

MOCVD 더스트 합성용액으로부터 D2EHPA를 이용한 In의 선택적 용매추출

임병용 · Basudev Swain · 이찬기 · 박재량 · *박경수 · 심종길* · 박정진*

고등기술연구원 신소재공정센터, *(주)엔코

Selective Solvent Extraction of In from Synthesis Solution of MOCVD Dust using D2EHPA

Byoungyong Im, Basudev Swain, Chan Gi Lee, Jae Layng Park, *Kyung-Soo Park,
Jong-Gil Shim* and Jeung-Jin Park*

Institute for Advanced Engineering, Yongin, Korea

**Enco co. Ltd, Chilgok-gun, Korea*

요 약

In, Ga, Fe, Al이 함유되어 있는 혼합용액으로부터 In을 분리하기 위해 D2EHPA를 이용한 용매추출 연구를 수행하였으며, In의 추출에 대한 수상의 HCl 및 추출제 농도 효과를 확인하였다. In과 Ga의 추출률은 HCl 농도의 감소에 따라 증가하였지만, Fe와 Al의 추출률에는 큰 영향을 미치지 않았다. In과 Ga의 분리인자(D_{In}/D_{Ga})는 1.0 M D2EHPA, 0.5 M HCl조건에서 115로 나타났다. 즉, D2EHPA는 혼합용액으로부터 In을 분리하는 추출제로 적합하며, 추출률 및 분리인자는 HCl 및 추출제의 농도 조절을 이용하여 조절할 수 있다.

주제어 : D2EHPA, MOCVD dust, In, 재활용, 용매추출

Abstract

The separation of In from the synthesis solution with Ga, Fe, and Al has been studied by the solvent extraction using D2EHPA as an extractant. The effects as a function of the concentration of extractant and HCl on the extraction of In were investigated. The extraction of In and Ga increased with decreasing HCl concentration, but that of Fe and Al was independent. Separation factor between In and Ga of 115 was obtained at 1.0 M D2EHPA in the presence of 0.5 M HCl of feed solution. Consequently, this study shows that D2EHPA is suitable extractant for In extraction from the synthesis solution. Extraction efficiency and separation factor could be increased by controlling HCl and extractant concentration.

Key words : D2EHPA, MOCVD dust, In, Recycling, Solvent extraction

· Received : June 26, 2015 · 1st Revised : July 15, 2015 · 2nd Revised : July 30, 2015 · Accepted : August 13, 2015

*Corresponding Author : Kyung-Soo Park (E-mail : kspark@iae.re.kr)

Advanced Materials & Processing Center, Institute For Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro, 51 Beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 449-863 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

In은 Zn, Cu, Fe, Sn, Ni 및 Pb의 황화합물/황염광물을 제련하는 과정 중 발생하는 잔류물, 슬래그, 폼, 더스트를 처리하는 과정에서 부산물 형태로 생산된다.¹⁾ 그리고 In은 LED, 반도체, 휴대폰, 태양전지, 컴퓨터 등 다양한 분야의 필수 재료로 사용되고 있다.²⁾ 이러한 In은 산업통상자원부가 선정한 도시광산 전략금속으로 고유의 물리적 화학적 특성을 가지고 있고 보존량이 적고 값이 비싸 회수 기술개발이 필요하다.³⁾

현재 In과 같은 유가 금속들을 폐기물로부터 회수하기 위한 습·건식 연구가 꾸준히 이루어지고 있다.⁴⁻¹⁶⁾ 습식 공정에서는 유가 금속을 회수하기 위해서 다양한 기술들을 복합적으로 사용하게 되며 각각의 기술에 대한 최적화 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 습식공정을 이용하여 유가금속을 회수하기 위해서는 유가금속이 함유되어있는 물질로부터 특정 성분을 산-알칼리 등의 용매로 녹여 금속 원소를 추출하는 연구가 진행되어 왔다. 비철제련 슬래그로부터 Fe를 회수하기 위하여 온도를 변수로 강산에 침출하는 연구, 폐조경공구로부터 Co를 회수하기 위하여 산화 공정과 습식 밀링공정을 통해 침출액을 얻는 연구, LED 공정스크랩에서 침출이 어려운 GaN를 불밀링과 열처리를 통해 침출에 유리한 상변화를 유도하여 침출하는 연구 등이 이루어졌다.⁵⁻⁹⁾ 이렇게 얻어진 침출액은 액상 환원법, 전해체취 공정 등을 통하여 침출액으로부터 고순도 금속을 회수하게 된다.^{5,10-11)}

하지만 침출액 내에 존재하는 불순물들은 금속화 공정에서 얻어질 금속의 순도 및 회수율에 영향을 미치기 때문에 침출액 농축 및 분리단계를 거쳐 불순물을 최대한 제거 하는 것이 바람직하다.¹¹⁾ 농축 및 분리에 일반적으로 사용되는 용매추출법은 원소별 분리가 가능하며 높은 추출률을 가지고 있어 산업분야에 널리 사용되고 있으며, Ga, Li, Co, Cu 등의 유가금속을 회수하기 위한 연구 역시 꾸준히 이루어지고 있다.¹²⁻¹⁶⁾

용매추출은 비중 차에 의한 섞이지 않는 두 용액간의 관계를 이용하여 원하는 물질을 추출 하는 기술로서 다양한 변수가 있으며 추출제의 종류를 기본으로 수상과 유기상과의 비율, pH, 추출제의 농도 등이 있다. 이러한 변수를 이용하여 원하는 물질의 추출률 및 다른 물질과의 분리율 등을 관찰하는 연구가 이루어지고 있으며, 금속 양이온을 추출하기 위하여 주로 Cynex 272, D2EHPA, PC88A 등의 추출제를 사용한다.

다양한 기술을 복합적으로 사용하는 유가금속 회수공

정에서 각각의 기술들은 밀접한 관계를 가지고 있다. 유가 금속을 침출하는 단계에서는 금속 원소를 침출하기 위하여 HCl이 주로 사용 되며 이러한 HCl의 사용은 용매추출 단계에서 영향을 미치게 된다.

LED 산업에서 발생하는 폐기물에는 다량의 유가금속을 포함되어 있어서 그것에 대한 재활용 기술 개발이 필요하다. 이 중 LED 제조 과정에서 반도체 박막을 성장시키는데 사용되는 유기금속 화학기상 증착(Metal-organic chemical vapor deposition, MOCVD)을 통해 GaN/InGaN 성장 시 이용되는 원료인 trimethylgallium과 trimethylindium은 10%정도만이 층 형성에 참여하고 90% 이상은 밖으로 배출되어 폐기되고 있다. 따라서 본 연구에서는 반응에 참여하지 않고 배출되는 MOCVD 더스트의 In 회수를 목적으로 MOCVD 더스트 침출 모사액을 제조하였으며, 모사액으로부터 금속화에 유리한 용액을 제조하기 위하여 용매추출을 이용하였다. 그리고 수상의 HCl 농도 및 용매추출 시 사용한 D2EHPA의 농도에 따른 추출률 및 분리인자의 거동을 연구하였다.

2. 실험방법

2.1. 시료

In이 함유되어 있는 용액으로부터 In의 분리를 위한 용매추출 실험을 수행하기 위하여 인위적으로 용액을 제조하여 실험을 실시하였으며 함유 물질은 MOCVD 더스트 침출 연구를 바탕으로 선정하였다.¹⁷⁾ 각 물질별 추출 경향성을 정확히 비교하기 위하여 10 mL 수상에는 InCl_3 ($\geq 99.999\%$, Sigma-Aldrich), GaCl_3 ($\geq 99.999\%$, Sigma-Aldrich), AlCl_3 ($\geq 99.99\%$, Sigma-Aldrich), FeCl_2 (99.99%, Sigma-Aldrich)을 0.01 M 씩 동일하게 첨가하여 용액을 제조하였으며, HCl (1.0 N, Sigma-Aldrich)의 영향을 알아보기 위하여 각 용액의 HCl의 농도를 달리 하여 첨가하였다. 용액 내에 함유되어 있는 금속의 농도는 Table 1과 같다.

2.2. 용매추출 (solvent extraction)

본 연구에서는 In이 함유되어 있는 용액으로부터 In

Table 1. Chemical composition of aqueous solution.

Element	Ga	In	Al	Fe
Composition (ppm)	690	1149	230	543

을 분리하기 위하여 용매추출법을 사용하였다. 추출제로는 D2EHPA (>97%, Sigma-Aldrich)를 사용하였으며, 추출제의 농도를 조절하기 위하여 희석제로 등유(Daejung)를 이용하였다. HCl 농도별 실험을 위해 1 M D2EHPA를 사용 하였으며, 추출제 농도 별 실험을 위해 HCl 0.5 M이 첨가된 수상을 사용 하여 용매추출 실험을 수행 하였다. 유기상과 In, Ga, Al, Fe이 함유되어있는 수상을 1 : 1 비율(10 mL : 10 mL)로 하여 왕복 운동식 교반기(Wiseshake-SHR-2D)에서 300 rpm으로 30분간 교반 후 수상과 유기상을 분리 채취하였다. 모든 실험은 상온에서 진행하였으며 순도 및 추출경향을 확인하기 위하여 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, Perkin Elmer Optima-4300 DV)를 이용하여 성분 분석을 하였다. 용매추출 후 채취한 수상을 성분 분석한 결과와 초기 수상에 함유 되어있던 금속들의 농도를 비교하여 유기상으로 추출된 금속의 양을 계산하였다.

2.3. 분배계수 (Distribution coefficient) 및 분리인자 (Separation factor)

분배계수는 유기상과 수상의 금속 이온농도 비를 나타낸 값으로 분배계수가 클수록 추출이 많이 됨을 의미한다. 식은 다음과 같으며 [M]은 금속이온의 농도를 의미한다.

$$D(\text{Distribution coefficient}) = \frac{[M]_{(org)}}{[M]_{(aq)}} \quad (1)$$

분리인자는 두 금속이온의 분배계수를 나타낸 값으로 두 금속이온의 분리 정도를 나타낸다. 식은 다음과 같으며 목적금속의 분배계수를 분자에 상대금속의 분배계수를 분모에 넣게 된다.

$$\beta(\text{Separation factor}) = \frac{D_{In}}{D_{Ga}} \quad (2)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 수상의 HCl 농도에 따른 In 추출 경향

수상의 HCl 농도에 따른 용매추출 경향을 알아보기 위해 각 물질이 0.01 M 혼합되어 있는 용액에 HCl의 농도(0.05, 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 M)를 달리하여 10 mL 용액을 제조하였다. 이와 같이 제조된 용액으로부터 In 금속의 추출을 위해 1 M D2EHPA를 추출제로 이용하여 용매추출 실험을 진행하였다. 수상과 유기

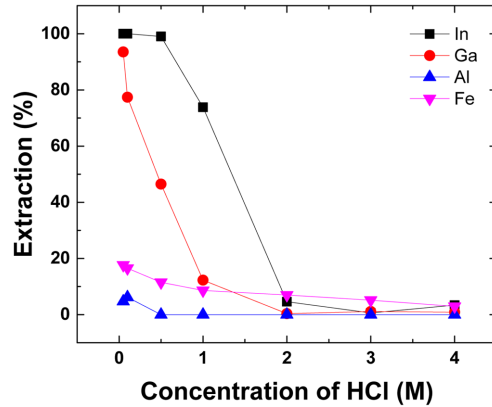


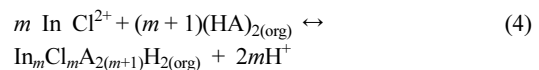
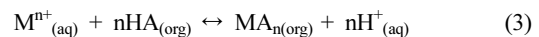
Fig. 1. Effect of HCl concentration on extraction efficiency of metals using 1.0 M D2EHPA, and O/A ratio = 1.

Table 2. Chemical composition of raffinate using 1.0 M D2EHPA, and O/A ratio = 1.

	Ga	In	Al	Fe
4 M HCl	684	1111	230	528
3 M HCl	682	1143	229	516
2 M HCl	688	1097	229	506
1 M HCl	605	301	230	497
0.5 M HCl	369	11	230	481
0.1 M HCl	156	1	216	454
0.05 M HCl	45	0	219	448

상의 혼합 후 정지시키면 30초 내에 상분리가 이루어졌으며, 이러한 공정을 통해 얻어진 수상을 이용하여 ICP 분석을 하였고 분석 결과와 초기 수상에 존재한 금속의 농도를 비교하여 유기상으로 추출된 금속의 양을 계산하였다. 그 결과는 수상에 잔존하는 각 물질의 농도는 Table 2와 같으며, 추출률을 Fig. 1에 나타내었다.

본 연구에서 사용된 D2EHPA는 산추출제에 속하며 일반적인 산추출제에 의한 추출 반응은 식 (3)로 나타낼 수 있다. 본 연구에서 사용된 염산용액으로부터 In을 추출하는 반응은 식 (4)와 같다.¹⁸⁻²⁰⁾



위 식에서 M은 금속을 A는 추출제를 나타내고, 아래첨자로 나타낸 aq는 수상을 org는 유기상을 나타낸다. 위 식에서 알 수 있듯이 추출제인 D2EHPA를 사용한 용매추출 공정은 수소이온에 민감하게 반응하게 된다. Fig. 1에서 볼 수 있듯이 HCl 농도가 감소할수록 각 물질의 추출률은 증가하는 경향이 나타났다.

그리고 물질별 추출률을 비교 하였을 때 상대적으로 In, Ga, Fe, Al 순으로 D2EHPA와의 반응성이 큼을 알 수 있으며, Fe와 Al의 조건에 대한 변화는 크지 않음을 알 수 있다.

본 실험의 목표 금속인 In은 HCl 농도 2 M 이하부터 추출률이 급격히 상승해서 HCl 농도 0.5 M에서 99.0%가 추출 되었으며, 0.05 M HCl에서는 약 100%의 In이 추출되는 것을 확인하였다. 한편, 모사용액에 함유되어 있는 금속 중 두 번째로 추출률이 높은 Ga의 경우, 0.5M HCl의 조건에서 추출률이 급격히 상승하여 46.5%의 추출률을 나타내었다. 이러한 Ga의 상승은 In이 99% 추출 되면서 반응에 참여 하지 않은 추출제와 Ga의 반응에 의해 나타나는 현상으로 판단된다. 금속들의 추출 경향을 알아보기 위하여 추출률이 높은 In과 Ga의 분배계수를 계산하였다.

Fig. 2 실선은 In과 Ga에 대한 HCl 농도별 분배계수를 나타낸 그래프이다. 분배계수는 두 상에 포함되어 있는 금속이온의 농도를 비교함으로써 추출의 정도를 나타낸다. Fig. 2 실선과 같이 In의 분배계수는 1 M 이하에서 급격하게 증가하지만 Ga의 분배계수는 In과 비교하여 변화폭이 크지 않음을 보여주고 있다. 즉, D2EHPA는 Ga과 In을 분리 하는데 효율적인 추출제가 될 수 있음을 알 수 있다. In의 추출률이 99.0%인 0.5 M HCl에서 In의 분배계수는 1150이며 Ga의 분배계수는 0.87이다. 그리고 In이 약 99.9% 추출되는 0.1 M HCl에서는 In의 분배계수는 3.92이며 Ga의 분배계수는 3.42이다. 한편 In이 100% 추출되는 0.05 M에서는 수상의 농도가 0이므로 분배계수는 계산할 수 없다. 각 물질의 분배계수를 이용하여 분리인자를 계산하였다.

Fig. 2 점선은 HCl 농도별 분리인자를 나타내었다. 분리인자는 두 물질의 분리 정도를 나타내며 값이 커질수록 두 물질의 분리에 유리함을 보여준다. HCl의 농도가 감소할수록 두 물질의 분리인자는 3.9, 0.5, 13, 20, 115, 334로 증가하여 분리 정도는 HCl의 농도와 반비례함을 알 수 있으며, D2EHPA는 In과 그 외 물질이 혼합되어있는 용액으로부터 In을 선택적으로 추출하는데 유리한 추출제임을 알 수 있다. 상기 결과를 바

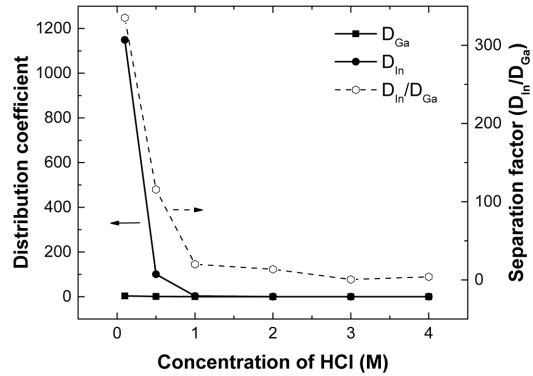


Fig. 2. Effect of HCl concentration on distribution coefficient of In and Ga using 1.0 M D2EHPA, and O/A ratio = 1.

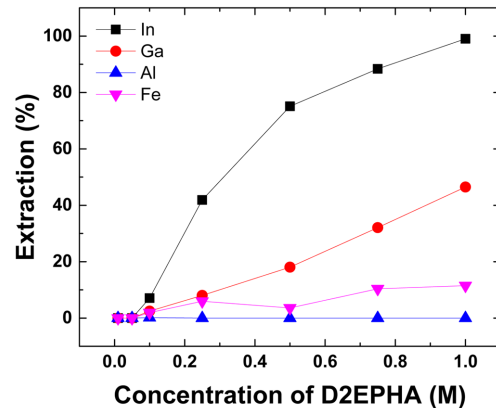


Fig. 3. Effect of D2EHPA concentration on extraction efficiency of metals using 0.5 M HCl, and O/A ratio = 1.

탕으로 In 추출률이 99.0%인 0.5 M HCl농도 조건을 고정하여 추출제의 농도별 실험을 진행하였다.

3.2. 추출제 (D2EHPA) 농도에 따른 In 추출 경향

D2EHPA의 농도 변화에 따른 In 추출 경향을 알아보기 위하여 추출제의 농도를 0.01, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1 M로 변수로 하여 0.5 M HCl 농도의 동일한 조건에서 실험을 실시하였다. Table 2에서는 용매 추출 후 수상에 잔존하는 물질의 농도를 나타내었으며, 그 결과를 이용하여 추출률을 Fig. 3에 나타내었다. D2EHPA의 농도가 증가함에 따라 추출률도 증가하며 특히 In의 증가폭이 큼을 알 수 있다. D2EHPA의 농도 변수 실험에서도 Fe, Al이 미량 추출되었으며 조건

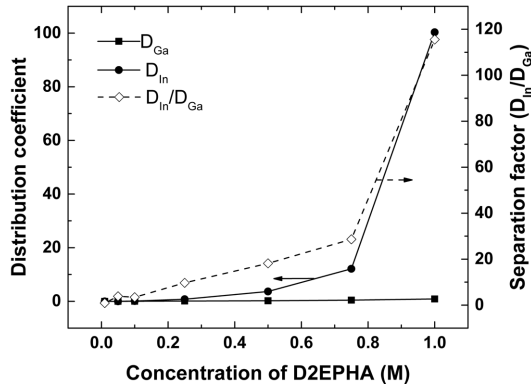


Fig. 4. Effect of D2EHPA concentration on distribution coefficient of In and Ga using 0.5 M HCl, and O/A ratio = 1.

Table 3. Chemical composition of raffinate using 0.5 M HCl, and O/A ratio=1.

	Ga	In	Al	Fe
0.01 M D2EHPA	690	1149	230	543
0.05 M D2EHPA	690	1149	230	543
0.1 M D2EHPA	674	1064	230	532
0.25 M D2EHPA	639	646	230	513
0.5 M D2EHPA	575	247	230	525
0.75 M D2EHPA	485	88	230	490
1.0 M D2EHPA	369	11	230	481

에 대한 변화 역시 크지 않음을 알 수 있다.

Fig. 4는 D2EHPA의 농도에 따른 분배 계수 및 분리인자에 대한 그래프를 나타내었으며, 추출률이 상대적으로 높은 In과 Ga에 대해서만 결과를 나타내었다. 그 결과 D2EHPA의 농도가 증가함에 따라 In의 분배 계수 및 분리인자가 증가하는 경향성을 나타내고 있으며, 두 물질의 분배계수 및 분리인자 차이는 D2EHPA 농도 증가에 비례함을 알 수 있다(Fig. 4). 즉, In 이온만이 함유된 고순도 수용액을 제조하기 위해서는 D2EHPA를 이용한 용매추출이 적합하며 상기 두 실험 결과를 바탕으로 추출과 역추출을 반복하였을 경우 상대적으로 분배계수가 가장 높은 In의 순도는 반복 횟수와 비례하여 증가할 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 In이 함유되어 있는 제조용액으로부터

In을 선택적으로 분리하여 고순도 In 함유 수용액을 제조하기 위한 기초 실험으로 D2EHPA를 추출제로 이용하여 용매추출 실험을 진행하였다. In, Ga, Al, Fe이 포함되어 있는 용액을 제조 한 후 용매추출 실험한 결과 다른 물질에 비해 In의 추출률, 분배계수, 분리인자 값이 크게 나타났으며, O/A=1, 0.5 M HCl, 1.0 M D2EHPA 조건을 기준으로 99% 추출률을 얻을 수 있었다. 추출률이 비교적 높은 In과 Ga의 추출 경향을 비교해본 결과, D2EHPA를 이용하여 In을 Ga으로부터 선택적으로 추출할 수 있으며, 분리 인자는 0.5 M HCl, 1.0 M D2EHPA 조건을 기준으로 115로 나타났고 HCl 농도의 감소 및 추출제 농도의 증가에 비례함을 확인하였다. 본 연구는 실제 In 함유 산업폐기물로부터 습식공정을 통해 In 금속을 회수하기 위한 전처리 공정의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원의 “에너지기술개발 사업(과제번호: 20135020100930)”의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- Kim JG., 2012: *Investigation on recycling in material flow on indium demand industry*, J. Kor. Powd. Met. Inst, 19(1), pp. 72-78.
- Kinoshita T, et al., 2011: *Selective recovery of gallium with continuous counter-current foam separation and its application to leaching solution of zinc refinery residues*, Sep Purif Technol, 78(2), pp. 181-188.
- <http://www.energy-news.co.kr/news/articleView.html?idxno=5564>
- Ko KY, Park JH., 2011: *Dissolution Behavior of Indium in CaO-SiO₂-Al₂O₃ Slag*, Metall Mater Trans B, 42(6), pp. 1224-1230.
- Lee J, Kim S, Shin D., 2014: *Electrodeposition of Iron in HNO₃ Solution Containing Iron Dissolved from Copper Slag*, J Electrochem Soc, 161(14), pp. 719-724.
- Kim S, Seo B, Son S., 2014: *Dissolution behavior of cobalt from WC-Co hard metal scraps by oxidation and wet milling process*, Hydrometallurgy, 143, pp. 28-33.
- Swain B, et al., 2015: *Recycling process for recovery of gallium from GaN an e-waste of LED industry through ball milling, annealing and leaching*, Environ Res, 138, pp. 401-408.

8. Swain B, et al., 2015: *Recycling of metal-organic chemical vapor deposition waste of GaN based power device and LED industry by acidic leaching: Process optimization and kinetics study*, *J Power Sources*, 281, pp. 265-271.
9. Park K, et al., 2014: *Study on leaching behavior for recovery of Ga Metal from LED scraps*, *Appl. Chem. Eng.*, 25(4), pp. 414-417.
10. Choi Y, et al., 2014: *Method for making high purity gallium by electrowinning*, *J. of Korean inst. of Resources Recycling*, 23(6), pp. 62-67.
11. Liu L, et al., 2014: *The influence of impurities on Ga electrowinning: Vanadium and iron*, *Hydrometallurgy*, 146, pp. 76-81.
12. Kim SG, Lee HY, Oh JK., 2000: *Recovery of gallium from zinc residues by solvent extraction*, *J. of Korean inst. of Resources Recycling*, 9(3), pp. 29-36.
13. Gupta B, et al., 2007: *Extraction and recovery of Ga (III) from waste material using Cyanex 923*, *Hydrometallurgy*, 87(1), pp. 18-26.
14. Swain B, et al., 2006: *Separation of cobalt and lithium from mixed sulphate solution using Na-Cyanex 272*, *Hydrometallurgy*, 84(3), pp. 130-138.
15. Das D, et al., 2015 : *Effect of Nature of Organophosphorous Acid Moiety on Co-extraction of U (VI) and mineral acid from aqueous solutions using D2EHPA, PC88A and Cyanex 272*. *Hydrometallurgy*, 152, pp. 129-138.
16. Ahn H, et al., 2014: *Recovery of Li from the Lithium Containing Waste Solution by D2EHPA*, *J. of Korean inst. of Resources Recycling*, 23(5), pp. 21-27.
17. Park K, et al., 2014: *Leaching behavior of Ga and In from MOCVD dust*, *J. Kor. Powd. Met. Inst.*, 21(3), pp. 202-206.
18. Flett D., 1999: *New reagents or new ways with old reagents*, *J Chem Technol Biotechnol*, 74(2), pp. 99-105.
19. Thakur N., 1998: *Extraction studies of base metals (Mn, Cu, Co and Ni) using the extractant 2-ethylhexyl 2-ethylhexyl phosphonic acid*, *PC 88A*, *Hydrometallurgy*, 48(1), pp. 125-131.
20. Jiayu Yang, Christian Ekberg, and Teodora Retegan, 2014: *Optimization of Indium Recovery and Separation from LCD Waste by Solvent Extraction with Bis(2-ethylhexyl) Phosphate (D2EHPA)*, *Int. J. Chem. Eng.*, 2014, pp. 1-9.

임 병 용



- 울산대학교 첨단소재공학부 석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 연구원

Basudev swain



- 충남대학교 고분자공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원

이 찬 기



- 일본 큐슈대 물질이공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 수석연구원

박 재 량



- 충남대학교 공업화학과 석사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원

박 경 수



- 고려대학교 신소재공학과 공학박사
- 현재 고등기술연구원 신소재공정센터 선임연구원



심종길

- 강릉대학교 재료공학과 학사
- 현재 (주)엔코 기업부설연구소 차장



박정진

- 부산대학교 환경공학과 공학박사
- 현재 (주)엔코 기업부설연구소 연구 소장(이사)

《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~X 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
IX: 통권 제87호~제98호, X: 통권 제99호~제110호)
- * 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)
- * 리사이클링백서(자원재활용백서, 2014년) 435쪽, 價格 : 35,000원, 발행처-S&M미디어(주)