

저품위 동(Cu) 함유 슬러지로부터 동 전해정련에 관한 연구

이진연* · §손성호* · 박성철* · 정연재* · 김용환* · 한철웅* · 이만승** · 이기웅***

*한국생산기술연구원, **목포대학교, ***성일하이메탈

Study on the Copper Electro-refining from Copper Containing Sludge

Jin-Yeon Lee*, §Seong Ho Son*, Sung Cheol Park*, Yeon Jae Jung*, Yong Hwan Kim*,
Chul Woong Han*, Man-seung Lee** and Ki-Woong Lee***

*Korea Institute of Industrial Technology, Incheon 21999, Korea

**Mokpo National University, Mokpo 58554, Korea

***Sungeel Himetal Ltd., Chonbuk 54002, Korea

요 약

저품위 동 함유 슬러지로부터 회수된 동 조급속을 황산구리 전해액에서 전해정련을 수행하여 고순도 동을 회수하고자 하였다. 유기첨가제 종류 및 농도에 따른 전해정련동 표면 형상 및 조도를 분석하였을 때, gelatin계 유기첨가제 5 ppm 및 thiol계 유기첨가제 5~10 ppm 혼합 조건에서 가장 우수한 표면 형상을 얻을 수 있었다. 건식환원공정을 통해 회수한 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co) 및 주석(Sn) 등의 불순물이 함유된 각 86.635, 94.969 및 99.917 wt.% 순도의 동 조급속을 사용하여 전해정련하였고, 순도 3N~4N급 전해정련동을 얻을 수 있었다. 동 조급속, 전해액, 전해정련동의 불순 원소 농도 및 동 순도 등의 분석을 통해, 순도 99.99 wt.% 이상 전해정련동을 회수할 수 있는 전해정련 공정시간 및 동 조급속 순도를 도출하였다.

주제어 : 동 슬러지, 재활용, 고순도 동, 유기첨가제, 전해정련

Abstract

The electro-refining process was performed to recovery high purity copper from low grade copper containing sludge in sulfuric acid. The surface morphologies and roughness of electro-refining copper were analyzed with variation of the type and concentration of organic additives, the best surface morphology was obtained 5 ppm of the gelatin type and 5 to 10 ppm of the thiol type organic additive. The crude metal consisted of copper with 86.635, 94.969 and 99.917 wt.%, several impurity metals of iron, nickel, cobalt and tin by pyro-metallurgical process. After electro-refining process, the purity of copper increases to 3N or 4N grade. The impurity concentrations and copper purities of copper crude metals, electrolyte and electro-refining copper were analyzed using ICP-OES, the electro-refining time and purity of copper crude metal to recover 4N grade copper were deduced.

Key words : Copper, High purity Copper, Copper recycling, Electro-refining, Organic additive

1. 서 론

동(Cu)은 산업에서 가장 많이 사용되는 금속 중 하

나로 전선, 지붕재 및 전자제품 부품에 주로 사용된다. 때문에, 동이 함유된 폐 금속자원이 많이 발생하며 재활용 기술의 중요성 및 필요성이 대두되고 있다^{1,2)}.

· Received : November 9, 2017 · Revised : November 23, 2017 · Accepted : November 27, 2017

§ Corresponding Author : Seong Ho Son (E-mail : shson@kitech.re.kr)

Surface R & D Group, Korea Institute of Industrial Technology, 156 Gaetbeol-ro, Yeonsu-gu, Incheon, 21999, Korea

©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.

현재 국내 동 재활용 관련 기업에서는, 국내자원부족으로 인하여 해외로부터 폐 가전이나 전자제품 부품에서 나오는 동 스크랩을 수입하거나, 국내 기업 중 제품 제조과정 중에 분진, 오니, 슬러지 등의 형태로 발생하는 동 함유 폐기물을 구입하여 동 회수를 실시하고 있다. 그 중 인쇄회로기판(Printed Circuit Board, PCB) 제조업체에서 PCB 에칭 및 도금 공정 시 동이 함유된 도금 폐액이 발생하게 되고 도금 폐액 내 중금속 제거 공정에서 동 함유 슬러지가 발생하게 된다^{3,4)}. 발생된 동 함유 슬러지 중 일부 고품위(동 함량 20 wt.% 이상) 동 함유 슬러지는 대기업 자회사에서 회수 및 소재화되고 있다⁵⁾. 반면, 저품위(동 함량 20 wt.% 미만) 동 함유 슬러지는 낮은 생산 경제성으로 인해 대다수 해외로 매각 또는 매립되는 상황이다. 이는, 자원빈국인 우리나라로서 유효 자원의 유출 문제점뿐만 아니라 환경오염 문제를 야기할 수 있다⁶⁾. 그러므로, 저품위 동 함유 슬러지에서의 동 회수 및 재활용과 이에 관련된 연구는 필수적이라 할 수 있다.

또한, 고순도 동을 회수하기 위해 건식공정과 습식공정을 주로 이용하는데, 건식공정 중 제련을 통해 불순물을 제거하는 기술의 경우, 낮은 경제성 및 불순물 제거 기술의 문제 등으로 인해 초고순도 동 회수에 한계를 가진다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 습식 전해정련 공정을 대부분 이용하고 있다. 제련공정에 비해 초고순도 동을 회수할 수 있는 반면, 전해정련 공정에서도 문제점이 발생하는데 높은 생산성을 위해 고전류밀도 인가하여 경제성이 저하되고 양극에 함유되어 있는 불순물로 인해 양극 부동태가 형성되는 등 기술적 문제가 존재한다^{7,8)}. 양극에 부동태가 형성될 시, 동 조금속 표면의 전도성이 저하되어 과한 과전압이 발생하게 되고 음극에 동이 불균일하게 전착되는 문제도 발생한다. 이러한 점들을 해결하기 위해서는 양극으로 사용하는 동 조금속이 함유하고 있는 불순물에 대한 전해정련 공정 시 불순물 거동 분석이 필요하다.

일반적으로 고품위(동 함량 20 wt.% 이상) 동 슬러지는 용융·정제 공정을 통해 동 함유량 70% 이상 원자재로 1차 가공 후, 동광석으로부터의 동 제련·정련을 통한 고순도 동 제조 시 일부 원자재로 사용된다. 따라서 주(主)공정인 제련 및 정련 공정 시 동 함유 슬러지 내 불순물의 영향은 비교적 낮다고 할 수 있다. 그러나, 저품위(동 함량 20 wt.% 미만, 일반적으로 Cu 함량 10% 내외) 동 함유 슬러지 만을 원자재로 사용한 동

회수 및 소재화 공정으로부터 고순도 동 제조는 높은 불순 원소 함량으로 인해 건식 및 습식 환원공정에서 4N급 이상의 고순도 동 회수에 어려움이 있어, 각 공정에서 보다 효율적인 공정개발 및 최적화가 필요하며 본 연구에서는 이들 공정에 대한 개발을 통해 저품위 동 함유 슬러지로부터 99.99 wt.% (4N) 이상의 고순도 동을 제조하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 전해정련 시, 정련 동에 대한 유기첨가제의 종류 및 농도 영향 평가를 통해 최적 첨가제 시스템을 선정하고, 건식환원공정을 통해 제조된 동 조금속의 순도에 따른 전해액 및 정련 동 내 불순물 거동을 파악하고 전해정련동의 순도에 미치는 영향을 평가하였다. 이를 통해 저품위 동 함유 슬러지로부터 4N급 이상의 정련 동을 제조하기 위한 공정시간 및 조금속 순도 등을 도출하였다.

황산구리(II) 5수화물($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 176.8 g/L, 황산(H_2SO_4) 170.0 g/L, Cl^- 20 ppm를 첨가하여 황산구리 전해액에서 동 전해정련을 수행하였다. 유기첨가제로서 gelatin계 각 2, 5, 10 ppm, thiol계 각 2, 5, 10 ppm로 농도를 달리 첨가하여 표면 형상 및 조도를 분석하였다. 황산구리 전해액에서 유기첨가제 종류 및 농도에 따른 동 표면 특성을 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopes, FEI COMPANY), Non Contact 3D Measuring System (INSIA)를 사용하여 분석하였다. 전해액의 온도는 50 °C로 일정하게 유지하였으며, 순환식 반응기를 사용하여 200 mL/min의 속도로 전해액을 순환 및 유동시켰다. 양극은 저품위 동 함유 슬러지로부터 건식환원공정을 통해 얻어진 동 조금속을 용해시켜 6 cm × 12 cm 크기로 제조하여 사용하였고, 음극은 티타늄 판을 연마지를 이용하여 연마한 후 사용하였다. 전극간 거리는 10 cm, 양극 및 음극 모두 5 cm × 8 cm 면적만 전해액에 침적되도록 밀봉(masking)하였으며 직류 전원공급장치(YPP15100A, YAMAMOTO)를 사용하여 3 A/dm² 전류밀도 공정조건에서 3시간~96시간 동 전해정련을 수행하였다. 전해정련 공정 후 동 및 불순물 순도를 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer, Integra XL, GBC Scientific)를 사용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 전해정련 첨가제(Additives) 영향

동 전해정련 시, 동 정련층에 대한 균일한 표면형상 및 조도 제어는 장시간 공정을 필요로 하는 공정 특성상 주요한 물성 제어인자이다. 본 연구에서는 동 전해도금 시 주로 사용되는 대표적인 suppressor, accelerator 및 brightener 특성의 첨가제 중 2원계 첨가제 시스템을 적용하였다. 황산구리 전해액에서 gelatin계 및 thiol계 유기첨가제의 농도를 다르게 첨가하여 전해정련 공정을 3시간 진행한 후 정련 동 표면 형상 및 조도를 분석하여 Fig. 1에 나타내었다. gelatin계와 thiol계 유기첨가제를 각 2 ppm씩 첨가하였을 때 전해정련동의 표면 형상이 매우 거칠고 6.5 μm 의 높은 조도(Ra)를 나타내었다. Thiol계 유기첨가제를 5 ppm로 농도 증가시키고 gelatin계 유기첨가제를 각 2, 5, 10 ppm 첨가하였을 때 조도(Ra)가 2.73, 2.32, 3.15 μm 로 큰 차이를 보이지 않았다. 한편, gelatin계 유기첨가제의 농도를 5 ppm으로 증가시키고 thiol계 유기첨가제를 각 2, 5, 10 ppm 첨가하였을 때 thiol계 유기첨가제 농도가 증가할수록 표면 형상이 평탄해지고 조도(Ra)는 4.39, 2.32, 1.89 μm 로 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이를 통해 gelatin계 및 thiol계 유기첨가제는 각각 suppressor

와 brightener 특성을 잘 나타내는 것을 확인하였고, 동 전해정련 시 최적 유기첨가제 시스템은 gelatin계 첨가제 5 ppm과 thiol계 첨가제 5~10 ppm의 혼합 조건임을 확립하였다.

3.2. 동 조금속(crude metal) 순도 영향

최적 종류 및 농도의 유기첨가제를 첨가한 전해액으로 전해정련을 실시하였고, 일정 시간마다 전해액 및 전해정련동의 동 및 불순 원소를 분석하였다. Table 1~3는 전해정련 시 양극으로 사용되는 동 조금속 순도 및 불순 원소 함유량에 따른 전해정련동의 순도와 불순 원소 함유량을 전해정련 시간별로 분석(ICP-OES)한 결과이다. 또한, Fig. 2는 동 조금속 순도에 따른 전해정련 시 전해액 내의 불순 원소 농도 변화를 나타낸 그림이다. Table 1에 나타낸 전해정련 양극인 동 조금속의 순도는 86.635 wt.%(low purity)이며 철(Fe)과 니켈(Ni)이 각 8.9582, 4.3242 wt.%로 불순 원소 중 가장 큰 비율을 차지하였다. 그 외 코발트(Co), 주석(Sn), 아연(Zn), 은(Ag), 금(Au) 및 망간(Mn)의 불순 원소가 극미량 함유되어 있다. 86.635 wt.% 동 조금속을 양극으로 사용하여 전해정련을 실시하였을 때, 19시간 후 99.9907 wt.%로 4N급의 정련 동을 얻을 수 있었고 43, 55 및 79시간 후 99.9894, 99.9888 및 99.9865 wt.%로 3N

Thiol type	2 ppm		5 ppm	
Gelatin type	2 ppm	2 ppm	5 ppm	10 ppm
SEM image				
Surface Roughness (Ra)	6.5 μm	2.73 μm	2.32 μm	3.15 μm
Thiol type	2 ppm	2 ppm	5 ppm	10 ppm
Gelatin type	2 ppm		5 ppm	
SEM image				
Surface Roughness (Ra)	6.5 μm	4.39 μm	2.32 μm	1.89 μm

Fig. 1. Surface morphology and roughness by organic additives concentration for copper electro-refining.

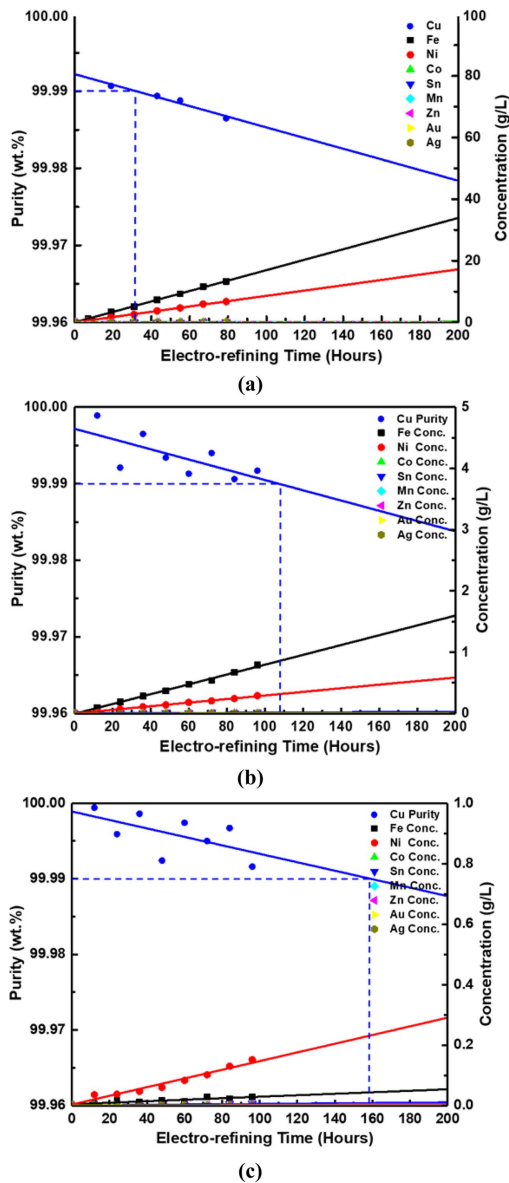


Fig. 2. Plot of copper purity in electro-refining copper and impurity element concentration in electrolyte against electro-refining time; (a)low (b)middle (c)high purity crude metal.

급으로 전해정련동의 순도가 저하됨을 알 수 있다. 이는 Fig. 2(a)에 나타낸 것과 같이 전해정련 반응이 진행됨에 따라 전해액 내 주요 불순 원소인 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도가 지속적으로 증가함을 알 수 있고, 전해정련 79시간 후 전해액 내의 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도

는 13.310 g/L와 6.742 g/L로 19시간의 농도보다 각 약 4배 증가함을 보였다. 그 외 불순 원소도 전해정련 시간이 지남에 따라, 전해액 내 농축되어 농도가 점차 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 전해액 내의 불순 원소 농도 증가는 전해정련 공정시간에 따른 정련 동의 순도와 직접적으로 영향을 미친다. 그러나 전해액 내의 불순 원소의 농도 증가량에 비해 전해정련동의 순도 저하는 비교적 소폭 나타나 공정 79시간까지 3N급을 유지하는 것을 알 수 있다. 이는 철(Fe) 및 니켈(Ni) 등 각 불순 원소의 농도 증가로 인해 철(Fe)과 니켈(Ni)의 환원전위가 증가(양의 방향)하더라도 본 전해정련 조건에서의 동(Cu)의 환원전위에 비해 매우 낮아, 상대적 전차 효율은 크게 변화하지 않은 결과이다. 그러나 불순 원소 중 철(Fe)의 전해정련동 내의 함유량은 낮은 수준이지만 55시간 이후 급격히 증가하는 추세를 나타내고 있어 이에 대한 제어기구 확보는 향후 필요할 것으로 사료된다. 니켈(Ni)의 경우 공정시간에 따른 전해정련동 내 함유량은 0.0037~0.0046 wt.%로 크게 변화하지 않는 것을 알 수 있으며, 코발트(Co), 아연(Zn), 금(Au) 및 망간(Mn)의 경우에는 거의 전착되지 않음을 알 수 있다. 그러나 불순 원소 함유량이 매우 높은 저품위 동 함유 슬러지로부터 4N급 이상의 동(Cu) 금속 순도를 구현하기 위해서 장시간 공정조건에서의 특정 불순 원소 거동 규명은 필요하며 향후 이에 대한 연구는 추후 진행할 예정이다. Table 2에 나타낸 양극으로 사용한 동 조금속 순도는 94.969 wt.%(middle purity)이며, 철(Fe)과 니켈(Ni)이 각 3.4776 및 1.5311 wt.%로 불순 원소 중 가장 큰 비율을 차지하였다. 그 외 코발트(Co), 주석(Sn), 아연(Zn), 은(Ag), 금(Au) 및 망간(Mn)의 불순 원소가 극미량 함유되어 있다. 이러한 94.969 wt.% 순도의 동 조금속을 양극으로 사용하여 전해정련을 실시하였을 때, 전해정련 24, 48, 72 및 96 시간 후, 각 99.9921, 99.9934, 99.9931 및 99.9917 wt.% 순도로, 공정 수시간에 비교적 안정적으로 4N급 전해정련동을 얻을 수 있었다. 전해정련동 내 주요 불순 원소 역시 철(Fe)과 니켈(Ni)로 전해정련 시간이 지남에 따라 철(Fe)의 함량이 미량 증가하는 것을 알 수 있다. 니켈(Ni)의 경우 0.0038~0.0045 wt.%로 비슷한 함량을 나타내었다. 또한 Fig. 2(b)에서 나타낸 것과 같이 전해액 내의 주요 불순 원소인 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도는 공정시간이 지남에 따라 증가하나, 그 농도는 86.635 wt.% 동 조금속 적용 공정에 비해 약 $\frac{1}{25}$ 의 낮은 수준을 나타내고 있어 전해정련동 순도에 크게 영

Table 1. Quantitative analysis of impurity concentration in the low purity crude metal and electro-refined cathode by ICP-OES (wt.%)

Elements		Fe	Ni	Co	Sn	Zn	Ag	Au	Mn	Cu
Cu Crude Metal		8.9582	4.3242	0.0496	0.0142	0.0097	0.0046	0.0034	0.0009	86.635
Cu Electro-refining	19 hours	0.0016	0.0039	N / D	0.0030	0.0002	0.0005	0.0001	N / D	99.9907
	43 hours	0.0017	0.0037	N / D	0.0046	0.0002	0.0004	N / D	N / D	99.9894
	55 hours	0.0040	0.0047	0.0001	0.0018	0.0002	0.0004	N / D	N / D	99.9888
	79 hours	0.0042	0.0044	0.0001	0.0040	0.0002	0.0006	N / D	N / D	99.9865

Table 2. Quantitative analysis of impurity concentration in the middle purity crude metal and electro-refined cathode by ICP-OES (wt.%)

Elements		Fe	Ni	Co	Sn	Zn	Ag	Au	Mn	Cu
Cu Crude Metal		3.4776	1.5311	0.0063	0.0062	0.0033	0.0036	0.0016	0.0012	94.969
Cu Electro-refining	24 hours	0.0014	0.0038	N / D	0.0006	0.0001	0.0019	0.0001	N / D	99.9921
	48 hours	0.0015	0.0045	N / D	0.0002	0.0001	0.0003	N / D	N / D	99.9934
	72 hours	0.0005	0.0039	N / D	0.0015	0.0002	0.0008	N / D	N / D	99.9931
	96 hours	0.0024	0.0045	N / D	0.0010	0.0003	0.0001	N / D	N / D	99.9917

Table 3. Quantitative analysis of impurity concentration in the high purity crude metal and electro-refined cathode by ICP-OES (wt.%)

Elements		Fe	Ni	Co	Sn	Zn	Ag	Au	Mn	Cu
Cu Crude Metal		0.0064	0.0716	0.0002	0.0018	0.0004	0.0031	N / D	N / D	99.917
Cu Electro-refining	24 hours	0.0002	0.0036	N / D	N / D	0.0001	0.0002	N / D	N / D	99.9959
	48 hours	0.0025	0.0039	N / D	N / D	0.0007	0.0005	N / D	N / D	99.9924
	72 hours	0.0012	0.0036	N / D	N / D	0.0001	N / D	N / D	N / D	99.9951
	96 hours	0.0015	0.0047	N / D	0.0011	0.0003	0.0008	N / D	N / D	99.9916

향을 미치지 않음을 알 수 있다. Table 3에 나타낸, 양극으로 사용한 동 조금속 순도는 99.917 wt.% (high purity)로, 철(Fe)과 니켈(Ni)이 각 0.0064와 0.0716 wt.%로 미량이지만 불순 원소 중 가장 큰 비율을 차지하고 있다. 하지만 앞의 86.635 및 94.969 wt.% 동 조금속의 경우와는 달리 철(Fe)보다 니켈(Ni)의 함량이 많았다. 이러한 94.969 wt.% 순도의 동 조금속을 양극으로 사용하여 전해정련을 실시하였을 때, 공정 24, 48, 72 및 96시간 후 모두 4N급 이상의 고순도인 99.9959, 99.9924, 99.9951 및 99.9916 wt.% 전해정련동을 얻을 수 있었다. 또한 Fig. 2(c)에서 나타낸 것과 같이 전해액 내의 주요 불순 원소인 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도는 공정시간이 지남에 따라 증가하나, 그 농도는

86.635 wt.% 동 조금속 적용 공정에 비해 현저하게 낮은 수준으로 96시간 공정 후 니켈(Ni)은 0.028 g/L, 철(Fe)은 0.152 g/L를 나타내고 있고 전해정련동 순도에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 단, 동 조금속의 철(Fe)과 니켈(Ni) 함유량과 비례하게 전해액에 니켈(Ni)이 상대적으로 많이 함유되어 있음을 알 수 있다.

3.3. 동(Cu) 전해정련 주요 공정조건 도출

Fig. 3는 양극으로 사용된 동 조금속의 순도에 따라 전해정련 시간별 전해정련동 순도를 도식화한 그림이다. 본 그림을 통해 동 조금속의 순도에 따른 99.99 wt.%(4N급) 이상의 전해정련동을 회수할 수 있는 최대 공정 시간을 예측해 볼 수 있다. 전해정련 시 양극으로

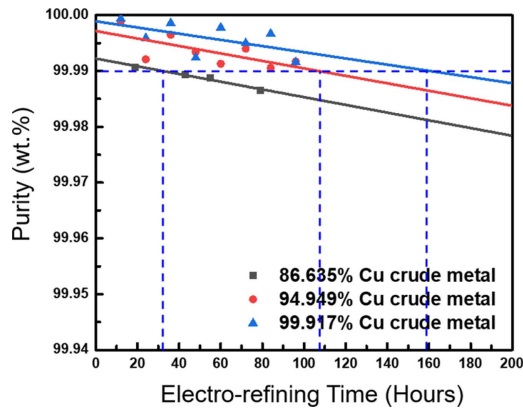


Fig. 3. Plot of copper purity in electro-refining copper against electro-refining time in different purity of copper crude metal.

사용한 86.635, 94.969 및 99.917 wt.% 동 조급속 순도에 따라 각 약 32, 107 및 159시간까지 전해정련 공정을 실시하였을 때 순도 99.99 wt.% 이상의 전해정련동을 제조할 수 있다고 예측된다. 또한 공정시간에 따른 전해액 내 불순 원소 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도변화를 도식화하여 Fig. 2에 나타내었다. 동 조급속 순도에 따라 99.99 wt.% 전해정련동을 회수할 수 있는 각 최대 예상 공정 시간을 기준으로 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도를 계산하였다. 86.635 wt.% 동 조급속을 이용하여 전해정련 32시간 실시하였을 때 전해액 내 철(Fe)의 농도는 5.496 g/L, 니켈(Ni)의 농도는 2.790 g/L이다. 94.969 wt.% 동 조급속을 이용하여 전해정련 107시간 실시하였을 때 전해액 내 철(Fe)의 농도는 0.932 g/L, 니켈(Ni)의 농도는 0.347 g/L이다. 99.917 wt.% 동 조급속을 이용하여 전해정련 159시간 실시하였을 때 전해액 내 철(Fe)의 농도는 0.048 g/L, 니켈(Ni)의 농도는 0.225 g/L이다. 따라서 전해정련 시 양극으로 사용하는 동 조급속 순도에 따라 최대 예상 공정 시간 기준 철(Fe)과 니켈(Ni)의 농도를 구함으로써, 99.99 wt.% 이상 전해정련동을 회수하기 위한 전해액 내 철(Fe)과 니켈(Ni)의 최대 관리 농도를 예상할 수 있다. 한편 86.635 wt.% 및 94.969 wt.% 순도의 동 조급속을 양극으로 사용한 전해정련 경우, 전해액 내의 동(Cu) 농도가 저하됨을 확인할 수 있었다. 따라서 안정적인 4N급 전해정련동 제조 시, 전해액 내의 불순 원소 제어와 더불어 동(Cu) 농도 관리가 중요하며, 이를 위해서 양극인 동 조급속의 최소 요구 순도를 예측할 필요가 있다. 최대 전해정련 공정시간(1 cycle)을 150시

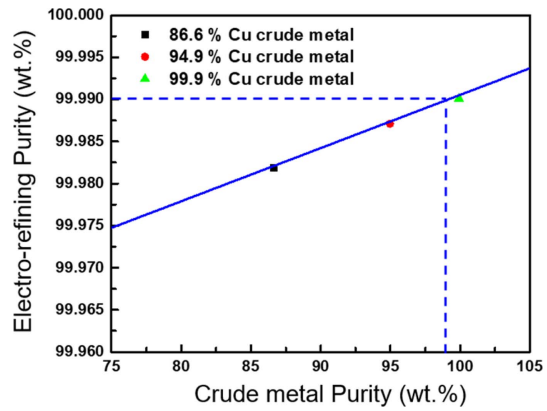


Fig. 4. Plot of copper purity in electro-refining copper against copper crude metal in different purity of copper crude metal.

간 기준으로 할 때, 전해정련동 순도에 따라 동 조급속 순도를 도식화하여 Fig. 4에 나타내었다. 이를 통해 순도 99.99 wt.% 이상의 전해정련동을 제조하기 위해서는 최소 순도 99.234 wt.% 이상의 동 조급속을 양극으로 사용해야 한다고 사료된다.

4. 결 론

저품위 동 함유 슬러지로부터 1차 제조된 동 조급속을 이용하여 황산구리 전해액에서 전해정련을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 황산구리 전해액에서 gelatin계 및 thiol계 유기첨가제 농도를 조절하여 전해정련을 수행하여 전해정련동 표면 조도가 가장 낮은 유기첨가제 최적 농도를 확립하였다.
2. 양극으로 사용된 동 조급속은 철(Fe), 니켈(Ni), 코발트(Co), 주석(Sn), 아연(Zn), 은(Ag), 금(Au) 및 망간(Mn) 등의 불순물이 함유되어 있으며, 각 86.635, 94.969 및 99.917 wt.%의 동 순도를 나타내었고, 이로부터 전해정련을 통해 제조된 최종 동 순도는 99.9865, 99.9917 및 99.9916 wt.% 이었다.
3. 동 조급속 순도에 따른 순도 99.99 wt.% 이상 전해정련동을 회수하기 위한 최대 전해정련 공정시간은 각 86.635, 94.969 및 99.917 wt.%에 대해 약 32시간, 107시간 및 159시간으로 예측할 수 있다. 또한, 최대 전해정련 공정을 150시간으로 기준으로 하였을 때, 양극으로 사용되는 동 조급속의 최소 순도는 99.234 wt.% 인 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20165010100810).

References

1. Fernando Gómez, Juan Ignacio Guzmán, and John E. Tilton, 2007 : Copper recycling and scrap availability, Resources Policy, **32**, pp. 183-190.
2. Younghee Ko Kim and Hyun Baek Ko, 2001 : A study of the recovery of shape-controlled copper oxide from the waste etchant of PCB industry, J. of. Kor. Inst. Resources Recycling, **10(6)**, pp. 15-21.
3. Elaine, Y. L. Sum, 1991 : The recovery of metal, The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, **43(4)**, pp. 53-61.
4. B. Greenderg, 1993 : Method and apparatus for recovering copper and regenerating ammonical etchant from spent ammonical etchant, US Patent 5, **188**, 703.
5. K. S. Doh, et al., 1997 : A study on the recycling of cupric oxide by using copper-containing wastewater, J. Korea Solid Wastes Engineering Society, **14(7)**, pp. 667-672.
6. Byung-Su Kim, Lee, Jae-Chun Lee, and Kwang-Ho Lee, 2007 : A novel process for extracting valuable metals from waste electric and electronic scrap using waste copper slag by a high temperature melting method, Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, **16(3)**, pp.27-33.
7. Bong-Chan Ban, et al., 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.
8. E. N. Ptekov, 1997 : Mechanisms of floating slime formation and its removal with the help of sulphur dioxide during the electrorefining of anode copper, Hydrometallurgy, **46(3)**, pp. 277-286.
9. V. Baltazar, P. L. Claessens, and J. Thiriari, 1987 : Electrorefining and winning of copper, pp. 211, Tms, Colorado.

이진연

• 현재 한국생산기술연구원 연구원

손성호

• 현재 한국생산기술연구원 수석연구원
• 당 학회지 제25권 4호 참조

박성철

• 현재 한국생산기술연구원 연구원
• 당 학회지 제25권 4호 참조

정연재

• 현재 한국생산기술연구원 학생연구원 (박사과정)

김용환

• 현재 한국생산기술연구원 수석연구원
• 당 학회지 제25권 4호 참조

한철웅

• 현재 한국생산기술연구원 연구원
• 당 학회지 제25권 4호 참조

이만승

• 현재 목포대학교 신소재공학과 교수
• 당 학회지 제11권 1호 참조

이기웅

• 현재 성일하이메탈(주) 상무
• 학회지 제18권 5호 참조