

空氣分級에 의한 廢콘덴서로부터 탄탈륨 회수

金相培 · 趙景佰 · 趙建濬 · 金允種 · 李在天 · 金源伯

韓國地質資源研究院, 資源活用研究部, *培材大學校 新素材工學部

Recovery of Tantalum Anode from Waste Tantalum Condenser by Air Classification

Sang-Bae Kim, Sung-Baek Cho, Keon-Joon Cho, Yoon-Jong Kim, and Jae-Chun Lee, Won-Baek Kim

Mineral and Materials Processing Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon, Korea 305-350

*Division of Advanced Mat. Sci. & Eng., PaiChai Univ., Daejeon 302-735

요 약

폐 탄탈륨 콘덴서에 함유된 탄탈륨 anode를 물리적인 방법으로 회수하고자 파쇄, 입도분리, 건식 자력선별 그리고 공기 분급 실험을 수행하였다. 단체분리를 위해 롤 크러셔를 사용하여 폐회로 공정에서 8 mesh 이하로 파쇄하면, 대부분의 탄탈륨 anode는 레진과의 단체분리는 이루어지나 일부 금속과의 단체분리가 되지 않은 상태로 남게된다. 파쇄된 시료를 8/10 mesh, 10/18 mesh, -18 mesh로 분급한 결과, 금속물질은 8/10 mesh 입자에, 탄탈륨 anode는 +18 mesh에 주로 분포하며, -18 mesh에는 레진의 함량이 71.5%로 레진이 탄탈륨 anode나 금속물질보다 미립화가 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다. 자력선별에 의한 금속 물질의 분리효율은 원료의 입도에 따라 크게 차이가 있으나, 일부 금속물질이 약자성체이거나 탄탈륨 anode와 단체분리가 이루어지지 않아 금속물질 제거율은 62.3%로 비교적 저조하였다. 탄탈륨 anode와 레진의 분리를 위한 입도별 공기 분급실험 결과, 각 입도별 최적 공기량은 각각 39 m³/h, 32 m³/h., 20 m³/h.로 나타났다. 최적의 조건으로 회수한 탄탈륨 anode의 생산율은 49.39 wt.%, 각 성분의 함량은 97.47 wt.%탄탈륨 anode, 0.93wt.%레진, 1.61 wt.%금속으로 탄탈륨 anode 실수율은 94.45%이었다.

주제어: 폐 탄탈륨 콘덴서, 단체분리, 자력선별, 공기 분급, 실수율

Abstract

Physical separation containing grinding, sieving, dry magnetic separation and air classification were carried out in order to recover Ta anode from waste Ta condenser. Roll crusher was used for the liberation of resin and metals in closed circuit system. The liberation between Ta anode and resin was easily achieved, whereas some of metals did not liberated from the Ta anode when the waste condenser was crushed below 8 mesh. When the crushed sample were divided into 8/10 mesh, 10/18 mesh and -18 mesh, metals was mainly remained in 8/10 mesh in contrast to Ta anode was in +18 mesh. It was shown that resin was more easily crushed rather than metals from the result of that resin content was 71.5% in -18 mesh. The liberation efficiency was different with the input size of the crushed sample and average efficiency was 62.3% due to the locked Ta anode particles. The results of air classification test for the crushed samples showed that optimal air flow are 39 m³/h., 32 m³/h., 20 m³/h. respectively. When the sample were separated with optimal condition, 94.45% Ta anode containing 97.47 wt.% Ta anode, 0.93 wt.% resin, 1.61 wt.% metal was recovered with 49.39 wt.% yield.

Key words : waste tantalum condenser, liberation, magnetic separation, air classification, recovery

1. 서 론

탄탈륨은 내식성이 우수하여 양극화 피막의 안정성이

우수하며, 산화피막의 유전성이 높고, 가공성이 뛰어나 콘덴서용 재료로 우수한 특성을 나타내 전체 소비량의 55% 정도가 콘덴서용으로 소비되는 것으로 알려져 있다.^{1,2)} 탄탈 콘덴서는 탄탈륨 소자(tantalum anode)를 기저로 에폭시 수지(epoxy resin) 등 고분자 물질(이하 레진이라 함)이 표피를 이루고 있으며, 콘덴서 종류에

* 2003년 1월 29일 접수, 2003년 4월 7일 수리

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

따라 다소 차이는 있으나 망간, 은, 납, 철 등 금속 성분이 소량 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 각종 전자제품에 사용되는 20종의 폐 탄탈 콘덴서를 대상으로 ICP 분석 결과, 콘덴서 중량의 47.8 wt.% 정도가 탄탈륨으로 확인되었다. 따라서, 표피를 이루는 고분자 물질인 레진과 금속물질을 제거한다면 상당량의 탄탈륨 회수가 가능할 것이다. 지금까지 폐 콘덴서로부터 탄탈륨 회수 연구는 비교적 소극적으로 진행되었으며, 그 외 폐 전자제품으로부터 유기금속의 회수를 위한 연구 역시 대부분이 물리적인 선별과정을 생략하고, 레진은 소각에 의하여 제거, 금속 성분을 회수하는 건, 습식 제련방법을 적용하고 있음을 알 수 있었다³⁻⁶⁾. 특히, 건식 제련법은 레진의 소각과정에서 발생하는 대기오염은 물론이고 슬래그(slag) 증가에 따른 금속 회수율 저하 등 여러 가지 문제점이 수반되는 것으로 나타났다⁷⁾. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 물리적인 방법, 즉, 파쇄에 의한 단체분리(liberation) 후 건식 자력선별(dry magnetic separation)과 공기 분급(air classification)에 의하여 자성을 띠는 금속성분(metallic substance)과 레진 등을 제거하여 제련공정에 투입되는 탄탈륨 anode를 농축, 탄탈륨 회수를 위한 제련공정의 효율화, 단순화 또는 환경오염 물질의 방출을 억제시키고자 하였다. 이를 위하여 폐 콘덴서로부터 탄탈륨 anode와 금속 및 레진과의 단체분리를 위하여 주 메카니즘(mechanism)이 압축인 롤 크러셔(roll crusher)를 사용하여 전량 8 mesh 이하로 파쇄한 후 선별효율 향상을 위해 입도별로 8/10, 10/18, -18 mesh 3종류로 분립하였다^{8,9)}. 분립된 입자에는 강자성 물질, 레진 그리고 회수코자하는 탄탈륨 anode가 혼재되어 있으므로 이들을 분리하기 위하여 자속밀도(flux density)가 800 gauss 정도인 영구자석(permanent magnet)을 이용하여 강자성 물질(ferromagnetic substance)을 제거하고, 약자성체와 비자성체(diamagnetic substance)를 대상으로 지그재그(zig-zag) 형태의 공기 분급기를 사용하여 공기량을 조절하면서 탄탈륨 anode와 레진 등 타 물질과를 분리하여 공기량 변화에 따른 탄탈륨 anode 분리, 회수 특성을 검토하였다.

2. 재료 및 실험

2.1. 실험재료

실험에 사용한 재료는 칩 타입 콘덴서를 대상으로 하였다. 원재료에 함유된 탄탈륨 함량을 확인하기 위하여

일정한 크기로 파쇄 후 파쇄된 시료를 Acetylene tetrabromide(Sp.Gr: 2.955~2.977, Junsei, CP, JAPAN)를 사용하여 레진 등 저비중 물질을 제거하고 고비중 물질을 대상으로 수선으로 탄탈륨과 금속성분으로 분리하였다. 분리된 탄탈륨을 Induction Coupled Plasma(ICP) atomic emission spectroscopy (SPS1500VR, Seiko Instruments Inc., Tokyo, Japan)에 의해 분석한 결과, 회수방법에 따라 다소 차이는 있었으나 회수된 탄탈륨 anode의 탄탈륨의 평균 품위는 99.6% Ta로 상당히 순수함을 알 수 있었다. 따라서, 물리적인 선별방법으로 회수된 각 산물은 육안으로 탄탈륨과 금속물질 그리고 플라스틱을 분리하여 중량을 측정하여 각 산물의 함량으로 산출하였다.

2.2. 파쇄 및 분립실험

폐 콘덴서의 표피를 이루고 있는 레진과 탄탈륨 anode의 단체분리를 위하여 롤 크러셔(roll crusher)를 사용하여 파쇄하였다. 파쇄된 시료는 8mesh 크기의 Tyler standard sieve와 로-탭(Ro-tap)을 사용하여 체질하였다. 체질 후 체에 남는 굵은 입자는 다시 롤 크러셔에 투입, 전량 8mesh 이하로 파쇄하는 폐회로 파쇄 공정(closed circuit)을 채택하였다. 파쇄된 시료는 선별 효율 향상을 위하여 10, 18 mesh 체를 사용하여 동일한 방법으로 체질(sieving)하여 8/10, 10/18, -18 mesh 크기의 3종류로 분립하여 각 산물의 중량비를 구하고, 산물별 탄탈륨 anode, 레진, 금속의 함량을 분석하고 실험용 시료로 준비하였다.

2.3. 건식 자력선별 실험

단체분리를 위한 파쇄된 시료에는 도선(lead) 등 강자성 금속물질이 혼입되어 있으므로 탄탈륨 anode와 금속물질을 분리하기 위하여 입도별로 건식 자력선별 실험을 수행하였다. 대부분의 금속성분은 강자성체이므로 자력선별 실험은 자속밀도가 800 gauss 정도의 말굽형 영구자석을 사용하여 탄탈륨 이외의 금속성분을 분리, 제거하였다.

2.4. 건식 공기분급 실험

강자성 금속 물질이 제거된 시료에는 탄탈륨 anode와 표피를 이루었던 레진이 주로 분포하고 있었다. 이들의 현저한 물리적 특성 차이는 비중으로 나타났다. 따라서 이들을 분리하기 위하여 다음 Fig. 1과 같은 지그재그형 공기 분급기(Multiplex Laboratory Classifier,



Fig. 1. Photograph of Multiplex Laboratory Classifier.

B 1-40 MZM, Alpine, German)를 사용하였다. 공기분급기의 기본원리는 유체의 흐름과 입자의 침강이 역방향의 경우로 하나의 입자가 유체속에서 중력에 의한 침강속도를 U_t , 분급되는 지점에서의 유체의 속도를 U_f 로 하면 입자는 (-)의 속도로 유체속도 방향(상부) 또는 중력방향(하부)으로 이동하게 된다. $U_t = U_f$ 라면 입자는 이론상 정지하여 평형상태가 되며, 이 경우의 입자지름을 분리 한계 입자경이라 하며, 분리한계 입자지름 $D_m = 18 \mu U_f / g(\rho_p - \rho)$ 에 의하여 계산이 가능하다. 그러나 이러한 침강속도에 관한 식은 스톡스 구형 입자에 적용이 가능하여 물리적인 방법으로 파, 분쇄한 입자처럼 대부분이 구형 이외의 불규칙한 형태의 입자에는 정확하게 적용하기는 곤란할 것이므로 경험적인 방법으로 분리입자경을 결정하기도 한다. 공기 분급실험은 8/10, 10/18, -18 mesh로 분리된 입자를 대상으로 공기 투입량을 달리하여 유속을 변화시키면서 실험을 진행하였다. 이러한 실험 공정은 다음 Fig. 2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 폐 콘덴서 원재료

콘덴서는 은(silver) 또는 흑연(carbon)으로 코팅된 탄탈륨 anode와 표피를 둘러싸고 있는 레진 그리고 리드 프레임(lead frame) 등 금속성분으로 구성되어 있다. 원재료에 함유된 각 성분을 물리적으로 각각 분리 후 중량 측정 결과, 탄탈륨 anode 함량은 50.97 wt.% 이었으며, 레진은 39.35 wt.%, 금속물질은 9.68 wt.%로 나타나 상당량이 탄탈륨 anode임을 알 수 있었다. 따라서, 물리적인 방법으로 레진 등을 제거한다면 본 연구의 목적인 제련공정의 단순화와 오염물질 배출 억제가 가능할 것으로 판단되었다.

3.2. 파쇄 및 분립실험 결과

탄탈륨 anode와 타 물질과의 단체분리를 위한 파쇄는 여러종류의 파쇄기 사용이 검토되어야 하겠으나 폐탄탈 콘덴서의 크기를 고려하여 회전하는 두 개의 롤의 압착에 의하여 파쇄가 일어나는 롤 형 파쇄기를 사용하였다. 최초 롤 간격은 2 mm 정도로 고정하고 폐탄탈 콘덴서를 투입, 파쇄된 산물은 8 mesh 체를 사용하여 체질하였다. 체에 남은 굵은 입자는 다시 파쇄기에 투입, 전량 8 mesh 이하로 파쇄되도록 하였다. 물리적 선별에서는 입도 폭이 넓은 시료는 분리효율 및 실수율이 저하되므로 선별효율 향상을 위하여 10, 18 mesh 체를

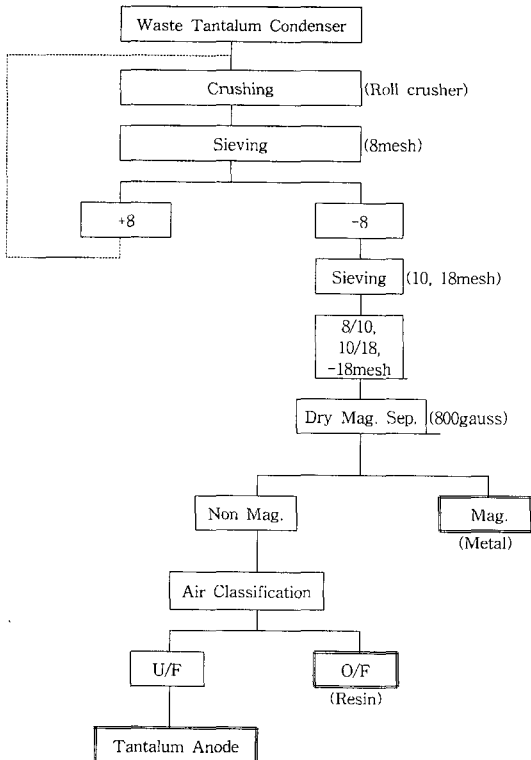


Fig. 2. Flowdiagram of Test for Recovery of Tantalum Anode in Waste Tantalum Condenser.

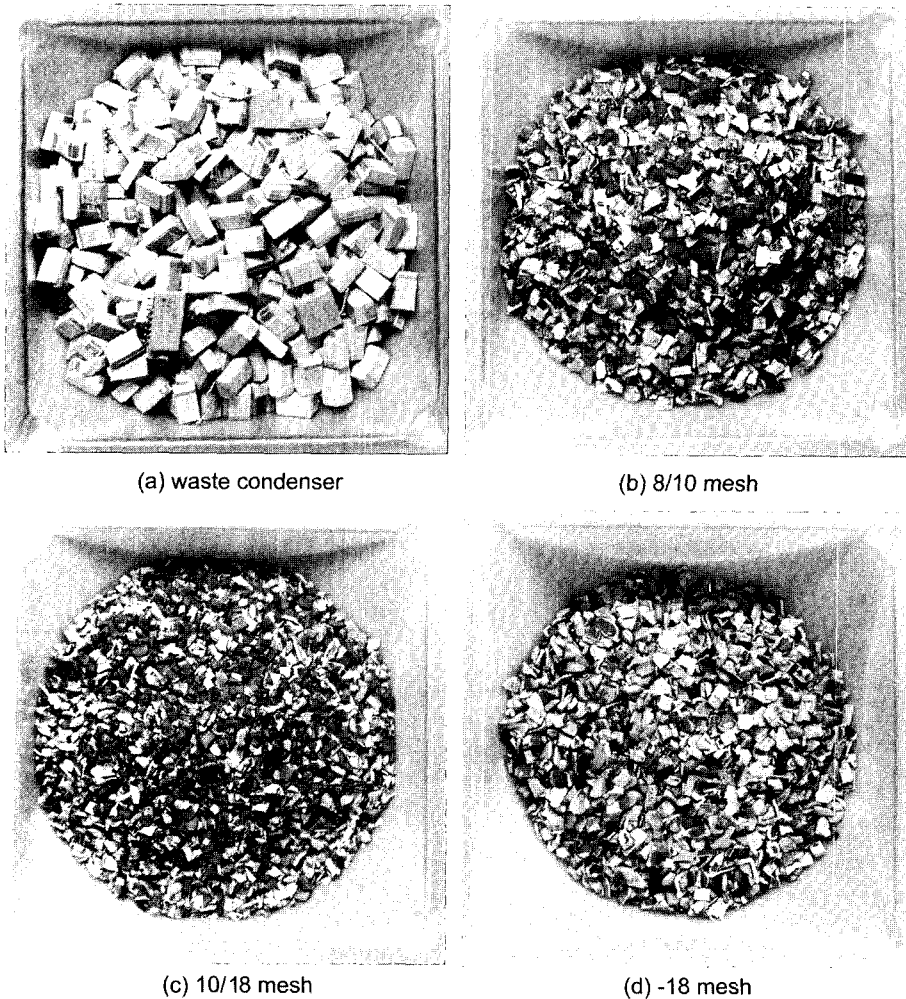


Fig. 3. Photographs of waste condenser and crushed samples.

사용하여 채질하였다. 폐 콘덴서 시료를 Fig. 3(a)에, 파쇄 후 체질에 의해 각각의 입도로 분립된 산물의 사진을 Fig. 3(b)~Fig. 3(d)에 나타내었다. 사진에서 황색은 레진, 은색은 대부분이 금속성분으로 이루어져 있으며 검정색 부분이 탄탈륨 anode로 이루어진 부분이다. Fig. 3(b)에서 알 수 있듯이 굵은 입자에는 황색, 은색, 검정색이 혼합되어 있으며, 중간 크기의 입자, Fig. 3(c)에는 황색과 검정색의 입자들로 이루어져 있으며 황색보다는 검정색의 시료가 가장 많이 분포되어 있고, 미립의 시료, Fig. 3(d)에서는 황색이 주종을 이루고 있음을 알 수 있었다. Fig. 3에 보여지는 분립된 산물의 입도별 분포율 및 각 성분의 함량을 조사하여 그 결과를 Table 1에 기재하였다.

파쇄된 산물에 대한 분립실험 결과, Fig. 3(b)에 보여지는 굵은 입도(8/10 mesh)에 분포하는 입자의 탄탈륨 anode 함량은 59.35% Ta로 전체 탄탈륨 중 25.73%가 분포함을 알 수 있었다. 특히, 이 입자 중에는 금속물질이 많이 함유되어 금속물질의 분포율은 20.34%로 전체 금속류의 46.45%가 8/10 mesh 산물에 분포하고 있었다. Fig. 3(c)의 10/18 mesh 크기의 입자의 탄탈륨의 함량은 60.30% Ta로서 전체의 59.06%가 분포하여 상당량의 탄탈륨 anode가 이 입도에 분포함을 알 수 있었다. Fig. 3(d)의 가장 미세한 입자인 18 mesh 이하의 입자 분포율은 27.98 wt.%, 탄탈륨의 함량은 27.70 wt.%, 레진의 함량은 71.51 wt.%로 18 mesh 이하 산물의 대부분은 레진이었으며, 금속 성분이 0.79%에 불과하였다. 파쇄

된 산물의 분립실험 결과, 탄탈륨 anode는 비교적 단단 하지만 부서러지는 특성이 있어 10/18 mesh 입도에 주로 분포하였으며, 금속류는 8/10 mesh와 10/18 mesh에 거의 전부 분포하고 있었다. 그러나 가장 미세한 입자인 -18 mesh 산물에는 탄탈륨 anode와 금속물질의 함량은 낮은 수준이었으며, 레진이 대부분임을 볼 때 레진이 가장 쉽게 미립화가 진행되고 금속류의 미립화가 가장 곤란함을 알 수 있었다. Fig. 3의 파쇄된 산물에 대한 관찰 결과와 각 입도별 산물에 대한 분석결과를 종합해 보면, 8mesh 이하로 파쇄하면 레진과 탄탈륨 anode의 단체분리는 거의 이루어지는 것으로 확인되었으나 철심 등 금속물질과 탄탈륨 anode와의 단체미분리된 입자들 (locked particles)이 일부 분포함을 알 수 있었다. 따라서, 이들의 단체분리를 위하여는 파쇄 입도를 더욱 작게 하거나 다른 메카니즘의 파쇄기를 추가로 사용하여야 할 것으로 사료되었다. 그러나 단체 미분리된 입자들은 탄탈륨 anode 중앙에 철심이 고정되어 있어 이들의 단체 분리를 위해서는 8 mesh 보다는 입도축소가 상당히 더 진행되어야 할 것이므로 파쇄를 더 진행시키기 위하여는 상당량의 에너지가 투입되어야 할 것이다. 따라서,

탄탈륨 anode의 미립화에 따른 실수를 저하현상 및 동력비 증가가 예상되므로 단체분리를 위한 파쇄공정에 신중을 기해야 할 것으로 사료되었다.

3.2. 건식 자력선별 실험결과

폐탄탈륨 콘덴서에는 탄탈륨 anode와 레진 그리고 망간, 은, 납, 철 등 합철 금속물질이 함유되어 있었다. 그 중, 철을 함유하는 강자성 금속 물질을 제거하기 위하여 800 gauss 정도의 영구자석을 사용하여 합철 물질을 제거하고자 하였다. 자력선별 실험은 입도별로 분립된 시료를 대상으로 하였으며, Table 2는 자력선별 실험 결과를 기재한 것이다.

건식 자력선별 실험 결과, 8/10 mesh 산물에는 합철 금속물질의 함량이 많아 자성산물의 생산율은 16.46 wt.%, 비자성 산물의 생산율은 83.54 wt.%이었다. 자성산물의 물질별 분포율은 7.64wt.% Ta, 6.91 wt.% resin이었으며, 금속은 85.45 wt.%로 나타났다. 탄탈륨 anode와 레진의 함량은 금속물질과 단체분리가 이루어지지 않은 입자들에 의한 것으로 확인되었으며, 금속물질의 69.15 wt.% 정도가 자성산물로 회수되어 비교적

Table 1. Result of Sieve Analysis Test on Crushed Sample.

Fracture (mesh)	Yield (wt.%)	Grade (%)			Distribution (%)		
		Ta	Resin	Metal	Ta	Resin	Metal
8/10	22.10	59.35	20.31	20.34	25.73	11.41	46.45
10/18	49.92	60.30	29.76	9.94	59.06	37.75	51.27
-18	27.98	27.70	71.51	0.79	15.21	50.84	2.28
Total	100.00	50.97	39.35	9.68	100.00	100.00	100.00

Table 2. Result of Magnetic Separation Test on Sieved Samples.

Fracture (mesh)	Products	Yield (wt.%)	Grade (%)			Metal Yield (%)
			Ta	Resin	Metal	
8/10	Non Mag.	83.54	69.54	22.95	7.51	69.15
	Mag.	16.46	7.64	6.91	85.45	
	Total	100.00	59.35	20.31	20.34	
10/18	Non Mag.	95.43	62.81	30.96	6.23	40.16
	Mag.	4.57	7.95	4.73	87.32	
	Total	100.00	60.30	29.76	9.94	
-18	Non Mag.	99.51	27.83	71.86	0.31	61.12
	Mag.	0.49	-	1.05	98.95	
	Total	100.00	27.70	71.51	0.79	

많은 량이 회수됨을 알 수 있었다. 이와는 달리 10/18 mesh 산물에는 자성산물이 4.57 wt.%에 불과하여 금속물질 회수율은 40.16%에 불과하였다. 자성산물의 탄탈륨 함량은 7.95 wt.% Ta로서 굵은 입자의 품위에 비하여 탄탈륨의 함량이 오히려 많아짐을 알 수 있었다. 이는 금속물질과 단체분리가 안된 입자들이 자성산물로 회수되기 때문으로 확인되었다. 그리고 -18 mesh 산물에서는 자성물질의 회수율이 0.49 wt.%에 불과하였으나 대부분이 단체분리가 이루어져 자성산물에는 탄탈륨 anode나 레진의 혼입이 거의 없는 것으로 나타나 자성산물의 금속물질 함량은 98.95%로 나타났다. 굵은 입자에는 자성산물의 생산율이 높은 반면 18 mesh 이하 입자에서는 자성산물이 소량 회수되는 것은, 레진이나 탄탈륨 anode에 비하여 연성이나 전성이 좋은 금속물질은 파쇄과정에서 미립화가 쉽게 이루어지지 않기 때문이다. 또한 굵은 입자에서 회수된 자성산물중 탄탈륨의 함량이 높은 원인은 레진과 탄탈륨 anode와는 단체분리가 거의 이루어졌으나 anode 중심부에 고정된 철심과는 단체분리가

덜 이루어져, 자력선별 과정에서 탄탈륨이 철심과 함께 자성산물로 회수되기 때문으로 판단되었다. 따라서, 8/10 mesh 크기의 입자에서 탄탈륨의 실수율을 향상시키기 위해서는 보다 미세하게 입도를 축소시키는 것이 가장 단순한 방법이겠으나, 입도축소에 투입되는 에너지와 입도축소 과정에서 발생하여 물리적인 방법으로 회수가 곤란한 미립자 생성율과 금속성분이 제련과정에서 미치는 영향 등을 종합적으로 고려하여야 할 것이다.

3.3. 건식 공기분급 실험 결과

건식 자력선별 실험에 의하여 함철 금속물질이 제거된 시료에는 주로 탄탈륨 anode와 레진 등이 함유되어 고품위의 탄탈륨 anode를 회수하기 위하여는 레진의 제거가 필수적이다. 레진과 탄탈륨 anode와의 가장 커다란 물리적 특성의 차이점은 비중으로 나타났다. 따라서 이들 물질을 분리하기 위하여 건식 공기분급 실험을 수행하였다. 공기분급 실험은 입도와 비중 그리고 풍압에 커다란 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 따라서, 각 시

Particle size	8/10 mesh		10/18 mesh		-18 mesh	
	O/F	U/F	O/F	U/F	O/F	U/F
Air vol. (m ³ /hr)						
	30		26		20	
	33		29		23	
36		32		26		
39		35		29		

Fig. 4. Photographs of various kinds of O/F and U/F products classified with different air volume.

료에 대하여 공기량을 달리하면서 실험을 수행하여 그 결과를 Table 3~5에 각각 기재하였으며, 분급실험 산물의 사진을 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 결과를 살펴 보면 모든 입도의 경우에 공기량이 적은 경우에는 U/F(Under Flow) 산물에 황색의 레진이 검정색의 탄탈륨 anode와 완전히 분리되지 않고 남아 있음을 알 수 있다. 그러나 황색 레진의 양은 공기량의 증가와 함께 적어져서 공기량이 많은 경우에는 레진은 O/F(Over

Flow) 산물에만 존재하게 됨을 볼 수 있다. 한편, O/F 산물에는 공기량이 적은 경우 대부분이 황색의 레진만이 존재하지만 공기량이 증가함에 따라 검정색의 탄탈륨 anode도 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 레진과 탄탈륨 anode의 비중 차이가 많이 난다고 하더라도 미립의 탄탈륨 anode가 O/F 쪽으로 이동하게 되어 정광에서의 탄탈륨 anode의 회수율이 감소되게 된다는 것을 나타내고 있다. 이상과 같은 현상을 보인 각종 산물에

Table 3. Result of Air Classification Test as a Function of Air Volume for 8/10 mesh Fracture.

Air vol. (hr.)	Products	Yield (wt.%)	Grade (%)			Ta Recovery (%)
			Ta	resin	Metal	
30	U/F	77.31	88.64	4.63	6.73	98.54
	O/F	22.69	4.48	85.37	10.15	
	Total	100.00	69.54	22.95	7.51	
33	U/F	75.21	90.82	4.52	4.66	98.22
	O/F	24.79	4.98	78.85	16.17	
	Total	100.00	69.54	22.95	7.51	
36	U/F	72.11	94.07	2.29	3.64	97.55
	O/F	27.89	6.12	76.35	17.53	
	Total	100.00	69.54	22.95	7.51	
39	U/F	69.31	97.16	1.24	1.60	96.84
	O/F	30.69	7.16	71.98	20.86	
	Total	100.00	69.54	22.95	7.51	

Table 4. Result of Air Classification Test as a Function of Air Volume for 10/18 mesh Fracture.

Air vol. (m ³ /hr.)	Products	Yield (wt.%)	Grade (%)			Ta Recovery (%)
			Ta	Resin	Metal	
26	U/F	75.42	82.70	10.32	6.98	99.31
	O/F	24.58	1.77	94.29	3.94	
	Total	100.00	62.81	30.96	6.23	
29	U/F	70.61	87.49	7.12	5.39	98.35
	O/F	29.39	3.52	88.25	8.23	
	Total	100.00	62.81	30.96	6.23	
32	U/F	61.35	97.66	0.36	1.98	95.39
	O/F	38.69	7.49	79.52	12.99	
	Total	100.00	62.81	30.96	6.23	
35	U/F	60.62	98.52	-	1.48	95.09
	O/F	39.38	7.83	78.61	13.56	
	Total	100.00	62.81	30.96	6.23	

Table 5. Result of Air Classification Test as a Function of Air Volume for -18 mesh Fracture.

Air vol. (m ³ /hr.)	Products	Yield (wt.%)	Grade (%)			Ta Recovery (%)
			Ta	Resin	Metal	
20	U/F	26.48	97.22	2.65	0.13	92.50
	O/F	73.52	2.84	96.79	0.37	
	Total	100.00	27.83	71.86	0.31	
23	U/F	23.58	100.00	-	-	84.73
	O/F	76.42	5.56	94.03	0.41	
	Total	100.00	27.83	71.86	0.31	

대한 분석 결과를 Table 3에 나타내었다. 먼저 8/10mesh 산물에 대한 분급실험 결과를 보면, 공기량에 따라 O/F의 생산율은 점차 증가되어 처음 30 m³/hr.의 공기량으로 분급하면 U/F의 생산율은 77.31 wt.%이었으며, 탄탈륨의 함량은 88.64 wt.%이었다. 반면 O/F로 회수되는 산물의 생산율은 22.69 wt.%이었으며, 이 산물의 탄탈륨 함량은 4.48 wt.%로 U/F로 회수되는 탄탈륨의 실수율은 98.54%로 거의 대부분의 탄탈륨이 회수 가능함을 알 수 있었다. 공기량의 증가에 따라 U/F의 생산율 및 실수율은 점차 감소되고 U/F의 탄탈륨 함량은 점차 증가됨을 알 수 있었다. 즉, 공기량을 39m³/hr.로 조절하여 분급하면 U/F의 생산율은 69.31 wt.%, 이 산물의 탄탈륨 함량은 97.16 wt.%로 탄탈륨 실수율은 96.84%임을 알 수 있었다. 이러한 현상은 공기량이 증가함에 따라 일부 단계미분리된 탄탈륨 anode 입자들이 부유되어 회수되기 때문에 O/F 산물의 탄탈륨 함량은 증가되고, U/F로 회수되는 탄탈륨의 실수율은 점차 감소되지만 U/F 산물의 탄탈륨 함량은 증가되는 것으로 판단되었다.

Table 4는 10/18 mesh 산물에 대한 분급실험 결과이다. 공기량을 26 m³/hr.로 조절하여 분급하면 U/F의 생산율은 75.42 wt.%이었으며, 이 산물의 각 성분의 함량은 82.70% Ta, 10.32% Resin, 6.98% Metal로 나타나 탄탈륨 anode의 실수율은 99.31%로 매우 높았으나 탄탈륨 anode의 함량이 상당히 낮음을 알 수 있었다. 이러한 현상은 적은 공기량으로 인하여 굵은 레진 입자들이 부유하지 못하고 탄탈륨 anode와 함께 낙하하기 때문으로 확인되었다. 따라서, 공기량을 증가시키면 굵은 레진 입자들이 부유되어 U/F 산물의 탄탈륨 anode의 함량이 증가됨을 알 수 있었다. 특히, 공기량을 32m³/hr.로 조절하여 분급하면 U/F의 생산율은 61.35 wt.%이었으며, 탄탈륨의 함량은 97.66 wt.%로 비교적 순수한

탄탈륨 anode의 회수가 가능하였다. 불순물은 0.36 wt.%의 레진과 1.98 wt.%의 금속물질이 함유되어 있어 불순물의 혼입은 매우 낮았으며, 탄탈륨의 실수율은 95.39%로 실수율 역시 매우 우수하였다.

Table 5는 18 mesh 보다 작은 입자에 대한 분급실험 결과이다. 굵은 입자와는 달리 탄탈륨 anode의 분포율이 낮아 U/F의 생산율은 상당히 낮은 수준이었다. 즉, 20 m³/hr.로 공기량을 조절하여 분급하면 U/F의 생산율은 26.48 wt.%로 나타났으며, 이 산물의 탄탈륨 anode의 함량은 97.22 wt.%로 실수율은 92.50%로 나타났다. 공기량을 증가시켜 23 m³/hr.로 분급한 결과, U/F의 생산율은 23.58 wt.%에 불과하였으나 이 산물에는 거의 순수한 탄탈륨 anode 만이 분포하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 탄탈륨의 실수율은 84.73 wt.%에 불과하였다. 이러한 현상은 파쇄과정에서 탄탈륨 anode 역시 상당히 미립화가 진행되어 굵은 레진과 함께 거동하기 때문으로 판단되었다. 따라서, 미립자(-18 mesh)에 함유된 탄탈륨 anode의 효과적인 회수를 위하여는 보다 세 부적으로 분리를 하여 분급하거나 건식 분급 이외의 비 중선별법 등을 적용하여 회수하는 것이 타당할 것으로 판단되었다.

이상에 언급한 것과 같이 폐 탄탈륨 콘덴서로부터 탄탈륨 anode 회수를 위해 파분쇄, 자력선별 및 공기분급에 의한 물리적 처리 공정을 연구하였으며 폐 콘덴서로부터 최종 탄탈륨 anode 회수까지의 공정 및 각 단계에서의 회수율 생산율 등을 종합하여 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5로부터 탄탈륨 anode 회수를 위한 입도별 공기 분급실험 결과, 각 입도별 최적의 공기량은 각각 39 m³/h, 32 m³/h, 20 m³/h.로 나타났으며, 최적의 조건으로 회수한 탄탈륨 anode의 생산율은 49.39 wt.%, 각 성분의 함량은 97.47 wt.%탄탈륨 anode, 0.93 wt.%레진, 1.61 wt.%금속으로 탄탈륨 anode 실수율은 94.45%임을

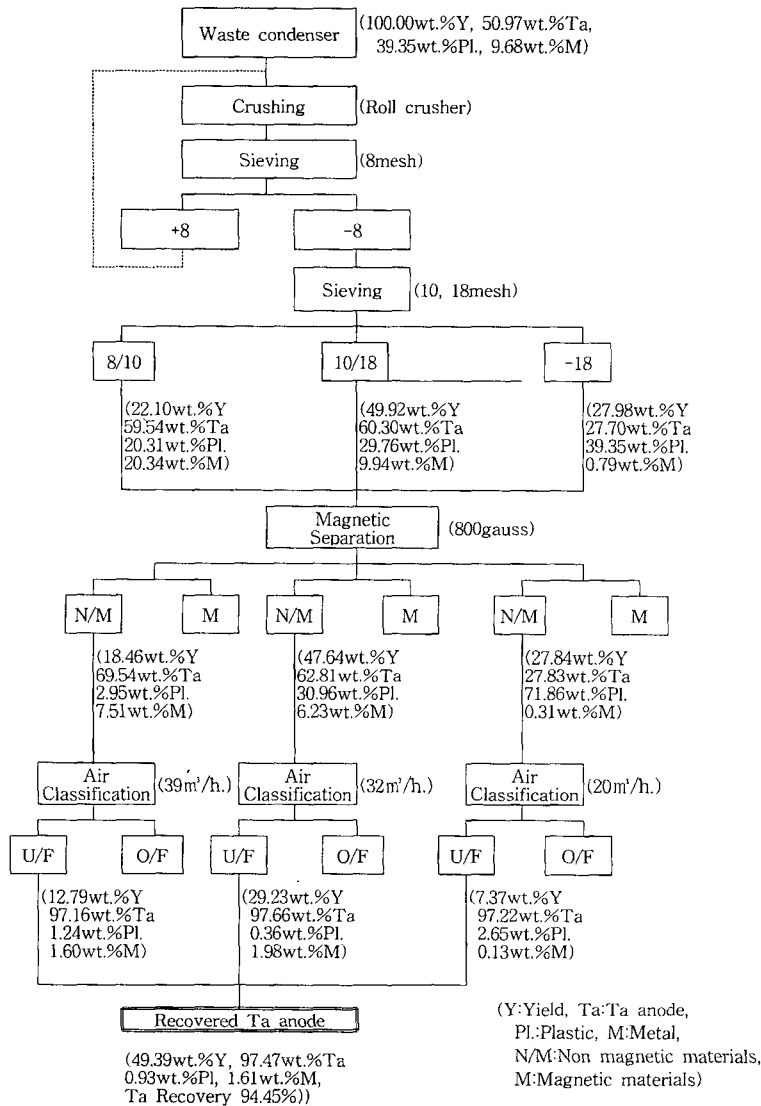


Fig. 5. Summary of Test for Re coverly of Tantalum Anode from Waste Tantalum Condenser.

알 수 있었다.

4. 결 론

물리적인 선별법을 적용하여 폐 콘덴서로부터 탄탈륨 anode를 회수하기 위한 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 폐 탄탈륨 콘덴서는 탄탈륨 anode, 레진, 금속물질로 구성되어 있으며, 각 물질의 함량은 각각 50.97 wt.% , 39.35 wt.%, 9.68 wt.%로 나타났다.

2) 롤 크러셔를 사용하여 최대 입도 8 mesh 이하로 파쇄하면 탄탈륨 anode와 레진과의 단체분리는 거의 이루어 졌으나 금속물질과의 단체분리는 덜 이루어짐을 알 수 있었다.

3) 탄탈륨 anode는 8/18 mesh 입자에 주로 분포하고, 금속물질은 8/10 mesh와 10/18 mesh에 주로 분포하였으나 -18 mesh 입자에는 71.51%가 레진으로 나타나 탄탈륨 anode나 금속물질에 비하여 레진의 미립화가 쉽게 이루어짐을 알 수 있었다.

4) 자력선별에 의한 금속물질의 제거율은 62.3%로 저

조하였다. 이는 탄탈륨 anode와 금속물질의 단체미분리에 의한 것으로 확인되었다.

5) 8/10, 10/18, -18 mesh 입자에 함유된 탄탈륨 anode 회수를 위한 공기 분급에서 최적의 공기 공급량은 각각 39 m³/h, 32 m³/h., 20 m³/h로 나타났으며, 최적의 조건으로 회수한 탄탈륨 anode의 생산율은 49.39wt.%이었으며, 각 성분의 함량은 97.47 wt.%탄탈륨 anode, 0.93 wt.% 레진, 1.61 wt.% 금속으로 탄탈륨 anode 실수율은 94.45%로 탄탈륨 anode 함량 및 실수율이 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. 한국동력자원연구소, *희유금속과 첨단기술*, 196-203, 1984
2. 대한광업진흥공사, *수입소재 광물의 국내 개발 방안(비고속 광물 및 희유금속 광물)*, 241-242, 1993.
3. Harvey A., 1997: *Industrial Recycling and the Basel Convention*, Resources, Conservation and Recycling, **19**, 29-53.
4. Jha, M. K., Kumar, V., and Singh, R. J., 2001: *Review of hydrometallurgical Recovery of Zinc from Industrial Wastes*, Resources, Conservation and Recycling, **33**, 1-22.
5. Kuczynski, R. J., Atkinson, G. B., Dolinar, W. J., 1995: *Recovery of Platinum Group Metals from Automobile Catalysts-Pilot Plant Operation*, Third International Symposium on Recycling of Metals and Engineering Materials, The Minerals, Metals & Materials Society, Warrendale, Pennsylvania, 527-541.
6. 신방섭 역, 1993: *자원리사이클링*, 전남대학교 출판부, 105-108.
7. 이재천 외, 2002: *충격식 분쇄기에 의한 페프리트 배선기판(PCBs) 중금속성분의 분쇄특성*, 자원리사이클링학회지, **11**(2), 28-35.
8. Shunli Z., Peter, C., Rem, E. F., 1999: *Particle Trajectory Simulation of Two-Drum Eddy Current Separators*, Resources, Conservation and Recycling, **26**, 71-90.
9. Shunli, Z. et al., 1999: *Separation Mechanism and Criteria of a Rotating Eddy-current Separator Operation*, **25**, 215-232.

金 相 培



- 2000년 전북대 자원공학과 공학박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

趙 建 濬



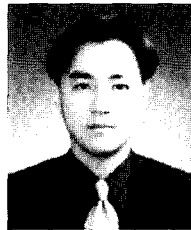
- 1970년 한양대 자원공학과
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

趙 晟 佰



- 1995년 일본 경도대 공학박사
- 1995~1997년 일본 무기제철연구소
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부

趙 晟 佰



- 1999년 2월~2000년 1월 배재대 신소재공학부 조교
- 2000년 4월~2003년 3월 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부 인턴연구원
- 현재 배재대 신소재공학부 박사과정

李 在 天

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용소재연구부
- 본 학회지 제10권6호 참조

金 源 伯

- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 소재연구부