

» 研究論文 «

鹽酸溶液中 LIX 63 및 Cyanex 301에 의한 지르코늄과 hafnium의 溶媒抽出

閔琇煥 · *李晩承

木浦大學校 工科大学 新素材工學科

Solvent Extraction of Zirconium and Hafnium from Hydrochloric Acid solution by LIX 63 and Cyanex 301

Soo-Hwan Min and *Man-Seung-Lee

*Department of Advanced Material Science & Engineering, Mokpo National University,
Institute of Rare Metal, Chonnam 534-729, Republic of Korea*

요 약

염산용액에서 지르코늄과 hafnium을 분리하기 위해 LIX63과 Cyanex301을 단독 또는 혼합하여 용매추출실험을 수행했다. 상기 추출제를 단독으로 사용하는 경우 염산용액의 pH 1에서 4사이의 범위에서 두 금속은 양이온 추출반응에 의해 추출되었으며, 추출율이 비슷하여 분리가 어렵다. LIX63과 TBP, Cyanex301과 TBP의 혼합용매를 사용하는 경우 본 실험범위에서 역상승효과가 나타났다. Cyanex301과 TBP의 혼합용매의 경우에 염산농도가 증가함에 따라 지르코늄보다 hafnium의 추출율이 급격히 감소하여 분리가능성이 존재하였다. 한편 Cyanex301과 LIX63의 혼합용매의 경우 두 금속의 분리에 효과가 없었다.

주제어 : 지르코늄, hafnium, LIX63, Cyanex301, 용매추출.

Abstract

Solvent extraction experiments have been conducted to separate Zr(IV) and Hf(IV) from chloride solutions by using LIX63 and Cyanex301. Zr and Hf were extracted by cation exchange reaction in the pH range from 1 to 4 by the extractants. Since the extraction percentage of the two metals was similar to each other, it was difficult to separate the two metals by using LIX63 or Cyanex301. Use of a mixture of LIX63/TBP or Cyanex301/TBP resulted in antagonism in our experimental ranges. Our data showed that there is some possibility of separating the two metals by the mixture of Cyanex301 and TBP because the extraction percentage of Hf decreased more rapidly than that of Zr as HCl concentration was decreased. The mixture of LIX63 and Cyanex301 had little effect on the separation of the two metals.

Key words : Zirconium, Hafnium, LIX63, Cyanex301, Solvent extraction

* Received : May 23, 2013 · Revised : June 12, 2013 · Accepted : July 1, 2013

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

Department of Advanced Materials Science & Engineering, Mokpo National University, 61 Dorim-ri, Chungkye-myun, Muangu, Chonnam, 534-729, Korea

Tel : +82-62-450-2492 / Fax : +82-62-450-2498

©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

지르코늄은 클라크수 기준으로 지각에서 19번째로 많은 자원이다. 주요 광물은 지르콘사($ZrSiO_4$)와 baddeleyite(ZrO_2)가 있다.¹⁾ 지르코늄은 내화특성과 내열성이 우수하고, 산과 알칼리에 대한 내식성이 뛰어나다. 또한 다른 특성으로는 중성자 흡수 단면적이 천연 금속 중에서 가장 낮기 때문에 원자로에 쓰이는 핵연료의 피복재로 사용된다. 지르코늄은 자연 광석 중에서 약 0.5~2%의 하프늄과 함께 존재한다.²⁾ 하프늄은 지르코늄 보다 중성자 흡수 단면적이 600배 이상 크기 때문에 원자로에 사용되는 지르코늄은 반드시 하프늄을 제거해야 한다. 일반적으로 지르코늄을 원자로에 사용하기 위해서는 하프늄 함량을 100 ppm 이하로 조절해야 한다.³⁾ 그러나 이들 두 금속은 물리적 화학적 성질이 매우 비슷하여 분리가 굉장히 어렵다. 이러한 이유로 지르코늄과 하프늄의 분리에 관한 연구가 오래전부터 진행되고 있다. 지르코늄과 하프늄의 분리공정에는 용매 추출, 분별침전법, 분별결정법, 분별증류법, 이온교환법, 흡착법 등이 있다. 그 중 용매추출법은 지르코늄과 하프늄을 분리하는 방법 중 연속적으로 대량 처리가 가능한 공정으로 알려져 있다.⁴⁾

현재까지 지르코늄과 하프늄을 분리하는 용매추출공정에는 크게 TBP 공정과 MIBK⁵⁾ 공정이 있다. TBP 공정은 질산 7 M과 30% TBP로 상비 A/O = 1/2에서 5단 추출 후 증류수로 상비 1에서 2단 탈거하면 고순도의 지르코늄을 회수 할 수 있다.⁴⁾ MIBK 공정은 하프늄이 선택적으로 추출되는 장점이 있으나, 공정중에 티오시안(SCN)이 발생되므로 환경오염적인 측면에서 문제가 발생한다는 단점이 있다.⁶⁾ Taghizadeh 등은 질산용액에서 TBP와 Cyanex923 혼합추출제를 사용하여 지르코늄과 하프늄의 분리거동에 대해 조사하였고⁷⁾, 질산용액에서 Cyanex272를 사용하여 지르코늄과 하프늄의 추출반응이 용매화 반응을 통해 중성 복합체의 형태로 추출되는 것을 규명하였다.⁸⁾ 또한 Smolik 등은 Diphonix resin을 사용하여 지르코늄과 하프늄의 분리거동을 조사한 실험에서 황산용액에서 이온 교환법으로 두 금속의 분리가 가능하다고 보고하였다.⁹⁾ Reddy 등은 염화물에서 LIX84 및 다양한 추출제를 사용하여 추출제에 따른 상승효과와 LIX84가 양이온 교환 기구에 의해 지르코늄과 하프늄을 추출하는 것을 보고하였다.¹⁰⁾ Raju 등은 염산용액에서 다양한 아민계 추출제와 TEHA 등으로 지르코늄과 하프늄의 최적의 추출조건을 발표하였다.¹¹⁻¹²⁾

LIX63은 양이온 추출제의 일종인 킬레이트 추출제로 구리의 추출에 널리 사용되고 있다. 또한 LIX63을 TBP와 Versatic acid와 혼합하여 사용하는 경우 니켈의 추출에 상승효과가 나타난다고 알려져 있다.¹³⁾ 그러나 LIX63에 의한 지르코늄과 하프늄의 추출결과에 대한 국내의 자료가 거의 보고된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 LIX63과 Cyanex301을 사용하여 추출조건에 따른 지르코늄과 하프늄의 추출거동과 두 금속의 분리에 미치는 인자를 조사하였다.

2. 실험재료 및 방법

염산용액에서 지르코늄과 하프늄의 용매추출에 의한 분리거동을 조사하기 위하여 용액을 준비하였다. 지르코늄과 하프늄은 시약급 $ZrOCl_2 \cdot 8H_2O$ 와 $HfOCl_2 \cdot 8H_2O$ (Alfa Aesar, Johnson Matthey Company)를 각각 증류수에 용해하여 단독 금속용액을 준비하였다. 모든 실험에서 지르코늄과 하프늄의 농도는 200 ppm로 동일하게 유지하였고, 염산과 수산화나트륨용액으로 용액의 산도를 조절하였다. 일부 보고된 연구결과에 따르면 지르코늄과 하프늄은 염화물 용액에서 시효효과가 나타난다고 보고되었기 때문에 본 실험에서는 매 실험마다 신선한 용액을 제조하여 추출실험에 사용하였다.¹⁴⁾ 추출제로 LIX63 (Cognis Corporation)과 TBP (IS Chem Co, Ltd.), Cyanex301 (Cytec.)을 사용하였고, 추출제의 점도를 감소시키고 농도를 조절하기 위해 희석제로 등유를 사용하였다.

지르코늄과 하프늄의 교반 시간이 두 금속의 추출에 미치는 영향에 대한 선행 연구결과에 따르면 교반 시간이 20분에 추출평형에 도달한다.¹⁴⁾ 따라서 본 실험에서는 동일한 부피의 수상과 유기상을 상온에서 wrist action shaker를 사용하여 30분간 충분히 진탕시켰다. 두 상을 2시간 정지한 다음 수상을 유기상으로부터 분리하고, ICP-OES(Inductive Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy, Spectro arcs model)로 수상에서 지르코늄과 하프늄의 농도를 측정하였으며, 유기상으로 추출된 금속의 농도는 물질수지로부터 구했다.

3. 실험결과

3.1. 지르코늄과 하프늄 단독용액에서 LIX63의 농도와 pH의 영향

염산용액에서 LIX63에 의한 지르코늄과 하프늄의 추

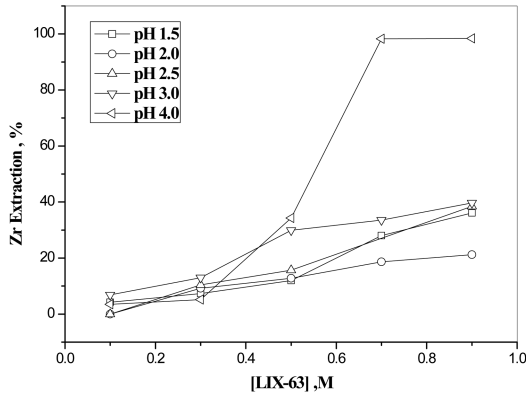


Fig. 1. Effect of LIX63 concentration on the extraction of Zr single metal at various pH.

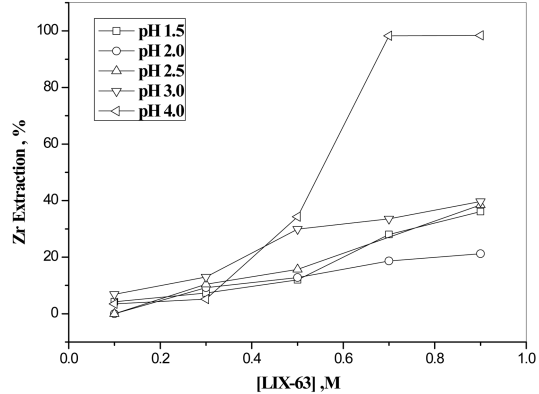


Fig. 2. Effect of LIX63 concentration on the extraction of Hf single metal at various pH.

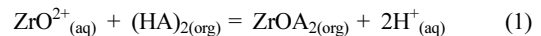
Table 1. Variation in the equilibrium pH of Zr and Hf solution with the concentration of LIX63 when the initial pH was 4.0

LIX-63, [M]	Zr , Eq pH	Hf , Eq pH
0.1	3.85	3.77
0.3	3.75	3.68
0.5	3.73	3.64

출거동을 조사하기 위해 지르코늄과 하프늄의 단독용액의 pH를 변화시키며 여러 농도의 LIX63으로 추출실험을 수행하였다. 지르코늄과 하프늄 용액의 초기 pH를 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0까지 변화시켜 0.1에서 0.9 M까지의 LIX-63으로 추출 실험한 결과를 Fig. 1과 2에 나타내었다. Fig. 1에 의하면 지르코늄 용액의 pH가 1.5, 2.0, 2.5, 3.0에서는 LIX63의 농도가 증가함에 따라 지르코늄의 추출율이 서서히 증가하였다. 그러나 용액의 pH가 4인 조건에서는 0.7M의 LIX63에 의한 지르코늄의 추출율이 급격히 상승하여 0.9M의 LIX63에서 약98%의 추출율을 보였다. 또한 전반적으로 용액의 초기 pH가 높을수록 지르코늄의 추출율이 증가하는 것으로부터 LIX63에 의한 지르코늄의 추출반응은 양이온 추출반응에 의한다고 생각할 수 있다. 지르코늄용액의 초기 pH가 4.0인 조건에서 LIX63의 농도 변화에 따른 평형 pH의 변화를 Table 1에 나타내었다. LIX63 농도가 증가할수록 평형 pH가 감소하므로 양이온 추출반응과 잘 일치한다.

동일한 초기 pH 범위와 추출제의 조건에서 하프늄의 추출율의 변화를 Fig. 2에 나타냈다. 용액의 초기 pH가 3이하인 조건에서는 LIX63의 농도가 증가함에 따라 하

프늄의 추출율이 서서히 증가하였다. 하프늄 용액의 초기 pH가 4.0인 조건에서 0.9 M의 LIX63에 약 92%의 하프늄이 추출되었다. 본 실험조건에서 지르코늄과 하프늄은 각각 ZrO^{2+} 와 HfO^{2+} 로 존재한다고 알려져 있다.¹⁵⁾ 따라서 LIX63에 의한 지르코늄과 하프늄의 추출반응을 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.



상기 식들에서 HA는 LIX63을, 하첨자 aq와 org는 각각 수상과 유기상을 나타낸다.

3.2. 지르코늄과 하프늄 단독 용액에서 LIX63 과 TBP 혼합추출제에 의한 추출거동

양이온추출제인 LIX63과 중성추출제인 TBP를 혼합용매로 사용하는 경우 혼합추출제에 의한 상승효과와 분리에 미치는 영향을 조사하였다. 이러한 목적을 위해 지르코늄과 하프늄이 단독으로 함유된 용액의 염산농도를 0.01 M로 고정시킨 다음 0.5 M의 TBP에 LIX63의 농도가 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9 M이 되도록 혼합한 용매로 추출실험을 수행하였다. 지르코늄 단독용액에서 0.5 M의 LIX63과 0.5M의 LIX63과 0.5 M의 TBP 혼합용매에 의한 추출결과를 Fig. 3에 나타냈다. LIX63을 단독으로 사용한 경우보다 혼합용매에 의한 지르코늄의 추출율이 전반적으로 낮았다. 동일한 조건에서 하프늄의 추출거동을 나타낸 Fig. 4에서도 비슷한 경향을 얻었다. 즉 LIX63에 중성추출제인 TBP를 혼합하여 추출

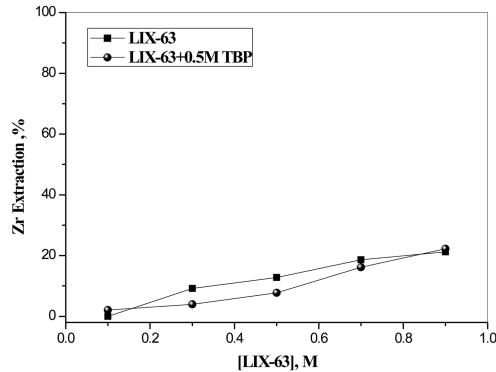


Fig. 3. Comparison of the extraction behavior of Zr between LIX63 and a mixture of 0.5 M TBP and LIX63 from 0.01 M HCl solution.

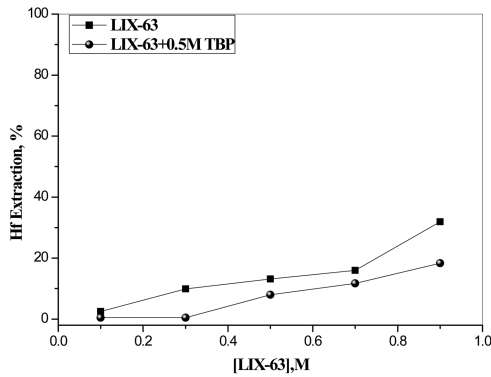


Fig. 4. Comparison of the extraction behavior of Hf between LIX63 and a mixture of 0.5 M TBP and LIX63 from 0.01 M HCl solution.

제로 사용하는 경우 지르코늄과 하프늄의 추출이 약간 억제되는 역상효과가 나타났다.

3.3. 지르코늄과 하프늄 혼합용액에서 혼합용매에 의한 두 금속의 분리

양이온 추출제로 Cyanex301을 선택하여 Cyanex301 단독 및 TBP와의 혼합용매에 의한 지르코늄과 하프늄의 추출 및 분리거동을 조사하였다. Cyanex301은 황화합물을 함유한 양이온추출제로 옥시산 보다 훨씬 강한 산도를 가지고 있다.¹⁶⁾ 또한 Cyanex301은 낮은 pH에서 중금속과 알칼리, 알칼리 토금속을 선택적으로 추출하고 코발트와 니켈의 분리에 유용하다고 알려져 있다.¹⁶⁾ 본 실험에서는 먼저 지르코늄과 하프늄의 농도가 200 ppm인 혼합용액을 제조하여 용액에서 염산의 농도를 0.005에서 0.1 M까지 변화시켰다. 상기 염산농도범

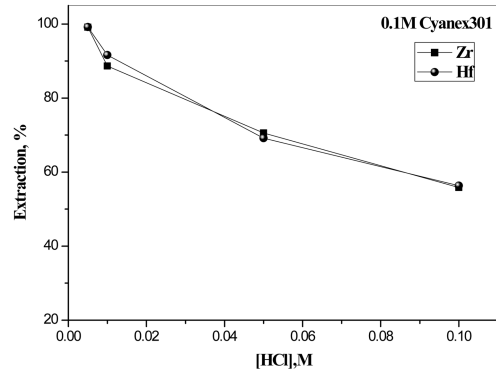


Fig. 5. Effect of HCl concentration on the extraction of Zr and Hf from mixed solution by 0.1 M Cyanex301.

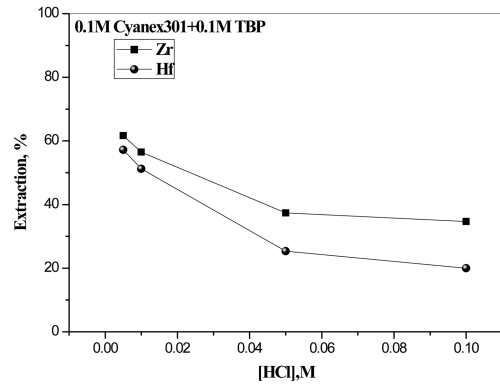


Fig. 6. Effect of the HCl concentration on the extraction of Zr and Hf from mixed solution by a mixture of Cyanex301 and TBP.

위에서 0.1 M의 Cyanex301에 의한 지르코늄과 하프늄의 추출율의 변화를 Fig. 5에 나타냈다. 혼합용액에서 염산 농도가 증가함에 따라 지르코늄의 추출율은 99에서 56%까지, 하프늄의 추출율은 99%에서 55%까지 감소하였으며 두 금속의 추출거동은 동일하였다. 용액에서 염산농도가 증가함에 따라 두 금속의 추출율이 감소하는 것으로부터 본 실험범위에서 Cyanex301에 의한 지르코늄과 하프늄의 추출반응은 양이온 교환반응으로 생각할 수 있다. 또한 두 금속의 추출율이 비슷하여 분리 면에서는 전혀 효과가 없었다.

Cyanex301을 단독으로 사용하는 경우 지르코늄과 하프늄의 분리에 효과가 없으므로 혼합용매에 의한 분리 효과를 조사하기 위해 0.1 M의 Cyanex301과 0.1 M의 TBP를 혼합용매로 사용하여 실험한 결과를 Fig. 6에 나타냈다. Cyanex301을 단독으로 사용한 경우의 실험

Table 2. Separation Factors of Zr and Hf with Cyanex301 and 0.005M to 0.1M HCl

[HCl](M)	[Cyanex301](M)	D_{Zr}	D_{Hf}	$\beta = D_{Zr} / D_{Hf}$
0.005	0.1	115	123.66	0.92
0.01	0.1	7.8	10.93	0.71
0.05	0.1	2.39	2.24	1.06
0.1	0.1	1.26	1.29	0.97

Table 3. Separation Factors of Zr and Hf with Cyanex301 and TBP mixture

[HCl](M)	[Cyanex301] + [TBP](M)	D_{Zr}	D_{Hf}	$\beta = D_{Zr} / D_{Hf}$
0.005	0.1 + 0.1	1.61	1.21	1.32
0.01	0.1 + 0.1	1.29	1.05	1.23
0.05	0.1 + 0.1	0.59	0.33	1.75
0.1	0.1 + 0.1	0.53	0.25	2.12

Table 4. Molar concentration ratio of Cyanex301 and TBP in the mixture

No.	Cyanex301, [M]	TBP, [M]
1	0.04	0.16
2	0.08	0.12
3	0.12	0.08
4	0.16	0.04

결과와 비교하면 Cyanex301과 TBP의 혼합용매를 사용 시 지르코늄과 하프늄의 추출율이 감소하여 역상승효과가 나타났다. 또한 단독의 Cyanex301과 마찬가지로 혼합용매를 사용하는 경우 염산농도가 증가함에 따라 두 금속의 추출율이 모두 감소하였다. 그러나 염산농도가 증가함에 따라 지르코늄보다는 하프늄의 추출율이 더 많이 감소하므로 분리면에서는 효과가 있다. 즉, 혼합용매로 추출시 염산농도가 0.01에서 0.1 M로 증가 함에 따라 지르코늄의 추출율은 62%에서 35%로 감소하였고, 하프늄은 57%에서 20%로 감소하였다. 단독 Cyanex301과 혼합용매의 분리계수를 비교하기 위해 Table 2, 3에 단독 Cyanex301과 Cyanex301, TBP의 혼합용매를 사용했을 때의 분리계수를 나타내었다. Table 2에서 단독 Cyanex301을 사용했을 때 분리계수는 매우 낮지만 Table 3과 같이 TBP와 혼합했을 때 염산의 농도가 증가할수록 분리계수가 약간 증가하므로 분리 가능성이 존재하는 것을 확인 할 수 있다.

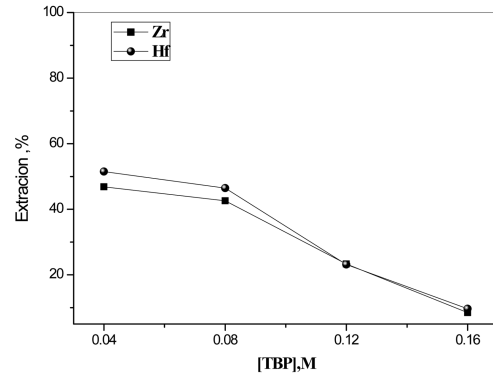


Fig. 7. Effect of the TBP concentration in the mixture with Cyanex301 on the extraction of Zr and Hf from mixed solution of 0.1M HCl. (Cyanex301 concentration : 0.16, 0.12, 0.08, 0.04 M.)

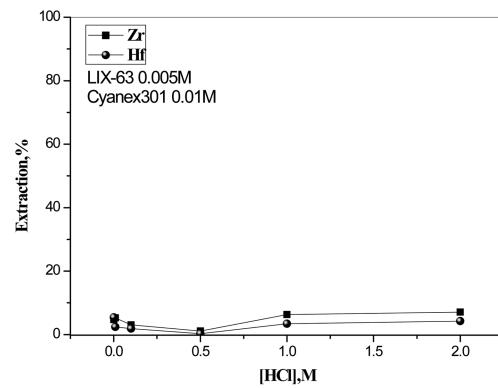


Fig. 8. Effect of HCl concentration on the extraction of Zr and Hf from mixed solution by a mixture of 0.01 M Cyanex301 and 0.005M LIX63.

Cyanex301과 TBP 혼합용매에 의한 지르코늄과 하프늄의 분리가능성을 확인하고 염산농도 0.1 M에서 혼합용매의 농도를 조절 하여 추출실험을 수행하였다. 혼합용매에서 Cyanex301과 TBP의 농도는 Table 4에 나타냈고, 실험결과를 Fig 7에 나타냈다. 실험결과 염산농도를 변화시켰을 때와는 달리 혼합용매에서 Cyanex301과 TBP의 농도 비는 지르코늄과 하프늄의 추출 및 분리거동에 큰 영향을 미치지 않았다.

Cyanex301과 LIX63을 혼합한 용매에 의한 지르코늄과 하프늄의 추출 및 분리거동을 조사하기 위해 0.005M의 LIX63과 0.01 M Cyanex301을 혼합추출제로 사용하여 혼합용액의 염산농도를 0.001부터 2 M까지 변화시켜 실험한 결과를 Fig. 8에 나타냈다. 그림에서 낮은 염산농도에서는 지르코늄과 하프늄은 양이온

교환 메커니즘에 따라 염산 농도가 증가함에 따라 추출율이 점차 감소하지만, 1M의 염산농도에서는 추출율이 증가하는 추세를 보였다. 이와 같이 염산농도가 진한 용액에서 양이온 추출제에 의한 금속의 추출율이 증가하는 것은 추출반응이 양이온 교환반응에서 용매화 반응으로 전이되기 때문이며, 추출반응식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.¹⁴⁾



그러나 본 실험범위에서 Cyanex301과 LIX63의 혼합용매에 의한 지르코늄과 haf늄의 추출율은 각 추출제를 단독으로 사용한 경우에 비해 큰 변화가 없으며, 분리에도 효과가 없었다.

4. 결 론

염산용액에서 지르코늄과 haf늄을 용매추출로 분리하기 위한 공정을 개발하기 위해 양이온추출제(LIX63, Cyanex301) 및 양이온 추출제와 중성추출제인 TBP의 혼합용매에 의한 추출실험을 수행하였다. 본 논문의 실험범위에서 LIX63과 Cyanex301을 단독으로 사용하는 경우 지르코늄과 haf늄의 추출율은 용액의 pH에 따라 증가하였다. LIX63과 TBP를 혼합한 용매로 추출하는 경우 지르코늄과 haf늄의 추출이 억제되는 역상승효과가 나타났으며, 분리면에서 전혀 효과가 없었다. 또한 Cyanex301과 TBP를 혼합한 용매로 추출하는 경우에도 지르코늄과 haf늄의 추출이 억제되었다. 그러나 Cyanex301과 TBP의 혼합용매에 의한 추출시 지르코늄에 비해 haf늄의 추출율이 더욱 감소하므로 분리가 성이 존재하였다. Cyanex301과 LIX63의 혼합용매를 사용하는 경우 두 금속의 분리에 효과가 거의 없었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 산업소재 산업융합원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Elvers, B. *et al.*, 1989 : *Ulmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, VCH, Weinheim, Federal Republic of Germany.
2. Park, P.J., *et al.*, 1980: *Nonferrous Metallurgy Engineering*, HeeJungDang, pp. 586-594.
3. Taghizadeh, M., Ghanadi, M. and Zolfonoun, E., 2011 : Separation of zirconium and hafnium by solvent extraction using mixture of TBP and Cyanex923, *J. of Nuclear Materials*, 412, pp. 334-337.
4. Nam, C.W., Park, K.H., 2008: Status of Zirconium Resources and Processing, *Trends in Metals & Materials Engineering*, 21, pp. 4-14.
5. Taghizadeh, M., *et al.*, 2008 : Determination of optimum process conditions for the extraction and hafnium by solvent extraction, *Hydrometallurgy*, 90, pp. 115-120.
6. Kim, S.K., Lee, H.Y., Oh, J.K., 1995: A Study on the Separation of Hafnium from Zirconium with Versatic Acid-10, *J. of Korean Inst. of Metals & Materials*, Vol.33, No.4.
7. Taghizadeh, M., Ghanadi, M., Zolfonoun, E., 2011 : Separation of zirconium and hafnium by solvent extraction using mixture of TBP and Cyanex923, *Journal of Nuclear Materials*, 412, pp. 334-337.
8. Taghizadeh, M., *et al.*, 2009 : Stoichiometric relation for extraction of zirconium and hafnium from acidic nitrate solutions with Cyanex272, *Hydrometallurgy*, 96, pp. 77-80.
9. Smolik, M., Jakobik-kolon, A., Poranski, M., 2009 : Separation of zirconium and hafnium using Diphonix chelating ion-exchange resin, *Hydrometallurgy*, 95, pp. 350-353.
10. Ramachandra R. B., Rajesh. K., Reddy, J. V., 2004 : Solvent Extraction of zirconium from acid chloride solutions using LIX 84-IC, *Hydrometallurgy*, 74, pp. 173-177.
11. Raju, B., Lee, H.Y., Lee, M.S., 2012 : Separation of Zr from Hf in Hydrochloric Acid Solution Using Amine Based Extractants, *IECR*, 51(28), pp. 9652-9660.
12. Raju, B., Lee, H.Y., Lee, M.S., 2012 : Separation of Zr and Hf from strong hydrochloric acid solution by solvent extraction with TEHA, *JRNC*, 295(2), pp. 1537-1543.
13. Cheng, C.Y., 2006 : Solvent extraction of nickel and cobalt with synergistic systems consisting of carboxylic acid and aliphatic hydroxyoxime, *Hydrometallurgy*, 84, pp. 109-117.
14. Biswas, R.K., Hayat, M.A., 2002 : Solvent extraction of zirconium(IV) from chloride media by D2EHPA in kerosene, *Hydrometallurgy*, 63, pp. 149-158.
15. Lee, M.S., Lee, H.Y., 2011: Distribution of Zr(IV) Ion Species in Aqueous Solution, *J. of Korean Inst. of Resources Recycling*, Vol. 22, No. 6, pp. 56-62.
16. Rajesh, K., 2007 : Liquid-Liquid Extraction of Tetravalent Hafnium from Acidic Chloride Solutions using Bis(2,4,4-trimethylpentyl) Dithiophosphinic Acid (Cyanex301), *Separation Science and Technology*, 42, pp. 865-877.



閔 秀 煥

- 목포대학교 신소재공학과 학사
- 현재 목포대학교 신소재공학과 석사 과정

李 晚 承

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

《광 고》 본 學會에서 發刊한 자료를 판매하오니 學會사무실로 문의 바랍니다.

- * EARTH '93 Proceeding(1993) 457쪽, 價格 : 20,000원
(The 2th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 자원리사이클링의 실제(1994) 400쪽, 價格 : 15,000원
- * 학회지 합본집 I~VIII 價格 : 40,000원, 50,000원(비회원)
(I: 통권 제1호~제10호, II: 통권 제11호~제20호, III: 통권 제21호~제30호, IV: 통권 제31~제40호, V: 통권 제41호~제50호, VI: 통권 제51호~제62호, VII: 통권 제63호~제74호, VIII: 통권 제75호~제86호)
- * 한·일자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 483쪽, 價格 : 30,000원
- * 한·미자원리사이클링공동워크샵 논문집(1996) 174쪽, 價格 : 15,000원
- * 자원리사이클링 총서I(1997년 1월) 311쪽, 價格 : 18,000원
- * '97 미주 자원재활용기술실태조사(1997년) 107쪽, 價格 : 15,000원
- * 日本의 리사이클링 産業(1998년 1월) 395쪽, 價格 : 22,000원, 발행처-文知社
- * EARTH 2001 Proceeding (2001) 788쪽, 價格 : 100,000원
(The 6th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)
- * 오재현의 자동차 리사이클링기행(2003년 2월) 312쪽, 價格 : 20,000원, 발행처-MJ미디어
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 1999년) 440쪽, 價格 : 15,000원, 발행처-文知社
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2004년) 578쪽, 價格 : 27,000원, 발행처-淸文閣
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2009년) 592쪽, 價格 : 30,000원, 발행처-淸文閣
- * EARTH 2009 Proceeding (2009) 911쪽, 價格 : 100,000원
(The 10th International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology)