기술보고

기술혁신 측면의 자원개발 전략과 이행 동향 분석

신중호^{1*}

¹한국지질자원연구원 지질환경연구본부

Trend Analysis of the Strategy and Implementation of Natural Resources Development in Technological Innovation

Joong-Ho Synn^{1*}

¹Principal Researcher, Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Received 7 July 2020 Final version Received 13 August 2020 Accepted 25 August 2020

Abstract : This study investigates the current state of the strategy and implementation program of basic governmental plans for natural resources development. In particular, the adequacy of the present follow-up R&D action plans were analyzed with respect to technological innovation. An additional program, tentatively named the 'Strategy of Natural Gas (LNG) & Critical Minerals', must be formulated as an important security issue in the government's basic plans. According to the analysis of technological innovation in the mining sector by world patent statistics over the past 25 years, Korea has remained in the lower rank relative to the world average and other industries. Considering an environment in which the strategy of natural resources changes to be the national security and the competitive system of technological innovation is accelerating, sustainable R&D investment for technological innovation and expert training in the sector of natural resources is inevitable and urgent.

Key words : Natural resources security, Critical minerals, Strategy implementation program, Technological innovation system, Relative specialization index (RSI)

요 약 : 본 연구에서는 최근 수립된 자원관련분야 정부 기본계획들에 대하여 전략과 이행 프로그램들의 현황과 연계성을 조사하고, 특히 기술혁신 측면에서 R&D 실행계획의 적정성을 분석하였다. 현재 자원개발분야의 정부 계획들은 세부 영역별로 개별 수립되어 왔고 올해에 일부 합쳐진 계획이 수립되고는 있는데, 앞으로 영역 전체가 통합된 자원개발분야 기본계획이 바람직할 것이다. 자원개발분야의 중요한 안보 이슈인 천연가스·LNG 및 긴요광물(critical minerals)에 대한 국가 전략으로 가칭 '천연가스·LNG 전략', '긴요광물(critical minerals) 전략'과 같은 독립적 투자 이행 프로그램이 마련되어야 할 것이다. 지난 25년간의 세계 특허 통계에 의한 자원개발분야 기술혁신지수(RSI)에서 한국은 하위권 수준으로 나타났다. 자원개발이 국가 안보 전략으로 방향 전환이 되고 세계적으로 기술혁신 경쟁체제가 심화되는 환경에서, 기술혁신 및 인력양성을 위한 지속가능한 R&D 투자가 있어야 할 것이다.

주요어 : 자원안보, 긴요광물, 전략이행프로그램, 기술혁신시스템, 상대전문화지수(RSI)

서 론

최근 에너지·자원과 연계된 여러 정부 중장기 기본계획들이 차례로 수립되고 있다. 작년인 2019년에 <제3차 에너지기본계획(2019-2040)>이 수립된 이후 2020년 올해 들어 자원분야로는 1월에 <제3차 광업기본계획(2020-2029)>, 5월에 <자원개발기본계획(2020-2029)>이 수립되었다(MOTIE, 2019, 2020a, 2020b). <자원개발기본계획(2020-2029)>은 그동안 개별적으로 수립되어왔던 <해

외자원개발기본계획>과 <해저광물자원개발기본계획>을 처음으로 통합한 것이다. 그리고 <제3차 에너지기본계획(2019-2040)>을 반영한 하부 기술개발계획으로 2019년 12월에 <제4차 에너지기술개발계획(2019-2028)>이 수립되었고(PACST, 2019) 이와 연계된 실행계획으로 <2020년 에너지기술개발 실행계획> 및 <2020년 신재생에너지 기술개발 및 이용보급 실행계획>이 각각 2020년 1월 및 2월에 확정 발표되었다. 2020년 2월에는 <제4차 에너지 기술개발계획 이노베이션로드맵(자원개발, 순환자원)>이

*Corresponding Author, Joong-Ho Synn, jhsynn@kigam.re.kr, Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, Korea

마련되었다(KETEP, 2020a, 2020b).

<자원개발기본계획>에 제시된 자원개발정책의 방향은 기존의 ‘자원 개발’ 중심에서 ‘자원 안보’ 중심으로의 전환이라고 한다. 여기서 ‘안보’라는 용어가 내포하고 있는 의미를 파악해 볼 필요가 있다. 그것은 ‘안정성’과 ‘지속성’이다. 즉, ‘자원 안보’는 대내외의 어떠한 불확실성 환경 변화에도 지속가능하고 안정적인 자원수급을 확보하는 것이며 또한 그러한 기반 시스템을 갖추고 있는 것이다. 독일의 유명한 물리학자인 막스 플랑크(Max Planck)는 ‘광업이 모든 것은 아니지만 광업 없이는 모든 것이 아무 것도 아니다 (mining is not everything but without mining everything is nothing)’라고 했는데, 이 표현에 자원 안보 즉 안정성과 지속성의 의미가 잘 담겨져 있다. 이러한 ‘자원 안보’ 정책 방향을 기조로 이번에 새로 수립된 <자원개발기본계획>의 전략과 목표가 성공적으로 추진되고 달성되기 위해서는 하위 연계 기본계획과 기술개발계획을 실천적으로 뒷받침하는 재정 투자 프로그램 및 이행 프로젝트가 잘 추진되어야 하고 정부와 산업과 투자와 기술이 잘 연계된 실행계획이 마련되어 있어야 한다.

한편 최근 전 세계는 4차 산업혁명의 시대에 접어들면서 산업을 비롯한 사회경제적 환경이 전환되고 있으며 특히 첨단과학기술을 바탕으로 혁신의 시대에 있다. 4차 산업혁명(industry 4.0)과 연계하여 광업(mining) 분야에서는 광업 4.0(mining 4.0)이라는 표현을 사용하고 있다(Loow *et al.*, 2019). 세계경제포럼(WEF) 백서에 의하면, 향후 10년간(2016-2025) 디지털 전환의 영향이 광업·금속광물산업에서는 4,250억 달러에 달하며 석유·가스산업에서는 1조 6,000억 달러에 달할 것으로 예측하고 있다(WEF, 2017a, 2017b). 더구나 2020년 올해에 발생한 COVID-19로 인해 모든 분야에서 비대면을 지향하면서 디지털 솔루션에 대한 관심이 증폭되고 디지털 전환이 가속화되고 있다. 자원개발분야에서도 AI, 머신러닝기법, 자동화, GPS/드론 이용 조사·탐사, 원격모니터링 등의 기술을 접목하여 탐광·개발뿐만 아니라 운영·관리·환경·안전 분야를 포괄하여 비용 절감, 효율 향상, 생산성 향상, 재해 저감, 생산 연속성, 안전성 향상 등을 지향하고 있다(Axora, 2020; Hyder *et al.*, 2019). 국내에서는 이제 사례연구 중심의 기초 연구 단계이며 일부에서 광산 갱내 운반·통신 자동화를 도입하기 시작하는 수준으로, AI 및 머신러닝 등의 첨단기법은 아직 국내 광업 분야에서 기술 활용 사례를 찾아 볼 수 없다(Lee *et al.*, 2019). 정부의 <자원개발기본계획(2020-2029)> 및 <제3차 광업기본계획(2020-2029)> 정책 방향이 ‘자원 안보’로 전환되었는데, 안보가 내포하는 목표인 안정성과 지속성을 실현하는데 가장 기본이면서도 중요한 것은 해외 자원경쟁 환경에서 첨단기술경쟁력을 확보하는 것이다.

본 연구에서는 최근 수립된 자원관련분야 정부 기본계획들에 대하여 위에서 언급한 두 가지 측면 즉 후속 투자 이행 프로그램 및 기술개발 프로그램의 현황과 수준이 어떠한지 살펴보고 있다. 특히 기술혁신 측면에서 정부 기본계획에는 R&D 혁신이 얼마나 담겨져 있는지, 기술개발계획에는 어떻게 반영되어 있는지, 실제 혁신기술개발 현실은 얼마나 진행되고 있고 글로벌 트렌드를 따라가고 있는지 국내외 자료들을 토대로 비교 분석하였다.

에너지·자원 관련 정부 계획 현황

현 정부 출범이후 에너지·자원과 관련한 여러 중장기 국가기본계획들이 새로이 수립되고 있는데, 에너지 문제에 있어서는 화석연료 감축 및 탈원전을 통하여 신재생에너지로의 전환을 정책 기조로 하고 있다. 자원분야는 석탄, 석유, 천연가스 등의 에너지원을 포함하고 있어서 국가 에너지 정책이나 계획과 연동되어 있으며, 또한 4차 산업혁명시대의 첨단산업 원료소재 및 경제·국가 안보에 직결되는 광물자원에 대한 국가적 확보 전략도 매우 중요하다. Fig. 1은 에너지·자원과 관련된 정부 기본계획들의 종류와 연관성을 나타낸 것이다. 국가 에너지 정책과 관련한 가장 상위 계획은 에너지기본계획이며 이를 토대로 에너지 수급 관리 측면의 분야별 하부 법정 계획들로 8개 계획이 있으며(MOTIE, 2019), 이 중 자원분야와 관련되는 것은 전력수급계획, 장기천연가스수급계획, 에너지기술개발계획, 자원개발기본계획, 석탄산업장기계획 등이 있다. 그리고 에너지 수급과 직접적인 관련은 아니지만 자원개발분야의 계획들로서 광업기본계획, 광해방지기본계획 등이 있다. 여기서는 현 정부에서 수립되고 있는 에너지·자원 관련 기본계획들의 주요 내용을 상호 연계성 차원에서 비교해보고, 자원개발 관련 전략계획의 성공적 이행에 있어서 중요한 기술혁신 관련 부분을 중심으로 검토하였다.

에너지 수급 측면의 자원개발 관련 계획

지난해(2019.06.04)에 현 정부의 에너지 정책 기조를 반영하여 수립된 <제3차 에너지기본계획(2019-2040)>의 5대 중점과제는 ① 에너지 소비구조 혁신, ② 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환, ③ 분산형·참여형 에너지시스템 확대, ④ 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화, ⑤ 에너지전환을 위한 기반 확충 등이다. 이 중에서 자원개발과 관련되는 내용과 과제를 요약하면, ② 깨끗하고 안전한 에너지믹스로 전환에 있어서 공급안정성 제고를 위한 에너지 안보 강화(추진과제: 원유·천연가스 등 도입선 다변화 및 비축 확대, 해외자원개발 추진체계 개선, 동북아 천연가스 협력), ④ 에너지산업의 글로벌 경쟁력 강화에 있어서 석유·가스 등

Fig. 1. National basic plans for energy and resources.

전통에너지산업 경쟁력 강화(주요과제: 석유산업 개발·생산·유통 전과정 AI/IoT 융복합 고도화 비즈니스 발굴, 천연가스 보급인프라 확대 및 AI 지능형 설비최적화 시스템, LPG 유통구조 효율화 및 보급 인프라 확대, 석탄 수급관리 및 광해방지), ⑤ 에너지전환을 위한 기반 확충에 있어서 에너지 기술개발 및 인력양성(주요과제: 대형 R&D 실증연구 및 산학연/첨단기술 융복합 연구 확대, 타기술/타사업간 융합인력 양성) 등이 있다. 전략적 지향 방향으로는 에너지 원으로서 천연가스 확대, 에너지안보 차원의 석유 수급체계 유지, 첨단기술·전문인력 기반 강화 및 민관(공) 동반성장형 해외자원개발 추진체계 개선 등이 있다. 이러한 자원개발분야의 진취적인 내용들이 최근 수립되고 있는 자원개발분야 중장기 계획들과 당연히 잘 연계되어야 할 것이다.

<제3차 에너지기본계획(2019-2040)>에 의거해 국가 에너지 믹스 중장기 계획을 담은 <제9차 전력수급기본계획>이 현재 수립 중에 있다. 지난달(2020.05.08)에 본 계획 수립 자문기구인 총괄분위위원회에서 초안을 발표하였고 이에 대해 다양한 의견 수렴 과정을 거치고 있는 상황이다. 현재 발표된 발전원별 에너지 믹스 추진 방향을 보면 신재생에너지 확대[2020년(15.1%, 19.3GW) → 2034년(40.0%, 78.1GW)], LNG 확대[2020년(32.3%, 41.3GW) → 2034년(31.0%, 60.6GW)], 석탄 감축[2020년(27.1%, 34.7GW) → 2034년(14.9%, 29.0GW)], 원자력 감축[2020년(19.2%, 24.7GW) → 2034년(9.9%, 19.4GW)]이다. 그리고 <제9차 전력수급계획>이 수립되면 뒤이어 <제14차 장기천연가스

수급계획>이 다시 수립될 예정에 있다. 특히 천연가스는 에너지기본계획과 전력수급기본계획에서 전략적으로 확대하려는 에너지원이므로 새로이 장기천연가스수급계획이 수립될 때 천연가스 자원개발 측면에서 필요로 하는 전략과 내용들이 잘 포함되기를 기대한다.

기술개발 측면의 자원개발 관련 계획

자원개발분야의 정부 계획들은 다양한 편으로 해외자원개발기본계획, 해저광물자원개발기본계획, 광업기본계획, 석탄산업장기계획, 광해방지기본계획, 그리고 에너지기술개발계획 등이 있다. 각 분야별로 중점 추진계획을 담고 있지만 한편으로는 통합적 연계성에 한계가 있기도 하다. 지난 달(2020.05.12.)에 새로이 <자원개발기본계획(2020-2029)>이 수립되었는데 이는 그동안 개별로 수립되어 오던 해외자원개발기본계획과 해저광물자원개발기본계획을 통합한 것이다(MOTIE, 2020b). 그 기본 틀은 3대 분야, 9개 추진전략으로 이루어져 있다. 세부 내용들을 정책, 산업, 기술 항목으로 분류할 때 여기서는 기술과 관련된 부분을 살펴 보았다. 9개 추진전략의 달성이 기본적으로 기술역량시스템과 연계가 되지만 그 중에서도 1-③ 민관 협력 동반성장에 있어서 공기업의 탐사사업 중심 민관 협력모델 추진 및 민간기업 역량 강화, 2-② 신원료광물 확보에 있어서 신산업핵심광물확보/폐자원재활용 종합로드맵 및 광물-소재 밸류체인 연계 기술개발, 2-③ 한반도 자원개발에 있어서 국내 대륙붕 탐사 및 북한자원개발협력 기반 확보, 3-③ 자

원안보 인프라 확충에 있어서 차세대 전략기술 개발 및 현장맞춤형 전문인력 양성 등은 기술개발과 직접적으로 연계되는 사항들이다. 이들 추진전략의 성공적인 이행과 달성은 관련 기술혁신을 위한 R&D 투자계획과 추진시스템이 연계되어 있어야 한다. 이 부분에 대해서는 뒤에서 종합적으로 검토하고자 한다.

상기 <자원개발기본계획(2020-2029)>이 주로 해외 자원개발과 관련된 것이라면 국내 자원개발과 관련된 것으로 <제3차 광업기본계획(2020-2029)>이 올해 초(2020.01.03.)에 수립되었다(MOTIE, 2020a). 국내 광업 분야는 일부 비금속광물을 제외하면 부존이 빈약하여 그동안 부각되지는 않았는데, 이번 기본계획에서는 눈여겨 볼 사항이 있다. 3대 추진전략 및 12개 중점추진과제에서 (1) 산업원료 광물의 안정적 공급에서 국내 부존광물 탐사 강화(향후 10년간 50개 유망광구 발굴) 및 고품위 광량 확보, (2) 국내 광업의 생산성·수익성 제고에서 ICT 광산장비와 스마트마ining 도입, 광물 고부가가치화와 폐금속자원 재활용 기술 개발, 전문기술인력 양성 프로그램 개발, (3) 광산 안전 및 환경관리 강화에서 광산안전관리 통합시스템 구축 등이다. 특히 신규 유망광구 발굴을 위한 탐사분야는 기술혁신이 매우 중요한 성공 요소이다. 세계지적재산권기구에서 발간한 광업분야 기술혁신 분석보고서(Daly et al., 2019)에 의하면, 자원개발분야의 여러 세부 영역에서 2000년대 이후 가장 기술혁신(세부 영역별 특허 기반 분석 결과) 속도가 빠른 영역이 탐광(exploration)이다. 이는 곧 ICT/AI 등의 첨단기술 접목 및 세계 선도적 기술경쟁력을 확보하기 위해서는 기술혁신적 투자가 바탕이 되어야한다는 의미이기도 하다.

이외에 <제5차 석탄산업장기계획(2016-2020)> 및 <제3단계 광해방지기본계획(2017-2021)>이 기존 계획기간에 의거해 시행되고 있는데, 주로 정책이나 사업 측면의 시행 계획들이지만 기술적 측면으로는 현장연계형 기술개발·인력양성의 테스트베드 역할 및 맞춤형 기술지원 서비스 등이 관련된다.

자원기술개발 프로그램 현황

이상에서 자원개발분야와 관련되는 정부 기본계획들과 그 안에 담긴 에너지·광물자원 확보 전략 및 이와 연계된 기술개발 측면의 내용들을 검토해 보았다. 이러한 기본계획들은 전략적 방향과 목표를 수립하는 것으로서, 기술개발과 관련해서는 필요 영역이나 역량 목표 수준에서 다루어질 수는 있으나 구체적인 기술개발 프로그램을 포함하고 있지는 않다. 현재 에너지 및 자원을 포함하는 상위 기본계획인 <제3차 에너지기본계획(2019-2040)>에 의거해 구체적 기술개발계획인 <제4차 에너지기술개발계획(2019-

2028)>이 작년말(2019.12.23.)에 책정되었다(PACST, 2019). 자원개발분야의 기술개발 영역도 포함되어 있다. 4대 전략 15개 과제 중에 (1) 에너지전환을 뒷받침할 R&D 투자 강화에 에너지원별로 16대 중점기술분야(태양광, 풍력, 수소, 소재, 원자력, 청정발전, 자원개발, 순환자원, 에너지안전, 건물효율, 산업효율, 수송효율, 빅데이터, 지능형전력망, 에너지저장, 사이버보안)에 50개 추진과제가 제시되어 있다. 이 중에서 자원개발과 직접적으로 관련되는 추진과제는 자원개발 기술분야 2개(세일가스 및 희소금속 생산 기술, AI기반 차세대 자원개발 플랫폼 구축) 및 순환자원 기술분야 3개(에너지 주요 모듈 부품 재제조·재이용 산업기술 확보, 에너지 전라금속 자급형 생태계 구축, 첨단기술 융합형 재제조 신시장 창출) 정도이다. 순환자원 기술분야의 추진과제는 주로 부품소재 기술영역이고 자원처리·재활용 기술영역이 일부 포함되어 있는 정도이며, 실제 자원개발 기술분야의 추진과제는 세일가스, 희소금속, 자원개발 플랫폼의 키워드를 가진 2개 과제이다.

그리고 <제4차 에너지기술개발계획(2019-2028)>과 연계하여 2020년 2월에 마련된 <이노베이션로드맵>에 <자원개발> 및 <순환자원> 분야의 중장기 기술개발계획이 수립되어 있다(KETEP, 2020a, 2020b). <자원개발>에는 6개 전략과제(수소경제 활성화를 위한 원료자원 확보, 4차 산업혁명 핵심원료광물 확보, AICBM 기술을 활용한 유가스 전 탐사/생산기술 개발, AICBM 기반 스마트 마ining 현장 대응 기술개발, AI기반 지능형 유가스전 탐사/개발 통합플랫폼 구축, 지능형 광물자원개발 통합 플랫폼 구축), 전략과제별 3개 핵심기술, 핵심기술별 2-3개 중점기술이 도출되어 있다. <순환자원>에는 6개 전략과제(에너지 생산 및 공급 주요 모듈·부품의 재이용·재제조 산업 기술 확보, 에너지 산업의 순환자급형 후방 생태계 구축, 에너지 저감 및 천연자원 대체 친환경 자원회수 기술개발, 첨단기술 융합형 재제조 기술개발, 경제성 효과 극대화를 위한 순환경제 플랫폼 구축, 국내외 순환자원 관련 환경규제 대응 전략 및 기술 개발), 전략과제별 2-4 핵심기술, 핵심기술별 1-7개 중점기술이 도출되어 있다. 이노베이션로드맵은 중장기 단계별 기술개발계획을 제시한 것으로 단계별/연차별 재정 투자 프로그램은 구체적으로 담고 있지는 않다. 따라서 기본계획이나 기술개발계획이 제대로 추진되기 위해서는 실질적 재정 투자 프로그램 및 이행 프로젝트로 이어져야 할 것이다.

이러한 에너지 영역뿐만 아니라 <자원개발기본계획(2020-2029)>이나 <제3차 광업기본계획(2020-2029)> 등에 담겨져 있는 국내외 광업 전략 목표들이 실제적으로 이행될 수 있는 구체적인 재정 프로그램과 투자 주체 및 추진 프로젝트 등은 아직 잘 드러나지 않는다. 이러한 것들을 현

재의 에너지·자원 통합적인 기본계획이나 기술개발계획에 모두 담을 수 없다면 독립적으로 마련될 필요가 있다. 이러한 측면에서 선진 외국의 최근 자원개발 전략과 투자 및 기술개발 프로그램 동향을 다음 절에서 조사 비교하였다.

외국의 자원개발 전략 및 이행 프로그램 동향

일본의 국제 자원 전략 및 이행 프로그램

일본은 2018년에 <제5차 에너지기본계획>을 수립하였고 올해 초(2020.03.30)에 일본 경제산업성이 다시 <신국 제자원전략>을 책정 발표하였는데, 이는 2012년 <자원확보전략> 이래 8년만이다(METI, 2020). 이 <신국제자원전략>에는 전략 목표 뿐만 아니라 구체적인 이행을 위하여 일본의 에너지·광물자원분야 대표 공공 주체인 일본석유천연가스금속광물자원기구(JOGMEC)의 역할을 명시하였다. 이를 요약하면 Table 1과 같다. 3대 전략 및 세부 내용을 요약하면, (1) 석유·LNG 안보 강화(자원외교 강화, 셰일오일·가스 신자원 확보, LNG 안보 강화, 석유비축 활용, 아시아 권역 역할 주도), (2) 금속광물 안보 강화(광종별 전략 확보, 비축제도 개선 및 안보 강화, 공급체인 강화 국제협력), (3) 기후변동문제 대응(카본리사이클링 추진, 기후변동 고려 유가스전 개발, 연료암모니아 확대) 등이다. 그리고 이의 이행 지원 주체로서 JOGMEC의 기능과 역할을 확대하는 내용을 함께 명시하였으며, 이후 신속한 후속 조치로서 2020.06.12.자로 JOGMEC법을 개정하여 법적으로 확정하였다. 개정 확대된 주요 기능으로는, (1) 액화천연가스

(LNG) 저장사업의 출자 및 채무보증 업무, (2) 금속광물의 개발 사업을 대상으로 한 출자 업무, (3) 금속광물의 선풍·제련 사업을 대상으로 한 출자 및 채무보증 업무, (4) JOGMEC에 의한 일시적 권리취득 업무, (5) 긴급시 발전용 연료의 조달 업무 등이다.

JOGMEC은 2004년 설립된 이래 2020년 현재까지 일본 자원개발의 공적 주체로서 그 기능과 역할을 확대해오고 있으며, 공적 기구로서 민간 기업과의 협력 지원 채널 역할 뿐만 아니라 선도적 기술개발의 주체로서 활동하고 있다. 기술개발 및 실용화 측면에서 JOGMEC의 석유·가스분야 프로그램이 기술솔루션프로젝트(technical solutions project)이다. 이 프로젝트는 산유국을 대상으로 그들의 기술적 과제를 파악하여 일본 기업과 협력을 통해 해결책을 제공하고 일본의 선진 기술 연수 등을 제공하면서 궁극적으로 일본 기업의 비즈니스 달성을 지원하는 목적을 가지고 있다. 2013년부터는 기술솔루션프로젝트의 일환으로 매년 해외 산유국을 일본으로 초청하여 ‘JOGMEC Techno Forum’을 개최하고 있다. 최근 2018년 Techno Forum 주제는 ‘Gas/LNG’ 및 ‘Digital Technology’이었다. 특히 ADNOC, TOTAL, McKinsey 등의 외국 선진 전문가들을 초청하여 선진 경험을 공유하고 디지털전환에 대한 방향과 기술적 접근을 중점화하고 있다. 일본 석유가스 기업들은 외국 선진 기술기업과의 협력을 통해 digital plant 플랫폼 구축, digital twin 구현, Big data 이용, 통합적 생산 최적화 등의 기법들을 이미 활용하고 있는 것으로 보인다. 광물 분야의 최근 사례로는, 올해 초(2020.02.03.)에 남아프리카공

Table 1. Japan's new international resource strategy

New International Resource Strategy of Japan (2020.03.30)		
Principle	Strategy	Contents related to JOGMEC
[3E + S] • Energy security • Economic efficiency • Environment • Safety	• Oil & gas supply security - Diversity of resource diplomacy - Key role toward Asia region • Rare metals supply security - Strategic stockpiling - Global supply chain • Climate change adaptation - Carbon recycling - Fuel ammonia use	• Enlargement of role & function of JOGMEC - Member of government level council - Cutting-edge Tech. R&D and diffusion - Financial support for private enterprise - Principal agent of international cooperation
Follow-up measures		
JOGMEC Act amendment (2020.06.12)	• Financing and obligation guarantee in LNG storage/import enterprise • Financing in metal resources development enterprise • Financing and obligation guarantee in metal refining enterprise • Temporary acquisition of right of gas & metal enterprise for transfer to private company • Urgency procurement of power generation fuel	

화국 케이프타운에서 개최된 아프리카 최대의 광업대회인 『Mining Indaba 2020』에 참가하여 <Securing the supply chain of critical minerals for the future> 세션을 주최하여, 아프리카 자원부국들에게 정보 공유와 선진기술 지원 및 상호 공동탐사사업 추진 등을 선제적으로 하고 있다.

미국 및 호주의 자원개발 전략 및 이행 프로그램

전 세계는 과거부터 국가별로 희소금속(rare metal)을 선 정 관리해 왔는데(우리나라 35종, 미국 33종, 일본 31종 등), 근래에 들어 미국, 일본, 유럽, 호주 등은 경제 및 국가 안보 차원에서 필수적인 원료광물을 긴요광물(critical minerals)이라고 분류하여 국가별로 확보 전략을 수립하여 관리하고 있다. 긴요광물(critical minerals)과 희소금속(rare metal)은 같은 것들도 많지만 새로운 시대적/환경적 개념(경제, 국방, 안보)을 반영한 용어 정의에서 주는 의미가 다르다. 또한 최근 선진 외국들은 긴요광물(critical minerals)을 중요한 국가 전략을 다루고 있으므로 우리나라도 그 개념적 중요성을 인식하고 대처할 필요가 있다.

미국은 일본, EU와 공동으로 2011년부터 매년 ‘Trilateral EU-US-Japan Conference on Critical Materials’을 개최하면서 긴요광물(critical minerals)의 중국 편재성에 대응하고 있다. 최근 미국 지질조사소(USGS) 및 내무성(DOI)은 미국 안보와 경제에 중요한 영향을 미치는 광물로 35개를 긴요광물(critical minerals)로 선정하였다(USGS, 2018). 그리고 트럼프 정부는 2019년에 긴요광물(critical minerals) 안보와 안정적 공급에 관한 연방정부 전략을 발표하였는데(US DOC, 2019), 이 전략은 6 실행방안과 24 목표 및 구체적인 이행 단계를 담은 61 권고안으로 되어 있다. 이러한 국가 전략에 의거하여 구체적인 기술개발 이행 프로그램을 책정하였는데 Table 2에 요약하였다. DOE는 2020년 봄에 희토류 원소(rare earth elements) 유용성 향상을 위한 기초 연구에 1천 8백만 달러 투자 계획을 발표하였고(US DOE, 2020a), 또한 긴요광물(critical minerals)의 추출, 분리, 제련 등 처리공정의 차세대 기술 개발을 위해 3천만 달러를 투자한다고 발표하였다(US DOE, 2020b).

호주 정부도 2019년에 긴요광물(critical minerals)에 대

Table 2. Strategies and programs of critical minerals in the USA and Australia

A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals (2019.06.04.)	
Calls to Action	R&D implementation programs
<ul style="list-style-type: none"> • Advance Transformational Research, Development, and Deployment Across Critical Mineral Supply Chains • Strengthen America's Critical Mineral Supply Chains and Defense Industrial Base • Enhance International Trade and Cooperation Related to Critical Minerals • Improve Understanding of Domestic Critical Mineral Resources • Improve Access to Domestic Critical Mineral Resources on Federal Lands • Grow the American Critical Minerals Workforce 	<ul style="list-style-type: none"> • DOI published a list of 35 mineral commodities deemed critical to the economy and security of the United States (2018.05.18.). • DOE announced up to \$18 million for basic research to ensure the continued availability of rare earth elements (2020.04.14.). • DOE announced up to \$30 million for R&D on next-generation extraction, separation, and processing technologies for critical materials (2020.05.04.).
Australia's Critical Minerals Strategy (2019.03.28.)	
Actions	R&D implementation programs
<ul style="list-style-type: none"> • Investment • Innovation • Infrastructure 	<ul style="list-style-type: none"> • The \$100.5 million Exploring for the Future initiative (2016-2020) • The \$218 million MinEx Cooperative Research Centre is the world's largest mineral exploration collaboration bringing together industry, government and research organisations. • The Government has prioritised \$20 million of funding in Round 7 of the Cooperative Research Centre Projects program for projects with a specific focus on critical minerals. • The CRC for Optimising Resource Extraction will receive \$34.45 million from 2016-2021 to develop energy-saving and resource-expanding technology. • The \$5 billion Northern Australia Infrastructure Facility provides concessional loans to eligible infrastructure projects in Northern Australia. • Investment in transport infrastructure through the Infrastructure Investment Program, including the \$3.5 billion Roads of Strategic Importance initiative.

한 전략을 수립하고 3대 목표와 세부 실행방안을 수립하였는데(AG, 2019), 주요 내용 및 투자 이행 프로그램은 Table 2에 요약되어 있다. 투자촉진분야에서 미래담사계획 투자에 5년 약 1억 호주달러 및 국제다자연구협력센터에 10년 약 2억 2천만 호주달러, 기술혁신분야에서 협력연구센터 프로젝트(긴요광물(critical minerals) 고부가가치 창출 구현 기술 개발)에 2천만 호주달러 및 자원채굴최적화 프로그램(광물 재산성 향상 및 친환경 채굴 기술 개발)에 약 3천 5백만 호주달러, 그리고 인프라확충분야에서 50억 호주달러 및 35억 호주달러를 투자하는 프로그램을 책정하였다. 또한 호주 정부와 산업계 협력으로 첨단 기법의 마이닝 기술 개발 및 기술 훈련에 2천 7백만 호주달러를 투자하고 있다(Lasley, 2020). 그 내용을 보면, 호주 남부에 위치한 아델라이드대학(University of Adelaide)에 있는 자원기술훈련 센터를 통해 세계 선도적인 첨단기술(광업 IoT) 연구개발 및 전문가 육성 기술훈련을 담당토록 지원하고 있다.

EU의 자원개발 기술혁신 R&D 프로그램

EU 연구혁신 프로그램

유럽연합(EU)은 2010년 이래 대두된 경제발전, 기후변

화, 인구고령화 등의 글로벌 과제를 해결하기 위하여 ‘Europe 2020 Strategy’를 수립하고 그 가운데 R&D 부문의 혁신 강화와 투자확대를 위해 ‘Horizon 2020’ 프로그램을 만들어서 추진하고 있다(<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020>). 이는 연구재정지원을 위해 만들어진 프레임 워크 프로그램(Framework Program) 중에서 8번째 프로그램에 속한다. ‘Horizon 2020’의 총 기간은 2014-2020년이며 총 예산은 786억 유로이다. 3대 핵심 영역은 1) 우수 과학(Excellent Science), 2) 산업 리더십(Industrial Leadership), 3) 사회적 과제(Societal Challenges)이며, 자세한 프로그램의 구조와 내용은 Table 3과 같다. 자원개발분야는 3) 사회적 과제에 속하며 그 하부 구조인 SC5-기후·환경·자원(climate action, environment, resources efficiency, raw materials) 내에서 SC5.3-원료광물의 지속가능한 공급(ensuring the sustainable supply of non-energy and non-agricultural raw materials)에 속한다. SC5.3은 자원개발 혁신기술 및 긴요광물(critical minerals) 확보기술에 중점을 두고 있으며 프로그램 시작단계(2014-2016)에 40개의 세부 프로젝트가 선정되었으며(이 중 65%인 26개가 기술혁신 프로젝트) 이후 2020년까지 총 60여 프로젝트가 진행되고 있다(EC, 2017).

Table 3. Structure and projects related to mining and mineral resources in the EU’s Horizon 2020

Program	Horizon 2020		
Duration	2014-2020 (7 years)		
Budget	78.6 billion Euros		
Strategy	Pillar 1 Excellent Science (ES)	Pillar 2 Industrial Leadership (IL)	Pillar 3 Societal Challenges (SC)
Pillar 3 SC Structure	SC1. Health, Demographic Change & Wellbeing		
	SC2. Food Security, Sustainable Agriculture and Forestry, Marine/Maritime/Inland Water Research & Bioeconomy		
	SC3. Secure, Clean & Efficient Energy		
	SC4. Smart, Green & Integrated Transport		
	SC5. Climate Action, Environment, Resource Efficiency, Raw Materials		
	SC6. Inclusive, Innovative & Reflective Societies		
	SC7. Secure Societies		
SC5 Activity	SC5.1. Fighting and adapting to climate change		
	SC5.2. Protecting environment, sustainably managing natural resources, water, biodiversity and ecosystems		
	SC5.3. Ensuring sustainable supply of non-energy and non-agricultural raw materials		
	SC5.4. Enabling transition towards a green economy and society through eco-innovation		
	SC5.5. Developing comprehensive and sustained global environmental observation and information systems		
	SC5.6. Cultural heritage		
	SC5.7. Specific implementation aspects		
Mining related projects	SC5.3 is related to mining & raw minerals.		
	- 40 projects in launching stage (2014-2016) - 26 of research innovation (RIA & IA), 14 of cooperation (CSA & Cofund)		

그리고 유럽연합(EU)은 'Horizon 2020'의 후속으로 제9차 프레임워크 프로그램인 'Horizon Europe'를 기획하고 있다(EC, 2019). 'Horizon Europe'의 총 기간은 2021-2027년이며 총 예산은 1,000억 유로로 책정하고 있다. 3개 핵심영역(pillar)은 1) 오픈 사이언스(Open Science), 2) 글로벌 과제와 산업 경쟁력(Global Challenges and Industrial Competitiveness), 3) 오픈 이노베이션(Open Innovation)이다. 자원개발분야는 2) 글로벌 과제와 산업 경쟁력(Global Challenges and Industrial Competitiveness) 하부 구조에서 기후·에너지·교통(climate, energy and mobility)와 식량·바이오·천연자원·농업·환경(food, bioeconomy, natural resources, agriculture and environment) 분야에 포함되어 있는데, 프로그램의 구조와 주요 내용은 Table 4와 같다.

자원개발 기술혁신 프로젝트 SIMS 및 SLIM

SC5.3 내의 프로젝트 중에서 자원개발 기술영역(탐사, 채광, 운송, 통신, 환경 등)의 연구혁신 프로젝트로

SIMS(Sustainable Intelligent Mining Systems) 및 SLIM(Sustainable Low Impact Mining solution for exploitation of small mineral deposits based on advanced rock blasting and environmental technologies)가 있다. SIMS 프로젝트의 비전은 자원개발 산업에서 새로운 기술과 솔루션을 개발 실현하는 것으로 프로젝트 개요는 Table 5와 같다. 총 기간은 36개월(2017.5.2.-2020.04.30.)이고 총 예산은 약 1천 6백만 유로이며 유럽 5개국의 11개 기관이 참여하였다(SIMS, 2020). 주요 기술 목표는 5G통신, AI, Robot 등의 첨단 기술·기법을 접목하여 지하광산의 탐광·개발·통신·안전 분야의 자동화 및 지능형 혁신기술을 개발하고 실제 광산 현장에 적용하여 실용화를 완성하는 것이다. 세부 기술로는 세계 최초의 지하광산 5G 통신 및 위치 추적, 통합적 프로세스 제어 및 자동화, 증강현실 적용 원격제어 로봇 마이닝, 디지털 트윈 광산 구현, 지반거동 제어, 작업환경 혁신 등이다(Rody, 2019).

SLIM 프로젝트는 환경 영향 저감형 지속가능한 광산개발을 실현하는 비전으로 유럽 5개국 13개 기관에서 참여하

Table 4. Horizon Europe (2021-2027) of the EU's 9th framework programme

Program	Horizon Europe		
Duration	2021-2027		
Budget	100 billion Euros		
Strategy	Pillar 1 Open Science	Pillar 2 Global Challenges and Industrial Competitiveness	Pillar 3 Open Innovation
Pillar 2 Structure	<ul style="list-style-type: none"> • Health • Culture, Creativity and Inclusive Society • Civil Security for Society • Digital, Industry and Space • Climate, Energy and Mobility • Food, Bioeconomy, Natural Resources, Agriculture and Environment 		

Table 5. SIMS project for mining innovation in the EU's Horizon 2020

Project	SIMS (Sustainable Intelligent Mining Systems)
Duration	2017.05.02.-2020.04.30. (36 months)
Budget	16.2 million Euros
Participants	11 institutions from 5 nations in EU
Work Package	<ul style="list-style-type: none"> • Communication and positioning (5G radio network in underground mine) • Integrated process control and automation (Virtual mine - digital twin) • Robotics in mining (Augmented reality framework for robotics) • Battery powered mining equipment • Ground control • Attractive workplace

였으며, 총 기간은 48개월(2016.11.1.-2020.10.31.)이고 총 예산은 약 7백만 유로이다(SLIM, 2020). 주요 기술 목표는 비용효율적이고 지속가능하고 선택적인 저 충격형(소음, 진동, 오염) 마이닝 신기술의 개발과 현장 실용화를 달성하는 것이다. 세부 기술로는 암반-폭약 상호작용, 신 발파 응용 기술, 환경 충격과 안전, 암반모델링 소프트웨어, 경제적·환경적 평가기법 등이다.

이와 같이 유럽연합(EU)은 자원개발 및 특히 진요광물(critical minerals) 공급 안정과 전략적 안보를 확보하기 위한 이행 프로그램으로서 구체적인 자원개발 기술혁신 프로그램을 수립하여 추진하고 있다.

자원개발분야 기술혁신 추이 분석

산업분야별 디지털 전환 비교 예측

4차 산업혁명 시대의 핵심 요소로 인공지능(AI), 사물인터넷(IoT), 가상현실/증강현실(VR/AR), 빅데이터(BG) 등을 일컫는데 이러한 정보통신기술(ICT)의 융합 기반은 디지털 정보화에 있다. 디지털 전환은 이전부터 예측되고 또한 분야별 차등적으로 진행되어 왔는데, 몇 년 전 Bain & Company사는 Fig. 2와 같이 다양한 산업분야별로 디지털 전환의 미래 예측을 한 바가 있다(Rigby and Tager, 2014). 이에 의하면 자원개발분야(석유·가스, 광물자원)는 양적 규모 측면에서는 미디어, 통신, 금융 등에 비해 상대적으로 디지털 전환이 낮은 분야이지만, 이 예측 그래프에서 유의해 볼 것은 2014년 당시 대비 2020년 디지털 전환 성장률의

예측이다. 두 시기를 비교해 보면 석유·가스분야(oil & gas)는 약 8배, 광물자원분야(mining)는 약 10배의 성장률을 예측하고 있다. 즉, 그동안 전통기술 산업에 머물렀던 자원개발분야의 디지털 전환 가능 영역이 매우 넓으며 따라서 디지털 기술혁신 활동에의 선도적 투자가 미래 자원개발 산업 시장을 주도할 수가 있음을 지시해 주는 것이다. 자원개발분야의 세계 메이저 선진기업들은 이미 지난 수 년 전부터 디지털 오일필드, 스마트 마이닝 등의 디지털 전환을 선점해오고 있다. 국내에서는 최근에 들어서야 R&D 섹터에서 기초 연구가 이루어지고 있고 산업현장 섹터에서는 자원개발 공기업 중심으로 운반·통신 자동화 분야에서부터 점진적으로 시작되고 있다.

자원개발분야 기술혁신 국가 수준 분석

기술혁신 활동을 평가하는 비교적 단순하면서도 정량적인 지표로 R&D 투입 결과 측면의 특허 동향을 분석하는 방법이 있다. 세계지적재산권기구(World Intellectual Property Organization, WIPO)에서는 2019년에 전 세계의 국가별 자원개발산업(mining industry) 분야의 특허 통계 추이를 바탕으로 자원개발산업의 혁신 수준을 분석한 바가 있다(Daly *et al.*, 2019). WIPO mining database에는 광물 및 석유·가스가 모두 포함되며 통계 자료의 기간은 1990-2015년의 약 25년간이다.

이 분석에 의하면, 세부 영역별 분류 중에서 탐광(exploration) 분야의 특허 비율이 지속적으로 가장 높은 증가율을 보였다. 기술적 영역으로는 정보기술과 인공지능

Fig. 2. Projected digital transformation by industry through 2020 (modified from Rigby and Tager, 2014).

의 발전으로 광산 개발·운영의 자동화 혁신이 2005년까지는 비교적 꾸준한 증가 추이를 보였고, 2005년 이후에 디지털화 기술의 확산과 함께 자동화 영역의 특허가 양적 및 비율적으로 급상승하는 추이를 보였다.

각 국가별 광물생산 대비 특허생산 비율, 즉 기술혁신 정도의 관계는 Fig. 3과 같이 나타났다. 전 세계 총 규모에 대한 각국의 광물생산 비율과 특허생산 비율을 상대적으로 비교하면, 광물생산 국가보다는 ‘작동하는 혁신시스템(functioning innovation system)’을 가진 국가에서 특허생산 비율 즉 기술혁신이 상대적으로 많이 일어난다고 볼 수 있다. 세계 전체에서 한국은 광물생산은 적지만 특허생산 비율이 높은 위치에 있지만, 한편으로 특허생산 비율 1% 이상인 경쟁국들과 비교해보면 우리나라는 상대적으로 기술수준이 낮다는 것을 알 수 있다. 패밀리 특허 비율에 있어서 한국 대비 중국은 12.6배, 미국은 2.2배, 일본은 2.0배, 러시아는 1.6배 등의 규모 차이를 보이고 있다. 특히 중국, 미국, 일본, EU(본 분석 통계에서는 개별 국가들로 나누어져 있지만 연합의 성격으로 볼 경우) 등은 세계 자원 확보에 있어서 우리의 경쟁국들이다. 이제는 자원생산 대비 특허생산 즉 기술혁신이 상대적으로 낮은 자원보유국에 진출하려면 단순 인프라 지원을 넘어 기술혁신 지원을 필요로 하는 시대이므로 이러한 기술경쟁력의 우위는 해외자원개발 진출의 핵심요소이다.

분야별 상대적 기술혁신 정도를 평가하는 척도로 상대전문화지수(relative specialization index, RSI)가 있다. 이

WIPO 보고서(Daly *et al.*, 2019)에 있는 국가별 RSI 자료를 이용하여 국가별 자원개발분야의 상대전문화지수를 Fig. 4에 비교하였다. 여기서 자원개발분야 RSI는, 전 세계 모든 분야의 특허 총량에 대한 전 세계 자원개발분야 특허 총량의 비율(A)을 기준으로 하여, 한 국가의 모든 분야 특허 총량에 대한 그 나라의 자원개발분야 특허 총량의 비율(B)을 상대 비교한 것이다. A, B의 상대적인 비(B/A)에 상용로그를 취한 값이 RSI 값이 된다. RSI가 (+) 값이면 그 나라의 자원개발분야 기술혁신 정도는 세계 평균에 비해 높은 것이고 (-) 값이면 상대적으로 낮은 수준을 의미한다. Fig. 4에서 전체적인 경향을 보면, 자원개발 경제가 산업의 주류인 국가들이 대체적으로 세계 평균보다 높게 타 산업 대비 자원개발 기술혁신 집중도를 보이고 있다. 1990-2004 기간 및 1990-2015 기간을 비교하면 지난 최근 10년간(2005-2015)의 변화 추이를 볼 수가 있다. 자원 부국(보유 및 생산)들의 전체적인 추이는 (+)값의 RSI를 보이면서 최근 10년 동안에 약간 낮아지는 경향을 나타내는데, 이는 자원개발 혁신 집중도는 여전히 높지만 전체 국가산업 발전에 따라 상대적으로 차지하는 비율면에서 약간 줄어드는 것으로 보인다. 한편으로 동남아시아 국가들은 낮은 (+) 또는 (-) 값의 RSI를 가지면서도 최근 10년 동안에 RSI 값이 상승하는 경향을 보인다. 이는 이들 동남아시아 국가들이 근래에 들어 기술적 발전에 투자와 노력을 하고 있음을 유추해 볼 수가 있다. 한국은 그림에 나와 있는 전체 20여개 국가들 중에서 최하위에 머물고 있다. 지난 20여 년간 자원

Fig. 3. Mining production and innovation by country (modified from Daly *et al.*, 2019).

Fig. 4. Mining innovation with respect to the relative specialization index by country (data source : Daly *et al.*, 2019).

개발에 대한 R&D 투자와 기술혁신이 세계 평균이나 타 산업분야에 비해 저조했음을 보여주는 것이다. 그나마 1990-2004 기간에 비해 1990-2015 기간의 RSI 값이 약간 상승(-0.318 → -0.307)한 것은 세부 영역 구분(automation, exploration, mining, transport, refining, metallurgy, processing, environment)에서 최근 10년간(2005-2015) 유일하게 환경(environment) 영역의 RSI 값이 약간 상승한 영향에 의한 것이다. 반면에 자동화(automation) 영역의 RSI 값이 가장 많이 하락한 것으로 나타나서 첨단기법 이용 기술혁신이 저조했음을 볼 수가 있다. 이러한 분석 결과는 2015년까지의 자료를 이용한 것이어서 2015년 이후 현재까지 한국의 자원개발분야의 산업뿐만 아니라 기술혁신 지향적 R&D 투자가 거의 중단된 상황을 고려한다면 이러한 지표가 개선되었을 여지는 없을 것으로 판단된다.

결론

환경은 정책을 변화시키고 기술은 정책을 실현하고 산업을 선도한다. 국가 정책 전략이 성공적으로 실현되려면 잘 기능하는 추진 시스템 즉 이행 프로그램과 실천계획과 투자계획이 잘 책정되어야 한다. 그래야 실천이 가능하고 목표를 실현할 수 있다. 본 연구에서는 최근 수립된 자원관련 분야 정부 기본계획들에 대하여 전략과 투자 이행 프로그램 및 특히 기술혁신 실행계획들의 현황과 수준에 대하여 국내의 자료들을 토대로 분석하였다.

정부 자원개발 기본계획에 관한 논점

2019년 중반에 수립된 <제3차 에너지기본계획(2019-2040)>에 의거하여 2020년 중반 현재 <제9차 전력수급기본계획> 수립이 진행되고 있고 뒤 이어 <제14차 장기천연가스수급계획>이 수립될 예정이다. 자원분야와 관련해서는 2020년 전반에 <제3차 광업기본계획(2020-2029)> 및 <자원개발기본계획(2020-2029)>이 수립되었다. 국가 에너지 믹스 차원에서 특히 천연가스는 에너지기본계획과 전력수급기본계획에서 확대되는 에너지원이므로 앞으로 수립될 새로운 장기천연가스수급계획에는 천연가스·LNG의 개발·확보·수급을 위한 전략과 추진 과제들이 비중있게 구체적으로 제시되어야 할 것이다.

또한 경제 및 국가 안보 차원에서 필수적으로 확보하고 관리해야 하는 원료광물로서 긴요광물(critical minerals)이 급부상하고 있는데, 이미 미국, 일본, 호주, EU 등은 긴요광물(critical minerals) 수급 안정과 안보 전략을 수립하고 재정 투자 이행 프로그램 및 특히 기술혁신 R&D 프로그램을 구체적으로 수립하여 실행하고 있다. 현재 <자원개발기본계획(2020-2029)>이나 <제3차 광업기본계획(2020-2029)> 등에 이 긴요광물(critical minerals)의 표현은 아니지만 희유금속, 핵심광종, 핵심원료광물, 전략자원 등으로 문구적 내용은 담겨져 있고 관련 기술개발계획(자원개발/순환자원 이노베이션로드맵 등)에 포함되어 있긴 하지만, 새로운 안보 개념적 중요성으로 볼 때 선진 외국과 같이 별도의 전략이 수립되어 있지는 않다. 가칭 ‘긴요광물(critical minerals)

전략'과 같은 독립적인 전략 및 실천적 투자 이행 프로그램이 마련되어야 할 것이다.

자원개발분야 기술혁신 국가 수준에 관한 논점

지난 25년간(1990-2015)의 전 세계 국가별 광업분야 특허생산 비율로 기술혁신 정도를 평가할 때, 잘 작동하는 혁신 시스템(functioning innovation system)을 가진 국가에서 기술혁신이 높게 나타났다. 한국은 해외자원개발 시장에서 경쟁해야 하는 국가들인 중국, 미국, 일본, 러시아, EU 등과 비교할 때 2-10배 이상의 비율 차이로 매우 낮은 수준이다. 이제는 기술력이 낮은 자원보유국에 진출하려면 단순 인프라 지원을 넘어 혁신적인 기술을 기반으로 해외자원개발 시장에 진출해야 하는 시대이므로 이러한 기술경쟁력의 우위는 해외자원개발 진출의 핵심요소이다. 또한 타 산업분야 대비 자원개발분야의 상대적 혁신도를 나타내는 상대전문화지수(RSI)에서도 한국은 최하위에 머물고 있는데 이는 지난 20여년간 자원개발에 대한 R&D 투자와 기술혁신이 세계 평균이나 타 산업분야에 비해 저조했음을 보여주는 것이다. 이 분석 통계 기간 이후 현재까지 한국의 자원개발분야 정책, 산업, R&D 투자가 침체되었던 상황으로 미루어 볼 때 기술혁신 지표는 하락 추이에 있을 것으로 이제라도 이에 대한 인식과 태세 전환이 시급하다.

기술혁신 R&D 투자에 관한 논점

기술혁신은 중장기적 R&D 투자의 결과로 나타난다. 현재 정부 차원의 기술개발계획은 <제3차 에너지기본계획(2019-2040)>에 의거한 하부 계획으로 <제4차 에너지기술개발계획(2019-2028)> 및 분야별 <이노베이션로드맵>이 수립되어 있는데, 여기에는 새로운 에너지정책에서 부각되는 천연가스(LNG) 및 긴요광물(critical minerals)에 대한 내용이 기술개발계획 차원에서는 다루어지고 있지만 재정 투자 및 실천 전략 수립은 아직 부족하다. 그리고 <자원개발기본계획(2020-2029)>, <제3차 광업기본계획(2020-2029)> 등은 기본계획 성격상 구체적인 R&D 투자 계획이나 실행 프로그램을 담고 있지는 않다. 석유·가스 및 광물 자원을 포괄하는 자원개발 영역은 절대적인 규모가 매우 크고 국가 에너지 및 산업에서 현실적으로 중요하고 큰 비중을 차지하고 있다. 이에 비하면 기본계획과 기술개발계획을 뒷받침하는 재정 투자 및 이행 프로그램이 별도로 수립되고 있지 않다는 것이 안타까운 일이다. 자원분야가 현재 <제4차 에너지기술개발계획(2019-2028)>에 포함되어 있어서 기술개발 실행계획도 그 속에 한 부분으로 포함되어 있는데, 자원분야의 내용과 투자 비중이 명확하지도 충분하지도 않은 것으로 보인다. 그러므로 에너지·자원 통합적인 기본계획에서 충분히 구체적으로 다루어지지 못한다

면 <신재생에너지기술개발 실행계획>이나 <원자력연구개발계획>과 같이 별도의 독립적 이행 프로그램의 마련도 고려할 필요가 있다.

본 논문에서 상세히 다룰 범위는 아니지만, 이러한 기본계획을 실질적으로 추진하고 실현하는데 있어서 혁신적 이행 프로그램뿐만 아니라 구조적·제도적 개선도 함께 이루어져야 한다. 한 예로서 자원산업 생태계의 건강한 순환과 공기업의 역할은 매우 중요하다. 현실적으로 자원산업 생태계가 어려움에 처해 있고 공기업(한국석유공사, 한국가스공사, 한국광물자원공사)의 자원개발 상류부문 축소와 기술개발 추진 제약이란 여건이 존재하고 있는데, 중장기적 국가 자원안보 및 에너지·첨단원료소재와 연계한 자원산업의 역할을 생각한다면 이러한 산업 생태계 여건 또한 개선되어야 할 것이다. 우리와 자원 여건이 비슷한 일본이 수십 년간 변함없이 유지·확대해오고 있는 공적 구조인 일본석유천연가스금속광물자원기구(JOGMEC) 시스템을 새삼 들여야 볼 필요가 있다.

그리고 기술혁신에 있어서 특히 중요한 병행 요건은 전문기술인력의 확보이다. 산업이 어렵고 침체기에 있을수록 이를 극복하기 위해서는 기술 혁신을 해야 하고 이를 담당하는 주체인 전문기술인력은 기본이다. 정부의 기술개발 R&D 투자 프로그램에서 자원분야 인력양성사업이었던 '자원개발특성화대학사업'이 2019년 초에 종료되었고 후속사업이 아직 마련되지 않은 상태인데 이는 기술혁신 측면에서 매우 심각한 문제이다. 현재의 <제4차 에너지기술개발계획(2019-2028)>에도 인력양성은 중요한 과제로 되어 있는데도 자원개발 인력양성사업이 지속되지 않는 것은 상위 프로그램과 하부 실행계획이 연계되지 못하는 시스템 즉 작동되지 않는 추진 시스템이라고 할 수 있다. 다년간에 걸쳐 자원산업 생태계가 침체되고 공기업의 자원개발 상류부문 축소와 기술개발 추진 참여를 제약하는 여건에서 양성인력 활용에 현실적 한계가 있을 수는 있다. 그렇지만 이러한 산업 환경을 전환할 수 있는 것이 기술혁신의 역할이고 그 주체가 전문기술인력이다. 더구나 이제 에너지·광물 자원이 국가 안보 전략으로 방향 전환이 되고 세계적으로 기술혁신 경쟁체제가 심화되고 있는 환경에서 '스마트·디지털 자원개발기술' 등의 질적 고급전문기술을 지향하는 인력양성 프로그램이 재가동되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 2020년도 한국지질자원연구원(KIGAM) 주요사업 재원으로 지원받은 연구과제인 '심지층 개발과 활용을 위한 지하심부 특성평가기술 개발(GP2020-010: 20-3414)'의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Australian Government (AG), 2019. *Australia's Critical Minerals Strategy*, 22p.
- Axora, 2020. *The smart mine technologies that will revive a post COVID-19 mining industry*, 9p, <https://www.axora.com/reports/smart-mines-covid-19>.
- Daly, A., Valacchi, G., and Raffo, J., 2019. Mining patent data: Measuring innovation in the mining industry with patents. *WIPO (World Intellectual Property Organization) Economic research working paper No. 56*, 61p.
- European Commission (EC), 2017. *Horizon 2020 - SC5 - Research & Innovation Projects CALLS 2014, 2015 and 2016, Climate action, environment, resource efficiency and raw materials*, 237p.
- European Commission (EC), 2019. *Horizon Europe - The next EU research & innovation investment programme (2021-2027)*, 57p.
- Hyder, Z., Siau, K., and Nah, F., 2019. Artificial intelligence, machine learning, and autonomous technologies in mining industry. *Journal of Database Management*, 30(2), p.67-79.
- KETEP, 2020a. *4th Energy Innovation Roadmap-Resources Development*, Seoul, Korea, 123p.
- KETEP, 2020b. *4th Energy Innovation Roadmap-Resources Circulation*, Seoul, Korea, 148p.
- Lasley, S., 2020 (release date : 2020.01.21.). *Australia invests A\$27M in mining technology*, *Metal Tech News*, 2020.06.20, <https://www.metaltechnews.com/story/2020/01/08/mining-tech/australia-invests-27m-in-mining-technology/120.html>.
- Lee, C., Kim, S.M., and Choi, Y., 2019. Case analysis for introduction of machine learning technology to the mining industry. *Tunnel & Underground Space*, 29(1), p.1-11.
- Loow, J., Abrahamsson, L., and Johansson, J., 2019. Mining 4.0-the impact of new technology from a work place perspective. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 30, p.701-707.
- METI, 2020. *New international resources strategy*, Tokyo, Japan, 14p.
- MOTIE, 2019. *The 3rd energy basic plan*, Sejong-si, Korea, 116p.
- MOTIE, 2020a. *The 3rd mining basic plan(2020-2029)*, Sejong-si, Korea, 24p.
- MOTIE, 2020b. *Resources development basic plan(2020-2029)*, Sejong-si, Korea, 32p.
- PACST, 2019. *The 4th Energy technology development plan (2019-2028)*, Seoul, Korea, 35p.
- Rigby, D.K. and Tager, S., 2014. *Leading a digital transformation*, Bain & Company report, 16p.
- Rody, M., 2019. *Sustainable intelligent mining systems world class demonstrations*, 34p.
- SIMS, 2020.06.20., <https://www.simsmining.eu>.
- SLIM, 2020.06.20., <https://www.slim-project.eu>.
- US DOC, 2019. *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*, 50p.
- US DOE, 2020a (release date : 2020.04.14.). *Department of Energy to Provide \$18 Million for Research on Critical Materials*, 2020.06.20, <https://www.energy.gov/articles/departments-energy-provide-18-million-research-critical-materials>.
- US DOE, 2020b (release date : 2020.05.04.). *Department of Energy Announces \$30 Million for Innovation in Critical Materials Processing Technologies*, 2020.06.20, <https://www.energy.gov/eere/articles/departments-energy-announces-30-million-innovation-critical-materials-processing>.
- USGS, 2018 (release date : 2018.05.18.). *Interior Releases 2018's Final List of 35 Minerals Deemed Critical to U.S. National Security and the Economy*, 2020.06.20., <https://www.usgs.gov/news/interior-releases-2018-s-final-list-35-minerals-deemed-critical-us-national-security-and>.
- World Economic Forum (WEF), 2017a. *Digital Transformation Initiative-Mining and Metals Industry*, 35p.
- World Economic Forum (WEF), 2017b. *Digital Transformation Initiative-Oil and Gas Industry*, 33p.

신 중 호

1983년 서울대학교 공과대학 자원공학과
공학사
1985년 서울대학교 대학원 자원공학과 공
학석사
1990년 서울대학교 대학원 자원공학과 공
학박사

현재 한국지질자원연구원 지질환경연구본부 책임연구원
(E-mail: jhsynn@kigam.re.kr)