≫ 研究論文 ≪

Aspergillus niger 균주를 이용한 코발트 精鑛으로부터
코발트 및 구리의 微生物 浸出 研究

安孝眞 · *安在禹 · 方德基* · 金明云*

大眞大學校 新素材工學科

*大眞大學校 環境工學科

A Study on the Bioleaching of Cobalt and Copper from Cobalt Concentrate
by *Aspergillus niger* strains.

Hyo-Jin Ahn, *Jae-Woo Ahn, Duk-ki Bang* and Meong-Woon Kim*

Dept. of Advanced materials & Science, Daejin University, Korea

*Dept. of Enviromental Eng., Daejin University, Korea

요 약

코발트 정광으로부터 코발트와 구리의 회수를 위하여 3종의 *Aspergillus niger* 균을 이용하여 각 금속의 침출 거동을 조사하였다. 주요 실험 변수로는 균주 종류에 따른 유기산 생성량, pH 및 고액농도비 등 이었다. 실험결과 유기산(구연산 및 옥살산) 생성량의 경우 *A. niger* KCTC 6144가 Malt Extract Broth 배지에서 초기 pH 3.5에서 가장 좋았다. 한편 코발트 및 구리 침출실험결과로는 *A. niger* KCTC 6985를 사용한 경우가 효과적이었는데, 고액농도 10 g/L인 경우, pH 3.5, 24°C에서 약 15일 경과 후 코발트의 경우는 82%, 구리는 98%의 침출율을 나타내었다.

주제어 : 곰팡이, 코발트, 구리, 유기산, 미생물 침출

ABSTRACT

Bioleaching behavior of metal ions for recovery of cobalt and copper from cobalt concentrate was investigated by employing three *Aspergillus niger* strains. Various factors, such as organic acid generation with fungi type, pH of the culture and pulp density were studied. The results showed that the best fungi for organic acid(citric acid and oxalic acid) generation was *A. niger* KCTC 6144 using Malt Extract Broth culture at initial pH 3.5. But *A. niger* KCTC 6985 was more effective for the leaching of cobalt and copper from cobalt concentrate. Our results showed that 82% cobalt and 98% copper was dissolved by *A. niger* KCTC 6985 at 10g/L pulp density, at pH 3.5 and 24°C after 15 days incubation.

Key words : *Aspergillus niger*, cobalt, copper, organic acid, bioleaching

* January 21, 2013 · Revised : February 21, 2013 · Accepted : March 6, 2013

*Corresponding Author : Jae woo Ahn (E-mail: jwahn@daejin.ac.kr)

Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, Hoguk-ro 1007, Pocheon-si, Gyeonggi-do, 487-711, Korea

Tel : +82-31-539-1982 / Fax : +82-31-539-1980

©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

미생물 침출법은 박테리아(Bacteria)나 곰팡이(Fungi) 등 미생물의 직·간접 반응기구에 의해 금속광석의 물리·화학적 성질을 변화시켜 금속을 이온상태로 침출시키는 공정으로, 금속함량이 낮아 기존의 건식 및 습식공정으로 처리하기에 부적합한 저품위 광석이나 소량의 금속이 분산되어 있는 폐기물로부터 유가금속을 회수할 수 있는 방법이다. 현재 구리의 경우 전체 생산량의 25% 이상이 미생물 침출법으로 회수되고 있으며 다른 황화물 또는 산화물로부터 아연, 니켈, 코발트, 그리고 몰리브덴 회수와 저품위 광물자원의 품위 향상 및 불순물 제거를 위하여 미생물을 이용한 기술 개발이 진행 중에 있다^{1,2)}. 그동안은 주로 박테리아의 일종인 *Thiobacillus* 균을 사용하여 황동광에서 구리를 침출하는 기술이 많이 보고되어 왔으나 이 경우는 황화광에만 적용이 가능하기 때문에 적용 원료에 한계가 있다. 그러나 미생물로 곰팡이를 이용할 경우에는 곰팡이균의 신진대사 작용에 의해 생성되는 구연산(citric acid), 옥살산(oxalic acid), 말릭산(malic acid) 등의 유기산을 사용함으로써 특정 금속성분의 선택적 침출이 가능하다. 따라서 비황화광인 저품위 라테라이트광이나³⁻⁵⁾ 이와 유사한 광물학적 형태를 나타내는 저품위 코발트 산화광이나 복합광 그리고 공정폐기물 및 도시광산 등으로 적용을 위해 연구가 활발히 진행 중에 있다.⁶⁻¹¹⁾

기존의 함코발트 광석이나 폐기물에서 코발트를 침출하는 경우 대부분 무기산 (H_2SO_4 , HCl , HNO_3)을 침출제로 사용하고 있으며, 이 경우 Cl_2 , SO_x 그리고 NO_x gas나 유독성 침출잔사가 발생되기 때문에 환경에 악영향을 미치고 있다. 따라서 환경친화적인 유기산을 이용하여 코발트 및 구리의 침출에 관한 연구를 실시하고자 하였다.

이미 전 연구 결과에서 구연산이나 말릭산 등의 유기산에 의해 복합광물인 코발트 정광에서 코발트와 구리의 침출율이 우수하다는 것을 확인 하였다.¹²⁾ 따라서 본 연구에서는 이러한 유기산을 생성할 수 있는 균주로 곰팡이류인 *Aspergillus niger*(이하 *A. niger*) 균주를 사용하여 유기산 생성에 관한 최적 조건을 확립하고, 코발트 정광에 적용시켜 구리 및 코발트의 침출거동을 고찰하고, 향후 미생물 침출기술의 기초 자료를 얻고자 하였다.

2. 실험 재료 및 방법

2.1. 균주 및 배지

본 실험에서 사용한 곰팡이 균으로는 *A. niger* KCTC 6985, *A. niger* KCTC 6144, *A. niger* KCTC 6906 등 3종류를 구입하여 사용하였다. 균의 배양을 위해 사용한 배지로는 Malt Extract Broth(Difco사)를 사용하여 15 g/L로 조절한 후 배지액으로 사용하였다. Table 1에 배지의 조성을 나타내었다.

2.2. 균주 배양

250 ml Erlenmeyer flask에 100 ml의 배양액을 넣은 다음 균주를 접종을 하여 Shaking incubator에서 24°C, 180 rpm으로 3일간 배양시키고, 이어서 새로운 배지액을 사용하여 2차 계대 배양을 하고 30일간 배양시키면서 일정시간 마다 샘플을 채취하였다. 채취한 샘플을 micro syringe filter(cellulose acetate, 0.45 μ m)를 이용하여 여과한 후 HPLC(MetaCarb 87H Column, Waster)를 이용하여 생성된 유기산(구연산, 옥살산 등)의 농도를 측정하고, pH미터(Horiba, Model:D-51)를 이용하여 pH를 측정하였다.

2.3. 침출 실험

실험방법으로는 500 ml 삼각플라스크에 배지액을 300 ml 첨가하고 초기 pH를 3.5로 조절 한 다음 24°C에서 180 rpm으로 3일간 배양시킨 배지 액에 코발트 정광을 각각 5 g/L, 10 g/L, 20 g/L, 50 g/L로 첨가하여 고액농도(pulp density) 변화에 따른 침출실험을 실시하였다. 침출실험은 shaking incubator에서 24°C, 180 rpm으로 같은 조건으로 반응시켰다. 일정시간 반응 시킨 후 샘플을 채취하여 여과 후에 침출액의 pH를 측정하고, micro syringe filter(cellulose acetate, 0.45 μ m)를 이용하여 2차 여과 후 침출액중의 금속이온의 농도를

Table 1. Composition of culture medium

	Component	wt%
Malt Extract Broth	Malt Extract	40.0
	Maltose, Technical	12.0
	Dextrose	40.0
	Yeast Extract	8.0

Table 2. Concentration of elements in sample

	Mg	Fe	Al	Co	Cu
Wt %	13.74	4.02	11.16	9.68	17.05

ICP-OES(Perkin Elmer / Optima 2000DV)를 이용하여 분석한 후 식(1)을 이용하여 각 금속의 침출율을 구하였다. 한편 본 침출실험에 사용한 코발트 정광의 경우 외국(콩고)에서 입수한 것으로 화학조성은 Table 2와 같고 주로 산화물과 탄산염의 복합형태를 나타내었다.

$$\text{Leaching(\%)} = \frac{\text{Amount of metal in the leaching solution}}{\text{Amount of metal in the concentrate}} \times 100 \quad (1)$$

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 균주 배양 결과

곰팡이(Fungi)균으로 *A. niger* KCTC 6985, *A. niger* KCTC 6144, *A. niger* KCTC 6906의 3종류에 대해 Malt Extract Broth 배지를 이용하여 각 균주별 최적 배양조건 및 이때 생성된 유기산의 농도를 Table 3에 나타내었다. 초기 pH는 3.5, 온도는 24°C, 교반속도는 180 rpm을 유지하였다. 배양된 균주는 마치 포도송이처럼

럼 구형의 형태를 나타내었으며, 균주를 3일간 배양 후 HPLC 측정 결과 배양액 중에는 유기산(구연산, 옥살산, 말릭산 등)이 생성됨을 확인하였다. 이때 생성된 유기산의 경우 균주에 따라 유기산의 종류 및 농도가 다르게 관찰되었다. 유기산 생성이 가장 많은 균주는 *A. niger* KCTC 6144와 *A. niger* KCTC 6985이었다. 그러나 이 두 균주의 경우 구연산 보다는 옥살산의 생성이 많았고, *A. niger* KCTC 6906의 경우에는 구연산 생성이 많았고, 말릭산은 적은 양이 생성됨을 확인하였다.

3.2. 유기산 생성을 조사

세종류의 곰팡이(Fungi)균에 대해 Malt Extract Broth 배지를 이용하여 24°C, 180 rpm으로 장시간 배양하면서 생성된 구연산, 옥살산, 말릭산 등의 유기산 농도를 측정하여 그 결과를 Fig. 1 및 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1은 pH를 조절하지 않은 자연(natural) pH이고 Fig. 2는 초기 pH를 3.5로 조절하여 배양한 결과이다. *A. niger* KCTC 6985의 경우 옥살산 > 구연산 > 말릭산 순으로 생성량이 많았고, 옥살산의 경우 15일 이후 급격한 생성을 보여 약 12 g/L 생성한 후 지속적으로 산 농도를 유지하였다. 구연산의 경우 12일 경과 후 농도가 약 5.5 g/L 까지 증가한 후 다시 감소하였고, 말릭산의 생성량은 최대 1 g/L 정도의 생성만을 보여 저조한 생성율을 보였다. *A. niger* KCTC 6144의 경우 구연산이 15일 경과 후 약 7.0 g/L 생성되어 3종의 균주 중

Table 3. Fungal strains and culture conditions (24°C / 180 rpm / 72 hr)

	<i>Aspergillus niger</i> (KCTC 6144)	<i>Aspergillus niger</i> (KCTC 6906)	<i>Aspergillus niger</i> (KCTC 6985)
Culture medium	Malt Extract Broth	Malt Extract Broth	Malt Extract Broth
Initial pH	3.5	3.5	3.5
Final pH	2.84	3.28	3.01
Citric acid (ppm)	332.63	247.69	227.06
Oxalic acid (ppm)	906.63	30.48	1017.32
Malic acid (ppm)	41.32	38.56	38.82

Fig. 1. Organic acid production by different *Aspergillus niger* strains at natural pH (Malt Extract Broth/ 24°C / 180 rpm).

에서 가장 많이 생성되었고, 옥살산의 경우는 15일 후 급격한 생성을 보여 약 5 g/L를 생성한 후 지속적으로 산농도를 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 말릭산의 경우도 15일 경과 후 3 g/L 정도의 생성을 보였다. *A. niger* KCTC 6906의 경우는 구연산만 약 5.5 g/L 까지 증가한 후 급격히 감소 하였고, 옥살산과 말릭산의 생성량은 미미하였다.

Fig. 2는 배지의 초기 pH를 3.5로 조절하여 배양한 결과로 *A. niger* KCTC 6985의 경우 구연산의 경우 7.0 g/L로 약간 증가하였으나, 옥살산의 경우는 약간 감소하여 10 g/L를 나타내었고, 말릭산은 거의 생성되지 않았다. *A. niger* KCTC 6144의 경우는 구연산 농도가 증가하여 최대 약 10.0 g/L 정도를 나타내었다. 한편, *A. niger* KCTC 6906의 경우는 큰 차이가 없었다.

따라서 상기 결과로부터 구연산 생성면에서는 *A. niger* KCTC 6144가 약간 우수하며, 초기 pH를 3.5로

조절할 경우 효과가 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 배양 후 12-13일 경에 구연산의 최대 생성율을 나타내었고, 옥살산의 경우에는 15일 이후에 급격히 생성이 증가하는 경향을 보였다.

3.3. 미생물 침출 실험

3.3.1. 균주별 침출률 비교

일반적으로 유기산 생성 미생물에 의한 금속 침출 반응기구로는 유기산의 생성/분비를 통한 산 가수분해 (acidolysis) 과정과 용액 중에서 citrate 착물을 형성하는 착화작용(complexolysis)으로 구분할 수 있으며 이에 대한 반응식은 다음과 같이 나타낼 수 있다³⁾.

i) Proton attack

Fig. 2. Organic acid production with different *Aspergillus niger* strains at pH 3.5 (Malt Extract Broth/ 24°C / 180 rpm).

ii) Complexation / Chelation

(M : Co, Cu, Fe, Ni 등)

따라서 반응이 진행됨에 따라 침출액의 pH 변화가 예상되기 때문에 각 금속의 침출율 및 침출액의 pH 변화를 측정하여 상관관계를 분석하고자 하였다.

Fig. 3은 3종류의 균주를 사용하여 Malt Extract Broth 배지에서 고액농도를 10 g/L로 유지하여 침출실험을 실시한 결과이다. Fig. 3(a)는 *A. niger* KCTC 6985의 침출실험 결과로 구리의 침출율이 코발트의 침출율 보다 높게 나타났다. 코발트의 경우 초기 38% 정도의 침출율을 보이다가 꾸준히 침출율이 증가하여 20일 경과 후 80% 내외까지 증가하는 경향을 보이다 이후 약간 감소하는 경향을 보였다. 구리의 경우에는 반응초기 21% 정도의 침출율을 보이다가 이후 급격히 증

가하여 20일 전후에는 98% 이상의 높은 침출율을 보였고, 이후 약간 감소하는 경향을 보였다. 한편, 철, 마그네슘 및 알루미늄의 경우는 침출률은 매우 낮아 구리와 코발트의 선택적 침출이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3(b)는 *A. niger* KCTC 6144의 침출실험 결과로 코발트의 침출률이 가장 높게 나왔으나 최대 침출률이 60%미만으로 전반적으로 낮은 침출 결과를 나타내었고, 구리의 경우는 20% 내외의 더욱 낮은 침출을 나타내었고, 기타 금속의 경우는 침출율이 매우 낮았다. Fig. 3(c)는 *A. niger* KCTC 6906을 사용한 실험 결과로 *A. niger* KCTC 6144의 침출실험 결과와 유사한 결과를 보였는데 코발트의 침출율이 50% 내외이고 구리는 20% 내외의 침출률을 보였다. 따라서 본 실험결과 *A. niger* KCTC 6985가 가장 효과가 좋다는 것을 알 수 있었다. 이러한 경향은 앞선 실험에서 유기산 생성면에서는 *A. niger* KCTC 6144가 *A. niger* KCTC 6985

Fig. 3. Leaching behavior of metal ions at different *Aspergillus niger* (Malt Extract Broth, 24°C, 180 rpm, pulp density 10 g/L).

Fig. 4. Leaching percentage of cobalt and copper at different pulp density (*A. niger*KCTC 6985 / Malt Extract Broth /pH 3.5 / 24°C / 180 rpm).

보다 높게 나왔는데 실제 침출 결과는 *A. niger* KCTC 6985가 다소 높았다. 이러한 현상은 정광을 투입하여 배양시 각 금속 성분들에 의한 독성 등 여러 가지 요인에 의해 실제 배양 효과가 달라질 수 있기 때문이며 이에 대한 내용은 추가 실험을 통하여 검토할 예정이다.

3.3.2. Pulp density 영향

각 균주별로 배양액과 코발트 정광의 고액농도비(Pulp density)를 5 g/L, 10 g/L, 20 g/L, 50 g/L로 변화시켜가면서 코발트 및 구리의 침출 거동을 조사하였다. Fig. 4는 *A. niger* KCTC 6985의 침출 실험 결과를 나타내었다. Fig. 4(a)는 코발트 침출 결과로 반응 초기에는 고액농도 5 g/L와 10 g/L인 경우 침출율이 40% 내외로 비슷한 결과를 보였으나 5 g/L에서는 크게 증가하지 못하고 50% 정도의 침출율을 유지한 반면에 10 g/L의 경우에는 지속적으로 증가하면서 20일 경과 후 80% 정도의 침출율을 보였다. 한편, 고액농도 20 g/L 와 50 g/L인 경우에는 침출율이 각각 약 35% 및 25%의 침출율

을 보였고 유사한 침출 거동을 나타내었다. Fig. 4(b)는 구리의 침출 결과를 나타낸 것으로 고액농도 5 g/L인 경우에 초기 침출율이 높게 나타났으나 5일 경과 이후에 75% 내외의 침출율을 나타낸 반면에 10 g/L 경우에는 반응 초기 20% 정도의 낮은 침출율을 보였으나 이후 급격한 증가를 보이면서 20일 경과 후에는 95% 이상의 높은 침출율을 보였다. 하지만 20g/L와 50g/L의 경우에는 침출률이 급격히 감소하면서 각각 10%와 5% 내외의 침출율을 보였다. Fig. 4(c)는 각 고액농도 실험시의 침출액의 pH변화를 나타낸 그림으로 고액농도가 증가할수록 pH가 증가하여 상대적으로 추출율이 낮은 것으로 판단된다.

Fig. 5는 *A. niger* KCTC 6144 균주를 사용한 침출 실험 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)는 코발트의 농도별 침출율을 나타낸 것으로 반응 초기 3일내에 침출율이 급격히 증가하고 이후에는 큰 변화 없이 추출율이 약간의 등락을 나타내고 있다. 고액농도가 증가할수록 추출율이 감소하는 경향을 보이고 있고, 5 g/L에서 3

Fig. 5. Leaching percent(%) of Cobalt and Copper at different pulp density (*A. niger* KCTC 6144 / Malt Extract Broth / pH 3.5 / 24°C / 180 rpm).

Fig. 6. Leaching percent(%) of Cobalt and Copper at different pulp density (*A. niger* KCTC 6906/ Malt Extract Broth / pH 3.5 / 24°C / 180 rpm).

일 후 57%로 가장 높은 침출율을 보였다. 10 g/L의 경우에는 반응 후기인 19일 경과 후 높은 침출율을 나타내었으나 이 후 다시 감소하는 경향을 보였다. 고액농도 20 g/L 와 50 g/L의 경우에는 침출율이 35%와 25% 정도로 낮은 침출율을 보였다. Fig. 5(b)는 구리의 침출 결과를 나타낸 것으로 5g/L 에서 가장 높은 침출율을 보여 3일 경과 후 75%의 침출율 나타내었다. 반면 10 g/L 이상의 농도에서는 침출율이 급격하게 감소하여 각각 10 g/L에서 25%, 20 g/L 에서 20%, 50 g/L 에서 약 5%의 침출율을 나타내었다. Fig. 5(c)는 고액농도 변화에 따라 배지 용액의 pH 변화 추이를 고찰한 그림이다. 고액농도가 0 g/L인 Control 용액의 경우 pH가 감소하다가 5일 이후부터 서서히 증가하다가 13일 이후 급격히 증가하는 경향을 보이고 있으나 고액농도비가 5 g/L 에서 50 g/L로 증가함에 따라 초기 pH가 급격히 증가하는 경향을 보이고 있고 이후에는 완만한 증가추이를 보이고 있으나 고액농도가 높을수록 큰 변

화가 없는 경향을 보였다.

Fig. 6은 *A. niger* KCTC 6906을 배양시키면서 침출 실험을 실시한 결과를 나타내었다. Fig. 6(a)는 코발트 침출 결과로 반응 초기에는 고액농도 5 g/L 에서 50% 내외로 가장 높은 침출율을 보였고 이어서 10 g/L 에서 40%, 20 g/L는 35%, 50 g/L에서는 25% 내외의 침출율을 보였다. Fig. 6(b)는 구리의 침출 결과를 나타낸 것으로 5g/L의 경우 초기 40%의 침출율이 9일 경과 후 67%로 증가하다가 다시 감소하는 경향을 보였다. 고액농도 10 g/L, 20 g/L, 50 g/L의 경우에는 전반적으로 침출율이 급격히 감소하면서 20% 미만의 침출율을 나타내었다. 따라서 이 경우는 코발트 보다 구리의 침출율이 약간 낮은 경향을 보였다. Fig. 6(c)는 고액농도 변화에 따라 배지 용액의 pH 변화 추이를 고찰한 그림으로 Fig. 4(c)와 유사한 결과를 나타내고 있다. 고액농도가 0 g/L인 control 용액의 경우 pH가 일정하다가 13일 이후 급격히 증가하는 경향을 보였고, 고액농도비

가 5 g/L에서 50 g/L로 증가함에 따라 초기 pH가 급격히 증가하는 경향을 보이다가 이후에는 완만한 증가추이를 보이고 있어 고액농도비가 높을수록 pH의 변화가 적었다.

4. 결 론

1) 곰팡이(Fungi)균으로 *A. niger* KCTC 6985, *A. niger* KCTC 6144, *A. niger* KCTC 6906 등 3종류를 Malt Extract Broth 배지를 사용하여 각 균주별로 구연산, 옥살산 및 말릭산 등의 유기산 생성을 비교한 결과 *A. niger* KCTC 6144가 우수하였고, 초기 pH를 3.5로 조절할 경우에 유기산 생성을 촉진하는 효과가 있었다. 한편, 구연산의 경우는 배양 후 12-13일 경에 최대값을 보였고, 옥살산의 경우에는 15일 이후에 급격히 생성이 증가하는 경향을 나타냈다.

2) 3종류의 *Aspergillus niger* 균주를 배양하면서 코발트 정광을 사용하여 침출 실험을 실시한 결과, *A. niger* KCTC 6985를 사용할 경우 고액농도 10 g/L에서 pH 3.5, 24, 180 rpm으로 15일간 배양 후 코발트는 최고 80%, 구리는 최고 98%의 침출률을 보였다. 그리고 철, 알루미늄 및 마그네슘의 침출율은 3종류의 균주를 사용할 경우 모두 5%이하의 낮은 침출율을 나타내었다.

3) 고액농도(Pulp density) 변화에 따라 침출 실험을 고찰 한 결과 전반적으로 고액농도가 증가함에 따라 구리 및 코발트의 침출율은 감소하는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업인 “친환경 제련공정을 활용한 광석내 코발트 기초 소재화 기술” 지원사업으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. D.E. Rawlings, 1998 : Industrial practice and the biology of

- leaching of metals from ores, J. Ind. Microbiol. Biotechnol. **20**, pp. 168-274.
2. Brierley, J.A. and Brierley, C.L. 2001 : Present and future commercial applications of biohydrometallurgy, Hydro-metallurgy, **59**, pp. 233-239.
3. Geoffrey S. Simate, Sehleselo Ndlovu, Lubinda F. Walubita, 2010 : The fungal and chemolithotrophic leaching of nickel laterites - Challenges and opportunities, Hydro-metallurgy, **10**, pp. 1-8.
4. J.A. Tang, M. Valix, 2006 : Leaching of low grade limonite and nontronite ores by fungi metabloic acids, Minerals engineering, **19**, pp. 1274-1279.
5. S. Mohapatra, N. Pradhan, S. Mohanty, L.B. Sukla, 2009 : Recovery of nickel from laterite nickel ore using *Aspergillus niger* and optimization of parameters, Minerals engineering, **22**, pp. 311-313.
6. Catherine N. Mulligan, Mahtab Kamali, Bernard F. Gibbs, 2004 : Bioleaching of heavy metals from a low-grade mining ore using *Aspergillus niger*, J. of Hazardous Materials, **110**, pp. 77-84.
7. F. Anjum, H. Nawaz B.M. Asgher, M. Shahid, 2010 : Leaching of metal ions from black shale by organic acids produced by *Aspergillus niger*, Applied Clay Science, **47**, pp. 356-361.
8. Orquidea Coto, Fedrico Galizia, Ianeya Hernandez, et al., 2008 : Cobalt and nickel recoveries from laterite tailings by organic and inorganic bio-acids, Hydrometallurgy, **94**, pp. 18-22.
9. Khin Moh Moh Aung, Yen-Peng Ting, 2005 : Bioleaching of spent fluid catalytic cracking catalyst using *Aspergillus niger*, Journal of Biotechnology, **116**, pp. 159-170.
10. I.M. Castro, J.L.R. Fietto, R.X. Vieira, et al., 2000 : Bioleaching of zinc and nickel from silicates using *Aspergillus niger* cultures, **57**, pp. 39-49.
11. Jae-Woo Ahn, Jin-Ki Jeong, Jae-Chun Lee, Dong-Gin Kim, 2005 : Bioleaching of valuable metals from electronic scrap using fungi(*Aspergillus niger*) as a microorganism, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, **14**(5), pp. 24-31.
12. Jae-woo Ahn, Hyo-Jin Ahn, Meong-Woon Kim, 2011 “Chemical Leaching of Co, Cu, Ni, Al, Fe by Organic acid from Cobalt Concentrate” J. of Korean inst. of Resources Recycling, **20**(6), pp. 63-70.

安 孝 眞

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 현재 대진대학교 신소재공학과 대학원

安 在 禺

- 현재 대진대학교 신소재공학과 교수
- 당 학회지 제11권 6호 참조

方 德 基

- 대진대학교 환경공학과 학사
- 대진대학교 환경공학과 석사
- 현재 (주)원택글로벌버스

金 明 云

- 현재 대진대학교 환경공학과 교수
- 당 학회지 제14권 1호 참조

《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~VIII 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)
- * 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)