

# 중점보고서

## 4차 산업혁명과 광물자원 (북한자원개발 중심)

- I. 검토배경
- II. 4차 산업혁명과 핵심광물자원
- III. 우리나라 핵심광물자원 현황
- IV. 북한 광물자원 활용 가능성
- V. 남북 자원개발협력을 위한 개선과제

### 작성

선임연구원 성동원 (3779-6680)

dwsung@koreaxim.go.kr





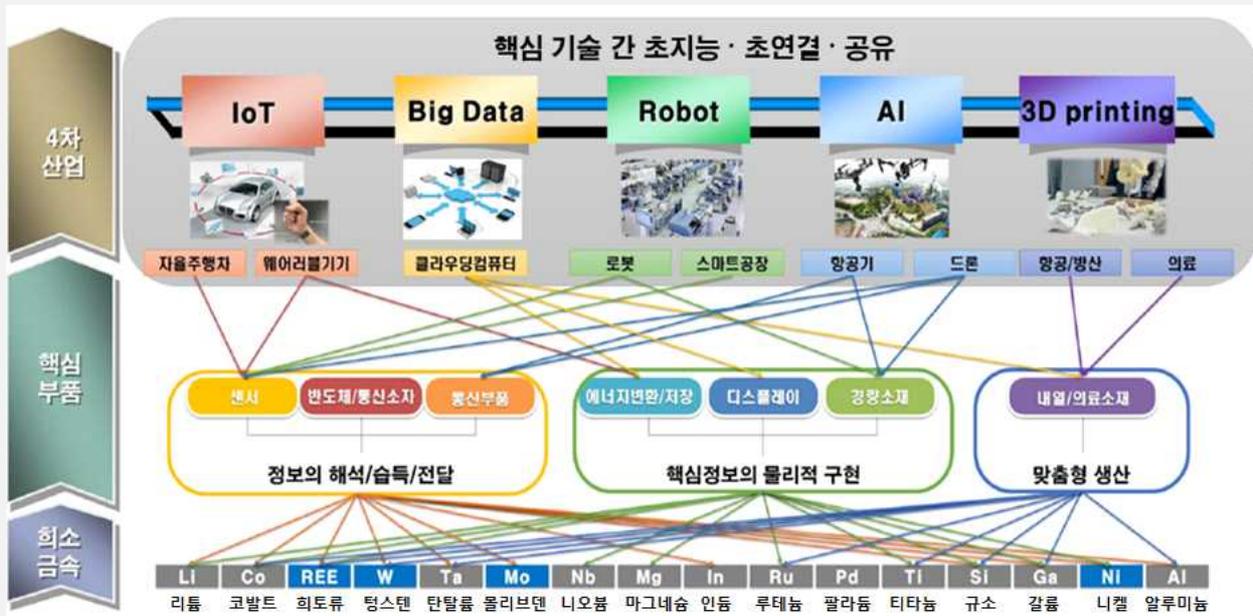
## <요 약>

### 1. 4차 산업혁명과 핵심광물자원

4차 산업혁명 시대로의 전환으로 인공지능, 사물인터넷 등과 관련된 핵심부품 제조에 사용되는 광물수요 급증 전망

- 특히 4차 산업혁명 기술 구현과 관련하여 “정보해석·습득·전달”, “물리적 구현”, “맞춤형 생산” 분야의 핵심부품에 필요한 광물 확보 중요성 확대

#### 4차 산업혁명 핵심기술과 희소금속



자료: 한국희소금속산업기술센터

경제·산업 가치가 중요하나 공급·환경 리스크가 큰 소재 자원, 즉 핵심광물자원(Critical Materials, 이하 CM) 수요 급증에 따라 안정적 확보 중요

- EU, 미국, 일본 등 선진국은 미래 산업 전망에 기반하여 CM을 선정하고, CM 확보 및 관리 전략 수립·시행 중
- EU는 2008년 11월, 광물자원기본 전략인 Raw Materials Initiative(이하 RMI)를 책정하고, 수요확대가 예상되는 에너지 기술에 사용되는 물질을 CM으로 선정
- 미국은 국방 전략에 중대한 영향을 미치는 희토류, 신재생에너지 기술 등과 관련된 CM 선정 및 관리
- 일본은 성장동력산업 육성을 위한 핵심물질 수요 전망, 환경 위해성 등을 고려하여 CM 관리



## 2. 우리나라 핵심광물자원 현황

한국광물자원공사는 전략 측면과 시장 측면의 중요도를 고려한 Matrix 분석기법을 활용하여 CM 선정

- 5대 핵심광물: 리튬(Li), 코발트(Co), 텅스텐(W), 니켈(Ni), 망간(Mn)
- 12대 관심광물: 희토류(REE), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 인듐(In), 백금족(PGM), 크롬(Cr) 니오븀(Nb), 실리콘(Si), 티타늄(Ti), 마그네슘(Mg), 갈륨(Ga), 바나듐(V)

우리나라는 CM 산업화 과정\* 중 제품산업 외에 모두 해외에 의존하고 있는바 단기적으로 수입 안정화 및 비축을 통한 수급 안정성 추구

\* 광물을 채굴하여 정련, 제련과정을 거쳐 소재·부품화하고 최종제품에 사용한 후 폐제품에서 CM을 회수하는 과정

중장기적으로 도시광산 산업 활성화를 통한 재자원화와 해외자원개발 등 안정적 공급능력 확보에 주력한다는 방침

- 민간기업의 해외자원개발 투자 활성화를 위해 기술·자금·인력 등 종합지원 체계를 구축했으나 우리나라의 해외 광물자원 개발 투자는 2011년 이후 자원가격 하락, 공기업 부채 이슈로 해외 자원개발 사업 전면 중단, 정부의 민간기업 지원 축소 등으로 급감

### 우리나라의 CM 확보방안



자료: 한국광물자원공사 자료 재작성



### 3. 북한 광물자원 활용 가능성

**북한은 매장량 세계 10위권의 광물자원들을 다수 보유한 것으로 알려졌으나 매장량에 관한 공신력 있는 자료는 없는 상황**

- 북한 부존 광물은 약 500여종, 이 중 유용한 광물은 약 200여종, 이 중 경제성 있는 광종은 약 20여 종인 것으로 파악
- 대표적인 광물자원인 마그네사이트는 품질도 양호하고, 매장량이 60억 톤에 이르고, 4차 산업혁명 핵심기술과 연관이 높은 희토류도 다량 매장된 것으로 추정
- 다만 공신력 있는 자료 부재로 매장량이 부정확하고 신뢰도가 결여되었다는 한계가 있으며, 북한 광물자원 부존 및 가치에 대한 과도한 확대 해석 우려도 존재

**북한 광물자원의 경제적 가치는 국제 자원 가격, 평가 기관, 평가 시기 등에 따라 그 결과가 매우 달라짐**

- 전체 광물자원(희토류, 석회석, 갈탄 제외)의 잠재 가치는 3조~4조 달러에 달하나 경제성 있는 가채매장량 기준으로는 약 5,370억 달러로 추산
- 북한 희토류 매장량 가치는 3,460억~4조6,200억 달러로 추산

#### 4차 산업혁명과 관련하여 남북 자원개발 협력이 특히 기대되는 광물은 희토류와 마그네사이트

- 희토류는 미래첨단산업의 주요 부품의 필수 원료로 북한에 다량 매장되어 있는바 남한의 자본력과 기술력을 결합하여 희토류 산업생태계 구축 가능
- 북한 마그네사이트를 활용한 마그네슘 합금산업 등 광물기반의 고부가 소재산업 분야도 남북 협력 시너지가 클 것으로 기대

**남북 자원개발 협력을 통해 남한은 자원안보 및 수익성, 첨단산업 경쟁력을 확보하고, 북한은 경제발전 토대 마련 가능**

- 남한은 북한자원의 단순도입을 넘어 자원개발사업에 직접 참여함으로써 원료자원 수급 안정화를 도모하고, 광업부문의 사업영역 확대와 첨단산업 경쟁력 제고 가능
- 북한은 남한 자본 및 기술력을 활용하여 침체된 광업 부문 도약을 모색하고, 이를 활용하여 경제발전 토대 마련 가능

#### 남북 자원개발 협력의 경제효과

광업협력 분야	남한	북한
북한 광산 개발투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원료자원의 수급 안정</li> <li>• 원료수송비용 절감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광물자원 생산 및 수출증가</li> </ul>
신규 제철·제련산업의 북한 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신규 제철, 제련산업의 부지 확보</li> <li>• 원료공급지 근교에 제철·제련 설비 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 북한 광물자원 산업의 고부가 가치화</li> <li>• 첨단기술이전, 고용효과</li> </ul>

자료: 남북의 지하자원과 남북자원협력(2017), 김동환(‘북한 광물자원의 경제성 평가 방안’) 발표자료 재인용, 발췌



#### 4. 남북 자원개발협력을 위한 개선과제

##### 북한 광물자원개발 투자협력을 위해서는 각종 리스크 해소가 선결되어야 함

- 남북 자원개발협력을 위해 북한 정치적 리스크를 비롯한 각종 리스크 해소 선결이 요구되는데, 북한 자원개발산업 진출 시 제반 리스크 분석과 그에 따른 진출 타당성 검토와 전략 수립 필요

##### 높은 정치적 불안정성: 과거 남북한이 공동으로 광물자원 개발투자를 진행한 적이 있으나 정치적 이슈로 중단

- 정치적 관계 악화로 민간기업이 사업을 철수하게 되는 경우에 최소한의 철수기간 보장과 재산 보호 방안 등에 대해 북한당국의 구속력 있는 합의 체결 필요

##### 인프라 부족: 효율적인 자원개발에 필수적인 도로·철도·항만 등 인프라 구축 미비, 전력 등이 부족하며, 소규모 설비, 노후화된 재래식 개발 등 기술력 부족으로 생산성이 매우 낮음

- 광업은 북한 GDP 중 12~13%, 전체 수출액의 약 50%를 차지하는 핵심 산업이나 인프라 및 기술력 부족으로 광업분야 생산성이 매우 낮고, 1990년대 이후 생산량 급감
- 광물자원개발 뿐 아니라 인프라 확충을 위해 대규모 투자가 필요하므로 북한 당국과 협상을 통해 투자 안전성을 보장해 주는 제반 장치들을 마련할 필요

##### 법제도 미비: 북한 광업은 국가 주도 하에 이루어지며, 자원 탐사·개발 관련 활동은 지하자원법으로 규정·관리하고 있으나 관련 법제도 내용 불명확 등 문제 발생 여지 존재

- 북한 지하자원법 상 민간자본이 지하자원 개발할 권리는 있지만 채굴자원을 이동, 처분하는 권리에 대해서는 명시되지 않아 민간기업 투자 시 문제 발생 가능성을 내포하고 있으므로 이와 관련하여 북한 당국과 민간투자자 위험을 완화하는 사전 작업 필요

##### 공신력 있는 매장량 정보 부재: 북한 매장량에 대한 상세정보가 없고, 국제적 기준과 상이

- 국제적 기준에 부합하는 북한 광물자원 정보에 대한 데이터베이스 구축 필요

#### 북한 광물자원개발 투자 시 예상되는 위험

위험	내용
정치적 불안정성	<ul style="list-style-type: none"> <li>남북한의 정치적 관계 악화에 따른 사업상 손실 발생 위험 (예: 개성공단 폐쇄)</li> </ul>
인프라 구축 미비	<ul style="list-style-type: none"> <li>자원개발에서는 전력, 용수 확보, 도로, 철도, 항만 등의 인프라 구축 여부가 중요한 선결과제이나, 현재 북한은 만성적인 전력 부족 상태이고, 사회기반시설 역시 노후화</li> <li>인프라 구축 전에는 광물 선광 및 제련설비 투자가 어렵고, 채광작업 역시 제한받을 가능성이 큼</li> </ul>
법제도 미비	<ul style="list-style-type: none"> <li>북한의 광물 채취 및 개발 관련 규정이 국가 통제 하에 매우 모호하게 기술되어 있어 민간투자에 어려움 존재</li> <li>남북경협 활성화 단계 이후에도 제도 정립 방향에 따라 민간 투자 방식에 영향을 끼칠 가능성 존재</li> </ul>
공신력 있는 매장량 정보 부재	<ul style="list-style-type: none"> <li>광종별 광산 분포 현황, 광물품위, 자원의 경제성 보유 여부에 대한 투명하고 구체적인 정보 부재</li> </ul>

자료: 삼성KPMG 등



## I. 검토배경

- ‘제4차 산업혁명’이란 용어는 2016년 세계 경제 포럼(WEF: World Economic Forum)에서 언급된 이후 정보통신기술(ICT) 기반의 새로운 산업시대를 대표하는 용어로 부상<sup>1)</sup>
- 4차 산업혁명은 인공 지능, 사물 인터넷, 빅데이터, 모바일 등 첨단 정보통신기술이 경제·사회 전반에 융합되어 혁신적인 변화가 나타나는 차세대 산업혁명을 의미
- 즉 인공 지능(AI), 사물 인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터, 모바일 등 지능정보 기술이 기존 산업과 서비스에 융합되거나 3D 프린팅, 로봇공학, 생명공학, 나노기술 등 여러 분야의 신기술과 결합되어 실세계 모든 제품·서비스를 네트워크로 연결하고 사물을 지능화하는 것
- 제4차 산업혁명은 컴퓨터, 인터넷으로 대표되는 제3차 산업혁명(정보 혁명)에서 한 단계 더 진화한 혁명으로 일컬어지며, 초연결(hyperconnectivity)과 초지능(superintelligence)을 특징으로 하기 때문에 기존 산업혁명에 비해 더 넓은 범위에 더 빠른 속도로 영향을 끼침

[그림 1] 4차 산업혁명



자료: 네이버 지식백과

1) 네이버 지식백과(IT용어사전) 인용



- 자원개발산업에서는 4차 산업혁명 관련 기술을 활용하여 자원개발 전과정을 디지털 화함으로써 효율 및 생산성 제고 가능
- 한편 4차 산업혁명과 함께 부상하게 된 신제품(New Commodity), 가령 자율주행/전기자동차, 2차전지/ESS<sup>2)</sup>, 태양광/풍력 발전설비, 첨단무기 등에 사용되는 주요 핵심 부품제조에 필요한 금속광물 수요가 급속히 증가
- 이에 따라 주요 산업 분야별로 필요한 광물 가격이 급등하는 등 안정적인 광물 확보와 관리의 중요성이 더욱 확대
- 주요국들은 이미 수년 전부터 국가차원에서 핵심광물자원(Critical Materials) 확보와 지속가능한 관리 전략에 대해 고민해 오고 있음
- 4차 산업혁명 주도를 위해 국가적인 차원에서 관련 광물자원의 안정적인 확보와 지속가능한 관리를 할 필요가 있으며, 본고에서는 광물자원 확보의 일환으로서 북한자원 활용 가능성에 대해 살펴보고자 함

---

2) ESS(Energy Storage System, 에너지 저장 시스템): 에너지 저장은 장치 혹은 물리적 매체를 이용하여 에너지를 저장하는 것을 말함. 이에 쓰이는 장치를 축압기라고 하고, 더 넓은 범위의 시스템 전체를 “에너지 저장 시스템(ESS)”이라고 함. 일반 가정에서 사용하는 건전지나 전자제품에 사용하는 소형 배터리도 전기에너지를 다른 에너지 형태로 변환하여 저장할 수 있지만 이런 소규모 전력저장장치를 ESS라고 말하지는 않고, 일반적으로 수백 kWh 이상의 전력을 저장하는 단독 시스템을 ESS라고 함.(출처: 네이버 지식백과)



## II. 4차 산업혁명과 핵심광물자원

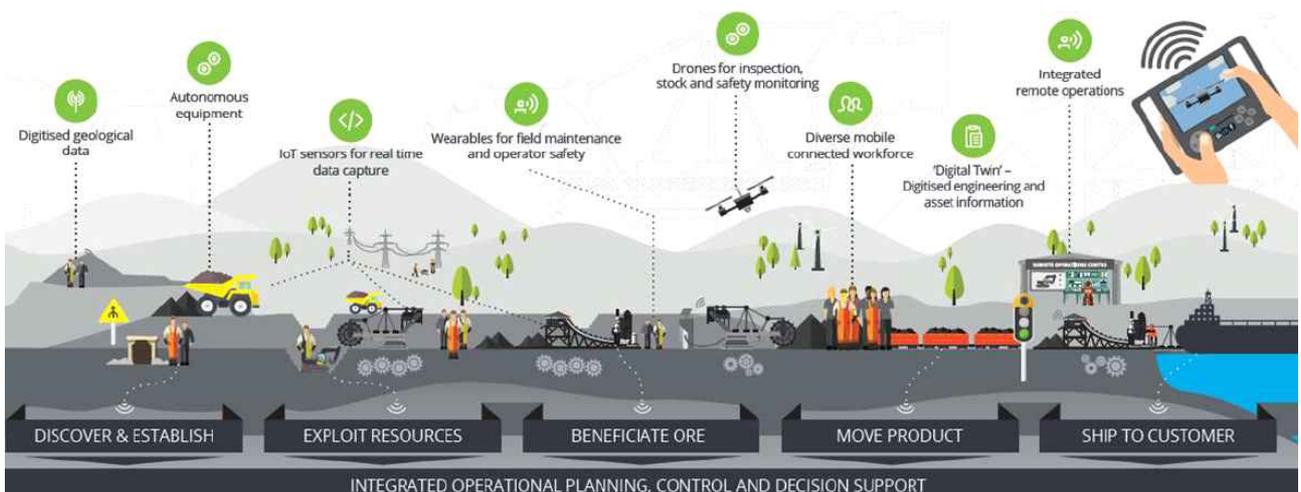
### 1. 4차 산업혁명과 자원개발산업

#### 가. 자원개발 기술의 디지털화(Digital Mine)

자원개발산업에 4차 산업혁명 관련 기술을 도입하여 디지털/스마트 광산 및 유전 시장이 빠르게 성장할 전망

- 디지털/스마트 광산 시장은 연평균 14.5%로 성장, 2020년 130억 달러의 규모 예상 (FMI, 2016)
- IoT/AI를 활용한 무인화·자동화·정보화를 통해 자원탐사·개발 과정을 최적화하고 안전성 및 생산성 제고 가능
- 메이저 광물기업 Rio Tinto는 'Mine of the Future' 프로그램을 통해 디지털 광산 시스템 구축
  - IoT 무인화 및 자동화로 복수 광산을 원격 집중 관리함으로써 효율적이고 안전한 관리 가능
  - 프로그램 도입을 통해 호주 필바라(Pilbara) 철광석 광산의 Cash Cost가 2013년 대비 2017년 40% 절감

[그림 2] 디지털/스마트 광산 개념도

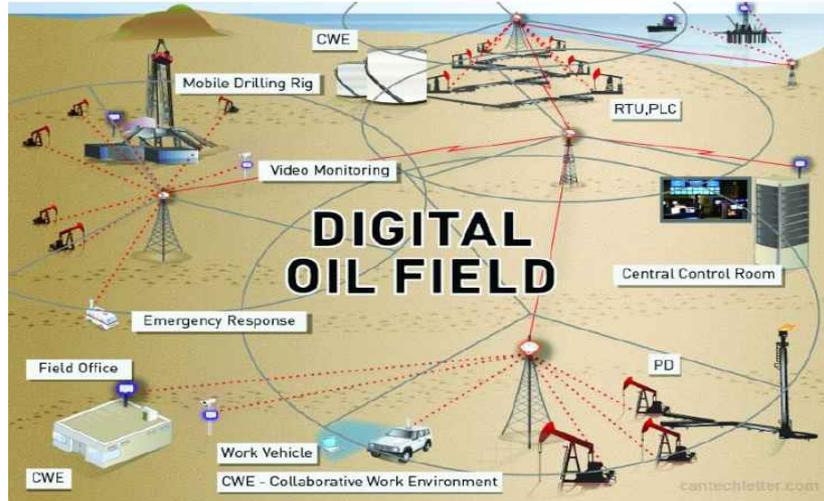


자료: <http://minutes.machine.market>, 2016.9.9; Deloitte, The digital revolution, 2017.02; <http://telecomunicaciones-peru.blogspot.kr>, 2016.7.17., 한국지질자원연구원 재인용



- 디지털 유전 시장은 연평균 4.31%로 성장하여 2020년 300억 달러 규모 전망 (Markets and Markets, 2015)
- 자원개발 전과정에 대해 IoT/AI 기술을 활용하여 실시간 모니터링과 최적화 도모

[그림 3] 디지털 유전



자료: <http://naturalgasnow.org>, 2017.11.11, <http://www.tpfz.com>, Petroleum Experts, 2012, 한국지질자원연구원 재인용

### 석유·가스 E&P<sup>3)</sup> 부문, 디지털화를 통해 연간 730억 달러 비용절감 가능

- 석유·가스 상류 부문에 디지털 기술을 적용하여 연간 730억 달러의 비용절감 가능 (Wood Mackenzie)
- 기존 유·가스전 E&P 과정에서 많은 양의 탄성파 자료 처리 등 고난이도 작업과 해상 플랫폼 모니터링·관리 등 고위험 작업이 확대되는 상황에서 디지털 기술을 적용함으로써 비용절감 규모가 확대될 전망
- 실리콘밸리의 첨단기술을 석유·가스 개발 산업에 접목시키려는 움직임 가속화
- 디지털 기술을 활용한 비용절감 효과는 신속 정확한 시추 및 생산자산 유지보수 시점 파악을 위한 모니터링 부문과 클라우드 컴퓨팅<sup>4)</sup> 부문이 가장 클 것으로 분석
- 연간 탐사비를 500억 달러에서 약 350억 달러 수준으로 낮추고, 천해·육상 시추에서는 120억 달러 절감 가능
- 노르웨이 Equinor도 자동화를 통해 2020년까지 시추기간을 15~20% 단축 가능하다고 주장

3) 탐사·생산(exploration & production)

4) 인터넷 상의 서버를 통하여 데이터 저장, 네트워크, 콘텐츠 사용 등 IT 관련 서비스를 한 번에 사용할 수 있는 컴퓨팅 환경



- 미국 독립계 세일기업들이 혁신적인 디지털 혁명 주도
- 세일기업들은 10년 전부터 메이저기업 및 전통유전 개발기업에 비해 신기술을 빠르게 개발·적용하고 있는 것으로 평가

## 나. 핵심광물자원(Critical Materials) 수요 확대

### 4차 산업혁명 시대로의 전환에 따라 인공지능, 사물인터넷 등과 관련된 핵심부품 제조에 사용되는 광물 수요 급증 전망

- 미래 유망한 신산업 분야를 중심으로 4차 산업혁명 기술을 적용한 New Commodity 가 확대될 전망
- New Commodity 제조에 필요한 광물 수요도 크게 확대될 것
- New Commodity에는 4차 산업혁명과 관련한 기술을 적용한 로봇, 자율주행/전기차, 친환경 에너지 산업과 관련한 2차 전지/ESS, 태양광/풍력 발전 설비, 국방산업과 관련한 첨단 무기, 전자제어장비 등이 있음
- 이에 New Commodity에 필요한 광물자원 확보 경쟁이 심화될 전망이며, 가격 또한 급등할 위험 상존

[그림 4] 미래 신산업 분야의 New Commodity



자료: 한국지질자원연구원 자료 재구성

- 예를 들어 전기자동차는 2016년 100만 대 수준에 불과하나, 기술개발, 주요국 정책적 지원 등에 힘입어 빠른 속도로 증가하여 2035년경에는 1억4천만 대 수준이 될 전망으로 전기차 제조에 필요한 구리, 리튬, 코발트 등 광물수요도 더불어 급증할 전망



- 전기차 1대 제조에 필요한 구리 양은 약 80킬로 수준으로 기존 내연자동차 20킬로 대비 약 4배에 달하여 2035년 전기차 제조를 위해 약 1,100만 톤의 구리가 소비될 것으로 추정
- 한편 전기차에 동력을 제공하는 리튬이온 배터리의 양극재로 사용되는 리튬, 코발트, 니켈, 망간 등의 수요도 확대될 전망

[표 1] 리튬이온배터리(양극재) 시장 전망

구분	'16년 수요	리튬이온배터리	
		'16년	'20년
리튬 (LCE)	18만톤	7만톤	32만톤
코발트	11만톤	5만톤	10만톤
니켈	2백만톤	3만톤	30만톤
망간	15백만톤	2.5만톤	6만톤

자료: 리튬이온 2차전지 양극재 기술동향 및 시장전망(SNE Research, '17년), 한국광물자원공사 재인용

### 특히 4차 산업혁명 기술 구현과 관련하여 “정보해석·습득·전달”, “물리적 구현”, “맞춤형 생산” 부분의 핵심부품에 필요한 광물 확보 중요성 확대

- 4차 산업혁명 핵심인 ‘초지능, 초연결 및 융합화’ 구현을 위해 센서, 반도체, 방열 소재 등이 “정보해석·습득·전달” 분야의 핵심 부품
- **센서:** 정보 감지 및 해석을 통해 전기적 신호로 변환하는 장치 및 시스템
  - 소재, 소자, 모듈, 시스템 총괄
  - 자동화 시스템의 기초로 4차 산업혁명 핵심소재·부품으로 상공회의소는 2027년 1조 개의 센서 시대 전망
  - 전략 원소: 규소(Si), 코발트(Co), 바륨(Ba), 티타늄(Ti), 바나듐(V), 아연(Zn), 리튬(Li), 란타넘(La), 탄탈럼(Ta), 백금(Pt), 주석(Sn), 지르코늄(Zr) 등 센서 용도 및 원리에 의해 사용
- **반도체:** 반도체성 물질을 이용하여, 정보 저장, 해석, 연산, 제어 및 조명에 사용되는 소재 및 부품
  - 웨이퍼, 전구체, 타겟, 기판 등 반도체 재료, 부품 및 공정·측정 장비
  - 센서, 컴퓨터, 저장장치, IoT 제품, 조명, 디스플레이 등 모든 전자기기에 응용되는 핵심 소재
  - 전략 원소: 규소(Si), As(비소), In(인듐) 등



- **방열소재:** 고성능화·고집적화된 전자기기의 고열로 인한 손상 방지를 위한 소재
  - 4차 산업혁명 핵심 부품을 구성하는 고열전도성, 고성형성 및 고분산성 소재를 의미
  - 전자제품 고장 원인 대부분이 발열로 조사됨
  - 전략 원소: 베릴륨(Be), 알루미늄(Al), 규소(Si), 금(Au), 구리(Cu), 납(Pb), 은(Ag), 탄소(C) 등
- '초지능, 초연결'을 통해 전달된 정보를 바탕으로 사용자가 원하는 움직임과 시각적 효과를 "물리적으로 구현"하기 위한 모터, 디스플레이, 에너지 저장·변환 소재 및 경량 소재 관련 부품
- **에너지 변환·저장:** 열, 진동, 압력, 빛 등의 에너지를 전기 에너지로 변환하는 에너지 하베스팅 기술<sup>5)</sup>(변환) 및 전자기기 구동을 위한 에너지 저장 및 공급용 장치 및 시스템(저장)
  - 변환: 전자기기 성능 향상과 특수성능 구현을 위한 열전소재<sup>6)</sup>, 압전소재<sup>7)</sup>, 태양전지 등을 구성하는 소재 및 부품
  - 저장: 에너지의 원활한 저장 및 공급을 위한 배터리, 커패시터용 소재, 부품 및 에너지 관리 시스템
  - 전략 원소: 비소(As), 지르코늄(Zr), 티타늄(Ti), 비스무트(Bi), 안티모니(Sb), 규소(Si), 인듐(In), 리튬(Li), 코발트(Co), 망간(Mn), 니켈(Ni), 규소(Si), 바나듐(V) 등
- **구동(모터):** 전기에너지를 기계·회전에너지로 변환하여 운동시키는 소재 및 부품
  - 주로 희토류계(Nd, Sm-Co) 자석을 통칭하며, 냉장고, 세탁기, 컴퓨터, 핸드폰 등 모든 전자제품에 사용
  - 전기차 시장 확대에 급속한 수요증가 예상
  - 전략 원소: 네오디뮴(Nd), 디스프로슘(Dy), 프라세오디뮴(Pr), 터븀(Tb), 사마륨(Sm), 코발트(Co) 등
- **경량 소재:** 4차 산업혁명 주요 완성제품의 경량화를 위한 저밀도 고강도 소재와 이를 이용한 부품
  - 미래형 수송기기는 전기동력을 전제로 하고 있어 연비와 성능향상을 위한 부품 경량화 필수
  - 소재 확보 및 고순도화 관련 기술 확보 필요
  - 전략 원소: 알루미늄(Al), 티타늄(Ti), 마그네슘(Mg) 등

5) 일상생활에서 버려지거나 소모되는 힘, 압력, 진동과 같은 에너지를 모아 전기에너지로 변환해주는 신재생에너지 발생 기술

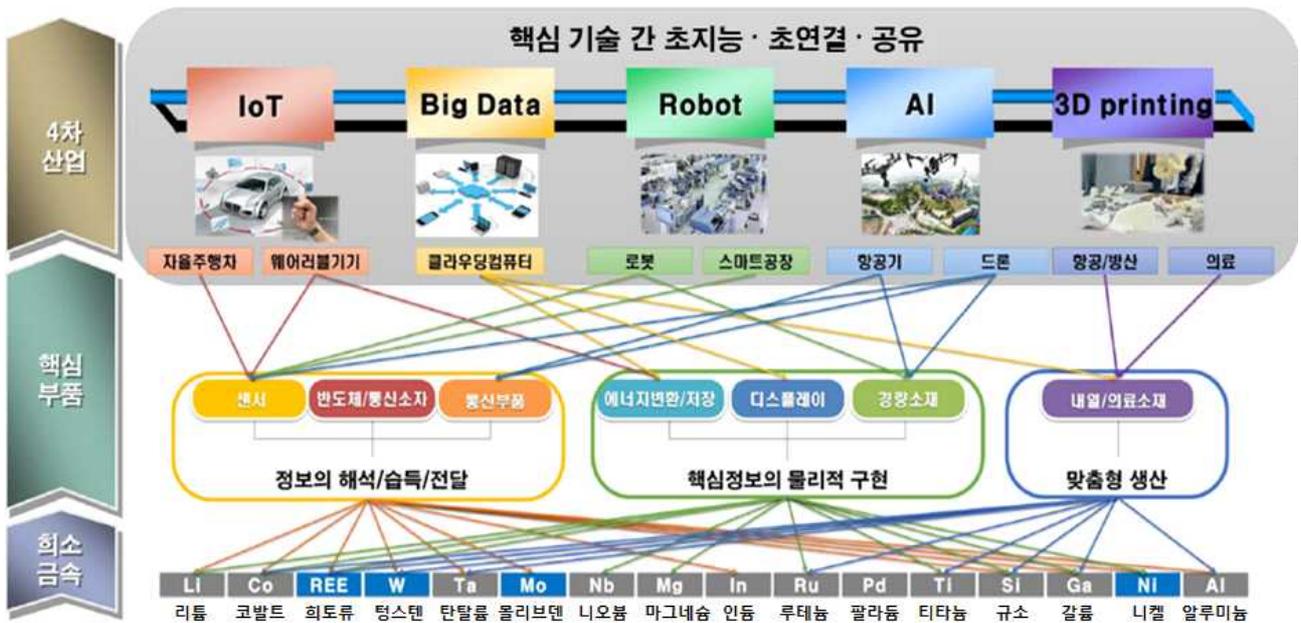
6) 주변의 열을 전기 에너지로 바꾸거나 반대로 전기에너지로 온도를 낮추거나 올릴 수 있는 소재로 와인냉장고, 자동차 시트 쿨러, 정수기 등에 사용

7) 압력을 받으면 전기를 스스로 생산해 내는 소재



- 4차 산업혁명은 생산성 향상과 대량 주문제작(Mass Customization) 및 개인화(Personalization)의 결합으로 사용자와 응용분야별 “맞춤형 생산” 부각
- **3D 프린팅:** 의료, 국방, 항공, 발전, 고정밀, 고경량 부품 등 다양한 분야의 맞춤형 생산을 위한 3D 프린팅 소재 및 공정기술 중요
  - 적층을 통해 3차원 물체를 제조하는 기술로서 제조비용과 시간을 혁신적으로 단축
  - 다품종 소량 생산에 적합한 금형, 항공우주, 국방, 의료 등이 국가 전략적 응용분야
  - 제작 자유도가 높아 신설계 도입을 통한 성능향상 가능
  - 금속 3D 프린팅 분야의 경쟁력 강화를 위한 3D 프린팅용 소재(금속분말)의 기술개발 필수
  - 전략 원소: 의료부문은 티타늄(Ti), 코발트(Co) 등, 항공, 우주, 국방, 발전부문은 Ni(니켈), Ti(티타늄), W(텅스텐), Mo(몰리브덴) 등

[그림 5] 4차 산업혁명 핵심기술과 희소금속



자료: 한국희소금속산업기술센터



## 2. 선진국 CM 관리체계

### 경제·산업 가치가 중요하나 공급·환경 리스크가 큰 소재 자원, 즉 핵심광물자원 (Critical Materials, 이하 CM) 수요 급증으로 안정적 확보 중요

- EU, 미국 일본 등 선진국은 미래 산업 전망에 기반하여 CM을 선정하고, CM 확보 및 관리 전략을 수립·시행 중
- 국가의 자원관리 정책 수립·시행 시 시장 현황 및 공급 리스크 반영 평가 결과 활용
- 미래 신산업 기술 기획 및 추진 정당성 확보를 위한 기반 자료

### 국가별로 중요한 광물자원은 국내 수요, 가격변동, 공급 국가에 대한 지정학적 리스크, 대체재 이용 가능성 등 다양한 요인에 따라 상이

- 유럽, 미국 등 주요국에서 2010년 이후 진행되고 있는 CM 선정 및 관리 체계는 미래 기술 및 산업구조 변화 전망에 기반
- CM 관리에 대한 중요성이 인식되면서 현재뿐 아니라 향후의 자원수급 불균형 및 자원소비로 인한 환경 영향을 낮추고, 친환경 기술 및 미래 신기술 개발에 따라 필요한 원재료 수급 리스크 발생에 대비하기 위해 CM을 지정하고 관리
- 유럽, 미국 등은 신재생에너지 보급 확대에 따른 원재료 리스크 평가, 일본은 성장동력산업 중심의 핵심 원재료 파악

### EU는 2008년 11월, 광물자원기본 전략인 Raw Materials Initiative(이하 RMI) 책정, 수요확대가 예상되는 에너지 기술에 사용되는 물질에 대해 CM 선정

- EU는 통합전략 RMI 하에 ①국제시장에서 원재료 접근성 확보, ②EU내 지속적 공급 체제 환경 정비, ③원재료 소비 삭감 가속화 등 3가지 주요 전략 추진
- 2010년 EU위원회는 41광종을 대상으로 리스크를 평가하여 EU 경제에 중요한 하이테크 금속이면서 공급 리스크 및 환경 리스크가 높은 금속 14종<sup>8)</sup>을 'Critical raw materials'로 선정
- 유럽 위원회는 환경변화를 반영하여 리스크 평가를 주기적으로 3년마다 시행하고, 위기 원재료에 대한 대체연구 촉진, 전주기에 걸친 종합적 효율 향상 기술 및 시스템 개발을 추진하고, 이러한 대응책은 EU 각국의 시책이 되고 있음
- 위기 원재료를 우선 대상으로 유럽 RMI 전략을 시행하여 EU 역내에 존재하는 광물 자원의 GIS(지리정보시스템) 데이터 관리와 데이터 시각화 추진

8) 안티몬, 베릴륨, 코발트, 형석, 갈륨, 게르마늄, 흑연, 인듐, 마그네슘, 니오븀, 백금족, 희토류, 탄탈륨, 증석

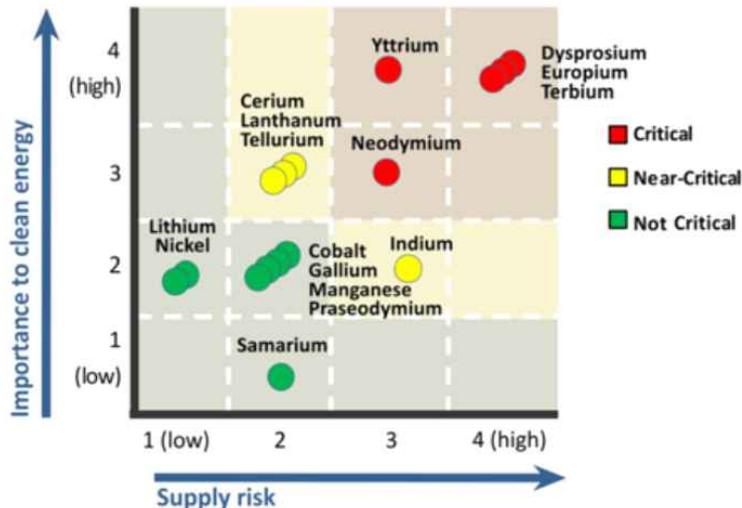


- EU 위원회는 수요확대가 전망되는 6대 에너지 기술(이산화탄소저장(CCS), 원자력, 태양열, 풍력, 바이오연료, 스마트 그리드)에 사용되는 60여종의 물질에 대한 위기성을 평가하여 Critical Metals 선정

### 미국은 국방 전략에 중대한 영향을 미치는 희토류, 신재생에너지기술 등과 관련된 CM 선정 및 관리

- 미국은 세계 희토류 원소 생산량의 약 5%를 미국 국방 목적으로 이용하고 있어, 미국 국방 전략에 중대한 영향을 미치는 희토류의 안정적 공급방안 마련을 위해 고심
- 국방 전략 중대성 외에 신재생에너지 확대에 따라 미국 에너지성(Department of Energy, 이하 DOE)이 신재생에너지 기술과 관련된 CM 선정 및 관리
- 2010년 12월 DOE는 CM 전략(Critical Materials Strategy) 공표
- 청정 에너지 기술 4개 분야(영구자석, 전지, 태양전지 박막, 형광 물질)에서 핵심이 되는 12광종<sup>9)</sup>에 대해 신재생에너지기술에서 중요성, 공급 리스크(대체성, 공급원 다양성, 정치/사회적 리스크 등)를 중단기로 구분하여 금속별 위기성 평가

[그림 6] Critical Materials 평가(미국 에너지 부문)



주: Short-term criticality assessment of several minerals relevant for the energy-sector using the NAS methodology  
자료: DOE 2011 Critical Materials Strategy

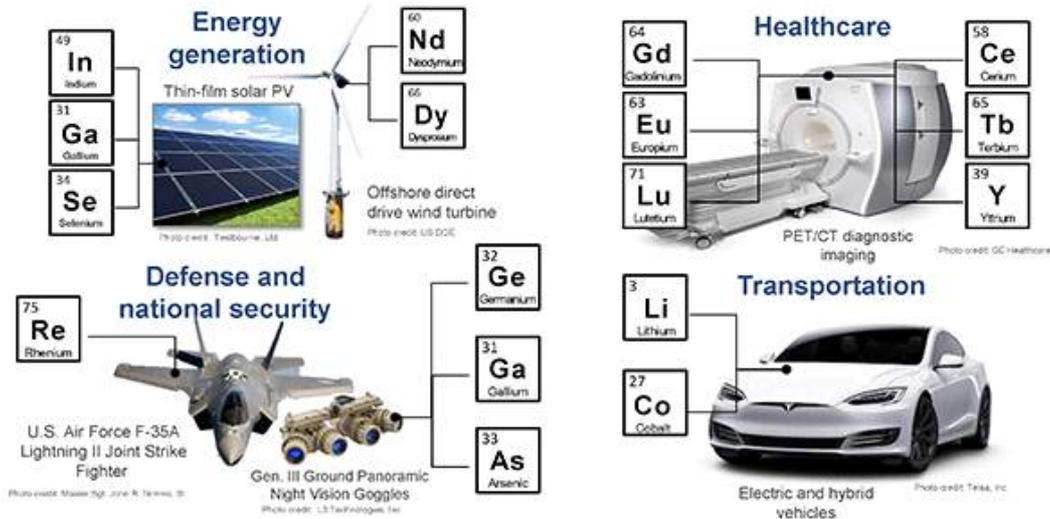
- DOE는 Critical Materials Institute를 설립하여 CM 공급 확보를 위해, 공급망 다변화, 대체 물질 개발, 재활용 및 효율적 이용 연구를 수행하는 한편 국제적 파트너와 협력 추진

9) 네오디뮴, 디스프로슘, 코발트, 리튬, 란탄, 세륨, 텔루륨, 인듐, 갈륨, 유로피움, 테르븀, 이트륨



- CM 공급확보 연구수행을 위해 2011년 35개 프로젝트 시작, 5년간 1억 2,000만 달러 투자
- 미국 자국 내 CM 생산을 강화하는 것과 동시에 일본이나 유럽과 제휴하여 대체물질 개발 및 재활용을 진행하고 위기물질에 관한 정부수집 능력 강화

### [그림 7] 첨단 미래산업 부문별 필요한 CM



자료: AGI(American Geosciences Institute)

### 일본은 성장동력산업 육성을 위한 핵심물질 수요 전망, 환경 위해성 등을 고려

- 일본 경제산업성의 산업구조심의회가 책정한 '산업구조 비전 2010'에서 향후 5가지 성장전력분야로 ①인프라 관련/시스템 수출(물, 원자력, 철도 등), ②환경에너지 과제 해결 산업(스마트 그리드, 차세대 자동차 등), ③문화 산업(패션, 콘텐츠, 음식, 관광 등), ④의료건강육아 서비스, ⑤첨단 분야(로봇 등) 선정
- 일본 JOGMEC은 해당 전략분야에 사용되는 소재부품의 물질흐름(Material flow)을 작성하여 핵심 희유금속을 파악하고, 이를 기반으로 사용량 산정과 전망
- 일본 환경성 주관으로 물질재료연구소(NIMS)는 금속별로 자원채굴 및 가공단계에서 소요되는 총물질요구량(Ore-TMR)<sup>10)</sup> 및 이산화탄소 배출량 산정하여 각 금속별로 환경부하 리스크 평가
- 이러한 정량화 지표는 광종의 지속적인 사용을 위한 가이드 역할을 하며, 금속의 환경 부하량을 고려한 제품 설계 및 소비를 유도하기 위한 지침으로 활용

10) TMR(Total Material Requirement): 경제활동으로 인한 경제적 물질과 비경제적 물질 투입량의 합

-  $TMR = \Sigma(\text{직접 투입 물질량}) + \Sigma(\text{간접 투입 물질량}) + \Sigma(\text{숨은 물질 흐름량})$

- 직접물질투입량 및 간접물질 투입량은 인간의 경제적 행위로 직간접적으로 투입된 물질 양이며, 숨은 물질량은 경제적 활동에 수반해 일어나는 물질 이동이나 교란의 양으로 채굴에 수반하는 암석이나 토사의 이동, 맥석, 삼림 벌채 등이 포함 토지의 재생이나 경관의 보호를 위해서 필요한 물질의 총량이 포함된다.



## Ⅲ. 우리나라 핵심광물자원 현황

### 1. 우리나라 CM 선정

#### CM 선정을 위해 국가 전략 차원과 산업 요구도 등을 지수화하여 평가 가능

- 국가 전략 차원에서 공급독과점성, 기술적 난이도, 세계 수요 증가율, 가격 상승률, 공급 불안정성 등 평가
- 산업 요구도는 수입 규모, 수요증가율, 주력산업 적합성, 4차산업혁명 활용도 등 평가

#### 한국광물자원공사는 전략 측면과 시장 측면의 중요도를 고려한 Matrix 분석기법을 활용하여 CM 선정

- 전략적 중요도의 3가지 평가 항목(신산업 기여도, 미래성장 가능성, 전방산업 연계성)과 시장측면 중요도의 5가지 평가 항목(부존 편재성, 생산 편재성, 자원고갈 정도, 수입 규모, 수입량 변동) 선정
- 평가항목 별 중요도를 감안하여 가중치를 2~6점으로 차별화하고, 각 항목별 평가내용에 따라 0~2점의 점수를 부여하며, 전략적 중요도와 시장적 중요도 각각 30점 만점으로 구성

[표 2] CM 선정 기준

구분	평가항목	가중치	평가 내용
전략적 중요도	신산업 기여도	6	유망 신산업들과의 연관 정도(高 2점, 中 1점, 低 0점)
	미래성장 가능성	5	미래 수요의 증가 정도(5% 이상 2점, 3% 이상 1점, 기타 0점)
	전방산업 연계성	4	국내 가공/실수요 업체가 존재하는지 여부 (가공&실수요 2점, 가공 or 실수요 1점, 단순 소재 형태 수입 0점)
시장적 중요도	부존 편재성	2	특정 국가에 부존이 편재되어 있는 정도 (3개국 80% 이상 2점, 3개국 50% 이상 1점, 기타 0점)
	생산 편재성	2	특정 국가에 생산이 편재되어 있는 정도 (3개국 80% 이상 2점, 3개국 50% 이상 1점, 기타 0점)
	자원고갈 정도	2	전세계 부존량(Reserve)을 생산량으로 나눈 지표 (30년 미만 2점, 50년 미만 1점, 기타 0점)
	수입 규모	5	'16년 기준 국내 수입액 규모 (5억불 이상 2점, 1억불 이상 1점, 기타 0점)
	수입량 변동	4	최근 10년간 수입량의 연평균 증감률 (5% 이상 2점, 3% 이상 1점, 기타 0점)

주 1) 부존량, 생산량: USGS Mineral Commodity Summaries 2017

2) 수입량, 수입액: 한국무역협회

자료: 한국광물자원공사



## CM 선정결과 5대 CM과 12대 관심광물 선정

- 5대 핵심광물: 리튬(Li), 코발트(Co), 텅스텐(W), 니켈(Ni), 망간(Mn)
- 12대 관심광물: 희토류(REE), 탄탈륨(Ta), 몰리브덴(Mo), 인듐(In), 백금족(PGM), 크롬(Cr) 니오븀(Nb), 실리콘(Si), 티타늄(Ti), 마그네슘(Mg), 갈륨(Ga), 바나듐(V)

[그림 8] CM 선정결과



자료: 한국광물자원공사

## 우리나라는 주요 광물 대부분을 수입에 의존하고, 재활용도 산업화 및 기술부족으로 거의 이루어지지 않고 있는 상황

- 리튬
  - 국내에서 소비되는 리튬 광석과 소재는 전량 칠레나 중국 등 수입에 의존
  - 휴대폰에 사용하고 있는 배터리 또는 자동차 등에 사용하고 있는 2차전지의 중간소재와 최종 제품은 국내 기업들이 생산·수출
  - 삼성 SDI, LG 화학 등이 생산하는 2차전지는 우리나라의 대표적인 수출제품이나 리튬 재활용은 재활용 산업화 및 기술 부족으로 거의 전무한 실정
- 코발트
  - 국내 코발트 수요는 배터리와 초경공구<sup>11)</sup> 소재 수요가 전체 소비의 60~80%를 차지하고, 그 외에 원유의 탈황 촉매, 안료 소재로 사용

11) 초경질의 합금으로 만든 공구. 초경공구는 경도가 다이아몬드에 가까울 정도로 극히 높고, 고온에서 내산화성이 뛰어나



- 이차전지용 원소재인 산화코발트 및 수산화코발트, 초경공구 및 공구강<sup>12)</sup> 원소재인 수산화코발트도 전량 일본, 중국, 벨기에로부터 수입에 의존
- 이차전지 및 절삭공구는 우리나라 대기업과 많은 중소형 기업들이 생산에 참여 중
- 우리나라는 이차전지 및 절삭공구에서의 코발트 회수 기술이 전무하여 코발트 재활용화를 위해서는 고순도 정련 회수 기술개발 필요
- 텅스텐
  - 국내에서 소비되는 텅스텐은 전량 수입에 의존
  - 텅스텐의 약 80%를 차지하는 초경합금<sup>13)</sup>의 경우 산화텅스텐 전량을 중국에서 수입하여 텅스텐 분말을 생산하고 이중 일부는 수출하고 나머지는 니켈과 코발트를 섞어 텅스텐 카바이드를 만드는 데 사용
  - 텅스텐 성형체는 필라멘트, 전기 및 전자 접촉점과 같은 텅스텐 금속 제품 제조에 사용되며, 이들 용도에 사용되는 텅스텐은 전체 소비량의 약 15% 수준
  - 텅스텐 페스크랩은 국내에서 재활용이 이루어지지 않고 전량 해외로 수출
- 니켈
  - 우리나라는 전체 니켈 수요의 약 80%를 스테인레스강의 첨가 원소로 사용하고, 나머지 20%는 도금이나 합금용으로 사용
  - 국내에서 스테인레스강의 첨가원소로 사용하는 니켈 대부분은 수입에 의존
- 희토류
  - 희토류는 LCD 평면, LED, 전기차 등 첨단산업의 핵심소재로 널리 사용
  - 세륨은 LCD(액정표시장치) 연마제나 선글라스 자외선 차단제, 촉매제로 많이 사용되고, 란탄은 니켈 수소 전지와 광학렌즈, 촉매제 등에 사용
  - 네오디뮴과 디스프로슘은 가전제품 모터 영구자석에 사용되고, 이트륨, 테르븀 등이 LCD 편광판, LED, 삼파장 전구를 만드는데 형광재료로 사용
  - 국내 희토류는 영구자석에 대한 수요가 대부분으로 국내에서 소비되는 영구자석 대부분은 소재부터 제품까지 전량 수입에 의존
  - 희토류 광석부터 제련, 정제과정 모두 중국의 독과점 구조이고, 중간소재인 네오디뮴 잉곳·분말·합금 등도 미국과 일본이 카르텔화하는 등 독점화 강화
  - 우리나라 영구자석 재활용은 기술 및 산업화 부족으로 거의 전무한 실정

12) 금속/비금속 재료의 가공, 소성 가공 등을 행하는 공구 및 비품에 사용되는 강철

13) 공구 등에 사용되는 초경질 합금의 총칭. 금속 탄화물 분말을 소성해서 만든 경도가 대단히 높은 합금으로 가장 흔히 사용되는 예는 탄화 텅스텐을 주체로 하여 결합금속으로서의 코발트와의 소결합금.



### • 인듐

- LCD 패널 등 여러 평판 소자의 투명전극, 박막 태양전지 등 화합물 반도체 구성성분, 타 금속에 미량 첨가하면 금속 성질을 변화시켜 합금제조에 중요하게 사용
- 제련과정에서 부산물로 회수되며, 주로 아연광에 수반된 것을 산출
- 우리나라는 아연을 정제하고 있는 고려아연이 아연 정련과정에서 인듐을 부산물로 생산하고, 모두 일본으로 수출하여 국내에는 유통시키고 있지 않음
- 국내에 공급되는 인듐 대부분은 수입에 의존하고, 국내 재활용 업체들이 일부 공급

### • 백금

- 국내 백금 수요는 자동차 배기가스 촉매용 50%, 석유화학 촉매용 14% 등 촉매용으로 약 64% 사용되고, 그 외 유리공업로<sup>14)</sup> 내벽재료(23%), 장신구 및 전기전자용 재료로 사용
- 대부분 수입에 의존하고, 동 제련과정에서 부산물로 회수하거나 폐촉매로부터 촉매제조에 재활용

### • 마그네슘

- 국내 마그네슘은 자동차 부품용으로 36%, 알루미늄 합금 첨가제로 33%, 그 외 철강탈황제 및 전지전자 산업용으로 사용
- 국내에서는 제련설비가 없어 과거 원소재인 마그네슘괴와 합금을 중국 등지에서 전량 수입했으나 2012년부터 마그네슘괴 생산
- 재활용 부문에서는 알루미늄 합금이나 철강재료는 폐기물에서 재활용하고, 다이캐스팅<sup>15)</sup>이나 부품케이스의 경우에는 공정폐기물을 재활용

### • 갈륨

- 전 세계 갈륨 수요의 약 65%는 일본이 차지하고 있으며, 백색 LED 시장 확대 등으로 수요가 지속 증가할 전망
- 국내 고려아연에서 아연 및 보오크사이트<sup>16)</sup> 제련과정을 통해서 LED 소재로 쓰이는 갈륨을 생산
- 갈륨 재활용은 LED 제조과정에서 발생하는 스크랩 처리 기술 부족으로 거의 못하고 있는 실정

14) 유리를 가열하거나 녹이는 장치

15) 다이 주조라고도 하는데 필요한 주조형상에 완전히 일치하도록 정확하게 기계 가공된 강제(鋼製)의 금형에 용융금속을 주입하여 금형과 똑같은 주물을 얻는 정밀주조법

16) 수산화알루미늄 광물이 모인 광석으로 철반석이라고도 불림



[표 3] 주요 광물 용도와 수입의존 현황

주요 광물	용도	수입의존 현황
리튬	<ul style="list-style-type: none"> <li>휴대폰 배터리, 자동차 등에 사용되는 2차전지의 중간소재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>칠레나 중국 등 수입에 의존</li> <li>재활용 거의 전무</li> </ul>
코발트	<ul style="list-style-type: none"> <li>배터리와 초경공구 소재(60~50%), 원유 탈황 촉매, 안료 소재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일본, 중국, 벨기에 수입에 의존</li> <li>재활용 거의 전무</li> </ul>
텅스텐	<ul style="list-style-type: none"> <li>초경합금이 전체 수요의 약 80% 차지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전량 수입에 의존</li> <li>재활용 거의 이루어지지 않음</li> </ul>
니켈	<ul style="list-style-type: none"> <li>스테인레스강의 첨가 원소(약 80%), 도금이나 합금용(20%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대부분 수입에 의존</li> </ul>
희토류	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCD 평면, LED, 전기차 등 첨단산업의 핵심소재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 등 전량 수입에 의존</li> <li>재활용 거의 전무</li> </ul>
인듐	<ul style="list-style-type: none"> <li>LCD 패널 투명전극, 화합물 반도체, 합금제조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 공급 인듐 대부분 수입산</li> <li>일부 재활용 공급</li> </ul>
백금	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차 배기가스 촉매용 50%, 석유화학 촉매용 14%</li> <li>그 외 유리공업로 내벽재료(23%), 장신구 및 전기전자용 재료</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대부분 수입에 의존</li> <li>동 제련과정에서 부산물로 회수 또는 폐촉매 재활용</li> </ul>
마그네슘	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차 부품용으로 36%, 알루미늄 합금 첨가제로 33%</li> <li>그 외 철강탈황제 및 전지전자 산업용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>대부분 수입에 의존</li> <li>일부 폐기물 재활용</li> </ul>
갈륨	<ul style="list-style-type: none"> <li>백색 LED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>일본 가공제품 수입 의존</li> <li>재활용처리 기술 부족</li> </ul>



## 2. CM 확보방안

### 우리나라는 CM 산업화 과정\* 중 제품산업을 제외하고 모두 해외에 의존

\* 광물을 채굴하여 정련, 제련과정을 거쳐 소재·부품화하고 최종제품에 사용한 후 폐제품에서 CM을 회수하는 과정

- 우리나라는 천연자원 부재로 제품산업을 제외한 모든 가치사슬이 해외에 의존
- 천연자원을 국내에 도입하여 소재·부품화하고, 사용이 종료된 제품에서 CM을 회수하고 재활용하여 다시 산업 내에 투입하는 구조를 갖추는 것이 필요

### 단기적으로는 수입 안정화 및 비축을 통한 수급 안정성을 추구

- 자원부국과의 전략적 협력 확대를 통해 수입 안정화
  - 자원확보를 위한 전략국가는 자원 부존 및 생산 현황, 우리나라의 수입현황 등을 고려하여 선정
  - 전략국가와의 상생 협력사업(ODA 등) 확대를 통한 협력 기반 구축
  - FTA 등 경제협정 체결 시 관세 인하, 수입선 다변화 추진
- 광물자원공사와 조달청 주도 하에 희유금속 비축 수행
  - 5대 CM은 비축목표를 현 60일에서 80일로 확장하고, 비축 품목은 이차전지 소재 등으로 다양화
  - 12대 관심광물은 자원개발 여부를 감안하여 비축 목표량을 탄력적으로 조정하는 한편, 합금철 중심의 비축 품목을 소재 중심으로 전환

[표 4] 희유금속 비축현황

구분	광물공사	조달청
목적	• 공급 장애 발생 시 국내산업 보호	• 경기순환에 따른 물가안정 도모
전략	• 전략비축(평시 비축, 비상시 방출)	• 비철 금속: 경제비축(상시 비축/방출) • 희유 금속: 전략비축(평시 비축, 비상시 방출)
대상 품목	• (희유) 크롬, 몰리브덴, 안티모니, 티타늄, 텅스텐, 니오븀, 셀레늄, 희토류, 갈륨, 지르코늄	• (비철) 알루미늄, 동, 아연, 주석, 니켈 • (희유) 실리콘, 코발트, 망간, 바나듐, 인듐, 리튬, 탄탈륨, 스트론튬, 비스무스

자료: 한국광물자원공사



## 중장기적으로 도시광산 산업 활성화를 통한 재자원화와 해외자원개발 등 안정적 공급능력 확보에 주력한다는 방침

- 전세계적으로 한정된 자원의 효율적 이용에 대한 관심이 증가하고, 환경오염 저감 및 재활용 촉진 등 환경규제가 강화되고 있는 가운데 도시광산산업 부상
  - 우리나라 도시광산 자원 생산액은 19.6조원(2014년 기준)으로 국내 수요의 약 22% 차지
  - 기술수준은 2009년 선진국 대비 50% 수준에서 정부의 R&D 투자 확대로 2014년 선진국 대비 84% 수준으로 증가
  - 국내 업체 수는 2014년 기준 917개로 2008년 이후 연평균 약 10%로 증가하였으나 매출액 50억 원 이하(50%), 종업원 수 10인 이하(58%)의 영세업체가 대부분을 차지하여 광물가격 하락, 과열 경쟁 등으로 수익성 저하
  - 광물자원공사는 해외 도시광산 자원정보 조사 및 국가간 네트워크를 구축하여 도시광산산업을 통한 안정적 광물자원 확보를 도모하고, 도시광산 생산 금속의 품질보증을 위한 GR 인증<sup>17)</sup> 지원, 우수 도시광산 금속에 대한 비축 검토
- 국내 광물자원 부존 상황이 여의치 않아 국내에서 가공산업을 집중적으로 육성
  - CM 제련 및 소재화 기술 확보를 위한 R&D 자금 지원 및 과제 추진
  - CM 제련 및 소재화 기업에 대한 융자 지원 시 우대 지원 검토
- 민간기업의 해외자원개발 투자 활성화를 위해 기술·자금·인력 등 종합지원 체계 구축
  - 기존 해외자원개발 조사사업에 대한 지원 강화(투자여건조사, 기초탐사, 지분인수타당성조사)로 투자 리스크를 축소하는 한편 기술·인력 양성 지원 확대
    - 유망사업 매칭서비스: 탐사사업 발굴, 투자 정보 및 기술 지원
    - 전주기 기술컨설팅: 지분 인수 전·후 기술 지원 및 자문
    - 기술인력 양성: 기업인력 및 대학생 대상 교육과정 개설 및 운영
- 우리나라의 해외 광물자원 개발 투자는 2011년 이후 자원가격 하락, 공기업 부채 이슈로 해외자원개발 사업 전면 중단, 정부의 민간기업 지원 축소 등으로 급감
  - 또한 광물자원 확보는 강대국, 메이저 기업들의 이권과도 직결되어 있고, 특히 희토류는 중국 등 일부국가에 편재되어 자원무기화 경향도 나타나는 등 절대적인 경쟁력 열위에 있는 국내기업의 확보가 여의치 않음

17) GR 인증(Good Recycled Certification): 국내에서 개발·생산된 재활용 제품의 품질이나 환경친화성 등을 정부가 인증해 주는 제도로, 우수제품에 대해 우수재활용제품 인증마크인 GR 마크 부여



[그림 9] 우리나라 CM 확보방안



자료: 한국광물자원공사 자료 재작성



## IV. 북한 광물자원 활용 가능성

### 1. 광물자원 부존현황과 경제적 가치

**북한은 매장량 세계 10위권의 광물자원들을 다수 보유한 것으로 알려졌으나 공신력 있는 매장량 자료는 없는 상황**

- 북한 부존 광물은 약 500여종, 이 중 유용한 광물은 약 200여종, 이 중 경제성 있는 광종은 약 20여 종인 것으로 파악
  - 대표적인 광물자원인 마그네사이트는 품질도 양호하고, 매장량이 60억 톤에 이룸
- 석탄, 마그네사이트, 철광석, 희토류 등 추정매장량(최대값 및 최소값) 기준으로 세계 10위권 내에 해당하는 광물도 다수 존재
  - 추정매장량 최대값 기준으로 마그네사이트(1위), 아연(3위), 납(3위), 흑연(4위), 텅스텐(4위), 무연탄(4위), 철(7위), 망간(7위), 금(8위)
  - 추정매장량 최소값 기준 매장량 세계 10위권 지하자원은 마그네사이트(1위), 납(3위), 아연(4위), 텅스텐(5위), 흑연(5위), 철(10위)
  - 4차 산업혁명 핵심기술과 연관이 높은 희토류도 다량 매장된 것으로 추정
- 북한 광물자원 매장량이 풍부하다고 알려져 있으나 광물관련 정보를 관리하는 북한 당국의 공식적인 발표가 없어, 광물자원 매장량은 추정 자료에 의존
  - 매장량이 부정확하고 신뢰도가 결여되었다는 한계가 있으며, 북한 광물자원 부존 및 가치에 대한 과도한 확대 해석 우려도 존재

### 북한 주요 광물자원은 전 지역에 걸쳐 고르게 분포

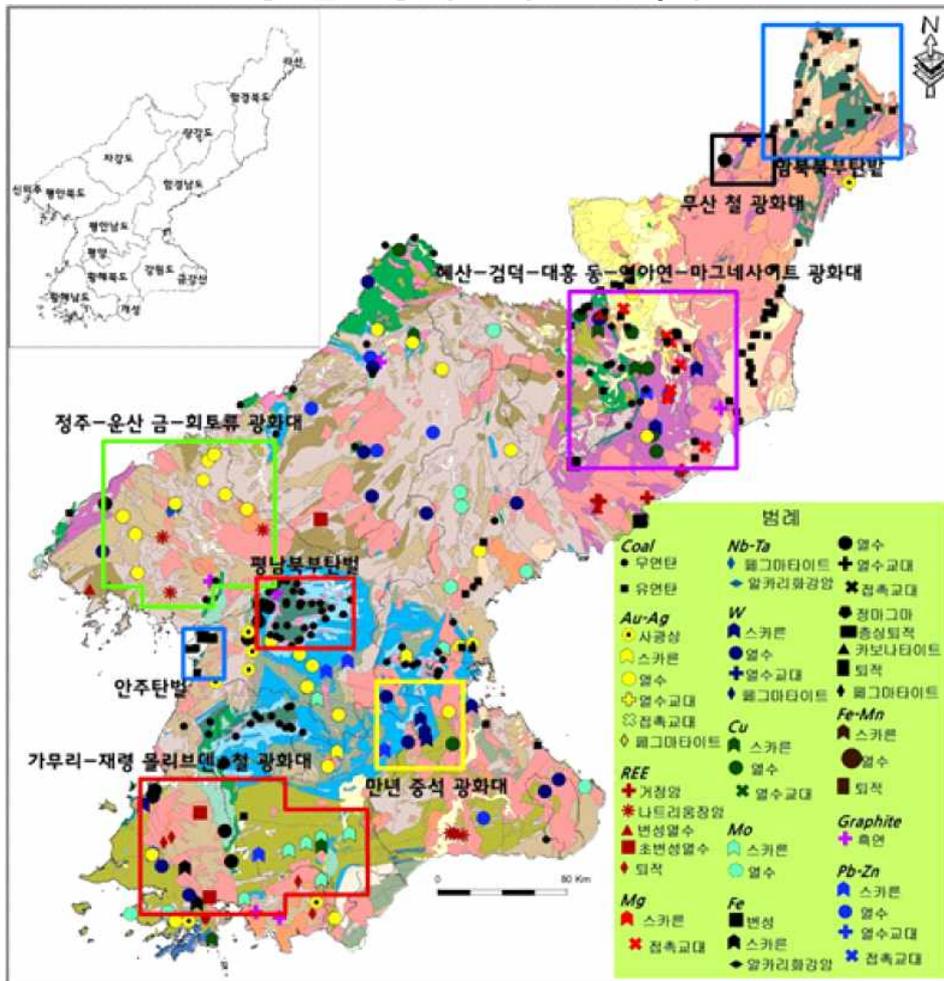
- 북한의 주요 광화대<sup>18)</sup>는 다음과 같음
  - 정주-운산 금-희토류 광화대: 운산 금광산, 정주 희토류광산
  - 무산 철 광화대: 무산 및 오룡 철광산
  - 혜산-검덕-대흥 동-연-아연-마그네사이트 광화대: 혜산 동광산, 검덕 연-아연광산
  - 룡양-대흥-쌍룡 마그네사이트광산

18) 광화대(mineralized zone): 특정 원소가 지각 내 평균 함유량보다 훨씬 높은 비율로 함유되어 있는 원소의 이상 농집지역



- 만년 중석 광화대: 영주 및 만년 중석광산
- 가무리-재령 몰리브덴-철 광화대: 가무리 몰리브덴 및 재령 철 광산
- 함북북부탄전(유연탄)/평남북부탄전(무연탄)/안주탄전(유연탄)

[그림 10] 북한 주요 광화대



자료: 한반도광물자원개발 DMR융합연구단, 광물자원분포도, 여시재 재인용

### 공신력 있는 통계자료 부재로 인해 국내기관들의 북한 광물자원 매장량 추정치 편차가 큼

- 한국광물자원공사(2011)
- 조선중앙통신사가 발행한 '조선중앙연감'을 기본으로 작성하고, 광물자원공사가 북한에서 직접 확보한 자료, 북한이 중국 등에 제시한 투자제안서 등을 토대로 추정
- <남북교류협력지원협회>가 제공하는 북한지하자원넷 자료와 동일



- 한국지질자원연구원(2013)/북한자원연구소(2013)
  - 북한 '조선지리전서(1982년 집계, 1988년 발간)'를 토대로 작성
  - 북한자원연구소는 매장량 집계 가능한 22개 광종 및 222개 광산 자료를 토대로 매장량을 산출하여, 전체 매장량과 차이 존재
- 북한 합영투자위원회는 철광석 400억 톤(8배), 석탄 370억 톤(2.5배), 아연 10억 톤(50배)의 매장량 보유 발표(2012년)

[표 5] 주요 기관별 북한광물자원 매장량

구분	광종	단위	한국광물자원공사 (2011) <sup>a</sup>		북한자원연구소 (2013) <sup>b</sup>		한국지질자원연구원 (2013) <sup>d</sup>	
			매장량	품위	매장량 <sup>c</sup>	품위	매장량	품위
귀금속	금	톤	2,000	금속기준	698	금속기준	2,899	금속
	은	톤	5,000	금속기준	6,356	금속기준	6,344	금속
주요 금속	철	억톤	50	Fe 50%	24.7	Fe 63.5%	43.3	Fe 63.5%
	동	천톤	2,900	금속기준	4,235	금속기준	6,117	금속
	아연	천톤	21,100	금속기준	27,425	금속기준	15,143	금속
	납(연)	천톤	10,600	금속기준	9,988	금속기준	4,702	금속
희소 금속	망간	천톤	300	Mn 40%	2,989	금속기준	120	금속
	텅스텐	천톤	246	WO <sub>3</sub> 65%	146.016	WO <sub>3</sub> 65%	269,785	WO <sub>3</sub> 65%
	몰리브덴	천톤	54	MoS <sub>2</sub> 90%	18.745	금속기준	54,000	MoS <sub>2</sub> 90%
	니켈	천톤	36	금속기준	147.638	금속기준	20,700	금속
	희토류	만톤	2,000		25	산화물	25	산화물
비금속	마그네사이트	억톤	60	MgO 45%	76	광석기준	28.7	MgO 95%
연료	무연탄	억톤	45	각급	41	각급	186	각급
	갈탄		160		179			

자료 a: 한국광물자원공사, '북한 광물자원 개발현황(2011)' 참조

b: 북한자원연구소, '북한지하자원 매장량(2013)' 참조

c: 잔존+확보 매장량과 전망 매장량을 더한 전체 매장량

d: 한국지질자원연구원, '북한의 주요 광산 특성(2013)' 참조, 여시재 재인용



## 북한 주요 광물별 매장량 및 적용 분야

- (마그네사이트) 북한 지하자원 중 매장량이 매우 풍부한 광물
  - 미국 지질조사국(USGS MCS 2016)은 경제성 있는 마그네사이트 매장량을 마그네슘 기준 4억5천만 톤(세계 3위)으로 추산하였는데, 이 규모는 전 세계 매장량의 18.3%, 품위 45%에 해당하며, 마그네사이트로 환산하면 약 16억 톤 규모
  - 국내기관은 60억~70억 톤 수준(세계 1위)으로 추정하는데 이는 전 세계 매장량의 70%
  - 룡양광산은 노천광산으로 단일 광산 기준 세계 최대 매장량을 보유하고 있으며, 산 전체가 마그네사이트로 이루어져 '백금광산'이라고 부름
  - 유망 산업분야는 야금공업, 내화산업, 군수무기산업, 항공우주산업, 첨단전자 장비, 마그네슘을 이용한 자동차산업(경량화, 연비절약 등) 등
- (무연탄) 북한 C1화학공업<sup>19)</sup>의 주원료로 사용되는 필수 자원
  - 북한에는 주로 무연탄이 매장되어 있는데 반해, 북한 이외의 국가에는 주로 유연탄이 매장되어 있어, 무연탄만의 국제 통계자료는 전무<sup>20)</sup>
  - 2007년 폴란드 무연탄 컨퍼런스에서 북한 무연탄 매장량을 15억3천만 톤(세계 5위)으로 추정한 바 있음
- (철) 금속산업 중 가장 큰 비중을 차지하며, 전체 산업에 미치는 영향이 커서 '산업의 쌀'로 불림
  - 한국광물자원공사 기준 매장량을 금속량으로 환산 시 약 25억 톤, 세계 7위
  - 북한자원연구소 기준 환산 시 15억7천만 톤, 세계 10위
  - 대표 광산은 함북 무산광산으로 아시아 최대 자철광 산지이며 노천광산
- (납) 매장량 세계 3위(USGS MCS 2016 기준)
  - 축전지, 자동차배터리, 판재, 케이블, 합금, 약품, 방사선 물질 차폐제 등에 사용
- (아연) 매장량 세계 4위(USGS MCS 2016 기준), 2,743만 톤 추정시 세계 3위
  - 도금, 함석, 다이캐스팅, 합금 등 아연/주물산업 등에 사용

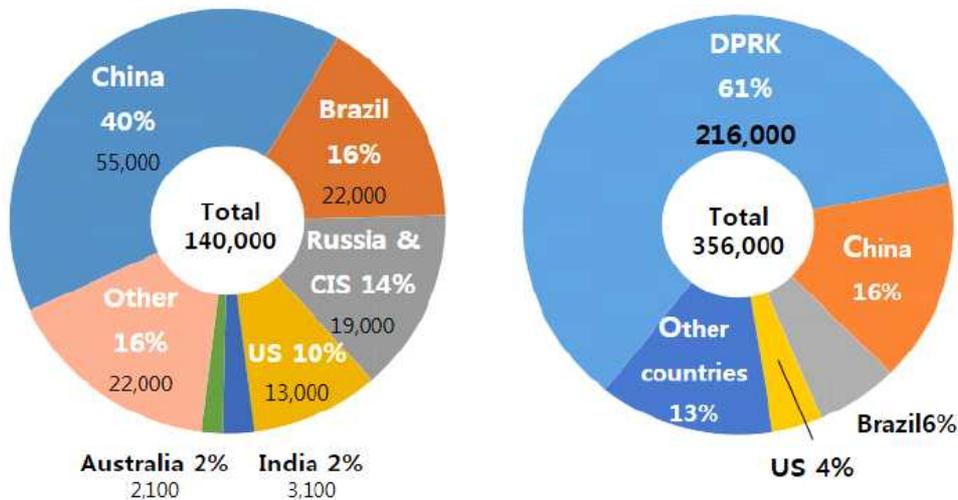
19) 석탄, 천연가스, 셰일가스 등을 이용해 탄소 수가 1인 메탄(CH<sub>4</sub>), 일산화탄소(CO) 등 C1가스 분자를 결합시키는 방식으로 각종 유기화합물을 만드는 화학공업. 1788년 이탈리아 발명기술로, 공업화는 19세기 말에 이루어졌으나 석유화학에 밀려 발전하지 못하다가 1970년대 석유파동으로 재조명 받음. 북한의 경우 기초화학공업의 주류가 석탄을 주원료로 하는 C1화학공업.

20) 무연탄은 전체 석탄 가운데 약 2% 차지



- (희토류) 축전지 촉매제인 란탄(La)과 세륨(Ce), LCD 디스플레이용 이트륨(Y), 자석 생산에 사용되는 디스프로슘(Dy) 등 세계 2위 규모의 매장량 추정
- 글로벌 희토류 연구소들은 북한 희토류 광물질의 희토류 함유량을 높게 평가하고 있으며 한국광물자원연구소는 북한 정주시 희토류 광물의 광석 희토류 함유량을 10.9% (중국 4.9%, 미국 8.8%)라고 발표
- 2013년 SRE 미네랄스의 희토류 품위별 매장량 자료에 따르면, 광물 기준 매장량 약 60억 톤, TREO<sup>21)</sup> 기준 매장량 2억1,617만 톤으로 전세계 희토류 매장량보다 북한의 희토류 매장량 규모가 큼

[그림 11] 국가별 희토류 매장량(북한 미포함 vs. 포함)



자료: USGS-Mineral Commodity 2014; 충북대학교(이철우 교수 발표자료); 여시재 재인용

- (텅스텐) 금속량 기준 세계 4~5위(광물자원공사)
- 필라멘트, 내열재료, 절삭공구, 특수강용 합금재료 등에 사용
- (망간) 북한자원연구소 기준 환산 시 세계 7위
- 철, 알루미늄, 동에 이어 4번째로 많이 소비되는 광종으로 망간의 약 90%가 철강산업에 첨가 원료나 합금재로 사용되고, 그 외 건전지, 착색제 등에 사용
- (몰리브덴) 매장량 세계 10위권 밖이지만 자원 가치가 높아 매우 중요한 광물
- 합금, 전극봉, 촉매제 등에 사용
- (티타늄) 세계 매장량 약 50억 톤, 북한의 예상 매장량 약 3억 톤
- 항공우주산업, 국방산업, 첨단소재산업 등에 주로 이용되는 자원

21) Total Rare Earth Oxide(총희토산화물): 광물에서 TREO를 추출한 후 다시 희토류 금속을 추출



## 북한의 매장량 분류기준이 남한과 달라, 남한 기준으로 북한자료를 재해석하는 작업 필요

- 매장량 추정 시 우리나라는 호주식 방식을 사용하는데 반해, 북한은 러시아식 방식 사용

[표 6] 자원매장량 추정 차이

구분	매장량	광량산출 기준	비고	
남한	확정매장량	광체 2~4면 확인, 각 면의 시료도가 완성된 구역, 가채율 90%		
	추정매장량	광체 1면↑(규칙광상), 광체 2면↑(불규칙광상)이 확인된 것, 가채율 70%		
	예상매장량	광체 1면(규칙광상), 광체 2면(불규칙광상)이 확인된 것, 가채율 36%		
북한	확보 매장량	A	수평50m, 상하50m 격자로 탐광굴진실시 광량 확인구역 갱내는 중단갱도 개설, 노천은 C <sub>1</sub> 에서 표토, 폐석 제거된 상태의 광량	개발
		B	수평100m, 상하50m 격자로 탐광굴진실시 광량 확인구역 통상 시추와 별개로 탐광을 실시	
		C <sub>1</sub>	수평100m, 상하50m 격자로 시추를 실시하여 광량 확인구역	미개발
	전망 매장량	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub> 주변부 및 노두 등이 50m 간격으로 확인된 구역 200m 격자로 시추를 실시하여 개략적인 광황파악	미탐사
		C <sub>3</sub>	모두조사로 확인된 구역, 심도는 지표확인연장의 1/2 인정	예상
		P <sub>1</sub>	광맥의 폭과 연장이 간헐적으로 파악되는 구역	전망
		P <sub>2</sub>	광역지질조사에 의해 광맥의 폭과 연장이 파악되는 구역	전망

자료: 한반도광물자원개발 DMR융합연구단 고상모 단장 발표자료, 여시재 재인용



## 북한 광물자원의 경제적 가치는 국제 자원 가격, 평가 기관, 평가 시기 등에 따라 그 결과가 매우 달라짐

- 전체 광물자원(희토류, 석회석, 갈탄 제외)의 잠재 가치는 3조~4조 달러에 달하나 경제성 있는 가채매장량 기준으로는 약 5,370억 달러로 추산
- 가치가 높은 지하자원은 마그네사이트, 무연탄, 철, 금, 아연, 납, 동, 흑연 등
- 석회석은 전체 자원가치의 3배를 넘는 규모이나 무역거래가 없고 대부분 내수용

[표 기 주요 지하자원 가치

광종	단가	단위	가치1 <sup>a</sup>	가치2 <sup>b</sup>	가치3 <sup>c</sup>	가격 추세 <sup>d</sup>
금	1213.1	US\$/troz	7,800,000	2,720,000	913,000	등락
은	17.13	US\$/troz	275,000	350,000	142,000	하락
철	58.36	US\$/톤	29,200,000	14,400,000	8,170,000	하락
동	4862.59	US\$/톤	1,410,000	2,060,000	717,000	하락
아연	2094.75	US\$/톤	4,420,000	5,740,000	1,860,000	등락
납(연)	1871.58	US\$/톤	1,980,000	1,870,000	486,000	등락
망간	1538.94 <sup>e</sup>	US\$/톤	46,200	460,000	460,000	하락
중석(텅스텐)	69375	RMB/톤	257,000	152,000	38,500	등락
몰리브덴	16.26 <sup>f</sup>	US\$/kg	69,900	45,100	23,500	하락
니켈	9608.7	US\$/톤	34,600	142,000	66,900	하락
마그네사이트	442.6	US\$/톤	266,000,000	310,000,000	31,000,000	등락
무연탄	90.9	US\$/톤	40,900,000	37,300,000	8,180,000	하락
갈탄	169	US\$/톤	270,000,000	302,000,000	25,400,000	-
인상흑연	1100	US\$/톤	220,000	1,610,000	1,610,000	하락
토상흑연	525	US\$/톤	158,000	-	-	등락
석회석	121.9	US\$/톤	1,220,000,000	53,600,000	9,750,000	상승
<b>합계</b>			<b>1,840,000,000</b>	<b>732,000,000</b>	<b>88,800,000</b>	
<b>합계(갈탄, 석회석 제외)<sup>g</sup></b>			<b>353,000,000</b>	<b>377,000,000</b>	<b>53,700,000</b>	

주1) 한국자원정보서비스 2016년 기준 국제시장가격 등

주2) 유효숫자 3자리까지 표기

자료 a: 한국광물자원공사 추산 매장량 기준. 단위는 만 US\$

b: 북한자원연구소 추산 매장량 기준, 단위는 만 US\$

c: 북한자원연구소 추산 잔존+확보 매장량 기준. 단위는 만 US\$

d: 최근 5년 가격 동향을 상승, 하락, 등락으로 구분

e: 전해망간과 페로망간 가격 평균

f: 산화몰리브덴 기준

g: 갈탄과 석회석은 대부분 내수용으로 사용하므로 별도 계산이 합리적

여시재 재인용



- 북한 희토류 매장량 가치는 3,460억~4조6,200억 달러로 추산
- 희토류는 4차 산업혁명에 필수적인 전략자원으로 2014년 기준 세계 희토류 시장 규모는 약 45억 달러(Freedomia Group, World Rare Earths 2015)
- 세계 희토류 시장은 2014~2020년까지 연평균 6.1%로 성장할 전망

**[표 8] 북한 희토류 가치 추정**

구분	단가 (만 US\$/톤)	최저 추산 (만 US\$)	최대 추산 (만 US\$)
중희토류(HREE)	26.823	14,300,000	154,000,000
非 중희토류(HREE)	1.4641	20,300,000	308,000,000
<b>합계</b>		<b>34,600,000</b>	<b>462,000,000</b>

자료: 여시재



## 2. 4차 산업혁명 관련 남북자원 협력 유망 광물

### 우리나라의 CM 확보 차원에서 북한 광물자원 활용에 대한 기대가 높음

- 한국광물자원공사의 CM으로 선정된 광물 중 북한 매장량이 풍부한 광물들(니켈, 텅스텐, 망간, 몰리브덴, 희토류, 마그네사이트 등)이 다수 존재

[표 9] 북한 자원 활용 시 가용연한

구분	광종	단위	북한			남한	
			매장량	품위	가치 <sup>a</sup>	연간 수입액 <sup>b</sup>	가용연한 <sup>c</sup>
귀금속	금	톤	698	금속기준	2,720,000	136,000	40
	은	톤	6,356	금속기준	350,000	42,400	16.5
주요 금속	철	억톤	24.7	Fe 63.5%	14,400,000	669,000	43
	동	천톤	4,235	금속기준	2,060,000	357,000	11.5
	아연	천톤	27,425	금속기준	5,740,000	134,000	85.7
	납(연)	천톤	9,988	금속기준	1,870,000	134,000	27.9
희소 금속	망간	천톤	2,989	금속기준	460,000	26,100	35.3
	텅스텐	천톤	146	WO <sub>3</sub> 65%	152,000	161	1,890
	몰리브덴	천톤	18.7	금속기준	45,100	31,400	2.87
	니켈	천톤	148	금속기준	142,000	15,100	18.8
	희토류 <sup>d</sup>	억톤	0.2	TREO 3.56%	34,600,000	524	132,000
억톤		2.16	462,000,000		1,760,000		
비금속	마그네사이트	억톤	76	광석기준	310,000,000	51.9	11,900,000
연료	무연탄	억톤	41	각급	37,300,000	86,700	860
	갈탄	억톤	179		302,000,000	87	6,970,000

자료: 북한 자원매장량과 가치는 북한자원연구소, 희토류는 별도

a: 단위 = 만 US\$

b: 한국광물자원공사의 2014~2015년 수입액 평균, 갈탄은 관세청 자료, 단위 = 만 US\$

c: 한국수입량 50%를 북한에서 조달할 경우, (북한지하자원 가치)/(한국 연간 수입액의 50%), 단위 = 년

d: 최소 추정치와 최대 추정치로 구분하여 산정

여시재 재인용



## 4차 산업혁명과 관련하여 남북 자원개발 협력이 특히 기대되는 부문은 희토류와 마그네사이트 부문

- 남북 자원협력을 위한 유망분야 선정을 위해 산업에서의 중요도, 경제적 효용성, 장기적 발전 가능성 등 3차지 측면에서 제반 사항을 검토한 결과, 제철산업, C1화학공업, 희토류, 아연산업, 광물소재산업/광산설비산업 등 5가지 부문 선정<sup>22)</sup>
- 이 5가지 부문 중에서 4차 산업혁명과 밀접한 관계가 있는 부문은 희토류와 광물소재산업 부문

## 희토류는 미래첨단산업의 주요 부품의 필수 원료로 북한에 다량 매장되어 있어 남한의 자본력과 기술력을 결합하여 희토류 산업생태계 구축 가능

- 미래의 국가경제 경쟁력은 미래첨단산업 선도에 좌우되는바 그 원료가 되는 희토류의 안정적 확보가 매우 중요
- 남한은 첨단산업에 대한 투자를 확대할 계획이나 첨단제품 부품 대부분을 수입에 의존하고 있는바 북한 자원을 기반으로 첨단소재 가치사슬을 강화할 필요
- 북한은 첨단소재의 원재료인 희토류 매장량이 풍부하고, 고품위로 개발 경제성도 높을 것으로 기대되는 바, 남북 자원개발협력에 있어 첨단 소재자원 개발을 최우선적으로 검토할 필요
  - 희토류는 중국, 브라질 등 특정국가에 경제성 있는 매장량이 집중되어 자원 편중이 심하고, 품위 2% 이하면 경제성이 없어 채광하지 않음
  - 북한에 다량 매장된 고품위 희토류는 조명광, 배터리, LCD 디스플레이, 자석생산 등 첨단산업에 필수적인 자원
  - 남한은 스마트폰, 디스플레이와 ICT 분야에서 경쟁력을 갖고 있어 북한 희토류를 이용하면 경쟁력이 더욱 강화할 것으로 기대
- 북한산 희토류 광석 개발을 위해 친환경 희토류 침출공정과 분리/정제 공정 모니터링 시스템을 개발하고, 경제성 있는 자성소재 제조 신기술 개발을 통한 수입대체 및 신산업 창출
  - 다양한 희토류 광물에 적용가능한 침출공정 및 방사성 부산물 회수에 효과적인 공정 개발 등을 통한 개발 장벽 해소, 고순도 희토류 분리공정 실시간 모니터링 시스템 개발
  - 북한 희토류를 활용한 경제성 있는 자성소재 제조 신기술을 개발하여 친환경 스마트 자동차, 신재생에너지, 의료/로봇 분야 등으로 수요를 확대함으로써 고성능 자성소재 산업 분야 활성화

22) 여시재



- 우리 정부는 첨단 산업에 대한 투자를 확대할 계획이나 필수원료인 희토류 수요는 앞으로 지속 확대될 전망
- 미래창조과학부는 2020년까지 5.6조 원을 사물인터넷, 지능형로봇, 웨어러블 스마트 기기, 스마트자동차, 지능형 반도체 등에 투자할 계획인데 이들 대부분은 희토류가 필수 원료로 사용됨
- 희토류 수입국이 중국(76.5%)과 미국(18.2%)에 집중되어 있음
- 장기적으로 북한의 희토류와 남한의 관련 산업기술, 정부의 미래산업 투자가 결합하면 세계시장에서 미래첨단산업의 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대
- 향후 남북한 희토류 산업생태계 구축 모색
- 북한 희토류와 남한 기술과 자본을 결합한 희토류 가치사슬을 확립하고, 남북경제협력 정책에 따라 단계별 협력방안을 모색할 필요

### 북한 마그네사이트를 활용한 마그네슘 합금산업 등 광물기반의 고부가 소재산업 분야도 남북 협력 시너지가 클 것으로 기대

- 북한은 마그네사이트, 규소, 희토류 등이 풍부하여, 이를 원료로 한 고기술/고부가가치 소재산업 동반성장 가능
- 특히 마그네슘은 실용금속 중 최경량 재료로서 비강도, 비강성이 알루미늄, 철보다 우수하며 진동 및 충격 흡수성, 전자파 흡수능력, 기계가공성이 우수하고 재활용 용이
- 3D프린팅 기술 보편화와 고도화로 미래사회는 공장 중심의 대량생산 체계가 아닌 맞춤형 제조 환경으로의 변화가 예상됨에 따라 소재산업도 동반 성장할 전망

[표 10] 광물기반 소재산업

주요 광물 소재산업	응용 분야
철강, 비철산업	• 동, 아연 제련 및 동 합금산업
마그네슘 합금산업	• 자동차, 항공기, 철도 등
희토류 산업	• 형광체, 발광체, 영구자석 등

자료: 여시재



- 북한 마그네사이트를 이용한 고효율 마그네슘 제련 기술 개발로 고부가가치화하고, 마그네슘 신합금 개발을 통해 신소재 응용분야 확대
- 산화물 원료로부터 용융염 전해<sup>23)</sup>공정을 이용한 고효율·친환경적 마그네슘 제련 신기술 개발
- 고기능성 마그네슘 신합금 개발을 통해 자동차 등 주력산업 경량화 핵심소재로 활용하고, 난연성, 내식성이 우수한 신합금의 신규분야(항공/철도) 적용 확대
- 남북 가치사슬 통합으로 가격경쟁력과 기술경쟁력을 확보함으로써 소재수출 대국으로 도약 가능

**남북 자원개발 공동투자를 통해 남한은 자원안보 및 수익성, 첨단산업 경쟁력을 확보하고, 북한은 경제발전의 토대 마련 가능**

- 우리나라는 첨단 산업 부품제조에 필요한 자원확보 투자 대신 첨단제품의 부품을 거의 전량 수입에 의존하고 있어 중장기적인 경쟁력 취약 우려
- 남한은 북한자원의 단순도입을 넘어 자원개발사업에 직접 참여함으로써 원료자원 수급 안정화를 도모하고, 광업부문의 사업영역 확대와 첨단산업 경쟁력 제고 가능
- 북한은 남한 자본 및 기술력을 활용하여 침체된 광업 부문 도약을 모색하고, 이를 활용하여 경제발전 토대 마련 가능

**[표 11] 남북 자원개발 협력의 경제효과**

광업협력 분야	남한	북한
북한 광산 개발투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원료자원의 수급 안정</li> <li>• 원료수송비용 절감</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광물자원 생산 및 수출증가</li> </ul>
신규 제철·제련산업의 북한 투자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신규 제철, 제련산업의 부지 확보</li> <li>• 원료공급지 근교에 제철, 제련 설비 구축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 북한 광물자원 산업의 고부가 가치화</li> <li>• 첨단기술이전, 고용효과</li> </ul>

자료: 남북의 지하자원과 남북자원협력(2017), 김동환(‘북한 광물자원의 경제성 평가 방안’) 발표자료 재인용, 발췌

23) 석출 전극이 낮고, 수용액에서는 석출되지 않는 금속이나 피막의 물성이 나쁜 금속을 물 대신에 용융염을 사용하여 제조하거나, 도금하는 전기화학적 방법



## V. 남북 자원개발협력을 위한 개선과제

### 1. 북한 광업 현황 및 문제점

광업은 북한 경제의 핵심산업으로 GDP 중 12~13%, 전체 수출액의 약 50% 차지

- 북한 GDP 30조~32조 원(2013~2016년) 중 광업이 차지하는 비중은 12~13%
- 전체 수출액 28억~34억 달러(2013~2016년) 중 광물수출 비중은 50%이고, 수출의 약 90%를 중국에 의존

북한 광업 분야 생산성은 매우 낮고, 1990년대 이후 생산량 급감

- 북한 가행광산수는 약 700개, 근로자수는 100만여 명에 달하는 것으로 알려져 있음
- 남한 가행광산수 364개, 근로자수 7,000여 명에 비해 북한 광업 분야 생산성은 매우 낮은 수준
- 북한 자원개발은 1970년대 구소련 지원 하에 철광석부터 시작되었으며, 1970년대부터 1985년까지 광공업 전성기를 누림
- 1980년대 비철금속 및 비금속광물의 증산이 본격화되며, 핀란드, 독일, 프랑스 등 서방국가 투자 유치를 통한 광산개발 시도
- 하지만 1990년대 이후 재정악화, 자연재해 등으로 생산량이 급감, 2000년대 들어 산업 정상화를 위한 정책 추진
- 2000년대 이후 생산량 정상화를 위해 경제회복정책을 추진하였고, 2014년 이후 김정은 정권은 산업 정상화를 위한 전력, 석탄 증산 필요성 강조

[그림 12] 남한과 북한의 가행광산수 비교



자료: 북한자료는 조선지리전서(1988); 조선지질총서(2011), 남한자료는 광물자원통계포럼(2016)



## 북한 광물자원은 금속광 중심으로 개발되어 왔으나 기술수준이 열위하고, 생산물 품위가 국제수준 이하

- 북한의 대표 광산들은 일제 강점기부터 개발되었으며 주로 금속광 중심으로 개발
  - 탐사부문에서 자금 및 기술 부족으로 인해 아직까지도 일제 강점기에 조사한 탐사자료를 바탕으로 생산단계에서 광량확보 차원의 물리탐사, 화학탐사 및 시추탐사 등 소극적 탐사 실시
  - 북한 제1광산인 무산철광산은 1937년 조업 개시, 홀동금광산은 탐사작업을 거쳐 1937년에 본격적인 개발 시작
  - 혜산동광산도 1930년에 개발을 시작했으며, 검덕연·아연 광산도 1937년에 본격적인 개발 시작
  - 장진몰리브덴광산은 1937년 광체를 발견하고 만년중석광산도 1940년 개발 개시
- 채광기술 대규모 노천채광법, 슈링케이지<sup>24)</sup>, 중단채광법 등을 적용
  - 채광 시 가행 최저 품위(cutoff grade) 이하의 광체를 함께 채굴하여 선광장의 급광 품위가 연도별로 불규칙하고 채광량도 불규칙하여 계획적인 생산이 되지 못하고 있음
  - 또한 폐석 혼입이 높아서 원가가 높아지고 품위 조절도 어려움
  - 북한은 산악지대여서 생산된 광석을 운반하기 위해 가공삭도<sup>25)</sup> 방법이 이용되어야 함
- 선광기술에는 부유선광, 자력선광, 비중선광법 적용
  - 광석 정광 품위는 국제적으로 통용되는 수준 이하로 생산
    - 철광석은 중국에서 재마광(regrinding)하여 단체분리를 시킨 후 다시 자력선별을 통해 국제적으로 통용되는 품위로 향상
    - 동정광의 경우에도 국제적 기준 정광 품위가 Cu 25~29%이나 북한이 중국에 수출하는 동정광 품위는 Cu 18% 이하로, 품위에 상응하는 가격으로 판매
    - 금정광은 국내 은산금광의 경우를 보면 300g/t 금정광(석금)을 생산하여 판매하고 있는데 비해 북한이 중국에 판매하고 있는 금정광(사금)은 20g/t에 불과
  - 북한 저품위 광물 생산의 주요 원인은 불완전한 전기 공급으로 인해 연속작업이 이루어지지 못하고, 소모품 부족으로 계획생산이 어렵기 때문
- 북한 광산의 금속광체는 대부분 복합광물로 이루어져 있어 적절한 선별기술 필수
  - 대표적인 광종 금광체는 은, 동, 창연, 구리 코발트, 리튬, 몰리브덴, 비스무트, 붕소, 연이 혼합

24) Shrinkage stoping: 맥폭 1m이상, 경사 45도 이상의 급경사 광상으로 광체 및 상하반이 비교적 견고할 때 적용하는 상향계단식 채굴법

25) 공중에 가설한 강철줄에 운반차를 매달아 광석 등을 운반하는 공중 케이블카



- 아연 광체는 은, 수은, 카드뮴, 코발트, 인듐, 게르마늄이, 티탄 광체는 금홍석, 지르콘, 모나자이트<sup>26)</sup>, 인회석, 바나듐 등이 혼합되어 있음
- 함남 단천 동대종합선광장은 북한의 대표적인 혼합광물 처리 선광장이나, 운영기술 부족과 열악한 관리환경으로 인해 당초 목표대로 생산이 이루어지지 못하고 있음
- 제련설비 대부분은 일제 강점기에 건설한 것으로 인근 철광산과 화력발전소에서 원료 및 전력을 공급받고, 군수산업 공작기계 부문과 연관
- 비철금속 제련소는 대부분 80년대 이후 북한이 자체적으로 건설한 것으로 금속광석이나 제련 중간산물, 제련 폐설물 속에 들어 있는 금, 은과 같은 값이 나가는 유색금속인 유가금속 회수 기술 낙후
- 북한 비철금속 제련소 현황을 보면 문평제련소만 동, 연·아연, 알루미늄, 금, 은, 니켈, 주석, 안티몬, 카드뮴 등을 회수할 수 있는 시설을 보유하고, 다른 제련소는 주광종만 제련하고 있는 실정
- 북한 매장량이 풍부해 개발 잠재력이 높을 것으로 기대되는 희토류는 대부분 모나자이트 형태로 산출되며 주요 부존지역은 평북 철산, 정주 등
- 북한이 발표한 매장량은 TREO 100% 기준으로 2천만 톤이나, 북한의 매장량 산출기준으로 산출하였다고 판단되며 전문기술자 추가 조사 필요
- 특히 2013년 호주 SRE Minerals가 북한 광산희토류 개발사업에 진출하기 위해 탐사를 실시하여 국제기준의 매장량 산출 의지 표명
- 또한 북한은 1991년 희토류 원소 생산공장인 함흥화학합영공장에 중국 상하이 월롱 화학유한공사로부터 기술과 공사를 턴키방식으로 무상제공 받은 바 있음
- 북한이 희토류 원소 17개 모두를 분리 가능한지는 확인되지 않음
- 한국과 북한이 공동으로 개발할 주요 대상광종은 철, 연·아연, 동, 몰리브덴, 텅스텐, 희토류, 티타늄 등
- 금속부문에 있어 자료 부족으로 충분히 검토하지 못한 광종은 니켈, 알루미늄, 망간, 크롬, 주석, 안티몬, 코발트, 탄탈륨 등으로 향후 북한 기술자와 자료 공유 등 협의가 필요한 광종

### **북한에서 마그네사이트, 인회석, 흑연, 석회석, 규사 등 비금속광산 및 관련 산업 기술은 기초적인 수준에 그치고, 금속광산 개발 대비 비중이 매우 낮음**

- 채광작업은 전통적 방법인 노천채광을 실시하고 있으며 일부는 갱내채광 실시
- 한국 등 선진국은 비금속 광물을 기반으로 다양한 고부가 제품을 만들지만 북한은 후진국형 가공 수준에 그침

26) 단사정계에 속하는 세륨족 희토류원소의 인산염광물



- 석회석은 시멘트 원료 및 섬유 산업, 소석회비료 생산에 사용하고 인회석은 인비료 및 인산염 생산에 사용
- 마그네사이트는 코크스 부족으로 경소(건축자재), 내화물<sup>27)</sup> 생산에 주로 사용하고, 규사는 판유리, 병유리, 주물사<sup>28)</sup> 생산, 흑연은 전극봉 및 내화벽돌 생산에 그침

### 북한 광업과 관련한 법제도 미비, 기술 및 인프라 부족 등 문제점 존재

- 북한 광업은 국가 주도 하에 이루어지며, 자원 탐사·개발 관련 활동은 지하자원법<sup>29)</sup>으로 규정·관리하고 있으나 관련 법제도 미비
- 외국기업이 북한 광산 투자 시 기준으로 삼아야 하는 법이나, 대부분의 내용이 추상적이고 모호한 조문으로 구성
- 또한 자원개발 심의기관의 승인 없이는 폐광이 불가능하고, 생산물 수출도 정부기관의 승인을 득해야 하며, 기본적으로 국가가 지정한 용도로만 이용해야 하는 등 민간 투자자 자율성 제한

[표 12] 남한 광업법과 북한 지하자원법 비교

구분	북한 지하자원법	남한 광업법
대상	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하자원 : 금속, 비금속, 가연성 광물자원과 지열, 지하수, 광천자원</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광물자원 : 66개 법정광물 규정</li> </ul>
국가 소유	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지하자원은 국가만 소유</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미채굴 광물은 국가 소유</li> <li>• 국가는 광물을 채굴하고 취득할 권리를 부여할 권한 가짐</li> </ul>
광업권	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정의 없음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광업권 정의 및 취득 조항</li> </ul>
탐사 주체	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가(국가계획기관이 계획 수립)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광업권자</li> </ul>
매장량 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가지하자원개발심의기관이 매장량 계산 기준 제정</li> <li>• 국가지하자원개발심의기관이 매장량 등록·실사</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매장량 심의, 등록제도 없음</li> </ul>
개발 절차	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 개발 신청서 제출 및 개발계획 작성</li> <li>• 승인 없이 폐광, 폐갱 금지</li> <li>• 승인 없이 등록된 매장량 삭감 금지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 채광계획 인가</li> </ul>
지하자원 이용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국가가 지정한 용도에만 이용해야 하는 의무</li> <li>• 수출 시 해당 기관 승인</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 없음</li> </ul>
지도 감독	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탐사, 개발, 이용 감독 통제(지하자원 감독기관)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광업권의 등록 취소, 생산보고서 접수 등(산업통상자원부)</li> </ul>

자료: 북한 지하자원개발 법제 연구(66쪽), 북한자원연구소, 2013

27) 고온에 견디는 물질로, 적어도 1000°C 이상 고온에서 연화하지 않고 그 강도를 충분히 유지하며, 화학적 작용 등에도 견딜수 있는 재료

28) 거푸집을 만드는 데 쓰는 모래

29) 지하자원법은 1993년 4월 8일 제정되었으며 기본, 지하자원탐사, 개발, 이용 및 지도통제 등 5개 부문으로 구성



- 소규모 설비, 노후화된 재래식 개발 등 기술력 부족에 따른 비효율적 개발
- 1980년대까지 지질연구가 활발했으나 1990년대 이후 정체되었다가 2006년 이후 중국과 공동연구 시작
- 광물탐사는 과학적·체계적 탐사가 미흡하고, 장비보다는 인력에 의한 조사 위주
- 채광에 필요한 장비와 생산시설 노후화로 효율이 낮고, 안전관리 미흡
- 1970~80년대 러시아, 독일, 스웨덴 등에서 구입한 장비를 사용하고, 소규모 갱도 의존 및 심부화로 채광 효율 저하
- 인력 의존도가 높은 재래식 채광법을 주로 사용
- 소규모 제련소 수는 많으나 생산량은 남한 대비 10분의 1에서 30분의 1 수준으로 매우 낮은 수준
- 효율적인 자원개발에 필수적인 인프라 구축 미비
- 광물운송에 필요한 도로, 철도, 항만 등 인프라와 자원개발 대형설비 가동을 위해 필수적인 전력 부족
- 북한 전력산업은 수력, 화력발전에만 의존하고 있으며 관련 설비 노후화 및 유지보수 미흡으로 이용률이 약 35%로 매우 낮으며, 전력공급 역시 불안정

**[표 13] 북한 자원산업의 SWOT 분석**

Strength	Weakness
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 남한대비 풍부하고 다양한 자원</li> <li>• 육로 운송이 가능한 물류</li> <li>• 풍부한 인력 및 낮은 인건비</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 열악한 인프라 환경</li> <li>• 광물자원 개발을 위한 법제도 미비</li> <li>• 시장개방 경험 부족</li> </ul>
Opportunities	Threats
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 남북관계 점진적 개선 가능성</li> <li>• 국제 자본 유치로 인프라, 제도 등 투자환경 개선 가능성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 국가 위험</li> </ul>

자료: 북한 비즈니스 진출전략(삼정KPMG)



## 2. 남북협력을 위한 개선과제

### 가. 과거 북한자원개발 사례와 한계

#### 과거 남북한은 광물자원 개발투자를 공동으로 진행한 적이 있으나 정치적 이슈로 중단

- 북한에 투자하는 기업은 합영법, 합작법 및 외국인투자법에 근거한 회사 설립이 가능하나 외국이 아닌 남한의 경우 합작법과 합영법의 적용을 받음
  - 합작계약은 남한 기업은 투자만 하고 광산운영은 북한 단독으로 하는 방식
  - 합영계약은 북한에 합영회사를 만들고 남과 북이 공동으로 광산을 운영하는 방식으로 합작계약 대비 생산원가 및 투자자 자산 보호차원에서 유리하나 정치적·법적 제약 뿐 아니라 현지 상주, 광산 운영·감독이 현실적으로 어려워 거의 실현 불가능
- 광물자원 개발투자와 관련 남북한이 다양한 협력을 검토했었으나, 실질적 투자는 정촌 흑연광산과 민간에서 투자한 석산이 유일하고, 나머지는 조사작업 후 중단
  - 황해남도 연안군 정촌의 흑연광산은 2003년 10월 한국광물자원공사가 광산 분야 최초로 대북 경제협력사업의 승인을 받아 북한 삼천리총회사와 50대 50 지분으로 합작회사를 설립하여 개발에 착수
    - 광물자원공사가 선광시설 및 운송장비 665만 달러 상당액을 현물 투자하고, 북한이 단독 경영하며 투자원금 및 이자를 흑연제품으로 15년간 분할지급하는 조건
    - 2007년 11월 24일 이 광산에서 생산된 흑연 200톤이 처음 유입된 이래 2009년까지 총 세 차례에 걸쳐 총 850톤이 반입되었으나 2010년 5·24조치<sup>30)</sup>로 중단
  - 민간기업 태린산업은 2006년 개성에 북한과의 첫 합영계약으로 석재공장을 설립하고 2007년 투자를 늘려 경계석<sup>31)</sup>이나 사괴석<sup>32)</sup> 용도의 석재를 반입했으나 남북관계 경색에 따라 사업 중단
  - 이 외에 아천글로벌(주)도 북한 조선진영무역회사와 합작하여 석재 가공공장 건설·운영에 투자했으나 진전 없이 중단
  - 2007년 정부 차원에서 단천지역 3개 광산에 대해 남북경제협력추진위원회 회담을 바탕으로 한 실무협의를 통해 현지조사 및 사업 타당성 검토를 수행했으나, 금강산 피격 사건을 계기로 모두 중단

30) 정부가 2010년 3월 26일 천안함 피격 사건에 대한 대응으로 5월 24일 발표한 대북 제재조치로서 내용으로 개성 공단과 금강산 관광 등 남북교역 중단, 대북 신규투자 금지, 북한 선박의 우리 해역 운항 불허, 대북 지원사업의 원칙적 보류, 인도적 지원을 포함한 모든 지원 차단 등

31) 경계를 구분하기 위해 매설하는 돌

32) 벽을 쌓는 데 쓰는 육면체의 돌



[표 14] 한국의 대북 지하자원 개발협력 동향

구분	추진업체	사업 대상자	방식	추진내용	기타
투자	광업진흥공사	삼천리총회사	합작	정촌흑연광산 개발	60억원 투자
	태림산업	개선총회사	합영	룡강석산(화강석) 개발, 장풍석산 개발, 개강석재가공공장, 판석공장 운영	아리랑태림석재합업 회사 설립, 39억원 투자(60억원 추가 투자 계획)
	아천글로벌	신진무역총회사, 조선진영무역회 사	합작	개성 및 해주 석산(화강석) 개발, 철광석, 내화벽돌 공장 건설 추진 계획	250억원 투자 예정. 해주 원석 국내 첫반입 (2008.3.10.)
	나우 코포레이션	민경련을 통한 사업 대상자 다변화	합작	무연탄, 흑연, 아연 등 수입. 텅스텐, 선철 등 품목 추가 예정	2007년에만 북한 광물자원 12만 7천톤(약 400억원 규모) 수입
	서평에너지	명지총회사	합작	남포에 석탄 전용 대안부두 건설 중	천성석탄합작회사 설립 20억원 투자
투자 계획	크레타개발공 사	조선명지총회사	합작	해주철광석광산, 해주석산 개발	20년간 300억원 투자, 연간 500만톤 철광석 반입 예정
	굿네이버스	아시아태평양 평화위원회	합작	아연제련소	50억원 투자 계획
	광업진흥공사	광명성총회사	미정	풍천흑연광산 조사	시추탐사 계획
	광업진흥공사 /원진	광명성총회사	미정	아양석회석광산 조사	2007년 9월 공동개발 의향서 체결
협의 단계	남북교류협력 지원협회	명지총회사	미정	단천시 납 아연 마그네사이트 광산 개발	2008년 단천지역 3개 광산 사업 타당성 평가 실시
	남해화학	민경련	미정	인회석광산 개발	남포 대대리광산
	대성자원개발	민경련	미정	석회석광산 개발	
	원진	민경련	미정	마그네사이트광산 개발, 가공공장 건설	단천 용양광산
	포스코	민경련	미정	무산광산 철광석 개발, 제철소 건설 협의	

자료: 북한의 산업, 산업은행(2015); 삼성KPMG 재인용



## 유럽과 아시아 국가들의 북한 광물자원에 대한 관심은 높으나 중국을 제외한 국가들의 투자 실적은 거의 전무

- 중국이 북한자원개발과 관련한 가장 가시적인 성과를 보인 국가이나 중국 역시도 많은 계약 협상 중 실제 투자로 연결된 사업은 10~15개에 그치는 것으로 알려짐
- 중국의 북한 광산개발 투자 대부분은 2000년대 중반 계약이며, 2010년 이후에는 투자 협상은 많았으나 실제 성사된 계약은 거의 없는 것으로 파악
- 영국 에리곤개발회사가 2005년 10월 함경남도 단천지구의 광산개발을 위해 단천지구 광업지도국과 합영계약을 체결했지만 투자 중단
- 북한 지하자원에 대한 외국인 투자는 광산 설비, 에너지 공급을 통해 생산 확대로 이어질 수 있으나 해당광산 개발권, 경영권 문제로 사업 진전이 어려운 상황

## 나. 개선 과제

### 북한 광물자원개발 투자협력을 위해서는 각종 리스크 해소가 선결되어야 함

- 남북 자원개발협력을 위해 북한 정치적 리스크를 비롯한 각종 리스크 해소 선결이 요구되는바, 북한 자원개발산업 진출 시 제반 리스크 분석에 따른 진출 타당성 검토와 전략 수립 필요

### 높은 정치적 불안정성: 과거 남북한이 공동으로 광물자원 개발투자를 진행한 적이 있으나 정치적 이슈로 중단

- 정치적 관계 악화로 민간기업이 사업을 철수하게 되는 경우에 최소한의 철수기간 보장과 재산 보호 방안 등에 대해 북한당국의 구속력 있는 합의 체결 필요

### 인프라 부족: 효율적인 자원개발에 필수적인 도로·철도·항만 등 인프라 구축 미비, 전력 등이 부족하고, 소규모 설비, 노후화된 재래식 개발 등 기술력 부족으로 생산성 저조

- 광업은 북한 GDP 중 12~13%, 전체 수출액의 약 50%를 차지하는 핵심 산업이나 기술력 부족으로 광업분야 생산성이 매우 낮고, 1990년대 이후 생산량 급감
- 광물자원개발 뿐 아니라 인프라 확충을 위해 대규모 투자가 필요하므로 북한 당국과 협상을 통해 투자 안전성을 보장해 주는 제반 장치들을 마련할 필요



**법제도 미비: 북한 광업은 국가 주도 하에 이루어지며, 자원 탐사개발 관련 활동은 지하자원법으로 규정·관리하나 관련 법제도 내용 불명확 등 문제 발생 여지 존재**

- 북한 지하자원법이 민간자본이 지하자원 개발할 권리는 있지만 채굴자원을 이동, 처분하는 권리에 대해서는 명시되지 않아 민간기업 투자 시 문제 발생 가능성을 내포하고 있으므로 이와 관련하여 북한 당국과 민간투자자 위험을 완화하는 사전 작업 필요

**공신력 있는 매장량 정보 부재: 북한 매장량에 대한 상세정보가 없고, 국제적 기준과 상이**

- 국제적 기준에 부합하는 북한 광물자원 정보에 대한 데이터베이스 구축 필요

**[표 15] 북한 광물자원개발 투자 관련 위험**

위험	내용
정치적 불안정성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 남북한의 정치적 관계 악화에 따른 사업상 손실 발생 리스크 (예: 개성공단 폐쇄)</li> </ul>
인프라 구축 미비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 자원개발에서는 전력, 용수 확보, 도로, 철도, 항만 등의 인프라 구축 여부가 중요한 선결과제이나, 현재 북한은 만성적인 전력 부족 상태이고, 사회기반시설 역시 노후화</li> <li>• 인프라 구축 전에는 광물 선광 및 제련설비 투자가 어렵고, 채광작업 역시 제한받을 가능성이 큼</li> </ul>
법제도 미비	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 북한의 광물 채취 및 개발 관련 규정이 국가 통제 하에 매우 모호하게 기술되어 있어 민간투자자에 어려움 존재</li> <li>• 남북경협 활성화 단계 이후에도 제도 정립 방향에 따라 민간 투자 방식에 영향을 끼칠 가능성 존재</li> </ul>
공신력 있는 매장량 정보 부재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 광종별 광산 분포 현황, 광물품위, 자원의 경제성 보유 여부에 대한 투명하고 구체적인 정보 부재</li> </ul>

자료: 삼성KPMG 등



## < 참고자료 >

1. 고상모(DMR 융합연구단), 북한 광물자원 현황과 통합개발시스템, 한국미래기술교육연구원 “신소재 강국을 위한 희소금속/희토류 개발과 남북 경제협력을 통한 광물자원의 경제성 분석” 세미나 발표자료, 2018년 6월
2. 구청모, 4차 산업혁명 시대에 필요한 핵심 광물자원의 안정적 확보방안, 광물자원공사, 2017년 해외자원개발심포지엄 발표자료, 2017년 12월
3. 김동환, ‘북한 광물자원의 경제성 평가 방안’, “신소재 강국을 위한 희소금속/희토류 개발과 남북 경제협력을 통한 광물자원의 경제성 분석” 세미나 발표자료, 2018년 6월
4. 김유정(한국지질자원연구원), 세계 Critical Materials 관리를 위한 전략, J. of Korean Inst. of Resources Recycling Vol. 22, No. 5, 2013, 3-12, 2013
5. 김진향(여시재), 북한의 지하자원과 남북자원협력, ISSUE REPORT, 2017년 5월
6. 김택수, ‘희소금속 종류와 주요 산업별 적용현황 및 공급 활성화 방안’, “신소재 강국을 위한 희소금속/희토류 개발과 남북 경제협력을 통한 광물자원의 경제성 분석” 세미나 발표자료, 2018년 6월
7. 방경진, 남·북 광물자원 개발기술의 실상과 미래, KDI 북한경제리뷰, 2014년 8월
8. 삼성 KPMG 대북비즈니스지원센터, ‘북한 비즈니스 진출 전략’, 두앤북, 2018년 4월
9. 신중호, Industry4.0과 자원개발전략, 한국지질자원연구원, 2017년 해외자원개발심포지엄 발표자료, 2017년 12월
10. 정우진 외, 북한 광물자원 개발·가공분야의 투자 잠재력 연구, 기본연구보고서 14-20, 에너지경제연구원, 2014년 12월
11. 정웅태 외, 녹색성장을 위한 희소자원의 개발과 관리 방안, 경제 . 인문사회연구회 녹색성장 종합연구 총서 11-02-05, 2011년 9월
12. 최종문, 국제기준에서 바라본 북한 광물자원 평가와 개발환경, 씨아이알, 2017년 3월