J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 26, No. 4, 2017, 50-55
https://doi.org/10.7844/kirr.2017.26.4.50
pISSN : 1225-8326 eISSN : 2287-4380

≫ 연구논문 ≪

인듐 수산화물($In(OH)_3$)의 공동침전을 이용한 미량의 중금속 회수 및 분석방법 연구

권슬우 · 손성훈 · 이만승* · §남상호

국립목포대학교 화학과, *국립목포대학교 신소재공학과

A Study on Co-precipitation of Indium Hydroxide ($In(OH)_3$) for the Recovery and Determination of Trace Heavy Metals

Seul-woo Kwon, Seong-Hun Son, Man Seung Lee* and §Sang-Ho Nam

Department of Chemistry, Mokpo National University, Jeonnam 58554, Korea
**Department of Advanced Materials Science & Engineering, Mokpo National University, Jeonnam 58554, Korea*

요 약

복잡한 모체를 갖는 시료에 존재하는 미량의 원소들은 모체방해효과로 인하여 분석이 어렵다. 따라서 시료모체로부터 미량의 원소들을 분리해서 분석할 수 있다면 그 방해 요인을 줄일 수 있어 분석에 많은 도움이 된다. 시료모체와 미량의 원소들을 분리하기 위하여 인듐 수산화물($In(OH)_3$)을 이용하여 시료 내에 존재하는 미량의 원소들을 공동침전시킴으로서 분석물질을 분리시킨 후에 유도 결합 플라즈마-원자 방출 분광법을 이용하여 분석하는 방법에 대한 연구를 하였다. 이 연구에서는 공동침전의 발생과 회수율을 높일 수 있는 최적의 조건을 실험을 통해 설정하였다. 공동침전물을 석영섬유필터를 사용하여 걸러내고, 공침이 발생하는 시료의 pH를 9.5로 조정하였다. 또한 필터의 침전물을 ICP-AES로 측정하기 위해 질산 30% 용액에 1분 동안 담궈 침전물을 녹였고, 침전물이 녹은 질산용액은 온도변화 없이 농축을 진행하는 최적의 조건을 설정하였다. 이 최적조건을 소금시료에 적용하여 분석한 결과, 신안 증도에서의 소금에서는 중금속이 거의 검출 되지 않았지만 전남 영광 소금의 경우 카드뮴을 제외하고 여러개의 중금속이 미량 검출되었다.

주제어 : 공동침전, 인듐 수산화물, 유도 결합 플라즈마-원자방출분광법, 중금속

Abstract

Determination of trace elements in a sample including complicated matrix is very difficult due to the interference by the matrix. Therefore, if the trace elements can be separated from the complex sample matrix and determined, the interference effects can be reduced, and it is very helpful for the overall analysis. In this study, the analytes of trace elements were separated from the sample matrix by co-precipitation with trace elements using indium hydroxide ($In(OH)_3$), then detected by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometer (ICP-AES). Above all, the optimal conditions for the co-precipitation of elements with indium hydroxide were experimentally established. At last, salt was analyzed by the developed analytical method. No heavy metals were not found in Shinan Jeungdo salt, but trace amounts of several heavy metals except for cadmium were found in Cheonnam Yongkwang salt.

Key words : co-precipitation, Indium hydroxide, Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy, heavy metal

· Received : June 1, 2017 · Revised : June 13, 2017 · Accepted : June 30, 2017

§ Corresponding Author : Sang-Ho Nam (E-mail : shnam@mokpo.ac.kr)
Department of Chemistry, 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.

1. 서 론

중금속은 화학적으로 비중 4.0 이상의 무거운 금속을 일컫는다. 생체내로 흡수되면 생체 내 물질과 결합하여 분해 및 배출되지 잘 되지 않는 유기 복합체를 형성하기 때문에 몸 밖으로 배출되지 않고 간장, 신장, 등의 장기나 뼈에 축적되는 성질이 강하다. 특히 비소(As), 구리(Cu), 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크로뮴(Cr)과 같은 중금속은 낮은 농도에도 건강장해를 유발할 수 있는 원소이다[1].

중금속이 체내에 일정농도 이상 존재하거나 미량이라도 장기적으로 노출되면 체내에서 배출되지 않고 축적되어 위험하다. 이러한 이유 때문에 많은 나라들은 식품, 식재료를 수출입 하거나 국내에 유통을 할 때 식품의 중금속 함량을 분석하여 국민의 안전을 보호 하고 있다. 그러나 현재 소금과 같이 모체환경이 복잡한 시료 내 중금속을 분석하는 분석방법에는 많은 문제가 있다. 그 이유는, 소금은 99.9% 염(NaCl)으로 이루어져있는데, 유도결합플라즈마-원자방출분광기(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy)를 이용하여 분석할 시에 모체에 의한 분석 방해 뿐만아니라 분석기기에 치명적 결함을 유발하는 문제점이 발생하게 된다. 그렇기 때문에 현재 소금을 분석할 때는 물이나 질산에 묽혀 ICP-AES로 원소를 측정하는데, 미량의 원소들은 검출이 되지 않는 문제점이 있다. 우리는 이러한 방법에서 나타나는 문제점을 해결하여 모체가 복잡한 소금 내 미량 중금속을 분리·분석하기 위한 방법을 연구하고자한다.

이 연구에서 우리가 사용하는 분석방법은 인듐 수산화물($In(OH)_3$)를 이용한 공동침전법으로 모체가 복잡한 시료 내의 중금속과 모체를 분리하여 ICP-AES로 측정하는 것이다. 시료내의 모체 효과에 의한 오차를 제거할 수 있어서 현재 사용되어지는 분석방법 보다 정확한 시료 내 중금속 분석을 할 수 있다.

2. 이 론

공동침전(공침법, coprecipitation)이란 용액에서 어떤 물질을 침전시킬 때, 단독으로는 침전하지 못하는 물질이 주 침전물과 함께 침전되는 현상이다. 이는 크게 두 가지 현상이 발생하는데 첫 번째로 단독으로 침전하지 못하는 물질이 주 침전물의 표면에 흡착하여 함께 침전되는 현상과, 두 번째로 침전물질이 폐쇄되어 공침되는 현상으로 나눌 수 있다[2].

이 실험에서는 주로 표면흡착이 발생하게 되는데, 단독으로 침전하지 못하는 tracer가 주 침전물인 carrier의 표면에 붙어 침전을 형성하게 된다. 이 때 carrier가 용해도가 적은 염(salt)의 형태일 때 흡착이 일어나는 이온의 상태에 도달하게 되어 공침이 발생한다. 이 현상은 젤 형태의 침전물과, 결정들이 육안으로 판별 될 수 있는 거정질 형태(macrocrystalline character)일 때 최적으로 나타나게 된다[3].

공침에는 인듐 수산화물과 더불어 다른 물질도 공침제로 사용할 수 있는데, 이 실험에 사용한 소금과 가장 비슷한 환경의 시료인 해수를 분석하였을 때 알루미늄 수산화물의 경우 카드뮴의 회수율이 20~50%로 낮았고, 20~30 mg 마그네슘이 같이 공침됨으로써 침전물의 최종부피가 증가하게 된다[4]. 이로써 상대적으로 중금속의 농도가 감소하는 현상이 발생하였나, 소듐 수산화물을 공침제로 사용하였을 경우 카드뮴의 회수율은 거의 완전하였으나 알루미늄 수산화물보다 더 많은 양의 마그네슘이 검출되는 문제점이 발생하였다[4]. 하지만 인듐 수산화물을 공침제로 사용하였을 때 해수에 존재하는 카드뮴을 완전히 회수할뿐 아니라 3~4 mg 정도의 소량의 마그네슘만이 검출되어 침전물의 최종부피 증가를 억제할 수 있었다[4]. 그러므로 이러한 문제점을 보완할 수 있는 인듐 수산화물을 공침제로 사용하였다.

3. 실 험

3.1. 시약 및 시료

실험에 사용한 모든 용기와 기구는 18.2 MΩ인 저항값을 갖는 3차 증류수를 사용하여 제조 및 세척하였다. ICP-AES에 대한 검정곡선을 만드는 표준용액은 한국표준과학연구원에서 제조한 1000 mg/kg Cr, Cu, Ni, As, Cd, Pb의 저장용액을 각 농도로 희석하여 제조하였다. 공동침전을 위한 공침제로 사용한 인듐 수산화물 제조는 Sigma-Aldrich사 Indium (≥99.999%)를 사용하였고, Sodium Chloride (NaCl, ≥99.5%)는 대정화금 주식회사, 유기물 분해를 위한 전처리 과정에서의 질산(HNO_3, ≥70%)은 Sigma-Aldrich사의 것을 사용하였다.

소금 시료는 신안 증도와 전남 영광에서 채취한 천일염을 사용하였다.

Table 1. The operating parameters of ICP-AES

Power	1400 W
Pump speed	30 rpm
Argon gas flow rate Coolant flow Auxiliary flow Nebulizer flow Run time Sampling rate Integration interval	 12 L/min 1.0 L/min 0.8 L/min 500 s 2.0 Hz 500 ms
Nebulizer	Cross flow

Table 2. The selected wavelength

Element	Wavelength (nm)
Cr	267.716
Cu	324.754
Ni	231.604
As	189.042
Cd	214.438
Pb	220.353

3.2. 분석기기 및 조건

소금 내 미량 중금속 함량 분석을 위해 ICP-AES (Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer, Arcos, Spectro, Germany)를 사용하였다. ICP-AES의 운영조건은 Table 1, 원소 별 선택 파장은 Table 2에 나타내었다.

3.3. 실험 방법

부피 플라스크(100 mL)에 소금 3 g을 넣은 후 공침제인 인듐용액 1 mL를 넣어준 후, 최종 시료의 무게가 50 g이 되도록 3차 증류수를 가하고 교반시켜 시료가 잘 섞이도록 한다.

이 용액을 1 M NaOH와 1 M HCl로 pH를 9.5로 조절한 후, 30분간 교반시키면 인듐 수산화물($In(OH)_3$) 침전이 형성된다. 형성된 침전은 감압기를 이용한 석영필터를 이용하여 거른다. 걸러진 침전물을 40°C 오븐에서 하루 건조한 후, 건조된 침전물을 질산 30% 용액을 사용하여 녹인다. 이 용액을 가열판을 이용하여 가열하여 1 mL가 되도록 농축시킨 후, 최종부피가 20 mL가 되도록 3차 증류수를 가하여 시린지 필터로 거른 후 50 mL 튜브에 옮긴다. 이후 ICP-AES를 이용하여 시료 용액을 측정한다. 표준용액의 Cr, Cu, Ni, As, Cd, Pb 각각 원소들의 1, 2, 10, 20, 100 mg/kg 의 농도범위로 측정하여 검정곡선을 그려 중금속들의 농도를 측정하였다. 이 때 측정되는 농도는 환산농도로, 사용하는 시료의 무게를 사용하여 최종농도를 결정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. pH 변화에 따른 중금속의 공침 회수율

pH의 변화에 따른 성분 원소들의 회수율을 알아보기 위하여 시료용액의 pH를 각각 8.0, 8.5, 9.5, 10로 하고, 실험방법을 동일하게 한 후 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3의 결과 값은 각각의 시료를 3번씩 측정하여 평균을 낸 값이다.

As, Cu, Cr은 pH 8에서 가장 좋은 회수율을, Ni, Cd, Pb는 pH 9.5에서 가장 좋은 회수율을 보였다. 전체적으로 비교했을 때 $In(OH)_3$의 공침회수율이 가장 높은 pH 농도는 9.5이다.

4.2. 필터 종류에 따른 중금속의 공침 회수율

필터 종류에 따른 중금속의 회수율을 알아보기 위하여 종이필터, 유리섬유필터, 석영섬유필터를 이용하고 나머지 실험방법을 동일하게 한 후 분석한 결과를 Table 4에 나타내었다. As의 회수율은 유리섬유필터에서 76.0%로 가장 높은 값을 보였다. Cu, Cr, Ni, Cd 그리고 Pb의 회수율은 석영섬유필터에서 가장 높은 회수율을 보였다. 전체적으로 비교했을 때 $In(OH)_3$의 공침회수율이 가장 높은 필터는 석영섬유필터이다.

4.3. 교반 시간에 따른 중금속의 공침 회수율

Indium hydroxide 형성을 위한 교반 시간에 따른

Table 3. Recovery Efficiencies of heavy metals by co-precipitation with Indium hydroxide at the different pH

	pH 8 (%)	pH 8.5 (%)	pH 9.5 (%)	pH 10 (%)
As	72.4 ± 0.4	41.7 ± 0.2	71.5 ± 0.4	67.6 ± 0.1
Cu	78.7 ± 0.9	44.2 ± 0.1	77.8 ± 0.5	73.9 ± 0.2
Cr	71.8 ± 0.8	40.2 ± 0.2	70.7 ± 0.4	67.2 ± 0.2
Ni	28.6 ± 0.3	34.9 ± 0.1	67.7 ± 0.3	64.5 ± 0.2
Cd	28.4 ± 0.3	38.3 ± 0.1	69.9 ± 0.3	66.3 ± 0.2
Pb	69.7 ± 0.4	40.5 ± 0.2	69.8 ± 0.2	65.8 ± 0.2

Table 4. Recovery of heavy metals by three kinds of filters

	종이필터 (%)	유리섬유필터 (%)	석영섬유필터 (%)
As	72.2	76.0	72.9
Cu	77.9	80.8	93.7
Cr	70.4	78.6	83.5
Ni	65.6	72.6	82.0
Cd	64.4	73.9	79.5
Pb	65.7	76.3	85.2

Table 5. Recovery of heavy metals with the different stirring time

	10 min (%)	20 min (%)	30 min (%)	45 min (5)
As	73.5 ± 0.2	76.8 ± 0.4	72.9 ± 0.2	75.7 ± 0.1
Cu	94.9 ± 0.5	96.2 ± 0.2	93.7 ± 0.2	94.6 ± 0.3
Cr	85.5 ± 0.8	84.8 ± 0.3	83.5 ± 0.4	82.9 ± 0.4
Ni	83.7 ± 0.7	82.8 ± 0.3	82.0 ± 0.3	81.3 ± 0.4
Cd	81.6 ± 0.8	80.4 ± 0.3	79.5 ± 0.4	78.9 ± 0.4
Pb	87.8 ± 0.4	86.6 ± 0.2	85.2 ± 0.2	85.4 ± 0.3

중금속의 회수율을 알아보기 위하여 10, 20, 30, 45 분을 적용하고 나머지 실험방법을 동일하게 진행한 후 분석한 결과를 Table 5에 나타내었다. As와 Cu의 중금속 회수율은 교반 20 분에서 가장 높은 회수율을 보였고, Cr, Ni, Cd 그리고 Pb는 교반 10분에서 가장 높은 회수율을 보였다. 전체적으로 비교했을 때 $In(OH)_3$의 공침회수율이 가장 높은 교반 시간은 10분이다.

4.4. 담금시간에 따른 중금속의 공침 회수율

건조시킨 침전물을 질산에 녹일 때, 녹이는 시간에 따른 중금속의 회수율을 알아보기 위하여 1, 5, 10분을 적용하고 나머지 실험방법을 동일하게 한 후 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다.

모든 원소의 회수율이 건조된 필터를 질산에 1분 담그는 것이 가장 높은 것을 알 수 있다.

4.5. 질산 농도에 따른 중금속의 공침 회수율

침전물을 녹이는데 사용한 질산의 농도에 따른 중금속의 회수율을 알아보기 위하여 10%, 20%, 30% 농도의 질산을 사용하고 나머지 실험방법을 동일하게 한 후 분석한 결과를 Table 7에 나타내었다. Cu는 질산 20%에서 가장 높은 회수율을 보였고, 그 이외의 나머지 원소는 질산 30%에서 가장 좋은 회수율을 보였다. 전체적으로 비교했을 때 공침회수율이 가장 높은 질산 농도는 30%이다.

Table 6. Recovery of heavy metals with the different soaking time

	1 min (%)	5 min (%)	10 min (%)
As	81.0 ± 0.4	68.3 ± 0.2	74.5 ± 0.5
Cu	98.5 ± 0.4	87.9 ± 0.9	93.7 ± 0.1
Cr	83.1 ± 0.5	75.8 ± 1.1	81.5 ± 0.4
Ni	83.0 ± 0.5	75.2 ± 1.1	79.7 ± 0.3
Cd	78.8 ± 0.6	73.8 ± 1.1	77.3 ± 0.5
Pb	86.6 ± 0.6	79.7 ± 1.0	84.2 ± 0.5

Table 7. Recovery of heavy metals by the different nitric acid concentrations

	10% (%)	20% (%)	30% (%)
As	81.3 ± 0.5	81.5 ± 0.2	81.9 ± 0.3
Cu	112.3 ± 0.4	114.2 ± 0.6	111.6 ± 0.2
Cr	83.0 ± 0.7	86.1 ± 0.3	87.9 ± 0.1
Ni	86.2 ± 0.8	88.0 ± 0.2	88.7 ± 0.2
Cd	79.3 ± 1.3	81.2 ± 0.6	84.7 ± 0.1
Pb	92.0 ± 0.6	95.5 ± 0.3	95.6 ± 0.2

4.6. 온도 변화에 따른 중금속의 공침 회수율

$In(OH)_3$형성을 위하여 교반을 가할 때, 온도 변화에 따른 중금속의 회수율을 알아보기 위하여 나머지 실험방법을 동일하게 한 후 가열을 한 것과 가열을 하지 않은 것에 대한 비교 분석한 결과를 Table 8에 나타내었다. 모든 원소가 온도 변화를 주지 않은 방법에서 높은 회수율을 보였다.

Table 8. Recovery of heavy metals by the effect of heating

	Heating (%)	Non-heating (%)
As	79.7 ± 0.1	80.9 ± 0.2
Cu	107.5 ± 0.4	108.7 ± 0.1
Cr	82.2 ± 0.1	84.1 ± 0.5
Ni	84.5 ± 0.1	86.0 ± 0.5
Cd	78.6 ± 0.3	81.1 ± 0.1
Pb	91.0 ± 0.2	92.8 ± 0.5

4.7. 농축여부에 따른 중금속의 공침 회수율

위의 실험방법을 동일하게 한 후 건조시킨 침전물을 질산에 녹인 후 열을 가하여 농축을 시킨 방법과 농축을 하지 않는 방법을 분석한 결과를 Table 9에 나타내었다. Cu를 제외한 나머지 원소가 농축할 때 높은 회수율을 보였다. 전체적으로 비교했을 때 농축을 하는 방법의 공침회수율이 가장 높았다.

4.8. NaCl을 첨가한 용액에서의 중금속 공침 회수율

소금 시료를 측정하기 전, 소금과 비슷한 환경을 만들어 주기 위하여 소금 대신 NaCl을 첨가하여 최적의 조건을 적용한 방법으로 중금속의 공침 회수율을 분석한 결과를 Table 10에 나타내었다.

Table 9. Recovery of heavy metals by the effect of pre-concentration

	Preconcentration (%)	Non-preconcentration (%)
As	76.5 ± 0.8	69.1 ± 0.1
Cu	89.7 ± 0.9	90.3 ± 0.2
Cr	81.2 ± 0.8	76.3 ± 0.4
Ni	74.3 ± 0.7	65.8 ± 0.2
Cd	71.8 ± 0.6	63.7 ± 0.1
Pb	75.1 ± 0.7	66.4 ± 0.2

Table 10. Recovery of heavy metals in NaCl solution

Element	Recovery (%)
As	69.7 ± 0.5
Cu	91.1 ± 0.5
Cr	73.0 ± 0.1
Ni	76.3 ± 0.2
Cd	74.6 ± 0.6
Pb	76.5 ± 0.4

Table 11. Determination of heavy metals in salts

	전남 영광 (mg/kg)	신안 증도 (mg/kg)
As	1.160 ± 0.013	Nd
Cu	0.390 ± 0.003	Nd
Cr	0.236 ± 0.008	Nd
Ni	0.173 ± 0.005	Nd
Cd	Nd*	Nd
Pb	0.804 ± 0.003	Nd

*Nd: Not detected

4.9. 소금 시료 측정

최적의 조건을 이용하여 실제 소금시료에 적용하여 분석한 결과는 Table 11에 제시하였다.

5. 결 론

중금속의 공침 회수율을 높이기 위한 실험 결과, 최적의 조건은 pH 9.5, 석영섬유필터, 교반 시간 10분, 담금 시간 1분, 질산 농도 30%, 온도는 변화시키지 않고 농축하는 것이다. 이 최적의 조건을 이용하여 진행한 실험 결과, 신안 증도 소금에서는 중금속이 검출되지 않았다. 이에 반해, 전남 영광의 소금은 As 1.06 mg/kg, Cu 0.39 mg/kg, Cr 0.24 mg/kg, Ni 0.17 mg/kg, Pb 0.80 mg/kg의 중금속이 검출되었다. 비소(As)는 소금산업진흥법의 품질 검사 기준인 0.5 mg/kg 보다 2배 이상 검출되었다. 하지만 현재 소금의 중금속 분석 방법과 제한규정이 명확하지 않고, 비소(As)는 해로운 성질만 있는 것은 아니므로 비소(As)의 화학종분리로 어떤 화학종의 함유량이 높은지 분석해 볼 필요가 있다. 또한 NaCl을 첨가한 후 실행한 실험의 결과 회수율이 구리를 제외한 나머지 원소가 90%에 도달하지 못하는 점으로 보아 소금 시료 측정 시에 검출된 중금속의 농도 보정이 필요하다. 현재 우리는 소금시료에만 공동침전법을 적용하여 원소들을 분석하였지만 소금에만 국한되지 않고 더 나아가 모체가 복잡한 다른 물질에도 공동침전법을 접목시켜 중금속 분석에서의 모체방해를 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

우리가 진행한 공동침전법 실험은 현재 참고문헌에 기재되어있는 방법을 간소화 하고자 여러 가지 시도를 하여 보정해나간 실험이다. 앞으로 보정의 과정을 더 거치고 완성도 높은 실험을 실행할 수 있는 방법이 만들어 진다면 다양한 분야의 시료 분석에 적용될 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단에서 지원하는 개인연구지원사업(NRF-2016R1A2B4013489)으로부터 연구비를 지원받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

1. Ae-Kyung Kim, Sung-Ja Cho, Gae-Eun Kwak, Jin-Young Kum, Il-Young Kim, Jung-Hun Kim, and Young-Zoo Chae, 2012 : Heavy Metal contents and Safety Evaluation of Commercial Salts in Seoul, J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 41(1), pp.129-135.
2. G. H. Geffery, J. Bassett, J. Mendham, and R. C. Denney, 1989 : Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis, 5th Ed., Longman Scientific & Technical, pp.422-427.
3. I. M. Kolthoff, 1932 : “Theory of coprecipitation.” The formation and properties of crystalline precipitates, J. Phys. Chem. 36(3), pp.860-881
4. Masataka Hiraide, Tetsumasa Ito, Masafuml Baba, Hiroshi Kawaguchi, and Atsushi Mizuiki, 1980 : Multielement Preconcentration of Trace Heavy Metals in Water by Coprecipitation and Flotation with Indium Hydroxide for Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectromerty, Anal. chem 52, pp.804-807.
5. Yun-Bok Hwang, 1999 : A study on the Analysis of Trace Amount of Phosphate in Water by Coprecipitation with Indium, The 45th national science exhibition.
6. Daniel C. Harris, 2011 : Quantitative Chemical Analysis 8th Ed., W.H. Freeman and Company, New York.
7. Dean Johnson, 2010 : Determination of Metals in a 3% Sodium Chloride (NaCl) matrix by Axially-viewed ICP-OES, Agilent technologies Inc.
8. Masataka Hiraide, Zou-sheng Chen, and Hiroshi Kawaguchi, 1991 : Coprecipitation of Traces of Heavy Metals with Indium hydroxide for Graphite-Furnace Atomic Absorption Spectrometry, Analytical sciences 7, pp.65-68.
9. Masataka Hiraide, Hiroshi Hommi, and Hiroshi Kawaguchi, 1991 : Coprecipitation of Copper(II)-Humic Complexes with Indium Hydroxide, Analytical sciences 7, pp.169-171.

권 슬 우

• 목포대학교 화학과 학사
• 현재 목포대학교 화학과 석사과정

손 성 훈

• 목포대학교 화학과 학사
• 현재 목포대학교 화학과 석사과정

이 만 승

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

남 상 호

• 현재 목포대학교 화학과 교수