



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2013년03월14일
(11) 등록번호 10-1241789
(24) 등록일자 2013년03월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B03C 1/02 (2006.01) B03C 1/30 (2006.01)
B07B 13/08 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0021246
(22) 출원일자 2011년03월10일
심사청구일자 2011년03월10일
(65) 공개번호 10-2012-0103156
(43) 공개일자 2012년09월19일
(56) 선행기술조사문헌
JP11157846 A*
KR1020100013474 A*
KR100948490 B1
JP10024282 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한국지질자원연구원
대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
(72) 발명자
신희영
대전광역시 유성구 어은로 57, 121동 1405호 (어은동, 한빛아파트)
채수천
서울특별시 강남구 삼성로 212, 12동 1401호 (대치동, 은마아파트)
(74) 대리인
임승섭
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 11 항

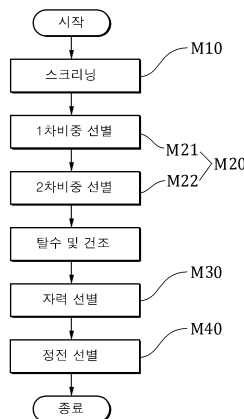
심사관 : 황찬윤

(54) 발명의 명칭 **해사 및 강사 등의 쇄설성 자원으로부터 유용광물을 회수하는 방법**

(57) 요약

해사 또는 강사와 같이 단체분리가 되어 있는 쇄설성 자원으로부터 유용광물을 회수하는 방법이 개시된다. 본 발명에 따른 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법은, 쇄설성 자원에 포함된 광물들의 상대적인 무게 차이를 이용하여 쇄설성 자원을 적어도 2개의 광물군인 중광물과 경광물로 분리하는 비중선별단계, 서로 다른 크기의 자력을 가지는 복수의 자석이 배치되어 있는 경로로 비중선별단계에서 분리된 중광물을 연속적으로 이동시키면서, 중광물 내의 광물들이 가지는 자성의 차이에 따라 복수의 자석에 선택적으로 부착되는 것을 이용하여 중광물을 복수의 광물군으로 분리하는 자력선별단계 및 자력선별단계에서 분리된 각 광물군에 포함된 광물들의 전기적 성질의 차이를 이용하여 복수의 광물군 중 적어도 하나의 광물군으로부터 목표광물을 다시 선별하는 정전선별단계를 포함하여 이루어진다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

배인국

대전광역시 서구 둔산북로 215, 7동 501호 (둔산동, 가람아파트)

김정윤

대전광역시 서구 만년로 45, 103동 1504호 (만년동, 초원아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 NP2010-014

부처명 국토해양부

연구사업명 해양수산연구개발사업

연구과제명 해사 중 유용광물 회수기술개발

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2010.05.01 ~ 2013.04.30

특허청구의 범위

청구항 1

해사 또는 강사를 포함하는 쇄설성 자원으로부터 유용광물을 회수하기 위한 것으로서,

상기 쇄설성 자원에 포함된 광물들의 상대적인 무게 차이를 이용하여 상기 쇄설성 자원을 적어도 2개의 광물군인 중광물과 경광물로 분리하는 비중선별단계;

서로 다른 크기의 자력을 가지는 복수의 자석이 배치되어 있는 경로로 상기 비중선별단계에서 분리된 중광물을 연속적으로 이동시키면서, 상기 중광물 내의 광물들이 가지는 자성의 차이에 따라 상기 복수의 자석에 선택적으로 부착되는 것을 이용하여 상기 중광물을 복수의 광물군으로 분리하는 자력선별단계; 및

상기 자력선별단계에서 분리된 각 광물군에 포함된 광물들의 전기적 성질의 차이를 이용하여 상기 복수의 광물군 중 적어도 하나의 광물군으로부터 목표광물을 다시 선별하는 정전선별단계;를 포함하여 이루어지며,

상기 자력선별단계에서는 복수의 자석이 배치되되, 상기 자석들 중 상대적으로 가장 센 자력을 가지는 제1자석, 상대적으로 가장 작은 자력을 가지는 제2자석, 상기 제1자석과 제2자석의 자력 사이의 자력을 가지는 제3자석이 순차적으로 배치되며,

상기 비중선별단계에서 분리된 상기 중광물은 상기 제1자석 내지 상기 제3자석이 순차적으로 배치된 경로를 통과하며 분리되며,

상기 제1자석에 부착된 광물들은 상기 제2자석이 배치된 영역으로 이송하고 부착되지 않은 광물은 분리하여 수집하며, 상기 제2자석에 부착되지 않은 광물은 상기 제3자석이 배치된 영역으로 이송하며 부착된 광물은 분리하여 수집하고, 최종적으로 상기 제3자석에 부착된 광물과 부착되지 않은 광물을 분리하여 수집하고,

상기 제1자석과 제2자석 사이에 전자석이 배치되며, 상기 제1자석의 자력은 10,000~11,500G(가우스)이며, 상기 제2자석의 자력은 2,500~4,000G이며, 상기 제3자석의 자력은 5,000~7,000G이며, 상기 전자석의 자력은 1000~4000G 범위인 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 비중선별단계에서는,

상하방향으로 배치되며 나선형의 수로가 형성되어 있으며, 상기 수로의 하부측 출구에는 상기 수로의 폭 방향을 따라 2개의 격벽부재가 설치된 비중선별장치를 설치하고,

상기 쇄설성 자원에 물을 혼합한 혼합액을 상기 나선형 수로를 따라 상부에서 하부로 흘러가게 하여 상기 쇄설성 자원 내에 포함된 광물들이 상대적 무게 차에 의해 상기 수로의 폭 방향을 따라 분산되게 함으로써, 상기 쇄설성 자원 내 광물들은 상기 격벽부재에 의하여 중광물, 중간광물 및 경광물로 분산되도록 하며,

상기 중광물은 수거하고, 상기 중간광물 단독으로 또는 상기 중간광물과 경광물을 혼합하여 다시 상기 비중선별장치에 투입함으로써, 상기 중간광물과 경광물 내에 일부 잔존하는 중광물을 선별함으로써, 선별공정을 연속적으로 수행하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 비중선별장치는 연속적으로 복수 개 배치되며,

상기 비중선별장치에 의한 비중선별시 상기 중간광물 또는 경광물로 분류된 광물들은 연속적으로 배치된 다른 비중선별장치에 투입되어 잔존하는 중광물을 선별함으로써, 선별공정을 연속적으로 수행하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 비중선별단계에서 얻어진 중광물을 자력선별함에 있어서,

상기 제1자석에 부착되지 않고 수집되는 목표광물은 저어콘을 포함하며,

상기 전자석에 부착되어 수집되는 목표광물은 마그네타이트를 포함하며,

상기 제2자석에 부착되어 수집되는 목표광물은 일메나이트를 포함하며,

상기 제3자석에 의하여 부착되지 않고 수집되는 목표광물은 모나자이트를 포함하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 제1자석에 부착된 후 상기 제2자석이 배치된 영역으로 이송되기 위해 상기 제1자석으로부터 분리된 광물들의 잔류자기를 탈자기에 의하여 제거하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 자력선별단계는 자력선별기에 의하여 수행되며,

상기 자력선별기는,

일방향으로 순환되는 이송벨트와, 상기 이송벨트의 일단부 내주면에 구름접촉되는 원통형 자석을 구비하여, 상기 이송벨트의 상부에서 일방향으로 이송되던 광물 중 일부는 상기 이송벨트의 단부에서 상기 자석의 자력에 의하여 부착되지 않고 상기 이송벨트로부터 이탈되며, 상기 광물 중 나머지 일부는 상기 이송벨트의 단부에서 상기 자석의 자력에 의하여 부착되어 상기 이송벨트의 하부로 이송된 후 상기 이송벨트로부터 이탈되는 분리유닛을 포함하여 이루어지며,

상기 자력선별기에는 상기 분리유닛이 복수 개 배치되어, 상기 광물의 진행경로 상 선단에 배치된 분리유닛의 이송벨트에서 자력에 의하여 두 부분으로 분리되어 이탈된 광물 중 어느 한 부분의 광물을 상기 광물의 진행 경로 상 후단에 배치된 분리유닛이 공급받아 다시 자력에 의하여 분리하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

정전기력에 의해 상기 각 분리유닛의 이송벨트의 하부에 부착되어 있는 상기 광물에 음이온을 공급하여 상기 광물이 상기 이송벨트로부터 분리되도록 하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 각 분리유닛의 이송벨트 하부에는 부착되어 있는 상기 광물을 향해 바람을 불어 넣어 상기 광물이 상기 이

송벨트로부터 분리되도록 하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 정전선별단계에서는 상기 자력선별단계에서 분리된 광물군을 다시 세분하기 위하여, 상기 광물군 내 포함된 광물들의 전기전도성의 차이를 이용하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 정전선별단계에서는 상기 자력선별단계에서 분리된 광물군을 다시 세분하기 위하여, 상기 광물군들 내의 광물들이 마찰되면서 서로 다른 극성으로 대전시킨 후, 상기 대전된 광물들이 음전극과 양전극 사이를 통과하게 하면서 분리하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 정전선별단계에서는 상기 자력선별단계에서 분리된 광물군을 다시 세분하기 위하여, 상기 광물군들 내의 광물에 하전을 가하고, 상기 광물들이 양전극과 음전극 사이를 통과하게 하면서 상기 광물들에 하전된 전하량의 차이를 이용하여 상기 광물군을 분리하는 것을 특징으로 하는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 유용광물을 회수하기 위한 기술에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 강사 또는 해사와 같은 쇄설성(碎屑性) 자원에 포함되어 있는 다양한 유용광물을 모래로부터 분리하여 회수하기 위한 공정에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 티탄철석(ilmenite), 루틸(rutile), 저어콘(zircon), 실리마나이트(silimanite), 모나자이트(monazite) 등의 유용광물은 여러 종류의 산업에 있어서 필수적인 원료로 활용된다. 즉, 티탄철석의 경우 용접봉이나 특수자성 재료 또는 자외선차단안료로 이용되고, 저어콘은 세라믹이나 고급베어링, 불밀에 사용된다. 특히 모나자이트의 경우 란타늄, 세륨, 사마리움 등 산업의 비타민이라고 불리는 희토류 원소를 다량 함유하고 있다.

[0003] 그러나 우리나라에서는 상기 광물들을 거의 전량을 수입에 의존하고 있는 실정이며, 근래에는 세계적으로 원료 광물의 가격이 폭등하여 가격이 대폭 상승하고 있는 추세이다. 예를 들어, 루틸과 실리마나이트의 경우 1톤당 200불, 저어콘의 경우 1톤당 900불에 육박하고 있다. 더욱이, 최근 자원 보유국의 자원 무기화 추세의 확산에 따라, 자원 보유국들은 수출세 인상, 외자의 자원개발 참가 규제 등의 수출 억제정책 확대를 통해 자국 자원의 수출방지를 강구하고 있는 실정이다.

[0004] 반면, 우리나라의 경우 고부가가치 산업에서 다양하게 활용되는 희유광물이 육상에 거의 존재하지 않기 때문에 각종 핵심 소재 및 부품을 거의 전량 해외에서 수입하는 바, 선진국 및 자원 보유국의 자원 무기화와 독점적 가격인상에 큰 영향을 받을 수 있다. 이에 국내의 희유광물에 대한 채취기술 개발이 요청되고 있으며, 그 일환으로 해사 또는 강사 등 쇄설성 자원에 대한 관심이 높아지고 있다.

[0005] 국내의 해안이나 강가에 있는 모래에는 티탄철석, 모나자이트 등의 유용광물이 함유되어 있는 것으로 조사되고 있다. 예컨대 해사 중 1.5%는 상기한 유용광물로 이루어져 있다고 알려져 있다. 한편, 2007년 건설부자료에 따르면 2300만톤의 해사가 건설재료 개발 및 사용된다고 보고되고 있으며, 2300만 톤에는 대략 50만톤의 유용광물이 포함되어 있으며, 이 유용광물의 경제적 가치는 2008년 기준 거의 1조에 달하는 것이다.

[0006] 이에 해사나 강사와 같은 쇄설성 자원이 골재에 섞여 건설재로 버려지는 것을 방지하고, 이들로부터 희유광물 등 유용광물을 회수하는 기술이 요청되고 있다. 무엇보다도, 모래 등 쇄설성 자원은 광산에서 채굴된 광석과 달리 이미 광물들이 단체분리되어 있다는 점과, 하나의 타겟 광물이 주로 분포하고 있는 광석과 달리 모래 내에는 다양한 종류의 유용 광물이 포함되어 있다는 점을 고려한 기술 개발이 요청된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기한 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 해사 또는 강사와 같은 쇄설성 자원에 포함되어 있는 유용 광물들을 효과적이며 경제적으로 분리할 수 있는 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법은 해사 또는 강사로부터 유용광물을 회수하기 위한 것으로서, 상기 쇄설성 자원에 포함된 광물들의 상대적인 무게 차이를 이용하여 상기 쇄설성 자원을 적어도 2개의 광물군인 중광물과 경광물로 분리하는 비중선별단계, 서로 다른 크기의 자력을 가지는 복수의 자석이 배치되어 있는 경로로 상기 비중선별단계에서 분리된 중광물을 연속적으로 이동시키면서, 상기 중광물 내의 광물들이 가지는 자성의 차이에 따라 상기 복수의 자석에 선택적으로 부착되는 것을 이용하여 상기 중광물을 복수의 광물군으로 분리하는 자력선별단계 및 상기 자력선별단계에서 분리된 각 광물군에 포함된 광물들의 전기적 성질의 차이를 이용하여 상기 복수의 광물군 중 적어도 하나의 광물군으로부터 목표광물을 다시 선별하는 정전선별단계를 포함하여 이루어진다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 비중선별단계에서는, 상하방향으로 배치되며 나선형의 수로가 형성되어 있으며, 상기 수로의 하부측 출구에는 상기 수로의 폭 방향을 따라 2개의 격벽부재가 설치된 비중선별장치를 설치하고, 상기 쇄설성 자원에 물을 혼합한 혼합액을 상기 나선형 수로를 따라 상부에서 하부로 흘려가게 하여 상기 쇄설성 자원 내에 포함된 광물들이 상대적 무게 차에 의해 상기 수로의 폭 방향을 따라 분산되게 함으로써, 상기 쇄설성 자원 내 광물들은 상기 격벽부재에 의하여 중광물, 중간광물 및 경광물로 분산되도록 하며, 상기 중광물은 수거하고, 상기 중간광물 단독으로 또는 상기 중간광물과 경광물을 혼합하여 다시 상기 비중선별장치에 투입함으로써, 상기 중간광물과 경광물 내에 일부 잔존하는 중광물을 분리한다.

[0010] 또한 본 발명의 일 실시예에서, 상기 비중선별장치는 연속적으로 복수 개 배치되며, 상기 비중선별장치에 의한 비중선별시 상기 중간광물 또는 경광물로 분류된 광물들은 연속적으로 배치된 다른 비중선별장치에 투입되어 잔존하는 중광물을 선별함으로써, 선별공정을 연속적으로 수행하는 것이 바람직하다.

[0011] 또한 본 발명의 일 실시예에서, 상기 자력선별단계에서는 복수의 자석이 배치되며, 상기 자석들 중 상대적으로 가장 센 자력을 가지는 제1자석, 상대적으로 가장 작은 자력을 가지는 제2자석, 상기 제1자석과 제2자석의 자력 사이의 자력을 가지는 제3자석이 순차적으로 배치되며, 상기 비중선별단계에서 분리된 상기 중광물은 상기 제1자석 내지 상기 제3자석이 순차적으로 배치된 경로를 통과하며 분리되며, 상기 제1자석에 부착된 광물들은 상기 제2자석이 배치된 영역으로 이송하고 부착되지 않은 광물은 분리하여 수집하며, 상기 제2자석에 부착되지 않은 광물은 상기 제3자석이 배치된 영역으로 이송하며 부착된 광물은 분리하여 수집하고, 최종적으로 상기 제3자석에 부착된 광물과 부착되지 않은 광물을 분리하여 수집한다.

[0012] 그리고 상기 제1자석과 제2자석 사이에 전자석이 배치될 수 있다.

[0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 제1자석의 자력은 10,000~11,500G(가우스) 이며, 상기 제2자석의 자력은 2,500~4,000G이며, 상기 제3자석의 자력은 5,000~7,000G이며, 상기 전자석의 자력은 1000~4000G 범위로 설정할 수 있다.

[0014] 그리고 상기 비중선별단계에서 얻어진 중광물을 자력선별함에 있어서, 상기 제1자석에 부착되지 않고 수집되는 목표광물은 저어콘을 포함하며, 상기 전자석에 부착되어 수집되는 목표광물은 마그네타이트를 포함하며, 상기 제2자석에 부착되어 수집되는 목표광물은 일메나이트를 포함하며, 상기 제3자석에 의하여 부착되지 않고 수집되는 목표광물은 모나자이트를 포함한다.

[0015] 한편, 본 발명의 일 실시예에서, 상기 제1자석에 부착된 후 상기 제2자석이 배치된 영역으로 이송되기 위해 상기 제1자석으로부터 분리된 광물들의 잔류자기를 탈자기에 의하여 제거하는 것이 바람직하다.

[0016] 또한 본 발명의 일 실시예에서는 자력선별기를 사용하며, 상기 자력선별기는, 일방향으로 순환되는 이송벨트와, 상기 이송벨트의 일단부 내주면에 구름접촉되는 원통형 자석을 구비하여, 상기 이송벨트의 상부에서 일방향으로 이송되던 광물 중 일부는 상기 이송벨트의 단부에서 상기 자석의 자력에 의하여 부착되지 않고 상기 이송벨트로부터 이탈되며, 상기 광물 중 나머지 일부는 상기 이송벨트의 단부에서 상기 자석의 자력에 의하여 부착되어 상

기 이송벨트의 하부로 이송된 후 상기 이송벨트로부터 이탈되는 분리유닛을 포함하여 이루어지며, 상기 자력선별기에는 상기 분리유닛이 복수 개 배치되어, 상기 광물의 진행경로 상 선단에 배치된 분리유닛의 이송벨트에서 자력에 의하여 두 부분으로 분리되어 이탈된 광물 중 어느 한 부분의 광물을 상기 광물의 진행 경로 상 후단에 배치된 분리유닛이 공급받아 다시 자력에 의하여 분리하는 것이 바람직하다.

[0017] 그리고 본 발명의 일 실시예에 따르면, 정전기력에 의해 상기 각 분리유닛의 이송벨트의 하부에 부착되어 있는 상기 광물에 음이온을 공급하여 상기 광물이 상기 이송벨트로부터 분리되도록 하며, 상기 각 분리유닛의 이송벨트 하부에는 부착되어 있는 상기 광물을 향해 바람을 불어 넣어 상기 광물이 상기 이송벨트로부터 분리되도록 하는 것이 바람직하다.

[0018] 한편, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 정전선별단계에서는 상기 자력선별단계에서 분리된 광물군을 다시 세분하기 위하여, 광물군 내 포함된 광물들의 전기전도성의 차이를 이용하거나, 상기 광물군들 내의 광물들이 마찰되면서 서로 다른 극성으로 대전시킨 후 상기 대전된 광물들이 음전극과 양전극 사이를 통과하게 하면서 분리할 수 있다.

[0019] 또한 본 발명의 일 실시예에서, 상기 정전선별단계에서는 상기 자력선별단계에서 분리된 광물군을 다시 세분하기 위하여, 상기 광물군들 내의 광물에 하전을 가하고, 상기 광물들이 양전극과 음전극 사이를 통과하게 하면서 상기 광물들에 하전된 전하량의 차이를 이용하여 상기 광물군을 분리할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에서는 해사 또는 강사와 같이 단체분리되어 있는 쇄설성 자원으로부터 회유광물 등과 같은 유용광물을 경제적이며 효율적으로 분리 및 회수할 수 있다는 이점이 있다.

[0021] 본 발명에서는 비중선별, 자력선별 및 정전선별을 이용하여 단일 광물 단위로 유용광물을 회수할 수 있어 회수되는 광물의 순도가 향상된다는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법에 대한 개략적 흐름도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에서 사용하는 나선형 비중선별장치의 개략적 사시도이다.

도 3은 도 2에 도시된 비중선별장치의 가이드부재에 대한 확대사시도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에서 사용하는 자력선별기의 개략적 구성이 나타나 있는 측면도이다.

도 5는 도 4에 도시된 자력선별기의 평면도이다.

도 6은 도 4에 도시된 자력선별기의 정면도이다.

도 7은 중광물 내의 유용광물 함유량과 자성 감응도를 나타낸 표이다.

도 8은 목표광물을 선별하기 위한 자석의 세기를 나타낸 표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법에 대하여 더욱 상세히 설명한다.

[0024] 본 발명에서 처리 대상이 되는 쇄설성 자원이라 함은 암석이나 광물들의 부서진 조각으로 주로 구성되는 것을 말하며, 광석과 달리 분쇄할 필요가 없이 입자들이 이미 단체분리되어 있는 특징이 있다. 본 발명에서의 처리 대상은 이러한 쇄설성 자원을 모두 포함하는 것이지만, 본 실시예에서는 바다나 강에 분포하는 모래, 즉 해사나 강사를 대상으로 하여 설명하기로 한다.

[0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법에 대한 개략적 흐름도이다.

[0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 쇄설성 자원 내 유용광물 회수방법(M100)은 비중선별단계(M20), 자력선별단계(M30) 및 정전선별단계(M40)를 포함한다.

[0027] 우선, 분리대상이 되는 해사 또는 강사(이하, '해사' 또는 '강사'를 통칭하여 '원사'라고 함)를 바다 또는 강 바닥에서 채취한다. 이렇게 채취된 원사는, 도 1에 나타나 바와 같이, 스크리닝을 통해 입자의 크기에 따른 분

류를 수행한다. 구체적으로는 체망을 사용하여 스크리닝(screening)을 행함으로써 대략 직경 2mm 이하의 입자만을 분리해낸다. 2mm 초과하는 입자는 암석 등 불순물이거나 단체분리가 되어 있지 않은 것이므로 제거하는 것이 바람직하다.

- [0028] 스크리닝이 끝나면, 비중선별단계(M20)를 수행한다. 본 실시예에서 비중선별단계(M20)는 1차 비중선별(M21)과 2차 비중선별(M22)로 나누어진다.
- [0029] 비중선별(은 원사 내에 포함되어 있는 광물들 사이의 상대적인 무게차를 이용하는 것이다. 즉, 원사에는 모래 성분과 같은 가벼운 광물들과 일메나이트, 모나자이트, 루틸, 저어콘 등의 무거운 광물들이 혼재해 있다. 원사의 산지와 특성에 따라서 함량비는 차이가 있지만, 일반적으로 원사 100kg을 기준으로 하면 가벼운 모래 성분이 대략 95~96kg 정도의 함량으로 포함되며, 무거운 광물이 대략 4~5kg 정도의 함량으로 포함된다. 본 발명에서 타겟이 되는 광물은 모나자이트 등의 무거운 광물이며, 이러한 무거운 광물들은 주로 유용광물을 이룬다.
- [0030] 원사 내 다양한 성분들의 무게의 차이를 이용한 분리방법은 다양한데, 본 실시예에서는 도 2 및 도 3에 도시된 나선형 비중선별장치(100)를 이용하여 비중선별을 실시한다. 도 2는 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 나선형 비중선별장치의 개략적 사시도이며, 도 3은 도 2에 도시된 나선형 비중선별장치의 가이드부재에 대한 확대사시도이다.
- [0031] 본 실시예에서 사용하는 나선형 비중선별장치(100)는 나선형(spiral)의 수로를 통해 원사가 하강하는 과정에서 비중에 의하여 원사가 분리되는 것을 이용하는 것이다.
- [0032] 도 2 및 도 3을 참조하면, 나선형 비중선별장치(100)는 스파이럴 본체(10)와 격벽부재(20)를 구비한다.
- [0033] 스파이럴 본체(10)는 원사와 물이 혼합되어 있는 혼합액이 흘러가는 수로 역할을 수행하는 것으로서, 전체적으로 상하방향을 따라 길게 형성되어 상측에는 혼합액이 유입되는 입구부(11)가 마련되며, 하측에는 혼합액이 유출되는 출구부(12)가 마련된다. 입구부(11)와 출구부(12) 사이에는 수로부(13)가 마련된다. 스파이럴 본체(10)를 지지하기 위하여 스파이럴 본체(10)의 중앙부에는 지지봉(70)이 끼워져 있다.
- [0034] 또한 혼합액이 스파이럴 본체(10)의 입구부(11)로 유입되어 출구부(12)로 유출되는 과정에서 비중에 의하여 분리될 수 있도록, 스파이럴 본체(10)의 수로부(13)는 나선형으로 형성된다. 즉, 입구부(11)로 유입된 혼합액은 나선형으로 형성된 수로부(13)를 따라 회전하면서 출구부(12)측으로 유동되므로, 원심력에 의하여 비중이 작은 입자들은 수로부(13)의 폭 방향을 따라 외측으로 점차 밀려나가게 되고, 비중이 큰 입자들은 수로부(13)의 폭 방향을 따라 내측에 잔류하게 된다. 이에, 수로부(13)를 거쳐 출구부(12)에 도달한 혼합액은 수로부(13)의 폭 방향을 따라 분산되어 내측에는 무거운 입자들이 모여 있으며, 외측에는 가벼운 입자들이 모여 있게 된다. 원사 중 모래성분은 가벼우며, 유용광물들은 무거우므로, 출구부(12)의 내측에는 유용광물들이 집중된다.
- [0035] 일반적으로 유용광물을 포함하는 무거운 입자들은 어두운 색을 띠게 되고, 모래를 주성분으로 하는 가벼운 입자들은 백색을 띤다. 스파이럴 본체(10)의 출구부를 통해 배출되는 혼합액을 관찰하면, 수로부(13)의 내측은 어두운 색을 띠고 있으며, 외측은 밝은 색을 띤다.
- [0036] 그리고 출구부(12)에는 비중에 의하여 수로부(13)의 폭 방향을 따라 차례로 배열된 혼합액을 분리하여 배출시킬 수 있도록 격벽부재(20)가 설치된다. 격벽부재(20)는 출구부(12)에 하나만 배치될 수도 있지만, 본 장치에서는 출구부(12)의 폭 방향을 따라 2개 배치하여 혼합액은 비중에 따라 3개의 군으로 분리되어 배출된다. 이하에서는 3개의 군 중 내측에 배치되는 무거운 군을 중광물, 수로의 외측에 배치되는 가벼운 군을 경광물, 수로의 가운데에 배치되는 광물을 중간광물로 호칭한다.
- [0037] 물론, 좀 더 세분하여 혼합액을 분리하고자 하는 경우 격벽부재를 3개 이상 배치할 수도 있다.
- [0038] 격벽부재(20)에 의하여 복수의 갈래로 상호 분리된 혼합액이 각각 외부로 배출될 수 있도록 복수의 가이드관(41)이 구비되어 있는 가이드부재(40)가 스파이럴 본체(10) 출구부(12)의 하측에 설치된다. 각 가이드관(41)에는 배출관(42)이 연결된다. 중광물은 배출관(42)을 통해 별도의 저장조(미도시) 등에 수집된다.
- [0039] 그러나, 중간광물 또는 경광물은 한 번의 비중선별단계(M20) 후에 폐기되는 것이 아니라 재차 비중선별을 수행한다. 즉, 중간광물 또는 경광물로 분리된 광물들 중에는 유용광물이 일부 잔류할 수 있기 때문에, 1회 내지 2회에 걸쳐 다시 비중선별을 수행함으로써 유용광물이 중간광물과 경광물에 포함되어 폐기되지 않도록 한다.
- [0040] 이를 위하여, 본 실시예에서는 비중선별장치(100)를 복수 개 배치하여, 중간광물 또는 경광물로 분류된 광물들에 대하여 비중선별을 다시 수행한다. 이렇게 2회 또는 3회의 비중선별을 거친 후 최종적으로 경광물로 중간광

물로 분류된 광물들은 골재 등으로 사용되며, 중광물은 후속 공정에 투입된다.

- [0041] 다만, 본 실시예에서는 중광물만을 후속공정에 투입하지만, 실시예에 따라서는 중간광물과 중광물을 후속공정에 투입할 수도 있다. 또한 하나의 격벽부재만을 이용하여 광물을 경광물로 중광물의 2개로만 분류하는 경우에는 중광물만을 후속공정에 투입할 수 있다. 즉, 비중선별에 의하여 수로부(13)의 폭 방향을 따라 분산된 광물들을 몇 개의 군으로 분류하고, 분류된 군에서 어떤 군을 후속 공정에 투입할 것인지는 원사의 조건에 따라 적절하게 선택될 수 있다.
- [0042] 한편, 다른 실시예에서는 분리효율을 향상시키기 위하여, 스파이럴 본체(10)의 수로부(13)의 중간에 배출구(미도시)를 형성하여 혼합액이 하강하는 수로부(13)를 따라 하강하는 중간에 일부의 혼합액(가벼운 광물을 포함)을 외부로 배출시킬 수도 있다.
- [0043] 상기한 바와 같은 1차 비중선별(M21)이 완료되면, 중광물에 대해서 이른바 셰이킹 테이블(shaking table, 미도시)을 이용하여 2차 비중선별(M22)을 수행할 수 있다. 많은 실험적 고찰을 수행한 결과, 1차 비중선별에 의해 중광물로 분류된 광물들 내에도 대략 30% 정도의 모래 성분이 남아 있는 바, 2차 비중선별을 통해 모래성분 등 가벼운 광물들을 제거할 수 있다.
- [0044] 셰이킹 테이블은 경사진 테이블을 일정하게 왕복이동시키면서 진동을 발생시켜 중광물을 다시 상대적으로 무거운 광물과 가벼운 광물로 분리하게 된다.
- [0045] 셰이킹 테이블은 일측면이 타측보다 긴 직사각형 형상으로 우측 상부의 모서리가 가장 높은 위치에 놓이고, 좌측 하부의 모서리가 가장 낮은 위치에 놓이도록 배치된다. 그리고 직사각형에서 두 개의 긴 변이 상변과 하변을 이루며, 두 개의 짧은 변이 양측면을 형성한다. 그리고 표면에는 요철이 형성되어 있다.
- [0046] 상기한 구성의 셰이킹 테이블이 모터 등에 의해 진동하는 가운데, 우측 상부 모서리로부터 중광물과 물을 혼합한 혼합액을 셰이킹 테이블에 공급하면 가벼운 광물들은 셰이킹 테이블의 좌측 하부 모서리에 근접하게 이동되지만, 무거운 광물들은 하변으로 이동하게 된다. 결국, 셰이킹 테이블의 하변을 따라 무게별로 광물이 분산하게 된다.
- [0047] 이에 하변에서 우측으로 이동된 광물들은 주로 유용광물이며, 좌측으로 이동된 광물들은 가벼운 모래 성분으로 파악하여 이들을 분리하여 수거함으로써 중광물만을 수집할 수 있다. 다만, 2차 비중선별(M22)은 필요에 따라 선택적으로 수행하면 된다.
- [0048] 상기한 바와 같이, 비중선별단계(M20)가 완료되면 자력선별단계(M30)를 수행한다. 비중선별단계(M20)는 이송비용 등 경제성을 고려하여 원사를 채취하는 현장에서 수행하는 것이 바람직하며, 후속공정인 자력선별단계(M30)와 정전선별단계(M40)는 현장에서 수행할 수도 있지만, 플랜트 등 자력선별 공정에 안정적인 환경을 제공할 수 있는 곳으로 중광물을 이송하여 수행할 수도 있다.
- [0049] 자력선별단계(M30)에서는 중광물 내에 포함되어 있는 다양한 광물들의 자성의 차이를 이용하여 분리를 수행한다. 보다 구체적으로는 자석의 세기에 따라 그 자석에 부착되는 광물들이 달라지는 원리를 이용한다. 뒤에서 상세하게 설명하겠지만, 광물의 이러한 성질을 자성 감응도라고 하는데, 예컨대 감응도가 센 마그네타이트의 경우 매우 약한 자력을 가진 자석에도 부착될 수 있지만, 모나자이트의 경우 매우 강한 자력을 지닌 자석에만 부착되는 특징이 있다. 자력선별단계(M30)에서는 위와 같은 광물들의 자성 차이를 이용한다.
- [0050] 자석을 이용한 자력선별은 다양한 장치와 방법에 의해 수행될 수 있는데, 본 실시예에서는 연속적인 공정에 의해 중광물로부터 복수의 그룹으로 광물을 분류할 수 있도록 구조가 개선된 자력선별기를 사용한다.
- [0051] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 자력선별기와 함께 자력선별단계(M30)에 대해서 상세하게 설명한다.
- [0052] 도 4는 본 발명의 일 실시예에서 사용하는 자력선별기의 개략적 구성이 나타나 있는 측면도이며, 도 5는 도 4에 도시된 자력선별기의 평면도이고, 도 6은 도 4에 도시된 자력선별기의 정면도이다.
- [0053] 도 4 내지 도 6을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에서 사용하는 자력선별기(200)는 피더(210)와 제1~3분리유닛(220, 230, 240) 및 교차분리유닛(250)을 구비하여 이루어진다.
- [0054] 피더(210)는 선별의 대상이 되는 원료, 즉 원사에서 분리된 중광물을 일시적으로 수용하며, 후술할 제1분리유닛(220)으로 공급하기 위한 것이다. 피더(210)의 내부에는 중광물(s)가 일시적으로 수용되는 수용부가 형성된다. 수용부의 하부에는 배출부가 형성되며, 이 배출부는 마개(미도시)에 의하여 개폐됨으로써 피더(210)로부터 중광물이 배출될 수 있다. 피더(210)에서는 일정한 속도와 일정한 양의 중광물(s)을 후술할 제1분리유닛(220)으로

공급한다.

- [0055] 피더(210)로부터 배출된 중광물(s)은 배출가이드(211)에 의하여 가이드되어 제1분리유닛(220)으로 이송되는데, 이 배출가이드(211)는 판 형상으로 하방향으로 경사지게 배치되어 있다. 또한, 배출가이드(211)는 좌우방향으로 진동됨으로써, 배출가이드(211)의 상면에 놓여진 중광물(s)이 좌우의 폭 방향으로 넓게 퍼질 수 있도록 한다.
- [0056] 본 자력선별기(200)는 복수의 분리유닛을 구비하는데, 제1분리유닛(220), 제2분리유닛(230) 및 제3분리유닛(240)의 3개를 구비한다. 3개의 분리유닛은 상하방향을 따라 배치된다. 즉, 제1분리유닛(220)이 가장 높은 곳에 배치되며, 제2분리유닛(230)은 가운데, 제3분리유닛(240)이 가장 낮은 곳에 배치된다.
- [0057] 피더(210)로부터 배출된 중광물(s)은 제1분리유닛(220)으로부터 제2분리유닛(230)을 거쳐 제3분리유닛(230)까지 진행되는 경로를 형성하는데, 각 분리유닛을 통과할 때마다 자성에 따라 중광물(s)의 일부가 분리되는 구성이다. 즉, 제1분리유닛(220)에서 자성의 크기에 따라 2부분으로 분리된 중광물 중 일부는 수집기(229)에 의하여 수집되고, 나머지 일부는 다시 제2분리유닛(230)으로 공급된다. 제2분리유닛(230)에서는 해사는 다시 자성의 세기에 따라 2부분으로 나누어져 일부는 수집기(239)에 수집되고 다른 일부는 제3분리유닛(240)으로 공급된다. 최종적으로 제3분리유닛(240)에서는 자성의 세기에 따라 각각 별도의 수집기(248) 및 수집기(249)에 수집된다. 본 실시예에서는 3개의 분리유닛을 설치하였지만, 다른 실시예에서는 2개, 4개, 5개 등 다양한 개수로 분리유닛을 설치할 수 있다.
- [0058] 제1분리유닛(220), 제2분리유닛(230) 및 제3분리유닛(240)은 각각 다르게 호칭되지만 실질적으로는 동일한 구성을 가지고 있으며, 다만 자석의 세기만이 다를 뿐이다.
- [0059] 즉 제1~3분리유닛(220, 230, 240)은 각각 이송벨트(221, 231, 241)를 구비한다. 이송벨트(221, 231, 241)의 일단부 내측에는 각각 원통형의 제1자석(222), 제2자석(232) 및 제3자석(242)이 배치되어 폴리(중동폴리)와 같은 작용을 수행한다. 그리고 각 분리유닛의 타단부에 배치된 폴리(223, 233, 243)에는 모터(미도시)가 연결되어 폴리(223, 233, 243)를 회전시킴으로써 이송벨트(221, 231, 241)를 순환시키는 구동력을 제공한다. 한편, 폴리 역할을 함께 수행하는 원통형 자석(222, 232, 242)은 고정되게 설치되는 것이 아니라, 자력의 세기가 다른 원통형 자석으로 교체가능하다.
- [0060] 또한, 제1, 2분리유닛(220, 230)은 각각 하나의 수집기(229, 239)를 구비하지만, 중광물의 진행 경로 상 최말단에 배치된 제3분리유닛(240)은 2개의 수집기(248, 249)를 구비한다.
- [0061] 각 분리유닛과 수집기 사이에는 각 분리유닛으로부터 배출된 광물들을 수집기 또는 다른 분리유닛으로 가이드하기 위한 가이드대가 설치된다. 예컨대, 제1분리유닛(220)의 하측에는 수집기(229)와 제2분리유닛(230)이 배치되는데, 제1분리유닛(220)의 이송벨트(221)와 수집기(229) 사이 및 제1분리유닛(220)의 이송벨트(221)와 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231) 사이에는 각각 가이드대(225, 226)가 설치된다. 이 가이드대(225, 226)는 판 형상으로 하향 경사지게 배치되어, 제1분리유닛(220)의 이송벨트(221)로부터 배출되는 광물들을 각각 수집기(229) 및 제2분리유닛(230)으로 가이드한다. 마찬가지로 제2분리유닛(230)에서도 가이드대(235, 236)가 설치되며, 제3분리유닛(240)에도 2개개의 수집기(248, 249)로 광물을 가이드하는 가이드대(245, 246)가 설치된다.
- [0062] 각 분리유닛의 이송벨트를 따라 이송되는 중광물(s)은 이송벨트의 단부에 위치한 원통형의 제1, 2, 3자석의 상측을 통과하게 되는데, 이 자석의 자력에 영향을 받지 않는 광물은 이송벨트의 단부에서 분리유닛을 이탈하게 된다. 그러나, 자석의 자력에 반응하는 광물은 계속적으로 이송벨트에 부착되어 하측으로 이동을 하게 되며, 자력의 영향을 벗어나면 비로소 이송벨트로부터 하방으로 낙하하게 된다.
- [0063] 즉, 각 분리유닛에 설치된 자석에 부착되는 광물은 이송벨트에 부착된 상태로 이송벨트가 하방으로 이동된 후에 이송벨트로부터 분리되지만, 자석에 부착되지 않는 광물은 이송벨트가 상부에서 하부로 이동되는 순간 이송벨트로부터 분리됨으로써, 광물들은 자성에 따라 2부분으로 분리된다.
- [0064] 한편, 제1분리유닛(220)의 이송벨트(221)와 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231) 사이에 설치된 가이드대(226)의 하단에는 탈자기(270, demagnetizer)가 설치된다. 후술하겠지만, 본 실시예에서는 제1분리유닛(220)에 설치된 제1자석(222)의 자력은 11,000가우스로 다른 분리유닛들에 설치된 제2, 3자석의 자력(1,000~7,000가우스)보다 매우 크다.
- [0065] 즉, 제1분리유닛(220)에 설치된 제1자석(222)에 한 번 부착된 후 제2분리유닛(230)으로 이송된 광물에는 제1분리유닛(220)의 제1자석(222)에 의한 잔류자기가 남아 있게 되며, 이렇게 광물에 남아 있는 잔류자기는 제2분리

유닛(230)의 제2자석에 의한 정확한 분리작용을 방해하게 된다.

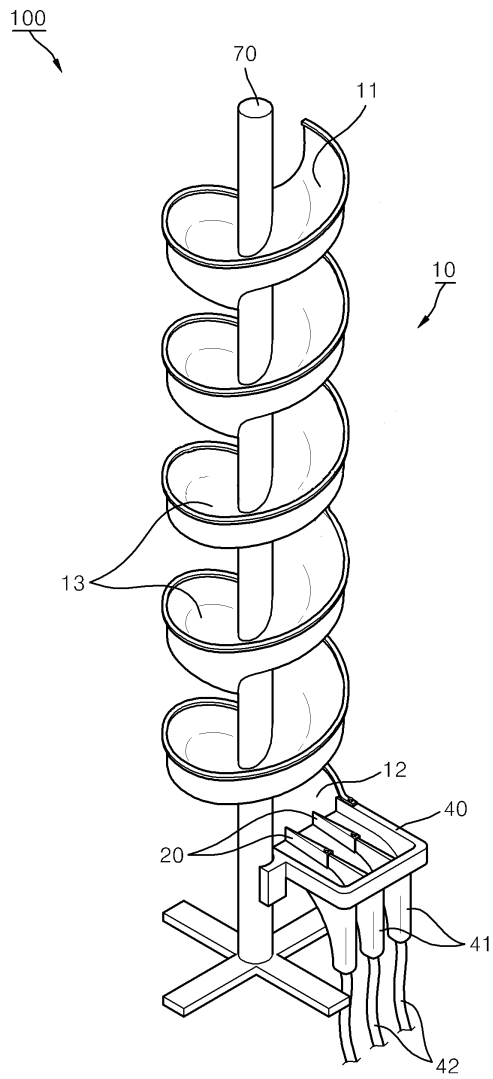
- [0066] 이에 제1분리유닛(220)으로부터 제2분리유닛(230)으로 이송되는 과정에서 가이드대(226)의 하방에 공지의 탈자기(270)를 설치하여, 광물에 남아 있는 잔류자기를 제거한다. 즉, 자력이 큰 자석에 의하여 광물이 자화되어 광물 내 입자가 N극과 S극으로 분리되어 정렬되어 있는 형태를 탈자기에 의해 배열을 교란시키는 것이다. 본 장치에서는 제1분리유닛과 제2분리유닛 사이에 탈자기가 설치되었지만, 본 발명에 따른 자력분리단계를 수행함에 있어서 광물의 진행 경로 상 가장 큰 자력을 가지는 자석의 후단에서 광물에 남아 있는 잔류자기를 제거하면 된다.
- [0067] 또한, 제1,2,3분리유닛(230,230,240)의 각 이송벨트(221,231,241)의 하부에는 이오나이저(i)와 블로워(b)가 부착되어 이송벨트의 하면을 향해 전하와 공기를 공급한다. 중광물이 이송되는 과정에서 광물이 정전기력에 의해 이송벨트에 부착될 수 있다. 즉, 이송벨트의 상부로부터 자석의 영역을 통과하여 하부로 가면 광물들은 중력에 의해 이송벨트로부터 이탈해야 되는데, 정전기력에 의해 광물이 계속 이송벨트에 부착된 상태를 유지할 수 있다. 이에 본 발명에서는 이오나이저(i)에서 전하를 이송벨트의 하부로 공급함으로써, 이송벨트의 하부에 부착되어 있는 광물에 전하를 부여하여 정전기력이 해제되도록 한다.
- [0068] 그리고, 물리적인 힘을 가할 수 있도록 공기를 이송벨트 하부로 불어 넣도록 블로워(b)를 배치한다.
- [0069] 한편, 본 발명에 사용되는 자력선별기(200)는 교차분리유닛(250)을 구비한다. 교차분리유닛(250)은 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231) 상부에 설치되는 것으로서, 교차이송벨트(251)와 두 개의 폴리(252,253)를 구비한다. 교차이송벨트(251)는 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231)와 교차하게 배치되며, 두 개의 폴리(252,253)는 교차이송벨트(251)의 양단부 내측에 감기어 교차이송벨트(251)와 구름접촉된다. 모터(미도시)에 의하여 회전되는 폴리(252)에 의하여 교차이송벨트(251)는 순환된다.
- [0070] 그리고 교차분리유닛(250)의 내측에도 자석(254)이 설치된다. 이 자석(254)의 하면은 교차이송벨트(251)의 하면에 근접하여 대면하게 배치된다. 이에 따라, 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231)를 따라 이송되는 광물 중 일부는 교차분리유닛(250)에 설치된 자석(254)의 자력에 흡인되어 교차이송벨트(251)에 부착된다.
- [0071] 지금까지 설명한 바와 같이, 상기한 구성으로 이루어진 자력선별기(200)는 제1~3분리유닛(220,230,240)과 교차분리유닛(250)을 구비하여 광물에 대해서 4번의 분리작용을 수행하는데, 4번의 분리작용이 각각 유의미하게 진행되어 광물 내에 혼합되어 있는 유용광물이 세밀하게 선별되기 위해서는 각 분리유닛(220~250)에 부착된 자석의 자력 세기를 유용광물의 특성에 맞게 설정할 필요가 있다. 즉, 각 유용광물이 자력에 영향을 받는 정도에 대한 기술적, 실증적 데이터가 확보되어야 각 분리유닛에 설치될 자석의 자력을 설정할 수 있다.
- [0072] 자성에 대하여 간략하게 설명한다. 자성은 자기량과 자기모멘트의 양에 의하여 표시하는데, 자석의 세기는 자기량 보다는 자기모멘트의 크기로 표시하는 것이 일반적이다. 자기 모멘트 (Magnetic Moment)는 크기와 방향을 가지는 벡터량으로 방향은 S (-) 극에서 N (+) 극으로 향한다. 일반적으로 자기 모멘트 (자기 Spin) 의 배열에 따라 강자성 (Ferro-Magnetism), 반강자성 (Antiferro-Magnetism), 상자성 (Para-Magnetism), 반자성 (Dia-Magnetism) 으로 분류한다. 자기모멘트가 한쪽 방향으로 배열되어 있으면 힘이 매우 강하며, 페로 마그네티즘 (Ferro-Magnetism) 이라고 한다. 자기 Spin 의 자기 모멘트가 이웃하는 자기 모멘트와 서로 반대방향으로 배열되지만 자기 모멘트의 크기가 달라서 그 차이만큼 자화되는 자성은 페리 마그네티즘 (Ferri Magnetism)으로 분류한다. 또한, 자기 Spin 의 자기모멘트가 이웃하는 것과 크기는 같으나 방향이 반대로 배열되어 전체적인 자기모멘트가 0 이 되는 자성은 반강자성 (Antiferro-Magnetism)이라고 하고, 자기 Spin 의 방향성이 없어 자체적으로 자기의 세기가 없으나, 외부 자기장의 방향과 같은 방향으로 정렬시킴으로써 내부 자기장의 세기를 증가시키는 성질을 갖는 물질을 상자성 (Para-Magnetism), Spin 이 없어 미약한 음의 대자율을 갖는 것을 반자성 (Dia-Magnetism)으로 분류한다. 또한, 자기모멘트는 자성감응도, 자기장의 세기 및 입자직경에 의하여 일정한 수식으로 구해지기도 한다.
- [0073] 위와 같은 분류체계에 의하여 유용광물을 분류한 표가 도 7에 나타나 있다. 도 7은 비중선별에서 분리된 중광물에 포함된 유용광물의 함유량과 자성 감응도를 나타낸 표이다. 도 7의 표를 참조하면, 용광물에는 일메나이트와 마그네타이트가 가장 많이 포함되어 있으며, 모래 성분으로 분류될 수 있는 규사와 실리마나이트도 다수 포함되어 있다. 자성으로 볼 때 마그네타이트와 일메나이트가 가장 큰 자성감응도를 가지며, 저어콘과 루타일은 거의 비자성체임을 알 수 있다.
- [0074] 중광물 내의 함유량을 함께 고려하면, 중광물로부터 주요하게 분리 및 회수해야 할 유용광물은 마그네타이트, 일메나이트, 저어콘, 루타일 및 모나자이트이다.

- [0075] 본 출원인은 앞에서 기술한 자력의 세기, 유용광물의 감응도 등에 관한 기술적 고찰에 근거하여, 중광물로부터 선별하고자 하는 목표광물에 적용될 자력의 세기를 결정(각 분리유닛에 설치되는 자석의 세기를 결정하는 것과 동일)하기 위하여 많은 실험을 수행하였다. 대표적인 실험 예를 설명한다.
- [0076] 영종도에서 채취한 해사를 비중선별 한 후 4개의 시료(200g 1개 및 50g 3개)에 대하여, 1,000G로부터 11,000G 까지 자력을 가지는 여러 자석을 이용하여, 자력이 낮은 자석으로부터 순차적으로 높은 자력을 가지는 자석 순으로 배치하여 해사를 분류하는 방식과, 가장 센 자석을 먼저 배치한 후 그 뒤로는 자석이 낮은 순으로 배치하는 방식 등 다양한 배치방식을 통해 실험하였다. 자석은 1,500G, 3,000G, 5,000G, 7,000G 및 10,000G 등을 이용하였다.
- [0077] 본 실험에 의하여 확인한 결과, 10,000G 이상의 자력에서 특정하게 얻어질 수 있는 광물은 루타일 및 저어콘으로, 이들을 제외한 나머지 광물들은 10,000G의 자력에 모두 부착되었으나 이들은 부착되지 않았다. 10,000G가 기준점으로 작용할 수 있었다. 마찬가지로 3,000G를 기준으로 일메나이트를 선별할 수 있었고, 일메나이트는 4,000G, 에피도트는 7,000G 정도에서 유의미하게 분리할 수 있었다.
- [0078] 위와 같은 실증적 고찰을 기초로 최종적으로 중광물로부터 선별하고자 하는 목표광물을 결정하였으며, 이 목표광물을 선별하기 위한 자석의 세기도 결정하였다. 그 결과가 도 8의 표에 나타나 있다.
- [0079] 도 8의 표를 참조하면, 본 발명에서 자력선별기를 통해 분리하고자 하는 주요 목표광물은 크게 5개 분류인데, 강자성체인 마그네타이트, 중자성체인 일메나이트, 약자성체인 에피도트, 혼블렌드 및 헤마타이트, 그리고 약자성체인 루타일과 모나자이트 및 비자성체인 저어콘이다.
- [0080] 마그네타이트의 경우 강자성체로 1,000G 내지 2,000G의 약한 자력에도 자석에 부착된다. 이에 2,000G 이상의 높은 자석을 사용할 필요가 없지만 1,000G 미만은 자력이 너무 약하여 분리효율이 떨어질 수 있다. 이에 1,500G의 자력으로 마그네타이트를 선별한다.
- [0081] 중자성체인 일메나이트는 3,000G의 자력으로 선별하며, 2,500G ~ 4,000G 범위로 확대할 수 있다. 그러나 2,500G 미만의 자력의 경우 일메나이트의 자석 부착율이 감소할 것이며, 4,000G를 초과하는 경우 필요 이상의 높은 자력을 사용하는 것이므로 바람직하지 못하다.
- [0082] 약자성체인 에피도트와 혼블렌드 및 헤마타이트는 5,500G에서 분리가 가능하며, 5,000~7,000G에서도 분리가 가능하다. 다만, 5,000G 미만에서는 약자성체는 분리가 쉽지 않으며, 7,000G를 초과하는 것은 과도한 자력이므로 불필요하다.
- [0083] 마찬가지로 루타일(비자성체로 분류할 수도 있음)과 모나자이트는 자성감응도가 매우 낮아 8,000~10,000G의 높은 자력을 이용해야 분리가 가능하다. 비자성체인 저어콘은 자석에 부착되지 않으므로 자력선별기에서는 모래성분과 함께 거동될 것이며, 추후 정전선별 등에서 모래와 상호 분리될 수 있다.
- [0084] 상기한 바와 같이, 목표광물과 이 목표광물을 선별하기 위해 필요한 자력의 세기가 결정된 상태에서, 본 발명에서 사용하는 자력선별기(200)의 각 분리유닛(220,230,240,250)에 자석을 설치할 수 있다.
- [0085] 중광물(s)의 진행 경로 상 첫 번째 배치되는 제1분리유닛(220)의 제1자석(222)은 11,000G의 자력을 가지도록 한다. 이에 중광물(s) 중 자성체는 모두 제1분리유닛(220)의 제1자석(222)에 부착되어 제2분리유닛(230)으로 공급되며, 비자성체인 저어콘이 제1자석(222)에 부착되지 않고 수집기(229)에 수집된다. 그리고 수집기(229)에는 루타일이 일부 포함될 수 있다.
- [0086] 제1분리유닛에서는 자성체와 비자성체를 상호 분리함으로써, 목표광물인 저어콘을 분리해낼 수 있다. 루타일이 유의미하게 포함되어 있는 경우에는 후술할 정전선별단계에서 분리할 수 있다.
- [0087] 제1분리유닛(220)으로부터 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231)로 공급된 중광물은 교차분리유닛(250)의 이송벨트(251)와 만나게 된다. 교차분리유닛(250)의 자석(254)은 전자석으로서 1,000~4,000G 범위에서 자력을 변경할 수 있는데, 본 실시예에서는 1,500G로 설정되어 있다. 이에 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231)에서 이송중인 중광물(s) 중 강자성체인 마그네타이트는 1,500G의 자력에 의하여 흡인되어 교차분리유닛(250)의 교차이송벨트(251)에 부착되며, 나머지 광물들은 제2분리유닛(230)의 제2자석(232)쪽으로 계속 이동된다. 교차분리유닛(250)의 자석(254)에 의하여 교차이송벨트(251)에 부착된 마그네타이트는 자석(254)의 영역을 벗어난 뒤 교차이송벨트(251)로부터 이탈 및 자유낙하되어 수집기(259)로 수집된다.
- [0088] 즉, 교차분리유닛에서는 목표광물인 마그네타이트가 선별되며, 제1분리유닛(220)과 교차분리유닛(250)을 거치게

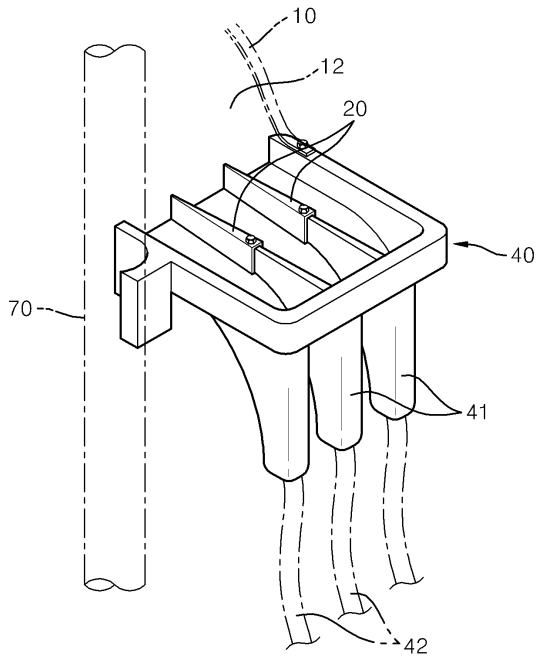
되면 비자성체와 강자성체가 거의 대부분 선별된다. 이후, 제2분리유닛(230)과 제3분리유닛(240)에서는 중자성체와 약자성체를 선별한다.

- [0089] 제2분리유닛(230)의 제2자석(232)은 3,000G로 설정되며, 중자성체인 일메나이트를 선별한다. 즉, 중자성체인 일메나이트는 제2분리유닛(230)의 제2자석(232)에 부착되어 이송벨트(231)의 하측으로 이동된 후에 수집기(239)에 모여지며, 약자성체인 루타일, 모나자이트, 에피도트, 혼블랜드, 헤마타이트는 제2자석(32)에 부착되지 않고 바로 제2분리유닛(230)의 이송벨트(231)로부터 이탈되어 제3분리유닛(240)으로 공급된다.
- [0090] 제3분리유닛(240)에서는 5,500G의 자력을 가지는 제3자석(242)이 설치되며, 약자성체 중 에피도트, 혼블랜드, 헤마타이트는 제3자석(242)에 부착되어 이송벨트(241)의 하부로 이송된 뒤 수집기(248)에 수집되고, 이들보다 더 약자성체인 루타일과 모나자이트는 제3자석(242)에 부착되지 않고 바로 이송벨트(241)에서 이탈되어 다른 수집기(249)에 수집된다. 즉, 제3분리유닛(240)에서는 약자성체 내에서 상대적으로 강한 자성을 가진 광물과 상대적으로 약한 자성을 가진 광물들을 상호 선별해낸다.
- [0091] 각 수집기(229,239,248,249,259)에는 각 자석(222,232,242,252)에 의하여 분리된 광물들이 모여져 있지만, 이들은 순수하게 목표광물들만 포함되어 있지는 않으며 일부 다른 광물들이 포함되어 있다. 즉, 중자성체인 일메나이트가 모인 수집기(39)에는 강자성체인 마그네타이트 일부와 약자성체인 에피도트 등이 섞여 있게 된다. 이는 단순히 자성의 문제가 아니라 각 광물입자의 크기, 무게 등 다양한 변수에 의한 것이다. 즉, 자력선별에 의해서 유용광물들을 효과적으로 분리할 수 있으며, 후속공정을 통해 순도를 더욱 증대시킬 수 있다. 따라서, 각 수거함에 수집된 광물을 대상으로 재차 자력선별을 수행할 수도 있다. 그리고 자력선별 후에는 정전선별단계(M40)를 수행한다.
- [0092] 정전선별단계(M40)에서는 자력선별단계(M30)에서 분리된 각 광물군의 전기적 성질을 이용하여 각 광물군을 다시 세분한다. 다만, 자력선별단계(M30)에서 분리된 모든 광물군에 대해서 정전선별을 수행할 필요는 없으며, 복수의 광물이 혼합되어 있는 경우에 정전선별을 수행한다. 예컨대, 자력선별기(200)의 제1분리유닛(220)에서는 저어콘을 목표광물로 삼았지만, 수거함(229)에는 저어콘과 함께 루타일이 일부 섞여있는 것이 일반적이다. 이렇게 수거함에 복수의 광물이 혼합되어 있는 경우 정전선별이 요구된다. 다만, 교차분리유닛에서는 목표광물이 마그네타이트이며, 수거함(254)에 다른 광물이 거의 포함되어 있지 않다면 정전선별을 수행할 필요가 없다. 그러나 대부분의 수거함에는 함량의 차이는 있지만, 목표광물 이외에 다른 광물이 많이 혼합되어 있다. 이에 바람직하게는 자력선별에서 분리된 모든 광물군에 대해서 정전선별을 수행한다.
- [0093] 정전선별은 광물이 가지는 전기적 성질 차이를 이용하는 것이다. 예컨대 전기전도도의 차이를 이용하여 정전선별을 수행할 수 있다. 즉, 접지전극으로 작용하는 롤러의 표면을 따라 광물을 이송시키면서 광물에 하전을 하면 광물 표면에 전하가 차징되는데, 광물들 중 전기전도성이 높은 광물들의 표면 전하는 즉시 접지전극을 통해 방전되므로 전하를 잃은 광물은 롤러로부터 이탈되는데, 전기전도성이 없는 광물의 경우 표면에 전하를 그대로 유지하므로 롤러에 부착된 상태를 일정 시간 더 유지한 후 이탈된다. 특히, 롤러에 인접하여 음전극이 배치되는 경우는 전기적 반발력으로 인해 롤러에 부착된 시간이 길어진다. 이렇게 전기전도도의 차이를 이용하여 광물을 상호 분류할 수 있다.
- [0094] 예컨대, 루타일과 저어콘은 둘 다 자성이 희박하여, 자력분리에 의해서 상호 분리되지 않는 경우가 많다. 그러나, 루타일은 전기전도성이 높은 반면 저어콘은 전기전도성이 없어 정전분리에 의하여 두 광물은 효과적으로 분리될 수 있다.
- [0095] 마찬가지로 자력분리기(200)의 제3분리유닛(240)에서 수거함(249)에는 목표광물인 모나자이트 이외에 루타일이 섞여 있는 경우가 많다. 모나자이트도 루타일과 마찬가지로 자성이 약하기 때문이다. 그러나, 모나자이트는 전기전도성이 없지만 루타일은 전기전도성이 높아 정전분리를 통해 효과적으로 분리가능하다.
- [0096] 한편, 광물에 전하를 차징하는 방식에서 마찰방식을 이용할 수도 있다. 광물을 상호 마찰시키면 광물들은 전기적 특성에 따라 표면에 음전하가 대전될 수도 있고 양전하가 대전될 수도 있다. 이렇게 서로 다른 극성으로 전하가 차징된 상태에서, 음전극과 양전극 사이의 전기장을 통과시키면 광물들은 전기적 인력에 의해 반대의 극성을 가지는 전극쪽으로 끌려가는 바, 광물들을 효과적으로 분리할 수 있다.
- [0097] 본 실시예에서는 상기한 2가지 방식의 정전선별방법을 사용할 수도 있으며, 광물들에 하전되는 전하량의 차이를 이용하는 방식을 채택할 수도 있다. 즉, 광물에 음전하를 대전시키면 광물들의 전기적 특성에 따라 표면에 하전되는 전하량이 서로 다르다. 이러한 상태에서 음전극이 하부에 양전극이 상부에 배치되며 하방으로 기울어지게 설치된 패널 사이를 통과시키면, 광물들은 경사면을 따라 이동하여 전극들 사이를 이탈하게 되는데, 음전하

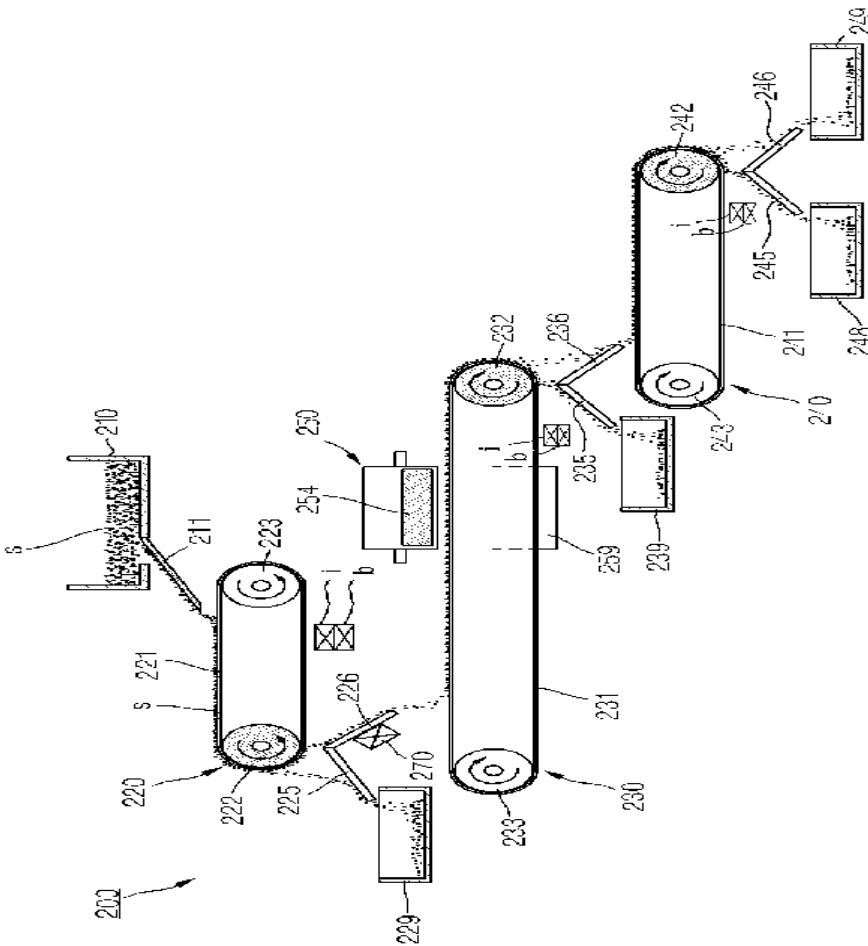
도면2



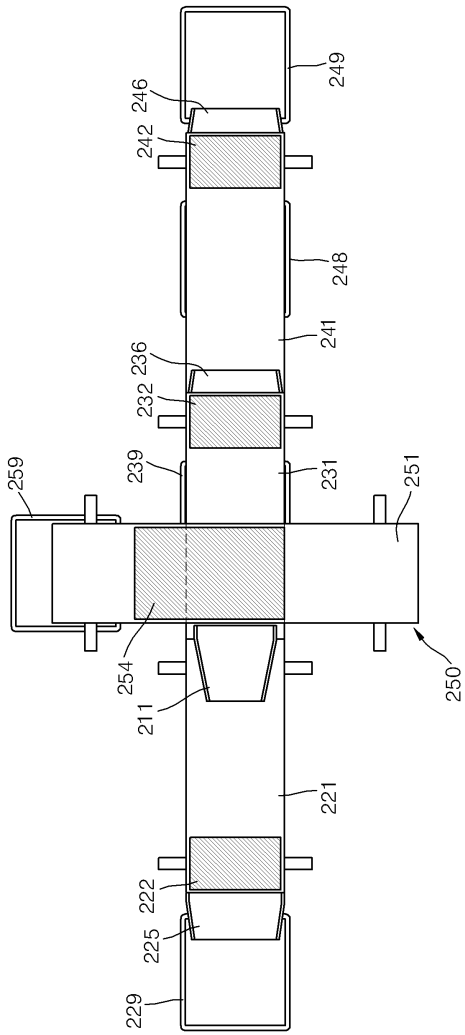
도면3



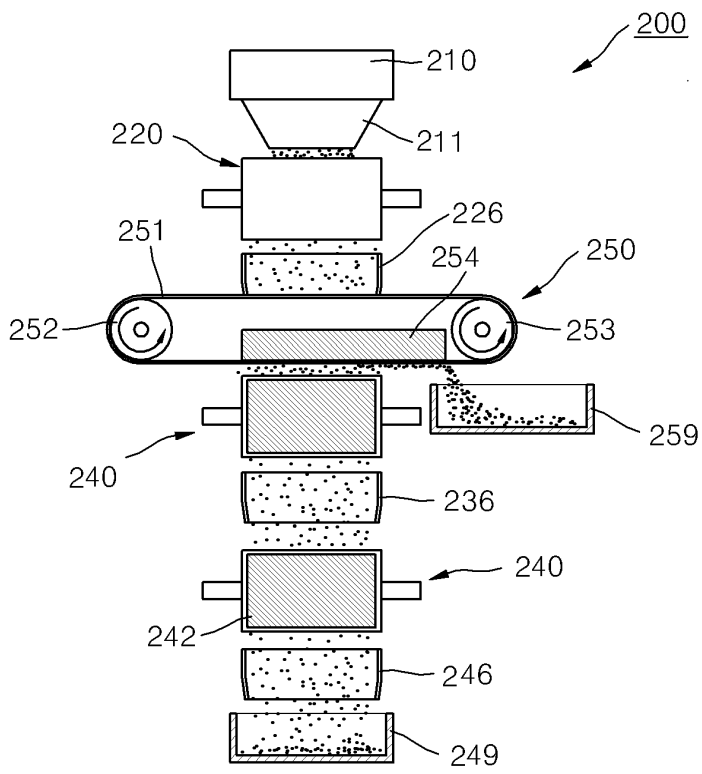
도면4



도면5



도면6



도면7

원광	분자 구조	함유량 (%) ¹⁾	자성	자성의 감응도
일메나이트	(Fe, Mn)·TiO ₂	40	강자성	1.7, 1.8, 1.9
마그네타이트	Fe ₃ O ₄	30	강자성	3, 6, 3.8 ~ 10
헤마타이트	Fe ₂ O ₃	2% 미만	반강자성	0.009, 0.007, 0.02
에피도트	Note ²⁾	2% 미만		2.0×10 ⁻³
혼블렌드	Note ²⁾	2% 미만		1.0×10 ⁻³
루타일	TiO ₂	5		3.9×10 ⁻⁶ , 5.3×10 ⁻⁶ ³⁾ , 1.9×10 ⁻⁵
아나타이트	TiO ₂	2% 미만		3.6×10 ⁻⁶
모나자이트	(Ce, La, Y) ₂ O ₃ ·P ₂ O ₅	4	상자성	4.0×10 ⁻⁵
희토류	Ce ₂ O ₃	0.07		6.5×10 ⁻⁵
희토류	La ₂ O ₃	0.03		-2.0×10 ⁻⁴
희토류	Nd ₂ O ₃	0.03		2.6×10 ⁻²
저어콘	ZrO ₂ ³⁾ ·SiO ₂	6	비자성(반자성)	-1.1×10 ⁻⁵ (67% ZrO ₂ , 33% SiO ₂), 1.0×10 ⁻⁶
모래	SiO ₂	-	비자성(반자성)	-1.6×10 ⁻⁵
실리마나이트	SiO ₂ Al ₂ O ₃	10	비자성(반자성)	-1.7×10 ⁻⁵

도면8

구분	목표 광물	표면 자력 (G)
1	강자성: 마그네타이트	1,500
2	중자성: 일메나이트	3,000
3	약자성: 에피도트, 혼블렌드, 헤마타이트	5,500
4	약자성: 루타일, 모나타이트	> 10,000
5	약자성: 저어콘	-