

## NdFeB系 永久磁石 스크랩으로부터 네오디뮴의 分離回收

\*尹虎成 · 金哲主 · 李珍榮 · 金聖敦 · 金俊秀 · 李在天

韓國地質資源研究院, 資源活用 · 素材研究部

### Separation of Neodymium from NdFeB Permanent Magnetic Scrap

\*Ho-Sung Yoon, Chul-Joo Kim, Jin-Young Lee, Sung-Don Kim, Joon-Soo Kim, and Jae-Chun Lee

Division of Minerals Utilization and Materials, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Taejon 305-350, Korea

#### 요 약

본 연구에서는 NdFeB 영구자석 스크랩으로부터 네오디뮴을 분리하고자 하였다. 네오디뮴과 철 성분을 추출하기 위하여 스크랩을 산화배소 한 후 황산침출을 수행하였으며, 황산침출 용액으로부터 황산나트륨을 사용한 복염침전법에 의하여 네오디뮴과 철을 분리하였다. 산화배소 시 온도는 소결자석 스크랩은 500°C, 본드자석 스크랩은 700°C가 적절하였으며, 황산침출 시 황산농도 2.0 M, 침출온도 및 시간 50°C, 2시간 그리고 광액농도 15%에서 네오디뮴 99.4%, 철 95.7%를 회수할 수 있었다. 네오디뮴과 철의 최적 분리조건은 황산나트륨 첨가량 2.0당량, 반응온도 50°C 이었으며, 이 때 네오디뮴의 회수율은 99.9% 이상 이었다.

주제어 : NdFeB 영구자석 스크랩, 산화배소, 침출, 복염침전

#### Abstract

In this study, the separation of neodymium was investigated from NdFeB permanent magnet scrap. Decomposition and leaching process of NdFeB permanent magnet scrap by oxidation roasting and sulfuric acid leaching were examined. Neodymium could be separated from iron by double salt precipitation using sodium sulfate. The optimum conditions established for decomposition and leaching are as follows: oxidation roasting temperature is 500°C for sintered scrap and 700°C for bonded scrap, concentration of sulfuric acid in leaching solution is 2.0 M, leaching temperature and time is 50°C and 2 hrs, and pulp density is 15%. The leaching yield of neodymium and iron was 99.4% and 95.7% respectively. The optimum condition for separation of neodymium by double-salt precipitation was 2 equivalents of sodium sulfate and 50°C The yield of neodymium was above 99.9%.

**Key words:** NdFeB permanent magnet scrap, oxidation roasting, leaching, double salt precipitation

#### 1. 서 론

NdFeB계 영구자석은 자동차의 cranking motor, 컴퓨터, audio-visual components, 자력분리기, 군과 항공우주 시스템 그리고 기타 장비 등 크기와 무게가 줄어드는 고자력 자석을 요하는 데에 광범위하게 사용되고 있다.<sup>1)</sup> NdFeB계 자석의 수요는 급증하여 지난 10년 간 세계 NdFeB계 자석 시장의 연평균 성장률이 자석 종류에 따라 30~70%로서 영구자석 시장을 석권하고 있다. 따라서

NdFeB계 자석 수요증가로 스크랩 및 폐자석 발생량이 급증할 것으로 판단되며, 미국의 경우 NdFeB계 자석으로부터 Nd 회수는 Nd 금속의 3대 원료공급원 중 하나일 정도로 대량 처리되고 있는 실정이다.<sup>2)</sup> 최근 국내에서도 첨단 전자산업 분야 및 정보통신산업의 발달로 희토류계 자석류에 대한 수요가 대량으로 발생되리라 예측되고 있다. 그러므로 국내 NdFeB계 자석의 생산이 개시되면 스크랩의 발생이 일어날 것이며, 전량 외국에서 수입에 의존하고 있는 고가의 NdFeB계 자석 스크랩으로부터 Nd의 분리회수 및 재활용은 원료 수급 면에서 볼 때 매우 중요한 사안이며, 이에 대한 체계적인 연구

\* 2003년 10월 22일 접수, 2003년 12월 12일 수리

\* E-mail: hsyoon@kigam.re.kr

개발과 더불어 향후 급속한 수요가 예측되는 네오디뮴 화합물 소재의 국산화가 필요한 실정이다.

국내 희토류 영구자석은 급속한 신장이 예상되며, 이러한 NdFeB계 자석시장의 팽창에 대한, 효율적 저비용 재활용 기술개발의 부족은 고부가가치화 할 수 있는 많은 양의 스크랩 방치를 결과로 할 것이며, 따라서 경제·환경적 이유에서 NdFeB계 자석 스크랩의 재활용에 대한 연구개발이 필요한 실정이다. 따라서 고품위 유가자원인 Nd계 스크랩의 재활용은 국내 희토류 자원의 중요성 및 희귀성을 감안할 때 매우 귀중한 2차 자원으로서 경제성과 자원비축 관점에서 아주 중요하며, 이러한 기술개발은 향후 발생하게 될 국내 폐자원의 재활용에 의한 부가가치 향상뿐만 아니라, 첨단산업소재의 수입대체 및 수출증대와 관련산업의 발전에 크게 이바지할 것으로 사료된다.

그러므로 본 연구에서는 NdFeB계 영구자석 스크랩으로부터 네오디뮴을 회수함에 있어, NdFeB계 영구자석 스크랩을 산화배소하여 황산침출을 거쳐 네오디뮴과 철을 침출용액으로 분리·회수하고, 이 때 반응변수들이 분해 및 침출에 미치는 영향을 고찰하였으며, 침출용액으로부터 네오디뮴과 철을 분리·회수하는 최적 조건을 확립하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료 및 장치

본 연구에서 출발물질로 사용한 NdFeB계 영구자석 스크랩은 한국 정밀전자부품 제조업분야에서 희토류 영구자석 관련 제품을 생산하고 있는 J사로부터 공급받은 본드자석(BP), 열처리된 본드자석(HP) 그리고 소결자석(SP) 스크랩 분말을 출발물질로 사용하였다. Table 1은 ICP(Jobin-Yvon Model JY-38 Plus)를 이용한 세 가지 시료의 성분분석을 나타내고 있는데, 철 77%, Nd 23% 그리고 B가 약 0.8%로 구성되어 있으며, 스크랩의 형태에 따른 조성은 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

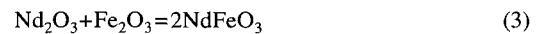
**Table 1.** Chemical Composition of Permanent Magnet Scrap Powder

| Sample | Nd     | Fe     | B     | Remark          |
|--------|--------|--------|-------|-----------------|
| BP     | 22.09% | 77.03% | 0.85% | Bonded Powder   |
| HP     | 23.26% | 77.65% | 0.84% | Heated Powder   |
| SP     | 25.48% | 73.39% | 0.86% | Sintered Powder |

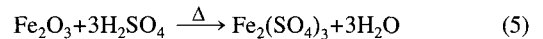
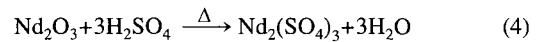
본 연구에서 NdFeB계 영구자석 스크랩의 산화배소에 사용한 노는 30 cm(H)×30 cm(W)×30 cm(L)의 silicnit 발열체를 열원으로 사용한 muffle furnace로서, 온도는 P.I.D. 조절기에 의하여 제어하였다. 산화배소된 스크랩의 황산침출조는 내경  $\phi$  85 mm, 외경  $\phi$  90 mm, 높이 100 mm인 Pyrex 재질의 반응기를 사용하였으며, 반응온도는 hot plate를 이용하여 조절하였다. 그리고 고온 침출시 용액의 증발 방지를 위하여 응축기를 반응기에 부착하였다.

### 2.2. 실험방법

스크랩을 황산에 직접 용해시킬 경우에 침출반응이 발열반응이므로 온도제어가 어렵기 때문에, 본 연구에서는 Nd-Fe-B계 영구자석 스크랩으로부터 Nd를 침출하기 위하여, 스크랩을 산화배소시킨 후, 황산침출을 수행하였다. 산화배소 시 NdFeB계 영구자석 스크랩의 주요성분인 Nd와 Fe의 산화반응은 다음과 같다.<sup>3)</sup>



산화배소된 스크랩을 황산에 침출시킴으로써 네오디뮴과 철을 회수하게 된다.<sup>4)</sup> 아래 식에서  $\Delta$ 는 가열을 의미한다.



그러므로 본 연구에서는 스크랩을 소성로에서 산화배소한 후 황산침출을 수행하였다. 산화배소된 스크랩을 적정 농도의 황산수용액에 첨가하여 일정 조건하에서 황산침출을 수행하였다. 황산침출 후 침출잔사를 여과하여 얻은 상등액에서 네오디뮴과 철 성분의 농도는 ICP(Jobin-Yvon Model JY-38 Plus)를 이용하여 측정하였다. 황산침출용액에 적정량의 황산나트륨을 첨가하여 네오디뮴을 황산나트륨네오디뮴[Nd·Na(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]의 복염형태로 침전시킴으로써 네오디뮴과 철을 분리하였다. 철의 분리를 및 순도는 황산나트륨네오디뮴 복염을 여과한 후, 상등액의 철과 네오디뮴의 함량을 ICP를 이용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 산화배소에 의한 스크랩의 분해 및 황산침출

본 연구에서는 산화배소된 스크랩으로부터 네오디뮴과 철을 회수하기 위하여 산화배소 시 산화배소 온도 그리고 황산침출 시 황산농도, 침출온도, 침출시간, 팽액농도를 변수로 이들이 침출에 미치는 영향을 고찰함으로써 NdFeB계 영구자석 스크랩으로부터 네오디뮴과 철 성분의 최적 분해 및 침출조건을 확립하고자 하였다.

##### 3.1.1. NdFeB계 영구자석 스크랩의 산화배소

본 연구에서는 소결자석(SP)과 본드자석(BP) 스크랩 분말을 출발원료로 하여 온도를 500~800°C로 변화시키면서 산화배소를 수행하였다. Fig. 1은 SP 스크랩의 XRD 분석결과를 나타내고 있는데, SP 스크랩은  $Fe_2ONd_3B_2$ 의 결정구조를 가지고 있으며, 따라서 스크랩의 일부가 산화되었음을 알 수 있다. Fig. 2는 800°C에서 산화배소된 스크랩의 XRD 분석결과를 나타내고 있는데, 800°C에서 산화배소된 스크랩은  $Fe_2O_3$ 와  $FeNdO_3$ 의 결정구조를 가지고 있다. Fig. 3은 산화배소 온도에 따른 산화배소 스크랩의 XRD 분석결과를 나타

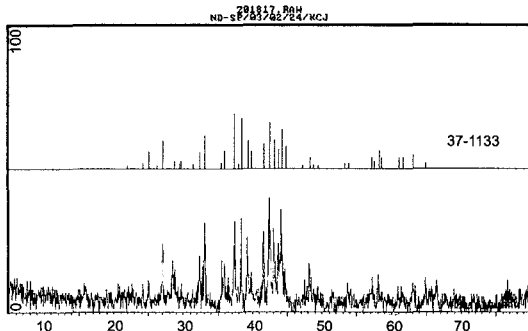


Fig. 1. XRD patterns of SP scrap powder.

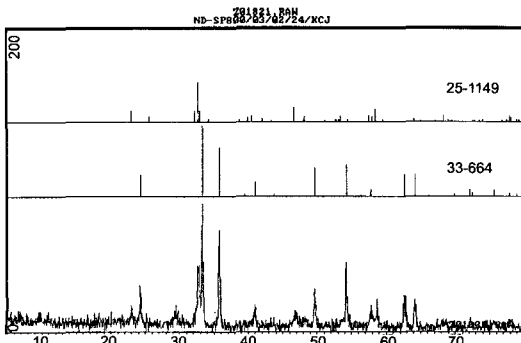


Fig. 2. XRD patterns of SP scrap treated at 800°C.

내고 있는데, 산화배소 온도가 증가함에 따라  $Fe_2O_3$ 와  $FeNdO_3$ 의 결정구조가 증가함을 알 수 있다. Table 2는 소결자석 스크랩 분말 200 g을 Muffle Furnace에서 승온시간 30분 온도 500, 600, 700, 800°C에서 각각 2시간으로 산화배소를 수행한 후의 무게변화를 나타내고 있다. 소결자석 스크랩 분말 200 g에는 Fe가 73.39%, Nd가 25.48% 함유되어 있는데, 이로부터 Fe와 Nd가 완전히 산화되었다면, 산화배소 후 시료의 무게는 287.07 g으로 증가하여야 하나, 본 산화배소 실험결과 스크랩 분말의 무게는 800°C에서 266.78 g으로 이론적 무게 증가에 92.9%에 머무르는 것을 알 수 있었으며, 따라서 Nd-Fe-B계 스크랩 분말의 산화배소시 완전 산화는 이루어지지 않음을 알 수 있다.

Table 3은 본드자석 스크랩 분말 200 g을 Muffle

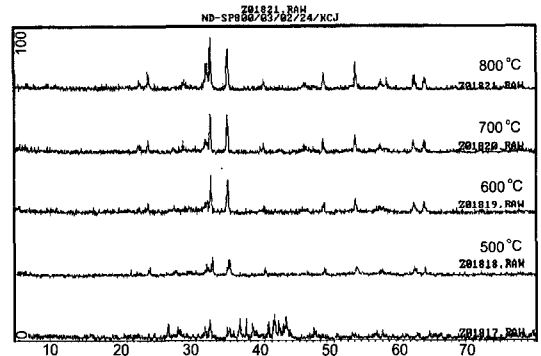


Fig. 3. XRD patterns of SP scrap treated with oxidation temperature.

Table 2. Weight changes of scrap(SP) with oxidation-roasting temperature

| Temp. of oxidation-roasting | 500    | 600    | 700    | 800    |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Weight(g)                   | 259.87 | 264.60 | 266.34 | 266.78 |
| AW/TW*(%)                   | 90.5   | 92.2   | 92.8   | 92.9   |

\*AW: actual weight of scrap increased during oxidation roasting  
TW: theoretical weight of scrap increased during oxidation roasting

Table 3. Weight changes of scrap(BP) with oxidation-roasting temperature

| Temp. of oxidation-roasting | 500°C  | 600°C  | 700°C  | 800°C  |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Weight(g)                   | 214.57 | 222.30 | 247.07 | 258.12 |
| AW/TW*(%)                   | 78.4   | 81.3   | 90.3   | 94.4   |

Furnace에서 승온시간 30분 온도 500, 600, 700, 800°C에서 각각 2시간으로 산화배소 수행한 후의 무게 변화를 나타내고 있다. 시료 200 g에는 Fe가 77.03%, Nd가 22.09% 함유되어 있는데, 이로부터 Fe가 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 그리고 Nd가 Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 완전히 산화되었다면, 산화배소 후 시료의 무게는 273.55 g으로 증가하여야 하나, 본 산화배소 실험결과 시료의 무게는 800°C에서 258.12 g으로 이론적 무게 증가에 94.4%에 머무르는 것을 알 수 있었으며, 이 결과는 앞에서 언급한 바와 같이 Fe와 Nd의 산화가 완전하게 이루어지지 않음을 알 수 있었다.

3.1.2. 산화배소 스크랩의 황산침출

본 연구에서는 네오디뮴 성분을 추출하기 위하여 산화배소 스크랩의 황산침출을 수행하였다. 출발물질은 소결자석(SP)과 본도자석(BP) 스크랩 분말을 사용하여 산화배소 온도, 황산침출 시 황산농도, 광액농도, 침출온도 및 시간을 실험변수로 선정하여 이들이 Nd와 Fe의 침출에 미치는 영향을 고찰하였다.

산화배소 온도가 Fe 및 Nd의 황산침출에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 각각의 산화배소 온도(500~800°C)에서 산화배소된 SP 및 BP 스크랩 20 g을 2.5 M 황산수용액 200 ml에 첨가한 후, 침출온도 50°C에서 2시간 동안 침출시켰으며, 이 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 이 결과에 의하면, 산화배소 온도가 증가함에 따라 Fe와 Nd의 침출율이 감소하는 것을 알 수 있으며, 앞에서 언급한 XRD 분석결과에서 산화배소 온도가 증가함에 따라 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 FeNdO<sub>3</sub>의 결정 피크가 증가하는데, FeNdO<sub>3</sub> 결정으로 인하여 침출율이 낮아지는 것으로 사료된다.<sup>3)</sup> 또한 SP와 BP를 비교할 때, SP 보다는 BP가 동일 조건 하에서 Fe와 Nd 침출율이 증가하

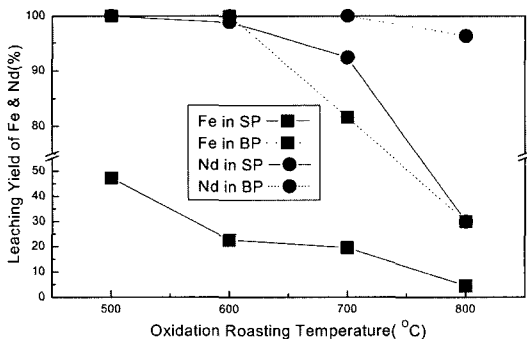


Fig. 4. Leaching Yield of Fe and Nd for SP & BP with oxidation temperature. (conc. of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 2.5 M leaching Temp. & Time; 50°C. 2 hrs., pulp density; 10%)

는 것을 알 수 있으며, 따라서 SP 보다는 BP에서 산화배소 시 FeNdO<sub>3</sub> 결정의 생성이 적음을 알 수 있다.

Fig. 5는 황산농도가 Fe 및 Nd 침출에 미치는 영향을 알아보기 위하여, BP 스크랩 분말을 500°C에서 2시간 산화배소 시킨 후 광액농도 10%, 침출온도 및 시간을 50°C, 2시간에서 황산농도를 변화시키면서 황산침출을 수행한 결과를 나타내고 있다. 황산농도가 1.5 M에서 2.0 M 이상으로 증가함에 따라 Fe와 Nd의 침출율이 증가하며 황산농도가 2.0 M 이상의 황산수용액에서는 Fe와 Nd의 전 함량 침출되는 것을 알 수 있다. 그러나 황산농도가 3.0 M 이상에서는 Nd의 침출율이 감소한다. 이와 같이 황산농도가 3.0 M 이상인 황산수용액에서 Nd의 침출율이 급격히 감소하는 이유는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 증가에 따른 공통이온 효과에 의하여 황산네오디뮴 [Nd<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>]의 용해도가 감소하기 때문인 것으로 사료된다.<sup>5)</sup> 철은 황산농도에 관계없이 전량이 침출되며, 네오디뮴과 비교하여 황산농도에는 큰 영향을 받지 않음을

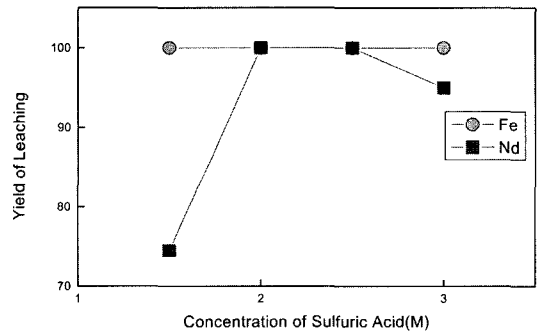


Fig. 5. Leaching Yield of Fe and Nd with the concentration of sulfuric acid. (roasting temp.; 500°C, leaching temp. & time; 50°C. 2 hrs., pulp density; 10%)

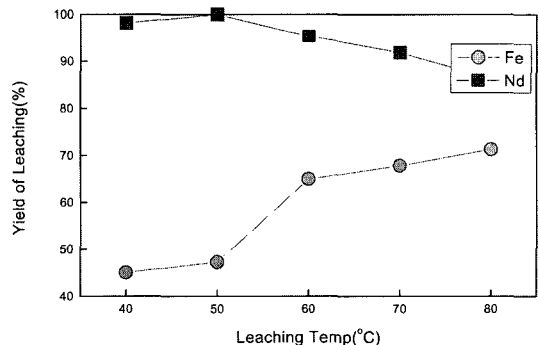


Fig. 6. Leaching Yield of Fe and Nd with the leaching temperature. (roasting temp.; 500°C, conc. of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 2.5 M, leaching time; 2 hrs., pulp density; 10%)

알 수 있다. 따라서 본 연구조건에서 황산수용액의 황산농도는 2.0 M이 최적임을 알 수 있었다.

Fig. 6은 침출온도가 Fe와 Nd 침출에 미치는 영향을 알아보기 위하여 SP 스크랩 분말을 500°C에서 2시간 산화배소시킨 후, 황산농도 2.5 M, 광액농도 10%, 침출시간 2시간에서 침출온도를 40°C에서 80°C로 변화시키면서 황산침출을 수행한 결과를 나타내고 있다. 침출온도가 증가함에 따라 회토류와 철의 침출율이 증가하는데, 회토류의 경우에는 50°C를 기준으로 침출온도가 증가함에 따라 침출율이 감소되었으며, 철의 침출율은 침출온도가 증가함에 따라 일정하게 증가하였다. 일반적으로 황산네오디뮴( $Nd_2(SO_4)_3$ )의 용해도는 수용액의 온도가 증가함에 따라 감소한다고 알려져 있다.<sup>5)</sup> 따라서 수용액의 온도가 50°C 이상에서 네오디뮴의 침출율이 감소하는 이유는 황산네오디뮴의 용해도 감소 때문이라고 사료되며, 본 연구조건에서는 침출온도 50°C가 최적임을 알 수 있다.

Fig. 7은 침출시간이 Fe 및 Nd 침출에 미치는 영향을 알아보기 위하여, SP 스크랩 분말을 600°C에서 2시

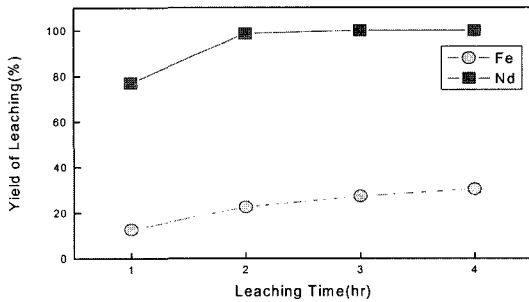


Fig. 7. Leaching Yield of Fe and Nd with the leaching time. (roasting temp.; 500°C, conc. of  $H_2SO_4$ ; 2.5 M, leaching temp.; 50°C, pulp density; 10%)

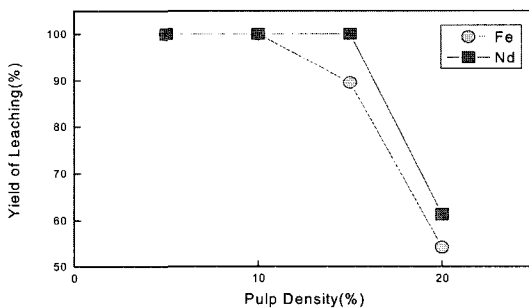


Fig. 8. Leaching Yield of Fe and Nd with the pulp density. (roasting temp.; 500°C, conc. of  $H_2SO_4$ ; 2.5 M, leaching temp. & time; 50°C, 2 hrs)

간 산화배소시킨 시료를 황산농도 2.5 M, 광액농도 10%, 침출온도 50°C에서 침출시간을 변화시키면서 황산침출을 수행한 결과를 나타내고 있는데, 침출시간이 증가함에 따라 Nd와 Fe의 침출율이 증가하며, Nd의 경우에 침출시간 3시간 이후에는 큰 변화가 없으며, 따라서 침출시간은 3시간 정도가 적절한 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 광액농도가 Fe 및 Nd 침출에 미치는 영향을 알아보기 위하여 BP 스크랩을 600°C에서 2시간 산화배소시킨 시료를 황산농도 2.5 M, 침출온도 및 시간을 50°C, 2시간에서 광액농도를 변화시키면서 황산침출을 수행한 결과를 나타내고 있다. 본 연구결과에 의하면, 광액농도가 증가함에 따라 Fe와 Nd의 침출율이 감소하는 것을 알 수 있으며, Nd는 광액 농도 15%까지는 침출의 변화가 없으나, 광액농도 20%에서는 급격한 침출율의 감소가 있으며, 따라서 광액 농도는 15% 정도가 적절한 것을 알 수 있다.

### 3.2. 황산나트륨을 이용한 침출용액 내 네오디뮴과 철의 분리

본 연구에서는 네오디뮴과 철의 분리를 위하여 황산나트륨을 이용한 복염침전법을 도입하였다. 일반적으로 수용액내 3가의 회토류 원소들은 황산매질에서 황산나트륨과 반응하여 황산나트륨회토류( $Re \cdot Na(SO_4)_2$ )를 형성하면서 침전되지만, 3가의 철은 황산나트륨과 반응을 하지 않고 용액내 존재하며, 이러한 반응메카니즘을 본 연구에 적용하여 침출용액 내 철 성분과 네오디뮴을 분리하는 실험을 수행하였다. 즉, 황산침출용액에 황산나트륨을 첨가하면 3가의 네오디뮴 이온들은 황산나트륨과 결합하여 황산나트륨네오디뮴을 형성하며 침전되므로 용액 내 이온 상태로 남아 있는 철과 네오디뮴을 분리하는 방법이다. 이 방법은 공정이 간단하며 회수된 네오디뮴의 회수율과 품위가 높은 장점을 가지고 있다.<sup>6)</sup>

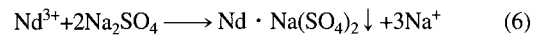


Table 4는 배소온도 700°C, 황산농도 2.0 M, 침출온도 및 시간 50°C, 2시간 그리고 광액농도 15%에서 본 드자석(BP) 스크랩을 분해 침출한 침출용액의 조성은

Table 4. Composition of neodymium and iron in the leaching solution the experimental conditions

| Component   | Nd    | Fe    |
|-------------|-------|-------|
| Composition | 1.74% | 5.86% |

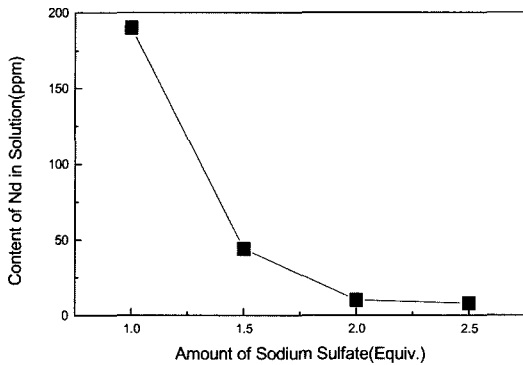


Fig. 9. Effect of amount of sodium sulfate on the separation of neodymium. (reaction temp. 50°C, reaction time; 1 hr)

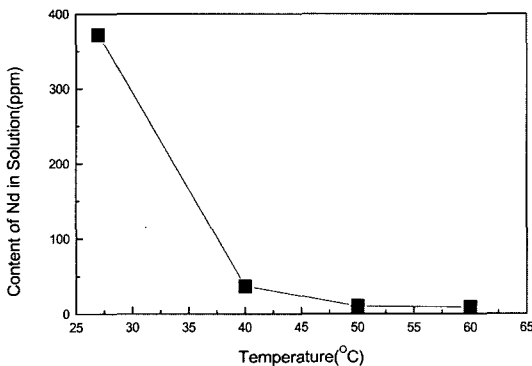


Fig. 10. Effect of reaction temperature on the separation of neodymium. ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; 2 equiv., reaction time; 1 hr)

나타내고 있다. 이 조건에서 네오디뮴과 철의 침출율은 각각 99.4%와 95.7%이었다. 본 연구에서는 Table 2의 조성을 갖는 용액을 출발물질로 하여 황산나트륨을 이용한 복염침전법으로 네오디뮴을 침출용액으로부터 분리하고자 하였다.

Fig. 9는 네오디뮴과 철이 함유된 침출용액 200 ml에 황산나트륨의 첨가량을 1당량(9.45 g)에서 2.5당량(23.63 g)으로 변화시키면서 네오디뮴을 분리한 후, 용액 내 남아있는 네오디뮴의 함량을 나타내고 있다. 황산나트륨의 첨가량이 증가할수록 네오디뮴 분리 후 용액 내 존재하는 네오디뮴의 함량은 감소하는데, 황산나트륨 첨가량이 증가할수록 용액 내 황산 및 나트륨 이온의 증가에 따라 황산나트륨네오디뮴 침전이 용이하게 일어난다는 것을 알 수 있다. 또한 황산첨가량 2.0 당량 이상에서는 큰 영향이 없음을 알 수 있다. 따라서 본 연구조건에서는 황산나트륨의 첨가량은 2당량이 적절한 것을 알

Table 5. Composition of the solution after separation of neodymium

| Composition | Nd      | Fe    |
|-------------|---------|-------|
| Content     | <10 ppm | 5.83% |

수 있다.

Fig. 10은 황산나트륨 2당량 첨가 시 반응온도를 변화시키면서 복염침전을 수행한 결과를 나타내고 있는데, 반응온도에 따라 황산나트륨네오디뮴 회수 후, 용액 내 남아있는 네오디뮴의 함량은 감소하는 것을 알 수 있다. 즉 반응온도가 증가할수록 황산나트륨네오디뮴 침전이 용이하게 일어남으로서 네오디뮴의 분리 회수가 잘 이루어짐을 알 수 있으며, 반응온도 50°C 이상에서는 용액 내 함량 변화가 거의 없으며, 따라서 반응온도는 50°C 정도가 적절한 것을 알 수 있다.

Table 5는 앞에서 얻은 최적조건, 즉 황산나트륨 첨가량 2.0 당량, 반응온도 50°C에서 황산나트륨 복염침전에 의하여 네오디뮴을 회수한 용액의 조성을 나타내고 있는데, 용액 내 남아있는 네오디뮴의 함량이 10 ppm 이하로서 99.9% 이상의 네오디뮴을 회수할 수 있었다. 또한 네오디뮴 회수 후 용액 내 철의 함량 분석 결과, 침출용액 대비 철의 함량은 99.8%, 품위는 99.9%로서 고도 분리가 이루어졌음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 NdFeB 영구자석 스크랩 분말을 500~800°C에서 산화배소하여 철을 산화철로 산화한 후 황산침출을 통하여 스크랩 분말중의 네오디뮴과 철 성분을 침출용액으로 분리회수하였으며, 침출용액으로부터 네오디뮴과 철의 분리를 위하여 황산나트륨을 사용한 복염침전법을 적용하였다. 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 산화배소 시 본드자석 스크랩의 배소온도는 700°C, 소결자석 스크랩의 배소온도는 500°C, 황산침출 시 황산의 농도는 2.0 M, 침출온도 50°C, 침출시간 2시간, 광액농도 15%가 최적 조건이었으며, 본드자석 스크랩에 대한 네오디뮴의 침출율은 99.4%, 철은 95.7%의 침출율을 얻을 수 있었다.

2. 황산나트륨을 이용한 복염침전법에 의하여 네오디뮴과 철을 분리 시, 최적 분리조건은 황산나트륨 첨가량은 2당량, 반응온도는 50°C이었다. 이 때 네오디뮴의 회수율은 99.9% 이상이었으며, 네오디뮴 분리 후 용액

내 철의 함량과 품위는 출발원료 대비 각각 99.8%와 99.9% 이었다.

**참고문헌**

1. Xu, Y., Chumbly, L. S. and Laabs, F. C., 2000: Liquid metal extraction of Nd from NdFeB magnet scrap, J. Mater. Res., **15**(11), 2296-2304.
2. 정원용, 정우상, 2000: 국내의 희토류 영구자석의 개발과 수급현황, 희토류광의 처리에 의한 고순도 소재원료 제조 기술 개발 심포지움 논문집, 한국자원연구소, 88-104.
3. Lee, J. C. et al., 1998: Extraction of Neodymium from Nd-Fe-B Magnet Scraps by Sulfuric Acid, J. of the Korean Inst. of Met. & Mater., **36**(6), 967-972.
4. Yu, Z. S., and Chen, M. B., 1995: Rare Earth Element & Their Applications, Metallurgical Industry Press, Beijing.
5. Dean, J. A., 1985: Physical Properties, Lange's Handbook of Chemistry, 13th Edition, Mcgraw-Hill, NewYork, 10-10-21.
6. Yoon, H. S. et al., 2001 : Preparation of High Grade Cerium Compounds, Technical Report of Mocie, 1999R-ME01-P-03.

---

**尹 虎 成**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
  - 本 學會志 第11卷 2號 參照
- 

---

**金 哲 圭**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 연구원
  - 本 學會志 第11卷 2號 參照
- 

---

**李 珍 榮**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
  - 本 學會志 第11卷 2號 參照
- 

---

**金 聖 敦**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 연구원
  - 本 學會志 第11卷 2號 參照
- 

---

**金 俊 秀**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
  - 本 學會志 第11卷 2號 參照
- 

---

**李 在 天**

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
  - 本 學會志 第11卷 2號 參照
-