

유기산 침출용액에서 용매추출법에 의한 구리 및 코발트 분리

김태영 · 류승형 · *안재우

대전대학교 신소재공학과

Separation of Copper & Cobalt by Solvent Extraction in Organic Acid Leaching Solution

Tae-Young Kim, Seong-Hyung Ryu and *Jae-Woo Ahn

Dept. of Advanced Materials Sci. & Eng., Daejin University, Korea

요 약

코발트와 구리가 함유된 유기산 침출용액으로부터 용매추출법을 이용하여 구리와 코발트의 분리·회수를 위한 기초 연구를 실시하였다. 구리와 코발트의 추출에 영향을 미칠 수 있는 평형 pH, 추출제의 농도, 상비 변화에 대하여 용매 추출 실험을 진행하였다. 구리 추출제로 LIX 84, 코발트 추출제로 Cyanex 272 및 Versatic acid 10을 사용하였는데 실험 결과 구리의 경우 평형 pH 2.0 이상에서 약 99%의 추출율을 보였고, 코발트의 경우는 추출제로 Cyanex 272를 사용 시 평형 pH 6.0에서 Versatic acid 10 사용 시에는 평형 pH 7.5에서 각각 90% 이상의 추출율을 나타내었다. 한편, 구리와 코발트를 탈거하기 위한 탈거제로 최적의 황산농도는 120 ~ 150 g/L 이었다. 그리고 구리 및 코발트가 함유된 미생물 침출용액에서 구리와 코발트를 회수할 수 있는 기초 최적 공정을 제시하였다.

주제어 : 용매추출, 구리, 코발트, 분리, 유기산

Abstract

A study has been made on the recovery & separation of cobalt and copper from organic acid leaching solution by solvent extraction. The experimental parameters such as the equilibrium pH, concentration of extractant and phase ratio were observed. Copper was extracted using LIX 84 and Cobalt was extracted using cyanex 272 and versatic acid 10. Experimental results showed that extraction percent of copper was 99% at above eq. pH 2.0 and then more than 90% of cobalt were extracted by cyanex 272 in eq. pH 6.0 and versatic acid 10 in eq. pH 7.5. Stripping of copper and cobalt from the loaded organic phases can be accomplished by sulfuric acid as a stripping reagent and 120 ~ 150 g/L of H₂SO₄ was effective for the stripping of copper and cobalt respectively. Finally, the basic optimal process for recovery of copper and cobalt from the bio-leaching solution was proposed.

Key words : Solvent extraction, Copper, Cobalt, Separation, Organic acid

· Received : December 26, 2014 · Revised : February 28, 2015 · Accepted : March 23, 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.

1. 서 론

미생물 침출법은 박테리아(Bacteria)나 곰팡이(Fungi) 등 미생물의 직·간접 반응기구에 의해 금속광석의 물리·화학적 성질을 변화시켜 금속을 이온상태로 침출시키는 공정으로, 금속함량이 낮아 기존의 건식 및 습식공정으로 처리하기에 부적합한 저품위 광석이나 소량의 금속이 분산되어 있는 폐기물로부터 유가금속을 회수할 수 있는 방법으로 많은 응용이 기대되고 있다.¹⁻²⁾ 따라서 본 연구에서는 코발트 정광으로부터 미생물 침출법을 이용하여 금속을 침출하고, 이러한 침출용액에서 구리 및 코발트를 회수하기 위한 기초 연구를 실시하였다. 미생물 침출 시 *Aspergillus niger* 등을 사용할 경우에는 미생물의 신진대사 작용에 의해 구연산이나 옥살산 등의 유기산이 생성되는데, 이러한 유기산의 생성/분해를 통한 산 가수분해(Acidolysis) 과정과 용액 중에 Citrate와 같은 착화합물을 형성하는 착화작용(Complexolysis)에 의해 금속 성분을 용해하여 침출시키는 것으로 알려져 있으며,³⁻⁴⁾ 이에 대한 연구결과는 전보에 소개하였다.⁵⁾ 따라서 이러한 미생물 침출 후액으로부터 구리 및 코발트 등을 추출·회수하기 위하여 기초 연구를 실시하고자 유기산 용액에서 각 금속의 추출 거동을 고찰하고자 하였다. 기존에 광석으로부터 금속 성분의 침출은 주로 황산이나 염산 등의 무기산을 사용하였고, 이러한 용액에서 금속성분의 분리·회수기술은 이미 확립되어 있다.⁶⁻⁸⁾ 그러나 유기산 용액에서 금속의 분리 회수 기술은 금속성분이 유기산과의 착화합물 형성으로 중성영역에서도 금속이온으로 존재하는 등 여러 가지 요인으로 인하여 기존 무기산 침출용액에서의 분리 방법과는 많은 차이가 있다. 그러나 이에 대한 연구는 아직까지 매우 미진한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 유기산 침출용액에서 구리 및 코발트를 분리·회수하기 위하여 용매추출법을 적용하고자 하였다. 추출제로는 기존의 황산용액에서 많이 사용되고 있는 동일한 추출제인 LIX 84 및 Versatic acid 10 및 Cyanex 272를 사용하여 구리 및 코발트의 추출 및 탈거에 미치는 영향을 조사하였고, 불순물로 존재하는 철, 마그네슘, 알루미늄 등의 금속성분들과의 분리성도 고찰하였다. 그리고 최종적으로 미생물 침출용액에서 구리 및 코발트를 회수하는 기초 공정을 제시하였다.⁹⁾

2. 실험 재료 및 방법

본 실험에 사용한 침출용액으로는 구리 및 코발트를 함유한 모의 유기산 침출용액을 실제용액의 조성보다 유사하게 제조하여 사용하였는데 이때 침출액의 유기산의 조성은 Citric acid, Malic acid, Oxalic acid가 혼합 상태이며 조성은 Table 1과 같다. 또한 각 금속성분도 Table 2와 같이 실제 용액의 조성보다 유사하게 조제하여 실험에 사용하였다. 구리 추출 시에 사용한 추출제로는 LIX 84 (2-hydroxy-5-nonylacetonophenone oxime)를 사용하였고, 코발트 추출제로는 Cyanex 272(di-2,4,4-trimethyl pentyl phosphinic acid)와 Versatic acid 10 (2-methyl -2-ethyl-heptanoic acid)을 사용하였고, 희석제는 Exxxol D 80 (Exxon Mobil Chemicals)을 사용하였다. 탈거액으로는 황산을 사용하였다. 실험 방법 개요도는 Fig. 1과 같고 모의 용액을 제조한 뒤, 유기상과 일정한 비율로 혼합하여 교반시킨 상태에서 10 M NaOH 수용액을 이용하여 평형 pH를 조절하였다. 그 후 20분 간 교반 후, 분액여두에 정지시켜 추출 실험을 실시하였다. 탈거 실험은 구리 및 코발트가 추출된 유

Table 1. Composition of synthetic organic acid (g/L)

Citric acid	Malic acid	Oxalic acid
2.4	3.3	0.4

Table 2. Composition of synthetic leaching solution (g/L)

Cu	Co	Fe (III)	Al	Mg
3.0	3.0	0.3	0.15	0.3

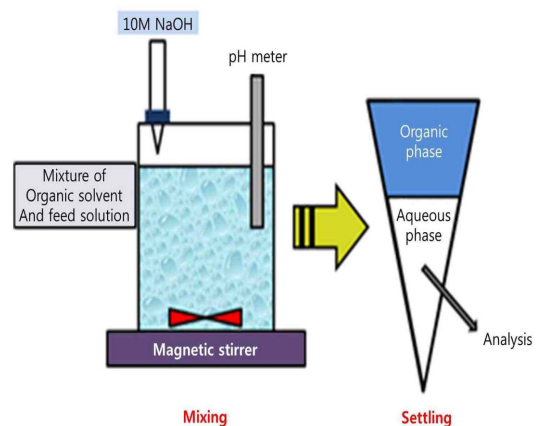


Fig. 1. Experiment schematics.

기상을 사용하여 특정 농도로 제조한 황산과 함께 일정 비율로 혼합시켜 교반하였으며 추출 실험과 같이 20분 간 교반 후, 분액여두에 정치시켜 수상과 유기상으로 상 분리를 하였다. 수상에서 시료를 채취하여 시료 중 금속 농도를 ICP-AES (PerkinElmer/Optima-4300DV)를 사용하여 분석하였고 추출율, 분배계수, 분리계수, 탈거율 등을 구하여 추출·분리 거동을 살펴보았다.

추출율 및 탈거율은 식 (1), (2)와 같이 계산하였다.

$$\text{Extraction percentage} = \frac{\text{Equilibrium Metal mass of organic phase}}{\text{Initial Metal mass of aqueous phase}} \times 100 \quad (1)$$

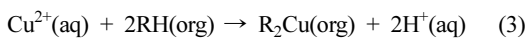
$$\text{Stripping percentage} = \frac{\text{Equilibrium Metal mass of aqueous phase}}{\text{Initial Metal mass of organic phase}} \times 100 \quad (2)$$

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 구리의 용매추출

3.1.1. 평형 pH의 영향

본 연구는 구리가 양이온으로 존재하는 유기산 침출 용액에서 평형 pH가 구리의 추출에 미치는 영향을 고찰하고자 하였다. 킬레이트 추출제인 LIX 84를 사용할 시 추출 반응식은 (3)과 같으며 평형 pH가 구리 추출 거동에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.



평형 pH를 1.0에서 5.0까지 조절하여 구리의 추출 거동에 대하여 조사하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다. 구리의 추출율은 평형 pH가 증가함에 따라 점차 증가하였으며 평형 pH가 2.0 이상 일 때, 약 99%의 높은 추출율을 나타내었다. 한편, 기타 불순물의 경우에도 평형 pH가 증가함에 따라 추출율이 다소 증가함을 알 수 있었다. 따라서 구리와 기타 불순물을 분리하기 위한 평형 pH는 3.0 이내가 적절함을 알 수 있었다.

3.1.2. 추출제 농도의 영향

추출제 농도의 변화에 따른 구리의 추출거동을 고찰하기 위해 평형 pH 3.5, 상비(O/A) 1.0, 25°C의 조건

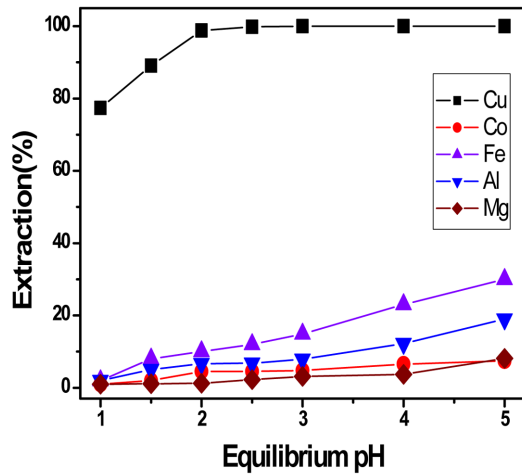


Fig. 2. Effect of equilibrium pH on the extraction on Cu (O/A=1, 25°C).

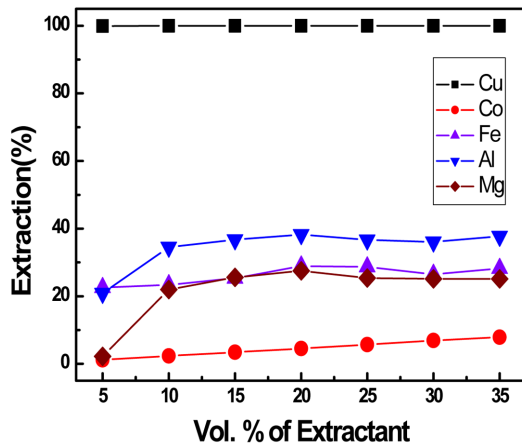


Fig. 3. Effect of Extractant concentration on the extraction of Cu (O/A=1, eq. pH 3.5, 25°C).

하에 LIX 84의 농도를 5~35%까지 변화시켜 실험을 하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 구리의 경우 추출제 농도가 5%인 경우에도 99% 이상의 추출율을 보였고, 추출제의 농도가 증가함에 따라 기타 불순물의 추출율이 다소 증가하는 경향이 나타나고 있다. 한편, 추출제 농도가 20% 이상일 때는 구리 이외의 기타 원소의 추출율이 일정함을 보아 추출제의 농도를 20% 이상으로 증가시키는 것은 그 효과가 미미함을 확인하였다. 그리고 구리와 기타 불순물간의 분리성은 추출제의 농도가 5% 일 때가 가장 우수함을 확인할 수 있었다.

3.1.3. 구리 추출을 위한 McCabe-Thiele diagram

McCabe-Thiele diagram은 금속을 원하는 추출율까지 추출하는데 필요한 이론적 추출단수를 설정하는데 유용한 분석법으로 이에 대한 결과를 Fig. 4에 나타내었으며 그림으로부터 10% LIX 84를 사용하여 수용액 상에 중 구리의 초기 농도가 3.0 g/L인 경우 상비(A/O)를 4.0으로 하여 2단 조업으로 99% 이상의 구리를 LIX 84를 사용하여 추출이 가능하다는 것을 알 수 있다.

3.1.4. 황산(H₂SO₄)에 의한 탈거

유기상으로 추출된 금속 이온을 회수하기 위해서 순수한 황산용액을 이용하여 탈거를 실시하였다. 이때 반응식은 다음과 같으며, 수용액상의 pH(산도)가 탈거에 큰 영향을 미치는 인자로 작용함을 알 수 있다.



유기상으로 추출된 구리의 농도는 3.0 g/L 였으며, 철 300 ppm, 알루미늄 60 ppm, 마그네슘 100 ppm이 구리와 함께 유기상 중으로 함유되었다. 이러한 유기상을 이용하여 황산 농도를 변화시키면서 상온에서 각 금속이온의 탈거 거동을 확인하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같다. 구리는 황산 농도가 증가함에 따라 탈거율이 증가하는 경향을 보이고 있고 황산 농도 90 g/L 이상에서 탈거율이 약 80% 이었고 황산의 농도를 더 증가시켜도 탈거율이 큰 변화가 없어 구리의 탈거를 위한 황산 농도는 90 g/L ~ 120 g/L 정도가 효과적임을 알 수 있다.

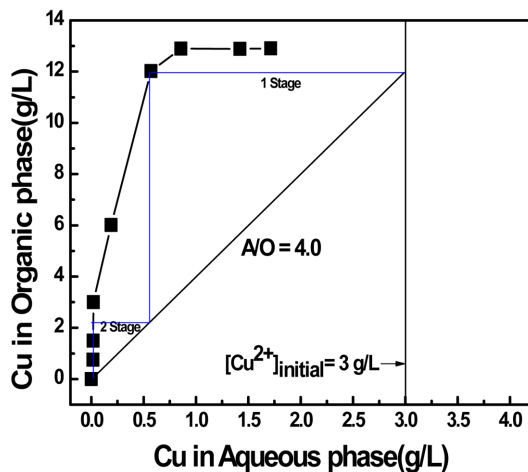


Fig. 4. McCabe Thiele diagrams for Cu extraction by LIX 84.

이 때 탈거액 중 구리의 농도는 약 2.4 g/L이었으며, 철과 알루미늄이 3 ppm 정도 함께 탈거 되었고 마그네슘은 탈거되지 않았다.

3.2.2. 구리 탈거를 위한 McCabe-Thiele diagram

유기상에 추출된 구리 이온을 탈거액 중으로 농축하기 위하여 상비 변화에 따른 탈거 실험을 실시하였다. 이전 실험과 동일한 유기상을 사용하였으며, 탈거액으로 120 g/L 황산을 사용하였다. Fig. 6에 McCabe-Thiele Diagram 분석 결과를 나타내었다. 유기상에 추출된 구리의 농도가 10.0 g/L 일 때, 상비(O/A) 2.0로 조절하여 3단 조업에 의하여 99% 이상의 구리를 황산

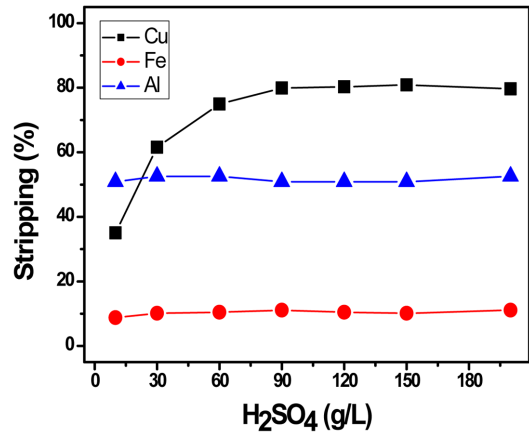


Fig. 5. Effect of H₂SO₄ concentration on the stripping of Cu (20% LIX 84, O/A 1.0, 25°C).

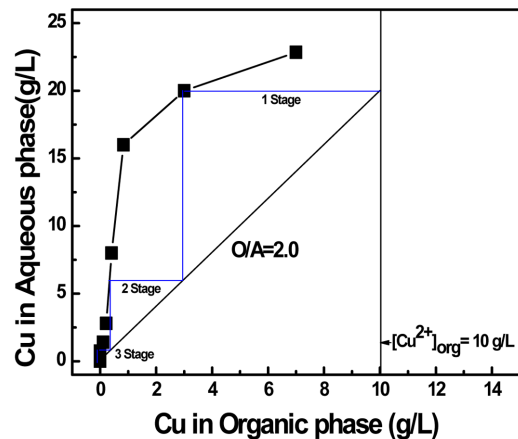


Fig. 6. McCabe Thiele diagrams for Cu stripping from loaded LIX 84 with 120g/L H₂SO₄.

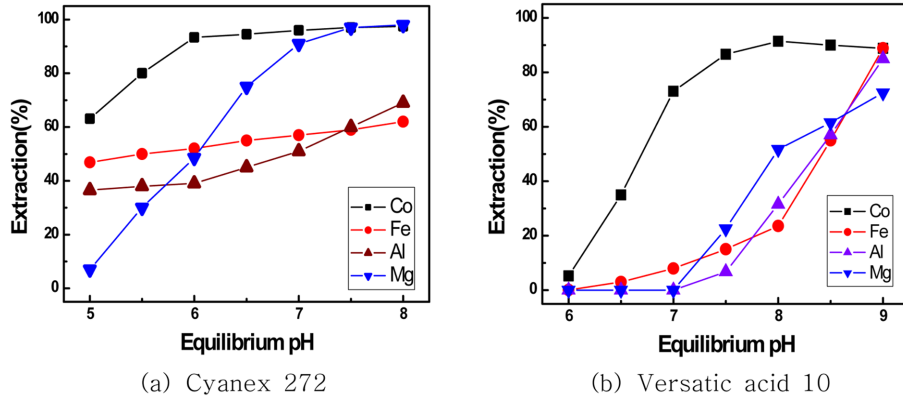


Fig. 7. Effect of equilibrium pH on the extraction of Co (Co:3g/L, Extractants:10%, O/A=1, 25°C).

용액으로 탈거가 가능하다는 것을 알 수 있었으며 상비를 15.0으로 조절할 경우 구리를 탈거액 중으로 22.84 g/L 농축이 가능함을 확인하였다.

3.3. 코발트의 용매추출

3.3.1. 추출제 종류 영향

추출제의 종류가 코발트의 추출 거동과 코발트와 불순물과의 분리성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 Cyanex 272와 Versatic acid 10을 이용하여 그 결과를 고찰하였다. 반응은 식 (5)와 같으며 이에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Cyanex 272의 경우 평형 pH 6.0 이상에서 Versatic acid 10을 사용할 경우에는 평형 pH 7.5 이상에서 약 90% 이상의 높은 추출율을 보였다. 그러나 Cyanex 272는 평형 pH 7.0, Versatic acid 10은 평형 pH 8.0 이상에서 3상(Third phase)이 형성됨에 따라 그 이상으로 pH를 증가시키는 것은 바람직하지 않다는 것을 알 수 있었다. 한편, 두 추출제를 비교한 결과, 코발트의 추출율면에서는 Cyanex 272가 Versatic acid 10보다 낮은 pH에서 추출할 수 있고 추출율도 좋으나, 코발트와 기타 불순물과의 분리성면에서는 효과가 떨어진다. 특히 Cyanex 272를 사용할 경우 마그네슘의 추출율이 코발트와 유사한 높은 추출율을 나타내고 있어 코발트와 마그네슘을 분리하는데 적합하지 못하다는 것을 알 수 있다. 따라서 코발트 추출을 위해서 추출제로는 Versatic acid 10을 사용하였다.

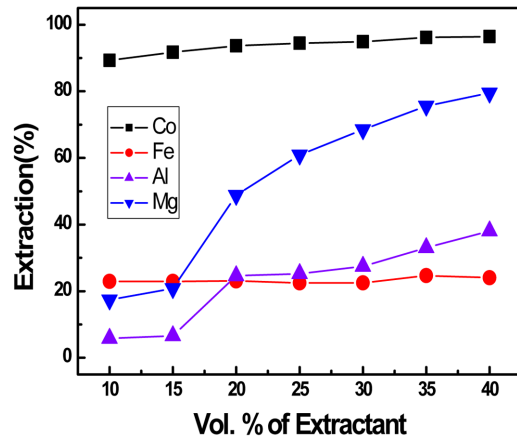


Fig. 8. Effect of Extractant concentration on the extraction of Co (O/A=1, eq. pH 7.5, 25°C).

3.3.2. 추출제 농도의 영향

구리 추출후액에서 Versatic acid 10의 농도가 코발트의 추출거동에 미치는 영향을 확인하기 위하여 추출제의 농도를 10%부터 35%까지 변화시키면서 실험을 실시하였다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 추출제의 농도가 증가함에 따라 코발트의 추출이 다소 증가하였으나 추출제의 농도가 20% 이상인 경우 마그네슘 및 알루미늄의 추출율이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있었다. 따라서 코발트와 마그네슘 및 알루미늄 등의 불순물과의 분리를 위해서는 추출제의 농도를 15%로 조절하는 것이 바람직하다고 사료된다. 한편, 철의 경우는 추출제 농도에 무관하게 23%정도의 추출율을 보였다.

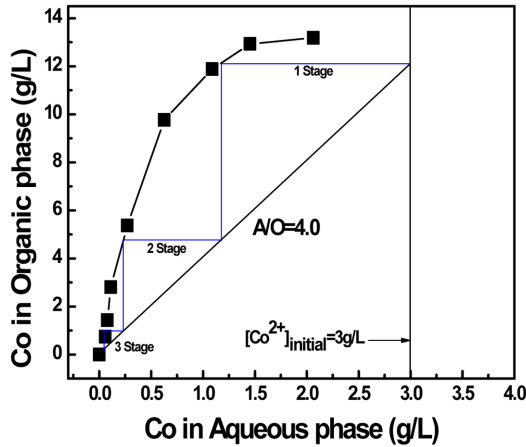


Fig. 9. McCabe Thiele diagrams for Co extraction by Versatic acid 10.

3.3.3. 코발트 추출을 위한 McCabe-Thiele diagram
수용액상과 유기상의 상비 변화에 의한 이론적인 최적 코발트의 추출 단수를 결정하기 위하여 Fig. 9와 같이 McCabe Thiele-diagram을 분석하였다. 그림으로부터 코발트의 초기 농도가 3.0 g/L 인 경우 10% Versatic acid 10에 의해 상비(A/O) 4.0에서 3단으로 약 99% 이상의 코발트를 추출할 수 있음을 확인하였다.

3.3.4. 황산(H₂SO₄)에 의한 탈거

Versatic acid 10에 추출된 코발트 이온을 회수하기 위하여 탈거액으로 황산을 사용하였고, 황산 농도가 탈거에 미치는 영향을 고찰하였다. 본 실험은 평형 pH 7.5, 상비 1.0에서 코발트가 1회 추출된 Versatic acid 10을 유기상으로 사용하였고, 이 때 유기상 중에 코발트의 농도는 2.75 g/L 였다. 이에 대한 코발트의 탈거 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 그림으로부터 황산에 의해 철 이외의 코발트, 마그네슘 및 알루미늄의 탈거율은 매우 높으며 황산농도가 120 g/L 이상에서 코발트의 경우 약 98%의 탈거율을 보였다.

3.3.5. 코발트 탈거를 위한 McCabe-Thiele diagram

황산 용액을 탈거액으로 사용하여 코발트를 탈거할 경우 탈거액 중 코발트의 농축 및 적정 탈거단수를 구하기 위하여 McCabe-Thiele diagram 분석을 하였다. 이 때 사용한 유기상은 이전 실험과 동일한 유기상을 사용하였으며 한편 탈거액은 120 g/L 황산 용액을 사용하였다. Fig. 11에 나타나듯이 유기상 중 코발트의 농도

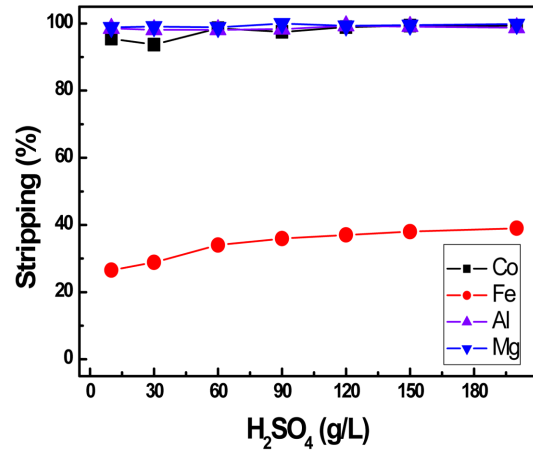


Fig. 10. Effect of H₂SO₄ concentration on the stripping of Co (eq. pH 7.5, 10% Versatic acid 10, O/A 1.0).

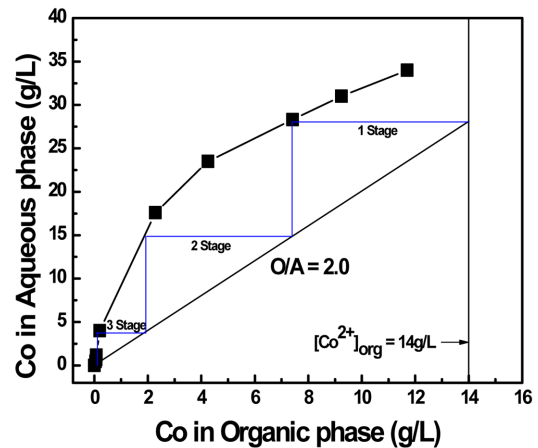


Fig. 11. McCabe Thiele diagrams for Co stripping from loaded Versatic acid 10 with 120 g/L H₂SO₄.

가 14.0 g/L 일 경우, 상비(O/A)를 2.0으로 하여 3단 조업에 의해 99% 이상의 코발트를 추출할 수 있음을 알 수 있었고, 상비가 15.0인 경우 코발트를 탈거액 중으로 33.99 g/L 까지 농축이 가능함을 확인하였다.

3.4. Bio 침출용액에서 연속 공정 설계

본 연구의 경우 Bio침출용액에서 구리 및 코발트를 분리·회수하는 것이 목적이어서 실제 Bio침출용액에서 용매추출을 실시하였다. *Aspergillus niger* KCTC 6985 (Molasses 4%) 4.0 L를 배양기를 사용하여 약 45일 간 균주를 성장시켜 유기산을 생성시키고, 코발트 정광을

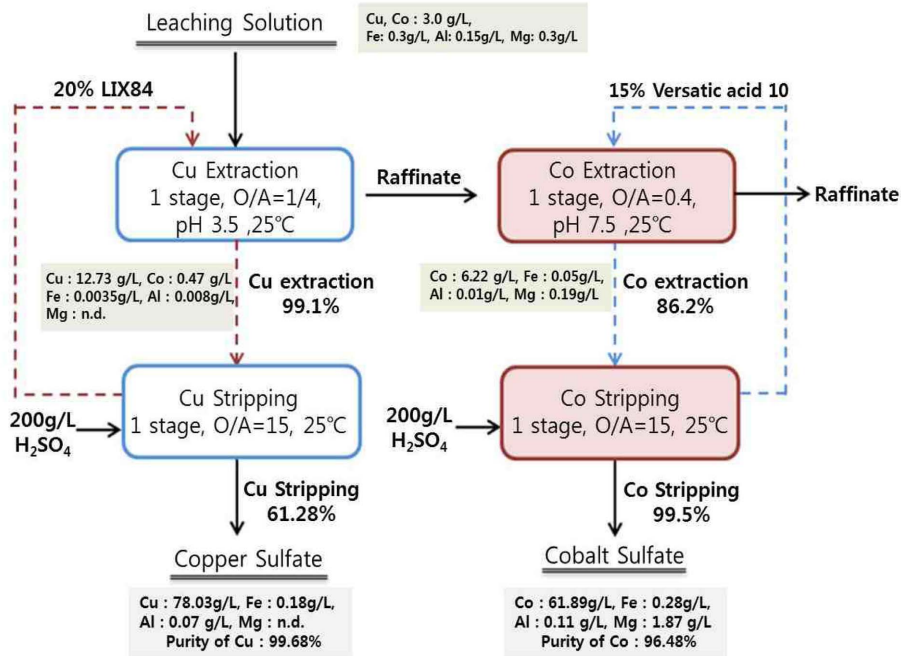


Fig. 12. Flowsheet for recovery of Cu & Co from organic bioleaching solution.

10 g/L의 고액농도로 투입하여 침출시켰다. 이러한 침출액을 사용하여 구리 및 코발트의 추출 및 탈거 실험을 진행하였다. 이에 대한 실험 조건 및 각 공정별 물질수지를 Fig. 12에 나타내었다. 그림으로부터 초기 3.0 g/L의 구리 및 코발트 혼합용액에서 최종적으로 구리를 먼저 LIX 84를 사용하여 pH 3.5에서 추출한 후 황산으로 탈거하여 탈거액 중으로 78.03 g/L 농축이 가능하였고, 이후 구리 추출액에서 코발트는 pH 7.5에서 Versatic acid 10으로 추출한 후 황산으로 탈거하여 탈거액 중으로 61.89 g/L까지 농축이 가능함을 확인하였다.

4. 결 론

유기산 침출용액으로부터 코발트 및 구리의 용매추출 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) LIX 84를 사용하여 구리 추출 시, 평형 pH 2.0 정도로 조절하였을 때 구리를 약 99% 추출할 수 있었고 추출제의 농도를 20% 이내로 하는 것이 구리와 불순물간의 분리성이 우수하였다.
- 2) 유기상으로 추출된 구리 이온을 회수하기 위한 탈거 실험 결과, 황산 농도는 90 ~ 120 g/L가 효과적이었

며, 상비(O/A)가 15.0 일 때, 구리를 약 22.80 g/L 까지 농축이 가능하였다. 한편, McCabe Thiele diagram을 통하여 상비(A/O)가 4.0 일 때, 2단 조업으로 99% 이상의 구리를 추출가능하였다.

3) 코발트 추출 시, Cyanex 272가 Versatic acid 10 보다 코발트의 추출율이 다소 우수하였으나 불순물의 추출율이 높으므로 Versatic acid 10을 사용하는 것이 코발트와 불순물을 분리하는데 유리하다는 점을 확인하였다.

4) Versatic acid 10을 사용하여 코발트를 추출할 경우, 평형 pH는 7.5 정도가 적당하였고 Versatic acid 10의 농도가 20% 이상일 때, 마그네슘의 추출율이 급격하게 증가하여 코발트와의 분리성이 감소한 것으로 보아 추출제의 농도는 20% 이내가 코발트를 분리·추출하는데 유리하다는 것을 확인하였다.

5) 유기상으로 추출된 코발트 이온을 회수하기 위한 탈거 실험 결과, 황산 농도는 120 ~ 150 g/L가 효과적이었으며, 상비(A/O)를 4.0으로 조절하여 3단 조업을 통하여 99% 이상의 코발트를 회수할 수 있음을 확인하였다.

6) Bio 침출용액에서 용매추출 결과, 구리를 78.03 g/L,

코발트를 61.89 g/L 까지 황산 용액 중 농축이 가능하였고, 이 때 황산 용액 중 구리의 순도는 99.68%, 코발트의 순도는 96.48%로 구리 및 코발트를 불순물과 분리·회수가 가능하였다.

References

1. D.E. Rawlings, 1998 : Industrial practice and the biology of leaching of metals from ores, J. Ind. Microbiol. Biotechnol. 20, pp. 168-274.
2. Brierley, J.A. and Brierley, C.L. 2001 : Present and future commercial applications of biohydrometallurgy, Hydrometallurgy, 59, pp. 233-239.
3. Hyo-Jin Ahn, Jae-Woo Ahn, Duk-ki Bang, Meong-Woon Kim, 2013 “A study on the bioleaching of cobalt and copper from cobalt concentrate by *Aspergillus niger* strains” J. of Korean inst. of Resources Recycling, 22(2), pp. 44-52.
4. Geoffrey S. Simate, Sehliselo Ndlovu, Lubinda F. Walubita, 2010 : The fungal and chemolithotrophic leaching of nickel laterites - Challenges and opportunities, Hydrometallurgy, 10, pp. 1-8.
5. Hyo-Jin Ahn, Jae-Woo Ahn, Seong-Hyung Ryu, 2014 “Bioleaching Behavior of Cu and Co by *Aspergillus Niger* Strains from Molasses Culture” J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 23(1), pp.64-69.
6. Jong-Gwan Ahn, Jae-Woo Ahn, Young-Joo Oh, Man-Seung Lee, 2004 “Solvent Extraction of Copper by LIX84 from Chloride Solutions Containing Copper, Nickel and Cobalt” J. Kor. Inst. Met.&Mater., 42(3), pp. 292-269.
7. Kyung-Ho Park, Chul-Woo Nam, Shun-Myung Shin, 2004 “Solvent Extraction of Copper from Sulfuric Acid Solution containing Copper, Nickel and Cobalt by LIX84” J. Kor. Inst. Met.&Mater. 42(3), pp. 297-301.
8. Kyung-Ho Park, Sun-Hee Jung, Chul-Woo Nam, Shun-Myung Shin, Dong-Su Kim, 2004 “Solvent Extraction of Cobalt by Cyanex272 from Sulfuric Acid Solution Containing Nickel and Cobalt” J. Kor. Inst. Met.&Mater., 42(11) pp. 947-951.
9. Jae-woo Ahn, Hyo-Jin Ahn, Meong-Woon Kim, 2011 “Chemical Leaching of Co, Cu, Ni, Al, Fe by Organic acid from Cobalt Concentrate” J. of Korean inst. of Resources Recycling, 20(6), pp. 63-70.



김 태 영

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 석사과정

류 승 형

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 석사과정

안 재 우

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