

반응성 결정화에 의한 네오디뮴 옥살레이트 특성 고찰

*尹虎成 · 金哲主 · 金俊秀

韓國地質資源研究院, 資源活用素材研究部

A Study on the Characterization of Neodymium Oxalate by Reaction Crystallization

*Ho-Sung Yoon, Chul-Joo Kim and Joon-Soo Kim

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

요 약

본 연구에서는 NdFeB 영구자석 스크랩을 산침출처리하여 제조한 염화네오디뮴 수용액에 옥살산 수용액을 투입하여 반응성 결정화에 의한 네오디뮴 옥살레이트를 합성 시, 반응조건이 네오디뮴 옥살레이트에 미치는 영향을 고찰하였다. 네오디뮴 옥살레이트는 핵 생성을 통하여 형성된 1차 입자들의 응집체 형태를 가지고 있으며, 응집된 평균입자 크기는 반응조건에 영향을 받았다. 일정한 용액 부피에서 반응물의 농도 증가는 핵생성을 통하여 형성되는 1차 입자의 크기는 감소시키나 입자들의 수를 증가시키며, 따라서 1차 입자들의 충돌에 의하여 형성되는 응집체의 크기를 증가시켰다. 일정한 반응물 농도에서 교반속도가 증가함에 따라 응집체 표면에 붙어있던 결정입자들이 떨어지기 때문에 최종 응집체의 크기는 감소하였다. 반응온도 증가에 따라 핵생성속도가 감소하고, 1차 입자 수의 감소는 입자들의 충돌 확률을 감소시키며 따라서 응집체의 평균 크기가 감소하였다. 네오디뮴 옥살레이트의 열분해 거동 고찰 결과, 400°C 이상에서 옥살레이트의 분해가 일어나며 620°C에서 네오디뮴 옥살레이트가 산화네오디뮴으로 결정화되었다.

주제어: NdFeB 영구자석, 스크랩, 반응성 결정화, 네오디뮴 옥살레이트, 산화네오디뮴

Abstract

In this study, neodymium oxalate powders were prepared by injecting oxalic acid to the neodymium chloride solution resulted from the acid leaching solution of NdFeB magnet scrap. The effects of experimental conditions on the characteristics of neodymium oxalate powders were investigated. Neodymium oxalate was aggregated by primary particles formed by nucleation, and average size of aggregates was affected by experimental conditions. In a constant volume, increase of reactants affected the average size of aggregate formed by collision of primary particles. In a constant concentration of reactants, agitation speed decreased the size of aggregate due to breakage of particles attached on the surface of aggregate. The number of primary particles decreased with increasing reaction temperature, and the size of aggregates decreased due to the decrease of collision probability. From the results of decomposition behavior of neodymium oxalate, oxalate decomposed from 400°C, and neodymium oxide began to crystallize at above 620°C.

Key words : NdFeB magnet, scrap, reaction crystallization, neodymium oxalate, neodymium oxide

1. 서 론

네오디뮴은 희토류 17개 원소들 중에서 세륨(Ce)과

란타넘(La) 다음으로 풍부한 원소이다. 이러한 네오디뮴은 레이저, 유리의 채색 및 착색제, 유전체 등에 사용되며, 특히 neodymium-iron-boron(Nd₂Fe₁₄B) 영구자석의 기본 물질로 널리 사용되고 있다. 순수한 불화네오디뮴(NdF₃)과 산화네오디뮴(Nd₂O₃)은 laser, glass,

* 2004년 8월 13일 접수, 2004년 9월 16일 수리

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

그리고 세라믹 제조에 사용되며, 네오디뮴염은 자성체 제조에 필요한 네오디뮴 금속 그리고 합금을 제조하는 metallothermic 또는 electrolytic reduction에 대량 사용된다.¹⁾

일반적으로 산화네오디뮴은 염화네오디뮴 용액에 침전제를 첨가하여 네오디뮴침전물을 생성시킨 후, 이를 열분해하여 최종적으로 얻어진다. 염화네오디뮴 용액으로부터 네오디뮴침전물을 얻기 위해 사용되는 침전제로는 옥살산이 가장 널리 이용되고 있으며, 다음 식과 같이 옥살산은 용액 중의 네오디뮴과 반응하여 용해도가 매우 낮은 네오디뮴 옥살레이트를 형성하여 침전한다. 이와 같은 방법으로 네오디뮴 옥살레이트 결정을 얻는 과정을 반응성 결정화라 하며 반응성 결정화의 기본원리는 수용액 내에서 수용성 반응물들의 반응을 통하여 생성되는 생성물의 농도가 과포화가 되어 고체 결정으로 석출되는 것이다.²⁾

반응성 결정화(reaction crystallization)는 용해도가 큰 두 반응물을 적절한 침전제를 사용하여 용해도가 아주 작은 생성물을 생성함으로써 용해도 차에 의해서 다량의 결정들이 발생되게 된다. 반응성 결정화에 의해 용액 중에 생성된 많은 결정들, 즉 응결분자들은 자유로이 움직이면서 상호 충돌하게 된다. 이러한 충돌의 결과로 두 분자의 운동에너지에 의해 서로 튕겨져 나가기도 하고 상호간의 인력으로 인해 두 분자가 물리적으로 뭉쳐지기도(aggregation)하지만 용액 중 여분의 과포화 상태에서는 crystal bond와 같이 agglomeration으로 발전하기도 한다. 이런 결정들의 응집체는 대부분의 반응성 결정화에서 동일하게 발생되고 결정들의 크기, 모양, 분포 등에 상당한 영향을 주기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Macy와 Courmil은 agglomeration process를 두 개의 연속적인 단계로 보았는데³⁾, 입자들이 서로 충돌하고 이 충돌로 인해 입자들이 서로 뭉쳐져서 aggregate를 형성하는 것을 1단계로 보았고 2단계에서는 이렇게 형성된 aggregate들이 결정화 과정에서의 분자성장을 통해 agglomerate로 발전한다고 보았다. Sung 등은 single-jet semi 회분식 반응기에서 교반속도를 증가시킬수록 입자간의 충돌빈도(collision frequency)를 향상시키기 때문에 입자간의 응집을 향상시키지만, 어느 기준을 넘게 되면 평균 입자의 크기가 감소되는데 이러한 이유는 응집체 표면에 붙어있던 결정입자들이 떨어지는 것이라고 보았다.⁴⁾

그러므로 본 연구에서는 전보⁵⁾에서 언급한 바와 같이 NdFeB 영구자석 스크랩의 산화배소 및 황산침출을

거쳐 회수된 침출용액으로부터 황산나트륨을 사용한 복염침전법으로 분리회수된 황산나트륨네오디뮴 화합물로부터 염화네오디뮴 수용액을 제조하였으며, 이를 출발물질로 반응성 결정화를 통하여 생성되는 네오디뮴 옥살레이트의 생성 특성과 산화네오디뮴을 얻기 위한 네오디뮴 옥살레이트의 열분해 거동을 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 시료 및 장치

본 연구에서는 NdFeB계 소결자석 스크랩의 침출용액으로부터 분리회수된 황산나트륨네오디뮴 복염을 출발물질로 사용하였다.

Fig. 1은 황산나트륨네오디뮴의 XRD 분석결과를 나타내며, 결정구조가 sodium neodymium sulfate hydrate 참고피크와 일치하는 것을 알 수 있다.

황산나트륨네오디뮴으로부터 염화네오디뮴 수용액을 얻기 위해서는 황산나트륨을 수산화나트륨 수용액에 투입하여 수산화네오디뮴으로 전환한 후, 이를 염산 수용액에 용해시킨다. Fig. 2는 황산나트륨네오디뮴을 수산

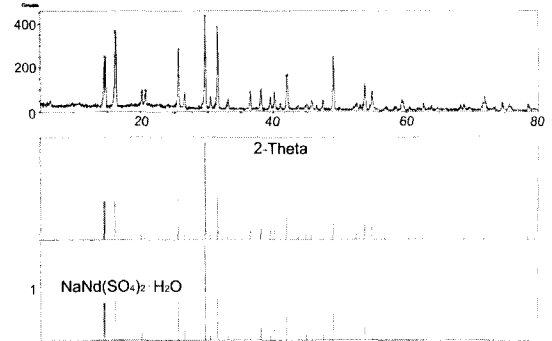


Fig. 1. XRD patterns of sodium neodymium sulfate.

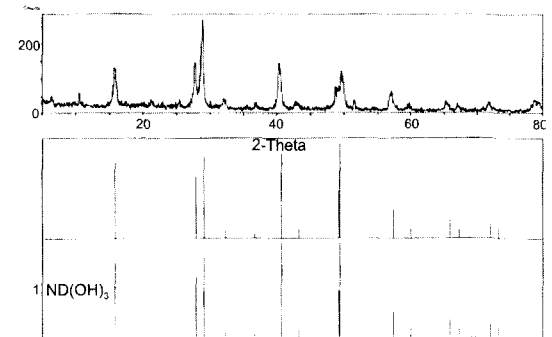


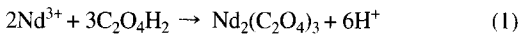
Fig. 2. XRD patterns of neodymium hydroxide.

화나트륨 수용액에 첨가하여 수산화네오디뮴으로 전환시킨 후 XRD 분석결과를 나타내고 있다. 수산화네오디뮴을 묽은 염산수용액에 용해하여 염화네오디뮴 수용액을 제조하였다.

본 연구에서는 교반이 결정화 공정에 미치는 영향을 체계적으로 규명하기 위하여 Rushton type의 표준 반응기를 이용하여 네오디뮴옥살레이트 결정화 연구를 수행하였다. Rushton type의 표준 반응기는 교반에 의한 유체역학적 혼합 및 용액에 대한 동력 투입량 등이 비교적 잘 분석되어 있는 반응기로서 교반효과의 해석이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 이 Rushton type의 표준 반응기는 pyrex 재질을 사용하여 자체 제작하였으며, 아크릴로 된 4개의 baffle을 반응기 내벽에 90도로 설치하였으며, impeller는 6-paddle turbine type으로 스테인레스로 제작하였다.

2.2. 실험방법

네오디뮴 옥살레이트의 반응성 결정화를 위해 두 반응물을 화학양론 조건에서 반응시켰다. 반응식 (1)에 의하면 네오디뮴 이온 용액은 옥살산 용액과 2:3의 비로 반응하므로 반응에 들어가는 두 용액의 농도 비도 2:3으로 맞추었으며, 두 용액의 부피를 같게 하였다.



따라서 반응기내에 먼저 일정 농도 염화네오디뮴 용액 350 ml를 넣고, peristatic pump(Master Flex, No. 7520-00)을 통해 일정한 유량으로 네오디뮴 농도의 1.5 배 농도로 옥살산 용액 350 ml를 주입함으로써 네오디뮴 옥살레이트($\text{Nd}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3$)를 생성시키는 single-jet 방식으로 네오디뮴 옥살레이트 결정화 실험을 수행하였다. 옥살산용액을 주입할 때 주입위치 변화에 의한 영향을 배제시키기 위하여 반응기벽에 설치된 baffle옆에 수직으로 하여 주입튜브의 끝부분이 impeller와 수평하도록 위치시켰다. 또한 반응기 내로 유입되는 옥살산은 floating flow meter(Gilmont, F-2265)를 이용하여 조절하였다.

반응성 결정화에 의하여 생성된 세립옥살레이트의 평균 입자크기와 입자크기 분포는 반응이 종료된 후 입자 분석기(Malvern Co., Mastersizer/E)를 이용하여 측정하였으며, 본 연구에서 사용된 평균입자 크기는 부피평균 입자크기를 기준으로 하였다. 네오디뮴 옥살레이트의 결정 형상과 열분해 거동은 SEM(StereoScan 440, Leica Cambridge, England)과 TG-DT 분석을 통하여 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

반응성 결정화에 의해 생성되는 네오디뮴 옥살레이트의 결정화 과정은 염화네오디뮴 용액과 옥살산 용액과의 반응에 의한 네오디뮴 옥살레이트의 과포화 농도 형성 단계와 결정화 과정인 결정핵 생성과 결정성장 단계를 거쳐 일어난다. 반응성 결정화의 추진력은 과포화 농도에 좌우되며 과포화 농도는 반응 조건의 변화에 따라 달라진다.

결정크기분포는 결정화 현상의 수학적 modeling을 위하여 개체군 수지식(population balance)과 물질 수지식 및 에너지 수지식과 연결시켜 사용할 수 있으며, 다음과 같이 결정 입자의 평균입자를 계산하는 데에 이용할 수 있다.⁶⁾

$$L_{j+1,j} = \frac{\int_0^{\infty} L^{j+1} n(L) dL}{\int_0^{\infty} L^j n(L) dL} \quad (2)$$

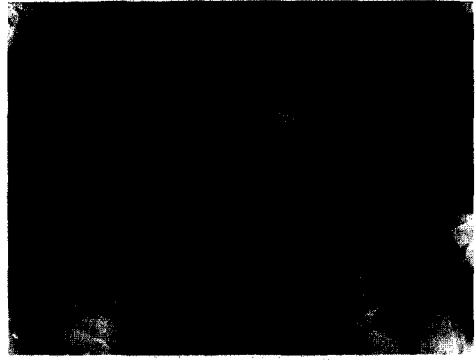
여기서 L 은 PSA measure channel을 나타내고 n 은 결정 입자분포를 나타낸다. $j=0$ 인 경우 위 식은 결정의 개수평균크기를 나타내며, $j=3$ 인 경우는 부피평균입자크기를 나타내는 것으로서, 본 실험에서는 부피평균입자크기를 기준으로 실험조건의 변화가 결정화에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

3.1. 반응물 농도의 영향

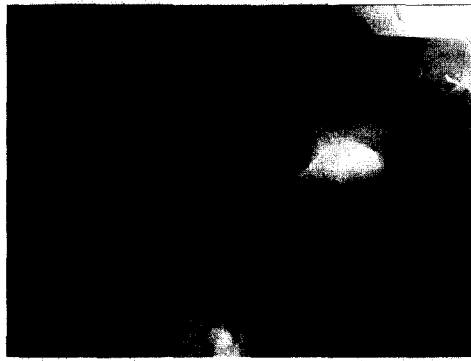
반응물 농도의 변화가 평균 결정크기에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 네오디뮴 농도를 0.05 M에서 0.3 M로 변화시키며 각 농도의 1.5배에 해당하는 옥살산 수용액을 6.0 ml/min으로 투입하였다. 이러한 반응조건에서 교반속도는 500 rpm, 반응온도는 25°C로 유지하였다. 일반적으로 반응물의 농도가 증가함에 따라 용액 내의 과포화도가 커지기 때문에 결정핵들이 많이 생성되게 된다. 이 생성된 결정핵들이 단일 결정으로 성장하는 경우에는 반응물의 농도가 증가함에 따라 생성물의 결정입자의 평균크기는 작아진다. Fig. 3은 네오디뮴의 농도 0.05 M과 0.1 M의 조건에서 제조된 네오디뮴 옥살레이트를 10000배로 확대하여 SEM 분석을 수행한 결과를 나타내고 있는데, 0.05 M에서 형성된 네오디뮴 옥살레이트 결정이 0.1 M에서 제조된 것 보다 크게 보인다. 그러나 Fig. 4와 같이 입도분석기를 통하여 본 연구조건에서 형성되는 네오디뮴 옥살레이트의 평균크기를 분석한 결과, 반응물의 농도증가에 따라 네오디뮴



0.05 M



0.05 M



0.1 M



0.1 M

Fig. 3. SEM ($\times 10000$) of neodymium oxalate.

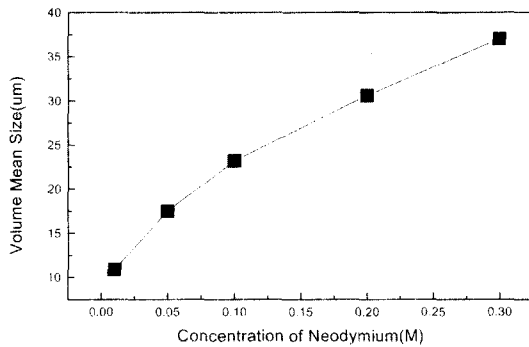


Fig. 4. Effects of concentrations on the volume mean particle size of neodymium oxalate.

옥살레이트의 평균 입자크기가 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 반응물의 농도가 증가함에 따라 생성되는 결정입자의 수는 증가하지만 그로 인하여 결정입자들의 충돌 확률이 높아지고 따라서 결정입자들의 응집이 잘 일어나기 때문으로 사료된다. Fig. 5는 네오디뮴의 농도 0.05 M, 0.1 M 그리고 0.3 M일 때 제조된



0.3 M

Fig. 5. SEM ($\times 4000$) of neodymium oxalate with concentration.

네오디뮴 옥살레이트를 나타내고 있는데, 반응물의 농도 증가에 따라 1차 입자로 구성된 응집체의 크기가 커지며, 따라서 응집이 더욱 잘 일어난 것을 알 수 있다.

3.2. 교반속도의 영향

교반속도의 변화가 네오디뮴 옥살레이트 평균 결정크

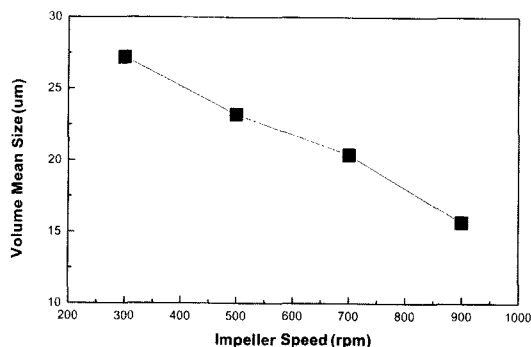


Fig. 6. Effect of impeller speed on the volume mean size of neodymium oxalate.

기에 미치는 영향을 조사하기 위하여 교반속도를 300, 500, 700, 900 rpm으로 변화시키며 실험하였다. 이때의 반응조건은 0.1M 염화네오디뮴 용액을 반응기에 미리 넣은 후 주어진 교반속도로 교반하며 0.15 M 옥살산 용액을 6 ml/min의 속도로 투입하였다. 반응조건에 따라 침전된 네오디뮴 옥살레이트의 입자크기는 입도분석기를 통하여 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에 따르면 교반속도가 증가할수록 네오디뮴 옥살레이트의 평균 크기가 감소하였는데, 이러한 현상은 반응성 결정화 과정에서 교반속도가 반응물의 결정화속도와 결정입자의 성장과정에 동시에 영향을 미친다는 것으로 설명할 수 있다. 즉 액상에서 일어나는 이 반응은 두 반응물이 분자 수준으로 얼마나 빨리 혼합되느냐가 실질적 반응속도에 영향을 미친다. 따라서 교반속도가 빠를수록 반응물의 혼합도가 향상되어 네오디뮴 옥살레이트의 반응속도를 증가시키며, 결과적으로 반응기 내에 형성되는 네오디뮴 옥살레이트의 과포화도가 증가된다. 일반적으로 과포화도의 증가는 결정화 과정에서 결정핵 생성 속도와 결정 성장속도 모두에 영향을 미치는데, 과포화도 증가에 따라 결정 생성속도는 지수승으로 증가하는 반면 결정 성장속도는 일반적으로 1승에 비례하여 증가하는 것으로 알려져 있다. 따라서 일정한 반응물 농도에서 과포화도의 증가는 생성되는 결정의 수를 증가시키고 최종산물의 평균크기가 감소하게 된다. Fig. 7은 위와 같은 반응 조건에서 얻어진 네오디뮴 옥살레이트의 SEM 결과를 나타내고 있는데, 본 조건에서 얻어지는 네오디뮴 옥살레이트는 결정입자들이 응집되어 있는 것을 알 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 결정의 수가 증가하면, 서로 간의 충돌에 의한 응집으로 최종 응집체의 크기는 증가하나, 본 조건에서



300 rpm



500 rpm



900 rpm

Fig. 7. SEM ($\times 4000$) of neodymium oxalate with agitation speed.

는 최종 응집체의 크기가 감소하였다. 이러한 이유는 Sung 등⁴⁾의 연구결과와 일치하는데, 즉 교반속도 증가로 인하여 응집체 표면에 붙어있던 결정입자들이 떨어지기 때문에 최종 응집체 크기는 감소한다고 사료된다.

Fig. 8은 교반속도 변화에 따른 상대적 유도시간의 변화를 나타낸 것이다. 상대적 유도시간이란 반응기에

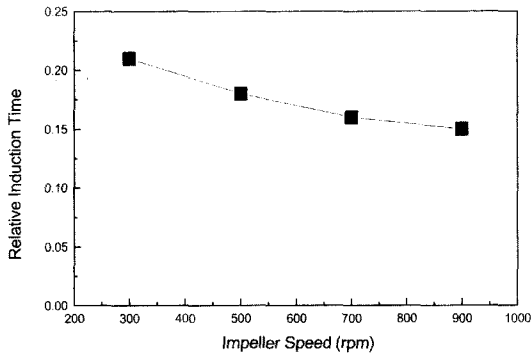


Fig. 8. Effects of impeller speed on the relative induction time of neodymium oxalate.

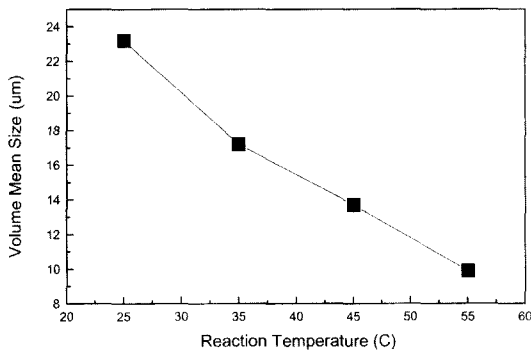


Fig. 9. Effects of temperature on the volume mean particle size of neodymium oxalate.

반응물을 투입하기 시작한 시점부터 반응용액 내에 결정이 발생하는 시점까지의 경과시간을 총 주입시간으로 나눈 수치로 정의한다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 교반속도가 증가함에 따라 상대적 유도시간이 감소하는데 이는 교반속도의 증가가 용액내의 반응속도를 촉진시켜 과포화 농도를 증가시키며 따라서 빠른 결정 석출로 상대적 유도시간이 감소하는 것으로 사료된다.

3.3. 반응온도의 영향

반응온도가 결정화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 네오디뮴 농도 0.1 M, 교반속도 300 rpm에서 반응온도를 25°C에서 55°C로 변화시키면서까지 네오디뮴 옥살레이트를 합성시켰으며, 반응온도에 따른 네오디뮴 옥살레이트의 응집체 입도변화를 Fig. 9에 나타내었다. 일반적으로 대부분의 물질은 온도가 상승하면 용해도가 증가하여 상대적으로 반응기내의 과포화 농도를 감소시킨다. 따라서 낮은 과포화 농도에서는 반응기 내에 결정생성 속도 보다 결정성장 속도가 상대적으로 우세하



25°C



55°C

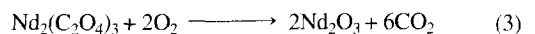
Fig. 10. SEM ($\times 4000$) of neodymium oxalate with temperature.

게 되어 결정의 수는 감소하고 크기는 증가하게 된다. 그러나 Fig. 9에 의하면 반응온도가 증가함에 따라 응집체의 평균 크기는 감소하였다. 이러한 결과로부터 반응온도 증가에 따라 결정의 크기는 증가하나 수는 감소하고, 결정들의 개수 감소는 결정들의 총물량을 감소시키며 따라서 응집체의 평균 크기가 감소하는 것을 알 수 있었다.

Fig. 10은 반응온도에 따라 형성된 네오디뮴 옥살레이트의 SEM 분석결과를 나타내고 있는데, 반응온도 증가에 따라 응집체의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3.4. 네오디뮴 옥살레이트의 열분해 거동

네오디뮴 옥살레이트로부터 산화네오디뮴을 얻기 위해서는 일반적으로 열분해 과정이 필요하며 이 때의 반응식은 다음과 같다.



네오디뮴 옥살레이트의 열분해 특성을 고찰하기 위하여 TG-DTA를 이용하였다. 공기 분위기에서 30-900°C 까지 온도 증가에 따른 질량 변화를 측정하여 Fig. 11에 나타내었다. TG 곡선에서 150°C 근처까지 무게 손실은 흡착수가 제거되기 때문이며, 220°C 근처에서의

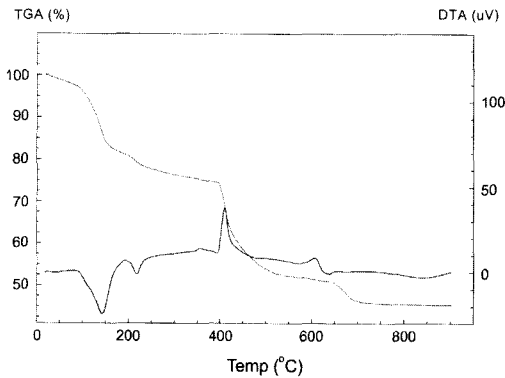


Fig. 11. TG-DT curves of neodymium oxalate.



Neodymium oxalate



Neodymium oxide

Fig. 12. SEM (x10000) of neodymium oxalate and neodymium oxide.

무게 손실은 결정수가 제거되기 때문이다. DT 곡선에서도 이러한 온도 부근에서 흡열피크가 나타남을 알 수 있다. 연속해서 400°C 이상에서의 무게손실은 옥살레이트의 분해에 의하여 일어나며, DT 곡선에서는 발열피크가 나타난다. 620°C에서의 무게손실 및 발열피크는 네오디뮴 옥살레이트가 산화네오디뮴으로 결정화되기 때문이다. 따라서 본 연구조건에서 제조된 네오디뮴 옥살레이트로부터 산화네오디뮴을 얻기 위해서는 700°C 이상으로 소성되어야 함을 알 수 있다. Fig. 12는 네오디뮴 옥살레이트와 700°C에서 소성된 산화네오디뮴을 나타내는데, 소성됨에 따라 입자 크기는 감소하였으나, 입자 형태는 변하지 않은 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 NdFeB 영구자석 스크랩으로부터 분리회수된 염화네오디뮴 수용액에 옥살산 수용액을 투입하여 반응성 결정화에 의한 네오디뮴 옥살레이트를 합성하였다.

합성된 네오디뮴 옥살레이트는 핵 생성을 통하여 형성된 1차 입자들의 응집체 형태를 가지고 있으며, 응집된 평균입자 크기는 반응물 농도, 교반속도, 반응온도와 같은 반응조건에 영향을 받았다. 반응물의 농도를 증가시키면 응집체의 평균크기가 증가하였으며, 일정한 반응물 농도에서 교반속도가 증가함에 따라 결정생성속도가 증가하여 응집체의 형성이 잘 일어나나, 교반속도 증가로 인하여 응집체 표면에 붙어있던 결정입자들이 떨어지기 때문에 최종 응집체의 크기는 감소하였다. 또한 반응온도 증가에 따라 응집체의 평균 크기는 감소하는 것을 알 수 있었다.

그리고 네오디뮴옥살레이트의 열분해 거동을 조사한 결과, 220°C 까지 흡착수 및 결정수가 제거되고, 400°C 이상에서 옥살레이트의 분해가 일어났다. 620°C에서 네오디뮴 옥살레이트가 산화네오디뮴으로 결정화되었다.

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), pp. 2296-2304.
2. Brown, T. L., LeMay, H. E. Jr., and Bursten, B. E., 1994 : "Chemistry", 6th ed., Prentice-Hall, New Jersey, PP. 66-74
3. Macy, J. C., Courmil, M., 1991 : "Using a turbidimetric method to study the kinetics of agglomeration of

potassium sulfate in a liquid medium”, Chemical Engineering Science, **46**, pp. 693-701

4. Sung, M. H., Choi, I. S., Kim, J. S., and Kim, W. S., 2000: “Agglomeration of Yttrium oxalate particles produced by reaction precipitation in semi-batch reactor”, Chemical Engineering Science, **55**, pp. 2173-2184

5. Yoon, H. S. *et al.*, 2003 : “Separation of neodymium from NdFeB permanent magnet scrap”, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, **12**(6), pp. 57-63

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
 - 본 학회지 제11권 2호 참조
-

金 哲 主

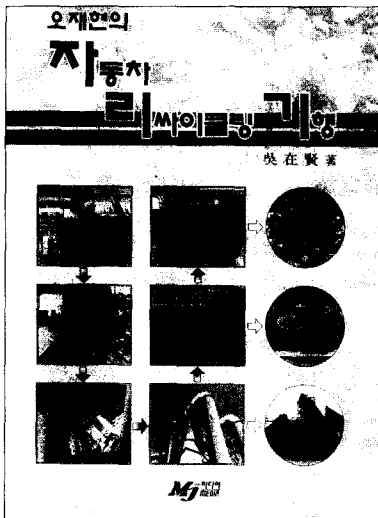
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 연구원
 - 본 학회지 제11권 2호 참조
-

金 俊 秀

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
 - 본 학회지 제11권 2호 참조
-

신간 안내

- 제 목 : **오재현의 자동차리사이클링기행**
- 지 자 : **吳 在 賢**
- 발행처 : MJ 미디어
- 4*6 배판, 312P
- 정 가 : 20,000원



경제학에 있어서는 생산을 대금의 회수로서 one cycle 완료했다고 한다. 그러나 사회적으로는 생산은 리사이클을 실행함으로써 one cycle 완료했다고 해야 할 것이다. 이러한 관점에서 이 책에서는 사용이 다 끝난 자동차(ELV, End of Life Vehicle)가 어떻게 처리되는가를 그 기본적인 방법과 과정을 쉽게 기술하였다. 그리고 처리현장을 탐방하여 많은 것을 기록하였다. 이것은 흥미와 이해를 돕기도 하지만 생생한 우리의 폐차처리 역사를 후세에 남기고 싶고 한편 어떻게 처리하는 것이 가장 바람직한 것인가를 다 같이 생각하게 함이다.

- 제1장 「자연과 환경과 리사이클링」,
- 제2장 「자동차의 수명과 리사이클링」,
- 제3장 「자동차의 리사이클링 시스템」,
- 제4장 「자동차 해체의 실제」,
- 제5장 「자동차 슈레딩 처리기술」,
- 제6장 「자동차 리사이클링의 국제동향」,
- 제7장 「自動車 리사이클링의 꿈」