



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0102920
(43) 공개일자 2018년09월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B01J 20/04 (2006.01) B01J 20/22 (2006.01)
B01J 20/32 (2006.01)
(52) CPC특허분류
B01J 20/04 (2013.01)
B01J 20/22 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0029670
(22) 출원일자 2017년03월08일
심사청구일자 2017년03월08일

(71) 출원인
인하대학교 산학협력단
인천광역시 남구 인화로 100, 인하대학교 (용현동)
한국원자력연구원
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)
(72) 발명자
허윤석
인천광역시 연수구 해돋이로84번길 30, 101동 1002호(송도동, 송도금호어울림아파트)
이일송
대전광역시 서구 월평동로 83, 104동 1403호(월평동, 다모아아파트)
(74) 대리인
김순웅

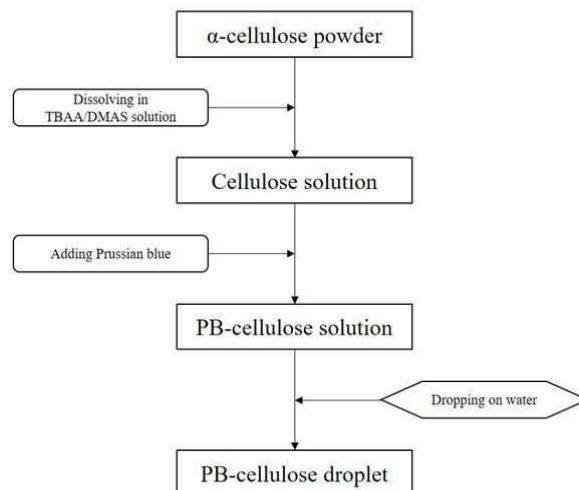
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세습 흡착제 및 이의 제조방법**

(57) 요약

본 발명은 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세습 흡착제 및 이의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 세습 흡착제는 간단하고 경제적으로 제조될 수 있고, 세습을 회분식 흡착 후 흡착제를 회수하는 방법뿐만 아니라 칼럼에 충전한 뒤 연속적으로 세습을 흡착하여 제거할 수 있으며, 산, 염기, 고온 및 저온 조건에서도 담지한 프러시안 블루가 용출되지 않아 세습이 부착된 프러시안 블루를 재방출하는 문제가 없으므로 세습 흡착제로서 유용하게 이용될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

B01J 20/3234 (2013.01)

(72) 발명자

최상락

경기도 고양시 덕양구 토당로 123, 207동 406호(토당동, 대림아파트)

장성찬

대전광역시 서구 도산로 11, 107동 301호(도마동, 효성타운아파트)

강성민

인천광역시 남구 매소홀로535번길 18-16 비전하우스 402호(문학동)

조완섭

부산광역시 사하구 괴정로244번길 57, 103동 1202호(괴정동, 괴정 경동 메르빌)

김성현

충청북도 청주시 흥덕구 봉명로141번길 16 (봉명동)

노창현

대전광역시 유성구 은구비남로 56, 905동 601호(노은동, 열매마을 아파트 9단지)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711029048

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 방사선기술개발사업

연구과제명 방사성 핵종 광물화를 위한 3D 다공성 흡착제 개발

기 여 율 1/1

주관기관 인하대학교

연구기간 2015.08.10 ~ 2018.07.31

명세서

청구범위

청구항 1

프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세습 흡착제.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 세습 흡착제는 생체 적합성, 생체 비흡착성 및 생체 비분해성인 것을 특징으로 하는 세습 흡착제.

청구항 3

제1항에 있어서,

생체 내 세습의 제염을 위한 제염제인 것을 특징으로 하는 세습 흡착제

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 세습 흡착제는 지름이 1 내지 5 mm이고, 프러시안 블루가 8 내지 20 중량%로 함유된 것을 특징으로 하는 세습 흡착제.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 세습 흡착제는 그물구조의 3차원 다공성 셀룰로오스 하이드로겔 내부에 프러시안 블루가 담지된 것을 특징으로 하는 세습 흡착제.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 프러시안 블루는 입자의 크기가 10 내지 200 nm인 다공성 물질인 것을 특징으로 하는 세습 흡착제.

청구항 7

(1) 셀룰로오스 용액 제조 단계;

(2) 상기 셀룰로오스 용액에 프러시안 블루를 첨가하여 분산시키는 단계;

(3) 증류수에 상기 프러시안 블루가 분산된 셀룰로오스 용액을 떨어뜨려 겔화시키는 단계;를 포함하는 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세습 흡착제의 제조방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 (1) 단계는 디메틸설폭사이드 10 중량부에 대하여 테트라부틸암모늄 아세테이트 1.5 내지 2.3 중량부를 용해시킨 용액 100 중량부에 대하여 셀룰로오스 2 내지 4 중량부를 용해시키는 것을 특징으로 하는 제조방법.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 (2) 단계는 셀룰로오스 용액 10 중량부에 대하여 프러시안 블루 0.5 내지 1 중량부를 첨가하여 분산시키는 것을 특징으로 하는 제조방법.

청구항 10

제7항에 있어서,

상기 (3) 단계는 입자의 크기가 1 내지 5 mm인 하이드로겔이 형성되도록 하는 것을 특징으로 하는 제조방법.

청구항 11

제1항 내지 제6항 중 어느 하나에 따른 세습 흡착제를 인간을 제외한 생체 내에 세습을 보유한 포유동물에게 섭취시키는 단계; 및 세습을 흡착시키는 단계;를 포함하는 생체 내 방사성 세습의 제염방법.

청구항 12

제1항 내지 제6항 중 어느 하나에 따른 세습 흡착제를 방사성 세습을 포함하는 용액에 투여하는 단계; 및 세습을 흡착시키는 단계;를 포함하는 방사성 세습의 제염방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세습 흡착제 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 현재, 널리 보급되어 있는 원자로 발전 플랜트에 있어서는, 원자로에서의 핵분열에 의해서 상당한 양의 방사성 부산물의 생성을 수반한다. 이들 방사성 물질의 주된 것은, 방사성 요오드, 방사성 세슘, 방사성 스트론튬, 방사성 세륨 등의 극히 위험한 방사성 동위 원소를 포함하는 핵분열 생성물 및 활성 원소이다. 2011년 3월 일본 후쿠시마 원자력 발전소 사고에 의해 토양이나 동식물, 폐기물 등이 방사성 물질에 오염되어 있어 심각한 환경 문제를 야기하고 있다. 원자력 발전소 사고시 발생하는 주요 방사성 물질로는 방사성 요오드와 방사성 세슘 등을 들 수 있다. 방사성 요오드는 반감기가 약 8일로 비교적 짧은데 반해 방사성 세슘은 반감기가 30년으로 대단히 길며, 세슘은 칼륨과 화학적 성질이 비슷하여 흡수시 근육 등에 농축되어 면역력 결핍 및 각종 암(불임증, 골수암, 폐암, 갑상선암, 유방암 등) 등을 유발하는 원인이 된다.

[0003] 한편, 원자로 내에서의 핵분열에 의해 생성된 방사성 세슘의 제거 처리 방법으로서, 무기 이온 교환체나 선택성 이온 교환 수지에 의한 흡착법, 중금속과 가용성 페로시아나화물 또는 페로시아나화물염 병용에 의한 공침법, 세습 침전 시약에 의한 화학 처리법 등이 알려져 있다. 그러나, 상술한 처리 방법은, 어느 것도 순환 펌프나 정화조, 또한 각 흡착제를 내장한 충전조 등의 대대적인 설비를 필요로 하고, 또한, 그것들을 가동시키기 위한 막대한 에너지를 필요로 한다. 또한, 토양에 오염된 방사성 세슘은 세슘 이온(Cs^+) 형태로, 점토나 유기물, 무기물 등과 강하게 결합되어 있어 회수하는 데 상당히 곤란하며, 하천이나 바다 등을 오염시킨 방사성 세슘도 이온 형태로 수중에 저농도로 존재하기 때문에 선택적으로 흡착하는데 한계가 있다.

[0004] 하이드로겔은 물에 녹지 않고 팽윤되어 구조 내에 많은 양의 수분을 함유할 수 있는 3차원 망상 구조를 갖는 친수성 고분자 물질로서, 수용액에서 팽윤된 이후 열역학적으로 안정하고 또한 특유의 친수성과 유연성으로 인해 의학·화학 분야에 다양하게 이용되고 있다. 예를 들면, 소프트렌즈, 바이오센서, 인공근육 등의 생체 재료 및 약물전달시스템 분야에서 하이드로겔을 이용하고 있다.

[0005] 프러시안 블루(prussian blue)는 감청색의 염료로서 균일한 격자구조를 갖는 페로시아나화 철의 수화물이다. 격자 한 변의 길이가 약 210 pm으로 세슘의 원자지름인 520 pm과 비슷하여 방사성 세슘 이온 흡착에 선택성이 있으며 ¹³⁷Cs의 생물학적 반감기를 110일에서 30일로 단축시키는 효과가 있어 세습 피폭시 정제된 상태로 복용하여 세습에 의한 방사능 노출을 감소시키는 역할을 해왔다.

[0006] 또한, 일본 독립행정법법인 산업기술연구소에서는 세슘에 선택흡착을 보이는 프러시안 블루 나노입자를 개발하여 방사성 세슘으로 오염된 오염수나 침출수 중의 세슘을 고농도로 선택 흡착하는 다양한 형태의 세습 흡착용 조성물을 개발하였다. 이러한 프러시안 블루의 세습 흡착기구는 프러시안 블루 결정 내 공극으로 세습 수화물을 선택적으로 흡착하는 것으로 알려져 왔다.

[0007] 한국공개특허공보 제10-2005-120312호에는 음이온 교환수지에 음이온인 핵사시아노철(II)을 흡착시키고 여기에 전이금속인 Co를 흡착시킴으로써 방사성 핵종 중 방사성 세슘 또는 스트론튬의 선택적 흡착이 가능한 이온교환체를 개시하고 있다. 그러나 특허문헌 1에 개시된 이온교환체는 방사성 폐액이나 수중에 저농도로 분포된 세슘을 선택적, 고효율로 흡착하는 데는 한계가 있다.

[0008] 또한, 한국등록특허공보 제10-1172247호에는 방사성 폐수지 중의 이온형태의 방사성 탄소를 산성용액을 이용하여 방사성 이산화탄소로 전환시키고 상기 방사성 이산화탄소를 방사성 이산화탄소 흡착용 조성물에 흡착시켜서 제거하는 제1차 제염단계와, 상기 제1차 제염단계에서 제1차 제염된 폐수지 중의 방사성핵종과 상기 산성용액에 해리된 방사성 핵종을 초임계이산화탄소와 친이산화탄소성 금속물질 추출보조제를 이용하여 방사성 착물(Co, Cs) 및 금속물질 추출보조제가 결합한 화합물)로 추출하여 제거하는 제2차 제염단계와, 상기 제1차 제염단계와 제2차 제염단계에서 제염된 폐수지를 가열 건조시키는 건조단계를 포함하는 방사성 폐수지 제염방법이 제안되어 있으나, 상기 방법 역시 방사성 세슘을 선택적, 고효율로 흡착하는 데는 한계가 있다.

[0009] 본 발명자들은 상기 문제점들을 해결하기 위하여 세슘 흡착제에 대해 연구하던 중, 프리시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔이 간단하고 경제적으로 제조될 수 있으며, 고효율 및 고선택적으로 세슘을 제거할 수 있음을 확인하고, 본 발명을 완성하였다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 본 발명의 목적은 프리시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세슘 흡착제를 제공하는 것이다.

[0011] 본 발명의 다른 목적은 프리시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세슘 흡착제의 제조방법을 제공하는 것이다.

[0012] 본 발명의 또 다른 목적은 상기 세슘 흡착제를 이용한 방사성 세슘의 제염방법을 제공하는 것이다.

[0013] 본 발명의 또 다른 목적은 상기 세슘 흡착제를 이용한 생체 내 방사성 세슘의 제염방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명은 프리시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세슘 흡착제를 제공한다.

[0015] 본 발명에 따른 상기 세슘 흡착제는 생체 적합성, 생체 비흡착성 및 생체 비분해성의 특성을 나타낸다.

[0016] 본 발명에 따른 상기 세슘 흡착제는 생체 내 세슘의 제염을 위한 제염제일 수 있다.

[0017] 본 발명에 따른 상기 세슘 흡착제는 지름이 1 내지 5 mm이고, 프리시안 블루가 8 내지 20 중량%로 함유된 것일 수 있다.

[0018] 본 발명에 따른 상기 세슘 흡착제는 3차원 다공성 셀룰로오스 하이드로겔 내부에 프리시안 블루가 담지된 것일 수 있다.

[0019] 본 발명에 따른 상기 세슘 흡착제의 상기 프리시안 블루는 입자의 크기가 10 내지 200 nm인 다공성 물질일 수 있다.

[0020] 또한, 본 발명은 하기 단계를 포함하는 프리시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세슘 흡착제의 제조방법을 제공한다:

[0021] (1) 셀룰로오스 용액 제조 단계;

[0022] (2) 상기 셀룰로오스 용액에 프리시안 블루를 첨가하여 분산시키는 단계;

[0023] (3) 증류수에 상기 프리시안 블루가 분산된 셀룰로오스 용액을 떨어뜨려 겔화시키는 단계.

[0024] 또한, 본 발명은 상기한 세슘 흡착제를 인간을 제외한 생체 내에 세슘을 보유한 포유동물에게 섭취시키는 단계; 및 세슘을 흡착시키는 단계;를 포함하는 생체 내 방사성 세슘의 제염방법을 제공한다.

[0025] 또한, 본 발명은 상기한 세슘 흡착제를 방사성 세슘을 포함하는 용액에 투여하는 단계; 및 세슘을 흡착시키는

단계;를 포함하는 방사성 세슘의 제염방법을 제공한다.

발명의 효과

[0026]

본 발명에 따른 세슘 흡착제는 간단하고 경제적인 방법으로 제조될 수 있으며, 세슘을 회분식으로 흡착한 후 회수하는 방법뿐만 아니라, 컬럼에 충전하여 오염물질을 흘려보내는 방식으로 세슘을 연속적으로 흡착하여 제거할 수 있으므로 산업상 유리하다. 또한, 산, 염기, 고온, 저온 및 효소가 함유된 조건에서도 지지체인 셀룰로오스 하이드로겔의 분해나 변형이 일어나지 않으므로 담지된 프러시안 블루가 용출되는 일이 없어 친환경적이며, 생체 적합성, 생체 비흡착성 및 생체 비분해성의 특성을 나타내므로 생체 제염제로 유용하게 적용 가능하다.

도면의 간단한 설명

[0027]

도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔의 제조 과정을 개략적으로 나타낸 도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스의 겔화 메커니즘을 도식화하여 나타낸 도이다.

도 3은 셀룰로오스 하이드로겔(CH)과 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔(PB-CH)을 X선 회절분석법(X-ray Diffraction Spectroscopy : XRD)으로 분석한 결과이다.

도 4는 셀룰로오스 하이드로겔(CH)과 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔(PB-CH)을 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)으로 분석한 결과이다.

도 5는 셀룰로오스 하이드로겔(CH)과 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔(PB-CH)을 X선 광전자 분광법(X-Ray Photoelectron Spectroscopy : XPS)으로 분석한 결과이다((a) PB-CH의 C1s 스펙트럼, (b) CH의 C1s 스펙트럼, (c) PB-CH의 O1s 스펙트럼, (d) CH의 O1s 스펙트럼)

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔 세슘 흡착제의 표면(A) 및 단면(B)을 주사전자현미경을 통해 관찰한 결과를 나타낸 도이다.

도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루의 함량을 확인하기 위한 흡광도 그래프이다. (a)는 검정곡선이며, (b)는 실시예 1의 흡광도 결과이다.

도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔 세슘 흡착제의 세슘 흡착등온실험이다. 도 8(a)는 물에서의 등온흡착실험이고, 도 8(b)는 인공장액에서의 등온흡착실험 결과이다.

도 9은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔 세슘 흡착제의 흡착 운동역학실험이다. 도 9(a)는 물에서의 흡착 운동역학실험이고, 도 9(b)는 인공장액에서의 흡착 운동역학실험 결과이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔의 물에서의 프러시안 블루 비용출 특성을 평가한 결과이다.

도 11은 본 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔의 인공 생체액에서의 프러시안 블루의 비용출 특성을 평가한 결과이다.

도 12는 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔의 세포독성을 평가한 결과이다.

도 13 및 14는 발명의 일 실시예에 따른 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔의 효소 안정성을 평가한 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028]

본 발명은 셀룰로오스 고분자 사슬의 글리코시드 결합과 고분자 내부 및 고분자간의 수소결합을 통해 고분자가 강하게 연결되어 있어 수용액 상에서도 프러시안 블루를 잘 담지할 수 있으며, 형태의 변형이나 기계적 특성의 하락이 없어 세슘의 제염에 효과적으로 이용될 수 있는 프러시안 블루(Prussian Blue)를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세슘 흡착제를 제공한다.

- [0029] 이하 본 발명을 상세히 설명한다.
- [0030] 본 발명의 프러시안 블루(Prussian blue)는 헥사시아노철(II)산철(III)칼륨이 주성분인 청색 염료 물질로서, 페로시아나화 철의 수화물이다. 방사성 세슘(^{137}Cs)에 오염되었을 때 응급 약품으로 사용되며, 프러시안 블루를 투여할 경우, 세슘과 화학적으로 결합해 체외배출을 촉진함으로써 세슘(^{137}Cs)의 생물학적 반감기를 110일에서 30일로 감소시킨다.
- [0031] 상기 프러시안 블루의 형태는 다공성일 수 있으나, 이에 한정되지 않으며, 통상의 프러시안 블루이면 사용이 가능하고, 프러시안 블루의 입자 크기, 구조적 또는 형태적 특징을 조절하거나 또는/및 세슘 흡착제에 함유되는 프러시안 블루의 분산성을 향상시키기 위해 고분자로 코팅된 형태의 것을 사용할 수도 있다.
- [0032] 상기, "다공성"은 고체가 내부 또는 표면에 작은 빈틈을 많이 가진 상태로 빈틈이 외부로 통하는 것도 있고, 기둥모양인 것도 있을 수 있으며, 예를 들어, 메소포러스(mesoporous) 또는 할로우(hollow) 구조를 포함하나, 이에 한정되지 않으며, 바람직하게는 입자의 크기가 10 내지 200 nm인 것일 수 있다.
- [0033] 상기 프러시안 블루가 상기 범위의 다공도를 가지는 경우에는 방사성 세슘의 흡착율이 특히 향상되므로 바람직하다.
- [0034] 본 발명에 의하면, 상기 프러시안 블루가 상기 입자 크기를 가지는 경우에는 셀룰로오스 하이드로겔에서 분산성이 특히 우수해지므로 세슘의 흡착율이 향상된 세슘 흡착제를 제조할 수 있으며, 3차원 다공성 셀룰로오스 하이드로겔 구조로부터 분리되어 배출되지 않으므로 친환경적이다.
- [0035] 본 발명의 세슘(Cesium)은 ^{137}Cs , ^{135}Cs , 또는 ^{134}Cs 등일 수 있으며, 바람직하게는 ^{137}Cs 일 수 있다. 상기 ^{137}Cs 은 핵분열시 발생하는 주요 방사성 동위원소로서, 원자력 발전소의 사고에 의해 외부 환경에 방출되는 방사성 물질이며, 반감기가 30.17년인 유독 물질이다.
- [0036] 본 발명에서 "흡착"이란 기체나 용액의 분자들이 고체 표면에 달라붙는 현상을 말하며 이때 흡착을 받아들이는 고체물질을 흡착제라고 한다. 흡착제는 단위부피당 흡착되는 표면 넓이가 넓은 것이 우수한 흡착제로 작용한다. 본 발명에 따른 프러시안 블루 입자가 담지된 셀룰로오스 하이드로겔은 방사성 세슘을 고효율, 고선택적으로 흡착이 가능하다.
- [0037] 본 발명의 하이드로겔은 물에 녹지 않고 팽윤되어 구조 내에 많은 양의 수분을 함유할 수 있는 3차원 망상 구조를 갖는 친수성 고분자 물질로서, 적어도 전체 중량의 20% 이상의 수분을 흡수할 수 있다.
- [0038] 하이드로겔이 팽윤하는 이유는 고분자 사슬의 -OH, -COOH, -CONH, -CONH₂, -SO₃H와 같은 작용기와 물 사이의 삼투압 현상, 모세관 현상이 작용하기 때문이며, 하이드로겔이 물에 용해하지 않는 이유는 일반적으로 고분자 사슬 간 공유결합 구조 때문이다. 하이드로겔은 수용액상에서 팽윤된 후에 열역학적으로 안정하게 존재하여 액체와 고체의 중간 형태에 해당하는 기계적·물리화학적 특성을 지닌다.
- [0039] 본 발명의 셀룰로오스(cellulose)는 식물체의 세포벽 주성분으로서 식물 섬유를 구성하며, D-글루코오스가 (1→4)-β-형의 글리코시드 결합으로 끈은 사슬 모양으로 결합한 고분자 화합물을 의미한다.
- [0040] 상기 셀룰로오스는 바람직하게는 알파-셀룰로오스(α-cellulose)일 수 있다.
- [0041] 상기 알파-셀룰로오스는 20° C의 17.5% NaOH 수용액에서 용해되지 않는 탄수화물을 의미하며, 실제의 셀룰로오스이다.
- [0042] 본 발명에 따른 세슘 흡착제의 경우 셀룰로오스를 기반으로 한 하이드로겔이므로, 독성이나 자극성이 없고 생적합성과 높은 팽윤력을 가지는 특징이 있으며, 팽윤(swelling)된 후 인장강도가 크게 약해지는 다른 종류들의 하이드로겔과 달리 팽윤된 후에도 강한 인장강도를 갖고 있어 프러시안 블루를 효과적으로 담지할 수 있다.
- [0043] 또한, 종래에 다방면으로 이용되는 알긴산(alginic acid), 키토산(chitosan), 카복시메틸셀룰로오스(carboxymethyl cellulose) 등의 고분자는 +2가, +3가 양이온을 포함하는 수용액에서 가교결합(cross linking)하여 하이드로겔을 형성하므로 수 시간이 걸리는 반면, 본 발명의 흡착제는 프러시안 블루가 분산된 셀룰로오스 용액을 오직 물에 떨어뜨려 수 분 안에 겔화시키는 것으로, 단시간 내에 간단하게 제작할 수 있다는 장점이 있다.
- [0044] 본 발명에서 프러시안 블루를 셀룰로오스 하이드로겔에 담지시키는 이유는, 흡착능이 있는 프러시안 블루를 미

립자의 상태로 사용할 경우, 폐수처리 공정에서 기계적 강도가 약하여, 폐수와 함께 외부로 유출되어지고, 2차 오염을 발생시킬 뿐만 아니라, 처리공정 이후 회수하여 재사용하는 것이 원천적으로 불가능하게 되므로, 이러한 불합리한 사항들을 사전에 방지하기 위한 것이다. 또한 프러시안 블루는 생체 내에서 독성을 나타내므로 생체 제염을 위해서는 담지체에 담지하는 것이 바람직하다.

[0045] 한편, 프러시안 블루의 담지체로 PNIPAm과 같은 고분자를 사용하는 경우에는 생체 독성이 있기 때문에 생체 제염을 위한 소재로 이용하기 어려우며, 알지네이트와 같은 다당류 고분자나 젤라틴을 사용하는 경우에는 장액 등의 효소에 의해 수분 내로 분해될 수 있으므로 프러시안 블루가 용출될 우려가 있다. 반면 본 발명에 따른 셀룰로오스 하이드로겔은 생체 적합성을 가지는 재료이며 체내에서 분해 또는 소화되지 않으므로, 이를 포함하는 세습 흡착제는 체내로 경구 투여하여 소화기관에서 세습을 흡착한 뒤 체외로 배출시키기 위한 생체 제염제로서 특히, 바람직하다

[0046] 본 발명에 따른 세습 흡착제는 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스를 증류수에 떨어뜨려 액체방울을 만드는 것만으로 겔화될 수 있어 간단하고 경제적으로 제조될 수 있으며, 셀룰로오스 고분자 사슬의 글리코시드결합(glycosidic bond)과 고분자 내부 및 고분자 간의 수소결합(hydrogen bond)을 통해 고분자가 강하게 연결되어 있어 수용액상에서도 프러시안 블루를 잘 담지하며 하이드로겔의 모양 및 강도를 유지할 수 있다는 장점이 있다.

[0047] 또한, 본 발명에 따른 세습 흡착제는 호수 또는 바다에서 세습을 회분식 흡착 후 흡착제를 회수하는 방법뿐만 아니라 칼럼에 충전한 뒤 연속적으로 세습을 흡착하여 제거할 수 있으며, 산, 염기, 고온, 저온이나 효소가 함유된 조건에서도 셀룰로오스 하이드로겔이 분해되거나 변형되지 않으므로 담지한 프러시안 블루가 용출되지 않아 종래의 프러시안 블루를 이용한 세습 흡착제의 문제점으로 지적되고 있는, 세습이 부착된 프러시안 블루를 재방출하는 문제에서 자유롭다.

[0048] 본 발명의 세습 흡착제는 셀룰로오스 하이드로겔에 담지된 프러시안 블루 외에 세습 흡착 기능을 갖는 다른 화합물을 더 포함할 수 있다. 또한, 상기 세습 흡착제는 자유로운(free) 형태 또는 담체 등에 고정화된 형태로 사용될 수 있다. 또한, 상기 조성물을 담체에 고정화시켜 방사성 세습을 제거하기 위하여 사용할 수도 있다. 상기 흡착제를 담체 등에 고정화시키는 방법은 특별히 제한되지 않으며 다양한 응용이 가능하다. 예를 들어, 흡착법과 포괄법과 같은 물리적인 방법, 공유결합법, 가교연결방법 등의 화학적인 방법을 사용할 수 있다.

[0049] 또한, 본 발명은 (1) 셀룰로오스 용액 제조 단계;

[0050] (2) 상기 셀룰로오스 용액에 프러시안 블루를 첨가하여 분산시키는 단계;

[0051] (3) 증류수에 상기 프러시안 블루가 분산된 셀룰로오스 용액을 떨어뜨려 겔화시키는 단계;를 포함하는 프러시안 블루를 담지한 셀룰로오스 하이드로겔을 포함하는 세습 흡착제의 제조방법을 제공한다.

[0052] 상기 (1) 단계는 셀룰로오스 용액을 제조하는 단계로, 상기 셀룰로오스는 바람직하게는 α -셀룰로오스이다.

[0053] α -셀룰로오스는 D-글루코오스(D-glucose)를 단량체로 하는 고분자로 단량체간 베타(1→4) 글리코시드결합을 하고 있다. 셀룰로오스가 포함하는 히드록실기(hydroxyl group, -OH)는 고분자 내부 및 고분자간의 강한 수소결합을 유도하여 물에 녹지 않는 특성을 갖게 한다.

[0054] 상기 (1) 단계는 디메틸설폭사이드 10 중량부에 대하여 테트라부틸암모늄 아세테이트(tetrabutylammonium acetate; TBAA) 1.5 내지 2.3 중량부를 용해시킨 용액(TBAA/DMSO) 100 중량부에 대하여 셀룰로오스 2 내지 4 중량부를 용해시키는 것일 수 있다.

[0055] 이때, 셀룰로오스를 녹이기 위하여 사용한 TBAA/DMSO 용액은 DMSO(dimethyl sulfoxide) 상에서 TBAA(tetrabutylammonium acetate)가 테트라부틸암모늄 양이온과 아세테이트 음이온으로 이온화 되어 있는 이온성 액체(ionic liquid; IL)일 수 있다. 아세테이트 음이온은 셀룰로오스의 히드록실기와 수소결합하여 고분자의 자가수소결합을 저해하며 이를 통해 셀룰로오스가 TBAA/DMSO 용액에 용해된다. 양극성(bipolarity)물질인 DMSO는 소수성(hydrophobic)인 셀룰로오스와 친수성(hydrophilic)인 아세테이트 음이온이 반응하기 위한 용매로 이용될 수 있으므로 바람직하다.

[0056] 상기 (2) 단계는 셀룰로오스 용액 10 중량부에 대하여 프러시안 블루 0.5 내지 1 중량부를 첨가하여 분산시키는 것일 수 있다. 프러시안 블루의 함량이 상기 범위 미만이면 세습 제거 효율이 낮으며, 상기 범위를 초과하면 프러시안 블루가 용출될 우려가 있으므로 바람직하지 않다.

- [0057] 본 발명에 의하면, 상기 (3) 단계는 입자의 크기가 1 내지 5 mm인 하이드로겔을 형성되도록 프러시안 블루가 분산된 셀룰로오스 용액을 떨어뜨리는 것일 수 있으며, 정확한 크기의 하이드로겔을 제조하기 위하여 시린지 펌프(Syringe Pump)를 이용할 수 있다.
- [0058] 시린지 펌프는 승압약제, 혈압강하제, 항암제, 분만 촉진제, 비경구 영양제, 마취제와 같은 약물 주입을 위한 펌프로 시간당 정확한 양의 약물을 주입시키고자 할 때에 사용되는 기구이다.
- [0059] 프러시안 블루를 혼합한 셀룰로오스 액체방울을 증류수에 떨어뜨리면 액체방울에 포함되어 있던 TBAA와 DMSO가 물에 용해된다. 이 과정에서 셀룰로오스의 하이드록시기와 수소결합하고 있던 아세테이트 음이온이 빠져나가면서 셀룰로오스 고분자의 자가수소결합을 방해하는 인자가 사라지고, 셀룰로오스는 다시 자가 수소결합을 하여 겔화될 수 있다.
- [0060] 본 발명에 따른 상기 세습 흡착제는 생체 적합성, 생체 비흡착성 및 생체 비분해성의 특성을 나타내므로 생체 내의 세습의 제염에 유용하게 적용할 수 있다.
- [0061] 본 발명은 상기 세습 흡착제를 인간을 제외한 생체 내에 세습을 보유한 포유동물에게 삽취시키는 단계; 및 세습을 흡착시키는 단계;를 포함하는 생체 내 방사성 세습의 제염방법을 제공한다.
- [0062] 또한, 본 발명은 상기 세습 흡착제를 방사성 세습을 포함하는 용액에 투여하는 단계; 및 세습을 흡착시키는 단계;를 포함하는 방사성 세습의 제염방법을 제공한다.
- [0063] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 바람직한 실시예를 제시한다. 그러나 하기의 실시예는 본 발명을 보다 쉽게 이해하기 위하여 제공되는 것일 뿐, 실시예에 의해 본 발명의 내용이 한정되는 것은 아니다.
- [0064] **실시예 1. 세습 흡착제의 제조**
- [0065] 본 발명의 프러시안 블루가 담지된 셀룰로오스 하이드로겔(이하, 'PB-셀룰로오스 하이드로겔'이라 한다)을 포함하는 세습 흡착제의 제조과정을 하기 도 1에 개략적으로 나타내었다.
- [0066] **1 단계: 프러시안 블루가 담지된 셀룰로오스(PB-셀룰로오스) 용액의 제조**
- [0067] α-셀룰로오스를 용해시키기 위한 용매로서 TBAA/DMSO 용액을 사용하였다. 먼저, 디메틸설폭사이드(Dimethyl sulfoxide; DMSO) 30 ml(33 g)에 테트라부틸암모늄 아세테이트(tetrabutylammonium acetate; TBAA) 5.83 g을 첨가 및 교반하며 용해시켜 DMSO와 TBAA를 8.5:1.5의 질량비로 혼합한 TBAA/DMSO 용액 30 ml을 제조한 후, 상기 용액에 α-셀룰로오스 분말 0.793 g을 첨가하고 완전히 용해될 때까지 교반하여 2wt% 셀룰로오스 용액을 제조하였다. 그 후, 2 wt% 셀룰로오스 용액 30 ml에 1 M 프러시안 블루 용액을 2 ml 첨가한 후 완전히 혼합될 때까지 교반하여 2% 셀룰로오스 용액과 1 M 프러시안 블루(PB) 용액을 15:1의 부피비로 혼합한 PB-셀룰로오스 용액을 제조하였다.
- [0068] **2 단계: PB-셀룰로오스 하이드로겔의 제조**
- [0069] PB-셀룰로오스 하이드로겔을 제조하기 위하여, 시린지 펌프(syringe pump)를 이용하였으며, 이를 하기 도 2에 도식화하여 나타내었다.
- [0070] 시린지 펌프는 유체를 일정한 유량으로 이동시킬 수 있으므로 반자동화 공정이 가능하고 일정한 크기의 액체방울을 얻을 수 있다. 먼저, 시린지에 상기 실시예 1의 1 단계에서 제조한 PB-셀룰로오스 용액을 채운 뒤, 이를 시린지 펌프에 장착하였다. 시린지 펌프의 유량을 0.3 ml/min으로 세팅하고, 시린지의 토출구에서 한 방울씩 토출되는 PB-셀룰로오스 용액이 물과 반응하여 하이드로겔을 형성할 수 있도록, 토출구 아래 쪽에 300 ml의 증류수가 담긴 비커를 놓았다. 토출된 PB-셀룰로오스 액체방울은 비커 안의 물과 반응하여 즉시 경화되며, 증류수 안에서 경화된 PB-셀룰로오스 비드를 2시간 정도 충분히 담가두어 물을 흡수할 수 있도록 하였다. 마지막으로 액체 방울에 남아있을 수 있는 불순물을 제거하기
- [0071] 시린지의 출구에 300 ml의 증류수를 담은 비커를 놓았다. 그 후 시린지 펌프의 유량을 0.3 ml/min으로 작동시켜 시린지의 출구로 PB-셀룰로오스 용액이 비커에 떨어질 수 있게 하였다. 흘러나온 PB-셀룰로오스 액체방울은 비커에 떨어지면 즉시 경화되며, 증류수 안에서 경화된 PB-셀룰로오스 비드를 2시간 정도 충분히 담가 두어 물을 흡수할 수 있게 하였다. 마지막으로 액체방울에 남아있을 수 있는 불순물을 제거하기 위해 수 번 세척하고 동결 건조하여 PB-셀룰로오스 하이드로겔을 제조하였다.
- [0072] 비교예 1

- [0073] 프러시안 블루를 담지하지 않은 셀룰로오스 용액을 이용하여 실시예 1과 동일한 방법으로 하이드로겔을 제조하였다.
- [0074] 비교예 2
- [0075] 프러시안 블루를 알지네이트 고분자에 담지하여 하이드로겔을 제조하였다.
- [0076] **시험예 1. PB-셀룰로오스 하이드로겔 합성 확인**
- [0077] 실시예 1과 비교예 1에 따른 하이드로겔을 UV 스펙트럼, X선 회절분석법(X-ray Diffraction Spectroscopy : XRD), 푸리에 변환 적외선 분광법(Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR) 및 X선 광전자 분광법(X-Ray Photoelectron Spectroscopy : XPS)을 수행하여, 본 발명에 따른 PB-셀룰로오스 하이드로겔의 합성여부를 검증하였다.
- [0078] X선 회절 분석
- [0079] 도 3은 XRD 분석결과이다. 비교예 1(하단 스펙트럼)은 무정형의 피크 모양을 나타내었으며, 셀룰로오스 고유의 XRD 특성 피크인 19.6° , 21.6° 에서 피크가 나타났다. 반면, 실시예 1(상단 스펙트럼)의 경우 셀룰로오스의 특성 피크뿐만 아니라 프러시안 블루의 특성인 17.5° , 24.9° , 35.5° , 39.5° , 43.5° , 50.7° , 54.0° , 57.1° 에서 피크가 형성되는 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 실시예 1은 셀룰로오스 하이드로겔에 프러시안 블루가 잘 담지되어 있음을 확인하였다.
- [0080] 푸리에 변환 적외선 분광 분석
- [0081] 도 4는 FT-IR 분석결과이다. 비교예 1(하단 스펙트럼)은 셀룰로오스의 특성 FT-IR 피크만 나타난 반면, 실시예 1(상단 스펙트럼)은 셀룰로오스의 특성 FT-IR 피크인 3430 cm^{-1} (O-H), 2901 cm^{-1} (C-H), 1163 cm^{-1} (C-O-C, 글리코시드 결합), 1024 cm^{-1} (C-OH에서 나타나는 C-O), 892 cm^{-1} (C-O-C, 단량체간의 가교)에서 피크가 나타났을 뿐만 아니라 프러시안 블루의 시아나이드에 의한 2080 cm^{-1} , FeII-CN-FeIII에 의한 468 cm^{-1} 에서 피크가 나타났다. 상기와 같은 FT-IR 분석 결과를 통해서도 실시예 1은 셀룰로오스 하이드로겔에 프러시안 블루가 잘 담지되어 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라, 601 cm^{-1} 에서 형성된 Fe-O 결합은 프러시안 블루의 FeIII와 셀룰로오스의 하이드록시기(-OH)가 결합하고 있음을 의미한다.
- [0082] X선 광전자 분광 분석
- [0083] 도 5는 XPS 분석 결과이다. 도 5(a) 및 5(b)는 각각 실시예 1 및 비교예 1의 C1s 스펙트럼 결과이고, 도 5(c) 및 도 5(d)는 각각 실시예 1 및 비교예 1의 O1s 스펙트럼 결과이다. 도 5(a) 및 도 5(b)를 비교하면, 실시예 1은 C-C (284.70 eV), C-N (285.02 eV), C-O (286.59 eV), O-C-O (287.74 eV)의 피크가 나타났다. 여기서, 상기 C-N 피크는 비교예 1에서는 나타나지 않는 프러시안 블루의 특성 피크이다. 한편, 비교예 1의 C-O 피크는 실시예보다 다소 높은 286.64 eV 에서 형성되며, 실시예 1 보다 강한 결합에너지에 갖고 있는데, 이는 프러시안 블루가 셀룰로오스의 하이드록시기와 결합하면서 C-O 결합이 약해지면서 피크가 이동된 결과이다.
- [0084] 프러시안 블루와 셀룰로오스 간의 결합은 도 5(c) 및 도 5(d)에 나타난 O1s 스펙트럼에서도 확인할 수 있다. 실시예 1은 비교예 1에서 나타나지 않는 Fe-O (531.18 eV)가 나타나는데, 이 결과 또한 프러시안 블루의 Fe^{III}와 셀룰로오스의 하이드록시기(-OH)가 결합하여 나타나는 현상으로 셀룰로오스와 프러시안 블루가 화학적 결합을 통해 매우 강하게 결합하고 있음을 시사한다. 이와 같은 프러시안 블루와 셀룰로오스 간의 강한 결합은 프러시안 블루 나노입자들이 셀룰로오스 하이드로겔로부터 떨어져 나오게 되는 것을 막아주기 때문에, 물보다 열악한 환경인 인공위액(Simulated Gastric Fluid; SGF)이나 인공장액(simulated intestinal fluid; SIF)에서도 프러시안 블루가 셀룰로오스 하이드로겔로부터 이탈하지 않고, 안정적으로 고정화될 수 있도록 기여한다.
- [0085] **시험예 2. PB-셀룰로오스 하이드로겔의 구조 및 형태 확인**
- [0086] 실시예 1에서 제조된 PB-셀룰로오스 하이드로겔의 구조 및 형태를 확인하기 위하여, 주사전자현미경(SEM, S-4800SE)으로 표면 및 단면 이미지를 얻었으며, 이를 하기 도 6에 나타내었다. 도 6A는 PB-셀룰로오스 하이드로겔 표면의 SEM 이미지이며, 도 6B는 PB-셀룰로오스 하이드로겔 단면의 SEM 이미지이다. 얻어진 SEM 이미지를 통해 직경이 30 내지 50 nm인 프러시안 블루가 셀룰로오스 하이드로겔 내에 뽁뽁하게 패킹되어 담지된 것이 확인되었으며, PB-셀룰로오스 하이드로겔의 전체크기는 2 mm의 구형이었다.

[0087] **시험예 3. PB-셀룰로오스 하이드로겔에 함유된 PB양**

[0088] 셀룰로오스 하이드로겔에 담지된 프러시안 블루의 함량을 확인하기 위하여 UV-spectroscopy를 이용하여 흡광도를 측정하였으며, 이를 하기 도 7에 나타내었다. 도 7(a)는 검정선이며, 도 7(b)는 실시예 1의 흡광도로 흡광도 값은 0.063761이다.

[0089] 검정선은 TBAA/DMSO 용액에 PB를 5가지의 농도로 분산시킨 뒤 UV흡광도를 측정하여 작성하였다. 상기 검정선을 통해 (흡광도) = $0.0225 \times (\text{PB의 농도})$ 의 식을 얻을 수 있었으며, 상기 식을 통해 얻은 실시예 1의 프러시안 블루의 질량은 1.3045 mg임을 확인하였다.

[0090] 따라서, PB-셀룰로오스 하이드로겔 1mg에 담지된 프러시안 블루는 0.13045 mg으로 프러시안 블루가 약 13 중량%를 차지하고 있음을 확인하였다.

[0091] **시험예 4. 세습 흡착능 평가**

[0092] 실시예 1에서 제조된 PB-셀룰로오스 하이드로겔의 세습 흡착 성능을 평가하기 위하여 Langmuir 및 Freundlich 흡착등온선 모델을 사용하여 물(DW)과 인공장액(SIF)에서 등온흡착실험을 수행하였으며, 그 결과를 하기 표 1 및 도 7, 8에 나타내었다. 하기 도 8(a)는 물에서의 등온흡착실험이고, 하기 도 8(b)는 인공장액에서의 등온흡착실험 결과이며, 실험에 사용한 PB-셀룰로오스 하이드로겔은 1g이다.

표 1

구분	Langmuir 모델			Freundlich 모델		
	K_L (L/mg)	Q_{max} (mg/g)	R^2	K_f (L/mg)	n	R^2
물	0.23	15.38	0.95	3.67	4.55	0.90
인공장액	0.05	13.70	0.85	3.32	4.17	0.98

[0094] 상기 표 1에 나타난 바와 같이, 실시예 1에 따른 PB-셀룰로오스 하이드로겔 1g은 물에서 15.38 mg의 세습을 흡착하였으며, 인공장액에서 13.70 mg을 흡착하는 것으로 나타나 세습 흡착제로서 효과적으로 작용할 수 있음이 확인되었다.

[0095] 하기 도 9는 흡착 운동역학실험으로, 도 9(a)는 물에서 수행한 결과이고, 도 9(b)는 인공장액에서 수행한 결과이다. 도 9(a)에 나타난 바와 같이, PB-셀룰로오스 하이드로겔 1 g은 물 1 L에 함유된 0.1 및 1 ppm 농도의 세습을 각각 30 분만에 90% 이상 제거하는 능력을 나타내었으며, 고농도인 5 ppm 농도의 세습은 PB-셀룰로오스 하이드로겔 2 g으로 처리하였을 때, 30분 만에 90% 이상의 세습이 제거되는 것을 확인하였다. 또한, 도 9(b)에 나타난 바와 같이, PB-셀룰로오스 하이드로겔 1 g은 인공장액 1 L에 함유된 0.1 및 1 ppm 농도의 세습을 각각 1시간 이내에 90% 이상 제거하는 능력을 나타내었으며, PB-셀룰로오스 하이드로겔 1.5g 및 2g을 사용하여 각각 인공장액 1 L에 함유된 1 ppm 및 5ppm 농도의 세습을 1시간 이내에 90 %이상 제거하는 효과를 확인하였다. 상기와 같은 결과를 통해, 본 발명에 따른 PB-셀룰로오스 하이드로겔이 세습 흡착제로서 효과적으로 이용될 수 있음을 입증하였다.

[0096] **시험예 5. PB-셀룰로오스 하이드로겔의 안정성 평가**

[0097] 1) 물에서의 프러시안 용출 안정성 평가

[0098] 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔로부터 프러시안 블루의 용출이 없는지 확인하여 안정성을 평가하였으며, 비교예 2의 프러시안 블루가 담지된 알지네이트 하이드로겔과 비교하였다.

[0099] 도 10은 각각 증류수에 실시예 1 및 비교예 2를 첨가한 뒤, 24시간 동안 처리한 결과이다. 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔은 프러시안 블루의 용출이 거의 없어 색의 변화가 일어나지 않았지만, 비교예 2의 알지네이트 하이드로겔의 경우에는 프러시안 블루의 용출로 하이드로겔 색상이 푸른색으로 변한 것이 확인되었다.

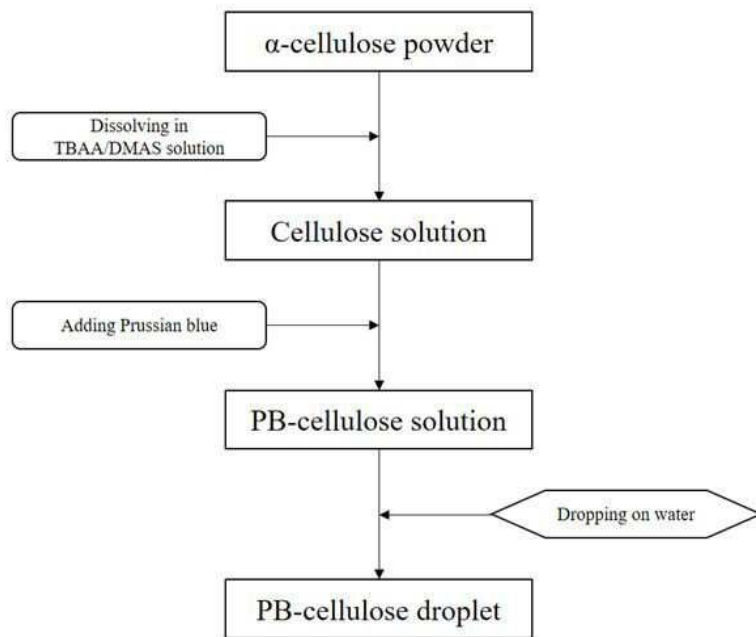
[0100] 2) 인공생체액에서의 프러시안 용출 안정성 평가

[0101] 생체 내 환경은 낮은 pH 또는 높은 pH 환경을 가지는 등, 하이드로겔의 안정성을 유지하기에는 증류수에 비하여 열악하다. 본 발명에 따른 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔이 생체 내 존재하는 세습의 제염제로서 이용이 가능한지 여부를 확인하기 위하여 인공위액(Simulated Gastric Fluid; SGF)과 인공장액(simulated intestinal fluid; SIF)에서의 안정성을 평가하였으며, 이를 하기 도 11에 나타내었다.

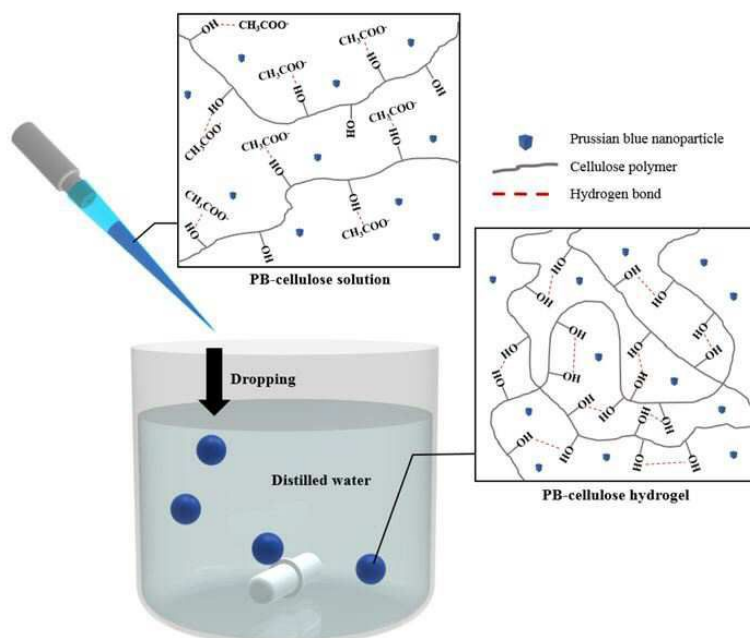
- [0102] 도 11(a)의 왼쪽은 인공생체액에 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔을 첨가한 직후의 바이알이며, 오른쪽은 24시간 후의 바이알이다. 24시간이 지난 후에도 셀룰로오스 하이드로겔로부터 프러시안 블루의 용출이 일어나지 않아 색상의 변화가 없는 것이 확인되었다.
- [0103] 도 11(b)는 PB-셀룰로오스 하이드로겔을 24시간 동안 처리한 인공위액 및 인공장액의 UV 흡광도를 측정한 결과이다. 프러시안 블루의 용출이 일어나지 않아 흡광도의 변화 역시 없었음을 확인하였다.
- [0104] 3) 세포독성 평가
- [0105] 프러시안 블루 나노입자는 세포독성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이에, 생체 내 존재하는 세습의 제염제로서 이용이 가능하기 위해서는 세습 제염제가 세포독성이 일어나지 않아야 하며, 세습 제염제로부터 프러시안 블루가 용출되는 문제가 없어야 한다. 이에, 본 발명에 따른 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔에 대한 세포독성을 평가하였으며, 이를 하기 도 12에 나타내었다.
- [0106] 도 12(a)는 대식세포에 대한 세포독성 평가이며, 도 12(b)는 장세포에 대한 세포독성 평가이다. 도 12에 나타낸 바와 같이, 프러시안 블루 나노입자는 0.2 mg/mL의 농도에서 세포생존율이 50% 이하로 떨어지는 것으로 나타났으나, 실시예 1에 따른 PB-셀룰로오스 하이드로겔은 1.3 mg/mL의 농도에서도 95% 이상의 생존능을 보이는 것으로 나타났다.
- [0107] 4) 효소 안정성 평가
- [0108] 프러시안 블루 나노입자는 효소에 의해 변질될 수 있으며, 그 경우, 흡수한 세습을 탈착시키는 문제가 있다. 따라서 생체 내 존재하는 세습의 제염제로서 이용이 가능하기 위해서는 장내 효소에 의해 분해되지 않아야 한다. 이에, 본 발명에 따른 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔의 효소안정성을 평가하였으며, 이를 하기 도 13 및 14에 나타내었다.
- [0109] 도 13은 장액 효소로 24시간 처리한 후의 결과로, 본 발명에 따른 실시예 1의 PB-셀룰로오스 하이드로겔은 흡수된 세습의 탈착이 일어나지 않았으나, 프러시안 블루 나노입자는 장액효소에 의해 변이되었으며, 흡수한 세습이 탈착되는 것이 확인되었다.
- [0110] 도 14는 사람의 소화과정을 모사하여 2시간 동안은 위에서, 이후 6시간 동안은 장에서 음식물이 체류한다는 가정하에 실시예 1 및 비교예 2의 세습 흡착체의 효소안정성을 평가한 결과이다. 실시예 1 및 비교예 2의 흡착체를 먼저 인공위액(Gastric)으로 처리한 뒤 분리하고, 이어서 인공장액(Intenstine)으로 6 시간 동안 처리하였다.
- [0111] 비교예 1은 장액의 소화과정에 의해 분해되어 프러시안 블루를 용출한 반면, 실시예 1은 인공위액 및 인공장액에서 프러시안 블루의 용출이 일어나지 않음을 확인하였다.

도면

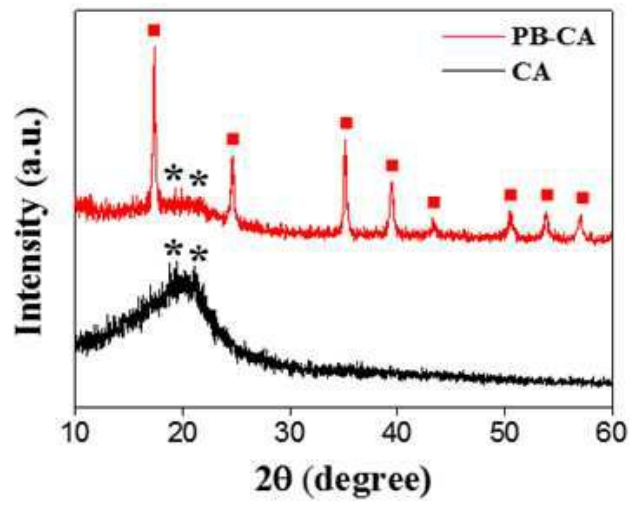
도면1



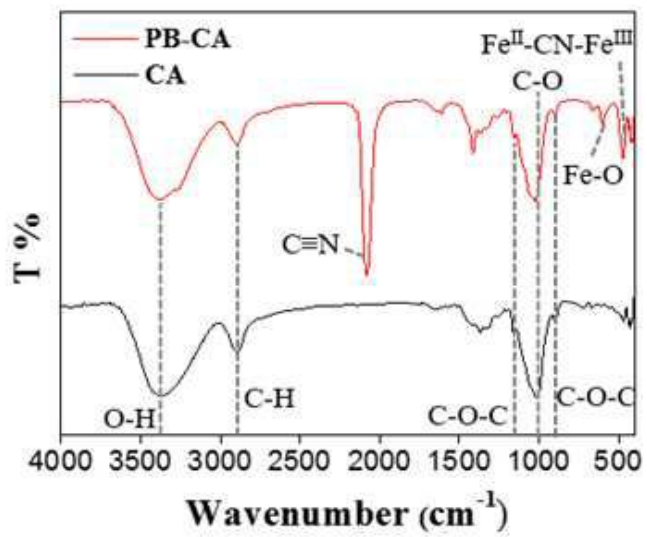
도면2



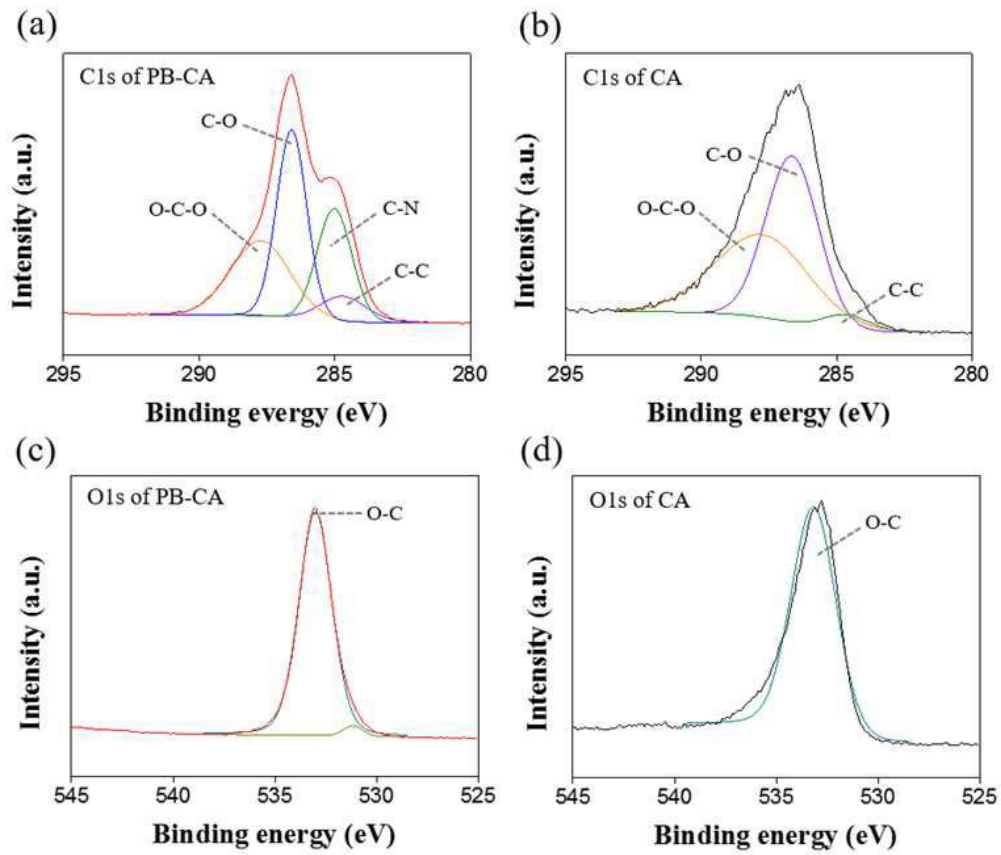
도면3



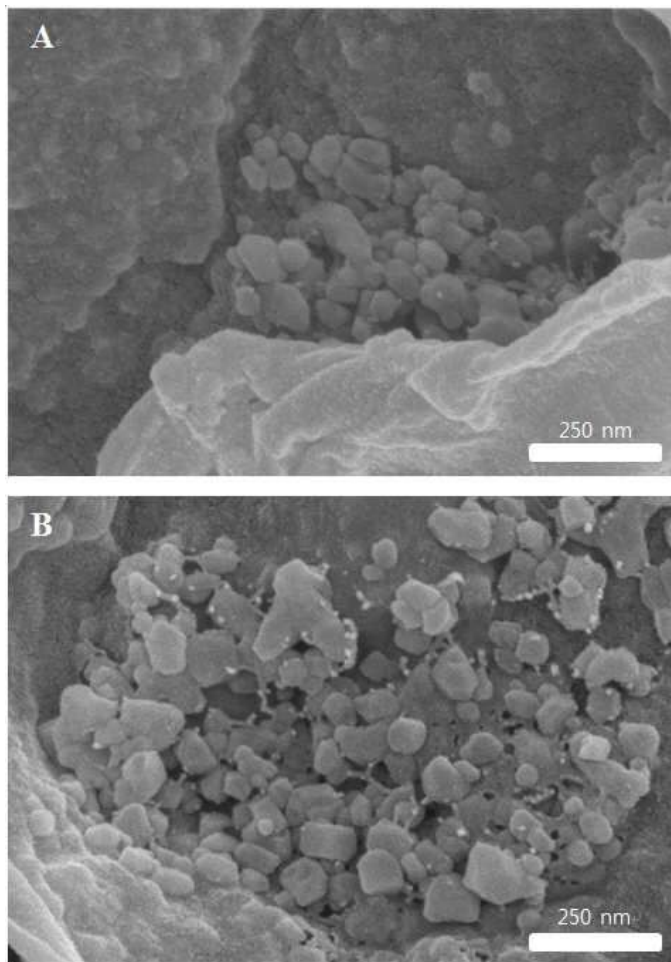
도면4



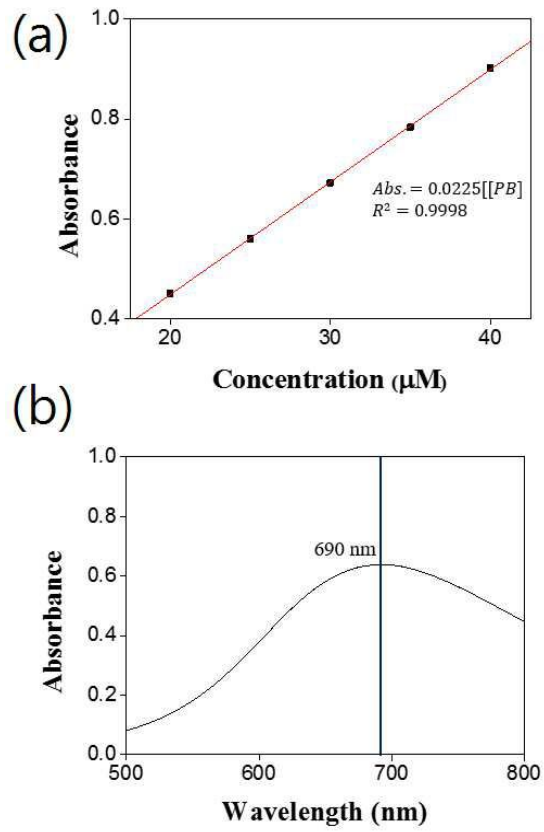
도면5



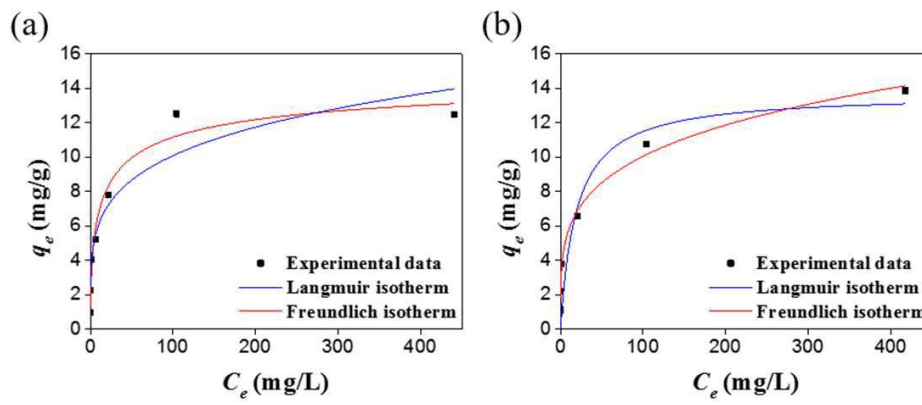
도면6



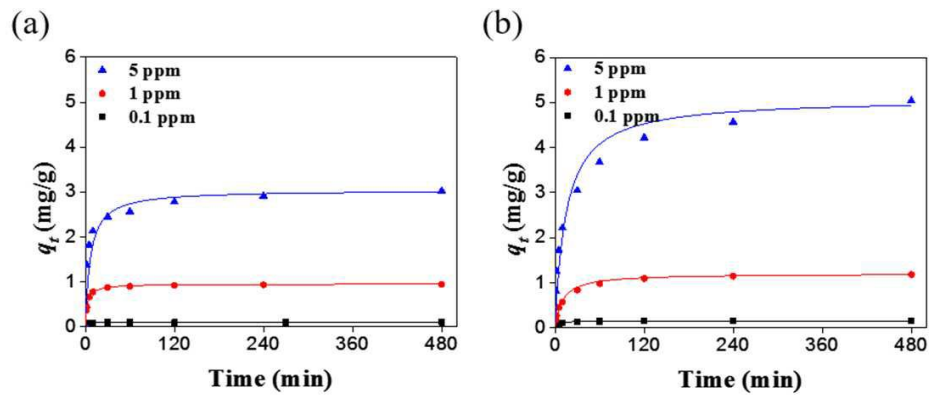
도면7



도면8



도면9

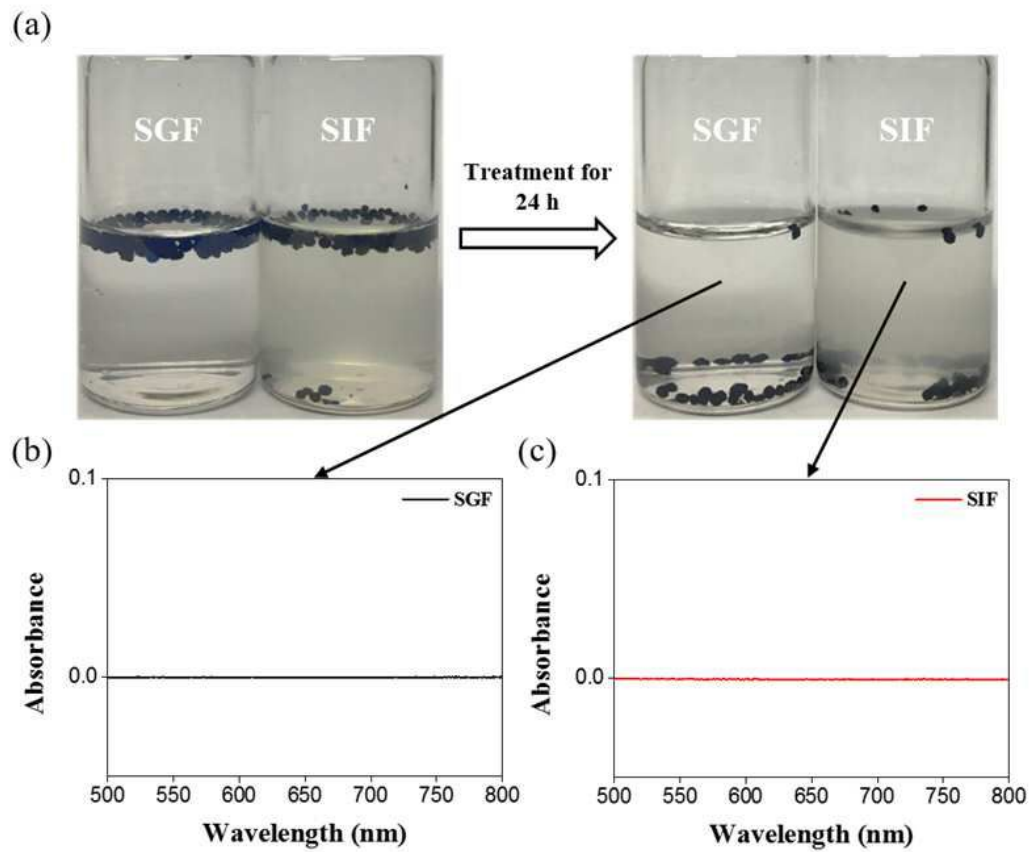


도면10

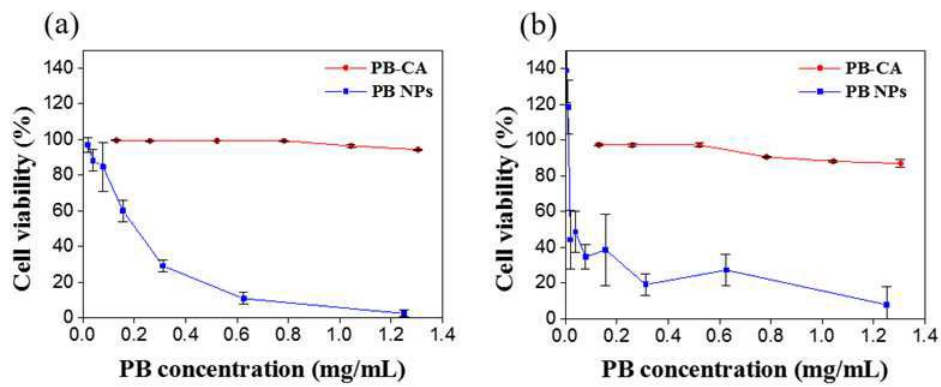


실시예 1 비교예 2

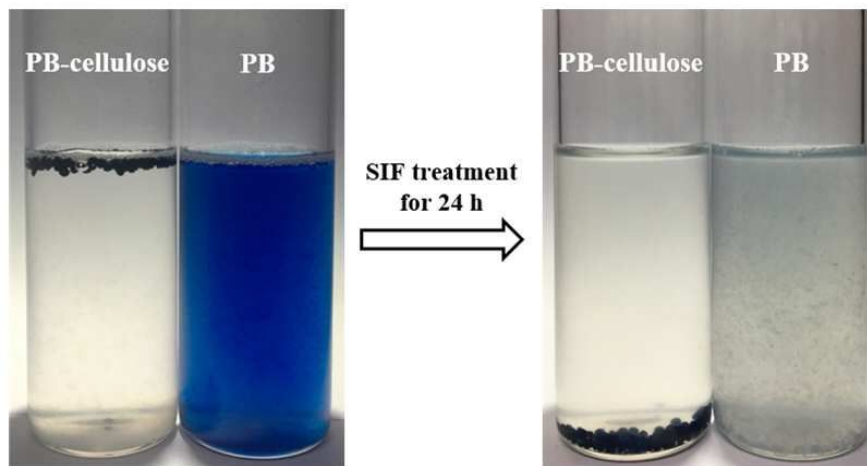
도면11



도면12



도면13



도면14

비교예 2



실시예 1

