

곰팡이균(*Aspergillus niger*)을 이용한 전자스크랩중 有價金屬의 微生物 浸出 研究[†]

安在禹·鄭鎮己·李在天*·金東鎮*

大眞大學校 新素材工學科, *韓國地質資源研究院 資源活用素材研究部

Bioleaching of valuable metals from electronic scrap using fungi(*Aspergillus niger*) as a microorganism.[†]

†Jae-Woo Ahn*, Jin-Ki Jeong**, Jae-Chun Lee** and Dong-Gin Kim**

Dept. of Advanced Materials Sci. & Eng., Daejin University, Korea

*Minerals and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Korea

요 약

폐전자스크랩에서 유가금속을 회수하기 위하여 곰팡이균으로 *Aspergillus niger*를 이용한 Cu, Zn, Al, Co, Ni, Fe, Sn, Pb의 침출 거동을 조사하였다. *Aspergillus niger*는 전자스크랩의 존재 하에 배양이 가능하였고 신진대사 작용에 의해 유기산(구연산 및 옥살산)을 생성함으로써 폐전자스크랩에서 각 금속들을 침출시키는 것을 알 수 있었다. 예비 실험으로 먼저 구연산 및 옥살산을 이용한 화학침출 실험으로부터 Cu, Zn, Al, Co, Fe, Sn, Pb의 침출거동을 조사하였다. *Aspergillus niger*를 이용한 미생물 침출 실험의 결과 전자스크랩의 농도가 50 g/L인 경우 Cu 및 Co의 침출율은 95%이상이었으며, Al, Zn, Pb 및 Sn의 경우는 15-35 %의 침출율을 나타냈으며 Ni 및 Fe의 경우는 10%이하의 침출율을 보였다.

주제어 : *Aspergillus niger*, 전자스크랩, 곰팡이, 미생물 침출, 구연산, 옥살산, 금속 회수

Abstract

In order to recover valuable metals from fine-grained electronic waste, bioleaching of Cu, Zn, Al, Co, Ni, Fe, Sn and Pb were carried out using *Aspergillus niger* as a leaching microorganism in a shaking flask. *Aspergillus niger* was able to grow in the presence of electronic scrap. The formation of organic acids(citric and oxalic acid) from *Aspergillus niger* caused the mobilization of metals from waste electronic scrap. In a preliminary study, in order to obtain the data on the leaching of Cu, Zn, Al, Fe, Co and Ni from electronic scrap, chemical leaching using organic acid(Citric acid and Oxalic acid) was accomplished. At the electronic scrap concentration of 50 g/L, *Aspergillus niger* were able to leach more than 95% of the available Cu, Co. But Al, Zn, Pb and Sn were leached about 15-35%. Ni and Fe were detected in the leachate less than 10%.

Key words : *Aspergillus niger*, electronic scrap, fungi, bioleaching, citric acid, oxalic acid, metal recovery

1. 서 론

최근에 환경친화적인 금속제련기술의 요구와 저품질

광이나 폐기물 등에서 금속 회수에 대한 관심이 고조되면서 미생물 침출법이 새로운 대안으로 떠오르고 있다. 그동안 미생물제련(biohydrometallurgy)분야에서는 주로 박테리아의 일종인 Thiobacillus를 이용한 기술이 많이 보고되고 있고 또한 실용화도 진행 되었는데, 이 경우 유독성인 황산이 생성되고 또한 침출잔사의 처리 등

[†] 2005년 7월 13일 접수, 2005년 8월 16일 수리

*E-mail: jwahn@daejin.ac.kr

많은 문제점이 있으나 곰팡이(Fungi)를 이용할 경우에는 곰팡이균의 신진대사 작용에 의해 비교적 환경친화적이라 할 수 있는 유기산을 생성하여 금속성분을 용해시킬 수 있는 능력이 알려지면서 새로운 응용분야로 떠오르고 있다. 그동안 곰팡이균을 이용한 침출기술이 비교적 소외되어 온 요인으로는 유기생물(heterotrophic microorganism)의 성장에 많은 양의 유기탄소원이 필요하고 또한 침출반응속도가 *Thiobacillus ferrooxidans*에 비해 느리기 때문으로 분석할 수 있다. 그러나 최근에 곰팡이균에 의한 침출반응이 많은 장점이 있다고 부각되면서 주목을 받고 있는데 이에 대한 이유로는 다음과 같다. 첫째는 대부분의 금속함유 물질은 침출용액의 pH를 증가시키는 요인이 되는데 pH가 증가할 경우 *Thiobacillus*균의 성장이 방해되어 침출효과를 감소시킬 수 있다. 그러나 곰팡이균에 의한 금속 침출반응은 유기산을 생성하여 진행되기 때문에 이 경우 유기산과 금속과의 착화합물의 형성으로 중성영역에서도 금속이온의 용해도를 증가시킬 수 있다. 둘째는 대부분의 금속함유물질의 경우 황이나 $FeSO_4$ 또는 황화합물 등 *Thiobacillus*가 성장할 수 있는 에너지원이 함유되어 있지 않아 *Thiobacillus*의 지속적인 성장을 위해서는 황이나 $FeSO_4$ 또는 황화합물을 보충해야 한다는 점이다. 셋째는 금속제련이나 폐금속의 리사이클링 기술에 점점 환경친화적인 기술이 요구되고 있는데 곰팡이균의 경우 무기산이 아닌 유기산을 생성하기 때문에 보다 환경친화적이다. 넷째는 곰팡이균의 에너지원인 yeast 등에 대해서 이미 잘 알려져 있고 많은 자료가 축적되어 있어 쉽게 적용이 가능하다는 점 등을 열거할 수 있다.

이러한 곰팡이균을 침출기술에 적용한 사례로는 저품위 탄산염이나 광산폐기물, filter dust, slag, sewage sludge(하수슬러지), 석탄폐기물과 같은 중금속이 함유된 폐기물에서 중금속제거 분야 등에 응용이 시도되고 있다. 또한 기존의 건식제련공정 중 금속의 회수율을 높이기 위한 전처리 공정, 예를 들면 bauxite로부터 알루미늄 제련 공정, 철광석에서 인산염과 같은 불필요한 물질의 제거, Quartz sand에서 철성분의 제거 등 여러 분야에 응용이 가능하다고 보고되고 있으며 이외에도 많은 연구가 활발히 진행중에 있다.¹⁻¹⁰⁾

이러한 이유에서 만일 유기성폐기물(organic wastes)의 일종인 치즈제조액(whey permeate)이나 당밀(molasses) 등을 곰팡이균의 성장배지로 저렴하게 사용하여 배양기술이 확립될 경우에는 박테리아 침출의 적용이 어려운 분야나 환경적, 경제적 그리고 기술적으로

기존의 리사이클기술의 적용이 어려운 분야에 적용이 가능하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 1단계 *Thiobacillus ferrooxidans*를 이용한 전자스크랩중의 금속침출 거동 연구¹¹⁾에 이어 곰팡이균(fungi)의 일종인 *Asperigillus niger*를 이용하여 전자스크랩에서 Cu, Zn, Al, Sn, Pb, Co, Ni, Fe성분의 침출거동을 조사하여 Cu 등의 유기금속을 효과적으로 분리·회수를 할 수 있는 공정 개발을 하고자 기초 연구를 실시하였다. 이에 대한 기초 연구로 먼저 유기산(Citric acid 및 Oxalic acid)을 이용한 화학적 침출법에 의해 각 금속의 침출거동을 조사하고 이어서 *Asperigillus niger*를 이용하여 전자스크랩에서 각 금속의 침출거동을 조사하여 최적 침출 조건을 확립하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 균주배양

본 실험에서 사용한 곰팡이균은 *Asperigillus niger* (KCTC6982; ATCC 1015)를 구입하여 사용하였으며 균의 배양을 위해서 Sucrose medium을 사용하여 250 ml Erlenmeyer flasks에서 30°C에서 180 rpm으로 2-3 일 배양하였다. Sucrose medium의 표준조성으로는 Sucros(100 g/L); $NaNO_3$ (1.5 g/L); K_2HPO_4 (0.5 g/L); $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (0.025 g/L); KCl(0.025 g/L); 그리고 yeast extract(1.6 g/L)이다.

2.2. 침출실험

*Asperigillus niger*에 의한 Cu, Ni, Zn, Al, Fe, Sn, Pb 그리고 Co 금속의 침출거동을 고찰하기 위해 먼저 Citric acid 및 Oxalic acid를 이용한 화학적 침출 실험을 실시하였다. 그리고 *Asperigillus niger*에 의한 미생물 침출실험을 병행 실시하였다. 실험방법으로는 250 ml 삼각플라스크에 Sucrose medium를 100 ml 첨가하고, 배양시킨 균체농축액을 집중한 후 일정량의 폐기물을 첨가하여 침출실험을 실시하였다. 침출은 Shaking incubator에서 30°C, 180 rpm으로 반응시켰다. 일정시간 반응을 시킨 후 침출액의 pH를 측정하고 시료를 채취하여 금속이온의 농도를 ICP-AES를 이용하여 측정 후 침출율을 구하였다. 한편 실험에 사용한 전자스크랩 시료는 국내에서 발생된 페프린터를 1차적으로 국내의 R사에서 전처리를 거친 것으로 크기를 -35 mesh로 체질하여 사용하였는데, 화학분석치는 Table 1과 같다.

Table 1. Concentration of elements in samples (Unit : ppm)

Al	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb
2,057	3,500	125	111.5	3,415	810	1,095	800

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 균주 배양

Sucrose medium을 사용하여 250 ml Erlenmeyer flasks에서 30°C, 180 rpm으로 3일 배양한 결과 Fig. 1 과 같은 균주를 배양할 수 있었다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 균주가 마치 포도송이 처럼 구형의 형태로 배양되었고 Fig. 2에는 300배로 확대하여 관찰한 균주를 나타내었는데 마치 미세한 실모양의 형태가 얽힌 듯한 형상을 보이고 있다. 한편 *Aspergillus niger* 가 배양됨에 따라 유기산(Citric acid 및 Oxalic acid)이 생성됨을 확인 하였으며, 25일 경과 후에 약 0.005 M의 Oxalate와 0.2 M의 Citrate가 생성되었는데 이 결과는 20일 경과 후 0.003 M의 Oxalic acid 와 0.18 M의 Citric acid를 생성한다는 H. Brandl¹⁾ 등의 연구결과와 유사하였다.

3.2. 유기산에 의한 화학적 침출(Cheical leaching with organic acids)

3.2.1. Citric acid에 의한 화학적 침출

1) Citric acid 농도변화 영향

*Aspergillus niger*에 의한 금속침출반응은 *Aspergillus niger*의 신진대사 작용을 통해 유기산(Citric 및 Oxalic acid)을 생성하며, 이러한 유기산에 의해 금속이 침출된다고 알려져 있다. 따라서 본 연구에서는 기초 연구의 일환으로 각 유기산에 의한 금속 침출거동을 조사하고자 먼저 Citric acid의 농도 변화에 따른 각 금속의 침출율을 고찰하였다. 고액농도(Pulp density) 50 g/L에서 Citric acid를 0.01 M에서 0.5 M까지 변화시키면서 각 금속의 침출율을 조사한 결과를 Table 2에 나타내었다.

이 때 침출반응온도는 30°C, 그리고 반응시간은 24시간을 유지하였다. 여기에서 알 수 있듯이 각 금속의 침출율은 Citric acid 농도에 따라 증가하는 경향을 보이고 있으며 본 실험 결과 citric acid농도가 0.1 M에서 Cu의 침출율이 77.9%로 가장 높게 나타났다. 한편 Co, Cu, Sn 그리고 Pb의 경우 비교적 높은 침출율을 보이

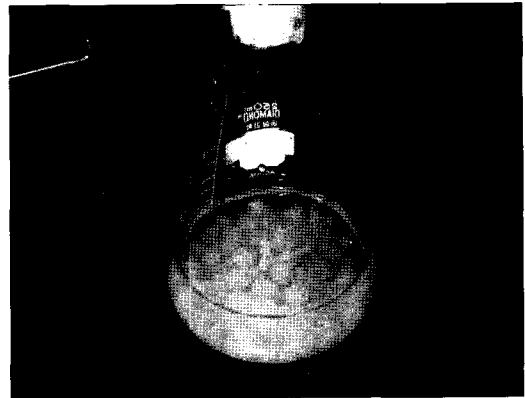


Fig. 1. *Aspergillus niger* after 3days incubation.

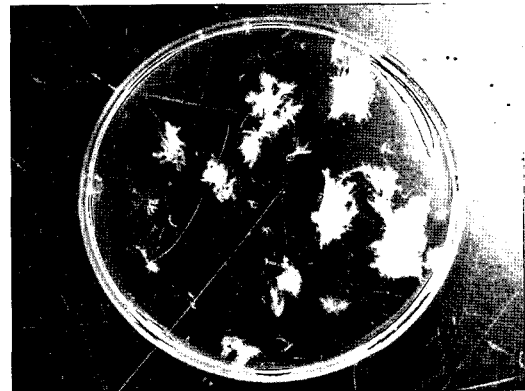


Fig. 2. *Aspergillus niger's* Aggregated mycelium on plate. (X300 : Nikon Eclipse E600)

Table 2. Leaching percentage of metal ions at different citric acid concentrations.

Citric acid Conc.	Al	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb
0.01 M	3.1	6.7	67.2	5.9	7.5	6.2	18.2	10.0
0.025 M	4.5	9.5	85.4	11.8	30.4	13.2	54.8	20.5
0.05 M	4.9	14.5	96.0	12.5	44.5	15.1	88.3	45.3
0.1 M	6.7	20.2	99.0	23.2	77.9	20.2	93.0	60.3
0.25 M	8.5	25.3	98.5	27.0	67.1	24.4	94.7	71.0
0.5 M	11.4	34.0	99.5	31.8	61.2	31.6	99.0	80.0

Table 3. Leaching percentage of metal ions at different pulp density.

Pulp density	Al	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb
20 g/L	9.8	18.9	99.0	20.0	80.0	20.6	94.5	68.0
50 g/L	6.7	20.2	99.0	23.2	77.9	20.2	93.0	60.3
75 g/L	8.0	22.4	86.4	14.9	30.0	21.6	90.4	34.1
100 g/L	8.0	20.0	81.2	12.6	24.7	18.7	84.1	10.8

는 이유는 침출된 금속이온과 citrate ion과 착화합물을 형성하여 이온상태로 존재 하기 때문에 생각된다. 한편 Al, Fe, Ni, Zn 등은 35% 이하의 비교적 낮은 침출율을 보이고 있어 Co, Cu, Sn, Pb 등을 선택적으로 침출할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

2) 고액농도(Pulp density)의 영향

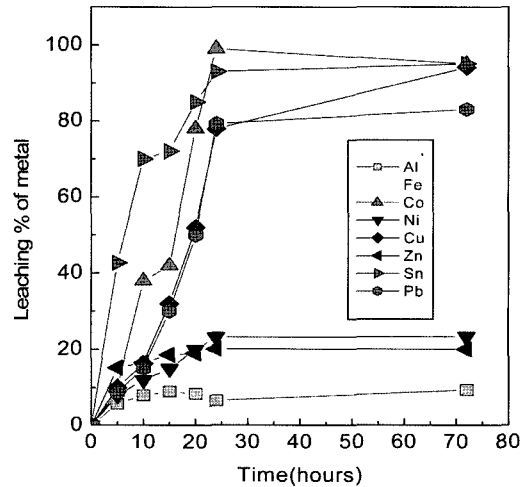
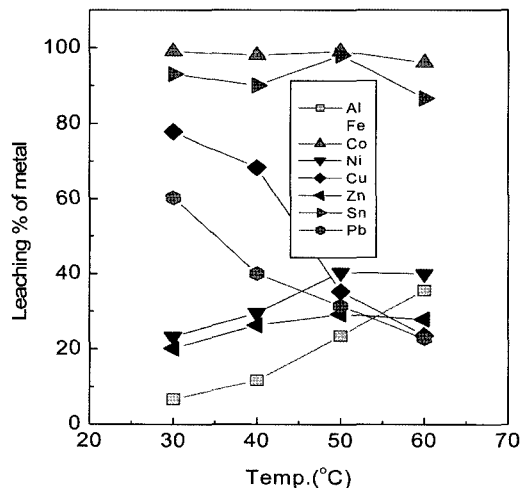
Table 3은 고액농도(pulp density) 변화에 따른 각 금속의 침출율을 조사하기 위하여 Citric acid 농도 0.1 M에서 30°C, 24시간 반응시킨 결과이다. 고액농도가 증가함에 따라 각 금속의 침출율은 일반적으로 감소하는 경향을 보이고 있는데 특히 Cu의 경우, 고액농도 20 g/L의 경우 80%의 침출율을 보이다가 100 g/L에서는 24.7%로 급격히 감소하였으며, Pb의 경우는 침출율의 감소 경향이 현저하였다. 그 외에 다른 금속들의 경우는 큰감소는 보이지 않았다. 따라서 본 실험 결과 Cu를 회수하기 위해서는 고액농도를 50 g/L정도로 유지하는 것이 적당하다는 것을 알 수 있었다.

3) 반응시간 영향

침출반응시간에 따른 각 금속의 침출율을 고찰하기 위해 고액농도 50 g/L에서 0.1 M Citric acid를 이용하여 30°C에서 반응시킨 결과를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3으로부터 Al, Zn, Fe, Ni의 경우는 급격한 침출율의 변화가 없이 반응초기 침출율이 증가하여 거의 일정한 값을 보이고 있으며 3일(72시간) 경과해도 침출율이 20% 이하의 비교적 낮은 침출율을 보이고 있다. 그러나 Cu, Co, Sn 그리고 Pb의 경우는 24시간 경과시 까지 침출율이 급격히 증가하다가 그 이후에는 그다지 큰 변화가 없는 것으로 관찰 되었다. 따라서 본 실험 결과 침출반응시간은 24시간(1일) 정도가 적당함을 알 수 있었다.

4) 온도(Temperature) 영향

침출반응온도 변화에 따라 각 금속의 침출율을 고찰하기 위해 고액농도를 50 g/L으로 유지하고 0.1 M Citric

**Fig. 3.** Leaching percentage of metal ions at different reaction times.**Fig. 4.** Leaching percentage of metal ions at different temperatures.

acid를 이용하여 24시간 반응시킨 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 침출반응온도를 30°C에서 60°C까지 증가시켜 반응시킨 결과 Fig. 4와 같이 Cu 및 Pb의 침출율은 감소

Table 4. Leaching percentage of metal ions at different oxalic acid concentrations.

Oxalic acid Conc.	Al	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb
0.05 M	4.3	0.4	8.0	nd	3.9	1.0	nd	nd
0.1 M	23.2	1.4	6.2	nd	2.7	1.1	nd	nd
0.25 M	72.9	8.7	16.0	nd	2.2	2.1	59.2	2.1
0.5 M	85.3	3.5	6.9	nd	2.8	0.9	86.3	2.1

Table 5. Leaching percentage of metal ions at different organic acid mixtures.
(Pulp density : 50 g/L, Temp: 30°C, Time : 24 hrs)

Oxalic acid	Al	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Sn	Pb
0 M O.A.	6.7	20.2	99.0	23.2	77.9	20.2	93.0	60.3
0.01 M O.A.	11.4	20.8	85.6	20.0	50.7	20.8	89.1	25.3
0.05 M O.A.	22.6	12.7	34.4	9.0	8.3	4.4	83.0	15.6
0.1 M O.A.	37.6	8.5	27.2	5.4	3.4	3.1	87.2	8.9

하는 경향을 보이고 있어 온도 증가가 Cu 및 Pb의 침출에는 역효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 한편 Al, Ni, Zn, Fe의 경우는 온도 증가에 따라 침출율이 증가하는 경향을 보이고 Co 및 Sn은 침출율에 큰 변화가 없다는 것을 확인 하였다. 따라서 본 실험 결과 Cu, Co, Sn 등의 유기금속 회수를 위한 침출시 반응온도는 30°C가 적당함을 알 수 있었다.

3.2.2. Oxalic acid에 의한 화학적 침출

유기산의 일종인 Oxalic acid를 이용하여 각 금속의 침출거동을 조사하고자 고액농도 50 g/L에서 Oxalic acid의 농도 변화에 따라 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 이때 반응온도는 30°C이고 반응시간은 24시간 유지하였다. Table 4에서 알 수 있듯이 0.5 M Oxalic acid를 이용하여 침출할 경우 Al 과 Sn의 침출율은 85% 이상 가능하나 Cu 3.0%내외, Fe 3.5%, Co 6.9%, Pb 2.1%, Zn 및 Ni는 1% 미만 으로 침출율이 미미하였다. 따라서 Al 과 Sn의 선택적 침출이 가능하다는 것을 확인하였다. 그러나 회수를 목적으로 하는 Cu의 경우는 침출율이 매우 저조하기 때문에 회수가 어렵다는 것을 알 수 있었으며, Co의 경우는 안정한 코발트옥살레이트 화합물이 형성되기 때문에 침출율이 다소 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

3.2.3 혼합산에 의한 침출

Aspergillus niger의 신진대사 작용을 통해 실제로 Citric 및 Oxalic acid 등의 유기산을 생성하게 되는데

이러한 Citric acid나 Oxalic acid가 반응조건에 따라서 단독으로 생성되는 것이 아니라 혼합산으로 생성이 될 수 있기 때문에 혼합산에 의한 각 금속의 침출거동을 조사하였다.

Table 5는 0.1 M Citric acid에 여러 가지 농도의 Oxalic acid를 혼합하여 침출 반응 결과를 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있듯이 Oxalic acid의 농도가 증가함에 따라 Al의 침출율만 개선되고, Sn은 큰 효과가 없었으며 나머지 금속 성분의 침출율은 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 따라서 Cu의 침출율을 높이기 위해서는 Citric acid가 단독으로 생성되는 조건이 유리하다는 것을 알 수 있었다.

3.3. Aspergillus niger에 의한 금속 침출

3.3.1. 반응시간 영향

곰팡이균의 일종인 Aspergillus niger를 이용하여 전자스크랩중의 금속 침출거동을 조사한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 초기 고액농도 50 g/L, 30°C에서 Aspergillus niger를 접종시킨 후 반응시간 변화에 따라 각 금속의 침출율의 거동을 조사한 것인데 그림으로부터 각 금속의 경우 반응시간 경과와 함께 침출율은 증가하는 경향을 보이고 있다. Co의 경우 25일 경과 후 90%이상의 침출율을 나타내고 Cu의 경우는 35일 이후에 90% 이상의 침출율을 보이고 있으며 50일 지난 후 Co 및 Cu의 경우 95%이상의 침출율을 보이고 있다. 한편, Cu 및 Co 이외의 다른 금속의 경우, 반응시간을 증가하여도 침출율의 증가 현상은 미미하였는데 Al, Pb, Sn

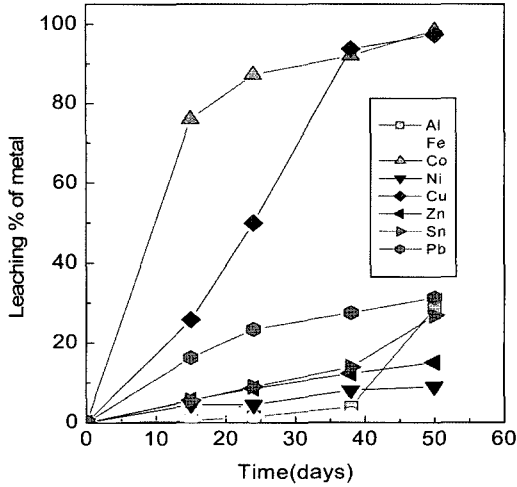


Fig. 5. Leaching percentage of metal ions at different reaction times.

의 경우 25-35%, Zn는 15.1% 그리고 Ni의 경우는 9%, Fe의 경우는 3% 미만의 침출율을 나타냈다. 이러한 경향은 Citric acid를 사용한 화학적 침출 실험의 결과와 비슷한 경향을 보이고 있으나 Sn 및 Pb의 경우는 침출율이 다소 낮게 나타났다.

3.3.2 고액농도(Pulp density) 영향

고액농도 변화에 따라 각 금속의 침출율의 영향을 고찰하기 위해 고액농도를 10 g/L에서 70 g/L까지 변화시키면서 50일간 침출 실험한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 여기에서 Cu 및 Co의 경우 50 g/L까지 95%이상의 높은 침출율을 나타내었으나 더 이상 폐기물양이 증가하면 오히려 침출율이 감소하는 경향을 보이고 있고 Sn의 경우에도 30 g/L까지는 침출율이 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있다. 한편 Pb와 Al의 경우는 고액농도의 증가와 더불어 꾸준히 침출율이 증가하는 경향을 보이고 있으나 Ni의 경우는 반대로 감소하는 경향을 보이고 있다. 기타 Fe 및 Zn의 경우는 침출율에 큰 차이가 없었다. 따라서 상기 결과로부터 Cu를 회수하는데는 고액농도를 50 g/L로 유지하는 것이 바람직하다고 생각한다.

3.3.3 침출액의 pH 변화

*Aspergillus niger*를 접종시켜 배양하면서 고액농도 변화에 따른 침출액의 pH 변화를 관찰하였는데 이에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림으로부터 초기

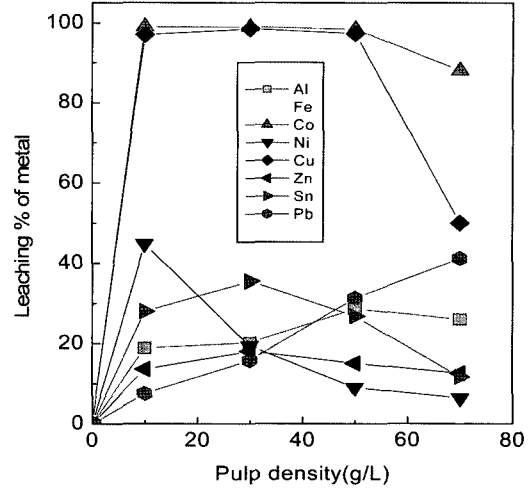


Fig. 6. Leaching percentage of metal ions at different pulp densities.

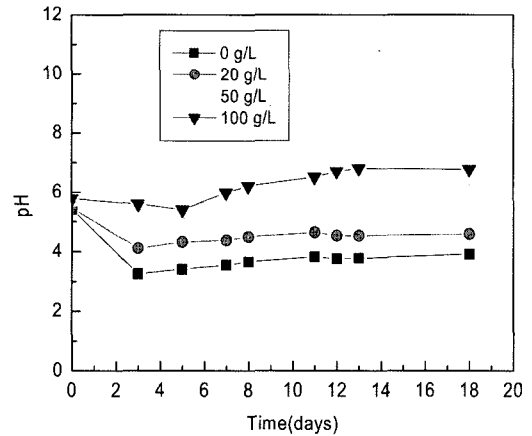


Fig. 7. Variation of pH in leaching solution with time at different pulp densities.(30°C)

pH는 5.5~6.0사이의 값을 나타내었으며 반응개시 후 3일까지는 pH가 다소 감소하는 경향을 보이다가 다시 약간 증가하는 경향을 보이고 있다. 또한 고액농도가 증가함에 따라 pH값이 증가하는 경향을 보이고 있는데 이것은 폐기물중의 산화물에 의한 영향이라고 생각된다.

4. 결 론

전자스크랩에서 Cu, Co, Zn, Al, Ni, Sn, Pb 등의 유가금속의 침출거동을 고찰하기 위하여 Citric acid 및 Oxalic acid에 의한 화학적 침출 및 *Aspergillus niger*

를 이용한 미생물 침출 실험을 실시하였는데, 이에 대한 결과로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) *Aspergillus niger*는 *Sucrous medium*에서 30°C에서 2-3일 배양에 의해 균주를 얻을 수 있었으며 또한 신진대사 작용에 의해 유기산의 생성을 확인하였는데 25일 경과 후에 약 0.005 M oxalate와 0.2 M citrate가 생성됨을 확인하였다.

2) 고액농도 50 g/L, 30°C에서 24시간, 0.1 M Citric acid를 이용하여 화학적 침출을 실시한 결과 Cu의 경우 77.9%, Co 및 Sn의 경우는 각각 99% 및 93%의 침출율을 나타내었다. 한편, Citric acid의 경우는 0.1 M인 경우가 가장 효과적이었다.

3) Citric acid를 이용하여 화학적 침출시 침출반응온도가 증가함에 따라 Cu 및 Pb의 침출율은 감소하며, Al, Ni, Zn, Fe의 경우는 증가하고 Co 및 Sn의 경우는 큰 변화가 없었다. 또한 고액농도 변화가 각 금속의 침출율에 큰 영향이 미치는 것을 확인하였는데 Cu의 경우 50 g/L이 가장 침출효과가 좋았다.

4) 고액농도 50 g/L에서 30°C에서 24시간, 0.5 M Oxalic acid를 이용하여 화학적 침출을 실시한 결과 Al과 Sn의 침출율은 85% 이상이었고, Cu 3.0% 내외, Fe 4.0%, Co 7.0%, Pb 3.0%, Zn 및 Ni은 1% 미만으로 침출율이 미미하였다. 따라서 Sn 및 Al을 회수 시에는 Oxalic acid가 효과적이거나 Cu, Co 등의 유기금속 침출율은 낮았다.

5) 고액농도 50 g/L에서 50일간 *Aspergillus niger*를 첨가하여 반응시킨 결과 Cu 및 Co의 경우 95%이상의 침출율을 보였고 Al, Pb, Sn의 경우는 25-35%, Zn는 15.1% 그리고 Ni의 경우는 9%, Fe의 경우는 3% 미만의 침출율을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부 21C 프론티어연구개발사업 중 자원재활용기술개발사업의 일환으로 수행된 결과물입니다. 연구비를 지원해 주신 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- H. Brandl, R. Bosshard, M. Wegmann 2001, "Computer-munching microbes: metal leaching from electronic scrap by bacteria and fungi" *Hydrometallurgy* **59**, 319-326.
- Z. Golab and B. Orlowska, 1988 "The effect of amino and organic acids produced by the selected microorganism on metal leaching" *Acta microbiologica polonica* **37**(1), 83-91.
- Wolfgang Burgstaller and Franz Schinner, 1993, "Leaching of metals with fungi" *Journal of Biotechnology*, **27**, 91-116.
- L.B. Sukla and Vinita Panchanadikar, 1993, "Bioleaching of lateritic nickel ore using a heterotrophic microorganism" *Hydrometallurgy*, **32**, 373-379.
- K. D. Metha, B.D. Pandey and Premchand, 1999, "Bio-assisted leaching of Copper, Nickel and Cobalt from Copper Converter Slag" *Materials Transactions, JIM*, **40**(3), 214-221.
- A.E. Torma and A.K. Singh, 1993, "Acidolysis of coal fly ash by *Aspergillus niger*" *Fuel*, **72**(12), 1625-1630.
- I.M. Castro, J.L.R. Fietto, R.X. Vieira, M.J.M. Tropa, L.M.M. Campos, E.B. Paniago, R.L. Brandao, 2000, "Bioleaching of Zinc and nickel from silicates using *Aspergillus niger* cultures." **57**, 39-49.
- C. Acharya, R.N. Kar, L.B. Sukla, 2003, "Studies on reaction mechanism of bioleaching of manganese ore" **16**, 1027-1030.
- H. Strasser, Wolfgang Burgstaller and F. Schinner, 1994, "High yield production of oxalic acid for metal leaching processes by *Aspergillus niger*" *FEMS Microbiology Letters*, **119**, 365-370.
- C. Cameselle, M.T. Ricart, M.J. Numnez, J.M. Lema, 2003, "Iron removal from kaolin. Comparison between "in situ" and "two-stage" bioleaching processes" **68**, 97-105.
- 안재우, 김명윤, 정진기, 이재천, 김동진, 안종관, 2005, "폐전자스크랩에서 *Thiobacillus ferrooxidans*를 이용한 Cu, Al, Zn, Ni, Co, Sn 및 Pb의 침출" *한국자원리싸이클링학회지* **14**(1), 17-25.

安 在 馬

- 1986년 고려대학교 금속공학과 박사
- 현재 대전대학교 신소재공학과 교수

鄭 鎮 己

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 금속회수연구실 실장
- 본 학회지 제10권 6호 참조

李 在 天

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 부장
- 본 학회지 제10권 6호 참조

金 東 鎮

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원

學會誌 投稿 安內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技 術 報 告	實際的인 試驗, 調查의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外의 研究 幾關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨霜 등
Group 紹介	企業, 研究幾關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.