

## 한국의 광물자원 산업적 경제중요도 지수 산정 연구

§김 유 정

한국지질자원연구원

### A Study on the Industrial Economic-Importance Index of Minerals in Korea

§Yujeong Kim

*Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*

#### 요 약

공급망 관리가 산업의 지속적 성장의 핵심 요소가 되면서 국가적 차원에서 또는 기업적 차원에서 원료가 되는 광물자원의 확보가 중요해지고 있다. 그리고 산업구조에 따라서 광종별 경제적 위상과 공급리스크가 상이하다. 본 연구에서는 광종별 경제적 위상을 살펴보고 위해, 산업별 수요구조와 비용, 비중 등을 반영하여, 광물자원별 국내 산업 경제중요도를 정량할 수 있는 지수(index)를 개발하고 산정하였다. 그 결과 Li, Al, Cu, Si, Co, Ni 등이 우리나라의 산업적 중요도가 높은 것으로 평가되었다. 또한 산업별로 1차금속제조·일반기계·조립 금속은 Al, Cu, Zn, Pb 등 베이스메탈이, 정밀기기는 Sn, Ba, Ti이, 반도체는 Si, Ga이, 전자부품은 Li, Ni, Co, Si 등이 산업적 중요도가 높은 것으로 분석되었다. 이러한 결과를 바탕으로 공급망 리스크 등을 추가적으로 반영하여 핵심광물 등을 선정·관리하고 이를 확보하기 위한 전략을 마련해야 할 것이다.

**주제어** : 광물자원, 산업적 경제중요도, 지수, 핵심광물, 공급망

#### Abstract

As supply chain management becomes a key factor in the sustainable growth of the industry, securing minerals at the national or corporate level is becoming important. Depending on the industrial structure, the economic status of each minerals is different and the supply risk is different. In this study, to examine the economic status of minerals, an index that can quantify the Industrial Economic Importance by minerals was developed and calculated by reflecting the demand structure and cost weight of each industry. As a result, Li, Al, Cu, Si, Co, Ni, etc. were evaluated as having high industrial importance in Korea. In addition, by industry, Al, Cu, Zn, and Pb for primary metal manufacturing, general machinery, assembly metals, Sn, Ba, Ti, Si and Ga for precision equipment, Si and Ga for semiconductors, and Li, Ni, Co, Si, etc. for electronic components had high industrial importance. Such as Europe and the United States, in order to select Critical-minerals, Korea will need to analyze the economic impact on the domestic industry as well as the risks of supply chain by minerals.

**Key words** : Minerals, Industrial Economic-Importance, Index, Critical Minerals, Supply chain

· Received : January 21, 2023 · 1st Revised : February 10, 2023 · 2nd Revised : February 22, 2023 · Accepted : February 22, 2023

§ Corresponding Author : Yujeong Kim (E-mail : [kyj@kigam.re.kr](mailto:kyj@kigam.re.kr))

Policy & Planning Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124, Gwahak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34132, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. 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 the original work is properly cited.

## 1. 서 론

최근 유럽의 신배터리 규제 및 미국 인플레이션감축법 등 공급망 전반에 대한 각종 규제로 원료광물의 탄소배출 및 윤리적 개발을 요구하고 있으며, 저개발 자원부국에서는 수출제한, 로열티 상향, 고부가가치화 의무화 등 자원 민족주의적 행동도 강화되고 있다. 이로 인해 광물자원의 확보 및 관리의 중요성은 더욱 확대되고 있다.

한편, 우리나라는 제조 산업이 발달되어 있으나 제조업에 사용되는 원료, 소재, 부품은 해외에 의존하고 있다. 우리 소재·부품·장비 시장은 글로벌 경쟁력이 높은 일본에 수입의존도가 높고 자체조달률은 정체되고 있는 실정이다<sup>1)</sup>.

이에 우리나라는 2000년 초반부터 부품소재산업을 육성하고 있으며 2019년 일본의 부품수출규제로 인해 더욱 가속화되고 있다. 2001년 「제1차 부품·소재발전 기본계획(2001.7.)」(이하, 기본계획)을 시작으로 2019년 「소재·부품·장비 경쟁력 강화대책(2019.8.)」 등 다수의 기본계획 및 대책을 수립하고 사업을 시행 중이다. 그리고 기존 「소재부품기업법」을 「소재·부품·장비산업 경쟁력강화를 위한 특별조치법」으로 전면 개정하여 시행(2020.4.1.)하고 있다. 산업통상자원부는 ‘자원개발기본계획(20년)’ 및 ‘희유금속 산업 발전대책(21년)’을 공표하고 원료 확보를 위한 전략 수립과 자원산업 발전을 지원하고 있다.

산업원료가 되는 광물자원은 일상생활과 현대 기술에 사용되는 광범위한 제품 생산의 필수 요소이면서, 최근 글로벌 공급망 재편 속에서 산업의 핵심 관심사로 대두되고 있다. 우리나라도 부품소재장비 산업 육성과 더불어 산업전반의 경쟁력의 지속적 성장을 위해서는 안정적 원료 광물자원 확보가 기반이 되어야 할 것이다. 그러나 우리나라는 자원이 부족하여 수입에 대부분을 의존하고 있는 실정으로 광물자원을 확보하기 위한 다양한 전략을 수립하고 있다. 국가적 또는 산업적 차원에서 광물자원을 확보하고 관리하기 위해서는 광종별로 공급리스크, 리스크 대응력, 리스크 발생시 파급성 등을 분석할 필요가 있다. 특히, 리스크 발생시 파급성은 기술적 특성 및 산업구조에 따라서 광종별로 차이가 있다.

본 연구에서는 핵심광물 선정 등 광물자원의 관리를 위한 다양한 평가 요인 중 리스크 발생시 파급력의 주요 지표가 될 수 있는 광종별 ‘산업적 경제중요도’를 평가할 수

있는 지수를 개발하였다. 즉, 부품소재산업 및 주력산업의 주요 원료가 되는 광물자원을 대상으로 산업에서 경제적으로 중요한 정도를 평가할 수 있는 지수(index)를 개발하고, 이를 광물자원의 ‘산업적 경제중요도 지수’로 명명하고 이를 산정하였다.

## 2. 평가절차 및 평가자료

광물자원별 산업적 위상 또는 경제적 중요성 등을 평가하기 위한 국내 연구는 희유금속의 비축 적정성 등을 평가하기 위해 수행된 바 있다. Kim et al.(2013)<sup>2)</sup>에서는 10여 개의 희유금속의 세부품목<sup>a)</sup>을 대상으로 품목별로 주요 수요산업을 도출하고 해당 수요산업에 대한 국가주력산업 정도에 따라 5점척도 구간으로 평가하였다. Kim et al.(2018)<sup>3)</sup>연구에서는 희유금속의 위험도를 평가하기 위한 한 요소로 광종별 산업에서 경제적 위상을 사용하였으며, 수요산업의 부가가치를 기준으로 평가하였다. 해당 연구 모두 광종 전체가 아닌 금속, 화합물 등의 세부품목을 대상으로 평가하였으며, 수요산업별 수요와 비용적 부담을 반영하지는 못하였다. 그리고 해외에서는 유럽위원회<sup>4)</sup>는 Critical Raw Materials를 선정하기 위해, 경제규모 대비 소비량을 기준으로 유럽에서 해당광종의 경제적 중요도 평가하였으며, 미국<sup>5)</sup>은 광종별 수요산업 부가가치 비중과 비용, 이윤을 반영하여 경제적취약성을 평가하였다.

본 연구에서는 세부품목을 각각 수요산업을 지정하고 이를 종합적으로 해석하여 광종 전체에 대한 산업적 경제중요도를 산정하고, 수요산업별 수요량 비중과 비용 비중을 반영하여 정량화하였다. 광물자원의 산업적 경제중요도 평가를 평가대상 광물자원 선정, 수요산업 범주화, 광물자원별 산업적 경제중요도 지수 산정 등의 절차로 수행하였다.

우리나라 주력산업과 신성장 산업의 핵심 부품에 소요되는 주요 원료 광물 40종<sup>b)</sup>을 대상으로 산업적 중요도를 평가하였다. 주력산업과 신성장 산업은 반도체/디스플레이/전기차/신에너지/기계·항공·우주·방산/자동차·정유·화학으로 하였다. 그리고 해당 산업의 주요 소재부품은 연마제, 타깃, 콘텐서, 폴리실리콘, 투명전극타깃, 영구자석

a) 광종의 금속, 화합물, 정광 등의 세부품목으로 페로니켈, 코발트 피 등 광종전체가 아닌 품목 기준

b) Ga, Ge, Si, Nb, Ni, Re, Li, Mg, Mn, Mo, V, Ba, Pt, Be, B, As, Bi, Cs, Se, Sr, Sb, P, In, Sn, Zr, Cd, Co, Cr, Ti, Tl, Ta, W, Te, Hf, REE, C(graphite), Al, Cu, Pb, Zn

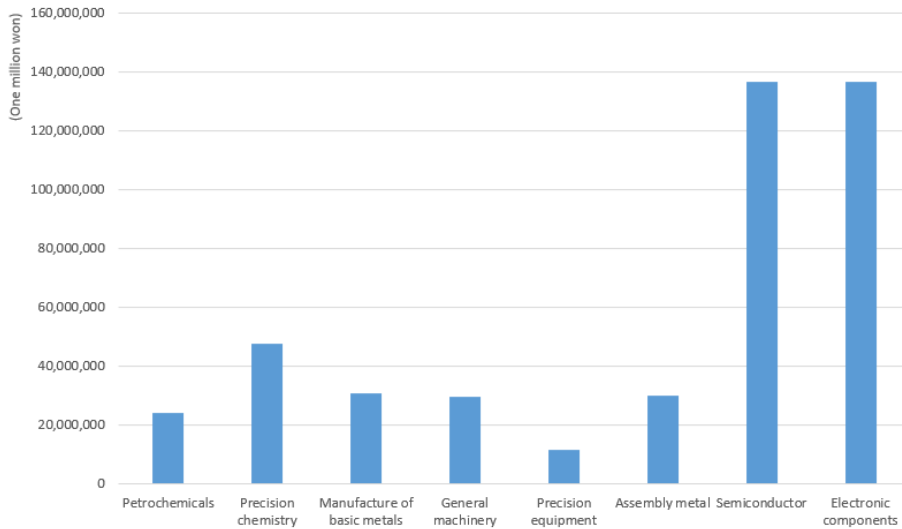


Fig. 1. Value Added by Industrial sectors in Korea in 2019.

모터, 이차전지, STS(전기차, 수소용 철강 소재), 태양전지셀, 경량금속, 초경공구 등을 대상으로 하였다.

광물자원은 정광, 금속, 화합물, 스크랩 등 다양한 형태의 수요가 있다. 따라서 본 연구에서는 광종별로 특정품목에 한정하지 않고 원재료 형태로 사용되는 정광, 금속, 화합물, 스크랩을 모두 포함하였다. 이를 위해 광종별로 5~15개의 세부품목 총 400여개 품목의 분류를 기준으로 자료를 수집 및 사용하였다. 국가승인통계인 “희유금속원재료교역통계<sup>6)</sup>”의 통계 범주와 동일하게 정광, 금속, 화합물, 스크랩 등에 해당하는 세부품목들을 분류하였고, 희유금속 외 연, 아연, 구리, 흑연의 경우, “희유금속원재료 교역통계”와 같은 기준으로 광종별 세부품목을 분류하여 통계를 집계하여 사용하였다.

산업분류는 평가대상 광물자원 40종(세부품목 400여개)을 수요하는 주요 산업을 한국 산업표준분류에 따라 8개 산업군(석유화학, 정밀화학, 1차금속제조, 일반기계, 정밀기기, 조립금속, 반도체, 전자부품)으로 구분하였다. 즉, 제조업 중 광물자원을 기반으로 하는 원료 사용이 중요한 금속, 부품 등과 관련된 산업군을 포함시키고, 섬유, 식품 등등은 광물자원 사용이 미미한 산업군을 분석에서 제외하였다.

산업별 GDP는 한국은행의 자료를, 광종의 세부품목별 수입액 및 수입량은 ‘희유금속원재료교역분석(2021)’과 무역협회 자료를 활용하였다. 그리고 광종별 세부품목의 산업 수요비중은 유럽위원회 Critical Materials 선정 자료

(EC, 2017)를 기반으로 국내전문가 자문을 거쳐 도출하였다).

본 연구에서는 자료의 최신성과 해당 자료의 유의성을 고려하여 2019년 자료를 기준으로<sup>d)</sup> 평가를 수행하였으며 자료의 신뢰성을 위해 국가승인통계 및 공식력 있는 기관에서 지속적으로 생산하고 있는 자료를 활용하였다.

### 3. 평가 방법론 및 결과

수요산업의 GDP, 광종별 수요산업 비중, 산업에서 해당 광종의 중요도 등을 종합적으로 고려하여 광종의 산업적 경제중요도 지수(Index)를 산정하였다.

8개 산업군별 부가가치는 한국은행 자료를 활용하였으며, 다음 Fig. 1과 같다. 반도체와 전자부품의 부가가치가 높으며, 조립금속과 정밀기기의 부가가치는 낮다.

광종별 각 산업군의 수요 비중( $DS_{ij}$ )은 3단계를 거쳐 식 (1)을 이용하여 산정하였다. 광종의 세부품목을 용도별로 구분(step1)하고 용도별로 수요산업을 구분하여 산

c) 유럽위원회(EC, 2017) 보고서에는 광종별로 수요산업 비중을 제시하고 있으며, 해당 자료를 기초로 하여, 금속제련 전문가를 통해 광종별 세부품목별로 국내 수요산업구조에 맞게 비중을 조정함, 즉, 광종별 세부품목별 산업비중을 적용함

d) 2021년 자료가 평가 현실점에서는 가장 최신이나 Covid-19라는 특정 이벤트에 따른 시장의 일시적 변화가 반영되어 일부 자료에 시장환경 왜곡을 일으킬 수도 있다.

**Table 1.** Calculating Example of the share of demand industries for Vanadium

	(step1) share of demand industries by vanadium sub-item					(step2) Imports of demand industries by vanadium sub-item (tonnes)					
	Petro-chemicals	Precision chemistry	Manu-facture of basic metals	Assembly metal	Electronic components	Petro-chemicals	Precision chemistry	Manu-facture of basic metals	Assembly metal	Electronic components	Sum
Vanadium Unwrought/powder/waste	-	-	0.25	0.5	0.25	-	-	73	146	73	292
Others Vanadium metal	0.5	0.5	-	-	-	11,545	11,545	-	-	-	23,090
Ferro-vanadium	-	-	1	-	-	-	-	1,982,577	-	-	1,982,577
Vanadium ores and concentrates	-	-	1	-	-	-	-	1,690,113	-	-	1,690,113
Vanadic pentoxide	-	1	-	-	-	-	4,505,140	-	-	-	4,505,140
Vanadium oxides and hydroxides	-	1	-	-	-	-	2,734	-	-	-	2,734
Vanadates	-	-	1	-	-	-	-	90,919	-	-	90,919
Sum						11,545	4,519,419	3,763,682	146	73	8,294,573
(step3) share of demand industries for vanadium						0.0014	0.5448	0.4537	1.76E-05	8.8E-06	1

업별 수입량을 배분(step2)한 뒤, 광종의 전체수입량 대비 수요산업별 수입량의 비중(step3)을 산정하였다. 즉 광종의 세부품목 수요비중을 고려하여 수요산업별 비중을 산정하였다.

$$DS_{ij} = \frac{Q_{ij}}{Q_j} \quad (1)$$

$$Q_j = \sum_{s=1}^n Q_{js} \quad Q_{js} = \sum_{i=1}^k Q_{ijs} \quad Q_{ij} = \sum_{s=1}^n \alpha_{ijs} \times Q_{js},$$

$$\sum_{i=1}^k \alpha_{ijs} = 1$$

$i$  : 수요산업,  $j$  : 광종,  $s$  : 광종별 세부품목(정광, 화합물, 금속 등)

$\alpha_{ijs}$  : 광종j의 세부품목s 수요산업i의 수요 비중

$Q_{js}$  : 광종j의 세부품목s의 수입물량

$Q_{ij}$  : 산업(i)에서의 해당광종(j)의 수입물량

바나듐의 산업별 수요 비중 산정 사례는 Table 1과 같다. 바나듐은 오산화바나듐과 페로바나듐을 주로 수입하고 있으며, 다른 세부품목은 미미하였다. 이로 인해 우리나라 산업에서 바나듐은 정밀화학과 1차금속제조 산업에서 대부분을 수요하고 있으며, 석유화학, 조립금속, 전자 부품에서 수요는 미미하였다. 바나듐과 같은 과정을 거쳐

평가대상 광종 40종의 수요산업별 비중을 산정한 결과는 Fig. 2에 제시하였다.

산업적 차원에서는 수요 광물자원이 다양하며, 해당 광물별 수요량과 가격이 다르므로 산업별로 광물자원별 중요성은 상이하다. 본 연구에서는 이를 평가하기 위해 산업별 광종의 중요성을 산업에서 차지하는 광종별 수입비용의 상대적 비중에 기반하여 식 (2)를 이용하여 도출하였다. 광종의 품목별 수요산업 비중을 이용하여 광종을 세부품목별 수입액을 배분한 뒤, 산업별로 해당산업에서의 광물자원 수입액 총액 대비 광종별 수입액 비중을 산정하여 해당 값을 각각 산업군에서의 광종별 중요성( $\beta_{ij}$ )을 산정하였다.

$$\beta_{ij} = \frac{C_{ij}}{C_i} \quad (2)$$

$$C_{ij} = \sum_{s=1}^n \alpha_{ijs} \times C_{js}, \quad C_i = \sum_{j=1}^n C_{ij},$$

$$C_{js} = \sum_{i=1}^k C_{ijs}$$

$i$  : 수요산업,  $j$  : 광종,  $s$  : 광종별 세부품목(정광, 화합물, 금속 등)

$\alpha_{ijs}$  : 광종j의 세부품목s 수요산업i의 수요 비중

$C_{js}$  : 광종j의 세부품목s의 수입액

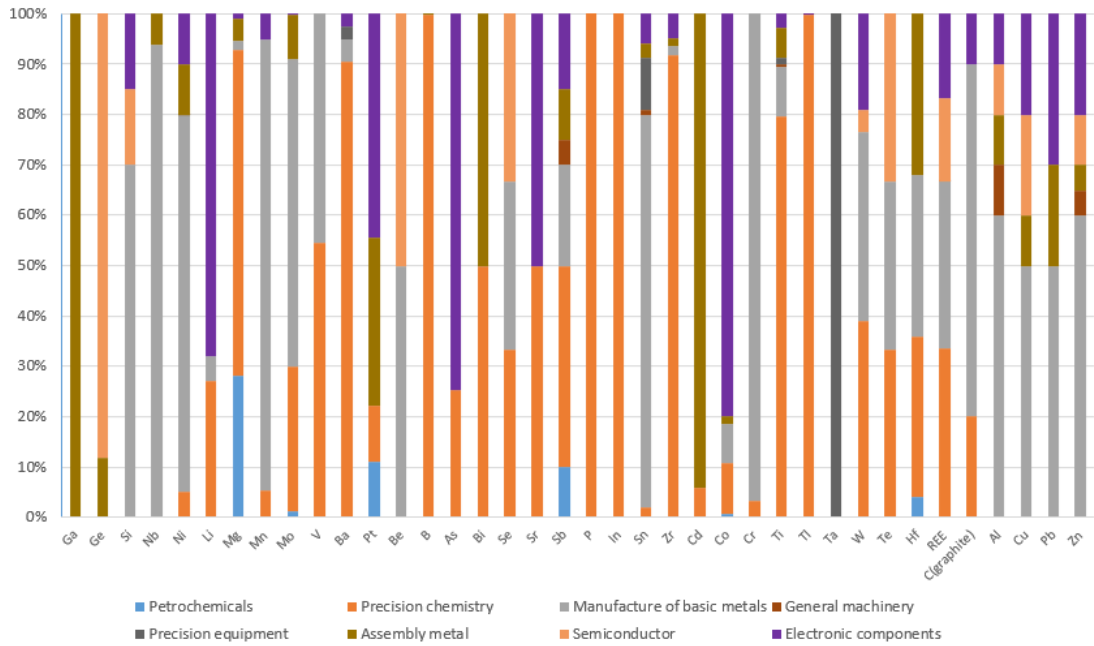


Fig. 2. The share of demand Industries by Minerals.

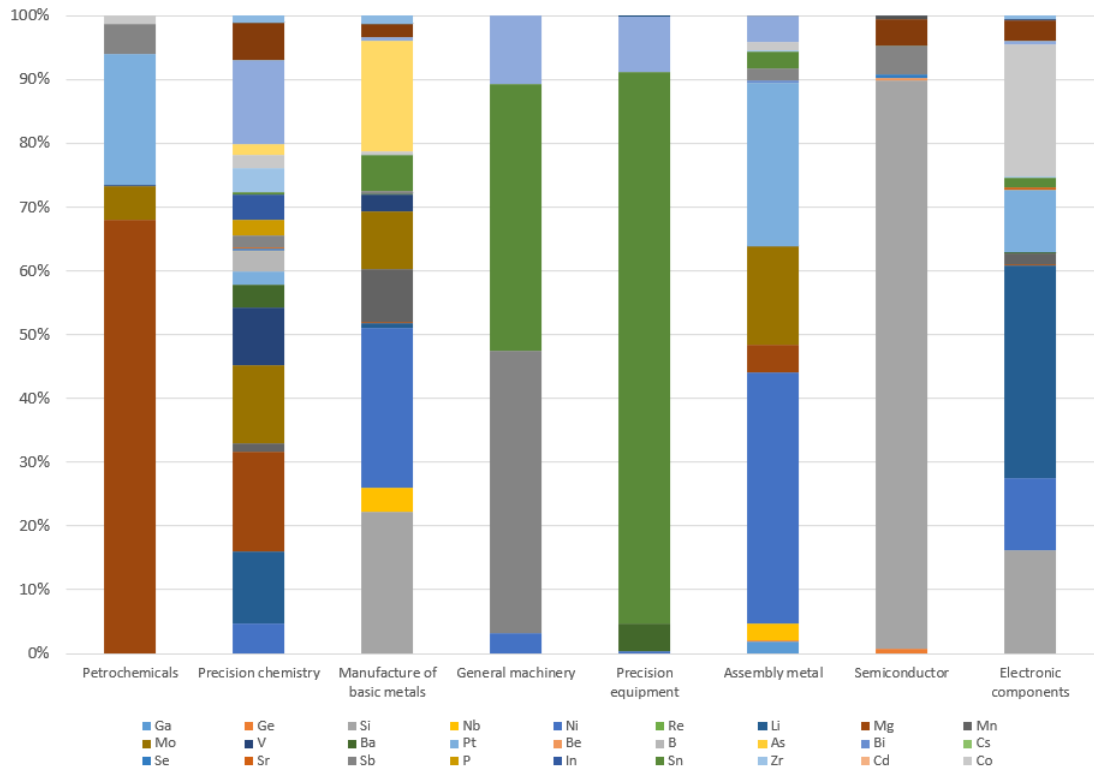


Fig. 3. Minerals Importance by Industries.

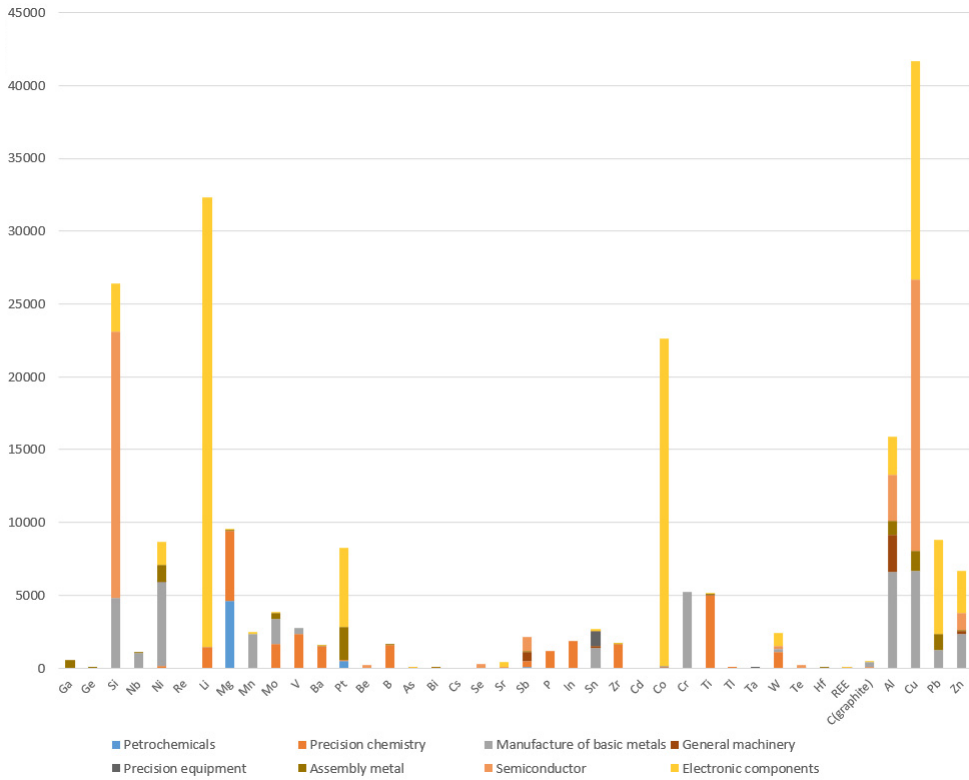


Fig. 4. Industrial economic importance index by Minerals.

Table 2. Industrial economic importance index by Minerals

A : Industrial economic importance index				
0≤A<1000	1000≤A<2000	2000≤A<5000	5000≤A<10000	10000≤A
Ga, Ge, Re, Be, As, Bi, Cs, Se, Sr, Cd, Ti, Ta, Te, Hf, REEs, C	Nb, Ba, B, P, In, Zr	Mn, Mo, V, Sb, Sn, W	Ni, Mg, PGMs, Cr, Ti, Pb, Zn	Si, Li, Co, Al, Cu

$C_{ij}$  : 산업(i)에서의 해당광종(j)의 수입액  
 $C_i$  : 산업(i)에서 수요한 광물자원의 수입 총액  
 $\beta_{ij}$  : 산업(i)에서 광종의 중요도

산업군별 광종의 중요도 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 석유화학은 백금족, 마그네슘이, 정밀화학은 마그네슘, 리튬, 몰리브덴 등 다양한 금속이 고르게 중요하며, 1차금속제조·일반기계·조립금속은 Al, Cu, Zn, Pb 등 베이스메탈이, 정밀기기는 Sn, Ba, Ti이, 반도체는 Si, Ga이, 전자부품은 Li, Ni, Co, Si 등이 높은 것으로 분석되었다.

이상의 해당광종의 수요산업 비중, 산업에서 해당 광종

의 중요성, 산업별 GDP비중 등을 이용하여, 식(3)과 같이 광종별 국내 산업의 경제적 중요도를 정량화하였다.

$$I_j = \sum_i GDP_i \times DS_{ij} \times \beta_{ij} \tag{3}$$

$i$  : 수요산업,  $j$  : 광종,  $GDP_i$  : i산업의 GDP  
 $DS_{ij}$  : 광종(j)의 산업(i)의 수요 비중  
 $\beta_{ij}$  : 산업(i)에서의 광종(j)의 중요성(수입비용의 비중)

우리나라 산업에서 광종별 산업적 경제중요도 지수 산정 결과는 Fig. 4와 Table 2와 같으며, 우리나라 부품소재

산업 및 신성장산업에서는 Si, Li, Al, Cu, Co, PGMs, Mg 등이 경제적 중요도가 높으며, Ge, Be, As, Bi, Cs, Se, Sr, Cd, Ta, Te, Hf, REEs 등은 경제적 중요도가 낮은 것으로 나타났다. 희토류의 경우, 공급리스크와 달리 국내 수요가 매우 미미한 결과로 인한 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 해외에 거의 전량 의존하고 있는 금속광물을 대상으로 '국가의 신성장산업에 필요한 원료광물자원'의 산업적 경제적 중요도를 분석하였다. 분석 결과 산업군별 광종의 중요도는 석유화학은 Pt, Mg이, 정밀화학은 Mg, Li, Mo, 1차금속제조·일반기계·조립금속은 Al, Cu, Zn, Pb 등 베이스메탈이, 정밀기기는 Sn, Ba, Ti이, 반도체는 Si, Ga이, 전자부품은 Li, Ni, Co, Si 등이 높았다. 광종별로는 Si, Li, Al, Cu, Co, PGMs, Mg 등이 산업적 경제중요도가 높았다. 산업적 차원에서 또는 국가적 차원에서 최근 이슈화되고 있는 핵심광물(Critical Minerals) 등 공급망 관리를 위한 전략 수립을 위해서는 이상의 결과와 같은 경제성중요도 뿐만아니라 광종별 공급리스크와 수입규모 및 시장규모에 대한 분석을 추가하여 통합적 해석이 필요할 것이다. 그리고 광물자원의 리스크 및 산업적 중요도 등은 산업구조의 변동에 따라 달라질 수 있으므로, 미국 및 유럽 등과 같이 주기적 분석이 필요할 것이다.

한편, 납석, 장석, 석회석 등 국내에 부존하는 비금속광물에 대한 중요도도 살펴볼 필요가 있다. 비금속광물의 경우 국내에 부존하고 있는 고품위광이 점점 고갈되고 있으며 비교적 단가가 낮다. 따라서 국내 공급망 기반이 약하여 수급장애 시 해외 긴급수입으로만 대응을 해야 할 경우 수송비 부담 등으로 금속자원보다 더욱 치명적인 위험에 노출될 수 있다. 향후 국내 비금속광의 생산구조와 수요구조를 반영하여 국내 광업 활성화 등을 위해 국가적 차원의 관리가 필요한 광물의 우선순위를 결정하는 연구가 추후에 수행되어야 할 필요가 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 “기본사업 GP2020-005”와 산업부 “핵심광물 선정을 위한 해외사례 분석 및 표준지표 수립 연구”과제의 지원을 받아 수행하였습니다.

#### References

1. National Assembly Budget Office, 2020 : Materials/Parts/Equipment Industry Policy Analysis, Seoul, Korea.
2. Kim, Y.J., Kim, D.H., Lee, H.S., et al., 2013 : A study on the establishment of basic plan for an optimized raw material safety network, Public Procurement Service, Daejeon, Korea.
3. Kim, Y.J., Kim, J.H., Kim, D.H., et al., 2018 : Development of The Criticality Evaluation System for Rare Metals Stockpiling, Journal of Korean Inst. of Resources Recycling, 27(3), pp.66-77.
4. EC, 2017 : Study on The Review of The List of Critical Raw Materials, European Commission, Brussels, Belgium.
5. USGS, 2021 : Methodology and Technical Input for the 2021 Review and Revision of the U.S. Critical Minerals List, Washington, D.C., U.S.A.
6. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 2021 : Statistical Yearbook of Raw materials of rare metal in Korea, Daejeon, Korea.
7. The Bank of Korea, Economic statistic system, <https://ecos.bok.or.kr/>, October 29, 2021.
8. Korea international Trade Association homepage, <https://www.kita.net/>, August 16, 2021.

---

#### 김유정

- 서울대학교 자원경제 박사
  - 현재 과학기술연합대학원대학교 교수
  - 현재 한국지질자원연구원 미래전략연구센터 책임연구원
-