



녹색 희소금속 가치사슬 현황과 정책적 시사점

정 응 태 에너지경제연구원 부연구위원 (woongtae@keei.re.kr)

1. 서론

우리나라가 국가 발전의 패러다임을 녹색성장으로 새롭게 전환하면서, 핵심 주력산업의 녹색화 및 저탄소형 녹색산업을 근간으로 하는 신성장동력 부문 육성이 시작된 지 벌써 3년이 되어가고 있다. 이러한 신성장동력 산업의 육성과정에서 주목을 받고 있는 것 중 하나가 희소금속이다. 희소금속은 극히 소량만 사용되고 있으나 기존의 첨단제품(반도체, 휴대폰 등) 뿐 아니라 신성장동력 분야인 신재생부문, 그린카, IT 융합, 그리고 친환경 소재 등 녹색산업 전반에서 다양하게 사용되고 있어 흔히 산업의 비타민이라고 부를 만큼 중요성이 큰 산업연료이다.

희소금속은 지각 내 부존의 희소성과 금속 회수 또는 경제적 추출의 어려움으로 인하여 과거에는 용도와 활용 면에서 한계가 있었다. 그러나 산업의 발달과 함께 희소금속의 선광 및 정·제련 기술이 발달하고 원소별 고순도화 기술이 개발되면서, 현재는 각 희소금속 고유의 특성을 발현하도록 유도할 수 있는 수준까지 이르게 되었다. 친환경 녹색산업 및 IT 등 첨단산업의 발달에 힘입어 희소금속 수요량은 우리나라를 비롯한 전 세계적으로 급속하게 증가하는 추세이며,

이러한 증가세는 향후에도 지속될 것으로 전망된다. 하지만 지난해 9월 중국과 일본의 영토분쟁 시 희소금속 중의 하나인 희토류가 중국의 대일본 압박용으로 활용된 것처럼, 희소금속은 주요 부존국의 자원 무기화 경향과 자원의 희소성, 편재성, 非대체성 등의 특성으로 인하여 공급 불안 및 가격 급등의 가능성이 상존하고 있다. 따라서 일본, EU 등 국가 간 희소금속 확보 경쟁이 급속히 강화되는 등 희소금속 수급여건이 긴박하게 변화하고 있다.

우리나라는 희소금속 자급률이 낮고 국내 희소금속의 부존량이 절대적으로 부족하기 때문에 희소금속의 수급 불안에 선제적으로 대응하고, 향후 우리나라 신성장동력을 근간으로 하는 경제발전을 이루기 위해서는 희소금속의 자원 개발을 통한 안정적 확보가 중요하다. 하지만 이와 더불어서 국내 희소금속 산업 활성화를 통한 부가가치 제고와, 희소금속 수입의존도를 줄이고 지속가능한 성장산업으로까지 육성할 수 있는 희소금속 산업기반이 강화될 필요가 있다.

우리나라는 현재 부존량이 극히 적고 지역적 편재성이 큰 35종(56원소)의 금속원소를 희소금속으로 분류하고 있다. 하지만 이러한 희소금속 개발과 산업 활성화를 위해서는 35종 분류 금속 모두를 고려하기보



다는 신성장동력 산업에 중요성이 보다 큰 몇 개의 광종을 선택해 집중하는 것이 보다 더 효과적인 전략이 될 것이다.

이러한 견지에서 본고는 신성장동력 산업에 필요한 9개 희소금속 전략광종들의 산업 가치사슬(value Chain) 현황과 문제점, 그리고 지속가능 성장을 위한 정책적 시사점을 제시하고자 한다. 본고는 우리나라의 희소금속 산업의 지속가능 성장 육성정책 수립에 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 희소금속의 개요와 용도

희소금속은 세계적으로 매장량이 적고, 지역적 편재성으로 인한 공급 리스크가 크며, 경제적으로 추출이 어려운 금속원소를 총칭하여 정의하고 있다. 즉, 희소금속은 지구상에서 천연상태의 매장량이 매우 소량인 경우, 지구상에 매장량은 많으나 경제성이 있는 품위의 광석이 적은 경우, 지구상에 매장량은 많으나 물리·화학적으로 순수한 금속으로 추출하는 것이 곤란한 경우, 그리고 추출한 금속을 이용하는 용도가 없고 특성도 명확하지 않아 미개발된 경우 등을 통틀어서 지칭하는 포괄적인 의미이다.

희소금속은 산업수요 및 매장량의 시대적 변화에 따라 국가별·시대별 분류 기준이 상이¹⁾하나, 국내에서는 희소성과 편재성으로 인하여 조기 고갈의 위험성과 공급 불안정성이 큰 리튬, 희토류, 인듐 등 35종

(56원소)의 금속원소를 희소금속으로 분류하고 있다. 희소금속은 제품에 필요한 소재나 부품을 생산할 때 소량씩 첨가되어 소재의 다양한 기능을 결정하는 요소물질로서 역할을 수행한다. 이용 형태는 광석, 화합물 금속 등 가공단계 및 용도에 따라 여러 용도로 활용되고 있지만, 용도별로는 크게 구조재용과 기능소재로 대별할 수 있다. 철강이나 비철금속에 사용되고 있는 구조재용 희소금속으로는 크롬, 니켈, 망간, 텅스텐, 몰리브덴, 바나듐, 코발트 등이 있으며 이런 구조재용 희소금속은 기존 소재의 강도, 내식성, 탄성 및 내마모성 등을 획기적으로 향상시키는 특징으로 소량으로 첨가제 형태로 사용되고 있다.

반면 최근에 정보화기술(IT), 나노기술(NT) 분야 등의 특수기능성 첨단산업에서 활용이 큰 기능재용 희소금속으로는 희토류, 탄탈륨, 게르마늄, 갈륨, 비소, 지르코늄, 인듐, 티타늄, 실리콘 등이 있다. 이러한 희소금속들은 특정조건에서 나타나는 독특한 물리적·화학적 특성을 이용해 고도의 기능을 발현하기 때문에 자성소재, 반도체소재, 고용점소재, 박막소재, 핵연료봉 등에 활용되고 있다.

이렇듯 35종의 희소금속들은 각기 개별적인 특성들이 있어 여러 산업분야에 활용이 되고 있지만 희소금속 소재를 필요로 하는 새로운 녹색산업의 성장이 급속히 이루어질 것으로 예상됨에 따라 이러한 미래산업에 관련한 희소금속을 집중 관리하고 개발을 추진할 필요가 있을 것이다. 이러한 이유로 2008년 이후로 지식경제부를 중심으로 35개 희소금속들 중 준전략

1) 일본은 稀少金屬(レアメタル) 31종, 국내 희소금속에 포함된 4종(마그네슘, 카드뮴, 인, 실리콘) 제외, 미국은 Rare Metal 33종, 국내 희소금속에 포함된 7종(마그네슘, 니켈, 인, 비소, 안티모니, 주석, 비스무스) 제외, 국내 희소금속에 미포함된 5종(갈륨, 루비듐, 토륨, 우라늄, 플루토늄) 추가.



〈표 1〉 35종 국내 희소금속별 용도

구 분	원소명(기호)	사용 용도
알칼리/ 알칼리토 금속 (6)	리튬(Li)	이차전지용 양극활물질, 원자로 제어봉, 촉매 · 환원제
	마그네슘(Mg)	모바일제품, 수송기기용 경량소재
	세슘(Cs)	촉매, 의약품원료, 유리첨가제, 형광재
	베릴륨(Be)	중성자 감속재, 반사재, X선관, 기타 합금제
	스트론튬(Sr)	칼라 TV용 브라운관 유리, 소형 모터/스피커
	바륨(Ba)	합금제로 진공관 게터, 자동차 플러그, 구리 탈산제
반금속 원소 (9)	게르마늄(Ge)	광섬유, 적외선광학기구, 검파기, 정류기, 적색 형광체
	인(P)	화합물, 성냥, 탈산제, 의약, 농업용(농약)
	비소(As)	목제방부제, 농업약품(살충제), LED
	안티모니(Sb)	배터리 전극, 반도체용 도핑제, 베어링, 촉매용
	비스무스(Bi)	저융점합금, 화장품원료, 공업용 안료, 축전지, 페인트 첨가물
	셀레늄(Se)	유리의 탈색제, 착색제, 야금, 농업 및 화학, 태양전지용
반금속 원소 (9)	텔루륨(Te)	특수합금, 폐식각, 촉매, 박막태양전지
	주석(Sn)	땀납, 코팅캔/강판, 전자부품, ITO(투명전극)
	실리콘(Si)	반도체, 태양전지 기판, 내화재, 연마재
철족원소 (2)	코발트(Co)	리튬이온 이차전지, 초경공구, 특수강/초합금
	니켈(Ni)	스테인리스강, 매연 저감장치, 촉매제
보론족 원소 (5)	붕소(B)	합금으로 탈산제, 원자로중성자 흡수제, 유리원료
	갈륨(Ga)	LED용 기판소재, 반도체 재료, 온도계 충전제
	인듐(In)	LCD, 반도체, 형광체, 용접재, 치과합금, 원자로 제어봉
	탈륨(Tl)	형광/유리첨가제, 합금용, 의료용
	카드뮴(Cd)	전기도금용, 합금으로 고속베어링, 땀납
고융점 금속 (11)	티타늄(Ti)	항공, 화학플랜트용, 선박용, 원자로용, 자동차용
	지르코늄(Zr)	원자연료 재처리 시설, 화학공업용 설비 · 기기
	하프늄(Hf)	원자로 제어봉, 절삭기구, 밸브, X선 관구음극
	바나듐(V)	특수강재, 항공기, 자동차, 핵발전기, 초전도체, 촉매안료
	니오븀(Nb)	자동차용 박판, 석유 파이프라인, 전자부품, 광학유리 첨가제

〈표 계속〉



구 분	원소명(기호)	사용 용도
고용점 금속 (11)	탄탈륨(Ta)	전자공업용(전해 콘덴서), 초경/절삭공구, 반도체/디스플레이
	크롬(Cr)	아금용(스테인리스, 탄소강), 내화물용, 화공용(안료, 화공약품)
	몰리브덴(Mo)	특수강첨가제, 조명기구, 자동차용 윤활제
	텅스텐(W)	초경합금, 절삭공구, 고속도강, 내열강, 전자부품
	망간(Mn)	탈산원료제, 탈류황제, 합금강, 비철합금
	레늄(Re)	전자부품, 첨가제, 촉매제
희토류 (1종, 17원소)	란타늄(15원소) 및 스칸듐, 이트륨(Y) (REE)	형광체, 연마제 제조용
백금족 원소 (1종, 6원소)	백금(Pt)족 원소 총칭 (PGM)	주로 촉매제로 사용

자료: 한국비철금속협회(2008)

광종 및 미래성장광종 등으로, 몇 개의 희소금속들이 선정되어 관리되어 왔었지만 관련 산업의 발전 변화, 그리고 국내 소재 개발 정도에 따라 이러한 전략광종이 고정되어 있지 않고 수시로 변화되어 왔다. 최근에는 지식경제부에서 2011년 6월에 국내 수요산업의 현황과 미래성장동력과의 연계성 등을 고려하여 육성이 필요한 11개 희소금속을 선정²⁾하였다.

속으로 명명하고, 이러한 녹색 희소금속의 광석-소재-부품-최종제품-재자원화까지의 가치체계(value Chain) 현황과 문제점, 그리고 이를 개선하기 위한 방안 등을 살펴볼 것이다.

가. 녹색 희소금속별 가치사슬

1) 텅스텐

텅스텐은 전기전도도와 열전도도가 양호할 뿐 아니라 내식성이 강하고 열팽창률이 낮아 발광체나 반도체 부품 등 전기전자 제품이나 합금 형태로 초경공구, 촉매제 등에 사용되고 있다. 국내의 경우 국내 텅스텐 전체 수요의 약 80%는 기계공구용(초경공구)에서

3. 녹색 희소금속의 가치사슬

본절에서는 녹색기술 산업과 신소재 나노 첨단융합 산업에 필요한 희소금속의 수요 정도를 파악해 그 중 티타늄과 지르코늄을 제외한 9개 광종³⁾을 녹색희소금

2) 니켈, 텅스텐, 마그네슘, 리튬, 인듐, 코발트, 백금, 희토류, 갈륨, 티타늄, 지르코늄.

3) 9개 광종의 선정이유에 대한 보다 상세한 기술은 정웅태(2011) 보고서를 참조.



사용하고 있다. 텅스텐은 국내 수요의 40년 사용분이 부족하고 있으나 제련산업 부재로 개발이 이루어지지 못하고 있다.

국내에서 소비되는 텅스텐의 가치사슬을 보면 원소재인 산화텅스텐, 텅스텐 분말 등은 중국 등지에서 거의 전량 수입에 의존하고 있다. 이러한 수입된 원소재를 이용해 국내에서 중간소재와 최종제품인 절삭공구나 초경합금, 그리고 전자제품이 생산되고 있는 구조이다. 최종제품에서의 텅스텐 재자원화⁴⁾은 초경공구분야 스크랩⁵⁾ 중에서 약 30%가 재자원화⁶⁾되는데 이 중 약 10%는 초경용으로 재사용하고, 남은 20%는 재자원화 설비와 회수 기술력 부족으로 스크랩 자체를 해외로 수출하고 있다. 반면 전기, 전자부품 관련 텅스텐 재자원화는 스크랩 물량 자체가 워낙 소량 이어서 경제성이 없기 때문에 재자원화는 거의 이루어지지 않고 있다. 이러한 국내 상황에 비해 해외의 경우 텅스텐 재자원화가 활발히 이루어지고 있다. 미국은 텅스텐 공급량의 46%를 재자원화로부터 얻고 있으며, 일본의 경우 텅스텐의 약 20%를 차지하는 특수강 분야 스크랩은 전로회사에서 거의 전량 재자원화하고 있다.

2) 리튬

이차전지 등의 배터리 부문에서 최근 많이 사용하고 있는 리튬은 화합물을 통해 열이나 전기전달 특성

이 우수한 광물 중의 하나이다. 국내 리튬 수요 대부분은 리튬전지와 유리/요업용으로 사용되고 있다.

국내에서 소비되는 리튬의 가치사슬은 광석과 소재 모두 칠레나 중국 등지에서 전량 수입에 의존하고 있다. 하지만 휴대폰에 사용하고 있는 배터리나 자동차 등에 사용하고 있는 2차전지의 경우 전지용 중간재인 리튬산 코발트는 유미코아에서 약 94% 자급 중이며, 삼성SDI나 LG화학 등지에서 생산하고 있는 2차전지 제품의 경우 2008년말 현재 세계 시장 점유율 23%를 차지할 정도로 우리나라 수출제품으로 자리잡고 있다. 2차전지의 재자원화를 위해서는 리튬이온전지 폐모듈⁷⁾ 내에서 기타 구성물질을 선별하고 희소금속의 회수 및 고순도화 기술이 필요하다. 하지만 현재 국내에서는 폐전지로부터의 금, 은 유가금속 회수 이외의 희소금속 회수기술력이 미약하고 페리튬이온전지의 재자원화를 위한 처리공정의 상용화연구가 추진 중에 있다. 반면 해외 리튬 2차전지의 재자원화는 미국, 일본, 스위스 등의 선진국에서 주로 이루어지고 있으며 전기자동차용 리튬 2차전지 재자원화 기술은 일본의 일부업체에서 연구개발 단계인 것으로 알려져 있다.

3) 희토류

희토류(Rare Earth Elements)는 란탄(La, 원자번호 57)에서 루테튬(Lu, 원자번호 71)까지의 란타계

4) 국가청정생산지원센터가 주관한 광종별 물질흐름 통계 워크숍(2010)을 참고, 정리하였음.

5) 금속의 제품이나 재료의 폐기물을 총칭.

6) 폐기된 제품이나 제조과정 중에 발생하는 희소금속 폐기물을 순환자원으로 간주하여, “회수-분리-선별-제련·정련” 과정을 통해 함유금속을 산업원료로 재공급함으로써 가치 있는 원재료로 다시 활용하는 것을 의미함. 보통 재활용과 같은 개념으로 사용하나 본고에서는 재자원화로 사용하기로 하였음.

7) 류호진 외(2009)를 정리.



열 원소 15개와 스칸듐(Sc, 원자번호 21)과 이트륨(Y, 원자번호 39)을 더한 17개 원소를 총칭하여 일컫는다. 희토류는 LCD 평면, LED, 전기차 등 첨단산업에서 핵심소재로 널리 사용되고 있다. 최근의 희토류 수요는 영구자석과 촉매제로 많이 사용되고 있으나 향후 하이브리드 자동차, 풍력발전 등 신재생에너지 등의 수요가 급격히 증가할 것으로 예상됨에 따라 리튬 배터리나 영구자석용 희토류의 신규 수요가 커질 것으로 전망된다. 국내에서의 희토류 수요는 영구자석 제조 부문이 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 영구자석을 이용해 하이브리드 자동차 모터나 산업로봇의 모터(구동용)로 사용하고 있으며 그밖에 MRI, 음향기기(전자용) 등에도 이러한 희토류 자석을 사용하고 있다.

국내에서 소비되는 영구자석의 희토류의 가치사슬은 소재부터 최종 제품까지 대부분 전량 수입에 의존하고 있다. 희토류 광석부터 제련, 정제 모두 중국이 세계 독과점 구조 형태를 띠고 있으며 중간소재인 네오디움 잉곳, 네오디움 분말, 네오디움 합금등도 미국과 일본이 카르텔화하여 독점화를 강화하고 있는 실정이다. 우리나라의 경우는 자화전자가 영구자석을 생산하고 있지만 전자용 영구자석만 생산하고 있으며 구동용 영구자석은 전량 수입하고 있다. 희토류의 재자원화도 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 자성재료에 사용 되어진 희토류 경우 공정 폐기물에서 재자원화 되고는 있지만, 기타 폐 제품으로부터 재자원화는 거의 이루어지지 않고 있다. 유로퓸, 테르븀 등 희토류를 포함하고 있는 폐형광체의 경우도 재자원화가 거의 이루어지지 않고 있다. 하지만, 최근 일본 및 우리나라 등을 중심으로 폐형광체를 물리적으로 분리하여 재자원화하는 기술개발이 추진되고 있다.

4) 코발트

코발트는 금속이나 화합물 형태로 사용하고 있으며 초경합금 (superalloy), 배터리, 초경공구 등 첨단산업에 사용되는 소재의 핵심 원료이다. 지난 10년 동안 코발트의 수요 증가는 주로 휴대용 배터리 부문의 증가 때문이었다고 한다면, 향후 전기자동차가 상용화될 경우 그린카 배터리 시장의 성장에 따른 신규 코발트의 수요가 급격히 증가될 것으로 예상된다. 우리나라의 코발트 수요는 배터리와 초경공구 소재 수요가 대부분을 차지하고 있으며 그 외에 원유의 탈황 촉매, 안료 소재로 사용되고 있다.

코발트 수요산업들의 가치사슬은 살펴보면 이차전지용 원소재인 산화코발트 그리고 초경공구 및 공구강 원소재인 수산화코발트 모두 일본, 중국 그리고 벨기에에서 전량 수입에 의존하고 있다. 국내 코발트 정련업체가 있으나 생산량이 수요량에 미치지 못하고 있다. 반면 이차전지 및 절삭공구 부품 및 최종제품은 수출했던 리튬과 텅스텐 경우와 마찬가지로 국내 많은 기업들이 자체 생산을 하고 있다.

코발트의 재자원화는 촉매, 배터리 제조공정에서 발생하는 스크랩 또는 공정폐기물로부터 제강용도로 다시 사용되는 등 부분적으로 이루어지고 있다. 하지만 초합금제품 스크랩의 경우는 일부 코발트 물질로 추출하지만 재사용하기 어렵다. 따라서 화합물 형태로 수출하거나 아니면 미처 추출하지 못한 스크랩 자체로 수출되고 있다. 코발트가 함유되어 있는 전기 및 전자 폐기물은 일부 회수하고 있다. 사용 후 리튬이온 전지는 수거하고 있으나 양은 일차전지에 비해 소량에 불과하고 가정용의 경우 다른 쓰레기와 함께 폐기되는 비율이 매우 높다. 또한 이동통신사에 수거된



전지의 경우, 폐휴대전화와 함께 재활용 업체에 경매로 처리되고 있다. 이차전지 이외에 자성합금 등의 기계소재용 코발트의 재활용 역시 국내에서는 미진한 상태이다. 모터에 함유된 페라이트 및 자석의 경우 코발트 추출까지 못하고 그냥 모터형태로 수거되고 있다.

이차전지 재활용화는 한국지질자원연구원 등을 중심으로 일부 원천기술을 확보하였거나 연구개발이 진행 중이다. 또한 공구강 제조 시 발생하는 스크랩으로부터 코발트를 회수하는 연구도 이루어지고 있다.

반면 미국은 코발트의 22%를 재활용하고 있으며, 벨기에의 Umicore와 일본의 TMC 등에서 이차전지 양극에 함유되어 있는 코발트 재활용화의 상용화가 이미 이루어져 있는 상태이다. 또한 폐이차전지의 재활용화를 위한 고순도 회수기술도 일본에서 현재 추진 중에 있다.

5) 마그네슘

국내에서 소비되는 마그네슘은 제련시설의 부족으로 주요 원소재인 마그네슘괴와 마그네슘 합금은 전량 수입에 의존하고 있다. 마그네슘 괴는 주로 알루미늄 합금의 첨가제 및 철강 탈황용으로 사용하고 있으며 마그네슘 합금은 자동차의 부품에 사용하고 있는 다이캐스팅⁸⁾ 부품을 제조하거나 판재나 압연 등을 수입하여 전자·전기 부품케이스로 가공하고 있다.

이렇듯 마그네슘은 그동안 국내 제련설비가 없어

원소재를 수입에 의존하고 있었지만 최근에 포스코가 강원도 강릉시 옥계면에 마그네슘 제련공장을 건설하면서 우리나라도 2012년부터 마그네슘 괴를 생산할 수 있게 되었다. 건설계획에 따르면 마그네슘 제련 공장은 2012년에 약 1만톤 그리고 2020년쯤에는 약 10만톤의 마그네슘 금속을 생산할 수 있을 것으로 전망된다. 특히 이러한 제련공장의 건설로 인해 우리나라의 유일한 광석인 옥계면의 돌로마이트(3억 8천만 톤 매장)를 원광석으로 사용할 수 있어 광석 및 소재 부문의 자급이 가능해짐에 따라 희소금속들 중 유일하게 산업의 Value Chain이 완성될 수 있는 계기가 마련될 것으로 보인다.

마그네슘의 재활용화 부문에서도 알루미늄 합금이나 철강재료는 폐기물에서 재활용되고 있으며, 다이캐스팅이나 부품케이스의 경우에는 공정가공에서 발생하는 스크랩을 재활용하고 있다.

6) 백금

국내의 백금 수요는 자동차 배기가스나 석유화학의 촉매용으로 가장 많이 사용하고 있으며 그 밖에 유리공업로 내벽재료 및 장신구, 전기·전자용 재료로도 사용하고 있다. 기후변화에 따른 온실가스 저감 정책으로 자동차 배기가스 규제가 국내외적으로 강화되고 있어 배기가스 정화필터용 수요 증가에 따른 백금 수요가 커질 전망이다.

국내에서는 LS-Nikko 동제련소에서 50kg 정도

8) 다이캐스팅이란 주조할 때 필요한 주조형상에 완전히 일치하도록 정확하게 기계가공된 철로 만든 금형과 똑같은 주물을 얻는 주조법. 주로 자동차 부품, 전기기기, 광학기기 등의 대량생산을 하는 부품 등에 사용됨.



동 부산물로 백금을 추출하고 있다. 하지만 백금 제련을 하지 않고 대부분 원소재를 수입에 의존하고 있다. 주로 백금괴와 분말 등으로 수입하며, 백금 화합물 형태로도 수입되고 있다. 백금괴 또는 분말은 국내에서 합금이나 화성품으로 만들어지는데 합금은 LCD 유리 등 고급유리 용해로 내벽재, 장신구, 치과재료로 사용되고 있으며 화성품은 촉매제로 사용하고 있다.

백금의 재자원화는 석유화학 및 자동차 산업에서 발생하는 백금족 폐촉매 중에서 백금족 원소 일부분을 국내 촉매제조에 재자원화하고 있지만 백금의 재자원화는 추출, 분리정제기술이 취약하여 고순도 제품화를 못하고 있는 실정이다.

7) 갈륨

갈륨은 보크사이트(bauxite -알루미늄의 원광)에서 알루미나 정련 시 부산물로 주로 얻게 되며, 아연의 부산물로도 일부를 얻을 수 있다. 갈륨은 주로 고순도(순도 99.9999% 이상)로 정제하여 GaAs, GaP와 같은 화합물로 발광다이오드(LED), 위성방송 및 이동통신용 발신 및 수신 디바이스, 컴퓨터나 휴대용 통신 등의 반도체 제품으로 주로 사용된다. 최근 친환경 녹색기술 등으로 전기자동차용 희토류자석의 첨가용, CIGS 태양전지, 연료전지용 전해질 첨가제 등에 사용되고 있는 등 향후 중요한 소재 중의 하나로 부상될 것으로 예상된다.

LED의 소재로 쓰이는 갈륨의 국내 가치사슬을 보면 국내 고려아연에서 아연 및 보오크사이트 제련과정을 통해서 연간 10여 톤의 갈륨을 생산하고 있다. 하지만 LED부품으로 사용하기 위해서는 갈륨을 특수 화학처리하여 전구체(TMG)를 생산해야하나 국내에

는 화학처리 기술이 없어 갈륨 전량을 수출하고 LED반도체에 쓰일 전구체를 일본 등지에서 수입하고 있는 실정이다. 하지만 국내 LED 제조업체에서 TMG 생산에 나서고 있어 곧 국내기업들도 양산단계에 들어갈 것으로 전망하고 있다.

갈륨의 재자원화는 반도체나 LED전자부품의 기관 위에 인듐, 갈륨, 질소 등의 물질을 여러 층의 얇은 막으로 코팅시키는 에피과정 중 발생하는 스크랩에서 갈륨을 재추출할 수 있는 방법이 있지만 국내는 이러한 스크랩을 처리할 수 있는 기술력이 없어 전량 해외로 수출하고 있는 실정이다.

8) 인듐

인듐은 아연의 제련과정에서의 부산물로 회수된다. 인듐은 그동안 반도체 등 전자·전기공업용으로 널리 사용되어 왔으나, 2000년대부터는 디스플레이산업의 주요 생산품이 텅스텐을 생산요소로 사용하는 CRT 디스플레이에서 인듐을 생산요소로 사용하는 LCD, PDP 등과 같은 평판 디스플레이로 전환되면서 Indium Tin Oxide(ITO)⁹⁾의 주요 원천소재로 그 수요가 점증하고 있다. 인듐은 그밖에도 박막형 태양전지(CIGS), LED, smart 유리, 모니터, 휴대폰, IT 부문의 원천소재이기도 하여 신성장산업에서의 그 중요성이 커지고 있는 금속 중의 하나이다.

인듐이 가장 많이 사용하고 있는 ITO 제조의 국내 가치사슬을 보면 고려아연이 아연제련과정에서 부산물로 인듐을 생산해 내고 있으나 인듐 제련기업이 없어 전량 일본으로 수출하고 있으며, 반면 국내에서는 금속형태나 재자원화된 인듐을 일본, 중국 등으로부터 수입하여 대부분 ITO제조에 투입되고 있다. 액



정 패널의 ITO 투명 전극용 제조공정 중에 발생하는 인듐이 함유된 폐기물에 대해서 재자원화가 활발히 진행되고 있다. 인듐의 재자원화¹⁰⁾은 1차제품 생산에서 발생한 스크랩에서 약 90%, 사용 후 ITO 타겟에서 90% 이상, 그리고 중간단계에서 발생한 스크랩은 30% 이하이며 재자원화된 일부 인듐은 수출하고 있다. 중간제품의 생산에서 발생하는 스크랩의 재자원화율이 낮은 이유는 스크랩 속에 인듐산화물, 산화알루미늄, 산화규소가 혼합되어 있어 화학적인 방법이 아니면 재자원화에 이용되기 어려우며, 따라서 이를 처리하려면 환경적인 문제도 동반하게 되어 결국 많은 양을 폐기처분하고 있기 때문이다. 이렇듯 ITO 제조공정 중에 발생하는 인듐 스크랩 재자원화에 대한 기술개발이 완료되어 재자원화 사업이 활발히 진행되고 있으나, 반면 폐제품에 포함되어 있는 인듐의 재자원화는 그 양이 극히 적고 기술개발이 아직 완성되지 않아 미약한 실정이다. 하지만 현재 ITO 투명 전극이 많이 쓰이는 디스플레이 등 폐제품에서의 인듐회수에 관한 연구가 진행¹¹⁾되고 있다. 이러한 연구가 상용화하는 단계까지 도달하면 국내에서 수입되는 인듐의 재자원화 및 공정을 통해 많이 감소함에 따른 수입대체 효과를 얻을 수 있을 것이다.

9) 니켈

니켈은 은백색을 띠며, 대기와 수중에서 철보다 안

전하고 산화되기 어려우며, 알칼리성에는 강한 내식성을 갖기 때문에 스테인레스강, 비철합금, 도금, 내식·내열재 등으로 다양하게 쓰이고 있다. 또한 니켈은 동, 크롬, 코발트, 철, 아연 및 기타의 금속들과 합금을 이뤄 항공우주 분야, 발전소 가스터빈, 부식성 물질을 취급하는 석유화학 및 화학 시설에 사용하거나 전열기, 저항기, 전기로 및 자석 등에 사용된다. 국내 니켈 수요의 대부분은 스테인레스강의 첨가 원소로 사용하고 있으며 기타 도금이나 합금용으로 사용하고 있다. 스테인레스강의 첨가원소로 사용하고 있는 니켈의 경우, 니켈원석을 소결한 산화니켈을 수입해 코리아니켈에서 공급하고 있으나 도금 및 합금용으로 사용하는 니켈금속이나 페로니켈의 경우 전량 수입하고 있다.

재자원화 측면에서 국내 니켈의 80%를 담당하고 있는 스테인리스강은 거의 전량 재자원화되고 있으나 반면 니켈합금 스크랩은 분리정제기술이 취약하여 거의 재자원화되고 있지 못한 실정이다.

나. 국내 희소금속 가치사슬의 문제점 및 개선방안

지금까지 살펴본 녹색 희소금속들의 국내 가치체계는 일부 희소금속에서는 다를 수 있지만 대체적으로 [그림 1]처럼 표현될 수 있을 것이다. 우리나라는 희소금속이 거의 부존되어 있지 않으므로 희소금속 광석은 수입에 의존할 수밖에 없다. 광석에서 소재로 전

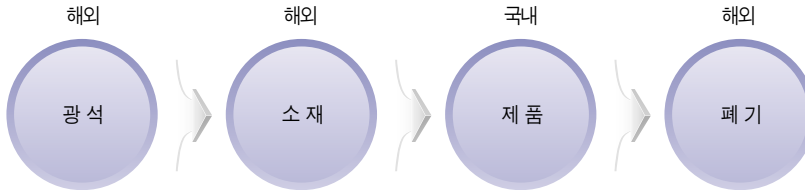
9) 지질자원연구원(2007)에 따르면 평판 디스플레이의 유리기관 위에 코팅하여 전도성과 투명성을 확보해주는 투명전도성 산화막(TCO - Transparent Conductive Oxide)의 핵심소재로 사용됨. ITO용 인듐은 인화인듐(InP)용으로 요구되는 순도 6N에 보다 낮은 2N~4N급 인듐임.

10) 홍현선 외, "폐희소금속의 재자원화 기술 및 관련 산업 동향," 「한국분말야금학회지」, 제16호(2009)를 인용.

11) 고등기술연구원에서 수행 중.



[그림 1] 현 우리나라의 희소금속 가치사슬



환되는 과도 기술력과 경제성의 이유로 국내에서는 제련 및 정련산업이 발달되어 있지 못해 대부분의 소재도 해외에 의존하고 있다. 그리고 소재로 전환된 희소금속을 우리나라가 수입하여 최종 제품을 생산하기 위한 중간 투입재로 사용하고 있다. 마지막으로 제품이 사용 종료된 후에 폐기되는 상태에서 회수되지만 그 물량이 많지 않고 그나마 회수된 물량마저도 기술력 부족으로 대부분 해외로 유출되고 있다.

우리나라의 산업구조가 과거에는 양적인 팽창에 집중하였다면 지금은 친환경 녹색산업과 같이 질적인 성장으로 전환되고 있다. 이로 인해 직간접적으로 희소금속 수요가 많아지게 되는 점들을 고려하면 국내 희소금속의 소재산업 기반의 취약성은 소재와 주요산업과의 연계성이 약화되고 자원과 소재의 수입의존으로 인해 우리나라 희소금속의 부가가치 악화를 초래하고 있다. 이는 새로운 제품이 개발되더라도 고부가가치화 실현이 어렵게 되면서 글로벌 경쟁력이 저하될 가능성이 크다. 이와 더불어 해외에 의존하는 자원 및 소재의 수급 불균형이 발생될 경우 국내 부품 및 제품 생산업체의 공급 및 생산 차질 우려가 높아지게 되고 대외 종속관계로 전락할 우려가 있어 공급 안보에서도 위협요인이 될 수 있다. 따라서 이러한 문제를 개선하기 위해서는 향후 우리나라 희소금속의 가치사

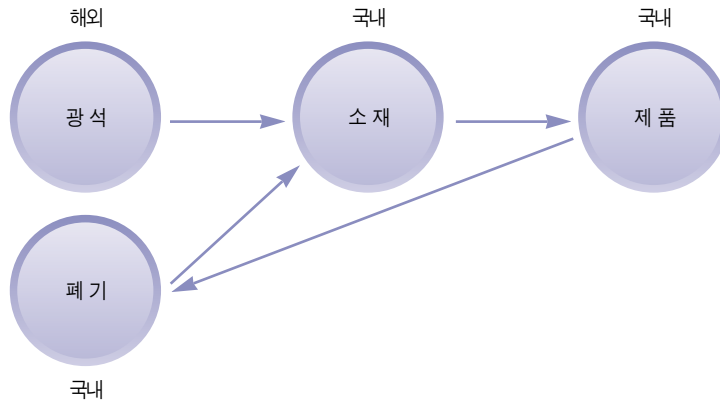
슬을 [그림 2]와 같은 순환구조로 구축할 필요가 있다.

[그림 2]에서는 폐기에서 회수되는 희소금속들이 재자원화가 이루어지면서 다시 소재와 제품의 중간투입재로 재공급되는 순환형 구조를 가지고 있어 가치사슬이 한쪽으로만 흐르는 [그림 1]과 다른 형태이다. 이러한 구조는 희소금속 광석으로부터 최종재화를 생산하는 순방향의 산업단계와 사용후 폐기제품을 원료 또는 자원으로 다시 사용하는 역방향의 산업단계가 공존할 수 있는 것이며, 이러한 점에 근거하여 환경친화성을 갖는다. 이러한 역방향의 산업단계가 구축되면 해외에 대한 자원의존도를 낮출 수 있고, 또한 희소금속의 공급 안보에 기여하고 투입되는 수입 자원의 양이 감소하게 되므로 효율성은 높아지고 지속가능성도 높아진다.

이러한 산업구조를 이루기 위해서는 해결해야 할 몇 개의 선행 과제가 있다. 무엇보다 시급히 요구되고 있는 것은 제련/정련기술, 순환기술, 소재생산기술 등에 대한 원천기술과 연구기반을 확보할 필요가 있다. 이러한 기술력과 R&D 기반 강화를 위해 우리나라 정부는 2020년까지 녹색 희소금속 모두를 포함한 11개 전략광종에 대해 핵심원천 소재 기술 40개를 선정하여 이들 기술개발에 약 3000억을 투입할 계획이다(지식경제부, 2011). 따라서 비록 기술력이 상용화되기



[그림 2] 미래의 우리나라 희소금속 가치사슬 방향



까지는 시간이 걸리겠으나 기술투자를 위한 정책이 마련되어 있다는 점은 향후 이러한 문제점을 보완할 수 있을 것이다. 하지만 기술개발 투자에 있어서도 원천 소재 및 추출기술과 같은 개발 위주의 기술 투자도 중요하나, 최종제품으로부터 희소자원을 추출할 시 비용을 절감할 수 있는 기술이나 해체 및 추출이 용이한 제품설계로 재자원화가 용이해지는 재료 및 구조에 관한 연구 등에 대한 기술지원도 함께 필요하다는 점을 간과해서는 안될 것이다.

기술력 부족과 함께 해결해야 할 문제는 소재 및 재자원화 산업화의 육성이다. 정부는 소재 및 재자원화 산업 육성을 위해 희소금속 전문기업 육성과 더불어 희소금속 수요산업과 연계해 희소금속 클러스터를 국내 지역별로 조성하거나, 재자원화 산업 동반 진출을 유도하는 등 가치사슬 간의 연계성을 강화하는 정책을 제시하고 있기는 하다. 하지만 이러한 기업육성과 연계산업 개발도 중요하지만 특히 재자원화 산업화의 육성을 위해서는 희소금속을 수거할 수 있는 폐물량 확보가 우선적으로 필요하다. 현재 국내의 금속 재자

원화는 대부분 철, 비철 금속과 귀금속 등 기초금속 중심으로 이루어지고 있고 희소금속은 그 대상에서 소외되고 있다. 또한 회수물량이 작기 때문에 폐물량에서 희소금속을 재정제하거나 가공하는 사업의 경제성이 떨어진다. 따라서 희소금속 추출 기술 축적이 부족하고 이러한 기술취약성이 더욱더 산업의 활성화에 저해요인으로 작용하는 악순환을 야기하고 있다.

폐물량 수거방법도 희소금속이 포함되어 있다고 모든 폐기물을 다 수거하기 보다는 추출효율이 높은 자원에 대한 선택과 집중이 필요하다. 향후 희소금속 재자원화 시장의 확대는 물량확보가 쉽고 금속 추출이 용이한 제품이 주도할 가능성이 있어 자동차, LED, 소형가전, 일반가전 등이 물량확보가 용이할 전망이고, 부품별로는 2차전지와 소형가전이 포함된 기관이 물량확보나 추출 기술의 난이도 측면에서 재자원화 효율이 높을 것으로 판단된다. 일본의 경우 희소자원의 회수를 원활하게 하기 위해 제품에 포함된 희소자원에 대한 정보를 소비자나 배출자에게 제공하고 있으며, 소비자와 사업자의 수거 협력체계를 마련해 희



소자원이 포함된 폐제품의 회수를 용이하게 하고 있다. 따라서 우리나라도 이러한 제품들의 수거를 확대할 수 있는 제도적 유인 장치 마련이 필요하다.

4. 결론 및 시사점

우리나라는 희소금속 자급률이 12%에 그칠 만큼 국내 부존 및 생산여건이 열악하다. 희소금속의 부존량도 절대적으로 부족하지만 우리나라의 희소금속 산업이 대부분 최종제품인 산업에만 치중하다 보니 정련, 제련, 소재, 부품 개발과 같은 기초나 중간단계 개발이 미흡해 금속광석 뿐 아니라 소재나 부품도 대부분 해외에 의존하고 있는 실정이다. 게다가 선진국과는 달리 희소금속의 재활용에 대한 기술력과 산업화가 되어 있지 못해 재활용을 통한 자원의 효율성을 추구하고 있지 못하는 문제점도 내재하고 있다.

따라서 희소금속의 수급 불안 가능성에 선제적으로 대응하고 향후 우리나라의 신성장동력을 근간으로 하는 경제발전을 이루기 위해서는 희소금속의 안정적 확보와 더불어 소재 및 부품산업 그리고 재자원화 산업의 활성화를 통한 희소금속 가치사슬 완성이 필요하다. 하지만 이러한 가치사슬의 구축을 위해서 국내 기반이 미약한 제련·정련산업을 육성해서 우리가 강점이 있는 부품 및 제품에 공급하는 유기적인 산업연계 체계를 갖추는 것도 중요하지만 보다 경쟁력 있는 산업의 가치사슬을 위해서는 이러한 일자형 산업구조보다는 더 나아가 최종제품에서 희소금속을 회수해 재자원화함으로써 다시 필요한 산업에 공급할 수 있는 순환형 산업으로 체계를 확립해 나가야 할 것이다. 이러한 순환형 체계는 새로운 산업분야를 촉발하고

자원을 효과적으로 이용한다는 점에서 녹색성장에서 추구하고 있는 가치사슬의 녹색화와 신성장동력 창출과도 직결될 수 있다.

이러한 순환형 산업 체계를 갖추기 위해서는 희소금속 재자원화 산업에 민간기업의 진출이 확대되고 시장도 형성되는 등의 활성화가 필요하다. 이러한 산업의 활성화를 위해서는 무엇보다 일정 수준 규모의 경제가 갖춰지고 경제성이 우선 확보되어야만 한다. 하지만 아직까지 재자원화 산업은 수익성이 낮은 산업분야이므로 정부 차원의 적극적인 지원이 필요한 실정이다. 따라서 정부는 희소금속 추출이 가능한 폐자원 물량을 충분히 확보하기 위한 회수시스템 마련 등의 재자원화 정책 강화와 함께 조달청, 광물자원공사의 광물자원비축 시 재자원화된 물량을 우선 구매하는 제도의 도입을 통해 수요기반을 확충하는 등 관련 산업의 지원 및 양성화 노력을 경주할 필요가 있다.

참고문헌

〈국내 문헌〉

- 류호진 외, “전지 폐모듈로부터 희유금속 회수 및 고순도화 기술개발,” 지식경제부, 2009
- 산은경제연구소, “국내 도시광산 산업의 현황과 활성화 과제,” 「산업은행 산업이슈」, 2010
- 삼성경제연구소, “도시광산 내 희소금속의 잠재가치 평가-한·일 비교를 중심으로,” 「Issue Paper」, SERI 2011-7, 2011
- 오재현 외, “도시광산(사용후 제품) 재자원화의 필요성과 배경,” 「한국리싸이클링학회지」, 제19권



- 5호, 13-24, 2010
- 일본 경제산업성, 「희소금속 확보 전략」, 2007
- 정웅태, “녹색성장을 위한 희소자원의 개발과 관리방안,” 「경제인문사회연구회 협동연구총서」, 2011
- 지식경제부, “녹색성장 및 신성장동력 견인을 위한 희소금속 소재산업 발전 종합대책,” 보도자료, 2009
- 지식경제부 · 환경부, “도시광산 활성화를 통한 소재 공급 확대 방안,” 보도자료, 2010
- 지식경제부, 「희소금속 산업 생태계 조성계획」, 2011
- 지질자원연구원 “지질자원정보기술 활용 가치 제고 및 국제화,” 기본과제연구보고서, 2007
- 한국비철금속협회, 「산업용원자재 중장기수급 안정화 방안 연구」, 2008
- 한국생산기술연구원, 「국내의 자원순환시스템 현황 및 개선방안」, 2004
- 한국자원리싸이클링학회, 「리싸이클링백서」, 청문각, 2009
- 홍현선 외, “폐 희소금속의 재자원화 기술 및 관련 산업 동향,” 「한국분말야금학회지」, 제16호, 2009