였다.

기본지질도는 지질도, 범례, 주요 지질구조를 표현하는 지질단면도를 포함하며 지질조사보고서를 같이 발간하고 있어 우리나라의 기본지질도와 매우 유사한 형식을 가진다. 지질조사보고서는 암석각론의 내용을 포함하되 구성 지질 정보의 특성에 따라 탄성과 탐사자료, 지질 주상도, 지구물리 측정자료, 시추자료 등과 같은 내용을 추가로 구성한다.

일본은 지진, 화산 활동에 민감한 국가이기 때문에 지질도 외에 특정 현안 지역을 대상으로 지구조도(축척 1:500,000), 해저지질도(축척 1:200,000), 화산지질도(축척 1:50,000 또는 1:25,000), 지구물리도(부계중력이상도), 지화학도(하천 퇴적물 및 토양, 하천수), 이외에 수문·지하수, 연료 자원, 광물, 지열 등 다양한 분야의 주제도를 제작하고 있다.

지질도 공공 서비스는 GSJ 홈페이지 또는 GSJmapNavi 링크를 통해 제공하고 있다. GSJmapNavi 링크(<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>)는 홈페이지를 통해 접근이 가능한 온라인 지질도 가시화 제공 서비스로서 기본지질도를 포함하여 현재까지 발간된 모든 지도 및 지질도들의 기본 정보 및 위치정보를 디지털 기반으로 제공하고 있다. 지질도의 경우, 파일을 다운로드하지 않아도 GSJmapNavi에서 지질범례 확인까지 가능하다. 항목별로 레이어 구분이 되어 있어 원하는 지도만 선택해도 확인이 가능하며 특정 지역에서 나타나는 다양한 정보를 한눈에 확인할 수 있는 장점이 있다.

2.3. 영국

영국지질조사소(British Geological Survey, BGS; <https://www.bgs.ac.uk/>)는 200년에 가까운 지질도 제작 역사를 가진 선진 연구기관이다. 1832년 정부차원에서 국가지질도의 발간이 시작되었으며, 군사목적의 국토측량 일환으로 수행되었다. 초창기의 기본지질도는 축척 1:63,360(1990년대까지도 일부 지속)이었으나, 1972년 이후 기본지질도는 점차 축척 1:50,000으로 대체되어 대부분의 최신판 도폭은 이를 따르고 있다. 북아일랜드를 제외한 영국 본토의 모든 도폭의 발간은 100% 완료되었다. 짧게는 수년에서 길게는 수십 년 간격으로 새로운 지질조사 결과와 변화한 인문환경을 반영하여 여러 차례 개정되었다. 대표적으로 잉글랜드-웨일스 지역 신 360도엽의 경우 총 1,650여 매, 지표 지질도를 제외하여도 천 매 내외가 발간되어 평균 세 차례, 구 110도엽 체제까지 고려한다면 그 이상의 개정 발간이 이루어졌다. 특히, 최종 발간을 축척 1:50,000으로 하였더라도 재조사 자체는 축척 1:10,000으로 상세히 수행한 뒤 개정 과정에서 인쇄에 적합하게끔 단순화한 도폭들이 상당 비율로 존재한다. 이외 축척 1:253,440 지질도가 잉글랜드-웨일스 및 스코틀랜드 지역에 대해 1800년대 말부터 1970년

대까지 여러 차례 개정 발간되었다. 이후에는 축척 1:250,000으로 대체되어 그레이트 브리튼(Great Britain) 섬을 중심으로 주변 일대 대륙붕까지를 넓게 아우르는 70여개 도엽이 조사 발간되었으며, 지질학적으로 특별히 관심도가 높은 몇몇 지역은 선별적으로 축척 1:25,000의 지질도를 추가 발간하였다. 전국 단위 지질도의 경우 축척 1:1,584,000 혹은 1:625,000(남·북 총 2매)으로 여러 차례 개정 발간되었다.

현재 BGS는 잉글랜드-웨일스와 스코틀랜드의 개별 도폭 모두를 하나로 결합한 seamless map을 구축하였고, 정해진 축척이 없는 디지털 지질도 체제로 전환하고 있다. 단 1:1만 축척 수준의 상세 지질조사는 아직 국토 일부만이 완료되었고, 조사 완료된 자료도 디지털 지질도에 미반영된 경우가 있어 상시 업데이트를 운영하고 있다. 북아일랜드의 지질도 미발간 지역에 대한 조사는 북아일랜드 지질조사소(BGS 직원으로 구성)에서 진행 중이다.

지질도는 초창기부터 기반암 지질을 다룬 Solid/Bedrock 지질도와 표층 지질을 다룬 Drift/Superficial 지질도로 구분되어 발간된 것이 특징이다. 지질도 설명서는 일반지질만을 비교적 간략하게 제시한 설명서(Sheet Explanation)와 일반지질은 물론 지질구조, 층서, 고생물, 자원, 지질재해, 지하수, 지구물리 등, 넓은 주제를 총체적으로 다룬 상세설명서(Sheet Description/Memoir)로 구분되며, 도폭에 따라 한 가지 혹은 두 가지 모두를 발간하고 있다.

지질도 외에 전국 혹은 특정 현안 지역을 대상으로 지구조도, 지구물리도(항공자력이상도, 부계중력이상도 등), 지화학도(하천퇴적물 및 토양, 하천수), 이외 수문·지하수, 지진, 석탄, 광물, 석재, 라돈 등 다양한 테마의 주제도가 제작되었다.

해저지질도 및 지질주제도는 육지와 대륙붕의 구분 없이 영국 본토와 주변 해역 전체를 축척 1:250,000으로 제작된 기반암 지질도, 표층지질도(제4기), 표층 퇴적물 입도 및 두께 분포도, 지구물리도 등이 발간되었다. 최근에는 시추자료, 지구물리자료, 모델링 등을 바탕으로 육지 1.5~6 km, 연근해 최대 20 km 깊이까지 단면도 기반의 국토 기반암 3차원 분포도를 구축하는 UK3D와 GV (Geological Visualisation) 모델을 개발하여 제공하고 있다. 최대 축척 1:10,000에서 표층 및 기반암의 지하 공간정보를 다루는 LithoFrame은 도시 지역을 중심으로 점차 그 범위를 넓혀가며 구축되고 있다.

특정 축척의 실물 인쇄 지질도에서 축척이 없는 디지털 지질도 체제로 전환됨에 따라 인쇄 지질도 발간은 2015년을 끝으로 마무리되었다. 이미 발간된 수천 여 매의 지질도는 BGS 맵 포털의 공공서비스를 통해 자유롭게 열람이 가능하며, 실물 지질도, 도폭 설명서, 그리고 편집이 가능한 디지털 자료 등은 유상 판매하고 있다. 신규 디지털 지질도

는 일반인 대상과 전문가 대상의 두 가지 형태로 나누어 제공되고 있다. BGS Geology Viewer는 일반인 대상 서비스로 암상 분포 및 경계만을 지표 지질, 기반암 지질, 기반암 및 지표 지질의 세 가지 설정으로 열람이 가능하다. 디지털 지질도 체계로 전환한 선도적인 사례를 보여주며, BGS GeoIndex는 전문가를 대상으로 하는 서비스로 암상 분포와 지질구조 등, 지질도 기본 구성요소는 물론, 지질주제도, 시추자료, 사진자료, 기타 지질 관련 각종 공간정보를 디지털지도 기반으로 통합하고 있으며, 관심 항목의 레이어를 선택하여 열람할 수 있다.

2.4. 독일

독일은 연방지질자원청(Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR; <https://www.bgr.bund.de/>)이 1958년에 설립되어 본격적으로 다양한 축척의 지질도 발간을 수행하고 있다. BGR에서 제공하는 지질도는 각기 축척 1:200,000, 1:250,000, 1:1,000,000, 1:2,000,000으로 발간되었으며, 기본적으로 각 도엽은 1개 이상의 지질단면도와 암상 및 층서 정보를 제공하고 있다. 1:20만 축척의 지질도는 인접 지질조사국과 협력하여 1973년부터 발간되기 시작하였고, 2003년에 총 55개의 모든 도엽이 발간 완료되었다. 축척 1:250,000 지질도는 기존에 종이로 발간된 축척 1:200,000의 지질도를 통합하고 디지털화하기 위해 2019년부터 발간되었으며, 최신 암석의 연대, 조성, 기원 정보를 제공한다. 축척 1:1,000,000 및 1:2,000,000의 지질도는 독일과 주변국의 지질정보를 보여주는 단일 도폭으로 유럽 국가 간의 지질정보를 통합하고 다양한 지질주제도를 발간하기 위한 목적으로 각각 1993년과 2004년에 발간되었다.

BGR은 광범위하게 분포하는 여러 천연자원을 활용하기 위한 목적으로 다양한 지질주제도를 발간하고 있다. 대표적으로 토지이용 및 위험성 평가를 위한 축척 1:200,000 토양지도, 수자원 활용을 위한 축척 1:250,000 및 1:1,500,000 수문지질도, 축척 1:1,000,000의 광물자원지도 등이 여러 기관과의 협력을 통해 발간되고 있다.

일반지질도 및 지질주제도 정보 제공을 위해 BGR은 3D Viewer, BGR Geoportal 등 다양한 공공 서비스를 구축하고 있다. 3D Viewer는 지하의 지질정보를 3차원으로 보여주는 공공서비스로서, 특정 층준 및 단층을 선택적으로 도시하여 다양한 방향에서 지하 지질구조를 관찰할 수 있다. BGR Geoportal은 지질학, 지구화학, 지질학, 지구물리학, 토양 및 지하수 자료를 통합적으로 관찰하고 필요에 따라 관련 자료를 받을 수 있는 종합적인 지오포털 서비스이며, 목적에 따라 일반 지질도와 특정 지질주제도를 동시에 도시할 수 있다.

2.5. 프랑스

1959년에 설립된 프랑스지질조사소(Géosciences pour une Terre durable, BRGM; <https://www.brgm.fr/>)는 지표 및 지하의 지질정보 제공, 지하수의 관리, 지질학적 현상과 이와 관련된 위험성 평가, 광물자원 개발, 디지털 자료 제공 서비스를 구축하고자 다양한 과제를 수행하고 있다. BRGM에서 제공하는 일반지질도는 축척 1:50,000, 1:250,000, 1:1,000,000 등으로 발간되었으며, 각 도엽은 암상 및 층서, 지질구조 정보와 1개 이상의 단면도를 포함한다. 축척 1:50,000 지질도는 총 1,060개의 도엽으로 구성되어 있으며, 현재 모든 도엽이 발간되었다. 축척 1:250,000 지질도는 광역적으로 통합된 지질 범례와 주요 지질구조 정보를 담았으며, 총 44개의 도엽 중 15개가 발간되었다. 프랑스 전역의 지질 정보를 담은 축척 1:1,000,000 지질도는 2003년에 6번째 개정판이 발간되었다. 현재 일반 지질도 발간과 관련하여 1:250,000 축척의 지질도가 제작 중이다.

BRGM은 지하자원 및 에너지의 활용을 위해 다양한 지질주제도를 제작하고 있다. 대표적으로 프랑스 전역의 공간계획 또는 자원관리와 같은 응용분야에 활용하기 위한 1:1,000,000 축척의 제4기 지질도, 지화학 이상도, 그리고 암석, 자원, 지하수와 같은 정보가 필요한 비전공자들을 위해 다양한 축척의 지질도가 발간되어 제공되고 있다.

지질도 공공서비스는 BRGM의 웹서비스인 InfoTerre를 통해 제공되며, 프랑스의 지질정보뿐만 아니라 시추공이나 지하공동 정보, 지각의 안정성에 대한 위험성 정보 등을 제공하며, 필요에 따라 이러한 자료를 열람할 수 있다. 현재 BRGM은 시추공 자료와 현재 발간된 지질도를 기반으로 3차원의 지질정보를 구현할 수 있는 웹서비스를 구축 중이다.

2.6. 중국

중국은 중국지질조사국(China Geological Survey, CGS; <https://en.cgs.gov.cn/>) 주관으로 지질정보 및 Geo-archive 구축을 10대 주요 연구분야로 설정하고 국가지리정보 공개 서비스를 위해 지질정보 표준화와 통합을 진행하면서 지질 데이터를 생산 구축하고 있다. 공유 자료로서 데이터화하여 배포하고 있는 주요 지질정보는 축척 1:50,000 및 1:200,000 지질도, 지구화학도, 축척 1:200,000 주요 광물광상도, 축척 1:200,000 수문지질도 등이다.

조사국의 연구개발센터에서는 디지털 지질도 관련 모든 소프트웨어와 3D 지질모델링 소프트웨어를 자체적으로 제작하여 사용하고 있으며, 3D 지질정보화 기술은 거의 세계 최고 수준으로 평가된다. 디지털 지질도 제작 메인 프로그램은 DGSInfo (Digital geological survey information system)와 Rgmap (Regional geological mapping system)으로 구성되어 있다.

3. 국내 지질도 발간 현황

3.1. 한반도 지질도

한반도 전역에 대한 지질도는 1907년 대한제국 통감부 소속 일본인 이노우에가 한국광산조사대의 전국 광산조사 결과를 종합하여 ‘한국의 지질 및 광산’을 발표하면서 첨부한 ‘한국지질광산도(축척 1:1,500,000)’가 최초이다. 그 후 조선총독부 지질조사소에서 1919년과 1920년에 광산조사 결과를 종합·정리하여 각각 ‘조선지질광산도(축척 1:1,000,000)’와 ‘조선지질광상분포도(축척 1:1,000,000)’를 출간하였으며, 1928년에는 그동안의 지질조사 자료 토대로 수정 보완한 ‘조선지질총도(축척 1:100만)’를 발간하였다. 1940년에는 일본 광산지질학회에서 ‘최신 조선관내지질도(축척 1:1,000,000)’를 편찬하여 발간한 바 있다.

대한민국 정부수립 후인 1956년 5월에는 1:1,000,000 축척의 ‘대한지질도(Geological Map of Korea)’가 한국인 지질학자들에 의해 최초로 작성되어 출판되었다. 이 지질도는 한국지질도 편찬위원회가 편집을 맡고 중앙지질광물연구소가 공동 제작한 것으로서 2014년 9월 2일에 등록문화재 제604호로 지정되었다. 그 후 축적된 연구자료를 기반으로 수정 보완된 축척 1:1,000,000 지질도가 1965년(국립지질조사소), 1981년(한국동력자원연구소), 1995년(한국자

원연구소)에 지속적으로 발간되었으며, 2019년엔 개정판 한국지질도가 ArcGIS 기반의 디지털 맵으로 제작 발간되었다.

3.2. 광역지질도(축척 1:250,000)

남한 전역에 대한 축척 1:250,000 광역지질도는 1973년에 초판본 발간이 이래 2002년에 2차 개정판 발간이 완료되었다. 제1차 광역지질도 작성은 국립지질조사소가 대한지질학회에 의뢰하여 국립지질조사소 때인 1967년부터 1971년까지 편집과 조사를 거쳐 국립지질광물연구소가 출범한 해인 1973년에 발간을 모두 완료하였다. 연도별 조사도폭을 보면, 1967년 안동, 1968년 전주와 부산, 1969년 대전, 1970년 광주와 목포 등이 조사되었고, 1971년에는 서울, 남천점, 서산, 여수, 춘천, 삼척, 흑산도 등의 도폭이 조사되었다. 광역지질도 편집에는 기존 자료와 함께 1962년 이래 발간된 기본지질도(축척 1:50,000), 탄전지질도, 광상조사 자료, 그리고 1968년과 1969년 국립지질조사소가 수행한 서해와 남해의 도서 지질조사 자료 등을 종합하고 자료가 없는 지역과 해석상 문제가 있는 주요 지역들만을 선택적으로 조사하여 전체 지질도를 완성하였다.

이후에 수정 보완된 자료들을 반영하여 1996년부터 2002년까지 신도엽 구역에 맞추어 광역지질도 개정판 발간이 진행되었다. 대전(1995년)을 시작으로 안동(1996년), 광주(1997년), 부산(1998년), 서울-남천점(1999년), 제주(2000년), 백아도-진남포(2000년), 강릉(2001년), 속초(2001년), 목포(2002년), 여수(2002년) 등의 도폭이 순차적으로 발간되어 남한 전역의 광역지질도 개정판이 완성되었다(그림 2).

3.3. 국토기본지질도(축척 1:50,000)

축척 1:50,000 기본지질도 조사는 1918년 조선총독부 지질조사소가 설치된 직후부터 시작되었다. 일제의 지질조사는 석탄과 광물자원 탐사를 목적으로 평안도와 함경도에 집중되었다. 남한의 조사 지역도 주로 탄전개발과 자원탐사 목적으로 선정되었지만, 일부는 층서 파악을 위한 지역들이 조사되기도 했다. 조선총독부 지질조사소 주관으로 조사하여 발간된 기본지질도는 남북한에 걸쳐 총 62개 도폭으로서 1924년부터 총 19집에 걸쳐 발간되었다(표 1). 지질학적으로 함께 다루어야 할 지역을 묶어 2~6개 도폭을 함께 편집하였고, 지질설명서와 더불어 지질단면도와 주상도 그리고 중요 지역의 상세한 지질도, 광물결정도, 사진 등을 적절히 배치했다. 남한 지역에서는 1937년 제18집 영덕·영해도폭을 끝으로 총 26개 도폭의 지질도가 발간되었으며, 북한 지역에서는 고성리 등 4개 도폭을 묶은 1938년 제19집을 끝으로 모두 36개 도폭이 발간되었다. 1937년 중일전쟁 발발 이후에는 전쟁에 필요한 광물탐사에 주력하

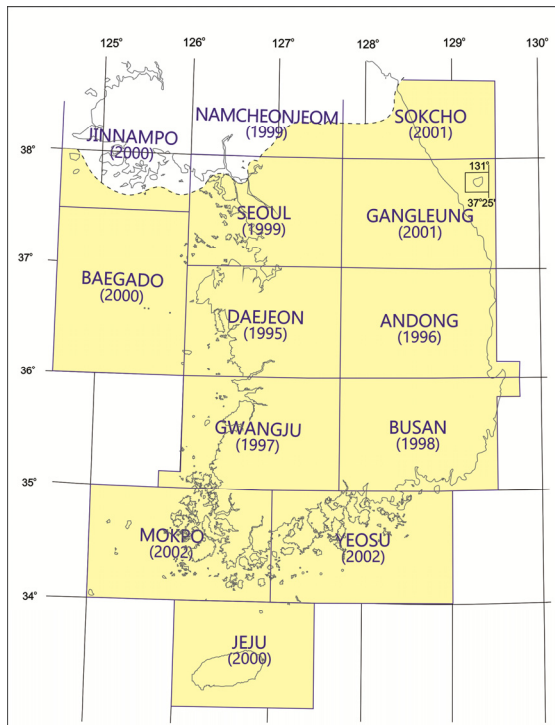


Fig. 2. Index map of the second edition regional geological map sheets (1:250,000). The first regional geological maps were published in 1973, and a comprehensive revision was carried out between 1995 and 2002.

Table 1. Publication list of 1:50,000 basic geological map sheets.

Publication Year	Geological Map Sheet
Geological Survey, Government-General of Chosen	
1924	Miryang·Yucheon (No. 1), Yeonil·Guryongpo·Joyang (Gampo) (No. 2)
1925	Haeunbong·Gilju·Sapo·Immyeong (No. 3), Geukdong·Myeongcheon·Chilbosan·Gojeomdong (No. 4)
1926	Jinan·Jeonju (No. 5), Sinheung·Gotosu·Wonpyeongjang·Hamhung·Onori·Seohojin (No. 6)
1927	Cheongsan·Yeongdong (No. 7)
1929	Gyeomipo·Sariwon·Jaeryeong (No. 8), Haenam·Usuyeong (No. 9), Gyeongju·Yeongcheon·Daegu·Waegwan (No. 10)
1930	Wando·Nohwado·Cheongsando·Taerangdo·Soando (No. 11)
1931	Seongcheon·Byeolchang·ri·Eunsan·Dongchang (No. 12), Cheongyang·Daecheon·ri·Buyeo·Nampo (No. 13)
1932	Jaedeok·Sinbokjang·Gobo·Doljokri (No. 14)
1933	Bukjin·Uhyeonri (No. 15), Cheongjin·Yeonjin (No. 16)
1936	Cheongseongjin·Cheonmadong·Yeongsansi (No. 17)
1937	Yeongdeok·Yeonghae (No. 18)
1938	Goseongri·Sangnongri·Eopyeongri·Jikdong (No. 19)
Geological Survey of Korea	
1962	Geological Atlas of Taebaegsan Region (19 sheets in total): Gangneung (southern part), Sanseongu, Changdong (southeastern part), Hajinburi, Seogbyeongsan, Ogkye [Mukho], Pyeongchang (eastern part), Jeongseon, Haringye [Imgye], Samcheok, Yeongwol, Euirimgil [Yemi], Homyeong, Gosari (western part), Yeongchun, Okdongri (northern part), Sobyongni (northern part), Gyesanchon [Jangseong] (western part), Danyang (northern part)
1963	Chunyang, Daeheung, Dogyedong, Hamyeol, Hongseong, Hyeondong [Samgeunri], Jindongri, Masan, Pyeonghaeri, Seocheon, Uiryeong, Uljin, Yean
1964	Cheongdo, Gimhae, Pohang, Yangsan, Yeongsan
	Gyeongsngnam-do Danseong, Sancheong, Unbong, Hwagae
1965	Chungju, Hwanggangri, Jingyo, Seobyeokri
1966	Bongnae, Changpyeong, Dongbok, Galdam, Neungju, Okdongri, Sunchang
1967	Danyang, Gangjin, Jangseong(Gyesanchon), Jecheon, Mungyeong, Namchang
1968	Anui, Bangeojin, Boseong, Cheongha, Hamchang, Hapcheon, Jangheung, Sanggeumgok, Seolcheon, Ulsan
1969	Changnyeong, Janggiri, Jinju, Mupung, Sacheon, Samnye, Sangju, Yesan
1970	Geochang, Gujeong, Hyeonpung, Jirye, Jungpyeong·dong, Yeongyang
1971	Gyeongsan, Jeungpyeong, Jindo·Jisan, Mangun, Mokgye, Moryang, Muan
1972	Eonyang, Goesan, Namji, Namyang, Pungam, Suwon
Geological and Mineral Institute of Korea	
1973	Cheongsong, Dopyeong, Jain, Osan, Yongdam, Yongyuri
1974	Cheongju, Chuncheon, Gapyeong, Goemok, Gumi, Gwangjeong, Icheon, Naepyeong, Sinrim, Yangdeokwon, Yongduri
1975	Anyang, Bokbunri, Changchon, Gigye, Hongcheon, Hyeonri, Jaeun, Odaesan, Samga, Yeoju
Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources	
1976	Eumseong, Gongju
1977	Boeun, Gusandong, Nakdong, Uiseong, Yuseong
1978	Cheonji, Dongnae·Wollae, Geumsan, Okcheon, Yangpyeong
1979	Asan, Cheonan, Pyeongchang·Yeongwol
1980	Daejeon, Ganggyeong, Geoje·Yulpo, Jincheon, Miwon, Muju, Nonsan, Pyeongtaek, Sinnyeong

Table 1. Publication list of 1:50,000 basic geological map sheets (continued).

Publication Year	Geological Map Sheet
Korea Institute of Energy and Resources	
1981	Cheongpyeong, Daeyul, Gunwi, Ttukdo [Ttukseom]
1982	Daesan·Igok, Dunjeon, Seosan·Mohang, Seoul, Sinheung
1983	Busan·Gadeok, Chungmu, Samcheonpo
1984	Gaeumdo, Gurye, Namwon, Osu
1986	Cheongsan, Songjeong, Yeongdong, Yeonggwang
1988	Andong, Miryang, Yecheon, Yucheon
1989	Anseong, Byeongcheon, Dangjin·Janggohang, Gapcheon, Gimcheon, Gwangyang, Hadong, Haemi, Ipo, Janghowon, Munmak, Namhae·Seosang, Oksandong, Punggi, Seonsan, Suncheon, Wonju, Yeongju
1990	Gwangju, Naju
Korea Institute of Geology, Mining and Materials	
1993	Balan, Hamyang, Imwonjin·Jukbyeon, Janggye
1994	Samcheok·Gosari
1995	Changdong, Gimpo·Incheon
1996	Cheorwon·Majeonri, Sunchang
1997	Hwacheon, Tongjin
1998	Goseong·Ganseong, Munsan
1999	Daebudo
2000	Gaeumdo, Geoje·Yulpo, Moseulpo·Hallim, Muan
Jeju-do	
	Seongsan
	Pyoseon
	Jeju·Aewol
	Hahyori·Seogwipo
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources	
2001	Gochang
2004	Goyang
2005	Ganghwa·Onsuri, Pocheon, Uijeongbu
2006	Gisan
2007	Gimhwa, Jipori, Yanggu
2008	Sinyangri, Yeoncheon
2009	Inje, Mandaeri, Mundeung·ri
2010	Changamjeom, Seoraksan
2011	Anheungri, Gangneung·Jumunri, Sokcho·Yangyang
2012	Daebo, Dokdo, Gimje, Iri, Ulleungdo
2013	Gunsan·Buan·Bangchukdo·Jangjado, Jeongeup, Julpo·Hawangdeungdo·Wido
2014	Mokpo, Yeongam
2015	Anmyeondo·Wonsando·Hwangdo·Oeyeondo·Hodo, Beopseongpo·Anmado·Songido·Bunamgundo·Imjado, Goheung, Yeongsanpo, Yeosu·Gaedo·Dolsando·Sorido
2016	Bungye·Jaeundo·Bigeumdo·Gijwado, Gulupdo·Deokjeokdo·Baegado·Seongapdo, Mijo·Mireukdo, Muhak·Jumundo·Yongyudo, Yeongheungdo·Pungdo·Gyeongnyeolbiyeoldo·Gungsido·Geoado·Naepasudo, Yokjido·Yeonhwado·Maemuldo
2020	Taedo·Ganseodo·Manjaedo·Gageodo
2021	Baengnyeongdo·Daecheongdo·Socheongdo, Bupo·Daeyeonpyeongdo·Udo, Daegangri, Gogeumdo, Jinhae·Dongdumal
2022	Hongdo·Heuksando·Byeonseodo, Oenarodo·Yenaeri
2023	Geogumdo, Pyeongildo, Sonjukdo·Gwangdo·Geomundo·Baekdo, Sorokdo
2024	Seoneopdo·Hoenggando·Chujagundo·Sasudo·Daegwantaldo
2026	Naeyeongdo·Geochagundo·Hajodo·Byeongpungdo, Gadeokdo, Heukdo, Eocheongdo, Sipidongpado, Yeondo, Daebichido

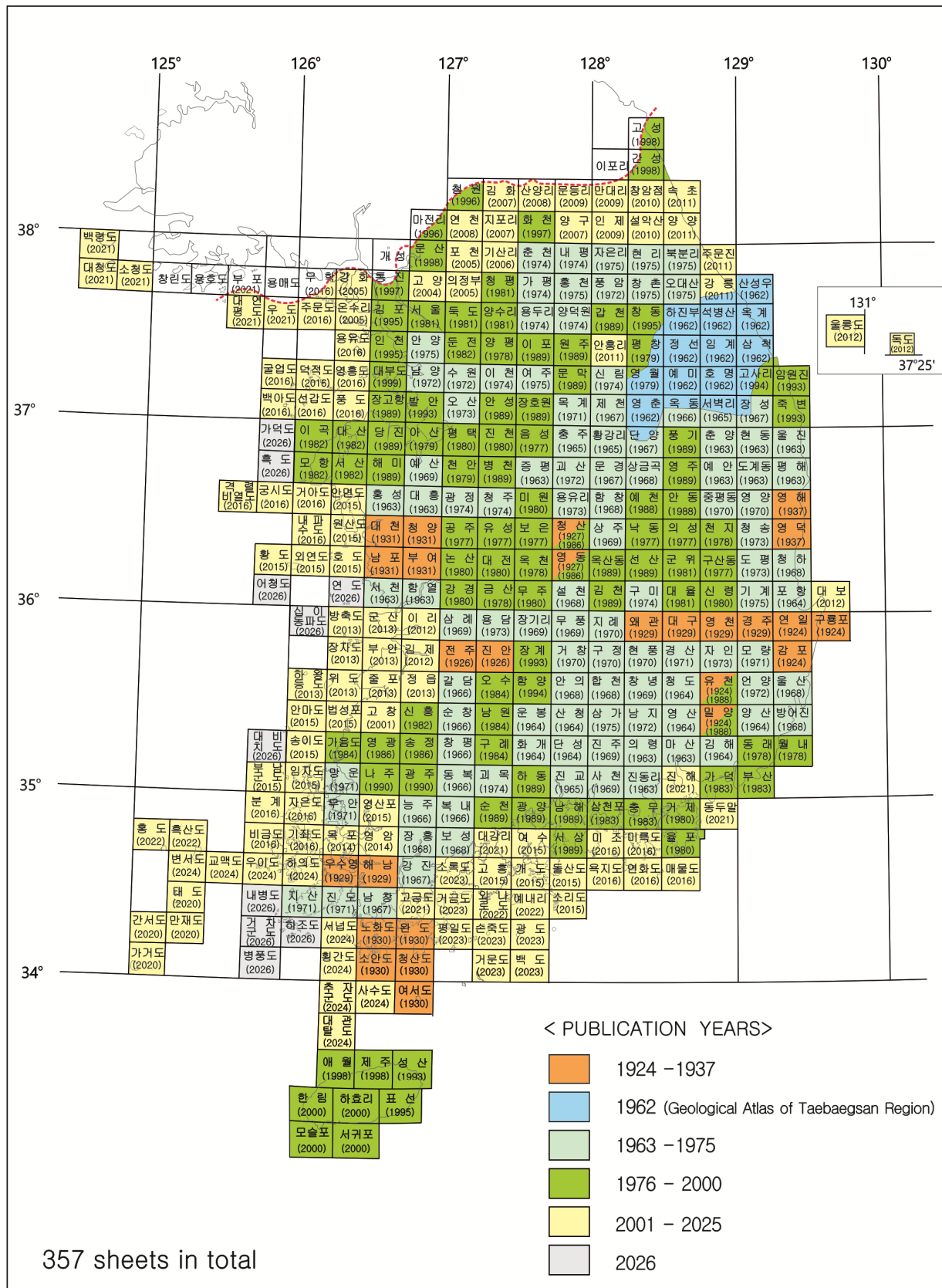


Fig. 3. Index map of the 1:50,000 basic geological map sheets by publication year.

게 되어 지질도 조사사업은 전면 중단되었다. 일제강점기 말기에 이르러 지질조사를 마치고도 발간하지 못한 채로 남겨진 도폭은 남북한을 합쳐 9개 지역의 13개 도폭에 이른다고 알려져 있다.

광복 후, 1948년 9월 대한민국 국가기관으로 중앙지질광물연구소가 창립되었으나 국토 지질조사는 열악한 여건으로 인해 상당 기간 중단되었다. 1961년 5.16 군사정변 이후 국가 경제 발전을 위한 지하자원 개발을 목적으로 석탄, 석회석, 철광을 위시한 지하자원이 풍부하게 매장된 것으로 알려진 태백산지구를 대상으로 지질조사 사업이 시작되었다. 이 태백산지구 지하자원조사 사업은 예비조사를 거친 후 국립지질조사소(1961년 10월에 개편) 주관 하에 대한지질학회의 용역사업 형식으로 1961년 9월에 착수되어 1962년 3월까지 진행된 단기간의 대대적인 지질조사 통해 완료되었다. 이 조사 사업으로 태백산지역 19개 도폭에 대한 지질도(8개 도폭은 부분적으로 작성됨)와 보고서가 발간되었다(표 1; 그림 3). 태백산지구지질도는 처음으로 한국인 지질전문가들의 힘으로 작성된 국토의 기본지질도이다. 또한 1964년도에는 경상남도 도청의 지리산지구 종합개발계획 일환으로 지질조사 사업이 추진되어 대한지질학회 지리산지구지질조사단 주관하에 화개도폭을 비롯한 4개 지질도폭이 발간되었다.

이후 기본지질도 사업은 국가기관인 국립지질조사소(1973년 국립지질광물연구소로 개편)의 기구 확장과 더불어 활성화되었으며, 대한지질학회가 함께 참여하였다. 지질조사는 학술적으로 중요하고 자원 부존이 유망한 지역들을 우선적으로 선정하여 진행되었으며, 1975년까지 총 104개 도폭의 지질도가 발간되었다. 하지만 조사 기간과 조사 인원이 절대적으로 부족하여 많은 어려움이 있었다. 도폭당 조사 인원은 대부분 두 명으로 구성되었으며, 1년 만에 야외조사를 마치고 지질도까지 발간해야 했다. 이에 따라 일부 도폭들 사이에 지질 단위 분류, 지질계통, 지질경계 등이 서로 일치하지 않은 문제가 나타나기도 하였다.

1976년 연구소가 정부출연연구기관 형태로 전환된 이후 지질도 조사발간 사업은 질적인 향상과 정확성을 기하기 위해 도폭 당 1년 내에 완성하던 것을 2년에 걸쳐 마무리하는 것으로 방침이 변경되었다. 부족했던 연구소 전문인력의 한계 극복과 지질학계의 전문인력 활용 차원에서, 연구소에서는 일부만 직접 조사하고 많은 부분을 대한지질학회에 학술용역 방식으로 의뢰하여 진행하였다. 이러한 사업 방식은 연구소 직영체제로 전환된 1988년까지 계속 유지해 나갔다. 한편, 많은 연구원이 해외 유학과 선진국 지질학자들과의 활발한 국제협력 교류를 통해 국내 지질조사 기법은 지속적으로 발전해 갔다. 1976년부터 2000년까지 발간된 기본지질도는 총 103개 도폭(자원개발연구소 27개

도폭, 한국동력자원연구소 49개 도폭, 한국자원연구소 25개 도폭)으로서 내륙 지역의 기본지질도 발간은 거의 완료한 상태에 이른다. 1980년대에는 일제강점기 등 과거에 발간된 도폭들 가운데 지질시대나 층서적 해석에 수정이 필요한 지역에 대한 재조사도 일부 병행하였으며, 앞서 대한지질학회에서 조사한 후 미발간 상태로 남아있던 일부 도폭을 연구원 직영으로 보완조사를 거친 후 발간하였다. 그리고 제주도의 지하수를 비롯한 각종 개발사업의 활용을 위해 제주도 도청의 위탁 사업으로 1993년부터 2000년까지 제주도폭을 비롯한 6개 지질도폭이 발간되기도 하였다.

2000년대에 들어서 그동안 미조사 지역으로 남아있던 휴전선 부근과 연안 및 도서 지역에 대한 조사가 꾸준히 수행되었다. 이 시기에는 총 107개 도폭이 발간되었는데, 최신의 연령측정법과 지화학 및 동위원소 분석이 활발하게 적용되어 지층들의 지질시대 및 층서 정립과 지구조적 해석에 큰 진전이 있었다. 그리고 2012년 발간된 독도도폭은 그 중요성을 감안하여 예외적으로 1:2,500 축척으로 발간되었다. 현재, 남한 지역의 기본지질도 발간은 전체 357개 도폭 중 서해 중부·남부 도서 지역의 10개 도폭을 제외한 347개 도폭이 완성된 상태이며, 미발간 도폭도 조사가 진행 중에 있어 2026년 말에는 남한 전역에 대한 기본지질도 발간이 모두 완료될 예정이다(표 1; 그림 3).

3.4. 정밀지질도(축척 1:25,000) 및 준광역지질도(축척 1:100,000)

지질도의 수요가 자원탐사뿐만 아니라 국토개발 분야로 급속하게 확대되면서 보다 정밀한 지질도가 요구됨에 따라 1986년부터 정밀지질도(축척 1:25,000) 조사가 시작되었다. 이를 통해 어일(1988년)을 시작으로 우보(1990년), 농암(1993년), 옥동(1995년), 남창(1998년), 삼호(1999년), 무안(2000년), 함평(2002년)에 이르기까지 총 8개 도폭이 발간되었다. 이 사업은 2003년에 잠정 중단되었다.

준광역지질도(축척 1:100,000) 조사는 이미 발간된 기본지질도폭 지역에 대한 수정 보완 및 통합, 그리고 지질·환경 관련 디지털 정보 제공을 목적으로 기획되었다. 이 조사 사업은 서해 5도를 비롯한 남북 접경지역과 국토활용도가 가장 높은 수도권 지역을 우선적으로 선정하여 2020년부터 진행되었다. 현재까지 발간된 준광역지질도는 백령도(2021년), 강화·연평도(2023년), 철원(2023년), 서울(2024년) 등, 총 5개 도폭이다.

3.5. 탄전지질도(축척 1:25,000 및 1:10,000)

1970년대 들어 석탄광 개발이 활발해지면서, 보다 정밀도가 높은 자료가 요구되어 1973년부터 1979년까지 상공부 주관 아래 국립지질광물연구소와 여러 지질관련 용역회

사들에 의해 공동으로 탄전지질조사가 실시되었다. 이 조사로 충남(1974), 강릉(1975), 단양(1975), 보성(1975), 전북(1975), 정선(1975), 문경(1977), 보은(1978), 평창(1978), 삼척(1979) 등의 탄전 지역에 대한 축척 1:25,000 탄전지질도가 발간되었다. 또한 1978년부터는 호남탄전 중부를 시작으로 1994년까지 정밀 탄전지질조사가 진행되어 호남탄전 3개 지역(1978, 1985, 1986), 충남탄전 4개 지역(1980, 1982, 1983, 1984), 정선탄전 1개 지역(1981), 문경탄전 3개 지역(1987, 1988, 1989), 보은탄전 3개 지역(1990, 1991, 1992), 삼척탄전 1개 지역(1994) 등, 총 6개 탄전의 15개 지역에 대한 축척 1:10,000 탄전정밀지질도가 완성되었다. 이러한 탄전지질도의 발간은 당시 석탄자원의 효율적인 탐사와 개발에 핵심적인 자료로 활용되었을 뿐만 아니라 우리나라 고생대 말 및 중생대 초-중기 지층의 층서 확립과 지사 연구에 기여한 바가 매우 크다.

4. 지질 자료의 데이터화

4.1. 지질도록 DB 구축 및 온라인 서비스

디지털 전환(digital transformation)은 단순히 기술 개발의 영역을 넘어 다양한 분야의 기술 혁신을 이끌면서 사회와 경제 전반에 걸쳐 영향을 미치는 세계적 트렌드로 자리 잡고 있다. 디지털 전환은 물리적 객체나 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환하여 공유하는 초기 과정과 구축된 디지털 데이터의 분석과 활용으로 업무 효율성을 높이는 단계를 지나, 궁극적으로 디지털 기술 간의 융합을 통해 데이터 기반의 연구 혁신을 유도하여 새로운 가치를 창출하는 과정이다.

국내에서의 GIS 기술을 활용한 지질정보 인프라 구축은 1999년에 국가 GIS 사업의 일환으로 추진되었던 한국지질자원연구원의 ‘국토기초지질도 전산화 사업’이 시초이다. 지질도 GIS 데이터베이스 구축은 원도에 포함된 범례, 심벌, 레이아웃 및 도면 드로잉을 포함한 내용들을 수치화하고 공간데이터베이스에 저장하기 위한 일련의 과정으로 구성된다. 이 사업에서는 그동안 발간되었던 지질도를 기반으로 도면의 수치화를 포함한 지질정보의 전산화를 수행하고, GIS 소프트웨어에서 사용될 수 있는 디지털 형태의 지질도 데이터베이스를 구축하였다. 이어서 대국민 공개를 위한 지질정보시스템을 개발하고 2002년부터 정보 공유 및 대국민 서비스를 시작하였다. 하지만 개발사의 열악한 기술지원으로 인해 2008년에 지질정보 서비스가 중단되었다. 이를 대체하기 위해 미국 ESRI사의 ArcGIS 소프트웨어를 플랫폼으로 하여 데스크톱 PC 웹 브라우저 환경에 최적화된 지질정보시스템 GEOINFO (GEOscience INFORMATION system)을 새로이 개발하고(Chi *et al.*, 2008), 서비스를 재개

하여 2014년까지 운영하였다. 이후 모바일 기기의 급속한 확산과 인터넷 정보검색 환경에 커다란 변화가 일어나면서 어떤 하드웨어나 소프트웨어에 종속되지 않고 언제 어디서나 인터넷 웹을 통해 위치정보와 함께 지질정보를 보다 쉽고 편리하게 검색하고 이용할 수 있는 지질정보시스템의 개발이 필요하게 되었다. 한국지질자원연구원은 급변하는 정보 환경에 대응하기 위해 데스크톱 PC뿐만 아니라 다양한 모바일 기기를 동시에 지원할 수 있는 반응형 웹기반의 멀티 플랫폼 지질정보시스템 MGEO (Multiplatform GEOscience Information System; <https://data.kigam.re.kr/mgeo>)을 2014년에 개발하고 2015년부터 운영을 시작하여 현재까지 대국민 서비스를 제공하고 있다. MGEO 시스템은 웹 GIS와 HTML5 (Hyper Text Markup Language 5), Javascript, CSS3 (Cascading Style Sheets) 기술을 이용하여 사용자 단말기 종류에 따라 웹 디자인을 최적화시키는 반응형 웹 기술이 적용되었으며, 시스템 개발 전 과정에 오픈소스 소프트웨어를 적용하였다 (Han and Yeon, 2014).

최근 전 세계적으로 다양한 분야에서 정보, 지식, 아이디어를 공유하는 열린 플랫폼 구축 프로젝트가 활발히 추진되고 있으며, 과학계에서는 연구자료의 공개와 협업을 통해 연구 과정의 투명성과 효율성을 강화하는 오픈 사이언스의 흐름이 가속화되고 있다. 지질과학 분야에서도 역시, 다양한 데이터의 연계와 융합이 필수적으로 요구되고 있다. 이러한 데이터의 융합은 자연현상 간의 상호 연관성을 이해하고, 학술적 및 경제적 상관관계를 분석하는 데 필수적인 요소로 인식되고 있다.

현재 국내 지질과학 분야에서 구축되어 운영 중인 플랫폼들은 데이터가 독립적으로 분산되어 있는 경우가 흔하다. 따라서 이를 통합하고 데이터 공유를 통해 사용자들이 쉽게 접근할 수 있는 정보 환경을 조성하는 것이 중요하며, 데이터를 종합적으로 수집, 관리, 보존하고 이를 체계적으로 공유·활용할 수 있는 빅데이터 오픈플랫폼 구축이 필요하다. 기존의 데이터를 포함해 국내외 최신 지질과학 연구 정보를 신속하게 제공하는 빅데이터 오픈사이언스 생태계가 조성되어야 한다.

빅데이터 오픈플랫폼의 구축은 데이터 기반 R&D를 촉진함으로써 연구 생태계를 활성화하고 지질과학 분야의 국가적 사회 현안에 효과적으로 대응할 수 있을 것이다. 더 나아가 현재와 같은 초격차 사회에서 AI, IoT와 같은 ICT 기술과의 융합을 통해 신산업 창출과 신기술 개발에도 기여할 수 있으며, 수요자 중심의 지질정보 지능화를 통해 개인별 맞춤형 정보를 제공함으로써 데이터 활용의 폭을 더욱 넓힐 수 있을 것이다.

현재 국내에서는 한국지질자원연구원이 국가 차원의 지질과학 연구데이터 관리와 보존 체계의 일환으로 2019년부터 지오

빅데이터 오픈플랫폼(Geo Big Data Open Platform; <https://data.kigam.re.kr>)을 운영하고 있다. 이 플랫폼은 데이터 활용의 가치를 극대화하기 위해 데이터 개방과 활용의 편리성을 지원하는 기능을 가지고 있으며, 사용자 중심의 맞춤형 지질자원 정보를 제공하도록 설계되었다. 데이터 검색에서는 사용자와 관리자를 위해 데이터의 출처, 분류, 내용을 포함한 카탈로그 기능을 제공하고 있으며, 이를 통해 다양한 분류 기준으로 데이터를 체계적으로 탐색할 수 있다. 특히, 지질과학 분야에서 핵심적인 기능인 데이터 가시화에 있어서는 데이터를 지도 위에 다각적(2D 및 3D)으로 시각화하는 기능을 제공하고 있다. 이러한 기능들은 새로운 연구에서 연구 프로세스를 간소화하고 연구데이터의 실질적 활용을 확대하는 데 기여하고 있다. 사용자는 국토지질, 광물자원, 석유해저, 지질환경 등 다양한 지질자원 분야의 데이터와 보고서, 논문, 논문 데이터에 쉽게 접근할 수 있다. 현재, 이 시스템에서 대국민 웹 서비스로 제공되는 정보화된 지질주제도는 축척별 지질도, 탄전지질도, 해저지질도, 지구물리이상도, 다목적지화학도, 동위원소연대지도, 지체구조도, 한국응력지도, 좋은물지도, 지열자원정보 등으로서 다양한 공간정보 연구에 활용되고 있다. 향후, 지오빅데이터 오픈플랫폼은 국가적 데이터 자산을 바탕으로 데이터 기반의 사회 문제 해결에 기여하고 새로운 가치 창출과 기술 혁신을 이끄는 국내 지질과학 분야의 핵심 플랫폼으로 자리 잡을 수 있도록 지질정보 콘텐츠의 내실화와 확충을 통해 지질정보 서비스의 역할을 지속적으로 키워 나가야 한다.

4.2. 기본지질도 업그레이드

현재 공공서비스로 제공되고 있는 지질정보와 관련하여 시급히 수행되어야 할 주제는 기본지질도의 업그레이드와 획득된 최신 정보를 이용자에게 적시에 제공할 수 있는 프로그램의 구축이다. 국토의 지질정보는 거의 독점적으로 한국지질자원연구원의 지오빅데이터 오픈플랫폼을 통해 대외적으로 제공하고 있다. 하지만, 제공되고 있는 지질정보 중 가장 활용도가 높은 기본지질도(축척 1:5만)의 정보는 전적으로 발간 당시의 자료와 해석에 국한되어 있다. 지질도 발간 이후 수정되거나 새로 획득된 최신의 지질정보를 반영하지 못하고 부정확한 내용을 그대로 서비스하고 있어, 지질 전문가는 물론 일반 이용자들의 주요 불만 사항이 되고 있다.

일제강점기에 발간된 지질도폭의 경우, 지층 분류, 지질 경계, 암석명의 기재 등의 내용이 잘못된 부분이 많으며, 도폭설명서도 대부분 수 페이지에 불과한 일본어 설명서가 전부이거나 영문 요약본만이 수록되어 있다. 따라서 학계 및 관련 업계에서의 활용가치가 타 지질도폭에 비해 현저

하게 떨어지는 문제가 있어, 이에 대한 개정판 발간이 절실하다. 1990년대 이전에 제작된 지질도 중 일부도 인접 지질도 간에 지층 분류와 지질경계가 서로 일치하지 않는 경우가 많아서 이용자 불만의 주된 요인이 되고 있다. 최근엔 암석 절대연령 측정법의 발달로 지층이나 암체의 지질연대가 새롭게 밝혀짐에 따라 기존 층서와 지질계통의 수정이 필요한 경우가 발생하는 등, 기존 지질도의 크고 작은 문제점들이 지적되고 있어 최신의 지질정보에 근거한 지질도의 체계적인 업그레이드가 시급히 요구된다.

지질도의 업그레이드는 많은 시간과 인력이 소요되는 지질조사의 특성상 체계적이고 장기적인 계획을 마련하여 실행되는 것이 필요하다. 재조사 지역을 선정하기 위해서는 기존 지질도폭에 대한 전수조사를 통해 각 지질도폭별로 지질도 및 설명서의 오류나 문제점을 파악하는 것이 우선되어야 한다. 암석의 분류, 암석명, 지질경계, 화성암의 지질연대 등의 정보 수정은 비교적 간단하게 해결이 가능하나, 아직 층서적으로 논란이 많은 지층에 대해서는 장기간의 충분한 조사 없이는 해결이 난망하며 선별적인 재조사가 필요할 것으로 판단된다.

지질조사에서 새롭게 밝혀진 지질정보를 신속하게 반영하여 기존 지질도를 상시적으로 수정하고 갱신할 수 있는 프로그램 개발이 요구되며, 업그레이드된 지질정보를 이용자들에게 적시에 제공할 수 있는 별도의 온라인 시스템 구축도 필요할 것으로 보인다.

4.3. 디지털 지질조사

지질도 작성은 일반적으로 사전조사, 야외조사, 검토, 자료종합, 지질도 작성 등의 과정으로 구성된다. 디지털 지질조사 기술은 야외 현장의 지질조사 작업부터 최종 지질도 제작에 이르는 일련의 과정을 디지털로 처리하는 것으로서 지질조사와 정보생산 기술의 디지털 전환을 실현하는 데 목적이 있다. 이 기술은 보다 발전된 디지털 프로세스를 구현함으로써 다양한 유형의 오류를 방지하고, 정보의 표현과 해석을 용이하게 하여 지질도의 제작과 활용성을 극대화할 수 있다. 기존 아날로그 방식으로 조사된 자료는 2차적인 디지털화 과정을 거쳐야 하므로 오류가 발생할 가능성이 높고 적지 않은 시간과 노력이 필요하다. 그러나 처음부터 디지털로 조사되어 구축된 자료는 목적에 맞추어 곧바로 이용할 수 있는 장점이 있다. 또한 모든 자료를 통합서버에서 관리함으로써 자료의 준비 단계를 쉽게 극복할 수 있으며, 각종 웹서비스, 앱서비스, 출판 등으로 쉽게 응용할 수 있다. 디지털 기반의 지질조사 기술 발전은 단순한 디지털 기록 작업을 넘어 작업 효율성, 데이터의 정밀성과 활용성, 그리고 지질학적 해석의 신뢰도를 높일 수 있으며, 조사원시자료의 효율적 관리, 지질구조 해석, 3D 지질모델링

등, 다양한 분야에서 새로운 가치를 창출할 수 있을 것으로 기대된다. 이 기술은 디지털 지질조사 시스템, 지질 표준, 공간 데이터베이스 기반의 지질도 구축 등의 기술을 포함하는 통합적 접근방식이 필요할 것으로 보인다.

현재 유럽과 북미 등 선진국에서는 지질조사 기술의 디지털 전환이 필수적인 과정으로 인식되고 있으며, 국제공동 지질조사 협력 프로그램에서도 디지털 지질조사 기술이 주요 논의 주제로 다루어지고 있다. 디지털 지질조사 시스템은 각국에서 다양한 형태로 개발되어 활용되고 있다. 영국의 경우, 영국지질조사소가 선도적으로 시스템을 개발해 사용 중이며, 중국 역시, 자체 시스템을 구축했다. 반면, 미국은 아직 범용 GIS 도구를 활용하는 시범 단계에 머물러 있는 것으로 알려져 있다. 상용 시스템으로는 Move사가 개발한 FieldMove가 대표적이며, 스마트 기기에서도 사용할 수 있도록 설계되어 있어 현재 가장 널리 사용되고 있다 (Bubniak *et al.*, 2020).

지질 표준은 디지털 조사 기술의 필수 요소이자 지질정보를 통합적으로 관리하는 데 중요한 기반이 되며, 지질정보를 보다 더 잘 이해하고 활용하는 데 도움을 준다. 지질 표준은 미국의 FGDC (Federal Geographic Data Committee) Geologic Map Symbol Standard가 대표적 사례로 꼽히는 데, 이 표준은 지질도 표현에 필요한 심벌(symbol)과 색상 유형을 포괄하고 있으며, GIS 소프트웨어에서 바로 활용할 수 있도록 관련 심벌을 구현해 배포하고 있다. 영국지질조사소 역시, 다양한 지질 표준 문서를 공개하고 있으며, 지질도 제작을 위한 도식 표준(Mawer, 2002)과 Lexicon (British Geological Survey, 2006) 등을 제공하고 있다.

디지털 지질도의 갱신과 효율적 관리를 위해서는 공간 데이터베이스 모델을 활용한 지질도 구축이 중요해지고 있다. 공간 데이터베이스 모델은 현실 세계의 대상을 추상화하여 정보 세계에서 구현하기 위해 피처와 그 관계를 정의하는 방식으로 작동한다. 디지털 지질조사 기술은 오프라인 환경에서의 GIS 기술 활용, 지질학적 표현 기술 등 다양한 기술의 융합이 필요하다. 대부분의 모바일 GIS 기술은 온라인 환경을 고려하여 발전해 왔다. 하지만 지질조사는 야외에서 진행되기 때문에 오프라인 환경에서도 원활하게 이용할 수 있는 시스템이 요구된다.

1990년대부터 국회의 선진 지질 관련 기관들은 디지털 전환을 통한 야외조사 작업의 혁신을 위해 디지털 야외지질조사 시스템 개발에 힘써 왔다. 하지만, 일부 디지털 기술의 장벽으로 인해 완벽한 기능을 가진 시스템의 개발은 더디게 진행되었다. 현재 각국에서 개발하여 사용되고 있는 디지털 야외지질조사 시스템은 각국의 상황에 맞게 개발되어 전 세계적으로 광범위하게 통용되는 모델로 자리 잡는 데는 아직 한계가 있다. 영국지질조사소에서 자체 개발한

SIGMA mobile은 Window 프로그램 기반의 상용 GIS 소프트웨어를 이용한 플러그인 형태의 소프트웨어로서 이를 활용하기 위해서는 많은 사전학습이 필요하고 하드웨어의 휴대성이 떨어지는 단점이 있다. 이외에 스마트 기기에서 활용할 수 있는 소프트웨어들이 개발되어 있으나 대부분 구조측정을 위한 단순 도구 형태이고 시스템의 활용성 측면에서 불편함이 적지 않다.

한국지질자원연구원은 국제 추세에 맞추어 야외지질조사 과정에 요구되는 다양한 디지털 기능들을 탑재한 디지털 야외지질조사 시스템 'KMapper'를 자체 개발하여 보급하고 있다(Yeon, 2021). KMapper는 야외지질조사에서 필요한 디지털 기술들을 스마트 기기에 구현한 야외지질조사 도구로서 안드로이드 모바일 환경에서 작동하도록 설계되었다. 다양한 GIS 기능을 이용하여 야외지질 자료를 수집하고, 수집한 자료는 PC 환경에서 동일하게 보여줄 수 있도록 개발되었다. 통신환경이 불가능한 오프라인 상황에서 디지털 지도를 이용하여 조사자료를 입력할 수 있고 스마트폰 센서를 통해 다양한 계측을 할 수 있으며, 이와 더불어 스마트 기기에서 최적화된 지도편집 기능들도 구현되어 있다. 지질노두의 위치, 사진촬영, 지질구조 계측, 시료 데이터 수집, 메모 입력을 위한 메뉴가 있으며, 터치 기반 환경에서 노두 스케치를 위해 자유롭게 점, 선, 면 등의 기하요소들을 편집할 수 있는 기능이 포함되었다. 또한 디지털 지질조사 결과를 기반으로 지질도 DB를 구축하기 위한 지질 표준과 지질도를 GIS 시스템에서 효과적으로 표현하기 위한 각종 지질 심벌들도 개발하여 함께 구현해 놓았다. KMapper 활용의 저변 확대를 위해 매뉴얼을 제작 배포하고 효과적인 활용 능력 배양을 위한 교육 프로그램을 개발하여 이용자들에게 학습 기회를 제공하고 있어, 향후 지질조사자의 디지털 야외조사 역량을 높이고 야외 지질정보의 디지털 전환을 실현하는데 기여할 것으로 기대된다. 현재, KMapper는 기능적이나 활용적 측면에서 비교적 선도적 위치에 있는 것으로 평가되지만, 이 시스템의 기능과 전문성을 보다 고도화하기 위해서는 개발자와 이용자 간의 긴밀한 소통과 지속적인 피드백과 업그레이드가 필요하다.

4.4. 3D 지질도 및 지질모델링

지하의 지질 현상이나 지질구조를 보다 쉽게 이해하기 위해서는 입체적으로 작성된 3D 지질도가 보다 유용하다. 하지만, 지질구조의 입체적인 표현 기술이나 컴퓨터의 처리 성능 등의 문제로 3D 지질도 제작에 어려움이 있다. 최근 컴퓨터 하드웨어와 3D 컴퓨터 그래픽 기술, 영상 처리 기술, 가상현실 기술, GIS 기술 등 소프트웨어의 발전으로 과거에는 불가능했던 3차원적인 표현 작업이 가능하게 되었고, 이러한 기술들을 활용하는 분야가 점점 늘어나고 있다.

3D 지질도는 지질연구뿐만 아니라 자원탐사 개발, 토목설계, 지하공간 분석, 지하수 모델링, 자연재해, 지질환경 분야에서 그 수요가 급증하고 있으며, 지형, 시설물, 위성영상 정보와 같은 3D 지상정보와 연계된 통합적인 활용도 크게 증가되고 있다. 프랑스, 영국, 호주 등에서는 2D 지질도에 표시된 지질경계, 단층, 층리, 엽리, DEM 등을 이용하여 3D 지질도를 구현하는 방법을 연구하고 있으며, 3D 지질 정보를 관리할 수 있는 데이터베이스 모델을 개발하고 있다.

3D 지질모델링은 지질학 분야에서 융합해석 기반의 기술로서 자원개발과 관련되어 매우 많은 발전을 해왔다. 특히, 심부 부존광체의 정밀 탐광기술 개발에 있어서 가장 필요한 기술로서, 잠재적인 광상 예측에 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 3D 지질모델링의 주된 목적은 지하 심부의 복잡한 지질, 지질구조, 광화대 등을 이해하고, 이를 바탕으로 심부 광체를 찾는 것이다. 심부를 직관적으로 표현할 수 있는 3D 지질모델링을 구현하기 위해서는 기본적으로 각종 지질정보를 포함하고 있는 지질도와 시추자료가 필요하며, 목적에 따라 중력, 지열, 탄성파 등의 지구물리 정보가 함께 활용된다. 이로부터 광상성인과 관련된 탐사 인자 추출과 이의 가치치 부여를 통해 잠재 광상을 예측하게 된다.

3D 지질모델링과 구축된 3D 지질모델을 이용한 각종 분석은 컴퓨터시스템에서 소프트웨어로 구현되어 활용되고 있다. 3D 지질모델링에 사용되는 소프트웨어는 주로 Geocom의 GEMS, Surpac, Maptek의 Vulcan, Mintec의 Minesight, Datamine, Lynx, Micromine 등이다. 한편 3D 지질모델링을 이용한 융합기술은 “Common Earth Model (CEM; Garrett *et al.*, 1997)”이란 개념으로 제안된 기술로서 서로 다른 지구과학 자료로부터 획득된 모델들로부터 단일하게 추론된 하나의 지하 모델(Earth Model)을 의미하며, CEM 기반하에서는 지질학, 지구물리학, 지구화학 등과 같이 서로 다른 지구과학 정보들이 서로 정량적인 일관성을 가지고 하나의 지질모델을 공유하게 된다는 개념이다 (Perron, 2007).

CEM의 개념을 충실히 구현하기 위해서는 단일 3차원 지질모델에 기반한 전체적인 해석 시스템의 설계 및 이와 유기적으로 연결된 모듈들의 개발이 필요하다. 하나의 동일한 프레임워크로 사용되는 3차원 CEM을 구현하는 3차원 지질모델링이 그중에서 가장 중요하게 요구되는 요소라 할 수 있으며, 또한 CEM에 대한 타당성을 검증할 수 있도록 이 모델에 대한 정확한 자료를 분석할 수 있는 지구과학적 모델링 및 역산 알고리즘이 필수적이다. 이를 위하여 CEM에 대한 반응 분석 및 이를 바탕으로 CEM 유지 보수 등의 의사소통이 가능하게 하는 인터페이스, 각종 자료 및 결과를 도시할 수 있는 맵핑 소프트웨어 기술도 필수적이

라 할 수 있다. 위와 같은 CEM 개념의 구현을 위해 필요한 요소를 포함하는 소프트웨어는 현재까지 대표적으로 ParadigmTM의 GOCAD[®], Intrepid Geophysics사의 3D GeoModeller, Geosoft사의 Oasis montaj 등이 나와 있다.

GOCAD[®]는 현재 3차원 지질모델링 소프트웨어의 대표적인 소프트웨어로 CEM 개념의 태동 및 기능의 구현에 있어 가장 앞서 있는 소프트웨어로 평가받고 있다. 많은 산업체 및 대학, 연구소에서 지구과학 자료의 융합해석은 GOCAD를 기반으로 하는 CEM 개념에 근거하여 이루어지고 있다. 현재 GOCAD 컨소시엄에 참여하고 있는 기관은 BHP Billiton, Chevron, Exxon-Mobil 등의 22개 회사와 영국지질조사소, 호주의 CSIRO, 뉴질랜드의 GNS 등 101개 대학과 연구기관이 참여하고 있다. 3D GeoModeller는 GOCAD와 함께 현재 3차원 지질모델링 분야에서 가장 대표적인 플랫폼으로 평가받고 있다. 이 소프트웨어는 프랑스의 BRGM 사 개발을 시작하고 호주의 Intrepid Geophysics사에 의해 2005년에 상업화되었다. 현재는 암석학적 제한조건을 이용한 중력 및 자력 자료 역산, 지질도 생성 툴 등을 포함하고 있다. 자체에 중력 및 자력탐사에 관한 모델링이나 역산 해석 도구가 제공된다. 캐나다 Geosoft사의 Oasis montaj는 지구공간적 통합적인 자료관리 및 자료의 가시화, 지구물리 및 지구화학적 자료의 처리, 맵핑 등의 기능을 갖춘 소프트웨어로, 광물자원개발, 석유가스 개발, 지질환경 문제 등의 분야에서 활발하게 사용되고 있다. 이 소프트웨어는 현재 GIS 분야에서 널리 쓰이고 있는 ArcGIS에서 통합될 수 있도록 플러그인 형태로 제공되기도 하며, 또한 여타 모델링 혹은 역산 알고리즘과의 인터페이스를 제공하고 있다.

국내에서의 3D 지질모델링은 아직 초보적인 단계에 머물러 있으며, 일부 광업회사와 자원개발 서비스 기업에서 광산 규모의 3D 지질모델을 제작하고 이를 기반으로 광체 설계와 시뮬레이션을 하고 있다. 광역 규모의 3D 지질모델 제작은 한국지질자원연구원이 2014년 남부태백산 광화대를 대상으로 GOCAD 프로그램을 이용하여 3D 지질모델을 구축한 것이 처음이자 유일하다(Cho *et al.*, 2014). 광역 규모의 3D 지질모델은 가용한 지질자료가 충분치 않고 시추자료도 편재성이 심하여 그 활용성이 매우 제한적이어서 효과적인 결과를 내기가 어려웠다.

5. 토 의

지질도폭 자료의 정보화는 국토의 개발 및 보존과 관련된 다양한 분야에서 지질정보의 활용을 촉진시키는 중요한 역할을 한다. 데이터의 디지털 전환은 단순한 기술 혁신을 넘어 사회·경제 전반에 걸쳐 영향을 미치는 중요한 흐름이

다. 지질정보 분야에서도 이러한 변화를 반영하여 지질도 데이터를 디지털화하고, 이를 활용한 연구와 정보공유가 점차 가속화되고 있다. 따라서 사용자들이 빅데이터화된 지질정보를 쉽게 활용할 수 있는 정보시스템 개발이 필수적이며, 국가적 차원에서 잘 정비된 관련법과 제도 하에서 지질정보를 종합적으로 관리하고 공급할 수 있는 체계가 구축되어야 한다. 또한 다양한 국가·사회적 현안 해결에 제 공할 수 있도록 데이터 관리와 활용 촉진을 위한 방안이 마련되고, 궁극적으로는 지질과학 연구데이터의 사회·경제적 가치와 효용성을 높여서 데이터 중심의 융·복합 협력연구 환경이 조성되도록 이끌어야 한다.

최근 기술 및 장비의 발달로 연구데이터의 종류와 양이 급격히 증가하고 정보의 활용이 인터넷 웹과 스마트폰 등, 모바일 기기를 통해 이루어지고 있으므로 유용한 기능을 사용자의 입장에서 지속적으로 개발하는 것이 필요하다. 누구나 쉽게 접근해서 정보를 공유하고 활용할 수 있도록 데이터를 개방하는 오픈액세스 전략을 추진함으로써 지질 정보의 활용도를 극대화할 수 있을 것이다. 이러한 디지털 화 과정은 단순히 기존 데이터를 변환하는 것에서 벗어나, 새로운 가치 창출과 연구 혁신을 이끄는 중요한 요소로 작용할 수 있다. 국내에서도 지질정보의 디지털화를 더욱 심 화하고, 이를 활용한 연구 및 산업적 응용을 확대하는 노력 이 계속될 필요가 있다.

지질정보 데이터화 측면에서 시급하게 진행되어야 할 부분은 새로운 지질정보를 반영한 기존 지질도의 업그레이 드이며, 지질도의 수정 갱신, 그리고 그 결과를 적시에 이용 자들에게 제공할 수 있는 프로그램의 개발이 필요하다. 이 것은 지질정보 사용자의 신뢰성 확보를 위해 반드시 필요 한 과제이기도 하다. 이와 더불어 지질조사와 정보생산 기 술의 디지털 전환의 일환으로 고도화된 디지털 지질조사 시스템의 개발과 보급이 필요하며, 융합해석 기반의 기술 로서 지하 심부의 지질을 이해하기 위해 가장 필요한 3D 지질도 및 지질모델링 기술의 발전이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 기본과제인 ‘국가지질 도·지질주제도 디지털전환(DX)과 기반암 내 유망·유해원 소 연구(1)(GP2025-020)’의 지원으로 수행되었다.

REFERENCES

British Geological Survey, 2006, The British Geological Survey

- Lexicon of Named Rock Units. www.bgs.ac.uk/lexicon/lexicon_intro.html.
- Bubniak, I.M., Bubniak, A.M. and Gavrilenko, O.D., 2020, Digital field geology. In: Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. Vol. 2020, 1-4. European Association of Geoscientists & Engineers.
- Chi, K.-H., Han, J.-G., Yeon, Y.-K., Hwang, J.-H., Hong, Y.K., Kil, Y., Lee, C.-W., Kim, Y.K., Shin, H.-J., Kwon, S.-K., Choi, H. and Park, S.-W., 2008, Standardization of Geological Information for the Intercommunity and Distribution. NP2007-014-2008, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 373 p (in Korean with English abstract).
- Cho, S.-J., Kang, I.-M., Kim, K.E., Kihm, Y.H., Kim, I.J., Park, G., Park, Y.S., Son, J.S., Yeon, Y.-K., Oh, H.-J., Cho, Y.D., Jin, K., Han, J.-G. and Hyun, H.J., 2014, Multiscale 3D geological modeling of main mineralized belt in Korea. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, GP2013-014-2014, 245 p.
- Garrett, S., Griesbach, S., Johnson, D., Jones, D., Lo, M., Orr, W. and Sword, C., 1997, Earth model synthesis. First Break, 15, 13-20.
- Han, J.-G. and Yeon, Y.-K., 2014, Development of multi-platform GEOscience information system (MGEO) based on responsive web. Journal of the Geological Society of Korea, 50, 551-564 (in Korean with English abstract).
- Hwang, J.H., Choi, P.-Y., Kim, B.C., Kee, W.-S. and Song, K.Y., 2000, Geological Report and Map of the Muan Sheet (Scale 1:25,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 58 p.
- Kee, W.-S., Kim, S.W., Kim, H., Hong, P., Kwon, C.W., Lee, H.-J., Cho, D.-L., Koh, H.J., Song, K.-Y., Byun, U.H., Jang, Y., Lee, B.C. and Lee, S.H., 2019, Geological Map of Korea (Scale 1:1,000,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
- Kim, J.C., Koh, H.J., Lee, S.R., Lee, C.B., Choi, S.-J. and Park, K.H., 2001, Explanatory note of the Gangneung-Sokcho Sheet (1:250,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 76 p.
- Kim, S.W., Park, S.-I., Kee, W.-S. and Kim, B.C., 2015, Geological Report of the Goheung Sheet (Scale 1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 54 p.
- Lee, S.H., Ko, K., Koh, H.J., Kim, M.K., Kim, S.W., Kihm, Y.H., Kim, I., Park, J.-Y., Byun, U.H., Song, K.-Y., Lee, B.Y. and Jin, K., 2024, Geological Report of the Seoul Sheet (Scale 1:100,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 83 p.
- Mawer, C.H., 2002, Cartographic standard geological symbol index. Version 3. British Geological Survey Research Report, RR/01/01, 49 p.
- Perron, G., 2007, Software workflows for 3D quantitative data integration. Exploration in the new millennium, 1, 537-542.
- Yeon, Y.-K., 2021, KMapper: A Field Geological Survey System. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10, 405, <https://doi.org/10.3390/ijgi10060405>.