

廢알칼리망간電池 粉末의 니켈 이온 吸着劑로서의 活用に 관한 研究[†]

白美花 · *金東秀 · 孫廷秀*

梨花女子大學校 環境工學科, *韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部

Studies on the Application of the Spent Alkaline Manganese Batteries Powder as an Adsorbent for Nickel Ion[†]

Mi-Hwa Baek, *Dong-Su Kim and Jeong-Soo Sohn*

Department of Environmental Science and Engineering, Ewha Womans University

*Mineral & Material Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요 약

폐알칼리망간전지 분말에 대한 Ni²⁺의 흡착 거동을 살펴보기 위하여 흡착제의 양, 흡착질의 초기농도 및 반응온도를 변화시켜 가며 그 특성을 조사하였다. Ni²⁺의 흡착반응은 유사이차반응속도를 잘 따르는 것을 알 수 있었으며 Ni²⁺의 초기농도가 증가함에 따라 유사이차반응속도상수(k₂)는 감소하는 것으로 나타났다. 흡착평형을 표현하는데 널리 이용되는 Langmuir와 Freundlich 흡착 모델에 평형흡착 결과를 적용하였으며 Freundlich isotherm 모델에 적합한 것으로 나타났다. 반응온도가 증가함에 따라 평형흡착량이 증가하여 흡착반응은 흡열반응의 양상을 보였으며 온도의 변화에 대한 실험결과로부터 ΔH°, ΔG° 그리고 ΔS° 열역학적 변수를 도출하였다.

주제어 : 폐알칼리망간전지, 니켈 이온, 흡착제

Abstract

The adsorption features of Ni²⁺ onto spent alkaline manganese batteries powder have been investigated with the adsorbent dose, initial concentration of adsorbate and temperature as the experimental variables. The adsorption reaction of Ni²⁺ ion followed the pseudo-second order rate model, and the adsorption rate constants(k₂) decreased with increasing initial concentration of nickel ion. The equilibrium adsorption data were fitted to the Langmuir and Freundlich models. The Freundlich model represents the equilibrium data better than the Langmuir model in this initial adsorbate concentration range. As the temperature increased, the adsorbed amount of nickel ion at equilibrium was also increased, which indicated that the adsorption reaction was endothermic. Based on the experimental results obtained along with temperatures, thermodynamic parameters such as ΔH°, ΔG°, and ΔS° were calculated.

Key words : Spent Alkaline Manganese Batteries, Nickel ion, Adsorbent

1. 서 론

국내에서 폐전지는 연간 약 10억개 이상 발생하는데, 한번 사용 후 폐기되는 일차전지에는 망간전지, 알칼리 망간전지, 산화은전지, 수은전지, 리튬일차전지 등이 있

으며 전체 중량의 약 80%를 차지하고 있다.¹⁾ 폐전지 중에서도 편리하고 저렴하여 사용량이 가장 많은 망간 및 알칼리망간전지는 무수은 전지의 시판으로 직접적인 환경오염은 없지만 망간, 아연, 철 등의 금속과 가성소다와 염화암모늄 등의 전해액이 사용되고 있으므로 매립, 소각에 의한 환경부하를 줄이기 위하여 모든 폐전지를 재활용하는 것이 세계적인 추세이다.²⁾ 또한 2007년부터는 망간전지 및 알칼리망간전지 등의 모든 폐전지

[†] 2008년 1월 2일 접수, 2008년 1월 23일 수리

*E-mail: dongsu@ewha.ac.kr

가 EPR 대상에 포함되므로 폐전지의 재활용 기술개발에 대한 연구는 필수적이며 불가피하다고 볼 수 있다. 현재 국내에는 니켈-카드뮴 폐전지를 제외하고는 본격적인 재활용기술이 확립되어 있지 않아 재활용이 이루어지지 못하고 있으나 환경차원에서나 자원의 효율적 이용면에서 폐전지의 재활용에 대한 요구가 급증하고 있으므로 경제성있는 재활용 기술개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다. 폐망간 및 알칼리망간 전지를 일반폐기물로 처리하는 경우 환경오염 문제와 유가금속의 단순폐기라는 점에서 재활용의 필요성이 제기되고 있으나 국내에서 재활용 상용화가 이루어지지 않은 상태이다. 건전지의 세계적 소비는 상당하며 이들의 안전한 폐기를 위해서는 고비용이 소요되므로 환경적인 면에서 뿐 아니라 경제적인 면에서도 폐건전지의 재활용에 대한 기술개발이 필요하다. 현재, 폐건전지의 재활용에 대한 연구는 폐건전지로부터 Zn, Mn 등 유가금속을 회수하는 연구 또는 Mn-Zn ferrite를 제조하는 연구가 주로 수행 중에 있으며,^{2,8)} 폐건전지의 분쇄 산물을 흡착제로 이용한 연구는 수행되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 흡착제의 개발과 관련하여 폐기물 재활용의 일환으로 폐알칼리망간전지 분말을 니켈 폐수의 처리에 흡착제로 이용하는 방안에 대한 기초 연구를 수행하였다.

니켈은 구토, 가슴통증, 호흡곤란 등을 일으키는 독성을 지닌 해로운 금속 이온으로 광산폐수, 도금공장, 페인트 및 잉크 제제 등의 산업폐수 중에 존재한다.⁹⁾ 폐수 속에 존재하는 니켈의 양은 0.5 mg/L의 저농도에서 1000 mg/L의 고농도이며, 도금공장에서 배출되는 유출수에서의 평균농도는 10~80 mg/L 범위이다.¹⁰⁾ 따라서 적절히 처리되지 않고 자연계에 방출시 생태계에 영향을 미칠 수 있다. 수용액에 존재하는 니켈 이온을 제거하기 위하여 여러 가지 흡착제를 사용한 연구가 수행되고 있으나¹¹⁻¹³⁾ 폐건전지에 함유되어 있는 산화물을 흡착제로 이용한 연구는 국내외적으로 아직 수행되지 않았다.

본 연구에서는 흡착제로 사용한 폐알칼리망간전지 분말의 성분을 분석하고 여러 가지 실험 변수를 설정하여 흡착반응에 미치는 영향을 검토하여 흡착제로서의 특성을 살펴보고자 하였으며 이의 결과를 폐기물의 재활용성 증대 및 환경오염물질의 경제적 처리에 도모하고자 한다.

2. 실험방법

2.1. 흡착제의 성분 분석

본 연구에 사용한 폐망간 및 알칼리망간전지 분말 시

료는 폐전지로부터 나오는 파쇄산물을 전처리 과정을 거쳐 플라스틱 및 탄소분, 아연판들로 분리하고 난 후 남은 파쇄산물을 건전지 재활용 업체에서 입수하여 8mesh 이하의 시료를 사용하였으며, 분쇄 후 자력선별을 거친 분말 시료와 이것을 700°C에서 열처리한 분말 시료로 구분하였다. 본 연구에서 사용한 폐전지 분말에 함유되어 있는 성분을 분석하고자 폐망간 및 폐알칼리망간전지 분말을 각 0.5 g 취하여 플라스크에 넣고 HCl과 HNO₃가 3:1로 혼합된 왕수 50 mL를 넣어 90°C에서 약 30분간 가열한 후 여과하였다. 여액을 50 ml 증류수로 희석하여 AAS를 이용하여 정량분석 하였다. 또한 시료의 강열감량(loss on ignition: LOI)을 측정하기 위하여 시료 1 g을 90°C 오븐에 넣고 약 12시간 건조시킨 후 무게를 측정한 후 시료를 사발에 넣어 700°C 전기로에서 2시간 가열한 후 감량된 시료의 무게를 측정하였다.

2.2. 흡착실험

흡착실험에 사용한 폐망간 및 폐알칼리망간전지는 각 50 g을 취하여 약 30 ml 증류수로 2회 세척 후 90°C에서 약 50시간 건조한 후 흡착제로 사용하였다. 예비 실험을 통하여 700°C에서 열처리한 폐알칼리망간전지의 분말 시료가 가장 흡착률이 좋은 것으로 관찰되어 본 연구에서 흡착제로 사용하였다. 흡착질인 Ni²⁺이 함유된 폐수는 Ni(NO₃)₂ · 6H₂O(Yakuri Co.)를 사용하여 3차 증류수를 이용해 1000 mg/L의 stock solution을 조제하여 이를 100~200 mg/L 농도로 희석하여 사용하였다.

흡착실험을 하기 위하여 100 ml 삼각플라스크에 흡착제 0.5 g 또는 1.0 g을 넣고 흡착질인 니켈이온 용액 50 ml를 넣은 후 온도조절이 가능한 shaking incubator (Vision Scientific Co., Model K.M.C. 84801s)에 넣어 200rpm의 속도로 교반하였다. 각 실험조건에서 시간에 따라 플라스크를 꺼내어 용액을 여과한 후 여액을 적절한 농도로 희석한 후 Atomic Absorption Spectrophotometer (Analytik Jena Korea Co., Model Vario 6)로 분석하여 흡착 후 잔존하는 니켈이온 용액의 농도를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 흡착제의 성분 분석

본 연구에서 시료로 사용한 폐전지 용해액 중의 금속 성분을 분석하고자 시료를 왕수에 녹여 가열 후 여과시

Table 1. Chemical compositions of spent manganese and alkaline manganese batteries powder from crushing and magnetic separation process(%)

Battery	Mn	Fe	Ni
Manganese Battery	0.19	0.39	0.18
Alkaline Manganese Battery	0.0963	0.00225	0.018

킨 다음 여액을 회석하여 AAS를 통하여 Mn, Fe, Ni의 함량을 분석하였다. 그 결과를 Table 1에 제시하였으며 폐망간전지 용해액에는 Fe이 다량 함유되어 있고, 폐알칼리망간전지 용해액의 경우는 Mn이 가장 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다.

강열감량을 통하여 시료의 감량된 무게를 측정된 결과, 폐망간전지 분말 시료는 26%, 폐알칼리망간전지 분말 시료는 15% 무게가 감량되었음을 알 수 있었다. 이는 강열에 의해 건전지의 성분에 함유되어 있는 탄소 및 불순물이 제거된 것으로 사료된다.

3.2. 흡착제 양

Fig. 1은 Ni²⁺의 초기농도를 100 mg/L로 고정시키고 흡착제인 폐알칼리망간전지 분말의 양을 0.5 g과 1.0 g으로 하여 시간에 따른 흡착량의 변화를 관찰한 그래프이다. 평형상태 도달시간은 약 24시간으로 관찰되었고, 흡착제의 양이 0.5 g과 1.0 g일 때의 흡착률은 66%와 99%로 흡착제의 양이 0.5 g일 경우에 비해 1.0 g을 이용했을 때 폐알칼리망간전지에 대한 니켈이온의 흡착률이 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 흡착제의 양을

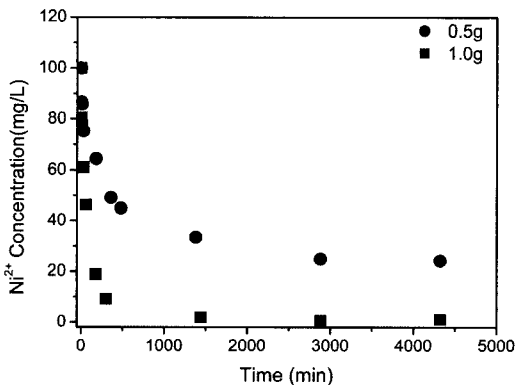


Fig. 1. Change of concentration of Ni²⁺ remained in the solution along with the adsorption time (initial Ni²⁺ concentration=100 mg/L, initial pH=6, adsorbent dose=1 g, 25°C).

1.0 g으로 선택하여 다른 변수의 영향을 살펴보았다.

3.3. Ni²⁺ 초기농도의 영향

흡착제의 양을 1.0 g으로 고정시킨 상태에서 니켈이온의 초기농도를 100~200 mg/L로 변화시켜가며 시간에 따른 흡착량의 변화를 관찰하였다(Fig. 2). 흡착반응은 5시간 이내에 급격히 이루어졌으며 그 이후에는 평형상태에 도달하는 것으로 나타났다. 흡착질의 초기농도가 100, 150 그리고 200 mg/L의 조건에서 평형상태에 이르기까지 폐알칼리망간전지 분말에 흡착된 니켈이온의 흡착량은 4.99, 6.89 그리고 7.64 mg/g인 것으로 파악되었다. 이는 흡착질의 농도가 증가함에 따라 한정된 반응기내에서 그 농도구배가 증가함에 따른 결과로 사료된다. 즉, 흡착반응의 단계는 일반적으로 흡착질의 흡착제 표면으로의 확산이 선행된 후에 흡착제 표면에서 에너지적으로 안정된 장소에 흡착질이 흡착되는 것으로 생각할 수 있는데, 흡착질의 농도구배가 증가함에 따라 그 확산계수가 커져 흡착량이 증대된 결과를 나타내는 것으로 사료된다.

3.4. 속도론적 해석

폐알칼리망간전지 분말에 대한 니켈이온의 흡착을 속도론적으로 해석하기 위하여 일반적으로 흡착반응에서 사용되는 유사일차속도식(pseudo-first order rate equation)과 유사이차속도식(pseudo-second order rate equation)에 적용하였다.

Lagregren에 의해 제안된 pseudo-first order rate는

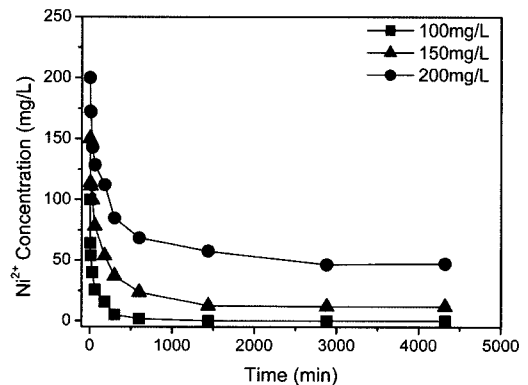


Fig. 2. Adsorption of Ni²⁺ onto spent alkaline manganese batteries powder with its different initial concentrations(initial pH=6, adsorbent dose=1 g, 25°C).

식(1)과 같이 표현되며¹⁴⁾

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \tag{1}$$

여기서,

q_e , q_t : 평형상태 그리고 시간 t 에서 흡착제에 흡착된 니켈이온의 양 (mg/g)

k_1 : 속도상수 (min^{-1})

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \tag{2}$$

식(1)을 적분하면 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며, 속도상수(k_1)는 t 와 $\log(q_e - q_t)$ 의 직선 그래프의 기울기로부터 얻을 수 있다.

또한 흡착 데이터를 pseudo-second order mechanism¹⁵⁾으로 분석할 수 있으며 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \tag{3}$$

여기서 k_2 는 유사이차속도상수이며 이를 적분하면 식

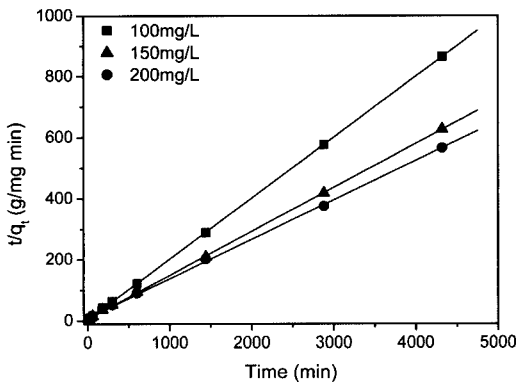


Fig. 3. Pseudo-second order kinetics for adsorption of Ni^{2+} onto spent alkaline manganese batteries powder with different initial Ni^{2+} concentrations(initial pH=6, adsorbent dose=1 g, 25°C).

(4)과 같이 표현되고, 이를 다음 식(5)와 같이 표현할 수 있다. t 와 t/q_t 의 관계를 직선 회귀식으로 나타낸 것이 Fig. 3이며 직선의 기울기와 절편으로부터 유사이차속도상수(k_2)와 q_e 값을 구할 수 있고 이 값을 Table 2에 나타냈다.

$$q_t = \frac{t}{1/k_2 q_e^2 + t/q_e} \tag{4}$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \tag{5}$$

Table 2로부터 알 수 있듯이, 유사일차반응속도식에서 t 와 $\log(q_e - q_t)$ 에 대한 상관계수(r^2)는 식(5)의 유사이차반응속도식에 적용한 t 와 t/q_t 에 대한 상관계수(r^2)에 비해 좋지 않았다. 또한 유사일차반응속도식에 적용하여 구한 q_e 값은 실험적으로 구한 q_e 값과 잘 일치하지 않은 것으로 나타났다. 이와 달리 유사이차반응속도상수(k_2)는 Ni^{2+} 의 초기농도가 증가함에 따라 감소하는 것으로 보였으며 상관계수(r^2)는 모두 0.999를 보였다. 더욱이 유사이차반응속도식에 적용하여 이론적으로 구한 q_e 값은 실험적으로 구한 q_e 값과 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 본 폐알칼리망간건전지 분말에 대한 Ni^{2+} 의 흡착은 유사일차반응속도보다 유사이차반응속도를 잘 따르는 것을 알 수 있었다.

또한, Ni^{2+} 의 초기농도를 100 mg/L로 고정시킨 상태에서 흡착제의 양을 0.5 g 그리고 1.0 g로 조정된 실험 결과를 반응속도론적으로 고찰하기 위하여 위의 식(2)와 식(5)에 적용해 본 결과 0.5 g과 1.0 g인 경우 1차 속도상수는 0.0015 min^{-1} 과 0.0033 min^{-1} 으로 나타났으며 상관계수(r^2)는 각각 0.990과 0.966이었다. 이에 비해 2차 속도상수는 0.5 g 그리고 1.0 g에 대해 0.0023 g/mg min 와 0.0130 g/mg min 이고 상관계수(r^2)는 0.998과 0.999로 나타났다. 즉 흡착제의 양에 따른 반응도 유사이차반응속도식을 더 잘 따른다는 것을 알 수 있으며, 흡착제의 양이 많을수록 흡착반응속도상수가 증가하는 것으로 나타났다.

Table 2. A comparison of the pseudo-first order and pseudo-second order rate constants at different initial Ni^{2+} concentrations.

Initial concentration	$q_{e,exp}$ (mg/g)	Pseudo-first order kinetic model			Pseudo-second order kinetic model		
		k_1 (min^{-1})	$q_{e,cal}$ (mg/g)	r^2	k_2 (g/mg min)	$q_{e,cal}$ (mg/g)	r^2
100 mg/L	4.99	0.0033	1.26	0.966	0.0132	5.02	0.999
150 mg/L	6.89	0.0032	1.89	0.994	0.0034	6.99	0.999
200 mg/L	7.64	0.0018	2.02	0.935	0.0018	7.81	0.999

3.5. 등온흡착식

폐알칼리망간전지 분말에 대한 Ni²⁺ 흡착반응의 메카니즘을 규명하기 위하여 잘 알려진 Freundlich와 Langmuir 등온흡착식에 각각 적용한 결과 Freundlich model에 더 잘 부합되는 것으로 나타났다(Fig. 4 참조). Freundlich 등온흡착식은 식(6)과 같으며 이의 양변에 로그를 취하면 식(7)이 얻어진다.

$$q_e = K C_e^{1/n} \tag{6}$$

$$\log q_e = 1/n \log C_e + \log K \tag{7}$$

여기서 q_e는 평형상태에서의 단위 흡착제당 흡착된 흡착질의 양(mg/g)이다. C_e는 평형상태에서 흡착질의 농도 그리고 K와 n은 상수이며, 각각 adsorption capacity와 adsorption intensity를 의미한다. Fig. 4와 같이 log q_e과 log C_e이 선형의 관계를 보임으로써 폐알칼리망간전지 분말에 대한 Ni²⁺의 흡착은 Freundlich 등온흡착식으로 정리됨을 알 수 있었다.

3.6. 반응온도의 영향

반응온도에 따른 Ni²⁺의 폐알칼리망간전지 분말에 대한 흡착 양상을 조사하기 위하여 흡착질의 초기농도를 200 mg/L로 고정시킨 상태에서 반응온도를 15, 25 그

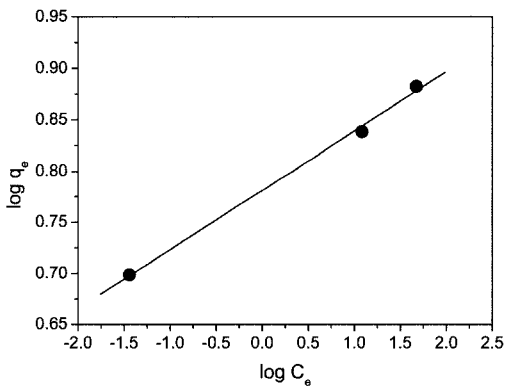


Fig. 4. Freundlich plot for the adsorption of Ni²⁺ onto spent alkaline manganese batteries powder.

리고 35°C로 변화시켜가며 시간에 따른 흡착량의 변화를 관찰하였다. Fig. 5의 결과로부터 알 수 있듯이 반응온도가 증가함에 따라 평형흡착량이 증가하는 것으로 나타났다. 각 온도에서 흡착반응의 평형상수는 식(8)과 같이 정의될 수 있다.

$$K = C_{ads}/C_e = [C_o - C_e]/C_e \tag{8}$$

여기서 C_{ads}와 C_e는 각각 평형상태에서 흡착제에 흡착된 Ni²⁺의 농도와 용액 중에 잔존하는 Ni²⁺의 농도를 의미하며, C_{ads}는 흡착질의 초기농도 C_o에서 평형농도 C_e를 뺀 값이다.

Ni²⁺의 흡착에 미치는 반응온도의 영향을 열역학적으로 고찰하기 위하여 온도와 평형상수와의 관계를 나타내는 다음의 van't Hoff 식을 이용하여 검토하였다.

$$d \ln K / d(1/T) = -H^0 / R \tag{9}$$

K : 평형상수

T : 절대온도

H⁰: 표준상태에서의 반응에 따른 엔탈피의 변화

R : 기체상수

1/T의 변화에 따른 lnK의 변화율을 나타내는 직선의

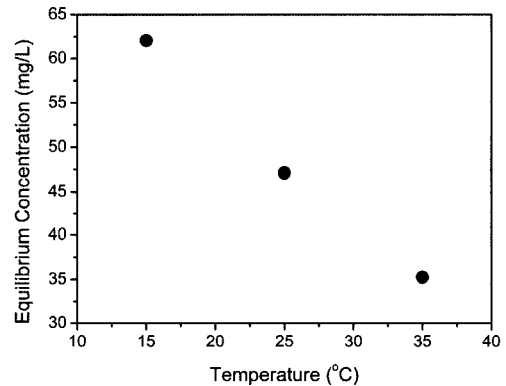


Fig. 5. Effect of temperature on the equilibrium concentration of Ni²⁺ after adsorption (initial Ni²⁺ concentration=200 mg/L, initial pH=6, adsorbent dose=1 g, 25°C).

Table 3. Calculated thermodynamic parameters for adsorption of Ni²⁺ onto spent alkaline manganese batteries powder.

T(°C)	K	ΔH ⁰ (kJ/mol)	ΔG ⁰ (kJ/mol)	ΔS ⁰ (J/K · mol)
15	2.22	27.4	1.91	87.2
25	3.24		2.91	80.9
35	4.67		3.94	74.9

기울기로부터 산정된 본 흡착반응의 엔탈피 변화인 ΔH° 는 27.4kJ/mol 정도인 것으로 파악되었다. 즉 ΔH° 는 양의 값을 갖는 것으로 보아 Ni^{2+} 의 폐알칼리망간전지 분말에 대한 흡착반응은 흡열반응이라고 할 수 있다. 표준상태에서 ΔG° 는 $\Delta H^\circ - \Delta TS^\circ$ 와 동일하므로 ΔH° 실험 조건의 온도 범위내에서 변하지 않는다고 가정할 때 15, 25 그리고 35°C에서 ΔG° 와 ΔS° 는 각각 Table 3과 같으며 이로부터 알 수 있듯이 온도가 증가함에 따라 ΔG° 가 양의 값으로 증가함을 보였는데 이는 Ni^{2+} 가 흡착제의 active site에 강하게 상호작용을 한다는 것을 의미한다.¹⁶⁾ 또한 폐알칼리망간전지 분말 표면에 Ni^{2+} 가 흡착되면 ΔS° 는 음의 값을 가지는 것으로 생각할 수 있으나, 본 연구결과에서는 양의 값을 가지는 것으로 나타났다. 이는 수중에서 Ni^{2+} 의 주변에 고정되어 있던 물분자들이 폐알칼리망간전지 분말에 대한 Ni^{2+} 의 흡착이 진행됨에 따라 용액중으로 방출됨으로 인하여 전체 시스템의 자유도가 증가함에 따른 결과로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서 흡착제로 사용한 폐알칼리망간전지 분말은 Ni^{2+} 함유 폐수 속에 존재하는 Ni^{2+} 을 제거하기 위한 효과적인 흡착제임을 확인할 수 있었다. 폐알칼리망간전지 분말에 대한 Ni^{2+} 흡착반응의 평형 도달 시간은 약 5시간으로 비교적 느리게 흡착이 진행되는 것으로 관찰되었다. 흡착제의 양 및 흡착질의 초기농도가 증가함에 따라 Ni^{2+} 의 흡착률이 증가하였으며 이 데이터를 반응속도식에 적용하여 본 결과 유사일차반응속도에 비해 유사이차반응속도에 대한 상관계수가 크게 나타났고 실험적으로 구한 평형흡착량과 유사이차반응속도식에 의해 이론적으로 구한 평형흡착량이 거의 일치하는 것으로 보여 본 흡착반응은 유사이차반응으로 진행됨을 알 수 있었다. 흡착평형 데이터를 등온흡착식에 적용한 결과 Freundlich isotherm을 잘 따르는 것을 알 수 있었다. 또한 반응온도가 증가할수록 평형흡착량은 증가하였으며 열역학적으로 해석한 결과 ΔH° , ΔG° 그리고 ΔS° 는 모두 양의 값을 보였다.

참고문헌

1. 손정수, 신선명, 양동효, 김태현, 2005: 폐전지의 재활용 기술개발, 재료마당, 18(4), pp. 14-20.
2. 신선명, 강진구, 손정수, 양동효, 2006: 폐알칼리 망간전지로부터 황산을 이용한 유기금속 회수, 한국공업화학회지, 17(5), pp. 517-520.
3. 신선명, 손정수, 양동효, 안종관, 김수경, 손현태, 2004: 폐망간전지로부터 과산화수소를 환원제로 이용한 망간 및 아연의 황산침출, 한국지구시스템공학회지, 41(4), pp. 285-290.
4. Freitas, M. B. J. G. and de Pietre, M. K. 2004: Electrochemical recycling of the zinc from spent Zn-MnO₂ batteries, Journal of Powder Sources, 128, pp. 343-349.
5. De Michelis, I., Ferella, F., Karakaya, E., Beolchini, F. and Veglio, F., 2007: Recovery of zinc and manganese from alkaline and zinc-carbon spent batteries, Journal of Powder Sources, 172, pp. 975-983.
6. Freitas, M. B. J.G., Pegoretti, V. C. and Pietre, M. K. 2007: Recycling manganese from spent Zn-MnO₂ primary batteries, Journal of Powder Sources, 164, pp. 947-952.
7. Veloso, L. R. S., Rodrigues, L. E. O. C., Ferreira, D. A., Magalhaes, F. S. and Mansur, M. B. 2005: Development of a hydrometallurgical route for the recovery of zinc and manganese from spent alkaline batteries, Journal of Powder Sources, 152, pp. 295-302.
8. Xi, G., Yang, L. and Lu, M. 2006: Study on preparation of nanocrystalline ferrites using spent alkaline Zn-Mn batteries, Materials Letters, 60, pp. 3582-3585.
9. Xu, D., Zhou, X. and Wang, X., 2007: Adsorption and desorption of Ni^{2+} on Na-montmorillonite: Effect of pH, ionic strength, fulvic acid, humic acid and addition sequences, Applied Clay Science, in press.
10. Srivastava, V. C., Mall, I. D. and Mishra, I. M., 2006: Equilibrium modelling of single and binary adsorption of cadmium and nickel onto bagasse fly ash, Chemical Engineering Journal, 117, pp. 79-91.
11. Tahir, S. S. and Rauf, N., 2003: Thermodynamic studies of Ni(II) adsorption onto bentonite from aqueous solution, J. Chem. Thermodynamics, 35, pp. 2003-2010.
12. Mendes, F. D. and Martins, A. H., 2004: Selective sorption of nickel and cobalt from sulphate solutions using chelating resins, Int. J. Miner. Process, 74, pp. 359-371.
13. Oliveira, E.A., Montanher, S.F., Andrade, A.D., Nobrega, J.A. and Rollemberg, M.C., 2005: Equilibrium studies for the sorption of chromium and nickel from aqueous solutions using raw rice bran, Process Biochemistry, 40, pp. 3485-3490.
14. Lagregren, S., 1898: About the theory of so-called adsorption of soluble substances, K. Sven. Vetenskapskad. Handl, 24, pp. 1-39.
15. Ho, Y. S. and McKay, G., 2000: The kinetics of sorption of divalent metal ions onto Sphagnum Moss Peat, Water Research, 34, pp. 735-742.
16. Oliveira, E. A., Montanher, S. F., Andrade, A. D., Nobrega,

J. A. and Rollemberg, M. C., 2005: *Equilibrium studies for the sorption of chromium and nickel from aqueous solutions using raw rice bran*, *Process Biochemistry*, **40**, pp. 3485-3490.

白 美 花

• 현재 이화여자대학교 환경공학과 박사과정

金 東 秀

• 현재 이화여자대학교 환경공학과 교수
• 당 학회지 제8권 5호 참조

孫 廷 秀

• 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
• 당 학회지 제12권 1호 참조

學 會 誌 投 稿 安 內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調査의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外的 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.