

## 총 설

# 지구 에너지저장광물 국내외 연구동향 및 전망

김정민 · 김성용 · 안은영 · 배준희 · 이재욱\*

한국지질자원연구원 미래전략연구센터, 34132, 대전시 유성구 과학로 124

## Trends and Prospects of Domestic and Overseas Studies on Earth Energy Storage Minerals

Jung-min Kim, Seong-Yong Kim, Eunyoung Ahn, Junhee bae, and Jae-Wook Lee\*

Future Geo-Strategy Research Center, Korea Institute Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Korea

**Abstract:** The rapid demand for electric vehicles and energy storage systems has increased interest in energy storage devices worldwide. New technological alternatives are needed to reliably supply energy storage mineral resources such as lithium and vanadium, which are key materials for energy storage devices. Already, research and development activities are taking place in various countries on technologies that can directly secure lithium and vanadium. Accordingly, it is very important to analyze each country's technological trends through patent and paper analysis to establish effective research and development strategies and to set future technological development directions. This study analyzed trends in the development of new technologies and the current status of research and development at home and abroad through patent data from Korea, the United States, Europe, and Japan that were disclosed or registered from 1970 to October 2019, and the data searched for papers from January 2000 to October 2019. According to the analysis, the current growth stage of the technology related to energy storage minerals is in the beginning stage. Therefore, it is believed that a strategy to rapidly upgrade technology by combining the development of new technologies and demonstration of developed technologies is needed in order to lead the technology market and strengthen the competitiveness of technologies.

**Keywords:** energy storage minerals, patent and paper analysis, technological trends, lithium, vanadium

**요약:** 전기차, 에너지저장시스템의 수요급증으로 에너지 저장장치에 대한 관심이 세계적으로 증가해 왔다. 에너지 저장장치의 핵심원료인 리튬과 바나듐 등과 같은 에너지저장광물 자원을 안정적으로 공급하기 위하여 새로운 기술적 대안이 필요하다. 이미 리튬과 바나듐을 직접 확보할 수 있는 기술에 대한 여러 국가들의 연구개발 활동이 이루어지고 있다. 이에 따라 효과적인 연구개발 전략을 수립하기 위해서 특허 및 논문 분석을 통해 각 국가의 기술동향을 분석하고 향후 기술발전방향을 설정하는 것이 중요하다. 본 연구는 1970년부터 2019년 10월까지 출원 공개 또는 출원 등록된 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허자료와 2000년 1월부터 2019년 10월까지의 논문을 대상 검색된 자료를 통해 신기술 개발 동향 및 국내외 연구개발 현황을 분석하였다. 분석결과, 현재 에너지저장광물과 관련된 기술의 성장단계는 태동기 단계에 있는 것으로 분석되었다. 따라서 기술시장 선도와 기술 경쟁력 강화를 위해 새로운 기술의 개발과 개발된 기술에 대한 실증을 병행하여 빠르게 기술을 고도화 하는 전략이 필요하다고 사료된다.

**주요어:** 에너지저장광물, 특허 및 논문 분석, 기술동향, 리튬, 바나듐

\*Corresponding author: jwlee@kigam.re.kr  
Tel: +82-42-868-3063

## 서 론

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.

제4차 산업혁명 및 에너지 전환시대에 돌입함에 따라, 에너지저장광물은 전기차, 에너지저장시스템(energy storage system: ESS)의 수요급증에 따른 리튬이온전지, 바나듐 레드옥스 흐름전지(vanadium redox

flow battery: VRFB)에 관심이 높아지고 있다. 에너지저장시스템 시장이 확대됨에 따라 바나듐과 리튬의 수급 불균형 및 가격 변동폭이 심화되고 있으며, 이의 핵심원료인 리튬, 바나듐 등의 광물 자원에 대한 관심도 급증하고 있다(Choi et al., 2017; Cunha et al., 2015; Jeon et al., 2018; Jordens et al., 2013; Ju et al., 2018; Kim and Park, 2017).

바나듐은 은회색의 전이금속으로서 철강에 소량만 첨가하여도 강도가 높아지고 충격과 마모에 물성을 갖게 해주는 특징으로 인하여, 첨단산업 및 다양한 산업에서 필수적인 고강도 합금의 원료로 주로 사용되었다(Lee, 2009, Lmtiaz et al., 2015; Wang et al., 2018; Kim and Jeon, 2019). 그리고 지금까지 바나듐은 철강제의 첨가제, 기타 금속 및 합금용, 비금속용 등의 용도로만 사용되고 있었다(Park and Sohn, 2008; Kim and Jeon, 2019). 하지만 최근에는 신재생 에너지의 저장장치에 적합한 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 바나듐 환원-산화 배터리의 주원료로서 해당 연구가 많이 진행되고 있으며, 바나듐 자원의 안정적인 확보를 위하여 선별기술 개발의 시급성이 제안되고 있다(Kim and Jeon, 2019). 또한 Cho (2020)는 이차전지 소재 원료광물의 안정적 확보를 위해 국내 부존 바나듐(정마그마형 vanadiferous titanomagnetite: VTM 광상), 리튬의 잠재광상 유망지를 대상으로 정밀탐사 기술 및 잠재광상 예측기술 개발의 필요성을 제시하였다.

국내에서는 1990년대부터 리튬과 바나듐 등의 잠재자원량(potential resources) 예측을 위한연구가 진행되었고(Park et al., 2014), 울진에 리튬광상이 있는 것을 확인하였다(Lee et al., 2013; Choi et al., 2014). 또한 옥천과 연천 지역에서는 바나듐이 함유되어 있는 것을 확인하고, 이에 대한 기초 연구가 진행되어 왔다. 옥천은 탄질 변성이질암에 바나듐이 바륨과 함께 매장되어 있는 것이 확인되었고(Kim, 2013; Lee et al., 1997), 연천 지역에서는 티탄철석 광산에 부존되어 있는 자철광에 바나듐이 대량으로 부존되어 있는 것으로 확인되었다(Kim and Jeon, 2019). 특히 가격이 높고 확보가 어려운 광물 중 하나인 바나듐의 경우, 중국에서는 대량의 바나듐이 매장되어 있다고 알려져 있으나, 대부분 저품위 광물이 부존되어 있는 것으로 알려져 있다(Tang et al., 2016; Xu et al., 2017; Yan et al., 2018; Kim et al., 2019). 국내에도 적지 않은 부존량이 예측되며, 이에

따라 국내 부존 바나듐(V) 광물자원 선광/제련/활용 기술 개발방향은 국내 대량 부존되어 있는 바나듐 광물자원의 효율적 활용을 위해 경제성 있는 독창적 고효율 선광( $V_2O_5 \geq 1.5\%$ ) - 제련( $V_2O_5 \geq 99.0\%$ ) - 활용( $V_2O_5 \geq 99.8\%$ ) 및 VRFB용 바나듐 전해액 제조기술의 확보 등이다(Jeon, 2020).

따라서 국내 부존 에너지저장광물의 기술개발 동향 진단은 자원 확보 측면과 지구과학 분야의 관련 연구개발 활성화를 위해 의의가 매우 크다고 할 수 있다. 이를 정량적으로 파악하기 위해, 주요국의 특허 기술 분석을 통한 신기술개발 동향 파악과 발표논문 추이와 동향분석을 통한 국내외 연구동향의 진단 등이 필요하다. 또한 이를 통해 전략적 의사결정을 수립하는 것도 매우 중요하다(Breizman, 2003; Carpenter et al., 1981; Karki, 1997; KIPO, 2007, Park and Park, 2018; Shin, 2000). 따라서 본 연구에서는 에너지저장광물 확보와 관련된 기술의 한국, 미국, 일본, 유럽의 특허정보와 논문정보를 분석하여 해당 기술 분야의 신기술개발동향과 국내외 구동향에 대한 정보를 제공하고자 한다.

## 동향분석 자료 및 분석방법

본 연구에서 에너지저장광물 확보 기술 분야의 특허는 (주)웹스의 Wintelips DB를 이용하여 1970년부터 2019년 10월까지 출원 공개 또는 출원 등록된 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허를 대상으로 자료를 수집하였고, 논문은 Scopus DB를 이용하여 2000년도 1월부터 2019년 10월까지의 논문을 대상으로 자료를 수집하였다. 수집한 특허와 논문정보를 통하여 신기술개발 동향과 국내외 연구동향을 분석하였다.

에너지저장광물 확보 기술 분야의 특허 정보와 논문을 분석대상으로 하였으며, 특허는 1970년부터 2019년 10월까지 출원 공개 또는 출원 등록된 한국, 미국, 유럽, 일본의 특허를 대상으로 하였고, 논문은 2000년도 1월부터 2019년 10월까지의 논문을 대상으로 하였다(Table 1). 특허는 (주)웹스의 Wintelips DB를 이용하여 특허검색 및 재가공하였으며, 제목, 요약, 대표 청구항 및 전체문서로 검색범위를 확장하였다. 논문은 Scopus DB를 사용하여 분석하였다. 분석대상인 에너지저장광물 확보와 관련된 기술동향을 파악하기 위하여 Table 2와 같은 기술 분류를 통해 알맞은 키워드 및 검색식을 구성하였으며, 이때 사용된

**Table 1.** Patent searching DB and search range

Category	Country	Search DB	Analysis section	Search scope
Open, Registration patent (Based on date)	Korea	WINTELPIS	By application date 1970.01-Current (2019.10)	Entire article of open, registration patent
	Japan			
	US			
	EU			
Paper	-	Scopus	By application date 1970.01-Current (2019.10)	-

**Table 2.** Technology classification

Main category	Sub category	Search Overview (Technical Scope)
Future Strategic Mineral Resources Securing Technology for Demanding the Fourth Industrial Revolution	Development of Energy Storage Minerals (V, Li) Precision Exploration Techniques and Prediction of Unpreserved Capacity	Technology for exploring energy storage minerals in three dimensions and evaluating the prediction and reserves of three-dimensional minerals
		Exploration of Potential Photovoltaic Observatory for Wide Area Energy Storage Minerals and Prediction of Non-presence
		Core element technology by vanadium light unit line and process technology by continuous processing fusion line
	Dressing/ Smelting/ Utilization Technique for the Utilization of Mineral Resources of Sub-Banadium	Technology of dry/dampant smelting and separation refining of vanadium-containing solid mineral products
		Technology for securing future energy storage industrial materials using vanadium light and smelting products

**Table 3.** Technology searching keyword

Keyword	Search formula
Mineral resources	(광물자원* ((미네랄* mineral* 미네랄* inorgani* nonorgani* non-organi* 무기* 광물*) AND (자원* resource* 암석* rock 퇴적암* 화성암* 변성암* 화강암* 인광석* 인회석* 현무암* 지반* 지층* 지중* geo* earth*)) ((바나듐* 버너듐* 배나디움* 바나디엄* 바닐* 베나듐* 바나지움* vanadium* vanadium* 리튬* Lithium* Lithium*) and (자원* resource*)))
Potential resources	(reserve* deposit* 부존* 매장*)
Exploration/Forecast	(예측* 예상* forecast predict* forsee 추정* 추측* estimat* 평가* appraisal* assessment* evaluat* estimat* 분석* analysis 탐사* explor*)
Vanadium	(바나듐* 버너듐* 배나디움* 바나디엄* 바닐* 베나듐* 바나지움* vanadium* vanadium*)
Smelting/Dressing	(제련* 습식제련* 정련* furance 제철* 제강* 용광* smelt* 선광* (mineral near2 (process* dress*)))

검색식의 핵심어로 광물자원(mineral resources), 잠재 자원(potential resources), 탐사/예측(exploration/forecast), 바나듐(vanadium), 선광/제련(smelting/dressing) 등을 사용하였다(Table 3).

에너지저장광물 확보 기술과 관련된 유효 특허와 논문은 각각 339건, 999건으로 분석되었다. 지구과학분야 연구를 벗어나는 리튬 또는 바나듐 원자의 부존량 측정 기술, 자연계 상태가 아닌 설비 또는 물질에서의 광물 부존량을 측정하는 기술, 바나듐이 극소량 포함되는 활용기술, 탈바나듐 방법, 바나듐 광석에서 타 물질을 회수하는 기술 등의 특허와 논문을 제외하였다.

## 특허 분석에 의한 지구에너지저장광물 신기술 개발 동향

### 지구에너지저장광물 신기술 개발 동향

에너지저장광물 확보와 관련된 기술의 연도별 특허 추이는 Fig. 1과 같다. 분석기간 초기인 1970년대에서 1990년대 중반까지는 소폭 증감을 반복하면서 10건 이하의 특허출원이 이루어졌으며, 1996년부터 거의 10건 이상의 특허출원이 이루어지고 계단형에 가까운 모습을 보이며 증감을 반복하고 있다. 2013년 21건으로 가장 많은 특허가 출원된 이후에는 점차

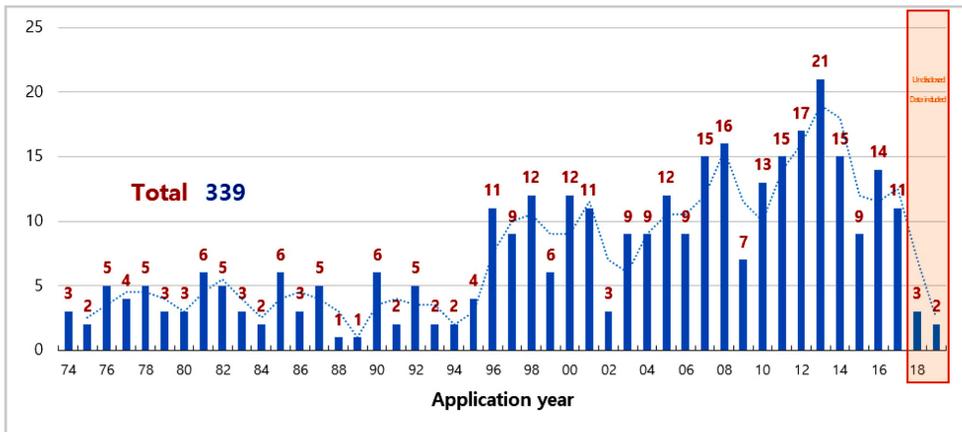


Fig. 1. Number of patent applications per year.

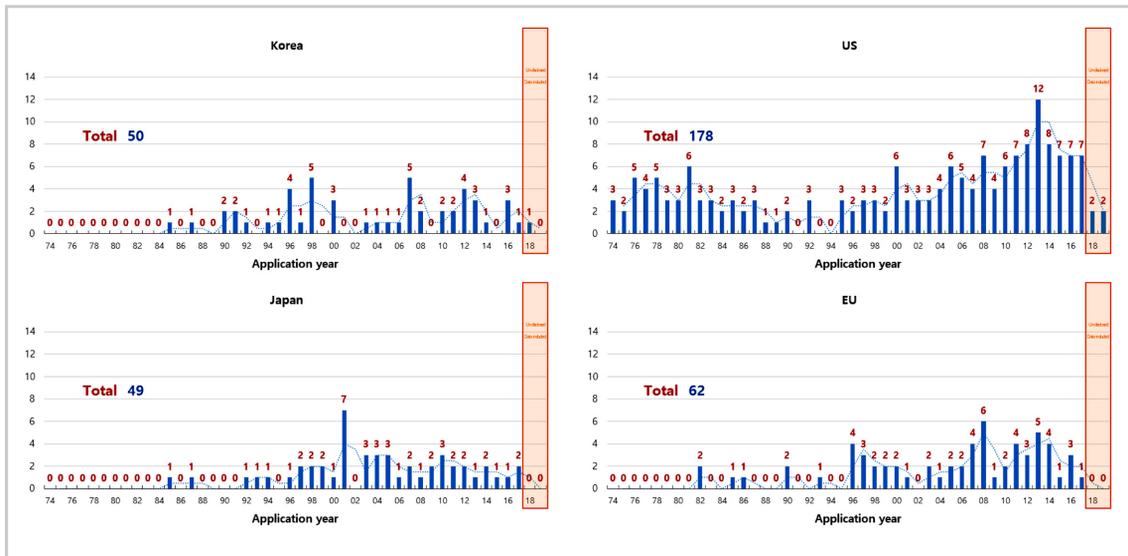


Fig. 2. Patent application trend by country and by year

출원이 감소하는 모습을 보인다. 특히, 최근 연도 (2018년, 2019년)의 출원이 급격하게 감소한 것은, 특허출원 후 1년 6개월이 지나야 공개되는 특허제도 특성 때문으로 파악된다. 에너지저장광물 확보와 관련된 기술의 특허출원은 2011-2014년에 연간 15건 이상의 출원이 이루어졌고, 2013년은 21건으로 가장 많은 특허가 출원되었다. 따라서 2011-2014년에 많은 신기술들이 개발된 것으로 파악된다.

지구에너지저장광물 연도별 신기술 개발 동향

주요국 연도별 특허 출원 추세는 Fig. 2와 같다.

특정 시장의 출원 활동을 분석하기 위해서 출원국가 별 연도별 동향을 나타내었다. 미국은 1970년대 중반 부터 증감을 반복하였고, 1990년대 초중반에 감소하는 추세를 보이다가 다시 1990년대 중반 이후에 증가하여 V자 형의 모습을 보였다. 한국은 1980년대 중반부터 출원이 이루어졌지만, 1990년대부터 지속적인 특허출원이 이루어지고 있으며, 미국과 비교하면 현저히 낮은 출원 규모를 보여주고 있다. 이어서 일본과 유럽 모두 1980년대 초중반부터 출원이 이루어지고 있으나, 한국과 비슷한 수준으로 낮은 출원 규모를 보여주고 있다. 한국의 경우 1998년과 2007

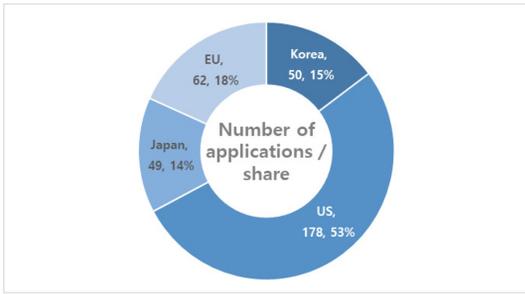


Fig. 3. Global Patent application trends.

년에 5건으로 가장 많은 특허가 출원되었으며, 미국은 2013년(12건), 유럽은 2008년(6건), 일본은 2001년(7건)으로 특허 출원 수가 가장 많았던 것으로 나타났다.

**지구에너지저장광물 국적별 신기술 개발동향**

에너지저장광물 확보와 관련된 기술의 전 세계 특허 출원 동향을 살펴보면, 총 339건의 유효 특허 중 미국이 178건(53%), 이어서 유럽이 62건(18%)을 출원하였으며, 한국과 일본은 각각 50건(15%), 49건(14%)으로 다소 적은 특허를 출원하였다(Fig. 3).

시장별 출원인 분석에서 유럽은 내국인 출원율이

69%로 기술자립도가 가장 높으며, 한국, 미국, 일본 순으로 내국인 중심의 출원율을 보였다. 한국, 미국, 유럽이 자국 출원율이 높아 해외 출원인들에게 시장성이 낮게 평가되는 것으로 보일수도 있지만, 외국인 출원율이 30%이상이기 때문에 외국인 유입이 낮지 않은 것으로 판단된다. 일본의 경우 외국인 출원율이 65%로 매우 높은 모습을 보이기 때문에 해외 출원인들에게 시장성이 높게 평가되는 것으로 판단된다(Fig. 4).

**지구에너지저장광물 출원인별 신기술 개발동향**

주요 출원인의 출원현황을 살펴보면, Top3는 각각 10건, 7건, 7건으로 나타났으며, 이는 약 7%의 점유율이며, Top5의 점유율은 약 11%에 머무르고 있다. 해당 기술 분야는 특정 출원인(기업)에 의해 독점이 될 가능성이 매우 낮은 것으로 판단된다.

세계 주요출원인을 살펴보면 주로 미국의 출원인이 다수의 특허를 출원하고 있는 것으로 나타났으며, 최다 출원인의 특허출원 건수가 10건에 불과하기 때문에 특정 출원인들이 독점적으로 출원하는 것이 아니라 다양한 출원인들이 존재하는 것으로 보인다. 최다 출원인으로는 룩셈부르크에 아르셀로미탈(Arcelormittal)이 10건을 출원하였고 출원된 특허는 한국과 일본에

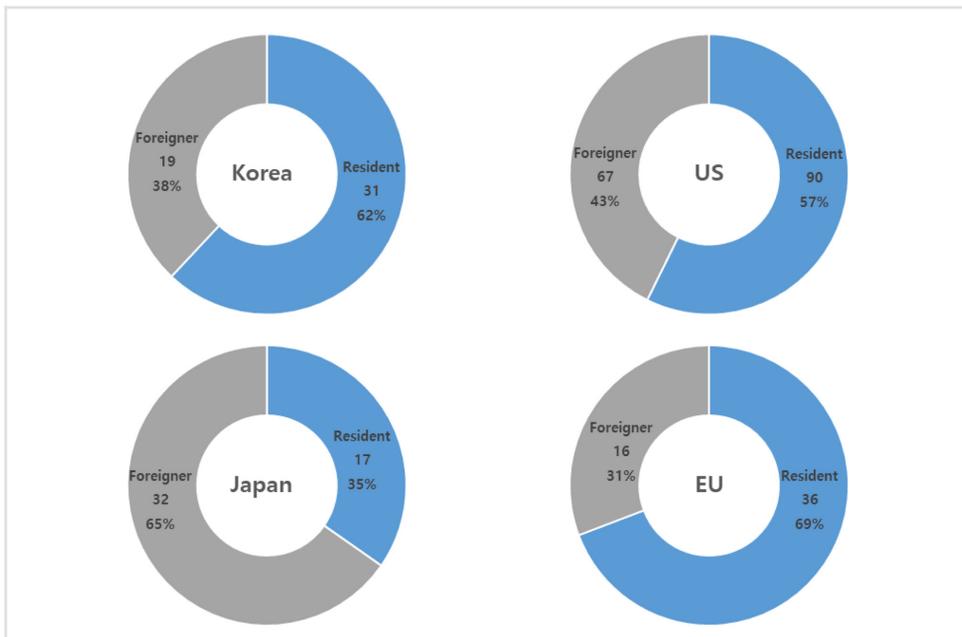
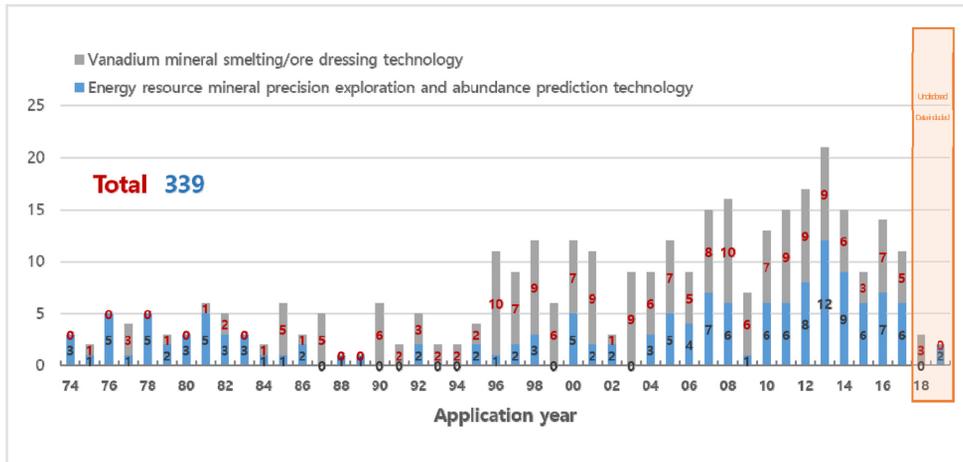


Fig. 4. Applicant analysis by market.

**Table 4.** Application status of major applicants

Major applicant	Nationality	Major IP Market Countries (number of cases)					Citation Index	Cumulative rate (%)	
		KIPO (KR)	USPTO (US)	JPO (JP)	EPO (EU)	Total			
Arcelormittal	LU	3	2	3	2	10	KR, JP	4.50	2.9
Schlumberger Technology	US		7			7	US	24.14	5.0
Stahlwerk Ergste Westig	DE		5		2	7	US	2.14	7.1
POSCO	KR	7				7	KR	1.00	9.1
Benteler	DE		3		3	6	US, EU	3.33	10.9
Halliburton Energy Services	US		4		1	5	US	19.60	12.4
Chevron	US		5			5	US	9.40	13.9
Technoimaging	US		4		1	5	US	5.40	15.3
Bohler Edelstahl	AT		3		2	5	US	2.40	16.8
Nippon Steel	JP			5		5	JP	0.60	18.3
Barringer Research	CA		4			4	US	20.00	19.5
Terraspark Geosciences	US		2		2	4	US, EU	18.25	20.6
Exxonmobil Upstream Research	US		2		2	4	US, EU	11.75	21.8
KIGAM	KR	2	1	1		4	KR	0.75	23.0
Ooo Rock flow Dynamics	RU		4			4	US	0.50	24.2



**Fig. 5.** Patent trends by technical classification.

각 3건, 미국과 유럽에 각 2건으로 다양한 국가에 출원하였다. 이어서 두 번째로 많은 특허를 출원한 출원인은 3곳으로 슬람버거 테크놀로지(Schlumberger Technology), 스탈위크 웨스티그(Stahlwerk Ergste Westig), 포스코(POSCO)는 각 7건을 출원하였고, 슬람버거 테크놀로지(Schlumberger Technology)는 미국에 7건, 스탈위크 웨스티그(Stahlwerk Ergste Westig)는 미국에 5건, 유럽에 2건, 포스코(POSCO)는 한국에서 7건을 출원하였다(Table 4).

특허의 기술력을 간접적으로 평가할 수 있는 피인용 지수는 미국 국적의 슬람버거 테크놀로지(Schlumberger Technology)이 평균 24.14의 피인용 지수를 나타내어 높은 기술력 보유하고 있는 것으로 판단되며, 캐나다의 바링거 리서치(Barringer Research) 또한 피인용지수가 20.00으로 높게 나타남에 따라 상대적으로 기술력이 높다고 판단된다. 한국, 일본, 러시아의 주요 출원인들은 피인용 지수가 1이하이므로 상대적으로 기술력이 낮은 것으로 판단된다.

**지구에너지저장광물 세부기술별 신기술개발 동향**

에너지저장광물 확보와 관련 기술의 세부 기술별 특허출원동향은 Fig. 5와 같다. ‘에너지저장광물 정밀 탐사기술 개발 및 부존량 예측’ 분야의 특허출원 동향을 살펴보면 출원 초기인 1970년대부터 1980년대 초반까지 출원활동이 활발하였으나, 이후 2000년대 후반까지 출원활동이 저조하였으며, 2010년 이후 출원활동이 증가추세로 현재까지 일정 수준 이상의 출원이 이루어지고 있다. ‘바나듐 광물 제련/선광 기술’ 분야의 특허 출원동향을 살펴보면 1990년대 중반이후부터 출원증가를 보이며, 이후 증감을 반복하며 출원 활동이 유지되고 있다. 1980년 중반이후부터 2010년 초반까지는 ‘바나듐 광물 제련/선광 기술’ 분야의

기술개발이 더 활발히 이루어졌으며, 최근에는 ‘에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측’ 분야의 기술개발이 더 활발히 이루어지고 있는 것으로 보인다.

**지구에너지저장광물 국내외 연구 동향**

**지구에너지저장광물 전체 연구동향**

에너지저장광물 확보와 관련된 기술의 연도별 논문 게재 추이는 Fig. 6과 같다. 분석기간 초기인 2000년 초반에서 2000년대 후반까지는 소폭 증감을 반복하면서 50건 이하의 논문이 게재되었다. 2006년부터 꾸준히 증가하는 모습을 보였다. 에너지저장광물 확

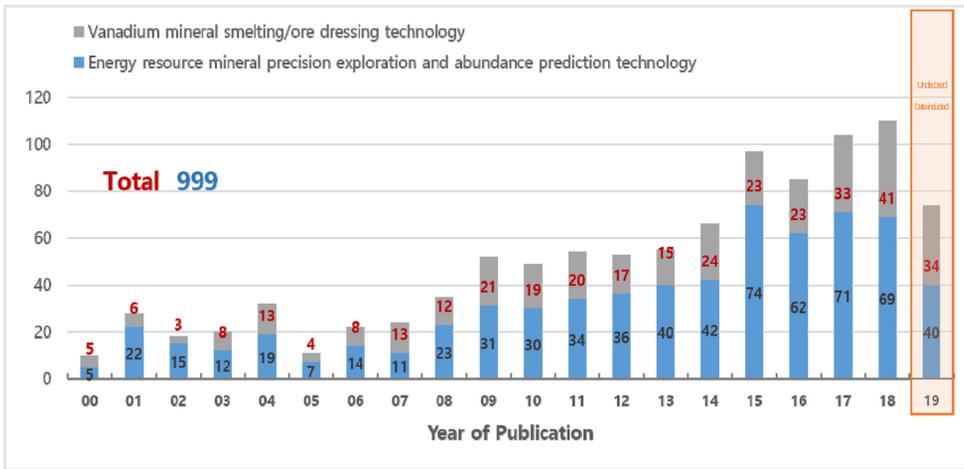


Fig. 6. Number of paper publication per year.

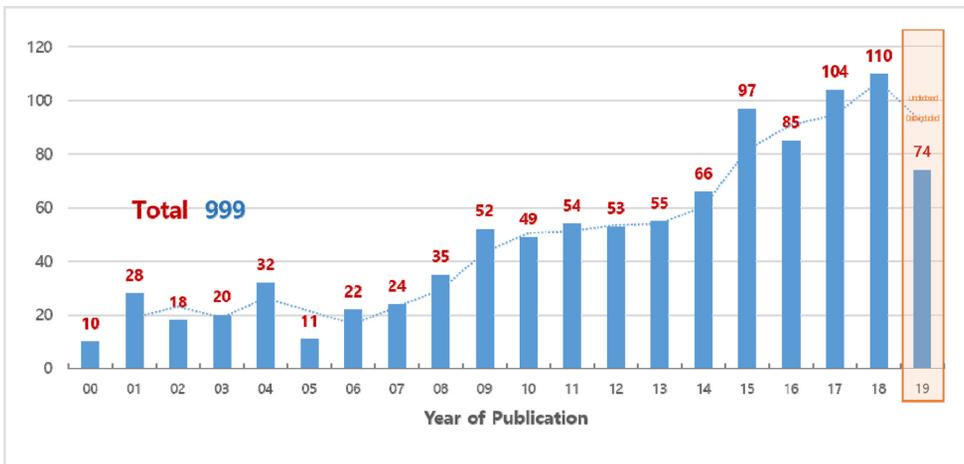


Fig. 7. Paper trends by technical classification.

보와 관련된 기술의 논문게재는 2015-2018년은 연간 80건 이상으로 나타났으며, 2018년이 110건으로 가장 많은 논문이 게재되었다. 따라서 2015-2018년까지 연구가 활발히 진행된 것으로 파악된다.

**지구에너지저장광물 세부기술별 연구동향**

에너지저장광물 확보와 관련 기술의 기술별 논문게재동향은 Fig. 7과 같다. 총 999건의 논문 중 ‘에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측’ 분야의 논문은 657건이며, 게재 동향을 살펴보면 논문분석 초기인 2000년대 초반부터 중반까지 평균 10건 미만의 논문게재를 보이고 있다. 이후 2009년부터 매년 80건 이상의 논문게재를 보이며, 활발한 연구가 진행되고 있다. ‘바나듐 광물 제련/선광 기술’ 분야의 논문은 342건이며, 게재동향을 살펴보면 2000년대 초반에는 증감을 반복하다가 2000년대 후반부터 논문이 소폭 증가하였다. 이후 증감을 반복하고 있으나, 증가하는 추세를 보이고 있다. 이를 통해 ‘에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측’ 분야에 대한 논문이 ‘바나듐 광물 제련/선광 기술’ 분야의 논문보다 315건이 더 많이 게재된 것으로 보아 연구가 더 활발히 이루어지는 것으로 파악된다.

**지구에너지저장광물 기관별 연구동향**

Table 5는 ‘에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측’ 분야의 논문게재 주요기관 현황을 나타낸 표이다. 논문의 게재기관 현황 및 인용도를 살펴

보면, 중국의 지질대학지질과정·광산자원 국가중점실험실(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources)가 37건으로 가장 많은 건수를 보였고, 인용합계도 1,060으로 가장 높다. 이어서 캐나다의 뉴브런즈윅 대학교(University of New Brunswick)가 12건, 호주의 탐험 타겟팅 센터(Centre for Exploration Targeting), 중국의 광물자원연구소(Institute of Mineral Resources), 미국의 지질조사국(U.S. Geological Survey)가 각각 11건의 논문을 게재한 것으로 나타났다.

Table 6은 ‘바나듐 광물 제련/선광 기술’ 분야의 논문게재 주요기관 현황을 나타낸 표이다. 논문의 게재기관 현황 및 인용도를 살펴보면, 이탈리아의 나폴리 프레데리크2세 대학교(Università degli Studi di Napoli Federico II)가 12건으로 가장 많은 건수를 보였고, 인용합계도 136으로 가장 높다. 이어서 호주의 뉴사우스웨일스 대학교 (The University of New South Wales)가 11건, 중국의 도호쿠 대학(Tohoku university)가 6건 이탈리아의 CNR-지오사이언스 및 지오리소스 연구소(CNR-Istituto di Geoscienze e Georisorse), 미국의 인디애나 대학-퍼듀 대학 인디애나폴리스(Indiana university-Purdue university indianapolis)가 각각 5건의 논문을 게재한 것으로 나타났다. 기술별 기관들의 게재 건수와 인용합계를 비교하면 ‘에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측’ 분야의 논문이 더 많은 게재건수와 인용합계를 보이고 있다. 이는 ‘에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량

**Table 5.** The number of papers and citations of major institutions (Energy resource mineral precision exploration and abundance prediction technology)

No.	Institutions	Nationality	No. of papers	Citation
1	State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources	China	37	1,060
2	University of New Brunswick	Canada	12	216
3	Centre for Exploration Targeting	Australia	11	77
4	Institute of Mineral Resources	China	11	94
5	U.S. Geological Survey	USA	11	179

**Table 6.** The number of papers and citations of major institutions (Vanadium mineral smelting/ore dressing technology)

No.	Institutions	Nationality	No. of papers	Citation
1	Universit degli Studi di Napoli Federico II	Italy	12	136
2	The University of New South Wales	Australia	11	92
3	Tohoku university	China	6	10
4	CNR-Istituto di Geoscienze e Georisorse	Italy	5	16
5	Indiana University-Purdue University Indianapolis	USA	5	59

예측' 분야에 대한 연구가 더 많이 활발하다고 판단된다.

## 토의 및 제언

제 4차 산업혁명 및 에너지 전환시대에 돌입하여 전기차, 에너지저장시스템(ESS)의 수요급증에 따라 에너지 저장장치에 대한 관심이 세계적으로 증가하면서, 이의 핵심원료인 리튬과 바나듐 자원에 대한 안정적인 공급이 필요함에 따라 새로운 기술적 대안이 필요하게 되었다. 이에 따라 리튬과 바나듐을 직접 확보 수 있는 기술인 국내 부존 바나듐(정마그마형 vanadiferous titanomagnetite: VTM 광상), 리튬의 잠재광상 유망지를 대상으로 정밀탐사 기술 및 잠재광상 예측기술을 개발하여 바나듐, 리튬자원의 부존량(잠재자원량: potential resources) 예측 및 매장량(예상자원량: inferred resources) 평가 기술과 국내 부존 바나듐(V) 광물자원 선광/제련/활용기술에 대한 연구개발이 필요한 시점이 되었다. 이와 관련 기술에 대한 특허출원이 1970년대부터 조금씩 연구가 시작된 것으로 판단되어, 해당 기술에 대하여 1970년부터 2019년까지 주요국/출원인별 특허분석과 2000년부터 2019년까지 논문분석을 실시하여 신기술개발 동향 파악과 국내외 연구동향의 진단을 수행하였다.

특허 분석결과 총 339건의 특허가 출원되었고, 한국 50건, 미국 178건, 일본 49건, 유럽 62건을 출원하였으며, 미국은 1970년대부터 출원이 시작되었고, 다른 국가는 1980년대부터 출원이 시작된 것으로 보여진다. 1990년대 이후에 조금 더 활발한 특허 출원이 나타나고 있으나, 큰폭의 증가는 아닌 것으로 보인다. 주요 출원인 출원동향 분석에서는 Top4 출원인으로 아르셀로미탈(Arcelormittal), 슬럼버거 테크놀로지(Schlumberger Technology), 스타일워크 웨스티그(Stahlwerk Ergste Westig), 포스코(POSCO)가 도출되었으며, 국내의 주요 출원인으로는 포스코(POSCO)와 한국지질자원연구원(KIGAM)이 해당 분야의 기술발전을 위해 노력함을 볼 수 있었다. 하지만 포스코(POSCO)는 국내에서만 특허출원을 하였고, 한국지질자원연구원(KIGAM)은 출원이 4건에 불과하여 향후 더 많은 연구개발과 투자와 더불어 지재권 출원·등록 노력이 필요한 것으로 판단된다. 특히 국내 주요 출원인들은 특허의 기술력을 간접적으로 나타내는 피인용 지수가 1이하로 상당히 낮은 모습을 보임에 따

라 국내의 신기술개발이 이루어지고 있지만 다른 국가에서 활용도는 낮다고 판단된다.

논문 분석결과 총 999건의 논문이 게재되었고, '에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측' 분야의 논문은 657건, '바나듐 광물 제련/선광 기술' 분야의 논문은 342건이다. '에너지저장광물 정밀탐사기술 개발 및 부존량 예측' 분야의 논문게재 주요기관 중 가장 많은 논문 건수와 인용도를 보인 곳은 중국의 지질대학지질과정·광산자원 국가중점실험실(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources)이며, '바나듐 광물 제련/선광 기술' 분야의 논문게재 주요기관 중 가장 많은 논문 건수와 인용도를 보인 곳은 이탈리아의 나폴리 프레드릭2세 대학교(Università degli Studi di Napoli Federico II)으로 나타남에 따라 국내보다 국외에서 연구가 더 활발한 것으로 보인다.

특허와 논문 분석한 결과 현재 해당기술에 대한 기술시장은 태동기단계로 분석되었고, 국내보다 국외에서 더 많은 연구가 이루어지고 있는 것으로 분석되었다. 이에 따라 한국은 미국, 호주 등 다른 국가보다 후발주자로 판단되기 때문에 해당 기술에 대한 기술격차를 줄이고, 빠르게 기술경쟁력을 강화하기 위해서는 새로운 기술의 개발과 개발된 기술에 대한 실증을 함께 병행하여 빠르게 기술을 고도화 하는 전략이 필요할 것으로 사료된다.

## 사 사

이 논문은 한국지질자원연구원 미래전략연구센터 2020년도 주요사업(GP2020-020, 20-3120-1)의 일환으로 수행되었다.

## References

- Breitzman, A., 2003, A discussion of patent activity and citation statistics, The Lemelson-MIT Program Workshop Paper, 16-21.
- Carpenter, M.P., Narin, F. and Woolf, P., 1981, citation rates to technologically important patents, World Patent Information, 3, 160-163.
- Cho, S.J., 2020, Development and potential resources prediction of exploration technology for energy storage minerals bearing vanadium (V) in Korea, Research Project Proposal of KIGAM's Basic Research Program, p. 93.

- Choi, C.Y., Kim, S.H., Kim, R.Y., Choi, Y.S., Kim, S.W., Jung, H.Y., Yang, J.H., and Kim, H.T., 2017, A review of vanadium electrolytes for vanadium redox flow batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 263-274.
- Choi, Y.H., Park, Y.R., and Noh, J.H., 2014. Genesis of Boam lithium deposits in Wangpiri, Uljin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 50(4), 489-500.
- Cunha, A., Martins, J., Rodrigues, N., and Brito, F.P., 2015, Vanadium redox flow batteries: a technology review. *International Journal of Energy Research*, 39, 889-918.
- Jeon, H.S., 2020, Technological development of mining/smelting/utilization for energy storage minerals bearing vanadium (V) in Korea, Research Project Proposal of KIGAM's Basic Research Program, p.257.
- Jeon, H.S., Baek, S.H., Kim, S.M., and Go, B.H., 2018, Status of reserves and development technology of rare earth metals in Korea. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 55(1), 67-82.
- Jordens, A., Cheng, Y.P., and Waters, K.E., 2013. A review of the beneficiation of rare earth element bearing minerals. *Minerals Engineering*, 41, 97-114.
- Ju, J., Fu, H.G., Wei, S.Z., Sang, P., Wu, Z.W., Tang, K.Z., and Lei, Y.P., 2018. Effects of Cr and V additions on the microstructure and properties of high-vanadium wear-resistant alloy steel. *Ironmaking and Steelmaking*, 45(2), 176-186.
- Karki, M.M., 1997, Patent citation analysis: A policy analysis tool. *World Patent Information*, 19(4), 269-272.
- Kim, J.S., 2013, Research and development for the recovery of uranium and vanadium from Korean black shale ore. *Journal of the Korean Institute of Resources Recycling*, 22(1), 3-10.
- Kim, J.M. and Park, H.S., 2017. Experimental analysis of discharge characteristics in vanadium redox flow battery. *Applied Energy*, 206, 451-457.
- Kim, S.M. and Jeon, H.S., 2019, Separation processes for self-sufficient recovery of vanadium resources in Korea. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 56(3), 292-302.
- KIPO (Korea Institute of Patent Information), 2007, Indicators and techniques for patent information analysis, Patent 21, 72, 2-19.
- Lee, C.H., Lee, H.K., and Shin, M.A., 1997, Barium-vanadium muscovite of coaly metapelite in the Hoenam area of the Ogcheon Supergroup, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 33(2), 55-64.
- Lee, G.J., Kim, S.Y., and Koh, S.M., 2013, Potential evaluation of the Uljin lithium deposit. *Mineral and Industry*, 26, 32-36.
- Lee, H.B., 2009, Domestic vanadium stock adequacy. *Mineral and Industry*, 22(1), 60-70.
- Lmtiaz, M., Rizwan, M.S., Xiong, S., Li, H., Ashraf, M., Shahzad, S.M., Shahzad, M., Rizwan, M., and Tu, S., 2015, Vanadium, recent advancements and research prospects: A review. *Environment International*, 80, 79-88.
- Park, G.S., Cho, S.J., Oh, H.J. and Lee, C.W., 2014, Mineral potential mapping of Gagok mine using 3D geological modeling. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 36(6), 412-421.
- Park, K.H. and Sohn, J.S., 2008, Status and prospect of vanadium resources and processing. *Trends in Metals and Materials Engineering*, 21(4), 4014.
- Park, K.R. and Park, H.J., 2018, Analysis of research trend on conceptual change in Earth science. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 39(2), 193-207.
- Shin, D.H., 2000, Past, present, and future of earth science education research in Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 21(4), 479-487.
- Tang, J., Zhang, Y., Bao, S., and Liu, C., 2016, Pre-concentration of vanadium-bearing mica from stone coal by roasting-flotation. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 53(1), 402-412.
- Wang, M., Huang, S., Chen, B., and Wang, X., 2018, A review of processing technologies for vanadium extraction from stone coal. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 1-9.
- Xu, C., Zhang, Y., Liu, T., and Huang, J., 2017, Characterization and pre-concentration of low-grade vanadium titanium magnetite ore. *Minerals*, 7(8), 137-148.
- Yan, B., Wang, D., Wu, L., and Dong, Y., 2018, A novel approach for pre-concentrating vanadium from stone coal ore. *Minerals Engineering*, 125, 231-238

---

Manuscript received: September 9, 2020

Revised manuscript received: September 29, 2020

Manuscript accepted: October 13, 2020