

알루미늄 페드로스 침출잔사 처리 파일럿 플랜트 試運轉 결과

*朴馨圭 · 李厚仁

韓國地質資源研究院

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

*Hyungkyu Park and Hoojin Lee

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Yusong-gu, Daejeon 305-350, KOREA

요 약

알루미늄 페드로스는 알루미늄 용해업체에서 발생하는 주요 폐기물 중 하나인데, 주요 성분은 알루미늄이며 상당량의 금속 알루미늄이 잔류한다. 알루미늄 페드로스 내에 잔류하는 금속 알루미늄을 수산화나트륨 용액으로 침출, 분리시켜서 수산화알루미늄으로 제조하는 과정에서 침출잔사가 발생되는데, 침출 후 여과잔사의 주요 성분은 알루미늄이다. 본 연구에서는 이 침출잔사를 세척, 건조, 배소하여 알루미늄질 캐스타블 내화물과 같은 세라믹 원료로 재활용하는 연구를 수행하였으며, 상용화를 위한 파일럿 플랜트 시험을 수행하였다. 실증 생산라인은 연간 1,000톤의 페드로스를 처리하여 약 700톤의 세라믹 원료를 생산할 수 있는 규모이다. 생산라인의 시운전 결과, 개발 기술의 상용화 적용 가능성을 확인하였으며 상용화를 위해서 건조기의 개선과 Na, Fe 등 불순 성분들이 시료에 유입되는 것을 줄여야 하는 문제점들을 파악할 수 있었다.

주제어: 알루미늄 페드로스, 침출잔사, 세라믹 원료, 재활용, 파일럿 플랜트 시험

Abstract

Waste aluminum dross is a major waste in the aluminum scrap smelters and its components are mostly alumina and remained metallic aluminum. In the process to extract the remained aluminum from the waste dross by leaching with sodium hydroxide solution, residue is generated and its main component is alumina. This residue could be recycled into ceramic materials such as alumina castable refractories by going through a series of treatments such as washing, drying and roasting. In this study, a pilot plant was constructed and tested to demonstrate the developed technology. One thousand tons of waste aluminum dross could be processed, and about seven hundred tons of ceramic materials produced in the demonstration line. From the test run of the pilot plant, although it was confirmed that the developed technology could be applied to commercialization, several technical improvements were found to be necessary for reducing impurities such as Na, Fe and for reforming drying equipment.

Key words: waste aluminum dross, leached residue, ceramic materials, recycling, pilot plant test

1. 서 론

알루미늄을 용해하면 용탕표면에 산화물 층이 형성되는데 이것을 알루미늄드로스라고 한다. 알루미늄드로스에는 상당량의 알루미늄이 존재하므로 알루미늄 스크랩

처리업체에서는 이 드로스를 도가니로 또는 회전로 등에서 재용해하여 알루미늄을 회수하고 있다.¹⁻³⁾ 이와 같이 알루미늄드로스를 재용해하여 잔류하는 알루미늄 금속을 회수하고 발생하는 것이 페드로스(waste dross)로서, 이것을 재(ash)라고도 한다.

국내에서는 연간 약 6만 톤의 알루미늄드로스가 발생되는 것으로 추정된다. 국내 대부분의 알루미늄 재생업

* 2004년 4월 9일 접수, 2004년 6월 7일 수리

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

체에서는 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 정도이다. 페드로스는 일반폐기물로 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. 저지는 Bayer Process를 응용하여 알루미늄 페드로스를 수산화나트륨 용액으로 침출해서 페드로스에 잔류하는 알루미늄을 용액 중으로 추출하고 수산화알루미늄으로 회수하는 연구를 기 발표하였다.⁴⁾ 이 경우 침출, 여과 과정에서 침출 잔사가 발생되는데, 이 잔사는 주 성분이 알루미늄이기 때문에 이를 처리하여 알루미늄질 캐스타블 내화물로 재활용하는 연구가 수행되었다.^{5,6)}

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. 파일럿 플랜트 설치

2.1. 공정개요

본 파일럿 플랜트에서의 침출잔사(leached residue) 처리공정을 요약하여 나타내면 Fig. 1과 같다. 기 발표한 연구^{4,5)}에서는 알루미늄 페드로스를 실험시료로 바로 사용할 수 있었으나, 파일럿 플랜트 시험의 경우에는 일종의 생산 라인에서의 조업이기 때문에 사용하는 시료량이 많고, 페드로스의 조성이나 입도가 균일하지 않기 때문에 실험시료로 바로 사용하기가 곤란하다. 따라서, 페드로스를 입수한 뒤에 먼저 파쇄, 분급을 하여 철 스크랩 등 이물질들을 제거하는 과정이 필요하다. 분급한 페드로스는 전처리 설비에서 10% NaOH 용액으로 침출하여 페드로스 중의 잔류 알루미늄을 용액 중으로 추출하여 수산화알루미늄으로 회수하고, 이 과정에서 발생하는 침출잔사를 세척, 건조, 해쇄 및 배소 과정을 거쳐서 세라믹 원료로 제조하였다. 배소는 페드로스에 있는 가연 성분을 제거하고, 아직 제거되지 않은 알루미늄이나 기타 합금 성분들을 산화물로 변화시켜서 세라믹 원료로 재활용하기 위한 공정이다.

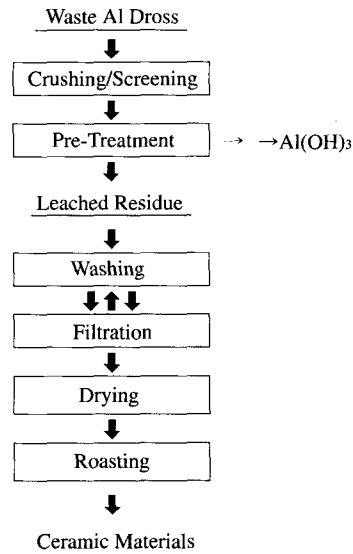


Fig. 1. Flow sheet for recycling of the waste aluminum dross.

전처리 공정에서는 파이프를 통해서 시료를 이송하고, 페드로스 침출잔사는 콘베이어를 통해서 세척탱크로 이송하며, 세척한 시료는 슬러리(slurry) 상태로서 파이프를 통해서 필터프레스로 이송한다. 최종 세척후 여과한 잔사는 케이크(cake) 상태로서 콘베이어를 통해서 건조기로 이송시키며, 건조 후 screw feeder를 사용하여 로타리킬른(rotary kiln)으로 이송시켜 배소한다. Fig. 1에서 화살표는 단위 공정간에 원료, 반응산물, 제품의 물질흐름을 나타낸다.

2.2. 공정별 설치장비

알루미늄 페드로스 재활용 파일럿 플랜트는 충남 금산군 추부면 추정리 454 번지에 소재한 (주)알로하테크에 설치하였다. 실증실험을 위한 파일럿 플랜트의 설치 규모는 1일 10시간, 연간 300일 조업을 기준하여 연간 약 1,000톤의 페드로스를 처리하여 700톤의 세라믹 원료를 생산하고, 전처리 시에 부산물로 500톤의 수산화알루미늄을 회수할 수 있는 규모로 설치하여 시운전하였다.

파일럿 플랜트의 공정과 조업별 장비를 열거하면 Table 1과 같다. 분급기는 알루미늄 페드로스에 있는 철 스크랩과 기타 이물질들을 제거하고, 페드로스를 입도별로 선별하기 위한 장비로서, 파쇄용 불밀과 분급용 체 및 시료 저장 호퍼들로 구성되어 있다. 전처리 설비는 드로스 시료 장입, 침출, 여과 및 수산화알루미늄 제조

Table 1. Main equipments of the pilot plant.

No	Unit Process	Equipment	Capacity	Qty
1	Crushing/Screening	Ball Mill/Screen set	1.2 ton/hour	1
2	Pre-Treatment	Pre-Treatment Line	1,000 ton/year	1
3	Dross Charging	Crain Balance	max. 3 ton	1
4	Filtration	Filter Press	6 ton/hr	1
5	"	Air Compressor	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 Impactor	300 kg/hr	1
12	Roasting	Rotary Kiln	300 kg/hr	1

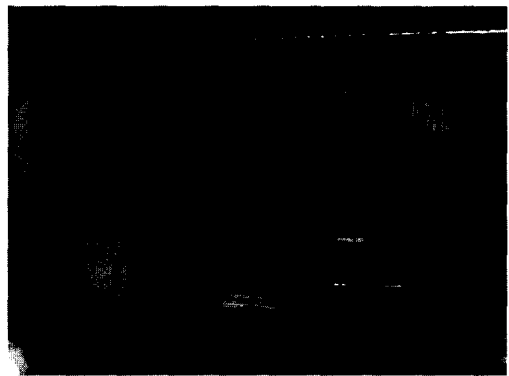


Photo 1. Crushing/screening equipment (left: ball mill, right: screen).

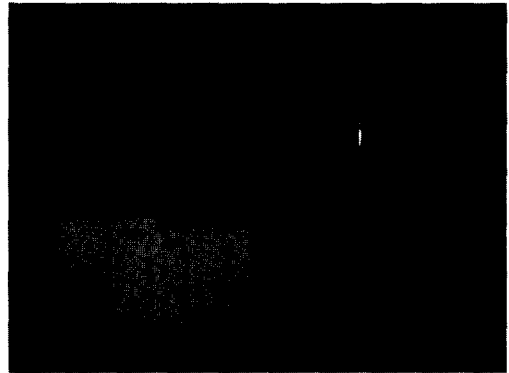
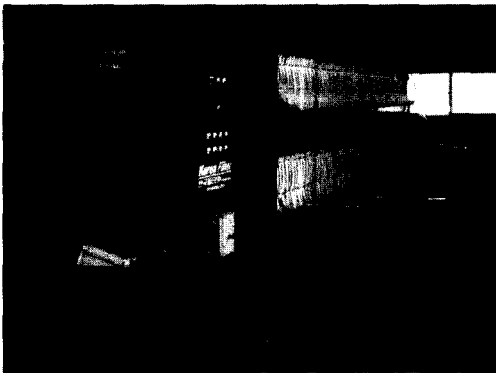


Photo 2. Filter press(left) and air compressor(right).

설비들로서, 본 침출잔사 처리라인과 별도로 업체에 기 설치된 것이며, 용량은 1일 약 4톤(년간 1,000톤)의 페드로스를 처리할 수 있는 규모이다.

전처리 공정에서 발생된 침출 잔사는 콘베이어를 이용하여 세척탱크로 이송해서 물로 3회 세척하며, 세척과 여과를 반복한다. 세척한 만큼 여과 공정이 추가된

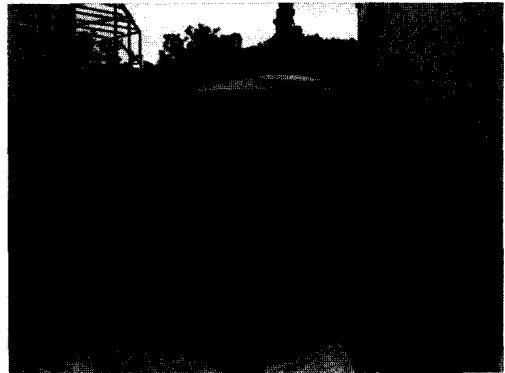
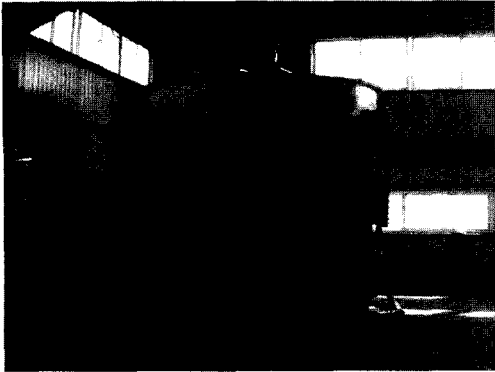


Photo 3. Residue washing tank(left) and water storage tank(right).

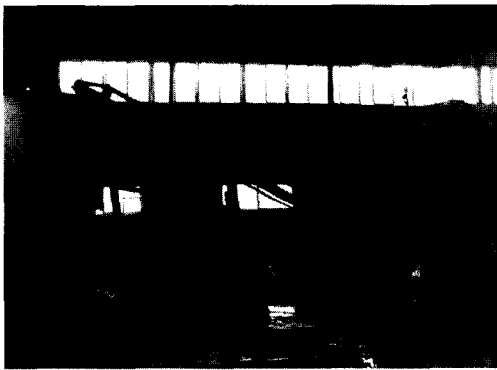


Photo 4. Transporting belt conveyor (left: inclined, right: horizontal).



Photo 5. Rotary drier.



Photo 6. Rotary impactor.

다. 여과기의 선별에는 장비의 성능 외에 가격이 중요한 인자인데, 본 연구에서는 필터프레스를 선정하였다. 필터프레스는 시료를 대량 처리하는데 유리하고, 추후 양산시에 별 다른 추가설비 없이 사용할 수 있다.

여과 후에는 케이크 시료를 건조로에 이송하는데, 본 실험에서는 케이크를 포대에 담아서 크레인을 이용하여

건조기 호퍼로 이송하였다. 건조로와 배소로는 정치식, 회전식, 분무식 등 몇가지 형태가 있지만 본 연구에서는 모두 로타리킬른 형태로 제작하였다. 건조기는 호퍼, 시료 장입장치, 수분 배출장치, 노 본체 및 제어반 등으로 구성된다. 그리고, 건조시 덩어리진 시료를 풀어주기 위하여 건조로 출구에 해쇄기로 rotary impactor를 부착하

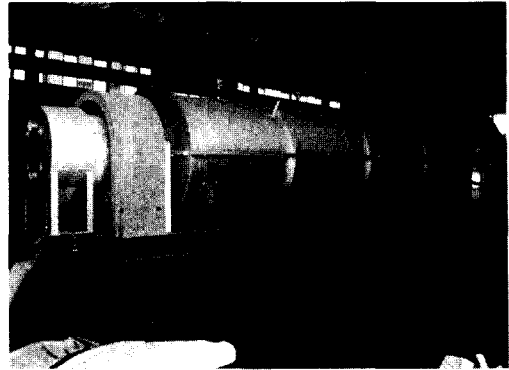
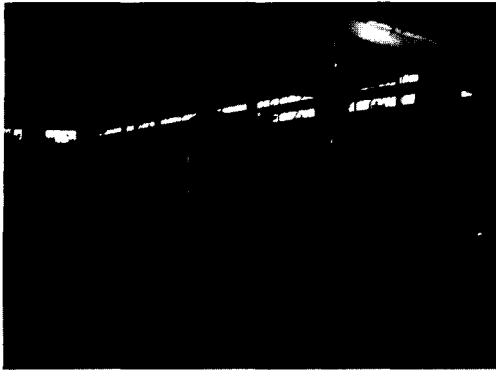


Photo 7. Rotary kiln for roasting (left: input side, right: output side).

Table 2. Chemical composition of the waste aluminum dross.

Component	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	LOI
wt. %	10.99	72.02	0.41	2.61	5.15	0.52	0.81	0.47	0.02	0.03	6.97

여 덩어리진 시료들은 분말로 만들어서 로타리킬른으로 이송하여 배소한다.

공정 간에 용액과 슬러리 이송은 펌프를 사용, 관을 통하여 이송시키고, 고체 시료는 콘베이어 및 이송용 콘테이너에 담아 크레인으로 이송하였다. 주요 장치들의 모습은 Photo 1-7과 같다.

3. 시운전 결과

3.1. 시료

실증실험 시료는 과일롯트 플랜트가 설치되어 있는 (주)알로하테크 금산 공장에서 제공한 페드로스를 사용하였다. 사용한 시료의 성분분석결과는 Table 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. 페드로스 중에 잔류하는 금속 알루미늄을 습식법으로 분석한 결과 약 23 wt.%였다. 페드로스 시료는 전술한 공정도에서와 같이 분급기로 분급해서 18 mesh(1 mm) 크기 이하를 사용하였으며, 전처리하여 잔류 알루미늄을 분리시킨 다음, 여과 후 발생한 침출잔사를 세라믹 원료화 제조공정의 시료로 사용하였다.

3.2. 세척

세척 시에는 세척탱크에서 시료 부피의 2배에 해당되는 물로 3회 세척하였다. 세척과정은 앞에서 기술한 바

와 같이 시료를 세척 탱크와 필터프레스로 3회 반복 이송하여 조업한다. 1차 세척은 잔사를 세척함은 물론, 잔사 케이크에 함유된 소오다 용액을 회수하기 위한 것으로서 1차 세척수는 따로 모아서 수처리응집제용 알루미늄 산소오다(NaAlO₂) 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 Table 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. Photo 8은 세척을 마치고 건조기로 이송하기 전 1톤 백에 담은 페드로스 세척시료의 모습이다. 세척시료를 오븐에서 건조시켜 시료의 함수율을 측정된 결과 평균 38.6 wt.%였다.

Table 3. Concentration of Na in the washed water at each washing step.

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

3.3. 건조 및 해쇄

건조기는 rotary drier로서 호퍼로부터 screw feeder를 통해서 건조기 본체로 시료가 장입된다. 노 본체의 경사

각은 0-5°, 회전속도는 0-60 rpm인데, 경사각과 회전속도는 조업속도와 관계되는 것으로서 몇 번의 시험을 통해서 적정조건을 정하였다. 본 시운전 시에는 경사각은 2.8°, 회전속도는 30 rpm이 적절하였다. 이 경우 시간당 약 300 kg의 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 Table 4와 같다. 건조 온도를 500°C 보다 낮은 온도에서 하는 경우에는 함유율이 10 wt.% 이상이 되어 충분한 건조가 이루어지지 않았다. 물론, 노내 체류시간을 증가시키면 이보다 낮은 온도에서도 건조가 되겠지만 이 경우 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. Photo 9는 건조후 시료의 모습이다. 사진에서 시료가 덩어리진 것들을 볼 수 있는데 이것은 해쇄기를 거치면 쉽게 분말로 부숴진다.

건조가 잘 될수록 배소로에서 열원 손실을 줄일 수 있으므로 건조 온도를 더 높힐 수도 있으나, 시료가 점차 굳어지게 되어 해쇄기를 거쳐야 된다. 이와 반면에 650°C에서 건조한 시료의 경우에는 시료가 단단하지 않아서 굳이 해쇄기를 거치지 않더라도 배소로 장입시 screw feeder를 거치면 대부분이 분말화되었다. 이상의 시험들을 통해서 건조시 적정온도를 650-700°C로 정하였다.

Table 4. Variation of the water content of residue with drying temperature.

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

3.4. 배소 및 시험품의 조성

건조한 분말시료는 screw feeder로 로타리킬른 장입구에 이송시켜 배소한다. 킬른 본체의 경사각은 0-5°, 회전속도는 0-60 rpm인데, 예비시험을 통하여 적정조건을 조사한 결과 경사각은 1.6°, 회전속도는 15 rpm이 적절하였다. 배소시는 분체들이 이송되기 때문에 분진이 발생되므로 양산시에는 집진기의 설치가 필요하다고

판단된다. 배소 온도는 예비시험을 통해서 900°C로 정하였다. Photo 10은 킬른 배출구로 나온 배소 시료를 통에 담은 모습이다. 시료가 밝은 미색을 띤다. 시료가 뜨거우므로 일단 금속제 통에 시료를 담고, 식으면 나일론 백으로 옮겨 담아 저장하였다.

이와 같은 일련의 처리를 통하여 캐스타블 내화물과 같은 세라믹 원료용 시험품을 생산하였다. 시험품을 X



Photo 8. Washed dross residue.

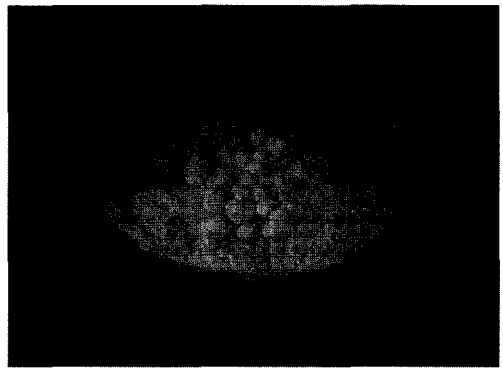


Photo 9. Dried dross residue.



Photo 10. Roasted dross residue.

Table 5. Chemical composition of the roasted residue.

No.	particle size (sieve mesh)	ratio, wt. %	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	LOI
1	+65	11.4	16.25	61.02	2.48	2.96	7.41	0.34	3.28	0.70	0.04	0.13	bal.
2	65/100	13.2	15.36	63.22	2.76	3.03	8.12	0.32	3.30	0.61	0.03	0.13	"
3	100/150	10.9	13.01	64.63	3.10	3.00	8.51	0.30	3.29	0.60	0.03	0.13	"
4	150/200	16.7	11.44	62.76	3.07	3.06	8.08	0.27	3.17	1.28	0.05	0.15	"
5	200/250	25.6	11.12	64.90	2.79	2.98	8.09	0.27	3.22	1.01	0.05	0.13	"
6	250/325	19.0	9.28	73.59	2.08	2.66	6.47	0.27	4.06	0.25	0.05	0.13	"
7	-325	3.2	11.25	67.45	3.33	3.02	7.93	0.28	3.33	0.59	0.06	0.14	"

선회절법으로 분석한 결과 예비 시험에서와 마찬가지로 대부분 Al₂O₃와 MgAl₂O₄가 주로 관찰되었다. 또한, 시험품을 입도별로 분급해서 XRF를 이용하여 화학성분을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 페드로스 원시료에서 Al함량이 72 wt.%였던 것에 비해서 Al 함량이 평균 65 wt.% 정도였는데 이것은 원시료 중의 알루미늄 금속 성분이 전처리 과정에서 제거되었기 때문이다.

또한, Na₂O 성분이 평균 3.4 wt.% 정도로 올라간 것으로 조사되었는데, 이것은 전처리 과정에서 NaOH 용액으로부터 오염된 것으로서 3번의 세척을 하였지만 충분히 제거되지 않았다는 것을 알 수 있다. 향후 Na 성분을 줄이기 위한 연구가 필요하다고 사료된다. Si와 Ca, Mg는 원 페드로스 시료에 함유된 것이므로 이것들은 원시료 입고시 관리를 하여야 한다. 또한, Fe₂O₃ 성분이 원시료 0.41 wt.%에서 평균 2.8 wt.%로 높아졌다. 이는 본 연구에서 제작한 건조로나 배소로의 본체가 스테인레스 스틸이기 때문에 조업 중에 노벽의 철 스케일 등으로부터 철분이 유입된 것이다. 이 결과로부터 향후 양산 시에는 건조로와 배소로의 내부에 세라믹 피막을 입혀야 할 것으로 판단된다.

이와 같이 알루미늄 페드로스 침출잔사를 처리한 시험 시료를 캐스타블 내화물과 같은 세라믹 제품으로 재 활용하기 위해서는 기 발표한 연구⁵⁾에서와 같이 이를 제품의 15 wt.% 이내로 첨가하여 화학 성분들을 회색 시켜 제품에서 요구하는 성분으로 맞춰야 할 것이다.

3.5. 공정별 물질수지

대상폐기물인 알루미늄 페드로스로부터 캐스타블 내화물용 세라믹 원료를 만들기까지 각 공정별 물질수지를 요약 정리하면 Table 6과 같다. 시운전시 공정 순서대로 물질수지를 기록하였다. 알루미늄 페드로스 시료

Table 6. Material balance at each unit operation and process of the pilot plant.

Process	Input	Output
Material Charging	1,000kg	
Pre-Treatment*	Dross 1,000 kg 10% NaOH 2,300L	Pulp 2,955 kg
Filtration	Pulp 2,955 kg	Soln. 1,755 kg Residue cake 1,200kg
1st Washing	Cake 1,200 kg Water 1,200kg	Pulp 2,400 kg
Filtration	Pulp 2,400 kg	Cake 1,200 kg Soln. 1,200kg
2nd Washing	Cake 1,200 kg Water 1,800kg	Pulp 3,000 kg
Filtration	Pulp 3,000 kg	Cake 1,200 kg Soln. 1,800kg
3rd Washing	Cake 1,200 kg Water 1,800kg	Pulp 3,000 kg
Filtration	Pulp 3,000 kg	Cake 1,200 kg Soln. 1,800kg
Drying	Cake 1,200 kg	Cake 720 kg Vapor 480kg
Roasting	Powder 720 kg	Powder 720 kg
Ceramic Material		Powder 720 kg

*By-Product : Al(OH)₃ 500 kg

1,000 kg을 투입하여 전처리 과정에서 약 500 kg의 수산화알루미늄을 회수하고, 여기서 발생된 침출잔사를 처리하여 720 kg의 세라믹 원료로 제조할 수 있었다.

4. 결 론

알루미늄 페드로스를 수산화나트륨 용액으로 침출하여 페드로스내에 잔류하는 금속 알루미늄을 수산화알루미늄으로 회수하는 과정에서 발생된 침출잔사를 세라믹 원료로 재활용한 기술개발결과를 파일롯 플랜트 규모로 확대하여 실증시험을 하였다. 상용화하기 위한 전 단계로서 연간 1,000톤의 알루미늄 페드로스를 처리할 수 있는 시험 생산라인을 건설, 시운전하였다. 시운전 결과 1톤의 알루미늄 페드로스를 투입하여 720kg의 세라믹 원료를 제조할 수 있었으며 개발기술의 재현성을 확인할 수 있었다. 그러나, 처리 과정에서 Na와 Fe 등 불순 성분이 예상보다 많이 유입되었으므로, 향후 상용화를 위해서 불순 성분의 유입을 줄이기 위한 방안 마련이 필요하다. 그리고, 설치한 파일롯 플랜트 장비들 중에서 건조로의 용량이 전체 생산량을 좌우하므로 본 공정과 시설을 이용하여 양산하는 경우에는 건조기에서 시료 장입장치와 장입구 측에 설치한 수분 제거장치 등의 개선책이 요구된다.

감사의 글

이 연구는 21C 프론티어사업 폐기물재활용기술개발사업단의 연구비 지원에 의하여 수행된 것이며, 지면을 빌어 그간의 지원에 감사드립니다.

朴 馨 圭

- 현재 한국지질자원연구원 책임연구원
 - 본 학회지 제10권 5호 참조
-

참고문헌

1. Kulic, G.J. and Daley, J.C., 1990: Aluminum Dross Processing in the 90's, Proceeding of Second International Symposium on Recycling of Metals and Engineered Materials, ed. by J.H.L. van Linden *et al.*, pp. 427-437, TMS, USA.
2. Lavoie, S. Dube, C. and Dube, G., 1990: The Alcan Plasma Dross Treatment Process, A New Salt Free Dross Processing Technology, *ibid.*, pp. 451-462.
3. Okazaki, H. *et al.*, 1999: Effect of Atmosphere on Metal Recovery from Aluminum Dross, Proceedings of the "Rewas'99: Global Symposium on Recycling, Waste Treatment and Clean Technology", pp. 975-983, San Sebastian, Spain, 5-9 Sep. 1999, TMS & INASMET, Printed in Spain.
4. 박형규, 이후인, 김준수, 2001: 알루미늄드로스로부터 수산화알루미늄 제조, 한국자원리사이클링학회지, **10**(5), pp. 8-15.
5. 박형규, 이후인, 이진영, 2003: 알루미늄드로스를 재활용한 캐스타블 내화물 제조, 한국자원리사이클링학회지, **12**(3), pp. 46-53.
6. 박형규 외5인, 2003: 알루미늄드로스의 세라믹원료화 처리기술개발, 과학기술부 21C 프론티어사업 폐기물재활용 기술개발사업단 연구보고서 D-B-1-1, 과학기술부/환경부.

李 厚 仁

- 현재 한국지질자원연구원 책임연구원
 - 본 학회지 제10권 5호 참조
-