

» 研究論文 «

鹽酸溶液에서 TBP 및 Cyanex923을 利用한  
루테늄(III)의 抽出·分離에 관한 研究<sup>†</sup>

<sup>‡</sup>安在禹·李基雄\*

大真大學校 新素材工學科, \*성일하이텍(주)

Extraction and Separation of Ruthenium(III) from  
Hydrochloric Acid Solution Using TBP and Cyanex923<sup>†</sup>

<sup>‡</sup>Jae-Woo Ahn and Ki-Woong Lee\*

Dept. of Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, 487-711, Korea

\*SungEel Hightec Co., LTD, Incheon Korea

要　要

염화루테늄 용액에서 루테늄의 분리 및 회수를 위한 기초 연구로 TBP 및 Cyanex923을 이용하여 루테늄의 용매추출 거동을 조사하였다. 루테늄의 추출율에 영향을 미칠 수 있는 수용액상의 염산농도 및 염소이온 농도, 유기상의 추출제 농도, 온도 등에 대해서 고찰하였고, 유기상으로 추출된 루테늄의 탈거거동에 대해서도 조사하였다. 또한 백금, 비스무스, 납, 구리, 철, 주석 등의 혼합용액에서 염산농도에 따라 각 성분들의 추출거동을 조사하였다. 실험결과 루테늄의 추출을 위해서는 Cyanex923이 효과적이었다. 그러나 TBP를 사용할 경우 루테늄의 추출율은 낮으나 백금, 비스무스, 주석 등의 불순물을 제거하는 데는 효과적이었다.

주제어 : 루테늄(III), 용매추출, TBP, Cyanex923, 분리

Abstract

Solvent extraction experiments were carried out to recover and separate Ru(III) from aqueous hydrochloric acid media using TBP and Cyanex923. The efficiency of the extraction was studied under various experimental conditions, such as concentration of HCl and NaCl, concentration of extractant in the organic phase and temperature. The extraction behavior of metal impurities, such as Pt, Bi, Sn, Fe, Pb and Cu in mixed solutions was examined. From the experimental studies, it was found that the Cyanex923 resulted in higher extraction percentage of Ru than TBP. However TBP was more effective for the separation of Ru and Pt, Bi, Sn in mixed solutions than Cyanex923.

Key words : Ruthenium(III), solvent extraction, TBP, Cyanex923, separation

1. 서　　론

루테늄(Ruthenium)은 화학 원소로 기호는 Ru, 원자 번호는 44이며 백금족에 속하는 희귀한 전이 금속으로 루테늄의 상업적인 회수 및 응용연구는 1950년대

미국에서 고준위 액체폐기물에서 이온교환수지를 이용하여 추출하는 기술로 시작되었고 1970년대 이후 급속한 석유화학 및 전자산업의 발달로 촉매특성, 발광특성 및 슈퍼캐퍼서티 특성 등이 개발되면서 수요가 증가함에 따라 자원보유국 위주로 백금광으로부터 분리 정제하여 대량공급 및 응용연구까지 발전하였다.<sup>1)</sup> 1990년대 이후로 독일, 영국, 미국, 일본 등의 기업들이 백금족 회수기술에 관심을 가지면서 백금광석 및 2차 폐자원으

<sup>†</sup> 2011년 1월 21일 접수, 2011년 2월 14일 1차수정  
2011년 3월 14일 수리

\* E-mail: jwahn@daejin.ac.kr

로부터 루테늄을 분리 정제하는 상업적 공정을 갖추었다. 루테늄은 백금족 원소들과 같이 산출되어 분리·회수되기 때문에 광석을 보유하고 있는 일부 국가에 한정되어 기술이 발전해왔으나 최근에 전자스크랩 등의 2차 자원으로부터 이러한 금속을 회수하려는 움직임이 활발히 진행되고 있어 국내외에서 관심이 높다. 일반적으로 귀금속의 경우 그동안 전식방법에 의해 회수되어 왔으나, 저품위광이나 2차 자원으로부터 회수를 위해서는 습식법이 보다 경제적이고 분리정제가 용이하다. 루테늄의 경우 염산과 염소가스를 이용하여 용해시킨 후 회수하는데 이 용액에는 루테늄 외에 백금 등 여러 성분들이 용해되어 존재할 수 있어 첨단산업용 5N 이상의 고순도 루테늄으로 제조하기 위해서는 사전에 이러한 불순물을 제거가 필요하다.<sup>2)</sup> 루테늄 용액에서 불순물 원소의 제거 방법으로는 이온교환수지법<sup>3)</sup> 등의 극히 기초 연구 결과만 소개되어 있을 뿐 불순물 제거 기술이 제대로 확립되어 있지 않은 상태이다. 본 연구에서는 용매추출법을 적용하여 불순물 분리에 관한 기초 연구를 실시하고자 하였다. 그동안 비효율적인 분리정제 공정으로 대체하려는 연구개발이 이루어져 있으며 그 결과 몇몇 백금족 금속을 회수하는 상용화 공정이 개발되었다<sup>4,5)</sup>. 그러나 이러한 공정들은 주로 TBP 나 Tri-n-octyl amine 등의 추출제를 사용하여 백금족 금속 중 팔라듐과 백금 그리고 로듐 등의 분리·회수에 주로 국한되었고 루테늄의 경우는 백금 등의 추출잔액에서 화학정제법에 의해 회수하는 정도이며, 루테늄의 분리·회수를 위한 용매추출 연구는 극히 미미한 상황이다.<sup>6-10)</sup> 따라서 본 연구에서는 루테늄 함유 스크랩에서 루테늄을 용해시킨 염화루테늄 용액으로부터 용매추출법을 이용하여 루테늄 회수 및 정제를 목적으로 기초 연구를 실시하고자 하였다. TBP 및 Cyanex923을 추출제로 사용하여 루테늄의 추출에 미치는 여러 인자에 대한 영향을 조사하여 비교하고, 고순도 화합물이나 또는 금속으로 제조하기 위하여 백금, 주석, 비스므스, 철, 구리 등의 성분들과의 분리성에 대하여 고찰하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에서는 루테늄의 용매추출 거동에 대한 기초 자료를 얻기 위하여 모의용액을 조제하여 사용하였는데 Aldrich 사의 RuCl<sub>3</sub>를 염산용액에 녹여 산도를 조절하여 사용하였다. 기타 금속이온들도 염화물 형태의 일

급 시약을 염산에 용해하여 수상을 조제하였다.

추출용매인 Cyanex923(Cytec Inc.)과 TBP(Tri-n-Butyl Phosphate : Yakuri Chem.)는 정제하지 않고 그대로 사용하였는데 Table 1 및 2에 각각의 물리화학적 성질을 나타내었다. 한편, 추출제의 회석을 위해 사용한 회석제로는 Exxol D-80(Mobile Corp.)을 사용하였다. 실험방법으로는 일정농도로 회석한 유기상과 염산을 이용하여 루테늄의 농도를 조절한 수상을 각각 50 mL씩을 혼합하여 분액여두(Separator funnel)에서 20분간 shaking을 한 다음 상분리가 되도록 약 30분간 정치시켰다. 두 상이 완전히 분리된 후 추출여액(수용액상)의 루테늄을 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer)를 이용하여 분석한 후 유기상으로 추출된 루테늄의 추출율(Extraction percentage)을 다음과 같은 식으로 구하였다.

$$\text{Extraction percentage} =$$

$$\frac{\text{Equilibrium Ru mass in the organic phase}}{\text{Initial Ru mass in the aqueous phase}} \times 100$$

(1)

Table 1. Chemical and Physical Properties of TBP

Appearance	Colorless (yellowish when impure)
Chemical formula	C <sub>12</sub> H <sub>27</sub> O <sub>4</sub> P
Density	0.9727 g/cm <sup>3</sup>
Average molecular Weight	266.32 g/mol
Boiling Point	289°C
Solubility	1mL/165mL of water

Table 2. Chemical and Physical Properties of Cyanex923

Appearance	Colorless mobile liquid
Chemical formula	Mixture of four trialkyle-phosphine oxides
Density	0.88 g/cm <sup>3</sup>
Average molecular Weight	348 g/mol
Boiling Point	310°C at 50mm Hg
Viscosity	40.0 centipoise at 25°C
Vapor pressure	0.09 mm Hg at 31°C
Flashpoint	182°C
Solubility in water	>10 mg/l

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. TBP와 Cyanex923에 의한 루테늄의 추출 거동 고찰

염산용액중에서 루테늄의 추출 거동을 고찰하기 위하여 초기 수상의 루테늄의 농도를 100 ppm으로 유지하고, 5% TBP와 5% Cyanex923을 사용하여 상비(phase ratio) 1.0, 온도 25°C에서 염산농도 변화에 따른 추출실험을 실시하였다. 이에 대한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 TBP를 사용한 경우 염산 농도 4.0M 까지는 10% 내외의 낮은 추출율을 보이다 염산농도를 더욱 증가시키면 추출율이 증가하여 7.0M에서 약 42%의 추출율을 나타내었다. 유사한 연구 결과로 Lee 등은 루테늄 농도가 0.001M인 용액에서 TBP에 의한 루테늄 추출 실험결과 루테늄의 분배계수가 염산농도에 크게 의존하며 염산농도 8.0M에서 최대값을 나타낸다고 보고하였다.<sup>10)</sup> 한편, Cyanex923을 추출제로 사용한 경우에는 염산농도가 증가할 수록 추출율이 급격히 증가 하여 염산농도 3.0M 이상에서 이미 90% 이상의 추출율을 나타내 TBP 보다 추출율이 높다는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Kedari C.S.등이 3.0M 이상의 염산농도에서 연구한 결과와도 유사하다.<sup>7)</sup> 이와 같이 염산농도에 따라 추출율이 증가하는 원인으로는 용액중에  $H^+$  와  $Cl^-$  이온들이 증가하여 다음 반응과 같이 추출 가능한 중성(neutral)의 루테늄 화합물( $HRuCl_4$ )의 형성이 용이하여 중성추출제인 TBP 및 Cyanex923과 반응하기 때문으로 생각된다.

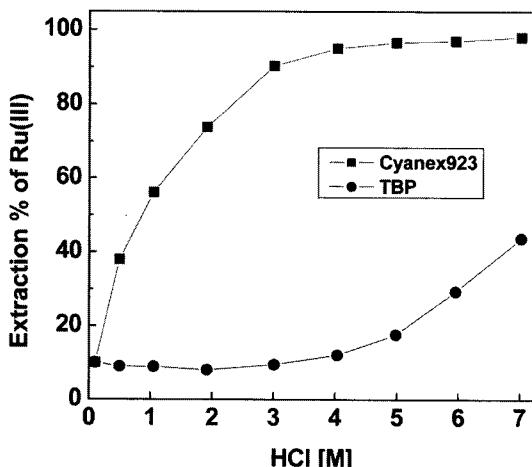
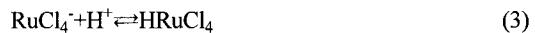
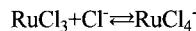


Fig. 1. Effect of HCl on the extraction of Ru(III) (Ru(III):100 ppm, 5% Cyanex923, 5% TBP, O/A=1.0, 25°C).



따라서 염산농도에 따라 상기 두 종류의 추출제의 추출율을 비교한 결과 침출액중 루테늄의 추출이 목적인 경우에는 염산농도 3.0M 이상에서 Cyanex923을 사용하여 추출하여 회수하는 것이 바람직하고, TBP를 사용할 경우에는 7.0M 이상에서 추출하는 것이 유리하다고 생각된다. 그러나 염화루테늄용액에서 백금 등 불순물 성분들의 추출율이 높을 경우에는 오히려 이러한 불순물 성분을 추출·제거하고 루테늄을 수용액상에 추출 잔액으로 남게 하여 분리하는 방법이 공정개발 상 바람직하기 때문에 이러한 목적으로는 TBP를 이용하여 3.0M HCl이하에서 불순물을 추출하여 분리하는 것이 바람직 하다고 생각된다.

#### 3.2. 염소이온농도 영향

수용액중의 염소이온 농도 영향을 고찰하기 위하여 수용액중의 염산농도를 1.0M HCl로 조절하고 염소염으로 0.1M에서 5.0M NaCl을 첨가하여 5% Cyanex923과 5% TBP를 사용하여 염소이온 농도 변화에 따라 루테늄의 추출 거동을 고찰하여 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Cyanex923과 TBP 두 추출제 모두 염소이온 농도가 증가할 수록 추출율이 증

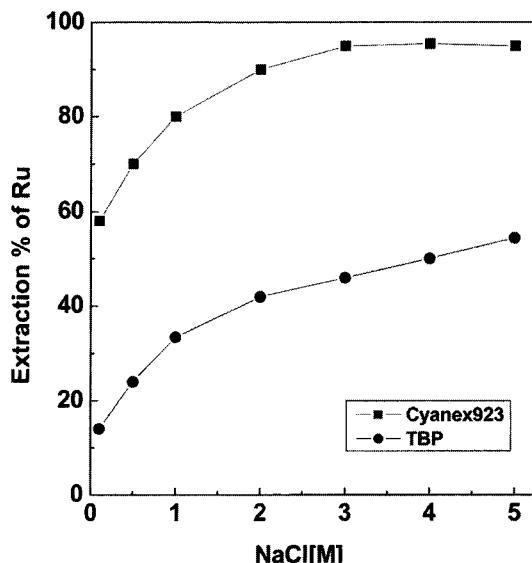


Fig. 2. Effect of NaCl concentration on the extraction of Ru(III) (Ru(III):100 ppm, O/A=1.0, 25°C).

가하는 경향을 보였다. Cyanex923의 경우는  $\text{NaCl}$ 농도가 3.0M에서 95% 정도의 높은 추출율을 보이고 그 이후에는 추출율이 일정하였다. 한편 TBP의 경우는  $\text{NaCl}$ 의 증가와 함께 추출율이 증가하여 3.0M에서 40%를 넘어서 그 이후에는 증가율이 둔화하여 5.0M에서 45% 정도를 나타내었다. 이와 같이 추출율이 증가하는 이유는 상기 (2)식에서와 같이 염소이온 증가에 따라 추출 가능한 중성의 염화물 화합물의 형성이 증가하기 때문이라고 생각된다.

### 3.3. 추출제 농도 변화 영향

유기상중 추출제 농도의 영향을 고찰하기 위해 수용액상의 루테늄 농도가 100 ppm이고 염산 농도가 1.0M인 용액에서 유기상중의 추출제의 농도를 10 Vol. %까지 증가시켜 실험을 하였는데 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 Cyanex923의 경우 추출제의 농도가 증가함에 따라 루테늄의 추출율이 증가하여 10.0 Vol. %에서는 약 90%의 추출율을 보였다. 그러나 TBP의 경우에는 추출제의 농도에 큰 영향 없이 10%내외의 저조한 추출율을 보임을 알 수 있었다.

### 3.4. 온도 영향

Fig. 4는 수용액중의 루테늄 농도가 100 ppm이고 염산농도가 1.0M인 용액에서 온도 변화에 따라 루테늄의

두 추출제의 추출거동을 나타낸 그림이다. 그림으로부터 Cyanex923의 경우는 온도가 증가함에 따라 루테늄의 추출율은 감소하여 25°C에서 약 90%의 추출율을 나타내었는데 온도를 약 55°C로 증가시킬 경우에는 약 62% 정도까지 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 TBP의 경우는 온도 증가에 따라 추출율이 증가하는 경향을 보이고 있고, 25°C에 약 17%의 추출율을 보이다 60°C에서는 약 40% 정도의 추출율을 보이고 있어 두 추출제가 대조되는 경향을 보였다.

### 3.5. 불순물과의 분리성

일반적으로 Ru(III)와 함께 존재할 수 있는 금속이온들, 즉 Cu(II), Pb(II), Pt(IV), Bi(III), Fe(III), Sn(IV)에 대하여 1.0M에서 7.0M HCl에서 10% TBP를 이용하여 추출 거동을 고찰하였다. 이때 루테늄의 농도는 300 ppm이고 기타 성분들의 농도는 50 ppm으로 조절하여 실험을 하였는데 이에 대한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 Bi(III), Sn(IV), Pt(IV)의 경우는 염산농도의 증가와 함께 추출율도 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있고, 7.0M HCl인 경우 Bi(III), Sn(IV)의 경우는 98%, Pt(IV)의 경우는 약 90%의 높은 추출율을 보였다. 그러나 Ru(III)과 Fe(III)의 경우는 염산농도 3.0M 까지는 10% 이내의 낮은 추출율을 나타내다가 염산농도 증가에 따라 추출율이 약간 증가하는 경향을

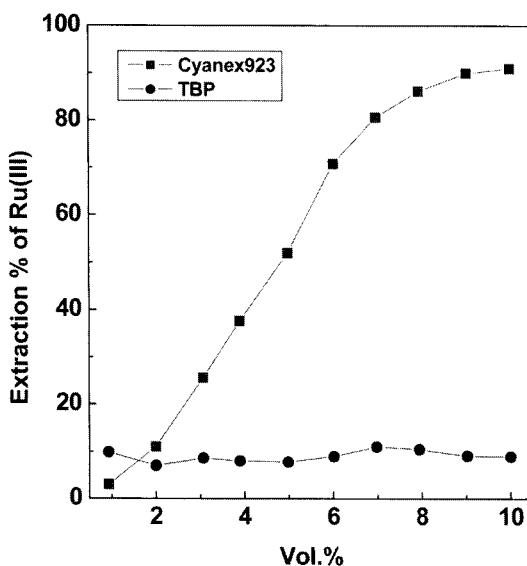


Fig. 3. Effect of extractant concentration on the extraction of Ru(III) (Ru(III):100ppm, O/A=1.0, 25°C).

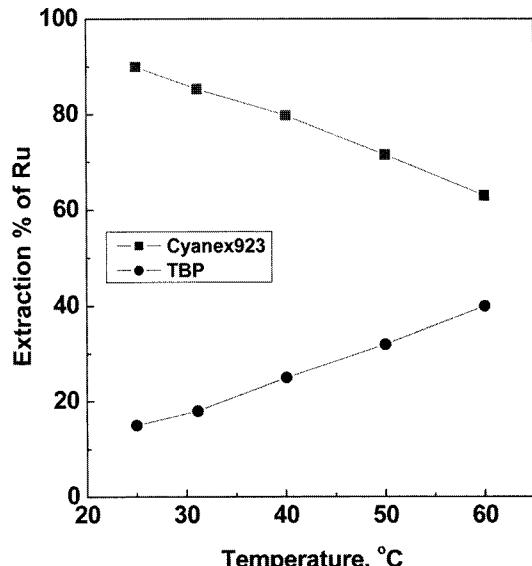


Fig. 4. Effect of temperature on the extraction of Ru(III) (Ru(III):100 ppm in 1.0M HCl, O/A=1.0).

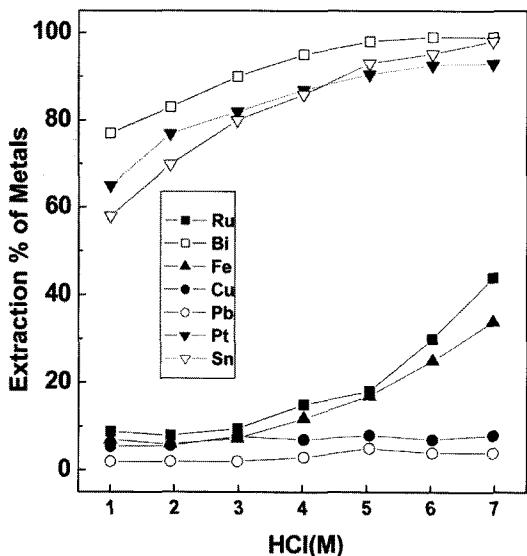


Fig. 5. Extraction behavior of metals by 10% TBP.

보이고 있고 Cu(II), Pb(II)의 경우는 염산농도에 무관하게 낮은 추출율을 나타내었다.

한편, 루테늄과 기타 성분들과의 분리성을 나타내는 척도로 다음과 같은 두 금속간의 분리인자(Separation factor:  $\beta$ )값을 구하여 Fig. 6에 나타내었다.

$$\text{Separation factor}(\beta) = D_M/D_{Ru} \quad (4)$$

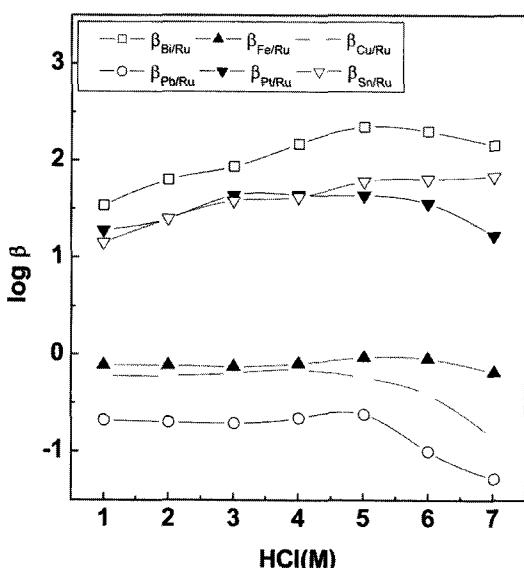


Fig. 6. Separation factor( $\beta$ ) of various metals vs. Ru in Fig. 5.

여기서  $D_M$ 과  $D_{Ru}$  기타금속과 루테늄의 분배계수(Distribution coefficient)값을 나타낸다. 여기서 분리인자값이 10 정도인 경우에는 분리가 가능하고 100 정도인 경우에는 분리성이 우수하다고 알려져 있다. 그림은 로그스케일로 나타낸 것으로 비스무스와 루테늄과의 분리인자값( $\log \beta_{Bi/Ru}$ )이 가장 크게 나타났으며 5.0M HCl에서 가장 높은 값인 2.3정도를 나타내었고, 백금과 주석의 경우는 분리인자값이 4.0M HCl까지는 비슷한 값을 나타내었으나 염산 농도가 더욱 증가할 경우 백금보다는 주석의 분리인자값이 증가하는 경향을 보였다. 그러나 철, 구리, 납의 경우는 분리인자 값이 0이하의 값을 나타내 루테늄보다 추출율이 낮아 분리가 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 TBP를 사용하여 추출시 Sn(IV), Pt(IV), Bi(III)가 루테늄보다 우선적으로 추출되기 때문에 분리가 용이하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 10% Cyanex923을 이용하여 각 성분들의 추출거동을 고찰한 결과이다. 그림으로부터 Sn(IV), Pt(IV), Bi(III), Fe(III)의 경우 전 염소농도 범위에서 90% 이상의 높은 추출율을 나타내었고, Cu(II)의 경우는 저 염산농도에서 추출율이 낮다가 3.0M 염산용액에서 급격히 증가함을 볼 수 있었다. 한편 Pb(II)의 경우 70% 내외의 추출율을 나타내었다. 한편, 루테늄의 추출율도 염산농도에 따라 증가하기 때문에 염산농도가 증가하면 오히려 타 금속들과의 분리성을 감소한다는 것을 알 수 있다. Fig. 8에는 분리인자값의 변화를 나타

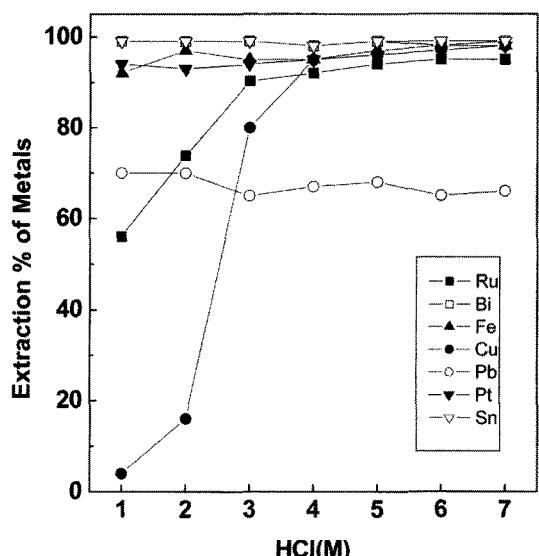
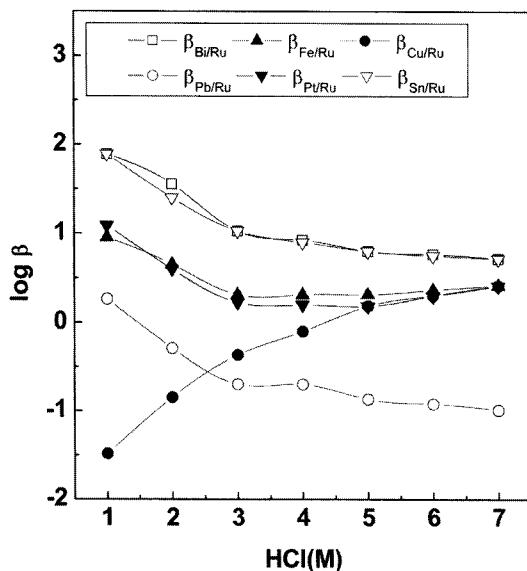


Fig. 7. Extraction behavior of metals by 10% Cyanex923.

Fig. 8. Separation factor( $\beta$ ) of various metals vs. Ru in Fig. 7.

낸 그림이다. 이 경우에는 염산농도가 낮은 1.0M에서  $\text{Log } \beta_{\text{Bi}/\text{Ru}}$ 와  $\text{Log } \beta_{\text{Bi}/\text{Sn}}$  값이 최대 1.9정도 값을 나타내다가 서서히 감소하고  $\beta_{\text{Pb}/\text{Ru}}$ 와  $\beta_{\text{Fe}/\text{Ru}}$ 는 비슷한 경향을 나타내었으며 3.0M HCl 이상에서는 분리가 어렵다는 것을 알 수 있다. 한편,  $\beta_{\text{Cu}/\text{Ru}}$ 의 경우는 염산농도에 따라 꾸준히 증가하고  $\beta_{\text{Cu}/\text{Ru}}$ 의 경우는 감소하나 두 경우 모두 낮은 분리인자 값을 나타내었다.

### 3.6. 탈거 거동

유기상으로 추출된 루테늄을 회수하기 위해 상기 두 종류의 추출제에서 탈거 거동을 고찰하여 다음 Table 3에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 TBP에 추출된 루테늄은 1.0~3.0 M 염산으로 비교적 용이하게 탈거가 가능하다는 것을 알 수 있다. 그러나 Cyanex923의 경우에는 추출이 잘되는 반면에 탈거가 어려워 염산용액으로 탈거할 경우 탈거율이 낮았고, 알칼리염을 탈거제로 사용할 경우에는 애벌전총이 생성되어 효율이 좋지 못하였으며, EDTA나 옥살산과 같은 착화제를 사용하여도 별 효과가 없었다. 한편 Kedari 등<sup>7)</sup>의 연구결과에서 Ascorbic acid와 염산의 혼합물을 사용하여 탈거할 경우 약 98%의 탈거율이 가능하다고 하였으나, 이 경우에는 온도 60°C 이상에서 1시간 이상 탈거를 해야 가능하다. 따라서 상기 탈거 실험 결과로부터 Cyanex923을 사용할 경우 루테늄의 추출율은 좋으나 탈거가 어려워 실제 산업현장에 적용하기에는 많은 어려움이 있다고 생각된다.

**Table 3.** Stripping of Ru from TBP and Cyanex923 loaded from aqueous phase containing 100 ppm Ru(III) in 2.0 M HCl

Stripping agent	% Stripped	
	TBP	Cyanex923
1.0M HCl	98%	12%
3.0M HCl	96%	10%
1.5% Ascobic acid +1.0M HCl	?	98%

### 4. 결 론

염산용액에서 TBP 및 Cyanex923을 사용하여 루테늄(III)의 추출에 미치는 영향을 고찰하고 미량 불순물 성분들과의 분리성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) Cyanex923의 경우 염산농도가 증가함에 따라 루테늄의 추출율이 증가하여 염산 3.0 M까지 급격히 추출율이 증가하여 90%의 이상의 추출율을 보였지만 TBP의 경우는 염산 3.0 M까지는 추출율이 낮다가 이후 추출율이 증가하여 염산 농도 7.0 M정도에서 약 42%의 추출율을 나타내었다.

2) 염소이온 농도에 따른 추출거동 고찰 실험 결과 Cyanex923의 경우는 NaCl농도 증가에 따라 추출율이 증가하여 3.0M에서 95% 정도의 높은 추출율을 보이고 그 이후에는 추출율이 일정하였다. 한편, TBP의 경우는 3.0M NaCl에서 40%를 넘어서 그 이후에는 증가율이 둔화하여 5.0 M에서 45% 정도를 나타내었다.

3) Cyanex923의 경우 추출제의 농도가 증가함에 따라 루테늄의 추출율이 증가하여 10%인 경우 약 90%의 추출율을 보였다. 그러나 TBP의 경우에는 추출제의 농도에 큰 영향 없이 10%내외의 저조한 추출율을 보임을 알 수 있었다.

4) Cyanex923의 경우 온도가 증가함에 따라 루테늄의 추출율은 감소하는 경향을 보였다. 그러나 TBP의 경우는 온도 증가에 따라 추출율이 증가하는 경향을 보였다.

5) 루테늄 추출시 불순물 성분들의 추출거동을 고찰한 결과 Cyanex923을 이용할 경우에는 4.0M HCl 이상에서 Ru(III)를 비롯하여 Pt(IV), Bi(III), Sn(IV), Fe(III)의 추출율이 90% 이상으로 높았으며, TBP를 사용한 경우에는 Ru(III)의 추출율이 낮은 반면에 Sn(IV), Pt(IV), Bi(III)가 높은 추출율을 나타내어 루테늄 용액에 서 우선적으로 분리가 용이하다는 것을 알

수 있었고 Cu(II), Pb(II), Fe(III) 등은 20% 이내의 낮은 추출율을 나타내었다.

### 감사의 글

이 연구는 중소기업청에서 지원하는 “중소기업 산학협력지원사업”중 “기업부설연구소 업그레이드 지원사업”으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. 안종관 등, 2010: 루테늄의 습식정제기술과 산업촉매 응용, 재료마당, 23(3), 8-14.
2. 이민승, 2010: 용액에서 백금족 금속의 화학적 특성 및 용해 기술, 한국자원리サイ클링학회지, 19(5), 3-12.
3. S.H. Lee et al, 1999 : Ion exchange characteristics of Ru(III) by anion exchange resin, Applied Chemistry, 3(2), 152-155.
4. Albazi, S.J., A., 1980: Platinum metals-solution chemistry and separation methods(ion-exchange and solvent extraction). Talanta 27, 7.
5. Francesco L. Bernardis, Richard A. Grant, David C. Sherrington, 2005: A review of methods of separation of the platinum-group metals through their chloro-complexes, Reactive & Functional Polymers 65, 205-217.
6. Ashok Mhaske, Purushottam Dhadke, 2001: Extraction separation studies of Os, Ru and Ir using Cyanex 921 in toluene, Hydrometallurgy 63, 207-214.
7. C.S. Kedari, M.T. Coll, A. Fortuny, E. Goralska, A.M. Sastre, 2006: Recovery and partitioning of Ir(IV) and Ru(III) from chloride solutions by solvent extraction using Cyanex 923/kerosene, Hydrometallurgy 82, 40-47.
8. Kedari, C.S., Coll, M.T., Fortuny, A., Goralska, E., Sastre, A., 2005a: Liquid-liquid extraction of Ir, Ru and Rh from chloride solutionss and their separation using different commercially available solvent extraction reagents. Sep. Sci. Technol. 40, 1927-1946.
9. Lokhande, T.N., Kolekar, G.B., Anuse, M.A., Chavan, M.B., 2000: Extraction of Ruthenium(IV) from hydrochloric acid medium with N-octyl aniline and its determination spectrophotometrically with pyridimine-2-thiol. Sep. Sci. Technol. 35(1), 153.
10. Man-seung Lee, Jong-Gwan Ahn, 2009: Separation of Palladium(II) and Ruthenium(IV) from hydrochloric acid solution by solvent extraction. J. Kor. Inst. Met. & Mater., 47(6), 349-355.

---

### 安 在 禹

- 현재 대진대학교 신소재공학과 교수
  - 당 학회지 제 11권 6호 참조
- 

---

### 李 基 雄

- 현재 성일하이텍(주) 부설연구소 소장
  - 당 학회지 제 18권 5호 참조
-