

자동차 휠 도금박리폐액으로부터 질산 및 구리의 회수

하용황¹, 강윤지¹, 손성호², 이원식², 안종관^{1*}

¹중원대학교 자원순환환경공학과, ²한국생산기술연구원

Recovery of Nitric acid and Copper from Plating Waste of Automobile Wheel

Yonghwang Ha¹, Ryun-Ji Gang¹, Seong-Ho Son², Wonsik Lee²

and Jong-Gwan Ahn^{1*}

¹Hydro-process Research Lab, Jungwon University

²Korea Institute of Industrial Technology

요 약 자동차용 고광택 크롬 도금 박리액에는 질산과 유가금속인 구리가 다량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 질산(HNO_3) 및 유가금속은 고가이며 유독하므로, 경제 및 환경을 고려하여 반드시 회수하여 재활용하여야 한다. 본 연구에서는 도금박리액으로부터 질산과 구리는 용매 추출법을 이용하여 후 분리하였다. 수상에 존재하는 질산의 농도는 $0.01 \sim 1\text{N}$ NaOH 를 이용하여 적정하여 분석하고, 금속의 농도는 ICP-MS 및 ICP-AES 등을 이용하여 분석하였다. 도금 박리액을 분석한 결과, 구리 이온은 $76,850 \text{ mg/L}$ 이 함유되어 있음을 알 수 있었다. 용액 내 질산의 양을 NaOH 용액을 이용하여 적정법으로 측정하였을 때 대략 1.02 M 임을 알 수 있었다. 50% Tributylphosphate (TBP)를 이용하여 3단 추출한 유기층의 용액을 중류수를 이용하여 각각 3회의 역추출을 하였을 때, 원액으로부터 48.1% 의 질산을 회수할 수 있음을 알 수 있었으며, 순도는 99.9% 이상이었다. 질산 회수 후, 용액 내에 남은 구리는 PC 88A, D2EPHA, LIX 84 및 ISE 106을 이용하여 용매추출 하였으며, 각 용매의 추출률을 비교하였을 때, ISE 106의 경우, 1단 추출 후 30% 황산으로 역세척 하였을 경우, 92% 의 구리를 회수할 수 있었다. 추출된 구리는 N_2H_4 를 이용하여 환원시켰고, 다양한 조건 하에서 구리 분말을 제조하였다.

Abstract It has been known that there are large amount of nitric acid and valuable metals, copper in the plating waste solution of automobile wheel. As nitric acid and valuable metals are high price and toxic, they should be recovered for economics and environment. Plating waste was extracted with TBP diluted with kerosene. The concentration of nitric acid in aqueous phase was analyzed by titration method by NaOH solution ($0.1 \sim 1.0\text{N}$) and the amount of metals by ICP-MS and ICP-AES. The concentration of copper in plating waste were $76,850 \text{ mg/L}$. The concentration of nitric acid in plating waste was 1.02 M . After three step extraction was performed with 50% TBP, each organic phase was stripped three times with distilled water to obtain 48.1% of nitric acid. Purity of final nitric acid was over 99.9% by ICP analysis. After recovery of nitric acid, copper was extracted with various solvent extractors like PC 88A, D2EPHA, LIX 84 and ISE 106. Among these extractors, 92% of copper was recovered by ISE 106 after 1st extraction and 30% H_2SO_4 stripping. Copper ion was reduced with N_2H_4 to make metal powders, respectively.

Key word : Tributylphosphate, Plating waste, Nitric acid, Solvent extraction, Metal powder

본 연구는 중소기업청 2011년-2012년 「제조현장녹색화기술개발사업」의 지원에 의하여 연구가 진행되었으며 이에 감사드립니다.

*Corresponding Author : Jong-Gwan Ahn(Jungwon University)

Tel: +82-10-4403-6083 email: dran@jwu.ac.kr

Received October 22, 2013 Revised November 6, 2013 Accepted November 7, 2013

1. 서론

고광택 Cr 도금 Al wheel 제조를 위한 습식표면처리 공정은 공정 특성상 탈지 및 산세 공정 등에서 다량의 공정폐액이 발생한다. 이들 박리액 중 질산(HNO_3) 및 유기금속인 구리는 고가이며 매우 유독하므로 경제적 및 친환경적으로 반드시 회수하여 재활용하여야 한다. 폐액 속의 금속을 분리정제하기 위해서는 질산을 먼저 회수하는 것이 필요하다. 질산이 회수된 여액은 질산농도가 낮기 때문에 액-액 추출법에 의해 쉽게 구리의 분리가 가능하며, 분리된 구리 용액은 슬러리화하여 고순도의 구리 분말을 직접 제조하여 부가가치 향상을 도모할 수 있다. 보통 질산의 회수는 중화법 또는 증발법으로 회수하였으나 처리비용 고가이며 장기간의 조업시간을 요하고, 유독가스 발생 등으로 회수 시 많은 문제점을 야기하고 있다. 이러한 공정을 개선하기 위해 액-액 추출공정(용매추출법)을 이용하여 질산을 추출하고자 하였다. 용매 추출법에 의해서 질산을 추출하는 방법은 NaNO_3 의 형태로 질산이온(NO_3^-)을 추출한 후 질산으로 환원시키는 방법과 [1,2], 중성 추출제인 Tributylphosphate (TBP)를 이용하여 질산을 직접 추출하는 방법이 알려져 있다[3-5]. TBP를 이용한 액-액 추출법을 이용한 용매추출 법이 공정이 단순하여 장치 및 설치비가 적게 소요되고, 조업시간이 매우 짧아 소규모의 공장에 적용이 가능하며, 단순조업으로도 고순도 정제가 가능한 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 도금폐액 중 질산의 추출제로 TBP를 이용하였다. 도금 폐액 시료에는 고농도의 금속이온이 존재하는데, 금속이온의 간섭없이 질산을 선택적으로 추출하는 것은 고순도의 질산 추출에 있어서 우선적으로 고려될 사항이므로, 중성 추출제인 TBP가 질산 추출에 적합한 것으로 사료되었다. TBP는 인산염에 3개의 뷔틸 작용기가 결합된 중성 추출제로 알려져 있는데, 뷔틸 작용그룹은 친유성의 성질을 갖고 있고, 유기용매에 친화력을 갖고 있고, 인산염의 산소와 인의 원소는 질산과 친화적임이 알려져 있다. 인산염이 질산분자와 결합하여 유기상으로 질산을 옮기는 기능을 갖고 있다. 본 연구에서는 등유, dodecane 등의 희석용매를 사용하여 농도별 TBP 용액을 제조하고 가장 효율적인 질산 추출 공정을 연구하고자 하였다[6].

구리 추출을 위해서 4종류의 추출제 D2EHPA와 PC 88A, LIX 84, ISE 106을 사용하였다[Fig. 1]. 구리 분말은 전도성 잉크, 페이스트, 후막필름의 주성분으로써 마이크론 단위의 금속 및 귀금속 나노분말의 사용량이 급증하고 있다[7,8].

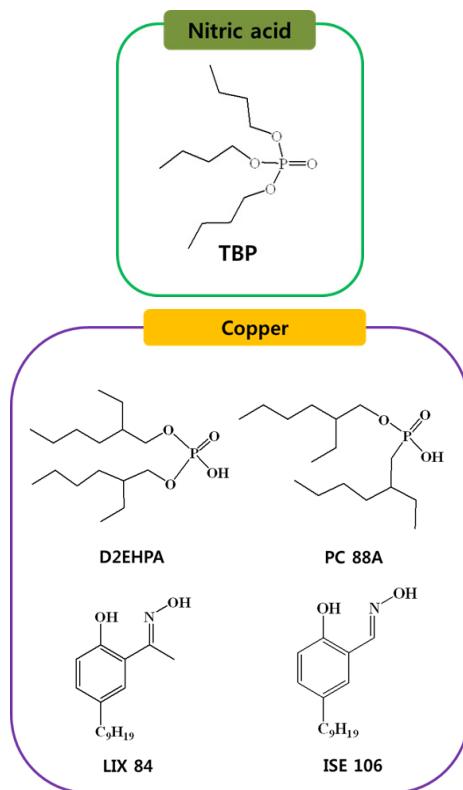
도금 박리폐액으로부터 질산을 추출한 후에 용액의 pH가 증가하게 되며, 용액 내에 금속이온을 추출제를 이

용하여 용매추출이 가능하다. 추출제인 ISE 106을 이용하여, 구리를 회수하였고, 구리의 산업적 고부가 가치 활용을 위해서, 환원제인 N_2H_4 를 이용하여 구리 금속 분말의 제조를 시도하였다.

2. 실험 재료 및 방법

실험 재료

실험에 사용한 시약은 질산 (Junsei, 60%), Tributylphosphate (Junsei, 99.0%), Kerosine (Junsei), n-Dodecane (Kanto chemical, 98.0%), $\text{CuSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (98% 이상, DC chemical), NaOH (98% 이상, DC chemical), $\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Junsei)를 사용하였다. 구리 추출제로는 D2EHPA와 PC 88A, LIX 84, ISE 106을 사용하였으며 IS Chem 회사 (경기도 안산소재)에서 구매하여 사용하였고, 각각의 화학구조는 Fig. 1에 제시하였다. 자동차 알루미늄 휠 도금폐액은 주식회사 에치피시 (경기도 안산 소재)에서 제공한 시료를 사용하였다.



[Fig. 1] Chemicals of solvent extractions for nitric acid or copper

실험방법

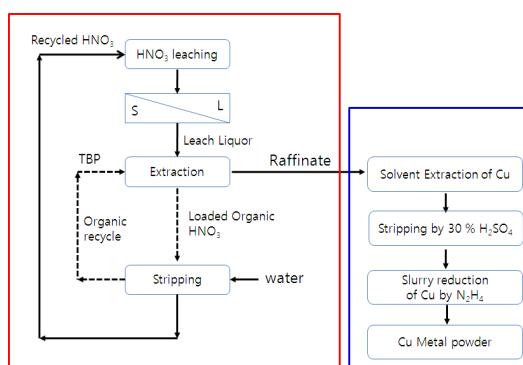
전체 공정도는 [Fig. 2]에 제시하였다. 우선 질산을 추출하는 공정을 실시하고, 잔여 금속이온으로부터 용매추출제를 이용하여 구리를 회수한 후, 회수된 구리 이온으로부터 환원제를 이용하여 구리 분말을 합성하고자 하였다.

2.1 질산 추출

추출실험(Extraction): 분액여두에 수용액과 유기상을 넣고 25 °C에서 30분간 교반 후 분액깔때기에서 1시간 정치하여 수상과 유기상을 분리하였다. 수상에 존재하는 질산의 농도는 0.1 ~ 1N NaOH를 이용하여 적정하여 분석하였다. 희석제의 종류에 따른 추출실험의 경우, 실제 질산폐액과 성분이 유사한 합성용액을 제조하여 TBP농도에 따른 질산의 추출거동을 조사하였다.

역추출 실험(Stripping): 추출 후 유기상의 용액을 분액깔때기에 넣고 중류수와 일정비율로 혼합하여 30분간 교반 후 1시간정도 상온에서 정치시켰다. 수상의 용액을 모아서 0.1 ~ 1N NaOH를 이용하여 적정하여 질산의 농도를 계산하였다. 유기상을 다시 중류수를 이용하여 2회 같은 과정을 반복하였다.

성분분석: 수상에 존재하는 금속의 농도는 ICP-MS (PerkinElmer ELAN DRC-e) 및 ICP-AES (Geoplasma, BZY-70plus) 등을 이용하여 분석하였다.



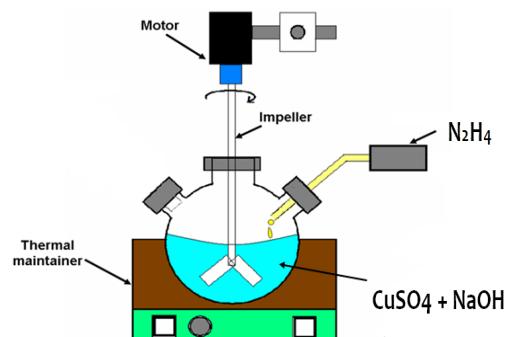
[Fig. 2] Scheme of extraction process of nitric acid and copper from plating waste

2.2 구리의 용매추출

D2EHPA와 PC 88A, LIX 84, ISE 106의 4종류의 추출제를 이용하여 용매추출 실험을 진행하였다. 각 추출제의 농도는 25%로 고정하였고, 희석제로 escaid 110을 사용하였다. 1단 추출 후 30% H₂SO₄를 이용하여 역추출을 실시하여, 구리를 회수하였다.

2.3 구리 금속 분말 제조

CuSO₄·6H₂O를 원료물질로 하였으며, CuSO₄·6H₂O (1 eq, 16g/L) 용액 250 mL를 4구 플라스크에 넣고, N₂H₄·H₂O (0.5 ~ 1.0 eq)를 dropwise 첨가하여 환원반응을 진행하였으며, 60 ~ 80 °C에서 60 분간 유지하였다. [Fig. 3]에 제시된 바와 같이, 반응 중에 임펠러(MS-5020, TOPS)를 이용하여 150 rpm정도로 회전시키면서, 환원반응을 진행하였다. 반응 종료 시점은 거품발생이 더 이상 발생하지 않는 시점으로 하였다. 세척은 에탄올과 중류수를 이용하여 4 - 5차례 반복하여 세척하였으며, 각 세척 과정에서 구리 분말을 침강시키고 상층부의 용액을 제거하는 방식으로 세척하였다. 최종세척은 에탄올로 하였으며, 세척한 후 60°C에서 24시간 이상 건조하였다. 제조한 구리 분말은 전자현미경(JSM6380, JEOL)을 이용하여 그 모양과 크기를 관찰하였고, XRD를 이용하여 성분을 분석하였다.



[Fig. 3] Apparatus for synthesis of copper powder

3. 결과 및 고찰

3.1 최종 도금폐액의 알루미늄, 구리, 니켈 및 질산의 함량

자동차 휠 도금박리폐액을 ICP를 이용하여 분석해 본 결과, 알루미늄 이온(1,492 mg/L), 구리 이온(76,850mg/L), 니켈 이온(51,990 mg/L)이 함유되어 있음을 알 수 있었다 (Table 1). 용액 내 질산의 양을 측정하기 위해서 0.1 N ~ 1 N 농도의 NaOH 용액을 이용하여 적정법으로 측정하였을 때, 5.37 M 을 확인할 수 있었다. 그러나 적정과정에서 수산화 이온이 용액의 수소이온과 반응하지 않고, 용액 내 존재하는 알루미늄, 구리, 니켈 등의 금속이온과 반응할 수 있으므로 실제 수소이온농도보다 높음을 알 수 있다. 따라서 금속의 농도를 이용하여 이를 제외하고

순수한 수소이온농도를 계산하였을 때, 실제 질산의 양은 1.02 M 임을 알 수 있었다(Table 1).

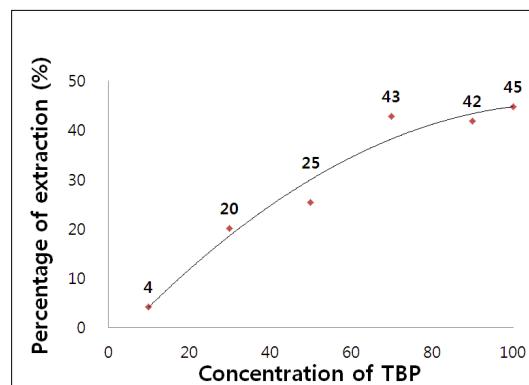
[Table 1] Concentration of metal ions contained in the plating waste solution. sp 1 : Initial Make-up of stripping bath. sp 2 : After 30 times of stripping with nitric acid. sp 3 : After 164 times of stripping with nitric acid.

Element	sp 1	sp 2	sp 3
Al (mg/L)	1.8	718.2	1492
Cu (mg/L)	428.7	43150	76850
Ni (mg/L)	2.5	24610	51990
HNO ₃ measured (M)	9.16	7.37	5.37
HNO ₃ calculated (M)	9.15	5.10	1.02

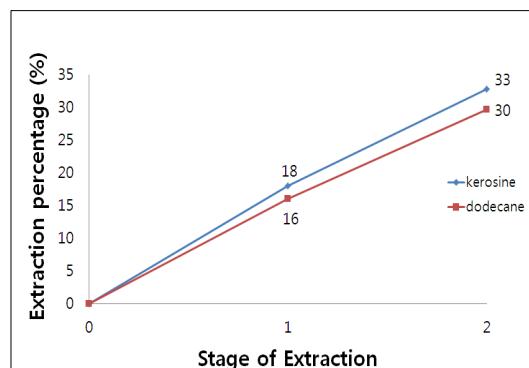
3.2 질산 추출

TBP 농도에 따른 추출률 확인: [Fig. 4]는 희석제를 kerosine으로 이용하여 TBP의 농도를 변화시키면서 도금 폐액 중의 질산을 용매추출한 결과이다. 1단 추출시 TBP의 농도가 증가함에 따라 질산의 추출률이 높아지는 것을 알 수 있었으며, 100% TBP를 이용하였을 경우, 48% 정도 추출이 가능함을 알 수 있었다. 다만 70% -100% TBP를 사용할 경우, TBP의 점성에 의해서 다루기가 어렵고, 유기상과 수상의 분리가 용이하지 않아서 산업 현장의 적용을 고려할 경우, 질산 추출 공정에 활용하기에 적절하지 않은 것으로 사료되었다. 반면에 좀 더 낮은 농도인 50% TBP의 경우, 100%에 비해 비록 추출률은 적지만, 상분리가 용이하고, 점성이 적어서 산업현장에 적용이 적합하므로, 본 실험에서는 50% TBP를 이용하여 질산추출을 시도하였다.

희석제의 종류에 따른 질산 추출률 변화: 50%의 TBP를 추출에 활용하기 위해서는 희석이 반드시 필요하다. TBP의 뷔틸기는 친유성이며, 수상에 존재하는 금속이온을 유기상으로 이동시키기 위한 필요성을 감안할 때, TBP의 희석을 위해서 유기용매를 사용해야 한다. 본 실험에서 유기 용매인 kerosine과 dodecane의 두 종류를 TBP의 희석제로 이용하여 질산 추출 효율성을 살펴보았다. [Fig. 5]의 실험 결과에 의하면, kerosine을 희석제로 썼을 때, dodecane보다 2 ~ 3% 정도 질산추출이 더 용이함을 알 수 있었다. 따라서 본 질산추출 실험에서는 kerosine을 희석제로 사용하였다.

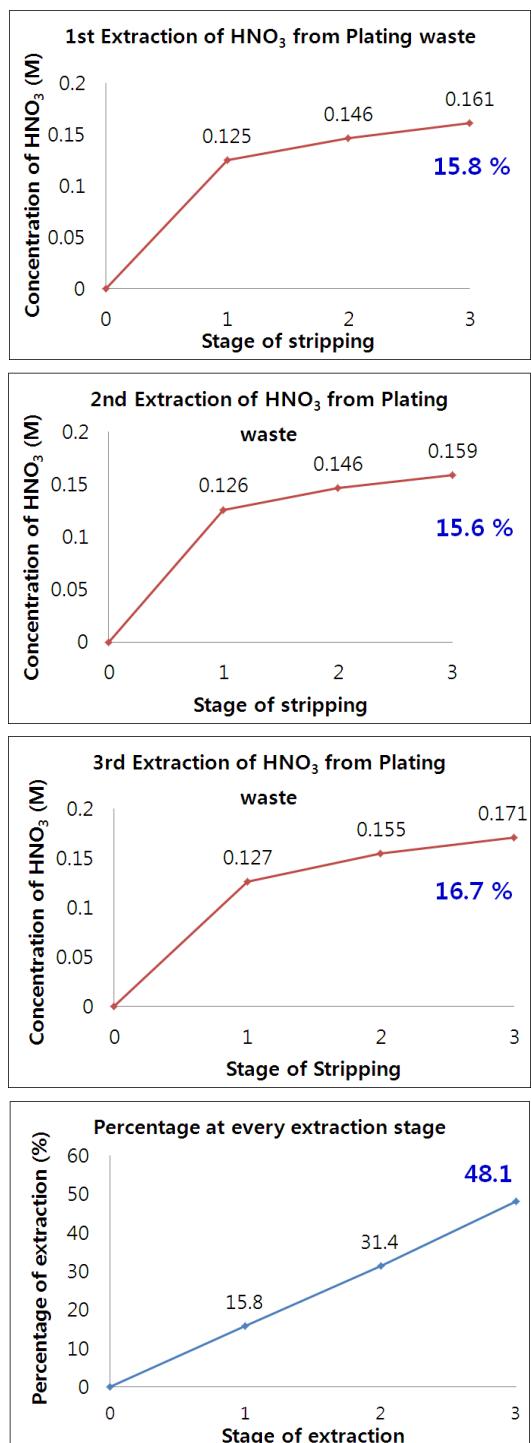


[Fig. 4] Extraction percentage with various concentrations of TBP with kerosine diluent



[Fig. 5] Extraction of nitric acid with 50% TBP with different diluents

1단 추출, 3단 역추출 후 추출률 확인: kerosine으로 희석한 50% TBP를 이용하여 도금 박리 폐액을 1단 용매 추출 후 질산의 양을 조사하여 보았다. 1단 추출과정에서 유기상으로 질산을 추출한 후 수상에 남은 질산의 농도를 적정법으로 분석할 경우, 함유되어 있는 금속이온에 의하여 수소이온 농도의 측정에 간섭을 받게 되는 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 1단 용매추출 후 중류수를 이용하여 3 단 역추출을 수행하여, 수상의 용액을 모아서 수소이온농도를 측정하고 추출률을 계산하였다. 이 방법을 이용할 경우, TBP는 중성 추출제 이므로, 금속 양이온은 유기상으로 옮겨가지 못하므로, 순수한 질산을 추출할 수 있는 장점이 있다.



[Fig. 6] Extraction of nitric acid from plating waste followed by 3 times stripping at every extraction stage with 50% TBP diluted with kerosine

Fig. 6의 결과에 의하면, 유기상의 용액을 중류수를 이용하여 3회 역추출을 하였을 때, 초기 질산의 양의 15.7%를 회수할 수 있었다. 수상에 남아 있는 용액을 다시 50% TBP로 추출하여, 2단, 3단 추출과정을 거치고 각각 중류수를 이용하여 3회 역추출을 하여 질산의 농도를 측정하였을 때, 15.8%, 16.7%의 질산을 각각 추출할 수 있음을 확인할 수 있었다. 즉 kerosine을 희석제로 사용하여 50% TBP를 이용하여 도금 박리폐액으로부터 질산을 추출할 경우 3단 추출 및 각각 3회 역추출할 경우 총 48.1% 추출이 가능함을 알 수 있었다[Fig. 6].

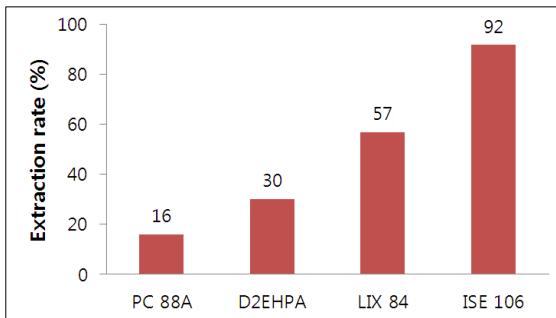
kerosine에 용해된 TBP 용액을 이용하여 도금 박리 폐액에 대해서, 1회 추출 후 중류수를 이용하여 3회 역추출 후 회수된 용액에 대해서 구리 및 니켈, 알루미늄 항목에 대해서 ICP-MS 분석을 하였다. 분석결과 1ppm 이하의 농도로 불검출이었으며, 중성추출제인 TBP에 의해 양이 온은 추출되지 않음을 알 수 있었다. 이 실험 결과를 통하여, 도금 박리 폐액으로부터 3단 추출 및 각각 3회 중류수를 이용한 역추출을 통해 순도 99.9% 이상의 고순도 질산을 48.1% 회수할 수 있음을 알 수 있었다.

3.3 구리의 용매추출

4 종류의 추출제, D2EHPA와 PC 88A, LIX 84, ISE 106을 이용하여 구리를 추출하였다. D2EHPA와 PC 88A는 산소와 인의 이중결합 작용기그룹을 갖고 있는데, 약한 극성을 띠고 있어 금속이온과 반응할 수 있으며, 비누화작용 등에 의해 강하게 반응을 할 수 있다. 본 연구에서는 비누화 작용없이 바로 추출에 사용하였다. 또한 LIX 84나 ISE 106은 산소-질소-산소의 금속이온 결합사이트를 형성하여 용액 중의 금속양이온과 배위결합하여 추출할 수 있다.

30% PC88A를 사용하여 구리와 니켈을 분리하려 했으나 이 때 구리의 추출률이 낮고 니켈과의 분리도가 낮으므로 PC88A를 대체하기 위한 추출제를 찾고자 실험을 진행하였다. 추출제의 종류를 달리하여 총 4 가지 즉, D2EHPA와 PC88A, LIX 84, ISE 106을 가지고 실험을 진행하였다. 우선 각각의 25% 농도의 추출제를 이용하여 1단 추출을 진행한 후, 30% H₂SO₄ 용액을 이용하여 역추출 후 ICP를 이용하여 농도를 분석 하였다. 초기농도와 수득한 농도 결과를 이용하여 추출률을 [Fig. 7]에 제시하였다. D2EHPA가 PC88A 보다 높은 추출률(30%)을 보였으나 LIX 84와 ISE 106보다는 현저히 낮은 추출률을 보였다. LIX 84는 구리의 선택적 추출로써 pH의 영향을 다른 추출제보다 덜 영향을 받는 것으로 알려져 있는데, 실험 결과 57%의 추출 효율을 보였다. ISE 106의 경우 LIX 84보다 훨씬 높은 추출률(92%)을 보였으며 대부

분의 구리 이온을 한 번에 추출할 수 있음을 확인할 수 있었다. ISE 106 가격적인 면에서 경제적이면서도 환경에 덜 유해한 것으로 알려져 있다.

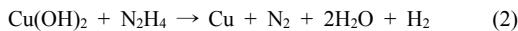


[Fig. 7] Extraction rates of copper by various 25% solvent extractors followed by stripping with 30% H_2SO_4 solution.

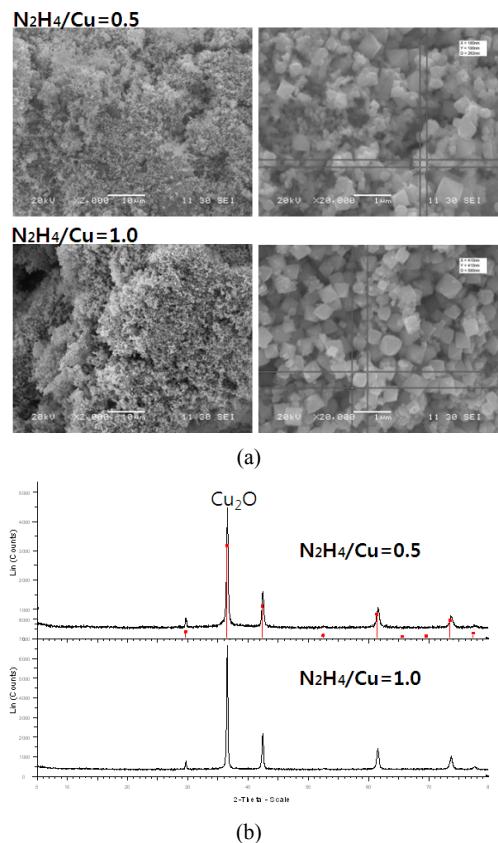
3.4 구리 분말의 제조

추출된 구리를 산업에 사용하기 위해서는 고부가 가치의 구리 소재 개발이 필요하다. 본 연구에서는, 현재 산업적 수요가 높은 마이크로 혹은 나노사이즈의 구리분말 제조를 시도하였다. 환원제를 N_2H_4 를 이용하였고, pH 생성 및 전구체 형성을 위해서 NaOH 를 사용하였다.

구리 분말 제조와 관련된 반응 메커니즘은 식 (1)과 (2)에 제시하였다. 반응메커니즘을 살펴보았을 때, 구리와 NaOH 는 1:2의 비율로, 구리와 N_2H_4 는 1:1의 비율로 반응이 이루어짐을 알 수 있었다.



[Fig. 8]은 구리 용액에서 환원제로 N_2H_4 를 처리하여 구리 분말의 제조한 결과이다. 우선 2 당량의 NaOH 용액을 황산구리 용액과 반응시켜서 슬라리형태의 수산화 구리 화합물을 형성하였다. 이후 적절한 환원제의 농도를 설정하기 위해서 구리와 환원제 N_2H_4 의 몰 비를 1:0.5에서 1:1.0으로 변환시키면서 구리분말을 제조하였다. 제조 후 육안 상으로, 구리 특유의 주황색 분말을 관찰할 수 있었다. 전자현미경을 이용하여 형성된 분말의 모습을 살펴보았을 때, 1:0.5에서는 190 nm 크기의 약간 각이진 구형의 분말을 관찰할 수 있었고, 1:1에서는 410 nm의 크기의 약간 모서리가 각이진 정육면체 혹은 구형의 모습을 확인할 수 있었다. 특별한 분산제를 쓰지 않았음에도, 입자들이 서로 엉겨 붙지 않고 1 μm 이하의 입자가 형성되는 것을 알 수 있었다.



[Fig. 8] (a) SEM images of copper powder synthesized by various molar ratio of N_2H_4 from Copper sulfate solution. Magnification : 2,000x (left) 20,000x (right), size bar is 1 μm . (b) XRD result of copper powder.

다만 XRD로 분석한 결과 산화구리의 피크를 관찰 할 수 있었는데, 이는 구리분말 형성 후 세척이나 건조과정에서 표면이 산화되었기 때문으로 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는, 자동차 휠의 도금 박리폐액으로부터 고순도 질산을 회수하고, 유기금속인 구리회수 및 나노 분말제조에 대한 연구를 진행하였다. 우선, 도금 박리 폐액의 용액 성분을 분석하였을 때, $\text{Al}(1.5 \text{ g/L})$, $\text{Cu}(76.9 \text{ g/L})$, $\text{Ni}(52.0 \text{ g/L})$ 이 검출되었다. 용액 내 질산의 양을 측정하기 위해서 NaOH 용액을 이용하여 적정법으로 측정하였을 때, 5.37 M 을 확인할 수 있었으나, 용액 내 존재하는 금속이온이 첨가한 NaOH 와의 반응을 고려하여 계산할 경우, 실제 질산의 양은 1.02 M 임을 알 수 있었

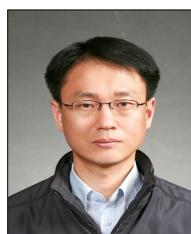
다. 희석제로 kerosine과 dodecane을 활용하였을 때, Kerosine 2 ~ 3% 추출률이 높았으며, 희석제의 종류에 따라 추출률의 변화가 있음을 알 수 있었다. Kerosine을 희석제로 하여, TBP의 농도를 바꾸어서 질산의 추출률을 살펴보았을 때, TBP 농도에 따라 증가하는 양상을 보였으며, 100%의 TBP를 사용하였을 경우, 1회 추출시 45% 까지 추출이 가능함을 알 수 있었다. 3차 도금 폐액에 대해 1차 추출 후 3회 역추출하여 회수된 질산의 양은 15.8% 이었으며, 2차, 3차 추출을 같은 방법으로 반복하여 회수된 질산의 양은 15.6%, 16.7%로 3회 추출시 48.1% 질산회수가 가능함을 알 수 있었다. 회수 후 질산 용액의 순도를 ICP를 이용하여 분석한 결과, 99.9% 이상의 고순도임을 확인할 수 있었다. 질산 추출 후 라피네이트 용액에 대해 용매추출을 이용하여 구리의 회수를 시도하였으며, ISE 106의 추출제를 이용한 경우, 1단 추출 후 30% H₂SO₄를 이용하여 역추출한 경우, 92% 구리의 회수가 가능함을 알 수 있었다. 회수된 구리는 NaOH를 이용하여 pH를 조절하고 슬러리 형태로 변환시킨 후, 환원제 N₂H₄를 이용하여 환원시킨 결과, 1 μm 크기의 정육면체 혹은 구형의 금속분말을 제조할 수 있었다.

References

- [1] Lebedev, V.N., "Extraction of nitric acid from chloride-nitrate solutions". Russian Journal of Applied Chemistry, Vol. 7, no. 11, pp. 1772-1774. 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11167-005-0604-5>
- [2] Kim, J.-Y., H.-S. Kim, and W.-K. Bae, "Study on Recovery of Separated Hydrofluoric Acid, Nitric Acid and Acetic Acid Respectively from Mixed Waste Acid Produced during Semiconductor Wafer Process", Journal of Korean Institute of Resources Recycling, Vol 18, no. 4, pp. 62-69, 2009.
- [3] Ahn, J.-W., A "Study on the Recovery of Nitric Acid from Spent Nitric Etching Solutions by Solvent Extraction", Journal of Korean Institute of Resources Recycling, Vol 7, no. 5, pp. 46-51, 1998.
- [4] Ochkin, A.V., et al., "Extraction of nitric acid by tributyl phosphate solution in n-dodecane", Russian Journal of Physical Chemistry A, 2010. 84(9): pp. 1526-1531.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S0036024410090141>
- [5] Ahn, J.-W., J.-G. Ahn, and M.-S. Lee, "Recovery of Nitric Acid and Valuable metals from spent Nitric Etching Solutions of Printed Circuit Board", Journal of the Korean Institute of Metals and Materials, Vol 40, no. 1, pp. 116-121, 2002.
- [6] Geist, A., "Extraction of Nitric Acid into Alcohol: Kerosene Mixtures", Solvent Extraction and Ion Exchange, Vol 28, no. 5, pp. 596-607, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/07366299.2010.499286>
- [7] Cho, D., Baik, J-H. Park, J-H, and CS, Lee, "Investigation of Dispersion Stability of Conductive Nano Ink Using 1-Octanethiol Coated Copper Nano Powders", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol 49, no. 5, pp. 417-422, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.4191/kcers.2012.49.5.417>
- [8] Ahn, J-G., Yoon, C-H., Kim, D-J., Cho, S-W., and J-S., Park, "Effect of Reductants and their Properties of Electric Resistivity on the Preparation of Ag coated Cu Powders by Chemical Reduction Method", Korean Journal of Metals and Materials, Vol 48, no. 12, pp.1097-1102, 2010.

하 용 황(Yonghwang Ha)

[정회원]



- 2003년 8월 : 서울대학교 생물교 육과/화학과 졸업
- 2009년 9월 ~ 현재 : 카이스트 화학과 석박사통합과정 재학
- 2009년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 습식공정연구실 연구원

<관심분야>

자원순환, 금속재련, 환경

강 윤 지(Ryun-Ji Gang)

[준회원]



- 2013년 2월 : 중원대학교 자원순 환환경공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 자원순환환경공학과 석사과정 재학

<관심분야>

자원순환, 금속재련, 환경

손 성 호(Seong-Ho Son)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 일반대학원 금속공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 일반대학원 금속공학과 (공학박사)
- 2002년 8월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 열·표면기술센터 수석연구원

<관심분야>

자원순환, 습식제련, 전기도금

이 원 식(Wonsik Lee)

[정회원]



- 1989년 2월 : 고려대학교 일반대학원 금속공학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 고려대학교 일반대학원 금속공학과 (공학박사)
- 2000년 7월 ~ 현재 : 한국생산기술연구원 융합신공정연구그룹 수석연구원

<관심분야>

분말야금, 다공성소재, 자원순환

안 종 관(Jong-Gwan Ahn)

[정회원]



- 1992년 8월 : 고려대학교 일반대학원 금속공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 일반대학원 금속공학과 (공학박사)
- 2008년 1월 ~ 2011년 2월 : 한국지질자원연구원 책임연구원
- 2011년 3월 ~ 현재 : 중원대학교 자원순환공학과 교수

<관심분야>

자원순환, 금속제련, 환경