

염화암모늄용액에서 음이온 교환수지에 의한 금(III)의 이온교환

안형훈 · §이만승

목포대학교 공과대학 신소재공학과

Ion Exchange of Gold(III) from Ammonium Chloride Solution by Anionic Resins

Hyeong Hun Ahn and §Man Seung Lee

Department of Advanced Material Science & Engineering, Institute of Rare Metal,
Mokpo National University, Chonnam 58554, Republic of Korea

요 약

강염기성 음이온 교환 수지인 Amberlite IRA 402와 AG 1-X8로 염화암모늄용액에 함유된 금(III)의 이온교환을 회분식 실험으로 조사했다. 두 수지 모두 염화암모늄용액에서 금(III)을 잘 흡착했으며, AG 1-X8이 Amberlite IRA 402보다 우수한 금(III) 흡착거동을 보였다. AG 1-X8 수지의 금(III)의 흡착은 Langmuir 등온흡착과 잘 일치했고 흡착용량은 355 mg/g이었다. AG 1-X8에 흡착된 금(III)은 과염소산으로 세출할 수 있으며, 과염소산의 농도 증가에 따라 세출률이 증가하였다.

주제어 : 금(III), 염화암모늄, 이온교환, 세출, AG 1-X8

Abstract

Batch ion exchange experiments of Au(III) were performed from ammonium chloride solution by employing strong anionic exchange resins (Amberlite IRA 402 and AG 1-X8). Au(III) was well loaded into the two resins and the loading behavior of Au(III) into AG 1-X8 was superior to that into Amberlite IRA 402. The loading of Au(III) into AG 1-X8 followed Langmuir adsorption isotherm and the experimentally determined loading capacity was 355 mg/g. Au(III) was successfully eluted by HClO₄ from the loaded AG 1-X8 and the elution percentage of Au(III) increased with the concentration of HClO₄.

Key words : Au(III), ammonium chloride, ion exchange, elution, AG 1-X8

1. 서 론

순도 99% 이상을 지닌 금은 첨단 산업용 소재로 사용되며 특히 금의 표면 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance) 특성은 질병 및 미생물의 분석에 활용된다. 최근 나노기술의 발전으로 다양한 형태를 지닌 나노 크

기의 금의 제조가 가능해져 기능성 소재를 제조하기 위해서는 고순도의 금을 안정적으로 생산하는 것이 필요하다.

양극슬라임은 구리나 주석과 같은 비철금속의 전해 정련 과정에서 발생하는 제련부산물이다. 전해 정련시 전기화학적으로 환원전위가 비교적 높은 금속들이 양극

· Received : February 6, 2018 · Revised : March 8, 2018 · Accepted : March 13, 2018

§ Corresponding Author : Man-Seung Lee (E-mail : mslee@mokpo.ac.kr)

Department of Advanced Materials Science & Engineering, Mokpo National University, 1666 Yeongsan-ro, Cheonggye-myeon, Muan-gun, Chonnam 58554, 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.

슬라임에 함유된다. 따라서 양극슬라임에는 금, 은, 백금족 금속(Platinum-group metals)과 같은 귀금속이 함유되어 있다¹⁾. 귀금속 대부분을 수입에 의존하는 국내 실정을 감안하면 2차 자원 또는 제련 부산물에 함유된 자원을 회수하는 것은 첨단 소재의 제조에 필요한 귀금속의 확보 측면에서 매우 중요하다.

양극슬라임에 함유된 금과 은을 회수하기 위한 연구에 의하면 산화제를 첨가한 조건에서 75°C, 4 M 정도의 염산용액으로 금을 침출시키는 것이 가능하다¹⁾. 금, 은, 구리, 니켈, 아연 및 주석이 함유된 양극슬라임 염산침출액을 Cyanex 272로 추출하면 금과 주석이 선택적으로 추출된다²⁾. 한편 Cyanex 272에 추출된 금(III)을 염화암모늄으로 탈거하면 금과 함께 추출된 미량의 구리와 아연이 탈거된다²⁾. 따라서 고순도 금(III) 용액을 얻기 위해서는 금과 함께 탈거된 미량 성분을 제거해야 한다. 수용액에 함유된 불순물을 제거하기 위한 분리공정으로 용매추출과 이온교환이 이용된다. 용매추출에 비해 이온교환은 미량 함유된 불순물을 제거하여 목적금속이온이 고순도로 존재하는 용액을 회수하는데 적합하다^{3,4)}.

본 연구에서는 양극슬라임을 침출한 용액에서 용매추출로 분리한 금을 염화암모늄으로 탈거한 용액을 대상으로 고순도 금(III)용액을 회수하기 위해 이온교환실험을 수행했다. 염산용액에서 금(III)은 AuCl₄⁻로 존재한다. 따라서 음이온 이온교환수지로 AG 1-X8와 Amberlite IRA 402를 사용하여 염화암모늄과 이온교환수지의 농도 등을 변화시키며 상기 수지에서 금(III)의 흡착 거동을 조사하였다. 또한 AG 1-X8에 금(III)의 등온흡착곡선을 구하고 이온교환수지에 흡착된 금(III)의 세출을 조사했다.

2. 실험재료 및 방법

금(III)이 함유된 용액을 제조하기 위해 일정량의 HAuCl₄ (Assay 99.99% Dilute HCl 30 wt%, Sigma-Aldrich)와 염화암모늄(Duksan pure chemical, 99 wt%)

을 증류수에 용해시켰다. 증류수는 2차 증류수를 사용했고 본 실험에서는 시약급 화학약품을 사용하였다. 본 연구에서 음이온교환수지로 사용한 AG 1-X8와 Amberlite IRA 402의 물리화학적 특성을 Table 1에 나타냈다^{5,6)}. Amberlite IRA 402과 AG 1-X8 수지는 Styrene divinylbenzene copolymer에 Quaternary ammonium과 Trimethyl ammonium이 각각 작용기로 결합되어 있으며 염소이온이 음이온과 교환된다.

본 연구에서는 회분식 이온교환 실험을 수행했으며 100 mL 광구병에 금(III)용액과 이온교환수지를 넣고 25°C에서 24시간 동안 교반하였다. 본 실험에서 반응온도와 교반속도를 조절하기 위해 교반기(HB-201SF, Hanbaek Scientific Co)를 사용했으며, 모든 실험에서 교반속도는 200 rpm으로 조절하였다. Amberlite IRA 402과 AG 1-X8는 별도의 전처리를 하지 않고 이온교환실험에 사용했다. 또한 이온교환실험 후 수용액과 금(III)이 흡착된 이온교환 수지는 여과지(ADVANTEC No.2: 110 mm)로 분리했다. 흡착 실험 전 수용액의 금(III)의 초기농도와 이온교환후 금(III)의 잔류 농도농부터 금의 흡착율을 식 (1)로 구했다. C_i는 이온교환 전 용액의 금(III)의 농도(mg/L), C_e는 이온교환 후 수용액에서 잔류 금(III) 농도(mg/L) 이다.

$$\text{Loading percentage}(\%) = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100 \quad (1)$$

세출 실험은 금(III)이 흡착된 수지를 2 g/L의 농도로 20 mL의 세출액에 첨가한 다음 6시간 동안 세출시켜 수지와 용액을 여과지로 분리했다. 여과된 수지를 1시간 동안 60°C에서 건조기(DAIHAN Wiseven Ovens)로 건조시킨 후 금(III)이 흡착된 수지를 얻었다. 세출물은 수지에 흡착된 금(III)의 질량과 세출후 세출용액에 존재하는 금의 농도를 측정하여 식 (2)로 구했다. 이때 q는 수지에 흡착된 금(III)의 질량(mg), C_m은 용액내에 존재하는 금(III)의 질량(mg)을 나타낸다.

$$\text{Elution percentage}(\%) = \frac{C_m}{q} \times 100 \quad (2)$$

Table 1. Physico-chemical characteristics of AG1-x8 and Amberlite IRA 402 resin used in this study

Resins	Ionic forms	Functional group	Bead size (μm)	Capacity (meq/mL)	Cross linking (%)	Density (g/mL)
AG1-x8	Chloride	Quaternary ammonium	200-400	1.2	8	0.75
Amberlite IRA 402	Chloride	Trimethyl ammonium	600-750	≥ 1.20	6	0.67

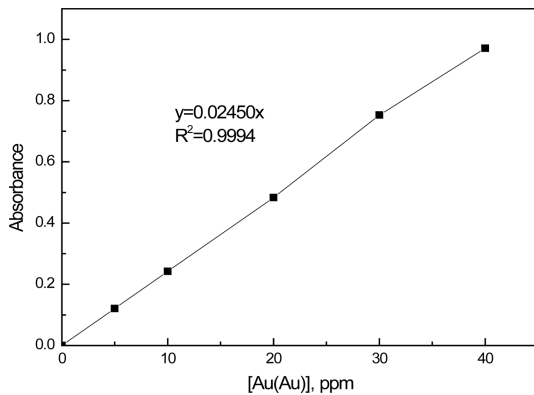


Fig. 1. Calibration curve of the standard Au(III) bromide solution by UV at wavelength of 381 nm.

수용액에 함유된 금(III) 농도를 분석하기 위해 UV(Shimadzu spectrophotometer UV-1800)를 사용했다. 381 nm의 파장에서 UV로 금(III)의 농도를 분석하기 위해 금(III)이 함유된 용액에 0.20 mol/L의 KBr을 첨가해 표준용액을 제조하였다⁸⁾. 본 연구에서 사용한 UV로 금(III)이 함유된 표준용액을 분석한 검량선을 Fig. 1에 나타냈다. 금(III)의 농도 0에서 40 ppm 사이의 범위에서 금(III)의 표준용액과 흡광도 사이에 직선적인 관계를 얻었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 금(III) 흡착에서 수지 종류의 영향.

양금흡을 침출한 용액에 함유된 금(III)을 Cyanex 272로 모두 추출할 수 있었으며, 유기상에서 금(III)의 농도는 99.5 mg/L이었다. Cyanex 272에 추출된 금(III)은 1 M의 염화암모늄용액으로 모두 탈거되었다²⁾. Cyanex 272에 추출된 금과 함께 구리와 아연 일부가 염화암모늄용액에 탈거되므로 먼저 금(III)이 단독으로 함유된 용액을 제조하여 금(III)의 이온교환거동을 조사했다. 이러한 목적을 위해 금(III)의 농도는 100 mg/L, 염화암모늄의 농도는 1 M로 고정하였다. Amberlite IRA 402와 AG 1-X8의 농도를 0.5에서 100 g/L로 변화시켜 실험한 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 이때 Amberlite IRA 402와 AG 1-X8에 금(III)의 흡착반응을 식 (3)과 (4)로 나타낼 수 있다.

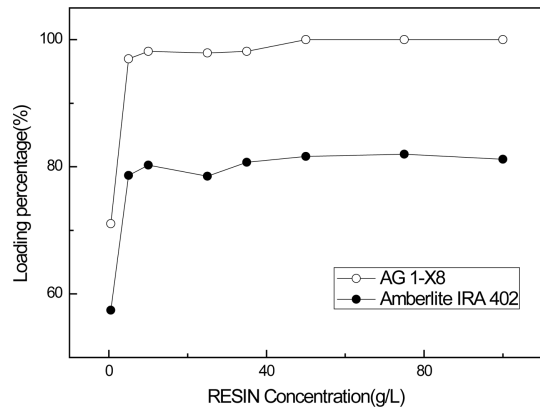
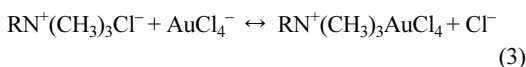
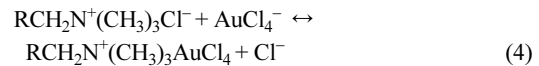


Fig. 2. Effect of resin concentration on loading percentage of Au(III) from ammonium chloride solution. $[\text{NH}_4\text{Cl}] = 1 \text{ M}$; $[\text{Aqueous}] = \text{Au } 100 \text{ mg/L}$; $[\text{Resin}] = 0.5\text{-}100 \text{ g/L}$.



이온교환반응은 염소이온이 금(III)이온과 교환되므로 수용액에서 염소이온의 농도는 이온교환반응의 평형에 영향을 미친다. Fig. 2에 의하면 금(III)은 Amberlite 402보다 AG 1-X8에 흡착이 잘 되며 각 이온교환수지의 농도가 0.5에서 15 g/L로 증가함에 따라 흡착율이 증가한 다음 일정한 흡착률을 보였다. 흡착률은 수지의 가교 밀도(Crosslinking density)와 수지에 부착된 작용기와 밀접하게 관련된다. 가교 밀도는 수지의 팽윤(Swelling)과 반비례적인 관계를 갖고, 흡착 용량과 비례적 관계를 갖는다⁹⁾. 수지에 함유된 작용기 밀도가 증가하면 흡착 가능한 사이트가 증가하므로 흡착량이 증가한다. Table 1에 의하면 Amberlite IRA 402의 이론 교환량은 1.8 meq/g이고, AG 1-X8은 1.6 meq/g으로 Amberlite IRA 402가 AG 1-X8보다 교환량이 크다. 하지만 본 실험에서 사용한 AG 1-X8의 입도가 Amberlite의 입도보다 작아 비표면적이 크므로 목적 이온의 확산과 흡착이 쉽게 일어난다. 또한 AG 1-X8와 Amberlite IRA 402의 가교 밀도는 각각 8%와 6%로 가교 밀도가 큰 AG 1-X8이 더 많은 양의 금을 흡착할 수 있으며 이는 Fig. 2의 결과와 잘 일치한다⁶⁾.

3.2. 염화암모늄 농도의 영향

Cyanex 272에 추출된 금의 탈거시 미량 추출된 아연 등의 탈거 거동은 염화암모늄 농도에 의존한다. 염

화암모늄은 수용액에서 암모늄이온(NH₄⁺)과 염소이온(Cl⁻)으로 해리된다. 이온교환반응식 (3)과 (4)에 의하면 염소이온은 이온교환반응의 평형에 영향을 미칠 수 있다. 염화암모늄이온이 해리되어 생성된 암모니아는 금(III)과 Au(NH₃)₄³⁺를 형성할 수 있다. 그러나 금(III)과 암모늄간의 착물형성반응의 평형상수는 1M NaClO₄용액에서 2.0 × 10¹⁰로⁷⁾ 금(III)과 염소이온간의 착물형성상수(1.0 × 10²⁶) 보다 매우 낮다¹³⁾. 따라서 염화암모늄에서 해리된 암모늄이 금의 착물형성반응에 미치는 영향은 매우 작다.

Cyanex 272에 추출된 금의 탈거를 위해 염화암모늄 용액을 사용시 염화암모늄의적정농도는 유기상에 추출된 금의 농도에 의존한다. 따라서 세척시 사용되는 염화암모늄의 농도에 따른 금의 이온교환거동을 조사하기 위해 염화암모늄의 농도를 0.1에서 2 M까지 변화시켜 이온교환실험한 결과를 Fig. 3에 나타냈다. 본 실험에서 수지의 농도는 5 g/L로 조절하였다. 먼저 AG 1-X8의 경우 본 연구의 염화암모늄 농도 범위에서 금이 모두 흡착되었고 염화암모늄의 농도에 따라 흡착률이 일정하였다. 반면 Amberlite IRA 402의 경우 염화암모늄의 농도가 0.5 M에서 1 M로 증가함에 따라 흡착률이 98%로 감소하여 일정한 값을 나타냈다. 이는 르샤틀리에 원리에 따라 염소이온의 농도가 증가하면 이온교환반응의 역반응이 일어나기 때문이다⁸⁾. Amberlite IRA 402는 Trimethyl ammonium을 작용기로 갖고, AG 1-X8은 Quaternary ammonium을 작용기로 갖는다. AG 1-X8 수지가 염소이온 농도 증가에도 불구하고 금(III)를 모두 흡착한 것은 Quaternary ammonium과 AuCl₄⁻ 사

이에 강한 인력이 작용하기 때문인 것으로 생각된다. AG 1-X8의 경우 교환 용량이 Amberlite IRA 보다 뛰어나고 0.1~2 M 농도의 염화암모늄용액에서 흡착에 영향을 받지 않았다.

3.3. 수지의 흡착 용량 및 Langmuir 등온흡착곡선

3.3.1. 수지의 흡착 용량

Amberlite IRA 402 와 AG 1-X8의 금(III) 흡착 용량을 구하기 위해 회분식으로 이온교환 실험을 진행했다. 금(III)과 염화암모늄의 농도를 각각 100 mg/L과 1 M로 조절된 수용액에 각 이온교환수지의 농도를 1 g/L로 조절하였다. 흡착 용량을 구하기 위해 금(III)이 흡착된 이온교환 수지를 새로운 금(III) 용액과 반복 접촉 시켜 금(III) 흡착량이 포화되도록 상기 조작을 10회 까지 진행했다. 각 이온교환 단계에서 이온교환 전, 후 수용액에 존재하는 금(III) 농도를 측정해 이온교환수지에 흡착된 금(III)의 질량을 구했다. 이러한 방법으로 실험을 진행하여 이온교환 횟수에 따라 수지에 흡착된 금(III)의 질량에 대한 자료를 Fig. 4에 나타냈다. 10회 조작 후 Amberlite IRA 402에는 금(III)이 311.4 mg/g, AG 1-X8에는 355.1 mg/g이 흡착되었다. 두 수지의 단위질량당 이론 흡착량에 따르면 Amberlite IRA 402는 금(III)을 354.5 mg, AG 1-X8은 315.2 mg 흡착할 수 있다. 이론 흡착량은 Amberlite IRA 402가 AG 1-X8보다 크지만, 실험결과 AG 1-X8에 더 많은 양의 금(III)이 흡착됐다. AG 1-X8의 경우 실험으로 측정된 흡착량이 이론 흡착량보다 많다. 즉 AG 1-X8은 본 연구의 실험조건에서 금(III)을 최대흡착량까지 흡착할 수

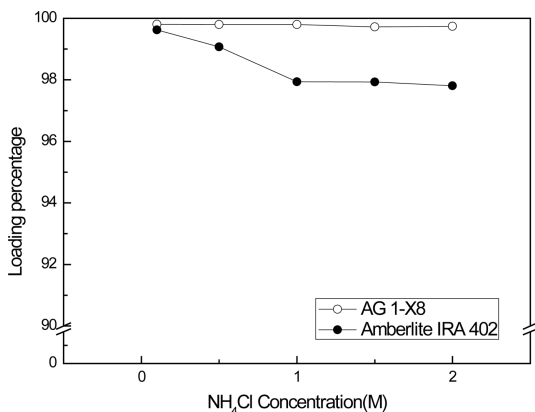


Fig. 3. Effect of NH₄Cl concentration on loading percentage of Au(III). [NH₄Cl] = 0.1-2 M; [Aqueous] = Au 100 mg/L; [Resin] = 5 g/L.

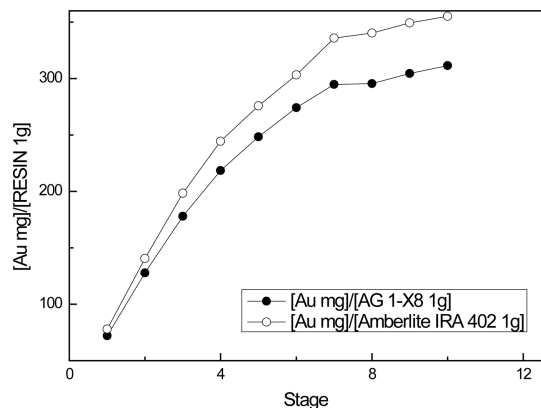


Fig. 4. Loading capacity of Au(III) from ammonium chloride solution by AG1-X8 and Amberlite IRA 402. [NH₄Cl] = 1 M; [Aqueous] = Au(III) 100 mg/L; [Resin] = 1 g/L.

있는 것으로 생각된다.

3.3.2. Langmuir 등온흡착선.

염화암모늄 용액에서 금(III)을 흡착시킬 때 AG 1-X8이 Amberlite IRA 40 보다 흡착용량이 크다. 따라서 AG 1-X8의 농도를 1 g/L로 고정시키고 1 M의 염화암모늄 용액에서 금(III)의 농도를 100에서 1000 mg/L까지 변화시켜 흡착 실험을 수행했다. AG 1-X8에 금(III)의 흡착이 Langmuir 등온흡착곡선을 따르는 경우 흡착 자료는 다음의 직선 관계를 만족시킨다^{10,11}.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C_e}{q_m} \quad (5)$$

상기 식에서 q_e 는 단위 질량당 평형상태에서의 금 이온의 교환 용량(mg/g), C_e 는 흡착 실험 후 용액에서 금 이온 농도(mg/L), q_m 은 단위 질량당 평형상태에서 금 이온의 최대 교환 용량(mg/g), K 는 Langmuir 상수이다(L/mg). 본 실험에서 얻은 자료를 상기 Langmuir 식으로 도해한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 본 실험자료는 직선적인 관계를 나타내며 이로부터 염화암모늄용액에서 금(III)은 AG 1-X8에 Langmuir 등온흡착에 의해 흡착된다고 생각할 수 있다. Langmuir 등온흡착곡선으로부터 얻은 금(III)의 최대 흡착 용량(q_m)과 Langmuir 상수는 492.0 mg과 0.457로 나타났고 상관계수(R^2)는 0.999로 매우 잘 일치했다.

3.4. 세출

강염기성 음이온 수지로부터 금(III)의 세출은 화학반응법과 수지와와의 친화력 차이를 이용한 방법으로 구분

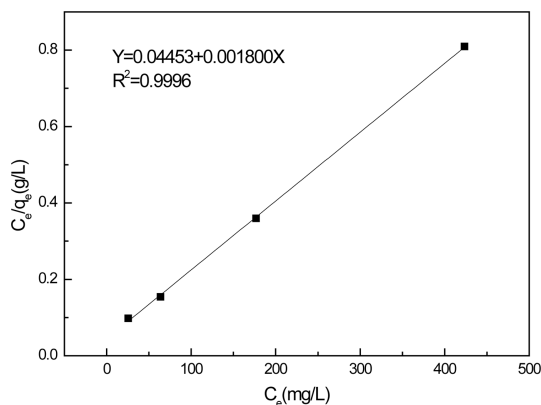
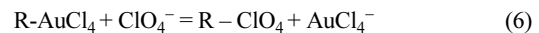


Fig. 5. Langmuir adsorption isotherm of AG 1-X8 resin for Au ions.

된다¹²). 화학반응법에서는 금(III)이온과 염소이온간에 형성된 음이온성 착물($AuCl_4^-$)을 분해시켜 금(III)이 양이온성 착물로 존재하게 되면 세출된다. 다른 방법은 $AuCl_4^-$ 보다 음이온교환수지에 강한 정전기적 인력을 지닌 물질을 사용해 금(III)을 세출시킨다¹¹). 금(I, III)의 세출에 비교적 자주 사용되는 리간드와 금 이온 간의 착물형성 상수 값을 Table 2에 나타냈다¹³).

세출에 사용할 금(III)이 흡착된 수지를 얻기 위해 100 mg/L의 금이 함유된 1 M의 염화암모늄 200 mL에 AG 1-X8을 5 g/L의 농도로 첨가한 다음 상온에서 12 시간 교반하였다. 본 실험에서 사용된 세출제를 Table 3에 나타냈으며, 금(I, III)이 여러 리간드와 비교적 강한 착물을 형성하므로 세출이 가능할 것으로 예상되었다¹³⁻¹⁸). 그러나 Table 3에 나타낸 세출제로 AG 1-X8 으로부터 금의 세출 실험을 진행한 결과 금이 거의 세출 되지 않았다. 착물형성상수로 판단하면 $AuCl_4^-$ 는 $Au(CN)_4^-$ 와 $Au(SCN)_4^-$ 로 치환되었을 것으로 예상된다. 그러나 이러한 착물이 AG 1-X8에 흡착된다면 세출률이 작을 수 있다. 또한 $S_2O_3^{2-}$ 와 $CS(NH_2)_2^+$ 의 경우 Au^{3+} 를 Au^+ 로 환원시켜 양이온 착물을 형성해 세출될 수 있다. 그러나 염화암모늄 용액에서는 전자를 제공하는 환원제가 존재하지 않아 세출되지 않은 것으로 생각된다. 본 연구에서 사용한 세출제 중 오직 과염소산을 사용하였을 때 가장 높은 세출율을 얻었다. 과염소산을 이용한 AG 1-X8로 부터 금(III) 세출을 식 (6)에 나타냈다. HSAB에 의하면 강염기인 ClO_4^- 는 약산인 금(III)과 결합하기 힘들다. 따라서 과염소산에 의한 금(III) 세출은 AG 1-X8수지가 $AuCl_4^-$ 보다 ClO_4^- 에 인력이 강한 것에 기인한 것으로 생각된다.



본 연구에서 사용한 여러 세출제중 과염소산에 금(III)이 가장 잘 세출되었다. 따라서 과염소산의 농도를

Table 2. Stability constants of Au(III) complexes with several ligands

Ligand	Au(I), β_2	Au(III) β_3
CN^-	2.0×10^{38}	10^{56}
SCN^-	1.3×10^{17}	10^{42}
$S_2O_3^{2-}$	5.0×10^{28}	-
Cl^-	1.0×10^9	10^{26}
$CS(NH_2)_2^+$	2×10^{23}	-

Table 3. Elution percentage of Au(III) from AG 1-X8 by several elution agents

Reagent	% Elution
0.5 M (NH ₄) ₂ S ₂ O ₃	0.5
0.5 M NH ₄ SCN	0.2
0.5 M CS(NH ₂) ₂	0
0.5 M NaClO ₃	8.1
0.5 M HClO ₄	21.3
0.5 M NH ₄ SCN + 1 M HCl	8.6
0.5 M CS(NH ₂) ₂ + 1 M HCl	2.1
0.5 M HClO ₄ + 1 M HCl	23.46
HCl : HNO ₃ = 3 : 1 (Dilution 10 Times)	5.5

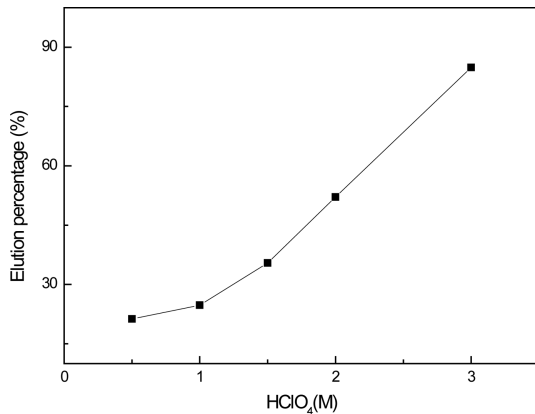


Fig. 6. Effect of HClO₄ concentration on the elution of Au(III) from the loaded AG 1-X8. ([Resin] = AG 1-X8 2 g/L; [Shaking time] = 3 h)

변화시키며 AG 1-X8에 흡착된 금(III)의 세출 실험을 수행한 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 과염소산의 농도가 0.5 M에서 3 M로 증가함에 따라 금(III)의 세출률이 거의 직선적으로 증가하였다. 과염소산은 물에서 수소이온과 ClO₄⁻로 해리된다. 이온교환수지의 친화도는 이온 수화물의 크기와 관련되고 수화물의 크기가 작을수록 수지에 흡착되기 쉽다. ClO₄⁻는 상대적으로 크기가 작아 이온교환 수지와 매우 큰 인력이 작용하므로 과염소산 농도가 증가함에 따라 금(III)의 세출이 촉진된다.

4. 결 론

양극슬라임을 염산으로 침출한 용액에 함유된 금을

고순도로 회수하기 위한 공정을 개발하기 위해 음이온 교환수지에 의한 금(III)의 흡착거동을 조사하였다. 염화암모늄용액에서 금(III)의 농도를 100 mg/L로 고정시키고 이온교환수지와 염화암모늄의 농도를 변화시켜 AG 1-X8와 Amberlite IRA 402수지에서 금(III)의 흡착거동을 비교하였다. 본 논문의 실험조건에서 AG 1-X8은 Amberlite 402보다 금(III)에 대해 우수한 흡착거동을 보였다. 또한 AG 1X-8에 금(III)의 흡착은 Langmuir 등온흡착과 잘 일치하였다. 실험으로 측정된 AG 1-X8의 금(III) 흡착용량은 355 mg/g로, 이론흡착량과 비슷하였다. 과염소산이 AG 1-X8에 흡착된 금(III)의 세출에 적합했으며, 과염소산의 농도증가에 따라 세출률이 증가하였다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20165010100810).

References

1. W. D. Xing, K. W. Lee, and M. S. Lee, 2017 : Leaching of Gold and Silver from Anode slime with Inorganic Reagents, KIRR, No. 1, pp.30-36.
2. W. D. Xing, M. S. Lee, and G. Senanayake, 2018 : Separation of Noble and base Metals from a Chloride Leach Solution of Anode Slime by Solvent Extraction: Part I. Recovery of Gold using Cyanex 827, Hydrometallurgy, Submitted.
3. L. F. Michichael, 2013 : Hydrometallurgy Fundamentals and Application, WILEY, TMS, USA.
4. F. C. Nachod, 1949 : Ion Exchange Theory and Application, Academic Press Inc, New York.
5. Wronski, S. Pasiczna-Patkowska, and Z. Hubicki, 2008 : Mechanism of Sorption Sulpho-derivative Organic Chelating Agents on Strong Base Anion Exchanger Amberlite IRA-402 by FT-IR/PAS and DRS Methods, Eur. Phy. J, Special Topics 154, pp.377-380.
6. J. C. Crittenden et al., 2012 : MWH's Water treatment Principles and Design, Third edition, John Wiley & Sons, Inc, Canada.
7. E. Hogfeldt, 1971 : Stability Constants of Metal-Ion Complexes Part A: Inorganic Ligands, Chemical Society.
8. E. A. Moawed and M. F. El-Shahat 2013 : Synthesis, Characterization of Low Density Polyhydroxy Polyurethane foam and its Application for Separation and Determination

- of Gold in Water and Ores Samples, *Anal. Chim. Acta*, 788, pp.200-207.
9. S. S. Zumdahl and S. A. Zumdahl, 2010 : *Chemistry*, Eighth edition, Cengage Learning, USA.
 10. T. H. Nguyen and M. S. Lee, 2015 : Separation of Molybdenum(VI) and Tungsten(VI) from Sulfuric Acid Solution by Ion Exchange with TEVA Resin, *Sep. Sci. Technol.*, 50, pp.2060-2065.
 11. N. V. Nguyen et al., 2010 : Comparative studies on the Adsorption of Au(III) from Waste Rinse Water of Semiconductor Industry Using Various Resins, *Hydrometallurgy*, 105, pp.161-167.
 12. P. J. Conradie, M. W. Johns, and R. J. Fowles, 1995 : Elution and Electrowinning of Gold from Gold-selective Strong-base Resins, *Hydrometallurgy*, 37, pp.349-366.
 13. J. O. Marsden and C. L. House, 2006 : *The Chemistry of Gold Extraction*, 2nd Edition, SME, Colorado, USA.
 14. L. Peng et al., 2009 : Adsorption Properties of Ag(I), Au(III), Pd(II), and Pt(IV) Ions on Commercial 717 Anion-exchange Resin, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 19, pp.1509-1513.
 15. F. J. Alguacil, P. Adeva, and M. Alonso, 2005 : Processing of Residual Gold(III) Solution via Ion Exchange, *Gold Bull.*, issue 1, pp.9-13.
 16. E. Y. Kim et al., 2001 : Selective Recovery of Gold from Waste Mobile Phone PCVs by Hydrometallurgical Process, *Journal of Hazardous Materials*, 198, pp.206-215.
 17. N. V. Nguyen et al., 2010 : Adsorption of Gold(III) from Waste Rinse Water of Semiconductor Manufacturing Industries using Amberlite XAD-7HP Resin, *Gold Bull.*, issue 3, pp.200-208.
 18. M. Iglesias, E. Antico, and V. Salvado, 1999 : Recovery of Palladium(II) and Gold(III) from Diluted Liquors using the Resin Duolite GT-73, *Anal. Chim. Acta*, 381, pp.61-67.



안 형 훈

- 현재 목포대학교 신소재공학과 학석사 연계 통합과정

이 만 승

- 현재 목포대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제11권 1호 참조