

## 지질정보 및 광물자원 분야 국외 중장기 연구개발 주제 및 시장정보 분석

안은영\*

한국지질자원연구원 연구정책실

### Analysis of Abroad Mid- to Long-Term R&D Themes and Market Information in the Geological Information and Mineral Resources Fields

Eun-Young Ahn\*

Policy Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 34132, Korea

(Received: 26 August 2019 / Revised: 26 September 2019 / Accepted: 10 October 2019)

Due to the transformation to the intelligent information society, the rapid change of our life and environment is expected. The Ministry of Science and ICT (MSIT) and the National Research Council of Science and Technology (NST) introduced a five-year government supported research institution's planning and evaluation based on the mid- to long-term perspective. This study collects international benchmarking information including industry, academia, and research fields by collecting mid- and long-term strategy reports from public research institutes, surveys by experts from abroad universities and research institutes, and analyzing overseas market information reports. The British Geological Survey (BGS), the U.S. Geological Survey (USGS) and the Japanese geological survey related institutes (AIST-GSJ) plans for three-dimensional national geological information, predictions of geological environmental disasters, and development of important metals and material in the low carbon economic transformation and in the era of the Fourth Industrial Revolution. The mid- and long-term program emphasizes basic and public research on geological information through abroad experts survey such as the IPGP-CNRS etc. The market analysis of the mining automation and digital map sectors has been able to derive the fields in which the role of public research institutes by the market is expected such as data collection on land and in the air, mobile or three-dimensional information production, smooth/fast/real-time maps, custom map design, mapping support to various platforms, geological environmental risk assessment and disaster management information and maps.

**Key words** : mid-long term plan, benchmarking, emerging technology, research and development (R&D)

지능정보사회 전환에 따라 급격한 삶의 모습과 환경 변화가 예상되고 있으며, 과학기술부와 국가과학기술연구회는 기존의 3년 단위의 과학기술계 출연연구원의 기관평가를 중장기 관점으로 5년 단위의 기관 사업계획과 평가를 도입하였다. 따라서 지질자원 분야에 대해서도 공공적 관점으로 중장기 연구개발 주제 도출이 시급하다. 본 연구는 국외 지질자원 관련 공공 연구기관의 중장기 전략 수집, 국외 대학 및 연구기관의 전문가 서면 조사, 국외 시장정보 보고서 분석을 통해 산·학·연 분야를 두루 포함한 국외 벤치마킹 정보를 수집한다. 영국지질조사소, 일본산업기술종합연구소, 미국지질조사소는 중장기 계획에서 3차원 국가 지질정보, 화산/지진/토양 침식/산사태 등 지질환경재해 예측, 저탄소 경제 전환 및 4차 산업혁명 시대에 중요한 금속/소재 광물자원 개발 등을 제시했다. 프랑스 IPGP-CNRS와 핀란드 지질조사소 등의 국외 연구소 및 대학의 전문가 조사를 통해서 중장기계획으로 지질정보에 대한 기초·기반연구를 강조하고 있으며, 세부 연구 주제로 지구 핵에서부터 표면까지 지구/지진의 변형 과정 연구, 최신 지질 정보 생산을 살펴볼 수 있었다. 광업자동화 및 디지털 지도 분야 시장 분석으로 시장에서 요구하는 공공연구기관의 역할이 기대되

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

\*Corresponding author: [eyahn@kigam.re.kr](mailto:eyahn@kigam.re.kr)

는 분야를 도출할 수 있었다. 육상·공중에서 데이터 수집 및 모바일/3차원 정보 제작, 자연스럽게 빠르며 실시간의 지도 제공, 주문제작 지도 설계, 여러 플랫폼에 적용가능한 지도 제작 지원, 지질환경해체 위험평가/재난관리 정보 및 지도 제공에 대한 지질자원 분야의 중장기적인 연구개발이 요구된다.

**주요어** : 중장기 계획, 벤치마킹, 미래 유망기술, 연구개발(R&D)

## 1. 서 론

Interagency association(2016)의 제4차 산업혁명에 대응한 지능정보사회 중장기 종합대책에서는 산업 구조, 고용 구조의 변화와 함께 가정기기의 로봇화, 질병 진단·치료 정확도 향상, 언어장벽 해소, 보안·교통 향상, 맞춤형 교육 등에 따라 급격한 삶의 모습과 환경 변화를 제시하였다. 4차 산업혁명에 대한 지질자원 연구분야의 선제적 대응 및 미래사회 지질자원 분야 역할 재조명을 위해, 지질자원 분야 출연연구소인 한국 지질자원연구원 KIGAM(2017)은 2050년 대비 장기발전 전략을 세운 바 있다. KIGAM(2017)은 미래사회 변화흐름 및 해결해야 할 주제에 따라 1) 4차 산업혁명, 2) 우주·지구, 3) 에너지, 4) 광물자원·재료, 5) 기후환경, 6) 지질환경, 7) 삶의 터전을 지질자원 미래 기술과 관련한 중심 주제로 제시하였다. KIGAM(2017)은 2050년 미래상 및 지질자원기술의 위치·역할에 따라, 지능정보·신소재기술, 생체·생물기술 적용을 기반으로 하는 지질자원 중장기 연구개발 주제 도출이 필요함을 제시하였다.

과학기술부와 국가과학기술연구회는 2018년 과학기술계 출연연구기관의 역할과 책임(Role & Responsibility, R&R) 강화를 위해 연구기관의 상위역할 및 주요역할 정립, 2028년까지의 중장기 목표를 제시하게 하였다. 또한 기존의 3년 단위의 과학기술계 출연연구원의 기관평가를 MSIT(2018)에 따라 중장기 관점으로 5년 단위의 기관 사업계획과 평가를 도입하였다. 따라서 지질자원 분야에 대해서도 공공적 관점으로 중장기 연구개발 주제 도출이 시급하다. 본 연구에서는 국외 지질자원 관련 공공 연구기관의 중장기 전략 수집 및 국외 전문가 서면 조사, 국외 시장분석 보고서를 활용하여 세계 지질 정보 및 광물자원 분야 중장기 미래 기술을 살펴 본다.

## 2. 연구 배경 및 연구 방법

### 2.1. 정부의 과학기술 연구사업 평가 주기 확대 정책 및 연구사업 계획

2018년 10월 확정된 MSIT(2018)의 2019년 국가연

구개발 성과평가 실시계획에서는 과학기술계 출연연구원의 기관장 임기와 무관하게 5년 주기로 기관의 연구 사업계획서를 작성하고 이에 대한 성과평가를 실시한다. 기관운영에 대해서는 기관장의 임기와 연동하여 기관운영계획서를 작성하고 평가를 실시한다. 또한 연구 사업계획 종합평가 시 연구결과의 영향력을 평가하기 위해서 관련 정보를 담은 보고서를 제출해야 한다. 해당 보고서에는 기관의 축적된 역량 및 대국민 설명, 책임성 향상을 평가할 수 있는 기반 자료로 평가주기의 2배 기간 동안에 창출한 성과를 포함하여 대표적 연구성과의 과학적·경제적·사회적 기여도 등을 조사·분석하여 제시해야 한다.

MSIT(2018)는 중장기적 관점에서 도전적, 세계 최고를 지향하는 과학기술계 출연연구원의 목표를 설정하고 연구성과의 질적 우수성과 효과를 우선 고려하기 위해 성과지표를 폐지하고 정성적 평가만을 실시한다. 과학기술부와 국가과학기술연구회는 과학기술계 출연연구원의 연구목표 설정 근거로, 제시한 목표달성 시 세계적 선도 기관으로 자리매김 가능한 수준, 예산/인력/시설장비를 한계까지 활용할 경우 달성 가능한 수준, 기존의 관행/추세/국민의 기대를 뛰어넘는 새로운 성과 수준으로 제시할 것을 주문하였다. 그리고 평가 항목으로 목표의 도전성, 과정의 적절성, 성과의 우수성, 결과의 영향력으로 전문가 정성평가 만으로 평가하며, 성과지표의 달성도 정량평가를 실시하지 않는다.

KIGAM(2017)은 2050년 장기발전전략에서 지질자원 미래 기술과 관련한 첫 번째 중심 주제인 4차 산업혁명에서 지능정보기술(IT) 진화와 신소재·생물기반 기술(NT, BT) 발전을 제시하였으며, 에너지 주제에 대해서는 에너지 수요 증가와 신재생에너지 등 에너지 공급·사용 변화를 제시하였다. 광물자원·재료 주제에 대해서는 천연자원의 지속적 이용과 천연자원을 대체하는 원료 개발, 재생자원의 공급·사용률 증가를 제시한 바 있다.

국가과학기술연구회에서는 2018년 출연연구원들의 역할과 책임(Role & Responsibility, R&R)을 재정립을 추진하였으며 이는 NST(2019b)로 발간되었다. 한국지질자원연구원에서는 다음과 같은 4개의 상위역할을 설정하고, 기관의 연구사업계획(2019-2024)을 추진하고 있다.

상위역할 1. 국민안전과 국민생활문제 해결 국토지질 공공기술/정보 제공

주요역할 1-1. 국토 균형개발·안보 및 재해대응을 위한 맞춤형 국토지질정보 제공

주요역할 1-2. 지진·활성단층 추적·대응 기술 개발  
상위역할 2. 국가 자원산업 견인 광물자원 확보 및 활용·순환 기술 개발

주요역할 2-1. 4차 산업혁명 수요 전략광물자원 확보 기술개발

주요역할 2-2. 통일한국 대비 북방자원개발 추진 연구개발/자원전략 기능 강화

상위역할 3. 국가 미래 에너지안보 대응 석유/가스자원 확보 원천기술 개발

주요역할 3-1. 비전통 석유·가스자원 확보를 위한 원천기술 개발

주요역할 3-2. 에너지자원 탐사 인프라 구축 및 운영기술 개발

상위역할 4. 지속가능사회 구현과 국민 삶의 질 향상 도모 지구환경변화 대응기술 개발

주요역할 4-1. CO2 처분 및 심부 지하공간 활용 지구환경변화 대응기술 개발

주요역할 4-2. 지하수·지질환경 보전 및 통합관리 기술 개발

NST(2019a)가 제시한 과학기술 출연연구원의 핵심 역할과 존재 이유는 1) 과학적 모험정신(과학기술 고유의 가치를 추구하는 출연연), 2) 사람 중심(인간, 인류, 사회 그리고 국민을 위한 출연연), 3) 미래 개척(4차 산업혁명시대를 선도하는 출연연), 4) 한반도 평화(평화와 통일에 기여하는 출연연), 5) 균형 발전(국토 균형발전과 지역경제에 기여하는 출연연)이다. NST(2019a)는 출연연 핵심 역할 분야로 국민 생활 및 안전을 제일 먼저 제시하고 있으며 자연재해 분야는 한국지질자원연구원이 중점대응기관으로 제시하였다. 두 번째로 D. N. A. 원천기술로 빅데이터, 차세대 통신, 인공지능 분야가 제시되었다. 과학기술 인프라/서비스는 출연연의 세 번째 핵심 역할 분야로 한국지질자원연구원의 에너지자원 탐사 인프라, 지질정보 구축 및 서비스가 해당된다. 지속가능사회 구현 기술로 한국과학기술연구원(KIST)의 대기/수질 환경 및 수소·탄소순환 기술, 한국지질자원연구원의 지구환경변화 대응, 지하수·지질환경 관리 및 자원확보 원천 기술 등을 제시하였다. 다음으로 거대과학/사회기반 기술, 지역발전 특화 기술, 남북 과학기술교류협력, 미래산업 핵심기술을 제시하였

다. 남북 과학기술교류협력 핵심 역할 분야에는 한국생명공학연구원(KRIBB)의 한반도 천연물 자원 연구개발, 한국철도기술연구원(KRRI)의 남북 및 대륙철도 기술개발, 한국지질자원연구원의 북방자원개발 추진을 위한 연구개발/자원전략 기능 강화, 한국건설기술연구원(KICT)의 북방 인프라 개선 및 재건, 한반도 SOC 구축 지원센터 운영 등이 제시되었다.

## 2.2. 연구방법

Yoon *et al.* (2004)에 따르면 1980년대 이후 각국의 민간 기업에서 벤치마킹을 생산성 향상을 위한 도구로 사용해 왔으며 1990년대 이후에는 공공 부문에서도 활용이 급속히 늘어났다. 최근에도 Bae and Park (2019)과 같이 벤치마킹 기법은 연구 분야에서도 활발히 쓰이고 있다. 본 연구에서는 국외 벤치마킹을 활용하여 국외 지질자원 관련 공공 연구기관의 중장기 전략 보고서를 분석하고, 최신의 자료 수집을 위해 국외 전문가를 활용하여 국외 지질자원 관련 대학 및 연구기관의 중장기 연구개발 주제를 수집한다. 또한 산업계의 정보는 해당 기업을 직접 접촉하거나 인터뷰하기에 어려움이 있으며, 개별 기업의 공개된 정보 수집에는 한계가 있으므로 국외 전문기관의 시장정보 보고서를 분석한다. 이러한 방법은 산·학·연 분야를 포함한 국외 벤치마킹을 위한 정보 분석으로 세계 지질정보 및 광물자원 분야 미래 시장의 기술 수요를 구체화할 수 있다.

본 연구에서는 먼저 지질자원 분야 출연연구원의 역할과 책임(R&R) 재정립을 바탕으로 기술개발 환경에 영향을 미칠 수 있는 이슈 및 국내의 주요 기술적 이슈를 정리하고 중장기 연구전략에 영향을 미칠 수 있는 내용을 정리하였다. 그리고 국외의 지질자원 분야 공공 연구기관인 영국지질조사소, 일본지질조사소, 미국지질조사소, 등의 중장기 연구개발 전략보고서를 분석하였다.

최신의 자료 수집을 위해 국외 전문가 설문 조사를 실시하여, 국외 연구기관의 주요 연구개발 주제를 수집하였다. 한국지질자원연구원 내부 연구자를 대상으로 연구분야별 국외 전문가 리스트를 조사하고 분야별 기술 이슈를 반영한 설문조사 항목을 설계하였다. 국외 전문가 설문조사를 진행하여 종합적으로 분석하였다. 국외전문가 설문조사는 2018년 12월 13일~2019년 2월 18일까지 이메일로 시행하였다. 설문조사의 내용은 기술별 주요 국외연구자를 대상으로 해당 기관의 주요 연구 주제, 주요 연구 추진 내용, 중장기 연구 전략, 연구분야 중장기 마일스톤(목표연도)이었다.

공공 연구기관의 연구개발 결과는 공공 뿐 아니라 민간에도 영향을 미치게 되므로 국의 전문기관의 시장 보고서를 분석하여 민간의 영향력을 고려한 연구개발 수요를 제시한다. 본 연구에서는 2024년까지 예측한 Markets and Markets(2019)의 디지털 지도에 대한 세계 시장 보고서와 2025년까지 예측한 Accelerate Market Research(2018)의 세계 광업 자동화 시장 보고서 등을 분석하였다.

### 3. 지질정보 및 광물자원 분야 연구개발 주제 분석

#### 3.1. 국외 지질자원 연구기관 중장기 연구전략 문헌 분석

BGS(2019)는 2019-2023년 지구로 가는 관문(Gateway to the Earth)의 새로운 과학 전략으로 1) 탈탄소와 자원 관리, 2) 환경 변화와 적응/탄력성, 3) 다중 위험과 탄력성을 제시하며, 세 가지 모든 과제를 뒷받침하는 것은 BGS의 디지털 혁신이라고 하였다. 새로운 BGS 운영 체제 및 사이버 인프라 구축 기술을 통해 세계 지구과학 클라우드와 연계하는 통합정보 제공 및 예측의 혁명적 변화로, 고객 및 이해 관계자에게 기존과 다른 새로운 방법으로 데이터를 전달하여 사용자 경험을 향상시킨다. 저탄소 세계를 위한 지구 자원(Earth resources)에서도 1) 탄화수소 시스템: 기존 및 비전통적 육상/해양 탄화수소 시스템에 대한 지질도 제작, 2) 중요 금속: 저탄소 경제 전환에 중요한 금속/재료의 기원, 운송 및 집적에 대한 이해, 3) 원자재: 저

탄소 경제의 지속적 자원 공급을 위한 전세계 광물 생산, 무역 흐름 및 광물 통계/모니터링을 제시하였다.

이전의 과학 전략인 BGS(2014)는 2023년까지 3차원(3D) 국가 지질모델을 완성하여 지하수, 방사성 폐기물 처리 및 세일 가스에 대한 특성 연구를 추진을 제시하였다. GB3D로 명칭한 3차원 국가 지질 모델은 3km의 깊이까지 지질도의 깊이를 확장하여 단면을 보여주는 형태로 구상된다. 지진과 관련된 민간부문, 학계 연구자들과 지진 네트워크를 구축하며, 대중과 미디어에게 지진 관련 정보 및 데이터를 제공한다. 토양의 침식 및 산사태 등 기후 및 토지 피복의 변화에 따른 한계 민감도를 평가하는 수치모델을 개발하여 위험 피해를 예측하는데 기여한다.

일본지질조사소를 포함한 산업기술종합연구소 AIST(2016)의 2030년 연구 전략에서 산업기술종합연구소는 거대 지진 및 화산 폭발의 정확한 예측, 재난 발생 시 피해 저감 및 조기 복구 기술을 개발한다(Fig. 1). 지질도·지구과학도의 준비를 국가사업으로 수행하고 인공위성 정보를 활용한 국토의 시각화를 추진한다. 지구 온난화 등 대규모 환경 변화에 대응하고 식량 및 수자원을 안정적으로 공급하기 위한 소재, 저장, 관리, 수송의 시스템 기술을 개발한다.

일본 방재과학연구소 NIED(2016)는 2023년까지 중장기 목표로 위험 평가의 기초 정보로 상세한 지형 모델 구조물과 사회 기반 데이터베이스 구축을 추진하여 지하 구조 등의 지반 정보와 활성단층 정보를 제공한다. 과거 리스크 평가 기법을 개선하고 과거의 사례를 집약하여 미래의 위험을 예측하는 것을 목표로 자연재

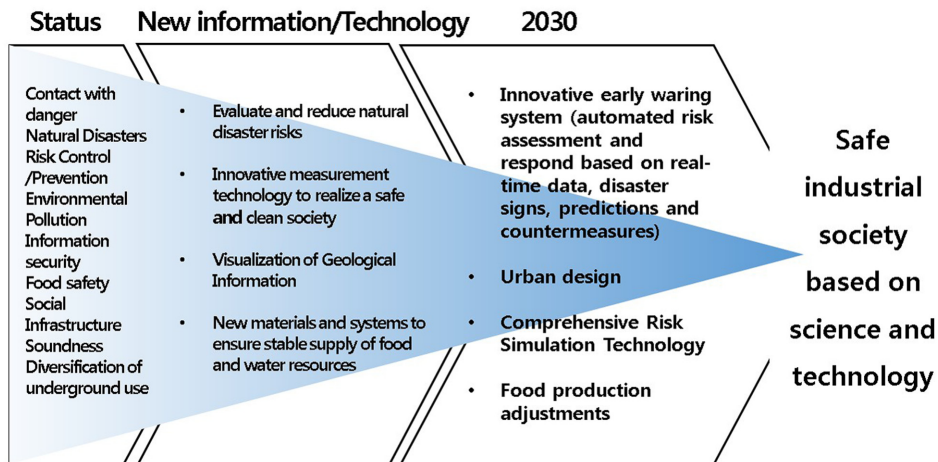


Fig. 1. AIST-GSJ Research Strategy for 2030 (AIST, 2016).

**Table 1.** USGS's Key Performance Indicators for informing land use planning with mapping and land imaging (U.S. Department of the Interior, 2018)

| USGS'Key Performance Indicators  | 2022 Goal |
|--|-----------|
| Percent of land-area coverage available to the public over the internet through the National Geologic Mapping Database | 55.5%     |
| Percent of foundational topographic information services updated quarterly to support on-demand mapping                | 100%      |
| Percent completion of research efforts related to land resource management   | 100%      |
| Number of terabytes of remotely-sensed data managed  | 20,140    |
| Percent increase of scientific research enhanced with Advanced Research Computation                                    | 100%      |

해 사례 지도의 고도화를 추진한다. NIED(2016)는 지구 내부에서 발생하는 중성미자를 이용한 지구 내부 탐사를 비롯하여, 레이저 측량 등으로 지질/지표 관측하거나 뮤오그래피(Muography, 우주선 주요 구성요소인 뮤온(Muon) 측정기법)을 통한 활화산 폭발가능성 연구를 추진한다. 세계 최대 규모의 조밀한 지진·해일 관측망(S-net, DONET 등)에서 생산되는 육상과 해상 통합 데이터 분석 연구를 통한 지진 및 해일의 방재 연구를 추진한다. 재해 위험 정보에 관한 연구와 연계한 화산 활동 및 화산 재해에 대한 공간적·시간적 정보의 일원화를 통해 신속한 공유 체계를 구축한다. 지진 피해의 재현 및 구조물의 내진성 향상을 위한 실증 평가 및 시험, 시뮬레이션 프로그램을 추진한다.

미국지질조사소는 DOI(2018) 전략계획을 통해 온라인 국가 지질도 데이터베이스로 일반인이 이용할 수 있는 국토 면적 비율을 2022년 55.5%를 제시하고 있으며, 주문형 지도 제작을 지원하기 위해 분기마다 업데이트된 기본 지형정보서비스의 2022년 100% 완료 등을 제시하고 있다(Table 1).

미국지질조사소는 Bristol *et al.* (2013)로 2023년까지 장기전략을 세운 바 있으며, 이때 지질 체계의 특성을 바탕으로 지구의 복잡한 형성 과정에 대한 연구 추진을 제시하였다. 원격 감지 기술을 통해 3차원 및 4차원 지각 특성 모델을 개발한다. 과거의 환경 조건의 측정을 포함하여 암석 및 퇴적물의 연대 측정할 수 있는 첨단 미량 분석 기술을 통해 지질도 제작을 추진한다. 국가 단위의 공동 지질지도 데이터 모델을 활용해 지질자원 관련 국가 협력 체계를 구축한다. 지구의 육지 및 연안 해저 지형, 그리고 인간이 구축한 지형의 고도 데이터를 생성하고 기초 지형 공간 데이터와의 수직적 통합을 추진한다. 위치 좌표의 정확도를 포함한 기초 지형 데이터의 데이터 품질 및 불확실성을 특성화하여 정량화를 추진, 데이터베이스로 한다. 4차 산업혁명 시대에서 우선순위가 높은 리튬, 희토류 및 백금족(PGMs) 같은 광물 생산을 높이는 연구를 수행하여 지질학적 특성화, 자원 개발 활성화를 추진한다.

### 3.2. 국외 지질정보 및 광물자원 분야 중장기 연구 개발 주제 전문가 조사

기술별 주요 국외연구자를 대상으로 해당 기관의 주요 연구 주제, 주요 연구 추진 내용, 중장기 연구 전략, 중장기 목표연도에 대한 조사를 실시하였다. 설문 조사 결과 응답한 기관인 프랑스 IPGP(Institut de Physique du Globe de Paris)-CNRS은 프랑스 국립 과학연구원(CNRS)과 Diderot University와 공동으로 연구를 추진하고 있는 COMUE(대학 및 기관 공동체)에 속해있는 연구 센터이다. 지구 및 행성 과학에 대한 연구기관으로 관측, 실험 및 모델링을 통해 지구 핵에서부터 표면에까지 지구에 대한 연구를 추진하고 있다. 산사태, 지진학, 자기, 중력 및 침식과 관련된 관측소를 통해 자기장의 변화 및 지구의 지진 활동을 모니터링하고 있다. 슈퍼컴퓨터 등의 최첨단 실험 시설로 지질학 관련 분야(지구물리학, 지구화학, 정량지질학 등)의 모든 연구를 수행한다. 활성 구조론 분야에서 모든 시간 및 공간적으로 지구 표면의 변형에 관한 근본적인 원인을 밝히기 위한 연구를 중점적으로 추진하고 있으며, 지진 변형 과정의 모든 주요 측면을 해결할 수 있는 전방위적인 연구를 추진한다. 현재 연구가 진행되고 있으며, 향후 몇 년 동안 중점적으로 추진하게 될 주요 연구 주제는 1) 대륙 내 저속의 변형 지역(서유럽 변형 과정과 연관)을 포함한 지진의 변형 과정 연구, 2) 지진 발생 후 혹은 진행 중에 발생하는 저속 변형 과정의 측정 연구, 3) 깊은 지진의 원인이 될 수 있는 침강 지대에서 일어나는 깊은 변형 과정 연구이다.

응답기관인 러시아 지질·광물학 연구소(Institute of Geology and Mineralogy, IGM)는 지질학, 지각공학, 화산암, 변성작용, 석회암, 지구화학, 금속자원, 환경 및 지구변화, 지리정보 등 다양한 분야의 순수 및 응용 연구를 수행하고 있다. 지질학 및 광물학의 두 부서에 속하는 18개의 실험실과 여러 기술 그룹으로 구성되어 있으며 약 700명의 직원을 보유하고 있다. 러시아 지질·광물학 연구소(IGM)의 전문가는 최신 지질 정보를 생산하고 수집하는 것이 학술 연구의 첫 번째 단계로

학술 기관, 지질 조사 및 광산 회사에서 발생하는 많은 양의 지질 정보는 체계화, 규제/접근, 저작권 및 최신 기술 처리를 필요로 한다고 하였다.

러시아 지질·광물학 연구소(IGM)의 주요 장기 연구 주제는 중동 및 동아시아에서 해양의 진화, 태평양형 수렴 경계, 구조 침식 및 맨틀 마그마와 관련된 광석 잠재력을 포함하는 총체적 지각-석유 모델 개발이다. 서태평양의 해양판(Ocean Plate Stratigraphy)의 개념에 기초한 고(古) 해양의 크기 및 연령에 관한 연구를 수행하여 해양판에 영향을 미치는 다양한 복잡한 요소에 관한 연구를 추진하고 있다. 신생대 신생대에서 신생대에 이르기까지 아시아의 태평양형 수렴 모델의 주요 매개 변수의 연구를 추진하고 있다. 또한 해양 및 대륙 물질의 구조적 침식의 주요 기간과 깊은 맨틀의 침강을 연관 짓기 위한 매개변수에 관한 기초연구를 추진하고 있다.

러시아 지질·광물학 연구소(IGM)는 중장기 연구 전략으로 중부 및 동아시아의 주요 복잡한 암석 연구에 기초하여 고(古) 해양의 크기 및 연령의 매개 변수를 구하고 연속 침강의 기간을 구분하여 지질도 작성을 위한 새로운 기법을 개발할 계획이다. 수렴경계, 맨틀, 내부 판 대륙 측정 및 연구를 통해 대양의 진화모델을 연구하고 화산 폭발의 시기와 상관관계를 연구할 예정이다. 스칸듐(Sc), 이트륨(Y) 등 희토류가 풍부한 심해 점토 및 다른 퇴적물의 광물자원 잠재력을 평가하기 위한 퇴적 시나리오를 분석하고 연구할 계획이며, 구리 반암 퇴적물의 형성과 지각 침식의 시간 및 공간에 관한 연구를 수행할 계획이다. 러시아 지질·광물학 연구소(IGM) 전문가에 따르면, 최근 10~15년 동안 지구 물질 순환과 지질학에 대한 수치 모델링이 크게 발전하였지만 실제 지질학과는 좀 동떨어진 모형들이 많이 존재하였다. 러시아 지질 및 광물학 연구소(IGM)은 실제와 모델간의 연결고리 복원에 많은 중점을 두고 연구를 추진한다.

핀란드 지질조사소(Geological Survey of Finland)의 전문가에 따르면, 지오 데이터 플랫폼 개발에서 어려운 문제는 최종 사용자가 샘플 및 분석의 대표성과 스케일, 데이터 밀도와 같은 데이터 한계를 제공하는 것으로 메타 데이터는 중요한 역할을 하지만 데이터의 품질과 사용 방법을 명확히 하는 것(면책 조항)이 중요하다. 또한 원시 데이터, 처리된 데이터 및 해석된 데이터 간에 명확한 구분이 필요하며, 오래전에 출판된 지질도를 업데이트하는 것은 유용한 연구 주제로 업그레이드 과정에 어떤 요소를 새로운 지도에 포함할지 검토가 요구된다고 하였다. 핀란드 지질조사소(Geological Survey of Finland)의 전문가는 지질학 및 지구물리학

분야에서 3차원 관측, 공간적 정확성 뿐 만 아니라, 새로운 요구사항으로 암반 구조 정보(파쇄 및 결합) 등의 중요성이 높아지고 있다고 조언하였다.

시드니기술대학의 모델링/GIS센터(Centre for Advanced Modelling and Geospatial Information Systems, CAMGIS)의 장기 연구 전략은 지구 관측, 재해 관리 및 지구자원 관리에서 지리정보시스템(GIS), 원격감지(RS), 센서, 시각화 및 수치모델링의 혁신적인 정보기술 관련 연구 개발 및 적용이다. 특히 예측 시스템 및 매핑 응용 프로그램에서 사용가능한 다양한 응용 프로그램 및 소프트웨어에 중점을 둔 공간 정보 시스템에 대한 연구를 수행한다. 이 연구 활동에는 산불 위험도 평가, 연안 민감도 인덱스 순위, 홍수 경보, 유류 유출 경로, 토양 침식 평가, 산사태 조기 경보, 지진 위험 평가, 소음 및 전파 모델링, 일산화탄소 전파 모델링, 위치 기반 서비스 등의 시스템 개발이 포함된다.

시드니기술대학의 모델링/GIS센터(CAMGIS)의 전문가는 다음과 같이 조언하였다. 다양한 지구관측 응용 및 환경현상 모니터링을 위해 최신 이미징 기술과 최첨단 센서(무인 항공기(UAV) 등 사용), 광탐지 및 거리 측정(LiDAR)과 같은 레이저 스캐닝 시스템, 지상레이저 스캐닝 시스템(TLS), 위성 위치 확인 시스템(GPS), 드론 기반 원격 센서(광학, 적외선, 열, 하이 스펙트럼 및 LiDAR 등) 등을 사용한다. 다양한 지구 관측 및 천연자원개발에서 기존 방법의 예측 능력을 향상시키는 통합 및 앙상블 모델(통계적, 확률적, 데이터 마이닝 및 인공지능, 심층 학습 등 모델 사용)에 대한 더 많은 연구가 필요하다. 컴퓨터 및 모바일 장치를 통해 이해 관계자와 최종 사용자가 연구 결과를 사용할 수 있도록 해야 한다. 지질재해(geohazard) 영역에서 지리정보시스템(GIS)을 사용하는 인공 지능에 관해 더 많은 연구가 필요하다. 표준 상용 지리정보시스템(GIS) 패키지를 사용하여 인공 지능을 적용하는 연구를 수행하는 것이 바람직하다.

## 4. 지질정보 및 광물자원 분야 시장정보 분석

### 4.1. 디지털 지도 시장정보 분석

Markets and Markets(2018)은 디지털 지도에 대한 시장 보고서(2023년 예측)에서 실시간 자료 기반 지도 작성과 함께 빅데이터/클라우드 컴퓨팅을 적용하여 지진 및 화산 분출과 같은 자연재해 정보를 매핑하고 추적하는 위험평가/재난관리, 지리정보분석/시각화를 포함해서 분석하였다. Google, Baidu, OpenStreetMap

등의 민간회사를 핵심 디지털 지도 공급자로 보고 있으며 Nearmap 3D 등의 소프트웨어를 제공하는 Nearmap(2007년 설립, 호주 회사) 등의 민간회사를 디지털 지도 솔루션 공급자로 구분하였다. Markets and Markets(2018)의 디지털 지도 관련 기업 정보에서 MAPBOX(2011년 설립, 미국 기업)의 주문제작 지도 설계, 자연스럽게 빠르며 실시간(Smooth/fast/real-time)의 지도 제공, DIGITAL MAP PRODUCTS(2000년 설립, 미국 기업)의 SmartHazards 제품 공급, 정부용 정보 및 지도 제작 솔루션 제공을 제시하였다.

주요 디지털 지도 솔루션으로 Markets and Markets(2018)은 경로 최적화/계획, 추적/통신정보과학(telematics)을 제시하고 있어, 지질자원 연구 분야보다는 민간회사에서 수행할 상업 분야나 교통 등 타 공공 분야 연구와 더 밀접해 보인다. 하지만 지리정보분석/시각화 분야가 세 번째로 큰 시장을 가지고 있다. 텍스트와 그림이 아닌 지도를 통해 성장과 변화를 분석·전달하는 것이 더 효과적이므로, 텍스트 기반 자료에서 지역 분석 및 시각화 솔루션을 사용하여 시각화하는 것은 규모가 큰 시장이다. 또한 디지털 지도 솔루션 중에서 지진, 홍수, 산사태, 화재 및 쓰나미와 같은 자연 재해를 추적하고 지도를 제작하는 위험평가/재난관리 분야가 가장 성장률이 높을 것으로 보였다. 이는 인제도 포함하여 산불, 홍수, 산업/화학사고 등 위험을 보다 잘 평가하기 위한 지도 및 정보 도구, 사전계획 정보를 포함한다. 이러한 위험평가/재난관리 분야는 주로 정부 부문에서 필요로 하는 분야로 제시하고 있다. 이후 업데이트된 Markets and Markets(2019)에서는 디지털 지도 솔루션으로 위험평가/재난관리, 지리정보분석/시각화 등으로 구분한 것이 아니라, 데이터 기반 지도 제작, 웹 지도 제작, GPS 지원 서비스로 구분하여 분석하였다.

Markets and Markets(2018)에서는 단순히 디지털 지도 운영지원 서비스 분야로 제시하였으나, Markets and Markets(2019)에서는 추가 분석을 통해 플랫폼 간 지원 서비스로 제시하였으며, 이 플랫폼 간 지원 서비스가 디지털 지도의 최대 수익 서비스로 2024년까지 우위를 유지할 것으로 예상했다. 플랫폼 간 지원 서비스 공급 업체는 디지털 지도 구현을 위한 사전, 사후 및 통합 단계의 서비스를 제공하여, 지도 제작의 생산성과 효율성을 높인 시스템을 구축에 도움을 준다.

Markets and Markets(2019)은 다음과 같은 디지털 지도에 대한 시장의 유인(Market Drivers), 제약(Market Restraints), 기회(Opportunities), 도전(Challenges)을 제시하고 있다. 디지털 지도에 대한 시장의 유인

(Market Drivers)으로 모바일 컴퓨팅의 내비게이션용 장치 채택 증가, 지리 공간 정보의 사용에 대한 확연한 성장으로 3D 플랫폼 및 고급 기술이 디지털 지도 제작 및 조사에 광범위하게 적용되고 있다. 디지털 맵핑 기술 개발을 제한하는 법률 및 규제 정책이 디지털 지도 시장의 제약(Market Restraints)이 되고 있지만, 실시간 자료 기반 지도 제작 요구 증가, 빅데이터 및 클라우드 컴퓨팅의 지도 제작에 적용 증가가 기회(Market Opportunities) 요인으로 작용하고 있다. 사용자 개인 정보 및 보안 문제, 디지털 지도 제작 솔루션에 대한 전문 지식과 숙련된 전문가 부족을 시장의 도전(Market Challenges)으로 해결할 과제로 보고 있다.

디지털 지도는 사업상 문제/솔루션의 추적/분석, 사업의 효율성 향상, 간접비용 절감의 이점으로 광범위하게 적용되고 있다. 디지털 지도 시장의 수직적 비교로 Markets and Markets(2018)에서는 1) 정부/방위, 2) 물류/여행/운송, 3) 자동차, 4) 소매/부동산, 5) 건축/엔지니어링, 6) 에너지/공익시설, 7) 기타(통신/IT, 미디어/엔터테인먼트 등)로 나누었으며, Markets and Markets(2019)에서는 1) 사회간접자본 개발/건설, 2) 정부 및 국토 안보, 3) 물류/여행/운송, 4) 농업 및 석유/가스/타 천연자원, 5) 기타(통신 및 소매)로 구분하였다. 그리고 농업 및 석유/가스/타 천연자원의 디지털 지도 시장이 2024년까지 연간 성장률 17.6%로 가장 성장률이 높을 것으로 보였다. 석유/가스 기업은 전 세계의 인구 증가에 따른 수요에 따라 고성능 디지털 지도 작성 기술 및 자료 분석 도구를 요구하고 있다. 또한 천연자원의 평가 및 분석, 탐사 계획, 파이프라인 모니터링 및 비상 대응을 위해 석유/가스 및 타 천연자원 분야에서 디지털 지도가 유용하다.

#### 4.2. 광업 자동화 시장정보 분석

Accelerate Market Research(2018)의 Global Mining Automation Market 보고서에서 광업 자동화 시장의 현재를 분석하고 2025년까지 광업 자동화 시장을 예상하였다. Accelerate Market Research(2018)는 다음과 같은 광업 자동화에 대한 시장의 유인(Market Drivers), 제약(Market Restraints), 기회(Opportunities), 도전(Challenges)을 제시하고 있다.

광업 자동화에 대한 시장의 유인(Market Drivers)은 1) 노동자 안전에 대한 요구 증가, 2) 생산력 향상을 위한 요구 증가, 3) 운영비용(먼 지역, 혹독한 환경에 의한 에너지비용 소비) 절감으로, 신뢰성 있고 효율적인 생산/개발 과정을 위해 인간의 수동 작업을 줄이고

있다. 광업 자동화는 주로 기술과 소프트웨어를 통해 인간의 수동 작업을 줄이는 데 기여한다. 이로 인해 운영비용, 인적 오류, 부상, 시간 소요를 크게 줄인다. 광업에서는 여전히 많은 인력 투입을 필요로 하며, 저개발국과 개발도상국에서는 임금이 낮아 효율성을 높이기 위한 인센티브가 덜하다.

광업 자동화에 대한 시장의 도전(Market Challenges)은 1) 운영 기술과 정보 기술의 통합, 2) 자동화된 광산 장비를 운영할 숙련된 인력 부족이다. 운영 기술과 정보 기술의 통합은 운영기술(OT) 시스템으로 데이터 중심 컴퓨팅에 사용되는 정보기술(IT) 시스템의 융합을 일컫는 것이다. 일반적으로 정보기술(IT)은 모든 형태의 전자 데이터를 생성, 처리, 저장, 보안 및 교환하기 위해 컴퓨터, 저장 장치, 네트워크 장치/물리적 장치, 인프라 및 프로세스를 포함하며, 운영기술(OT)은 감시 제어 및 데이터 수집(SCADA)과 같은 산업 제어 시스템(ICS)을 비롯한 제조 및 산업 환경에 적합하다. 기술의 발전과 인공지능, 데이터 분석과 같은 제 3자 플랫폼의 출현으로 많은 광산 회사들이 전통적인 정보기술(IT)과 자동화 중심 운영 기술(OT)을 하나로 만들고 있다. 광산 회사 조직의 프로세스를 변형시켜 IT 조직과 연계시키기 위해서 모든 과정을 지도화하고 운영 모델을 정의하며, 핵심 조직 인터페이스를 식별하는 과정이 필요하다. 이러한 복잡한 과정은 광산 회사가 대처하기 어렵다.

Accelerate Market Research(2018)에 따르면, 최근 몇 년 동안 중국은 정보 전송 장비, 무인 전기 기관차 등의 발전에 힘입어 광업 자동화에서 큰 발전을 이루었다. 자동화된 광산 장비는 혹독한 기상 조건에서도 높은 신뢰도를 보였으며, 자동화 설비로의 이행뿐 아니라 중국의 광업 자체가 계속 확대되고 있다. 인도는 대규모 자원 잠재량으로 인해 세계 광산 업계의 큰 시장이며, 점점 더 많은 기반 시설이 요구됨에 따라 자금 조달 요건이 증가하고 있다. 인도 광업에 종사하는 인도 내의 많은 중소기업으로 인해 대규모 투자 능력이 낮아 광산 자동화 산업의 성장을 저해하고 있다. 인도의 기술 성장에 따라 광산 장비에 스마트 디지털 솔루션을 구현하는 경우가 증가하고 있다. 일본 내 광업 자동화 시장은 중국만큼 빠르게 성장하지는 않지만, 일본 시장은 기술 혁신 면에서 유리하여 한국과 인도네시아보다 높은 성장률이 기대된다. 한국의 광산 산업은 포항제철(POSCO), 현대제철, 동국제강, 한국광물자원공사(KORES) 등 고도로 발달되고 기술에 정통한 일부 회사들로 구성된다. 중국, 일본 등의 광업 및 정제 부문 확대에 따라서 한국의 광업 자동화 시장 또한

꾸준히 성장할 것으로 예측하였다.

광업 자동화 시장은 전 세계적으로 분열되어 있는, 많은 수의 기업이 존재하는 시장으로 Accelerate Market Research(2018)이 제시한 주요기업은 주로 장비 관련 기업이다. Caterpillar Inc.는 미국 건설/광산장비, 가스 엔진/터빈 등 제조/판매업체로 광업 자동화 시장 관련 제품으로 굴절식 트럭(Articulated Trucks), 전동 와이어 삽(Electric Rope Shovels), 차륜형 굴삭기(Wheel Excavators) 등이 있다. Komatsu는 일본의 건설/광업/설비장비 제조/판매회사이며, Volvo Group은 스웨덴 자동차 회사로 건설장비 뿐만 아니라 Volvo Penta 브랜드로 광산이나 다른 산업의 장비 엔진도 공급한다.

광업 자동화 솔루션 및 소프트웨어 관련 기업으로 RPM Global 및 TRIMBLE, Hexagon은 규모가 큰 주목할 만한 기업이다. RPM Global은 사업 계획, 설계/준비, 계획/일정 수립, 재정 예산 수립, 실행, 자산/장비 유지 관리, 시뮬레이션 등의 광산 소프트웨어 솔루션을 개발/제공한다. TRIMBLE은 엔지니어링/건설, 현장/모바일 솔루션, 장치 기업으로 광업 자동화 관련 소프트웨어로 원격으로 측정·분석·시각화·보고, 공중/지상/지하 스캔 및 이미징, 인프라 배치, 계획 기능을 제공한다. Hexagon은 스웨덴의 지리정보 관련 IT업체로 Hexagon의 GIS 부문은 육상과 공중에서 데이터를 수집하고 위성을 통해 위치화하는 센서를 공급하고, 레이저 스캐너, 항공 카메라, 무인 항공기, 정밀 위치 솔루션 및 모바일 지도 제작 기술을 제공한다. Hexagon 또한 광업 자동화 소프트웨어로 조사, 건설, 안전에 사용되는 3차원 지도 및 모델 작성을 위한 GIS 소프트웨어를 제공한다.

## 5. 결 론

본 연구는 국외 지질자원 관련 공공 연구기관의 중장기 전략 수립, 국외 대학 및 연구기관의 전문가 서면 조사, 국외 시장정보 보고서 분석을 통해 산·학·연 분야를 두루 포함한 국외 벤치마킹 정보를 수집하였다. 정부의 중장기 관점의 연구기관 운영전략을 반영하여 세계 지질정보 및 광물자원 분야 중장기 미래 기술을 분석하였으며, 공공·산업적 영향력을 고려한 향후 연구 개발 주제 설정에도 대비할 수 있다.

영국지질조사소, 일본지질조사소를 포함한 산업기술 종합연구소, 미국지질조사소는 중장기 계획에서 3차원 국가 지질정보, 화산/지진/토양 침식/산사태 등 지질환경재해 예측, 저탄소 경제 전환 및 4차 산업혁명 시대에 중요한 금속/소재 광물자원 개발 등을 제시했다. 프



랑스 IGP-CNRS와 러시아 지질·광물학 연구소(IGM), 핀란드 지질조사소, 시드니기술대학의 모델링/GIS센터(CAMGIS)의 중장기 연구계획은 지질정보에 대한 기초·기반연구를 강조하고 있으며, 지구 핵에서부터 표면까지 지구/지진의 변형 과정 연구, 최신 지질 정보 생산(암반 구조 정보(파쇄 및 결함), 3차원 관측, 최신 이미징 기술과 최첨단 센서 적용, 통합·양상불 모델, 인공 지능 등) 등의 연구 주제를 살펴볼 수 있었다.

모바일 컴퓨팅의 내비게이션용 장치 채택 증가, 지리 공간 정보의 사용에 대한 확연한 성장으로 3D 플랫폼 및 고급 기술이 디지털 지도 제작에 광범위하게 적용되고 있다. 단순히 지질자원 분야 뿐 만 아니라, 텍스트와 그림이 아닌 지도를 통해 성장과 변화를 분석·전달하는 것이 더 효과적이며 실시간 자료 기반 지도 제작 요구 증가하고 있으므로, 디지털 지도 시장은 규모와 성장성이 큰 시장이다. 또한 자연 재해를 추적하고 지도를 제작하는 위험평가/재난관리 분야 디지털 지도 솔루션, 석유가스 및 광물자원의 디지털 지도 시장의 성장률이 높을 것도 주목할 수 있다. 최근 디지털 혁신, 정보통신기술의 발전에 따라 자율자동차 충돌 감지, 차량 보조 시스템이 시각화되고 자동화됨에 따라 광산 장비에 대한 관심도 증대되었다. 기술의 발전에 따라 광산 자동화가 확대되고 있지만, 광산 운영 기술과 정보 기술의 통합, 자동화된 광산 장비를 운영할 전문가 부족이 광산 자동화 시장에서 어려움으로 제시되었다. 미국지질조사소는 2022년까지 전략계획으로 지형정보서비스로 주문형 지도 제작의 지원을 제시하고 있다. 광업자동화 및 디지털 지도 분야 시장 분석에서 육상과 공중에서 데이터를 수집하고 모바일/3차원 정보 제작, 자연스럽고 빠르며 실시간(Smooth, fast, and real-time)의 지도 제공, 주문제작 지도 설계, 여러 플랫폼에 적용가능한 지도 제작 지원, 지질환경 재해 위험평가정보·지도 제공을 주목하여 해당 분야 공공연구기관의 역할을 기대할 수 있다.

## 사 사

이 논문은 한국지질자원연구원 주요연구사업 '지질자원 표본·기초학술연구와 탈추격 R&D 정책개발(GP2017-004)'에 의해 지원되었습니다.

## References

Accelerate Market Research (2018) Global Mining Automation Market (Size and Forecast to 2025), 96p.

- Bae, J.H. and Park J.K. (2019) A Comparative Study by Subject on the New R&D Planning Process, *Econ. Environ. Geol.*, 52(3), p.243-250.
- Bristol, R.S., Euliss Jr., N.H., Booth, N.L., Burkardt, N., Diffendorfer, J.E., Gesch, D.B., McCallum, B.E., Miller, D.M., Morman, S.A., Poore, B.S., Signell, R.P. and Viger, R.J. (2013) Science strategy for Core Science Systems in the U.S. Geological Survey, 2013-2023, U.S. Geological Survey, 49p.
- British Geological Survey (BGS) (2014) Gateway to the Earth: Science for the next decade, <https://www.bgs.ac.uk/downloads/start.cfm?id=2895>, 19p.
- British Geological Survey (BGS) (2019) Gateway to the Earth: Science Strategy For The British Geological Survey 2019-2023, 33p.
- Interagency association(2016) Long-Term Plan of the Intelligent Information Society in response to the fourth industrial revolution, 49p.
- Korea institute of geoscience and mineral resources (KIGAM) (2017), 2050 KIGAM Long-term Strategy, 73p.
- Markets and Markets (2017) Mining Automation Market by Technique, Type (Equipment, Software, Communications System), Equipment (Autonomous Hauling/Mining Trucks, Autonomous Drilling Rigs, Underground LHD Loaders, Tunneling Equipment) and Region - Global Forecast to 2023, 138p.
- Markets and Markets (2018) Digital Map Market by Component (Solution (Tracking and Telematics, Catchment Analysis, Risk Assessment and Disaster Management, Route Optimization and Planning, Geo-Analytics and Visualization) and Service), Vertical, and Region - Global Forecast to 2023, 153p.
- Markets and Markets (2019) Digital Map Market by Component, Mapping Type (Outdoors and indoors), Application (Real-time Location Data Management, Geocoding and Geopositioning, Routing and Navigation and Asset Tracking), Vertical, and Region - Global Forecast to 2024, 112p.
- Ministry of Science and ICT (MSIT) (2018) National R&D Performance Evaluation Implementation Plan for 2019, 54p.
- National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) (2016), Research Strategy for 2030, <http://www.bosai.go.jp/introduction/pdf/mokuhyo.pdf>, 11p.
- National Research Council of Science and Technology (NST) (2019a) Executive Summary: government supported Science and Technology research institutions' R&R (Role & Responsibility) Reports, 48p.
- National Research Council of Science and Technology (NST) (2019b) R&R Collection II: government supported Science and Technology research institutions' R&R (Role & Responsibility) Reports, 658p.
- National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED) (2016), Mid and long term goal, 13p.
- U.S. Department of the Interior (DOI) (2018) Strategic Plan For Fiscal Years 2018-2022, 49p.
- Yoon, K.J., Choi, S.Y. and Kang, J.S. (2004) Public Sector Productivity Improvement through Benchmarking. Korea Institute of Public Administration (KIPA), 136p.