

희토류 자원과 이용 현황

김유동¹ · 고진석^{2*}

¹지오리소스, ²조선대학교에너지자원공학과

REE Resources and It's Utilization

You-Dong Kim¹ and Chin-Surk Ko^{2*}

¹GeoResources

²Department of Energy & Resources Engineering, Chosun University

1. 서 론

희토류원소 (rare earth elements, REE)는 현재 휴대전화, 퍼스널컴퓨터와 같은 IT 관련 제품, 세라믹 제품, 콘덴서, 필터, 센서, 희토류 영구자석, 수소흡장 합금전지, 자동차 배기가스 촉매, 유리 연마재, 자동차 유리 자외선 흡수제, 브라운관 유리 색재 등 첨단산업에 널리 이용되고 있는 광물자원이다.

희토류를 함유하는 광물은 약 200여종 이상으로서 현재 상업적으로 채굴할 수 있는 광물로는 바스트나이트 (Bastnaesite, (Ce,La)(CO₃)F), 모나자이트 (Monazite, (Ce,La,Nd,Th)PO₄), 제노타임 (Xenotime, YPO₄), 휘구손나이트 (Fergusonite, (REE)(Nb,Ti)O₄), 그리고 이온 흡착형 클레이 등이다.

희토류는 원자번호 57번 란타넘 (La) 부터 71번 루테튬 (Lu) 까지 15개 원소와 이들과 화학적 성질이 유사한 스칸듐 (Sc, 원자번호 21번), 이트륨 (Y, 원자번호 31번) 등 총 17개 원소를 부르고 있는데, 주로 첨단산업에 활용되고 있어 현대 산업에서 매우 중요한 원료자원 중 하나이다 (Fig. 1).

현재 세계 희토류 자원산업을 주도하는 나라는 중국, 일본, 미국, 프랑스, 독일 등 선진국들로서 특히, 중국은 세계 희토류 매장량의 70% 이상을 보유하고 있을 뿐 아니라 희토류 관련 기술도 상당히 앞선 국가이고, 일본은 희토류 관련 기술이 최첨단을 달리는 국가이다.

우리나라는 흥천 REE-Fe-P-Sr광상, 충주 REE-Fe-Zr광상 등 양질의 매장량을 보유하고 있음에도 불구하고

고, 자원관련 소재기술이 낙후되어 희토류 관련 소재 자원을 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

최근 중국이 희토류 관련 제품의 수출 제한을 발표하고 있어 우리나라의 희토류 관련 자원 공급의 대외 환경은 좋지 않을 것으로 예견되는 상황에서 희토류 자원과 이용 현황, 그리고 향후 전망 등을 조심스럽게 살펴보고자 한다.

2. 본 론

2.1. 희토류 광물

희토류원소는 보통 약어로 REE로 표현되는데, 용어에서와 같이 희소한 원소는 아니며 지각에서 흔히 나타나는 원소이다. 즉, 모든 사람이 알고 있는 수는

Fig. 1. Periodic Table.

*Corresponding author: jsgo@chosun.ac.kr

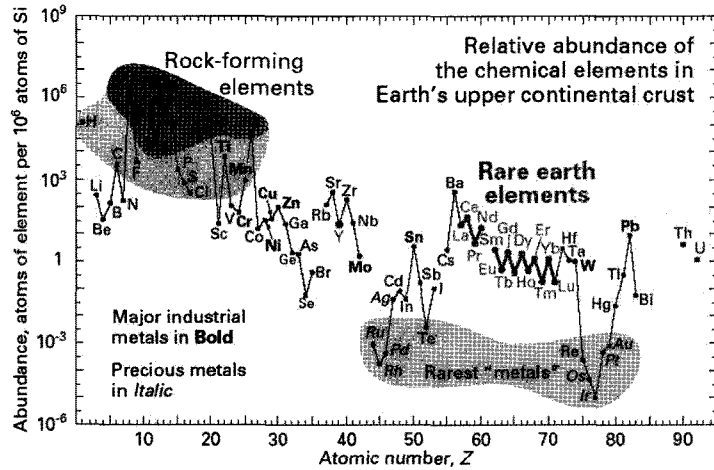


Fig. 2. Abundance(atom fraction) of the chemical elements in Earth's upper continental crust.

(Mercury), 비스무스 (Bismuth), 인디움 (Indium), 카드뮴 (Cadmium), 셀레늄 (Selenium) 등 원소들은 희토류 원소 중 가장 함량이 낮은 툴리움 (Thulium) 보다도 더 함량이 낮으나 흔히 지각에서 농집되어 나타나거나 다른 광물과 함께 나타나 부산물로 회수되고 있다 (Fig. 2). 지금까지 약 200여 종의 희토류 광물이 발견되었는데, 이중 산업적으로 유용하게 이용되고 있는 광물은 바스트나이트 ((Ce,La)(CO₃)F), 모나자이

트 ((Ce,La,Nd,Th)PO₄), 제노타임 (Xenotime, YPO₄), 휘구손나이트 ((REE)(Nb,Ti)O₄), 그리고 이온 흡착형 클레이 등이며, 주요 광물은 Table 1과 같다.

2.2. 세계 희토류 광상 분포

세계적으로 희토류가 산출되는 광상 유형을 보면 카보나타이트 (Carbonatite)/알카리암 (Alkaline Related Rocks) 형 광상, 열수 (Hydrothermal) 광상, 이온 흡착 (Ion Adsorption) 형 광상, 광맥 (Vein Type) 형 광상, 사광상 (Placers) 등이 흔히 알려져 있다 (Elsevier, 2010).

Table 1. The Main REE Minerals

Mineral	Chemical Composition	REO Contents, wt%
Bastnaesite	(Ce,La)(CO ₃)F	74.77
Monazite	(Ce,La,Nd,Th)PO ₄	65.13
Xenotime	(Y,Ce,Er)PO ₄	61.40
Fergusonite	YNbO ₄	39.94
Gaggarinite	NaCaYF ₆	56.75
Gadolinite	YFeBeSi ₂ O ₁₀	51.51
Euxenite	(Y,Ce,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	20.82
Yttrian Fluorite	(CaY)F ₂	17.50
Parisite	Ca(REE) ₂ (CO ₃) ₃ F ₂	60.89
Xingganite	(YCe)BeSiO ₄ (OH)	54.57
Allanite	(REE,Ca,Y) ₂ (Al,Fe ³⁺) ₃ (SiO ₄) ₄ (OH)	<25
Apatite	Ca ₄ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	12
Britholite	(REE,Ca) ₅ (Si ₄ PO ₄)(OH,F)	~60
Ancylite	Sr(REE)(CO ₃) ₂ (OH)H ₂ O	47.98
Florencite	(REE)Al ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₆	31.99
Halloysite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	<0.5

source; Rare Earth and Application

Table 2. Classification of REE deposits(Harald G. Dill)

1. Magmatic rare earth deposits
 - 1) REE-P-Nb-Ta-Y-Y(bz-Zr-Th) deposits related to carbonatites
 - 2) REE-P-Ti deposits related to alkaline igneous complexes
 - 3) REE-U-Nb bearing pegmatites deposits
 - 4) REE-Nb-P-F bearing hydrothermal iron deposits
 - 5) Be-Y bearing alkaline intrusive rocks(nepheline syenite)
2. Structure related rare earth deposits
 - 1) REE-F-Ba-Th bearing vein type deposits
3. Sedimentary rare earth deposits
 - 1) REE-(Ti-P-Nb) residual deposits/placers on alkaline igneous and carbonatite complexes
 - 2) REE in bauxite
 - 3) Alluvial to coastal REE placers
 - 4) REE bearing phosphorites
 - 5) Ion adsorption clays
 - 6) REE bearing coals

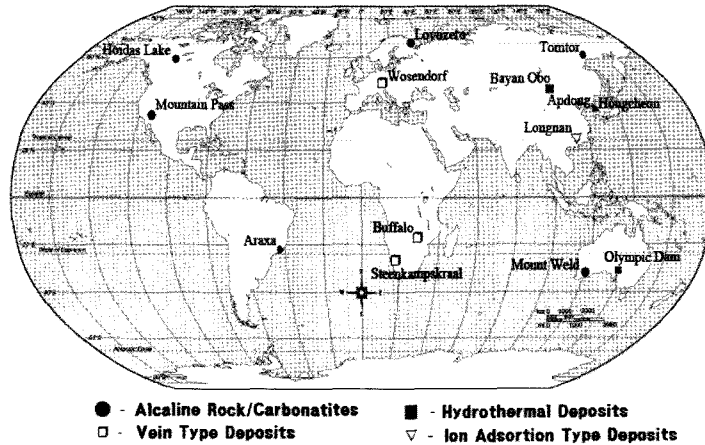


Fig. 3. Distribution of World Main Rare Earth Deposits.

중국의 BayanObo (Baotou) 광상은 대표적인 희토류광상으로서, REE-Nb-P-F를 함유하는 열수형 철광상이다 (Table 2). 광석광물로는 bastnaesite, monazite, aeschynite, orthite, apatite, parasite, huanghoite, fergusonite, xenotime, daquingshanite, chevkinite, britolite 등이 산출되고 있다. 과거에는 Bayan Obo광상은 카보나타이트형 광상으로 알려졌으나 현재는 알카리-카보나타이트 관입암으로부터 유래된 열수용액이 시생대 퇴적기원 탄산염암을 교대한 것으로 밝혀지고 있다. 이외 대표적인 함-희토류 열수광상으로는 호주의 Olympic Dam이 있으며, 광석광물로는 monazite, bastnaesite, fluocerite등이 있다 (Fig. 3).

미국의 Mountain Pass광상은 대표적인 카보나타이트형 희토류광상으로서 연장 750 m, 폭 75 m 규모로 발달하는데, 희토류 광물로는 monazite, bastnaesite, apatite 등이 산출되고 있다. 우리나라의 흥천광산도 비슷한 유형의 광상으로서 광물로는 탄산염광물 (dolomite, siderite, ankerite etc. 30.1%), 자철석 (19.6%), 황철석 (3.5%), 석영 (12.3%), 장석 (18.1%), 모나자이트 (13.6%), 인회석 (12.3%), daquingshanite (2.3%), 기타 strontianite, barite, aegirine, columbite, allanite 등이 산출되고 있다.

세계적으로 약 550개 이상의 카보나타이트/알카리 광상이 알려져 있으며, 주로 대륙판 열곡대에 마그마 용액의 immiscibility나 fractional crystalization에 의해 형성되며, 카보나타이트 주변부에 흔히 fenitization haloes를 보여주는 특징이 있다.

알카리암과 관계되는 광상으로는 동아프리카, 러시아 Kola반도, 동카나다, 브라질 남부 등에 분포되고 있

는데, 러시아의 Lovozero광상, Greenland의 Qaqarssuk 광상, 호주의 Mt. Weld광상, 캐나다의 Hoidas Lake광상, 브라질의 Araxa광상 등이 대표적인 예이다. 브라질의 Araxa광상은 beforosite나 sovite로부터 Nb을 생산하는 세계 최대의 광산으로서 희토류광물로는 monazite, apatite, ancylite, ceriopyrochlore등이 산출된다. 아프리카 나미비아의 Okorusu광상은 카보나타이트광상으로서 플루오르 (F) 를 최초로 생산하는 광산인데, synchysite, monazite, Y-fluorit xenotime, fluorite, apatite와 같은 희토류광물도 산출되는 잠재성이 있는 광상이다. 러시아 시베리아에 분포하는 Tomtor REE-Nb광상은 알카리 syenite로 구성되는 환상의 구조를 보이는 광상으로서 중앙부는 카보나타이트로 구성된다. 광화대에는 니오비움 광물인 pyrochlore가 산출되고 있다. 북한의 압동광산은 알카리 syenite를 모암으로 pyrochlore, zircon, columbite, fergusonite 등이 산출되며 pyrochlore내에는 우라늄, 희토류 등이 함유되고 있다. 서호주에 분포하는 Cummins range광상은 미국의 Mountain Pass광상과 유사한 광상으로서 apatite, phlogopite, magnetite, clinopyroxene 등이 많이 산출되는 광상이다. 러시아 Karelia의 Elisenvaara REE-P-Ti광상은 알카리암 주변에 발달하는 광상으로서 apatite와 titanite가 주로 희토류원소를 함유하는 광물이다.

희토류를 함유하는 대표적인 페그마타이트광상으로는 Kyrgyzstan지역에도 분포하는데, 천산산맥 Aktiuz 지역에 발달하고 있다. 이 페그마타이트들은 원생대의 편마암이나 앰피블라이트를 관입하고 있는데, Nb, Y, F 등을 많이 함유하고 있다.

화강암 유형의 Nb-REE광상들이 중국 남 호남성과

동 광상장축차치구에서 발견되고 있다. 이온 흡착형 광상은 희토류가 부화된 화강암의 풍화작용에 의해 점토 광물 내에 희토류원소가 흡착되어 형성된 광상으로서, 중국 강서성, 호남성, 복건성, 광둥성 등에서 분포되고 있다. 이 유형의 광상은 특히, 중희토류가 풍부한 것이 특징이다. 중국에는 3대 희토류자원 개발 구역이 있는데, 첫째는 포두지역, 둘째는 사천성지역, 셋째는 남방 지역으로서 남방지역은 주로 중희토류를 생산하고 있다 (Henderson, 1982).

2.3. 세계 희토류의 매장량 및 국별 생산량

희토류 원소의 지각 분포 량은 비교적 풍부한 편이지만, 채광이 가능한 광석은 다른 광석에 비해 많은 편이 아니다. 미국이나 세계의 희토류 자원은 일차적으로 모나자이트나 바스트나지트와 같은 희토류 광물 형태로 나타나는데, 미국이나 중국의 바스트나지트가 경제적으로 채광할 수 있는 세계 희토류자원의 대부분을 차지하고 있다. 반면, 과거 한때 희토류자원의 주를 이루었던 호주, 브라질, 중국, 인도, 말레이시아, 남아공, 스리랑카, 태국 등지에서 산출되던 모나자이트는 지금은 두 번째 희토류광물로 취급되고 있는데, 개발이 중단된 가장 큰 원인은 모나자이트 내 함유되어 있는 방사능 물질 때문이다. 그 외 희토류자원으로는 apatite, cheralite, eudialyte, loparite, phosphorites, 함희토류 점토 (이온 흡착), xenotime 등을 들 수 있으나 아직도 발견되지 않은 희토류자원이 많을 것으로 보인다.

미국 지질조사소 (USGS) 자료에 의하면 2009년 말에 세계 희토류자원의 매장량은 99,000,000톤으로 중국이 세계 매장량의 약 36%를 차지하고 있으며, 뒤를 이어 CIS (19%), 미국 (13%) 등이 차지하고 있다 (Table 3). 중국은 내몽고에 있는 BayanObo광상의 매장량과 남방지역에 분포하는 이온흡착형 희토류자원이

대부분을 차지하고 있으며, BayanObo광산 바스트나지트 매장량의 상당부분이 채굴되었을 것으로 보인다.

CIS국가의 희토류 매장량은 러시아가 대부분을 차지하고 있으며, 러시아 Kola반도에 위치하는 Lovozero광산의 매장량이 대부분을 차지한다 (Vlasov, 1966). Lovozero광상에서 발견되는 희토류광물로 Eudyalite ((Na₄(CaCe)₂(Fe+2Mn+2Y+ZrSi₈O₂₂(OHCl)₂), Loparite ((Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O₃) 등이 발견되며, 90년대 후반까지 선광장이 가동되었던 광산이다. 미국의 매장량은 Mountain Pass광산의 매장량이며, 바스트나지트와 모나자이트가 주 희토류원이다.

호주의 매장량은 Mount Weld와 Olympic Dam의 매장량이다. 브라질의 매장량은 알카리암 내 니오비움, 탄탈륨과 함께 나타나는 희토류자원 들로서 Pyrochlore 내 함유된 희토류자원으로 생각되며, 북한의 압동광상과 매우 흡사한 유형으로 생각된다. 우리나라의 희토류 자원량은 흥천과 충주광상의 매장량으로서 희토류산화물 기준으로 약 800,000톤 이상으로 계산할 수 있으며, 세계적으로 보아도 작은 규모는 아니라고 볼 수 있다. 2009년에 세계 희토류 생산은 124,000톤으로 대부분 중국에서 생산된 양이라 볼 수 있는데, 중국이 희토류 자원의 수출제한 조치를 취함으로써 휴폐광산의 재가동이나 신규광산 개발이 뒤 따를 것으로 예상된다.

2.4. 세계 희토류의 시장

중국 국내 희토류 시장의 소비 증가와 일본의 희토류 비축량 증가 그리고 세계적으로 첨단 제품의 제조가 증가함에 따라 전반적으로 희토류의 가격은 상승할 것으로 예측된다.

2008년도 세계 희토류 시장규모는 희토류 산화물 (Rare Earth Oxides, REO)기준으로 132,500톤, 금액으로는 17.5억달러로 보고 있다 (Table 4). 과거 십년 이상 세계 희토류 수요는 년 간 8-13%로 증가해 왔는데, 이 기간동안 중국의 수요는 년 간 약 15%로 증가한 반면, 기타 국가의 수요 증가는 년 간 2-5%에 그쳤다. 미국의 경기 후퇴를 감안한다면, 앞으로 5년 동안은 중국에서는 년 간 10-15%의 증가, 다른 나라에서는 2-4%의 희토류 수요 증가를 예상할 수 있으며, 세계적으로 전체 평균 8-11%의 희토류 수요가 증가할 것으로 전망된다 (Table 4).

중국은 세계 희토류 수요의 92-94%를 차지하고 있고, 중국이 자국의 희토류자원을 전략적으로 이용하려는 경향이 너무 커 향후 공급원이 서방으로 확대될 것으로 예상된다. 이러한 공급원의 변동은 현재 중국이

Table 3. World rare earth reserves and production

Country	Main production		Reserves(t)
	2008	2009	
China	120,000	120,000	36,000,000
CIS	NA	NA	19,000,000
United States	-	-	13,000,000
Australia	-	-	5,400,000
Brazil	650	650	48,000
Others Countries	NA	NA	22,000,000
S.Korea	-	-	800,000
World total	124,000	124,000	99,000,000

sources; Minerals information, 2010, USGS

Table 4. Total world's rare earths demand in 2000, 2008 & 2012

Item	china			Japan			USA			Others			Total		
	2000	2008	2012*	2000	2008	2012*	2000	2008	2012*	2000	2008	2012*	2000	2008	2012*
Catalysts	2,000	10,750	15,500	1,750	2,750	4,000	9,500	6,000	6,250	4,250	5,000	5,250	17,500	24,500	31,000
Glass	2,000	7,750	8,000	6,500	3,000	2,500	2,500	1,000	1,000	3,000	1,500	1,500	14,000	13,500	13,000
Polishing	2,000	8,250	12,250	4,000	5,500	6,000	2,000	1,000	1,000	3,500	1,500	1,750	11,500	16,250	21,000
Metal alloys	5,500	15,500	33,500	2,750	5,750	7,750	1,750	1,500	2,000	2,500	1,250	1,750	12,500	24,000	45,000
Magnets	3,500	22,000	37,500	3,500	5,000	6,000	1,500	500	1,250	2,000	750	1,250	10,500	28,250	46,000
Phosphors	1,000	6,000	9,000	2,500	3,000	2,500	500	500	750	2,000	500	750	6,000	10,000	13,000
Ceramics	750	2,750	4,250	1,250	2,500	3,250	500	1,250	1,250	500	750	750	3,000	7,250	9,500
Others	3,250	7,000	8,500	500	1,500	2,000	150	250	500	100	300	500	4,000	9,000	11,500
Total	20,000	80,000	128,000	22,750	29,500	34,000	18,400	12,000	14,000	17,850	11,500	13,500	79,000	132,500	190,000

source: Roskill

자국의 희토류 자원이 한정되어 있다고 인정한 사실로 보아 더욱 활기를 보일 것으로 예상된다.

과거 10년간 세계 희토류 산업은 약 50% 성장을 보였는데 (Table 5), 이 기간동안 중국은 25%에서 약 60% 이상의 성장을 보여 세계 희토류 산업을 주도하고 있다.

이러한 자료를 근거로 2012년까지 세계 희토류 수요를 예측하여 보면, 5년간 약 8-11%의 연간 성장을 보일 것으로 예상된다. 중국에서의 희토류 수요는 연간 10-15%, 일본은 3-5%, 기타 국가들은 2-4%의 연간 성장을 보일 것으로 예상된다 (Table 5).

현재 희토류 산업의 큰 문제는 공급과 수요의 불균형 문제이다 (Table 5).

현재까지 알려진 자료에 의하면, 2012년에 REO 생산은 220,000톤으로서 수요 190,000톤보다 30,000톤이

Table 5. Forecast world demand for each rare earth elements in 2012

REO	Demand		Supply/Production	
	REO, ton	%	REO, ton	%
Lanthanum	54,000	28.0	59,000	27.0
Cerium	69,500	37.0	89,000	40.0
Praseodymium	7,000	4.0	10,500	5.0
Neodymium	39,000	20.0	36,000	16.0
Samarium	2,000	1.0	4,500	2.0
Europium	1,100	0.5	1,000	0.4
Gadolinium	200	0.1	3,500	1.6
Terbium	600	0.3	300	0.15
Dysprosium	2,500	1.4	2,000	0.9
Erbium	850	0.5	1,000	0.4
Yttrium	13,000	7.0	12,000	5.5
Ho-Tm-Yb-Lu	250	0.2	1,200	1.15
Total	190,000	100.0	220,000	100.0

source: Roskill

나 많은 생산량을 보일 것이나 유로피움과 같은 일부 희토류원소는 공급이 모자라는 현상이 된다 (Table 5).

희토류의 가격은 희토류 원소, 생산물, 순도에 따라 크게 차이가 있어 희토류 산물의 가격 비교에 세심한 신경을 써야 한다.

희토류의 가격은 보통 각 원소별로 산화물이나 금속

Table 6. Gross value of rare earth market, 2008

Item	Value in average	Gross value in \$m.	Market share, %
Catalysts	3\$/kg, REO	75	4%
Glass	2\$/kg, REO	25	1%
Polishing	5\$/kg, REO	75	4%
Metal alloys	8\$/kg, REO	200	12%
Magnets	25\$/kg, REO	750	44%
Phosphors	50\$/kg, REO	500	29%
Ceramics	7.5\$/kg, REO	50	3%
Others	5\$/kg, REO	50	3%
Total	13\$/kg, REO, avg.	1600-1800 m\$	100%
Bastnäsite concentrate, REO basis		5.51\$(2008)	
Monazite concentrate, REO basis		0.54\$(2007)	
Mischmetal, metal basis, metric		5-6\$(2007)	
Rare earth chloride, kg		8.79\$(2006)	
Pr-Nd Mischmetal, kg		28.12\$(2006)	
Basic mischmetal, kg		10\$(2006)	
Cerium compound, kg		2.8\$(2007)	
Ce-La metal(China), kg		5.5\$(2007)	
Nd metal, metric ton		28.12\$	
Dy metal, f.o.b, kg		111\$	
Sc oxides(99%)(3N)(4N), kg		700\$, 1,400\$, 1,500\$(2007)	
Sc metal(99%)(3N), ingot		124\$/gr	
Sc rod(3N), 2 gr		497\$/φ=10.0 mm	
REO foil, 0.025 mm, argon ampoul		149\$/25 mm×25 mm	
Yttrium, kg		5,500\$	

source: Roskill, USGS

으로 계산하며, 산화물보다는 금속 가격이 비싼 편이다. 희토류는 산화물이나 금속 이외에도 원광석으로도 거래가 되나 모나자이트는 톤당 정광 가격으로 계산되며, 모나자이트 이외 제노타임 등도 kg으로 거래를 하고 있으나, 이외 희토류 광석을 원광으로 판매하는 경우는 드물다 (Table 6).

현대에 산업이 발달함으로서 희토류는 특히, 첨단산업에 많이 활용되는데, 촉매, 유리공업, 연마제, 형광체, 세라믹 등으로 흔히 쓰이고 있지만 일본, 미국, 프랑스, 독일과 같은 선진국에서는 첨단 제품에 많이 활용하고 있다. 이러한 제품들은 희토류의 범용적인 용도와는 달리 금속 봉이나 판 (foil)과 같은 특수 용도로 사용하고 있어 그 가격도 매우 비싼 편이다. 디스포시움 (Dy)의 금속 가격은 kg당 111불, 스칸디움의 가격은 산화물 가격이 kg 당 700불, 스칸디움 금속 가격은 무려 gr 당 124불에 달한다. 희토류의 경우도 판 (foil)과 같은 특수 제품으로는 25 mm25 mm당 149불에 거래되고 있어 첨단 제품, 순도, 금속 잉고트 등 생산품에 따라 가격 차이도 매우 크다 (Table 6).

2.5. 희토류의 이용 현황과 그 전망

향후 희토류는 전통적으로 쓰던 하이브리드 자동차, 컴퓨터, 전자, 휴대용 장비 등과 함께 자동차 촉매, 영구자석, 충전용 배터리 등에 수요 증가가 예상된다. 현재 희토류 시장은 고순도의 희토류 제품들의 수요가

증가하고 있는 추세이며, 세리움이나 네오디미움의 석유정제 촉매용 수요가 증가될 것으로 예상 되고, 희토류 영구자석의 소비도 2012년까지 10%에서 16% 증가한 50,000톤으로 수요 증가가 예상된다. 장래 희토류의 수요 증가는 하이브리드 자동차의 충전용 NiMH 배터리 증가가 예상되며, NiMH 배터리는 핸드폰, 노트북, 포터블 DVD, CD, MP3, 디지털 카메라, 캠코더와 같은 휴대용 기기의 사용 증가가 예상되기 때문에 수요 증가를 예상할 수 있다. 희토류의 사용 증가는 광섬유나 의학용 기기에도 사용 증가가 예상되며, 희토류 자석을 사용하는 냉장고가 상용화될 경우 희토류 합금의 사용 증가가 예상된다 (Kim, 1990, Yu, 2005).

현재 희토류 자원은 모나자이트내의 토리움 (Th) 함량 때문에 주로 바스트나지트를 활용하고 있는데, 향후 핵 테러리스트들의 핵시설 공격으로부터 피하기 위해 핵연료로 우라늄 대신 토리움을 사용할 경우 모나자이트의 사용도 예상 할 수 있다.

지금까지 희토류를 전통적으로 이용하는 현황을 정리해 보면 다음과 같다 (Table 7).

① 산화 희토류

바스트나지트를 소성하여 혼합 희토산화물을 만드는 데, 오래 동안 TV 브라운관이나 카메라, 복사기 등 광학유리 연마제로 사용되었지만 최근에는 PC HDD의 디스크, 액정 유리 등 한층 더 고급 용도에 수요가 확대되고 있다.

Table 7. Rare earth and it's application

elements	atomic number	sym-bol	chemical formula	applications
Lanthanum	57	La	La ₂ O ₃	glasses, ceramics, catalyst (automobile), paint
Cerium	58	Ce	Ce ₂ O ₃	abrasive, glasses, catalyst, paint, mischmetals
Praseodymium	59	Pr	Pr ₆ O ₁₁	ceramics ,glasses, paint
Neodymium	60	Nd	Nd ₂ O ₃	permanant magnetics, catalyst, IRfilter, glasses, laser
Promethium	61	Pm	Pm ₂ O ₃	fluorescent substances, small nuclear power battery, measuring instrument
Samarium	62	Sm	Sm ₂ O ₃	permanant magnetic, microwave- filter, nuclear power
Europium	63	Eu	Eu ₂ O ₃	fluorescent substances
Gadolinium	64	Gd	Gd ₂ O ₃	optical measuring instrument, ceramics, glasses
Terbium	65	Tb	Tb ₄ O ₇	fluorescent substances
Dysprosium	66	Dy	Dy ₂ O ₃	fluorescent substances, ceramics, nuclear power industry
Holmium	67	Ho	Ho ₂ O ₃	ceramics, laser, nuclear power industry
Erbium	68	Er	Er ₂ O ₃	ceramics, optical fiber, laser ,nuclear power industry
Thulium	69	Tm	Tm ₂ O ₃	electric beam tubes, medicals
Ytterbium	70	Yb	Tb ₂ O ₃	metallurgy, chemical industry
Letetium	71	Lu	Lu ₂ O ₃	single crystal
Scandium	21	Sc	Sc ₂ O ₃	alloy, electric beam tubes
Yttrium	39	Y	Y ₂ O ₃	capacitors, fluorescent substances, sensors, radar, superconductors

source; Rare Earth and Application Technology

② 산화 세리움 (CeO₂)

자동차의 배기가스로 나오는 HC, CO, NOx의 정화용 삼원 촉매로 사용되고 있고, 지구 환경 보전을 위한 폐 가스 규제 강화에 따라 향후에도 수요가 확대될 것으로 생각된다. 또, 브라운관의 소재제로서 첨가되며, 자외선 차단용으로 자동차 유리에 첨가된다.

③ 산화 란타넘 (La₂O₃)

고굴절-저분산 유리 렌즈 제조에 사용되고 있는데, 최근에는 디지털 카메라에 사용되고 있다. 또, 세라믹 컨덴서의 수요 확대도 예상된다.

④ 산화 사마리움 (Sm₂O₃)

Sm-Co 자석이 실용화된 1975년경부터 사용되기 시작하였는데, 사마리움은 거의 전량 Sm-Co 자석용으로 사용되고 있다. 성분적으로 사마리움 금속과 코발트 합금이 주로 쓰이며, 철, 지르코늄 등이 더해진 소재들이 사용된다. Sm-Co 자석에는 소결자석과 수지에 함성된 bond자석이 있지만, 대부분이 소결자석이다. Nd,Fe,B 자석의 출현으로 Sm-Co 자석의 생산량은 줄어들고 있다.

⑤ 산화 네오디움 (Nd₂O₃)

Nd,Fe,B자석은 IT산업에 중요한 역할을 하는 재료인데, 그중 네오디움 자석이 많이 사용되고 있다. 향후에는 플라스틱 네오디움도 함께 많이 사용될 것으로 예상되며, 고온 특성 향상을 위해 디스프로슘을 첨가하여 사용한다. 자동차용으로 첨가량이 증가 하고 있고, 의료용 기기의 MRI, 휴대 전화 진동 모터나 스피커 용도도 증대되고 있다. 산화 네오디움은 온도 보상용 세라믹 컨덴서, 필터로도 사용되고 있고 각종 기기의 기판에 사용되고 있다.

⑥ 산화 유퀴피움 (Eu₂O₃)과 산화 이트륨 (Y₂O₃)

산화 유퀴피움 (Eu₂O₃) 과 산화이트륨 (Y₂O₃) 이 가장 많이 쓰이는 용도는 형광체이다. 적색 형광체는 컬러 TV의 브라운관에 도포재로 사용되나 3파장 형광등으로도 사용되고, 빨강, 청, 녹색 3성분의 형광체를 합성시켜 자연광에 가까운 빛을 내는데 사용하기도 한다.

⑦ 미시메탈

미시메탈은 혼합희토류 금속으로서 라이터돌로 처음 사용되었다. 현재도 일회용 라이터돌로서 많이 사용되고 있다. 공업용으로는 주로 철관, 자동차의 crankshaft 등에 사용된다. 주철의 흑연구상화제, 철강의 탈산제, 내열 알루미늄 합금이나 철강의 아연도금용으로 첨가되기도 한다. 최근에 주요한 용도로는 전지 수명, 용량이 우수한 니켈-수소 2차 전지에 사용되고 휴대 전화, 하이브리드 자동차 수요 증가에 따라 미시메탈 수요는 증가할 것으로 예상된다.

⑧ 기타 희토류 금속

광자기 디스크의 기억 매체에 테르븀 (Tb) 이 사용된다.

⑨ 염화희토류

용액 형태로 석유 접촉 분해촉매제 (FCC) 인 합성 제올라이트에 흡착하여 사용한다.

세계 희토류 시장은 중국과 일본이 주도하고 있는데, 중국은 희토류 자원뿐 아니라 관련 기술 그리고 일본은 희토류 관련 첨단기술 분야에서 선도하는 국가로 볼 수 있다. 그러나 희토류를 많이 사용하는 일본은 최근 중국이 희토류 관련 제품의 수출제한 조치를 취함으로써 일본 산업계에 큰 비상이 걸렸다고 볼 수 있다.

이들 양국은 1988년부터 매년 희토류교류회의를 개최하면서 양국간의 희토류 관련 기술 교류와 정보 교류를 하고 있었으나 2006년부터는 사정에 의해 중단된 상태였다. 양국간의 희토류교류회의가 중단된지 3년만인 2009년에 동경에서 다시 교류회의가 진행되었는데, 세계 희토류 이용기술의 선도국인 일본과 희토류자원 부국인 중국을 중심으로 한 이러한 교류회의는 향후 세계 희토류 시장을 전망해 볼 수 있는 잣대여서 회의 자료를 중심으로 논의된 희토류 관련 최신 기술동향을 정리해 보고자한다.

중국의 희토류 정련 기술 현황

중국에서 희토류자원의 3대 개발 지역은 포두 (包頭) 혼합형희토류광상 (내몽고 자치구), 남방 이온형 희토류광상, 사천 바스트나자이트 희토류광상 등이다. 2007년의 정련 제품의 생산량은 총 12.6만 톤으로, 세계 생산량의 90%를 차지하고 있다. 중국은 희토류 원소의 분리 정련 기술이 매우 높은 수준인데, 보통 순도 99~99.999%의 희토류 산화물이나 염화물을 생산하고 있다. 현재까지는 희토류광석 처리를 암모니아, 불소 등을 이용하여 왔지만 환경 문제로 인하여, 최근에는 황산법으로 전환하고 있으며, 포두 광석의 8할은 이 황산법으로 처리하고 있다.

일본의 희토류 리사이클사업

일본은 희토류자원이 전무하여 전량 해외로부터 수입에 의존하고 있다. 따라서 부족하고 불안정한 희토류자원을 조금이라도 국내에서 회수하려는 노력을 기울이고 있으며, 그 중 하나가 희토류의 리사이클 사업이다. 희토류 원소는 제품 중에서 사용하는 량이 소량으로, 제품 사양도 다양하고, 리사이클이 어려운 원소이지만, 일본 업계의 사정상 희토류 리사이클이라도 추진을 할 수 밖에 없는 실정이다. 현재 상태로는 공정 내 리사이클은 희토류 자석재료에서 80% 이상 하고

있는 것 외, Ni-MH전지, RE형광체에서 약간 회수하고 있다. 2차 전지로부터 니켈, 카드뮴은 많이 회수되고 있지만, 희토류 원소는 형광체에서나 약간 회수하는데 그치고 있다.

석유 천연가스·금속광물자원기구 (JOGMEC) 의 희소금속 리사이클 기술개발 추진

JOGMEC에서는 광석 이외의 금속 자원 회수 기술 개발 사업을 실시하고 있는데, 현재 대상 원료로서 하이브리드 자동차 용 2차 전지(니켈수소전지), 초경 공구 스크랩, 폐 전자·전기 기기(휴대 전화, 음악 플레이어, 디지털 카메라, 하드 디스크, 비디오 테크 등)를 선정하여 기초적인 회수 기술 개발 사업을 실시하고 있다. 회수 대상 금속은, 니켈, 코발트, 희토류 원소, 텅스텐, 탄탈륨 등이다.

앞으로 희토류 원소를 함유하는 공정 쓰레기, 폐 제품으로부터 희토류 원소 회수 기술 개발도 실시할 예정이다. 희토류 원소를 함유하는 원료로서 사용이 끝난 세륨계 유리 연마재, 형광체등이 그 대상이다.

포두 희토류 자원 종합 이용 계획

내몽고의 포두광산에서 산출되는 철광석, 니오븀, 희토류 자원의 종합개발을 계획하고 있다. 포두광산은 세계 매장량의 71%를 차지하고 있는 큰 광산이다. 포두광산의 지질 조건은 매우 복잡하지만, 품위가 높은 주광구, 동광구, 저품위의 서광구로 구성되어 매장량은 약 6,600만 톤에 달하고 있다. 희토류 원소는 철 생산 시 부산물로서 선광 공정에서 분리 회수되고 있다. 주광구, 동광구의 희토류 원소 품위는 약 4%로, 인(0.4%), 불소(1.46%) 등 불순물이 비교적 낮은 편이다. 연간 채굴 능력은 1,200만 톤이지만, 자원 보호를 위해서 900만 톤을 채굴함과 동시에 희토류, 니오븀광석 등을 약 1.7억 톤 퇴적하고, 장래 개발을 위해서 비축하고 있다. 또, 타지의 광산 개발에도 적극적으로 투자를 실시하고, 타지의 광석 공급도 동시에 실시함으로써, 기존의 광석을 보존 하면서 지속적인 개발을 하고 있다.

희토류 원소 나노 기능성 재료의 합성 및 응용 기술 개발

희토류 원소를 사용한 발광재료, 초거대 자기저항 재료, 자성체 재료, 자기 광학 나노 결정 박막, 희토류 안정 산화 지르코늄, 세리아-산화 지르코늄 나노 결정 고용체 등의 나노 재료에 대해 산화물 합성, 형성 기구, 형상 진화, 결정 구조, 초격자 특성, 표면 광학 특성, 표면 선택 촉매 작용, 세리아 나노 결정 등의 기초 연구를 실시하고 있다.

희토류 신 질화물계 형광체의 합성과 발광 특성 기술 개발

형광체는 주로 청, 초록, 빨강의 삼원색을 발광하는 재료들인데, 이에 Eu, Tb, Ce, Y, La 등의 희토류 원소가 이용된다. 그 용도로는 CRT, 조명, PDP, X선 증감지, 야간 표시판 (축광형) 등 다양하다.

가정용 조명에서는 종래 백열전구나 형광 램프가 사용되었지만, 수명이 길고, 전력 소비가 적은 특징을 가지는 「백색 발광 다이오드 (백색 LED)」가 차세대 조명으로서 주목받고 있다. 그 실용화에는 LED 소자의 청색빛이나 보다 자연광에 가까운 색조를 가지는 것이 필요하지만, 산화물계 대신 질화물계 의 화합물이 주로 사용되며, 실용적인 사양의 형광체가 최근 개발되고 있다.

신 희토류 발광재료의 연구

희토류를 함유하는 형광체 재료로서 액정 디스플레이 (LCD), 발광 다이오드 (LED), 플라즈마 디스플레이 (PDP) 분야의 재료 연구를 중국에서 수행하고 있는데, LED 형광체에는 안정성, 발광 효율을 높이는 연구, 질화물 형광체의 합성 기술 등의 연구를 하고 있으며, 국제적 수준의 LED 형광체 개발을 하고 있다. PDP와 관련해서 탁월한 일차 성능을 가지는 재료의 개발을 할 능력을 보유하고 있으나 그 응용은 앞으로 검증이 필요하다.

희토류 원소의 연료 전지 응용

연료 전지란 연료와 산화제를 공급함으로써 계속적으로 전력을 꺼낼 수 있는 화학전지이다. 화학 에너지로부터 직접 전기 에너지로 변환할 수 있기 위해, 종래의 열기관에 의한 발전에 비해 변환 효율이 높다. 또, 연료 전지는 열과 전기의 코제네레이션 (cogeneration)에 의한 높은 발전 효율과 소형화가 가능하고, 소음 진동이 없으며, 유해 물질을 발생하지 않는 등의 특징을 가지고 있다. 현재의 기술개발 과제로서 고체 산화물형 연료 전지 (SOFC : Solide Oxide Fuel Cells)의 고체 전해질, 전극 (양극, 음극), separator(인터 코넥터) 등의 재료 개발이 되고 있다. SOFC는 연료-인터 코넥터 (가스불투과성)-공기(다공성)와 공기-전해질 (가스불투과성)-연료 (다공성) 를 누적인 구조를 가지는데, 재료 사양이 엄밀하고, Y, Sc, Gd, La, Ce, Yb 등의 희토류 원소를 사용하는 소재 개발이 급선무이다. 이 분야에서 일본은 세계의 최첨단에 위치하고 있는 것으로 보인다.

희토류 원소 촉매 재료의 응용과 발전의 추세

자동차 배기가스용 촉매에 희토류 원소를 사용하여

귀금속의 사용을 줄이는 기술 연구를 실시하고 있다. 중국의 기술린은 유황 함유량이 많기 때문에 염가의 촉매를 개발하면, 실내 공기 정화 장치, 오수처리 기술에 응용이 가능하다.

희토류 원소의 세라믹스 분야 응용

희토류 원소의 특성으로서 ① 안정인 산소 결합 (내열성, 내부식성, 내마모성), ② 격자 결합이 있는 결정 구조 (이온 도전성), ③ 발광성, ④ 重원소 (고굴절율, 고유전율 (高誘電率)), 양이온 반경 0.1 nm정도 (첨가하는 것만으로 전기 특성의 조절이 가능) 등의 특징을 가진다. 이러한 특징을 이용해, 희토류 원소를 사용한 세라믹스가 개발되어 연료 전지, 정보 통신·가전, 의료·복지, 환경·에너지 등의 넓은 분야에서 이용되고 있다. 희토류 원소의 응용 분야로서 휴대 전화, 카메라용 비구면 렌즈 (La), 유전체 필터 (송수신 주파수의 선택-Sm), 디스플레이 (백 라이트용 형광체) (Eu, Tb, Y, Ce), 원통 콘덴서 (소형 고용량-Dy, Nd, Y) 를 예로 들 수 있다. 향후의 기술개발 방향은 희토류 원소를 첨가하여 고성능화, 자원 절약화 (기능재의 소형화, 구조재로 희토류 원소 사용량의 저감), 신소재 개발 등을 생각할 수 있다.

세륨의 새로운 용도개발 기술 - CeO₂ 나노 입자의 합성과 응용

자외선 피해가 확대되는 요즘, 유기계 자외선 차단제보다 안전한 무기계 자외선 차단제의 개발이 필요한데 종래의 Ti, Zn계의 무기계 자외선 차단제에서 산화 세륨을 사용한 차단제의 개발을 완료하였다. 산화 세륨 나노 입자는 산화 티탄이나 산화 아연 나노 입자에 비해 가시광선역 투명성이 높고, 400 nm이하의 자외선 차단효과가 우수하지만, 유기물에 대한 산화 촉매 활성이 높아 (인체나 유기계 소재의 사용이 어렵다), 피부에 발랐을 경우 황색을 나타내는 결점이 있었다. 또한, 판상의 티탄산 (이것 자신 자외선 차단 효과가 있다) 상에 나노 입자를 부착시키는 방법을 개발했는데, 사용 감축의 향상 (피부상에 유독성 향상), 뛰어난 자외선 차단, 자연스러운 색조, 광촉매 활성을 저감시킨 자외선 차단제를 개발하고 있다.

중국의 희토류 연마제 산업 현황과 개발 동향

중국에서 산화 세륨을 중심으로 하는 연마제의 연구는 80~90년대는 정체되었지만, 2000년부터 활발히 연구를 진행하고 있다. 이 분야의 연구로서는 산화 세륨의 초미립자를 생산하는 기술, 연마제의 입도, 계면활성, 결정 연구와 연마 성능의 개선연구 등이다. 향후 중국에서 광전자, 정보 분야의 발전과 함께 연마제 수요도

크게 성장할 것으로 보여, 중국 기업들은 기술개발을 강화하고 있으며, 제품의 자체 관리도 강화해, 끊임없는 제품의 관리와 기술 수준의 향상, 제품의 질 향상을 도모하여 국제 시장을 리드한다는 정책을 펴고 있다.

희토류 원소 박막 자석 제작 및 응용 기술 개발

전자기기의 소형화에 따라, 영구자석 모터의 소형화 기술개발이 가속되고 있는 것이 세계 추세이지만, 소형 모터 등에 응용하는 박막 자석의 개발이 급선무가 되고 있다. 이를 위한 기술개발 목표는 두께 200 μm 이하의 박막 자석을 만드는 것이다. 박막 자석에는 여러 두께의 박막 자석을 신속히 제작하는 기술개발이 필요하고, 고속 성막 기술의 개발이 필요하다. 지금까지 성막법으로서 스푸터링, 플라즈마식, 전착 등의 방법이 있었지만, 현재 주류가 되고 있는 Nd-Fe-B계 자석에 대해 최적의 방법이 아니기 때문에, 현재 PLD (Pulse Laser Deposition) 법을 사용하고 고속 성막으로 다주기 적층형 나노 구성체 자석의 제작 기술 개발을 하고 있다. 이 방법의 특징은, 타겟재에 펄스 레이저를 방사해 기판상에 성막 하는 것으로, 타겟재의 양호한 전사성, 고속도 성막 (~90 μm/h), 광범위한 압력 하에서 성막을 가능하게 할 수 있는 것이다. 이렇게 제작된 등방성 후막자석을 이용해 ① 서브 밀리 사이즈 모터(직경 5 mm, 두께 0.8 mm, 자석후 200 μm, 고속 회전 (15,160 rpm), ② 마찰 구동 전자 마이크로 모터 (저속 회전으로 큰 회전 토크를 발생, 회전자의 두께는 384 μm), ③ 소형 스위칭 머신 (직경 150 μm, 길이 1 mm정도의 나선 모양 모터, 액체에서 나선 모양으로 회전하면서 추진) 등의 극소 모터를 제작할 수 있어 그 응용범위는 매우 넓다고 할 수 있다.

향후 희토류 자석의 발전과 시장동향

근대 영구자석은 1917년 本多光太郎(일본 동북대학)에 의해 KS 강철을 발명한 일본 기술이 시조였다. 그 후 자석은 고효율화, 소형화, 경량화의 기술개발을 하고, 1960년대에 미국이 영구자석을 개발했던 시기가 있었지만, 1983년 일본이 NdFeB계 자석의 발명 (스미토모 특수금속(주사) 이래, 현재는 일본의 자석 기술이 세계를 석권하고 있다.

실용적 자석으로서는 1970년대까지 알니코 자석, 1990년대까지가 페라이트 자석의 시대였지만, 현재는 희토류 자석의 시대가 되고 있어 소결 Nd자석, 본드 Nd자석이 주류가 되고 있다. 생산량에서는 중국의 생산이 50%를 넘어 세계 최대의 생산국이 되고 있다. 희토류 자석에 대해 니오디움의 주재료로서 사용되지만, 보자력의 확보를 위해서 디스프로슘의 첨가

(7~10%)가 불가피하다.

자석의 이용 분야는 다방면이지만, 컴퓨터 HDD, CD, DVD 플레이어 등에 쓰이는 스피들 모터 (디스크 회전용)로서 사용되는 것 외, 휴대 전화의 진동용 소형 모터(직경 3mm, 길이 6mm의 소형 모터로 텅스텐 추로 진동), 의료용 화상 진단 장치(MRD)의 자계 발생용 영구자석 등에 이용된다. 이와 같이, 자석 기술 개발은 고효율화, 소형화, 경량화의 역사라고 볼 수 있다. 또 자동차용으로도 많은 자석이 사용되고 있는데, 현재의 승용차에서는 아직 페라이트계 자석의 사용이 주이며 희토류 자석의 사용은 한정적이다. 그렇지만, 향후 하이브리드 자동차 (HEV 또는 HV)로 구동용 모터나 발전기에 니오디움자석이 사용되고 보급되면, 희토류 자석의 수요는 급격하게 높아질 것으로 예상할 수 있다. 2020년에 있어 하이브리드자동차 (HEV) 점유율이 20% 정도로 가정하면, 약 16,000톤의 니오디움자석의 수요가 있을 것으로 예상된다. 자원측면에서 보면 니오디움자석의 수요가 높아졌을 경우, 보자력 유지를 위한 디스프로슘의 공급이 불안할 수 있어 디스프로슘자원의 확보와 기술개발이 요구된다.

자석 설계에 있어서 시뮬레이션의 활용 기술 개발

희토류 자석중 Nd-Fe-B계 자석이라고 해도 20 여종이 있어, 디스프로슘의 첨가량에 따라 재질이 변화하는 등 여러 종류가 있으므로, 최적인 자석 재료를 설계하기 위해서 시뮬레이션이 필요하다. 자석재에서는 고가의 디스프로슘이나 테르비움등의 중희토류 금속을 첨가하는 만큼 성능 향상은 되지만, 과잉 사양에 주의할 필요가 있다. 즉, 최적 소재의 선택은 ① 고온 특성이 뛰어난 것, ② 자석 단체로서의 동작과 어셈블리 시 자석의 동작이 다른 것 등을 고려하여, 사용 환경 조건하에서 최적 자석을 설계하는 기술 개발 등을 일본에서는 추진하고 있다.

중국의 희토류 영구자석 산업

중국에서 Nd-Fe-B계 자석 생산량은 비약적으로 성장하고 있다. 2007년에는 세계 생산 62,000톤 가운데, 중국의 생산량이 48,000톤을 차지하고 있다. 특히 1997년부터 2007년에 걸쳐 중국의 생산량은 연평균 30%가 증가했으며, 세계 비중은 42%에서 80%까지 상승하였다. 수요는 하드 디스크 드라이브, 광학 디스크 드라이브, 핵자기 공명 장치 (MRI) 등의 분야에서부터 전동 자전거용 모터까지 확대되고 있다. 특히 전동 자전거는 급속도로 보급되고 있어, 2008년 생산 대수는 1,800만대에 달해, 5,400톤의 자석이 사용되었다.

향후, 원유 채굴 장치, 풍력 발전 장치 외, 하이브리드

자동차, 리니어 모터카 등에 이용이 확대될 것으로 보여 그 수요는 더욱 확대될 것으로 예측된다.

일본의 희토류 시장의 분석과 미래 전망

일본의 희토류자원 수입량은 41.4천 톤 (2006년)을 정점으로, 2008년은 34.4천 톤을 수입하였다. 수입원으로서 중국의 비율이 가장 높아, 2007년은 90%, 2008년은 77%였지만, 2008년 이후는 중국 의존율이 떨어지고 있다.

일본의 희토류 원소의 용도 분야로서 최근에는 자성 재료용으로 증가되고 있으며, 향후의 시장으로서 하이브리드 자동차(모터용 자성재), 전지 분야 (니켈수소전지 전용의 수소흡장합금), 형광체 분야에서의 희토류 수요가 급속도로 성장할 것으로 예상된다. 한편 희토류 자원 개발사업으로는 세계에서 12건 정도의 개발 프로젝트가 있다. Mt. Weld 프로젝트 (호주)는 희토류가격 저하로 중단, ThorLake (캐나다)는 한랭지에서 개발 조건이 열악한 점 등 신규 프로젝트에 개발여건이 좋지 않은 것으로 여겨진다. 금융 위기의 영향으로, 2009년은 희토류 수요는 정체되었지만 2010년 이후는 성장이 기대된다. 중국의 희토류 원료의 수출에 대한 중국 정부의 영향력이 크기 때문에, 일본은 앞으로도 중국과의 협력 관계를 유지할 것으로 보이나 위험도를 경감시키기 위해서는 한국과 베트남과의 협력도 중요할 것으로 보인다.

수소흡장합금기술

절정 격자 중에 수소를 저장할 수 있는 합금으로, 희토류원소-Ni/Co계, Ti-Mn계, Ti/V/Cr계 등의 합금이 있다. 이러한 희토류원소-Ni/Co계는 하이브리드 자동차용 니켈수소전지, Ti/V/Cr계는 연료 전지 자동차용 수소탱크 등에 이용이 기대되고 있다. 수소흡장합금은 동일 용적에서는, 기체를 압축해 고압 가스로서 수소를 가두는 것으로 다량의 수소를 소장할 수 있는 성질을 가진 합금이다. 니켈수소전지에서는 수소를 포함한 상태로 음극재로서 사용된다. 이미, 니켈수소전지는 건전지와 같은 용도 및 하이브리드 자동차용 전지로서 넓게 보급되어 있다.

연료 전지 자동차에서 연료인 수소를 저장하는 탱크로서 수소흡장합금을 사용한다. 현재 토요타 자동차와 산업기술 종합연구소가 개발한 합금의 수소 저장 능력은 체적 밀도로 수소 50 g/L (세계 최고 수준)이며, 이것은 실온, 350 기압에서 수소 가스 저장량의 약 2배의 체적 밀도가 된다고 한다.

일본산업기술 종합연구소에서는 수소저장재료 첨단 기반 연구사업 (2007~2011년)을 수행하고 있다.

중국 희토류산업의 발전 상황

2007년 중국의 희토류 산업 전체의 생산 총액은, 전년 대비 50% 상회하는 243.8억 불이었지만, 2008년은 208억 불로 감소했다. 또 2007년의 희토류 광석의 생산량은 전년 대비 8.8% 감소한 12.08만 톤, 2008년은 12.2만 톤이었다. 2007년 희토류 재료의 생산량은 영구 자석 50,800 톤, 형광체 8,481 톤, 수소흡장합금 18,600 톤, 연마재 7,523 톤, 배기가스 정화기 1,085만 세트로, 전년 대비 20%이상의 성장(배기가스 정화기는 8.5%)을 보였다. 2008년 중국의 희토류 자원 국내 소비는 8.63만 톤으로 전년 대비 18.9% 상회하였다. 무역에서는 2008년 수출량은 3.09만 톤이었다. 수출 중 일본이 1.49만 톤(48.2%)을 차지해 최대의 수출국이었으며, 그 다음으로는 미국, 프랑스였다. 2008년 수출량은 전체적으로 전년 대비 32% 감소하였으며, 대일본 수출도 2007년의 2.56만 톤에서 42% 감소했다.

중국 정부는 다음과 같이 향후 희토류 수급에 대한 전망을 하고 있다.

① 생산량을 조절하여 환경을 보호한다 : 희토류 수요는 확대되고 있어 안정적 공급이 무엇보다도 중요하다. 최근 채굴장에서 환경 문제가 발생하고 있는데, 특히 남부의 이온형 광상 개발에 대해 난굴, 리칭폐제 등 관리에 문제가 발생하고 있어, 관리 강화, 기술 개선을 실시하고 있다.

② 생산체제의 최적화, 통합을 추진한다 : 중국 희토류의 생산자는 중소 업자가 대부분이다. 향후 구조 조정, M&A에 의한 경영 통합, 경쟁력 강화가 필요하다. 이 때문에 내몽고, 남방 (강서) 등 3대 권역화를 추진한다.

③ 산업 체인을 늘려, 제품의 부가가치를 높인다 : 신소재 개발을 추진하고, 일본의 최첨단 기업과 응용 분야의 제휴를 강화한다. 기능성 재료 등 고 부가가치화를 추진한다.

일본의 희토류에 관한 정책

일본은 희토류는 고부가가치나 환경 부하 저감에 공헌할 수 있는 중요한 자원이라고 판단하고 일본의 뛰어난 이용 기술개발은 희토류 자원의 지속적인 이용에 공헌할 수 있다고 생각하고 있다. 일본과 중국은 희토류 무역으로 긴밀한 관계를 유지하고 있는데, 일본 정부의 정책으로서는 희토류 자원을 포함한 광물자원에 대해, 탐광 개발의 촉진, 리사이클 기술개발, 대체재 개발, 비축을 추진하고 중장기적이고 지속적으로 광물자원의 안정공급의 확보를 도모하고 있다. 리사이클에 대

해서는 제조 공정, 소형 가전, 소형 전자기기로부터의 회수, 대체재 개발로 인디움, 디스프로슘, 텅스텐, 백금, 세륨, 테르비움, 유토퍼움에 대한 연구 개발을 실시하고 있다.

3. 결 론

1) 최근 중국은 풍부한 희토류자원을 보유하고 있음에도 불구하고, 국내 자원을 보호하고, 절약하면서 개발, 이용을 지속적으로 추진한다는 명목 하에 희토류 관련제품의 수출제한 조치를 취함으로써, 향후 세계 희토류 자원산업의 조심스런 변화가 예견된다.

2) 자원측면에서는 세계 희토류 자원은 풍부하다고 볼 수 있다. 그러나 중국의 희토류 자원정책은 풍부한 희토류자원을 무기화하여, 타국의 희토류자원 개발에 제동을 걸어 영원히 세계 희토류 자원시장을 석권하려는 자원 전략이라 할 수 있다.

3) 향후 정련기술적인 면에서 중국은 희토류자원의 과잉 생산을 피할 수 없는 것이 현실이다. 따라서 미국, 일본, 호주, 캐나다 등 희토류자원 소비국들은 이러한 중국의 희토류 자원 정책을 이해하고, 중국 이외의 지역에서 희토류 자원 개발을 규모에 맞게 적정 개발을 할 것으로 예상할 수 있다.

4) 우리나라는 양질의 희토류자원을 확보하고 있으나, 광물학적인 문제점, 정련기술 미확보 등으로 개발이 지연되고 있는데, 희토류자원의 탐사보다는 광물학적 기초 연구와 정련기술 확보가 시급한 문제라 할 수 있다.

5) 현재 희토류자원은 전기 자동차의 개발, 장치의 소형화, 에너지 절약화 등 환경 부하를 저감하는 기술 개발에 필수적인 원소이며, 향후 그 수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다.

6) 희토류자원 산업은 「첨단 산업의 꽃」이라고 할 수 있는 만큼, 현대 산업에 매우 중요한 산업 중 하나이다. 현재 희토류를 이용하여 첨단 제품에 사용하는 용도 개발과 연구 개발도 중요하지만, 희토류를 사용한 소재 개발은 아직 미지의 영역도 많아, 향후 신소재 개발 영역은 무궁무진하다고 볼 수 있다.

사 사

이 연구는 조선대학교 “자원개발특성화대학사업”의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Elsevier (2010) Classification scheme of mineral deposits, 203-206.
- Henderson, P. (1982) Rare earth element geochemistry, 423-495.
<http://minerals.usgs.gov/minerals/commodity/>
<http://www.roskill.co.uk>
- Kim, H.G. (1990) Development and Application Technology of Rare Earth Magnet, KIET, 10-52.
- Vlasov, K.A. (1966) Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits, 205-267.
- Wang, S.G. (2006) World mineral resources annual review.
- Yu, K.W. (2005) Rare Earth and Application Technology, 1-19.

2010년 9월 1일 원고접수, 2010년 9월 28일 게재승인