

폐솔더 박리액으로부터 확산투석법에 의한 질산의 회수

류승형 · 김태영 · 안낙균 · 강명식 · *안재우 · 안종관*

대전대학교 신소재공학과, *충원대학교 자원순환환경공학과

Recovery of Nitric Acid from Waste Solder Stripper by Diffusion Dialysis

Seong-Hyung Ryu, Tae-Young Kim, Nak-Kyoon Ahn, Myeong-Sik Gang,
Jae-Woo Ahn and Jong-Gwan Ahn

Dept. of Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University

*Dept. of Resource Recycling & Environmental Engineering, Jungwon University

요 약

음이온 교환막을 이용한 확산투석에 의해 폐솔더 박리액으로부터 질산을 효율적으로 회수하기 위한 기초 연구를 실시하였다. 우선 모의용액 실험의 경우 유속, 유속비, 질산농도, 금속이온 종류 및 농도 등이 질산 회수율에 미치는 영향을 조사하였다. 유속이 증가함에 따라 질산 회수율은 감소하였고 급액에 대한 순수의 유속비(W/F)가 증가할수록 질산 회수율은 증가하여 유속비가 1.5이상에서 약 99%의 질산 회수율을 보였다. 급액중 질산용액의 농도가 증가함에 따라 3.0 M 까지는 산회수율이 증가 하였으나 3.0 M 이후로는 회수율은 점차 낮아 졌다. 확산투석막을 통과하는 금속이온의 투과율은 Pb, Na, Cu 순 이었고, Fe와 Sn은 투과되지 않았다. 실제 폐솔더액을 사용하여 유속 0.9 L/hr-m², W/F = 1.3 으로 확산 투석을 실시한 결과 약 94%의 질산 회수율을 얻을 수 있었다.

주제어 : 폐솔더 박리액, 질산, 주석, 회수, 확산투석

Abstract

A basic study was conducted to effectively recover nitric acid from a waste solder stripper by diffusion dialysis using anion exchange membranes. The effects of flow rate, flux ratio, nitrate concentration, and metallic ion types and concentration on the recovery percentage of nitric acid were investigated. The recovery percentage of nitric acid was decreased with the increase of flow velocity. But the recovery percentage of nitric acid was increased as the increase of flux ratio(W/F) and showing a recovery percentage of nitric acid of about 99% at a flux ratio of 1.5 or more. As the increase of nitric acid concentration in feed solution, the recovery percentage of nitric acid was increased up to 3.0M, but in case of greater than 3.0M, the recovery percentage gradually was decreased. Leakage percentage of metallic ions through the membrane were in the order of Pb, Na and Cu but Fe and Sn did not leaked. As a result of diffusion dialysis using real waste solder stripper at a flow rate of 0.9 L/hr-m², W/F = 1.3, a recovery percentage of nitric acid of approximately 94% was gained.

Key words : Spent solder, nitric acid, tin, recovery, diffusion dialysis

· Received : August 17, 2015 · Revised : September 1, 2015 · Accepted : September 11, 2015

*Corresponding Author : Jae Woo Ahn (E-mail : jwahn@daejin.ac.kr)

Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, Hoguk-ro 1007, Pocheon-si, Gyeonggi-do, 487-711, 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.

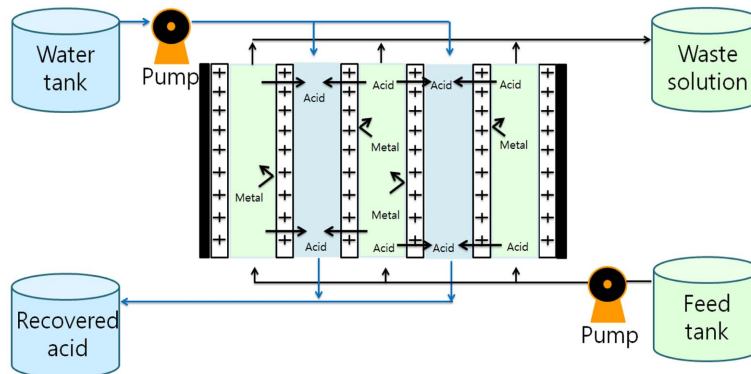


Fig. 1. Schematic of Diffusion dialysis.

1. 서 론

최근 OECD 등 국제기구에서는 지정폐기물에 많은 관심을 갖고 있다. 지정폐기물이란, 유해성분을 함유한 폐기물로서 산업활동 증가에 따른 발생량은 통제하기 힘들며 환경오염 유발 방지의 측면에서 발생량 보다는 적정 관리와 처리가 더 중요하게 여겨지고 있다. 현재 한국은 지정폐기물의 재활용비율이 지속적으로 증가하는 추세이며 이는 선진국수준의 유해 폐기물 관리 체계를 구축하고자 하는 국가정책을 잘 보여주고 있다. PCB (인쇄회로기판)의 외부표면을 처리하는 패턴 코팅 공정에서 발생하는 주석/솔더 박리액은 최근 다량 발생하는 지정폐기물 중 하나이다.¹⁾ 주석/솔더 박리액은 지정폐기물로 취급되기 때문에 위탁처리업체에 의뢰하여 처리하는데 고비용이 소모되고, 업체에서는 이를 단지 중화침전하여 매립 처리하므로 환경오염이 우려된다. 또한 주석, 구리와 같은 유기금속과 5-6M 정도의 질산성분이 함유되어 있으나 이를 재활용하지 못하기 때문에 경제적으로도 바람직하지 않다. 이러한 주석/솔더 박리액에서 질산의 회수방법으로는 황산치환법, 냉각법, 증발농축법, 증류법, 열분해법, 용매추출법 그리고 막분리법²⁻¹¹⁾ 등이 알려져 있는데, 막분리법은 다른 공정에 비해 산 회수를 위한 에너지 소비가 거의 없으며, 특히 농도차를 이용한 확산투석의 경우 장치가 간단하고 에너지 소모가 작아 친환경적인 처리 방안이라고 할 수 있다.^{12,13)} 확산투석에서 사용되는 양이온 교환막은 양이온을 선택적으로 투과시키며, $-SO_3^-$, $-COO^-$, $-PO_3^{2-}$, $-PO_3H^-$, $-C_6H_4O^-$ 등 음전하 작용기를 지니고 있다. 한편, 음이온교환막은 $-NH_3^+$, $-NRH_2^+$, $-NR_2H^+$, $-NR_3^+$, $-PR_3^+$, $-SR_2^+$ 등의 양전하 작용기를 지니고 있어 음이온을 선택적으로 투

과시키게 되는데¹⁴⁾, 음이온이 이동하면서 가장 작은 이온 중 하나인 수소이온이 물분자를 매개로 하여 같이 투과하는 현상을 이용하여 산 회수를 한다.¹⁵⁾ Fig. 1에 확산투석에 의한 산 회수의 원리를 나타내었다.

본 연구에서는 금속이온을 함유하고 있는 질산계 폐솔더 박리액으로부터 음이온 교환막을 사용한 확산투석 장치를 사용하여 질산 회수에 관한 기초 연구를 진행하였다. 먼저 순수한 질산이 함유된 모의용액으로부터 질산의 확산투석에 미치는 여러 인자들의 영향을 조사하였고, 이를 바탕으로 Sn, Cu, Pb 등의 금속이온이 존재하는 실제 폐솔더 박리액으로부터 질산 회수에 관한 연구를 실시하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

실험에 사용한 실제 폐솔더 박리액의 경우 업체에서 입수한 후에 가열침전법에 의해 주석을 산화물로 침전 제거시킨 후액을 사용하였다. 이에 대한 내용은 이미 전보에 소개되었으며²¹⁾ 전처리 후에 실험에 사용한 폐액의 조성은 Table 1과 같다.

그 외에 모의용액을 조제하기 위해서 사용한 질산 (Daejung 60%), $NaNO_3$ (Junsei 99%), $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ (Junsei 95%), $Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$ (Oriental chemical, 99%), $Pb(NO_3)_2$ (Shinyo pure chemical), $NaOH$ (Yakuri 99%)

Table 1. Chemical composition of waste solder stripper (g/L)

Sn	Cu	Fe	Pb	Na	HNO_3
2.8	4.0	4.3	20.1	4.1	5.8-6.2M

등은 모두 특급시약을 사용하였다.

2.2. 실험 방법

실험에 사용한 확산투석기는 음이온교환막(H₂SO₄형, Selemion APS, Asahi glass Co.)으로 구성되어진 장치를 사용하였으며, 이에 대한 확산투석장치 사진을 Fig. 2에 나타내었다. 막의 유효 단면적은 한장 당 0.3268 m² 이고, 총 19장의 막이 가스켓을 사이에 두고 번갈아가며 마주보며 있기 때문에 산용액과 순수가 섞이지 않도록 구성되어 있다. 사용된 장치와 이온교환막의 세부사양은 각각 Table 2, Table 3에 나타내었다. 실험방법으로는 조제된 모의 용액을 급액(폐산)탱크에 채우고, 반대편 순수 탱크에는 순수(D.I. Water)를 채운 후 두 개의 정량펌프를 사용하여 각각의 용액을 이송시키는데, 급액용액은 하단에서부터 상단으로 배출되며, 순수는 상단에서 투입되어 하단에서 배출된다. 이때 음이온교환막에서 서로 접촉하여 확산투석이 일어나게 된다. 또한

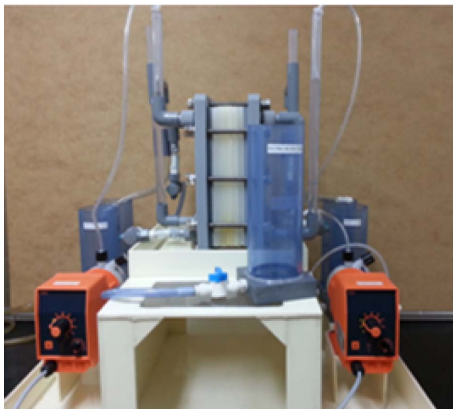


Fig. 2. Diffusion dialysis apparatus.

Table 2. Specifications of Diffusion dialysis apparatus.

Membrane	Anion exchange membrane
Number of membrane sheet	19
Effective area of membrane	0.0172 m ²
Total effective area of membrane	0.3268 m ²
Distance between membranes	1.9 mm
Pump	Metering pump
Tank	PVC 1.0 L
Pipe	PVC, PP, PE

Table 3. Characteristics of anion exchange membrane.

Commercial name	APS
Thickness (μm)	150
Characteristic	Oxidant proof
Counter ion	SO ₄ ²⁻
Burst Strength	0.2

투석조 내에는 막의 온도를 유지 하기 위한 배관이 별도로 존재하여, 중화열과 온도의 변수를 최대한 방지할 수 있게 되어있다. 실험은 25°C에서 실시하였고, 샘플 채취는 회수산과 투석액의 농도가 안정되는 투석기 총 용량 약 6배 정도의 액이 흐른 후에 실시 하였다. 샘플 중의 질산 농도는 페놀프탈레인을 지시약으로 0.1 M NaOH 수용액으로 중화적정 하여 분석하였고, 각 금속 이온의 농도는 ICP-AES(PerkinElmer/optima 4300DV)를 이용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 질산 회수율에 미치는 유속의 영향

확산투석 장치를 사용한 산 회수의 경우 유속에 의해 산 회수율이 달라지기 때문에 이에 대한 영향을 고찰하기 위해 다음과 같은 식을 사용하여 산회수율을 나타내었다.¹⁶⁾⁻¹⁸⁾

$$M = UA\Delta C_{ln} \tag{1}$$

여기에서

M : Mobility of acid (mol/hr)

U : The dialysis coefficient (mol/hr·m²-mol/L)

A : Effective membrane area (m²)

ΔC_{ln} : The average common log values of the density difference

즉, 산의 이동력 M은 확산계수(U), 막면적(A) 및 농도차에 비례관계를 나타낸다.

$$\Delta C_{ln} = \frac{C_f - C_d - C_0}{\ln[(C_f - C_d)C_0]} \tag{2}$$

$$C_0 = (1 - \eta) \cdot C_f \tag{3}$$

$$Acidrecovery(\eta) = \frac{Q_d \cdot C_d}{Q_f \cdot C_f} \tag{4}$$

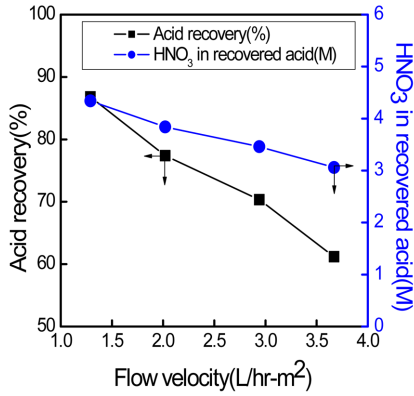


Fig. 3. Effect of flow velocity on the recovery of HNO₃ (25°C).

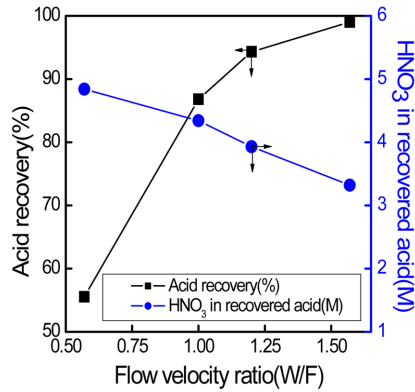


Fig. 4. Effect of flow velocity ratio(W/F) on the recovery of HNO₃ (25°C).

- Q_d : Flow rate of D.I water (L/hr)
- C_d : Conc. of recovered acid (mol/L)
- Q_f : Flow rate of feed solution (L/hr)
- C_f : Conc. of feed solution (mol/L)
- C₀ : Conc. of waste solution (mol/L)

식 (1)의 확산계수 U는 산과 금속염의 확산력, 분리인자(separation factor)는 일반적으로 산과 금속염의 확산계수의 비(U_{acid}/U_{salt})로 나타낸다. 따라서 상기 식을 이용하면 이론적인 산회수율(η)을 구할 수 있다.

유속의 영향을 고찰하기 위해 먼저 25°C에서 급액용액으로 순수한 5.0 M HNO₃를 사용하여 유속비(W/F)를 1로 고정하고 유속을 변화시키면서 확산투석을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 유속 1.28 L/hr-m²에서는 약 86.8%의 산회수율을 보였으며, 유속이 증가함에 따라 산회수율은 급격하게 떨어져 3.67 L/hr-m²에서 약 61%가 되었다. 또한 회수된 산의 농도도 유속의 증가에 따라 점차 감소하고 있다. 유속의 증가량에 따라 산의 회수율이 증가 되는 이유는 막의 처리량이 한정되어 있으나 용액의 공급량은 증가하여 단위 시간당 막과 HNO₃ 용액의 접촉시간이 감소하였기 때문이다.¹³⁾

3.2. 질산 회수율에 미치는 유속비 (W/F)의 영향

Fig. 4의 경우 급액(Feed solution)의 유속을 1.28 L/hr-m²로 고정시킨 후, 순수(Water)와의 유속비(W/F)를 변화시켜 확산투석을 실시한 결과를 나타내고 있다. 순수 유속이 급액의 유속보다 낮은 유속비 0.5에서는 산회수율이 약 55%로 매우 낮으나 유속비가 증가함에 따라 회수율은 급격히 증가하여 1.57에서는 약 99%의

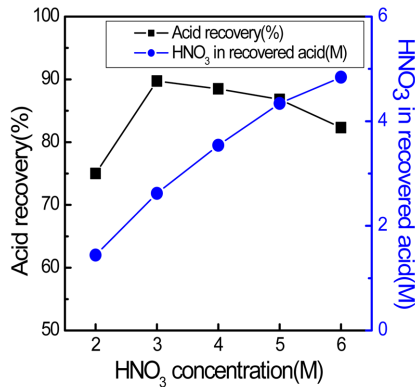


Fig. 5. Effect of HNO₃ concentration on the recovery of HNO₃ (25°C, W/F = 1, 1.28 L/hr-m²).

산회수율을 보였다. 그러나 회수된 질산의 농도는 산회수율의 증가 경향과는 다르게 감소하였는데, 이는 순수 유량이 증가하여 회수산의 농도가 감소하였기 때문이다. 따라서 유속과 유속비율은 산회수율과 회수산의 농도를 고려하여 결정해야 할 것으로 사료된다. 특히 침전물의 형성이 우려되는 주석함유 폐슬러 바리액의 경우, 잔류하고 있는 유리질산의 농도가 낮아지게 되면 주석산화물의 침전물이 생성¹⁹⁾하여 막을 막히게 하는 영향을 미치기 때문에 적절한 산농도를 유지하거나 아니면 확산투석기에 투입되기 전에 주석을 제거 한 후 진행하여야 한다.

3.3. 질산 회수율에 미치는 급액중 질산 농도 영향

Fig. 5는 유속이 1.28 L/hr-m², 유속비(W/F)가 1.0인 경우, 25°C에서 급액중 질산 농도와 확산투석후의 질산

회수율을 나타낸 결과이다. 질산의 농도가 2.0 M에서 3.0 M으로 증가함에 따라 질산회수율은 급격히 증가하는 경향을 보인다. 그러나 3.0 M부터는 질산농도가 증가하여도 질산회수율이 오히려 점점 하락하는 경향을 확인할 수 있었다. 질산회수율 저하의 원인은 농도차가 커져 확산에 대한 구동력은 커지지만 막이 처리할 수 있는 교환 용량은 정해져 있어 더 이상 질산회수율이 증가하지 못하고 회수 못하는 산은 증가하여 산회수율이 감소하는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 Shengjie 등의 연구 결과와도 유사하였다.²⁰⁾ 또한 질산의 농도가 증가할수록 막의 양단에서 삼투압차가 크게 발생되어 막 내부에 흡수되어 있던 물질자들이 빠져나가는 탈수 현상이 일어난다. 이로 인하여 물질자를 매개로 이동하는 수 소이온의 투과속도가 감소하기 때문으로 판단된다.¹⁶⁾

3.4. 질산회수율에 미치는 급액중 Sn 농도 영향

실제 폐슬더 박리액에는 주석(Sn)이 다량 존재한다. 따라서 질산용액중에 Sn을 단독으로 첨가하여 유속 1.28 L/hr-m², 유속비(W/F)가 1.0인 경우, 25°C에서 확산투석을 실시한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림으로부터 용액에 주석이 존재할 경우 약 86.8% 이었던 질산회수율이 약 80%로 하락하였다. 이 경우에 있어 폐슬더 박리액에서 전처리를 통해 Sn을 제거하고 잔류한 Sn의 농도는 약 3 g/L 미만이었다. 따라서 본 실험은 Sn의 잔류량 0.5 ~ 3.0 g/L으로 변화시키면서 확산투석을 실시하였다. 본 실험 결과 Sn의 농도가 3.0 g/L까지 첨가된 경우에는 질산회수율에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 확인할 수 있었다.

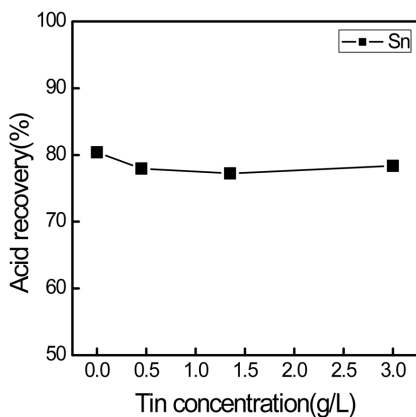


Fig. 6. Effect of Sn concentration on the recovery of HNO₃ (25°C, W/F = 1, 1.28 L/hr-m²).

3.5. 금속이온 투과율 (leakage) 고찰

질산용액내에 Sn 뿐만 아니라 Cu, Fe, Pb, Na 등의 금속이온들이 존재할 경우 확산투석시에 막을 통해 투과될 경우 회수산의 품질에 영향을 미치기 때문에 이에 대한 영향을 고찰하기 위해 실험을 실시하였다. 실험에 사용한 용액은 Table 1과 유사하게 모의용액을 만들어 사용하였으며 4.0 g/L Cu, 4.3 g/L Fe, 20.1 g/L Pb, 4.1 g/L Na이고 질산농도는 5.0 M 이며 Sn의 경우는 3-3과 동일하게 0 ~ 3.0 g/L를 첨가하였다. 이러한 용액을 확산투석 반응을 거쳐 나온 용액중의 금속이온을 ICP-AES로 분석하여 각 금속 이온의 투과율(leakage)을 조사하였다. 이에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Fe, Sn은 막을 거의 투과하지 않아서 투과율이 미미하였고, Cu의 경우도 0.2%대로 낮은 경향을 보였다. Na의 경우는 3.24 ~ 4.22% 사이의 비교적 높은 투과율을 보였다. 이는 이온교환막을 통한 이온 투과율이 일반적으로 이온의 전하 크기, 원자가, 수화반경 등에 의해 결정된다고 알려져 있다.²⁰⁾ 따라서 Na 이온의 경우는 전하가 +1이 이고 이온크기가 비교적 작기 때문에 다른 금속 이온들 보다 투과율이 다소 높게 나타난 것으로 사료된다. 한편 Pb의 경우는 용액중의 농도가 상대적으로 타 금속들보다 농도가 워낙 높아서(20.1 g/L) 투과율이 높게 나온 것으로 생각되어진다. 또한 혼합용액중에 주석이 존재하지 않을 경우 투과율이 조금 높은 것으로 보아, 주석이 존재할 경우 다른 금속 이온들의 투과율을 약간 감소시키는 것으로 생각된다.²¹⁾

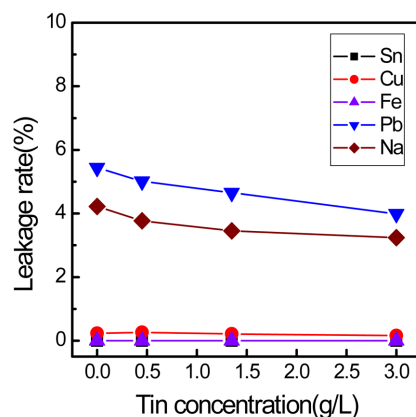


Fig. 7. Leakage of metal ions with tin concentration (25°C, W/F = 1, 1.28 L/hr-m²).

Table 4. Leakage percentage of metal ions. (%)

Sn	Cu	Fe	Pb	Na
0	0.30	0	4.26	3.56

3.6. 실폐액에서의 확산투석 결과

실제 폐솔더용액에서 질산회수를 위한 확산투석 실험을 실시하였다. 실폐액의 조성은 Table 1과 같았고, 유속은 질산회수율을 높이기 위해 약 0.9 L/hr-m²로 조절하고 W/F = 1.3으로 실시하였다. 그 결과 초기 질산농도가 6.2 M인 폐액에서 약 94%의 질산을 회수할 수 있었고, 이때 회수한 용액의 질산 농도는 5.1 M 이었다. 또한 회수된 질산용액중의 금속의 투과율을 조사한 결과를 Table 4에 나타내었다. 표에서와 같이 3-4절의 모의실험의 결과와 유사하게 Pb와 Na의 투과율이 가장 높았으며, Cu는 미량 투과 되었음을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 PCB 공정에서 발생하는 폐솔더 박리액에서 질산을 회수하기 위한 확산투석 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 급액과 순수의 유속이 증가함에 따라 질산회수율, 회수산의 질산 농도는 감소하였고, 유속 1.28 L/hr-m² ~ 3.67 L/hr-m² 에서 약 61.0%~ 약 86.8% 질산회수율을 확인하였다.
2. 급액에 대한 순수의 유량비(W/F)가 증가할수록 산회수율은 높아져 1.5이상의 유속비에서는 99%정도의 질산회수율을 보였으며, 회수산의 질산 농도는 낮아졌다.
3. 급액중 질산용액의 농도가 증가함에 따라 3.0 M 까지는 산회수율이 증가 하였으나, 3.0 M 이후로는 질산 회수율은 약간 감소하는 경향을 보였다.
4. Sn이 첨가된 모의용액에서 확산투석을 실시한 결과 Sn이 존재할 경우 산회수율이 감소하는 현상을 보였고, 실제 폐솔더액의 조성구 유사한 혼합금속용액을 사용한 실험 결과 Pb, Na의 투과율은 비교적 높았으나, Fe, Sn 및 Cu의 투과율은 미미하였다.
5. 실제 폐솔더액을 사용하여 유속 0.9 L/hr-m², W/F = 1.3으로 확산 투석을 실시한 결과 약 94%의 산회수율을 보였고 회수산의 질산 농도는 5.1 M이었다. 이 경우 금속의 투과율은 Pb 4.26%, Na 3.56%, Cu 0.3% 이었고, Fe 및 Sn의 경우는 투과되지 않았다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20135010100720).

References

1. Charlie Kerr, 2004 : "Sustainable technologies for the regeneration of acidic tin stripping solutions used in PCB fabrication", Circuit world 30(3), 51-58.
2. T. Keskitalo, J. Tanskanen, T. Kuokkanen, 2007 : "Analysis of key patents of the generation of acidic cupric chloride etchant waste and tin stripping waste", Resources, Conservation and Recycling" 49, 217-243.
3. Man-Seung Lee, Jong-Gwan Ahn, Jae-Woo Ahn, 2003 : "Recovery of copper, tin and lead from the spent nitric etching solutions of printed circuit board and regeneration of the etching solution", Hydrometallurgy, 70, 23-29.
4. Norvell J. Nelson : "Regenerative copper etching process and solution" U.S. Patent, 4,545,850
5. Jae-Woo Ahn, Meong-Woon Kim, Jin-Ki Jeong, Jae-Chun Lee, 2006 : "Recovery Cu and Sn from the bioleaching solution of electronic scrap", J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 15(6), 41-47.
6. C.J. Brown, D. Davy and P.J. Simmons, 1980 : "Recovery of nitric acid from solutions used for treating metal surface", Plating and surface finishing. vol 2. 60-62.
7. T.K. Mattila, 1977 : "Nitrate removal from waste solutions by solvent extraction", Ind. Eng. Chem., Process Des. Dev. 16(4), 469-472.
8. I. Mockrin, Martin A. Hobin, 1977 : "Recovery of copper from waste nitrate liquors by electrolysis", U.S. Patent, 4,033,838.
9. S. Roy, R. Buckle, 2009 : "The recovery of copper and tin from waste tin stripping solution PartII: Kinetics analysis of synthetic and real process waste", Separation and purification technology, 68, 185-192.
10. Jae-Woo Ahn, 1998 : "Study on the recovery of nitric Acid from spent nitric etching solutions by solvent extraction", Journal of Korean Institute of Resources Recycling, 7(5), 46-51.
11. M. Hoshino, 1986 : "Nitric-hydrofluoric acid recovery process of solvent extraction method", Aromatics. 38(9, 10), 217-222.
12. Y. Kobuchi, H. Motomura, Y. Noma, F. Hanada, 1986 : "Application of the ion-exchange membranes acids recovery by diffusion dialysis", Proc. 1986 Eur.-Jpn.

- Congr. Membranes and Membrane Processes, Plenum Press, New York.
13. Jinki Jeong, Min-Seuk Kim, Byung-Su Kim, Soo-Kyung Kim, Won-Baek Kim, Jae-Chun Lee, 2005 : "Recovery of H₂SO₄ from waste acid solution by a diffusion dialysis method", Journal of Hazardous Materials, B124, 230-235.
 14. H. Strathmann, 2004 : "Ion-exchange Membrane Separation Processes", Elsevier, Amsterdam.
 15. Moon Sung Kang, Suk Jung Oh, Seung-Hyeon Moon, 1998 : "A study on transport characteristics of hydrochloric acid in an anion exchange membrane", Membrane Journal 8(3), 148-156.
 16. P. Sridhar, G. Subramaniam, 1989 "Recovery of acid from cation exchange regeneration waste by diffusion dialysis", J. Membr. Sci. 45, 273-280.
 17. Suk Jung Oh, Seung-Hyeon Moon, Thomas Davis, 2000 : "Effects of metal ions on diffusion dialysis of inorganic acids", J. of membrane Science, 169, 95-105.
 18. D.D. Stachera, R.F. Childs, A.M. Mika, et al., 1998 "Acid recovery using diffusion dialysis with poly(4-vinylpyridine)-filled microporous membrane", J. Membr. Sci., 148, 119-127.
 19. H.M. Zhang, D.L. Li, D.B. Li, S. Cao, L.J. You, 2006 : "Studies of recovering tin and nitric acid from the spent solder stripper (in Chinese)", Membr. Sci. Technol. 26. 86-89.
 20. Shengjie Lan, Xianming Wen, Zenghu Zhu, Fei Shao, Chaoliang Zhu, 2011 : "Recycling of spent nitric acid solution from electro dialysis by diffusion dialysis", Desalination, 278, 227-230
 21. Jae-woo Ahn, Seong-hyung Ryu, Tae-young Kim, 2015 : "Recovery of tin and nitric acid from spent solder stripping solutions", The Korean Journal of Metals and Materials 53(6), 426-431.



류 승 형

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 석사 과정



김 태 영

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 석사 과정



강 명 식

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 석사 과정



안 낙 균

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 석사 과정

안 종 관

- 고려대학교 박사
- 한국지질자원연구원 책임연구원
- 현재 중원대학교 자원순환환경공학과 교수

안 재 우

- 현재 대진대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제11권 6호 참조