

金製鍊 技術의 現況[†]

金炳洙 · [†]金致權 · 孫廷秀

韓國地質資源研究院, 資源活用素材研究部

Current Status on Gold Smelting Technology[†]

Byung-Su Kim, [†]Chi-Kwon Kim and Jeong-Soo Sohn

Minerals & Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral

요 약

현재 금의 대부분은 금광과 납, 구리 등의 비철금속을 제련하는 공정에서 발생하는 부산물인 양극 슬라임으로부터 제련되고 있다. 뿐만 아니라 금은 사용 후 수거되는 치과·의료용 재료와 폐도금액 그리고 폐인쇄회로기판(폐PCBs) 등의 폐기물로부터 상당량이 제련되고 있다. 금광과 수거되는 고 함량 금함유 폐기물로부터 금을 제련하는 방법에는 크게 염화법, 청화법, 아말감법 등이 있으며, 비철금속 제련공정상의 부산물인 양극 슬라임으로부터 금을 제련하는 방법에는 전기분해법이 있다. 전기분해법은 크게 배스-고온용융-전기분해 공정으로 구성되어 있다. 또한 폐PCBs 같은 저 함량 금함유 폐기물로부터 금을 제련하는 방법에는 주로 건식법이 사용되고 있다. 본 고에서는 금을 제련하는 기술 현황에 대하여 소개하고, 이어서 최근에 국내에서 개발 중인 금제련 기술개발을 간략히 소개하고자 한다.

주제어 : 금, 제련, 양극 슬라임, 고온용융, 전기분해

Abstract

Presently, most of gold is smelted from gold concentrates and anode slimes. Anode slimes are by-products of nonferrous smelters such as lead and copper. In addition, gold is recovered from waste dental and medical materials, waste gold coating solution, and waste printed circuit boards (waste PCBs). The smelting method of gold from gold concentrates and various wastes containing high concentration of gold is largely divided into chlorination, cyanidation, and amalgamation methods. For the anode slimes, electrolysis method is usually used, which largely consists of roasting, high temperature melting and electrolysis processes. Also, various wastes containing low concentration of gold are mainly treated by pyrometallurgical processes. In the paper, current status on gold smelting technology is reviewed, and a novel process for gold smelting which is researched in the recent is briefly introduced.

Key words : Gold, Smelting, Anode slime, High temperature melting, Electrolysis

1. 서 론

금(Au)은 인류가 사용하고 있는 금속 중에 가장 최초로 사용된 금속 중의 하나로서 금화용, 장식용, 치과·의료용 등으로 많이 쓰이고 있는 아주 중요한 귀금속이다. 최근에는 전자산업에서 미세전선(Fine Wire), 도금,

전기접점 등 전자재료로서 뿐만 아니라 인공위성과 핵발전소 등에서 특수용도로서 다양한 합금형태로 사용되고 있으며, 그 수요도 증가하고 있는 추세이다.

전 세계에서 생산되는 금은 대부분이 금 정광과 납, 구리 등의 비철금속을 제련하는 동안 전해정련 공정에서 발생하는 부산물인 양극 슬라임으로부터 제련되고 있다. 비철 제련소에서 발생하는 양극 슬라임은 금뿐만 아니라 은, 백금 등 여러 귀금속을 함유하고 있는 매우 중요한 귀금속 원료로 비철제련소에서는 아주 중요한

[†] 2007년 5월 14일 접수, 2007년 6월 12일 수리

*E-mail: k1301@kigam.re.kr

부산물로 취급된다. 또한 금은 사용 후 수거되는 치과·의료용 재료와 폐도금액 그리고 폐인쇄회로기판(폐PCBs) 등의 폐기물로부터 상당량이 제련되고 있다.

금 정광으로부터 금을 제련하는 방법에는 크게 염화법, 청화법, 아말감법 등이 있으며, 금을 함유하고 있는 금광의 종류, 입자의 크기 및 표면상태에 따라서 이와 같은 방법들은 단독 또는 조합하여 사용되고 있다¹⁵⁾. 특히 이와 같은 공법들은 사용 후 수거되는 금의 함유량이 많은 치과·의료용 재료와 폐도금액 그리고 일부 전 기전자통신기기의 폐PCBs 기판 등의 폐기물로부터 금을 회수하기 위하여 활용되고 있다. 비철제련소의 납, 구리 등의 전해정련공정에서 발생하는 양극 슬라임으로부터 금을 제련하는 방법에는 대부분 전기분해법이 사용되고 있다. 이 공정은 크게 배소-고온용융-전기분해 공정으로 이루어진다. 한편 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판으로부터 금을 제련하기 위해서는 대부분이 건식법으로 폐PCBs 기판에 함유된 금을 구리, 납 또는 구리매트 등의 포집금속에 일차적으로 농축 분리 회수하여 이루어지고 있다¹⁶⁾. 다음에 농축 분리 회수된 금을 함유한 포집금속으로부터 순도 높은 금을 생산하기 위하여 전기분해법으로 더 처리된다. 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판으로부터 금을 농축 분리 회수하기 위한 건식법에는 크게 폐PCBs에 함유된 금을 포집금속을 사용하여 합금상으로 농축 분리하여 제련하는 방법과 기존 구리, 납 등의 비철제련로를 활용하여 제련하는 방법으로 나누어진다.

현재 국내에서 생산되는 금의 대부분은 납, 구리 등의 비철금속을 제련하는 동안 발생하는 부산물인 양극 슬라임으로부터 제련되고 있으며, 일부는 금의 함유량이 많은 사용 후 수거된 치과·의료용 재료, 폐도금액 그리고 폐PCBs 등으로부터 제련되고 있다.

본 고에서는 금을 제련하는 기술 현황에 대하여 소개하고, 이어서 최근에 한국지질자원연구원에서 수행중인 금광으로부터 금제련 기술개발 연구를 간략히 소개하고

자 한다.

2. 금광석 특징

일반적으로 금광으로 취급하는 것은 금 품위가 4 g/ton 이상을 함유한 광석을 대상으로 하고 있으며, 그 이하의 품위를 갖는 광석은 경제성이 없는 것으로 알려져 있다. 한편, 구리 광산 및 납·안티몬 광산에서 채굴한 광석 중에는 금이 아주 미량 함유되어 있는 것으로 잘 알려져 있으며, 현재 구리, 아연, 납의 제련과정에서 상당량이 부산물로 회수되고 있다. 그러나 이와 같은 광석들은 금광으로 분류하지는 않는다.

일반적으로 금은 은과 함께 공존하는데 이러한 광물들을 Table 1에 표시하였다. 금·은 광석은 모암, 맥석, 수반 광물의 종류에 따라 각각 종류가 변화되지만, 크게 규산질 광석과 황화 광석으로 구분된다.

금이 가장 많이 함유된 것은 규산질 광석으로 이들 광석에는 ① 석영이 주성분이고 기타 맥석 광물 및 황화 광물을 거의 함유하지 않은 것, ② 비소를 비교적 많이 함유한 것, ③ 안티몬에 부화한 것, ④ 구리 광물에 부화된 것, ⑤ 석영 이외에 방해석 및 녹니석 등의 맥석 중에 수반하는 것, ⑥ 빙정석, 명반석, 알루미나에 부화된 점토 광물 등을 비교적 다량 수반하는 것, ⑦ 망간을 많이 수반한 것 등이 있다.

황화 광석에 부화된 금광석으로는 ① 자류철광에 부화된 것, ② 황동광, 사면동광, 유비동광 등에 수반된 것, ③ 방연광 및 섬아연광에 함유된 것, ④ 휘안광에 수반된 자연 금 등이 있다.

3. 금 제련 기술 현황

3.1. 습식제련

금 정광으로부터 금을 제련하는 방법에는 염화법, 아

Table 1. Principle gold resources¹⁶⁾.

광물명	화학식	Au(%)	비중	경도	형상	결정계	색
Native gold	Au	40~99	15.6~19.3	2.5~3	판, 모, 수지	등축	황금
Calaverite	AuTe ₂	39.5	9.24	2.5~3	괴	단사	황동
Sylvanite	(Au,Ag)Te ₂	24.5	7.9~8.3	1.5~2	판, 괴	단사	회, 은백, 담황
Krennerite	AuTe ₂	39.5	8.62	2~3	주	사방	은백, 담황
Petzite	Ag ₃ AuTe ₂	25.4	8.7~9.0	2.5~3	괴	등축	암회
Nagyagite	Pb ₃ Au(Te,Sb) ₄ S ₅	6~13	7.41	1~1.5	판	단사	암회

말감법, 청화법 등이 있으며, 금을 함유하고 있는 금광석의 종류, 입자의 크기 및 표면 상태에 따라서 이와 같은 방법들은 단독 또는 조합하여 사용되고 있다. 특히 이와 같은 금 제련법들은 사용 후 수거되는 금의 함유량이 많은 치과·의료용 재료와 폐도금액 그리고 일부 전기전자통신기기의 폐PCBs 기관 등의 폐기물로부터 금을 회수하기 위하여 활용되고 있다.

3.1.1. 염화법¹⁾

염화법은 수분이 함유되어 있는 금광석에 염소가스를 불어넣으면 금은 가용성인 AuCl₃로 변화하는 것을 이용한 금 제련법으로 이 수용액 중에 다시 황화수소를 불어 넣어 금을 침전시켜서 회수한다. 금의 회수율은 최대 95%이나 염소가스는 부식성과 독성이 매우 높고 제조비용이 고가이어서 현재는 거의 적용하지 않고 있다.

3.1.2. 아말감법²⁾

아말감법은 금이 수은과 쉽게 합금화하여 아말감을 만드는 성질을 이용하는 제련법으로 이 아말감을 가열하여 비등점이 낮은 수은을 증류하여 조금(crude gold)으로 금을 회수하는 제련법이다. Fig. 1에 보여지는 바와 같이 상온에서 금의 수은에 대한 용해도는 매우 작다. 따라서 수은이 금의 표면에 부착한 후 내부까지 침투하여 Au-Hg 금속간화합물인 아말감을 만들며, 이 아말감의 입자가 서로 붙어 큰 입자를 형성해서 맥석 입자로부터 쉽게 분리되는 성질을 이용하여 금을 추출하는 방법이다. 아말감법은 금의 입자가 비교적 큰 자연 금을 함유한 금광석에 적합하며 미세한 금입자는 수은과 접촉하여 아말감을 형성하지 않고 손실되므로 적합

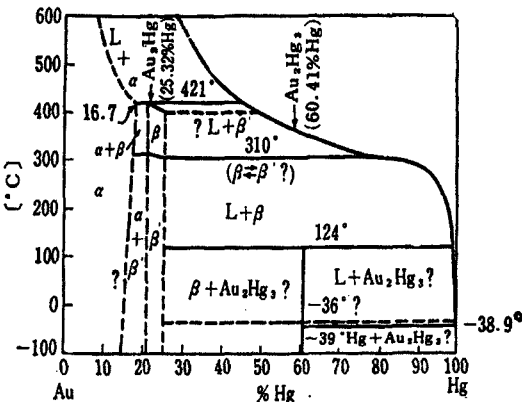


Fig. 1. Phase diagram of Au-Hg binary alloy²⁾.

하지 않다. 또한 금광석 중에 함유된 황화물은 수은의 표면에 황화물 또는 산화물을 형성하는 원인이 되어 수은이 갖고 있는 특성을 변화시키는 Sickening 현상을 일으키므로 황화물이 많이 함유되어 있는 금광석은 이 방법으로는 적합하지 않다. 황화물 중에 황화철광은 5%까지는 허용되지만 특히 As, Sb, Bi를 함유하는 황화물은 수은을 흑색분말로 변질시켜 금과 아말감을 형성하지 못하므로 이 방법을 적용할 수 없다. 일반적으로 아말감법에 의한 금의 회수율은 40~70% 정도로 낮으므로 아말감법의 광미는 다시 청화법으로 처리된다.

3.1.3. 청화법³⁾

청화법은 1888년 MacArthur와 Forrest에 의해 금광석으로부터 금을 처음으로 추출한 후 금 제련의 주류를 이루고 있으며 공정 흐름도는 Fig. 2와 같다.

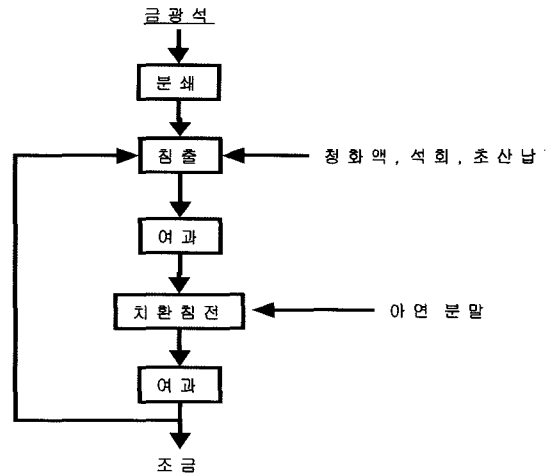
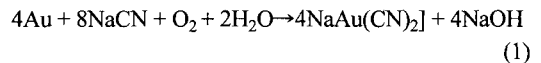


Fig. 2. Flow sheet of cyanidation method for smelting gold.

금은 귀금속으로서 화학적으로 안정하지만 산화제가 존재하는 희박한 청화액에서는 착염을 형성하여 용해하기 때문에 금광석을 200 mesh 정도로 미세하게 분쇄한 후 0.1몰 정도의 청화액을 사용하여 침출시키면 반응식(1)과 같이 침출된다.



이 반응에서 산화제인 산소의 역할은 매우 중요하며 청화액 중에 산소가 존재하지 않으면 금이 침출되지 않는다. 청화제는 청화소다, 청화칼리가 있으며 청화소다가 저렴하므로 이를 주로 사용하는데 황철광, 방연광,

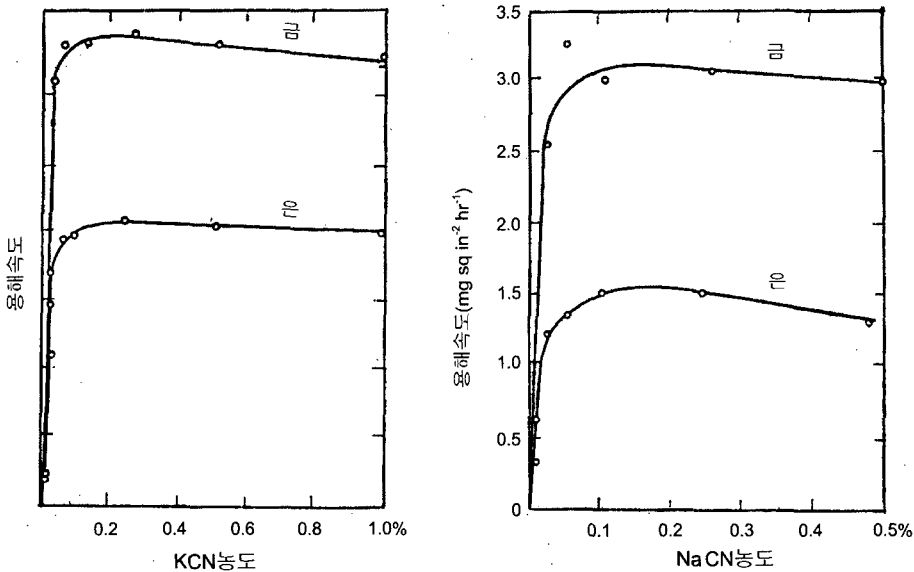


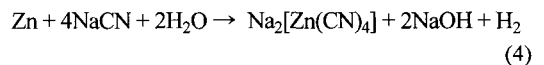
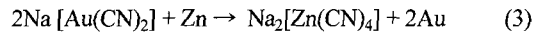
Fig. 3. Leaching rates of Au and Ag with cyanide concentration¹⁷⁾.

섬아연광, 황동광과 같은 황화물이 금광석에 혼입되어 있으면 청화제를 소모시켜 금의 침출을 방해하므로 석회를 첨가한다. 청화법에 의한 금 제련시 금의 침출속도는 청화제의 농도, 수소이온 농도 및 산소 농도와 밀접한 관계가 있다. 청화제의 농도가 증가하면 금의 침출속도는 Fig. 3에서와 같이 직선적으로 증가하여 어느 최고값에 도달하면 그 이상 증가하지 않고 오히려 약간 감소한다. 청화제의 농도가 높은 용액에서의 금의 침출속도가 감소하는 이유는 반응식 (2)에 나타난 바와 같이 수소이온의 농도가 높아지기 때문이다



또한 CN^- 이온이 가수분해하여 수소이온농도가 높아지며 수소이온농도가 높아질수록 침출속도가 낮아진다. 금광석을 청화제로 침출한 후 여과한 청화용액으로부터 금의 회수는 아연에 의한 치환 침전법을 적용한다. 이 공정에서 금과 아연의 이온화 경향차가 대단히 크므로 금은 반응 (3)과 같이 침전되며 또한 아연이 청화용액에 용해되는 반응도 (4)와 같이 진행된다. 따라서 이 공정에서 아연은 이론값보다도 15~20배 정도 많이 소요되게 된다. 아연은 순도가 높고 표면이 깨끗한 50이하의 미분말이 가장 효과적이다. 만약 청화용액 중에 용존산소가 존재하면 아연은 청화액에 계속 소모되어 침전한 금이 재 용해하는 현상이 나타나므로 Merrill-Crowe⁴⁾법에 의해 용존산소를 제거하여 산소량을 0.5g/

m/ 이하로 낮추어야 한다.



또한 청화폐액을 청화제로 다시 회수하는 것은 경제적으로 중요할 뿐만 아니라 청화액은 아주 유독한 공해물질이므로 Mills-Crowe법이나 Geco법⁵⁾으로 반드시 재생하여 다시 사용해야 한다.

한편, 아연치환 침전물에는 상당량의 아연이 불순물로 함유되어 있기 때문에 침전물을 증류하여 아연을 제거하거나 염산으로 용해한 후, 잔사를 소다회 5~20%, 규사 5~15%, 붕사 8~40%로 혼합한 후 용융시키고 슬래그를 분리하여 순도 96%이상의 조금을 생산한다.

3.2. 전기분해법

납, 구리 등의 비철금속을 제련하는 동안 전해정련 공정에서 발생하는 양극 슬라임으로부터의 금 제련은 대부분 전기분해법으로 이루어지고 있다. 이 공법은 크게 배소-고온용융-전기분해 공정으로 이루어진다. 먼저 배소 공정에서는 양극 슬라임을 SO_2 가스 분위기에서 400~600°C로 가열하여 양극 슬라임으로부터 수분과 세레늄(Se)을 증기압이 높은 산화세레늄(SeO_2) 형태로 휘발 제거한다. 다음에 고온용융 공정은 배소공정 후 얻어진 슬라임을 용융로에서 1100~1200°C로 가열하고 소

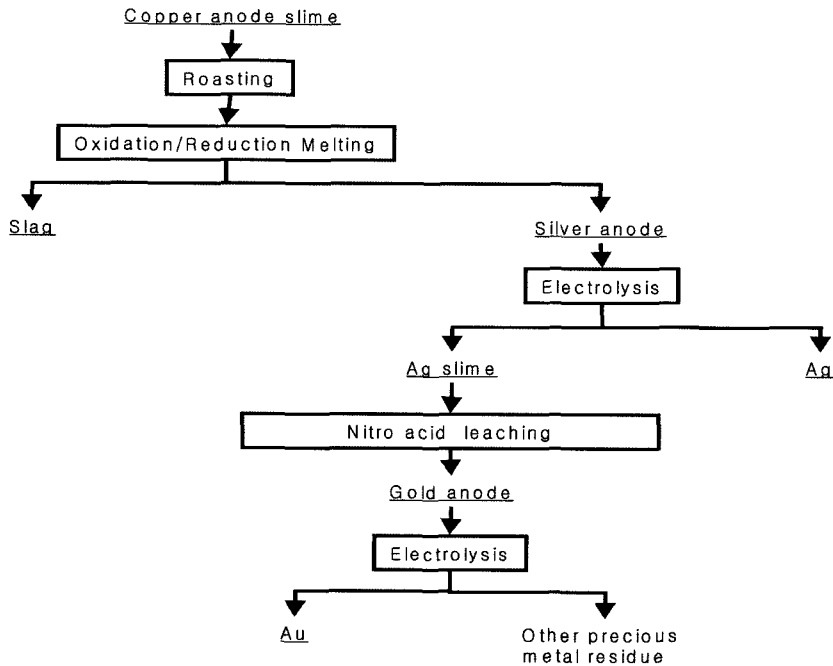


Fig. 4. Flow sheet of electrolysis method for smelting gold from anode slime generated from the copper electrolytic refining process.

다회(Na₂CO₃)와 보락스(Na₂B₄O₇) 등의 용재와 혼합하여 산화환원용융시키며 슬래그로부터 금을 함유한 은합금상을 분리하여 은양극판을 제조하는 공정이다. 다음에 전기분해 공정은 제조된 은양극판을 전기분해를 통하여 고순도의 은과 은전물로 분리하고, 이어서 은전물로부터 질산침출에 의하여 은을 분리하여 대략 94% 정도 금양극판을 제조하는 것이다. 끝으로 제조된 금양극판을 전기분해하여 고 순도의 금을 제조하는 공정이다. Fig. 4는 구리 제련하는 동안 전해제련 공정에서 발생하는 양극 슬라임으로부터 금 제련을 위한 전기분해법의 공정 흐름도를 나타낸 것이다.

3.3. 건식법

서론에서 설명한 바와 같이 건식법은 주로 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판으로부터 금을 구리, 납 또는 구리메트 같은 포집금속을 사용하여 용융금속 또는 금속간 화합물로 농축 분리 회수하는 방법으로 습식법과 비교하여 금의 회수율은 낮은 반면에 친환경적인 방법인 것으로 알려져 있다. 일반적으로 건식법은 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판을 적절한 용재와 함께 용융하는 과정 그리고 동시에 용융금속상 또는 금속간 화합

물상과 금을 함유한 용융슬래그상간의 접촉 과정을 포함한다. 용융금속 또는 금속간 화합물은 금, 은, 백금 같은 귀금속을 효율적으로 농축 분리 회수하기 위하여 사용되는 것으로써 포집금속이라 불린다. 일반적으로 포집금속은 액상에서 귀금속의 포집능력과 용융온도 및 슬래그로의 포집금속성분 손실 등을 고려하여 선택되어 지는데 납, 구리 또는 구리메트 등이 주로 포집금속으로 사용된다. 분리 회수된 금을 함유한 포집금속은 순도 높은 금을 생산하기 위하여 앞에서 설명한 습식법 또는 전기분해법으로 더 처리되어야만 한다.

건식법은 크게 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판을 비철정광 또는 제련 중간산물과 함께 직접 용융로에 투입하여 고온 용융함으로써 금을 농축분리 회수하는 방법(용융로 공법)과 전융로를 이용하여 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판을 여러 첨가물과 혼합 용융처리 하여 금을 농축분리 회수하는 두 가지 방법(전융로 공법)으로 나누어진다.

3.3.1. 용융로 공법

연 제련법

연 제련법을 이용하여 용융 연을 금의 포집금속으로

사용해서 금 함유량이 적은 폐PCBs 기판으로부터 금을 회수하는 방법이다^{6,8)}. 즉, 연정공과 함께 폐PCBs 기판을 연 제련로에 장입하여 C와 CO(g)에 의하여 PbO를 용융환원 함으로써 동시에 폐PCBs 기판에 함유된 금을 용융 연에 농축 분리 회수하는 것이다. 이후 용융 연에 농축된 금은 즉, 조연(Pb bullion)에 농축된 금은 전해정련과정 등을 통하여 조연으로부터 분리되어 양극 슬라임에 농축 회수된다. 그러나 현재 연 제련소에서 금의 정확한 회수율은 밝혀지지 않고 있다.

구리 제련법

구리 제련법에서 금 함유량이 적은 폐PCBs 기판으로부터 금 회수는 매트제련 공정과 전로공정에서 이루어진다⁹⁾. 매트제련 공정에서는 매트를, 전로공정에서는 용융 구리를 금의 포집금속으로 활용하는 것이다. 구리매트는 일반적으로 구리를 67-68%, Fe를 6-7%, S를 22% 정도 함유한다. 매트제련 공정에서는 구리정공과 함께 폐PCBs 기판을 매트제련로에 장입하여 황화구리광(Cu₂S)과 O₂(g)간에 일어나는 격렬한 산화반응을 이용하여 Cu₂S를 용융하면서 동시에 폐PCBs 기판으로부터 금을 매트에 농축 분리 회수한다. 전로공정에서는 매트로부터 조동을 제조하기 위하여 산소를 주입하며 탈황하는 과정에서 발생하는 과잉의 열을 냉각하기 위하여 냉재 대체용으로 폐PCBs 기판을 장입함으로써 동시에 폐PCBs 기판에 함유된 금을 조동에 농축 분리 회수한다. 이후 금은 전해정련과정을 통하여 조동으로부터 양극 슬라임으로 농축 분리 회수된다. Nagamori 등은 매트상과 슬래그상 및 조동과 슬래그상 간의 금, 은, 파라듐 등 귀금속의 분배율이 매우 작아 대부분의 귀금속은 매트상과 구리상으로 포집된다고 보고하고 있다^{10,11)}. 그러나 현재 구리 제련소에서는 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판을 매트제련공정과 전로공정에서 투입하여 처리하고 있으나 금의 정확한 회수율은 보고되지 않고 있다.

3.3.2. 전용로 공법

전기아크로 용융법

전기아크로 용융법은 전기 아크열을 이용해서 금의 함유량이 적은 폐PCBs 기판으로부터 용융 금을 농축 분리 회수하는 공법이다. Ban 등은 구리 제련 공정에서 발생하는 폐동슬래그와 철강 제련에서 발생하는 폐전기로 슬래그 또는 전로 슬래그를 용제 대체용으로 활용하여 폐PCBs 기판과 슬래그의 염기도를 0.7-1.3 정도로

유지하도록 혼합한 다음 전기아크로에 장입하여 1100-1300°C에서 용융한 후, 금을 함유한 합금상을 슬래그상으로부터 분리 회수하는 공정을 개발하였다¹²⁾. Reddy와 Mishra는 CaO, FeO, CaF₂ 등의 용제와 폐PCBs 기판을 적절히 혼합한 다음 전기아크로에 장입하여 1400-1550°C에서 용융한 후, 금을 함유한 합금상을 슬래그상으로부터 분리 회수하기 위한 공정을 개발하였다¹³⁾. 이 공정의 기본적인 원리는 기저금속을 이용하여 전기아크열을 발생시켜 폐PCBs 기판을 용융하고 금을 기저금속 상으로 포집하는 것이다. 이 공정은 폐PCBs 기판을 용융하기 위하여 전기 아크열을 이용하기 때문에 파쇄된 폐PCBs 기판이 너무 작을 경우 비산의 문제가 발생하며 또한 아크열을 발생시키기 위하여 구리 또는 철 등의 기저금속을 사용해야만 하는 단점이 있다.

산화/환원 탑브로잉법(Top Blowing Method)

산화/환원 탑브로잉법은 연 제련과 아연 제련 등 각종 비철제련 공정에서 배출되는 부산물로부터 아연, 구리, 납 등 유가금속을 회수하는 Top submerged lance (TSL) 공법과 유사한 공법으로 화석연료와 폐PCBs에 함유된 탄소성분을 열원으로, 그리고 폐PCBs에 함유된 구리와 주석 등의 유가금속을 금의 포집금속으로 활용하여 폐PCBs에 함유된 금을 추가적인 포집금속을 사용하지 않고 제련하는 공법이다¹⁴⁾. 즉 산화/환원 탑브로잉 공법은 폐PCBs을 적절한 용제와 혼합하여 700°C 정도에서 소각하고 이어서 1250°C 정도에서 산화용융과 환원 공정을 거쳐 폐PCBs에 함유된 금을 합금상으로 농축 분리 회수하는 공법이다. 산화용융 공정에서는 납과 아연을 환원 휘발하여 기상으로 분리 회수를 목적으로 하며 환원 공정에서는 슬래그의 유동성과 합금의 회수율을 증대시키는 것을 목적으로 한다. 배출되는 슬래그는 SiO₂, Al₂O₃, CaO와 MgO를 주로 포함한다. 이 공법은 금의 포집금속을 추가적으로 사용하지는 않지만 용제의 사용량이 다른 공법에 비하여 많다는 단점이 있다.

귀금속 동시 농축 회수 공법

귀금속 동시 농축 회수 공법은 최근에 김 등이 개발한 공법으로 폐PCBs와 자동차 폐촉매로부터 폐PCBs와 자동차 폐촉매에 함유된 금, 은, 파라듐, 백금, 로듐 등 귀금속과 구리, 주석 등 유가금속을 단일 공정에 의하여 합금상으로 농축 분리 회수하는 공법이다¹⁵⁾. 이 공법은 포집금속을 투입하지 않고 폐PCBs 중에 함유된 구리, 주석 등 금속성분을 용융 환원하여 금, 은, 파라

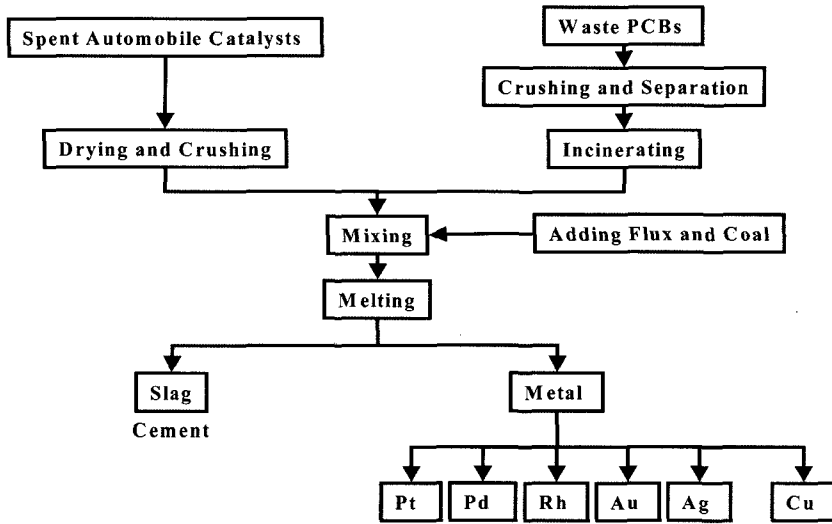


Fig. 5. Flow sheet of a process to simultaneously extract precious metals.

뿔, 백금, 로듐 등 귀금속의 포집금속으로 그리고 자동차 폐촉매의 담체성분을 용제 대체용으로 활용하는 것이 특징이다. 이 공법의 장점은 비교적 용제의 투입량이 적고, 폐PCBs뿐만 아니라 폐자동차 촉매에 함유된 금, 은, 파라듐, 백금, 로듐 등 귀금속과 폐PCBs에 함유된 구리, 주석, 니켈 등 유가금속을 단일공정으로 동시에 회수할 수 있다는 것이다. 반면에 배출되는 슬래그의 체적량이 증가한다는 단점이 있다. 그림 5는 이 공법의 개략적인 공정 흐름도를 나타낸 것이다.

4. 국내 금 제련 기술 현황

국내에서 생산되는 금은 대부분이 앞에서 설명한 전기분해법을 활용하여 납, 구리 등의 비철제련소에서 발생하는 금, 은, 파라듐 같은 귀금속의 농축물인 양극 슬라임으로부터 제련되고 있다. 또한 국내에서 가동되고 있는 유일한 금광으로부터(전남 해남에 위치) 금제련은 동 제련소의 용융로에 투입하여 양극 슬라임으로 금을 농축, 회수하여 앞 장에서 설명한 바와 같이 전기분해법으로 제련하고 있다. 한편 금의 함유량이 많은 사용 후 수거된 치과의료용 재료와 폐도금액 그리고 비교적 금 함유량이 많은 폐PCBs 등으로부터 금을 회수하는 것은 앞에서 설명한 습식법을 이용하여 일부 제련되고 있다. 특히 금을 미량함유하고 있는 폐PCBs의 경우 절단과 같은 간단한 물리적인 전처리 공정을 거쳐 LS-Nikko와 고려아연의 용융로에 투입하여 금을 제련하고 있다.

제련 공정은 앞장에서 설명한 바와 같다. 그러나 국내에서 발생하는 폐PCBs량에 비하여 LS-Nikko와 고려아연에서 처리하고 있는 폐PCBs량은 미미한 실정이다.

5. 개발 중인 새로운 금 제련 공정

전 세계적으로 금광으로부터의 금은 대부분 습식공정으로 제련되고 있다. 따라서 금 제련공정에서는 필연적으로 다량의 잔사와 폐수가 발생되어 환경적인 문제를 야기하고 있다. 특히, 오늘날 환경 문제가 큰 사회적 문제로 부각됨에 따라서 금 제련공정에서 발생하는 다량의 잔사와 폐수처리가 더욱더 중요한 문제로 인식되고 있다. 또한 현재 국내에서 채광되고 있는 경제성 있는 금광은 없는 실정이다. 이와 같은 관점에서 한국지질자원연구원(KIGAM)에서는 해외 금광을 대상으로 기존의 습식법보다 친환경적인 건식법을 활용하여 금을 제련하기 위한 새로운 공정 개발 연구를 수행하고 있다.

연구대상의 금광은 필리핀에 있는 Tampakan 광산에서 채광된 Cu 18.2%, As 1.6%, Au 145 ppm, Ag 1045 ppm 정도 함유된 Energite(3Cu₂S·As₂S₅) 정광이다. 따라서 본 연구에서는 일차적으로 유해 중금속인 비소를 산화배소를 통하여 휘발 제거한 후, 탄소용융환원하여 금을 용융 구리상으로 농축 분리 회수하는 공정과 분리 회수된 구리상을 고속 전해하여 금이 농축된 양극 슬라임을 제조하는 공정을 개발하고자 하였다. 여기서 회수된 양극 슬라임으로부터 고순도 금으로 정제하기 위해

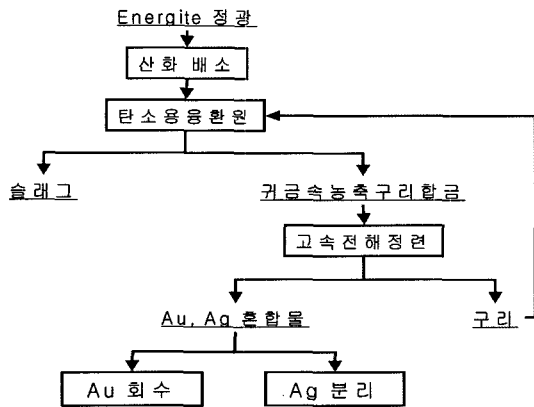


Fig. 6. Flow sheet of KIGAM process.

서는 앞장에서 설명한 전기분해법에 의하여 더 처리하여야 한다. 현재 연구, 개발되고 있는 공법은 앞서도 설명한 바와 같이 금광에 많이 함유된 구리를 금의 포집금속으로 활용할 뿐만 아니라 발생하는 슬래그를 건축재료 및 토건재료로 활용 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 고속 전해기술을 개발함으로써 금의 제련 속도를 획기적으로 개선할 수 있다는 장점이 있다. Fig. 6은 제안된 공정의 흐름도를 나타낸 것이다.

6. 맺음말

현재 전 세계적으로 금광으로부터의 금 제련은 대부분 습식법의 일종인 청화법으로 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 금 제련법은 금의 회수율은 우수하나 다량의 잔사와 유독 폐수를 발생하여 환경적인 문제를 야기한다. 따라서 향후에는 양호한 금의 회수율을 유지하면서 환경적인 문제를 최소화할 수 있는 금광석으로부터 환경친화적인 금 제련 기술 개발이 요구된다. 한편 폐PCBs와 같이 금을 매우 미량 함유한 폐기물로부터 금을 회수하기 위한 연구 개발도 매우 활발히 진행될 것으로 예측된다.

감사의 글

이 조사보고는 과학기술부에서 시행한 한국지질자원연구원 기본연구사업인 “귀금속자원 고부가 가치화 복합기술 개발” 연구과제에 의하여 수행된 것이며, 지원을 빌어 그간의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. John L. Bray, 1962: Non-Ferrous Production Metallurgy, John Wiley & Sons, Inc, 2nd Edition, pp.252-253.
2. 橋口降吉, 1976: 非鐵製鍊, 朝倉書店, pp.82-83.
3. A.W. Fahrenwald, 1978: Cyanide Processes, McGraw-Hill Book Company, New York, pp. 286-295.
4. H.F. Julian, 1983: Cyaniding of Gold and Silver Ores, Charles Griffin and Company London, pp. 113-115.
5. E.M. Hamilton, 1965: Manual of Cyanidation, McGraw-Hill Book Company, New York, p. 225.
6. L. Hedlund, L. Johansson, 1985: Recent Developments in the Boliden Lead Kaldö Plant, Recycle and Secondary Recovery of Metals, ed. P. R. Taylor, H. Y. Sohn and N. Jarrett, Warrendale, PA:TMS, pp. 787-796.
7. Private communication Korea-Zinc Incorporation, Ulsan, Ulsan, Korea, August, 2005.
8. R. Verbeeck, F. Lauwersand, G. Vermeylen, 1986: The Recycling and Recovery of Precious Metals Integrated in MHO's Smelters, Platinum Group Metals Seminar, Washington D.C., pp. 3-12.
9. Private communication LS-Nikko Copper Incorporation, Ulsan, Ulsan, Korea, September, 2006.
10. M. Nagamori, P. J. Mackey, 1978: Thermodynamics of Copper Matte Converting, Metall. Trans. B., 9(B), pp.567-579.
11. M. Nagamori, P. C. Chaul, 1982: Thermodynamics of Copper Matte Converting, Metall. Trans. B., 13(B), pp.331-338.
12. B. C. Ban, C. M. Kim, Y. I. Kim, D. S. Kim, 2002: Recovery of Precious Metals from Waste PCB and Auto Catalyst Using Arc Furnace, J of Korean Inst. of Resources Recycling, 11(6), pp.3-11.
13. R. G. Reddy, R. K. Mishra, 1986: Recovery of Precious Metals by Pyrometallurgical Processing of Electronic Scrap, Proceedings of 10th IPMI Conference", Precious Metals 1986, ed U. V. Rao, Lake Tahoe, NV, p.135.
14. A. Bernardes et al., 1997: Recycling of Printed Circuit Boards by Melting with Oxidising/Reducing Top Blowing Process, EPD Congress, Brajendra Mishra(Ed.), TMS, Warrendale, PA, p.363.
15. Byung-Su Kim et al. 2004: A Process for Extracting Precious Metals from Spent Printed Circuit Boards and Automobile Catalysts, JOM, 56(12), pp.55-58.
16. A. F. Taggart, 1974: Handbook of Ores and Industrial Minerals, John Wiley & Sons, Inc, New York, pp. 62-71.
17. (社)大韓金屬學會, 1980: 非鐵製鍊工學, 喜重堂, p.278.

金 炳 洙

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 선임연구원
- 당 학회지 제 13권 5호 참조

金 致 權

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
- 당 학회지 제 13권 5호 참조

孫 廷 秀

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 책임연구원
- 당 학회지 제 12권 1호 참조

學會誌 投稿 安內

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解說	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解說, 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 解說하고, comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會義의 報告, 國內外的 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, 陪霜 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 揭戴하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.