

鹽酸溶液中 코발트(II)와 망간(II)의 이온 평형 및 Alamine336에 의한 용매抽出 比較†

†李晚承 · 申宣明*

木浦大學校 工科大學 新素材工學科, *韓國地質資源研究院 鑛物資源研究本部

Ionic Equilibria and Comparison of Solvent Extraction of Cobalt(II) and Manganese(II) from HCl Solution by Alamine336†

Man-seung Lee and Shun-Myung Shin

Department of Advanced Materials Science & Engineering,
Mokpo National University, Chonnam 534-729, Korea

*Division of Minerals Utilization and Materials,
Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Taejon 305-350, Korea

요 약

염산 용액에서 코발트(II)와 망간(II)의 이온평형을 해석하여 염산농도에 따른 착물의 농도분포를 구했다. 염산농도 4에서 10 M 사이의 범위에서 코발트의 대부분은 CoCl_2 로, 망간은 MnCl_3^- 와 MnCl_2 로 존재한다. Alamine336에 의한 코발트와 망간 추출반응의 평형상수를 이용하여 두 금속의 등온추출곡선을 구했다. 망간 추출반응의 평형상수가 코발트의 평형상수보다 크나, 등온추출곡선을 비교하면 동일한 추출조건에서 코발트가 망간보다 Alamine336에 효율적으로 추출된다.

주제어 : 코발트(II), 망간(II), 염산, 이온평형, 등온추출곡선

Abstract

Distribution diagram of CoCl_2 and MnCl_2 was obtained by analyzing ionic equilibria of the two metals in HCl solution. In the HCl concentration range of 4 and 10 M, most of cobalt exists as CoCl_2 , whereas Mn exists MnCl_3^- and MnCl_2 . Extraction isotherm of Co(II) and Mn(II) was calculated by using the equilibrium constant for the solvent extraction of the two metals by Alamine336. Although the equilibrium constant for the solvent extraction of Mn was higher than that of Co, extraction isotherm indicated that cobalt could be extracted more efficiently than manganese at the same initial extraction conditions.

Key words : Co(II), Mn(II), HCl, ionic equilibria, extraction isotherm

1. 서 론

코발트는 철족 원소로 철과 비슷한 광택을 내며 강자성이다¹⁾. 우주항공산업, 육상 엔진터빈과 내식재료로 많이 사용되는 초합금이 전체 코발트 사용량의 20% 정도를 차지한다. 그 외 코발트의 주요 용도로 카바이드 및

다이아몬드를 포함하는 초경합금이 약 15%, 2차 전지 용이 13%, 안료용이 12%, 접합제 및 건조제로 10%, 자석용으로 9%, 촉매용 8%, 내식 및 기타 합금용으로 6%가 국내에서 사용되고 있다.¹⁾ 향후 2차 전지와 촉매 분야에서 코발트의 사용이 증가할 것으로 예상된다. 국내에서는 코발트광이 산출되지 않으므로 현재는 고가의 코발트를 전량 수입하고 있다. 따라서 코발트를 함유한 여러 자원으로부터 코발트를 회수하는 것이 중요하다. 국내에서 발생하는 코발트 함유 폐자원의 종류를 Table 1

† 2010년 6월 30일 접수, 2010년 7월 19일 1차수정

2010년 7월 28일 수리

*E-mail: mslee@mokpo.ac.kr

Table 1. Domestic resources bearing cobalt¹⁾

Sulfides	Smelter waste
Metal scrap	Stainless steel, nickel alloy, dust, magnet
Sludge	Smelter waste,
Oxides	Spent catalyst, spent battery, spent super alloy, mill scale, smelter slag

에 나타났다.¹⁾ 코발트를 함유한 폐자원에는 제련중간 폐기물, 펄스크랩, 폐슬러지, 폐촉매, 폐촉경합금등이 있다.

코발트를 함유한 폐촉매는 폴리에스테르섬유, 페트병, 필름, 도료 및 TPA(Terephthalic acid)의 생산에 사용된다. 특히 Para-xylene을 산화시켜 TPA를 제조하는 반응에서 CMB(Co-Mn-Br)계 촉매가 사용된다. 현재 국내에서 약 550만톤의 TPA를 생산하는 공정에서 165톤 가량의 CMB계 폐촉매가 발생된다. TPA 제조공정에서 발생한 CMB계 폐촉매는 위탁업체에서 소각된 다음 매립하여 처리되고 있다. CMB계 폐촉매에는 코발트와 함께 망간이 함유되어 있으므로 두 금속을 회수할 수 있는 기술이 개발된다면 자원확보와 환경보호 측면에서 중요하다. 습식법을 적용하여 CMB계 폐촉매로부터 코발트와 망간을 분리, 회수하기 위해서는 먼저 금속성분을 침출시켜야 한다. 염산은 황산에 비해 고가이나 여러 금속이온과 착물을 형성하려는 경향이 강하고, 금속이 쉽게 침출되는 장점으로 인해 백금족 금속을 함유한 폐촉매의 침출용액으로 이용되고 있다.

용매추출은 공정의 단순성과 고순도까지 분리할 수 있는 가능성 등 여러 장점을 지니고 있어 상용금속의 분리에 널리 이용되고 있다. Alamine336은 음이온 추출제로 백금족 금속뿐만 아니라 상용금속의 추출과 분리에 자주 사용된다.²⁻⁷⁾ Filiz등은 코발트와 망간이 단독으로 함유된 염산용액에서 염산농도를 1에서 10 M로 변화시키며 Alamine336으로 추출실험을 수행하고, 실험자료로부터 다음 형태의 회귀분석식을 구하여 발표했다.^{8,9)}

$$E = 100 - \left[C_1 \exp\left(-\frac{V_e}{k_1}\right) + C_2 \exp\left(-\frac{V_e}{k_2}\right) \right] \quad (1)$$

상기 회귀분석식에서 E는 추출율(extraction percentage)을, V_e 는 Alamine336의 농도를 나타낸다. Filiz등은 실험자료의 회귀분석을 통해 각 추출조건에 대해 상기 식의 C_1 , C_2 , k_1 , k_2 를 구하여 발표했다. 그러나 이러한 형태의 회귀식은 비록 그 회귀결과가 실험결과와 잘 일치하더라도 추출반응에 대한 정보가 별로 없고 실험범위 이상의 조건에서는 그 적용이 제약되는 단점을 지니고 있다.

Filiz등이 발표한 추출자료를 해석하여 염산용액에서 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 추출반응을 규명하고, 코발트와 망간이온이 염소이온과 착물을 형성하는 것을 고려하여 Alamine336에 의한 두 금속의 추출반응의 평형상수가 발표되었다.^{10,11)} 이러한 자료를 이용하면 추출제로 Alamine336을 사용하여 염산용액에서 코발트와 망간의 분리에 최적의 조건을 예측할 수 있는 모델의 개발이 가능하다. 이러한 화학모델을 사용하면 실험 횟수를 제한적으로 조절하여 실험변수가 코발트와 망간의 분리인자에 미치는 영향을 파악할 수 있다.

본 논문에서는 염산용액에서 염산농도에 따른 코발트와 망간의 농도분포를 구했다. 또한 등온추출곡선을 이용하여 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 추출거동을 비교하였다. 향후 본 논문을 확장하여 코발트와 망간이 혼합된 염산용액에서 Alamine336에 의한 두 금속의 추출거동과 분리인자를 예측할 수 있는 화학모델을 개발하려 한다.

2. 염산용액에서 코발트와 망간이온의 이온평형

수용액에서 금속이온의 농도분포에 대한 자료는 용매추출에 의한 금속의 추출이나 분리시 적절한 추출제를 선택하는데 유용한 정보를 제공한다. 염산용액에서 코발트와 망간이온은 염소이온과 착물을 형성하며, 염소이온과의 착물형성상수를 각각 Table 2와 3에 나타냈다.^{10,11)} 용액의 화학조성에 따른 코발트 화학종의 농도분포를 해석하기 위해서는 착물형성반응과 코발트와 염소의 물질수지 및 전기적 중성식이 필요하다. 염산농도가 0.1 M 이상인 용액에서는 수산화이온의 농도가 매우 낮으므로 코발트 수산화물이 형성되는 것을 무시할 수 있다. 이러한 조건에서 코발트와 염소의 물질수지 및 전기적 중성식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$[\text{Co}]_{\text{total}} = [\text{Co}^{2+}] + [\text{CoCl}^+] + [\text{CoCl}_2^0] + [\text{CoCl}_3^-] + [\text{CoCl}_4^{2-}] \quad (2)$$

Table 2. Equilibrium constant for the formation of Co(II) complexes reported in the literature⁹⁾

Reaction	log K
$\text{Co}^{2+} + \text{Cl}^- = \text{CoCl}^+$	0.22
$\text{Co}^{2+} + 2\text{Cl}^- = \text{CoCl}_2^0$	-3.95
$\text{Co}^{2+} + 3\text{Cl}^- = \text{CoCl}_3^-$	-3.02
$\text{Co}^{2+} + 4\text{Cl}^- = \text{CoCl}_4^{2-}$	-9.06

Table 3. Equilibrium constants for the formation of Mn(II) complexes at 25°C¹⁰⁾

Reaction	K(NBS)	K(Russian)
$Mn^{2+} + Cl^{-} = MnCl^{+}$	4.045	21.838
$MnCl^{+} + Cl^{-} = MnCl_{2,aq}$	0.45084	1.08256
$MnCl_{2,aq} + Cl^{-} = MnCl_{3}^{-}$	0.27172	0.24513

K(NBS) : equilibrium constant reported by NBS

K(Russian) : equilibrium constant reported by Russian

$$\begin{aligned}
 [Cl]_{total} &= 2[CoCl_2]_{total} + [HCl]_{total} \\
 &= [Cl^{-}] + [CoCl^{+}] + 2[CoCl_2^0] + 3[CoCl_3^{-}] \\
 &\quad + 4[CoCl_4^{2-}] \quad (3)
 \end{aligned}$$

$$[H^{+}] = [HCl]_{total} \quad (4)$$

코발트 착물인 $CoCl^{+}$, $CoCl_2^0$, $CoCl_3^{-}$, $CoCl_4^{2-}$ 형성반응의 평형상수를 각각 K_1 , K_2 , K_3 , K_4 라 하면 착물형성반응을 이용하여 코발트와 염소의 물질수지식을 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 [Co]_{total} &= [Co^{2+}]\{1 + K_1[Cl^{-}] + K_2[Cl^{-}]^2 + K_3[Cl^{-}]^3 \\
 &\quad + K_4[Cl^{-}]^4\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [Cl]_{total} &= [Cl^{-}] + K_1[Co^{2+}][Cl^{-}] + 2K_2[Co^{2+}][Cl^{-}]^2 \\
 &\quad + 3K_3[Co^{2+}][Cl^{-}]^3 + 4K_4[Co^{2+}][Cl^{-}]^4 \quad (6)
 \end{aligned}$$

염화코발트와 염산의 초기 농도에 대해 코발트와 염소의 물질수지식 (5)와 (6)을 동시에 만족시키는 해를 구하면 코발트와 염소이온의 평형농도를 구할 수 있다. 이와 같이 구한 염소와 코발트이온의 농도를 착물형성반응에 대입하면 각 착물의 농도를 구할 수 있다.

염산농도가 큰 쪽으로 변하는 용액에서는 용액의 이온강도 역시 큰 쪽으로 변한다. 용액의 이온강도는 용질의 활동도계수에 영향을 미치므로 염산농도 1에서 10 M 사이의 범위에서 용질의 거동을 정확히 해석하기 위해서는 용질들의 활동도계수를 고려해야 한다. 본 논문에서는 용질의 활동도계수를 구하기 위해 Bromley식을 사용하였으며 양이온 M에 대해 Bromley식은 다음과 같다.¹²⁾

$$\log \gamma_M = -\frac{0.5108(z_M)^2 I^{0.5}}{1+I} + F_M = -A(z_M)^2 + F_M \quad (7)$$

$$F_M = \sum_X \left[\frac{(0.06 + 0.6B_{MX}) \times |z_M z_X|}{\left(1 + \frac{1.5}{|z_M z_X|}\right)^2} + B_{MX} \right] \times \frac{(z_M + |z_X|)^2}{4} [X] \quad (8)$$

상기식에서 I는 이온강도를, Z_M 과 Z_X 는 양이온 M과 음이온 X의 전하수를, B_{MX} 는 M과 X간의 매개변수를 각각 나타낸다.

상기 Bromley식을 사용하여 용액의 이온강도 변화에 따른 용질의 활동도계수를 구하기 위해서는 양이온과 음이온간의 매개변수(interaction parameter)인 B_{MX} 의 값이 필요하다. 염산용액에서 코발트 착물의 매개변수를 Table 4에 나타냈다.¹⁰⁾

염화코발트의 농도가 0.1 M인 용액에서 염산농도 1에서 10 M 사이의 범위에서 코발트를 함유한 화학종의 농도분포를 상기 방법으로 구해 Fig. 1에 나타냈다. 염산의 농도가 낮은 조건에서 코발트의 대부분은 Co^{2+} 와 $CoCl^{+}$ 로 존재한다. 그러나 염산농도가 증가함에 따라 $CoCl_2$ 의 몰분율이 증가하여 염산농도 7 M에서 최대값을 나타냈다. 염산농도가 7 M이상으로 증가하면 $CoCl_2$

Table 4. Interaction parameters of Co(II) for Bromley equation⁹⁾

Interaction parameter	
$B_{CoCl^{+}, Cl^{-}}$	0.43
$B_{H^{+}, CoCl_3^{-}}$	0.25
$B_{H^{+}, CoCl_4^{2-}}$	-0.05

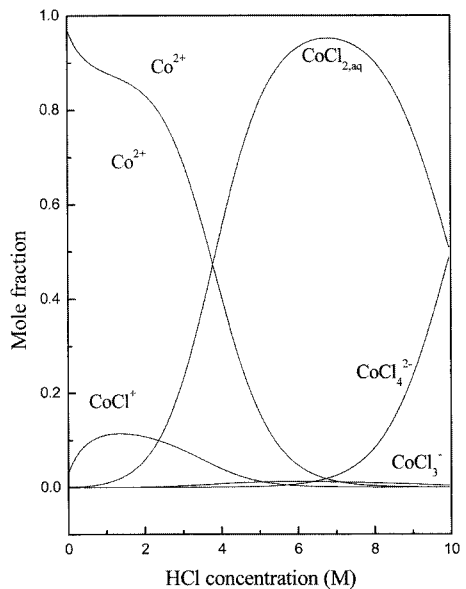


Fig. 1. Distribution of cobalt (II) species with HCl concentration. ($[CoCl_2]_{total} = 0.1 M$)

의 몰분율은 급격히 감소하면서 CoCl_4^{2-} 의 몰분율이 증가하였다.

염화망간용액에서 망간과 염소의 물질수지는 다음과 같다.

$$[\text{Mn}]_{\text{total}} = [\text{Mn}^{2+}] + [\text{MnCl}^+] + [\text{MnCl}_{2\text{aq}}] + [\text{MnCl}_3^-] \quad (9)$$

$$[\text{Cl}]_{\text{total}} = 2[\text{MnCl}_2]_{\text{total}} + [\text{HCl}]_{\text{total}} \\ = [\text{Cl}^-] + [\text{MnCl}^+] + 2[\text{MnCl}_{2\text{aq}}] + 3[\text{MnCl}_3^-] \quad (10)$$

염산용액에서 망간의 매개변수값을 Table 5에 나타냈다.¹¹⁾ 염산농도 1에서 10 M 사이의 범위에서 염화망간의 농도가 0.1 M인 용액에서 망간 화학종의 농도분포를 구해 Fig. 2에 나타냈다. 염산농도가 낮은 조건에서는 Mn^{2+} 와 MnCl_2 의 몰분율이 크나, 염산농도가 증가함에 따라 MnCl_3^- 의 몰분율이 증가한다. 4 M이상의 염산용액에서 망간의 60%는 MnCl_3^- 로, 나머지는 MnCl_2 로 존재한다.

Table 5. Interaction parameters of Mn(II) for Bromley equation¹⁰⁾

Interaction parameter	
$B_{\text{MnCl}^+, \text{ClO}_4^-}$	0.46

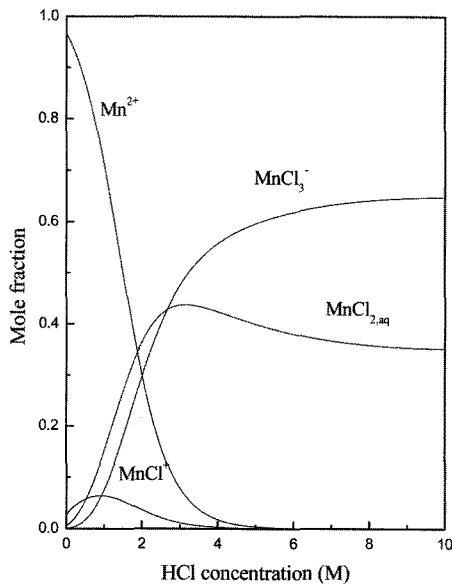


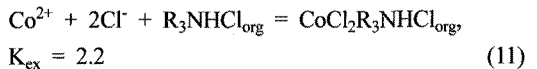
Fig. 2. Distribution of manganese (II) species with HCl concentration. ($[\text{MnCl}_2]_{\text{total}} = 0.1 \text{ M}$)

염산농도 4에서 10 M사이의 진한 용액에서 코발트의 주화합종은 CoCl_2 인데 반해 망간의 주화합종은 MnCl_3^- 이다. 이와 같이 주화합종이 다른 점을 이용하면 증성추출제와 음이온교환추출제를 적절히 사용하여 두 금속을 분리할 수 있는 가능성이 있다.

3. 염산용액에서 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 추출거동

3.1. Alamine336에 의한 코발트와 망간의 추출거동

Filiz등은 염산농도를 1, 5, 8, 10 M로 변화시키며 Alamine336의 농도에 따른 코발트 추출을 자료를 발표했다.⁸⁾ 본 저자는 그들의 실험자료에 기율기법을 적용하여 Alamine336(R_3N)에 의한 코발트 추출반응과 반응의 평형상수를 다음과 같이 발표하였다.¹⁰⁾



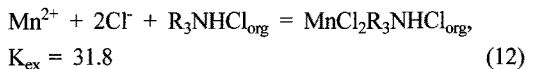
코발트 농도범위 : 0.0169-0.102 M

염산 농도범위 : 5-10 M

Alamine336 농도범위 : 0.02-1.75 M

상기 식에서 R_3NHCl 은 Alamine336이 염산과 반응하여 형성된 복합체(complex)를 나타낸다. 상기 추출반응의 평형상수 계산시 수상에 존재하는 코발트와 염소 이온의 활동도계수는 Bromley식으로 구했다.

Filiz등이 발표한 염산용액에서 Alamine336에 의한 망간의 추출실험결과에⁹⁾ 기율기법을 적용하여 다음의 추출반응이 발표되었다.¹¹⁾



망간 농도범위 : 0.0182-0.273 M

염산 농도범위 : 1-10 M

Alamine336 농도범위 : 0.02-1.75 M

염산용액에서 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 추출에서 염산의 농도가 증가함에 따라 두 금속의 추출율은 증가하였다. 따라서 상기 실험범위에서 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 추출반응은 이온교환반응보다는 응집체 형성반응(adduct formation reaction)으로 나타낼 수 있다. Alamine336에 의한 망간 추출반응의 평형상수는 31.8이고, 코발트 추출반응의 평형상수는 2.2로 망간 추출반응의 평형상수가 코발트 추출반응의 평형상수보다 크다.

3.2. Alamine336에 의한 코발트와 망간의 등온추출 곡선

용매추출에서 등온추출곡선은 일정한 온도에서 추출 반응 후 수상과 유기상에서 금속의 평형농도를 같이 나타낸 그림이다. 등온추출곡선에 조업선을 첨가한 McCabe-Thiele도를 이용하면 용매추출시 이론적인 추출단수를 구할 수 있다. 등온추출곡선은 수상의 부피를 고정시키고 유기상의 부피를 변화시킨 추출실험 결과로부터 얻는다.

추출반응의 평형상수값을 알고 있는 경우 계산을 통해 등온추출곡선을 구할 수 있다.¹³⁾ 본 논문에서는 이러한 방법을 적용하여 염산용액에서 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 등온추출곡선을 구했다. 추출반응의 평형상수를 이용하여 초기 추출조건으로부터 수상과 유기상에서 금속의 평형농도를 구하기 위해서는 착물형성반응, 추출반응 및 물질수지와 전기적 중성식을 고려해야 한다. 코발트 추출반응에서 수상과 유기상의 부피비가 변하는 조건에서 코발트와 염소 및 Alamine336의 물질수지를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{Co,total} = C_{Co,aq} + \frac{V_{org}}{V_{aq}} C_{Co,org} \quad (13)$$

$$C_{Cl,total} = C_{Cl,aq} + 3 \frac{V_{org}}{V_{aq}} C_{CoCl_2R_3NHCl} \quad (14)$$

$$C_{R_3NHCl,total} = C_{R_3NHCl} + C_{CoCl_2R_3NHCl} \quad (15)$$

상기식에서 V_{aq} 와 V_{org} 는 각각 수상과 유기상의 부피를 나타낸다.

화학평형식과 추출반응식을 물질수지에 대입하여 얻은 식의 해를 구하면 초기 추출조건으로부터 추출반응 후 수상과 유기상에 존재하는 화학종들의 농도를 구할 수 있다. 5 M의 염산용액에서 0.1 M의 코발트를 0.5M의 Alamine336으로 추출시 등온추출곡선을 상기 방법으로 구해 Fig. 3에 나타냈다. 염산과 Alamine336의 농도가 동일한 조건에서 0.1 M의 망간 추출에 대한 등온추출곡선을 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 3에 의하면 수상에서 코발트의 초기농도가 0.1 M인 경우 0.5 M의 Alamine336으로 수상과 유기상의 부피비를 3으로 유지하면 3단의 다단추출을 통해 코발트의 95% 이상을 유기상으로 추출할 수 있다. 망간의 경우 Fig. 4에 의하면 수상과 유기상의 부피비를 2로 조절하면 수상에 존재하는 0.1 M의 망간을 95% 추출하는데 4단이 필요하다. 코발트의 경우에는 수상과 유기상의 부피비인 A/O가 3

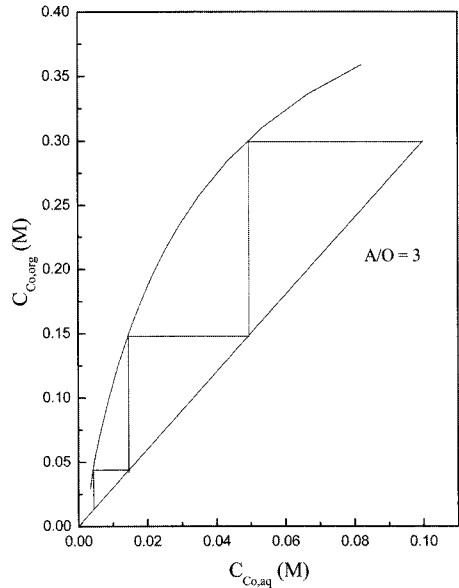


Fig. 3. Calculated extraction isotherm of 0.1 M CoCl2 by 0.5 M Alamine336 from 5 M HCl solution.

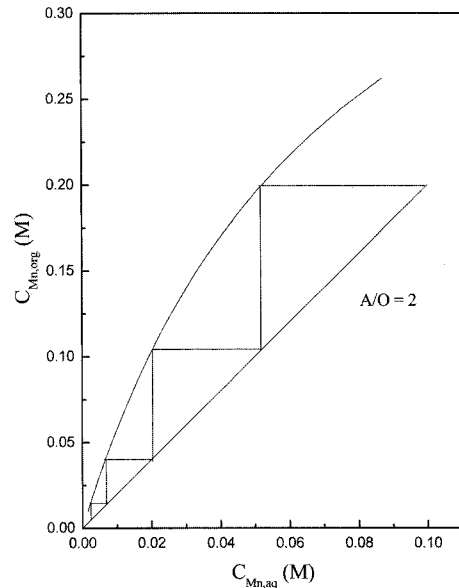


Fig. 4. Calculated extraction isotherm of 0.1 M CoCl2 by 0.5 M Alamine336 from 5 M HCl solution.

인 조건이고, 망간의 경우에는 A/O가 2인 조건에서 0.1 M을 추출하는데 4단이 필요하다. 따라서 망간보다는 코발트가 Alamine336에 의해 효율적으로 추출된다고 생각할 수 있다. 망간 추출반응의 평형상수가 코발트 추출반응의 평형상수보다 크므로 평형상수값만을 이

용하여 두 금속의 추출을 단순히 비교하는 경우에는 망간의 추출율이 높을 것으로 기대된다. 본 결과는 등온추출곡선을 이용한 금속의 추출거동 비교가 평형상수값에 의한 단순비교에 비해 유용한 결과를 제시한다는 것을 말한다.

4. 결 론

염산용액에서 코발트(II)와 망간(II)의 염소이온과의 착물형성반응을 고려하여 화학조성에 따른 착물들의 농도분포를 구했다. 염산농도 4에서 10 M 사이의 범위에서 코발트의 대부분은 CoCl_2 로 존재하는데 염산농도가 7 M 이상으로 증가하면 CoCl_4^{2-} 의 몰분율이 증가하였다. 이에 반해 동일한 염산농도범위에서 망간의 60%는 MnCl_3 로, 나머지는 MnCl_2 로 존재한다. Alamine336에 의한 코발트와 망간 추출반응의 평형상수를 비교하면 망간 추출반응의 평형상수가 코발트 추출반응의 평형상수보다 크다. 추출반응의 평형상수와 물질수지 및 착물형성반응을 고려하여 Alamine336에 의한 코발트와 망간의 등온추출곡선을 구했다. 두 금속의 등온추출곡선을 비교하면 동일한 추출조건에서 코발트가 망간보다 Alamine336에 효율적으로 추출되는 것을 알 수 있었다. 동일한 추출제에 의한 금속 추출특성을 비교시 추출반응의 평형상수보다 등온추출곡선의 이용이 더 유용한 정보를 제공하는 것을 확인하였다.

코발트와 망간이 혼합된 염산용액에서 이온평형을 해석하는데 필요한 열역학 자료를 확보한다면 Alamine336을 추출제로 사용시 초기 추출조건에 따른 두 금속의 분리인자를 예측할 수 있는 화학모델을 개발할 수 있는 토대를 마련하였다.

감사의 글

본 논문은 환경부 “환경융합신기술개발사업”의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 대한금속재료학회 비철금속분과, 2009: 회유금속의 제조와 응용, pp. 41-52, 청문각.
2. Mühl, P., Gloe, K. and Fischer, C., 1980: The application of liquid-liquid extraction for the separation of iron during the production of alumina, *Hydrometallurgy*, **5**, pp. 161-178.
3. Yun, C.K., 1984: A mathematical description of the extraction isotherms of tungsten and sulfuric acid in a tertiary amine, *Hydrometallurgy*, **12**, pp. 289-298.
4. Stenström, S., 1987: Extraction of cadmium from phosphoric acid solutions with amines. Part III. A thermodynamic model, *Hydrometallurgy*, **18**, pp. 1-20.
5. Yakubu, N.A., 1987: A study of uranium solvent extraction equilibria with Alamine336 in kerosene, *Hydrometallurgy*, **18**, pp. 93-104.
6. Lee, M.S. et al., 2008: Solvent extraction of PtCl_4 from hydrochloric acid solution with Alamine336, *Materials Trans.*, **49**, pp. 2823-2828.
7. 이만승, 채종귀, 2008: Alamine336에 추출된 염화 제 2 철의 무기산용액에 의한 탈거, *자원리싸이클링학회지*, **17**, pp. 37-43.
8. Filiz, M., Sayar, N.A. and Sayar, A.A., 2006: Extraction of cobalt(II) from aqueous hydrochloric acid solutions into Alamine336-m-xylene system, *Hydrometallurgy*, **81**, pp. 167-173.
9. Filiz, M., 2007: Extraction of Mn(II) from aqueous hydrochloric acid solutions into Alamine336-m-xylene system, *Hydrometallurgy*, **87**, pp. 58-62.
10. 이만승, 이진영, 2008: 진한 염산용액에서 Alamine336에 의한 염화코발트의 용매추출, *대한금속재료학회지*, **46**, pp. 227-232.
11. Lee, M.S. and Filiz, M., 2008: Solvent extraction of Mn(II) from strong hydrochloric acid solutions by Alamine336, *Materials Trans.*, **49**, pp. 2642-2647.
12. Bromley, L.A., 1973: Thermodynamic properties of strong electrolytes in aqueous solutions. *AIChE Journal*, **19**, pp. 313-320.
13. 이만승, 곽영기, 2008: 등온추출곡선에 의한 염산용액에서 TBP와 Alamine336의 철 추출 비교, *한국자원리싸이클링학회지*, **17**, pp. 29-34.

李 晚 承

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

申 宣 明

- 현재 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 책임연구원
- 당 학회지 제10권 6호 참조