

폐 솔더 잉곳으로부터 전해정련에 의한 고순도 주석 생산

이기용 · 김홍인 · 안효진 · *안재우* · 손성호**

성일하이텍 부설연구소, 대진대학교 신소재공학과, 한국생산기술연구원 표면처리연구실용화그룹

Produce of High Purity Tin from Spent Solder by Electro Refining

Ki-Woong Lee, Hong-In Kim, Hyo-Jin Ahn, *Jae-Woo Ahn** and Seong-Ho Son***

Research & Development Centre, Sungeel Hi-Tech Ltd., Incheon 404-250, Korea

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

**Heat Treatment & Plating Technology Service Center, Korean Institute of Industrial Technology,
Incheon, 406-840, Korea

요 약

폐 솔더로부터 제조된 조주석을 전해 정련을 통하여 고순도 주석으로 제조하기 위한 연구를 수행하였다. 주석 전해정련 시 인가 전압이 0.2V일 때 99.98%의 주석이 얻어지며 0.3V로 생산 시 99.92%로 3N 이상의 주석이 얻어진다. 생산량과 주석의 순도를 고려한 전류밀도는 100~120 A/m²이며 이때 전류효율은 94% 이상이었다. 전해액중에 황산이 20~25g/L로 유지될 경우 생산된 전해주석에서 납이 100ppm 이하로 포함됨을 알 수 있었다. 슬라임의 XRD 분석결과 양극에 포함된 Cu, Ag 등은 Cu₆Sn₅, Ag₃Sn 등의 합금상으로 분석되었으며 Pb의 경우는 PbSO₄의 화합물 형태로 슬라임을 형성하는 것을 알 수 있었다.

주제어 : 폐솔더, 전해정련, 양극슬라임, 전해액, 주석

Abstract

The high pure tin production was conducted from crude-tin containing waste solder by electro-refining process. The electro-refining process maintained at 0.2V produced tin with purity of 99.98%, whereas a little increase of voltage to 0.3 V resulted tin purity of 99.92%. The high pure tin of 3N in the present process was produced by fixing the voltage at 0.3V. Considering the high pure tin production, the current density was maintained within 100 - 120 A/m² with current efficiency of 94%. Addition of sulfuric acid of 20 ~ 25 g/L to the electrolyte solution was performed in order to keep Pb (lead) concentration below 100 mg/L in the final tin product. The anode slime generated during electro refining process was analyzed by X-ray diffraction (XRD) study to understand the phases of impurities in it. It detected the presence of Cu and Ag in the slime as in the form of Cu₆Sn₅, Ag₃Sn, whereas Pb occurred as PbSO₄ compound.

Key words : spent solder, electrorefining, anode slime, electrolyte, Tin

· Received : March 13, 2015 · Revised : March 30, 2015 · Accepted : April 17, 2015

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

Department of Advanced Materials Science & Engineering, Daejin University, 1007 Hoguk-ro, 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

원자번호 50번의 원소인 주석은 낮은 녹는점으로 인해 인류가 광석에서 분리해 낸 금속 중에서는 납 다음으로 오래된 금속이다. 주석은 은백색의 결정성 금속으로, 전성과 연성이 좋아 납과 합금으로 전자회로에 사용되고 있으며 현재 생산된 주석의 반 이상이 이 뿔납에 사용된다. 주석은 천연에서 원소 상태로 존재하지 않으며 주석석(Cassiterite), 스테나이트(Stannite) 광물이 가장 많으며 중요한 광석이다. 이러한 주석은 우리나라에는 소량 부존되어있고 중국, 인도네시아, 페루, 볼리비아 등이 주요 생산국이다. 주석은 주로 주석석(SnO₂)을 환원시켜 왔으며 다른 주석 광석은 매장량도 적고 야금과정이 복잡하여 거의 사용되지 않으며 주석석을 탄소성분과 함께 가열하여 환원된 주석을 회수한다.¹⁾

주석의 경우 전자스크랩에 함유된 비철금속으로는 구리 다음으로 회수 가치가 있는 금속으로 최근에 환경규제로 인하여 무연 솔더 합금으로 대체되면서 사용량은 점차 증가 되어 주석의 중요성은 더욱 커지고 있다. 현재 납의 독성 때문에 EU의 신규정이 발표됨에 따라 특히 전자제품에서 무연 뿔납(lead-free solder) 사용이 늘어나 이 분야의 주석 수요가 증가하고 있다. 뿔납의 경우 주석 함량이 기존에는 약 63% 제품이 많이 쓰였으나 최근에는 95% 이상의 제품으로 대체되어 같은 제품 생산에 더 많은 주석이 필요하게 되었다^{2),3)}. 따라서 주석의 합금재로 대체 되는 재료로는 Sn-Ag, Sn-Cu, Sn-Bi, Sn 등이 있다. 이러한 이유로 인해 폐 주석원료로는 은, 구리, 비스무스 등이 포함되어 고순도 주석을 회수하기 위해서는 이러한 불순물 들을 정련과정을 통하여 적절하게 제거해야 한다. 먼저 폐솔더 등의 주석원료를 용해하여 불순물이 일부 함유된 조주석(Crude Sn metal)으로 만든 다음 전해정련방법으로 고순도 주석으로 회수가 가능하다⁴⁾⁻⁷⁾. 최근에 전자 폐기물인 PCB에 포함된 주석을 회수하기 위한 연구로 전해 채취를 통한 주석의 회수연구 및 전해도금 슬러지 침출액으로부터 전해채취를 이용하여 주석을 회수하는 연구 등이 일부 소개되어 있다⁸⁾⁻¹¹⁾.

본 연구에서는 전자 스크랩의 일종인 은, 납, 구리 등의 불순물을 함유한 폐 솔더로부터 고순도 주석을 회수하기 위한 공정개발의 일환으로 먼저 폐 솔더를 용해 및 1차 정련하여 조주석(Crude Sn metal)으로 제조한 후에 전해정련 공정을 거쳐 고순도 주석 생산을 위한 기초공정 개발을 위해 연구를 수행하고자 하였으며 이

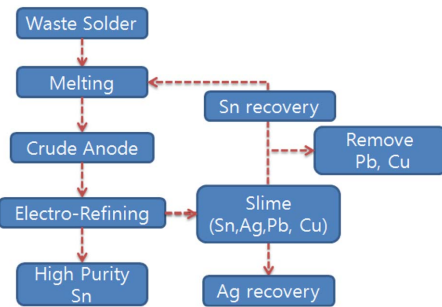


Fig. 1. Flow sheet for the recovery of high purity tin from spent solder.

에 대한 기초 공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

2. 시료 및 실험방법

실험재료로는 폐솔더를 사용하여 반사로/정련로 작업을 통해 금속 주석을 얻었으며, 이를 양극(anode)으로 주조하여 사용하였다. 양극판은 전해정련 시에 생성되는 불순물인 슬라임을 포함하기 위하여 천(양극포)으로 감싸 실험을 진행하였고 음극판(cathode)으로는 고순도 주석판을 사용하였다. 성분 함량은 ICP-EDS (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrophotometer : Perkin Elmer, Optima-4300 DV)를 이용하여 분석하였다. 불순물로는 은, 구리, 납 이외에 비스무스 등이 소량 함유되어 있으며 다음 Table 1에 분석결과를 나타내었다.

주석전해조는 Fig. 2(a)와 같이 전해셀을 제작하여 사용하였고 직류전원으로는 정류기를 사용하였다(b). 실험은 Table 2의 표준환원 전극전위 값을 확인하여 전압을 0.2 ~ 0.5 V로 변경하였으며, 이때 회수한 전해 음극의 형상은 Fig. 2(c)와 같고, 불순물 등의 분석은 염산으로 용해한 후 분석하였다.

Table 2의 표준환원 전극전위 값에서 주석은 0.1375 V에서 주석메탈 상태로 환원되며 은, 구리, 비스무스 등은 표준전극전위가 주석보다 높아 양극 슬라임으로 제거가

Table 1. The anode composition of Tin electro refining

조건	성분 (%)				
	Sn	Ag	Cu	Pb	Bi
Anode #1	98.29	0.14	0.22	1.33	-
Anode #2	94.64	1.42	0.87	0.07	1.88

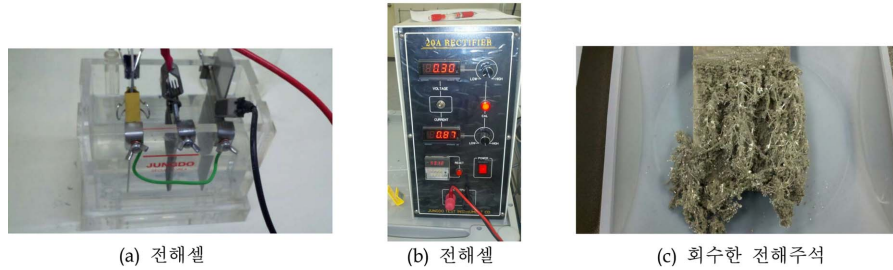


Fig. 2. The electrolytic cell and rectifiers.

Table 2. Electrochemical series of elements

Reaction	E°/V
$\text{Sn}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Sn}$	-0.1375
$\text{Pb}^{2+} + 2\text{e} \leftrightarrow \text{Sn}$	-0.12
$\text{Bi}^{+} + \text{e} \leftrightarrow \text{Bi}$	0.5
$\text{Bi}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Bi}$	0.308
$\text{Ag}^{+} + \text{e} \leftrightarrow \text{Ag}$	0.7996
$\text{Cu}^{+} + \text{e} \leftrightarrow \text{Cu}$	0.521
$\text{Al}^{3+} + 3\text{e} \leftrightarrow \text{Al}$	-1.662

Table 3. The condition of electro refining of Tin

양극	폐솔더 용융 양극
전해액	HCl 10 ~ 50 g/L, H ₂ SO ₄ 10 ~ 50 g/L, Sn 25 g/L
전류밀도	90~130 A/m ²
인가전압	0.2~ 0.5V

가능하리라 예상되나 납의 경우는 전극전위가 주석의 환원전위와 유사하여 전압 등의 조절을 통한 분리가 어렵다는 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 폐 솔더의 재활용을 위한 제조 현장 공정 안정화를 위해 전압, 전류, 전해액 중 황산농도의 변화를 통하여 고순도 주석 생산을 위한 적정조건을 찾기 위한 실험을 진행하였다.

전해 정련의 실험 조건은 다음 Table 3과 같다. 전해액은 증류수(DI water)에 염산전해액에 황산, 전류밀도, 인가전압 등에 따른 주석 생산 조건실험을 수행하였다.

전해정련 실험시 이론적 석출량과 전류효율은 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$\text{Sn석출량(g)} = \frac{\text{Ampere} \times \text{시간(초)} \times \text{원자량}}{\text{전자가} \times 96485} \quad (1)$$

$$\text{전류효율(\%)} = \frac{\text{실제Sn석출량(g)}}{\text{이론상Sn석출량(g)}} \times 100 \quad (2)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 전압 (Cell voltage) 변화 영향

전해정련은 금속의 양극용해 또는 음극 석출의 난이도의 차이에 의해 순금속을 제조하는 기술이다. 사용되는 전해질중의 불순물 이온에 대한 난용성염의 생성반응도 동시에 이용된다. 용해와 석출의 난이를 좌우하는 것은 전류가 흐르고 있는 상태에서의 전위이어서 인가전압은 매우 중요한 변수이다. 따라서 먼저 전압 변화에 따라 불순물의 제거 거동 및 전해주석의 순도에 대한 실험을 실시하였으며 이에 대한 결과를 Fig. 3에 나타내었으며 이때 회수된 주석의 순도는 Table 4에 나타내었다.

전해중 황산농도를 30 g/L로 유지하여 진행한 실험 결과로부터 전극전위가 주석보다 높은 은, 비스무스, 및 구리의 경우 양극 슬라임으로 생성되어 전해주석 층에

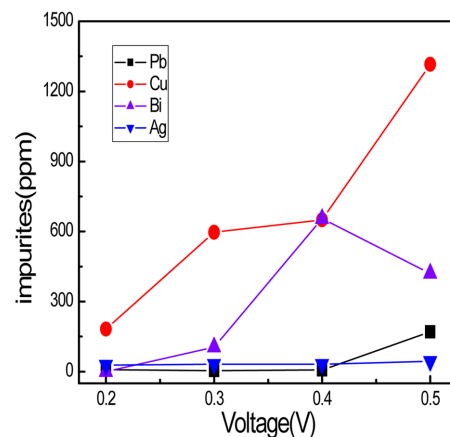


Fig. 3. The impurity of the electro refining of Tin by voltage.

Table 4. The Purity of the electro refining of Tin

Cell voltage (V)	0.2	0.3	0.4	0.5
Sn purity (%)	99.978	99.926	99.824	99.778

혼입이 어렵다. 따라서 전착된 전해주석의 순도는 0.2 V 에서 99.97%를 나타냈었으며 전압을 증가시켜 0.5 V에서는 구리의 전착이 증가되어 전해주석의 순도가 99.77%로 감소하였다. 99.9% 이상의 전해주석 주석을 제조하기 위해서는 0.3 V의 조건으로 생산이 필요함을 알 수 있었다.

3.2. 전류밀도 변화 영향

주석 전해정련 시 적정 전류를 인가하기 위해 전류밀도 변화에 따라 전착된 전해주석 중 불순물의 농도를 조사하여 아래 Fig. 4에 나타내었으며 주석 생산량, 전류효율, 전해주석의 순도 등은 Table 5에 나타냈다.

황산농도를 30 g/L로 유지하고 전류밀도를 85 A/m²에서 130 A/m²까지 증가함에 불순물인 비스무스의 경우 100 A/m²에서 전착량이 급격히 증가하였고 구리의 경우 120 A/m² 이상에서 증가하는 경향을 보였다.

전류밀도를 85 A/m²에서 130 A/m²까지 증가함에 주석의 전착량은 70.1 g에서 107.6 g까지 증가하였으며 이때 전류효율은 95%이상 얻어진 주석의 순도는

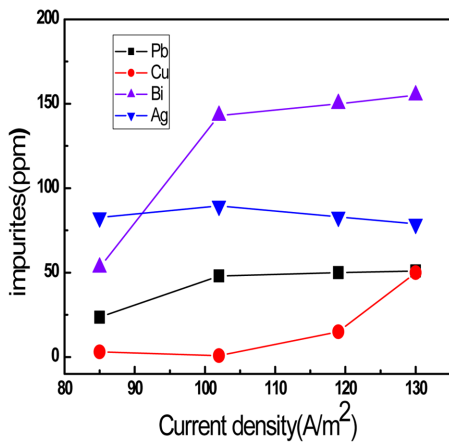


Fig. 4. Impurity of electro-refined tin with current density (A/m²).

Table 5. Current efficient and purity of electro-refined tin with current density

Current density (A/m ²)	Product of tin (g)	Current efficient (%)	Purity of Cathode (%)
85.0	70.1	94.8	99.98267
102.0	84.2	95.2	99.97514
119.0	97.0	94.2	99.96377
130.0	107.6	94.8	99.95333

99.9% 이상이었으며 85 A/m²에서 99.98%를 나타냈다.

3.3. 전해액 중 황산 농도에 따른 불순물의 거동

주석 전해 정련시 양극에 함유되어 있는 납, 구리, 비스무스, 알루미늄 등의 불순물이 용해 반응에 의해 전해액에 용출되면서 전해액에 불순물로 존재하여 음극에서 주석전해 정련시 불순물로 혼입될 가능성이 크다. 특히 납의 경우는 환원전위가 주석과 유사하여 전압 및 전류의 조절을 통한 제거가 용이하지 않다. 따라서 전해액중 황산농도를 조절하여 납을 제거하고자 하였는데 전해액중의 납은 다음 반응식에 의해 양극중에 함유된 납이 전해액중의 황산이온(SO₄²⁻)이온과 반응하여 불용성 침전물이 형성되어 제거가 가능하다 따라서 전해액중 황산농도를 증가시켜 납의 침전을 통한 전해주석의 순도 증가 효과에 관한 연구를 실시하였다.

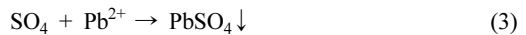


Fig. 5는 전해액 중 황산농도를 10 g/L에서 50 g/L까지 변화하면서 생산된 전해주석중의 불순물 거동을 고찰한 결과이다. 전해액중의 황산농도가 증가함에 따라 전해주석중의 납의 농도는 감소하여 150 ppm에서 36 ppm으로 감소하는 현상을 보였다. 그러나 다른 불순물들은 크게 영향이 없음을 알 수 있었다. Table 6은 황산농도를 10 g/L에서 50 g/L까지 변화하면서 생산된 주석의 양과 전류효율 슬러임 생성량을 나타내었다. 이로써 전해 주석 중 납을 100 ppm 이하로 생산하기 위해서는 30 g/L 이상의 황산이 필요함을 알 수 있었다. 그

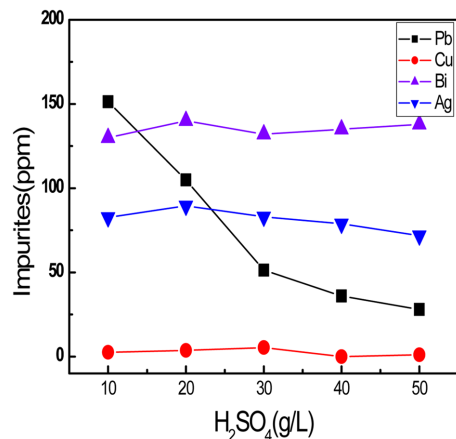


Fig. 5. Purity of electro refined of tin with sulfuric acid concentration.

Table 6. Purity of electro refined of tin with sulfuric acid concentration

Concentration of Sulfuric acid (g/L)	Purity of Cathode (%)	product of tin (g)	Current efficient (%)	Slime (g)
10	99.973	139.51	90.00	15.95
20	99.978	135.77	88.50	18.09
30	99.981	137.53	87.82	23.94
40	99.985	131.80	85.00	23.71
50	99.987	127.15	82.00	25.70

Table 7. The current efficiency and amount of slime by purity of anode

Sample	Purity of anode (%)	Current efficient (%)	Amount of Slime(g)	Purity of Cathode (%)
1	93.63	87.97	26.84	99.980
2	93.97	86.99	34.86	99.985
3	93.45	85.51	37.77	99.984
4	95.1	89.07	18.09	99.984
5	97.23	93.71	7.15	99.980
6	97.45	93.75	6.71	99.970
7	97.53	94.10	6.99	99.960

러나 황산농도가 증가함에 따라 슬라임의 생성량이 많아져 전류효율을 감소시키는 요인으로 작용하여 생산량 감소를 가져왔다. 따라서 전해액중의 황산농도를 25 g/L로 유지하는 것이 적정함을 알 수 있었다.

3.4. 전해 정련에서의 슬라임의 생성

금속의 전해 정련에서 양극의 순도는 음극의 품질에 영향을 주고 슬라임의 생성에도 큰 영향을 준다. Table 7은 양극 순도에 따라 전류효율 값과 슬라임 생성량을 조사한 결과이다. 양극판으로부터 발생되는 슬라임을 포집하기 위하여 친(양극포)으로 감싸 실험을 진행하였다. 표에서 알 수 있듯이 양극 순도가 증가할수록 전류효율은 증가하는 현상을 보였고 양극 순도가 97.53%일 때 약 94.1%의 전류효율을 나타내었다. 또한 전해양극의 순도가 증가할수록 슬라임의 생성량이 감소하여 양극순도 93.63%인 경우 26.84g에서 97.53%인 경우 6.99g으로 약 74%정도 감소하여 순도가 양극 슬라임 생성의 원인이라는 것을 알 수 있었다. 따라서 전류효율 개선 및 슬라임 생성을 감소시키기 위해서는 양극주조시 불순물의 분류 및 불순물의 제거가 필요하다는 것을 알 수 있다. 한편, 양극의 순도와 관계없이 생산된 전해주석의 순도는 99.9% 이상으로 비슷하였다.

Table 8. The composition of slime from anode (단위 : %)

	Sn	Ag	Cu	Pb
Anode slime	27.38	31.48	13.17	7.42

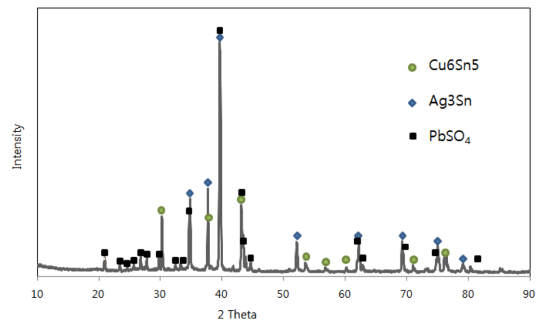
**Fig. 6.** The XRD pattern of slime.

Table 8은 주석 전해 후 슬라임의 조성을 나타낸 것으로 주석이 27.38%, 은 31.48%, 구리 13.17% 그리고 납이 7.42%로 은이 가장 많이 함유되어 있었다. 그리고 이러한 슬라임의 XRD 분석결과를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 주석 슬라임의 XRD 분석결과 Cu_6Sn_5 , $PbSO_4$, Ag_3Sn 의 합금 및 화합물 상태로 분석되었으며 이로써 은 및 구리 등의 금속들이

주석과의 금속간화합물 형태로 슬라임을 형성하고 있으며 납의 경우는 $PbSO_4$ 의 화합물로 침전되어 불용성의 슬라임을 생성하는 것을 알 수 있었다.

또한 이러한 Ag가 함유된 슬라임으로부터 Ag를 분리회수하고 그 밖의 유가금속을 회수하는 공정이 필요하다.

4. 결 론

폐 솔더로부터 제조한 조주석으로부터 전해정련에 의한 고순도 주석 생산 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 주석 전해시 인가 전압은 0.2 V일때 주석의 순도가 99.97%를 나타냈으며 인가전류가 낮아 회수량이 적은 단점이 있어 Bi, Cu등의 불순물의 석출이 적은 고순도 주석 생산 최적 조건은 0.3 V이었으며 이때 제조된 주석의 순도는 99.9% 이상이였다.

2. 주석 전해시 전류밀도를 85 A/m²에서 99.98% 이상의 주석제조가 가능하였으며 130 A/m² 까지 증가함에 따라 비스무스의 경우 100 A/m²에서 전착량이 증가하였고 구리의 경우 120 A/m² 이상에서 증가하는 경향을 보였으며 생산성 확보를 위한 전류밀도는 100~120 A/m² 이였다.

3. 주석의 전해정련시 전해질 용액에 황산을 첨가함으로써 납의 농도를 감소시킬수 있었고, 이때 황산의 적정 농도는 20~25 g/L 이다.

4. 전해 양극의 순도가 낮아짐에 따라서 전류효율을 감소시키는 경향을 보였고 슬라임 발생량은 증가시키는 것으로 확인되었다.

5. 양극 슬라임의 XRD분석결과 구리와 은은 Cu_6Sn_5 , Ag_3Sn 등과 같이 주석과 금속간 화합물 형태로 존재하고 있으며, 납의 경우는 $PbSO_4$ 형태로 슬라임중에 존재하는 것으로 확인되었다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20135010100720).

References

1. Y. S. Kim, Y. M. Hong, Y. D. Kim, C.Y. Choi, 2006 : "Understanding of strategic metal of Tin" Korea steel & metal.News.
2. S. K. Kang, P. A. Lauro, D. Y. Shih, D. W. Henderson, and K. J. Puttlitz, 2005 : "Microstructure and mechanical properties of lead-free solders and solder joints used in microelectronic applications", IBM J.Res. & Dev.49, pp. 607.
3. Yu-Na Kim, Ja-Myeong Koo, Sun-Kyu Park, and Seung-Boo Jung, 2008: "Effect of Under Bump Metallization (UBM) on Interfacial Reaction and Shear Strength of Electroplated Pure Tin Solder Bump", J. Kor. Inst. Met. & Mater. 46(1), pp. 33-38.
4. Tamas Kekesi, 2013 : "Electrorefining in aqueous chloride media for recovering tin from waste materials", Acta Metallurgica Slovaca, 19(3), pp. 196-205.
5. P. Halsall, 1989 : "The refining of Tin" Metall, 43, pp. 131-136.
6. Z. Dobo, T. Kulcsar, T. Kekesi, 2012 : "Electrorefining of tin in pure acid solutions by mechanically controlled cathode deposition and solar power utilization"Materials Science and Engineering, 37(2), pp. 19-26.
7. Rimaszéli, G. -Kulcsár, T. -Kékesi, T., 2012.: Application of HCl solutions for recovering the pure metal from tin scrap by electrorefining. Hydrometallurgy, 125-126, pp. 55-63.
8. A. Mecucci and K. Scott, 2001 : Electrochemical recovery of copper, lead and tin from a nitrate and chloride leaching solution of scrap printed circuit boards. Electrochemical Society Proceedings, 23, pp. 293.
9. A. E. C. Peres, C. A. Pereira and A.H. Matins, 2012 : "Tin recovery by recycling of printed circuit boards from obsolete computers in BRAZIL", Revista dela facultad deingenieria, 27, pp. 45-50.
10. T. Stefanowicz, T. Golik, S. Napieralska-Zagozda and M. Osinska, 1991 : "Tin recovery from an electroplating sludge" Resources, Conservation and Recycling, 6, pp. 61-69.
11. T. kekesi, T. Toro, G. Kabelik, 2000 : "Extraction of tin from scrap by chemical and electrochemical methods in alkaline media"Hydrometallurgy, 55, pp. 213-222.

이 기 용

- 현재 성일하이텍(주) 부설연구소 소장
- 당 학회지 제18권 5호 참조

김 홍 인

- 한국과학기술연합대학원대학교 자원순환공학과 공학박사
- 현재 한국지질자원연구원 기업지원연구직, 성일하이텍(주) 부설연구소 선임연구원

안 효 진

- 대진대학교 신소재공학과 학사
- 대진대학교 신소재공학과 석사
- 현재 성일하이텍 부설연구소 연구원

안 재 우

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

손 성 호

- 고려대학교 금속공학과 공학박사
- 현재 한국생산기술연구원 수석연구원

회비 납부 안내

- 항상 본 학회에 관심을 가져 주신데 대해 진심으로 감사드립니다.
- 당 학회의 이사회 및 편집위원회를 통하여 학회운영의 어려움을 해결하는 방안으로 회비가 여러 해 미납된 회원을 분류해서 관리하는 것으로 논의가 되었으며, 학회지 지면을 통하여 회원여러분께 알려드리게 되었습니다.
- 정회원 중에 회비가 여러 해 미납된 회원께서는 6월 20일까지 회비를 꼭 납부해 주시기 바라며, 향후 년회비를 2년 이상 미납한 회원에게는 학회운영상 부득이 회지우송 및 기타 소식 관련 서비스도 중단할 것이오니 조속히 회비를 납부하여 주시기 바랍니다.
- **납부일** : 2015년 6월 20일(학회지 24권 3호(2015년 6월호) 부터 발송중지 예정)
- **납부방법** : 계좌이체 또는 지로입금(지로번호 7609637)
씨티은행 : 102 - 53519 - 253 예금주 : (사)한국자원리사이클링학회
우리은행 : 1005 - 301 - 118587 예금주 : (사)한국자원리사이클링학회
- **연락처** : 한국자원리사이클링학회 사무국
전화 02-3453-3541~2, 팩스 3453-3540, E-mail : kirr@kirr.or.kr, http://www.kirr.or.kr