



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년07월12일
 (11) 등록번호 10-1638313
 (24) 등록일자 2016년07월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 C22B 7/00 (2006.01) C22B 3/24 (2006.01)
 C22B 59/00 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 C22B 7/00 (2013.01)
 C22B 3/24 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2015-0156953
 (22) 출원일자 2015년11월09일
 심사청구일자 2015년11월09일
 (56) 선행기술조사문헌
 KR101524161 B1*
 KR1020140082065 A*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국지질자원연구원
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
 (72) 발명자
 박인수
 충청남도 계룡시 장안1길 9 (금암동, 신성미소지
 움1차아파트) 101-203
 김병규
 대전광역시 유성구 배울2로 61 (관평동, 대덕테크
 노벨리10단지아파트) 1001-1601
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 8 항

심사관 : 한석환

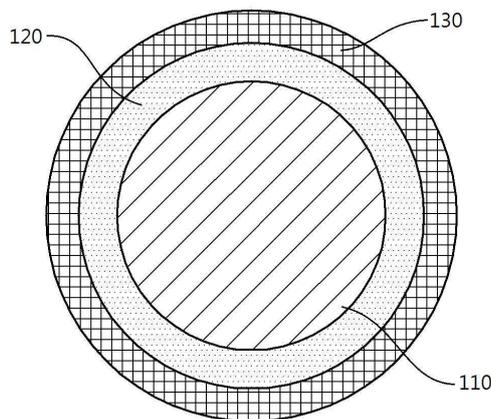
(54) 발명의 명칭 **용존 자원의 회수방법**

(57) 요약

본 발명은 a) 다공성 흡착 구조체와 상기 다공성 흡착 구조체를 둘러싸는 다공성 보호층 및 상기 다공성 보호층 외곽에 구비되는 바이오볼을 포함하는 흡착 모듈을 준비하는 단계; b) 상기 흡착 모듈에 담지 대상 용액을 접촉하는 단계; c) 상기 흡착 모듈을 담지 대상 용액으로부터 분리 및 이송하는 단계; d) 상기 c) 단계 흡착 모듈로부터 잔류 담지 대상 용액을 탈수하는 단계; 및 e) 상기 d) 단계 흡착 구조체에 흡착된 용존 자원을 탈착하는 단계를 포함하는 담지 대상 용액 내 용존자원의 회수방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1

100



(52) CPC특허분류

C22B 59/00 (2013.01)

C22B 7/005 (2013.01)

(72) 발명자

홍혜진

대전광역시 유성구 봉명로 94 (봉명동,
도안신도시7단지예미지백조의호수) 704-1903

류정호

대전광역시 유성구 어은로 57, 115-505 (어은동,
한빛아파트)

류태공

대전광역시 유성구 은구비남로 56, 901동 1205호
(노은동, 열매마을9단지)

박규형

서울특별시 서대문구 세검정로 4길 16, 목련빌라
202호

정강섭

대전광역시 유성구 엑스포로123번길 65-38 (도룡동,
스마트시티주상복합아파트) 203-1301

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2015-007

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 국가과학기술연구회

연구사업명 한국지질자원연구원 주요사업

연구과제명 해수 스트론튬 자원 회수를 위한 기초연구

기 여 율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2015.01.01 ~ 2017.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

- a) 양이온 교환기 및 킬레이트기에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 관능기를 갖는 고분자 수지, 다공성 무기물 소재 또는 이들의 혼합물을 포함하는 다공성 흡착 구조체와 상기 다공성 흡착 구조체를 둘러싸는 직물, 부직포, 다공성 필름 및 특정 이온 선택성 흡착 수지에서 선택되는 다공성 보호층 및 상기 다공성 보호층 외곽에 구비되는 바이오볼을 포함하는 흡착 모듈을 준비하는 단계;
 - b) 상기 흡착 모듈에 담지 대상 용액을 접촉하는 단계;
 - c) 상기 흡착 모듈을 담지 대상 용액으로부터 분리 및 이송하는 단계;
 - d) 상기 c) 단계 흡착 모듈로부터 잔류 담지 대상 용액을 탈수하는 단계; 및
 - e) 상기 d) 단계 흡착 구조체에 흡착된 용존 자원을 탈착하는 단계;
- 를 포함하는 용존자원의 회수방법.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 고분자 수지의 관능기는 아미독심, 아미노포스페이트, 카바메이트, 폴리아민, 피리딘, 이미노디아세테이트 및 피콜릴아민에서 선택되는 하나 이상의 킬레이트기; 또는

숄폰산기, 카르복실기, 포스포닉기, 포스피닉기, 아소닉기 및 셀리노닉기에서 선택되는 하나 이상의 양이온교환기;를 포함하는 것인 용존자원의 회수방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 다공성 무기물 소재는 산화물-수산화물계, 층상다가금속산염계 및 이온체형산화물계에서 선택되는 어느 하나 이상인 용존자원의 회수방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 다공성 흡착 구조체는 기공률이 1 내지 50 부피%인 용존자원의 회수방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 b) 단계는 부유식, 고정식, 스테이션식, 컬럼식 및 배치식에서 선택되는 어느 하나 이상의 방법을 적용하는 것인 용존자원의 회수방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 d) 단계는,

d-1) 상기 흡착 모듈을 원심분리 하우징을 관통하는 투입구를 통해 표면에 다수의 친공을 포함하는 역원뿔형 회전부의 하부로 투입하는 단계;

d-2) 상기 역원뿔형 회전부의 회전을 통해 담지 대상 용액을 분리하면서 동시에 흡착 모듈을 역원뿔형 회전부의 상부로 이송하는 단계;

d-3) 상기 원심분리 하우징의 상단에 수평방향으로 형성된 이송부를 통해 상부로 이송된 흡착 모듈을 하우징 외

부로 배출하는 단계를 포함하는 것인 용존자원의 회수방법.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 e) 단계는 전기적 탈착법, 양이온 교환법 및 킬레이팅법에서 선택되는 어느 하나 이상의 방법을 적용한 것인 용존자원의 회수방법.

청구항 10

양이온 교환기 및 킬레이트기에서 선택되는 어느 하나 또는 둘 이상의 관능기를 갖는 고분자 수지, 다공성 무기물 소재 또는 이들의 혼합물을 포함하며, 기공률이 1 내지 50 부피%인 다공성 흡착 구조체;

상기 다공성 흡착 구조체를 감싸는 직물, 부직포, 다공성 필름 및 특정 이온 선택성 흡착 수지에서 선택되는 다공성 보호층; 및

상기 다공성 보호층을 둘러싸는 바이오볼을 포함하는 용존자원의 회수용 흡착 모듈.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 용존자원의 회수방법에 관한 것으로, 상세하게는 다공성 흡착 모듈을 이용하여 담지 대상 용액(폐수, 해수, 염수, 간수 등)에 포함되어 있는 희토류 금속 등의 용존 자원을 선택적으로 흡착하고, 이를 회수하는 공정(접촉-분리-탈수)을 효율적으로 수행할 수 있는 용존 자원의 회수방법 및 상기 회수방법에 사용되는 흡착 모듈에 관한 발명이다.

배경 기술

[0002] 최근 산업과 문명의 발달로 에너지 수요가 증가하고 있으며, 이에 따라 새로운 에너지 자원의 확보에 많은 관심이 집중되고 있다. 특히, 희소금속은 IT 산업과 의료, 군사, 자동차, 우주항공 및 NT 분야 등 다양한 산업에서 다양한 품종의 고기능성 재료 및 부품개발로 이어지고 있어 그 중요성이 커지고 있는 상황이다.

[0003] 반면, 희소금속 다소비사회로 전환되고 있지만 희소금속은 석유자원과 마찬가지로 제한된 자원량과 생산으로 인하여 자원의 수급이 어려운 실정이다. 또한 세계적으로 자원 무기화에 의해 자원수급에 많은 어려움과 갈등이 초래되고 있다. 따라서 이러한 희소금속 자원을 확보하기 위하여 지상에 매장된 자원의 단순 채굴뿐만 아니라, 폐자원, 폐수, 해수 등으로부터 적극적인 회수가 필요하며, 이에 따른 연구도 절실히 필요한 실정이다.

[0004] 한편 해수에는 다양한 종류의 금속 및 비금속이 막대한 양으로 용존되어 있으며, 특히 현재 해수로부터 상업적으로 회수되고 있는 나트륨, 칼륨, 마그네슘, 브롬뿐만 아니라, 루비듐, 스트론튬, 리튬, 요오드, 몰리브덴, 우라늄, 바나듐 등의 경제성이 높은 원소들이 다량 함유되어 있다.

[0005] 특히 최근 들어 리튬과 우라늄의 회수에 대한 연구가 매우 활발한데, 리튬은 핵융합 에너지 자원으로 주목받고 있을 뿐만 아니라, 휴대용 전자기기에 포함되는 배터리의 수요가 급증함에 따라 이들에 포함되는 핵심자원인 리튬의 수요 또한 폭발적으로 증가하고 있다. 또한 우라늄은 원자력 발전 및 군사적 측면에서 중요한 위치를 차지하고 있는 원소로써, 특히 2020년부터 육상에서 공급되는 우라늄의 수급 균형이 붕괴될 것으로 예측되고 있다.

[0006] 이처럼 경제 및 기술이 발전함에 따라 필요한 핵심 자원들이 점점 늘어나고 수요 또한 증가하는 추세이나, 부존하는 육상 자원이 빈약하여 대부분 수입에 의존하고 있는 우리나라는 이를 안정적으로 확보하기 위한 대책이 절

실한 실정이다.

- [0007] 이러한 실정을 해소하기 위해 금속 원소를 회수하는 기술개발이 활발히 전개되고 있다. 기존에 금속 원소를 회수하는 방법으로 공침법, 용매추출법, 생물농축법, 이온교환법, 흡착법 등을 적용하여 왔다.
- [0008] 이중 공침법은 알루미늄 화합물과 같은 공침제를 사용하여 유가 금속을 동시에 침전시켜 회수하는 방법이고, 용매추출법은 수용액에 용해도가 없는 유기용매를 사용하여 특정 금속을 선택적으로 추출하는 방법으로, 공정에서 사용되는 용매나 공침제의 분리 및 회수가 어렵고, 특히 농도가 낮은 특정 금속에 대한 선택성이 낮아 상용성이 떨어진다.
- [0009] 또한 생물농축법은 특정 금속이온에 호기성인 효소나 미생물을 이용하여 금속으로 회수하는 방법으로 균주의 가격이 비싸고, 해당 금속이 한정되어 있어 경제성이 떨어진다.
- [0010] 특히, 용존 농도가 낮은 해수의 경우에는 경제성, 조작성, 채취효율 및 환경 보전 등의 관점에서 볼 때 흡착법(또는 이온교환법)이 가장 실용적이라고 판단된다. 그러나 해수 중의 용존 농도가 낮기 때문에 경제성을 확보하기 위해서는 다량의 해수와 흡착제를 효율적, 경제적으로 접촉 및 분리시키는 경제적인 흡착 시스템을 설계하고 개발할 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 10-2014-0029601 (2014년 03월 11일)
- (특허문헌 0002) 대한민국 공개특허 10-2015-0094273 (2015년 08월 19일)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 도출된 것으로, 상세하게는 다공성의 흡착 모듈을 이용하여 담지 대상 용액에 포함되어 있는 희토류 금속 등의 용존물질을 선택적으로 흡착하고, 이를 회수하는 공정(접촉-분리-탈수)을 효율적으로 수행할 수 있는 용존자원의 회수방법의 제공을 목적으로 한다.
- [0013] 본 발명의 다른 목적은 상기 회수방법에 사용되는 흡착 모듈을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0014] 본 발명은 용존자원의 회수방법에 관한 것이다.
- [0015] 본 발명의 일 양태는
- [0016] a) 다공성 흡착 구조체와 상기 다공성 흡착 구조체를 둘러싸는 다공성 보호층 및 상기 다공성 보호층 외곽에 구비되는 바이오볼을 포함하는 흡착 모듈을 준비하는 단계 ;
- [0017] b) 상기 흡착 모듈에 담지 대상 용액을 접촉하는 단계;
- [0018] c) 상기 흡착 모듈을 담지 대상 용액으로부터 분리 및 이송하는 단계;
- [0019] d) 상기 c) 단계 흡착 모듈로부터 잔류 담지 대상 용액을 탈수하는 단계; 및
- [0020] e) 상기 d) 단계 흡착 구조체에 흡착된 용존 자원을 탈착하는 단계;
- [0021] 를 포함하는 용존자원의 회수방법에 관한 것이다.
- [0022] 본 발명에서 상기 다공성 흡착 구조체는 하나 이상의 관능기를 가지는 고분자 수지, 무기물 소재 또는 이들의 혼합물을 포함하는 것일 수 있다.
- [0023] 본 발명에서 상기 관능기는 아미노포스페이트, 카바메이트, 폴리아민, 피리딘, 이미노디아세테이트 및 피콜릴아민에서 선택되는 하나 이상의 킬레이트기; 또는 술폰산기, 카르복실기, 포스포닉기, 포스포닉기, 아소닉기 및 셀리노닉기에서 선택되는 하나 이상의 양이온교환기;를 포함할 수 있으며, 상기 무기물 소재는 산화물-수산화물

계, 증상다가금속산염계 및 이온체형산화물계에서 선택되는 어느 하나 이상일 수 있다.

- [0024] 또한 상기 다공성 흡착 구조체는 기공률이 1 내지 50 부피%일 수 있다.
- [0025] 본 발명에서 상기 b) 단계는 고정 부유식, 스테이션식, 컬럼식 및 배치식에서 선택되는 어느 하나 이상의 방법을 적용할 수 있다.
- [0026] 본 발명에서 상기 c) 단계는 기계화 및 자동화 이동 방법을 적용할 수 있다.
- [0027] 또한 본 발명에서 상기 d) 단계는,
- [0028] d-1) 상기 흡착 모듈을 원심분리 하우징을 관통하는 투입구를 통해 표면에 다수의 천공을 포함하는 역원뿔형 회전부의 하부로 투입하는 단계;
- [0029] d-2) 상기 역원뿔형 회전부의 회전을 통해 담지 대상 용액을 분리하면서 동시에 흡착 모듈을 역원뿔형 회전부의 상부로 이송하는 단계;
- [0030] d-3) 상기 원심분리 하우징의 상단에 수평방향으로 형성된 이송부를 통해 상부로 이송된 흡착 모듈을 하우징 외부로 배출하는 단계;
- [0031] 를 포함하는 원심분리방식이 될 수 있다.
- [0032] 또한 상기 역원뿔형 회전부는 회전축에 대해 10 내지 40°의 각도를 가질 수 있다.
- [0033] 본 발명에서 상기 e) 단계는 전기적 탈착법, 이온 교환법 및 킬레이팅법에서 선택되는 어느 하나 이상의 방법을 적용할 수 있다.
- [0034] 상기 e) 단계에서 회수된 흡착 모듈은 상기 b) 단계로 순환하여 재사용할 수 있다.
- [0035] 본 발명의 다른 양태는 하나 이상의 관능기를 가지는 고분자 수지, 무기물 소재 또는 이들의 혼합물을 포함하며, 기공률이 10 내지 50 부피%인 다공성 흡착 구조체; 상기 다공성 흡착 구조체를 감싸는 다공성 보호층; 및 상기 다공성 보호층을 둘러싸는 바이오볼을 포함하는 용존자원의 회수용 흡착 모듈에 관한 것이다.

발명의 효과

- [0036] 본 발명에 따른 용존자원의 회수 방법은 흡착 소재를 포함하는 흡착 모듈이 자율적인 움직임이 가능하기 때문에 담지 대상 용액 내에서의 유동성 및 담지 대상 용액과의 접촉성을 극대화하여 흡착 회수 시간을 단축할 수 있다. 또한 흡착 모듈에서 원심분리를 이용하여 담지 대상 용액을 먼저 분리한 후, 다시 용존 자원을 회수함으로써 흡착 모듈의 세척 공정이 간단하고, 많은 세척액을 소모하지 않아 공정 효율이 우수한 장점이 있다. 또한 흡착 모듈을 사용함으로써 공정의 기계화, 연속화 및 자동화를 적용할 수 있어 용존자원의 회수 비용을 크게 절감할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0037] 도 1은 본 발명에 따른 흡착 모듈의 일예를 단면으로 도시한 것이다.
- 도 2는 본 발명에 따른 흡착 모듈을 해수에 접촉시키는 방법 중 컬럼(column)형을 도시한 것이다.
- 도 3은 본 발명에 따른 흡착 모듈을 해수에 접촉시키는 방법 중 배치(batch)형을 도시한 것이다.
- 도 4는 본 발명에 따른 흡착 모듈을 해수에 접촉시키는 방법 중 부유(floating)형을 도시한 것이다.
- 도 5는 본 발명에 따른 흡착 모듈을 해수에 접촉시키는 방법 중 스테이션(station)형을 도시한 것이다.
- 도 6은 본 발명에 따른 흡착 모듈을 원심분리하여 잔류 해수를 제거하는 장치의 일예를 단면으로 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0038] 이하 첨부된 도면 및 구체예들을 참조하여 본 발명에 따른 용존자원의 회수방법에 대해 상세히 설명한다. 다만 하기 구체예 또는 실시예는 본 발명을 상세히 설명하기 위한 하나의 참조일 뿐 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 여러 형태로 구현될 수 있다.
- [0039] 또한 달리 정의되지 않은 한, 모든 기술적 용어 및 과학적 용어는 본 발명이 속하는 당업자 중 하나에 의해 일

반적으로 이해되는 의미와 동일한 의미를 갖는다. 본원에서 설명에 사용되는 용어는 단지 특정 구체예를 효과적으로 기술하기 위함이고 본 발명을 제한하는 것으로 의도되지 않는다.

- [0040] 또한 다음에 소개되는 도면들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서 본 발명은 이하 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 이하 제시되는 도면들은 본 발명의 사상을 명확하게 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다. 또한 명세서 전체에 걸쳐서 동일한 참조번호들은 동일한 구성요소들을 나타낸다.
- [0041] 또한 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 단수 형태는 문맥에서 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 의도할 수 있다.
- [0042] 본 발명에서 용어 ‘담지 대상 용액’은 회수 대상 원소를 가지고 있어 본 발명에 따른 흡착 모듈을 담지하기 위한 모든 용액을 포함하는 것으로, 폐수, 해수, 염수(saline water), 간수(bittern) 등을 포함할 수 있다.
- [0043] 본 발명에서 용어 ‘해수(seawater)’는 지구 표면의 약 75%를 점유하고 있는 염분을 포함한 물로, 채취하는 지역에 따라 차이가 있을 수 있으며, 염수, 해수 농축수, 간수 등을 포함할 수 있다. 본 발명에서는 특별한 언급이 없는 한 바다에 축적된 물을 의미한다.
- [0044] 본 발명에서 용어 ‘용존자원’은 상기 해수 내에 포함되어 있는 금속이온을 의미하는 것으로, 상기 금속이온은 본 발명에서 한정하는 것은 아니나 예를 들어 나트륨, 칼륨, 마그네슘, 브롬, 루비듐, 스트론튬, 리튬, 요오드, 몰리브덴, 우라늄, 바나듐 등의 금속이온을 포함할 수 있다.
- [0045] 본 발명에서 용어 ‘다공성 흡착 구조체’는 상호 연결된 기공의 네트워크를 갖는 구조를 의미하며, 기공의 크기는 본 발명에서 특별히 한정하지는 않으며 기공은 전체 구조 중 1 내지 50 부피%를 구성할 수 있다.
- [0046] 본 발명에서 용어 ‘바이오볼’은 영구적인 다공성을 갖는 구조로, 기공의 크기 및 특정 형태 등을 한정하는 것은 아니나, 예를 들어 500 μm 이상, 더 바람직하게는 500 μm 내지 30 mm, 가장 바람직하게는 1 내지 10mm의 기공 크기를 가질 수 있다.
- [0047] 본 발명에서 용어 ‘이온체산화물계 흡착제’는 무기계 흡착제 중 하나로써, 선택적으로 흡착하려는 금속이온을 금속산화물에 혼입하고, 가열처리한 다음 산으로 금속이온을 용출시켜 획득되는 그 금속에 대한 선택흡착성을 가지는 흡착제를 의미한다.
- [0048] 본 발명에서 용어 ‘역원뿔’은 상기 바이오볼의 원심분리장치 주입방향을 기준으로 상부에서 하부로 갈수록 직경이 감소하는 형태를 의미한다.
- [0049] 또한 본 발명에서 상기와 같이 원심분리장치 등의 장치 설명 시 방향은 바이오볼의 이송방향을 기준으로 하며, 바이오볼의 이송이 시작되는 부분을 상부, 상부의 반대편을 하부로 지칭할 수 있다.
- [0050] 본 발명에 따른 용존자원의 회수방법은
- [0051] a) 다공성 흡착 구조체(110)와 상기 다공성 흡착 구조체를 둘러싸는 다공성 보호층(120) 및 상기 다공성 보호층 외곽에 구비되는 바이오볼(110)을 포함하는 흡착 모듈(100)을 준비하는 단계 ;
- [0052] b) 상기 흡착 모듈에 담지 대상 용액을 접촉하는 단계;
- [0053] c) 상기 흡착 모듈을 담지 대상 용액으로부터 분리 및 이송하는 단계;
- [0054] d) 상기 c) 단계 흡착 모듈로부터 잔류 담지 대상 용액을 탈수하는 단계; 및
- [0055] e) 상기 d) 단계 흡착 구조체에 흡착된 용존 자원을 탈착하는 단계;
- [0056] 를 포함하여 진행할 수 있다.
- [0057] 본 발명에서 상기 a) 단계는 흡착 모듈을 준비하는 단계이다. 도 1을 바탕으로 흡착 모듈(100)의 구조를 더욱 상세히 설명하면, 상기 담지 대상 용액 내에 존재하는 용존물질을 효과적으로 흡착할 수 있는 다공성 흡착 구조체(110), 상기 다공성 흡착 구조체를 둘러싸 이를 보호하는 역할을 수행하는 다공성 보호층(120) 및 상기 다공성 보호층 외곽에 구비되는 바이오볼(130)을 포함할 수 있다.
- [0058] 본 발명에서 상기 다공성 흡착 구조체(110)는 상기와 같이 담지 대상 용액 내에 존재하는 용존물질을 흡착하기 위한 것으로, 상세하게는 하나 이상의 관능기를 가지는 고분자 수지, 무기물 소재 또는 이들의 혼합물을 포함할 수 있다.

- [0059] 본 발명에서 상기 고분자 수지는 상기 용존물질을 흡착할 수 있는 관능기를 가지는 고분자라면 종류에 한정하지 않으며, 더 상세하게는 양이온 교환기 및/또는 킬레이트기를 갖는 고분자일 수 있다. 상기 양이온 교환기의 예를 들면, 술폰산기(-SO₃H), 카르복실기(-COOH), 포스포닉기(-PO₃H₂), 포스포닉기(-HPO₂H), 아소닉기(-AsO₃H₂), 셀리노닉기(-SeO₃H) 등을 들 수 있으며, 이외에도 금속이온을 포집할 수 있는 양이온 교환기라면 종류에 한정하지 않고 사용할 수 있다.
- [0060] 본 발명에서 상기 양이온 교환기를 갖는 고분자 수지의 예를 든다면, 제한하는 것은 아니나 주쇄가 폴리아크릴계, 폴리메타크릴계, 폴리스티렌계이고, 양이온 교환기가 술폰산기, 카르복실기일 수 있다. 더 상세하게는 술폰산기를 가지는 폴리스티렌계 고분자 수지 또는 카르복실기를 갖는 폴리아크릴계 또는 폴리메타크릴계 고분자 수지를 사용하는 것이 좋다.
- [0061] 본 발명에서 상기 킬레이트기는 금속 양이온과 배위결합을 형성할 수 있는 작용기를 갖는 공중합체로, 질소, 산소, 인 및 황과 같은 원자를 함유할 수 있다. 상기 킬레이트기의 예를 들면, 아미독심(amidoxime), 아미노포스포네이트(aminophosphonate), 카바메이트(carbamates), 폴리아민(polyamines), 피리딘(pyridines), 이미노디아세테이트(iminodiacetate) 및 피콜릴아민(picolyamine) 등을 들 수 있으며, 이외에도 금속이온을 포집할 수 있는 킬레이트기라면 종류에 한정하지 않고 사용할 수 있다.
- [0062] 상기 무기물은 당업계에서 금속 이온의 흡착 목적으로 사용되는 것이라면 종류에 한정하지 않으며, 일례로, 2.5MgOAl₂O₃nH₂O, Al₂O₃Fe₂O₃nH₂O 등과 같은 산화물-수산화물계, 안티몬산염(antimonate)에 주석 또는 티타늄 화합물을 혼합한 안티몬화합물계, Zr(HPO₄)₂·2H₂O, Ti(HPO₄)₂·2H₂O, Th(HASO₄)₂·2H₂O 등의 층상다가금속산염계, 이온체형 산화물계 등을 포함할 수 있다.
- [0063] 상기 무기물로 더욱 바람직하게는 수산화알루미늄, 알루미늄-마그네슘 산화물, 리튬-망간 산화물, 리튬-티타늄 산화물, 리튬-안티몬 산화물, 함수산화티타늄, 안티몬-주석 화합물, 안티몬-티타늄 화합물, Zr(HPO₄)₂·2H₂O, Ti(HPO₄)₂·2H₂O, Th(HASO₄)₂·2H₂O 등에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0064] 본 발명에서 상기 무기물은 입상, 구상, 포상 등 종류에 한정하지 않으며, 더 바람직하게는 상기 유기물에 혼합된 형태로 구비하는 것이 용존물질 흡착능이 강화될 수 있어 좋으며, 다공성을 갖는 무기물 또는 이들의 구조체를 포함할 수 있다.
- [0065] 본 발명에서 상기 다공성 흡착 구조체(110)는 표면적을 더욱 높이기 위해서 다공성을 가질 수 있다. 이때 다공성 흡착 구조체는 기공률이 1 내지 50 부피%일 수 있다. 기공률이 1 부피% 미만인 경우, 해수와의 접촉 면적이 작아져 용존물질 포집능이 떨어질 수 있으며, 기공률이 50 부피%를 초과하는 경우 다공성 흡착 구조체의 기계적인 물성이 하락하여 흡착 모듈의 성능이 크게 감소할 수 있다.
- [0066] 또한 상기 다공성 흡착 구조체는 평균입径이 10 내지 100nm일 수 있다. 상기 범위 내에서 흡착 모듈의 부유, 이송 및 분리 공정이 원활할 수 있어 바람직하다.
- [0067] 또한 상기 다공성 흡착 구조체는 제조 시 유기물 또는 유기물과 무기물의 혼합물에 발포성 염을 더 첨가함으로써 표면적을 더욱 높여, 빠른 시간에 해수에 포함된 용존물질을 더 많이 회수할 수 있다.
- [0068] 상기 발포성 염은 다공성 흡착 구조체의 제조 후 쉽게 제거될 수 있는 물질로서, 해수에 상기 흡착 모듈이 접촉될 경우 상기 발포성 염이 발포 및 용출되어 제거됨으로써 상기 다공성 흡착 구조체의 기공률을 높일 수 있다.
- [0069] 본 발명에서 상기 발포성 염은 상기 다공성 흡착 구조체를 형성할 수 있는 재료 및 용매를 포함하는 조성물에 다양한 크기의 발포성 염을 균질하게 혼합하여 젤을 만들고, 상기 젤로부터 용매를 제거한 후, 발포성 염을 발포시키는 일련의 과정을 통해 다공성 흡착 구조체에 적용할 수 있다. 이때 상기 재료로 바람직하게는 양이온 교환능을 가지는 고분자 수지일 수 있다.
- [0070] 상기 발포성 염은 용매를 제거한 젤을 고온의 증류수에 침전시킴으로써, 염으로부터 암모니아와 이산화탄소를 방출시켜 다공성 흡착 구조체에 공극을 형성하게 된다.
- [0071] 본 발명에서 상기 용매는 상기 다공성 흡착 구조체를 이루는 이온 교환 수지와 같은 고분자가 용해되어 높은 점성의 고분자용액을 만들 수 있는 것이면 어떤 것이든 사용할 수 있으며 본 발명에서는 메틸렌클로라이드(CH₂Cl₂), 클로로포름(CHCl₃), 아세톤, 아세트산(CH₃COOH), 디메틸설폭사이드(DMSO), 아세토니트릴

(Acetonitrile, CH₃CN) 다이메틸포름아마이드(DMF), N-메틸피롤리돈(1-methyl-2-pyrrolidinone), 테트라하이드로푸란(THF), 에틸아세테이트(ethyl acetate), 메틸에칠케톤(MEK), 아세토니트릴(acetonitrile), 다이옥산(1,4-dioxane) 또는 다이옥산/물 등을 무게비로 고분자:유기용매=1:1 내지 1:100 사용할 수 있다.

- [0072] 본 발명에서 상기 발포성 염의 예를 들면, 암모늄 바이카보네이트(ammonium bicarbonate, NH₄HCO₃), 암모늄 카보네이트(ammonium carbonate, (NH₄)₂CO₃), 소듐 바이카보네이트(sodium bicarbonate, NaHCO₃) 또는 소듐 카보네이트(sodium carbonate, Na₂CO₃) 등에서 선택되는 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.
- [0073] 본 발명에서 상기 발포성 염의 평균입경은 100 내지 500 μ m일 수 있다. 평균입경이 100 μ m 미만인 경우 상기 다공성 흡착 구조체의 기공률 증가 정도가 낮아 용존물질의 흡착능 향상이 두드러지지 않으며, 다공성 흡착 구조체의 제조 시 발포성 염의 균일한 혼합이 이루어지지 않게 된다. 또한 평균입경이 500 μ m 초과인 경우 기공률이 지나치게 커져 다공성 흡착 구조체의 기계적인 물성이 크게 하락할 수 있다.
- [0074] 본 발명에서 상기 발포성 염은 전체 다공성 흡착 구조체 형성용 유기물 또는 무기물 포함 100 중량부에 대하여 1 내지 10 중량부 포함하는 것이 바람직하다. 상기 범위에서 상기 다공성 흡착 구조체의 기계적 물성을 해치지 않고 원하는 기공률을 확보할 수 있다.
- [0075] 본 발명에서 상기 다공성 흡착 구조체는 형태를 제한하지 않으며, 일예로 구형 또는 무정형, 원뿔형, 원기둥형, 각기둥형 등 다양한 형태를 가질 수 있다. 다만, 상기 다공성 흡착 구조체는 직경 또는 장축 등의 길이가 상기 바이오볼(130)이 갖는 기공의 직경보다 큰 것이 좋다. 이는 상기 바이오볼의 기공보다 다공성 흡착 구조체의 크기가 작아 다공성 흡착 구조체가 바이오볼 밖으로 이탈하는 것을 방지하기 위함이다.
- [0076] 본 발명에서 상기 다공성 보호층(120)은 상기 다공성 흡착 구조체를 감싸며, 상기 다공성 흡착 구조체를 보호하는 역할을 수행한다. 동시에 상기 다공성 보호층 또한 다공성의 구조를 가져 해수가 상기 다공성 흡착 구조체와 쉽게 접촉할 수 있다.
- [0077] 본 발명에서 상기 다공성 보호층은 상기 다공성 흡착 구조체의 화학적, 물리적 파괴 및 변화를 막을 수 있는 소재라면 종류에 한정하지 않으며, 일예로 직물, 부직포, 다공성 필름 등 상기 다공성 흡착 구조체를 감쌀 수 있는 것이라면 종류에 한정하지 않으며, 이외에도 상기 다공성 흡착 구조체를 직접 코팅할 수 있는 고분자 수지를 포함하여도 무방하다.
- [0078] 본 발명에서 상기 다공성 보호층을 이루는 물질은 본 발명에서 한정하지는 않으나, 예를 들어 폴리에스테르, 폴리아크릴, 폴리올레핀 등을 포함할 수 있으며, 이외에도 내염성을 가지며, 가공성이 우수한 물질이라면 종류에 한정하지 않는다.
- [0079] 또한 상기 다공성 보호층은 경우에 따라 특정 용존물질, 이를테면 스트론튬과 같은 용존물질의 회수율을 더 높이기 위해 칼슘이온을 선택적으로 흡착할 수 있는 특정 이온 선택성 흡착수지를 더 포함할 수 있다. 상기 특정 이온 선택성 흡착수지는 당업계에서 통상적으로 사용되는 물질이라면 종류에 한정하지 않으며, 일예로 S930 Plus(Purolite) 등을 들 수 있다.
- [0080] 본 발명에서 상기 다공성 보호층은 다공성 구조를 형성하기 위해 상기 다공성 흡착 구조체와 유사하게 발포성 염을 더 포함할 수 있다. 이때 상기 발포성 염은 상기 다공성 흡착 구조체에 포함되는 것과 동일 또는 상이할 수 있으며, 이들의 평균입경 및 첨가량 또한 본 발명의 목적을 해치지 않는 범위 내에서 자유롭게 조절할 수 있다.
- [0081] 본 발명에서 상기 다공성 보호층은 기공도를 한정하지는 않으나 10 내지 50 부피%일 수 있다. 기공률이 10 부피% 미만인 경우, 해수와 다공성 흡착 구조체 간의 접촉 면적이 작아져 용존자원 포집능이 떨어질 수 있으며, 기공률이 50 부피%를 초과하는 경우 다공성 보호층의 다공성 흡착 구조체 보호능이 떨어질 수 있다.
- [0082] 본 발명에서 상기 바이오볼(130)은 상기 흡착 소재의 비중을 조절하여 담지 대상 용액 내에서의 부유능 등을 조절하고 구형의 흡착 모듈을 구성하기 위한 것으로 상기 다공성 보호층과 접촉하거나 이격하여 형성되어도 무방하다.
- [0083] 본 발명에서 상기 바이오볼은 해수 내에서 부식 등의 화학적인 변화를 일으키지 않으며, 내부의 다공성 보호층 또는 다공성 흡착 구조체를 충격으로부터 보호할 수 있는 소재로 이루어지는 것이 바람직하다. 일예로 폴리에틸렌, 폴리프로필렌 등의 폴리올레핀계를 포함할 수 있으며, 본 발명이 이에 한정하는 것은 아니다.

- [0084] 본 발명에서 상기 바이오볼은 직경 등을 한정하지 않으며, 상기 다공성 흡착 구조체 또는 상기 다공성 보호층의 직경에 맞춰 자유롭게 크기를 조절하여도 무방하다. 또한 다양한 형상을 가져도 무방하나, 상기 다공성 흡착 구조체가 보다 많은 담지 대상 용액과 접촉할 수 있고 기능성을 가지며 통수가 원활한 다공성의 구형인 것이 바람직하다.
- [0085] 또한 본 발명에 따른 바이오볼은 오염물질 부착에 따른 용존물질 흡착성능의 저하를 방지하기 위해 표면에 방오 코팅층을 더 포함할 수 있다.
- [0086] 상기 방오코팅층은 당업계에서 선박이나 해양구조물 등에 조개, 해초류 등의 해양생물, 기타 오물들의 부착을 방지하는 용도로 사용되는 도료를 포함할 수 있으며, 일례로 오르가노실록산 단량체 또는 폴리오르가노실록산에 하나 이상의 비닐기를 가지는 경화제를 백금촉매를 포함하여 경화한 실록산계 수지를 사용할 수 있다.
- [0087] 또한 상기 방오코팅층은 상기 다공성 보호층과 상기 바이오볼이 서로 이격되어 있을 경우, 상기 다공성 보호층 표면에도 코팅될 수 있다.
- [0088] 상기와 같이 흡착 모듈이 준비되면 b) 단계와 같이 상기 흡착 모듈에 담지 대상 용액과 접촉한다. 담지 대상 용액 중 해수의 예를 들어 도 2 내지 5를 통해 상세히 설명하면, 본 발명에 따른 흡착 모듈은 전체적으로 다공성의 구조를 가져 비중이 작아 자체적으로 부력을 가진다. 이를 이용하여 다양한 흡착 시스템에 적용하고, 이를 간편하게 회수할 수 있다는 장점을 가진다.
- [0089] 도 2는 본 발명에 따른 흡착 모듈의 해수접촉법 중 육상형에 해당하는 컬럼 형태로, 상기 컬럼 내부에 흡착 모듈을 충전하고, 펌프를 이용하여 해수를 컬럼으로 통과시킴으로써 해수와 접촉하게 된다.
- [0090] 도 3은 본 발명에 따른 흡착 모듈의 해수접촉법 중 육상형에 해당하는 배치형으로, 해수를 순환할 수 있는 처리 장치 내부에 흡착 모듈을 투입하고 해수를 계속적으로 교체하여 용존물질을 흡착하는 방식이다. 이는 흡착 모듈의 부유 특성을 이용하면서도, 처리 장치 내부에 흡착 모듈이 위치하므로 회수가 용이하며, 이미 용존물질이 흡착된 해수를 계속적으로 교체하므로 좀 더 효과적인 용존물질의 흡착이 가능하다.
- [0091] 도 4는 본 발명에 따른 흡착 모듈의 해수접촉법 중 해상형에 해당하는 부유형으로, 해수의 드나들이 자유로운 일정한 틀 내부에 흡착 모듈을 투입하고, 이를 해수에 띄워 용존물질을 흡착하는 방식이다. 이는 해수의 흐름에 따라 흡착 모듈이 자유롭게 이동할 수 있어 결과적으로 흡착 모듈이 새로운 해수와 접촉기회가 증가하며, 용존물질이 효과적으로 흡착될 수 있다. 또한 일정한 틀 내부에 흡착 모듈을 위치시킴으로써 흡착이 끝난 흡착 모듈의 회수가 용이하다.
- [0092] 도 5는 본 발명에 따른 흡착 모듈의 해수접촉법 중 해상형에 해당하는 스테이션 형으로, 상기 부유형과 유사하나, 해수의 드나들이 자유롭지만 물보다 비중이 큰 틀 내부에 흡착 모듈을 투입하고, 이를 해수에 가라앉혀 용존물질을 흡착하는 방식이다. 부유형과 비교 시 흡착 모듈의 움직임이 덜하게 되지만, 수압에 따른 효과를 이용할 수 있다. 또한 부유형과 마찬가지로 흡착 모듈의 회수가 용이하다.
- [0093] 본 발명에서는 상기와 같이 흡착 모듈의 해수접촉법을 소개하고 있으나, 상기와는 다른 방법으로 흡착 모듈을 해수 또는 담지 대상 용액과 접촉시킬 수 있다. 즉, 본 발명에 따른 흡착 모듈을 사용하여 용존물질을 흡착한다면, 상기 방법 이외에 다른 방법을 적용하여도 무방하며, 본 발명이 이에 한정하는 것은 아니다.
- [0094] 상기와 같이 흡착이 끝난 흡착 모듈은 c) 단계와 같이 상기 흡착 모듈을 담지 대상 용액으로부터 분리 및 이송할 수 있다. 본 발명에서 상기 흡착 모듈의 분리 및 이송방법은 한정하고 있지 않으며, 상기 흡착 모듈의 담지 대상 용액 접촉 형태에 따라 자유롭게 분리 및 이송방법을 선택할 수 있다. 일례로, 흡착 모듈이 포집되지 않는 부유형의 경우 컨베이어벨트 및 엘리베이터 등을 이용하여 각각의 흡착 모듈을 기계화 및 자동화 방법을 이용하여 이동시킬 수 있다.
- [0095] 상기와 같이 담지 대상 용액으로부터 분리 및 이송된 흡착 모듈은 상기 d) 단계와 같이 흡착 모듈에 남아있는 잔류 담지 대상 용액을 제거할 수 있으며, 더 상세하게 상기 d) 단계는
- [0096] d-1) 상기 흡착 모듈을 원심분리 하우징을 관통하는 투입구를 통해 표면에 다수의 천공을 포함하는 역원뿔형 회전부의 하부로 투입하는 단계;
- [0097] d-2) 상기 역원뿔형 회전부의 회전을 통해 담지 대상 용액을 분리하면서 동시에 흡착 모듈을 역원뿔형 회전부의 상부로 이송하는 단계; 및
- [0098] d-3) 상기 원심분리 하우징의 상단에 수평방향으로 형성된 이송부를 통해 상부로 이송된 흡착 모듈을 하우징 외

부로 배출하는 단계;

- [0099] 를 포함하여 진행할 수 있다.
- [0100] 도 6을 통해 이를 상세히 설명하면, 먼저, 용존물질의 흡착이 끝난 탈수 전 흡착 모듈(101)은 원심분리 하우징(610)을 관통하는 투입구(630)를 통해 하우징 내부로 투입한다. 상기 하우징의 내부에는 상부에서 하부로 갈수록 직경이 감소하는 역원뿔형의 회전부(620)가 위치하며, 회전함과 동시에 상기 흡착 모듈을 투입구로부터 받게 된다. 또한 회전부에는 다수의 천공(621)을 가지고 있어, 원심력을 통해 흡착 모듈로부터 배출되는 잔류 담지 대상 용액을 회전부의 밖으로 쉽게 배출할 수 있다.
- [0101] 상기 회전부(620)는 상기 하우징(610)의 내부에 위치하되, 상기 하우징 상단에 구비되는 상기 이송부(640)부터 상기 하우징 하단에 구비되는 배출구(650)까지 위치하며, 상기 하우징과 직접적으로 접촉하지 않는다. 이는 회전부에 형성된 천공으로부터 배출되는 잔류 담지 대상 용액을 빠르게 포집하여 하우징 하부로 내려 보내기 위함이다. 또한 상기 회전부는 회전력을 부여받기 위해 모터 및 회전전달축이 회전부 하단에 구비될 수 있다.
- [0102] 상기 회전부의 회전이 계속 진행되면서 흡착 모듈에서 잔류 담지 대상 용액이 빠져나가면, 흡착 모듈 자체의 무게가 가벼워지게 된다. 또한 상기 회전부 상부에는 흡착 모듈의 이탈을 방지할 어떠한 장치도 없으므로, 잔류 담지 대상 용액을 제거한 탈수 후 흡착 모듈(102)은 회전부의 회전으로 인해 자연스럽게 회전부의 상부로 이동하게 되며, 도면과 같이 하우징의 상단에 하우징을 관통하여 수평 방향으로 형성된 이송부(640)를 통해 흡착 모듈을 하우징 외부로 배출할 수 있다.
- [0103] 본 발명에 따른 회전부(620)는 회전축에 대해 10 내지 40°의 각도를 가질 수 있다. 상기 회전부의 각도는 회전을 통해 배출되는 잔류 담지 대상 용액의 배출속도 및 상기 흡착 모듈의 상부 이송 속도를 조절하는 하나의 인자로 작용하는 것으로, 상기 범위를 만족할 경우, 흡착 모듈 내부에 잔존하는 담지 대상 용액의 배출 시간 및 흡착 모듈의 상부 이송시간을 절충하여 흡착 모듈 내부에 제거되지 않고 잔존하는 담지 대상 용액을 없앨 수 있으며, 동시에 흡착 모듈을 회전부 상부로 효과적으로 이송할 수 있다.
- [0104] 또한 회전부의 회전에 따라 흡착 모듈로부터 배출된 잔류 담지 대상 용액은 회전부에 형성된 타공을 통해 회전부 밖으로 배출되며, 배출된 잔류 담지 대상 용액은 자연스럽게 하우징의 하부로 이송하게 된다. 하우징의 하부로 이송된 잔류 담지 대상 용액은 하우징의 하부에 하우징을 관통하여 수평 방향으로 형성되는 배출구를 통해 배출될 수 있다.
- [0105] 상기와 같이 잔류 담지 대상 용액이 제거된 흡착 모듈은 d) 단계 이후에, 전기적 탈착법, 양이온 교환법 및 킬레이팅법에서 선택되는 어느 하나 이상의 방법을 적용하여 흡착 모듈에 흡착된 용존 자원을 탈착하는 단계를 수행할 수 있다.
- [0106] 본 발명에서 상기 e) 단계는 당업계에서 이온교환수지나 흡착물질의 세척 및 제거방법으로 사용되는 어떠한 방법을 적용하여도 무방하며, 예를 들어 전기적 탈착법, 양이온 교환법 및 킬레이팅법에서 선택되는 어느 하나 이상의 방법을 적용할 수 있다.
- [0107] 상기와 같이 흡착된 용존 자원이 탈착된 흡착 모듈은 다시 b) 단계로 순환하여 재사용할 수 있다. 이를 통해 흡착 모듈의 용존물질 흡착 효율을 높일 수 있다.
- [0108] 또한 본 발명은 상기 회수방법에 사용되는 흡착 모듈을 포함할 수 있다. 구체적으로 상기 흡착 모듈은,
- [0109] 하나 이상의 관능기를 가지는 고분자 수지, 무기물 소재 또는 이들의 혼합물을 포함하며, 기공률이 10 내지 50 부피%이며, 평균입경이 10 내지 100 μm인 다공성 흡착 구조체;
- [0110] 상기 다공성 흡착 구조체를 감싸며, 칼슘이온 흡착 수지를 포함하는 다공성 보호층; 및
- [0111] 상기 다공성 보호층을 둘러싸는 바이오볼;
- [0112] 을 포함할 수 있다.
- [0113] 이하, 실시예를 들어 본 발명을 더욱 상세히 설명한다. 다만 하기 실시예 및 비교예는 본 발명을 더욱 상세히 설명하기 위한 하나의 예시일 뿐, 본 발명이 하기 실시예에 의해 제한되는 것은 아니다.
- [0114] 하기 실시예에서 적용한 물성 측정 방법은 다음과 같다.
- [0115] (흡착 이온)

[0116] 실시예에 사용된 흡착 모듈을 0.3 M의 염산 용액 100ml에 투입하고 100 rpm으로 2시간 동안 교반하였다. 교반이 끝난 후 염산 용액 내의 용존 자원 농도를 ICP-OES를 이용하여 분석하였다.

[0117] (실시예 1 내지 3)

[0118] 평균입경 36mm의 바이오볼에 다공성 흡착 구조체로 스트론튬 회수용 칼슘 알지네이트(Ca-Algi)를 하기 표 1의 조성으로 첨가하였으며, 상기 다공성 흡착 구조체를 투과성 직물로 감싸 다공성 보호층을 형성한 다음 바이오볼에 삽입하여 흡착 모듈을 제조하였다.

[0119] 준비된 흡착 모듈을 해수 선속도 5.4cm/s의 조건을 가지는 컬럼에 투입하고 하기 표 1의 시간동안 해수와 접촉시킨 후, 흡착 모듈을 컬럼으로부터 꺼내고, 원심분리장치를 이용하여 흡착 모듈의 잔존 해수를 제거하였다. 흡착 모듈 내부 흡착 구조체에 흡착된 용존물질의 함량은 하기 표 1에 기재하였다.

[0120] (비교예 1)

[0121] 상기 바이오볼을 구비하지 않은 것을 제외하고 실시예 1 내지 3과 동일한 방법으로 흡착 공정을 진행하였다. 흡착 모듈에 흡착된 용존물질의 함량은 하기 표 1에 기재하였다.

[0122] [표 1]

| | Ca-Algi (g) | 시간 | 스트론튬 (mg/L) | 칼슘 (mg/L) | 마그네슘 (mg/L) | 나트륨 (mg/L) | 칼륨 (mg/L) |
|-------|-------------|----|-------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| 실시예 1 | 0.24 | 2 | 1.66 | 87.18 | 28.09 | 29.30 | 1.23 |
| 실시예 2 | 0.22 | 6 | 2.70 | 70.20 | 35.36 | 23.46 | 1.10 |
| 실시예 3 | 0.23 | 12 | 2.70 | 65.16 | 31.80 | 30.93 | 1.45 |
| 비교예 1 | 0.21 | 12 | 1.68 | 64.51 | 27.37 | 42.48 | 1.58 |

[0123]

[0124] (실시예 4 내지 6)

[0125] 다공성 흡착 구조체로 칼슘 알지네이트 대신에 붕소 회수용 이온교환수지(S110, Purolite)를 하기 표 2에 조성으로 첨가한 것 이외에는 상기 실시예 1 내지 4와 동일한 방법으로 흡착 공정을 진행하였다. 흡착 모듈에 흡착된 용존물질의 함량은 하기 표 2에 기재하였다.

[0126] (비교예 2)

[0127] 상기 바이오볼을 구비하지 않은 것을 제외하고 동일한 방법으로 흡착 공정을 진행하였다. 흡착 모듈에 흡착된 용존물질의 함량은 하기 표 2에 기재하였다.

[0128] [표 2]

| | S110 (g) | 시간 | 붕소 (mg/L) | 칼슘 (mg/L) | 마그네슘 (mg/L) | 나트륨 (mg/L) | 칼륨 (mg/L) |
|-------|----------|----|-----------|-----------|-------------|------------|-----------|
| 실시예 4 | 0.61 | 2 | 9.95 | 2.39 | 0.12 | 0.15 | 0.17 |
| 실시예 5 | 0.63 | 6 | 30.45 | 3.11 | 0.33 | 1.67 | 0.28 |
| 실시예 6 | 0.60 | 12 | 40.63 | 2.99 | 0.30 | 1.41 | 0.22 |
| 비교예 2 | 0.64 | 12 | 39.41 | 0.4 | 0.26 | 0.73 | 0.0 |

[0129]

[0130] 상기 표 1 및 2와 같이 본 발명에 따른 용존자원의 회수방법 및 바이오볼을 이용한 실시예는 해수로부터 붕소와 스트론튬을 효과적으로 회수할 수 있음을 알 수 있다. 또한 바이오볼을 구비하지 않은 비교예의 경우, 실시예에 비해 붕소나 스트론튬의 흡착량이 유사한 것을 확인할 수 있었고 이는 구형의 흡착 모듈 형태를 구성하는 바이오볼의 사용에 따라서 흡착 구조체의 성능이 감소하지 않음을 의미한다.

부호의 설명

[0131] 100 : 흡착 모듈

101 : 탈수 전 흡착 모듈

102 : 탈수 후 흡착 모듈

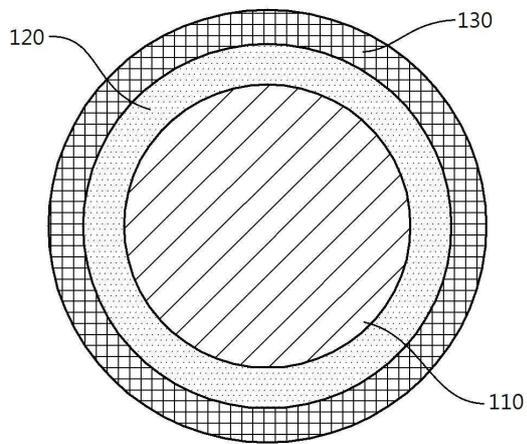
110 : 다공성 흡착 구조체

- 120 : 다공성 보호층
- 130 : 바이오볼
- 200 : 컬럼(column) 장치
- 300 : 배치(batch) 장치
- 400 : 부유 케이지(cage)
- 500 : 스테이션(station) 장치
- 600 : 원심분리장치
- 610 : 하우징
- 620 : 회전부
- 621 : 천공
- 630 : 투입구
- 640 : 이송부
- 650 : 배출구

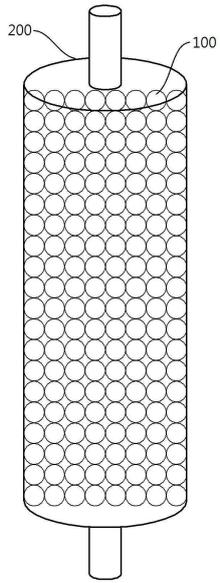
도면

도면1

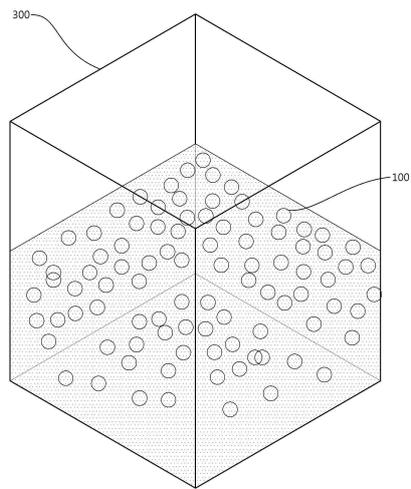
100



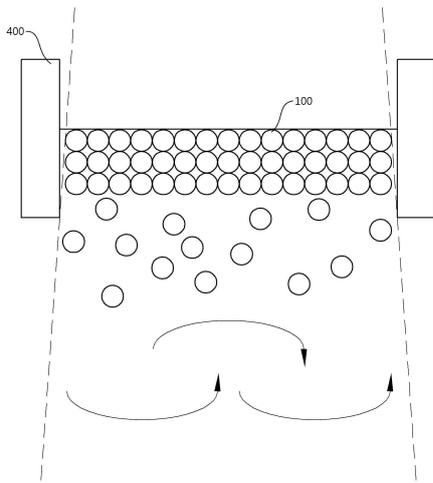
도면2



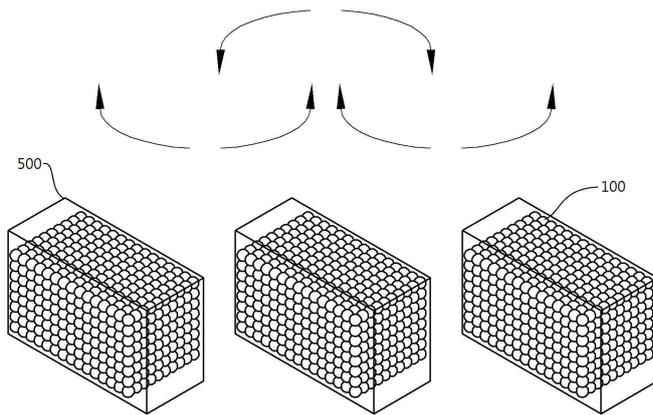
도면3



도면4



도면5



도면6

600

