



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2020-0064721
(43) 공개일자 2020년06월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C22B 21/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류
C22B 21/0023 (2013.01)
B01D 1/30 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0151178
(22) 출원일자 2018년11월29일
심사청구일자 2018년11월29일

(71) 출원인
(주)디에스리퀴드

경기도 안산시 상록구 해안로 705, 기술고도화센터 712호 (사동, 경기테크노파크)

(72) 발명자
안병두

서울특별시 서대문구 가재울미래로 2, 217동 1904호(남가좌동, DMC파크뷰자이)

신용국

서울특별시 금천구 시흥대로 165 남서울힐스테이트아파트 205동 1502호

윤수현

서울특별시 강남구 개포로 303, 103동 1305호 (개포동, 현대1차아파트)

(74) 대리인
특허법인키

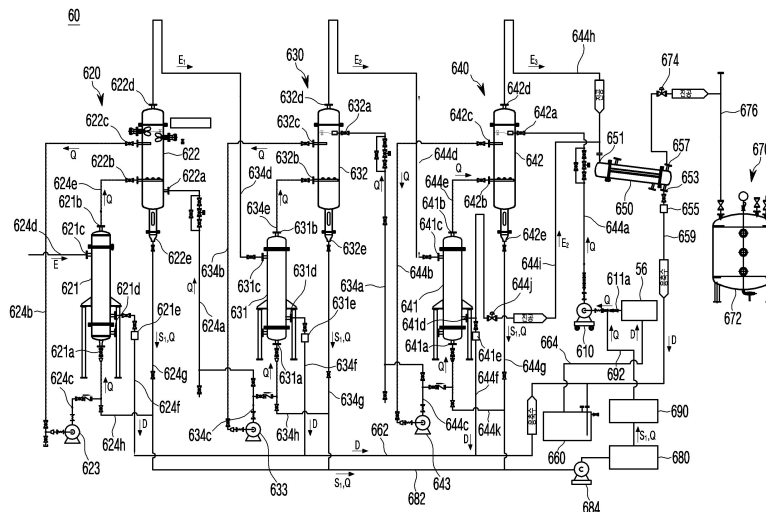
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 발명의 명칭 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은, 알루미늄 용탕에서 알루미늄 스크랩을 용해시킬 때 상기 알루미늄 스크랩이 염화나트륨과 염화칼륨을 포함하는 플럭스에 의해 플럭스 처리되어 발생하는 블랙 드로스를 재활용하기 위한 블랙 드로스 재활용 장치에 있어서, 상기 블랙 드로스의 과분쇄물인 드로스 미립자 파우더를 물과 가수분해 반응시켜, 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨을 포함하는 가용성 고형분이 용해된 수용액을 생성하는 물 분해 유닛; 및 상기 수용액에 포함된 상기 물을 증발시켜 상기 수용액으로부터 상기 가용성 고형분을 각각 석출시키되, 서로 상이한 환경 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 서로 상이한 석출 순서 및 석출 시기에 따라 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨을 석출시키는 복수의 증발 모듈들을 구비하는 석출 유닛을 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류
C22B 21/0007 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 10070235

부처명 산업통상자원부

연구관리전문기관 한국산업기술평가관리원

연구사업명 청정생산기반전문기술개발사업

연구과제명 드로스의 유해물질과 발화위험이 제거된 알루미늄 용해자동화 시스템 및 바젤협약 대응 블랙드로스 자원화기술(플럭스, 세라믹재료 및 연료가스) 개발

기여율 1/1

주관기관 (주)디에스리퀴드

연구기간 2016.12.01 ~ 2019.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

알루미늄 용탕에서 알루미늄 스크랩을 용해시킬 때 상기 알루미늄 스크랩이 염화나트륨과 염화칼륨을 포함하는 플럭스에 의해 플럭스 처리되어 발생하는 블랙 드로스를 재활용하기 위한 블랙 드로스 재활용 장치에 있어서,

상기 블랙 드로스의 과분쇄물인 드로스 미립자 파우더를 물과 가수분해 반응시켜, 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨을 포함하는 가용성 고형분이 용해된 수용액을 생성하는 물 분해 유닛; 및

상기 수용액에 포함된 상기 물을 증발시켜 상기 수용액으로부터 상기 가용성 고형분을 각각 석출시키되, 서로 상이한 환경 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 서로 상이한 석출 순서 및 석출 시기에 따라 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨을 석출시키는 복수의 증발 모듈들을 구비하는 석출 유닛을 포함하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈은, 상기 수용액에서의 상기 염화칼륨의 용해도가 상기 염화나트륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮은 온도 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 상기 염화칼륨을 상기 염화나트륨에 비해 우선적으로 석출시키는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 적어도 어느 하나의 상기 증발 모듈은, 상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 상기 증발 모듈에서 상기 물이 증발되어 발생한 발생 증기를 당해 증발 모듈에서 상기 수용액을 가열하기 위한 열원으로서 이용하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 4

제2항에 있어서,

상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈은, 상기 온도 조건 하에서 상기 물이 증발될 수 있도록, 진공 분위기 하에서 상기 물의 감압 증발을 유도하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 5

제2항에 있어서,

상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 증발 모듈은, 상기 수용액에서의 상기 염화나트륨의 용해도가 상기 염화칼륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮은 온도 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 상기 염화나트륨을 상기 염화칼륨에 비해 우선적으로 석출시키는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 증발 모듈들은 각각,

상기 수용액을 미리 정해진 기준 온도로 가열하는 리보일러; 및

상기 기준 온도로 가열된 상기 수용액을 상기 리보일러로부터 전달받으며, 상기 물의 증발 온도가 상기 미리 정해진 기준 온도가 되도록 조절된 내부 압력 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 상기 가용성 고형분을 석출시키는 증발기를 구비하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 증발 모듈들은 각각,

상기 수용액을 미리 정해진 순서를 따라 상기 리보일러 및 상기 증발기에 순환시키는 순환 펌프를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 8

제6항에 있어서,

상기 석출 유닛은,

상기 가용성 고형분이 석출된 가용성 고형분 석출물 및 상기 수용액을 원심 분리하는 원심 분리를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 석출 유닛은,

상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 상기 증발기에서 상기 수용액과 혼합된 슬러리 상태로 배출된 상기 가용성 고형분 석출물이 저장되며, 상기 슬러리 상태의 상기 가용성 고형분 석출물을 상기 원심 분리에 전달하는 석출물 저장 탱크를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 원심 분리는, 상기 가용성 고형분 석출물과 분리된 상기 수용액을 상기 증발 모듈들에 재전달하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 원심 분리에 의해 상기 수용액과 분리된 상기 가용성 고형분 석출물을 건조하여 저장하는 가용성 고형분 저장 유닛을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 12

제6항에 있어서,

상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 리보일러는, 외부의 증기 공급원으로부터 공급된 증기를 열원으로서 이용해 상기 수용액을 가열하고,

상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 증발 모듈의 상기 리보일러는, 상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에서 상기 물이 증발되어 발생한 발생 증기 또는 상기 증발 모듈들 중 또 다른 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에서 상기 물이 증발되어 발생한 발생 증기를 열원으로서 이용해 상기 수용액을 가열하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 13

제6항에 있어서,

상기 증발 모듈들 각각에 대한 상기 기준 온도 및 상기 내부 압력은, 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨 중 당해 증발 모듈에서 우선적으로 석출시키고자 하는 염화물염의 종류에 따라 개별적으로 정해지는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 증발 모듈들 중 상기 염화칼륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 기준 온도는, 상기 수용액에서의 상기 염화칼륨의 용해도가 상기 염화나트륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮아지는 온도가 상기 물의 증발 온도가 되도록 정해지고,

상기 증발 모듈들 중 상기 염화칼륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 내부 압력은, 상기 수용액에 포함된 상기 물이 상기 증발 온도에서 증발되도록 조절되는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 증발 모듈들 중 상기 염화나트륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 기준 온도는, 상기 수용액에서의 상기 염화나트륨의 용해도가 상기 염화칼륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮아지는 온도가 상기 물의 증발 온도가 되도록 정해지고,

상기 증발 모듈들 중 상기 염화나트륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 내부 압력은, 상기 수용액에 포함된 상기 물이 상기 증발 온도에서 증발되도록 조절되는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 16

제13항에 있어서,

상기 석출 유닛은,

상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기의 상기 내부 압력을 조절하여, 당해 증발기에서 상기 기준 온도에 따라 진공 분위기 하에서 상기 물의 감압 증발을 유도 가능한 압력 조절 부재를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 17

제16항에 있어서,

상기 압력 조절 부재는,

미리 정해진 진공압이 유지되는 진공 탱크; 및

상기 진공압을 상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에 선택적으로 인가하여 상기 내부 압력을 조절하는 적어도 하나의 진공 조절 밸브들을 갖는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 18

제1항에 있어서,

상기 석출 유닛은,

상기 물 분해 유닛에서 생성된 상기 수용액을 상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에 공급하는 원수 공급 펌프를 더 구비하는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

청구항 19

제18항에 있어서,

상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기는, 상기 원수 공급 펌프로부터 공급된 상기 수용액을 상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에 전달할 수 있도록, 상기 적어도 다른 하나의 증발 모듈의 상기 증발기와 연결되는 것을 특징으로 하는 블랙 드로스 재활용 장치.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 알루미늄 스크랩의 용해 공정과, 블랙 드로스의 재활용 공정을 수행하기 위한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 자동차, 가전 제품 및 건축용 자재 등으로 사용되고 있는 많은 알루미늄 부품은 알루미늄 주조 장치를 이용하여 제조한다. 이러한 알루미늄 주조 장치에 알루미늄 용탕을 공급하는 것이 알루미늄 용해로이다. 알루미늄 용해로는 일정한 크기로 성형된 알루미늄 스크랩을 고열로 용해시키는 장치이다.

[0003] 종래의 알루미늄 용해로는, 알루미늄 용탕을 가열하는 버너를 구비하는 승온실, 승온실에서 배출된 알루미늄 용탕을 펌핑하는 용탕 펌프를 구비하는 용탕 교반실, 및 상기 용탕 교반실에서 배출된 알루미늄 용탕에 알루미늄 압축칩 덩어리를 장입시키는 장입실을 포함한다.

[0004] 여기서, 알루미늄 압축칩 덩어리는, 알루미늄 피라고도 하며, 알루미늄 제품의 생산이나 가공 시 많이 발생하는 다수의 알루미늄 칩을 압축한 것이다. 그런데, 알루미늄 압축칩 덩어리는 알루미늄 칩을 압축하는 과정에서 다수의 공극을 함유하게 된다. 따라서, 종래 알루미늄 용해로는, 알루미늄 용탕에 투입된 알루미늄 압축칩 덩어리의 중심부까지 열이 잘 전달되지 못해 용해 효율이 떨어지고, 알루미늄 압축실 덩어리가 알루미늄 용탕의 표면으로 부상되어 대기와 접촉됨으로써 알루미늄 산화물이 생성되는 문제점이 있었다.

[0005] 종래의 알루미늄 용해로는, 상술한 문제점을 해결하기 위하여 용탕 교반실에서 펌핑된 후 장입실로 전달된 알루미늄 용탕에 알루미늄 압축칩 덩어리를 투입하지만, 이러한 경우에도 알루미늄 압축칩 덩어리의 낮은 비중으로 인해 여전히 알루미늄 압축칩 덩어리가 알루미늄 용탕에 부유된 상태로 용해가 진행된다. 따라서, 종래의 알루미늄 용해로는, 용해 효율이 떨어지고, 알루미늄 산화물의 생성량이 많아 순수 알루미늄의 실수율이 떨어진다는 문제점이 있다.

[0006] 한편, 알루미늄은 산화성이 강한 금속이므로, 알루미늄을 알루미늄 용탕에 용해하는 과정에서 알루미늄 산화물이 발생된다. 이러한 알루미늄 산화물의 발생량이 증가하면 알루미늄의 회수율이 떨어진다. 또한, 일반적으로 알루미늄 용탕에 투입되는 알루미늄 덩어리에는 도료 기타 개재물이 개재된다. 이러한 개재물이 증가하면, 알루미늄의 순도가 감소된다.

[0007] 이러한 알루미늄 산화물과 개재물로 인한 문제점을 해결하기 위하여, 알루미늄의 산화를 방지하고 또한 개재물의 포획이 가능한 플럭스(F)를 투입하여 알루미늄 용탕에 투입하고 있다. 이와 같이 알루미늄 용탕을 플럭스 처리하여 발생한 드로스를 블랙 드로스라고 한다.

[0008] 그런데, 종래에는, 알루미늄, 알루미늄 산화물 및 플럭스 등 블랙 드로스에 포함된 물질들을 용도에 맞게 재활용할 수 있도록 블랙 드로스를 효과적으로 재활용 가능한 방법이 제안되지 않았다. 따라서, 블랙 드로스는 토양에 매립되어 폐기 처분되고 있으며, 이로 인해 환경 오염의 우려와 자원 낭비가 발생한다는 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 알루미늄 스크랩의 용해 효율을 높일 수 있도록 구조를 개선한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0010] 나아가, 본 발명은 알루미늄 산화물의 생성량을 줄일 수 있도록 구조를 개선한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0011] 나아가, 본 발명은 순수 알루미늄의 용해 회수율을 높일 수 있도록 구조를 개선한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0012] 나아가, 본 발명은 블랙 드로스에 포함된 물질들을 재활용하기 용이하도록 구조를 개선한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0013] 나아가, 본 발명은 알루미늄 스크랩을 플럭스 처리하기 위한 플럭스에 포함된 염화물염들을 블랙 드로스로부터 원활하게 회수할 수 있도록 개선한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0014] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 바람직한 실시예 따른 블랙 드로스 재활용 장치는, 알루미늄 용탕에서 알루미늄 스크랩을 용해시킬 때 상기 알루미늄 스크랩이 염화나트륨과 염화칼륨을 포함하는 플럭스에 의해 플럭스 처리되어 발생하는 블랙 드로스를 재활용하기 위한 블랙 드로스 재활용 장치에 있어서, 상기 블랙 드로스의 과분쇄물인 드로스 미립자 파우더를 물과 가수분해 반응시켜, 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨을 포함하는 가용성 고형분이 용해된 수용액을 생성하는 물 분해 유닛; 및 상기 수용액에 포함된 상기 물을 증발시켜 상기 수용액으로부터 상기 가용성 고형분을 각각 석출시키되, 서로 상이한 환경 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 서로 상이한 석출 순서 및 석출 시기에 따라 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨을 석출시키는 복수의 증발 모듈들을 구비하는 석출 유닛을 포함한다.
- [0015] 바람직하게, 상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈은, 상기 수용액에서의 상기 염화칼륨의 용해도가 상기 염화나트륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮은 온도 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 상기 염화칼륨을 상기 염화나트륨에 비해 우선적으로 석출시킨다.
- [0016] 바람직하게, 상기 적어도 어느 하나의 상기 증발 모듈은, 상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 상기 증발 모듈에서 상기 물이 증발되어 발생한 발생 증기를 당해 증발 모듈에서 상기 수용액을 가열하기 위한 열원으로서 이용한다.
- [0017] 바람직하게, 상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈은, 상기 온도 조건 하에서 상기 물이 증발될 수 있도록, 진공 분위기 하에서 상기 물의 감압 증발을 유도한다.
- [0018] 바람직하게, 상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 증발 모듈은, 상기 수용액에서의 상기 염화나트륨의 용해도가 상기 염화칼륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮은 온도 조건 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 상기 염화나트륨을 상기 염화칼륨에 비해 우선적으로 석출시킨다.
- [0019] 바람직하게, 상기 증발 모듈들은 각각, 상기 수용액을 미리 정해진 기준 온도로 가열하는 리보일러; 및 상기 기준 온도로 가열된 상기 수용액을 상기 리보일러로부터 전달받으며, 상기 물의 증발 온도가 상기 미리 정해진 기준 온도가 되도록 조절된 내부 압력 하에서 상기 물의 증발을 유도하여, 상기 가용성 고형분을 석출시키는 증발기를 구비한다.
- [0020] 바람직하게, 상기 증발 모듈들은 각각, 상기 수용액을 미리 정해진 순서를 따라 상기 리보일러 및 상기 증발기에 순환시키는 순환 펌프를 더 구비한다.
- [0021] 바람직하게, 상기 석출 유닛은, 상기 가용성 고형분이 석출된 가용성 고형분 석출물 및 상기 수용액을 원심 분리하는 원심 분리기를 더 구비한다.
- [0022] 바람직하게, 상기 석출 유닛은, 상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 상기 증발기에서 상기 수용액과 혼합된 슬러리 상태로 배출된 상기 가용성 고형분 석출물이 저장되며, 상기 슬러리 상태의 상기 가용성 고형분 석출물을 상기 원심 분리기에 전달하는 석출물 저장 탱크를 더 구비한다.
- [0023] 바람직하게, 상기 원심 분리기는, 상기 가용성 고형분 석출물과 분리된 상기 수용액을 상기 증발 모듈들에 재진달한다.
- [0024] 바람직하게, 상기 원심 분리기에 의해 상기 수용액과 분리된 상기 가용성 고형분 석출물을 건조하여 저장하는 가용성 고형분 저장 유닛을 더 포함한다.
- [0025] 바람직하게, 상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 리보일러는, 외부의 증기 공급원으로부터 공급된 원증기를 열원으로서 이용해 상기 수용액을 가열하고, 상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 증발 모듈의 상기 리보일러는, 상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에서 상기 물이 증발되어 발생한 발생 증기 또는 상기 증발 모듈들 중 또 다른 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에서 상기 물이 증발되어 발생한 발생 증기를 열원으로서 이용해 상기 수용액을 가열한다.
- [0026] 바람직하게, 상기 증발 모듈들 각각에 대한 상기 기준 온도 및 상기 내부 압력은, 상기 염화나트륨과 상기 염화칼륨 중 당해 증발 모듈에서 우선적으로 석출시키고자 하는 염화물염의 종류에 따라 개별적으로 정해진다.
- [0027] 바람직하게, 상기 증발 모듈들 중 상기 염화칼륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 기준 온도는, 상기 수용액에서의 상기 염화칼륨의 용해도가 상기 염화나트륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값

이상만큼 낮아지는 온도가 상기 물의 증발 온도가 되도록 정해지고, 상기 증발 모듈들 중 상기 염화칼륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 내부 압력은, 상기 수용액에 포함된 상기 물이 상기 증발 온도에서 증발되도록 조절된다.

- [0028] 바람직하게, 상기 증발 모듈들 중 상기 염화나트륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 기준 온도는, 상기 수용액에서의 상기 염화나트륨의 용해도가 상기 염화칼륨의 용해도에 비해 미리 정해진 기준 값 이상만큼 낮아지는 온도가 상기 물의 증발 온도가 되도록 정해지고, 상기 증발 모듈들 중 상기 염화나트륨을 우선적으로 석출시키고자 하는 증발 모듈에서의 상기 내부 압력은, 상기 수용액에 포함된 상기 물이 상기 증발 온도에서 증발되도록 조절된다.
- [0029] 바람직하게, 상기 석출 유닛은, 상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기의 상기 내부 압력을 조절하여, 당해 증발기에서 상기 기준 온도에 따라 진공 분위기 하에서 상기 물의 감압 증발을 유도 가능한 압력 조절 부재를 더 구비한다.
- [0030] 바람직하게, 상기 압력 조절 부재는, 미리 정해진 진공압이 유지되는 진공 탱크; 및 상기 진공압을 상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에 선택적으로 인가하여 상기 내부 압력을 조절하는 적어도 하나의 진공 조절 밸브들을 갖는다.
- [0031] 바람직하게, 상기 석출 유닛은, 상기 물 분해 유닛에서 생성된 상기 수용액을 상기 증발 모듈들 중 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에 공급하는 원수 공급 펌프를 더 구비한다.
- [0032] 바람직하게, 상기 적어도 어느 하나의 증발 모듈의 상기 증발기는, 상기 원수 공급 펌프로부터 공급된 상기 수용액을 상기 증발 모듈들 중 적어도 다른 하나의 증발 모듈의 상기 증발기에 전달할 수 있도록, 상기 적어도 다른 하나의 증발 모듈의 상기 증발기와 연결된다.

발명의 효과

- [0033] 본 발명에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템 및 방법은 다음과 같은 효과를 갖는다.
- [0034] 첫째, 본 발명은, 플럭스가 비금속 개재물(介在物, Inclusion)을 선택적으로 포획하여 생성된 블랙 드로스를 와류를 통해 구형으로 결집하여 구형 블랙 드로스를 형성함으로써, 블랙 드로스에 포함된 알루미늄 메탈의 양을 줄일 수 있어 순수 알루미늄의 용해 회수율을 증대시킬 수 있다.
- [0035] 둘째, 본 발명은, 구형 블랙 드로스에 포함된 경제적 가치가 있는 물질들을 재활용하여, 경제성을 향상시킬 수 있다.
- [0036] 셋째, 본 발명은, 구형 블랙 드로스에 포함된 물질들을 그 성격에 따라 알루미늄 알갱이, 가용성 고형분, 불용성 고형분 및 가수분해 가스로 재활용하여, 구형 블랙 드로스에 포함된 물질들 중 재활용되지 못한 채 폐기되는 물질들을 최소화시켜 경제성을 더욱 향상시킬 수 있다.
- [0037] 넷째, 본 발명은, 복수의 증발 모듈들을 개별적으로 이용해, 블랙 드로스를 가수분해 반응시켜 생성한 수용액으로부터 가용성 고형분에 포함된 염화물염들을 다양한 방식으로 석출시킴으로써, 고부가가치를 갖는 염화칼륨, 기타 플럭스의 구성 성분인 염화물염들을 더욱 효과적으로 재활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0038] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 개략적으로 나타내는 블록도.
- 도 2는 도 1의 알루미늄 용해로를 개략적으로 나타내는 개략도.
- 도 3은 도 2의 용해실과 유동력 부여실의 단면도.
- 도 4는 도 2의 용해실에서 구형 블랙 드로스가 형성되는 양상을 나타내는 모식도.
- 도 5는 도 2의 용해실에서 형성된 구형 블랙 드로스의 사진.
- 도 6은 도 2의 용해실에 수용된 알루미늄 용탕의 표면에 구형 블랙 드로스가 부유된 상태를 나타내는 용해실의 평면도.
- 도 7은 도 1의 블랙 드로스 재활용 장치를 개략적으로 나타내는 개략도.

도 8은 미립화된 드로스 파우더의 사진.

도 9는 도 7의 석출 유닛의 구성을 개략적으로 나타내는 개략도.

도 10은 염화물염 수용액의 용해도 그래프.

도 11은 석출 및 건조 처리한 가용성 고형분의 사진.

도 12는 도 11에 도시된 가용성 고형분을 정성 분석한 SEM-EDS 차트.

도 13은 도 11에 도시된 가용성 고형분의 조성비를 나타내는 도표.

도 14는 건조 처리한 불용성 고형분의 사진.

도 15는 소성 처리한 불용성 고형분의 사진

도 16은 도 15에 도시된 소성 처리한 불용성 고형분을 정성 분석한 SEM-EDS 차트.

도 17은 도 15에 도시된 소성 처리한 불용성 고형분의 조성비를 나타내는 도표.

도 18은 본 발명의 다른 바람직한 실시예에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 방법을 개략적으로 나타내는 순서도.

도 19는 도 18에 기재된 알루미늄 용해 단계와 구형 블랙 드로스를 파쇄 및 분쇄하는 단계의 세부적인 내용을 설명하기 위한 순서도.

도 20은 도 18에 기재된 드로스 파우더 물 분해 단계와 물 분해물 재활용 단계의 세부적인 내용을 설명하기 위한 순서도.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0039] 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다. 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과하고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.
- [0040] 도면에서 각 구성요소 또는 그 구성요소를 이루는 특정 부분의 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었다. 따라서, 각 구성요소의 크기는 실제크기를 전적으로 반영하는 것은 아니다. 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우, 그러한 설명은 생략하도록 한다.
- [0041] 도 1은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템을 개략적으로 나타내는 블록도이다.
- [0042] 도 1을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템(1)은, 알루미늄 스크랩을 플럭스 처리된 알루미늄 용탕에 용해하기 위한 알루미늄 용해로(2); 및 알루미늄 스크랩을 알루미늄 용탕에 용해할 때 알루미늄 용탕에 포함된 개재물이 플럭스에 포획되어 형성된 블랙 드로스를 재활용하기 위한 블랙 드로스 재활용 장치(3)를 포함한다. 이러한 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템(1)은, 알루미늄 주조물을 제조하기 위한 알루미늄 용탕을 확보할 수 있도록 알루미늄 스크랩을 플럭스 처리된 알루미늄 용탕에 용해함과 함께, 블랙 드로스에 포함된 성분들을 재활용할 수 있도록 블랙 드로스를 처리하기 위한 것이다.
- [0043] 이하에서는, 설명의 편의를 위해 알루미늄 용해로(2)에 대해 먼저 설명한 후 블랙 드로스 재활용 장치(3)에 대해 설명하기로 한다.
- [0044] 도 2는 도 1의 알루미늄 용해로를 개략적으로 나타내는 개략도이다.
- [0045] 도 2를 참조하면, 알루미늄 용해로(2)는, 알루미늄 용탕(M)이 가열되는 가열실(10)과, 알루미늄 스크랩(A)과 플럭스(F)가 각각 알루미늄 용탕(M)에 투입되는 용해실(20)과, 알루미늄 용탕(M)에 유동력을 부여하는 유동력 부여실(20)을 포함한다.

- [0046] 도 2에 도시된 바와 같이, 알루미늄 용해로(2)는, 내화물 재질을 갖는 벽체들에 의하여 구획된 다수의 공간들을 구비한다. 가열실(10), 용해실(20) 및 유동력 부여실(30)은 각각, 알루미늄 용해로(2)의 다수의 공간들 중 어느 하나의 공간에 다른 공간들과 독립된 상태로 마련된다.
- [0047] 가열실(10)은, 알루미늄 용탕(M)을 미리 정해진 온도로 가열하기 위한 공간이다.
- [0048] 가열실(10)은, 후술할 용해실(20)의 제2 유동 통로(29)와 연통되어 용해실(20)로부터 알루미늄 용탕(M)을 전달 받는다. 가열실(10)은 열손실이 최소화될 수 있도록 후술할 제1 유동 통로(16) 및 제2 유동 통로(29)와 연결된 부분을 제외한 나머지 부분은 외부와 차단된 밀폐 구조로 형성된다.
- [0049] 도 2에 도시된 바와 같이, 가열실(10)은, 알루미늄 용탕(M)을 가열하는 가열 유닛(12)과, 알루미늄 용탕(M)을 알루미늄 용해로(2)의 외부로 배출하기 위한 출탕구(14)와, 가열실(10)에 수용된 알루미늄 용탕(M)을 유동력 부여실(30)로 전달하기 위한 제1 유동 통로(16)를 포함한다.
- [0050] 가열 유닛(12)은, 알루미늄 용탕(M)을 미리 정해진 온도로 가열하기 위한 장치이다.
- [0051] 도 2에 도시된 바와 같이, 가열 유닛(12)은, 가열실(10)을 구획하는 벽체들에 설치되는 버너일 수 있다. 알루미늄 용탕(M)의 가열 온도는 특별히 한정되지 않는다. 알루미늄 용탕(M)의 온도는 가열실(10)에 설치된 온도 센서(미도시)에 의하여 측정될 수 있으며, 가열 유닛(12)은, 온도 센서로부터 알루미늄 용탕(M)의 온도를 입력 받아, 알루미늄 용탕(M)을 미리 정해진 가열 온도로 가열할 수 있다.
- [0052] 출탕구(14)는, 가열실(10)에서 가열된 알루미늄 용탕(M)을 알루미늄 용해로(2)의 외부로 배출하기 위한 출구이다
- [0053] 출탕구(14)는, 알루미늄 주조물을 제조하기 위한 알루미늄 주조 장치와 연결되거나 또는 알루미늄 용탕(M)을 이송하기 위한 용탕 이송 용기와 연결될 수 있다. 출탕구(14)에는, 출탕구(14)를 선택적으로 개폐하는 개폐 밸브(18)가 설치될 수 있다.
- [0054] 제1 유동 통로(16)는, 가열실(10)에 수용된 알루미늄 용탕(M)을 유동력 부여실(30)로 전달하기 위한 통로이다.
- [0055] 도 2에 도시된 바와 같이, 제1 유동 통로(16)는 가열실(10)과 유동력 부여실(30)을 구획하는 벽체가 관통되어 형성되며, 알루미늄 용탕(M)은 제1 유동 통로(16)를 통해 유동력 부여실(30)로 유입된다.
- [0056] 도 3은 도 2에 도시된 용해실과 유동력 부여실의 단면도이며, 도 4에 도시된 도 2의 용해실에서 구형 블랙 드로스가 형성되는 양상을 나타내는 도면이며, 도 5에 도시된 도 2의 용해실에서 형성된 구형 블랙 드로스의 사진이다.
- [0057] 용해실(20)은, 플럭스(F)와 알루미늄 스크랩(A)을 알루미늄 용탕(M)에 투입하기 위한 공간이다.
- [0058] 용해실(20)은, 후술할 유동력 부여실(30)의 제3 유동 통로(34)와 연통되어 알루미늄 용탕(M)을 유동력 부여실(30)로부터 전달받는다. 용해실(20)은, 플럭스(F)와 알루미늄 스크랩(A)을 알루미늄 용탕(M)에 투입할 수 있도록 상면의 적어도 일부가 개방된 개방 구조로 형성되며, 가열실(10)보다 상대적으로 작은 용적을 갖는다. 즉, 용해실(20)은, 알루미늄 스크랩(A)을 용해실(20)에 투입하여 용해 작업을 수행할 수 있도록 개방 구조로 형성되고, 열손실을 줄일 수 있도록 가열실(10)보다 상대적으로 작은 용적을 갖는 것이다.
- [0059] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 용해실(20)은, 알루미늄 용탕(M)에 선회 하강하는 와류(V)를 생성하는 와류 유닛(21)과, 플럭스(F)를 와류(V)에 투입하는 플럭스 공급 유닛(23)과, 알루미늄 스크랩(A)을 와류(V)에 투입하는 원재료 공급 유닛(25)과, 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)을 가열실(10)로 전달하기 위한 제2 유동 통로(29)를 포함한다.
- [0060] 와류 유닛(21)은, 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)에 선회 하강하는 와류(V)를 형성하기 위한 부재이다.
- [0061] 와류 유닛(21)은 적어도 일부가 알루미늄 용탕(M)에 침지되도록 용해실(20)에 설치된다. 와류 유닛(21)에 의하여 생성된 와류(V)와 제3 유동 통로(34)를 통해 용해실(20)로 유입되는 알루미늄 용탕(M)의 유동이 직접적으로 대면할 경우에는, 알루미늄 용탕(M)의 유동이 방해 받을 우려가 있다. 이를 방지하기 위하여, 도 2에 도시된 바와 같이, 와류 유닛(21)은 제3 유동 통로(34)와 일직선 상에 위치하지 않도록 용해실(20)의 일측에 설치되는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0062] 도 3에 도시된 바와 같이, 와류 유닛(21)은, 알루미늄 용탕(M)에 침지되는 하단 및 알루미늄 용탕(M)의 외부로 연장되어 구동 모터(미도시)와 축 결합되는 상단을 갖는 회전축(21a), 및 회전축(21a)의 하단에 축 결합되는 교

반 임펠러(21b)를 포함한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 구동 모터가 구동되면, 교반 임펠러(21b)가 회전축(21a)을 중심으로 회전함으로써 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)에는 회전축(21a)을 중심으로 선회 하강하는 와류(V)가 생성된다.

- [0063] 플럭스 공급 유닛(23)은, 외부의 플럭스 공급원(미도시)으로부터 공급된 플럭스(F)를 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)에 투입하기 위한 장치이다.
- [0064] 플럭스(F)는, 알루미늄보다 비중이 작은 혼합염으로서, 개재물과 친화력이 높은 재질로 형성된다. 도 3에 도시된 바와 같이, 플럭스 공급 유닛(23)은, 이러한 플럭스(F)를 와류 유닛(21)에 의하여 생성된 와류(V)에 투입한다. 그러면, 와류(V)에 의하여 플럭스(F)가 알루미늄 용탕(M)에 신속하게 침지되어 용해된 후 용해실(20)에 고르게 퍼질 수 있다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니며, 플럭스 공급 유닛(23)은 와류(V)가 아닌 다른 부분에 플럭스(F)를 투입할 수도 있다.
- [0065] 플럭스(F) 투입 시기는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 플럭스 공급 유닛(23)은, 원재료 공급 유닛(25)이 와류(V)에 알루미늄 스크랩(A)을 투입하기 이전에 플럭스(F)를 와류(V)에 미리 투입할 수 있다. 그러면, 플럭스(F)는 와류(V)에 의해 선회 하강하면서 알루미늄 용탕(M)에 침지되어 용해된다. 그런데, 플럭스(F)는 알루미늄 보다 작은 비중을 가지므로, 알루미늄 용탕(M)에 용해된 플럭스(F)는 알루미늄 용탕(M)의 표면으로 부상하여 알루미늄 용탕(M)의 표면에 용융 플럭스층, 즉, 염욕층을 형성한다. 이러한 용융 플럭스층은, 알루미늄 용탕(M) 및 알루미늄 용탕(M)에 투입된 알루미늄 스크랩(A)이 대기 중의 산소와 접촉되는 것을 차단하여, 알루미늄 산화물의 발생량을 줄일 수 있다.
- [0066] 이러한 플럭스(F)는 개재물을 선택적으로 포획 가능함과 동시에 용융 플럭스층을 형성 가능한 조성을 갖는다. 바람직하게, 플럭스(F)는, 염화나트륨(NaCl)과 염화칼륨(KCl)이 동일한 중량부로 혼합된 혼합물 93-97 중량부 및 빙정석류(Cryolite, Potassium Cryolite) 3-7 중량부를 포함할 수 있다. 더욱 바람직하게, 플럭스(F)는, 염화나트륨(NaCl) 47.5 중량부, 염화칼륨(KCl) 47.5 중량부 및 포타슘 알루미늄 플루오라이드(KAlF₄) 5 중량부를 포함할 수 있다.
- [0067] 한편, 후술할 원재료 공급 유닛(25)에 의해 알루미늄 스크랩(A)의 투입이 시작되면, 플럭스 공급 유닛(23)은 원재료 공급 유닛(25)과 동시 또는 이시에 플럭스(F)를 와류(V)에 투입할 수 있다. 즉, 알루미늄 스크랩(A)의 투입이 시작된 이후에도 플럭스(F)는 알루미늄 스크랩(A)의 공급 추이에 맞추어 계속적 또는 단속적으로 공급되는 것이다.
- [0068] 플럭스(F)는 이를 이용하여 포획하고자 하는 개재물의 양과 동일한 양이 공급되는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다. 따라서, 플럭스(F)의 공급량은 알루미늄 스크랩(A)의 공급량과 알루미늄 스크랩(A)의 종류에 따라 조절될 수 있다. 즉, 도로 기타 다량의 개재물을 포함하는 알루미늄 스크랩(A)이 공급되는 경우에는 플럭스(F)의 공급량이 증가되고, 순도가 높은 알루미늄 스크랩(A)이 공급되는 경우에는 플럭스(F)의 공급량이 감소될 수 있다.
- [0069] 원재료 공급 유닛(25)은, 외부의 원재료 공급원(미도시)으로부터 공급된 알루미늄 스크랩(A)을 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)에 투입하기 위한 장치이다.
- [0070] 도 3에 도시된 바와 같이, 원재료 공급 유닛(25)은, 와류 유닛(21)에 의하여 생성된 와류(V)에 알루미늄 스크랩(A)을 투입한다. 그러면, 알루미늄 스크랩(A)은 와류(V)에 의해 선회 하강하면서 알루미늄 용탕(M)에 신속히 침지되어 용해될 수 있으므로, 알루미늄 용탕(M)에 침지된 알루미늄 스크랩(A)과 대기의 접촉이 더욱 효과적으로 차단됨으로써 알루미늄 산화물의 발생량을 더욱 줄일 수 있다.
- [0071] 알루미늄 스크랩(A)의 투입 시기는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 원재료 공급 유닛(25)은, 알루미늄 용탕(M)의 표면에 용융 플럭스층이 형성된 이후에 알루미늄 스크랩(A)의 투입을 시작할 수 있다. 그러면, 알루미늄 스크랩(A)은, 알루미늄 용탕(M)의 표면에 용융 플럭스층이 형성된 상태로 알루미늄 용탕(M)에 침지될 수 있다. 이로 인해, 알루미늄 용탕(M)에 침지된 알루미늄 스크랩(A)과 대기의 접촉이 더욱 효과적으로 차단되므로, 알루미늄 산화물의 발생량을 더욱 줄일 수 있다.
- [0072] 알루미늄 스크랩(A)의 직경이 큰 경우에는 열 전달율이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서, 알루미늄 스크랩(A)은 5 cm 이하의 직경을 갖는 것이 바람직하다. 이러한 알루미늄 스크랩(A)의 종류는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 알루미늄 스크랩(A)은, 알루미늄, 마그네슘 및 알루미늄 합금을 주로 포함하는 알루미늄 폐캔 스크랩(UBCs, A 3XXX 계열, A 5XXXX 계열)일 수 있다. 이러한 알루미늄 폐캔 스크랩의 화학 조성은 표 1과 같다.

표 1

[0074]

부품	Al 합금 계열	화학조성 (%)					
		Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Mg
몸체	A 3004	< 0.3	< 0.70	< 0.25	1.0-1.5	< 0.25	0.8-1.3
뚜껑	A 5052	< 0.25	< 0.40	< 0.10	< 0.10	< 0.10	2.2-2.8
탭	A 5182	< 0.2	< 0.35	< 0.15	0.2-0.5	< 0.25	4.0-5.0

[0076]

한편, 알루미늄 스크랩(A)의 개재물(介在物, Inclusions)은, 알루미늄 스크랩(A)이 알루미늄 용탕(M)에 장입되어 용해될 때, 용융 알루미늄과 응집되는 성질을 갖는다. 그런데, 용융 플럭스층 즉, 플럭스(F)는, 개재물과 용융 알루미늄의 응집력을 약화시켜 개재물과 용융 알루미늄을 해리시키고, 용융 알루미늄과 해리된 개재물을 선택적으로 포획하여 블랙 드로스(B₁)를 형성한다. 블랙 드로스(B₁)는, 전술한 형성 과정에서 부피가 증가되어 용융 알루미늄보다 낮은 비중을 가지며, 이로 인해 알루미늄 용탕(M)의 표면으로 부상한다.

[0077]

또한, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 블랙 드로스(B₁)는, 와류(V)에 의해 선회 하강하다가 와류(V)의 하단에 도달하면 와류(V)로부터 이탈되며, 그 다음에는 알루미늄 용탕(M)의 표면으로 부상된 후 다시 와류(V)의 흡입력에 의해 와류(V)에 합류된다. 따라서, 블랙 드로스(B₁)는, 이러한 과정을 통해 알루미늄 용탕(M)의 표면에서 생성된 다른 블랙 드로스(B₁)와 결합된다. 도 5에 도시된 바와 같이, 이러한 과정이 반복되면, 다수의 블랙 드로스(B₁)가 구형으로 결집된 구형 블랙 드로스(B₂)가 형성된다. 즉, 와류 유닛(21)은, 와류(V)를 통해 블랙 드로스(B₁)를 반복적으로 하강 및 부상시킴으로써, 다수의 블랙 드로스(B₁)가 구형으로 결집된 구형 블랙 드로스(B₂)를 형성하는 것이다. 이러한 구형 블랙 드로스(B₂)의 화학 조성은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 전술한 바와 같이, 알루미늄 스크랩(A)은 알루미늄 폐캔 스크랩(UBCs 스크랩)이고 또한 플럭스(F)는 염화나트륨(NaCl) 47.5 중량부, 염화칼륨(KCl) 47.5 중량부 및 포타슘 알루미늄 플루오라이드(KAlF₄) 5 중량부를 포함하는 경우에, 구형 블랙 드로스(B₂)의 화학 조성은 표 2와 같다.

표 2

[0079]

조성 화학물질	화학조성 (%)
Al	5-10
Al ₂ O ₃	25-35
Mg	5-10
MgO	5-10
NaCl	20-30
KCl	20-30

[0081]

구형 블랙 드로스(B₂)는, 블랙 드로스(B₁)가 알루미늄 용탕(M)을 하강 및 부상하기를 반복하면서 점진적으로 형성되므로, 이러한 하강 및 부상 과정 없이 일회적으로 형성되는 일반적인 블랙 드로스에 비해 개재물의 제거 성능이 뛰어나다. 이로 인해, 구형 블랙 드로스(B₂)를 형성할 경우에는 일반적인 블랙 드로스를 형성하는 경우에 비해 드로스 중의 알루미늄 함유율을 저감시킬 수 있다. 즉, 일반적인 블랙 드로스, 예를 들어, 종래의 알루미늄 폐캔 용해 공정에서 화이트 드로스를 플럭스 처리하여 형성한 일반 블랙 드로스는 약 50% 이상의 알루미늄 함유율을 가지나, 구형 블랙 드로스(B₂)는 약 10% 이하의 알루미늄의 함유율을 갖는다. 따라서, 구형 블랙 드로스(B₂)를 형성함으로써, 순수 알루미늄의 용해 회수율을 향상시킬 수 있다. 또한, 구형 블랙 드로스(B₂)를 형성함으로써, 발열제 플럭스 및 재처리 압입기를 이용해 드로스를 재처리하여 드로스에 포획된 알루미

납을 회수하는 드로스 재처리 과정을 생략 가능하므로, 이러한 드로스 재처리에 소요되는 비용을 절감할 수 있다.

- [0082] 제2 유동 통로(29)는, 알루미늄 스크랩(A)이 용해된 알루미늄 용탕(M)을 가열실(10)로 전달하기 위한 통로이다.
- [0083] 도 2에 도시된 바와 같이, 제2 유동 통로(29)는 용해실(20)과 가열실(10)을 구획하는 벽체가 관통되어 형성되며, 알루미늄 용탕(M)은 제2 유동 통로(29)를 통해 가열실(10)로 유입된다.
- [0084] 다음으로, 유동력 부여실(30)은, 알루미늄 용탕(M)이 가열실(10)과 용해실(20) 사이를 순환할 수 있도록 알루미늄 용탕(M)에 유동력을 부여하기 위한 공간이다.
- [0085] 유동력 부여실(30)은, 가열실(10)의 제1 유동 통로(16)와 연통되어 알루미늄 용탕(M)을 가열실(10)로부터 전달 받는다.
- [0086] 도 2에 도시된 바와 같이, 유동력 부여실(30)은, 가열실(10)의 제1 유동 통로(16)와 용해실(20) 사이에 설치되는 것이 바람직하다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니며, 유동력 부여실(30)은 용해실(20)의 제2 유동 통로(29)와 가열실(10) 사이에 설치될 수도 있다.
- [0087] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 유동력 부여실(30)은, 알루미늄 용탕(M)을 가속하여 알루미늄 용탕(M)에 유동력을 부여하는 가속 유닛(32), 및 유동력이 부여된 알루미늄 용탕(M)을 용해실(20)로 전달하는 제3 유동 통로(34)를 포함한다.
- [0088] 가속 유닛(32)은, 적어도 일부분이 알루미늄 용탕(M)에 침지되도록 유동력 부여실(30)에 설치된다. 예를 들어, 도 3에 도시된 바와 같이, 가속 유닛(32)은, 유동력 부여실(30)의 외부에 마련된 구동 모터(미도시)로부터 구동력을 제공받아, 유동력 부여실(30)에 수용된 알루미늄 용탕(M)을 순환시킬 수 있는 용탕 펌프일 수 있다.
- [0089] 제3 유동 통로(34)는, 가속 유닛(32)에 의하여 유동력이 부여된 알루미늄 용탕(M)을 유동력 부여실(30)로 전달하기 위한 통로이다.
- [0090] 도 2 및 도 3에 도시된 바와 같이, 제3 유동 통로(34)는 유동력 부여실(30)과 용해실(20)을 구획하는 벽체의 하부가 가속 유닛(32)의 임펠러와 대면하도록 관통되어 형성되며, 알루미늄 용탕(M)은 제3 유동 통로(34)를 통해 용해실(20)로 유입된다.
- [0091] 한편, 본 명세서에서는 가열실(10)과 용해실(20) 사이에 가속 유닛(32)을 구비한 유동력 부여실(30)이 마련되는 것으로 설명하였으나 이에 한정되는 것은 아니다. 즉, 용해실(20)의 와류 유닛(20)은 와류(V)를 형성함으로써 알루미늄 용탕(M)을 승하강시킴과 동시에 알루미늄 용탕(2)를 순환하기 위한 유동력을 알루미늄 용탕(M)에 부여할 수 있으므로, 유동력 부여실(30)과 이에 마련된 가속 유닛(32)은 생략 가능하다.
- [0092] 도 6은 도 2의 용해실에 수용된 알루미늄 용탕의 표면에 구형 블랙 드로스가 부유된 상태를 나타내는 용해실의 평면도이다.
- [0093] 많은 개수의 구형 블랙 드로스(B_2)가 와류(V)에 밀집되면, 와류(V)에 의한 구형 블랙 드로스(B_2)의 하강 및 부상 작용이 약화되어 구형 블랙 드로스(B_2)의 형성 효율이 감소될 우려가 있다. 따라서, 미리 정해진 기준 직경만큼 성장한 구형 블랙 드로스(B_2)를 와류(V)로부터 이탈시켜 와류(V)에 위치한 구형 블랙 드로스(B_2)의 밀도를 적정 수준으로 조절하는 것이 바람직하다.
- [0094] 구형 블랙 드로스(B_2)의 기준 직경은, 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 알루미늄 스크랩(A)은 알루미늄 폐 캔 스크랩(UBCs 스크랩)이고 또한 플러스(F)는 염화나트륨(NaCl) 47.5 중량부, 염화칼륨(KCl) 47.5 중량부 및 포타슘 알루미늄 플루오라이드($KAlF_4$) 5 중량부를 포함하는 경우에, 구형 블랙 드로스(B_2)의 기준 직경은 2 cm 내지 5 cm 이다.
- [0095] 이와 같이 기준 직경만큼 성장한 구형 블랙 드로스(B_2)를 와류(V)로부터 이탈시키기 위하여, 용해실(20)은, 구형 블랙 드로스(B_2)를 와류(V)로부터 분리하는 분리 유닛(27)을 더 포함할 수 있다.
- [0096] 도 3에 도시된 바와 같이, 분리 유닛(27)은, 알루미늄 용탕(M)의 표면에 부유된 구형 블랙 드로스(B_2)를 와류(V)로부터 먼 쪽으로 끌어당길 수 있는 형상을 갖는 분리판(27a)과, 구동 장치(미도시)와 분리판(27a)을 연결하는 연결봉(27b)을 포함한다. 여기서, 구동 장치는, 용해실(20)의 외부에 마련된 작업 차량인 것이 바람직하나,

이에 한정되는 것은 아니다.

- [0097] 이와 같이 분리 유닛(27)이 마련됨에 따라, 미리 정해진 기준 직경을 갖는 구형 블랙 드로스(B₂)를 분리판(27a)을 이용해 와류(V)로부터 먼 쪽으로 끌어당겨 와류(V)로부터 이탈시킬 수 있다. 따라서, 구형 블랙 드로스(B₂)가 밀집됨으로 인해 구형 블랙 드로스(B₂)의 형성 효율이 떨어지는 것을 방지할 수 있다. 여기서, 분리 유닛(27)은, 구형 블랙 드로스(B₂)를 알루미늄 용탕(M)에서 퍼내서 외부로 배출하는 기능도 함께 수행할 수 있다.
- [0098] 한편, 도 6에 도시된 바와 같이, 분리 유닛(27)을 이용하여 구형 블랙 드로스(B₂)를 와류(V)로부터 먼 쪽으로 끌어낸 경우에는, 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)의 표면은 와류(V)로부터 이탈된 구형 블랙 드로스(B₂)로 덮인다. 그러므로, 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)은 이를 덮은 구형 블랙 드로스(B₂)에 의하여 대기와 차단되며, 구형 블랙 드로스(B₂)는 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)에 대한 보온 효과를 지니게 된다. 따라서, 구형 블랙 드로스(B₂)에 의하여 알루미늄 용탕(M)의 열 손실이 최소화됨으로써, 알루미늄 용탕(M)이 구형 블랙 드로스(B₂)에 의해 덮이지 않은 경우에 비해 알루미늄 용탕(M)의 온도가 상승된다.
- [0099] 종래의 알루미늄 용해로는 일반적으로 용해실에 수용된 알루미늄 용탕(M)의 온도가 약 700 ℃ 이하이나, 알루미늄 용해로(2)는 용해실(20)에 수용된 알루미늄 용탕(M)의 온도가 약 730 ℃ 이상으로 상승될 수 있다. 이로 인해, 알루미늄 용해로(2)는, 종래의 알루미늄 용해로에 비해 알루미늄 스크랩(A)의 용해 효율이 더욱 향상될 수 있다.
- [0100] 도 7은 도 1의 블랙 드로스 재활용 장치를 개략적으로 나타내는 개략도이다.
- [0101] 전술한 알루미늄 용해로(2)를 이용해 알루미늄 스크랩(A)을 용해하면 블랙 드로스(B₁)가 구형으로 결집된 구형 블랙 드로스(B₂)가 형성된다. 구형 블랙 드로스(B₂)는 일반적인 블랙 드로스에 상대적으로 비해 낮기는 하지만 소정 비율의 알루미늄을 포함할 뿐만 아니라 알루미늄 산화물, 플럭스(F) 등과 같이 경제적인 가치가 있는 물질들을 소정 비율만큼 포함한다. 따라서, 이러한 구형 블랙 드로스(B₂)를 재처리 과정 없이 매립 등의 방법을 통해 그대로 폐기하는 경우에는, 구형 블랙 드로스(B₂)에 포함된 물질들을 재활용할 수 없어 경제성이 떨어질 뿐만 아니라 구형 블랙 드로스(B₂)로 인해 환경 오염이 야기될 우려가 있다.
- [0102] 이를 해결하기 위하여, 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템(1)은, 구형 블랙 드로스(B₂)에 포함된 물질들을 재활용할 수 있도록 구형 블랙 드로스(B₂)를 재활용 가능하게 처리하는 블랙 드로스 재활용 장치(3)를 포함하는 것이다.
- [0103] 도 7에 도시된 바와 같이, 블랙 드로스 재활용 장치(3)는, 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄 및 분쇄하여 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P₂)로 분할하는 파쇄/분쇄 유닛(40)과, 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물과 물 분해 반응시켜 가용성 고형분(S), 불용성 고형분(I) 및 가수분해 가스(G)로 분해하는 물 분해 유닛(50)과, 가용성 고형분(S)이 석출되도록 가용성 고형분(S)이 용해된 수용액(Q)을 농축하는 석출 유닛(60)과, 가용성 고형분(S)의 석출물(S₁)을 건조하여 저장하는 가용성 고형분 저장 유닛(70)과, 알루미늄 알갱이(N)를 저장하는 알루미늄 알갱이 저장 유닛(80)과, 불용성 고형분(I)을 건조 및 소성하여 저장하는 불용성 고형분 저장 유닛(90)과, 가수분해 가스(G)를 저장하는 가스 저장 유닛(100)을 포함할 수 있다.
- [0104] 먼저, 파쇄/분쇄 유닛(40)은, 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄 및 분쇄하기 위한 장치이다.
- [0105] 파쇄/분쇄 유닛(40)은, 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄하는 파쇄기(41)와, 구형 블랙 드로스(B₂)의 파쇄물 중 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P₁)를 분리하는 제1 분리 부재(42)와, 드로스 파우더(P₁)를 분쇄하는 분쇄기(43)와, 드로스 파우더(P₁)의 분쇄물 중 알루미늄 알갱이(N)와 분쇄기(43)에 의해 분쇄되어 미립화된 드로스 미립자 파우더(P₂)를 분리하는 제2 분리 부재(44)를 포함할 수 있다.
- [0106] 파쇄기(41)는, 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄하여 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P₁)로 분할하기 위한 장치이다.

- [0107] 구형 블랙 드로스(B₂)에 포함된 알루미늄 입자들과 알루미늄 합금 입자들 중 상대적으로 입도가 큰 알루미늄 입자들과 알루미늄 합금 입자들은 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄할 때 발생한 열로 인해 응집되어 알루미늄 알갱이(Aluminum Granule)와 알루미늄 합금 알갱이(Aluminum Alloy Granule)가 된다. 또한, 구형 블랙 드로스(B₂)에 포함된 알루미늄 입자들과 알루미늄 합금 입자들 중 상대적으로 입도가 작은 알루미늄 입자들과 알루미늄 합금 입자들은 응집되지 못한 채 알루미늄 파우더와 알루미늄 합금 파우더가 된다. 설명의 편의를 위해 이하에서는, 알루미늄 알갱이(N)와 알루미늄 합금 알갱이를 통칭하여 알루미늄 알갱이(N)로 명명하기로 한다.
- [0108] 파쇄기(41)는, 전술한 알루미늄 입자의 특성을 이용하여, 알루미늄 용해로(2)로부터 공급받은 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄하여 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P₁)로 분할한다. 드로스 파우더(P₁)는, 구형 블랙 드로스(B₂)의 물질들 중 상대적으로 입도가 큰 알루미늄 입자를 제외한 나머지 물질들을 파우더 형태로 포함한다.
- [0109] 제1 분리 부재(42)는, 구형 블랙 드로스(B₂)의 파쇄물 중 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P₁)를 서로 분리하기 위한 부재이다.
- [0110] 제1 분리 부재(42)의 구조는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 제1 분리 부재(42)는, 미리 정해진 제1 기준 입도를 갖는 진동 스크린으로 구성될 수 있다. 제1 기준 입도는 약 10 mm인 것이 바람직하다, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0111] 이러한 제1 분리 부재(42)는, 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P₁)를 분리한 후, 알루미늄 알갱이(N)는 알루미늄 저장 유닛(80)으로 전달하고 또한 드로스 파우더(P₁)는 분쇄기(43)로 전달한다.
- [0112] 분쇄기(43)는, 드로스 파우더(P₁)를 분쇄하여 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P₂)로 분할하기 위한 장치이다.
- [0113] 드로스 파우더(P₁)에 포함된 물질들 중 산화 알루미늄과, 산화 마그네슘 같은 불용성 고형분(I)은, 이를 용이하게 재활용하기 위해서는 미립화되는 것이 바람직하다. 따라서, 드로스 파우더(P₁)를 분쇄하여 미립화시키기 위한 분쇄기(43)가 마련되는 것이다.
- [0114] 그런데, 이러한 분쇄기(43)를 이용해 드로스 파우더(P₁)를 분쇄하는 중 드로스 파우더(P₁)에 포함된 일부의 알루미늄 입자들이 응집되어 알루미늄 알갱이(N)가 생성될 수 있다. 따라서, 분쇄기(43)는, 제1 분리 부재(42)로부터 전달받은 드로스 파우더(P₁)를 분쇄하여 알루미늄 알갱이(N)와 분쇄되어 미립화된 드로스 미립자 파우더(P₂)로 분할한다.
- [0115] 제2 분리 부재(44)는, 드로스 파우더(P₁)의 분쇄물 중 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P₂)를 서로 분리하기 위한 부재이다.
- [0116] 제2 분리 부재(44)의 구조는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 제2 분리 부재(44)는, 미리 정해진 제2 기준 입도를 갖는 트롬멜 스크린(Trommel Screen)으로 구성될 수 있다. 제2 기준 입도는, 0.5 mm 인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0117] 제2 분리 부재(44)는, 분쇄기(43)로부터 전달받은 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P₂)를 분리한 후, 알루미늄 알갱이(N)는 알루미늄 알갱이 저장 유닛(80)으로 전달하고 또한 드로스 미립자 파우더(P₂)는 물 분해 유닛(50)으로 전달한다.
- [0118] 도 8은 드로스 미립자 파우더의 사진이다.
- [0119] 다음으로, 물 분해 유닛(50)은, 제2 분리 부재(44)로부터 전달받은 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물 분해하기 위한 장치이다.
- [0120] 도 8에 도시된 바와 같이, 드로스 미립자 파우더(P₂)는, 플럭스(F), 알루미늄, 알루미늄-마그네슘 합금, 마그네슘 및 산화물 등 다양한 물리 화학적인 성격을 갖는 물질들을 포함하여, 짙은 회색의 파우더 형태를 갖는다.
- [0121] 이러한 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 물질들을 재활용하기 위해서는 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된

물질들을 재활용하기 용이하게 전환 및 분해시키는 바람직하므로, 이를 위하여 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물 분해 가능한 물 분해 유닛(50)이 마련되는 것이다.

[0122] 물 분해 유닛(50)은, 드로스 미립자 파우더(P₂)가 물과 물 분해 반응되어 가용성 고형분(S), 불용성 고형분(I) 및 가수분해 가스(G)로 분해되도록 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물과 교반하는 반응기(52)와, 가수분해 가스(G)를 포집하는 가스 포집기(54)와, 수용액(Q)과 불용성 고형분(I)을 원심 분리하는 제1 원심 분리기(56)를 포함할 수 있다.

[0123] 반응기(52)는, 드로스 미립자 파우더(P₂)와 물을 교반하여, 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물 분해하기 위한 장치이다.

[0124] 반응기(52)는 기체, 액체, 고체 상의 물질들을 교반 가능한 일반적인 반응기로 구성될 수 있다. 이러한 반응기(52)는, 미리 정해진 혼합 비율로 혼합된 드로스 미립자 파우더(P₂)와 물을 교반하여, 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물 분해한다. 드로스 미립자 파우더(P₂)와 물의 혼합 비율은, 1 : 2 인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0125] 이하에서는, 드로스 미립자 파우더(P₂)를 물과 교반할 경우에 발생하는 물리 화학적인 현상을 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 물질들의 성질 별로 나누어 설명한다.

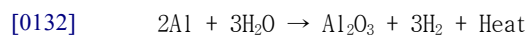
[0126] 먼저, 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 물질들 중 물에 용해되는 가용성을 갖는 가용성 고형분(S)은 물에 용해되며, 이로 인해 가용성 고형분(S)을 용질로서 포함하고 또한 물을 용매로서 포함하는 수용액(Q)이 생성된다. 이러한 가용성 고형분(S)은, 염화나트륨(NaCl)과, 염화칼륨(KCl) 등 플럭스(F)에 함유된 염화물염들을 주로 포함한다. 드로스 미립자 파우더(P₂)와 물의 혼합 비율이 1 : 2인 경우에, 수용액(Q) 중 염화물염의 농도는 약 20 %가 된다.

[0127] 다음으로, 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 물질들 중 물에 용해되지 않는 불용성을 갖는 불용성 고형분(I)은 수용액(Q)에 분산 또는 침전된다. 불용성 고형분(I)은, 알루미늄, 알루미늄-마그네슘 합금, 마그네슘, 산화 알루미늄(Al₂O₃), 산화 마그네슘(MgO) 및 스피넬 산화물(MgAl₂O₄)를 주로 포함한다.

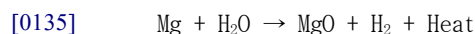
[0128] 다음으로, 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 물질들 중 물과 가수분해 반응되는 성질을 갖는 가수분해 반응물은 물에 의해 가수분해된다. 이러한 가수분해 반응에 의해 물 분해 고형분과 가수분해 가스(G)가 생성되고, 이에 수반하여 반응열이 발생한다. 가수분해 반응물은, 알루미늄(Al)과, 마그네슘(Mg)과, 알루미늄 카바이드(Al₄C₃) 등 구형 블랙 드로스(B₂)에 포함된 금속과 금속 화합물들을 주로 포함한다. 여기서, 알루미늄 카바이드(Al₄C₃)는, 알루미늄 폐캔의 최초 물질은 아니며, 알루미늄 폐캔을 가공하여 알루미늄 폐캔 스크랩을 제조하는 과정에서 생성된 부산물이다.

[0129] 이러한 가수분해 반응물과 물의 가수분해 반응을 살펴보면, 반응식 1 내지 반응식 3과 같이, 알루미늄과 물이 가수분해 반응됨에 따라 산화 알루미늄과 수소가 생성되고, 마그네슘과 물이 가수분해 반응됨에 따라 산화 마그네슘과 수소가 생성되고, 알루미늄 카바이드와 물이 가수분해 반응됨에 따라 산화 알루미늄과 메탄이 생성된다. 특히, 알루미늄, 알루미늄 합금이 물과 접촉되면 가수분해 반응이 격렬하게 일어나 물의 온도는 약 90 °C 이상으로 상승되므로, 전술한 가수분해 반응은 이러한 온도 상승에 의해 더욱 촉진될 수 있다.

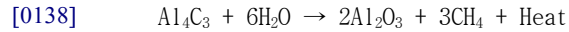
[0131] <반응식 1>



[0134] <반응식 2>



[0137] <반응식 3>



[0140] 전술한 가수분해 반응에 의해 생성된 물 분해 고형분은, 산화 알루미늄, 산화 마그네슘, 산화 알루미늄 합금, 탄소 성분 등 불용성 고형분을 주로 포함하므로, 수용액(Q)에 분산 또는 침전된다. 따라서, 수용액(Q)에는, 구형 블랙 드로스(B₂)에 이미 포함되어 있던 불용성 고형분(I)과, 물 분해 반응에 의해 생성된 불용성 고형분(I) 각각 분산 또는 침전된다. 설명의 편의를 위해 이하에서는, 구형 블랙 드로스(B₂)에 이미 포함되어 있던 불용성 고형분(I)과, 물 분해 반응에 의해 생성된 불용성 고형분을 통칭하여 불용성 고형분(I)이라고 명명하기로 한다.

[0141] 한편, 전술한 알루미늄, 마그네슘, 알루미늄 카바이드 이외에도 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 미량의 가수분해 반응물들이 가수분해 반응됨으로써, 다양한 가수분해 가스(G)가 생성된다. 이러한 가수분해 가스(G)의 조성 비율은 아래의 표 3과 같다.

표 3

[0143]

구분	가스 성분(%)						
	수소	메탄	에탄	에텐	프로판	프로펜	황화수소
초기 포집 (다량)	48.14	51.55	0.020	0.009	0.009	0.012	0.0047
말기 포집 (소량)	92.13	7.58	0.003	0.001	0.001	0.001	0.0020

[0145] 표 3에 기재된 바와 같이, 가수분해 가스(G)는, 주로 메탄 가스(CH₄)와 수소 가스(H₂)를 포함한다. 이러한 메탄 가스와 수소 가스는 가수분해 가스(G)의 발생량의 약 99%를 차지한다. 물 분해 공정 초기에는, 알루미늄, 알루미늄 합금, 알루미늄 카바이드의 물 분해 반응이 주로 진행되어 수소 가스와 메탄 가스가 주로 발생한다. 물 분해 공정의 시작 후 소정의 시간이 경과된 물 분해 공정 말기에는, 알루미늄, 알루미늄 합금의 물 분해 반응이 주로 진행되어 수소 가스가 주로 발생한다. 이러한 가수분해 가스(G)의 성분 분석은, ASTM D1945-03의 GC(Gas Chromatography) 분석 방법을 이용해 실시하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0146] 한편, 가수분해 가스(G)의 발생량 측정 방법은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 다음과 같은 방법을 통해 가수분해 가스(G)의 발생량을 측정할 수 있다. 먼저, 지름 2cm 내지 5cm의 구형 블랙 드로스(B₂)를 파쇄 및 분쇄한다. 다음으로, 구형 블랙 드로스(B₂)의 파분쇄물 중 0.5cm(500μm) 통과분을 반응 시료로서 획득한다. 이후에, 반응 시료 100g과 증류수 1L를 2L 용량을 갖는 밀폐된 유리 재질 플라스크에 투입한다. 다음으로, 유리 재질 플라스크에 설치된 반응기를 이용해 반응 시료와 증류수를 100rpm 내지 200 rpm으로 교반하여, 반응 시료를 물 분해한다. 이후에, 반응 시료의 물 분해에 의해 발생된 가수분해 가스(G)를 눈금이 새겨진 실린더를 이용해 증류수로부터 수상 치환하여 포집한다. 이러한 시험 과정을 통해 100g의 반응 시료를 물 분해하면 8L 내지 12L의 가수분해 가스(G)를 포집할 수 있다.

[0147] 가스 포집기(54)는, 반응기(52)에서 생성된 가수분해 가스(G)를 포집하기 위한 장치이다.

[0148] 가스 포집기(54)의 구조는 특별히 한정되지 않으며, 가스 포집기(54)는 가스를 수용액으로부터 포집 가능한 일반적인 가스 포집기로 구성될 수 있다. 가스 포집기(54)는, 반응기(52)에 수용된 수용액(Q)으로부터 가수분해 가스(G)를 포집하여 가스 저장 유닛(100)으로 전달한다.

[0149] 도 7에 도시된 바와 같이, 가스 포집기(54)는, 가수분해 가스(G)에 포함된 가스들 중 실제로 재활용 가능한 가스의 순도를 높이거나 재활용 목적에 맞는 특정 가스를 다른 가스들로부터 분리할 수 있도록, 가수분해 가스(G)에 포함된 가스들을 분리 및 정제 가능한 가스 분리 정제기(54a)를 구비할 수 있다. 이러한 가스 분리 정제기(54a)의 분리 정제 방법은 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 가스 분리 정제기(54a)는, 가수분해 가스

(G)에 포함된 가스들을 압력순환흡착(Pressure swing adsorption) 방법을 통해 분리 정제할 수 있다. 또한, 가스 분리 정제기(54a)는, 가수분해 가스(G)로부터 분리 정제된 메탄 가스를 수증기 메탄 개질(Steam Methane Reforming)을 통해 개질하여 수소 가스로 전환할 수 있다.

- [0150] 한편, 가수분해 가스(G)는, 격렬한 가수분해 반응에 의해 발생되므로, 미량의 수분을 포함할 수 있다. 이를 해결하기 위하여, 가스 포집기(54)는, 수분 트랩기(54b), 수분 제거기(미도시) 및 탈황기(미도시) 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 이러한 수분 트랩기(54b), 수분 제거기 및 탈황기는, 가스 분리 정제기(54a)의 상류에 설치되는 것이 바람직하나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0151] 제1 원심 분리기(56)는 수용액(Q)과 불용성 고형분(I)을 원심 분리하기 위한 장치이다.
- [0152] 제1 원심 분리기(56)는 B.S.P 원심 분리기로 구성되는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다. 제1 원심 분리기(56)는, 수용액(Q)과 불용성 고형분(I)을 분리 가능하도록 미리 정해진 제3 기준 입도를 갖는 제1 필터를 포함할 수 있다. 제1 필터는 부직포 필터이고, 제3 기준 입도는 7 μ m 내지 15 μ m인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0153] 이러한 제1 원심 분리기(56)는, 수용액(Q)과 불용성 고형분(I)을 제1 필터를 이용해 원심 분리한 후, 수용액(Q)은 석출 유닛(60)으로 전달하고 불용성 고형분(I)은 불용성 고형분 저장 유닛(90)으로 전달한다.
- [0154] 한편, 불용성 고형분(I)과 수용액(Q)은 제1 원심 분리기(56)에 의해 분리되지만, 수용액(Q) 중 일부는 분리되지 못하고 불용성 고형분(I)의 표면에 흡착될 수 있다. 그런데, 수용액(Q)은 가용성 고형분(S)을 포함하므로, 불용성 고형분(I)을 재활용하여 제조한 제조물이 가용성 고형분(S)에 포함된 염화물들에 의해 부식될 우려가 있다. 또한, 불용성 고형분(I)을 건조 또는 소성할 때 가용성 고형분(S)에 포함된 염화물들로부터 산화 나트륨(Na₂O), 산화 칼륨(K₂O)이 발생하므로, 이러한 산화 나트륨과 산화 칼륨에 의해 불용성 고형분(I)을 재활용하여 제조한 제조물의 내구성이 떨어질 우려가 있다.
- [0155] 이를 방지하기 위하여, 제1 원심 분리기(56)는 불용성 고형분(I)의 염소 농도가 미리 정해진 기준 염소 농도 이하가 되도록 증류수를 이용해 수용액(Q)이 흡착된 불용성 고형분(I)을 세척한 후 불용성 고형분(I)과 불용성 고형분(I)의 세척에 사용된 증류수를 원심 분리할 수 있다. 이러한 증류수를 이용한 불용성 고형분(I)의 세척 공정은, 불용성 고형분(I)의 염소 농도가 기준 염소 농도 이하에 될까지 반복적으로 수행될 수 있다. 이러한 기준 염소 농도는 300 ppm 인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다. 여기서, 제1 원심 분리기(56)는, 후술할 석출 유닛(60)의 응축수 저장 탱크(660)로부터 전달된 응축수(D)를 증류수로서 이용하여 불용성 고형분(I)을 세척하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0156] 도 9는 도 7의 석출 유닛의 구성을 개략적으로 나타내는 개략도이고, 도 10은 염화물염 수용액의 용해도 그래프이다.
- [0157] 다음으로 석출 유닛(60)은 가용성 고형분(S)이 수용액(Q)으로부터 석출되도록 수용액(Q)을 농축시키기 위한 장치이다.
- [0158] 도 9에 도시된 바와 같이, 석출 유닛(60)은, 물 분해 유닛(50)의 제1 원심 분리기(56)로부터 전달된 수용액(Q)을 펌핑하여 공급하는 원수 공급 펌프(610)와, 원수 공급 펌프(610)로부터 공급된 수용액(Q)이 농축되도록 수용액(Q)에 포함된 물을 증발시켜 가용성 고형분(S)을 수용액(Q)으로부터 각각 석출시키되, 서로 상이한 환경 조건 하에서 수용액에 포함된 물의 증발을 각각 유도하여, 서로 상이한 석출 순서 및 석출 시기에 따라 염화나트륨(NaCl)과 염화칼륨(KCl)을 석출시키는 복수의 증발 모듈들(620, 630, 640)과, 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 적어도 하나에서 발생하는 증기를 응축하는 응축기(650)와, 증발 모듈들(620, 630, 640) 또는 응축기(650)에서 발생한 응축수(D)가 저장되는 응축수 저장 탱크(660)와, 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 적어도 하나에 진공압을 선택적으로 인가하는 압력 조절 부재(670)와, 가용성 고형분(S)이 석출된 가용성 고형분 석출물(S₁)이 저장되는 석출물 저장 탱크(680)와, 가용성 고형분 석출물(S₁)과 수용액(Q)을 원심 분리하는 제2 원심 분리기(690) 등을 구비할 수 있다.
- [0159] 석출 유닛(60)은, 가용성 고형분(S)에 포함된 염화물염들을 서로 상이한 석출 순서 및 석출 시기에 따라 석출시킬 수 있도록 각각 마련되는 복수의 증발 모듈들(620, 630, 640)을 구비한다. 증발 모듈의 설치 개수는 특별히 한정되지 않는다. 설명의 편의를 위해 이하에서는, 가용성 고형분(S)에 포함된 염화물염들을 서로 상이한 3가지 방식의 석출 순서 및 석출 시기에 따라 각각 석출시킬 수 있도록, 제1 내지 제3 증발 모듈들(620, 630, 640) 등 총 3개의 증발 모듈이 설치되는 경우를 예로 들어 석출 유닛(60)에 대해 설명하기로 한다.

- [0160] 원수 공급 펌프(610)는, 제1 원심 분리기(56)로부터 불용성 고형분(I)과 분리된 상태로 전달된 수용액(Q)을 펌핑하여, 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 적어도 하나의 증발 모듈들(620, 630, 640)에 공급하도록 마련된다. 예를 들어, 도 9에 도시된 바와 같이, 원수 공급 펌프(610)는 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 후술할 에너지 전달 단계의 마지막 단계에 위치한 제3 증발 모듈(640)에 공급하도록 마련될 수 있다. 이를 위하여, 원수 공급 펌프(610)의 흡입부는 유로(611a)를 통해 제1 원심 분리기(56)와 연결될 수 있고, 원수 공급 펌프(610)의 토출부는 유로(644a)를 통해 제1 증발 모듈(620)과 연결될 수 있다.
- [0161] 한편, 도 9에 도시된 바와 같이, 원수 공급 펌프(610)에 의해 제3 증발 모듈(640)에 공급된 수용액(Q)의 일부는 제3 증발 모듈(640)과 연결된 제2 증발 모듈(630)로 전달될 수 있고, 제2 증발 모듈(630)에 전달된 수용액(Q)의 일부는 제2 증발 모듈(630)과 연결된 제1 증발 모듈(620)에 전달될 수 있다. 즉, 증발 모듈들(620, 630, 640)은 에너지 전달 방향의 반대 방향을 따라 수용액(Q)을 전달받을 수 있도록 상호 연결되는 것이다. 이 경우에, 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각에는, 수용액(Q)의 가열을 통한 가용성 고형분(S)의 석출 작업이 시작되기 이전에 미리 정해진 수위까지 수용액(Q)이 공급되는 것이 바람직하나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0162] 이러한 증발 모듈들(620, 630, 640)은 각각, 원수 공급 펌프(610)와 직접 연결되도록 마련될 수도 있다. 이 경우에, 원수 공급 펌프(610)로부터 공급된 수용액은 다른 증발 모듈(620, 630, 640)을 경유하지 않고 각각의 증발 모듈(620, 630, 640)에 직접적으로 충전될 수 있다. 설명의 편의를 위해, 원수 공급 펌프(610)로부터 공급된 수용액(Q)이 에너지 전달 방향과는 반대 방향으로 증발 모듈들(620, 630, 640)에 순차적으로 전달되도록 증발 모듈들(620, 630, 640)이 상호 연결되는 경우를 기준으로 석출 유닛(60)에 대해 설명하기로 한다.
- [0163] 증발 모듈들(620, 630, 640)은, 미리 정해진 에너지 전달 단계의 각각의 단계마다 하나씩 단계적으로 배치된다. 예를 들어, 에너지 전달 단계가 총 3 단계로 구성되는 경우에, 제1 단계에는 제1 증발 모듈(620)이 배치될 수 있고, 제2 단계에는 제2 증발 모듈(630)이 배치될 수 있고, 제3 단계에는 제3 증발 모듈(640)이 배치될 수 있다.

표 4

[0165]

수용액 온도	수용액(Q)에서의 용해도(%)		단일 염화물염 수용액에서의 용해도(%)	
	NaCl	KCl	NaCl	KCl
100℃	28	35	38	57
75℃	29	28	38	50
50℃	30	22	35	42

- [0167] 도 10 및 표 4를 참조하면, 가용성 고형분(S)이 용해된 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도 및 염화칼륨의 용해도는 각각, 염화나트륨만 용해된 단일 염화물염 수용액에서의 염화나트륨의 용해도 및 염화칼륨만 용해된 단일 염화물염 수용액에서의 염화칼륨의 용해도에 비해 상대적으로 낮다. 이러한 용해도 변화는, 염화나트륨과 염화칼륨이 공통적으로 포함하는 염소 이온(Cl⁻)에 의해 야기되는 공통 이온 효과로 인해, 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도와 염화칼륨의 용해도가 각각 전술한 단일 염화물염 용액들에 비해 감소됨에 기인한 것이다.
- [0168] 또한, 도 10 및 표 4를 참조하면, 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도는 수용액(Q)의 온도가 낮아질수록 점진적으로 증가하고, 수용액(Q)에서의 염화칼륨의 용해도는 수용액(Q)의 온도가 높아질수록 점진적으로 증가한다. 따라서, 수용액(Q)의 온도가 높아질수록 염화나트륨이 염화칼륨에 비해 우선적으로 석출되고, 수용액(Q)의 온도가 낮아질수록 염화칼륨이 염화나트륨에 비해 우선적으로 석출된다.
- [0169] 일반적으로 염화물염의 석출 공정은, 단일의 증발 모듈에서, 외부의 증기 공급원으로부터 공급된 약 100 ℃ 이상인 고온의 증기(이하, '원증기'라고 함)를 수용액을 가열하기 위한 열원으로 이용해 수용액을 농축시킴으로써 진행한다. 이처럼 단일의 증발 모듈에서, 원증기를 열원으로 이용해 약 100 ℃ 에 이상의 고온으로 가열된 수용액을 대상으로 가용성 고형분의 석출 공정을 진행하면, 염화나트륨이 우선적으로 석출된 후 염화칼륨이 후속적으로 석출된다. 이로 인해, 수용액에 포함된 물의 상당량이 증발되어 수용액에서의 염화물염의 농도가 고농도까지 상승된 후에야 비로서 염화칼륨이 석출되기 시작된다. 그러면, 수용액과 혼합되어 점성이 강한 슬러리

상태인 염화나트륨 석출물은, 증발 모듈의 내면에 강하게 달라붙어 유착되거나, 염화칼륨의 석출을 방해하게 된다. 따라서, 종래의 단일 증발 모듈을 이용한 염화물염 석출 공정에 의하면, 염화나트륨에 비해 고부가가치를 갖는 염화칼륨을 석출을 통해 원활하게 회수하기 어렵다는 문제점이 있다.

- [0170] 그런데, 석출 유닛(60)은 서로 상이한 환경 조건을 갖는 복수의 증발 모듈들(620, 630, 640)을 구비한다. 여기서, 환경 조건이라, 수용액(Q)의 증발 온도, 증발 모듈들(620, 630, 640)의 내부 압력, 수용액(Q)에서의 염화물 염들 각각의 용해도 등, 가용성 고형분(S)의 석출 양상 조절에 관련된 조건을 말한다.
- [0171] 이러한 석출 유닛(60)에 의하면, 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각의 환경 조건의 조절을 통해, 석출 순서, 석출 시기, 기타 염화나트륨과 염화칼륨의 석출 양상을 각각의 증발 모듈(620, 630, 640)마다 개별적으로 정해할 수 있다.
- [0172] 예를 들어, 증발 모듈들(620, 630, 640) 어느 하나는 염화나트륨이 염화칼륨에 비해 상당히 이른 시점부터 우선적으로 석출되도록 당해 증발 모듈(620, 630, 640)의 환경 조건을 정할 수 있다.
- [0173] 예를 들어, 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 다른 하나는 염화나트륨과 염화칼륨이 거의 동일한 시점부터 함께 석출되도록 당해 증발 모듈(620, 630, 640)의 환경 조건을 정할 수 있다.
- [0174] 예를 들어, 증발 모듈들(620, 630, 640) 또 다른 하나는 염화칼륨이 염화나트륨에 비해 상당히 이른 시점부터 우선적으로 석출되도록 당해 증발 모듈(620, 630, 640)의 환경 조건을 정할 수 있다.
- [0175] 이러한 석출 유닛(60)은, 염화칼륨의 우선적인 석출 공정을 통해 고부가가치를 갖는 염화칼륨을 원활하게 회수할 수 있으므로, 수용액(Q)으로부터 회수되지 못한 채 폐기되는 염화칼륨의 양을 최소화시킬 수 있고, 석출 공정에 소요되는 시간을 줄일 수 있다.
- [0176] 한편, 원증기(E)를 이용해 수용액(Q)을 가열할 때 수용액(Q)에 포함된 물이 증발되어 발생하는 증기(이하, '발생 증기'라고 함)를 대기 중으로 그대로 방출하면, 발생 증기가 갖는 폐열에 상당한 열 손실로 인해 석출 공정의 에너지 효율이 감소하게 된다. 이를 해결하기 위해, 증발 모듈들(620, 630, 640)은, 미리 정해진 에너지 전달 단계의 특정 단계에 위치한 증발 모듈(620, 630, 640)에서 발생한 발생 증기(E_1 , E_2 , E_3)를 상기 특정 단계에 비해 미리 정해진 에너지 전달 단계의 후단계에 위치한 증발 모듈(620, 630, 640)에서 수용액(Q)을 가열하기 위한 열원으로 이용할 수 있도록 마련되는 것이 바람직하다.
- [0177] 예를 들어, 수용액(Q)이 가장 고온을 갖는 분위기 하에서 석출 공정이 진행되는 제1 증발 모듈(620)은 원증기(E)를 열원으로 이용 가능하게 마련될 수 있다. 예를 들어, 제1 증발 모듈(620)에 비해 낮은 온도 분위기 하에서 석출 공정이 진행되는 제2 증발 모듈(630)은 제1 증발 모듈(620)에서 발생한 발생 증기(E_1)를 열원으로 이용 가능하게 마련될 수 있다. 예를 들어, 제2 증발 모듈(630)에 비해 낮은 온도 분위기 하에서 석출 공정이 진행되는 제3 증발 모듈(640)은 제2 증발 모듈(630)에서 발생한 발생 증기(E_2)를 열원으로 이용 가능하게 마련될 수 있다. 이를 통해, 석출 유닛(60)은, 회수되지 못한 채 외부로 방사되는 발생 증기(E_1 , E_2)의 폐열을 최소화 가능하므로, 석출 공정의 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0178] 이하에서는, 전술한 수용액(Q) 및 에너지의 전달 방식에 따라 가용성 고형분(S)의 석출 공정을 진행 가능하게 증발 모듈들(620, 630, 640)이 마련되는 경우를 기준으로 각각의 증발 모듈의 구조에 대해 설명하기로 한다.
- [0179] 증발 모듈들(620, 630, 640)의 구조는 특별히 한정되지 않는다.
- [0180] 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각은, 미리 정해진 기준 온도로 수용액(Q)을 가열한 후, 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 기준 온도가 되도록 조절된 압력 분위기 하에서 물의 증발을 유도하여, 가용성 고형분(S)을 석출시킬 수 있도록 마련된다. 여기서, 기준 온도는, 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 당해 증발 모듈을 이용해 구현하고자 하는 염화나트륨과 염화칼륨의 석출 순서 및 석출 시기에 따라 증발 모듈들(620, 630, 640)마다 개별적으로 정해질 수 있다.
- [0181] 예를 들어, 제1 증발 모듈(620)은, 수용액(Q)을 미리 정해진 제1 기준 온도로 가열하는 제1 리보일러(621)와, 미리 정해진 제1 기준 온도로 가열된 수용액(Q)을 제1 리보일러(621)로부터 전달받으며, 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 미리 정해진 제1 기준 온도가 되도록 조절된 내부 압력 하에서 물의 증발을 유도하여, 가용성 고형분(S)을 석출시키는 제1 증발기(622)와, 수용액(Q)을 미리 정해진 순서를 따라 제1 리보일러(621)와 제1 증발기(622)에 순환시키는 제1 순환 펌프(623) 등을 가질 수 있다.

- [0182] 제1 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 염화칼륨의 용해도에 비해 미리 정해진 제1 기준 값 이상만큼 낮은 환경 조건 하에서 물의 증발을 유도하여, 염화나트륨을 염화칼륨에 비해 우선적으로 석출시킬 수 있도록 정해지는 것이 바람직하다. 제1 기준 값은, 특별히 한정되지 않으며, 염화나트륨의 석출 시작 시점으로부터 상당한 시간이 경과된 후에야 염화칼륨의 석출이 비로서 시작될 수 있을 정도의 용해도 특성을 갖는 수용액(Q)의 온도가 제1 증발기(622)에서의 물의 증발 온도가 되도록 설정되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 제1 리보일러(621)에서의 제1 기준 온도는, 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 약 28 % 이고 염화칼륨의 용해도가 약 35 % 인 100 °C 내지 110 °C 일 수 있다.
- [0183] 예를 들어, 제2 증발 모듈(630)은, 수용액(Q)을 미리 정해진 제2 기준 온도로 가열하는 제2 리보일러(631)와, 미리 정해진 제2 기준 온도로 가열된 수용액(Q)을 제2 리보일러(631)로부터 전달받으며, 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 미리 정해진 제2 기준 온도가 되도록 조절된 내부 압력 하에서 물의 증발을 유도하여, 가용성 고형분(S)을 석출시키는 제2 증발기(632)와, 수용액(Q)을 미리 정해진 순서를 따라 제2 리보일러(631)와 제2 증발기(632)에 순환시키는 제2 순환 펌프(633) 등을 가질 수 있다.
- [0184] 제2 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도와 염화칼륨의 용해도의 차이가 미리 정해진 제2 기준 값 이하인 환경 조건 하에서 물의 증발을 유도하여, 염화나트륨과 염화칼륨을 함께 석출시킬 수 있도록 정해지는 것이 바람직하다. 제2 기준 값은, 특별히 한정되지 않으며, 염화나트륨의 석출 시작 시점과 염화칼륨의 석출 시작 시점의 차이가 작아 염화나트륨과 염화칼륨이 주로 함께 석출될 수 있는 용해도 특성을 갖는 수용액(Q)의 온도가 제2 증발기(632)에서의 물의 증발 온도가 되도록 설정되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 제2 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 약 29 %이고 염화칼륨의 용해도가 약 28% 인 약 70 °C 내지 80 °C 일 수 있다.
- [0185] 예를 들어, 제3 증발 모듈(640)은, 수용액(Q)을 미리 정해진 제3 기준 온도로 가열하는 제3 리보일러(641)와, 미리 정해진 제3 기준 온도로 가열된 수용액(Q)을 제3 리보일러(641)로부터 전달받으며, 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 미리 정해진 제3 기준 온도가 되도록 조절된 내부 압력 하에서 물의 증발을 유도하여, 가용성 고형분(S)을 석출시키는 제3 증발기(642)와, 수용액(Q)을 미리 정해진 순서를 따라 제3 리보일러(641) 및 제3 증발기(642)에 순환시키는 제1 순환 펌프(643) 등을 가질 수 있다.
- [0186] 제3 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화칼륨의 용해도가 염화나트륨의 용해도에 비해 미리 정해진 제3 기준 값 이상만큼 낮은 환경 조건 하에서 물의 증발을 유도하여, 염화칼륨을 염화나트륨에 비해 우선적으로 석출시킬 수 있도록 정해지는 것이 바람직하다. 제3 기준 값은, 특별히 한정되지 않으며, 염화칼륨의 석출 시작 시점으로부터 상당한 시간이 경과된 후에야 염화나트륨의 석출이 비로서 시작될 수 있을 정도의 용해도 특성을 갖는 수용액(Q)의 온도가 제3 증발기(642)에서의 물의 증발 온도가 되도록 설정되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 제3 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 약 30% 이고 염화칼륨의 용해도가 약 22 %인 약 50 °C 내지 60 °C 일 수 있다.
- [0187] 이하에서는, 수용액(Q)의 농축과, 가용성 고형분(S)의 석출에 대한 내용을 중심으로 제1 증발 모듈(620)에 대해 설명하기로 한다.
- [0188] 제1 증발 모듈(620)은, 미리 정해진 에너지 전달 단계의 제1 단계에 위치하여, 수용액(Q)과 고온의 원증기(E)를 이용해 가용성 고형분(S)의 석출 공정을 진행하는 증발 모듈이다.
- [0189] 제1 리보일러(621)는 수용액(Q)과 원증기(E)를 열교환하여 수용액(Q)을 제1 기준 온도로 가열 가능한 쉘 앤 튜브 구조를 가질 수 있다. 이를 위하여, 제1 리보일러(621)의 중심부에는 수용액(Q)이 통과되는 수용액 덕트(미도시)가 형성될 수 있고, 제1 리보일러(621)의 중심부를 둘러싸는 외주부에는 원증기(E)가 통과되는 증기 덕트(미도시)가 형성될 수 있다. 도 9에 도시된 바와 같이, 이러한 제1 리보일러(621)는, 수용액(Q)이 유입되는 제1 유입구(621a)와, 수용액(Q)이 배출되는 제1 배출구(621b)와, 외부의 증기 공급원으로부터 공급된 원증기(E)가 유입되는 제2 유입구(621c)와, 원증기(E)가 응축되어 생성된 응축수(D)가 배출되는 제2 배출구(621d)와, 제2 배출구(621d)에서 배출된 응축수(D)가 포집되는 제1 응축수 트랩(621e) 등을 가질 수 있다.
- [0190] 제1 증발기(622)는 제1 리보일러(621)로부터 전달된 수용액(Q)에 포함된 물의 증발을 유도하는 공간이 내부에 형성되는 중공 구조를 가질 수 있다. 도 9에 도시된 바와 같이, 이러한 제1 증발기(622)는, 수용액(Q)이 각각 유입되는 제1 및 제2 유입구(622a, 622b)와, 수용액(Q)이 배출되는 제1 배출구(622c)와, 물이 증발되어 발생된 발생 증기(E₁)가 배출되는 제2 배출구(622d)와, 수용액(Q)으로부터 석출된 가용성 고형분(S)의 석출물(S₁)(이하,

'가용성 고형분 석출물(S_1)'이라고 함)이 배출되는 제3 배출구(622e) 등을 가질 수 있다.

- [0191] 제1 증발기(622)의 제1 유입구(622a)에는 제2 순환 펌프(633)의 토출부로부터 토출된 수용액(Q)이 유로(624a)를 통해 공급된다. 즉, 제1 증발기(622)에는 제2 증발기(632)를 경유한 수용액(Q)이 제2 순환 펌프(633)를 통해 공급되는 것이다.
- [0192] 제1 순환 펌프(623)의 흡입부에는 제1 증발기(622)의 제1 배출구(622c)로부터 배출된 수용액(Q)이 유로(624b)를 통해 공급되고, 제1 리보일러(621)의 제1 유입구(621a)에는 제1 순환 펌프(623)의 토출부로부터 토출된 수용액(Q)이 유로(624c)를 통해 공급된다. 또한, 제1 리보일러(621)의 제2 유입구(621c)에는 원증기(E)가 유로(624d)를 통해 공급된다. 그러면, 제1 리보일러(621)에 공급된 수용액(Q)은 원증기(E)에 의해 가열되고, 제1 리보일러(621)에 공급된 원증기(E)는 수용액(Q)에 의해 냉각 및 응축되어 응축수(D)로 상변화된다.
- [0193] 제1 증발기(622)의 제2 유입구(622b)에는 원증기(E)에 의해 가열된 상태로 제1 리보일러(621)의 제1 배출구(621b)로부터 배출된 수용액(Q)이 유로(624e)를 통해 공급된다. 또한, 제1 리보일러(621)의 제1 응축수 트랩(621e)에는 제1 리보일러(621)의 제2 배출구(621d)로부터 배출된 응축수(D)가 유로(624f)를 통해 전달되어 포집된다.
- [0194] 수용액(Q)이 제1 순환 펌프(623)에 의해 제1 리보일러(621)와 제1 증발기(622) 사이에서 반복적으로 순환하게 되면, 원증기(E)에 의해 수용액(Q)이 가열됨에 따라 수용액(Q)의 온도가 제1 기준 온도까지 상승하게 된다. 그런데, 제1 기준 온도가 약 100 °C 내지 110 °C 인 경우에, 제1 증발기(622)에 공급된 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 약 100 °C 내지 110 °C 가 되기 위해서는 제1 증발기(622)의 내부 압력이 약 +20 kPa 정도로 유지되는 것이 바람직하다. 이러한 약 +20 kPa 의 정도의 내부 압력은 제1 증발기(622)에서 발생하는 발생 증기(E_1)의 증기압을 이용해 달성 가능하므로, 제1 증발기(622)에는 내부 압력을 조절하기 위한 별도의 압력 조절 부재의 설치가 필수적으로 요구되지 않는다.
- [0195] 이러한 제1 증발기(622)에 공급된 수용액(Q)에 포함된 물은 약 100 °C 내지 110 °C 및 약 +20 kPa 의 분위기 하에서 증발될 수 있다. 그러면, 수용액(Q)은 물의 증발에 의해 농축될 수 있고, 가용성 고형분(S)에 포함된 염화물염들 중 염화나트륨이 우선적으로 석출될 수 있다. 따라서, 제1 증발기(622)에서는, 석출 공정의 초기에는 염화나트륨이 주로 석출되다가 석출 공정의 말기로 갈수록 염화칼륨의 석출량이 증가하게 된다. 이러한 제1 증발기(622)의 제3 배출구(622e)로부터 배출된 가용성 고형분 석출물(S_1)은 유로(624g)를 통해 석출물 저장 탱크(680)에 저장될 수 있다.
- [0196] 이하에서는, 수용액(Q)의 농축과, 가용성 고형분(S)의 석출에 대한 내용을 중심으로 제2 증발 모듈(630)에 대해 설명하기로 한다.
- [0197] 제2 증발 모듈(630)은, 미리 정해진 에너지 전달 단계의 제2 단계에 위치하여, 수용액(Q)과 발생 증기(E_1)를 이용해 가용성 고형분(S)의 석출 공정을 진행한다는 점을 제외하고는, 전술한 제1 증발 모듈(620)과 유사한 구조를 갖는다.
- [0198] 제2 증발기(632)의 제1 유입구(632a)에는 제3 순환 펌프(643)의 토출부로부터 토출된 수용액(Q)이 유로(634a)를 통해 공급된다. 즉, 제2 증발기(632)에는 제3 증발기(642)를 경유한 수용액(Q)이 제3 순환 펌프(643)를 통해 공급되는 것이다.
- [0199] 제2 순환 펌프(633)의 흡입부에는 제2 증발기(632)의 제1 배출구(632c)로부터 배출된 수용액(Q)이 유로(634b)를 통해 공급되고, 제2 리보일러(631)의 제1 유입구(631a)에는 제2 순환 펌프(633)의 토출부로부터 토출된 수용액(Q)이 유로(634c)를 통해 공급된다. 또한, 제2 리보일러(631)의 제2 유입구(631c)에는 제1 증발기(622)에서 발생한 발생 증기(E_1)가 유로(634d)를 통해 공급된다. 이처럼 제2 리보일러(631)에 공급된 수용액(Q)과 발생 증기(E_1)는 열교환된다. 그러면, 제2 리보일러(631)에 공급된 수용액(Q)은 발생 증기(E_1)에 의해 가열되고, 제2 리보일러(631)에 공급된 발생 증기(E_1)는 수용액(Q)에 의해 냉각 및 응축되어 응축수(D)로 상변화된다.
- [0200] 제2 증발기(632)의 제2 유입구(632b)에는 발생 증기(E_1)에 의해 가열된 상태로 제2 리보일러(631)의 제1 배출구(631b)로부터 배출된 수용액(Q)이 유로(634e)를 통해 공급된다. 또한, 제2 리보일러(631)의 제2 응축수 트랩(631e)에는 제2 리보일러(631)의 제2 배출구(631d)로부터 배출된 응축수(D)가 유로(634f)를 통해 전달되어 포집된다.

- [0201] 수용액(Q)이 제2 순환 펌프(633)에 의해 제2 리보일러(631)와 제2 증발기(632) 사이에서 반복적으로 순환하게 되면, 제1 증발기(622)로부터 공급된 발생 증기(E₁)에 의해 수용액(Q)이 가열됨에 따라 수용액(Q)의 온도가 제2 기준 온도까지 상승하게 된다. 그런데, 제2 기준 온도가 약 70 °C 내지 80 °C 인 경우에, 제2 증발기(632)에 공급된 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 약 70 °C 내지 80 °C 가 되기 위해서는 제2 증발기(632)의 내부 압력이 진공 상태인 약 -60 kPa 정도까지 감압되어야 한다.
- [0202] 이를 위하여, 제3 리보일러(641)의 제2 배출구(641d)와 연결된 유로(644f)는 제3 응축수 트랩(641e)의 전단에서 유로(644i)에 의해 응축기(650)와 연결되고, 유로(644i)에는 진공 조절 밸브(644j)가 설치된다. 그러면, 제2 증발기(632)에서 제3 리보일러(641)로 공급된 발생 증기(E₂) 중 증기 덕트에서 응축되지 않은 잔여 발생 증기(E₂)는 유로(644i)를 통해 응축기(650)에 전달될 수 있다. 그런데, 제2 증발기(632)는 제3 리보일러(641)와 유로(644d)에 의해 연결되므로, 제2 증발기(632)의 내부 압력과 제3 리보일러(641)의 증기 덕트의 내부 압력은 서로 연동될 수 있다. 따라서, 제2 증발기(632)의 내부 압력은, 압력 조절 부재(670)의 진공압 및 응축기(650)의 부압을 진공 조절 밸브(674)를 통해 선택적으로 전달받아 감압됨으로써, 진공 상태로 유지될 수 있다.
- [0203] 이러한 제2 증발기(632)에 공급된 수용액(Q)에 포함된 물은 약 70 °C 내지 80 °C 및 약 -60 kPa 의 분위기 하에서 감압 증발될 수 있다. 그러면, 수용액(Q)은 물의 감압 증발에 의해 농축될 수 있고, 가용성 고형분(S)에 포함된 염화나트륨과 염화칼륨이 거의 동일한 시점부터 함께 석출될 수 있다. 이러한 제2 증발기(632)의 제3 배출구(632e)로부터 배출된 가용성 고형분 석출물(S₁)은 유로(634g)를 통해 석출물 저장 탱크(680)에 저장될 수 있다.
- [0204] 이하에서는, 수용액(Q)의 농축과, 가용성 고형분(S)의 석출에 대한 내용을 중심으로 제3 증발 모듈(640)에 대해 설명하기로 한다.
- [0205] 제3 증발 모듈(640)은, 미리 정해진 에너지 전달 단계의 제3 단계에 위치하여 수용액(Q)과 발생 증기(E₂)를 이용해 가용성 고형분(S)의 석출 공정을 진행한다는 점을 제외하고는, 전술한 제1 증발 모듈(620)과 유사한 구조를 갖는다.
- [0206] 제3 증발기(642)의 제1 유입구(642a)에는 원수 공급 펌프(610)의 토출부로부터 토출된 수용액(Q)이 유로(644a)를 통해 공급된다. 즉, 제3 증발기(642)에는 수용액(Q)이 원수 공급 펌프(610)로부터 직접적으로 공급되는 것이다.
- [0207] 제3 순환 펌프(643)의 흡입부에는 제3 증발기(642)의 제1 배출구(642c)로부터 배출된 수용액(Q)이 유로(644b)를 통해 공급되고, 제3 리보일러(641)의 제1 유입구(621a)에는 제3 순환 펌프(643)의 토출부로부터 토출된 수용액(Q)이 유로(644c)를 통해 공급된다. 또한, 제3 리보일러(641)의 제2 유입구(641c)에는 제2 증발기(632)에서 발생한 발생 증기(E₂)가 유로(644d)를 통해 공급된다. 이처럼 제3 리보일러(641)에 공급된 수용액(Q)과 발생 증기(E₂)는 열교환된다. 그러면, 제3 리보일러(641)에 공급된 수용액(Q)은 발생 증기(E₂)에 의해 가열되고, 제3 리보일러(641)에 공급된 발생 증기(E₂)는 수용액(Q)에 의해 냉각 및 응축되어 응축수(D)로 상변화된다.
- [0208] 제3 증발기(642)의 제2 유입구(642b)에는 발생 증기(E₂)에 의해 가열된 상태로 제3 리보일러(641)의 제1 배출구(641b)로부터 배출된 수용액(Q)이 유로(644e)를 통해 공급된다. 또한, 제3 리보일러(641)의 제4 응축수 트랩(641e)에는 제3 리보일러(641)의 제2 배출구(641d)로부터 배출된 응축수(D)가 유로(644f)를 통해 전달되어 포집된다.
- [0209] 수용액(Q)이 제3 순환 펌프(643)에 의해 제3 리보일러(641)와 제3 증발기(642) 사이에서 반복적으로 순환하게 되면, 제2 증발기(632)로부터 공급된 발생 증기(E₂)에 의해 수용액(Q)이 가열됨에 따라 수용액(Q)의 온도가 제3 기준 온도까지 상승하게 된다. 그런데, 제3 기준 온도가 약 50 °C 내지 60 °C 인 경우에, 제3 증발기(642)에 공급된 수용액(Q)에 포함된 물의 증발 온도가 약 50 °C 내지 60 °C 가 되기 위해서는 제3 증발기(642)의 내부 압력이 진공 상태인 약 -80 kPa 정도까지 감압되어야 한다.
- [0210] 이를 위하여, 제3 증발기(642)의 제2 배출구(642d)는 유로(644h)를 통해 응축기(650)와 연결되고, 응축기(650)는 압력 조절 부재(670)와 연결된다. 이를 통해, 제3 증발기(642)의 내부 압력은, 압력 조절 부재(670)로부터 인가되는 진공압 및 응축기(650)에서 발생 증기(E₂, E₃)가 응축되어 형성된 부압에 의해 감압됨으로써, 진공 상태로 유지될 수 있다.

- [0211] 이러한 제3 증발기(642)에 공급된 수용액(Q)에 포함된 물은 약 50 °C 내지 60 °C 및 약 -80 kPa의 분위기 하에서 감압 증발될 수 있다. 그러면, 수용액(Q)은 감압 증발에 의해 농축될 수 있고, 가용성 고형분(S)에 포함된 염화물염들 중 염화칼륨이 수용액(Q)으로부터 우선적으로 석출될 수 있다. 따라서, 제3 증발기(642)에서는, 석출 공정의 초기에는 염화칼륨이 주로 석출되다가 석출 공정의 말기로 갈수록 염화나트륨의 석출량이 증가하게 된다. 이러한 제3 증발기(642)의 제3 배출구(642e)로부터 배출된 가용성 고형분 석출물(S₁)은 유로(644g)를 통해 석출물 저장 탱크(680)에 저장될 수 있다.
- [0212] 응축기(650)는 제3 증발기(642)로부터 전달된 발생 증기(E₃) 및 제3 리보일러(641)를 경유하여 제2 증발기(632)로부터 전달된 발생 증기(E₂)를 각각 냉각 및 응축시킬 수 있도록 마련된다. 발생 증기(E₂, E₃)를 냉각하기 위한 냉원은, 외부의 냉각수 공급원(미도시)으로부터 공급되는 냉각수인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다. 도 9에 도시된 바와 같이, 이러한 응축기(650)는, 유로들(644h, 644i)을 통해 제3 증발기(642) 및 제3 리보일러(641)와 각각 연결되는 유입구(651)와, 내부에서 생성된 응축수(D)가 배출되는 배출구(653)와, 배출구(653)에서 배출된 응축수(D)가 유로(659)를 통해 전달되어 포집되는 응축수 트랩(655)과, 압력 조절 부재(670)와 연결되는 벤트구(657) 등을 가질 수 있다.
- [0213] 응축수 저장 탱크(660)는, 유로들(624f, 634f, 644f, 659, 662)을 통해 응축수 트랩들(621e, 631e, 641e, 655)과 각각 연결되며, 응축수 트랩들(621e, 631e, 641e, 655)로부터 각각 전달된 응축수(D)가 저장된다. 이러한 응축수 저장 탱크(660)는, 응축수(D)를 유로(664)를 통해 제1 원심 분리기(56)에 불용성 고형분(I)을 세척하기 위한 증류수로서 공급하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0214] 압력 조절 부재(670)는, 제2 증발기(632) 및 제3 증발기(642) 각각에 진공압을 선택적으로 인가 가능하도록 마련된다. 예를 들어, 압력 조절 부재(670)는, 내부 압력이 진공 상태로 일정하게 유지되는 진공 탱크(672)와, 진공 탱크(672)의 진공압을 응축기(650)에 선택적으로 인가하는 진공 조절 밸브(674) 등을 가질 수 있다.
- [0215] 진공 탱크(672)는 진공 펌프(미도시)에 의해 내부 압력이 진공 상태로 일정하게 유지되도록 마련된다. 진공 탱크(672)의 내부 압력은 특별히 한정되는 않는다. 예를 들어, 진공 탱크(672)의 내부 압력은 진공 상태인 약 -95 kPa 으로 일정하게 유지될 수 있다. 이러한 진공 탱크(672)는 유로(676)를 통해 응축기(650)의 벤트구(658)와 연결될 수 있다.
- [0216] 진공 조절 밸브(674)는, 진공 탱크(672)의 진공압을 응축기(650)에 선택적으로 인가할 수 있도록 유로(676)에 설치된다. 그러면, 진공 탱크(672)의 진공압은, 진공 조절 밸브들(644j, 674), 응축기(650) 및 제3 리보일러(641)를 매개로 제2 증발기(632)에 선택적으로 인가될 수 있고, 진공 조절 밸브(674), 응축기(650)를 매개로 제3 증발기(642)에 선택적으로 인가될 수 있다. 이를 통해, 압력 조절 부재(670)는, 제2 증발기(632)의 내부 압력과 제3 증발기(642)의 내부 압력을 각각 수용액(Q)에 포함된 물의 감압 증발이 유도되도록 일정하게 유지하게 할 수 있다.
- [0217] 석출물 저장 탱크(680)는, 유로들(624g, 634g, 644g, 682)을 통해 제1 내지 제3 증발기들(622, 632, 642) 각각의 제3 배출구(622e, 632e, 642e)와 연결된다. 또한, 유로들(624g, 634g, 644g)이 합류되는 유로(682)에는, 가용성 고형분 석출물(S₁)을 석출물 저장 탱크(680)를 향해 펌핑 가능한 석출물 회수 펌프(684)가 설치될 수 있다. 이에, 제1 내지 제3 증발기들(622, 632, 642) 각각에서 배출된 가용성 고형분 석출물(S₁)은 석출물 저장 탱크(680)에 저장될 수 있다.
- [0218] 그런데, 가용성 고형분 석출물(S₁)은 수용액(Q)에 분산 및 침전된 상태로 제1 내지 제3 증발기들(622, 632, 642) 각각에 수용되므로, 석출물 회수 펌프(684)의 가동 시 가용성 고형분 석출물(S₁)은 수용액(Q)과 혼합된 슬러리 상태로 제1 내지 제3 증발기들(622, 632, 642) 각각으로부터 배출되어 석출물 저장 탱크(680)에 저장될 수 있다.
- [0219] 한편, 도 9에 도시된 바와 같이, 제1 내지 제3 순환 펌프(623, 633, 643)들 각각의 토출부는 유로들(624h, 634h, 644k) 각각에 의해 유로(682)와 연결될 수 있다. 유로들(624h, 634h, 644k) 각각에는 유로들(624h, 634h, 644k) 각각을 선택적으로 개폐 가능한 개폐 밸브가 설치될 수 있다. 따라서, 제1 내지 제3 순환 펌프(623, 633, 643)들 각각은 수용액(Q)을 유로들(624h, 634h, 644k) 각각을 통해 석출물 저장 탱크(680)에 선택적으로 전달할 수 있다. 이를 통해, 제1 내지 제3 순환 펌프(623, 633, 643)들 각각은 가용성 고형분(S)의 석출 양상에 따라 수용액(Q)을 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각으로부터 배출하여, 수용액(Q)의 염화물염 농도를

가용성 고형분(S)의 석출에 적합한 수준으로 유지시킬 수 있다.

- [0220] 제2 원심 분리기(690)는, 수용액(Q)과 혼합된 슬러리 상태인 가용성 고형분 석출물(S₁)을 석출물 저장 탱크(680)로부터 전달받아, 가용성 고형분 석출물(S₁) 및 수용액(Q)을 원심 분리하게 가능하게 마련된다.
- [0221] 제2 원심 분리기(690)는 콘타백스 원심 분리기로 구성되는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다. 제2 원심 분리기(690)는 가용성 고형분 석출물(S₁)과 수용액(Q)을 분리 가능하도록 미리 정해진 제4 기준 입도를 갖는 제2 필터를 가질 수 있다. 제2 필터는 철망 필터이고, 제4 기준 입도는 0.05 mm 내지 0.3 mm 인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0222] 제2 원심 분리기(690)에 의해 가용성 고형분 석출물(S₁)과 분리된 수용액(Q)에는, 증발 모듈들(620, 630, 640)에 의해 아직 석출되지 못한 잔여 가용성 고형분(S)이 포함될 수 있다. 따라서, 제2 원심 분리기(690)는, 가용성 고형분 석출물(S₁)을 가용성 고형분 저장 유닛(70)에 전달할 수 있고, 수용액(Q)을 유로(692)를 통해 원수 공급 펌프(610)의 흡입부에 재전달할 수 있다. 이처럼 원수 공급 펌프(610)에 재전달된 수용액(Q)은, 제1 원심 분리기(56)로부터 공급된 수용액(Q)과 혼합되어, 증발 모듈들(620, 630, 640)에 재공급될 수 있다. 이를 통해, 제2 원심 분리기(690)는, 석출 공정을 통한 가용성 고형분(S)의 회수율을 더욱 높일 수 있다.
- [0223] 도 11은 석출 및 건조 처리한 가용성 고형분의 사진이고, 도 12는 도 11에 도시된 가용성 고형분을 정성 분석한 SEM-EDS 차트이며, 도 13은 도 11에 도시된 가용성 고형분의 조성비를 나타내는 도표이다.
- [0224] 다음으로, 가용성 고형분 저장 유닛(70)은 제2 원심 분리기(66)로부터 전달받은 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조하여 저장하기 위한 장치이다.
- [0225] 가용성 고형분 저장 유닛(70)의 구조는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 가용성 고형분 저장 유닛(70)은, 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조하는 가용성 고형분 건조기(72)와, 가용성 고형분 건조기(72)에 의해 건조된 가용성 고형분(S)의 건조물(이하, '가용성 고형분 건조물(S₂)'이라고 함)을 저장하는 가용성 고형분 저장 챔버(74)를 포함할 수 있다.
- [0226] 가용성 고형분 건조기(72)는 제2 원심 분리기(66)에 의해 수용액(Q1)과 분리된 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조하기 위한 장치이다.
- [0227] 가용성 고형분 석출물(S₁)과 수용액(Q₁)은 제2 원심 분리기(66)에 의해 분리되지만, 수용액(Q1) 중 일부는 가용성 고형분 석출물(S₁)과 분리되지 못한 채 가용성 고형분 석출물(S₁)의 표면에 흡착될 수 있다. 이로 인해, 제2 원심 분리기(66)에 의해 수용액(Q1)과 분리된 가용성 고형분 석출물(S₁)은 표면에 흡착된 수용액(Q1)에 의해 슬러리 상태로 존재한다. 그런데, 가용성 고형분 석출물(S₁)이 슬러리 상태로 존재하면 재활용하기 용이하지 않으므로, 이를 해결하기 위해 가용성 고형분 건조기(72)가 마련되는 것이다.
- [0228] 이러한 가용성 고형분 건조기(72)는, 가용성 고형분(S)이 미리 정해진 기준 수분 이하의 수분을 포함하도록 제2 원심 분리기(66)에서 배출된 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조한다. 기준 수분은, 약 0.3% 인 것이 바람직하나 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0229] 도 11 및 도 12에 도시된 바와 같이, 가용성 고형분 건조기(72)에 의해 건조된 가용성 고형분 건조물(S₂)은, 백색의 파우더 형태를 갖는고, 염화나트륨(NaCl), 염화칼륨(KCl) 등의 염화물염을 주로 포함한다. 가용성 고형분 건조기(72)는, 이와 같이 가용성 고형분 건조물(S₂)을 가용성 고형분 저장 챔버(74)로 전달한다.
- [0230] 가용성 고형분 저장 챔버(74)는 가용성 고형분 건조기(72)에 의해 수분이 제거된 가용성 고형분 건조물(S₂)을 저장하기 위한 장치이다.
- [0231] 가용성 고형분 저장 챔버(74)는 저장 대상물을 저장 가능한 일반적인 저장 챔버로 구성될 수 있다. 이러한 가용성 고형분 저장 챔버(74)는, 가용성 고형분 건조기(72)로부터 가용성 고형분 건조물(S₂)을 전달받아 외부와 격리된 상태로 저장한다. 도 12 및 도 13에 도시된 바와 같이, 가용성 고형분 저장 챔버(74)에 저장된 가용성 고형분 건조물(S₂)은, 플럭스(F)에 함유된 염화물염들을 주로 포함하므로, 플럭스(F)로서 재활용되는 것이 바람

직하다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니며, 가용성 고형분 건조물(S₂)은, 혼합 염분이 필요한 다양한 분야에서 재활용될 수 있다.

- [0232] 다음으로, 알루미늄 알갱이 저장 유닛(80)은, 과쇄/분쇄 유닛(40)에서 배출된 알루미늄 알갱이(N)를 저장하기 위한 장치이다.
- [0233] 알루미늄 알갱이 저장 유닛(80)의 구조는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이, 알루미늄 알갱이 저장 유닛(80)은, 제1 분리 부재(42)와 제2 분리 부재(44)에서 분리되어 배출된 알루미늄 알갱이(N)를 저장 가능한 알루미늄 알갱이 저장 챔버(82)를 포함할 수 있다.
- [0234] 다음으로, 불용성 고형분 저장 유닛(90)은, 제1 원심 분리기(56)로부터 전달받은 불용성 고형분(I)을 건조 및 소성하여 저장하기 위한 장치이다.
- [0235] 불용성 고형분 저장 유닛(90)의 구조는 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 불용성 고형분 저장 유닛(90)은, 불용성 고형분(I)을 건조하는 불용성 고형분 건조기(92)와, 불용성 고형분 건조기(92)에 의해 건조된 불용성 고형분(I)을 소성하는 불용성 고형분 소성로(94)와, 불용성 고형분 소성로(94)에 의해 소성된 불용성 고형분(I)을 저장하는 불용성 고형분 저장 챔버(96)를 포함할 수 있다.
- [0236] 도 14는 건조 처리한 불용성 고형분의 사진이다.
- [0237] 불용성 고형분 건조기(92)는 제1 원심 분리기(56)에 의해 수용액(Q)과 분리된 불용성 고형분(I)을 건조하기 위한 장치이다.
- [0238] 불용성 고형분(I)은 증류수와 제1 원심 분리기(56)에 의해 분리되지만, 일부의 증류수는 불용성 고형분(I)과 분리되지 못한 채 불용성 고형분(I)의 표면에 흡착될 수 있다. 이로 인해, 제1 원심 분리기(56)에서 배출된 불용성 고형분(I)은, 약 30 ~ 40%의 수분을 포함하여, 슬러리 상태로 존재한다. 그런데, 불용성 고형분(I)이 슬러리 상태로 존재하면 불용성 고형분(I)의 이송 및 재활용이 용이하지 않으므로, 이를 해결하기 위해 불용성 고형분 건조기(92)가 마련되는 것이다.
- [0239] 이러한 불용성 고형분 건조기(92)는, 불용성 고형분(I)이 미리 정해진 기준 수분 이하의 수분을 포함하도록 제1 원심 분리기(56)에서 배출된 불용성 고형분(I)을 건조한다.
- [0240] 기준 수분은, 특별히 한정되지 않으며, 불용성 고형분(I)의 재활용 목적에 따라 상이하게 설정되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 불용성 고형분(I)을 시멘트 원료로 재활용할 경우에, 기준 수분은 약 40 %이다. 예를 들어, 불용성 고형분(I)을 벽돌 내화물 또는 세라믹 재료로 재활용할 경우에, 기준 수분은 약 0.5 %이다. 참고적으로, 불용성 고형분(I)을 벽돌 내화물 또는 세라믹 재료로 재활용할 경우에는 약 1,200 °C에서 소성한 재료를 필요로 하므로, 불용성 고형분(I)을 시멘트 원료로 재활용하는 경우에 비해 상대적으로 낮은 기준 수분이 요구된다.
- [0241] 도 14에 도시된 바와 같이, 불용성 고형분 건조기(92)에 의해 건조된 불용성 고형분(I)(이하, '불용성 고형분 건조물(I₁)'이라고 함)은, 표면에 흡착된 카본 성분으로 인해 짙은 회색의 파우더 형태를 갖는다. 이러한 불용성 고형분 건조물(I₁)은 불용성 고형분 소성로(94)에 전달된다.
- [0242] 도 15는 소성 처리한 불용성 고형분의 사진이고, 도 16은 도 15에 도시된 소성 처리한 불용성 고형분을 정성 분석한 SEM-EDS 차트이며, 도 17은 도 15에 도시된 소성 처리한 불용성 고형분의 조성비를 나타내는 도표이다.
- [0243] 불용성 고형분 소성로(94)는 불용성 고형분 건조물(I₁)을 소성하기 위한 장치이다.
- [0244] 드로스 미립자 파우더(P₂)에 포함된 미분의 알루미늄, 마그네슘, 알루미늄 합금이 물 분해될 때, 수산화 알루미늄, 수산화 마그네슘 및 알루미늄 합금 수화물(이하, '수화물들'이라고 함)이 형성될 수 있다. 이러한 수화물들은 불용성 고형분(I)이므로, 제1 원심 분리기(56)에 의해 수용액(Q)과 분리되어 불용성 고형분 건조기(92)로 전달된다. 그런데, 수화물들은 산화 알루미늄, 산화 마그네슘 및 알루미늄 합금 산화물(이하, '산화물들'이라고 함)에 비해 불안정한 물질이므로, 이러한 수화물들을 포함한 불용성 고형분(I)은 재활용하기에 적합하지 않다.
- [0245] 이를 해결하기 위하여, 도 7에 도시된 바와 같이, 불용성 고형분 저장 유닛(90)은, 불용성 고형분 건조물(I₁)을 소성 처리하여 불용성 고형분 건조물(I₁)에 포함된 수화물들을 산화물들로 전이시키는 불용성 고형분 소성로(9

4)를 포함하는 것이다.

- [0246] 불용성 고형분 소성로(94)는, 불용성 고형분 건조물(I₁)을 약 800 °C 이상으로 가열하여 수화물들을 소성 반응시킨다. 그러면, 수화물들은 소성되어 산화물들로 전이되며, 이와 동시에 불용성 고형분 건조물(I₁)의 표면에 흡착된 카본 성분은 연소된다. 따라서, 도 15에 도시된 바와 같이, 불용성 고형분 소성로(94)에 의해 소성된 불용성 고형분 건조물(I₁)(이하, '불용성 고형분 소성물(I₂)'이라고 함)은, 옅은 노란색의 파우더 형태가 된다. 불용성 고형분 소성로(94)는, 이러한 불용성 고형분 소성물(I₂)을 불용성 고형분 저장 챔버(96)에 전달한다.
- [0247] 한편, 불용성 고형분 소성로(94)가 마이크로웨이브 소성로와 같이 건조 공정과 소성 공정을 연속적으로 수행 가능한 구조를 갖는 경우에는, 전술한 불용성 고형분 건조기(92)는 생략될 수 있다.
- [0248] 불용성 고형분 저장 챔버(96)는 불용성 고형분 소성물(I₂)을 저장하기 위한 장치이다.
- [0249] 불용성 고형분 저장 챔버(96)는 저장 대상을 저장 가능한 일반적인 저장 챔버로 구성될 수 있다. 이러한 불용성 고형분 저장 챔버(96)는, 불용성 고형분 소성로(94)로부터 불용성 고형분 소성물(I₂)을 전달받아 외부와 격리된 상태로 저장한다. 도 16 및 도 17에 도시된 바와 같이, 불용성 고형분 소성물(I₂)은, 산화 알루미늄, 산화 마그네슘 및 산화 알루미늄 합금을 주로 포함하므로, 추가적인 재활용 공정을 거친 후 세라믹 재료, 내화물 재료, 시멘트 재료로서 재활용되는 것이 바람직하다. 불용성 고형분 소성물(I₂)의 추가적인 재활용 공정은, 특별히 한정되지 않는다. 예를 들어, 불용성 고형분 소성물(I₂)의 추가적인 재활용 공정은, 산화 알루미늄과 산화 마그네슘을 약 2000 °C 로 고온 소성하여 스피넬(MgAl₂O₄)로 전이시키는 스피넬 제조 공정을 포함할 수 있다.
- [0250] 다음으로, 가스 저장 유닛(100)은 가스 포집기(54)에 의해 포집된 가수분해 가스(G)를 저장하기 위한 장치이다.
- [0251] 가스 저장 유닛(100)은 가스를 저장하기 위해 일반적으로 사용되는 가스 저장 챔버로 구성될 수 있다. 도 7에 도시된 바와 같이, 이러한 가스 저장 유닛(100)은, 가스 포집기(54)로부터 가수분해 가스(G)를 전달받아 저장한다.
- [0252] 일반 드로스 재처리기(압입기)는, 일반 블랙 드로스에 초석(NaNO₃)과 같은 발열제 플럭스를 투입하여, 일반 블랙 드로스를 재처리한다. 이와 같이 재처리된 일반 블랙 드로스를 물 분해하면, 일반 블랙 드로스에 포함된 질화 알루미늄과 규소화 알루미늄으로부터 인체에 유독한 암모니아 가스(NH₃)와 실란 가스(SiH₄)가 발생된다. 따라서, 재처리된 일반 블랙 드로스가 물 분해되어 발생된 가스는, 재활용되기 어렵다.
- [0253] 그런데, 구형 블랙 드로스(B₂)가 블랙 드로스 재활용 장치(3)에 의해 처리되어 발생된 가수분해 가스(G)는, 수소, 메탄, 에탄, 에텐, 프로판, 프로펜 등의 가스를 포함한다. 이러한 가스들은, 에너지원으로서 사용 가능한 가스들로서 전술한 암모니아 가스와 실란 가스와 같은 유독성을 갖지 않으므로, 재활용이 용이하다. 또한, 에너지원으로서 우수한 성질을 갖는 수소와 메탄이 가수분해 가스(G)의 대부분을 차지하므로, 가수분해 가스(G)는 재활용 가치가 매우 우수하다.
- [0254] 이러한 가수분해 가스(G)는, 본 발명에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템(1)을 구동하기 위한 에너지원으로서 재활용되는 것이 바람직하다. 다만, 이에 한정되는 것은 아니며, 가수분해 가스(G)는 가스 이송 설비에 의해 외부로 이송되어 난방, 발전 등 다양한 산업 분야의 에너지원으로서 재활용될 수도 있다.
- [0255] 한편, 블랙 드로스 재활용 장치(3)는 전술한 구형 블랙 드로스(B₂)를 재활용 가능하도록 처리하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다. 즉, 블랙 드로스 재활용 장치(3)는 구형 블랙 드로스(B₂)와는 다른 방식으로 형성된 일반 블랙 드로스를 재활용 가능하도록 처리할 수도 있다.
- [0257] 도 18은 본 발명의 다른 바람직한 실시예에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 방법을 개략적으로 나타내는 순서도이며, 도 19는 도 18에 기재된 알루미늄 용해 단계와 구형 블랙 드로스를 파쇄 및 분쇄하는 단계의 세부적인 내용을 설명하기 위한 순서도이며, 도 20은 도 18에 기재된 드로스 파우더 물 분해 단계와 물 분해물 재활용 단계의 세부적인 내용을 설명하기 위한 순서도이다.
- [0258] 도 18을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 방법은, 알루미늄

을 용해하는 단계(S 100)와, 알루미늄을 용해할 때 발생한 구형 블랙 드로스(B_2)를 과쇄 및 분쇄하는 단계(S 200)와, 구형 블랙 드로스(B_2)가 과쇄 및 분쇄되어 형성된 드로스 미립자 파우더(P_2)를 물 분해하는 단계(S 300)와, 드로스 미립자 파우더(P_2)의 물 분해물들 중 적어도 하나를 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 400)를 포함한다.

[0259] 먼저, 도 19에 도시된 바와 같이, 알루미늄을 용해하는 단계(S 100)는, 알루미늄 용탕(M)에 와류(V)를 형성하는 단계(S 110)와, 알루미늄 용탕(M)의 표면에 용융 플럭스층이 형성되도록 플럭스(F)를 와류(V)에 투입하는 단계(S 120)와, 용융 플럭스층을 통과하도록 알루미늄 스크랩(A)을 와류(V)에 투입하는 단계(S 130)와, 알루미늄 용탕(M)에서 알루미늄 스크랩(A)이 용해될 때 알루미늄 스크랩(A)이 용융 플럭스층에 의해 플럭스 처리되어 발생한 구형 블랙 드로스(B_2)를 회수하는 단계(S 140)를 포함한다.

[0260] 알루미늄 용탕(M)에 와류(V)를 형성하는 단계(S 110)에서는, 회전 구동 가능한 전술한 와류 유닛(21)을 이용해 알루미늄 용탕(M)을 교반하여, 알루미늄 용탕(M)에 선회 하강하는 와류(V)를 형성할 수 있다.

[0261] 플럭스(F)를 와류(V)에 투입하는 단계(S 120)에서는, S 110 단계에서 형성된 알루미늄 용탕(M)의 와류(V)에 플럭스(F)를 투입할 수 있다. 바람직하게, 플럭스(F)는, 염화나트륨(NaCl)과 염화칼륨(KCl)이 동일한 중량부로 혼합된 혼합물 93-97 중량부 및 빙정석류(Cryolite, Potassium Cryolite) 3-7 중량부를 포함할 수 있다. 더욱 바람직하게, 플럭스(F)는, 염화나트륨(NaCl) 47.5 중량부, 염화칼륨(KCl) 47.5 중량부 및 포타슘 알루미늄 플루오라이드($KAlF_4$) 5 중량부를 포함할 수 있다. 이러한 플럭스(F)가 와류(V)에 투입되면, 알루미늄 용탕(M)의 표면에는 플럭스(F)가 용해되어 형성된 용융 플럭스층 즉, 염속층이 형성된다.

[0262] 알루미늄 스크랩(A)을 와류(V)에 투입하는 단계에서는(S 130), 미리 정해진 알루미늄 스크랩(A)을 S 120 단계에서 형성된 용융 플럭스층을 통과하도록 알루미늄 용탕(M)의 와류(V)에 투입할 수 있다. 바람직하게, 알루미늄 스크랩(A)은, 알루미늄, 마그네슘 및 알루미늄 합금을 주로 포함하는 알루미늄 폐캔 스크랩(UBCs, A 3XXX 계열, A 5XXXX 계열)일 수 있다. 와류(V)에 투입된 알루미늄 스크랩(A)은 알루미늄 용탕(M)에 용해된다. 이와 동시에, 알루미늄 용탕(M)에 포함된 개재물이 용융 플럭스층 즉, 플럭스(F)에 포획되어 블랙 드로스(B_1)가 형성되며, 이러한 블랙 드로스(B_1)가 와류(V)에 의해 알루미늄 용탕(M)에서 반복적으로 하강 및 부상됨으로써 블랙 드로스(B_1)가 구형으로 결집된 구형 블랙 드로스(B_2)가 형성된다.

[0263] 알루미늄 용탕(M)과 구형 블랙 드로스(B_2)를 회수하는 단계(S 140)에서는, 알루미늄 스크랩(A)이 용해된 알루미늄 용탕(M)을 전술한 알루미늄 용해로(2)의 출탕구를 통해 배출함과 함께, 알루미늄 용탕(M)의 표면에 부유된 구형 블랙 드로스(B_2)를 전술한 분리 유닛(27)을 이용해 알루미늄 용탕(M)으로부터 퍼낼 수 있다.

[0264] 다음으로, 구형 블랙 드로스(B_2)를 분쇄 및 과쇄하는 단계(S 200)는, 알루미늄 용탕(M)으로부터 회수한 구형 블랙 드로스(B_2)를 과쇄하는 단계(S 210)와, 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P_1)를 분리하는 단계(S 220)와, 드로스 파우더(P_1)를 분쇄하는 단계(S 230)와, 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P_2)를 분리하는 단계(S 240)를 포함한다.

[0265] 구형 블랙 드로스(B_2)를 과쇄하는 단계(S 210)에서는, S 140 단계에서 회수한 구형 블랙 드로스(B_2)를 전술한 과쇄기(41)를 이용해 과쇄할 수 있다

[0266] 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P_1)를 분리하는 단계(S 220)에서는, S 210 단계에서 형성된 구형 블랙 드로스(B_2)의 과쇄물 중 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 파우더(P_1)를 전술한 제1 분리 부재(42)를 이용해 분리할 수 있다. 예를 들어, 제1 분리 부재(42)는, 약 10 mm의 입도를 갖는 진동 스크린으로 구성될 수 있다.

[0267] 드로스 파우더(P_1)를 분쇄하는 단계(S 230)에서는, S 220 단계에서 알루미늄 알갱이(N)와 분리된 드로스 파우더(P_1)를 분쇄기(43)를 이용해 분쇄할 수 있다.

[0268] 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P_2)를 분리하는 단계(S 240)에서는, S 230 단계에서 형성된 드로스 파우더(P_1)의 분쇄물 중 알루미늄 알갱이(N)와 드로스 미립자 파우더(P_2)를 전술한 제2 분리 부재(44)를 이용해 분리할 수 있다. 예를 들어, 제2 분리 부재(44)는 약 0.5 mm의 입도를 갖는 트롬멜 스크린(Trommel Screen)으

로 구성될 수 있다.

- [0269] 한편, 구형 블랙 드로스(B_2)를 분쇄 및 파쇄하는 단계(200)는, S 220 단계 및 S 240 단계에서 드로스 파우더(P_1) 및 드로스 미립자 파우더(P_2)와 분리된 알루미늄 알갱이(N)를 재활용하는 단계(S 250)를 더 포함할 수 있다. 예를 들어, 알루미늄 알갱이(N)의 재활용 단계(S 250)에서는, 알루미늄 알갱이(N)를 전술한 알루미늄 용탕(M)의 와류(V)에 투입할 수 있다.
- [0270] 다음으로, 드로스 미립자 파우더(P_2)를 물 분해하는 단계(S 300)에서는, S 240 단계에서 알루미늄 알갱이(N)와 재분리된 드로스 미립자 파우더(P_2)를 반응기(52)를 이용해 물 분해하여 수행할 수 있다. 바람직하게, 반응기(52)는, 1 : 2 비율로 혼합된 드로스 미립자 파우더(P_2)와 물을 교반하여, 드로스 미립자 파우더(P_2)를 물 분해할 수 있다. 이와 같이 드로스 미립자 파우더(P_2)를 물 분해하는 경우에, 드로스 미립자 파우더(P_2)는 가수분해 가스(G), 가용성 고형분(S) 및 불용성 고형분(I)을 포함하는 물 분해물들로 분해된다.
- [0271] 다음으로, 도 20에 도시된 바와 같이, 드로스 미립자 파우더(P_2)의 물 분해물들 중 적어도 하나를 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 400)는, 가용성 고형분(S)이 물에 용해되어 생성된 수용액(Q)으로부터 가수분해 가스(G)를 포집하여 분리하는 단계(S 410)와, 불용성 고형분(I)과 수용액(Q)을 서로 분리하는 단계(S 420)와, 가수분해 가스(G)를 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 430)와, 가용성 고형분(S)을 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 440)와, 불용성 고형분(I)을 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 450)를 포함한다.
- [0272] 수용액(Q)으로부터 가수분해 가스(G)를 포집하여 분리하는 단계(S 410)에서는, 전술한 반응기(52)에 수용된 수용액(Q)으로부터 가수분해 가스(G)를 가스 포집기(54)를 이용해 포집할 수 있다.
- [0273] 도 20에 도시된 바와 같이, 불용성 고형분(I)과 수용액(Q)을 서로 분리하는 단계(S 420)는, 수용액(Q)과 불용성 고형분(I)을 원심 분리하는 단계(S 421)와, 불용성 고형분(I)을 증류수로 세척하는 단계(S 422)와, 불용성 고형분(I)과 증류수를 원심 분리하는 단계(S 423)를 포함한다.
- [0274] 불용성 고형분(I)과 수용액(Q)을 원심 분리하는 단계(S 421)에서는, S 410 단계에서 가수분해 가스(G)와 분리된 불용성 고형분(I)과 수용액(Q)을 전술한 제1 원심 분리기(56)를 이용해 원심 분리할 수 있다.
- [0275] 불용성 고형분(I)을 증류수로 세척하는 단계(S 422)에서는, S 421 단계에서 불용성 고형분(I)에 흡착된 염소가 불용성 고형분(I)으로부터 분리되도록 증류수를 이용해 불용성 고형분(I)을 세척할 수 있다. S 421 단계에서 불용성 고형분(I)과 수용액(Q)을 원심 분리하더라도 일부의 수용액(Q)은 불용성 고형분(I)에 흡착된 상태로 남을 수 있는데, 이러한 수용액(Q)에는 염화물염을 포함하는 가용성 고형분(S)이 용해되어 있다. 따라서, 이와 같이 불용성 고형분(I)에 흡착된 염화물염을 제거할 수 있도록 불용성 고형분(I)을 증류수로 세척하는 것이다. 이러한 불용성 고형분(I)을 증류수로 세척하는 단계(S 422)에서는, 후술할 S 445 단계에서 생성된 응축수(D)를 증류수로서 이용하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0276] 불용성 고형분(I)과 증류수를 원심 분리하는 단계(S 423)에서는, S 422 단계 이후에, 전술한 제1 원심 분리기(56)를 이용해 불용성 고형분(I)과 증류수를 원심 분리할 수 있다.
- [0277] 추가적으로, S 422 단계와 S 423 단계는 불용성 고형분(I)에 흡착된 염화물염의 농도가 미리 정해진 기준 농도 이하가 될 때까지 반복적으로 수행할 수 있다. 기준 농도는, 약 300 ppm 인 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0278] 도 20에 도시된 바와 같이, 가수분해 가스(G)를 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 430)는, 가수분해 가스(G)에 포함된 수분을 제거하는 단계(S 431)와, 수분이 제거된 가수분해 가스(G)를 분리 정제하는 단계(S 432)와, 분리 정제된 가수분해 가스(G)를 저장하는 단계(S 433)를 포함한다.
- [0279] 가수분해 가스(G)에 포함된 수분을 제거하는 단계(S 431)에서는, S 410 단계에서 가스 포집기(54)에 의해 포집된 가수분해 가스(G)에 포함된 수분을 전술한 수분 트랩기(54b), 수분 제거기(미도시) 및 탈황기(미도시)를 이용해 제거할 수 있다.
- [0280] 가수분해 가스(G)를 분리 정제하는 단계(S 432)에서는, S 431 단계에서 수분이 제거된 가수분해 가스(G) 중 실제로 재활용 가능한 가스의 순도를 높이거나 가스분해 가스(G) 중 재활용 목적에 맞는 특정 가스를 다른 가스들로부터 분리할 수 있도록 가수분해 가스(G)를 전술한 가스 분리 정제기(54a)를 이용해 분리 정제할 수 있다.

- [0281] 가수분해 가스(G)를 저장하는 단계(S 433)에서는, S 432 단계에서 분리 정제된 가수분해 가스(G)를 전술한 가스 저장 유닛(100)에 저장할 수 있다.
- [0282] 도 20에 도시된 바와 같이, 가용성 고형분(S)을 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 440)는, 복수의 증발 모듈들(620, 630, 640)을 각각 이용해 수용액(Q)에 포함된 물을 증발시켜 수용액(Q)으로부터 가용성 고형분(S)을 석출시키는 단계(S 441)와, 가용성 고형분 석출물(S₁)과 수용액(Q)을 원심 분리하는 단계(S 442)와, 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조하는 단계(S 443)와, 가용성 고형분 건조물(S₂)을 저장하는 단계(S 444) 등을 포함할 수 있다.
- [0283] 가용성 고형분(S)을 석출시키는 단계(S 441)에서는, 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각을 이용해 S 421 단계에서 불용성 고형분(I)과 원심 분리된 수용액(Q)에 포함된 물을 증발시켜 수용액(Q)으로부터 가용성 고형분(S)을 석출시키되, 증발 모듈들(620, 630, 640)마다 서로 상이한 환경 조건 하에서 물의 증발을 유도하여, 증발 모듈들(620, 630, 640)마다 서로 상이한 석출 순서 및 석출 시기에 따라 가용성 고형분(S)에 포함된 염화나트륨과 염화칼륨을 석출시킬 수 있다.
- [0284] 또한, 가용성 고형분(S)을 석출시키는 단계(S 441)에서, 증발 모듈들(620, 630, 640)에는 불용성 고형분(I)과 분리된 후 원수 공급 펌프(610)에 의해 펌핑된 수용액(Q)이 공급된다. 예를 들어, 불용성 고형분(I)과 분리된 수용액(Q)이 원수 공급 펌프(610)에 의해 제3 증발 모듈(640)의 제3 증발기(642)에 공급될 수 있고, 제3 증발기(642)에 공급된 수용액(Q)의 일부가 제3 순환 펌프(643)에 의해 제2 증발 모듈(630)의 제2 증발기(632)에 공급될 수 있고, 제2 증발기(632)에 공급된 수용액(Q)의 일부가 제2 순환 펌프(633)에 의해 제1 증발 모듈(620)의 제1 증발기(622)에 공급될 수 있다.
- [0285] 또한, 가용성 고형분(S)을 석출시키는 단계(S 441)에서, 증발 모듈들(620, 630, 640)은 외부의 증기 공급원으로부터 공급된 고온의 원증기(E)를 열원으로서 직접 또는 간접적으로 이용해 수용액(Q)을 가열하여 물을 증발시킴으로써, 가용성 고형분(S)을 석출시킬 수 있다. 여기서, 원증기(E)의 공급은 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각의 증발기(622, 632, 642)에 수용액(Q)이 미리 정해진 수위만큼 충전된 상태에서 시작되는 것이 바람직하다.
- [0286] 예를 들어, 제1 증발 모듈(620)의 제1 리보일러(621)는 원증기(E)와 수용액을 열교환시켜 수용액을 가열할 수 있다.
- [0287] 예를 들어, 제2 증발 모듈(630)의 제2 리보일러(631)는 제1 증발기(622)에서 물이 증발되어 발생한 발생 증기(E₁)를 수용액(Q)과 열교환시켜 수용액(Q)을 가열할 수 있다.
- [0288] 예를 들어, 제3 증발 모듈(640)의 제3 리보일러(641)는 제2 증발기(632)에서 물이 증발되어 발생한 발생 증기(E₂)를 수용액(Q)과 열교환시켜 수용액(Q)을 가열할 수 있다.
- [0289] 이러한 가용성 고형분(S)을 석출시키는 단계(S 441)에서, 증발 모듈들(620, 630, 640) 각각은, 리보일러(621, 631, 641)를 이용해 미리 정해진 기준 온도로 수용액(Q)을 가열한 후, 증발기(622, 632, 642)를 이용해 물의 증발 온도가 기준 온도가 되도록 조절된 증발기(622, 632, 642)의 내부 압력 하에서 물의 증발을 유도하여, 가용성 고형분(S)을 석출시킬 수 있다. 기준 온도는, 증발 모듈들(620, 630, 640) 중 당해 증발 모듈(620, 630, 640)에서 구현하고자 하는 염화나트륨과 염화칼륨의 석출 순서 및 석출 시기에 따라 증발 모듈들(620, 630, 640)마다 개별적으로 정해질 수 있다.
- [0290] 예를 들어, 제1 증발 모듈(620)은, 제1 리보일러(621)를 이용해 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 염화칼륨의 용해도에 비해 미리 정해진 제1 기준 값 이상만큼 낮아지는 제1 기준 온도로 수용액(Q)을 가열한 후, 제1 증발기(622)를 이용해 물의 증발 온도가 제1 기준 온도가 되도록 조절된 제1 증발기(622)의 내부 압력 하에서 물의 증발을 유도하여, 제1 증발기(622)에서 염화나트륨을 염화칼륨에 비해 상당히 이른 시점부터 우선적으로 석출시킬 수 있다.
- [0291] 제1 기준 온도와 제1 증발기(622)의 내부 압력은 특별히 해결되지 않는다. 예를 들어, 제1 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 약 28 % 이고 염화칼륨의 용해도가 약 35 % 인 약 100 °C 내지 110 °C 일 수 있고, 제1 증발기(622)의 내부 압력은 약 100 °C 내지 110 °C 인 물의 증발 압력인 약 20 kPa 일 수 있다.
- [0292] 예를 들어, 제2 증발 모듈(630)은, 제2 리보일러(631)를 이용해 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도와 염화칼륨의 용해도가 미리 정해진 제2 기준 값 이하로 낮아지는 제2 기준 온도로 수용액(Q)을 가열한 후, 제2 증발기(632)를 이용해 물의 증발 온도가 제2 기준 온도가 되도록 조절된 제2 증발기(632)의 내부 압력 하에서 물의 증

발을 유도하여, 염화나트륨과 염화칼륨을 거의 동일한 시점부터 함께 석출시킬 수 있다.

- [0293] 예를 들어, 제2 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 약 29 %이고 염화칼륨의 용해도가 약 28% 인 약 70 °C 내지 80 °C 일 수 있고, 제2 증발기(632)의 내부 압력은 약 70 °C 내지 80 °C 인 물의 증발 압력인 약 -60 kPa 일 수 있다.
- [0294] 예를 들어, 제3 증발 모듈(640)은, 제3 리보일러(641)를 이용해 수용액(Q)에서의 염화칼륨의 용해도가 염화나트륨의 용해도에 비해 미리 정해진 제3 기준 값 이상만큼 낮아지는 제3 기준 온도로 수용액(Q)을 가열한 후, 제3 증발기(642)를 이용해 물의 증발 온도가 제3 기준 온도가 되도록 조절된 제3 증발기(642)의 내부 압력 하에서 물의 증발을 유도하여, 제3 증발기(642)에서 염화칼륨을 염화나트륨에 비해 상당히 이른 시점부터 우선적으로 석출시킬 수 있다.
- [0295] 예를 들어, 제3 기준 온도는 수용액(Q)에서의 염화나트륨의 용해도가 약 30 %이고 염화칼륨의 용해도가 약 22% 인 약 50 °C 내지 60 °C 일 수 있고, 제2 증발기(642)의 내부 압력은 약 50 °C 내지 60 °C 인 물의 증발 압력인 약 -80 kPa 일 수 있다.
- [0296] 위와 같이, 제2 기준 온도가 약 70 °C 내지 80 °C 이고, 제3 기준 온도가 약 50 °C 내지 60 °C 인 경우에는, 제2 증발기(632)와 제3 증발기(642)에서 물을 증발시키기 위해서는 제2 증발기(632)의 내부 압력과 제3 증발기(642)의 내부 압력이 대기압에 비해 낮은 진공 상태로 유지되어야 한다. 이를 위하여, 제2 증발 모듈(630)과 제3 증발 모듈(640)은 각각, 제2 기준 온도 또는 제3 기준 온도에 따라 진공 분위기 하에서 물의 감압 증발을 유도할 수 있도록, 압력 조절 부재(670)로부터 선택적으로 인가되는 진공압에 의해 내부 압력이 일정하게 유지될 수 있다.
- [0297] 또한, 가용성 고형분(S)을 석출시키는 단계(S 441)에서는, 원증기(E) 또는 발생 증기(E₁, E₂)가 수용액(Q)과 열교환되는 과정에서 원증기(E) 또는 발생 증기(E₁, E₂)가 수용액(Q)에 의해 냉각되어 생성된 응축수(D)와, 제2 증발기(632) 또는 제3 증발기(642)에서 배출된 발생 증기(E₂, E₃)가 응축기(650)에서 응축되어 생성된 응축수(D)가 응축수 저장 탱크(660)에 저장될 수 있다. 이처럼 응축수 저장 탱크(660)에 저장된 응축수(D)는, 제1 원심분리기(56)에 전달될 수 있다(S 445). 그러면, S 422 단계에서는, 제1 원심분리기(56)에 의해 수용액(Q)과 분리된 불용성 고형분(I)을 응축수 저장 탱크(660)로부터 전달된 응축수(D)를 증류수로서 이용해 세척할 수 있다.
- [0298] 가용성 고형분 석출물(S₁)과 수용액(Q)을 원심 분리하는 단계(S 442)에서는, S 441 단계에서 수용액(Q)으로부터 석출된 가용성 고형분 석출물(S₁) 및 가용성 고형분 석출물(S₁)이 석출되고 남은 수용액(Q)을 전술한 제2 원심분리기(690)를 이용해 원심 분리할 수 있다. 이처럼 가용성 고형분 석출물(S₁)과 분리된 수용액(Q)은, 석출되지 못한 채 수용액(S)에 여전히 용해된 상태로 잔류된 가용성 고형분(S)을 수용액(Q)으로부터 석출시킬 수 있도록, 증발 모듈들(620, 630, 640)에 재전달 될 수 있다(S 446). 그러면, S 441 단계에서는, 증발 모듈들(620, 630, 640)을 이용해, S 442 단계에서 가용성 고형분 석출물(S₁)과 분리된 수용액(Q)으로부터 가용성 고형분(S)을 재석출시킬 수 있다.
- [0299] 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조하는 단계(S 443)에서는, S 442 단계에서 수용액(Q)과 분리된 가용성 고형분 석출물(S₁)을 전술한 가용성 고형분 건조기(72)를 이용해 건조할 수 있다. 이러한 가용성 고형분 석출물(S₁)을 건조하는 단계(S 443)는, 가용성 고형분 석출물(S₁)이 0.3 % 이하의 수분을 포함할 때까지 수행하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0300] 가용성 고형분 건조물(S₂)을 저장하는 단계(S 444)에서는, S 443 단계에서 건조된 가용성 고형분 건조물(S₂)을 전술한 가용성 고형분 저장 챔버(74)에 저장할 수 있다.
- [0301] 도 20에 도시된 바와 같이, 불용성 고형분(I)을 재활용 가능하도록 처리하는 단계(S 450)는, 불용성 고형분(I)을 건조하는 단계(S 451)와, 불용성 고형분 건조물(I₁)을 소성하는 단계(S 452)와, 불용성 고형분 소성물(I₂)을 저장하는 단계(S 453)를 포함한다.
- [0302] 불용성 고형분(I)을 건조하는 단계(S 451)에서는, S 420 단계에서 불용성 고형분(I)과 분리되지 못한 채 불용성 고형분(I)에 흡착된 수분을 전술한 불용성 고형분 건조기(92)를 이용해 건조할 수 있다. 불용성 고형분(I)을 건조하는 단계(S 451)는, 불용성 고형분(I)을 시멘트 원료로 재활용하는 경우에는 불용성 고형분 건조물(I₁)이

40 % 이하의 수분을 포함할 때까지 수행하는 것이 바람직하다. 또한, 불용성 고형분 건조물(I₁)을 건조하는 단계(S 451)는, 불용성 고형분(I)을 벽돌 내화물 또는 세라믹 재료로 재활용하는 경우에는 불용성 고형분 건조물(I₁)이 0.5 % 이하의 수분을 포함할 때까지 수행하는 것이 바람직하나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0303] 불용성 고형분 건조물(I₁)을 소성하는 단계(S 452)에서는, S 451 단계에서 건조된 불용성 고형분 건조물(I₁)을 전술한 불용성 고형분 소성로(94)를 이용해 소성할 수 있다. 불용성 고형분(I₁)은 불안정한 성질을 갖는 수산화 알루미늄, 수산화 마그네슘, 알루미늄 합금 수화물 등의 수산화물을 포함할 수 있으므로, 이러한 수산화물들이 상대적으로 안정한 성질을 갖는 산화 알루미늄, 산화 마그네슘, 알루미늄 합금 산화물로 전이되도록 불용성 고형분(I₁)을 소성하는 것이다.

[0304] 불용성 고형분 소성물(I₂)을 저장하는 단계(S 453)에서는, S 452 단계에서 소성된 불용성 고형분 소성물(I₂)을 전술한 불용성 고형분 저장 챔버(96)에 저장할 수 있다.

[0305] 이상에서 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 이것에 의해 한정되지 않으며 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 본 발명의 기술사상과 아래에 기재될 특허청구범위의 균등범위 내에서 다양한 수정 및 변형이 가능함은 물론이다.

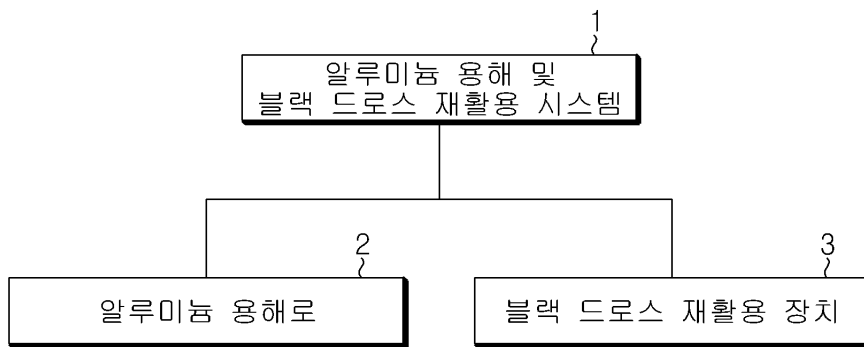
부호의 설명

- [0306] 1 : 알루미늄 용해 및 블랙 드로스 재활용 시스템
- 2 : 알루미늄 용해로
- 3 : 블랙 드로스 재활용 장치
- 10 : 가열실
- 20 : 용해실
- 30 : 유동력 부여실
- 40 : 파쇄/분쇄 유닛
- 50 : 물 분해 유닛
- 60 : 석출 유닛
- 70 : 가용성 고형분 저장 유닛
- 80 : 알루미늄 알갱이 저장 유닛
- 90 : 불용성 고형분 저장 유닛
- 100 : 가스 저장 유닛
- M : 알루미늄 용탕
- V : 와류
- A : 알루미늄 스크랩
- F : 플럭스
- B₁ : 블랙 드로스
- B₂ : 구형 블랙 드로스
- P₁ : 드로스 파우더
- P₂ : 드로스 미립자 파우더
- N : 알루미늄 알갱이

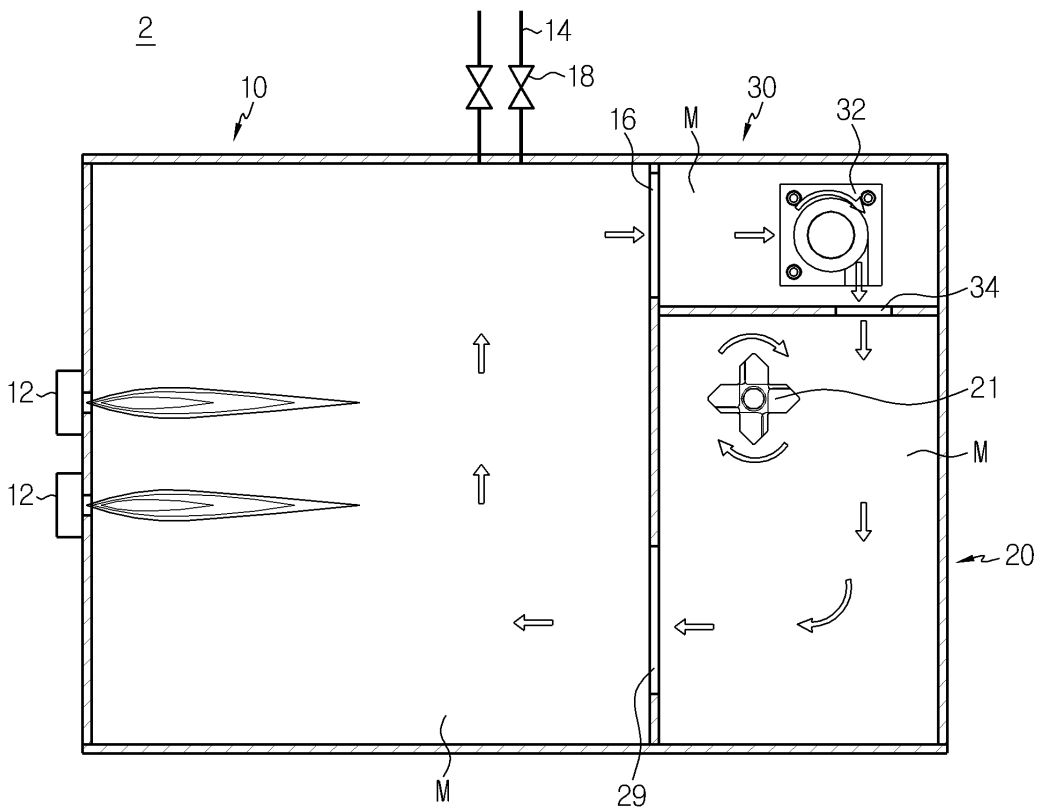
- S : 가용성 고형분
- I : 불용성 고형분
- Q : 수용액
- G : 가수분해 가스
- E : 원증기
- E₁, E₂, E₃ : 발생 증기
- D : 응축수

도면

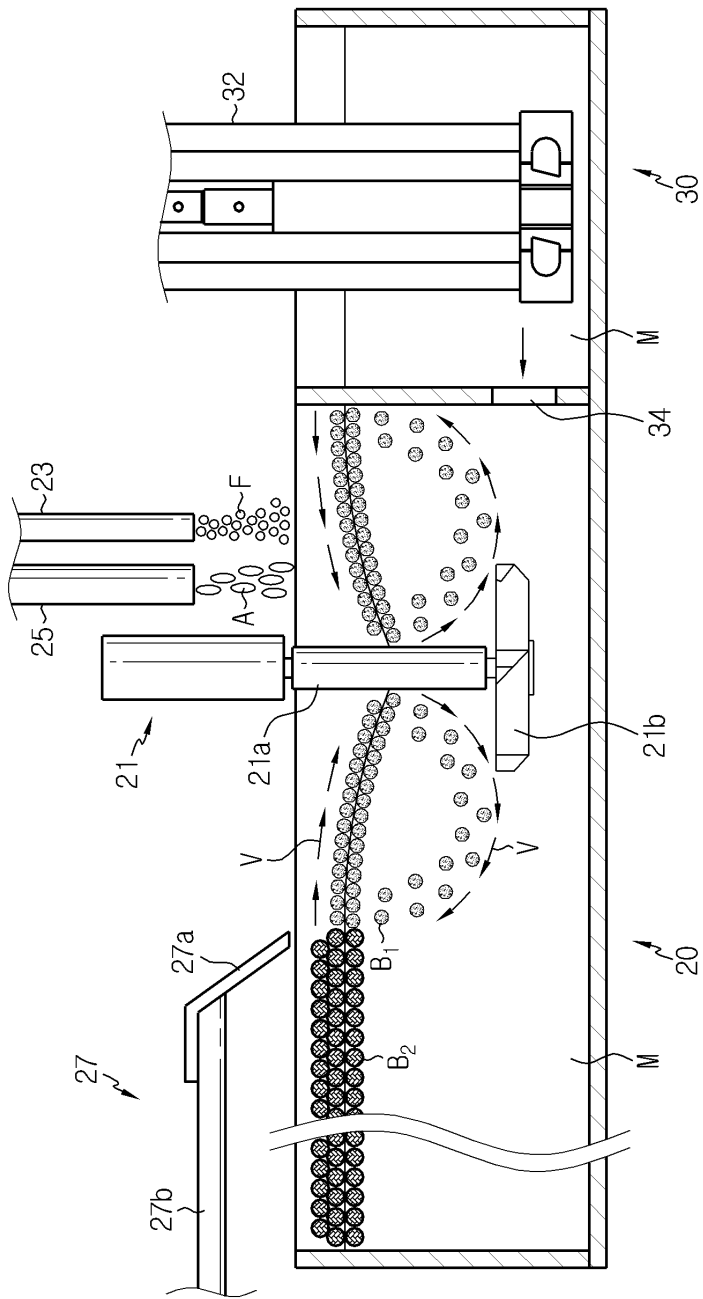
도면1



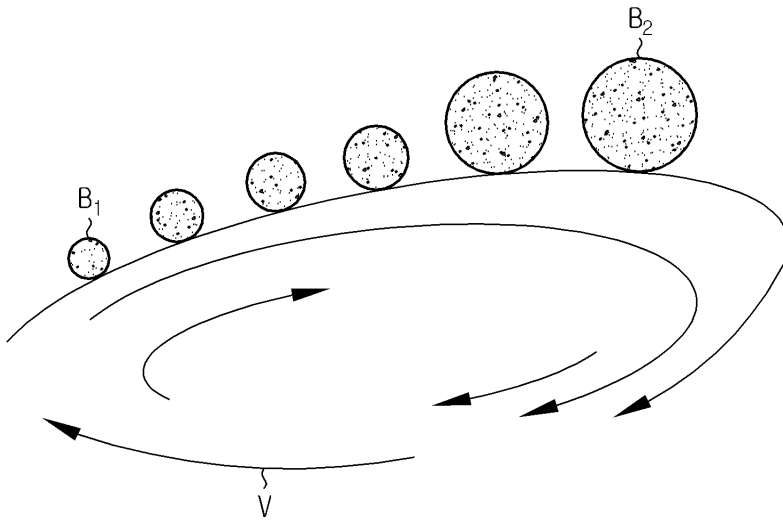
도면2



도면3



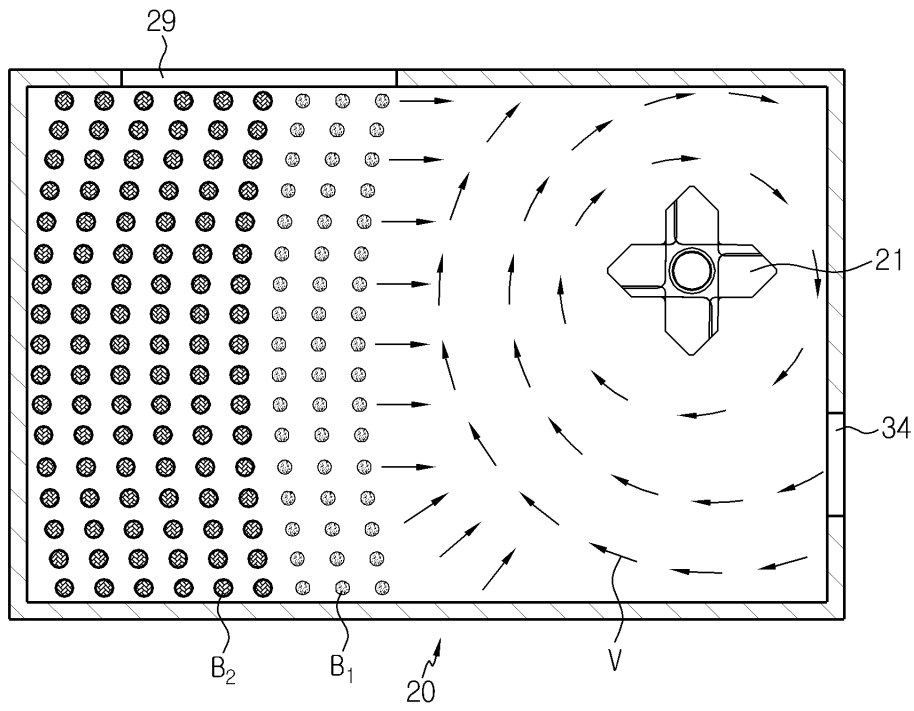
도면4



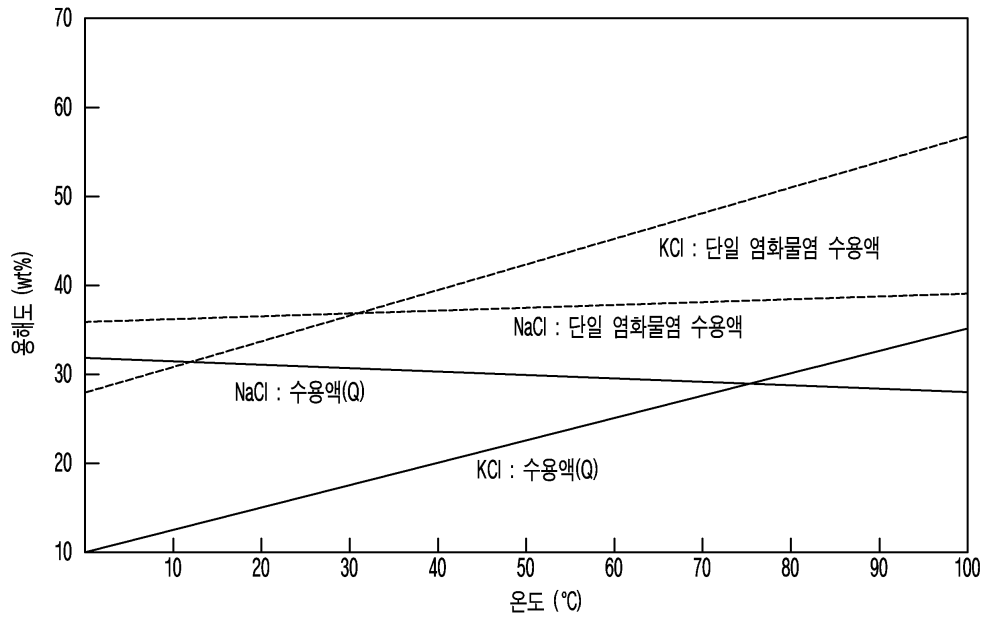
도면5



도면6



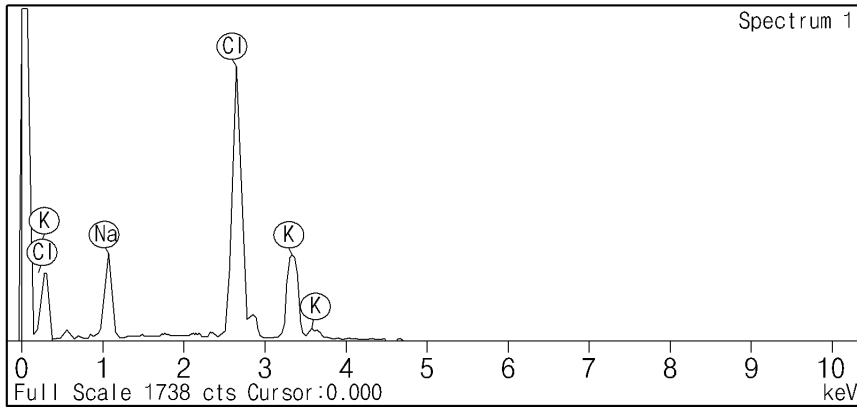
도면10



도면11



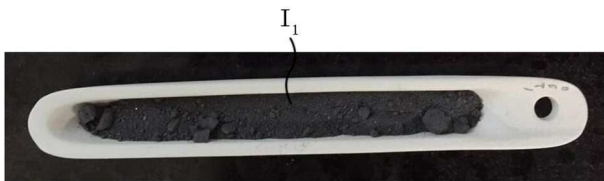
도면12



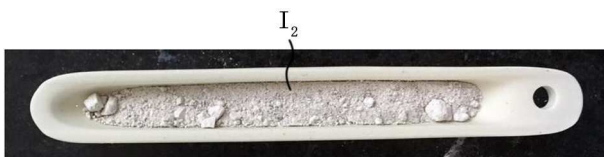
도면13

Element	Weight%	Atomic%
Na	19.17	27.38
Cl	54.48	50.48
K	26.35	22.14
Totals	100.00	100.00

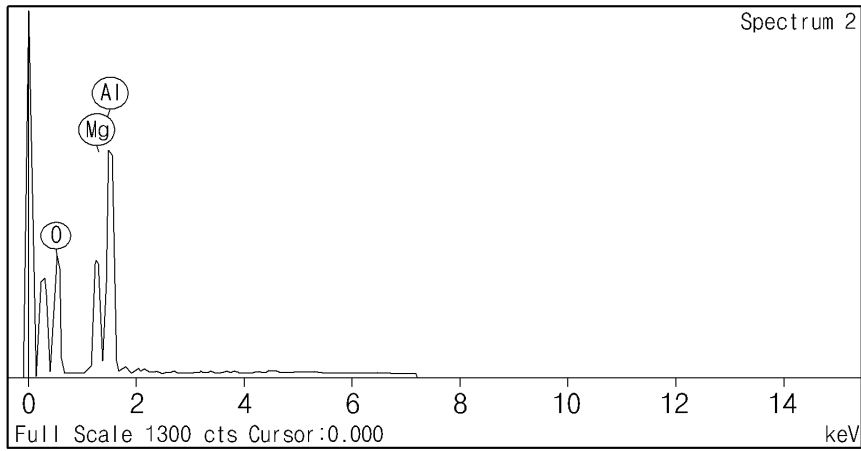
도면14



도면15



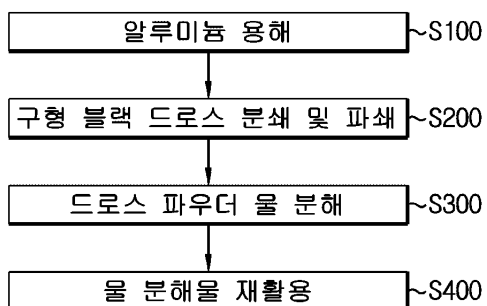
도면16



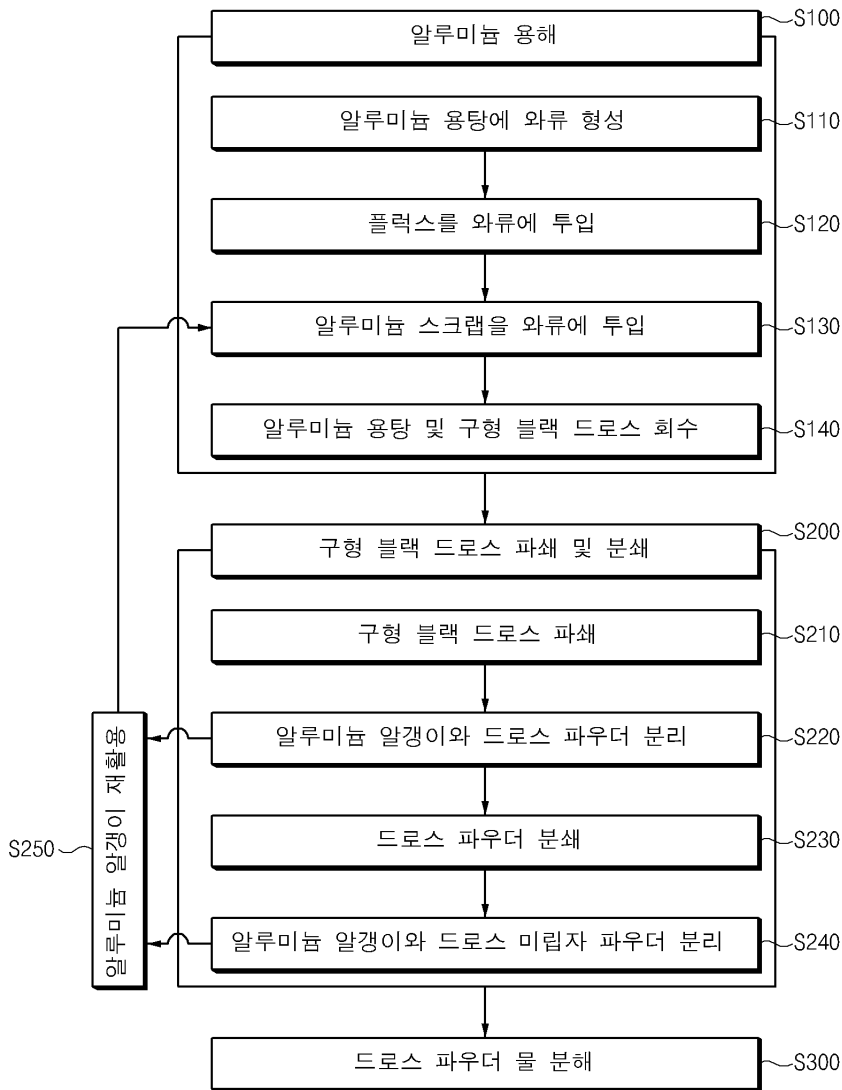
도면17

Element	Weight%	Atomic%
O	55.96	67.42
Mg	14.32	11.35
Al	27.72	21.23
Totals	100.00	100.00

도면18



도면19



도면20

