

알루미늄페드로스 잔사처리 파일럿플랜트 시험

朴鑿圭, 李厚仁
韓國地質資源研究院

Pilot Plant Test for Recycling of the Leached Residue in Processing of Waste Aluminum Dross

Hyungkyu Park, Hoojin Lee

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Yusong-gu, Daejeon 305-350, KOREA
(e-mail: parkhk@kigam.re.kr)

요 약

알루미늄 페드로스 내에 잔류하는 금속 알루미늄을 수산화나트륨용액으로 침출, 분리시켜서 수산화알루미늄으로 제조하는 과정에서 침출잔사가 발생된다. 본 연구에서는 이 침출잔사를 세척, 건조, 배소하여 알루미늄질 캐스타블 내화물과 같은 세라믹 원료로 재활용하는 연구를 수행하였으며, 상용화를 위하여 파일럿 플랜트 시험을 수행하였다. 시험 생산라인은 연간 1,000톤의 페드로스를 처리하여 약 700톤의 세라믹 원료를 생산할 수 있는 규모이다. 생산라인의 시운전 결과 상용화를 위해서는 건조기의 개선이 필요하고, Na, Fe 등 불순 성분들이 시료에 유입되는 것을 줄여야 하는 문제점들을 파악할 수 있었으며, 개발한 기술의 상용화 적용 가능성을 확인할 수 있었다.

주제어: 알루미늄 페드로스, 침출잔사, 세라믹 원료, 재활용, 파일럿플랜트 시험

1. 서론

국내에서는 연간 약 6만 톤의 알루미늄드로스가 발생하는 것으로 추정된다. 국내 대부분의 알루미늄 재생업체에서는 드로스 중의 잔류 알루미늄을 회수하는데 중점을 두고 있다. 처리방법으로는 드로스를 도가니로에서 1차 또는 2차로 재용해하여 드로스 중의 잔류 알루미늄을 회수함으로써 페드로스의 양을 줄이고 있다. 페드로스의 발생량은 연간 4만톤 정도 발생된다. 페드로스는 일반 폐기물로 취급되어 주로 매립 처리하였는데, 환경보전과 매립비용 상승으로 인하여 페드로스의 감량화 및 재활용을 위한 대책 마련이 필요하다.

알루미늄 페드로스의 주 성분은 알루미늄인데 일반적으로 15% 이상의 금속 알루미늄이 잔류한다. 저자는 Bayer Process를 응용하여 알루미늄 페드로스를 수산화나트륨 용액으로 침출해서 페드로스에 잔류하는 알루미늄을 용액 중으로 추출하고 수산화알루미늄으로 회수하는 연구를 기 발표하였다¹⁾. 이 경우 침출, 여과 과정에서 침출 잔사가 발생되는데, 이 잔사는 주 성분이 알루미늄이기 때문에 이를 처리하여 알루미늄질 캐스타블 내화물로 재활용하는 연구가 수행되었다^{2,3)}.

본 연구에서는 침출잔사 처리에 대한 그간의 연구결과를 상용화하기 위하여 실증용 파일럿 플랜트를 건설, 시운전하였으며, 파일럿 플랜트 생산라인의 주요 설비와 시운전 결과 등을 발표하고 이를 통하여 개발기술을 보급, 활용하고자 한다.

2. 파일럿플랜트 설치

2.1. 공정개요

알루미늄페드로스 처리 파일럿플랜트에서 침출잔사(eached residue) 처리공정을 요약하여 나타내면 그림 1과 같다. 페드로스를 입수한 뒤에 먼저 파쇄, 분급을 하여, 철 스크랩 등 불순물을 제거하는 과정이 필요하다. 분급한 페드로스는 전처리 설비에서 10% NaOH 용액으로 침출하여 페드로스 중의 잔류 알루미늄을 분리해서 수산화알루미늄으로 회수하고, 이 과정에서 발생하는 침출잔사를 세척, 건조, 해쇄, 배소 과정을 거쳐서 세라믹 원료로 제조하였다.

전처리 공정에서는 파이프를 통해서 시료를 이송하고, 페드로스 침출잔사는 콘베이어를 통해서 세척탱크로 이송하며, 세척한 시료는 슬러리(slurry) 상태로서 파이프를 통해서 필터프레스로 이송

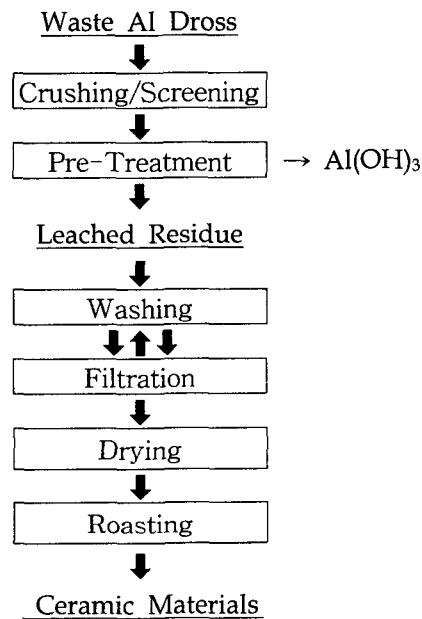


Fig. 1. Flow sheet for recycling of the waste aluminum dross.

Table 1. Main equipments of the pilot plant.

No	Unit Process	Equipment	Capacity	Qty
1	Crushing/Screening	Ball Mill/Screen set	1.2 ton/hr	1
2	Pre-Treatment	Pre-Treatment Line	1,000 ton/yr	1
3	Dross Charging	Crain Balance	max. 3ton	1
4	Filtration	Filter Press	6 ton/hr	1
5	"	Air Compressure	50 Hp	1
6	Washing	Water Tank	15 ton/batch	1
7	"	FRP Tank	6 ton/batch	1
8	Material Transport	Horizontal Conveyor	800*8,000 mm	1
9	"	Inclined Conveyor	800*12,000 mm	1
10	Drying	Rotary Drier	300 kg/hr	1
11	Scrubbing	Rotary Impacter	300 kg/hr	1
12	Roasting	Rotary Kiln	300 kg/hr	1

한다. 최종 세척후 여과한 잔사는 cake 상태로서 콘베이어를 통해서 건조기로 이송시키며, 건조 후 screw feeder를 사용하여 로타리킬른으로 이송시켜 배소한다. 그림 1에서 화살표는 단위 공정 간에 원료, 반응산물, 제품의 물질흐름을 나타낸다.

2.2. 공정별 설치장비

알루미늄 페드로스 재활용 파일롯플랜트는 충남 금산군 추부면 추정리 454 번지에 소재한 (주)알로하테크에 설치하였다. 실증실험을 위한 파일롯플랜트의 설치 규모는 1일 10시간, 연간 300 일 조업을 기준하여 연간 약 1,000톤의 드로스를 처리하여 700톤의 세라믹 원료를 생산하고, 전처리 시에 부산물로 500톤의 수산화알루미늄을 회수할 수 있는 규모로 설치하여 시운전하였다. 파일롯 플랜트의 공정별 장비를 열거하면 표 1과 같다. 공정 간에 용액과 슬러리 이송은 펌프를 사용, 관을 통하여 이송시키고, 고체는 콘베이어 및 이송용 콘테이너에 담아 크레인으로 이송하였다.

3. 시운전 결과

3.1. 시료

사용한 시료의 성분분석결과는 표 2와 같다. 이 시료에는 Si와 Mg 성분이 많은데, 이것은 알루미늄 재생지금 생산업체에서 Al-Si 합금과 Al-Mg 합금 스크랩을 용해하여 재생지금을 제조하면서 발생된 드로스이기 때문이다. 잔류 알루미늄은 약 23%였다. 페드로스 시료는 전술한 공정도에 서와 같이 드로스 분급기로 분급해서 18mesh(1mm) 크기 이하를 사용하였으며, 전처리하여 잔류 알루미늄을 분리시킨 다음, 여과 후 발생한 침출잔사를 시료로 사용하였다.

3.2. 세척

세척 시에는 세척탱크에서 시료 부피의 2배에 해당되는 물로 3회 세척하였다. 세척과정은 앞에서 기술한 바와 같이 시료를 세척 탱크와 필터프레스로 3회 반복 이송하여 조업한다. 1차 세척은 잔사를 세척함은 물론 잔사 케이크(cake)에 함유된 소오다 용액을 회수하기 위한 것으로 1차 세척수는 따로 모아서 수처리응집제용 알루미늄산소오다(NaAlO_2) 용액 제조 시에 사용한다. 2, 3차 세척수는 필터프레스로 정수한 다음 전처리 공정원료인 NaOH 침출 용액 제조에 사용한다.

각 차수별로 세척수 샘플을 채취해서 용액중의 Na 성분을 atomic absorption spectrometer로 분석하여 세척 효과를 조사하였다. 분석결과는 표 3과 같다. 세척을 많이 할수록 Na 성분이 현저히 줄어드는 것을 볼 수 있다. 3회 세척을 하고 난 시료는 여과기 콘베이어를 통해서 시료용 1톤 백에 담은 다음, 크레인을 사용하여 건조로 시료 장입 호퍼로 이송시켰다.

3.3. 건조

건조기는 rotary drier로서 호퍼로부터 screw feeder를 통해서 건조기 본체로 시료가 장입된다. 노 본체의 경사각은 0-5°, 회전속도는 0-60rpm인데, 경사각과 회전속도는 조업속도와 관계되는 것으로서 몇 번의 시험을 통해서 적정조건을 정하였다. 본 시운전 시에는 경사각은 2.8°, 회전속도는 30rpm이 적절하였다. 이 경우 시간당 약 300kg의 시료를 건조할 수 있었으며, 시료의 노내 평균 체류시간은 5분이었다. 건조 시에는 발생된 수분이 노 밖으로 잘 빠져나가도록 제작하는 것이 중요하다. 이를 위해서 건조기 시료 장입구 쪽에 수분 제거용 suction blower를 설치하였다.

건조로 회전속도 30rpm에서 건조 온도에 따른 시료의 수분 함량을 조사한 결과는 표 4와 같다. 건조 온도를 500°C 보다 낮은 온도에서 하는 경우에는 함수율이 10% 이상이 되어 충분한 건조가

이루어지지 않았다. 물론, 노내 체류시간을 증가시키면 이보다 낮은 온도에서도 건조가 되겠지만 이는 조업속도가 느려지게 되므로 생산성을 고려할 때 본 시운전에서는 적용하기가 어렵다. 건조 온도가 높을수록 시료내 수분 함량이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 약 700°C에서 건조한 시료의 경우에는 대부분 건조된 것으로 판단된다.

3.4. 배소 및 시험품의 조성

건조한 분말시료는 screw feeder로 rotary kiln 장입구에 이송시켜 배소한다. 킬른 본체의 경사각은 0-5°, 회전속도는 0-60 rpm인데, 적정조건을 정하였다. 본 시운전 시에는 경사각은 1.6°, 회전속도는 15rpm이 적절하였다. 배소시는 분체들이 이송되기 때문에 분진이 발생되므로 양산시에는 집진기의 설치가 필요하다고 판단된다. 배소 온도는 예비실험을 통해서 900°C로 정하였다. 사진 1은 배소용 로타리킬른의 모습이고, 사진 2는 킬른 배출구로 나온 배소 시료를 통에 담은 모습이다. 시료가 밝은 미색을 띤다.

시험품을 X선 회절법으로 분석한 결과 대부분 Al_2O_3 와 $MgAl_2O_4$ 가 주로 관찰되었다. 또한, 시험품을 입도별로 분류해서 XRF를 이용하여 화학성분을 분석한 결과는 표 5와 같다. 측정치를 평균한 값이다. 원시료에서 Al함량이 72%였던 것에 비해서 Al 함량이 평균 65% 정도였다. 이것은 원시료 중의 알루미늄 금속 성분이 전처리 과정에서 제거되었기 때문이다. 그리고, Na_2O 성분이 평균 3.4% 정도로 올라갔다. 이것은 전처리 과정에서 NaOH 용액으로부터 오염된 것으로서 3번의 세척을 하였지만 충분히 제거되지 않았기 때문이다. 향후 Na 성분을 줄이기 위한 연구가 필요하다고 사료된다. Si와 Ca, Mg는 원 드로스 시료에 함유된 것이므로 이것들은 드로스 원시료 입고시 관리를 하여야 한다. 또한, Fe 성분이 원시료 0.41%에서 평균 2.8%로 높아졌다. 이는 제작한 건조로나 배소로의 본체가 스테인레스 스틸이기 때문에 조업 중에 노벽의 철 스케일 등으로부터 철분이 유입된 것이다. 향후 양산 시에는 내부 세라믹 피막 등의 개선책이 필요하다고 판단된다.

Table 2. Chemical composition of the waste aluminum dross, wt%.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ig. Loss
10.99	72.02	0.41	2.61	5.15	0.52	0.81	0.47	0.02	0.03	6.97

Table 3. Concentration of Na in the water at the washing steps.

Washing Steps	1st	2nd	3rd
Na, %	3.44	2.35	0.67

Table 4. Water content of the residue with drying temperature.

Temp(°C)	500	650	700
Residual Water, wt%	9.2	3.5	1.0

Table 5. Chemical composition of the roasted residue.

Chemical Component (wt%)										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Ig. loss
12.53	65.37	2.80	2.96	7.80	0.29	3.38	0.72	0.04	0.13	balance

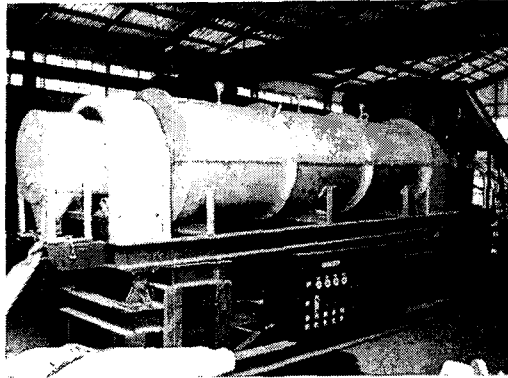


Photo 1. Rotary kiln for roasting.



Photo 2. The roasted dross residue.

3.5. 공정별 물질수지

대상폐기물인 알루미늄 페드로스로부터 캐스타블 내화물용 세라믹 원료를 만들기까지 페드로스 시료 1,000kg을 투입하여 전처리 과정에서 약 500kg의 수산화알루미늄을 회수하고, 여기서 발생된 침출잔사를 처리하여 720kg의 세라믹 원료로 제조할 수 있었다.

4. 결론

알루미늄페드로스를 수산화나트륨 용액으로 침출하여 페드로스내에 잔류하는 금속 알루미늄을 수산화알루미늄으로 회수하는 과정에서 발생된 침출잔사를 세라믹 원료로 재활용한 기술개발결과를 파일럿플랜트 규모로 확대하여 실증실험을 하였다. 상용화하기 위한 전 단계로서 연간 1,000톤의 알루미늄 페드로스를 처리하여 약 700톤의 수산화알루미늄을 제조할 수 있는 시험 생산라인을 건설, 시운전하였다. 시운전 결과 1톤의 알루미늄 페드로스를 투입하여 720kg의 세라믹 원료로 제조할 수 있었으며 개발기술의 재현성을 확인할 수 있었다. 또한, 향후 양산에 대비하여 Na, Fe 등 불순 성분의 유입을 줄이기 위한 방안 마련과 건조기에서 시료 장입장치와 장입구 측에 설치한 수분 제거장치 등의 개선책이 요구된다.

참고문헌

1. 박형규, 이후인, 김준수, 2001: 알루미늄드로스로부터 수산화알루미늄 제조, 한국자원리사이클링학회지, 10(5), pp.8-15.
2. 박형규, 이후인, 이진영, 2003: 알루미늄드로스를 재활용한 캐스타블내화물 제조, 한국자원리사이클링학회지, 12(3), pp.46-53.
3. 박형규 외5인, 2003: 알루미늄드로스의 세라믹원료화 처리기술개발, 과학기술부 21C프론티어 산업폐기물재활용기술개발사업단 연구보고서 D-B-1-1, 과학기술부/환경부.