



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년03월20일
 (11) 등록번호 10-1718052
 (24) 등록일자 2017년03월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G21F 9/12 (2006.01) G21F 1/10 (2006.01)
 (52) CPC특허분류
 G21F 9/12 (2013.01)
 G21F 1/10 (2013.01)
 (21) 출원번호 10-2016-0072111(분할)
 (22) 출원일자 2016년06월10일
 심사청구일자 2016년06월10일
 (65) 공개번호 10-2016-0122095
 (43) 공개일자 2016년10월21일
 (62) 원출원 특허 10-2015-0051995
 원출원일자 2015년04월13일
 심사청구일자 2015년04월13일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP03021344 A
 JP5999688 B2

(73) 특허권자
 한국과학기술원
 대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
 (72) 발명자
 자페르 야부즈
 대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원
 이우진
 대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 이처영, 장제환

전체 청구항 수 : 총 3 항

심사관 : 윤연숙

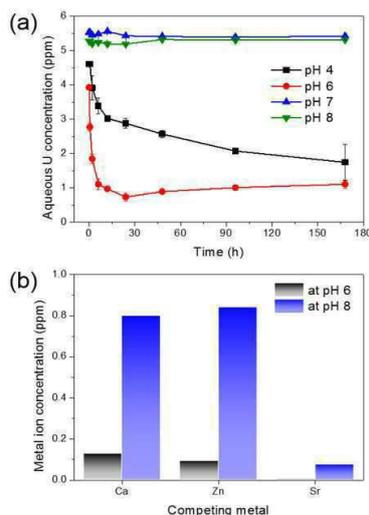
(54) 발명의 명칭 **아미독심 미소공성 고분자를 이용한 우라늄의 흡착회수방법**

(57) 요약

본 발명은 우라늄 흡착제를 이용한 우라늄의 흡착 및 회수방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 우라늄 흡착능이 우수한 아미독심 미소공성 고분자를 함유하는 우라늄 흡착제 및 상기 아미독심 미소공성 고분자 또는 그 박막을 함유하는 우라늄 흡착제를 이용하여 우라늄을 흡착 및 회수하는 방법에 관한 것이다.

본 발명에 따르면, 아미독심 미소공성 고분자는 우라늄 흡착능이 우수하므로, 해수 내 극미량(수 ppb)의 우라늄에 대해 95% 이상의 높은 효율로 흡착이 가능하고, 흡착한 우라늄은 92% 이상의 효율로 회수가 가능하며, 고분자의 재사용시에도 90%의 높은 효율을 유지하며 우라늄 흡착이 가능하고, 멤브레인 공정으로의 적용이 용이하다.

대표도 - 도1



(72) 발명자
신영호
대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원

변지혜
대전광역시 유성구 대학로 291 한국과학기술원

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2013-035189
부처명 교육과학기술부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 기후변화대응 기초원천기술개발과제
연구과제명 분자동역학 분광학을 이용한 SMART 지하수 통합관리 시스템 개발
기여율 1/1
주관기관 한국과학기술원
연구기간 2013.05.01 ~ 2014.04.30

명세서

청구범위

청구항 1

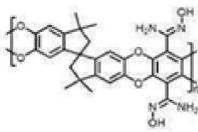
다음의 단계를 포함하는 해수 내 우라늄의 회수방법:

(a) pH 6의 우라늄 함유 해수 1L 당 화학식 1로 표시되는 아미독심 미소공성 고분자 0.5~4g을 접촉시켜 90~98%의 우라늄을 3.77~207.94g/(mg·h)의 흡착속도상수로 흡착시키는 단계;

(b) 우라늄이 흡착된 아미독심 미소공성 고분자를 염기성 용액에서 교반하여 우라늄을 탈착하는 단계; 및

(c) 상기 탈착된 우라늄 이온을 92% 이상 회수하는 단계:

[화학식 1]



(상기 화학식 1에서 n은 1~100000 사이의 정수임.)

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 아미독심 미소공성 고분자는 박막의 형태인 것을 특징으로 하는 우라늄의 회수방법.

청구항 3

삭제

청구항 4

제1항에 있어서, 아미독심 미소공성 고분자가 가해진 우라늄 함유 해수를 여과시켜 수득한 고분자를 (b) 단계에 투입하고, 우라늄 함유 해수 여과액은 중성화를 실시하여 해수에 방출시키는 것을 특징으로 하는 우라늄의 회수방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 우라늄 흡착제를 이용한 우라늄의 흡착 및 회수방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 우라늄 흡착능이 우수한 아미독심 미소공성 고분자를 함유하는 우라늄 흡착제 및 상기 아미독심 미소공성 고분자 또는 그 박막을 함유하는 우라늄 흡착제를 이용하여 우라늄을 흡착 및 회수하는 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 우라늄은 핵 발전소 및 군사무기의 주요 원료로써 다양한 산업 전반에 널리 쓰인다. 최근까지 대부분의 우라늄은 광산 채굴을 통해 획득되어 왔으며, 채굴 과정에서 우라늄 함유 오염수가 빈번히 유출됨으로 인해 주위 환경이 심각히 오염될 뿐만 아니라 인근 인력 및 주민들이 위험에 노출되는 문제점을 보여왔다. 최근 이를 극복하기 위한 친환경기술로서 해수 내 우라늄 회수가 각광을 받고 있다. 해수 내에는 3~5ppb에 해당하는 극미량의 우라늄이 함유되어 있으나 전체 해수 부피를 고려하면 우라늄 광산 대비 수배의 우라늄 생산(700억 달러의 경제적 가치)이 가능하다. 또한 우라늄 회수 과정에서 추가 처리기술이 요구되지 않아 환경오염을 방지할 수 있는 장점

이 있다.

[0004] 한편, 아미독심은 우라늄 이온과 결합하여 선택적인 배위구조를 이룸에 따라 수계 내 우라늄 흡착에 효과적인 것으로 보고되었다(Davies, R. V. et al., *Nature*, 203(4950):1110, 1964). 기존 연구진들은 아미독심을 활성탄(Tian, G. et al., *J. Hazard Mater.* 190(1-3):442, 2011), 그래핀(Chen, H. et al., *Chem. Eng. J.* 254:623, 2014), 실리카(Zhao, Y. G. et al., *RSC Adv.* 4(62):32710, 2014)등에 부착하여 해수 내 우라늄 회수를 시도하였으며 그 결과 수 ppm의 우라늄을 해수모사 환경조건에서 수일 내 흡착하는데 성공하였다. 그러나 기존 물질들의 상용화에는 다음과 같은 문제점이 있다. (1) 수계 내 극미량(수 ppb)의 우라늄 회수에 성공한 사례가 드물어, 가능여부에 대한 검증이 필요하다. (2) 실제 해수에서 높은 회수 효율이 유지되는지 검증되어야 한다. 해수에는 다양하며 높은 농도의 경쟁이온이 존재하기에 우라늄 흡착 효율을 저해할 수 있다. (3) 기존물질들의 최초 사용 후 재사용 시 높은 효율이 유지되는지 검증이 필요하다. 재사용이 가능할 시 기술 경제성이 향상되어 우라늄 광산 채굴기술에 대한 경쟁력 확보가 가능하기 때문이다.

[0005] 이에, 본 발명자들은 해수 내 극미량의 우라늄을 회수하기 위해 예의 노력한 결과, 높은 비표면적과 화학적으로 안정한 미소공성 고분자에 아미독심 부착된 아미독심 미소공성 고분자를 이용할 경우 해수 내 우라늄을 효율적으로 흡착하여 회수할 수 있다는 것을 확인하였으며, 3회간의 재사용에도 뛰어난 흡착능력을 보이는 것을 확인하고, 본 발명을 완성하게 되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

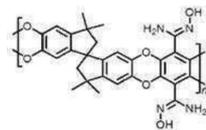
[0007] 본 발명의 목적은 우라늄 흡착능이 우수한 아미독심 미소공성 고분자 또는 그 박막을 함유하는 우라늄 흡착제를 제공하는데 있다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은 우라늄 흡착제를 이용하여 해수 내 우라늄을 흡착 및 회수하는 방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 화학식 1로 표시되는 아미독심 미소공성 고분자 또는 그 박막을 함유하는 우라늄 흡착제를 제공한다.

[0012] [화학식 1]



[0013] 상기 화학식 1에서 n은 1~100000 사이의 정수이다.

[0015] 본 발명은 또한, 상기 우라늄 흡착제를 이용한 우라늄의 흡착 또는 포집 방법을 제공한다.

[0016] 본 발명은 또한, (a) 상기 우라늄 흡착제에 우라늄 함유수를 접촉시켜 우라늄을 흡착시키는 단계; (b) 우라늄이 흡착된 우라늄 흡착제에서 우라늄을 탈착하는 단계; 및 (c) 상기 탈착된 우라늄 이온을 회수하는 단계를 포함하는 우라늄의 회수방법을 제공한다.

발명의 효과

[0018] 본 발명에 따르면, 아미독심 미소공성 고분자는 우라늄 흡착능이 우수하므로, 해수 내 극미량(수 ppb)의 우라늄에 대해 95% 이상의 높은 효율로 흡착이 가능하고, 흡착한 우라늄은 92% 이상의 효율로 회수가 가능하며, 고분자의 재사용시에도 90%의 높은 효율을 유지하며 우라늄 흡착이 가능하고, 멤브레인 공정으로의 적용이 용이하다.

도면의 간단한 설명

[0020] 도 1은 아미독심 미소공성 고분자에 의해 합성 해수 내 우라늄이 흡착하여 제거되는 양상을 pH 조건에 따라 나

타넨 그래프 및 경쟁이온 흡착정도를 나타낸 그래프이다.

도 2는 pH 6 조건의 합성 해수 내에서 아미독심 미소공성 고분자의 주입량에 따른 우라늄의 흡착 양상 및 모의 2차 동역학 모델(pseudo second order kinetic model)에 따른 흡착속도 상수를 나타낸 그래프이다.

도 3은 울릉해역에서 수득한 실제 해수 내 극미량의 우라늄이 아미독심 미소공성 고분자에 의해 제거되는 양상을 나타낸 그래프이다.

도 4는 실제 해수 내 우라늄 제거에 사용된 아미독심 미소공성 고분자가 3회의 재사용 간 보인 흡/탈착효율 변화를 보여주는 그래프이다.

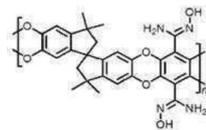
도 5는 아미독심 미소공성 고분자를 박막화 한 결과 및 SEM 분석에 따른 박막 표면의 고분자 형상과 분포를 나타내는 사진이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0021] 본 발명에서는 해수 내 극미량의 우라늄을 흡착하기 위해 아미독심 미소공성 고분자를 해수에 가한 결과, 95% 이상의 높은 우라늄 흡착효율을 확인하였고, 흡착된 우라늄을 고분자로부터 탈착할 경우에는 90% 이상의 우라늄 회수효율을 보였으며, 상기 고분자를 재사용시에도 90% 이상의 높은 우라늄 흡착효율을 유지하였고, 멤브레인 공정으로의 적용이 용이하다는 것을 확인하였다.

[0022] 따라서, 본 발명은 일 관점에서, 화학식 1로 표시되는 아미독심 미소공성 고분자 또는 그 박막을 함유하는 우라늄 흡착제에 관한 것이다.

[0024] [화학식 1]



[0025] 상기 화학식 1에서 n은 1~100000 사이의 정수이다.

[0027] 본 발명에서, 아미독심(amicoxime)은 니트릴기로 구성된 작용기로서, 높은 비표면적을 갖고 있으며, 우라늄 이온과 결합하여 선택적인 배위구조를 이룸에 따라 수계 내 우라늄 흡착에 효과적인 것으로 보고되었다(Davies, R. V. et al., *Nature*, 203(4950):1110, 1964).

[0028] 본 발명에서, 미소공성 고분자(Polymers of Intrinsic Microporosity, PIMs)는 미세 세공과 연속적인 사슬을 통해 만들어지며, 세공의 크기와 모양, 비표면적, 사슬의 균일도에 따라 가스 흡착 및 분리, 촉매, 멤브레인 박막 등에 널리 응용되고 있다(McKeown, N.B. and Budd, P.M., *Chem. Soc.*, 35:675, 2006). 미소공성 고분자는 세공에 따른 높은 비표면적과 이화학적 안정성이 특징이다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에서는, 아미독심 미소공성 고분자를 디메틸포름아미드에 용해시킨 용액을 페트리 접시에 주조하고 용액을 접시 전반에 고르게 퍼지도록 분산시킨 후에 150℃에서 양생과정을 거쳐 아미독심 미소공성 고분자 박막을 수득하였다.

[0030] 본 발명에 있어서, 상기 박막은 (a) 아미독심 미소공성 고분자를 용매에 용해시키는 단계; (b) 상기 용액을 페트리 접시에 주조하고 양생하는 단계; 및 (c) 양생된 박막을 회수하는 단계를 포함하는 방법으로 제조될 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.

[0031] 본 발명에 있어서, 상기 (a) 단계의 용매는 디메틸설폭사이드(dimethylsulfoxide), 디메틸포름아미드(dimethylformamide), 디메틸아세트아미드(dimethylacetamide) 및 n-메틸피롤리돈(n-methylpyrrolidone)으로 구성된 군으로부터 선택될 수 있지만, 이에 국한되는 것은 아니다.

[0032] 본 발명에서, 박막은 표면에 대하여 두께를 무시할 수 있는 물질의 존재 상태를 의미한다. 박막에는 공기 속에 있는 비누막, 비닐막, 윤모 박편과 같이 양면이 동일한 기체상에 접하는 것과, 금속 표면의 산화막, 수면상의 기름막, 유화제 피막, 분산제 피막과 같이 고체/기체, 기체/, 액체 기름/물, 고체/액체 계면에 생기는 것과, 얼음, 기타 고체의 갈라진 곳에 생기는 기체의 박막 등이 있으며, 그 두께도 수면 위 기름의 단분자막(단분자층)과 같이 20Å 정도의 두께를 가진 것에서, 금속의 녹이나 합석, 토탄(아연 도금 강판), 은거

을, 그 외의 박막과 같이 수 μ 에서 1/10mm 정도인 것까지 있다.

- [0033] 본 발명에서, 아미독심 고분자는 디메틸설폭사이드, 디메틸포름아미드, 디메틸아세트아미드 및 n-메틸피롤리돈의 용매에 잘 용해되지만, 디클로로메탄, 클로로포름 및 테트라히드로푸란에서는 용해되지 않는다. 이는, 고온의 끓는점을 가지는 용매를 응용하는 공정에서 아미독심 미소공성 고분자를 손쉽게 박막화하여 멤브레인 공정에 적용할 수 있음을 의미한다.
- [0034] 본 발명의 다른 실시예에서는, 우라늄의 흡착을 위한 최적조건을 도출하기 위해, 아미독심 미소공성 고분자를 합성 해수 및 실제 해수에 가하여 우라늄을 흡착하고 우라늄의 흡착 효율 및 속도를 측정하였다. 그 결과, pH 6 조건에서 아미독심 미소공성 고분자의 우라늄 흡착 효율이 가장 뛰어났고, 우라늄 최대 흡착 효율은 95% 이상임을 확인할 수 있었다.
- [0035] 본 발명은 다른 관점에서, 우라늄 흡착제를 이용한 우라늄의 흡착 또는 포집 방법에 관한 것이다.
- [0036] 본 발명에서, 흡착이라 함은 우라늄 이온이 고분자 표면에 달라붙는 현상을 의미한다.
- [0037] 본 발명에서, 포집이라 함은 흡착되어 있는 상태를 의미한다.
- [0038] 본 발명의 또 다른 실시예에서는, 우라늄 흡착제가 가해진 우라늄 함유수를 여과하여 우라늄 흡착제를 수득한 후, 탄산나트륨(Na_2CO_3) 수용액에서 12시간동안 교반한 후에 탈착된 우라늄 이온을 회수하고, 우라늄이 탈착된 고분자를 세척하여 재사용 실험을 수행하였다. 그 결과, 3회 간의 재사용시에도 아미독심 미소공성 고분자는 90% 이상의 높은 우라늄 흡착효율을 유지하였고, 고분자의 재사용을 위해 탈착된 우라늄은 92% 이상의 회수효율을 유지한 것을 확인할 수 있었다.
- [0039] 본 발명은 또 다른 관점에서, (a) 상기 우라늄 흡착제에 우라늄 함유수를 접촉시켜 우라늄을 흡착시키는 단계; (b) 우라늄이 흡착된 우라늄 흡착제에서 우라늄을 탈착하는 단계; 및 (c) 상기 탈착된 우라늄 이온을 회수하는 단계를 포함하는 우라늄의 회수방법에 관한 것이다.
- [0040] 본 발명에 있어서, 우라늄 함유수의 pH는 4 ~ 8, 바람직하게는 pH 5 ~ 7, 더욱 바람직하게는 pH 6인 것을 특징으로 할 수 있으나, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0041] 본 발명에 있어서, 우라늄 함유수는 해수, 지하수, 원전 유출수 및 광산 유출수로 구성된 군에서 선택될 수 있지만, 바람직하게는 해수인 것을 특징으로 할 수 있다.
- [0042] 본 발명에 있어서, 우라늄 흡착제의 우라늄 흡착능은 90 ~ 98%인 것을 특징으로 할 수 있으나, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0043] 본 발명에 있어서, 상기 (b) 단계의 우라늄 흡착제는 염기성 용액에서 교반되어 우라늄을 탈착할 수 있으나, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0044] 본 발명에 있어서, 우라늄 흡착제가 가해진 우라늄 함유수를 여과시켜 수득한 우라늄 흡착제를 (b) 단계에 투입하고, 우라늄 함유수 여과액은 중성화를 실시하여 해수에 방출시킬 수 있으나, 이에 국한되는 것은 아니다.
- [0046] 이하, 본 발명을 실시예에 의하여 더욱 상세하게 설명한다. 이들 실시예는 단지 본 발명을 보다 구체적으로 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 범위가 이들 실시예에 국한되지 않는다는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 자명할 것이다.
- [0048] **실시예 1. 아미독심 미소공성 고분자를 이용한 합성 해수 내 우라늄 흡착을 위한 최적 pH 조건 도출**
- [0049] 육우라닐질산염(Uranyl-nitrate hexahydrate, Sigma-Aldrich)을 0.1 M 질산에 녹여 1×10^{-3} M(=238 ppm)의 우라늄 표준용액을 준비하였다. 합성해수는 40g의 해수염(Sea-salt, Sigma-Aldrich)을 1 L의 초순수에 용해시켜 제조하였다. 다음으로 준비된 우라늄 표준용액을 합성해수로 희석시켜 5 ppm의 우라늄 함유 합성해수를 만들었으며, 0.1 M NaCl 및 HCl 용액을 가하여 합성해수 pH를 4, 6, 7 및 8로 적정하였다. 회분식 실험을 위해 40 mg의 미소공성 아미독심 고분자를 PTFE 바이알(24 mL)에 정량하고 준비된 우라늄 함유 합성해수 20 mL를 가하여 흡착반응을 유도하였다. 실험결과와 재현성을 검증하기 위하여 모든 샘플은 2 set로 준비되었다. 주입 직후를 반응 0시간으로 기준하여 180 rpm으로 샘플을 교반하였으며 10분, 30분, 6시간, 12시간, 24시간, 2일, 4일, 7일 후 샘플링을 실시하였다. 샘플링 시 샘플을 200 nm 나일론 필터(Whatman)에 투과시켜 여과액을 준비하였으며 이를 1% 질산에 10배 희석시켰다. 희석된 여과액 내 총 우라늄 농도를 유도결합 플라즈마 질량분석기(Agilent 7700S)를 이용하여 정량하였으며 이로부터 pH 조건에 따른 반응 시간 별 합성 해수 내 우라늄 제거양상을 관측

하였다. 그 결과 pH 4, pH 6의 산성 조건에서 우라늄의 빠른 제거를 확인할 수 있었지만, pH 7 이상의 약염기성 조건에서는 우라늄의 제거가 거의 이루어지지 않았다(도 1의 (a)).

[0050] 합성 해수 내 우라늄이 아미독심 미소공성 고분자 표면에 흡착되는 과정 간 발생하는 경쟁이온 흡착현상 조사를 위하여 7일 간 반응시킨 샘플을 200 nm 나일론 필터에 투과시킨 후 고분자만을 회수하였다. 이를 용해시키기 위하여 35% 질산 20 mL에 가하여 70°C에서 2시간 반응시켰다. 이후 본 용액을 초순수에 10배 희석하여 유도결합 플라즈마 질량분석기를 통해 수용상 내 금속 이온 농도를 정량하였다. 그 결과, pH 8에서 아미독심 미소공성 고분자에 흡착된 Ca^{2+} , Zn^{2+} , Sr^{2+} 의 농도는 각각 0.8 ppm, 0.84 ppm, 0.076 ppm으로 나타났고, pH 6에서는 0.127 ppm, 0.095 ppm, 0.007 ppm으로 나타났다(도 1의 (b)). 이를 통해, 금속 이온의 경쟁흡착이 우라늄의 흡착 효율을 감소시킬 수 있으며, pH 6 조건에서는 경쟁이온의 흡착을 피해 아미독심 미소공성 고분자의 우라늄 흡착효율을 최대로 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

[0052] 실시예 2. 아미독심 미소공성 고분자를 이용한 합성 해수 내 우라늄의 흡착속도 산출

[0053] 아미독심 미소공성 고분자량에 따른 흡착양상 변화를 관찰하기 위하여 PTFE 바이알에 각각 0.01 g, 0.02 g, 0.04 g, 및 0.08 g의 미소공성 고분자를 정량하였다. 이후 238 ppb 우라늄 함유 합성해수(pH 6) 20 ml를 각 바이알에 가하여 흡착반응을 유도하였다. 흡착 양상은 상기 기술된 분석과정을 따라 동일하게 관찰되었다(도 2의 (a)). 그래프에서 V:m은 우라늄 함유 합성해수(V)에 가해지는 미소공성 고분자(m)의 비율을 의미하고, V:m(2000)인 경우에는 20 ml의 합성해수 대 0.01 g의 미소공성 고분자, V:m(1000)인 경우에는 20 ml의 합성해수 대 0.02 g의 미소공성 고분자, V:m(500)인 경우에는 20 ml의 합성해수 대 0.04 g의 미소공성 고분자, V:m(250)인 경우에는 20 ml의 합성해수 대 0.08 g의 미소공성 고분자가 가해짐을 의미한다. V:m(2000)인 경우, 50%의 우라늄이 30분만에 제거되었으며, 12시간 후에 우라늄의 농도는 95% 이상 제거된 것으로 나타났다. 아미독심 미소공성 고분자의 함량이 증가할수록 (V:m(1000~250)의 경우), 30분 이내에 95% 이상의 우라늄이 제거된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 아미독심 미소공성 고분자는 수시간 내에 95% 이상의 우라늄을 회수할 수 있는 것을 확인하였다.

[0054] 관찰된 흡착양상을 바탕으로 흡착기작 조사 및 속도상수를 산출하기 위하여 모의 2차 동역학 모델(pseudo-second order kinetic model)이 활용 되었다.

[0055]
$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

[0056] q_t 및 q_e 는 시간 당 우라늄 흡착량 및 평형상태에서의 우라늄 흡착량을 의미한다. t 는 반응시간을 k [g/(mg·h)]는 속도상수를 가리킨다. 이를 활용하여 미소공성 고분자양 별 흡착속도를 산출한 결과 R^2 값은 0.99 이상임을 보임에 따라 우라늄 흡착은 pseudo-second order kinetic 모델로써 설명 가능함을 알 수 있었으며, 이는 합성해수 내 우라늄 미소공성 고분자 표면의 작용기와 착물화(complexation)를 이루며 흡착되는 것을 가리킨다(Ho, Y. S. et al., Process Biochem., 34(5):451, 1999). 또한 산출된 흡착속도상수는 기존연구결과들과 비교하여 3 ~ 4배 높은 값(고분자 0.01 g, 0.02 g, 0.04 g, 및 0.08 g 각각의 경우 3.77, 37.72, 48.84, 및 207.94)을 보임에 따라 본 발명을 통해 기존대비 수배이상 빠른 속도로 우라늄 회수가 가능함을 알 수 있었다(도 2의 (b)).

[0058] 실시예 3. 아미독심 미소공성 고분자를 이용한 실제 해수 내 우라늄의 흡착 확인

[0059] 실시예 1에서 아미독심 미소공성 고분자의 우라늄 회수성능을 확인하였으므로, 본 실시예에서는 실제 해수 내에서의 우라늄 흡착양상을 확인하고자 하였다. 이를 위해, 국내 동해 울릉해역에서 해수를 채취하였다. 채취된 실제 해수는 800 nm 나일론 필터(Whatman)로 여과시켜 입자상 물질을 제거하였으며 이에 우라늄 표준용액을 극미량 첨가하여 5.5 ppb의 우라늄을 함유하는 실제해수를 준비하였다. 준비된 해수를 0.1 M HCl로 적정하여 pH 6 조건을 유지하였다. 흡착실험을 위해 V:m(500) 조건에서 반응을 유도하였다. 샘플링 및 해수 내 우라늄 제거양상 관측은 실시예 1과 실시예 2에서 기술된 절차를 따라 실시되었다. 그 결과 95% 이상의 우라늄이 6시간 이내 회수가능함을 확인하였다(도 3).

[0061] 실시예 4. 아미독심 미소공성 고분자의 재사용 성능 검증

[0062] 아미독심 미소공성 고분자의 재사용 성능을 확인하기 위하여 실시예 3에서 흡착된 우라늄을 탈착한 후 재사용 실험을 수행하였다. 반응한 고분자를 200 nm 나일론 필터로 회수한 후 2 M의 탄산나트륨(Na_2CO_3 , Sigma-

Aldrich) 수용액을 가하여 180 rpm에서 12시간 교반시켜 흡착된 우라늄의 탈착, 회수하였다. 여과된 고분자는 초순수로 3회 세척하고 상온에서 3일 간 건조시키고 재사용되었다. 사용을 마친 해수 여과액은 중성화를 거쳐 해수에 방출시킬 수 있도록 처리하였다. 그 결과, 3회간의 재사용시 고분자의 우라늄 흡착효율은 95.4%, 93.1%, 91.9%를 유지하였고, 고분자의 재사용을 위해 탈착된 우라늄 중 92% 이상이 회수되는 것을 확인할 수 있었다(도 4). 이를 통해, 아미독심 미소공성 고분자가 재사용 후에도 높은 우라늄 흡착효율을 유지하는 것을 확인하였다.

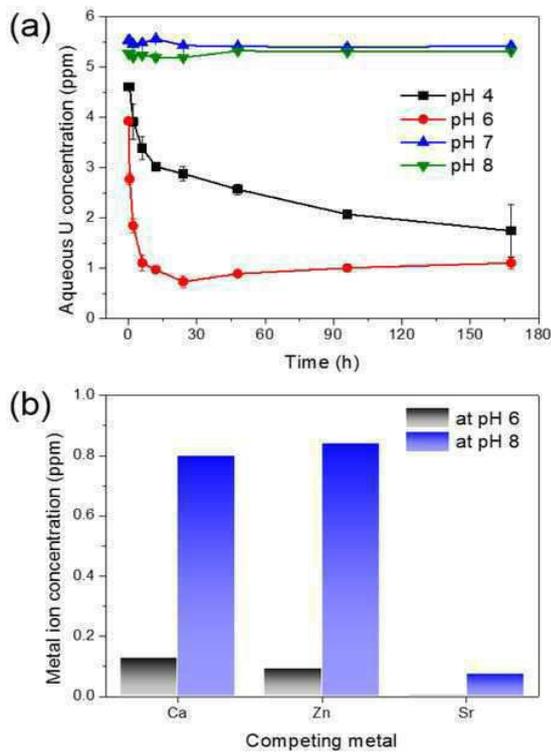
[0064] 실시예 5. 아미독심 미소공성 고분자의 멤브레인 공정화 용이성 제시

[0065] 아미독심 미소공성 고분자를 약 10wt%의 농도로 디메틸포름아미드 용매에 용해한 용액을 준비하였다. 아미독심 미소공성 고분자의 용액을 페트리 접시에 주조하고 용액을 접시 전반에 고르게 퍼지도록 분산시켰다. 용액은 150°C에서 약 3시간 양생되었고, 이후에 신축성이 우수한 미소공성 고분자 박막을 수득하였다(도 5의 (a)). 주사전자 현미경(SEM)으로 수득한 박막을 관찰한 결과, 표면의 결함이 없이 고분자 입자가 밀집된 구조를 형성하는 것을 확인할 수 있었다(도 5의 (b)).

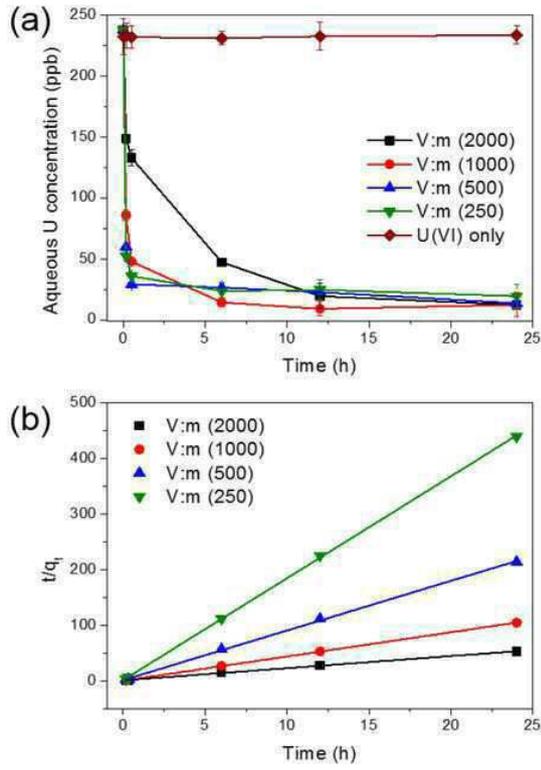
[0067] 이상으로 본 발명 내용의 특정한 부분을 상세히 기술하였는바, 당업계의 통상의 지식을 가진 자에게 있어서, 이러한 구체적 기술은 단지 바람직한 실시양태일 뿐이며, 이에 의해 본 발명의 범위가 제한되는 것이 아닌 점은 명백할 것이다. 따라서 본 발명의 실질적인 범위는 첨부된 청구항들과 그것들의 등가물에 의하여 정의된다고 할 것이다.

도면

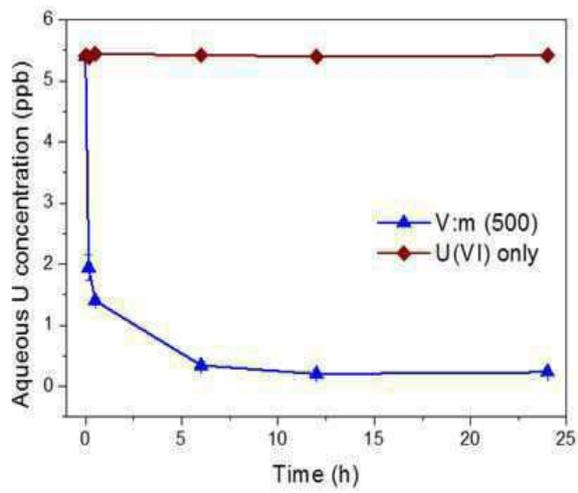
도면1



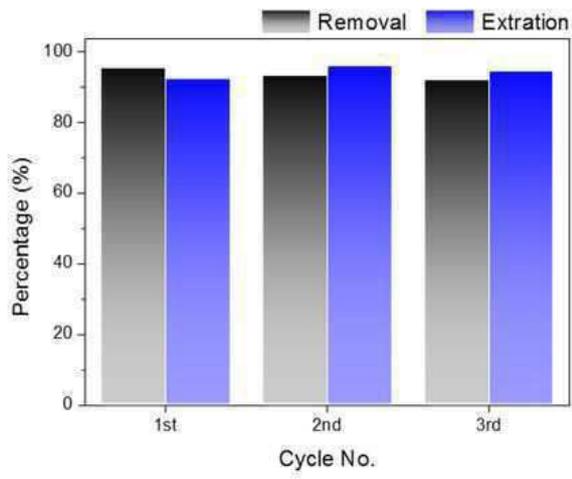
도면2



도면3



도면4



도면5

