

니켈 MHP로부터 제조된 염화니켈을 이용한 탄산니켈 제조연구

§강용호 · 신기웅 · 현승균*

인천화학 부설연구소, *인하대학교 재료공정학

Study on the Preparation of Nickel Carbonate Using Nickel Chloride Prepared from Nickel MHP

§Yong-Ho Kang, Gi-Wung Shin and Soong-Keun Hyun*

Research & Development Center, Incheon Chemical Ltd., Incheon, Korea

*Department of Materials Process Engineering Inha University

요 약

일반적으로 탄산니켈을 제조하기 위한 원료로 NiSO₄ 및 NiCl₂가 사용되었다. 제조된 탄산니켈의 경우 표면 및 내부에 있어 Na₂SO₄ 및 NaCl이 생성되어 탄산니켈의 순도를 감소시키는 원인이 되고 있으며, 이러한 불순물의 제거정도에 따라 고순도 탄산니켈을 제조할 수 있다. 본 연구에서는 니켈MHP 용매추출 공정으로 제조된 NiCl₂를 이용하여 탄산니켈제조 연구를 진행하였다. 실험은 니켈염과 탄산염 당량비에 따른 제조, 탄산니켈 수세에 따른 탄산니켈 내 Na 및 Cl 감소 및 수세용수의 온도에 따른 Na 및 Cl의 감소에 대한 조건을 실험하여 고순도 탄산니켈을 제조할 수 있었다.

주제어 : 탄산니켈, 불순물, 염화니켈, 재활용, 니켈MHP

Abstract

Generally NiSO₄ and NiCl₂ were used as raw materials for producing nickel carbonate. In the case of the produced nickel carbonate, Na₂SO₄ and NaCl are generated on the surface and inside of the nickel carbonate to decrease the purity of the nickel carbonate. High purity nickel carbonate can be produced according to the degree of removal of such impurities. In this study, NiCl₂ produced by nickel MHP solvent extraction process was used to study the production of nickel carbonate. High purity nickel carbonate was prepared by the conditions according to the nickel salt and carbonate equivalence ratio, the reduction of Na and Cl in nickel carbonate according to the washing of nickel carbonate, and the reduction of Na and Cl according to the washing water temperature.

Key words : Nickel carbonate, Impurities, Nickel chloride, Recycle, Nickel MHP

1. 서 론

니켈은 IT, 전자, 우주 및 항공 등의 필수소재로 사용되는 금속으로 4차산업의 필수소재로 부각되고 있다.

국내 전자 및 합금용 Ni소재 수요는 연간 3만8천톤으로 전량 수입에 의존하고 있으며, 수입금액은 약 3천억 원 규모이다. 이러한 니켈은 지속적으로 가격이 상승하고 있으며, 안정적인 수급이 필요한 상황이다.

· Received : June 21, 2018 · Revised : August 3, 2018 · Accepted : August 20, 2018

§ Corresponding Author : Yong-Ho Kang (E-mail : robokang@inchem.co.kr)

Research & Development Center, Incheon Chemical Co., Ltd., #98-21, Geonji-ro, Seo-gu, Incheon-si 22844, Korea

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

니켈MHP(Nickel Mixed Hydroxide Precipitate)는 Ni 고품위광의 고갈로 저품위광인 Ni 산화광(Limonate: ~1% Ni, ~40%Fe)의 습식제련 부산물이다. 이러한 니켈MHP는 용매추출공정을 거쳐 코발트 등과 같은 부산물을 제거 후 고순도 NiSO_4 또는 NiCl_2 로 추출된다.

본 연구에서는 니켈MHP로 용매추출공정을 거쳐 회수된 NiCl_2 를 이용하여 고순도 탄산니켈을 제조하는 연구를 진행하였다.

탄산니켈은 연녹색의 분말로 물에는 용해되지 않으나 산성의 용액에서 용해되어 수용액이 되는 특성을 가진 니켈화합물이다. 탄산니켈은 주요 사용처로 니켈도금의 pH 조정제, 설파민산니켈제조의 원료 및 철강분야에서 철강의 부식을 방지하기 위한 갈바닉도금의 원료 등으로 사용되고 있다.

탄산니켈 제조에 관한 연구 문헌은 오래전부터 최근 까지 연구되어 왔다. 2000년 이전의 논문에서는 탄산니켈을 효율적 제조 및 분석에 관한 논문이 주를 이루었으며, 2000년 이후의 논문 및 특허는 고순도 탄산니켈을 제조하는 방법에 관해 주로 연구가 이루어졌다. 고순도 탄산니켈을 요구하는 원인으로 위에서 언급한 바와 같이 니켈도금의 원료로 주로 사용되므로 고순도 탄산니켈일수록 고순도 니켈화합물을 제조가 가능하기 때문이다¹⁻¹⁰⁾.

일반적으로 탄산니켈을 제조하는 방법으로는 습식법을 이용하여 제조되고 있으며, 건식법으로는 제조되지 않고 있다. 그 이유로 탄산니켈은 120~150°C에서 수화물이 증발하고 350°C에서 NiO와 CO_2 가스로 분해가 일어나기 때문에 건식법으로 제조가 어려운 것으로 알려져 있다³⁻⁶⁾.

습식법으로 탄산니켈을 제조하는 방법으로 문헌에서는 탄산니켈을 제조하는 원료로 주로 NiSO_4 가 사용되고 있으며, 탄산염으로는 탄산나트륨 또는 탄산암모늄이 사용되고 있다. 탄산니켈을 제조하는데 있어 영향을 주는 요인으로는 교반속도, 반응온도, 니켈과 탄산염의 반응 당량비 등이 있다^{3,4)}.

Fig. 1은 pH에 따른 NiCO_3 및 Ni(OH)_2 에 관한 제조를 나타낸 그림이다. 탄산니켈을 제조하기 위해서는 pH에 따른 니켈의 생성물이 중요하다. 탄산니켈은 A-B 구간(pH 7.5 이하)인 pH 상승구간, B-C구간인(pH 7.5~7.8) NiCO_3 침전구간, C-D구간(pH 7.8~9.0) pH 상승구간, D-E구간(pH 9.0 이상)인 Ni(OH)_2 생성 구간으로 문헌에서 알려져 있으며, NiCO_3 및 Ni(OH)_2 는 탄산니켈의 Ni함량을 결정하는 중요한 요인이다^{3,4)}.

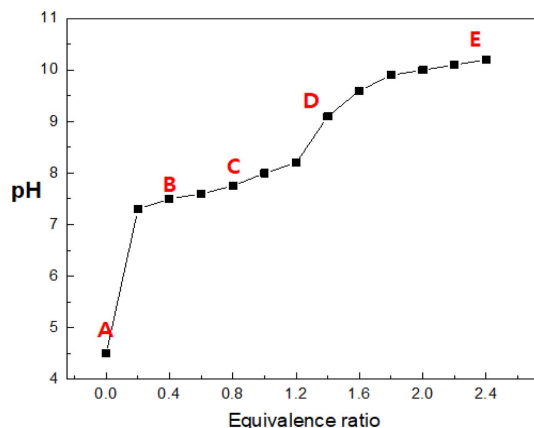


Fig. 1. Preparation of NiCO_3 and Ni(OH)_2 by pH.

고순도 탄산니켈을 제조하기 위해서는 탄산니켈 재 Ni의 함량도 중요하나 불순물의 제어 또한 중요하다. 탄산니켈의 주요 불순물로 Na이 있는데 이는 탄산니켈을 제조하는 방법이 니켈염과 탄산나트륨(Na_2CO_3)을 주로 사용하기 때문이다. 이로 인해 제조 후 탄산니켈 내 Na로 인하여 탄산니켈의 순도가 감소하는 주요원인이 되고 있다. Fig. 2는 전기 이중층을 나타낸 그림이다. 탄산니켈 내 불순물인 Na의 제거가 어려운 이유는 그림과 같이 탄산니켈 제조시 니켈의 주변에 Na^+ 이온이 존재하고, 그로 인해서 Cl⁻와 전하의 이중층을 형성하고 액체 막이 생성된다. 이 액체 막으로 인해서 Na^+ 와 Cl⁻이온이 불순물로서 제거하기 어렵다고 알려져 있다¹⁾. 이에 탄산니켈 내 Na를 제거하기 위한 방법으로 탄산니켈을 제조 후 소량의 암모니아수를 이용하여 탄산니켈에 반응함으로 이중층을 약하게 하여 Na를 제거하는

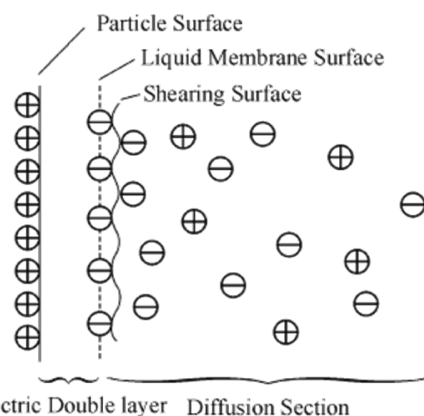


Fig. 2. The sketch map of electric double layer¹⁾.

Table 1. Chemical composition of NiCl₂ (unit: ppm)

	Ni	Co	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Si
Sample 1	21,225	30	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sample 2	20,780	19	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sample 3	21,325	18	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Table 2. Chemical composition of Na₂CO₃ (unit: ppm)

	Na	K	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Si
Na ₂ CO ₃	80560	50	7	32	3	13	4	-	17

방법, 탄산니켈 제조 후 수세 건조과정을 마친 후 다시 탄산니켈을 수세 건조함으로 Na를 제거하는 방법, 탄산니켈의 수세단계에서 초음파를 이용하여 탄산니켈 표면에 에너지를 가해 Na를 분리하는 방법들이 연구된 바 있다.^{1,2,9,10)}

본 연구에서는 니켈MHP로부터 추출된 NiCl₂ 용액을 이용하여 탄산니켈을 제조할 수 있는 최적의 조건 및 고순도 탄산니켈 제조를 위한 탄산니켈 내 Na⁺ 및 Cl⁻ 함량을 감소하는 방법을 연구하였다.

2. 실험방법

2.1. 실험 재료

본 연구를 위해 사용된 니켈MHP로부터 추출된 NiCl₂ 용액의 조성은 Table 1에 나타내었다. 표에서와 같이 NiCl₂ 용액은 니켈 함량이 20~21%이며, 미량의 금속분순물 Co, Al, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, Si 등이 포함되어 있는 것을 알 수 있다.

본 연구에서 사용된 탄산염으로는 Na₂CO₃를 사용하였으며 조성은 Table 2에 나타내었다. 표에서와 같이 Na₂CO₃는 Na 함량 8%이며, 미량의 금속분순물 K, Al, Ca, Cu, Fe, Mg, Si 등이 포함되어 있는 것을 알 수 있다.

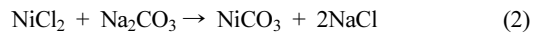
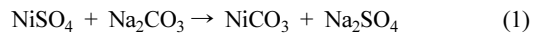
2.2. 실험 방법

실험은 먼저 NiCl₂ 용액에 증류수에 용해한 Na₂CO₃를 첨가하여 탄산니켈을 제조하는 단계와 제조된 탄산니켈을 고액분리하는 단계, 고액분리된 탄산니켈을 증류수에 수세하는 단계로 나눌 수 있다.

NiCl₂ 용액은 증류수에 용해한 Na₂CO₃를 첨가하여야 한다. 탄산니켈을 제조하는 단계에서 고품분말인

Na₂CO₃를 직접 첨가할 시 고품분말 주위에서 부분 반응이 일어난다. 용액 내 전체적인 반응성을 저하를 막기 위해 Na₂CO₃를 증류수에 용해하여 NiCl₂용액에 첨가하여야 한다.

니켈염과 탄산염에 관한 반응식은 아래와 같다.



위의 반응식 (1)을 보면 원료가 NiSO₄일 경우 Na₂CO₃와 반응하여 생성물은 NiCO₃와 Na₂SO₄이 생성된다. 원료가 NiCl₂일 경우 Na₂CO₃와 반응하여 (2)와 같이 생성물은 NiCO₃와 2NaCl이 생성된다. Na₂SO₄와 NaCl은 위에서 언급한 바와 같이 탄산니켈 표면 및 내부에 있어 탄산니켈의 순도를 감소시키는 원인이 되므로 Na₂SO₄와 NaCl을 제거할수록 고 순도의 탄산니켈을 제조할 수 있다.

제조된 탄산니켈을 고액분리하는 단계에서 반응이 완료된 용액을 여과병을 이용하여 탄산니켈과 반응여액으로 고액분리 하였다.

고순도의 탄산니켈을 제조하기 위해 탄산니켈 내 Na₂SO₄와 NaCl을 제거하는 방법으로 탄산니켈을 증류수에 수세하는 단계를 진행한다. 탄산니켈은 1L에 0.093 g의 낮은 용해도를 가지고 있다. 반응식(1)에서 생성되는 Na₂SO₄의 경우 물에 대한 용해도는 139 g/L (20°C)이고 반응식(2)에서 생성되는 NaCl의 경우 물에 대한 용해도는 359 g/L로 Na₂SO₄보다 물에 대한 용해도가 높다. 적은 양의 수세수를 이용 탄산니켈 내 Na를 제거할 수 있으므로 NiCl₂용액을 선택하여 실험을 진행하였다.

고액분리된 탄산니켈을 증류수에 수세하는 단계에서는 위 단계에서 회수된 탄산니켈을 실온, 40, 60 및

80 °C로 조절된 증류수에 첨가하여 30분 동안 탄산니켈의 수세를 진행하였으며, 수세된 탄산니켈은 위와 같이 방법으로 여과병을 이용하여 탄산니켈과 반응여액을 고액 분리하였다. 이를 총 5회까지 탄산니켈을 수세하였다.

위 실험은 각 공정마다 시료를 채취하여 분석하였으며, 이때 용액 및 금속의 성분 분석은 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer : PerkinElmer, Optima-7300 DV)으로 측정하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 니켈염과 탄산염 당량비에 따른 탄산니켈 회수율

탄산니켈을 제조하기 위한 최적의 비율을 측정, 니켈염과 탄산염 당량비에 따른 탄산니켈 회수율 실험을 진행하였다. 먼저 pH가 0.8로 조절된 NiCl_2 용액을 1L 비커에 교반하면서 온도를 40 °C로 유지하였다. 그 다음으로 250 g/L Na_2CO_3 용액을 Ni당량 대비 1:1, 1:1.1, 1:1.2, 1:1.3, 1:1.4 및 1:1.5의 비율로 Feeding pump를 이용하여 NiCl_2 용액에 투입하였다. Na_2CO_3 용액의 첨가가 종료 후 60분 동안 반응을 유지하여 주었으며, 반응이 종료된 용액은 고액분리 하여 여액과 탄산니켈로 분리하였다.

Fig. 3은 니켈염과 탄산염 당량비에 따른 탄산니켈 회수율과 반응 후 여과용액 내 Ni농도를 나타낸 그림이다. 그림과 같이 염화니켈과 탄산나트륨의 이상적 반응비인 1:1이 첨가되었을 때 탄산니켈 회수율 69.8%이며 반응 후 용액 내 Ni 농도는 6281 ppm이 미반응

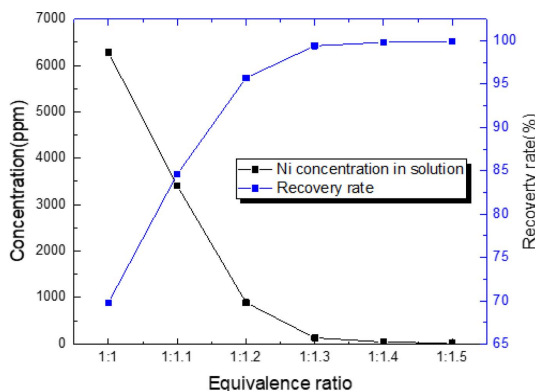


Fig. 3. Nickel carbonate recovery rate and Ni concentration in the reaction solution.

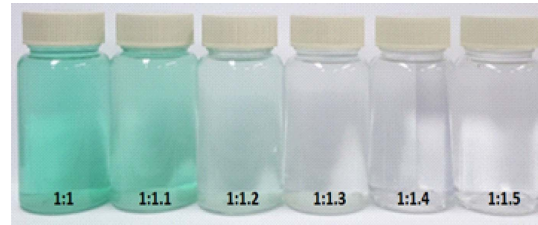


Fig. 4. The reaction solution after filtration.

되어 용액 내 존재하였다. 염화니켈을 모두 탄산니켈로 제조하여야 니켈의 손실을 줄이고 폐수의 부하를 감소하기 탄산나트륨이 더 첨가되어야 한다는 것을 알 수 있었다.

염화니켈 대비 탄산나트륨을 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 및 1.5의 비율로 증가하여 반응한 결과 이상적 반응비에서 68.9%였던 탄산니켈 회수율은 84.6, 95.7, 99.4, 99.8, 99.9%로 증가하였으며, 여과용액 내 Ni농도는 6281 ppm이 3410, 892, 131, 39 및 18 ppm으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 그림4는 당량비에 따른 탄산니켈 제조 후 여과용액을 나타낸 그림으로 용액 내 Ni의 농도가 높을수록 초록색을 띠며 Ni이 감소할수록 투명해지는 것을 알 수 있었다.

위와 같이 실험결과 탄산니켈 제조시 니켈염과 탄산염의 최저 잔류물 반응비는 1:1.4 내지 1:1.5에서 제조하는 것이 최적으로 보여지며, 1:1.5 이상의 탄산염을 첨가하는 것은 원가상승의 원인이 될 수 있으며, 다량의 탄산나트륨으로 인해 탄산니켈 내 Na를 증가시킬 수 있는 원인이 될 수 있으므로 1:1.5 이상의 첨가는 바람직하지 않다.

3.2. 수세에 따른 탄산니켈 내 Na 및 Cl 농도 변화

이 실험은 탄산니켈 내 Na 및 Cl을 제거함으로 고순도의 탄산니켈을 제조하기 위해 탄산니켈을 수세하는 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 탄산니켈은 위의 실험에서 니켈염과 탄산염의 당량비 1:1.4로 제조된 탄산니켈을 이용하여 실험하였다. 실험은 40 °C로 가열된 증류수 1L에 탄산니켈 100 g/L를 투입 후 30분 동안 수세하였다. 그 후 탄산니켈을 고액분리하여 여과액 및 탄산니켈을 회수 하였으며, 이와 같은 방법으로 총 5회 탄산니켈 수세를 진행하였다.

Fig. 5는 수세에 따른 탄산니켈 내 Na의 농도변화를 나타낸 그림이다. 그림을 보면 초기 34970 ppm의 Na를 가진 탄산니켈을 40 °C 증류수로 수세한 결과 3856

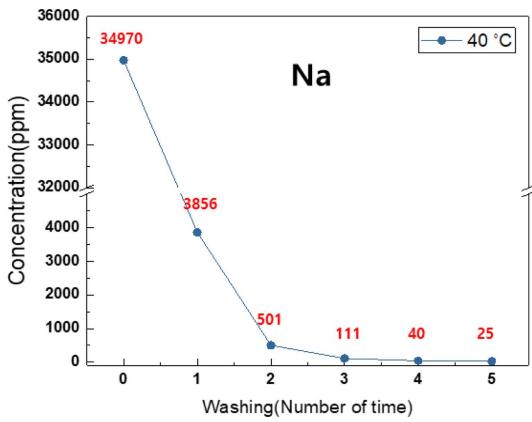


Fig. 5. Na content in nickel carbonate by washing.

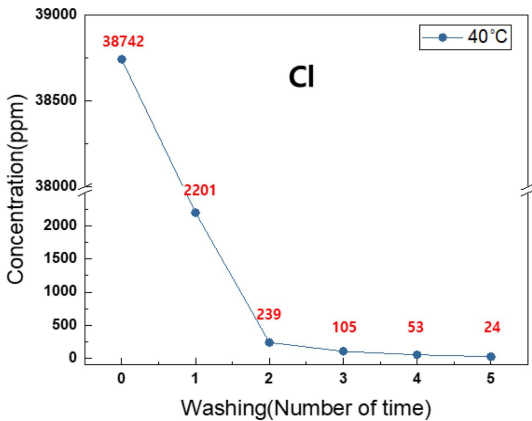


Fig. 6. Cl content in nickel carbonate by washing.

ppm으로 크게 감소하였다. 수세의 회수가 증가할수록 Na의 함량은 501, 111, 40, 25 ppm으로 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6는 수세에 따른 탄산니켈 내 Cl의 농도변화를 나타낸 그림이다. 그림을 보면 초기 38742 ppm의 Cl을 가진 탄산니켈을 40 °C 증류수로 수세한 결과 2201 ppm으로 크게 감소하였다. 수세의 회수가 증가할수록 Cl의 함량은 239, 105, 53, 24 ppm으로 감소하는 것을 알 수 있다.

위의 실험결과 탄산니켈 내 Na 및 Cl은 수세의 회수가 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있으며, Na 및 Cl 모두 200 ppm까지는 2~3번의 수세만으로 쉽게 감소할 수 있으나 200 ppm 이하의 영역에서는 수세의 효율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이 실험을 통해 탄산니켈의 수세 회수는 약 4회 정도가 최적으로 판단되며,

필요에 따라 초고순도의 탄산니켈을 요구할 경우 수세 회수의 증가를 통해 Na와 Cl를 25 ppm 이하로 감소할 수 있다.

3.3. 수세온도에 따른 탄산니켈 내 Na 및 Cl 농도 변화

이 실험은 수세온도에 따른 탄산니켈 Na 및 Cl의 제거 실험을 진행하였다. 실험진행에 사용된 탄산니켈은 위의 실험에서 니켈염과 탄산염의 당량비 1:1.4로 제조된 탄산니켈을 이용하여 실험을 진행하였다. 실험은 20, 40, 60 및 80 °C로 가열된 증류수 1 L에 탄산니켈 100 g/L를 투입 후 30분 동안 반응하여 수세하였다. 그 후 탄산니켈을 고액분리하여 여과액 및 탄산니

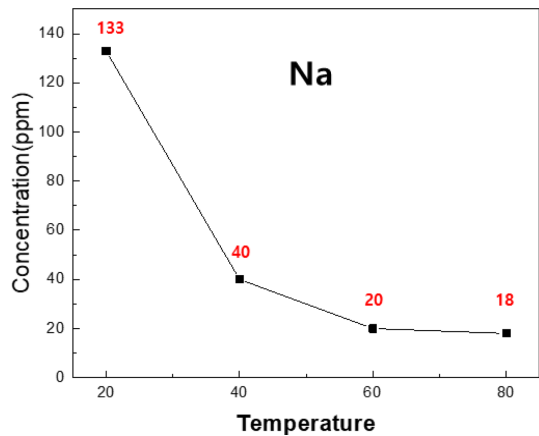


Fig. 7. Na content in nickel carbonate by washing temperature.

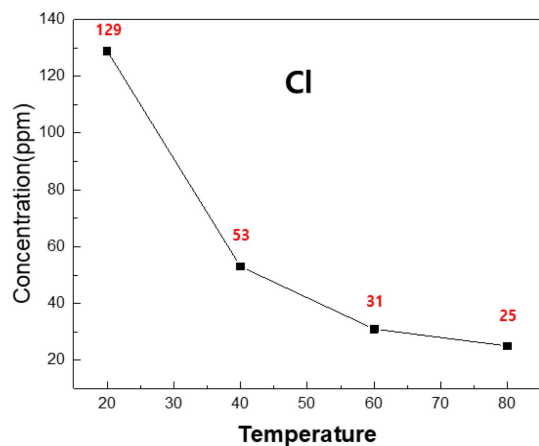


Fig. 8. Cl content in nickel carbonate by washing temperature.

Table 3. Chemical composition of NiCO₃ (unit: ppm)

	Ni	Co	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Na	Cl
탄산니켈 60 °C	378,902	25	2	276	14	11	20	32	204	20	31
탄산니켈 40 °C	340,754	24	2	157	12	8	20	31	187	40	53

켈을 회수하였으며, 이와 같은 방법으로 총 4회 탄산니켈 수세를 진행하였다.

Fig. 7은 수세온도에 따른 탄산니켈 내 Na의 농도변화를 나타낸 그림이다. 그림을 보면 20 °C의 온도에서 4회 수세한 Na의 함량은 133 ppm으로 감소한 것을 알 수 있으며, 수세의 온도를 40, 60 및 80 °C로 증가한 결과 Na의 함량은 40, 20 및 18 ppm으로 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 수세온도에 따른 탄산니켈 내 Cl의 농도변화를 나타낸 그림이다. 그림을 보면 20 °C의 온도에서 4회 수세한 Na의 함량은 129 ppm으로 감소한 것을 알 수 있으며, 수세의 온도를 40, 60 및 80 °C로 증가한 결과 Na의 함량은 53, 31 및 25 ppm으로 감소하는 것을 알 수 있다.

위의 실험결과 수세수의 온도가 증가할수록 탄산니켈 내 Na 및 Cl을 효과적으로 제거할 수 있는 것을 알 수 있으며, 수세수의 온도를 60 °C까지 증가하였을 때는 Na 및 Cl의 제거가 효과적이었으나 80 °C 이상은 크게 차이가 없어 탄산니켈의 최적의 수세온도는 60 °C로 판단된다.

Table 3은 위의 탄산니켈 당량비 1:4에서 제조된 탄산니켈을 수세온도 40 및 60 °C에서 4회 수세한 탄산니켈의 성분을 나타낸 표이다. 표를 보면 Ni의 함량이 약 38%이며, 금속불순물은 Co 25 ppm, Al 2 ppm, Ca 276 ppm, Cu 14 ppm, Fe 11 ppm, Mg 20 ppm, Mn 32 ppm, Si 204 ppm, Na 20 ppm, Cl 31 ppm을 가진 탄산니켈을 제조할 수 있었다. 위의 실험들을 통하여 탄산니켈 내 Na 및 Cl을 효율적으로 제거하여 고순도의 탄산니켈을 제조할 수 있었으며, 추가적인 연구를 통해 Co, Ca 및 Si등을 제거하는 연구를 통해 초고순도의 탄산니켈을 제조할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 니켈MHP로부터 추출된 NiCl₂ 용액을 이용하여 탄산니켈을 제조할 수 있는 최적의 조건 및 탄산니켈 내 불순물 함량을 감소하는 방법을 연구하였

다. 실험은 니켈염인 NiCl₂ 용액과 탄산염인 Na₂CO₃를 당량비로 첨가하여 탄산니켈을 제조한 결과 1:1.4의 비율에서 최적을 나타내었으며, 1:1.5 이상에서는 Na의 과량첨가 및 원가문제로 적합하지 않았다. 탄산니켈을 수세하여 탄산니켈 내 Na 및 Cl을 감소하는 실험에서 탄산니켈을 수세하는데 적합한 수세수의 온도는 60 °C에 4회 수세를 함으로 초기 탄산니켈 내 Na 34970 ppm은 20 ppm으로 감소하였으며, Cl 38742 ppm은 31 ppm으로 감소하여 고순도의 탄산니켈을 제조할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2018년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 10077986).

References

1. Fang Liu et al., 2008 : An improved purification method for preparation of basic nickel carbonate of high purity via chemical precipitation, J. of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed, 23(3), pp.331-333.
2. Guo Xueti Huang Kai and Zhang Duo-mo, 2004 : Preparation of basic nickel carbonate particles in solution system of Ni-NH₃-CO₃²⁻-H₂O, J. of Rans Nosferrous Met. Soc. China, 14(5), pp.1006-1011.
3. Damien Guillard and Alison E. Lewis, 2001 : Nickel carbonate precipitation in a fluidized-bed reactor, Ind. Eng. Chem. Res., 40(23), pp.5564-5569.
4. R. M. Mallya and A. R. Vasudeva Murthy 1961 : Studies on the basic carbonates of nickel part I : Factors influencing the precipitation of nickel carbonate, Department of inorganic and physical chemistry, Indian Institute of Science, 43(1), pp.44-51.
5. R. M. Mallya and A. R. Vasudeva Murthy 1961 : Studies on the basic carbonates of nickel part II : Hydrated basic nickel carbonate, Department of inorganic and physical chemistry, Indian Institute of Science, 43(2), pp.65-75.
6. R. M. Mallya and A. R. Vasudeva Murthy 1961 : Studies

- on the basic carbonates of nickel part III : Potentiometric study of precipitation, Department of inorganic and physical chemistry, Indian Institute of Science, 43(2), pp.76-86.
7. R. M. Mallya and A. R. Vasudeva Murthy 1961 : Studies on the basic carbonates of nickel part IV : Preparation of basic nickel carbonates and their thermal analysis, Department of inorganic and physical chemistry, Indian Institute of Science, 43(2), pp.87-96.
8. R. M. Mallya and A. R. Vasudeva Murthy 1961 : Studies on the basic carbonates of nickel part V : Thermogravimetric behaviour of basic nickel carbonates, Department of inorganic and physical chemistry, Indian Institute of Science, 43(3), pp.131-140.
9. Chen Sheng Li et al., 2006 : Method of preparing electronic grade nickel carbonate by sodium carbonate deposition, CN101016173 A, Dec 29, 2006.
10. Xue Shenghui et al., 2015 : Method for continuously compounding high-purity alkali nickel carbonate, CN102923794 B, Nov 23, 2015.

강 용 호



- 인하대학교 재료공정공학 석사
- 현재 인천화학(주) 기술연구소 연구소장
- 당 학회지 제24권 3호 참조

신 기 응

- 현재 인천화학(주) 부설연구소 선임연구원
- 당 학회지 제24권 3호 참조

현 승 균

- 일본 오사카대학 박사
- 현재 인하대학교 금속재료공정공학과 교수