

## 유도결합 플라즈마 원자방출 분광법에 의한 아연광 중 Ga 및 In의 분석에 관한 연구

황운옥<sup>†</sup> · 심상권 · 성학제 · 양명권  
한국자원연구소 기기분석연구그룹  
(1993. 2. 5 접수)

### Studies on Analysis of Gallium and Indium in Zinc Ores by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry

Youn-Ok Hwang<sup>†</sup>, Sang-Kwon Sim, Hack-Je Sung and Myung-Kwon Yang

*Instrumental Analysis Group, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejeon 305-350, Korea*

(Received Feb. 5, 1993)

**요약** : 아연광 중 미량으로 존재하는 갈륨 및 인듐을 유도결합 플라즈마 원자방출분광법(ICP-AES)으로 분석할 때 간섭하는 아연 및 다른 이온들과 특히 Fe(III) 이온으로부터 이들을 분리하는 방법에 대해 연구하였다. 갈륨과 인듐을 tributyl phosphate(TBP)로 용매추출하였는데 이때 영향을 주는 산농도, 다른 이온들의 간섭, 수용액상/유기상의 비율, TBP의 농도 및 탈거율 등에 대하여 조사하였다. 갈륨과 인듐이 함유되어 있는 아연광을 녹인 5N 염산용액에서 100% TBP로 추출하여 아연 및 기타 간섭이온들로부터 분리하였으며, 이때 철(III)이온은 hydroxylamine hydrochloride를 사용하여 Fe(II)로 환원시켜 coextraction되는 것을 방지하였다. 유기상으로부터 갈륨과 인듐의 탈거는 0.02N 염산용액으로 역추출하여 이루어졌으며 이 용액을 ICP-AES로 측정하여 이들을 정량하였다. 전체적인 추출률이 95% 이상으로 정량적이었다.

**ABSTRACT** : The separation of gallium and indium from the matrix elements such as zinc and other ions, especially from Fe(III) ion was studied for the determination of trace level of them in zinc ores and zinc blends by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry(ICP-AES). Gallium and indium were extracted from the sample solution with a solvent of tributyl phosphate(TBP). The type and concentration of acid, interferences of other ions, the ratio of aqueous phase to organic phase, TBP concentration, stripping efficiency were optimized for the effective extraction. Gallium and indium were separated from other ions in the 5N hydrochloric acid solution of the samples by the extraction with 100% TBP. In this time, Fe(III) was reduced to Fe(II) with hydroxylamine hydrochloride to prevent its coextraction prior to the main extraction. After stripped from organic phase by the back-extraction with 0.02N HCl, they were determined in the aqueous phase by ICP-AES. This method was known to be quantitative from the overall extraction of more than 95%.

**Key Words** : Zinc ores, gallium, indium, tributyl phosphate, extraction, hydroxylamine hydrochloride

## I. 서론

최근 전자 및 반도체분야의 눈부신 발전으로 그 용도가 증가함에 따라, 갈륨 및 인듐의 산업적 수요가 증대되고 있다. 이들 수요를 충족시키기 위하여 부존자원의 개발 및 부산물로부터의 회수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>1-6</sup>. 갈륨이나 인듐은 지구상에 널리 분포되어 있으나 단독광물을 형성하기보다는 아연광, 유화광물 및 산화광물 중에 미량으로 존재하므로<sup>7,8</sup> 이들 광물로부터 회수해야 한다. 이를 위해 광물 중에서 갈륨과 인듐을 정확히 정량하는 것이 필요하다.

현재까지 알려진 갈륨 및 인듐의 정량방법으로는 무게분석법, 비색법, 전기화학적 방법, 원자 흡수 분광법 및 유도 결합 플라즈마 분광법에 의한 방법 등<sup>1-6,9</sup>이 있는데, 최근에는 많은 원소에 대해서 고감도의 검출이 가능하며 넓은 농도범위에서 다원소분석이 가능한 유도결합 플라즈마 원자방출분광법(ICP-AES)이 금속 원소들의 분석에 많이 이용되고 있다. 이 방법에 의한 갈륨과 인듐의 분석시 감도는 좋으나 시료를 직접 분석하기에는 부적합하다. 특히, 아연광 중에 미량으로 함유되어 있는 갈륨과 인듐을 직접 분석할 때 매트릭스원소에 의한 방해영향을 받으며, 특히 Fe(III) 이온에 의해서는 큰 영향을 받는다. 따라서 이들 원소들의 방해영향 없이 갈륨과 인듐을 정량하기 위해서는 먼저 효과적인 분리 및 농축이 필요하다. 분리방법으로는 solvent extraction, coprecipitation(with potassium ferrocyanide, cupferron, ammonium hydroxide, ammonium sulfite, etc.), ion exchange method 등<sup>10-14</sup>이 많이 이용되고 있다.

Anil K. De 등<sup>1</sup>은 tributylphosphate(TBP)를 사용하여 갈륨, 인듐 및 탈륨을 분리한 후 비색법과 AAS로 이들 원소를 정량하였으며, S. B. Gawali 등<sup>2</sup>은 4-methyl-2-pentanol을 사용하여 갈륨과 인듐을 분리하였다. 그러나, 방해이온들의 영향에 대한 연구가 부족하고, 이 방법을 직접 아연광이나 기타 갈륨과 인듐을 미량 함유하고 있는 광물에 적용하기에는 문제점이 있었다.

따라서 본 연구에서는 tributyl phosphate(TBP)를 이용하여 아연광으로부터 갈륨과 인듐을 동시에 분리하기 위한 최적 조건을 찾는 데 중점을 두었다. 특히, 아연광 중에 주성분을 이루고 있으며 갈륨과 인듐의 분

리시 같이 추출되어 방해영향을 많이 주는 철(III)이온으로부터 효과적으로 분리하기 위한 방법을 모색하였다.

## II. 실험

### 1. 시약 및 장치

염산, 질산, 과염소산 및 황산은 영국 Avondale Lab.사의 특급시약을 사용하였으며, 플루오르수소산은 일본 Morita사의 전자급 시약을 사용하였다. 또, tributyl phosphate(TBP)는 J. T. Baker사의 제품을 사용하였다. 증류수는 Milli-Q 순수장치를 통과시킨 탈이온수를 사용하였다.

갈륨 1,000ppm 용액은 Ga 금속(Fisher사, 99.99%) 1g을 6N 염산 40ml에 녹여 증발 건조시킨 후, 다시 진한 염산 50ml를 넣고 서서히 가열하여 완전히 용해시킨 다음 최종 부피를 1L로 희석하여 만들었다.

인듐 1,000ppm 용액은 In 금속(Spec사, 99.99%) 1g을 6N 염산으로 용해하여 완전히 증발 건조시킨 후, 진한 염산 50ml를 넣고 가열하여 완전히 용해하여 최종 부피를 1L로 희석하여 만들었다.

방해이온들의 영향을 조사하기 위하여 사용한 각종 금속의 표준용액은 ICP용으로 제조된 1,000ppm(Spec사)의 표준용액을 희석하여 사용하였다.

1-nitroso-2-naphthol(Merck사)은 1:1 acetic acid(Hanawa사제)에 포화시켜서 실험에 사용하였다. 이외에 5% hydroxylamine hydrochloride(Hanawa사, 특급), 5% SnCl<sub>2</sub>, tartaric acid, benzene 등이 사용되었다.

사용한 ICP-AES 기기는 다색화검출장치가 장착된 Labtest사의 Labtam 3000과 Jobin Yvon사 제품으로서 Sequential형의 JY 38 Plus를 사용하였다.

### 2. 실험과정

본 연구에서는 먼저 아연광을 산분해법에 따라 분해하였으며 시료분해시 산농도의 영향, 시료용액내에 각종 산이 공존할 경우 이들의 영향에 대하여 연구하였으며, 아연광 속에 함유되어 있는 방해이온들의 영향에 대해서도 조사하였다. 또한, TBP로 갈륨과 인듐을 분리할 때 최대의 추출률을 얻기 위한 용매추출시 산농도의 영향, aqueous/organic phase ratio의 영향,

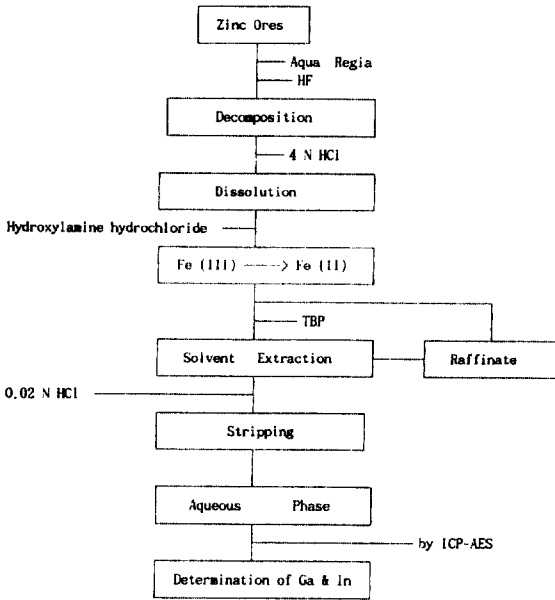


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental procedure for the determination of gallium and indium.

TBP 농도에 대한 영향 및 유기상으로부터의 갈륨과 인듐의 탈거시 사용하는 산농도에 대한 영향 등에 대하여 연구하였다. Fig. 1에 시료의 처리과정을 도시하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 각종 산농도에 대한 영향

각종 산농도를 변화시켜 가면서 갈륨과 인듐의 방출세기를 측정된 결과를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타내었다. 갈륨의 경우 염산, 질산, 과염소산 등으로 처리하였을 경우에는 산 농도에 관계없이 방출세기가 거의 일정하였으나, 황수나 황산의 경우 방출세기가 약하여 황산으로 처리하는 것은 부적합함을 알 수 있었다. 또한 인듐의 경우에는, 염산과 황수의 경우 가장 방출세기가 컸으며 산 농도가 증가함에 따라 방출세기도 증가함을 알 수 있었다. 따라서, 갈륨과 인듐을 동시에 측정하기 위해서 염산을 실험에 사용하였으며, 염산의 농도를 5 N로 조절하였다.

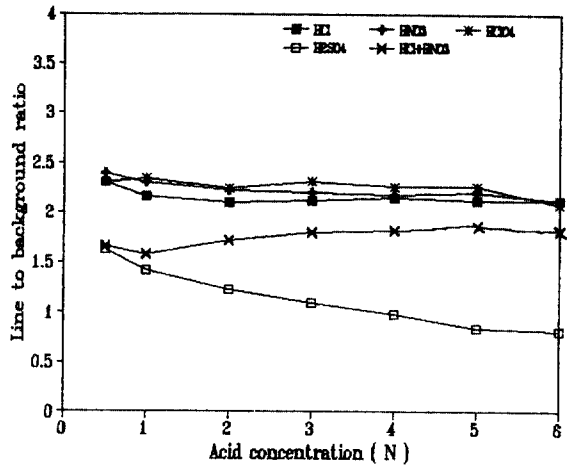


Fig. 2. Effects of various acids for 1ppm Ga

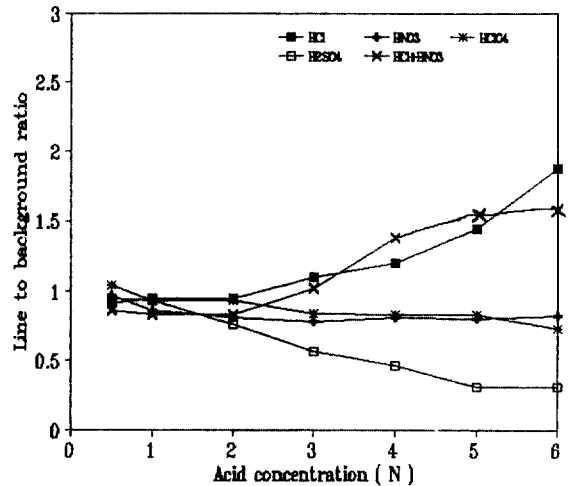


Fig. 3. Effects of various acids for 1ppm In

#### 2. 타 이온들의 영향

일정량의 갈륨과 인듐을 함유하고 있는 용액에 각종 타 이온들의 농도를 변화시켜 가면서 첨가한 후 갈륨과 인듐의 방출세기를 측정된 결과가 Table 1과 Table 2에 주어졌다. 이 결과를 살펴보면 갈륨의 경우 Fe, Mg, Mn, V, Cr, Ti 등의 원소가 존재할 때 방해를 많이 받

Table 1. Effects of diverse ions on recovery of 2ppm Ga in 4N HCl

(% change in response)

Diverse ion	Concentration (ppm)								
	10	100	500	1,000	2,000	5,000	10,000	20,000	50,000
Al (III)	0	0	2	2	3	12	21	38	
Fe (III)	2	10	27	47	85	168	290	475	
Cu (II)	0	5	6	7	7	9	11		
Pb (II)	2	4	6	7	8	10	12		
Zn (II)	0	0	0	0	1	3	6	9	16
Ca (II)	0	0	-1	-3	-6	-7	-7		
Mg (II)	3	30	107	162	242	305	342		
Mn (II)	7	10	69	139	280	653	1056		
Ba (II)	0	0	0	0	0	1	1		
Ni (II)	0	1	5	10					
Cd (II)	5	10	21	24	27	30			
Sn (II)	-3	-4	-7	-8					
Bi (III)	0	5	6	12					
Co (II)	0	0	5	13					
As (III)	-1	-5	9	-13					
Cr (VI)	5	7	31	58					

으며 기타 Al, Cu, Pb, Zn, Ca, K, Na, Ba, Ni, Cd, Sn, Bi, As 등의 원소에 대해서는 방해를 별로 받지 않음을 알 수 있다. 또한, 인듐의 경우 Al, Fe, Cu, Zn, Mg, Ba, Mn, Ni, Cd, Cr, Ti 등의 원소들에 의하여 방해로 심하게 받으며, Pb, Ca, K, Na, Sn, Bi, V, As 등의 원소에 대해서는 별로 방해받지 않음을 알 수 있다. 따라서 갈륨과 인듐에 대한 방해 이온들의 방해영향을 제거하기 위해서, 본 실험에서는 용매추출법을 이용하여 이들 방해 이온들을 제거하였다.

### 3. 산 농도에 대한 용매추출률

용매추출시 산 농도의 영향을 알아보기 위해 염산 농도를 0.5N 내지 6.0N까지 변화시켜 가면서 TBP로 2분간 추출하였다. TBP로 추출하였을 경우 갈륨은 염산 농도 2.0N 이상에서, 인듐은 염산 농도 4.0N 이상에서 99% 이상의 높은 추출률을 보였다. 이에 대한 결과를 Fig. 4에 도시하였으며, 이때의 distribution ratio

가 Table 3에 주어졌다. Ga, In을 동시에 추출하기 위해서는 염산농도를 4.0N 이상으로 조절하는 것이 효과적임을 알 수 있으며, 본 실험에서는 안정성을 고려하여 염산농도를 5.0N로 조절하였다.

수용액상과 유기상의 비율에 대한 추출률을 조사하여본 바, 유기상의 비율이 증가함에 따라 갈륨 및 인듐의 추출률이 증가하였으나, 철, 아연 등의 이온들도 같이 추출되는 경향이 있었으며, 이에 대한 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 도시하였다. 따라서 아연 등의 이온을 효율적으로 제거하면서 갈륨과 인듐의 추출률을 증가시키기 위해서, 수용액상/유기상의 상 비율을 2.5로 조절하였다.

또한, 아연광 중에 주성분을 이루고 있는 아연과 철이 용매추출시 효과적으로 제거되는지 알아보기 위하여 염산농도를 0.5N ~ 6.0N까지 변화시켜 가면서 TBP로 추출한 결과를 Fig. 7에 도시하였다. 아연의 경우에 염산의 농도가 증가함에 따라 아연의 추출률이

Table 2. Effects of diverse ions on recovery of 2ppm Ga in 4N HCl

(% change in response)

Diverse ion	Concentration (ppm)								
	10	100	500	1,000	2,000	5,000	10,000	20,000	50,000
Al (III)	1	1	1	2	10	20	39	73	
Fe (III)	5	27	120	234	365	770	1,280	1,930	
Cu (II)	1	2	7	17	33	79	145		
Pb (II)	0	0	0	1	1	2	3		
Zn (II)	0	0	1	3	10	28	53	80	190
Ca (II)	1	2	3	3	3	3	4		
Mg (II)	0	2	10	14	23	36	37		
Mn (II)	1	17	26	40	75	160	263		
Ba (II)	5	13	140	208	214	220	224		
Ni (II)	4	27	97	207					
Cd (II)	3	5	24	47	80	130			
Sn (II)	1	2	3	5					
Bi (III)	1	1	3	3					
Co (II)	1	26	114	248					
As (III)	0	-1	-1	-2					
Cr (VI)	1	3	11	22					

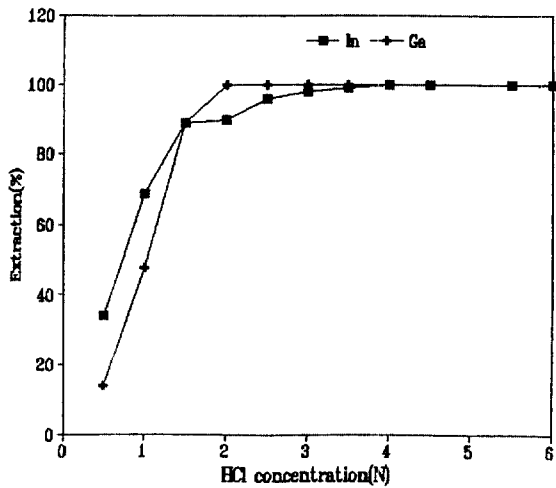


Fig. 4. Extraction curves of Ga & In for 100% TBP as a function of HCl concentration

Table 3. Distribution ratios for TBP extraction as a function of hydrochloric acid concentration

HCl Concentration (N)	Distribution Ratios	
	Ga*	In*
0.5	0.17	0.52
1.0	0.91	2.21
1.5	2.15	8.26
2.0	Complete extraction	8.62
2.5	"	24
3.0	"	82
3.5	"	499
4.0	"	Complete extraction
4.5	"	"
5.0	"	"
5.5	"	"
6.0	"	"

\* Ga : 5ppm, In : 5ppm, TBP : 100%

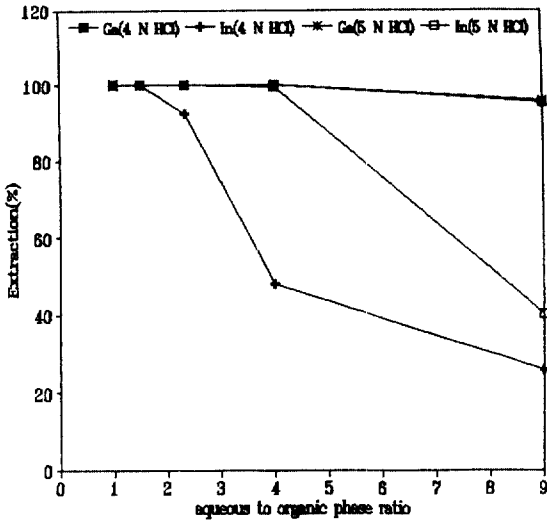


Fig. 5. Effects of aqueous to organic phase ratio on the extraction for Ga & In

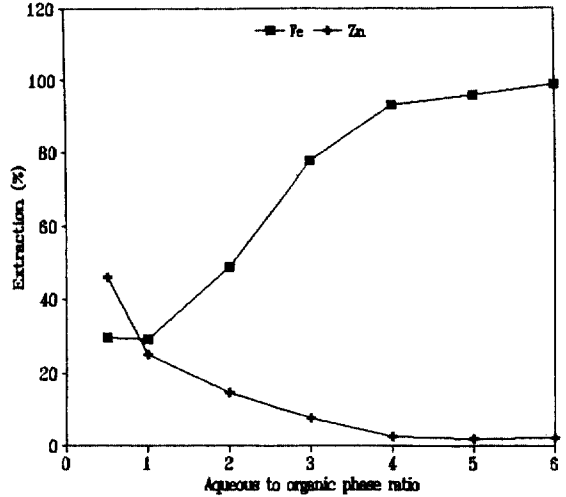


Fig. 7. Extraction curves of Fe & Zn with 100% TBP as a function of HCl concentration

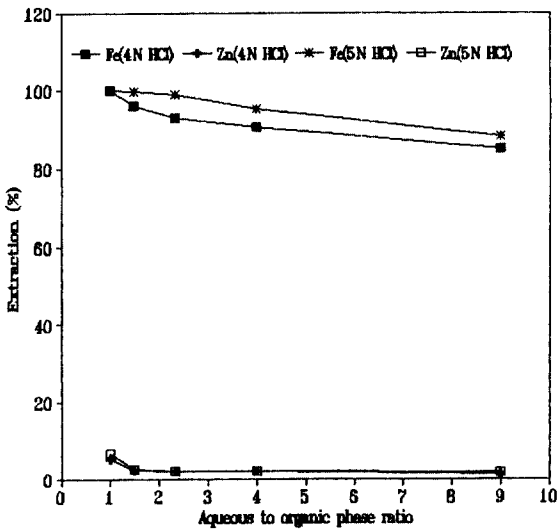


Fig. 6. Effects of aqueous to organic phase ratio on the extraction for Fe & Zn

점차로 감소되는 경향을 보였으며, 염산농도 4.0N 이상에서는 추출률이 2% 미만으로서 갈륨 및 인듐의 측정 방해영향을 주지 않을 정도로 존재하였다.

철의 경우를 보면, 갈륨이나 인듐과 같이 산농도가 증가할수록 추출률이 증가하여 염산농도 5.0 N 이상에서는 99% 이상이 추출되었다. 따라서 갈륨 및 인듐에는 영향을 주지 않으면서 철에 의한 방해영향을 제거하기 위하여 1-nitroso-2-naphthol과 같은 침전제를 이용하는 방법, H<sub>2</sub>S를 통과시켜서 철이온을 효과적으로 침전시키는 방법 및 hydroxylamine hydrochloride로 Fe(III)을 Fe(II)로 환원시키는 방안에 대하여 비교 검토하였다. 1-nitroso-2-naphthol을 사용하였을 경우 철이온을 선택적으로 침전시킬 수는 있으나 반응시간이 너무 많이 소요되고 침전물을 여과해야 하는 등의 번거로움이 있었다. 또한 H<sub>2</sub>S 기체를 통과시켜서 철을 황화물의 형태로 분리할 경우 철을 완전하게 분리함과 동시에 Cu, Pb 등의 이온도 동시에 분리할 수 있으나 조작이 불편하였다. 반면에 hydroxylamine hydrochloride를 사용하여 철이온을 환원시킬 경우 철을 효과적으로 분리할 수 있으면서 조작이 간편하여 신속하게 실험을 수행할 수 있었다.

4. TBP의 농도에 대한 영향

TBP의 농도변화에 대한 갈륨 및 인듐의 추출률을 조사하기 위하여 TBP의 농도를 변화시켜 가면서 갈륨 및 인듐의 추출률을 조사한 결과가 Table 4에 주어졌

Table 4. Distribution ratios of Ga and In as a function of TBP concentration

TBP Concentration(%)	Distribution ratios	
	Ga*	In*
5	0.13	---
10	4.55	0.19
15	10.26	0.54
20	80.05	0.80
25	Complete extraction	1.43
30	"	5.02
50	"	60.35
70	"	76.94
100	"	Complete extraction

\* Ga and In : 10ppm, diluent : benzene, HCl concentration : 5N

다. 이 결과를 살펴보면 갈륨은 농도가 25% 이상이면 완전히 추출되는 것으로 나타났으나, 인듐의 경우에는 TBP의 농도가 100%일 때에만 완전히 추출되었으므로 본 실험에서는 갈륨과 인듐을 동시에 추출하기 위해서 100% TBP를 사용하였다.

5. Stripping시 산 농도의 영향 및 탈거율

Stripping시 산 농도에 대한 영향을 조사하기 위해서 염산의 농도를 0 ~ 1.0N까지 변화시켜 가면서 3회에 걸쳐 stripping을 실시하였다. 첫번째 stripping에

서 Ga의 경우 대체로 탈거율이 낮았는데, 이는 용매추출시 염산의 농도가 5.0N로서 갈륨의 최적 염산농도 2.0N보다 높았기 때문인 것으로 생각된다. Ga이나 In의 경우 모두 대체로 염산농도가 낮을수록 탈거효율이 우수하였는데, Ga은 염산농도 0.02N에서 가장 탈거효율이 우수하였으며, In은 염산농도 0.2N 이하에서는 거의 일정한 탈거율을 보였다. 또한, 3회 정도의 stripping으로 Ga, In이 완전히 탈거되었으며, 그 결과가 Table 5에 주어졌다.

6. 아연정광 중에서 Ga 및 In의 정량

아연광내의 Ga, In의 함량은 수십 ppm에서 수백 ppm 정도로 미량 함유되어 있는 반면 주성분인 Zn을 비롯하여 S, Cu, Fe, Al 등이 다량 함유되어 있다. 따라서 아연광을 분해하여 직접 ICP에 주입하여 정량할 경우 이들 이온들의 스펙트럼겹침에 의한 방해가 매우 심각하다. 따라서 본 실험에서는 염산농도가 5N에서 TBP로 갈륨 및 인듐을 추출하여 Zn 및 기타 부성분들로부터 분리하였다. 이때 수용액 / 유기상의 상 비율은 2.5로 조절한 다음 6.0N HCl로 scrubbing하여 coextraction된 S 등의 다른 이온들을 제거하였다. 유기상으로부터 갈륨과 인듐의 탈거는 0.02N 염산용액에서 이루어졌으며 수용액의 산 농도를 5N로 조절한 다음, ICP-AES로 측정하여 갈륨 및 인듐을 정량하였다.

아연광 중에 아연 다음으로 많이 함유되어 있는 철은 TBP로 추출할 경우 갈륨 및 인듐과 같이 추출되어 ICP로 측정시 매우 심하게 방해를 하므로, hydroxyla-

Table 5. Effect of HCl concentration on the stripping of 5ppm Ga and In(ppm)

HCl Concn. after stripping(N)	Ga				In			
	1st	2nd	3rd	Total	1st	2nd	3rd	Total
0	1.84	2.94	0.13	4.91	3.78	1.08	0.04	4.90
0.01	1.02	3.50	0.40	4.92	3.15	1.65	0.14	4.94
0.02	0.83	3.03	1.09	4.95	2.56	2.14	0.24	4.96
0.05	0.51	0.76	0.25	4.52	2.05	2.14	0.77	4.96
0.10	0.44	0.25	2.32	4.01	1.73	2.72	0.49	4.94
0.20	0.23	0.25	2.04	3.52	1.23	3.15	0.57	4.95
0.50	0.13	1.14	2.03	3.50	0.96	3.32	0.53	4.81
1.00	0.11	1.00	0.17	3.28	0.56	3.65	0.42	4.63

Table 6. Comparison of spiking & nonspiking method for Ga & In

Element Sample	Gallium (ppm)		Indium (ppm)	
	not added	2ppm added	not added	5ppm added
삼 환	0.8	2.7	2.8	7.6
연 화	0.7	2.9	4.8	9.8
장 군	0.7	2.6	3.8	8.7
연 화 Zinc slime	0.6	2.5	10.4	15.2
호주 Broken Hill	1.4	2.3	4.4	9.4
Canada Faro	0.7	2.6	4.2	9.3
고려아연 ZnS 정광	0.8	2.9	4.6	9.7
고려아연 ZnS 소광	0.2	2.1	5.0	10.1
고려아연 Zinc Conc	1.0	2.9	1.4	6.2

mine hydrochloride를 사용하여 Fe(III)를 Fe(II)로 환원시켜서 TBP로 추출할 때 철 이온은 추출되지 않도록 한다. 또한, 시료처리에 있어서, 용매추출 및 탈거 단계에서 갈륨 및 인듐의 추출률 및 탈거율을 비교, 검토하기 위하여 시료용액내에 갈륨 및 인듐을 각각 2, 5ppm씩 spiking하여 동일하게 처리하여 정량한 결과를 Table 6에 나타내었으며, 아연광 중에 함유되어 있는 갈륨과 인듐의 함량을 Table 7에 나타내었다. 갈륨과 인듐의 회수율이 95% 이상으로 정량적이었다.

Table 7 Analytical results of Ga & In for various zinc ores & zinc blends

Element Sample	Gallium (ppm)	Indium (ppm)
삼 환	40	140
연 화	35	240
장 군	35	190
연 화 Zinc slime	30	520
호주 Broken Hill	70	220
Canada Faro	35	210
고려아연 ZnS 정광	40	230
고려아연 ZnS 소광	10	250
고려아연 Zinc Conc	50	70

#### IV. 결론

본 연구에서는 유도결합 플라즈마 분광법을 이용하여 아연광 중에 미량으로 함유되어 있는 갈륨과 인듐을 정량하기 위하여 TBP로 추출할 때 갈륨은 염산농도 2N, 인듐은 염산농도 4N 이상에서 99% 이상의 추출률을 보였으므로 갈륨과 인듐을 동시에 추출하기 위해서 염산농도를 5N로 조절하였다. 염산농도가 5N일 때 갈륨은 TBP의 농도가 benzene에서 25% 이상이면 완전히 추출되었으나 인듐은 TBP의 농도가 100%일 때에 완전히 추출되었다. 따라서 갈륨과 인듐을 동시에 추출하기 위해서 100% TBP를 사용하였으며, aqueous phase/organic phase의 비가 2.5일 때 가장 효과적으로 갈륨과 인듐을 추출할 수 있었다. 아연광의 시료용액 중에 존재하는 철이온의 경우에 있어서는 hydroxylamine hydrochloride를 사용하여 Fe(III) 이온을 Fe(II)로 환원시켜 추출할 때 철이온이 coextraction되는 것을 방지하였다. 유기상으로부터의 갈륨과 인듐의 탈거는 염산농도 0.02N에서 이루어졌으며 수용액상을 ICP-AES로 측정하여 갈륨과 인듐을 정량하였으며 추출률이 95% 이상이었다.

#### 감사의 글



본 연구는 동력자원부의 정부출연 연구비(1991년)에 의하여 이루어진 것임을 밝히며 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Anil K. De and Asit K. Sen, *Talanta*, **14**, 629 (1967).
2. S. B. Gawali and V. M. Shinde, *Anal. Chem.*, **48**(1), 62(1976).
3. G. N. Lypka and A. Chow, *Anal. Chim. Acta.*, **60**, 65(1972).
4. M. N. Chavan and V. M. Shinde, *Anal. Chim. Acta.*, **59**, 165(1972).
5. M. Tarek, M. Zaki and Akram M. Didamony, *Analyst*, **113**, 1277(1988).
6. H. K. L. Gupta, F. J. Amore and D. F. Boltz, *At. Absorption Newsletter*, **7**, 107(1968).
7. G. E. F. Lundell, H. A. Bright and J. I. Hoffman, "Applied Inorganic Analysis", p. 481, Wiley-Interscience Publication, U. S. A., 1964.
8. 한국동력자원연구소, 회유금속과 첨단기술, 1984.
9. P. G. Jeffery, "Chemical Methods of Rock Analysis", Vol. **4**, p. 175, Wiley-Interscience Publication, U. S. A., 1978.
10. D. T. Burns, A. Townshend and A. H. Carter, "Inorganic Reaction Chemistry", Vol. **2**, p. 172, Ellis Horwood Limited, England, 1981.
11. A. I. Vogel, "Textbook of Quantitative Inorganic Analysis", 4rd Ed., p. 143, Longmans, London, 1978.
12. R. A. Chalmers, "Handbook of Organic Reagents in Inorganic Analysis", p. 188, 1976.
13. Roland S. Young, "Seperation Procedures in Inorganic Analysis", p. 312, John Willey & Sons, New York, 1980.
14. J. Minxewski, J. Chwastowska and R. Dybczynski, "Seperation & Preconcentration Methods in Inorganic Trace Analysis", Ellis Horwood Limited, England, 1982.
15. R. K. Winge, V. A. Fassel, V. J. Peterson and M. A. Floyd, "An Atlas of Spectral Information", Elsevier Science Publisher, Netherlands, 1985.