

稀土類金屬의 製鍊과 工業的利用에 관한 考察(上)

Study on the Metallurgical-process & Industrial application of Rare-earth metals

李 瑠 根*

Lee, Chin Kun

- 1. 稀土類元素란
- 2. 稀土類元素의 性質
- 3. 稀土類의 資源
- 4. 稀土類金屬의 製鍊
- 5. 稀土類金屬의 工業的利用
- 6. 各國의 稀土類工業
- 7. 稀土類의 需給現況과 問題點
- 8. 맺는말

1. 稀土類元素란

稀土類金屬인 稀土類元素(Rare Earth Elements)는 周期表의 III A族의 元素番號 57번의 란탄늄(La)로부터 71번의 루테슘(Lu)까지의 15개元素(란타노이드라 부름)와 21번의 스칸듐(Sc), 39번의 이트륨(Y)를 합친 17개元素를 총칭해 稀土類元素라 한다.

<表 1>에 稀土類元素를 표시하는바 61번 프로메튬(Pm)은 天然에는 존재하지 않는 人工元素이고, 란탄늄 즉 원자번호 57번부터 61번까지의 元素를 輕稀土類라 부르고 62번에서 66번까지의 元素를 中稀土類, 67번부터 나머지 元素를 重稀土類元素라고 부르기도 한다.

稀土類의 歷史는 1787年 스웨덴의 이테류비(Ytterby)라는 작은마을에서 黑色鑛物이 발견됨에서 시작된다. 후에 핀랜드의 J. Gadlin이 이것을 연구해 1974年에 新元素 이트륨(Y)의 酸化物 「이트리아」를 발견했다.

稀土(Rare Earths)란 말은 그당시 붙여진 명칭으로 이 지구상에 극히 드물게 존재하는 흙이라 생각하였다. 1803년에와서 세튬(Ce)의

산화물이 발견되고 그후 이것들이 함유된 鑛石은 單一元素가 아니고 기타 많은 다른元素가 포함된

表 1 稀土類元素 一覽

原子番號	元素名	元素記號	原子量	原子價	備考
57	란 탄 늑	La	138.91	3	輕
58	세 튼	Ce	140.12	3, 4	稀
59	프라세오뎴	Pr	140.91	3, 4	土
60	네 오 뎴	Nd	144.24	3	類
61*	프로메튬	Pm	145.	3	元
62	사 마 튼	Sm	150.35	2, 3	素
63	유 로 튼	Eu	151.90	2, 3	中
64	가도리튬	Gd	157.25	3	稀
65	테 루 튼	Tb	158.92	3, 4	土
66	디스프로슘	Dy	162.50	3	元
67	호 루 튼	Ho	164.93	3	叢
68	에 르 튼	Er	167.26	3	稀
69	튜 튼	Tm	168.93	3	土
70	이트테르튬	Yb	173.04	2, 3	類
71	루 테 슘	Lu	174.97	3	元
21	스 칸 뎴	Sc	44.96	3	素
39	이트 륨	Y	88.91	3	

* 61Pm는 人工元素

* 金屬技術士(非鐵冶金) 韓國技術士會金屬分會長

것으로 판명되어, 최후로 루테슘(Lu)이 발견된 것은 1905年으로, 그간 100年이 걸렸다.

稀土라 하면 地球上에 드물게 존재하는 元素로 생각되나 실지는 地殼中에 상상이상으로 多量이 존재한다. <表 2>에 소위 크라크數로 표시한바와 같이 세륨은 동, 코발트보다도 많고, 이트륨도鉛보다 많다. 가장 少量으로 보고있는 튜륨(Tm)조차도 金, 銀, 水銀보다 훨씬 많고 카드뮴보다도 많아 비스마스量과 비등하다. 그런데 이제까지는

① 稀土鑛石이 단독鑛床으로는 거의 존재하지 않고 다른鑛石(예로 치탄鑛石 또는 錫鑛石 등) 中에 少量씩 포함되어 있어서 選鑛하기가 힘들었고

② 稀土鑛石으로부터 稀土類를 抽出함이 까다로웠으며

③ 稀土類의 化學的性質이 극히 類似하여 稀土類를 相互分離하기가 어려웠다.

④ 또한 單離한 稀土金屬을 쓸 用途를 아직 개발하지 못하였다.

이러한점들이 겹쳐 이제까지는 稀土類로 불려져 왔으나 이제는 ①에서 ④까지의 모든 문제가 해결되어 工業적으로 必要하게 쓰이는 元素가 되어, 요즘에는 Rare(稀)가 아닌 Hope(希)의 元素가 되고있어 希土類金屬으로 表記하고도 있다.

表 2 稀土類의 地殼中 存在度
(地殼中 重量 ppm)

Ni	Zn	Ce	Cu	Y	La	Nd	Co	Pb	Pr	Sm	Gd
75	70	60	55	33	30	28	25	13	8.2	6.0	5.4
Dy	Yb	Er	Ho	Eu	Tb	Lu	Tm	Hg	Ag	Au	
4.8	3.0	2.8	1.2	1.2	0.8	0.5	0.5	0.08	0.07	0.004	

理科年表(1983) 東京天文台編

2. 稀土類元素의 性質

2.1 稀土類의 化學的性質

周期表에서 稀土類元素의 位置는 알카리土類

의 이웃에 있다. 化學的性質이 이와 倅 닮았기 때문에 3價의 알카리土類라고도 불리운다. 鹼酸化하기가 쉽다.

稀土類鑛物을 아세톤등으로 洗의 기름기를 닦아내고 방치해두면 즉시 洗에 산화물이 생긴다. 이러한 성질은 原子量이 적은쪽의 輕稀土類 元素(57번의 La~60번의 Nd)에서 특히 더하고, 重稀土類(67번의 Ho~71번의 Lu)쪽으로 가면 다소 耐酸化性이 좋아지고, 또한 合金化하든가 純度を 높이면 酸化에 대해 강해지는 경향이 있다.

稀土類元素는 모두 最外殼電子가 S^2P^6 型이다. 元素의 化學的性質은 元素의 最外殼電子의 配置와 關係가 있다는 一般原則으로 보아, 稀土類元素의 化學的性質이 극히 類似함을 알 수 있다. 그래서 稀土類元素의 相互分離가 어려운 것이다.

稀土類의 化學的性質은 「란타니트收縮」이라는 現象으로 설명된다. 란타니트收縮이란 La^{+3} 부터 Lu^{+3} 에의 順으로 元素의 이온半徑이 감소해가는 현상이다. 그 결과 La보다 Lu쪽이 電子를 분리시키기가 어려워지고 따라서 鹽基度(염기도란 電子의 분리도로 정의된다)는 La부터 Lu로 감에 따라 감소된다. 한편 電子親和力은 La에서 Lu쪽으로 強해진다.

이러한 鹽基度の 大小는 이온의 加水分解, 錯體의 生成反應, 複合錯化合物의 合成反應등에 영향을 주며, 또한 電子親和力의 大小는 酸化還元電位差의 大小, 水素解離壓의 大小등에 關連된다. 이러한 化學的性質의 差가 稀土類의 相互分離, 최근 話題가 되고있는 金屬水素化合物에 의한 水素貯藏등에 응용되고 있다.

2.2 稀土類의 物理的性質

稀土類의 物理的性質의 差는 4f軌道의 電子數가 原子番號의 增大와 더불어 規則적으로 增加하고 있음에 起因한다. (元素의 物理的性質은 內側의 電子配置에 影響됨이 一般原則임)

稀土類의 利用에서 칼라텔레비의 螢光體, 永久磁石등 光學的性質과 磁氣的性質을 利用한 것이

많은것은 이러한 4f軌道電子의 舉動에 바탕을 둔 것이다.

4f軌道는 內側軌道 이므로 外側軌道에 보호되어, 따라서 다른 周邊元素에 의한 外亂을 받지않는 성질이 있다. 그러기에 독특한 光學的, 磁氣的 性質을 나타낸다. 例로 Y, La, Gd 등은 알미나등과 같이 可視部에 吸收되는 현상을 나타내지 않는다. 더구나 4f軌道의 特性으로 여러가지 添加劑를 加해도 稀土類本來의 特性(이 경우 可視部에 흡수되지 않는다는 특성)에 영향이 없다. 이런 성질을 살려 光學렌즈添加劑, 透明세라믹스用母體등, 無色透明을 필요로하는 機能材料의 主原料 또는 補助原料가 된다. 또한 電子線 등의 에너지로 4f電子가 勵起되어 發光하는 特性을 살린것이 칼라테레비의 赤色螢光體에 쓰이는 유로븀(Eu)이다.

稀土類의 磁氣的性質에 대해 概說한다. 磁性材料로 알려진 鐵, 코발트, 니켈등에서는 磁性에 관계되는 軌道(이 경우는 3d軌道 이다)가 最外殼에 있기때문에 外部로부터의 영향을 받기가 쉽고, 磁力이 충분치 않다. 이것에 비해 稀土類의 4f軌道에 바탕한 磁性은 外部의 영향을 받지않음으로 稀土合金 또는 金屬間化合物은 보다 강한 磁石을 형성됨이 豫想되는 바이고 事實도 S_m 과 C_o 의 金屬間化合物이 永久磁石으로 實用的으로 最高의 성능을 보이고 있다.

3. 稀土類의 資源

3.1 稀土類鑛石

稀土類元素는 鑛石外에도 天體 또는 生體中에서도 檢出되고 있다. 그러나 그 存在는 稀薄하다. 또 스칸듐(S_c)이외의 全稀土類가 共存하는 특징이 있다.

鑛石으로는 約 250種類의 稀土類鑛物이 있다고 알려져 있으나 工業的으로 널리 이용되고 있는 것은 <表 3>에 표시한 3種類의 鑛物이다.

(1) 모나자이트(Monazite)

모나자이트는 一次鑛床의 風化產物로서 거의가 錳鑛(루질 및 일루메나이트), 질코늄鑛

表 3 稀土類元素의 原料鑛物

鑛物名	化學組織	比重	色	代表的產地
모나자이트 monazite	(Ce,La,Th) PO ₄	4.6 ~ 5.4	赤, 赤褐, 黃褐	오스트라리아 인도, 브라질, 말레이시아, 中 國, 남아프리카, 스리랑카
바스트내사이트 bastnasite	(Ce, La) CO ₃ F	4.9 ~ 5.2	黃~ 赤褐	美國칼리퍼니아 어, 中國, 소련, 자이루
제노타임 Xenotime	(Y,Ce,Er) PO ₄	4.4 ~ 5.1	黃褐, 赤褐	말레이시아, 타 이, 中國, 오스트 라리아

(질콘)등의 광물과 共存한다. 현재의 主鑛床은 오스트라리아, 인도, 브라질, 東南아세아諸國등의 海岸 및 河岸에 존재하는 漂砂型鑛床에서 黑重砂(heavy sands)中에서 채광된다.

모나자이트는 세륨, 란타넘등의 輕稀土類를 주체로 하는 磷酸鹽鑛物로 放射性元素인 토륨(T_h)을 상당량 포함하고 있다.

韓國의 河川砂에서 重砂中에 포함되어 產出되나 量이 적다. 原砂를 比重選鑛, 磁力選鑛, 靜電選鑛등을 이용하여 精鑛으로 만든다. 모나자이트는 루질, 일루메나이트, 질콘등과 같이 동시에 精選되므로 여타鑛物의 市況이 나쁘면 모나자이트의 생산도 억제되어 生産량, 가격등에 영향이 온다.

(2) 바스트내사이트(Bastnasite)

바스트내사이트는 세륨, 란타넘등의 輕稀土類가 主成分인 弗炭酸鹽鑛物이다. 美國과 中國이 主產地이며 그밖에 자이루, 브라질, 소련등에서도 산출된다. 美國 캘리포니아州 Mountain Pass 鑛山은 이것을 12%나 포함되고 있어 稀土類의 單獨鑛床으로, 主產物로 產出하고 있다. 原鑛石을 粉碎한후 浮遊選鑛으로 精鑛을 얻는다.

(3) 제노타임(Xenotime)

제노타임은 이트륨(Y)이 다량 함유(酸化物換算으로 약 60%)한 磷酸鹽鑛物이다.

말레이시아, 타이등에서 朱錫의 尾鑛에서 副産物로 산출된다. 中國 및 호주등에서도 생산된다.

제노타임은 Y를 비롯해 中·重稀土를 많이 포함하고 있음이 특징이다.

(4) 中國의 複雜鑛(Complex ore) 과 이온吸着型鑛(Ion adsorption type ore)

中國內蒙古의 包頭地域에서는 稀土類鑛床으로는 世界最大의 複雜鑛이 부존하고 있다. 이 鑛石은 鐵鑛石과 共存하고, 바스트내사이트와 모나자이트를 3:1의 비율로 포함한 鑛物이다. 鐵鑛石의 부산물로서 바스트내사이트와 모나자이트를 산출한다. 鐵과 모나자이트가 混合되어 있으므로 選鑛과 精鍊이 複雜하다.

이온吸着型鑛은 中國 江西省에서 주로 산출되는 特殊鑛이다. 이온吸着鑛은 花崗岩이 風化하여 濃縮, 變成된 2次鑛石으로 알려져 있고, 中國 이외에서는 아직 발견되고 있지않다. 이 鑛石은 모나자이트型이나 輕稀土類가 비교적 적고 이트륨과 사마륨이 많다.

(5) 其他

유라니아이트(Uraninite)는 우라늄鑛石인데 稀土類가 포함되어 있다. 캐나다에서는 이광석에서 우라늄 抽出후의 廢 鑛物로 이트륨을 회수하고 있다.

表 4 重要稀土類精鑛의 稀土類造成

精 鑛	바스트내사이트	모나자이트	제노타임	複雜鑛	이온吸着型鑛
産 地	美칼리포니아	오스트라리아	말레이시아	中國包頭	中國江西省
全稀土類	72	63	54	60	60
La ₂ O ₃	32.5	23.9	0.5	22.7	30.0
CeO ₂	50.0	46.0	5.0	49.6	7.2
Pr ₆ O ₁₁	4.0	5.1	0.7	6.1	7.1
Nd ₂ O ₃	12.5	17.4	2.2	19.3	30.0
100% Sm ₂ O ₃	0.6	2.53	1.9	1.2	6.3
Eu ₂ O ₃	0.11	0.05	0.2	0.2	0.5
Y ₂ O ₃	0.05	2.41	60.8	0.3	10.0
OREO	0.28	2.65	28.7	0.7	8.5

注) 全稀土類는 酸化物(REO)로 표시
OREO란 표시하지 않은 여타 稀土類酸化物의 合計

아파타이트(Apatite)는 磷酸肥料 제조용 광석인데 稀土類가 포함되어 있고, 소련에서는 이 鑛石에서 부산물로 稀土類를 回收하고 있다.

<表 4>에 稀土類鑛物中 工業的으로 이용되고 있는 主要稀土類鑛物의 稀土類造成을 표시한다.

3.2 稀土類의 資源量

稀土類를 포함한 鑛床은 전세계적으로 分布되어 있고, 1985年 현재 채굴가능한 鑛量은 <表 5>와 같이 약 4,500萬톤(REO 환산)으로 추정되

表 5 世界 稀土類 資源量(1985年)

단위 : 만톤(산화물환산)

國 名	鑛 量	國 名	鑛 量
美 國	490	남아프리카	35.7
캐나다	18.2	中 國	3,600.
브라질	2	인 도	222
소 련	45	韓 國	4.5
北歐3國	5	말레이시아	3
이집트	10	泰 國	0.1
케냐	1.3	브룬디	0.1
마다가스카르	5	스리랑카	1.3
말라위	29.7	호 주	18.4
		合 計	4,500만톤

資料 : 日經 뉴마테리얼, 1987.

단위 : %

表 6 世界 稀土類의 生産能力(1985年)

단위: 톤(산화물환산)

國名	鑛石	生産能力	備考
美 國	모나자이트	1,360	일루메나이트의 부산물
	바스트내사이트	40,810	
브라질	모나자이트	1,814	일루메나이트의 부산물
	기 타	453	
소 련	모나자이트	1,360	金の 부산물
	기 타	1,360	磷의 부산물
北歐3國	기 타	453	磷의 부산물
아프리카 제 국	모나자이트	1,360	일루메나이트의 부산물
	바스트내사이트	90	
마레이저아	모나자이트	1,360	주석의 부산물
인 도	모나자이트	4,535	일루메나이트의 부산물
	기 타	18,140	일루메나이트의 부산물
호 주	모나자이트	18,140	일루메나이트의 부산물
	기 타	453	우라늄의 부산물
中 國	모나자이트	2,500	일루메나이트의 부산물
	바스트내사이트	8,500	철광석의 부산물
	제노타임	300	모나자이트의 부산물
	이온吸着型鑛	900	
합 계		85,748	

資料: 日經 뉴마테리얼, 1987.

고 있다. 이량은 1985년의 西方世界の 稀土類生産量(REO 환산) 27,000톤의 1,600년분 이상이 된다. 그럼에도 세계각국은 현재도 稀土類資源 探查와 開發을 활발하게 추진시키고 있다. 現在

의 全世界 稀土類의 生産能力은 약 85,700 톤으로 보고있다.(〈表 6〉참조)

〈表 5〉의 鑛量에 포함되지않은 최근의 보고에 의하면, 이집트의 나일강 하류 델타지역에서 모나자이트가 풍부한 稀土類鑛床으로 발견되었고, 그량은 전세계 모나자이트의 매장량에 필적한다고 한다.

中國에서도 江西省 남부지역에서 大型 稀土類鑛床이 발견되었는데 세계최대의 鑛床으로 보고 있다. 鑛石은 江西省의 尋烏鑛山과 같은사마륨과 이트륨이 많은 이온吸着型鑛으로 추정된다.

또 호주의 중앙부에서 稀土類 20%, 토륨 1.5%를 함유한 알라나이트 大鑛床이 발견되어, 이것이 개발되어 稀土類가 回收되면 세계 稀土類 全需要를 호수산만으로도 충분하다고 보도되었다. 이와 같이 稀土類資源은 상당히 풍부하여, 앞으로 아무리 稀土類需要가 증가하여도 2,000년 이상 사용할 수 있을 것으로 추정된다.

4. 稀土類의 製鍊

稀土鑛石의 製鍊은 보통, 채굴광석을 浮遊選鑛 또는 靜電選鑛으로 酸化稀土 %로 60% 정도의 精鑛으로 한후 製鍊場에 보내진다.

精鑛을 酸分解 또는 알칼리分解로 처리하면 소위 란탄族의 元素가 전부 混合된 混合物이 된다. 이것을 混合稀土라 칭하고 이대로도 材料로 쓰인다. 또 混合稀土를 還元하면 混合稀土金屬 소의 珉슈메탈이 되는바 예로 라이타들의 원료가 된다.

〈그림 1〉의 稀土類 製鍊의 흐름에서 보는바와 같이 최근에는 混合稀土를 다시 溶媒抽出 또는 이온交換法으로 各各의 稀土類元素로 分離·精製하여 各各의 稀土類元素의 氧化物로 만든다. 이 分離된 氧化物을 還元하면 稀土金屬이 된다.

이와 같이 稀土類는 다음의 4種의 形態로 稀土 應用工業에 공급된다.

- ① 混合稀土化合物→촉매, 유리연마재에 이용
- ② 混合稀土金屬(珉슈메탈)→금속공업에 이용
- ③ 精製稀土化合物→유리, 세라믹스, 전자공업

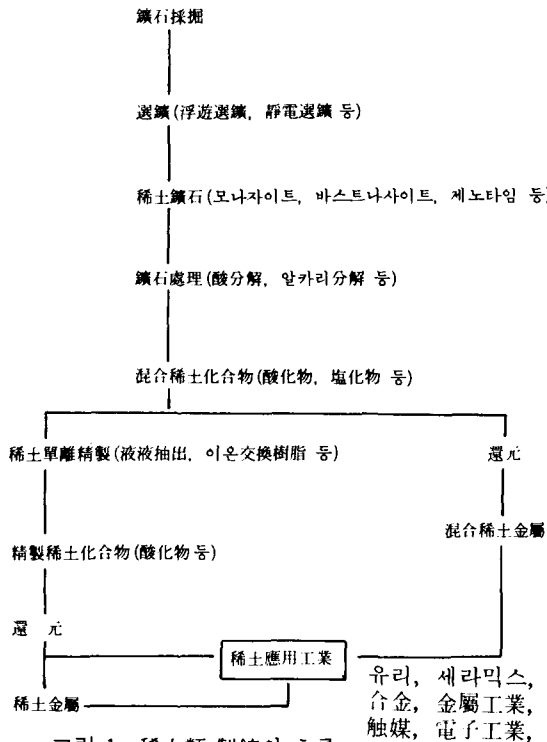


그림 1 稀土類 製鍊의 흐름

등에 이용

④ 精製稀土金屬→금속공업에 이용

4.1 稀土鑛石의 處理

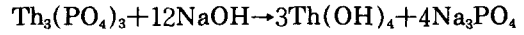
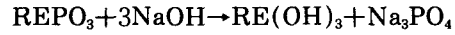
(1) 모나자이트處理

重砂中の 모나자이트는 產地에서 比重選鑛, 磁選, 靜電選鑛등을 이용하여 60% 정도의 모나자이트精鑛으로 하여 分離·精製工場으로 보내진다.

모나자이트處理法에는 알칼리법과 황산법이 있다. 알칼리법은 얻어진 鹽化物溶液이 純도가 높고 磷酸나트륨을 회수할 수 있는 장점이 있어서, 鑛石의 순도가 낮으면 後工程이 까다로운 단점이 있으나 많이 적용되는 방법이다. 황산법은 불순물 특히 실리카가 많이 함유된 鑛石處理에 적합하지만 工程이 길고 공해문제가 있다.

佛國의 Rhone-Poulenc社는 國內과 美國에 各 1개 工場을 갖고, 世界最大의 處理能力을 갖고 있다. 同社의 希土類處理工程은 <그림 2>

에 표시한다. 모나자이트는 熱濃苛性소다로 다음과 같이 분해된다.



磷酸分은 磷酸나트륨으로 회수된 후 水酸化希土는 酸溶解된다. 그 도중에 Th가 회수된다. 稀土類를 鑛物中の 稀土比率 그대로 포함한 混合 稀土를 얻고자 할 때는 鹽酸溶解가 사용되고, 分離稀土를 얻고자 할 경우에는 窒酸溶解를 한다.

얻어진 酸溶液으로부터의 稀土類의 分離·精製에는 溶媒抽出(液液抽出)法이 사용된다.

(2) 바스트내사이트 處理

바스트내사이트는 美國 칼리포니아내의 鑛石을 美國 Union Oil Molycorp社에서 대규모로 처리하고 있다. 粗鑛을 微分碎後 高温浮選과 鹽酸浸出, 焙燒로써 選鑛하여 最終精鑛으로 만든다. 大部分의 것은 同社內에서 분리정제 되고 있으나, 溶媒抽出時의 中間濃縮物의 一部는 中間原料로 他社에 판매되고도 있다.

焙燒에 의해 炭酸分을 탄산가스로 제거하고, 동시에 稀土의 主成分인 세륨은 4價로 酸化시킨 最終精鑛을 鹽酸浸出 한다. 이 상태에서 酸化세륨만이 용해되지 않고 다른 稀土類는 3價의 형태로 용해되기 때문에 세륨(Ce)이 분리된다. 다음에 鹽酸溶液의 상태에서 溶媒抽出法으로 각 稀土類의 分離가 이루어진다.

(3) 제노타임 處理

제노타임은 모나자이트와 같은 磷酸鹽이므로 모나자이트와 같은 處理방법으로 처리되고 있다. 황산법으로 처리하는 곳도 있다.

4.2 稀土類의 分離·精製

稀土類元素는 化學的性質이 극히 近似하기 때문에 從來의 選擇의 溶解沈澱法으로는 相互分離가 不可能하다. 단지 세륨만은 4價의 氧化物이 물에 不溶性이므로 分離가 된다. 현재 工業的으로 이용되고 있는 방법은 이온交換法과 溶媒抽出法이다.

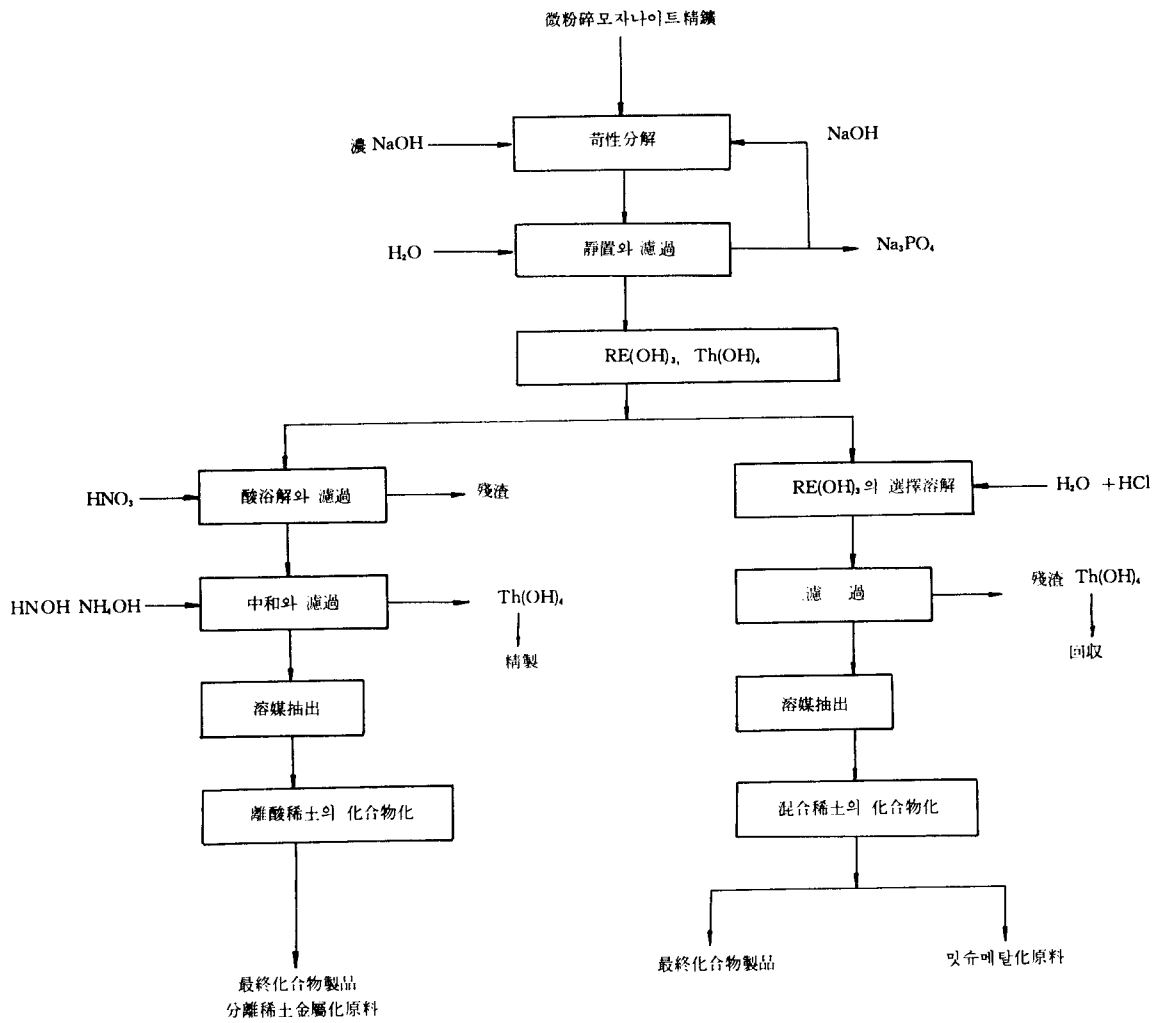


그림 2 Rhone-Poulenc社의 稀土處理工程

(1) 이온交換法

이 방법은 陽이온交換樹脂를 충전한 카ラム을 다수 설치하여 그중 數本에 水溶液으로한 稀土類混合溶液을 通液시켜 稀土類를 吸着시킨다. 또한 同時에 다른 카ラム에 銅 또는 亞鉛의 溶液을 흘려 保持베트로 한다. 다음에 EDTA(錯化劑)를 流入시키면 稀土間에 EDTA와의 結合力的 差가 있기 때문에 結合력이 큰 이온일수록 빨리 移動해 分離가 進行되면서 카ラム중을 移動하여, 末端부터 高純度の 分離稀土가 회수된다.

EDTA의 結合력은 重稀土일수록 크며, 溶離의 進行과 더불어 稀土類베트內的 이온은 Lu, Yb... Dy, Y, Tb... La, Ce의 順序로 된다. (Y는 Dy와 Tb의 사이가 된다). 그러나 各稀土의 高純度の 것이 채취되는 후락션의 中間에서는 兩成分이 混合된 것이 다소 산출된다. 따라서 이온交換에서는 隣接稀土의 不純物量이 따라오기 마련이다. 이 方法으로 통상 99.99% 이상의 것을 얻을 수 있다. 이 방법은 맞지式인것과 취급액의 濃도가 약 2g/l로 작기때문에 多品種少量生

産에 적당하나 大量處理인 경우에는 裝置가 방대하게 됨이 欠點이다.

(2) 溶媒抽出法

溶媒抽出法은 이온交換體가 液體이고 또 油相에 可溶한 것을 이용해 稀土類元素가 油相과 水相으로 分配될 때의 難易를 이용한다. 예로 油相에는 PC 88A 를, 水相에는 窒酸을 쓰므로써 相互分離係數를 2.0 정도로 유지할 수가 있다.

工業적으로는 믹서(混合部)와 셋트러(靜置部)로 된 連結式溶媒抽出裝置를 多段(100段이상인 곳도 있다)으로 結合하여 99.9% 이상의 純度の 것을 얻을 수가 있다. 溶媒抽出法에서는 液의 濃度도 200g/l 정도의 濃度인 것을 사용할 수 있음으로 同一 品種大量生産에 적합하다.

溶媒抽出法과 이온交換法을 組合시킨 장치로 超高純度酸化이트륨 등 高純度稀土를 생산하기도 한다. 예로 粗原料(中間濃縮物)의 品位는 약 60%인데 이것은 溶媒抽出法으로 99.99%까지 精製하고 다시 이온交換法으로 99.9999%까지 精製할 수도 있다.

4.3 稀土類金屬의 製法

稀土類金屬은 熔融鹽電解, 還元劑에 의한 還元, 遷移金屬의 存在下에서 還元劑에 의해 合金을 만드는 方法등으로 제조된다. 目的으로 하는 金屬의 純度, 融點, 그 金屬의 蒸氣壓등에 따라 각각 適當한 方法이 채용된다.

(1) 熔融鹽電解法

밋슈메탈, 란탄늄, 세륨등의 低融點인 金屬을 만드는데 適當한 方法으로 大量으로 만들 경우 특히 有效하다.

鹽化稀土를 原料로 하는 鹽化物電解法은 1900年初부터 工業化된 方法으로, 鹽化物은 吸水性이 강하기 때문에 脫水工程이 복잡하다. 脫水가 不完全하면 電解의 收率이 나빠지며 만들어진 金屬중에 酸素 함유량이 많아진다. 또한 電解時 多量의 鹽素가스가 발생하므로 公害防止의 비용이 증가된다. 그러기에 최근에는 酸化物을 原料로 하는 方法을 채용하고 있다.

電解浴은 弗化바리움, 弗化바리움등을 사용하

며, 酸化稀土原料를 공급한다. 原料는 眞空中 200~300℃에서 충분히 脫水시킨다. 加熱로 浴의 溫度를 1000℃로 하여 通電하면 陰極에 稀土메탈이 析出되고 爐底에 熔融메탈이 고인다. 電解를 안정하게 行하기 위해서는 陽極效果라 칭하는 電極과 浴과의 間격에서 일어나는 放電現象을 방지하여야 한다.

酸化物法의 경우는 발생하는 가스가 一酸化炭素거나 二酸化炭素가 대부분이므로 公害의 問題가 적다. 또 酸化物法은 바스트내사이트精鑛을 直接原料로 투입해 밋슈메탈을 만들수가 있다.

(2) 弗化稀土의 갈슘에 의한 還元法

弗化稀土와 金屬갈슘을 잘 혼합해 탄탈제도가 니에 넣어 300~500℃로 眞空中에서 충분히 脫가스하고 알곤가스로 置換한다. 鹽化稀土의 경우는 脫가스함에 시간이 걸리나 결과는 같다.(여기서 不活性 가스로는 알곤가스를 사용한다. 질소가스는 稀土類와 질화물을 만들기때문에 사용할 수 없다.)

1,200~1,500℃로 가열하면 $2\text{REF}_3 + 3\text{Ca} \rightarrow 2\text{RE} + 3\text{CaF}_2$ 의 反應으로 稀土메탈이 생성된다. 가열온도는 稀土의 종류에 따라 다르다. 이 반응은 發熱反應이므로 반응이 시작되면 도가니안의 온도는 상승해 반응이 더욱 촉진된다. 稀土메탈과 스라그(CaF_2)는 比重差가 크므로 稀土金屬은 도가니밑에 고이고 스라그는 상부로 뜬다. 스라그를 제거하여 얻은 金屬은 不純物로는 주로 還元劑인 갈슘과 갈슘중에 포함되어 있던 마그네슘인바 含有量은 0.3~0.5%에 달한다. 不純物을 제거함에는 眞空中에서 채용해하여 갈슘과 마그네슘을 蒸發시킨다. 이리하여 얻은 金屬중에는 갈슘, 마그네슘은 20ppm 정도로 된다. 또 不揮發性 不純物로는 鐵分인데 갈슘還元劑의 良質品을 쓰면 20ppm 정도로 억제된다.

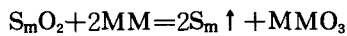
融點이 높은 Y, Dy(각각 1502℃, 1455℃)등은 製鍊工程에서 적어도 融點보다 50~100℃는 온도를 높여야 하므로 탄탈도가니의 消耗도 문제이나 탄탈의 稀土金屬에의 混入이 우려된다. 이런 경우에는 還元時에 金屬마그네슘을 넣어준다. 예로 Y_1-Mg_1 의 경우는 935℃의 低融點合金이

되므로 低溫度에서 조업할 수가 있고 단탈의 混入도 작아진다.

이리하여 얻어진 Y-Mg 合金은 眞空中에서 800~1200℃의 온도에서 2~3회 되풀이해서 마그네슘을 蒸發시키면 高純度の 稀土金屬을 얻는다. 이 방법으로 얻어진 금속은 스펀지狀이므로 인곳드狀인 것을 필요로 할 때는 아크熔解로 인곳드狀으로 만든다.

(3) 酸化물의 珉슈메탈에 의한 還元

S_m , E_u , Y_b 등 蒸氣壓이 높은 稀土金屬, 예로 S_m 는 1100℃에서 100mmHg이다. 이러한 酸化물은 前記의 두가지 方法으로는 2價까지는 還元되나 金屬으로는 얻을 수 없다. 그래서 이러한 酸化물은 란탄늄(La) 등 蒸氣壓이 낮은 稀土金屬(1100℃에서 10^{-8} mmHg) 또는 實用的으로는 珉슈메탈을 細片으로해 混合하여 眞空中에서 加熱하면 S_m 는 蒸發하여 爐上部의 코덴사에 附着한다.



(MM는 珉슈메탈)

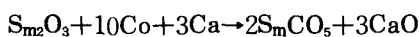
E_u , Y_b 에 대해서도 같은 方法이다. 콘덴사에 附着한 금속은 珉슈메탈 또는 原料中の 不純物이 포함되기도 함으로 眞空蒸留를 되풀이하면 99.9%의 高純度品을 얻는다. 이때 얻어진 금속은 덴트라이트(일반적으로 스펀지라고 호칭)이므로 인곳드로 하려면 아크熔解를 한다.

E_u 는 稀土類金屬中에서도 특히 活性이므로 取扱함이 까다롭고, 表面은 급속히 酸化한다.

(4) RD法과 同時還元法

金屬熱還元法の 變形으로, 永久磁石用合金의 사마륨-코발트合金粉末을 제조하는데 두가지 方法이 있다.

하나는 美國 GE社가 개발한 RD(還元·擴散)法이다. 이 方法은 酸化사마륨과 코발트의 粉末을 섞은 것을 水素中에서 水素化칼슘(또는 금속칼슘)으로 還元함과 동시에 생성된 사마륨을 코발트微粉末중에서 擴散시켜 직접 S_mCO_5 粉末을 제조한다.



다른 하나의 方法은 西獨 Th.Goldschmidt社의

同時還元(Co-reduction)法이다. 이 方法은 $S_{m2}O_3$ 를 Co 및 Co_2O_3 의 粉末과 Ca 粉末을 잘 混合해 珉珉化하여 1000℃의 眞空反應器에서 同時환원시켜 사마륨-코발트合金粉末로 제조한다.

共還元法(同時還元法)은 S_m 이외의 稀土類酸化物에서도 가능하며, S_m 의 Nd 등으로의 置換이나 다른 元素를 첨가한 각종 S_mCo_{17} 系의 合金에도 적용되고 있다. 또 최근에는 Nd-Fe-B系에도 적용이 시도되고 있다.

4.4 稀土金屬의 精製

4.3에 기술한 製鍊法으로 제조된 稀土類金屬은 그대로 사용되는 경우가 많으나, 대개가 다소의 不純物이 포함되어 있다. 高純度の 稀土金屬을 요구하는 경우에는 다음과 같은 精製法으로 精製한다.

(1) 大氣熔解精製法

그다지 高純度を 요구하지 않는 珉슈메탈(독일어, 混合金屬의 뜻) 등의 금속은 大氣誘導爐를 사용한다. 鹽化나트륨, 鹽化바륨, 鹽化칼슘 등의 후락스로 대기와 차단하여 酸化를 방지하면서 스킴밍(skimming)하여 金型에 주입한다. 용해도 가니는 마그네시아 또는 알루미늄이 사용된다.

(2) 眞空熔解法

보다 高純度の 稀土金屬이 필요할 때는 高眞空 상태에서 아크爐, 電子빔爐, 高周波誘導爐에서 再熔解하면 휘발성물질 등 不純物이 제거된다. S_m , E_u , D_y , H_o , E_r 등은 蒸氣壓이 높기 때문에 아르곤 분위기에서 용해한다.

(3) 蒸溜精製法

사마륨, 유로퓸과 같이 蒸溜壓이 높은 金屬은 蒸溜附着法으로 製鍊되는바, 蒸溜를 되풀이함으로써 쉽게 精製되어 高純度の 것을 얻을 수가 있다.

(4) 電氣移動(Electro-Transport)法(一名 固相電解法)

J.D.Verhoeven 과 R.G.jordan 이 개발한 高純度の 稀土類金屬을 제조하는 새로운 方法이다. 직경 6mm, 길이 150mm의 稀土類金屬棒에 低氣壓에서 直流大電流를 500時間 정도 계속해서

흘려주면 不純物은 양끝에 농축되고 中央部는 高純度의 金屬으로 된다.

(5) 帶域精製法(Zone melting)

존멜팅法도 稀土類金屬의 精製에 이용되고 있다. 가늘고 긴 冷却포트에 稀土金屬을 넣고, 眞空 또는 아르곤 분위기에서 誘導코일을 이용하여 金屬의 끝부분에서 부터 용해하여 熔融帶를 서서히 이동시킨다. 이 처리를 20회 정도 반복하면 不純物이 다른 끝부분으로 서서히 이동하여

나머지 部分은 不純物이 적은 稀土金屬을 얻게 된다.

4.5 稀土金屬의 製鍊法과 關連技術

稀土含有精鑛에서 稀土類金屬을 製鍊해 내기까지의 過程을 크게 나누면, 精鑛處理와 혼합물을 각각 분리하는 分離精製段階, 이것들의 산화물 또는 弗化物을 金屬으로 還元하여 金屬化하는 단계, 또한 그것을 高純度化하는 過程의 4大段階

表 7 稀土類金屬의 製鍊工程과 關連技術

工 程	現 行 法	適 用 範 圍	關 連 新 技 術	備 考
	酸 分 解	低品位鑛		公害對策(SO _x , HF)
精鑛處理	알카리분해	모나자이트	(放電處理)	바스트내鑛에의 적용
	鹽化(濕式)	바스트내사이트		
	(乾式)		(炭素피복直接鹽化)	오キシ化物을 不包含한 無水鹽의 제조
	原子價變換	Ce ³⁺ →Ce ⁴⁺		
分離精製	溶 媒 抽 出	高濃度稀土溶液	(協同效果)	高性能 抽出劑의 개발
			(非平衡溶媒抽出)	
	이 온 交 換	低濃度溶液	(交換섬유, 交換膜)	그로마트그래휘技術의 向上
		(主로 重希土)	(알콜利用)	極微量希土의 回收
	金 屬 還 元	單體金屬		
金屬 및	(還元擴散)	SmCo ₅	(Rsi ₂ 의 제조)	적용범위의 擴大, 반응기초의 연구
合金製造	鹽化物	닛슈메탈		
	熔融鹽 酸化物	닛슈메탈	(Y-Al, Y-Mn의 제조)	實用化技術의 개발
	電 解 弗 化 物	고순도 Ce 등		
			(水溶液電解)	아마루감의 合成
	蒸溜...昇華	가스系불순물		
高純度化	眞 空 溶 解	탄 탈		
	존멜팅熔解	금속불순물		低收率
			(에렉트로트랜스포트)	少量精製

表 8 稀土金屬의 製法과 用途開發의 歷史

1978	RE 礦物 Ytterbite 의 발견(RE 元年)
1794	新元素 Y 의 酸化物(Yttria) 初分離
1803	新元素 Ce 의 酸化物(Ceris) 初分離
1807~'25	新元素 K, Na, Ca, Mg, Li, Al 의 發見·命名
1827	REM(Ce) 初製造(K 還元法)
1852~25	Mg, Al 제조로 鹽化物熔融鹽電解法 初適用
1875	REM(Ce 기타) 제조에 鹽化物熔融鹽電解法 初適用
1907	REM(Ce 기타) 제조에 弗化物熔融鹽-酸化物電解法 初適用
1908	MM 의 工業生産과 라이타 發火石에 利用(RE 의 첫 主用途)
1931	純度 높은 REM 첫 제조
1935	REM(Gd)의 強磁性 발견
1937	純度 높은 모든 REM 의 첫 제조
1942	맨하탄 計劃으로 鹽化物의 Ca 還元에 의해 美 Ames 연구소에서 REM 를 첫 제조
1945	獨, 오스트리아에서 MM 제조 工業電解爐 첫 公表
1947	이온交換法에 의해 RE 分離 성공(암스연구소 기타)
1948	MM 의 鑄鐵에의 첨가(노즐라 수직제조) 개시
1951~'52	분위기 조정하에서 弗化物熔融鹽-酸化電解法이 성공
1953	酸化物의 La 還元에 의한 Sm 등의 제조법 개발
1956	美鑛山局 Reno 연구소에서 REM 제조법을 연구개시
1966	固相에렉트로 트랜스포트法에 의해 REM(Y) 精製 첫 성공
1967	SmCo ₅ 永久磁石 개발(첫 RE 系 磁石)
1970	처음으로 REM 함유 아몰루피스 合金의 제조
1971	RE Fe ₂ (TbFe ₂ 기타)의 超磁歪特性 발견
1973	REM 함유 아몰루피스(GdCo) 薄膜의 수직磁化膜의 完結
1971~'74	SmCo ₅ 粉末의 直接製造法(R-D法, 共還元法) 개발
1976	Gd 를 사용 磁氣冷凍 첫 성공
1980	P _r N ₁₅ 의 極低溫磁氣冷凍에의 利用 성공
1983	Nd-Fe-B 永久磁石(燒結法, 超急冷法)의 개발 公表
1984~	Nd-Fe-B 磁石用原料의 각종 제법 개발

資料: 住友輕金屬技術 Vol.29 No.2(1988年)에서

로 이루어진다.

〈表 7〉은 이러한 4 단계의 製鍊工程에 관련되는 現行製鍊法과 關連新技術을 표시한 것이다.

4.6 稀土類의 製鍊法과 用途開發의 歷史

稀土類의 發見(1787年)과 더불어 稀土類의 製鍊法이 개발되기 시작하였고, 稀土金屬 또는 合金이 얻어져 新用途가 개발되고, 또한 用途에 따라 新製法이 고안되기에 이르렀다.

〈表 8〉은 稀土類의 製鍊 및 用途의 개발된 小史를 표시한 것이다. 1942年의 美國 맨하탄計劃은 稀土類製法의 綜合研究으로써 稀土類工業에 큰 成果를 주었다.

또한 사마륨-코발트 永久磁石(1967年) 및 네오뎀磁石(1983年)이 개발된후는 이에 쓰이는 稀土金屬 또는 合金의 製造法에 대하여 많은 文獻과 特許가 나오고 있어, 稀土類製鍊技術界에

많은 자극을 주고있다.

5. 稀土類金屬의 工業的利用

稀土類의 工業的利用은 1889年 가스만틀에 사용된 것이 最初이고, 그후 100年이 지난 現在는 稀土類元素의 化學的, 物理的性質을 利用해 많은 分野에서 工業的으로 利用되고 있다. 〈表 9〉에 稀土類金屬의 工業的用途를 표시한다. 이 외에 稀土類化合物으로써의 用途는 光學, 電子, 化學, 原子力등 各分野에 廣範圍로 利用되고 있어 尖端産業에서 希望元素로 各광을 받고있다.

5.1 稀土金屬으로써의 工業的利用

(1) 發火合金

라이타들은 미슈메탈과 鐵과의 合金으로 1908年 MM이 工業的으로 생산됨과 동시에 라이

表 9 稀土類金屬의 工業的用途

미슈메탈	MM	鐵주물黑鉛球狀化劑, 鐵鋼의 脫酸脫硫劑, 非鐵金屬의 添加劑, 發火合金, 水素吸藏合金, 永久磁石, 電子材料
이트륨	Y	鋼·수퍼아로이 添加劑, 電子材料, 原子爐構造材料, Mg 주물의 添加劑
란탄넘	La	水素吸藏合金(水素저장, 열교환기, 촉매, 전극등) LaB ₆ 原料, 接點材料, 갯터, 螢光등침등起動用
세륨	Ce	永久磁石
프라세오뎀	Pr	永久磁石添加劑, Mg 주물添加劑, 磁氣冷凍素子
네오뎀	Nd	永久磁石, Mg 주물添加劑
사마륨	Sm	永久磁石
가도리늄	Gd	原子力用(中性子の 실딩, 필터링, 고리페딩), 光磁氣디스크촉매
테루븀	Tb	光磁器디스크촉매, 超磁歪材料
디스프로슘	Dy	永久磁石添加劑, 超磁歪材料
호류뎀	Ho	超磁歪材料
이트테르븀	Yb	Al 合金(항공기용)의 添加劑

타돌로 利用되었고 稀土類의 첫번째 용도라 하겠다. 1 回用라이타의 出現과 더불어 그 需要가 크게 增加되었다.

(2) 金屬에의 添加

鐵鋼에 稀土類金屬을 添加하면 脫酸, 脫硫作用을 하고, 그 生成化合物이 微細, 또한 均一하게 分散되므로 耐蝕성과 熔接性도 改善된다. 한時期에는 油井管의 수요증가와 더불어 鎳슈메탈의 큰 용도처가 되었다.

非鐵金屬에서는 Mg 合金에의 添加로 高温高強度의 개선효과가 있어 航空機部品으로 쓰였다. Al 合金에는 Y 를 첨가해 高張力高壓送電線用合金으로 사용되었고, 최근에는 고온에서 高強度인 Al-8% Fe-4% Ce 粉末合金이 개발되어 航空機用材料로 기대되고 있다.

(3) 水素吸藏合金

稀土類系合金의 水素吸藏現象은 Philips 社에 의해 1970 年에 稀土類磁石을 연구중, 우연하게 發見되었다. 대표적인 合金은 $LaNi_5$ 인바 活性化가 容易하고 解離壓이 작기때문에 가장 우수한 水素吸藏特性을 갖고 있다. 보다 安價한 $MMNi_5$ 系合金(MM: 鎳슈메탈)도 사용된다. 水素의 흡장·해리반응에 發熱·吸熱이 수반하므로 케미칼히이트펌프에도 이용되고, 두 종류의 MM-Ni-Ca-Al 系 水素吸藏合金이 사용되고 있다.

(4) 永久磁石

稀土類金屬의 工業的利用에서 최근 특히 注目을 받고있는 것의 하나는 永久磁石材이다. 稀土類金屬의 磁氣特性은 原子內部에 있는 4f 軌道의 不完全充塡電子에 기인하고 있어, 큰 飽和磁化와 結晶磁氣異方性을 갖고있음이 특징이다.

實用化되고 있는 사마륨-코발트 磁石은 역사적으로는 1967 年의 S_mCo_5 (1-5 型) 磁石이 최초이고 그후 燒結型的 1-5 型 稀土類磁石으로 발전했다. 또한 $S_m_2Co_{17}$ 은 飽和磁化가 S_mCo_5 보다 크며, Co 의 일부를 Cu, Fe, Zr 로 置換하므로써 2-17 型 稀土類磁石이 實用化 되고 현재는 이것이 主流가 되어있다.

燒結磁石과는 달리 磁粉을 射出成形 또는 壓粉

成形으로 有機바인더로 결합시킨 프라스틱磁石(본드磁石)도 成形이 용이한 磁石으로써 市場需要가 많아졌다.

네오븀-철-붕소 磁石은 1983 年에 발표되어 현재 가장 高性能인 永久磁石이다.

稀土類磁石의 用途로는 각종모터, OA 機器, 音響機器등이며, 네오븀-철-붕소磁石의 醫療用 MRI 및 自動車의 각종모터에의 利用이 기대되고 있다.

(5) 光磁氣디스크 및 超磁歪

光磁氣디스크用媒體로 Td-Fe-Co 또는 Gd-Td-Fe 등의 아몰루퍼스薄膜이 주목을 끌고 있어 장래가 유망시 되고 있다.

또한 稀土類의 최근의 이용면으로는 稀土類金屬과 鐵屬遷移金屬과의 金屬間化合物의 超磁歪材料이다. 磁性體를 磁化했을 때의 磁歪의 크기가 이들 稀土金屬物에서는 보통의 磁歪材料의 100~1,000 倍의 값을 갖는다.

이러한 合金例는 $Tb_3Dy_{0.7}Fe_{1.9}$ 등이 있으며 아크쥬에터등에 利用되고 있다. 극히 최근에는 스웨덴에서 磁歪合金棒의 新製造프로세스가 개발되었다는 정보가 있다.

5.2 稀土類化合物으로써의 工業的利用

(1) 螢光體

螢光體는 에너지를 빛으로 변환시키는 材料인데 稀土類元素를 螢光體의 賦活劑로 사용하기는 1964 年 칼라텔레비전의 赤色으로써 사용한 것이 처음인바, 현재는 稀土類螢光體가 종래의 螢光體(텅스텐錯體, Sb^{3+} 등 여러가지)의 需要의 半이상을 차지하고 있다.

螢光體로의 利用은 4f 電子遷移로 인한 發光現象을 이용한 것으로 중전의 發光體와는 달리 S^2P^6 殼에 의해 차폐되어 있음으로 格子振動의 영향을 받지않고 發光스펙들은 線스펙들로 되어, 發光強度가 큰 螢光體를 얻게됨이 특징이다.

稀土類螢光體의 代表的인 것이 칼라텔레비전용 赤色螢光體인데 이것은 Eu^{3+} 로 賦活시킨 YVO_4 螢光體인바(이것을 $YVO_4:Eu^{3+}$ 라 表記한

다), 高輝度の 赤色으로 畫面の 鮮明度を 劃期的으로 向上시켰다. 현재는 $Y_2O_2S : Eu^{3+}$ 가 사용되고 있다.

投射型 브라운管用에는 電流密度가 큰 電子線이 사용가능한 綠色螢光體로서 $Y_3Al_5O_{12} : Tb^{3+}$ 등이 實用化되고 있다.

또한 照明用螢光體에는 3波長型 램프가 高効率性과 高演色性을 동시에 달성하는 램프로 현재 널리 사용되고 있는데, 이것은 $Y_2O_3 : Eu^{3+}$ 의 赤色, $(La, Ce)PO_4 : Tb^{3+}$ 등의 綠色 및 $BaMg_2Al_6O_{27} : Eu^{2+}$ 등의 靑色の 3色の 組合으로 白色光을 내는 것이다.

또 人體의 X線 촬영용 필름의 增感劑로서는 $Gd_2O_2S : Tb^{3+}$ 가 사용되고 있다.

螢光體에는 不純物이 ppm 단위가 있어도 형광 특성에 영향이 미치므로 Y_2O_3, Eu_2O_3 등은 99.999% 이상의 純도가 요구되어, 稀土類高純度製鍊法을 촉진시키기도 하였다.

(2) 觸媒

稀土類觸媒의 代表例로는 自動車用가소린製造의 FCC(流動接觸分解)觸媒가 있다. 란탄늄, 세륨 등의 稀土類로 이온交換한 제오라이트가 사용된다. FCC 촉매의 原料로는 鹽化稀土가 쓰이는데 1984년까지는 世界의 稀土類全使用量의 40% 이상이 觸媒用이었다. 그런데 有鉛가소린의 使用禁止로 그 사용량이 저하되어 稀土類工業에 큰 영향을 주고있다.

다른 應用例로는 自動車排氣가스의 淨化觸媒이다. 이 촉매는 一酸化炭素, 炭化水素, 窒素酸化物을 除去하는데 三元觸媒(白金등을 아루미나에 擔持시킨 貴金屬觸媒)가 主流인데 耐久性을 向上시키기 위하여 酸化세륨 또는 란탄늄을 첨가한다.

(3) 研摩劑

稀土類研摩劑로서의 作用에 대한 理論的說明은 明確치 않으나, 機械的破碎作用 外에 化學反應도 관여한다고도 말하고 있다.

연마제를 대별하면 바스트내사이트系와 鹽化稀土系의 세류연마제가 있다. 각국마다 그 수요가 커 全稀土類市場의 30%를 차지하고 있다.

텔레비전의 브라운관 및 IC 용퍼트마스크 基板 등의 연마에 많이 쓰인다.

(4) 유리添加劑

유리에의 첨가도 중요한 용도의 하나로, 카메라를 비롯한 거의 모든 光學機器用 유리에 La_2O_3, Y_2O_3, Gd_2O_3 등이 첨가되고 있다. 앞으로는 렌즈는 계속하여 高性能化, 콤팩트化 傾向에 있으며 高屈折·低分散렌즈에의 稀土類 사용이 점차 증가할 것이다.

酸化세륨은 色消劑로 또 酸化네오도도 텔레비 브라운관의 前面유리에 첨가제로 사용되고 있다. 레이저유리에는 Y, Nd 등의 稀土가 사용된다.

(5) 磁氣버블메모리

이트륨-철-가넷트(YIG)의 單結晶薄膜은 垂直磁氣異方性을 갖고있어 磁氣버블메모리에 쓰인다. 磁氣버블메모리는 小型輕量이고 高密度化가 가능하므로 電子交換機, 휴대용 퍼스날 컴퓨터 및 산업용 로봇 등에 사용되고 있다.

(6) 세라믹스

뉴세라믹스로 酸化질코늄이 주목되고 있는 바, 이것의 燒結助劑로 酸化이트륨이 사용되고 있다. 그 수요가 확대일로에 있다.

酵素센서로서 自動車의 空燃比 制御에도 쓰인다. 또 최근에는 超強磁場에도 지탱할수 있는 酸化란탄늄 함유의 뉴세라믹스 超傳導體가 개발되고 있다.

(7) 磁氣冷凍

磁氣冷凍은 磁性體의 磁化·消磁에 수반되는 發熱·吸熱을 이용한 冷凍法이다.

1976年 Brown이 磁性體로 가도리늄(Gd)을 사용해 室温에서 磁氣冷凍에 성공함을 시작으로 최근에는 GGG(Gd-가륨-가넷트)의 單結晶을 磁性體作業物質로 사용해 磁氣冷凍機를 試作했고, 液體헬륨의 生成에 성공했다. 또한 室温以下 20K까지의 磁性體作業物質로 $REAl_2$ 系(RE로는 에르븀(Er)등)도 검토되고 있다.

(다음호에 계속)