

핵심광물 재활용 확대 전략 고찰

• • • •

2024-12

산업기술정책 브리프 [2024-12]

핵심광물 재활용 확대 전략 고찰

Contents

| | |
|-----------------------|----|
| I. 서론 | 1 |
| II. 핵심광물 재활용 현황 | 3 |
| III. 향후 전망과 과제 | 9 |
| IV. 정책 권장 사항 | 13 |
| V. 결론 및 시사점 | 19 |

* IEA, Recycling of Critical Minerals: Strategies to scale up recycling and urban mining, 2024.11에서 주요 내용을 요약 정리

요 약

■ 국제에너지기구(IEA)가 핵심광물의 재활용 현황과 시나리오별 2차 공급 전망을 점검하고 재활용 증진을 위한 정책 권장 사항을 제시

- 오늘날 글로벌 에너지 시스템이 청정에너지로 전환되는 과정에서 화석 연료 시기와는 다른 형태의 공급망 및 안보 문제가 야기될 수 있다는 전망 대두
 - 많은 양의 광물을 소비하는 청정에너지 시스템으로의 전환은 핵심 광물 수요를 대대적으로 증대하여 공급측 부담을 가중시키나, 지속적으로 재투입되어야 하는 화석연료와 달리 청정에너지 시스템 구축·운영에 소비되는 광물 자원의 경우 인프라 수명이 다하면 회수와 재활용이 가능
 - ※ 대표적으로 리튬·니켈·코발트·망간·흑연은 배터리 기술에, 희토류 원소는 영구자석에 필수적인 요소에 해당하고 전력망에는 대량의 구리와 알루미늄이 소요
 - 다만, 강철, 알루미늄과 같은 일반 금속의 재활용 관행이 확립되어 있는 반면, 리튬, 코발트, 니켈, 희토류 원소, 실리콘과 같은 에너지 전환 광물 중 다수는 아직까지 재활용이 미흡

〈 글로벌 재활용 현황 〉

- (상품별 재활용 현황) 알루미늄과 같은 일반 금속과 달리 현재 에너지 전환 광물의 재활용 투입률은 낮은 편이나 전기차, 저장용 배터리 제조·보급 확대로 코발트, 리튬, 니켈 등 기타 에너지 전환 광물의 2차 공급 점유율 상승이 예상되면서 제조 스크랩으로부터의 광물 회수 및 재활용 시설 투자가 증가하는 추세
- (지역 현황) 지역에 따라 재활용 산업 조성 양상과 수거율에 상당한 편차가 존재하여, 정제·재활용 산업이 발전한 중국, 유럽, 북미는 광물 전반적으로 2차 생산 수준과 재활용 투입률이 가장 높은 지역에 해당
 - 한편, 코발트, 니켈, 리튬의 2차 생산 시설 대부분이 중국에 집중되어 있는 상황으로, 그 외 국가 간 재활용 산업 개발을 위한 공조 움직임 표출

- 이에 IEA는 재활용을 저해하는 과제를 점검하고 보다 지속 가능하면서도 안전한 미래 광물 공급망 구축 측면에서 재활용 및 도시광산 활용을 촉진하는 방안 고찰

■ 광물별 2차 공급 수준은 과거 재활용량, 해당 광물 함유 제품의 수명, 청정에너지 분야 성장에 따른 미래 수요 증가치에 따라 달라지는데, 청정에너지 보급으로 에너지 전환 광물의 1차 공급이 확대되면서 향후 재활용될 물량 또한 증가할 전망

- 목표공약 시나리오(APS)를 기준으로 '30년까지 주요 광물의 1차 수요 상승률은 ▲(구리) 연간 3% ▲(니켈·코발트) 연간 6.5% ▲(리튬) 연간 18%

- 수요 상승에 따라 '30년 이후 재활용 공급 원료의 양도 증가하게 되므로, 2차 공급량이 급증하는 만큼 '50년경부터 1차 공급 규모가 감소하기 시작할 것으로 예견

※ '50년 1차 공급 수요는 재활용이 진행되지 않을 때와 비교해 구리·코발트 약 40%, 리튬·니켈 약 25% 감소 예상

〈 시나리오별 2차 공급 전망 〉

- (현정책 시나리오, STEPS) 직접 사용 스크랩을 제외한 구리의 2차 공급 비중이 현 17%에서 '50년 33%로 증가하고, 배터리 보급 확대에 따라 리튬과 니켈의 2차 공급도 두드러지게 성장하는 등 핵심광물 총수요 중 2차 공급 비중이 지속 증가
- (목표공약 시나리오, APS) STEPS보다 높은 수준의 수거율을 기록하면서, 구리의 경우 회수율 제고를 위한 강력한 정책 조치를 바탕으로 2차 공급 비중이 '35년 총 수요의 20%, '50년 40%를 상회
- (목표공약 시나리오, APS) 지속 가능성과 순환성에 보다 방점을 두고 가장 공격적인 수거율과 효율성 수준을 제시하는 시나리오로, '50년 2차 공급량이 APS 대비 ▲희토류 원소 약 15% ▲리튬, 니켈, 코발트 35% 이상 높게 나타날 것으로 예측

■ 재활용의 잠재력을 극대화하기 위해서는 경제성, 기술, 무역, 지속 가능성 관련 과제 대응이 필요

- (경제성) 핵심광물 재활용 프로젝트의 경제성은 재료 가격, 공급원료 입수 가능성, 규제, 가격 책정 및 지불 체계, 행정 및 실무 복잡성 등 여러 요인에 영향 받게 되며, 회수된 재료의 시장 가치 또한 수익성을 좌우
- (기술) 현재의 재활용 기술은 에너지 및 환경 측면에서 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 핵심광물 함유 제품의 복잡성과 다양성으로 인해 회수율 최적화 한계, 물질 소실 발생
 - ※ 첨단 분류, 신규 화학·물리 공정, 자동화, AI, 모니터링·품질 관리 기법 등의 신기술을 통해 효율성, 선별성, 환경 성과, 핵심광물 회수율을 개선하고, 핵심광물의 순환 사용을 대폭 확대하는 한편 재활용 공정의 환경 발자국 저감 등을 뒷받침할 수 있을 것으로 기대
- (무역) 폐기물의 무역과 관련된 규제 조치는 수출된 폐기물이 수입 지역에서 적절하게 재활용되고 지속 가능하게 처리되도록 지원하는 반면, 글로벌 재활용 산업 성장을 저해할 수 있으므로 효과적이고 기민하게 시행 필요
- (지속 가능성) 배터리 재활용 관리가 부실할 경우 폐기물 잔여물, 수질 오염 물질, 유해 배출물로 인한 공해가 발생할 수 있으며, 폐기물 수거 단계에서 아동 노동이나 불안정한 관행이 수반되는 경우도 다수

■ **상세한 장기 정책 로드맵 개발, 인센티브·규제를 통한 자국 내 인프라 강화 등 정책적으로 핵심광물 재활용을 확대하기 위한 조치 시행이 필요**

- (상세한 장기 정책 로드맵 개발) 정책 방향의 명확성과 투자자 확실성을 증진할 수 있는 선명한 목표와 중간 점검 지표를 설정
- (효율적인 2차 시장 개발을 목표로 폐기물 관리·재활용 정책 조율) 무역 장벽을 낮추고 관리되지 않은 재료 소실을 최소화하기 위해 국제 협력 촉진
- (인센티브·의무화를 통한 자국 인프라 강화) 경제적 인센티브를 통해 국가 및 권역 수준의 재활용 시설 투자 장려
- (재활용 재료 소비 촉진을 목표로 추적·표준·인증 증진) 투명성 제고 및 글로벌 모범 사례를 바탕으로 재활용 산업을 증진
- (기술 혁신, R&D, 인력 교육을 위한 맞춤형 재정 지원) 보다 효율적인 공정, 검증된 기술 확장, 새로운 에너지 경제에 대비한 인력 양성을 위해 자금 지원 지속
- (신흥·개발도상국의 재활용 시스템 강화) 부적절한 폐기물 관리의 영향에 취약한 지역 투자를 지원하기 위해 신기술과 금융 수단 도입
- (데이터 및 정보 격차 해소) 신뢰할 수 있고 정교한 데이터 접근성을 바탕으로 효율적인 정책 수립과 투자 선택을 뒷받침
- (재활용 이상의 총체적 접근 방식 도입) 제품 설계, 재사용, 수리, 개조 등이 지속 가능한 광물 가치사슬 확립에 핵심적인 역할 담당
- (재활용 업체의 환경·사회·거버넌스(ESG) 과제 해소) 지속 가능하고 책임 있는 공급망에 기여하기 위해 ESG 영향 파악·최소화·완화 도모

■ **우리나라는 전기차, 배터리 등 미래산업과 직결된 주요 핵심광물의 수입 대부분을 중국을 비롯한 해외에 의존하고 있는 상황으로, 공급망 관리 리스크 관리 및 공급망 다각화 차원에서 광물 재활용의 중요성이 제고**

- 미래 먹거리 산업의 핵심광물 수요가 증가하고 국가 간 광물 공급망 확보 경쟁이 심화되는 가운데 '23년 기준 산화·수산화리튬, 산화·수산화니켈, 코발트, 흑연, 실리콘 등의 대중국 수입 비중이 현저히 높은 편
- 광물 2차 공급의 중요성에도 현재 핵심광물의 재자원화 비중이 2%대에 불과한 것으로 집계되는 만큼 정부와 업계의 집중 투자가 필요
 - '23.7월 기준 우리나라의 해외 수출로 인한 전기차 말소 비중이 70%를 상회하고 있다는 점은 국내 배터리 수거 비중이 저조하다는 것을 반증

- 재활용을 통한 광물 회수는 핵심광물 자원이 부족한 우리나라의 자급율을 제고하여 공급 안보를 뒷받침할 수 있는 수단으로 중요
- 이와 관련해 정부는 「핵심광물 확보전략」(’23.2)를 통해 핵심광물 목록을 지정하고 핵심 광물 재자원화 비중을 20%대로 확대하겠다는 목표 수립하는 한편, 「이차전지 전주기 산업 경쟁력 강화 방안」(’23.12)에서 사용후배터리 생태계 조성 전략을 제시
 - 「핵심광물 확보전략」은 사용후배터리 수거·유통·활용 등 통합관리체계 마련, 미래자원 재자원화 촉진을 위한 K-재자원화 얼라이언스 운영 등을 통해 핵심광물의 재자원화를 위한 순환체계를 구축하겠다는 계획 포함
 - 「이차전지 전주기 산업 경쟁력 강화 방안」은 사용 후 배터리 거래 시장 조성 지원, 업계 부담 경감을 위한 규제 완화, 재사용 제품 확산을 위한 선도 프로젝트 추진, 기술개발 및 창업 지원 거점 확충 등의 정책 조치 제시
 - 정부 지원을 바탕으로 ’26년까지 핵심광물 정제련·소재 융복합 클러스터 조성 계획이 추진되고 ‘해외자원개발사업자금 융자기준’ 개정안에서 재자원화 기술을 신성장·원천기술로 지정해 투자 세액공제를 확대하는 움직임이 나타나고 있어 관련 생태계 구축 및 산업 발전을 지원할 수 있을 것으로 기대
- 향후 정부의 정책 지원 효과를 제고하고 핵심광물 재활용을 심화하는 측면에서 IEA의 제안대로 구체적인 목표와 중간 점검 지표를 설정하고 재활용 시설 투자를 위한 경제적 인센티브를 확대하는 것이 유의미할 것으로 예상
 - 재활용 물질 최소량, 수거율 목표 등을 과학적으로 수립하고 실행방안을 보다 세분화하여 단계별 이행 과정을 정기적·체계적으로 관리함으로써 정책의 실효성을 제고 필요
 - 세제 혜택, 보증 등의 금융 지원뿐만 아니라 차액계약제도(CfD)나 수익 상하한 모델과 같은 가격 책정 메커니즘 도입으로 업계의 재정 위험 부담과 투자 불확실성을 낮출 수 있을 것으로 기대
 - 특히 EU의 디지털 제품여권 도입에 발맞춰 배터리 등을 비롯한 주요 제품의 추적 시스템 및 폐기물 발생량, 제품 수명 등의 세부 데이터 수집·공유 체계 도입을 가속화함으로써 핵심광물의 순환성을 증진하는 동시에 수출 공급망 관리를 뒷받침할 수 있을 전망

【 원문정보 】

- IEA, Recycling of Critical Minerals: Strategies to scale up recycling and urban mining, 2024.11

I. 서론

■ 오늘날 글로벌 에너지 시스템이 청정에너지로 전환되는 과정에서 화석 연료 시기와는 다른 형태의 공급망 및 안보 문제가 야기될 수 있다는 전망 대두

- 재생에너지, 전기차와 같이 청정에너지로 구동되는 에너지 시스템은 기존의 화석 연료 기반 시스템과 차이가 있는 데다 보다 많은 양의 광물을 소비
 - 청정에너지 시스템으로의 전환은 핵심 광물 수요를 대대적으로 증가시켜 공급측 부담을 가중시키는 요인으로 작용
 - 대표적으로 리튬·니켈·코발트·망간·흑연은 배터리 기술에, 희토류 원소는 영구자석*에 필수적인 요소에 해당하고 전력망에는 대량의 구리와 알루미늄이 소요

* 풍력 터빈과 전기차 모터의 핵심 부품

※ 급속한 에너지 전환 과정에서 광물은 에너지 시스템의 기능을 원활하게 만드는 요소로 인식되고 있으며, 과거 화석 연료가 맡았던 핵심 역할을 대체해나가는 양상

- 지속적으로 재투입되어야 하는 화석연료와 달리, 청정에너지 시스템 구축이나 운영에 소비되는 광물 자원은 인프라 수명이 다하면 회수와 재활용이 가능하다는 특징 보유
 - 재활용을 통해 구리, 리튬, 니켈, 코발트, 희토류 원소 및 기타 핵심광물을 에너지 공급망에 재도입할 수 있다는 점은 현대 청정에너지 시스템의 패러다임이 순환성으로 전환되고 있음을 시사
- 강철, 알루미늄과 같은 일반 금속의 재활용 관행이 확립되어 있는 반면, 리튬, 코발트, 니켈, 희토류 원소, 실리콘과 같은 에너지 전환 광물 중 다수는 아직까지 재활용이 미흡
 - 배터리에 필요한 광물 중 현재 재활용되는 원료는 전자 폐기물과 제조 스크랩이 대부분이지만, 1세대 전기차가 수명이 다하는 10년 후에는 이러한 추세가 바뀌게 될 것으로 예측

■ 재활용 확대 시 1차 공급 부담 경감, 안보 강화, 환경 발자국 및 폐기물 감축과 같은 여러 편익 발생

- 신규 광산에 의한 1차 공급 부담을 줄일 수 있는 2차 공급원을 창출한다는 점에서 유의미

- 재활용을 확대함으로써 에너지 전환 광물 수요 증가분이 완전히 상쇄되거나 지속적인 채굴·정제 투자 필요성이 사라지지는 않지만, 1차 광물 추출 부담을 일부 경감 가능
- IEA 분석에 따르면 2차 공급(재활용·재사용)이 확대되지 않을 경우 '50년까지 넷제로 달성을 위한 글로벌 채굴 투자 금액을 2,400억 달러 또는 '40년까지 이뤄진 투자 대비 약 30%까지 증액 필요
- 청정에너지 기술 보급률은 높지만 광물 자원이 제한된 국가와 지역의 안보를 개선하는 데 기여
 - 재활용으로 안전하고 다각화된 공급원을 확보할 수 있으며, 국내외 핵심광물 재활용 인프라 투자를 통해 미래 공급 중단에 대비할 수 있는 비축물 마련 가능
- 에너지 전환 광물의 1차 생산과 관련된 일부 환경 영향을 완화할 수 있는 경로로 부상
 - 재활용 광물은 1차 광물 대비 온실가스 배출량이 평균적으로 80% 적고* 물 소비량도 낮은 편으로, 폐 알루미늄 스크랩 활용 시 1차 알루미늄보다 배출량을 90%까지 저감할 수 있는 것으로 조사
 - * 1차 광물 채굴·가공 공정보다 재활용 공정의 에너지 소비량이 낮기 때문
- 가전제품·태양광 패널·전기차 등의 최종 사용 기술*을 비롯해 채굴·제조 과정에서 발생하는 폐기물의 양을 감축
 - * (end-use technology) 에너지, 전기, 천연가스, 석유 등을 경제의 원동력이 되는 유용한 작업으로 전환하는 기술
 - 재활용이 진행되지 않을 경우 폐제품에서 발생하는 막대한 폐기물이 매립되면서 토지와 수자원을 오염시키고 건강·안전 문제를 야기할 수 있으나, 제조 스크랩과 광산 폐기물 등으로부터 광물을 회수함으로써 폐기물 발생량 감축에 기여

■ 국제에너지기구(IEA)는 핵심광물의 재활용 현황과 시나리오별 2차 공급 전망을 점검하고 재활용 증진을 위한 정책 권장 사항을 제시

- 전 세계적으로 시행되고 있는 광물 재활용 관련 정책을 살펴보고, 보다 지속 가능하면서도 안전한 미래 광물 공급망 구축 측면에서 재활용 및 도시광산 활용을 촉진하는 방안 고찰
 - 청정에너지 분야에서 중요한 역할을 하는 광범위한 핵심광물 중 구리, 리튬, 니켈, 코발트, 흑연, 희토류 등 주요 에너지 전환 광물에 초점을 맞춰 분석
 - ※ 저배출 전력 생산(태양광 발전, 풍력, 수력, 원자력, 기타 재생 에너지), 전기차 배터리 및 배터리 저장장치, 전기차 모터, 송전망(송전, 배전 및 변압기), 수소(연료 전지 및 전해조) 기술 등을 중심으로 청정에너지 부문의 광물 수요를 평가

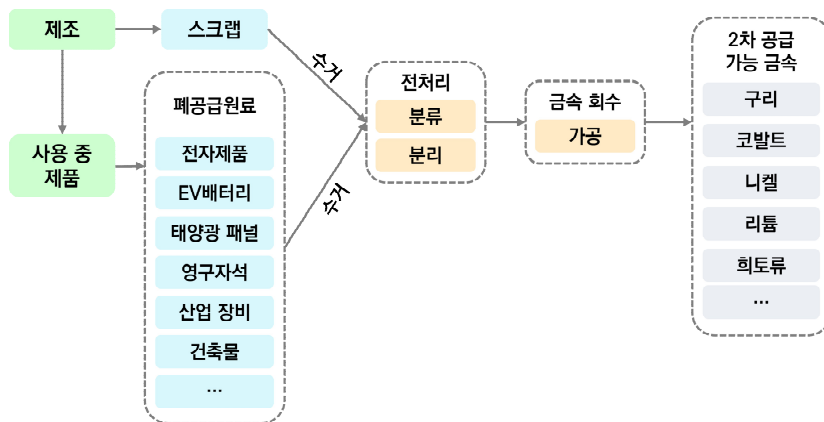
II. 핵심광물 재활용 현황

1. 재활용 프로세스

■ 재활용은 금속 등의 재료에 다양한 처리를 가해 사용 가능한 제품으로 변환하는 과정을 의미하며, 재활용 공급원료를 크게 제조 스크랩(manufacturing scrap)과 폐스크랩(end-of-life scrap) 범주로 구분

- 제조 스크랩은 제조 공정 중 생성된 품질 기준 미달 제품이나 금속, 합금 등을, 폐스크랩은 수명이 종료된 제품을 지칭하며, 에너지 부문의 재활용 공급원료에는 전기차 배터리, 태양광 패널, 풍력 터빈, 영구 자석 등이 포함
- 재활용 원료 공급원을 보다 넓은 경제 영역으로 확장하는 ‘도시 광산(urban mining)’ 개념에서는 전자 제품, 산업 부품, 전선, 건물 등의 모든 인공 물질을 잠재적인 금속 공급원으로 간주

〈그림 1〉 에너지 전환 광물의 재활용 과정



- 에너지 전환 광물의 재활용 과정은 크게 재활용 원료 수거·운송, 전처리 및 물질 회수로 구성
 - (재활용 원료 수거·운송) 지금까지 폐제품 수거율이 저조했던 데다 재료 운송 측면에서 안전·규제 문제가 발생할 수 있어 여러 제약이 따르는 까다로운 과정에 해당
 - (전처리 및 물질 회수) 재료 수거 후 일반적으로 전처리 및 재료 회수 단계를 거쳐 금속과 광물을 추출하게 되며 이때 분류, 분리, 처리 과정이 필요

- ※ 원료 유형에 따라 각 과정이 상이하게 진행되는데, 대표적으로 배터리 재활용을 위한 ‘물질 회수’ 단계의 처리 과정에서는 건식 또는 습식 야금이 적용
- 물질 회수 단계에 적용되는 처리 수준에 따라 다양한 제품 생산이 가능해지며, 이를 통해 물질이 2차 공급에 적합한 제품으로 전환
 - 원 제품과 동일한 제품에 다시 사용되거나(폐쇄형 재활용) 다른 제품에 활용될(개방형 재활용) 수 있으며, 제조업체가 가공 단계를 거치지 않은 스크랩을 직접 사용하는 경우도(직접 사용 스크랩/direct-use scrap) 존재
- 일부 특수 합금을 제외한 금속은 품질 저하 없이 반복적으로 재활용될 수 있는데, 원료에 따라 재활용 공정 완료 후 확보할 수 있는 금속이 상이
 - 전기차 배터리의 경우 화학 조성이 물질 회수에 영향을 미치게 되어 리튬·니켈·망간·코발트(NMC) 배터리에서는 니켈, 코발트, 망간, 리튬을, 태양광 패널에서는 구리, 알루미늄, 은, 실리콘을 회수 가능
- ※ 그 외 풍력 터빈에는 니켈, 알루미늄, 구리와 같은 일반 금속이, 영구자석에는 희토류 원소가 포함되어 있고, 최근 2차 구리 공급원으로 폐배터리가 부상

2. 재활용 진행 현황

■ (상품별 현황) 광물 간 차이가 존재하기는 하지만 일반적으로 에너지 전환 광물의 재활용 투입률은 낮은 반면, 알루미늄과 같이 확고히 자리잡은 일반 금속의 경우 그 비율이 높은 것으로 분석

- ※ 금속의 종류를 막론하고 현재 재활용 원료의 주 공급원은 폐스크랩(소비재, 운송·건설·건축물 등의 인프라 관련 최종 사용자) 및 산업 제조 스크랩이며, 전기차와 저장용 배터리는 아직 수명 종료 시점에 도달하지 않은 제품이 많아 재활용 원료에서 비중이 적은 편
- (알루미늄) 지난 10년간 평균 약 35%의 가장 높은 재활용 투입률을 기록한 금속에 해당
 - 재료의 고가치성, 1차 생산 대비 낮은 재활용의 에너지 소비량, 수월한 스크랩 원료 접근성, 재활용까지의 비교적 짧은 평균 수명주기, 캔 등 알루미늄 다량 함유 폐제품의 높은 수거율 등으로 인해 경제적 인센티브가 확립되며 재활용을 견인
 - 확고하게 확립된 폐기물 관리 프로그램과 규제 체계도 높은 수거율에 기여
- (구리) 스크랩 활용이 비교적 쉽고 성능 저하 없이 반복적으로 재활용할 수 있어 지난 10년 동안 재활용 투입률 약 17%*를 유지
- * 이는 직접 사용 스크랩(direct-use scrap)을 제외한 수치로, 이를 포함시킬 경우 지난 10년간 구리의 재활용율은 35%로 상승

- 다만, 구리는 알루미늄과 같은 일부 다른 일반 금속보다 원료 수명이 길고*, 케이블·전선 등의 폐기물에 포함된 구리 회수·처리 비용이 높아 상대적으로 회수가 복잡한 상황
- * (예) 포장재와 같은 알루미늄 다량 함유 제품의 수명 주기는 몇 주에 불과한 반면, 소비자용 가전 제품의 수명은 5~10년, 전력 케이블 등 산업용 전기·건축 제품의 수명은 20~50년
- 최근 구리의 총 생산량이 증가하면서 2차 생산량도 꾸준히 확대되어 '15~'23년 증가율이 약 15%를 기록
- (기타) 전기차, 저장용 배터리 제조·보급의 급속한 확대로 코발트, 리튬, 니켈 등 기타 에너지 전환 광물의 2차 공급 점유율 상승이 예상되면서 제조 스크랩으로부터의 광물 회수 및 전기차·저장용 배터리의 수명 종료를 대비한 재활용 시설 투자가 증가
- ※ 충전식 배터리와 같은 공급원료의 양이 작고 전자 폐기물 재활용이 쉽지 않은 만큼 과거 알루미늄, 구리 등을 제외한 에너지 전환 광물의 2차 공급 규모가 낮은 수준을 유지

〈표 1〉 기타 광물 현황

| 구분 | 주요 내용 |
|-----|--|
| 코발트 | • 소비재에 보편적으로 사용되고 비교적 높은 가치를 지니고 있어 2차 공급 비중이 상대적으로 높은 편 |
| 리튬 | • 소비재로부터 회수가 진행되고 있으나 함유량이 상대적으로 많지 않아 회수율 저조 |
| 니켈 | • 2차 공급 비중은 낮았지만 직접 사용 니켈 스크랩 비중이 높아 지난 10년간 약 30%의 재활용 비중을 유지 |

※ 보급 초기에 있는 전기차 및 저장용 배터리의 수명 종료 시점이 도달하지 않아 재활용 공급원료를 확보하는 데 한계가 있으므로, 핵심 배터리 금속(리튬, 코발트, 니켈 등)의 재활용율을 가용 원료와 비교하는 것이 유의미

- 검토 결과 배터리 금속의 재활용률이 '20년 이후 급격히 증가한 것을 확인할 수 있는데, 니켈 재활용률은 50%, 코발트는 40%를 상회하고 리튬 재활용률도 꾸준히 증가하여 '23년 20%에 도달

※ 전기차 배터리에서 가장 집약적인 금속으로 배터리 제조 스크랩에 다량 함유되어 있는 니켈과 톤당 가치가 높고 재활용 기술이 확립되어 있는 코발트의 경우 재활용률이 높으나, 리튬은 회수 기술이 최근에야 구현되어 재활용 도입 속도가 느린 상황

- 재활용 배터리 금속 시장은 '15년~'23년간 약 11배 증가하였는데, 이 중 약 50% 이상이 지난 3년간 발생한 것으로 분석

※ 니켈, 리튬, 코발트 가격 급등이 시장 성장을 뒷받침하였으나 가격 영향을 제외하더라도 성장률이 약 7배에 육박

■ (지역 현황) 광물의 2차 공급과 관련한 지역적 차이를 정확히 평가하기는 어려우나 다른 지역보다 재활용 산업이 견고히 확립된 곳이 존재하며 수거율 또한 지역에 따라 상당한 편차 표출

- 정제·재활용 산업이 발전한 중국, 유럽, 북미는 광물 전반적으로 2차 생산 수준과 재활용 투입률이 가장 높은 지역에 해당
 - 알루미늄, 구리, 니켈과 같이 직접 사용 스크랩이 2차 공급의 다수를 차지하는 금속의 2차 공급원은 정제 기반이 견고한 지역에 위치하게 되기 때문
 - 전자 폐기물 또한 선진국 내 발생·수거 수준이 높은 데 반해, 신흥/개발도상국의 수거율은 저조
 - 수명이 종료된 공급원료의 중요성이 높은 금속의 경우 국가 간 무역이 원료 확보 수준과 재활용 투입율에 영향을 미치므로, 대규모 수입국이 많은 원료를 보유하는 것이 일반적
 - 코발트, 리튬 등 원료 대부분이 폐배터리에서 나오기 시작한 재활용 산업 초기단계의 광물 재활용 시설은 대부분 중국에 위치
 - ※ 중국이 폐배터리, 폐스크랩, 전자 폐기물의 재활용·재사용을 위한 국유기업 중국자원재활용그룹유한공사 (China Resources Recycling Group Ltd.) 신설 등을 바탕으로 다수 핵심 재료 재활용 분야의 지배적 위치를 유지하고 있는 만큼 근미래에도 이러한 추세가 지속될 것으로 전망
- 현재 코발트, 니켈, 리튬의 2차 생산 시설 대부분이 중국에 집중되어 있지만, 타 지역에서도 재활용 산업 개발을 위한 공조 움직임 표출
 - 대규모 광산기업과 가공업체가 유럽과 북미 배터리 재활용 산업에 투자하고, 중단 단계 배터리 가치사슬 기업도 유럽 배터리 재활용 공장 투자를 진행하는 추세
 - ※ (예) ▲스위스 자원 기업 Glencore가 캐나다 배터리 재활용 회사 Li-Cycle과의 파트너십 및 7,500만 달러 투자 계획 발표 ▲칠레 리튬 기업 SQM은 영국 배터리 재활용 회사에 940만 달러 투자 ▲글로벌 최대 양극 생산업체 BASF와 Umicore도 유럽 배터리 재활용 공장에 투자

3. 재활용 정책 개발 동향

- 광물 재활용 관련 정책은 '22년~'24년 30건 이상 수립되었는데, 대부분 전략 계획, 생산자책임재활용제도(EPR), 금융 인센티브, 국경 간 무역 규정의 네 가지 범주로 구분
- 광물 재활용 정책에는 산업별 재료 회수 목표, 수거율, 최소 재활용 함량과 같은 규제 의무가 포함되며, 정책이 여러 범주에 속하거나 대안적 접근방식이 도입되는 경우도 존재

〈표 2〉 최신 정책 개발 동향

| 시기 | 주요내용 |
|---------|---|
| 전략 계획 | <ul style="list-style-type: none"> • 선진국을 포함한 다수 국가가 순환 경제 부문의 상위 전략과 경제 전반의 2차 재료 조달 목표를 수립하고 있는데, 전략 계획은 로드맵 역할을 담당하며 수립된 목표 이행을 위한 규정을 포함 <ul style="list-style-type: none"> - (EU) 「순환경제실행계획(Circular Economy Action Plan)」을 수립해 차량과 배터리에 대한 세부 조치*를 제시하였고, 「핵심원자재법(CRMA)」을 통해 '30년 이내 재활용 용량 도달 목표**를 설정 <ul style="list-style-type: none"> * (예) 특정 폐기물의 제품 또는 2차 원자재 전환 시점을 구체화하는 EU 차원의 '폐기물 종료 기준(end of-waste criteria)' 개발 등의 2차 원자재 시장 지원 조치 ** 연간 전략적 원자재 소비량의 최소 25%를 국내 재활용 용량을 통해 생산하겠다는 목표 설정 ※ 그 외 독일이 「국가순환경제전략」 초안을 마련하고 이탈리아 「국가순환경제전략」을 수립하는 등 회원국 차원에서도 재활용 전략을 개발 - (중국) 최근 폐기물 재활용 정책*을 발표하고, 주요 재생 자원의 연간 활용 수준 4억 5,000만 톤, 자원 재활용 산업의 산출 가치 연간 5조 위안 도달 목표 수립 <ul style="list-style-type: none"> * 「폐기물 순환 재활용 체계 구축 가속화에 관한 의견(废弃物循环利用体系的意见)」 - (호주) 「국가폐기물정책실행계획(National Waste Policy Action Plan)」에서 재활용 산업 개발 목표와 조치 제시 |
| 금융 인센티브 | <ul style="list-style-type: none"> • 여러 선진국이 재활용 기술 구현을 장려하고 자국 내 용량을 확대하기 위한 보조금, 우대 대출, 보증 등의 금융 인센티브를 도입하고 있는데, 여러 재활용 공정 중 스크랩 생산·수거 및 자국 내 처리 시설 분야에 집중 <ul style="list-style-type: none"> - (영국) CLIMATES 프로그램은 중·후기 단계 R&D 프로젝트를 통해 자국 공급망 역량 강화에 500만 파운드를 투자하는 재활용 인프라 지원 사례로, 고성능 자석에 사용되는 희토류 원소(REE)에 중점을 두고 순환 설계 개선 및 회수된 희토류 처리 방안 발굴을 모색 - (캐나다) 전략혁신기금(Strategic Innovation Fund)을 통해 다수의 핵심광물 프로젝트에 1.5억 캐나다 달러를 배정하였는데, 첨단 제조, 가공, 재활용 분야를 우선 지원 예정 - (미국) ▲「인플레이션 감축법」을 바탕으로 핵심광물, 청정 에너지 기술 장비 재활용 증진을 위해 세제 혜택 제공 ▲소비자용 배터리 수거 프로그램에 1,500만 달러 지원 |

| 시기 | 주요내용 |
|----------------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> - (중국) 재활용 인프라와 관련해 세제 혜택, 녹색 채권·녹색 신탁을 비롯한 금융 상품, 기존 자금 지원 제도를 운영하고 있으며, 자원 재활용·재사용을 위한 국유 기업 설립 |
| <p>생산자책임 재활용(EPR) 제도</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 제조업체가 수명 종료 제품 처리에 대한 책임을 지도록 하는 EPR 제도를 의무화·장려하는 국가가 많으며, 전자 폐기물 부문 재료 회수에 적용하는 경우도 존재 <ul style="list-style-type: none"> ※ 가치사슬의 한 지점에 초점을 맞추는 타 정책과 달리 EPR 제도는 제품 사슬 전체적으로 환경을 고려하도록 의무화하는 제도로, '90년대 이후 전자·전기 폐기물 처리에 현저한 영향을 미쳐 재료·금융 흐름의 투명성 개선, 수명 종료 관리 비용의 정부→생산자 전환, 재료 회수율 증진이라는 성과를 도출 - (EU) ▲「전기전자제품폐기물지침(WEEE Directive)」을 통해 생산자의 분리 수거와 적정 처리를 의무화하고 에코디자인을 장려 ▲「EU 배터리 규정」에서 책임 있는 1차 투입 재료 조달, 폐배터리 회수 목표, 재활용 재료 최소 함량 수준 등 배터리 수명 주기 전반의 요건을 설정하고 재활용 효율 목표를 수립 - (미국) 캘리포니아를 포함한 25개 주가 전자 폐기물 재활용 관련법 제정 - (한국) ERP 제도에 생산자 책임과 금융 인센티브를 포함시키고 있으며, 제조업체가 판매된 제품의 특정 비율을 회수·재활용하도록 의무화 |
| <p>국경 간 무역 규정</p> | <ul style="list-style-type: none"> • 재활용 가능 광물의 국경 간 무역에 영향력을 미치는 규정으로, 폐기물의 유·무해를 분류하고 부산물, 재활용 가능 제품, 폐기 과정, 재활용 목적의 광물·관련 제품 무역에 영향을 미치는 기타 요소 등을 정의 <ul style="list-style-type: none"> ※ ▲한 지역에서 유해 폐기물로 취급되는 회수 광물이 타 지역에서는 가치 있는 제품으로 간주되는 등 관할권마다 회수된 광물 관리 규정이 다르기 때문에 수출입 과정에서 무역 장벽, 규제 장벽이 발생하고 잠재적인 무역 분쟁을 야기 가능 ▲해당 규정은 「유해 폐기물의 국경 간 이동 및 처분 통제에 관한 바젤 협약(Basel Convention)」이나 OECD의 「회수 대상 폐기물의 국경 간 이동 통제에 관한 이사회 결정」 이행과 연관 - (EU) 「EU 폐기물 기본지침*」은 폐기물이 2차 원자재로 간주되는 시점과 폐기물/부산물 구별 방법을 규정하고 있으며, 「폐기물 선적에 관한 규정**」은 역외 국가로의 폐기물 수출에 대한 규칙을 명시 <ul style="list-style-type: none"> * EU Waste Framework Directive) ** (Regulation (EU) 2024/1157 on shipments of waste Regional Cross-border) '24년 개정, '26년 적용되었으며 역내 폐기물 운송과 재활용을 용이화 - (미국) 해외우려기관(FEOC) 조항이나 「위구르 강제노동방지법」 등은 재활용 핵심광물 거래에 간접적으로 영향을 미치는 규정에 해당 - (기타) 인도 정부는 폐기를 목적으로 하는 전자 폐기물의 수입을 금지하고, 콩고, 아르헨티나, 베트남 등은 핵심광물 폐기물의 수출을 제한 |

Ⅲ. 향후 전망과 과제

1. 2차 공급 전망

- 광물 종류에 따라 전체 광물 공급량 중 2차 공급의 비중에 차이가 있으나, 현재 재활용 공급원료는 종류와 관계 없이 주로 폐스크랩과 제조 스크랩으로부터 확보
 - 현재 재활용 원료에서 전기차, 저장용 배터리와 같은 청정에너지 부문이 차지하는 비중은 크지 않지만, 대규모로 보급된 배터리, 태양광 패널, 풍력터빈 수명 종료시점에 도달하면 비율이 빠르게 증가할 것으로 예측

〈표 3〉 시나리오별 2차 공급 전망

| 구분 | 주요 내용 |
|---------------------|---|
| 현정책 시나리오 (STEPS) | <ul style="list-style-type: none"> • 핵심광물 총수요 중 2차 공급의 비중이 지속적으로 증가 - 구리(직접 사용 스크랩 제외)의 2차 공급 비중은 현 17%에서 '50년 33%로 증가하고, 코발트도 비슷한 양상을 나타낼 것으로 예측 - 배터리 보급 확대에 따라 리튬과 니켈의 2차 공급도 두드러지게 성장 |
| 목표공약 시나리오 (APS) | <ul style="list-style-type: none"> • STEPS보다 높은 수준의 회수율을 기록할 것으로 예상 - 구리의 경우 회수율 제고를 위한 강력한 정책 조치를 바탕으로 2차 공급 비중이 '35년 총 수요의 20%, '50년 40%를 상회할 전망 |
| 2050 넷제로 시나리오 (NZE) | <ul style="list-style-type: none"> • 지속 가능성과 순환성에 보다 방점을 두고 세 시나리오 중 가장 공격적인 수거율과 효율성 수준을 제시 - '50년 2차 공급량이 APS 대비 ▲희토류 원소 약 15% ▲리튬, 니켈, 코발트 35% 이상 더 높게 나타날 것으로 예측 - 2차 공급 비중 또한 대부분 광물에서 APS보다 높게 나타날 것으로 예상 되어, '50년 리튬·니켈·코발트·흑연의 경우 APS 대비 9~12% 높은 수요를 2차 공급으로 충당 가능 - 다만 현재 재활용율은 지역, 제품, 보급 수준에 따라 차이가 있으므로, NZE 시나리오에 제시된 2차 광물 공급량에 도달하기 위해서는 수거율 개선, 필수 인프라 투자 확대 등이 필요 |

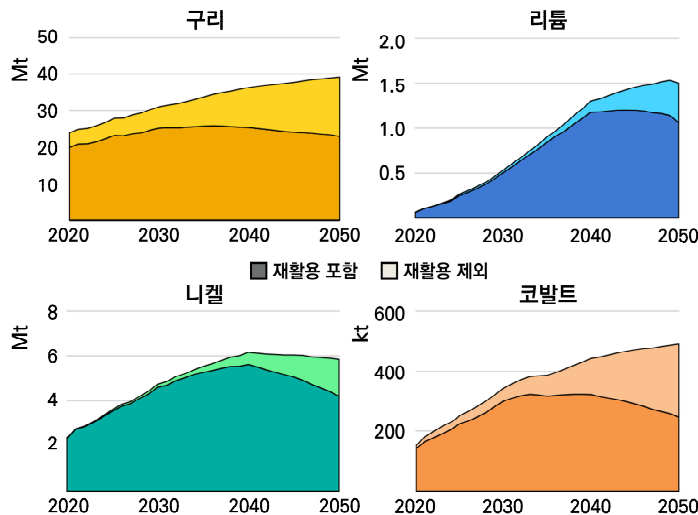
※ ▲(STEPS) 기존에 공표된 정책 조치와 목표를 반영한 시나리오 ▲(APS) 각국 정부의 국가 온실가스 감축목표(NDC)와 탄소중립 목표가 완전 이행될 것으로 가정한 시나리오 ▲(NZE) '30년까지 지구 평균 기온 상승 제한 목표 1.5°C 달성을 위한 이행 경로를 제시한 규범적 시나리오

- 광물별 2차 공급 수준은 과거 재활용양, 해당 광물 함유 제품의 수명, 청정에너지 분야 성장에 따른 미래 수요 증가치에 따라 상이
 - 주요 2차 공급원이 전기차 배터리인 리튬, 니켈 등의 광물은 현재 총 수요 중 2차 공급 비중이 낮지만 '30년부터 확대되어 '50년 경 점유율이 약 30%에 도달할 것으로 예측
 - ※ 니켈 함유 합금의 재활용 제외
 - 자성 희토류(magnet rare earths)의 경우도 비슷한 상황으로, 현재 산업 스크랩이 주요 2차 공급원이지만 폐전기차 모터와 풍력 터빈 부문에서 새로운 재활용 기회가 창출되는 추세
 - 청정에너지 분야 외에도 다양한 용도로 사용되는 구리와 코발트는 총 수요 중 2차 공급 비중이(제조 스크랩 포함) 10%를 넘어섰고 '50년 약 40~50%로 상승 예상

■ 청정에너지 보급이 가속화되면서 에너지 전환 광물 전체적으로 1차 공급 수준 확대가 필요해지겠지만, 이는 향후 2차 공급으로 재활용될 물량 또한 증가하는 것을 의미

- 목표공약 시나리오(APS)를 기준으로 '30년까지 주요 광물의 1차 수요 상승률은 ▲(구리) 연간 3% ▲(니켈·코발트) 연간 6.5% ▲(리튬) 연간 18%로 예측
 - 수요 상승에 따라 '30년 이후 재활용 공급 원료의 양도 증가하게 되므로, 2차 공급량이 급증하는 만큼 '50년경부터 1차 공급 규모가 감소하기 시작
 - ※ '50년 1차 공급 수요는 재활용이 진행되지 않을 때와 비교해 구리·코발트 약 40%, 리튬·니켈 약 25% 감소 예상

〈그림 2〉 재활용으로 인한 1차 공급 수요 감소 전망(APS)



- 광물의 1차 공급 수요가 현 생산 수준보다 높고 기존 광산의 자연 감소가 발생하는 만큼 신규 공급에 대한 투자가 지속적으로 필요하지만, 재활용을 통한 1차 공급량 감축으로 광물 안보, 폐기물 관리, 환경 발자국 측면의 편익이 발생
- 안정적인 2차 공급원을 확보하기 위한 인프라 확장은 글로벌 경제의 재정적 편익으로도 이어져, 신규 광산 개발을 위한 자본 투자 규모를 약 30% 절감하는 효과 창출
- ※ '40년까지 2050 넷제로 시나리오(NZE)의 광물 수요를 충족하기 위해서는 약 8,000억 달러 (유지관리 자본 제외)의 신규 광산 자본 투자가 필요한데, 2차 공급 확대 조치가 진행되지 않을 경우 해당 금액이 30% 이상 높아질 것으로 추정

2. 재활용 과제

■ 재활용의 잠재력을 극대화하기 위해서는 경제성, 기술, 무역, 지속 가능성 관련 과제 대응이 필요

- (경제성) 일반 금속 재활용과 핵심광물 재활용 간의 사업 모델에 현저한 차이가 있는데, 핵심광물 재활용의 유가 물질 회수 과정이 상대적으로 어려워 금속 재활용보다 복잡하고 맞춤형 공정 필요하기 때문
 - 안정화된 시장, 견조한 수요, 작업 공정이 확립된 일반 금속 재활용의 경우 보다 예측 가능한 투자 수익을 확보할 수 있으나, 핵심광물의 재활용 모델은 가치 창출 잠재력이 높은 반면 불확실성과 재정 위험 부담을 수반*
 - * 기술과 공정 발전에 따른 수요 변동성 대응이 필수
 - 핵심광물 재활용 프로젝트의 경제성은 재료 가격, 공급원료 입수 가능성, 규제, 가격 책정 및 지불 체계, 행정 및 실무 복잡성 등 여러 요인에 영향 받게 되며, 회수된 재료의 시장 가치 또한 수익성을 좌우
 - 배터리 금속은 정책 지원 강화, 기술 개발, 원료 입수가능성 증진 등을 통해, 희토류는 경제적 인센티브, 재활용 의무화, 소비자의 재활용 재료 사용 의지 제고 등을 통해 경제성 개선이 가능할 것으로 예상
- (기술 혁신) 현재의 재활용 기술은 에너지 및 환경 측면에서 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 핵심광물 함유 제품의 복잡성과 다양성으로 인해 회수율 최적화 한계, 물질 소실 발생
 - ※ 건식 야금 재활용 방식은 미량의 광물을 회수하는 데 다량의 에너지를 소비하고, 습식 야금 공정은 상대적은 에너지 사용이 낮은 편이나 시약(reagent)으로 인한 환경 영향을 야기

- 첨단 분류, 신규 화학·물리 공정, 자동화, AI, 모니터링·품질 관리 기법 등의 신기술을 통해 효율성, 선별성, 환경 성과, 핵심광물 회수율을 개선하고, 핵심광물의 순환 사용을 대폭 확대하는 한편 재활용 공정의 환경 발자국 저감 등을 뒷받침할 수 있을 것으로 기대
 - ※ '17년~'22년 리튬 이온 배터리 재활용 특허가 연평균 56% 증가하고, '22년~'23년 배터리 및 폐기물 재활용에 대한 벤처 캐피탈 투자가 급증하는 등 기술 발전과 관련해 긍정적 추세 확인
- (무역) 각국은 관리되지 않는 폐기물 누출을 줄이고 자국 내 재활용을 장려하기 위한 목적으로 스크랩 거래 규제 조치를 시행하고 있으며, 국제적으로도 바젤협약과 OECD 협정**에 기반하여 국가 간 폐기물 무역 통제를 강화
 - * OECD Decision on the Control of Transboundary Movements of Wastes
 - 해당 조치는 수출된 폐기물이 수입 지역에서 적절하게 재활용되고 지속 가능하게 처리되도록 지원하는 반면, 글로벌 재활용 산업 성장을 저해할 수 있으므로 효과적이고 기민하게 시행 필요
 - 특히 재활용 수거, 처리 등이 서로 다른 국가에서 진행되는 경우가 빈번함에도 현 규제 체계는 불용 전자 폐기물과 정상 작동하는 전자 장비의 혼재, 낮은 수거율, 재사용·재활용 표시 오류* 등의 과제에 직면
 - * 재사용·재활용 가능 여부가 부적절하게 표시된 폐기물이 안전·환경 조치가 미흡한 비공식 재활용 부문으로 유입되어 환경 오염, 건강 위험을 초래하는 경우 발생
 - 리튬 이온 배터리 폐기물과 블랙 매스*의 국제 분류를 통일해 명확성을 증진함으로써 새로운 폐기물 흐름과 관련된 규제 불확실성을 저감할 수 있을 것으로 전망
 - * (black mass) 폐배터리를 수거·분쇄해서 만든 검은 가루 형태의 중간 가공품
- (지속 가능성) 배터리 재활용 관리가 부실할 경우 폐기물 잔여물, 수질 오염 물질, 유해 배출물로 인한 공해가 발생할 수 있으며, 폐기물 수거 단계에서 아동 노동이나 불안정한 관행이 수반되는 경우도 다수
 - 자발적 표준이 다양하게 수립되고 있지만, 사회·거버넌스 측면의 공백이 해소되지 않은 상황이므로 기존 재활용 표준 강화가 필요
 - 추적 메커니즘을 통해 모범 사례에 따라 재료 조달·재활용이 진행되고 있는지 확인할 수 있고, 소비자가 환경적·사회적 성과가 높은 재활용 업체를 선택하는 환경 조성 가능

IV. 정책 권장 사항

■ 청정에너지 전환을 위한 안전하고 지속 가능한 광물 공급망을 확립하기 위해서는 재활용, 도시 광산, 광산 폐기물 처리를 확대하기 위한 조치 확대가 필수

- 이에 국제에너지기구는 주요 재활용 과제에 대응하고 핵심광물 재활용을 확대하기 위한 9가지 정책 권고사항을 도출

■ (①상세한 장기 정책 로드맵 개발) 정책 방향의 명확성과 투자자 확실성을 증진할 수 있는 선명한 목표와 중간 점검 지표를 설정

- 업체의 재활용 사업 확대 시 상당한 사전 투자가 필요하고 원료와 금속 가격의 변동성으로 인한 경제적 불확실성이 부각되는 상황에서, 장기 정책의 가시성을 확보하는 것은 재활용 업체가 신규 프로젝트에 전념할 수 있는 신뢰 분위기 조성에 중요
 - 차세대 제품·기술에 필요한 재활용 물질 최소량과 수거율 목표를 과학적으로 명확히 수립하고 해당 목표를 실행시킬 수 있는 방안을 제시하는 동시에, 기술 혁신 및 지속 가능성 표준을 포함하는 광범위한 전략과 함께 투자 장려 조치를 추진

〈 구체적인 장기 전략 로드맵 예시 〉

- (EU 핵심원자재법) ▲'30년 재활용 물질이 역내 전략 원자재 연간 소비량의 최소 25% 총당 목표 수립 ▲재활용 프로젝트 인허가 절차 소요 기간을 15개월로 제한 ▲EU와 협력국 간 핵심 원자재 가치사슬 협력* 개선 ▲혁신기금을 통해 청정에너지 기술 관련 원자재의 재활용 역량 개발 보조금 지원 등 구체적인 정책 수립

* 생산국의 핵심 원자재 순환성 및 책임 있는 재활용 증진을 위한 역량 구축, 기술 이전 프로그램 등

- 다만, 진행 상황 모니터링 전략을 포함하지 않는 정책과 로드맵으로 충분치 않을 수 있는데, 조사 결과 22개 국가·지역 중 핵심광물 재활용을 위한 장기 전략 로드맵을 제시한 국가는* 3곳에 불과

* (예) 한국의 「희소금속 산업 발전대책 2.0」, 중국 「순환경제 14차 5개년 계획」 등의 포괄적 로드맵은 명확한 목표, 일정, 실행 메커니즘, 모니터링 시스템, 경제적 조치, 규제 프레임워크 등을 포괄

■ (㉔효율적인 2차 시장 개발을 목표로 폐기물 관리·재활용 정책 조율) 무역 장벽을 낮추고 관리되지 않은 재료 소실을 최소화하기 위해 국제 협력 촉진

- 타국, 타지역과의 관계에 대한 고려 없이 국가 단독으로 폐기물 관리 및 재활용 솔루션을 발굴하기 쉽지 않으며, 새로운 폐기물 흐름에 대한 관할권 간 규칙을 조율하는* 데 있어 국제 협력과 파트너십이 필수적인 역할을 담당

* 폐기물 분류, 승용차·폐배터리 중심의 중고품 거래 모니터링, 신흥국·개발도상국으로의 비처리 폐기물 불법 수출·거래 처벌에 대한 공통 접근방식 개발 등

- 특히 분류가 명확하지 않은 리튬이온 배터리 폐기물과 블랙매스는 국제 협약 및 관할권 간의 접근방식 조율로 혜택을 받을 수 있는 대표적인 분야에 해당하는데, 국가 간 분류 체계가 조율되지 않을 경우 수출·수입국의 다양한 규정에 영향 받게 되기 때문
- 특정 물질을 분류하기 위한 상세하고 실용적인 기준을 수립하거나 블랙매스 전용 코드를 개발함으로써 무역 장벽을 낮추고 관리되지 않은 물질 소실을 최소화하여 재활용 시장 확대에 기여 가능

〈 국가 간 폐기물 관리·재활용 정책 조율 예시 〉

- (바젤 협약) 국가 간 유해 폐기물 이동을 줄이고 선진국에서 신흥국으로의 유해 폐기물 이동을 제한하기 위한 국제 조약으로, 최근 개정안('25.1.1월 발효)을 통해 모든 전자 폐기물이 사전 통보승인(PIC) 절차를 거치도록 규정
 - 이는 환경적으로 책임 있는 전자 폐기물 관리 촉진 및 글로벌 전자 폐기물 시스템 개발을 뒷받침하기 위한 조치이나, PIC 절차에 많은 비용과 시간이 소요되어 효과적으로 이행하기 어렵다는 우려도 제기
 - 리튬이온 배터리, 블랙매스와 같은 신규 폐기물과 재활용품에 대한 명확한 분류를 제시하고 PIC 절차의 효율성을 제고함으로써 바젤 협약의 목표 달성 및 재활용 산업 발전을 지원할 수 있을 것으로 예상

■ (㉕인센티브·의무화를 통한 자국 인프라 강화) 경제적 인센티브를 통해 국가 및 권역 수준의 재활용 시설 투자를 장려

- 전 세계 대다수 지역의 재활용 인프라 및 인센티브가 부족해 전자 폐기물 및 수명 종료 기술의 재활용 실적이 실제 달성 가능한 수준보다 저조
 - 구리와 같은 일반 금속의 경우 전자제품 폐스크랩으로부터 금속과 합금을 경제적으로 분류·분리하는 데 어려움이 발생하면서 재활용에 한계로 작용하고 있으며, 이때 회수된 구리의 가치가 재활용 비용에 미치지 못하는 경우가 빈번

※ 그 외 수거 인프라가 충분히 구축되지 못한 지역이 많고 공급망 주체 간 협력이 원활히 이루어지지 않는 데다, 금속 함유 제품 재활용을 뒷받침하는 인센티브와 정보도 부족한 상황

- 폐기물 수거·분류를 제도화, 재정 인센티브 제공, 혁신적인 가격 책정 메커니즘 도입, 가치사슬 투자 등이 대표적인 재활용 인프라 강화 방안에 해당
 - 국가 재활용 인프라 확립의 첫 번째 단계는 국가 및 지자체 수준의 폐기물 수거·분류 제도화이지만, 각국의 기존 폐기물 관리 역량에 맞춰 조정 필요
 - ※ ▲(재활용 시스템 기구축 국가) 생산자책임재활용제도(EPR) 활용 최적화, 태양광 패널·풍력터빈·전기차 등에 국가 보증금 제도 도입, 대중 인식 캠페인 투자, 기업에 인센티브 제공 또는 가전제품 수거 서비스 운영 의무화 등을 통해 수거율 제고 가능 ▲(재활용 시스템 미비 국가) 폐기물 관리 정책과 인프라 강화를 우선적으로 추진 필요
 - 수거 외에도 환경적·사회적 성과가 높은 재활용 업체 및 자사 제품의 수명 종료 관리를 적절히 수행하는 기업에 보조금과 같은 재정 인센티브를 제공하거나 재활용 재료 최저 함유율을 규정하는 방안이 재활용 인프라 강화에 효과적
 - 차액계약제도(CfD), 수익 상하한(cap-and-floor) 모델*과 같은 혁신적인 가격 책정 메커니즘 도입 시 정책적으로 가격 변동성과 관련된 재정 위험을 완화하는 맞춤형 지원 제공이 가능
 - * 재활용 업체의 재료 가격에 상하한선을 설정하는 가격 정책 모델로, 극단적 가격 하락으로부터 기업을 보호
 - 가치사슬 전반에 대한 투자도 필수적인 요소로, 재활용 업계에 스크랩 원료를 공급하는 동시에 재활용된 물질을 소비하는 미드스트림 가치사슬 개발을 장려함으로써 재활용 시설에 대한 투자 위험을 축소할 수 있을 것으로 기대
 - ※ 재활용 업체와 재료 생산국, 전처리·재료 회수국 간의 전략적 파트너십도 재활용을 통한 자국 내 재료 생산시설 구축을 보완하는 방안에 해당

■ (㉠) 재활용 재료 소비 촉진을 목표로 추적·표준·인증 증진) 투명성 제고 및 글로벌 모범 사례를 바탕으로 재활용 산업을 증진

- 핵심 광물을 함유한 최종 제품의 수명 주기 전반에 추적 시스템을 도입함으로써 재활용 재료 사용을 장려하고 재활용 의무를 준수할 수 있도록 뒷받침할 수 있으나, 배터리를 제외한 태양광 패널, 풍력터빈, 연료전지 등의 분야는 추적 시스템 도입이 저조한 실정
 - 국제 실사 프레임워크에 부합하는 제3자 감사·보증 체계는 재활용률, 재료의 원산지, 표준 준수 여부를 독립적으로 검증하여 추적 시스템이 효과적으로 작동하도록 지원
 - 그 외 측정 표준화, 투명한 보고 방식, 정기적 모니터링 프로토콜, 제품 여권, 적절한 라벨링, 독립적인 검증 프로세스 등이 추적 시스템의 효과를 강화

- 추적 시스템의 신뢰도와 효과를 공고화하는 정책 방안으로는 ▲이력 추적 제도 도입 지원 ▲표준 간 상호 운영성 확립 ▲민간 기업의 책임 있는 폐기 관행 도입 의무화 ▲생산자책임재활용제도(ERP) 내 추적 시스템 장려 정책 수립 등이 대표적
 - 그 외 제품 수명주기 동안 핵심광물을 추적하고 수명종료 관리를 용이화하기 위해 민간 기업이 제품에 고유 식별자나 디지털 여권을 통합하도록 의무화할 수 있으며, ERP와 데이터 보고 시스템의 연계를 통해 제품의 최종 처리 현황과 광물 회수율 보고 체계 수립 가능
 - 이러한 통합적 접근방식을 통해 핵심광물 의존성이 높은 산업 전반적으로 투명성과 재활용률이 개선되고 순환설계 및 재활용 기술 혁신이 촉진될 수 있을 것으로 기대

■ (⑤기술 혁신, R&D, 인력 교육을 위한 맞춤형 재정 지원) 보다 효율적인 공정, 검증된 기술 확장, 새로운 에너지 경제에 대비한 인력 양성을 위해 자금 지원 지속

- 재활용 산업의 효율성과 경제성을 향상시키기 위해 재활용 기술·인력·공급망에 대한 대규모 투자가 요구되는 상황에서 정부는 보조금, 우대책, 프로젝트 지원 등을 통해 투자 흐름을 유도하는 핵심 역할을 담당
 - 공공·다자 금융기관은 프로젝트 자금 지원 확대 측면에서 다양한 역할을 담당할 수 있는데, 특히 개발 금융 기관은 재활용 프로젝트가 사회적·환경적 편익을 창출할 수 있도록 영향력을 행사
- 연구개발 활동 시 핵심광물 재활용과 관련된 주요 과제* 해결에 집중하는 것이 실효적이며, 연구기관과 업계의 협력은 신기술의 산업화 경로 확보에 도움
 - * ▲저농도 광물의 회수율 개선 ▲재활용 공정의 에너지 집약도 및 환경 영향 저감 ▲신기술에 대한 새로운 재활용 방법 개발 ▲광산 폐기물에 포함된 광물 회수 등
- 인력 개발* 투자는 재활용 산업 성장에 필수적인 요소로, 교육기관과 업계 파트너십을 통해 훈련 프로그램이 업계와 지역사회 니즈에 부합하도록 지원 가능
 - * 재료과학·화학공학 등의 기초 과학 및 엔지니어링 분야 고급 학위 프로그램, 수거인력 및 기술자 등의 직종에 필요한 직업 훈련 등

■ (⑥신흥·개발도상국의 재활용 시스템 강화) 부적절한 폐기물 관리의 영향에 취약한 지역 투자를 지원하기 위해 신기술과 금융 수단 도입

- 글로벌 과제에 대한 책임이 낮은 인구가 해당 과제의 가장 심각한 영향을 받게 되는 경우가 빈번한데, 이는 과제 해결에 필요한 인프라와 재정이 부족하기 때문

- 미규제·미처리 폐기물*뿐만 아니라, 중고 가전 제품, 장비, 차량 등이 재사용을 위해 신흥국과 개발도상국(EMDEs)으로 유입되고 있는 상황으로, 불법 폐기물의 수출입 방지 조치 추진도 필요하지만 해당 지역에서의 중고 제품 재활용 또한 중요

* 일부 핵심·고가 광물이나 유해 물질을 포함 가능

- 기술 역량 부족으로 신흥·개발도상국의 폐기물 가치 회수가 원활하지 않은 만큼 기술 및 스킬 이전, 재활용 인프라와 폐기물 관리 시스템 확대 투자 등 선진국의 지원이 필수적

※ 재활용 기술 지원을 통해 태양광 패널, 전기차 배터리 등의 장비가 매립되지 않도록 방지하는 동시에 배터리 재활용 전처리 시설과 같이 신흥·개발도상국 내 새로운 경제 발전 분야를 육성할 수 있을 것으로 기대

■ (㉞데이터 및 정보 격차 해소) 신뢰할 수 있고 정교한 데이터 접근성을 확립해 효율적인 정책 수립과 투자 선택을 뒷받침

- 폐기물 발생량, 제품·차량의 평균 수명, 수거일, 재활용 용량, 회수된 물질의 규모·가치에 대한 세부 데이터와 정보는 정책과 투자 결정이 효과적·효율적으로 진행되는 데 필수적인 요소이나 현재 공공 채널을 통해 해당 데이터에 접근할 수 있는 국가·지역이 드문 상황

- 재활용 데이터 접근성 개선을 위해 EU*와 같이 보고 의무를 규제에 포함시킬 수 있으며, 국제기구 등 각국 중앙·지역 정부의 데이터 수집 전략 개발, 모범 사례 공유, 공공 플랫폼 구축을 뒷받침하는 역할을 담당 가능

* EU는 배터리 등의 재사용·재활용 목표에 대한 보고 의무를 법적으로 규정하고 있으며, 특히 「핵심원자재법」을 통해 폐기물 처리시설 관련 데이터베이스 구축을 통한 폐기물 함유 광물의 회수 용이화를 도모

- EPR 제도 적용 대상 기업과 재활용 업체의 정보 공개를 의무화하는 규정에 물질별 재활용 회수율을 수립하는 방안도 실효적

■ (㉟재활용 이상의 총체적 접근 방식 도입) 제품 설계, 재사용, 수리, 용도 변경 등이 지속 가능한 광물 가치사슬 확립에 핵심적인 역할 담당

- 핵심광물 가치사슬의 지속 가능성을 확립하기 위해서는 재활용 이상의 폭 넓은 관점이 필요하며, 이는 소비자 수요 관리, 자원 효율성, 순환제품 설계에서 시작

- 교육 프로그램 등의 정책 조치는 소비자가 자신의 선택이 환경에 미치는 영향을 이해할 수 있도록 뒷받침하는 한편, 재료 수요를 증가시키거나 자연 자원을 고갈시키지 않고도 서비스 니즈를 충족시킬 수 있는 문화 육성 측면에서 중요

- 수명이 종료된 제품·기술과 관련해서는 재활용보다 재사용, 용도 변경, 보수를 우선적으로 검토해야 하며, 제조업체가 내구성, 수리·재활용 가능성을 고려한 제품 설계를 추진하도록 장려하는* 측면에서 「에코디자인 규정」, 소비자 수리권, 세제 혜택 등을 활용 가능

* 표준화된 부품 사용, 분해하기 쉬운 제품 제작, 설계 단계에서 재활용을 복잡하게 하는 유해 물질 배제 등

※ ▲(에코디자인 규정) 순환성 개념을 바탕으로 제품 수명 주기 동안의 지속 가능한 자원 관리를 강조 ▲(소비자 수리권) 제품의 용도 변경이나 수리·보수로 수명을 연장하고 1차 원자재 수요를 저감

■ (☉재활용 업체의 환경·사회·거버넌스(ESG) 과제 대응) 지속 가능하고 책임 있는 공급망에 기여하기 위해 ESG 영향 파악·최소화·완화 도모

- 재활용 광물 생산 과정에서 발생하는 온실가스 배출량과 물·에너지 사용량이 1차 광물 생산 시보다 낮을 수 있으나, 환경·사회·거버넌스(ESG) 측면에서 여전히 부정적인 영향을 발현

- 재활용 사업은 대기·수질 오염, 온실가스 배출과 같은 환경적 영향에서 자유롭지 않으며, 부적절하게 생성·관리되는 폐기물이 토양이나 인체 건강에 악영향을 미칠 가능성 보유

※ 그 외 토지 이용 변화, 지역사회 영향, 인권 문제, 생물 다양성 변화 등을 야기 가능

- 지속 가능하고 책임 있는 에너지 광물 공급망을 구축하기 위해서는 이러한 재활용의 부정적인 영향 파악 및 최소화·완화가 중요

- 지속 가능한 광산 폐기물 관리를 통해 환경 피해를 유발하지 않고 광산 잔여물을 가치 있는 자원으로 활용할 수 있으며, 정책 도구에 ESG 항목을 추가함으로써 재활용 업체의 ESG 성과를 장려·보상하는 방안도 효과적

※ (예) 재활용 업체가 우수한 ESG 성과를 입증하거나 특정 ESG 기준을 충족하는 경우 또는 재활용 공정의 환경 성과를 개선하기 위한 연구 수행 기업에 자금 지원

- OECD 「기업 책임경영을 위한 실사 지침」 및 「원주민의 자유의사에 따른 사전 인지도의 원칙(FPIC)」과 같은 모범사례를 준용해 재활용 산업 발전을 뒷받침하는 국제 파트너십에도 ESG 성과 항목을 포함하는 방안 또한 유의미

V. 결론 및 시사점

■ 국제에너지기구(IEA)가 광물 안보 강화에 재활용 역할이 부상함에 따라 광물의 재활용 현황, 전망, 과제를 점검하고 재활용 증진을 위한 정책 권장 사항을 제시

- 재활용은 청정에너지 전환을 위한 핵심광물의 지속 가능성 및 공급 안정화에 필수적인 요소로 신규 광산 의존도를 줄이고 광물 수입국의 공급 안보를 강화하는 2차 공급원을 창출
 - 국가별 기후 공약 이행을 가정하는 '목표공약 시나리오(APS)'는 재활용을 통해 '50년 신규 광산 개발 필요성이 구리·코발트 40%, 리튬·니켈 25%까지 감축될 수 있을 것으로 전망
 - ※ 배터리 재활용 공급원료는 현재 제조 스크랩이 지배적이지만, '35년부터는 수명 종료 전기차 및 저장용 배터리가 가장 큰 공급원료로 자리매김하고 '50년까지 가용 공급원료의 90% 이상을 차지할 것으로 예상되는 만큼 배터리 재활용은 전반적인 재활용률 제고에 중요
- 재활용의 잠재력을 극대화하기 위해 경제성, 기술, 무역, 지속 가능성과 관련된 과제 대응이 불가피
 - (경제성) 핵심광물 재활용 프로젝트의 경제성은 재료 가격, 공급원료 입수 가능성, 규제, 가격 책정 및 지불 체계, 행정 및 실무 복잡성 등 여러 요인에 영향 받게 되며, 회수된 재료의 시장 가치 또한 수익성을 좌우
 - (기술) 현재의 재활용 기술은 에너지 및 환경 측면에서 부정적인 영향을 미칠 수 있으며, 핵심광물 함유 제품의 복잡성과 다양성으로 인해 회수율 최적화 한계, 물질 소실 발생
 - ※ 첨단 분류, 신규 화학·물리 공정, 자동화, AI, 모니터링·품질 관리 기법 등의 신기술을 통해 효율성, 선별성, 환경 성과, 핵심광물 회수율을 개선하고, 핵심광물의 순환 사용을 대폭 확대하는 한편 재활용 공정의 환경 발자국 저감 등을 뒷받침할 수 있을 것으로 기대
 - (무역) 폐기물의 무역과 관련된 규제 조치는 수출된 폐기물이 수입 지역에서 적절하게 재활용되고 지속 가능하게 처리되도록 지원하는 반면, 글로벌 재활용 산업 성장을 저해할 수 있으므로 효과적이고 기민하게 시행 필요
 - (지속 가능성) 배터리 재활용 관리가 부실할 경우 폐기물 잔여물, 수질 오염 물질, 유해 배출물로 인한 공해가 발생할 수 있으며, 폐기물 수거 단계에서 아동 노동이나 불안정한 관행이 수반되는 경우도 다수

- 상세한 장기 정책 로드맵 개발, 인센티브·규제를 통한 자국 내 인프라 강화 등 정책적으로 핵심광물 재활용을 확대하기 위한 조치 시행이 필요
 - (상세한 장기 정책 로드맵 개발) 정책 방향의 명확성과 투자자 확실성을 증진할 수 있는 선명한 목표와 중간 점검 지표를 설정
 - (효율적인 2차 시장 개발을 목표로 폐기물 관리·재활용 정책 조율) 무역 장벽을 낮추고 관리되지 않은 재료 소실을 최소화하기 위해 국제 협력 촉진
 - (인센티브·의무화를 통한 자국 인프라 강화) 경제적 인센티브를 통해 국가 및 권역 수준의 재활용 시설 투자 장려
 - (재활용 재료 소비 촉진을 목표로 추적·표준·인증 증진) 투명성 제고 및 글로벌 모범 사례를 바탕으로 재활용 산업을 증진
 - (기술 혁신, R&D, 인력 교육을 위한 맞춤형 재정 지원) 보다 효율적인 공정, 검증된 기술 확장, 새로운 에너지 경제에 대비한 인력 양성을 위해 자금 지원 지속
 - (신흥·개발도상국의 재활용 시스템 강화) 부적절한 폐기물 관리의 영향에 취약한 지역 투자를 지원하기 위해 신기술과 금융 수단 도입
 - (데이터 및 정보 격차 해소) 신뢰할 수 있고 정교한 데이터 접근성을 바탕으로 효율적인 정책 수립과 투자 선택을 뒷받침
 - (재활용 이상의 총체적 접근 방식 도입) 제품 설계, 재사용, 수리, 개조 등이 지속 가능한 광물 가치사슬 확립에 핵심적인 역할 담당
 - (재활용 업체의 환경·사회·거버넌스(ESG) 과제 해소) 지속 가능하고 책임 있는 공급망에 기여하기 위해 ESG 영향 파악·최소화·완화 도모

■ **우리 업계는 전기차, 배터리 등 미래산업과 직결된 주요 핵심광물의 수입 대부분을 중국을 비롯한 해외에 의존하고 있는 상황으로, 공급망 관리 리스크 관리 및 공급망 다각화 차원에서 광물 재활용의 중요성이 제고**

- 미래 먹거리 산업의 핵심광물 수요가 증가하고 국가 간 광물 공급망 확보 경쟁이 심화되는 가운데 '23년 기준 산화·수산화리튬, 산화·수산화니켈, 코발트, 흑연, 실리콘 등의 대중국 수입 비중이 70%를 상회^{1) 2)}

1) 한국무역협회, 공급망 재편 속 반도체 핵심 원자재 中 의존도는 더 높아졌다, 2024.09.24

2) 연합뉴스, 배터리용 리튬·흑연서 희토류까지...핵심광물 '탈중국' 시동, 2024.03.13

- 광물 2차 공급의 중요성에도 현재 핵심광물의 재자원화 비중이 2%대에³⁾ 불과한 것으로 집계되는 만큼 정부와 업계의 집중 투자가 필요
 - '23.7월 기준 우리나라의 해외 수출로 인한 전기차 말소 비중이 70%를 상회하고 있다는 점은 국내 배터리 수거 비중이 저조하다는 것을 반증⁴⁾
 - 재활용을 통한 광물 회수는 핵심광물 자원이 부족한 우리나라의 자급율을 제고하여 공급 안보를 뒷받침할 수 있는 수단으로 중요
- 이에 정부는 「핵심광물 확보전략」(‘23.2)를 통해 핵심광물 목록을 지정하고 핵심 광물 재자원화 비중을 20%대로 확대하겠다는 목표 수립하는 한편, 「이차전지 전주기 산업 경쟁력 강화 방안」(‘23.12)에서 사용후배터리 생태계 조성 전략을 제시
 - 「핵심광물 확보전략」은 사용후배터리 회수·유통·활용 등 통합관리체계 마련, 미래자원 재자원화 촉진을 위한 K-재자원화 얼라이언스 운영 등을 통해 핵심광물의 재자원화를 위한 순환체계를 구축하겠다는 계획 포함
 - * 국가 첨단산업에 필수적인 원료광물 중 공급 리스크와 경제 파급력이 높은 33종을 핵심광물로, 이 중 전기차·이차전지·반도체 분야 공급망 안정화에 우선적으로 필요한 10종(리튬, 니켈, 코발트, 망간, 흑연, 네오디뮴, 디스프로슘, 터븀, 세륨, 란탄)*을 10대 전략 핵심광물로 지정
 - 「이차전지 전주기 산업 경쟁력 강화 방안」은 사용 후 배터리 거래 시장 조성 지원, 업계 부담 경감을 위한 규제 완화, 재사용 제품 확산을 위한 선도프로젝트 추진, 기술개발 및 창업 지원 거점 확충 등의 정책 조치 제시
 - 정부 지원을 바탕으로 '26년까지 핵심광물 정제련·소재 융복합 클러스터 조성 계획이 추진되고⁵⁾ '해외자원개발사업자금 융자기준' 개정안에서 재자원화 기술을 신성장·원천 기술로 지정해 투자 세액공제를 확대하는⁶⁾ 움직임이 나타나고 있어 관련 생태계 구축 및 산업 발전을 지원할 수 있을 것으로 기대
- 향후 정부의 정책 지원 효과를 제고하고 핵심광물 재활용을 심화하는 측면에서 IEA의 제안대로 구체적인 목표와 중간 점검 지표를 설정하고 재활용 시설 투자를 위한 경제적 인센티브를 확대하는 것이 유의미할 것으로 예상
 - 재활용 물질 최소량, 수거율 목표 등을 과학적으로 수립하고 실행방안을 보다 세분화하여 단계별 이행 과정을 정기적·체계적으로 관리함으로써 정책의 실효성을 제고 필요

3) 매일경제, 정부 “핵심광물 중의존도 7년내 80%→50%”, 2023.02.27

4) KDI 경제교육·정보센터, 다 쓴 배터리에서 필수 광물 회수… 폐배터리 해외수출 막는 정책대안 필요, 2023.09

5) 뉴시스, 산업부, '핵심광물 재자원화 클러스터' 2026년까지 조성, 2024.03.03

6) 에너지경제연구원, 유전·가스전·광물 등 해외자원 개발시 정부가 최대 절반 융자, 2024.06.03

- 세제 혜택, 보증 등의 금융 지원뿐만 아니라 차액계약제도(CfD)나 수익 상하한 모델과 같은 가격 책정 메커니즘 도입으로 업계의 재정 위험 부담과 투자 불확실성을 낮출 수 있을 것으로 기대
- 특히 EU의 디지털 제품여권 도입에 발맞춰 배터리 등을 비롯한 주요 제품의 추적 시스템 및 폐기물 발생량, 제품 수명 등의 세부 데이터 수집·공유 체계 도입을 가속화함으로써 핵심광물의 순환성을 증진하는 동시에 수출 공급망 관리를 뒷받침할 수 있을 전망

산업기술정책 브리프 발간현황

2024년

| 호수 | 제목 | 발간연월 |
|---------|-----------------------------|---------|
| 2024-01 | 영국 배터리 전략 | 2024.01 |
| 2024-02 | 수소의 현실적 한계와 대응 정책 고찰 | 2024.02 |
| 2024-03 | 일본 바이오 산업 과제와 정책 대응 방향 고찰 | 2024.03 |
| 2024-04 | 디지털 배터리 여권 시행에 따른 기회와 과제 고찰 | 2024.04 |
| 2024-05 | 미국 반도체 산업 인력 정책 제언 | 2024.05 |
| 2024-06 | 일본 자동차 산업의 모빌리티 DX 전략 | 2024.06 |
| 2024-07 | 일본 통합혁신전략 2024 | 2024.07 |
| 2024-08 | 글로벌 생성형 AI 특허 현황 | 2024.08 |
| 2024-09 | 중국 전기차 및 배터리 산업의 혁신 현황 | 2024.09 |
| 2024-10 | ASPI 핵심 기술 연구 성과 모니터링 | 2024.10 |
| 2024-11 | 미국 반도체 수출 통제의 한계 고찰 | 2024.11 |
| 2024-12 | 핵심광물 재활용 확대 전략 고찰 | 2024.12 |

2023년

| 호수 | 제목 | 발간연월 |
|---------|-----------------------------------|---------|
| 2023-01 | 미국 바이오제조 증진을 위한 정책 권고 | 2023.01 |
| 2023-02 | 중국 산업 디지털화·친환경화 통합 발전 제언 | 2023.02 |
| 2023-03 | 유럽 넷제로 시대를 위한 그린딜 산업계획 | 2023.03 |
| 2023-04 | EU 전략기술 공급망 분석 및 재료 수요 예측 | 2023.04 |
| 2023-05 | 미국 국가반도체기술센터(NSTC)의 비전과 전략 | 2023.05 |
| 2023-06 | 주요국 반도체 정책과 미 의회 역할 검토 | 2023.06 |
| 2023-07 | 글로벌 자율주행 정책 및 산업 동향 | 2023.07 |
| 2023-08 | 글로벌 핵심광물 시장 동향 | 2023.08 |
| 2023-09 | 글로벌 원자력 보급 과제와 대응 조치 고찰 | 2023.09 |
| 2023-10 | 중국 기술 정책 현황 및 미국의 대응 방향 | 2023.10 |
| 2023-11 | EU 우주, 방위 및 관련 민간 산업의 미래 핵심 기술 분석 | 2023.11 |
| 2023-12 | 미국 핵심·신흥기술 수출통제 조치 고찰 | 2023.12 |

■ 2022년

| 호수 | 제목 | 발간연월 |
|---------|---|---------|
| 2022-01 | OECD, 국경을 초월한 정부 혁신 달성의 주요 내용과 시사점 | 2022.01 |
| 2022-02 | 2022 글로벌 에너지 의제 | 2022.02 |
| 2022-03 | 일본 에너지 기반 산업의 녹색전환(GX) 방향성 | 2022.03 |
| 2022-04 | 2050 미래 우주 공간 활용: 영국 국가우주전략의 새로운 기회와 위협 | 2022.04 |
| 2022-05 | 영국 에너지 안보 전략 | 2022.05 |
| 2022-06 | 유럽 청정에너지 전환에 따른 금속 수요 전망 및 대응 | 2022.06 |
| 2022-07 | 주요국 제조업 디지털화 정책 추진 현황 | 2022.07 |
| 2022-08 | 인도-태평양 지역의 수소 개발 비전과 주요 정책 동향 | 2022.08 |
| 2022-09 | 중국 CCUS 실증·보급 현황 및 정책제언 | 2022.09 |
| 2022-10 | 미국 에너지부 산업 탈탄소화 로드맵 | 2022.10 |
| 2022-11 | 미국 첨단제조 국가 전략 | 2022.11 |
| 2022-12 | 글로벌 인재 이동 동향 및 시사점 | 2022.12 |

■ 2021년

| 호수 | 제목 | 발간연월 |
|---------|---|---------|
| 2021-01 | 유럽 녹색산업정책을 위한 제언 | 2021.01 |
| 2021-02 | 글로벌 디지털 경제에 대응하는 미국의 대전략 제언 | 2021.03 |
| 2021-03 | 기후 주도 무역 아젠다를 위한 제언 | 2021.04 |
| 2021-04 | 중국 14.5규획과 전략적 신흥산업 육성계획의 주요 내용 및 시사점 | 2021.05 |
| 2021-05 | 산업단지의 순환경제 도입 현황 및 전망 | 2021.06 |
| 2021-06 | 유럽 그린딜에서의 인공지능 역할과 시사점 | 2021.07 |
| 2021-07 | 미국 공급망 100일 검토 보고서의 주요 내용 및 시사점 ① : 반도체 및 배터리 | 2021.07 |
| 2021-08 | 미국 공급망 100일 검토 보고서의 주요 내용 및 시사점 ② : 핵심광물·소재 및 의약품 | 2021.08 |
| 2021-09 | 유럽 첨단기술 동향 및 차세대 신흥기술 확산 전망 고찰 | 2021.10 |
| 2021-10 | OECD의 지속 가능개발목표(SDG) 달성을 위한 산업정책의 주요 내용 및 시사점 | 2021.11 |
| 2021-11 | IEA 글로벌 수소리뷰 2021의 주요 내용 및 시사점 | 2021.12 |
| 2021-12 | CX2030 가상현실에 의한 '30년 커뮤니케이션 전환 | 2021.12 |

■ 2020년

| 호수 | 제목 | 발간연월 |
|---------|--|---------|
| 2020-01 | 주요국의 연구개발 전략 분석 : 유럽연합(EU)·영국·독일·프랑스 | 2020.01 |
| 2020-02 | 일본, 제 11차 과학기술예측조사를 통해 본 '과학기술 발전에 따른 사회의 미래상' | 2020.02 |
| 2020-03 | 자율주행 기술에 관한 미국의 리더십 확보 전략 : AV 4.0 | 2020.04 |
| 2020-04 | 주요국 규제 사례를 통해 본 혁신 친화적 규제 접근방식의 주요 내용과 시사점 | 2020.04 |
| 2020-05 | 코로나19 위기에 대응한 OECD의 분야별 정책 권고 주요 내용 | 2020.06 |
| 2020-06 | 혁신 창출 환경 및 주요 산업별 혁신 변화의 추이와 전망 | 2020.07 |
| 2020-07 | 영국의 넷제로(Net-Zero) 경제로의 전환을 위한인력 정책 방향 제언 | 2020.08 |
| 2020-08 | EU·독일·호주 수소전략의 주요 내용 및 시사점 | 2020.08 |
| 2020-09 | 최근 미국과 중국 AI 정책동향 및 시사점 | 2020.09 |
| 2020-10 | 연구개발·혁신 파이낸싱 동향과 정책 과제 | 2020.10 |
| 2020-11 | 글로벌 반도체 산업 동향과 미국의 국가 간 공조를 통한 산업 발전 방안 제언 | 2020.11 |
| 2020-12 | 디지털 시대의 혁신 활성화를 위한 정책 | 2020.12 |

■ 2019년

| 호수 | 제목 | 발간연월 |
|---------|---|---------|
| 2019-01 | 「미국 혁신 촉진을 위한 투자수의 이니셔티브」 복서 초안 | 2019.01 |
| 2019-02 | 주요국 연구자금 지원기관 조직설계 및 거버넌스 | 2019.02 |
| 2019-03 | 중국의 인공지능 정책과 연구개발 동향 | 2019.03 |
| 2019-04 | 독일의 포괄적인 AI 생태계 조성 전략 | 2019.05 |
| 2019-05 | 일본의 인공지능(AI) 정책 동향 | 2019.05 |
| 2019-06 | OECD 국가의 디지털 혁신 정책 현황 | 2019.06 |
| 2019-07 | 중국 : 산업 및 혁신강국으로의 도전과 전망 | 2019.07 |
| 2019-08 | 영국의 전기자동차 스마트 충전기 보급방안 | 2019.08 |
| 2019-09 | Horizon Europe(2021-2027)의 산업혁신 프레임워크 | 2019.09 |
| 2019-10 | AI 산업 및 국가별 정책 동향 | 2019.11 |
| 2019-11 | 주요국의 R&D 예산 및 투자 전략(I):미국의 NITRD와 EU의 다년도 지출예산(안)을 중심으로 | 2019.12 |
| 2019-12 | 주요국의 R&D 예산과 투자 전략(II):R&D 및 기업지원 예산을 중심으로 | 2019.12 |
| 2019-13 | 주요국의 R&D 전략과 예산배분 시스템, 기술분야별 연구개발 전망 | 2019.12 |
| 2019-14 | 주요국의 연구개발 전략분석 :미국·일본·중국·인도 | 2019.12 |

※ ~ 2024년 현재까지 발간물은 KIAT홈페이지(www.kiat.or.kr)를 통해 열람 가능

kiat 산업기술정책 브리프
KIAT Industrial Technology Policy Brief

| | |
|-------|---|
| 발행일 | 2024년 12월 |
| 발행처 | 한국산업기술진흥원 산업기술정책단 기술동향조사실 |
| 발행인 | 민병주 원장 |
| 기획/진행 | 문희수 실장, 정희상 연구원 |
| 주소 | 서울시 강남구 테헤란로 305 한국기술센터 4층 산업기술정책단 기술동향조사실 02-6009-3593 www.kiat.or.kr |

※ 본 자료에 수록된 내용은 한국산업기술진흥원의 공식견해가 아님을 밝힙니다.

※ 본 자료의 내용은 무단 전재할 수 없으며, 인용할 경우 반드시 원문출처를 명시하여야 합니다.

핵심광물 재활용 확대 전략 고찰