

亞鉛製鍊殘渣의 알칼리 浸出에 의한 갈륨의 回收

*金成奎 · 李華永 · 吳鍾基

韓國科學技術研究院 金屬工程研究中心

Recovery of Gallium from Zinc Smelting Residues by Alkali Leaching

*Sung Gyu Kim, Hwa Young Lee and Jong Kee Oh

Metal Processing Research Center, Korea Institute of Science and Technology,

P.O. Box 131, Cheongryang, Seoul 130-650, Korea

요 약

아연제련잔사로부터 갈륨을 회수하기 위하여 NaOH용액을 사용한 알칼리 침출실험을 수행하였다. 실험결과 아연잔사를 NaOH용액으로 알칼리 침출할 경우 주로 침출되는 원소는 Zn, K 및 Si 등이며, Fe를 비롯한 여러 base metal들은 극히 미량만이 침출되기 때문에 용매추출 공정을 통해 용이하게 갈륨을 정제할 수 있다. 한편 알칼리 침출의 특징은 알칼리 농도가 증가할수록 그리고 광액농도가 낮을수록 갈륨의 침출율이 증가하며, 특히 침출에 앞서 아연잔사를 물로 세척하여 용해성 아연화합물을 미리 제거하면 알칼리 소모량을 상당히 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 대체로 갈륨의 적정 침출조건은 아연잔사를 물로 세척하여 용해성 아연화합물을 미리 제거하고 광액농도 333 g/L, NaOH농도 1~1.25 M/L로 하여 상온(25°C)에서 2시간 정도 침출하는 것이 효과적이며, 이 경우 약 80% 이상의 갈륨을 회수할 수 있다.

주제어 : 갈륨, 아연제련잔사, 수산화나트륨, 알칼리침출

ABSTRACT

A study on the recovery of gallium from zinc residues is carried out by alkali leaching using NaOH. The results show that in case of alkali leaching of zinc residues, Zn, K and Si are mainly leached out and Fe and other base metals are scarcely leached out, which results in that gallium is easily recovered by solvent extraction. The leaching efficiency of gallium increases with increasing alkali concentration and solid density. Especially, alkali consumption is considerably reduced by washing the zinc residues with water before leaching in order to eliminate the soluble zinc compounds. The gallium from zinc residues is found to be leached out with a recovery of 80% or higher for 2hrs leaching with 1~1.25 M/L NaOH solution and solid density 333g/L at 25°C.

Key words: Gallium, Zinc residues, NaOH, Alkali leaching

1. 서 론

갈륨은 원자번호 31번의 원소로 1875년 Boisbaudran에 의해 최초로 발견되었으며, 열적특성이 독특하여 금속으로서는 매우 낮은 용점(29.78±0.01°C)을 가지고 있으나 비등점은 2205°C로 상당히 높은 편이다. 갈륨은 금속원소임에도 불구하고 현재까지 금속자체로서의 용

도는 거의 없는 편이며 대부분이 GaAs 혹은 GaP 등의 화합물로 반도체 재료에 사용되고 있다. LED, laser diode, photo diode 및 solar cell 등의 광전소자는 GaAs 반도체가 사용되는 대표적인 예로써 이들은 주로 통신, 가전제품의 비균수용으로 사용되며, 처리속도가 빠르고 고온에서도 사용이 가능한 특징을 지닌 GaAs IC 제품은 주로 균수용으로 사용되고 있다.¹⁾ 이와 같은 갈륨은 다른 원소와는 달리 자연상태에서 농집되어 존재하지 않는 것이 특징이며 알루미늄의 원료인 Bauxite

* 2000년 1월 21일 접수, 2000년 5월 8일 수리

* E-mail: sukim@kist.re.kr

와 아연광인 Sphalerite 등에 30 ppm 내지 50 ppm 정도로 함유되어 있는데, 이들 원료로부터 직접 갈륨을 회수할 수는 없으며 알루미늄과 아연의 제련시 발생하는 부산물로부터 회수하는 것이 일반적이다.²⁻⁴⁾

갈륨의 회수방법으로 대표적인 것은 앞서 밝힌 바와 같이 Bauxite로부터 알루미늄의 제련시 부산물로 갈륨을 회수하는 방법으로 현재 세계적으로 생산되는 갈륨의 대부분은 Bayer liquor로부터 부산물로 회수하고 있다.⁵⁻⁷⁾ 우선 최초로 개발된 *Be ja*법⁴⁾을 살펴보면 Bayer liquor를 일부 bleeding하여 CO₂ 가스를 주입시킴으로써 용액중에 잔류하는 알루미늄을 수산화 알루미늄으로 침전시킨다. 1차 탄산화 처리가 끝난 Bayer 용액은 갈륨을 침전시키는 2차 탄산화를 거치며 이때 90% 이상의 갈륨이 회수된다. 갈륨이 제거된 원액은 다시 Bayer 공정으로 순환시키고 갈륨 침전물(갈륨농도 0.3~1 wt.%)은 NaOH용액으로 침출하여 Ga/Al비를 높힌 후 전해조에서 조금속으로 제조한다. 이와는 달리 *de la Breteque*법⁸⁾의 경우에는 Bayer 공정으로부터 나온 bleeding steam을 증발 농축시켜 갈륨의 농도를 높힌 다음 수은전극을 사용하여 직접 전해석출한다. 이때 전해효율을 향상시키기 위해 수은을 교반시켜 주며 수은아말감중 갈륨농도가 약 1 wt.%에 이르게 되면 전해조로부터 분리하여 NaOH용액으로 침출한 다음 *Be ja*법과 마찬가지로 전해하여 조금속으로 제조한다. 그러나 *de la Breteque*법에서는 수은전극을 격렬하게 교반해 주어야 하기 때문에 수은손실이 많은 것이 단점으로 지적되어 이를 개선한 독일의 VAW법이 실용화 되었는데, 이 방법은 갈륨-수은아말감공정 대신 가성소다 용액을 수은음극에서 전해하여 얻은 나트륨-수은아말감을 이용해서 Bayer liquor중의 갈륨을 회수한다. 한편 아연광(sphalerite)중 갈륨회수 방법으로 산침출^{9,10)} 및 알칼리침출법이 있는데, 산침출의 경우 제련잔사를 황산에 의해 침출하고 침출액중 철분은 ZnO를 사용하여 pH 1.5~2에서 1차 중화에 의해 수산화물로 제거하고, 다시 pH 4~5에서 2차 중화하여 갈륨을 침전물로 회수한다. 그리고 농축 회수된 갈륨침전물은 다시 산침출하여 용매추출에 의해 갈륨을 회수한다. 그러나 산침출법은 갈륨이외에 철이나 아연 등의 성분들이 다량 침출되어 용매추출시 공정이 복잡해지는 단점이 있다.

본 연구에서는 국내의 갈륨 가능 원료중 아연제련잔사로부터 갈륨을 회수하기 위한 공정으로 수산화 나트륨을 사용한 알칼리 침출법에 대해 조사하였다. 실험내용으로는 반응시간, 광액농도, 반응온도 등이 갈륨의 침

출율에 미치는 영향을 검토하였으며, 이와 함께 반응시간에 따른 침출액중 [OH⁻] 농도와 갈륨 침출율과의 관계를 고찰하여 알칼리에 의해 갈륨을 효과적으로 회수하기 위한 적정 침출조건을 검토하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 시료

실험에 사용한 갈륨의 원료로는 국내 고려아연(주)의 탈철공정 중에 발생한 아연제련잔사를 사용하였으며, 이의 화학성분은 Table 1에 나타내었다. 이 표에서 보면 주성분으로 Zn와 Fe가 각각 13.7 wt.% 및 36.5 wt.% 정도 함유되어 있고 그외에 Pb와 Cu가 1~2 wt.% 가량 함유되어 있으며, Ga는 12 ppm 정도로 다소 낮게 함유되어 있다. 실험전 아연잔사를 105°C에서 충분히 건조시킨 후 Rod mill로 건식 마광하여 시료를 균일하게 혼합하였으며, 200 mesh 이하가 87 wt.% 정도로 나타났다.

2.2. 실험방법

아연잔사의 침출실험은 Fig. 1과 같은 항온조에서 실시하였다. 먼저 200 ml의 반응용기에 소정농도의 침출액을 넣어 일정 온도로 유지한 다음 마광된 잔사를 첨가하고 반응을 시작하였다. 이때 용기내의 광액은 직경 6 cm의 유리교반기를 사용하여 일정하게 교반시키면서 일정시간 간격으로 용액을 채취하여 갈륨 농도를 분석하였다. 분석 기기로는 ICP(Model: Plasmascan 710)와 Atomic Absor. Spectrophotometer(Model: IL Video 11)을 사용하였으며, 표준용액은 4N(99.99%)의 갈륨 금속 분말을 염산용액에 용해시켜 사용하였다. 한편 수용액중 [OH⁻]의 농도는 HCl 표준용액을 사용한 산-알칼리 중화적정법에 의해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 초기 NaOH농도 1.0 M/L, 광액농도 286 g/

Table 1. Chemical Composition of Zinc Residues Used in the Experiments (wt.%)

Element	Zn	Fe	Pb	Cu	Cd	As	Si
Composition	13.7	36.5	2.05	1.44	0.064	0.23	0.79
Element	Ga	In	Sn	Ca	Mg	Mn	Al
Composition	0.0012	0.005	0.093	0.21	0.21	0.27	0.37

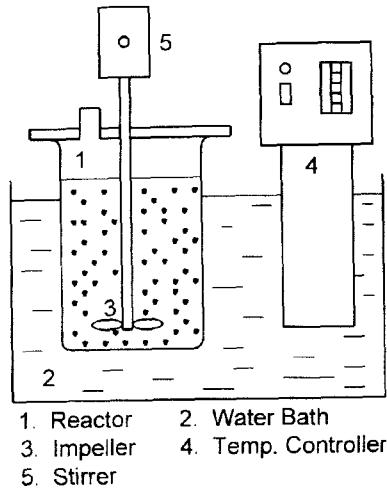


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

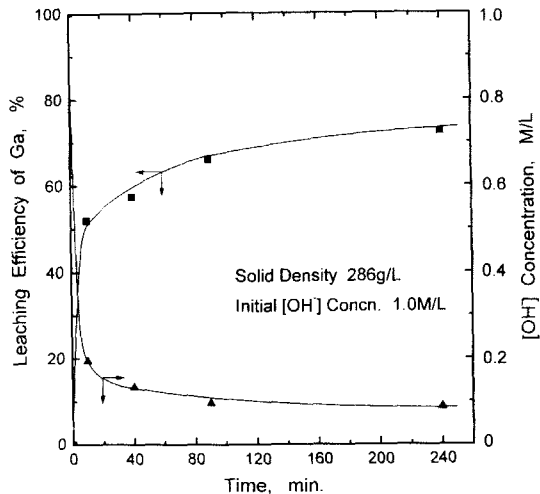
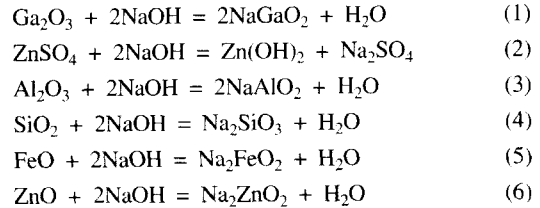


Fig. 2. Variation of leaching efficiency of gallium and concentration of NaOH with reaction time. (Temperature 25°C, Stirring Speed 300 rpm)

L, 반응온도 25°C에서 아연잔사를 알칼리 침출한 결과이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 갈륨은 반응초기 10분만에 침출이 급격히 이루어지고 이후에는 시간이 진행됨에 따라 침출반응이 점진적으로 진행되어 4시간 반응후 침출율은 약 73%에 도달하였으며, 이와 함께 수용액중의 [OH⁻] 농도는 반응초기에 급격히 감소하여 반응시간 80분 이후에는 0.1 M/L 정도로 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이와 같이 초기에 대부분의 알칼리가 소모되는 이유를 살펴보면 일반적으로 갈륨은 Eh-

pH diagram¹¹⁾중 알칼리 영역에서 대부분이 GaO₂⁻의 이온종으로 존재하므로 아래 반응식에 의해 NaGaO₂의 형태로 전환되는데 필요한 양도 있겠지만, 다음과 같은 부반응들(식 2~6)에 의해 소모되는 양이 대부분일 것으로 예상되고 있다.



위에 열거한 식들은 아연잔사의 주요 금속이온들과 NaOH와의 예상 반응식으로써 실제 아연잔사의 미량 원소들에 대해서도 유사한 반응을 생각할 수 있다. 한편 Table 2는 알칼리 침출하여 얻은 용액중 각 원소의 농도를 나타낸 것으로써, 침출액중 Ga는 3.2 ppm 정도가 함유되어 있고 Zn의 경우 아연잔사중 상당량 함유되어 있는 용해성 아연화합물을 미리 제거하기 위해 아연잔사를 물로 세척해준 관계로 침출액중 765.4 ppm 정도만이 함유되어 있음을 알 수 있으며, Si는 16.6 ppm 그리고 Ca는 12.5 ppm 정도 함유되어 있는 것으로 나타났다. 특히, 알칼리 수용액에 난용성 철분을 비롯한 Mn, Mg, Cu 및 Pb 등 base metal들은 극히 미량만이 침출되어 용매추출^{12,13)}에 의해 용이하게 갈륨을 정제할 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 3은 광액농도를 143 g/L로 낮추어 침출한 것으로 갈륨 침출은 반응초기에 10분만에 급격히 이루어지다가 이후에는 반응이 점진적으로 진행되는 등 침출경향은 광액농도 286 g/L일 때와 마찬가지로 비슷하게 이루어지고 있으나, 침출율은 2시간 침출후 거의 100%에 접근하여 광액농도가 낮아짐에 따라 침출율이 증가하고 있다. 이와 함께 [OH⁻] 농도도 2시간 반응후 약 0.56 M/L 정도를 유지하고 있는 등 광액농도가 감소하면 알칼리 소모량도 동시에 낮아지고 있다. 이것은 앞에서 살

Table 2. Chemical Composition of Leaching Solution (ppm)

Element	Zn	Fe	Ga	Cu	Ca
Composition	765.4	2.9	3.2	12.7	12.5
Element	Pb	Si	Mn	Mg	
Composition	8.3	16.6	8.5	6.7	

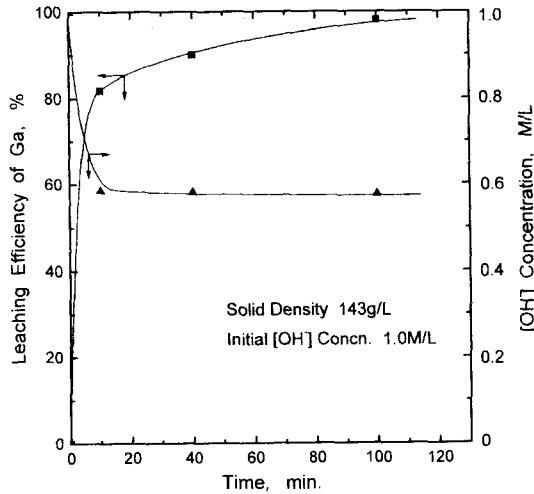


Fig. 3. Variation of leaching efficiency of gallium and concentration of NaOH with reaction time. (Temperature 25°C, Stirring Speed 300 rpm)

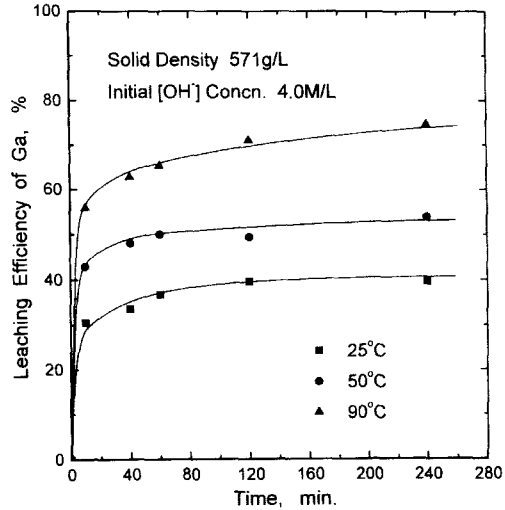


Fig. 5. Effect of reaction temperature on the leaching of gallium from residues. (Stirring Speed 300 rpm)

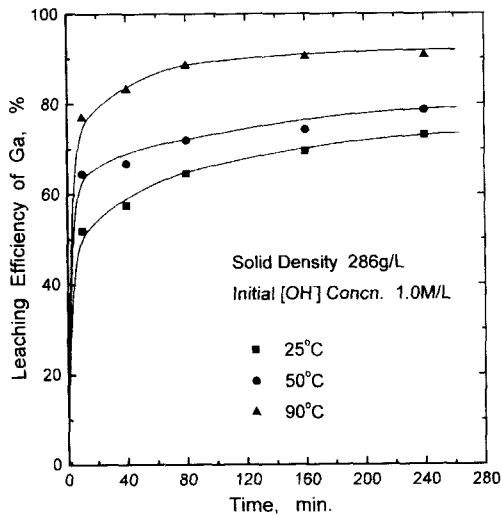


Fig. 4. Effect of reaction temperature on the leaching of gallium from residues. (Stirring Speed 300 rpm)

퍼본 바와 같이 (1)~(5)식으로 나타나는 부반응에 의해 대부분의 알칼리가 소모되기 때문이며, Fig. 2 와 3 에 의해서 알 수 있는 결과는 수용액 중의 알칼리 농도에 따라서 갈륨 침출율이 크게 변한다는 사실이다.

Fig. 4 와 5 는 각각 광액농도 286 g/L, 초기 [OH⁻] 농도 1.0 M/L와 광액농도 571 g/L, 초기 [OH⁻] 농도 4.0 M/L에서 아연잔사를 침출할 경우 반응온도에 따른 갈륨의 침출율을 도시한 것이다. 이들 그림에서 보면 반

응온도가 증가할수록 갈륨의 침출율이 증가하고 있으며, 특히 광액농도가 큰 경우(Fig. 5 참조)가 반응온도 증가에 따른 침출율의 증가폭이 크게 나타나고 있으나 전반적으로 침출율은 광액농도가 적은 경우(Fig. 4)에 비해 낮게 나타나고 있다. 즉, 광액농도 286 g/L(Fig. 4 참조)에서 반응온도가 25°C인 경우는 4시간 반응후 침출율이 72% 정도이나 반응온도가 50°C로 증가하면 침출율은 79% 정도로 그리고 90°C에서는 91%로 증가하고 있다. 한편 광액농도가 571 g/L인 경우(Fig. 5 참조)에는 반응온도 25°C에서 침출율은 40% 정도로 매우 낮게 나타나고 있고 반응온도가 50°C로 증가하면 침출율은 54% 정도로 그리고 90°C에서는 75% 정도로 온도에 따른 침출율의 증가폭이 크게 나타나고 있으나, 광액농도 286 g/L에 비해서는 침출율이 상당히 낮게 나타나고 있다. 이상에서 보면 알칼리 침출시 갈륨의 침출율을 증가시키기 위해서는 반응온도를 올리는 것이 타당하나 본 실험에서와 같이 갈륨 함량이 매우 낮은 경우에는 광액농도를 낮춰 상온에서 침출하는 것이 보다 효과적일 것으로 판단된다. 또 앞서 설명한 바와 같이 동일한 온도에서는 광액농도가 낮은 경우가 침출율이 더 높은 것을 알 수 있어(Fig. 6 참조) 수용액 중의 알칼리 농도 못지 않게 아연잔사의 광액농도도 갈륨 침출에 중요한 변수로 작용하는 것으로 나타났다.

Fig. 7 은 광액농도 333 g/L, 초기 [OH⁻] 농도 0.5 M/L에서 갈륨을 침출할 경우 반응시간에 따른 수용액

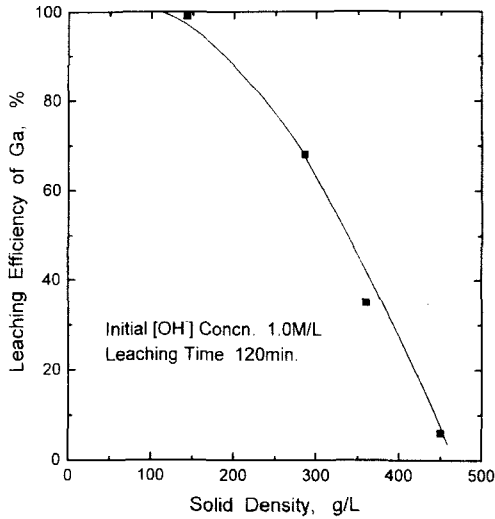


Fig. 6. Leaching efficiency of gallium from residues as a function of soild density. (Temperature 25°C, Stirring Speed 300 rpm)

중 [OH⁻]농도와 갈륨 침출율과의 관계를 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 갈륨은 반응시작 5분간은 침출율이 증가하나 이후 수용액중 [OH⁻]이온이 급격히 감소함에 따라 용출되었던 갈륨이온이 다시 침전되어 갈륨 침출율이 감소하는 현상이 나타나고 있다. 이것은 침출 귀액중 아연이 10⁻² wt.% 정도 함유되어 있는 것으로 보아 아연잔사의 침출시 반응(2)식에 의해 소모되는 알

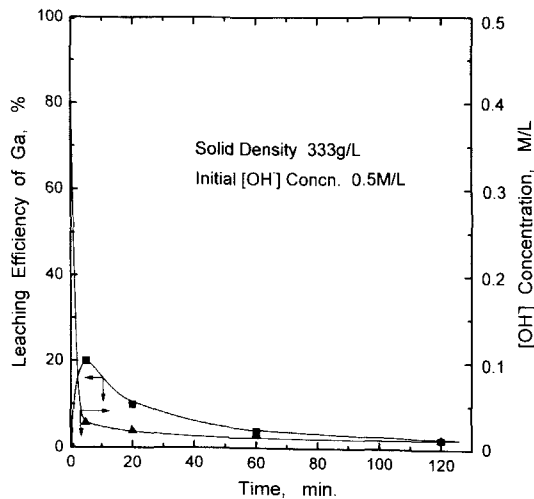


Fig. 7. Variation of leaching efficiency of gallium and concentration of NaOH with reaction time. (Temperature 25°C, Stirring Speed 300 rpm)

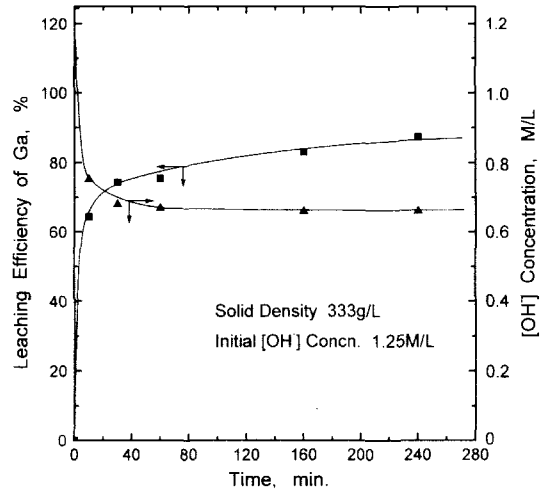


Fig. 8. Variation of leaching efficiency of gallium and concentration of NaOH with reaction time. (Temperature 25°C, Stirring Speed 300 rpm)

칼리의 양이 많음을 의미하며, 특히 초기 [OH⁻]의 농도가 0.5 M/L 정도로 낮은 경우에는 갈륨 침출에 관여할 수 있는 알칼리의 농도가 부족하여 Fig. 7 에서와 같이 용출된 갈륨이 다시 침전되는 현상이 나타나는 것으로 사려된다. 따라서 아연잔사를 물로 세척하여 용해성 아연화합물을 미리 제거함으로써 반응(2)식에 의해 소모되는 알칼리의 양을 가능한 한 줄일 수 있을 것으로 생각되며, 실제 광액농도를 10 wt.% 로 하여 수차례 반복 세척하면 수용액 중의 아연농도를 10 ppm 이하로 감소시킬 수 있었다. 이에 따라 아연잔사를 물로 세척한 후 광액농도 333 g/L, 초기 [OH⁻]농도 1.25 M/L, 온도 25°C에서 침출실험을 행하였으며 그 결과를 Fig. 8 에 나타내었다. 이 그림에 의하면 4시간 반응후 갈륨의 침출율이 83% 정도로 광액농도 286 g/L인 경우 (Fig. 2 참조)보다도 침출율이 10% 정도 높게 나타나고 있으며, 반응후 수용액 중 [OH⁻]의 농도도 0.67 M/L를 유지하고 있어 광액농도가 286 g/L인 경우 (Fig. 2 참조) 잔류 [OH⁻]의 농도 0.1 M/L에 비해서 상당히 높게 나타나고 있다. 그리고 이같은 결과를 근거로 침출반응시 알칼리 소모량을 살펴보면 세척하지 않은 아연잔사 1g 처리시에는 약 0.2g의 NaOH가 소모되는 것 (Fig. 2 및 3 참조)에 비해서 세척하여 아연이온을 미리 제거한 경우에는 1g 처리시 약 0.06g의 NaOH가 소모되어 (Fig. 8 참조) 2배 정도의 알칼리 소모량 차이가 났다. 이것은 (2)식에 의해 소모되는 알칼리 양이 매우 크다

는 것을 의미하며, 이에 따라 NaGaO_2 형성을 위한, 즉 갈륨을 침출시키기 위한 알칼리의 양은 상대적으로 극히 적다고 말할 수 있다.

이상의 결과에서 보면 아연잔사를 NaOH 용액으로 알칼리 침출할 경우 주로 침출되는 원소는 Zn, K 및 Si 등이며, Fe를 비롯한 여러 base metal 들은 극히 미량만이 침출되기 때문에 용매추출 공정을 통해 용이하게 갈륨을 정제할 수 있다. 한편 알칼리 침출의 특징은 알칼리 농도가 증가할수록 그리고 광액농도가 낮을수록 갈륨의 침출율이 증가하며, 특히 침출에 앞서 아연잔사를 세척하여 용해성 아연화합물을 미리 제거하면 알칼리 소모량을 상당히 줄일 수 있는 것으로 나타났다. 대체로 갈륨의 적정 침출조건은 아연잔사를 물로 세척하여 용해성 아연화합물을 미리 제거하고 광액농도 333 g/L, NaOH 농도 1~1.25 M/L로 하여 상온(25°C)에서 2시간 정도 침출하는 것이 효과적이며, 이 경우 약 80% 이상의 갈륨을 회수할 수 있다.

4. 결 론

1. 아연잔사를 NaOH 용액으로 알칼리 침출할 경우 주로 침출되는 원소는 Zn, K 및 Si 등이며, Fe를 비롯한 여러 base metal 들은 극히 미량만이 침출되고 있다.
2. 아연잔사의 알칼리 침출시 알칼리 농도($[\text{OH}^-]$)가 증가할수록 그리고 광액농도가 낮을수록 갈륨의 침출율이 증가하고 있다. 또 반응온도의 경우도 온도 증가에 따라 침출율이 증가하고 있으나 본 실험에서와 같이 갈륨 함량이 낮은 경우에는 광액농도를 낮춰 상온에서 침출하는 것이 보다 효과적이다.
3. 아연잔사의 알칼리 침출시 잔사중 아연화합물에 의해 소모되는 알칼리 양이 상당히 크기 때문에, 침출에 앞서 잔사를 물로 세척하여 아연화합물을 미리 제거해 주는 것이 효과적이다. 실제로 침출반응시 세척하지 않은 아연잔사 1g 처리시 약 0.2g의 NaOH 가 소모되는 반면, 세척하여 아연을 미리 제거한 경우에는 1g 처리시 약 0.06g의 NaOH 가 소모되어 2배 가량 차이가 나고 있다.
4. 아연잔사의 알칼리 침출시 적정 침출조건은 아연잔사를 물로 세척하여 용해성 아연화합물을 미리

제거하고 광액농도 333 g/L, NaOH 농도 1~1.25 M/L로 하여 상온(25°C)에서 2시간 정도 침출하는 것이 효과적이며, 이 경우 약 80% 이상의 갈륨을 회수할 수 있다.

참고문헌

1. D. A. Kramer : "Gallium and Gallium Arsenide : Supply, Technology and Uses", IC 9208, U.S. Bureau of Mines (1988).
2. R. G. Bautisa : "Gallium Metal Recovery", JOM, June, 30-31 (1989).
3. J. E. Hoffmann : "Advances in the Extractive Metallurgy of Selected Rare and Precious Metals". JOM, April, 18-23 (1991).
4. Kirk-Othmer : Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Ed., John Wiley & Sons, New York, 207-212 (1981).
5. 일본공개특허공보 JP 59-50024.
6. 일본공개특허공보 JP 59-186683.
7. 일본공개특허공보 JP 59-50025.
8. P. de la Breteque : "Gallium Recovery from Bauxite", JOM, November, 1528-1529 (1956).
9. A. E. Troma : "The Microbiological Extraction of Less Common Metals", JOM, June, 32 (1989).
10. 이화영, 김성규, 오종기 : "산침출에 의한 아연계련잔사로부터 갈륨 및 인디움의 회수", 한국자원리싸이클링학회지, 2(2), 22-26 (1993).
11. M. Pourbaix : Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, 2nd Edition, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 428-435 (1974).
12. H. Abe et al. : "Recovery of Gallium and Indium at Dow Mining", Proceedings of 4th Joint Meeting MMIJ-AIME, 65-76 (1980).
13. B. Pesic and T. Zhou : "Recovering Gallium with KELEX 100", JOM, July, 24 (1988).



金 成 奎

- 1979 고려대학교 금속공학과 학사
- 1982 고려대학교 금속공학과 석사
- 1992 고려대학교 금속공학과 박사
- 현재 한국과학기술연구원 금속공정 연구센터 책임연구원



李 華 永

- 1980 서울대학교 화학공학과 학사
- 1982 한국과학기술원 화학공학과 석사
- 1987 한국과학기술원 화학공학과 박사
- 현재 한국과학기술연구원 금속공정 연구센터 책임연구원



吳 鐘 基

- 1979 서울대학교 광산학과 학사
- 1982 서울대학교 광산학과 석사
- 1992 서울대학교 자원공학과 박사
- 현재 한국과학기술연구원 금속공정 연구센터 책임연구원

리사이클링백서 (資源再活用白書)

1999

리사이클링백서 (資源再活用白書)

*(사)한국자원리사이클링학회



의문知社

(사)한국자원리사이클링학회가 行政과 研究 그리고 企業에 절대적인 참고서적, 자원재활용의 최신 통계 자료와 정보가 담긴 "리사이클링백서(자원재활용백서)"를 출판하였습니다.

A5신 / 440면 / 15,000원

제 1 장 총론

- 제1절 리사이클링의 범주
- 제2절 리사이클링과 환경
- 제3절 리사이클링과 관련한 법제도
- 제4절 산업자원의 리사이클링 정책
- 제5절 자원재활용 정책방향
- 제6절 폐기물(부산물)의 발생

제 2 장 리사이클링의 현황과 기술

- 제1절 금속자원 리사이클링
- 제2절 세라믹자원 리사이클링
- 제3절 고분자 자원의 리사이클링
- 제4절 오토류의 리사이클링
- 제5절 유기성자원 리사이클링
- 제6절 광재 및 분진 리사이클링
- 제7절 완제품 리사이클링

제 3 장 공공기관의 리사이클링 활동

- 제1절 한국자원재생공사의 활동
- 제2절 환경관리공단과 리사이클링
- 제3절 서울특별시 자원재활용 활동과 정책

제 4 장 리사이클링 관련 기술동향

- 제1절 리사이클링과 관련되는 연구 동향
- 제2절 리사이클링 어세스먼트
- 제3절 해외에서의 리사이클링 관련 통계

(사)한국자원리사이클링학회

135-703 서울시 강남구 역삼동 635-4 한국과학기술회관 1106호
TEL : 02)3453-3541, 3542 FAX : 02)3453-3540

구입하실 분은 학회 사무국(TEL : 02)3453-3541, 3542)으로 주문하셔도 됩니다.