

알루미늄 블랙드로스로부터 유가자원 회수를 위한 재활용 공정 연구

강유빈* · 임병용* · 김대근* · 이찬기* · 안병두** · 김용환*** · 이만승****

*고등기술연구원 융합소재연구센터, **쥘디에스리퀴드 기술연구소,
한국생산기술연구원 뿌리산업기술연구소, *목포대학교 신소재공학과

A Study of Recycling Process to Recovery Valuable Resources from Aluminum Black Dross

Yubin Kang*, Byoungyong Im*, Dae-Guen Kim*, Chan Gi Lee*,
Byung-Doo Ahn**, Yong Hwan Kim*** and Man Seung Lee****

*Institute for Advanced Engineering (IAE), Yongin, Korea

**DS LIQUID Co., LTD., Ansan, Korea

***Korea Institute of Industrial Technology (KITEC), Seoul, Korea

****Mokpo National University, Mokpo, Korea

요 약

알루미늄 드로스는 알루미늄 용해 공정에서 용탕 표면에 발생하는 산화물 덩어리로서, Salt 유무에 따라 화이트드로스와 블랙드로스로 구분된다. 화이트드로스의 경우 금속 함량이 높아 용해 공정으로 재활용 되지만, 블랙드로스는 금속 함량이 낮고 성분 분리가 어려워 대부분 매립 처리되며, 물과 반응하면 가스와 발열 반응이 일어나 토양오염의 원인으로 작용한다. 하지만 블랙드로스에는 NaCl과 KCl과 같은 Salt 성분과, Al_2O_3 , MgO와 같은 무기소제가 포함되어 있어 이러한 유가자원을 회수하고 소재화하는 기술 연구가 필요하다. 본 연구에서는 알루미늄 블랙드로스를 재활용하기 위한 공정을 제시하였다. 파쇄-용해(Dissolution)-고액분리-감압증발을 거치는 공정을 통하여 블랙드로스에 존재하는 무기물과 용해성 물질을 분리하였다. 물과 블랙드로스 함량을 제어하여 조건에 따라 분리물의 회수율을 최적화하였으며, 블랙드로스:물 비율이 1:9 일 때 91 wt.%의 Salt flux 회수율을 보임을 확인하였다. 추가적으로, 회수된 무기물을 이용한 제올라이트의 합성을 통하여 블랙드로스의 소재화 가능성을 확인하였다.

주제어 : 알루미늄, 블랙드로스, 재활용, 필터프레스, 제올라이트

Abstract

The aluminum dross is oxide generated on the surface of the molten metal during the aluminum melting process and it is divided into white dross and black dross according to presence of the Salt flux. White dross has high metal content and is recycled via the melting process. Black dross is largely berried, because the it has a low metal content and difficulty in separating the components. Black dross contains a salt components such as NaCl and KCl, and inorganic materials such as Al_2O_3 and MgO, and it is necessary to study the technology to recover and recycle such valuable resources. In this study, a process for recycling aluminum black dross was proposed. The inorganic and soluble substances present in the black dross were separated through crushing-dissolution-solid/liquid separation-decompression evaporating. By controlling the ratio of water and black dross, the

· Received : August 27, 2018 · Revised : October 8, 2018 · Accepted : October 15, 2018

§ Corresponding Author : Dae-Guen Kim (E-mail : dgkim@iae.re.kr)

Material Science and Chemical Engineering Center, Institute for Advanced Engineering, 175-28, Goan-ro 51beon-gil, Baegam-myeon, Cheoin-gu, Yongin-si, Kyeonggi-do 17180, 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.

recovery condition of the separated product was optimized and we confirmed the highest Salt flux recovery efficiency 91 wt.% at black dross:water ratio 1:9. Finally, Through the synthesis of zeolite using recovered ceramic material, the materialization possibility of black dross was confirmed.

Key words : Aluminum, Black dross, Recycling, Filter Press, Zeolite

1. 서 론

국내 알루미늄 총 수요량은 약 2,094 천 톤으로, 세계 수요량의 4.6%를 차지하며, 알루미늄을 이용한 자동차, 전자, 건축, 기계 등 관련 산업의 발전과 함께 2017년 기준으로 높은 수급 성장률(연 평균 32,000 ton/year)을 보이고 있다¹⁾. 알루미늄 제품 생산 공정에는 1차 지금 (Primary Ingot)이나 알루미늄 스크랩 등이 사용되며, 용해(Melting) 공정에 따라 다양한 형태의 드로스가 발생하게 된다. 국내에서 알루미늄 재활용 공정 후 발생하는 페드로스는 약 6만 톤 가량으로 알려져 있으며²⁾, 이러한 페드로스는 아직까지 재자원화가 어려워 대부분 매립에 의존하고 있다. 알루미늄 드로스는 용제 처리 (Salt flux) 유무에 따라 색상과 형상이 다르게 나타나며, 일반적으로 salt성분이 함유된 블랙드로스 (Black Dross)와 함유되지 않은 화이트드로스(White Dross)로 구분된다³⁻⁵⁾. 화이트드로스의 경우 대부분 알루미늄과 산화물로 구성되어 있으며, 금속 함량이 높아 용해공정(Melting) 만으로도 비교적 용이하게 재활용이 가능하다. 하지만 블랙드로스의 경우는 금속 함량이 20% 미만으로 매우 낮고, 무기 성분과 함께 KCl, NaCl과 같은 염 성분도 포함되어서 재활용을 위해서는 추가적인 분리 공정이 필요하다⁶⁾.

알루미늄 드로스의 재활용을 위한 기존 연구는 2012년에 조성백 외 5명이 블랙드로스로부터 산화 환원 반응을 이용하여 알과 알루미늄을 제조하는 방법이 연구된 바 있으며³⁾, 2005년에는 Z. Xu외 2명이 블랙드로스와 화이트드로스를 Eddy Current Separation (ECS) 장비를 이용하여 금속 알루미늄과 Salt flux를 회수하고 회수 효율을 비교하는 연구를 진행한 바 있다⁴⁾. 또한 김용환 외 5명은 2017년에 조 크러셔 장비를 이용한 파쇄공정을 통하여 블랙드로스 내 알루미늄 중 97.3%의 알루미늄을 물리적으로 회수하는 연구를 진행한 바 있다⁷⁾. 이와 같이 알루미늄 생산 공정에서 발생하는 드로스의 재활용을 위하여 파쇄 또는 특수 장비, 용해 (Melting) 등을 통하여 알루미늄 금속 자체를 회수하는 공정 연구는 진행된 바 있으나, 블랙드로스 내에 존재

하는 Salt flux와 무기 성분을 분리하고 회수하는 전반적인 재활용 공정에 대한 구체적인 연구는 부족하다.

따라서, 본 연구에서는 블랙드로스의 재자원화를 위한 전반적인 공정 시스템을 제안하였다. 파쇄-용해 (Dissolution)-고액분리-감압증발을 통하여 세라믹 Cake와 Salt flux 수용액을 효과적으로 분리하였으며, 용해 시간과 블랙드로스:물 비율을 제어하여 세라믹 Cake의 함수량과 Salt flux 회수량 등을 확인하였다. 최종적으로 회수된 세라믹 Cake와 Salt flux는 성분 분석을 통하여 결정상과 성분 함량 등을 확인하였으며, 세라믹 Cake의 기능성 소재화 가능성을 확인하기 위하여 수열 합성 방법을 이용하여 제올라이트(Chabazite)를 제조하는 기초 실험을 진행하였다.

2. 실험 방법 및 실험 재료

2.1. 실험 방법

본 연구에서는 Ball type 알루미늄 블랙드로스를 이용하여 세라믹과 Salt flux를 분리하는 시스템 구성 연구를 진행하였다. Fig. 1은 본 연구에서 수행한 블랙드로스 재활용 공정도를 나타낸다. 본 실험에서 사용한 블랙드로스는 둥근 구 형상으로 지름이 10-40 mm 가량으로 구성되어 있으며, Salt 성분과 불용성 성분이 혼재된 형태로 존재하였다. 블랙드로스의 Salt 성분과 불용성 성분의 정확한 구성비를 확인하기 위하여, 블랙드로스와 물의 비율을 10 : 1로 하여 모든 Salt flux가 용해되도록 8시간 동안 충분히 교반하였다. 교반된 시료는 고액분리하여 물에 용해된 Salt flux 용액을 MP-AES기기를 이용하여 정량분석 하였으며, 구성비 함량은 5번 반복 실험을 통해 평균을 계산하였다. 블랙드로스 내 세라믹 Cake와 Salt flux를 분리하고 회수하는 공정은 크게 파쇄-용해-고액분리-감압증발 공정으로 이루어지며, 블랙드로스의 파쇄 공정을 위한 장비는 컷 밀 (Cut Mill, Pulverisette 19, Fritsch)을 이용하였다. 조건에 따른 용해특성 변화를 확인하기 위하여, 블랙드로스 50 g와 증류수 (50, 75, 100, 125, 150 mL)를 혼합한 용액을 200 RPM으로 교반하여 실험을 진행하였

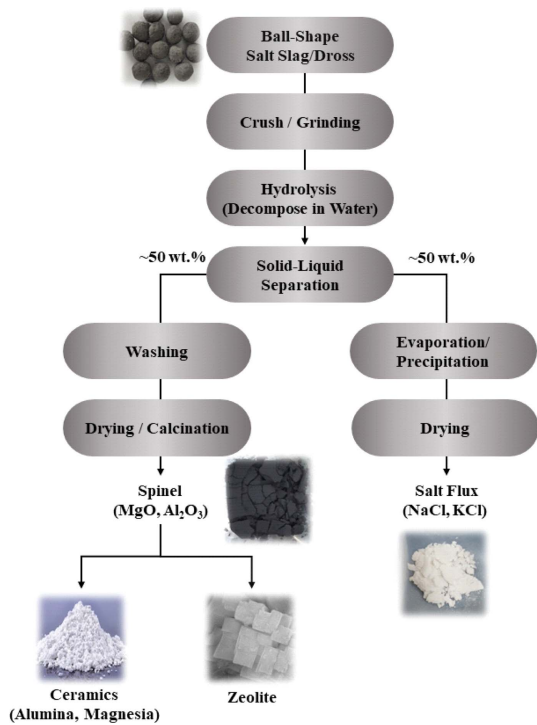


Fig. 1. Schematic illustration of the aluminum black dross recycle process.

으며, 블랙드로스:물 조건에 따른 고액분리 특성을 평가하기 위하여, 알루미늄 블랙드로스 2 kg 기준으로 슬러리를 제조한 후 자체 제작한 필터프레스를 이용하여 고액분리 하였다. 고상 Salt flux의 회수를 위한 감압증발은 1:9 조건으로 고액분리한 100 mL Salt 수용액을 각각 -0.02 MPa, -0.04 MPa, -0.06 MPa -0.08 MPa 로 감압된 분위기에서 각각 80 °C, 90 °C, 100 °C 조건별로 가열하였다. 고액분리에서 얻어진 세라믹 Cake의 소재화 가능성 실험을 위하여, 세라믹 Cake 분말과 파쇄된 페유리 분말이 2:1 비율로 혼합된 세라믹 분말을 제조하여 제올라이트를 합성하는 실험을 추가적으로 진행하였다. 제조된 세라믹 분말을 1 M NaOH 수용액 50 mL와 함께 10분 동안 교반 후 수열반응기에서 48 시간동안 90 °C에서 반응시켜 제올라이트를 합성하였으며, 합성된 제올라이트 분말은 증류수로 3회 세척하여 80 °C로 설정된 오븐에서 24시간 동안 건조하였다. 파쇄 후 블랙드로스의 입도는 PSA (Particle Size Analysis, Bluewave, Microtrac)를 이용하여 분석하였으며, 고액분리 후 Cake 내 함수량을 측정은 TGA (Thermogravimetric/Differential Thermal Analysis,

TG8121, Rigaku)를 이용하여 10 °C/min 조건에서 상온에서부터 120 °C 까지 측정하였다. MP-AES (Microwave plasma-atomic emission, MP-AES 4100, Agilent)를 이용하여 가수용해 후 용액 내 Salt flux 함량을 정량적으로 분석하였으며, 제올라이트 분말의 미세구조는 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope, JSM -7100F, JEOL)를 이용하여 관찰하였다. 파쇄된 블랙드로스 분말과 회수된 Cake, Salt flux 분말, 제조된 제올라이트의 상 분석을 XRD (X-ray diffractometer, SmartLab, Rigaku)를 이용하여 실시하였으며, Salt flux의 순도는 XRF (X-ray florescence, XRF-1800, SHIMADZU) 장비를 이용하여 분석하였다.

2.2. 실험 재료

Fig. 2는 본 연구에서 사용한 블랙드로스의 XRD 분석결과와 파쇄 전 블랙드로스, 파쇄 후 블랙드로스 분말의 형상을 나타낸다. XRD 분석결과, 블랙드로스 내에는 KCl과 NaCl과 같은 용해성 물질과 함께 불용해성 물질인 MgO와 MgAl₂O₄와 같은 성분이 혼재되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 Ball-Type 블랙드

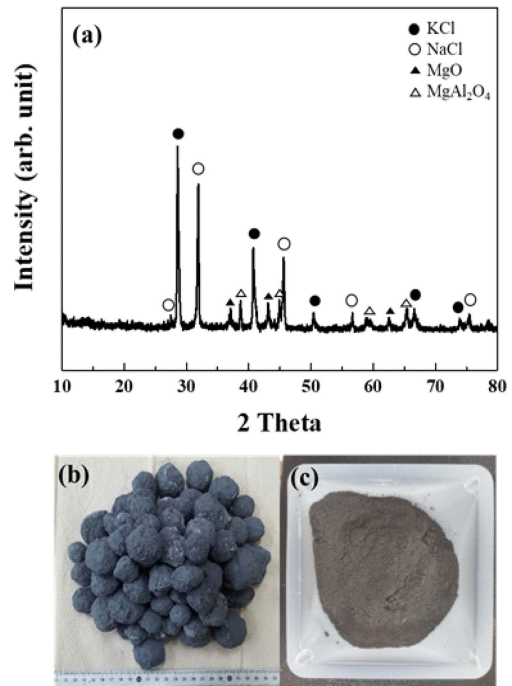


Fig. 2. XRD curve of as-received black dross powder (a) and photographic images of the as received black dross (b), shredded black dross (c).

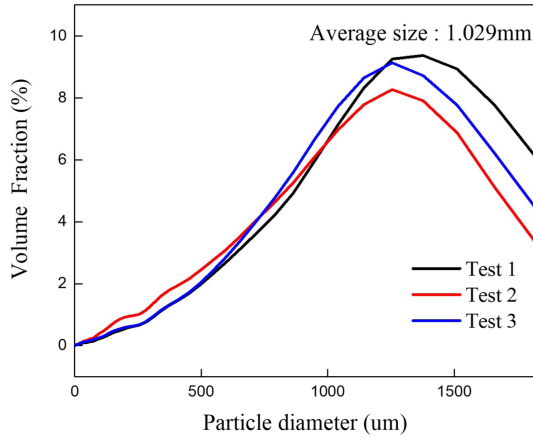


Fig. 3. PSA result of the shredded black cross powder.

로스의 용해공정과 고액분리 공정을 효과적으로 수행하기 위해서는 균일한 크기로 드로스를 미립화 하는 과정이 필요할 것으로 예상되었으며, 염화물과 산화물로 구성된 드로스의 특성상 취성이 강하므로, 전단력으로 취성이 높은 재료의 균일한 파쇄가 가능한 Cut Mill을 이용하여 파쇄를 실시하였다[8], Fig.3은 Cut Mill을 이용하여 파쇄된 분쇄물의 PSA 분석 결과를 나타내며, 평균 약 1 mm의 크기로 균일하게 파쇄 되었음을 확인할 수 있다.

3. 실험 결과 및 토론

3.1. 가수용해

파쇄된 알루미늄 블랙드로스는 용해 공정을 통하여 드로스 내에 있는 용해성 물질과 비용해성 물질을 분류한다. 블랙드로스의 용해 공정에 필요한 최소 고액비를 계산하기 위하여 이론적인 KCl (34 g/100 mL)와 NaCl (35.9 g/100 mL) 용해도를 고려하였으며, 블랙드로스 내에는 평균 53.5 wt.%의 Salt flux가 존재하는 것으로 분석되었으므로, 증류수 100 mL당 블랙드로스 약 71 g (블랙드로스:물 비율 0.71:1) 첨가 조건에서 블랙드로스 내부에 첨가되어 있는 모든 Salt flux의 용해가 가능할 것으로 예상하였다⁸⁾. 하지만 조건에 따라 용액 내 salt의 함량이 달라질 수 있으며, 이는 고액분리 공정 후 회수되는 Cake 내 염분량에 영향을 끼칠 수 있으므로 조건 제어를 통한 실험이 필요하다. Fig. 4에서 나타나는 그래프는 용해 반응 조건(블랙드로스:물)에 따른 용액 내 Salt flux 함량을 나타낸다. 반응시간

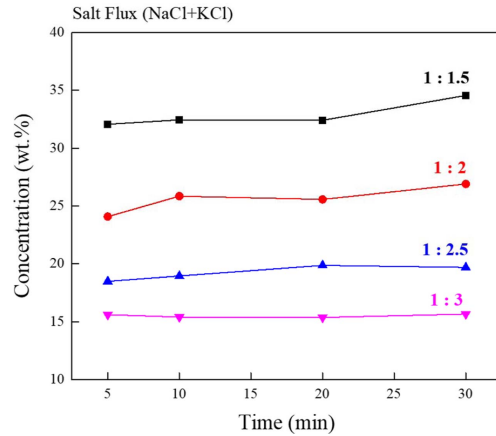


Fig. 4. Concentration of Salt flux according to dissolution condition.

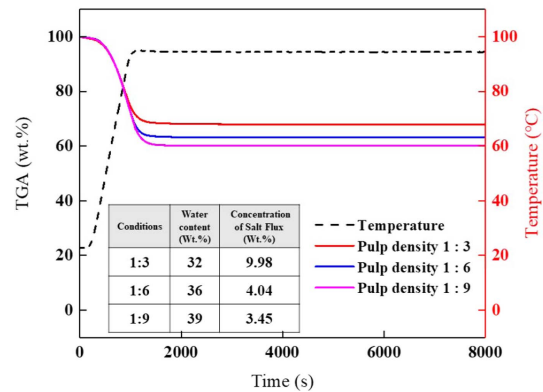


Fig. 5. TGA curves results and salt concentration, water contents of the ceramic cake.

5분 기준으로, 각각 1:1.5 조건에서 93.2 wt.%, 1:2 조건에서 88.6 wt.%, 1:2.5 조건에서 93.7 wt.%, 1:3 조건에서 100 wt.%의 용해도가 계산되었으며, 모든 조건에서 5분 내에 90%에 가까운 Salt flux가 용해됨을 확인하였다. 물의 함량이 높아질수록 용액 내 포함되어 있는 Salt flux 함량이 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 물의 함량이 낮을수록 높은 발열과 가스 발생으로 인한 위험성이 증가하므로 실제 고액분리 공정에서는 이러한 요소들을 고려하여 적절한 반응 조건의 선택이 중요할 것으로 예상된다⁹⁾.

3.2. 고액분리

필터프레스를 이용한 고액분리 공정의 경우, 불용해성 물질과 용해성 물질을 물리적인 압력으로 분리하는

Table 1. Recovery rate and quantity of Salt flux according to conditions

Conditions (Dross : Water)	Recovered Salt flux solution (kg)	Concentration of Salt flux in solution (ppm)	Recovery rate (wt.%)
1:3	5.84	142,857	83.4
1:6	11.79	75,384	88.9
1:9	17.65	51,578	91

공정으로서, 공급되는 슬러리의 블랙드로스:물 비율, Feeding rate, Air blowing time 등에 따라 고액분리 특성이 달라질 수 있다. 고액분리 후 Cake내 함수량과 Salt flux의 함량은 세라믹 Cake와 Salt flux 용액의 회수율과 밀접한 관련이 있으므로, 고액분리 특성에 매우 중요한 지표가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 블랙드로스:물 비율을 제어하여 고액분리 특성을 평가하는 실험을 진행하였다. Fig. 5는 고액분리 후 회수한 Cake의 TGA 분석결과와 함수량 및 고체 내 Salt 함량을 나타낸다. 고액분리 실험에서 블랙드로스:물 비율 조건 선정은 Salt flux 회수율 90 wt.% 이상 확보를 위해 수행한 기초 실험 진행 결과를 바탕으로 조건을 선정하였으며 용해공정 실험 조건 보다 물 함량이 높은 1:3, 1:6, 1:9 비율로 실험을 진행하였다. 물의 비율이 증가할수록 Cake내 존재하는 염분 함량은 1:3 조건일 때 9.98 wt.%에서 1:9 조건일 때 3.45 wt.%로 크게 감소하는 경향을 확인할 수 있으며, 이는 물 함량이 증가할수록 불용성 물질과 용해성 물질의 분리가 용이할 수 있음을 시사한다. 함수량의 경우, 물 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 관찰할 수 있으나, 이는 Air blowing time등으로 변동될 수 있으므로, 작동 조건으

로 제어가 가능하다. Table 1은 조건에 따라 회수된 수 용액의 양과 Salt flux 농도, Salt flux 회수율을 나타낸다. 물 함량이 증가할수록 회수율이 증가하는 경향을 확인할 수 있으며, 1:9 비율에서 91 wt.%의 회수율을 보임을 확인할 수 있었다. Salt flux 회수율은 Cake내 함수량의 차이가 크지 않아 Salt flux 수용액의 농도에 비교적 크게 영향을 받을 것으로 판단되며, Cake내에 함유되는 수분이 비교적 동일한 상태에서 Salt flux 농도가 감소하여 손실률이 감소한 것으로 판단된다.

3.3. 감압증발

Fig. 6은 온도 및 압력에 따른 감압증발 완료 속도 경향 그래프와 회수된 분말의 XRD 분석 결과를 나타낸다. 감압증발 공정은 크게 가열부, 냉각부, 회수부로 나눌 수 있으며, 용해와 고액분리 공정을 통하여 회수된 Salt flux 용액을 감압증발 하여 신속하게 Salt flux 분말을 제조하는 공정이다. 가열부에서 기화된 용액은 냉각부에서 액화되어 회수부에서 모여지며, 최종적으로 가열부에서 Salt flux 분말들이 모여진다. 감압증발을 통하여 회수한 분말의 XRD 분석결과를 확인하여 보면, 예상한 바와 같이 KCl, NaCl 결정으로 나타났으며, 그

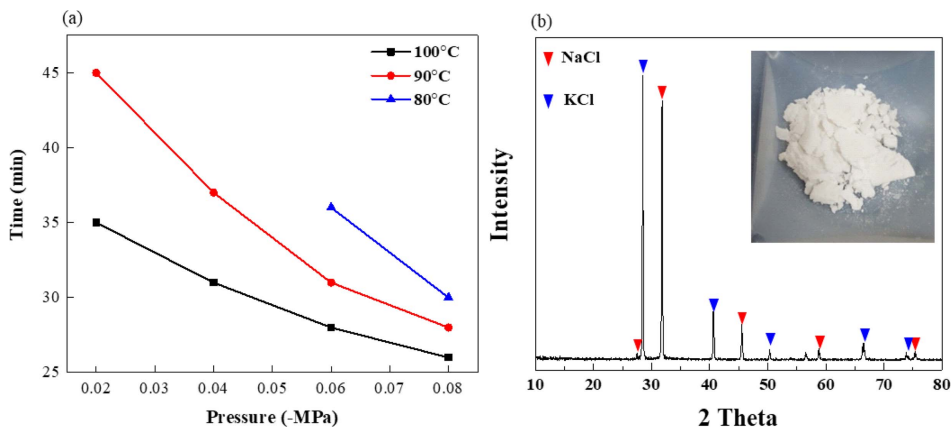
**Fig. 6.** Decompression evaporation time according to experimental condition (a) and XRD curve of the salt powder (b).

Table 2. Composition analysis results of recovered Salt flux

Element (wt.%)	Na	K	Cl	Al	Br
Salt flux	20.07	29.9	49.75	0.26	0.02

외에 불용성 물질에 대한 피크는 관찰할 수 없음을 확인할 수 있다. 조건에 따른 감압증발 완료 시간 경향을 보면, 높은 온도와 압력을 인가할수록 공정 시간을 단축시킬 수 있으나, 온도 80 °C 이하, -0.04 MPa 이하로 감압증발을 실시할 시 급격하게 증발 완료시간이 증가하여 감압증발이 가능하지 않다. 모든 감압증발 실험 조건에서 고상 Salt flux의 회수율은 98 ~ 101 wt.% (5.4488 ~ 5.6156 g)를 보였으며, 평균 회수율은 99.8 wt.%로 확인되었다. 회수율이 100 wt.%가 초과된 것은 앞서 언급한 바와 같이 알루미늄 드로스 원료 내에 Salt flux 함량은 평균 53.5 wt.%로 확인되었으나, 처음 분석 원료와 실제 실험 시 사용 원료의 Salt 함량 차이로 인한 결과로 판단된다. Table 2는 회수된 Salt flux 분말의 순도를 확인하기 위하여 XRF 분석을 실시한 결과이다. 예상한 바와 같이 99.5 wt.% 이상이 NaCl과 KCl이 혼합된 형태로 존재함을 확인할 수 있었으며, 알루미늄 불순물이 0.26 wt.% 정도 관찰되었으나, 알루미늄 주조 공정에서 블랙드로스가 Salt flux로 재활용 된다는 점을 볼 때, 실제 공정에서 충분히 적용 가능할 것으로 판단된다. 최종적으로 블랙드로스로부터 고액분리 공정과 감압증발 공정을 거친 Salt flux는 99.5

wt.% 이상의 순도를 가지며, 알루미늄 블랙드로스 원료로부터 Salt flux의 회수율은 약 90.8 wt.%로 확인되었다.

3.4. 제올라이트 합성

Fig. 7은 고액분리로 회수한 세라믹 Cake와 폐유리 분말을 이용하여 제조한 제올라이트 분말의 형상과 XRD 분석 결과를 나타낸다. 고액분리 공정으로 회수된 세라믹 Cake는 대부분 MgO나 MgAl₂O₄와 같은 무기 소재로 구성되어 있으며, Al과 Si가 OH기로 가교되어 구성되는 제올라이트의 원료로 사용하기 적합할 것으로 예상되었다. 폐유리 분말을 Si source로 이용하여 제올라이트를 합성하는 기존의 연구는 수행된 바 있으나, Al dross와 폐유리를 혼합하여 제올라이트의 전구체로 사용하는 연구는 전무하다¹⁰⁾. 폐유리 분말과 본 연구에서 회수한 세라믹 Cake와 혼합하여 수열합성 방법으로 제올라이트를 합성하여 세라믹 Cake의 소재화를 위한 기초 실험을 실시하였다. XRD와 SEM 분석 결과를 보면, 수열합성 후 분말에서 제올라이트 일종인 Chabazite 피크가 관찰됨을 확인할 수 있으며, 이는 꽃잎형태의 결정구조를 가지며 존재하는 것을 확인할 수 있다. 제올라이트의 한 종류인 Chabazite는 높은 중금속 이온 교환능을 가지고 있는 것으로 알려져 있으며, 단일상으로 합성될수록 더욱 효율적으로 알려져 있다^{11,12)}. 하지만 Chabazite 외에 미 반응물인 MgAl₂O₄, MgO 피크가 관찰된 것으로 보아 추가적인 조건 제어를 통한 최적화 연구가 필요할 것으로 판단된다.

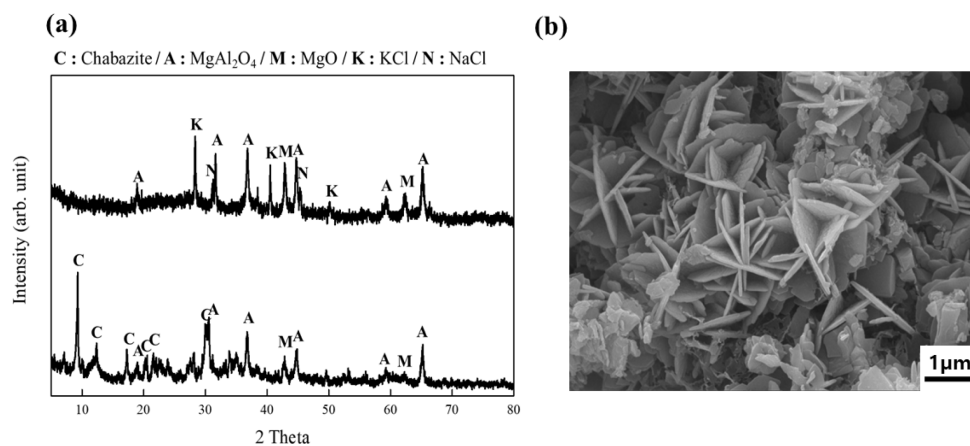


Fig. 7. XRD curves of the as-received ceramic powder and the hydrothermally synthesized ceramic powder (a), SEM image of the synthesized zeolite powder (b).

4. 결 론

본 연구에서는 파쇄-용해-고액분리-감압증발을 거치는 연속공정을 통하여 알루미늄 블랙드로스 내 세라믹 성분과 Salt flux를 분리하고 회수하는 공정을 제시하였으며, 각 공정에 따른 조건 제어를 통하여 회수율에 밀접한 관련이 있는 요소들(Salt 용해율, Cake 내 함수량, 염분량, 감압증발 속도)의 특성 평가를 실시하였다. 블랙드로스:물의 비율에 따라 Salt 용해율과 Cake 내 함수량, 염분량을 평가한 결과, 물의 함량이 높을수록 용해율 및 함수량은 증가하는 반면, Cake 내 염분량은 감소하는 경향을 확인할 수 있었으며, 1:9 비율에서 최대 약 91 wt.%의 Salt flux 회수율을 계산할 수 있었다. 고액분리 공정에서 슬러리의 물 함량이 높을수록, Cake 내 함수량은 증가하나, Salt 함량은 감소하는 것으로 나타났으며, 감압증류 공정에서는 온도와 압력이 높을수록 빠르게 감압증류가 완료되는 현상을 확인할 수 있었으나, -0.04 MPa, 80 °C 이하의 조건에서는 감압증발이 가능하지 않았다. 감압증발을 통한 고상 Salt flux회수율은 평균 99.8 wt.%로 나타났으며, 회수된 Salt flux의 회수율은 약 90.8 wt.%로 계산되었다. 회수한 세라믹분말은 소재화 가능성을 확인하기 위하여, 수열합성 반응을 통한 제올라이트를 제조 실험을 진행하였으며, 유리분말과 혼합하여 90 °C에서 24시간 동안 수열합성을 진행한 결과, Chabazite 상의 제올라이트가 형성된 것을 확인할 수 있었다. 결론적으로, 본 연구에서는 기존 매립처리 되었던 블랙드로스로부터 Salt flux와 세라믹 분말을 회수할 수 있었으며, 회수한 Salt flux는 용해공정시 Flux 처리를 위한 원료로 재사용이 가능할 것으로 판단된다. 세라믹 분말의 경우에는 촉매, 수처리제, 흡착제, 제습제 등 환경 소재 분야에 적용 가능한 제올라이트를 합성하는 전구체로 활용 가능 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 연구되었으며 이에 감사드립니다(No. 20165010100880).

References

1. Korea Public Procurement Service, 2018 : Supply & demand status of the nonferrous metal.
2. KR Patent No. 100897735B1 2007 : Briquet and the manufacture method that use aluminium waste dross.
3. Eui-Sup, S., Eung-Mo, A., Su-Jeong, L., Chikara, O., Yun-Jong, K., and Sung-Baek, C., 2012 : Preparation of High Purity α -Alumina from Aluminum Black dross by Redox Reaction, Korean Journal of Materials Research, 22(9), pp.445-449.
4. Hwang, J. Y., Huang, X., and Xu, Z., 2006 : Recovery of metals from aluminum dross and saltcake, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 5(1), pp.47-62.
5. Drouet, M. G., LeRoy, R. L., and Tsantrizos, P. G., 2000 : Drosrite salt-free processing of hot aluminum dross., Proceedings, pp.1135-1145.
6. O. Manfredi, W. Wuth, and I. Bohlinger, 1997 : Characterizing the physical and chemical properties of aluminum dross, JOM-Journal of the Minerals Metals & Materials Society, 49(11), pp.48-51.
7. Chulwoong Han, Seong Ho Son, Byung-Doo Ahn, Dae-Guen Kim, Man Seung Lee, and Young Hwan Kim, 2017 : Study on the Recovery of Metallic Aluminum in Black Dross generated from the Used Beverage Cans (UBC) Recycling Process with Crushing Mechanism, Korean Institute of Resources Recycling, 26(4), pp.71-78.
8. Pinho, S. P., and Macedo, E. A., 2005 : Solubility of NaCl, NaBr, and KCl in water, methanol, ethanol, and their mixed solvents, 50(1), pp.29-32.
9. Lucheva, B., Tsonev, T. S., and Petkov, R., 2005 : Non-waste aluminum dross recycling., Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 40(4), pp.335-338.
10. Jae-Chan, K., Minhu, C., Hee-Jo, S., Jun-Eun, P., Jin-Ho, Yoon, Kyung-Soo, P., Chan-Gi, L., and Dong-Wan, K., 2015 : Synthesis of uniform-sized zeolite from windshield waste., Materials Chemistry and Physics, 166, pp.20-25.
11. Han-Saem Lee, Ji-Ho Yoo, Chang-Hoon Lee, Dong-Seok Rhee, and Hyun-Sang Shin, 2017 : Formation and Characterization of K-Chabazite from Coal Fly Ash by Hydrothermal Reaction, Journal of the Korean Society for Environmental Analysis, 20(4), pp.220-228.
12. Rios, C. A., and D. C. Roberts, 2009 : A comparative study if two methods for the synthesis of fly ash-based sodium and potassium type zeolite., Fuel, 88, pp.1403-1416.

강 유 빈

- 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 연구원
-

임 병 용

- 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 연구원
 - 당 학회지 제26권 4호 참조
-

김 대 근

- 2012년 고려대학교 신소재공학과 공학박사
 - 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 선임연구원
-

이 찬 기

- 현재 고등기술연구원 융합소재연구센터 수석연구원
 - 당 학회지 제26권 4호 참조
-

안 병 두

- 2001년 경희대학교 고분자화학과 이학박사
 - 현재 (주)디에스리퀴드 부설연구소 연구소장
-

김 용 환

- 현재 한국생산기술연구원 수석연구원
 - 당 학회지 제25권 4호 참조
-

이 만 승

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