



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0026180
(43) 공개일자 2022년03월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

B01J 20/30 (2006.01) B01J 20/20 (2018.01)

B01J 20/28 (2006.01) E02B 15/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류

B01J 20/3078 (2013.01)

B01J 20/20 (2018.01)

(21) 출원번호 10-2020-0106902

(22) 출원일자 2020년08월25일

심사청구일자 2020년08월25일

(71) 출원인

충남대학교산학협력단

대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)

한국에너지기술연구원

대전광역시 유성구 가정로 152(장동)

(72) 발명자

이규복

대전광역시 유성구 어은로 57 한빛아파트 123-605

최재학

대전광역시 유성구 유성대로783번길 38, 104동
1702호(장대동, 월드캡패밀리타운)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 플러스

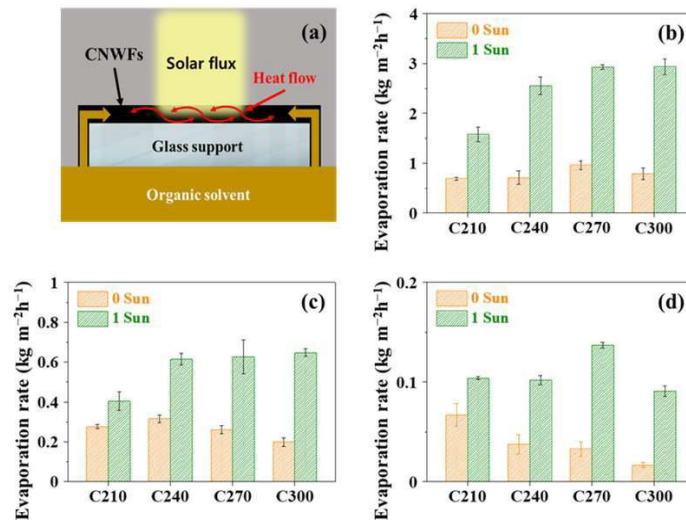
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 유분 흡착제, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법

(57) 요약

본 발명에 따른 유분 흡착제는 셀룰로오스계 직물을 반탄화하는 열처리 단계를 포함하여 제조되는 것으로, 저비점에서 고비점까지 다양한 탄소수 범위의 오일을 흡착 및 증발시켜 오일을 제거할 수 있는 효과가 있고, 높은 광열 전환 효율을 가져 태양광에 의한 오일의 높은 증발 효율을 가지면서 동시에 높은 흡착량 및 높은 흡착속도를 가짐에 따라, 흡착-증발의 사이클이 빠르고 효율적으로 수행되는 효과가 있으며, 강, 바다 등에 투입되어 유실된다고 하더라도 환경적으로 문제되지 않는 친환경적인 효과가 있다.

대표도 - 도6



(52) CPC특허분류

B01J 20/28033 (2013.01)

B01J 20/28078 (2013.01)

E02B 15/06 (2013.01)

(72) 발명자

구본준

대구광역시 달성군 현풍읍 테크노중앙대로 333 대
구경북과학기술원 학생생활관 207-703

이병민

경기도 안양시 만안구 연현로79번길 105, 105동
903호 (석수동, 석수 엘지 빌리지)

윤왕래

대전광역시 유성구 지족북로 33, 106-601 (지족동,
한화꿈에그린1블럭)

서동주

대전광역시 유성구 엑스포로 448 엑스포아파트 50
6동 1003호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711109192
과제번호	NRF-2020R1A4A2002590
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	기초연구실지원사업
연구과제명	태양-수증기 발생장치 성능 최적화 및 다양한 시스템 응용기술 개발 기초연구실
기 여 율	1/2
과제수행기관명	충남대학교 산학협력단
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	02406
과제번호	C0-2406
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술연구원
연구사업명	가압형 모듈과 고순도 수소생산 유닛 설계기술 개발
연구과제명	세공 구조 능동제어가 가능한 촉매 지지체 국산화 설계
기 여 율	1/2
과제수행기관명	충남대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.10.31

명세서

청구범위

청구항 1

면 직물을 대기 분위기에서 반탄화하는 열처리 단계를 포함하는 유분 흡착제의 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 열처리 단계에서, 반탄화는 200 내지 400℃에서 수행되는 것인 유분 흡착제의 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

하기 식 1을 만족하는 유분 흡착제의 제조 방법.

[식 1]

$$0.1 < O/C < 0.9$$

(상기 식 1에서, O는 유분 흡착제의 산소 원자수이며, C는 유분 흡착제의 탄소 원자수이다)

청구항 4

제3항에 있어서,

2 nm 미만의 미세 기공, 2 내지 50 nm의 중간 기공 및 50 nm 이상의 거대 기공을 가지는 유분 흡착제의 제조 방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

1 kW/m²의 광 조사 시 광 흡수율이 50 내지 99%인 유분 흡착제의 제조 방법.

청구항 6

하기 식 1을 만족하는 반탄화된 면 직물인 유분 흡착제.

[식 1]

$$0.1 < O/C < 0.9$$

(상기 식 1에서, O는 유분 흡착제의 산소 원자수이며, C는 유분 흡착제의 탄소 원자수이다)

청구항 7

제6항에 있어서,

2 nm 미만의 미세 기공, 2 내지 50 nm의 중간 기공 및 50 nm 이상의 거대 기공을 가지는 유분 흡착제.

청구항 8

제6항 또는 제7항에 있어서,

1 kW/m²의 광 조사 시 광 흡수율이 50 내지 99%인 유분 흡착제.

청구항 9

수상에 유출된 오일을 제1항 내지 제5항 중 어느 한 항의 제조 방법으로 제조된 유분 흡착제로 흡착 및 증발시키는, 수상에 유출된 오일의 정화 방법으로서,

상기 유분 흡착제를 대상의 수상 표면부에 투입하여 오일을 흡착하는 흡착 단계 및

오일이 흡착된 유분 흡착제에 광이 조사되어 오일이 증발되는 증발 단계를 포함하는, 수상에 유출된 오일의 정화 방법.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 흡착 단계에서, 유분 흡착제는 수상과 오일상의 계면에 위치하여 오일이 흡착되는, 수상에 유출된 오일의 정화 방법.

청구항 11

제9항에 있어서,

상기 증발 단계 이후에 오일이 흡착 및 증발된 유분 흡착제를 회수하는 회수 단계를 더 포함하는, 수상에 유출된 오일의 정화 방법.

청구항 12

제9항에 있어서,

상기 오일은 탄소수 3 내지 23의 유기 탄소 화합물을 포함하는, 수상에 유출된 오일의 정화 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유분 흡착제, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 증발면의 열 국지화를 통한 태양열 기반 물의 증발은 오염된 물의 담수화 및 정화를 위한 청정에너지 절약 기술로 큰 주목을 받고 있다. 태양열을 이용한 물의 고효율 증발을 위해서는 주로 두 가지 요소를 고려해야 한다. 구체적으로, 태양 에너지를 흡수하고 열에너지로 변환하는 광열 재료의 개발이 요구된다. 광열 재료로는 표면 플라즈몬 효과를 갖는 금속 나노 구조와 흑체 효과를 갖는 탄소 나노 재료의 두 종류가 주로 사용된다. 최근에는 물의 담수화와 정수를 넘어 증발면의 열 국지화 적용이 광열 촉매, 살균, 유기 용제의 정제 등으로 확대되고 있다.

[0003] 원유 유출은 해양 생물뿐만 아니라 인류에게도 위험을 줄 수 있는 다양한 탄화수소 성분으로 생태계에 오래 지속되는 영향을 미치기 때문에 전 세계적으로 우려를 불러 일으켰다. 석유 제품의 생산 및 소비가 증가함에 따라 기름 유출 위험이 증가하고 있으므로, 기름 유출에 의한 피해를 줄이기 위한 재료 및 기술 개발의 필요성이 증가하고 있다. 기름 유출에 의한 피해를 줄이기 위해 널리 사용되는 기술로, 폴리머, 천연 재료 및 처리된 셀룰로오스 재료를 기반으로 한 흡착제를 사용하는 것이다. 효율적인 흡착제의 특성은 높은 흡착 능력, 우수한 부력, 적절한 오일 보유력 및 높은 친유성으로서, 저비용, 생분해성 및 무독성이어야 한다.

[0004] 질석(Vermiculite), 박편화된 흑연, 세피올라이트 및 다공성 구조의 제올라이트와 같은 무기 광물은 3-80 g/g의 높은 흡착 능력을 가지고 있다. 그러나 이러한 소재는 재생의 장점에도 불구하고 부력이 좋지 않은 문제가 있으며, 무기 광물 기반 흡착제의 주요 문제가 될 수 있다.

[0005] 목화 섬유, 옥수수 줄기, 부직포와 같은 천연 섬유질 등의 유기 재료는 풍부하고 저렴한 가격에 구할 수 있으며, 환경 친화적이다. 해양의 플라스틱 오염 문제를 고려할 때 합성 고분자 대신 천연 소재를 흡착제로 사용하는 것이 유리하다. 이러한 유기 재료를 이용한 흡착 기술은 기공 충전 메커니즘을 기반으로 하고 빠른 처리 과정을 제공하지만, 수확 능력은 기공 부피에 따라 달라지며 제한된다.

[0006] 이에 본 발명은 기름 유출 개선을 위해, 흡착과 결합된 태양열에 의한 오일 증발(solar-driven evaporation of

oil combined with adsorption, SEOA), 즉, 태양광과 광 흡수기를 사용하여 경질 유분 및 일부 중간 유분을 먼저 증발시킨 다음 나머지 중질 유분을 비롯한 나머지를 흡착하는 새로운 개념을 제안한다. 이를 위해, 재료는 높은 광열 특성을 가져야 하고, 물에 뜨고 기름의 젖음성과 흡착력이 좋아야 하며, 기름 유출량과 면적을 고려하여 비용이 저렴해야 한다. 보통 넓은 해상에 기름 유출에 의한 피해가 발생하므로, 넓은 면적을 처리할 수 있도록 저비용, 간단한 제조 공정, 경량, 큰 비 표면적 및 우수한 내화학적 등의 장점을 가지고 널리 사용될 수 있는 흡착제를 제공하여야 한다. 단순히 높은 흡착 특성만으로는 부족하며, 재료에 광열 특성을 부여함으로써 대량으로 흡착된 기름을 태양열을 통해 제거할 수 있어야 한다.

[0007] 탄화는 유기물을 빛을 흡수하는 물질로 변환하는 간단한 방법이다. 다양한 탄소 기반 재료가 태양열 기반의 물 증발을 위한 광 흡수제로 집중적으로 연구되었으며, 탄소 기반의 광 흡수제로 탄소나노튜브 및 그래핀과 같은 탄소 나노 물질을 사용하거나 폴리머, 바이오매스 및 식물과 같은 유기 전구체를 사용하였다. 그러나 탄소 나노 소재 기반의 소재는 대규모의 기름 유출을 감당할 수 없는, 높은 비용과 제한된 생산량의 한계가 있어 상용화가 현실적으로 어려운 문제가 있다. 또한 탄화 과정 자체도 높은 온도가 요구되어 너무 높은 에너지 및 비용이 소요된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명의 목적은 저비용에서 고비용까지 다양한 탄소수 범위의 오일을 흡착 및 증발시켜 오일을 제거할 수 있는 유분 흡착제 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법을 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명의 다른 목적은 높은 광열 전환 효율을 가져 태양광에 의한 오일의 높은 증발 효율을 가지면서 동시에 높은 흡착량 및 높은 흡착속도를 가짐에 따라, 흡착-증발의 사이클이 빠르고 효율적으로 수행되는 유분 흡착제 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명의 또 다른 목적은 본 발명에 따른 제조 방법으로 제조된 유분 흡착제는 강, 바다 등에 투입되어 유실된다고 하더라도 환경적으로 문제되지 않는 친환경적인 유분 흡착제 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법을 제공하는 것이다.

[0011] 본 발명의 또 다른 목적은 부력이 우수하고 수상의 표면부에 안정적으로 표류할 수 있는 유분 흡착제 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명에 따른 유분 흡착제의 제조 방법은 셀룰로오스계 직물을 대기 분위기에서 반탄화하는 열처리 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한 본 발명에 따른 유분 흡착제는 반탄화된 셀룰로오스계 직물이며, 하기 식 1을 만족한다. 하기 식 1에서, 0는 유분 흡착제의 산소 원자수이며, C는 유분 흡착제의 탄소 원자수이다.

[0014] [식 1]

[0015] $0.1 < O/C < 0.9$

[0016] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 셀룰로오스계 직물은 면 직물일 수 있다.

[0017] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 열처리 단계에서, 반탄화는 200 내지 400℃에서 수행되는 것일 수 있다.

[0018] 본 발명의 일 예에 따른 유분 흡착제는 공극률이 87 내지 99%일 수 있고, 총 기공 면적이 10 내지 700 m²/g일 수 있다.

[0019] 본 발명의 일 예에 따른 유분 흡착제는 2 nm 미만의 미세 기공, 2 내지 50 nm의 중간 기공 및 50 nm 이상의 거대 기공을 가질 수 있다.

[0020] 본 발명의 일 예에 따른 유분 흡착제는 1 kW/m²의 광 조사 시 광 흡수율이 50 내지 99%일 수 있다.

[0021] 본 발명에 따른 수상에 유출된 오일의 정화 방법은, 수상에 유출된 오일을 상기 유분 흡착제로 흡착 및 증발시키는 것으로서, 상기 유분 흡착제를 대상의 수상 표면부에 투입하여 오일을 흡착하는 흡착 단계 및 오일이 흡착

된 유분 흡착제에 광이 조사되어 오일이 증발되는 증발 단계를 포함한다.

[0022] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 흡착 단계에서, 유분 흡착제는 수상과 오일상의 계면에 위치하여 오일이 흡착되는 것일 수 있다.

[0023] 본 발명의 일 예에 따른 수상에 유출된 오일의 정화 방법은, 상기 증발 단계 이후에 오일이 흡착 및 증발된 유분 흡착제를 회수하는 회수 단계를 더 포함할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 오일은 탄소수 3 내지 23의 유기 탄소 화합물을 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0025] 본 발명에 따른 제조 방법으로 제조된 유분 흡착제는 저비점에서 고비점까지 다양한 탄소수 범위의 오일을 흡착 및 증발시켜 오일을 제거할 수 있는 효과가 있다.

[0026] 본 발명에 따른 제조 방법으로 제조된 유분 흡착제는 높은 광열 전환 효율을 가져 태양광에 의한 오일의 높은 증발 효율을 가지면서 동시에 높은 흡착량 및 높은 흡착속도를 가짐에 따라, 흡착-증발의 사이클이 빠르고 효율적으로 수행되는 효과가 있다.

[0027] 본 발명에 따른 제조 방법으로 제조된 유분 흡착제는 강, 바다 등에 투입되어 유실된다고 하더라도 환경적으로 문제되지 않는 친환경적인 효과가 있다.

[0028] 본 발명에 따른 제조 방법으로 제조된 유분 흡착제는 부력이 우수하고 수상의 표면부에 안정적으로 표류할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0029] 도 1은 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제를 전계방사형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)(Merlin Compact, ZEISS, Germany)으로 그 표면을 관찰한 이미지이다.

도 2는 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제를 X-선 회절분석법(X-ray Diffraction, XRD)을 이용하여 측정된 XRD 패턴 그래프이다.

도 3은 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)를 X-선 광전자분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)을 이용하여 원소 조성과 화학 구조의 변화를 측정된 XPS 스펙트럼으로서, (b)는 CNWF, (c)는 C210, (d)는 C240, (e)는 C270, (f)는 C300의 XPS스펙트럼이다.

도 4는 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 공극 크기 분포, 공극 면적, 공극률 및 벌크 밀도를 Hg 다공성 측정법(Auto Pore IV 9520, Micromeritics, USA)을 통해 측정하여 나타낸 것이다. 이때 (a) 내지 (e)는 순서대로 비교예 1(CNWF), 실시예 1(C210), 실시예 2(C240), 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)의 기공 크기 분포를 나타낸 것이며, (f)는 이들의 기공 직경을 나타낸 것이다.

도 5는 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)에 대하여, 태양광 소스로 태양광 시뮬레이터(PEC-L01, PecceLL Inc., 일본)를 사용하여 광 흡수 특성을 분석한 것이다.

도 6은 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 태양열 조사 시 유기용매의 증발 특성을 분석하여 나타낸 것이다.

도 7은 실시예 3의 유분 흡착제(C270)에 대하여, 유기물로 오염된 강이나 바다와 같은 유사한 환경을 재현하여 기름이 유출된 수상에서 기름을 흡착하는 실제 상황에서의 유기 증발 실험을 설계 및 측정하여 나타낸 것이다.

도 8의 (a)는 실시예 3의 유분 흡착제(C270)를 이용한 2 가지 오일 처리 단계를 나타낸 것이고, (b) 및 (c)는 각각 태양열 조사에 의한 원유의 질량 변화 및 증발 효율을 나타낸 것이며, (d)는 본 발명과 종래 발명과의 원유 처리 능력의 차이를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0030] 이하 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 유분 흡착제, 이의 제조 방법 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법을 상세히 설명한다.

- [0031] 본 명세서에 기재되어 있는 도면은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서 본 발명은 제시되는 도면들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있으며, 상기 도면들은 본 발명의 사상을 명확히 하기 위해 과장되어 도시될 수 있다.
- [0032] 본 명세서에서 사용되는 기술 용어 및 과학 용어에 있어서 다른 정의가 없다면, 이 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 통상적으로 이해하고 있는 의미를 가지며, 하기의 설명 및 첨부 도면에서 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있는 공지 기능 및 구성에 대한 설명은 생략한다.
- [0033] 본 명세서에서 사용되는 용어의 단수 형태는 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 해석될 수 있다.
- [0034] 본 명세서에서 특별한 언급 없이 사용된 %의 단위는 별다른 정의가 없는 한 중량%를 의미한다.
- [0036] 종래까지, 수상에 유출된 오일을 제거하기 위한 유분 흡착제는 흡착 특성, 구체적으로 기공 특성 등에 기인한 흡착량, 흡착속도 등의 흡착 특성을 향상시키기 위한 방향으로 연구되어 왔다. 그러나 본 발명자는 흡착 특성의 향상만으로는 수상의 오일 제거가 한계가 있는 것을 인식하여, 우수한 흡착 특성과 함께, 광열 변환에 의해 전환된 열로부터 흡착된 오일을 가능한 높은 효율로 증발시켜 흡착-증발(제거) 주기를 반복 지속함으로써 흡착체 내에서 자체적으로 오일을 증발 및 제거할 수 있는 유분 흡착제 및 이를 이용한 수상의 오일 제거 방법을 제공한다.
- [0037] 특히 본 발명에 따른 유분 흡착제는 광열 변환 특성이 상당히 우수함으로써 태양광 조사에 의한 오일의 증발을 효과적으로 수행할 수 있음에 따라 저비점에서 고비점에 이르는 다양한 범위의 탄소수를 가지는 유기 화합물을 흡착체 내에서 지속적으로 증발 및 제거할 수 있다. 또한 이렇게 흡착-증발(제거)가 지속적으로 수행된 이후에 한계까지 증발되어 흡착체 내에 잔류하는 일부의 고비점 오일은, 흡착체를 마지막으로 회수함으로써, 수상의 오일을 효과적으로 제거할 수 있다.
- [0038] 전술한 효과를 구현하기 위한 본 발명에 따른 유분 흡착제의 제조 방법은 셀룰로오스계 직물을 대기 분위기에서 반탄화하는 열처리 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0039] 본 명세서에서 언급되는 반탄화는 대기 분위기에서 탄화되는 것으로서, 일반적으로 알려진 불활성 분위기에서 수행되는 탄화와는 다르다. 즉, 상기 반탄화 시 분위기 조건은 일반적으로 정의된 탄화 시의 분위기 조건인 질소, 아르곤 분위기, 진공에 가까운 분위기 등과 같은 불활성(비활성) 분위기가 아니다. 상기 반탄화는 대기 분위기의 400℃ 이하에서 수행되는 탄화일 수 있으며, 구체적으로, 200 내지 400℃, 바람직하게는 220 내지 300℃, 보다 바람직하게는 250 내지 300℃, 보다 더욱 바람직하게는 250 내지 290℃에서 수행되는 것일 수 있다. 본 발명에서 상기 반탄화가 300℃ 초과 또는 200℃ 미만에서 수행될 경우, 전술한 효과를 제대로 구현할 수 없다. 상세하게, 200℃ 미만의 열처리가 수행될 경우, 직물의 탄화가 제대로 진행되지 않는 문제가 발생하며, 400℃ 초과 탄화가 수행될 경우, 광열 변환 특성이 저하되고 전환된 열에 의한 오일 증발 능력이 저하되는 문제가 있다.
- [0040] 상기 유분 흡착제의 조성 및 조성비는 하기 식 1, 바람직하게는 하기 식 2, 보다 바람직하게는 하기 식 3, 보다 더욱 바람직하게는 하기 식 4를 만족하는 것일 수 있다. 하기 식 1에서, 0는 유분 흡착제의 산소 원자수이며, C는 유분 흡착제의 탄소 원자수이다. 이를 만족할 경우, 기공 특성에 의한 흡착제 자체의 높은 흡착 능력을 유지하면서 동시에 광열 변환 특성의 향상 및 광열 변환 특성에 의한 오일의 증발 능력이 향상된다. 또한 바람직하며 비제한적인 일 예로, 상기 유분 흡착제는 탄소 함량이 60 내지 85%, 구체적으로 65 내지 80%, 보다 구체적으로 72 내지 80%, 보다 더욱 구체적으로 72 내지 73.5%일 수 있으며, 산소 함량이 20 내지 40%, 구체적으로, 20 내지 35%, 보다 구체적으로 20 내지 28%, 보다 더욱 구체적으로 26.5 내지 28%일 수 있다.
- [0041] [식 1]
- [0042] $0.1 < O/C < 0.9$
- [0043] [식 2]
- [0044] $0.36 < O/C < 0.70$
- [0045] [식 3]

- [0046] $0.35 < O/C < 0.45$
- [0047] [식 4]
- [0048] $0.36 < O/C < 0.39$
- [0049] 상기 셀룰로오스계 직물은 셀룰로오스계 섬유로 직조된 직물로서, 상기 직물은 반탄화되어 전술한 기공 특성을 만족할 수 있을 정도의 기공도를 가지는 것이 바람직하다. 구체적으로, 상기 유분 흡착제는 다양한 기공 구조를 가질 수 있으며, 예를 들면 기공 직경이 0.4 nm 내지 400 μm 일 수 있다. 바람직하게는, 상기 유분 흡착제는 2 nm 미만의 미세 기공, 2 내지 50 nm의 중간 기공 및 50 nm 이상의 거대 기공을 가지는 것이 흡착 특성 및 구조 안정성 향상 측면에서 바람직할 수 있다. 또한 상기 유분 흡착제는 공극률이 87 내지 99%, 구체적으로 90 내지 99%일 수 있고, 총 기공 면적이 10 내지 700 m^2/g , 구체적으로 50 내지 300 m^2/g 일 수 있다. 상기 유분 흡착제를 이루는 셀룰로오스계 섬유의 직경은 전술한 기공 특성을 가지도록 하는 것이라면 크게 제한되는 것은 아니나, 예컨대 10 내지 30 μm 일 수 있다. 이를 만족할 경우, 흡착제의 높은 흡착 능력은 물론, 우수한 구조 안정성을 가져 장시간 수상에 안정적으로 표류할 수 있다. 바람직한 일 실시예로, 전술한 기공 특성을 만족하는 셀룰로오스계 부직포를 예로 들 수 있다.
- [0050] 상기 직물은 셀룰로오스계 직물로서, 반탄화 후 전술한 기공 특성을 가질 수 있는 셀룰로오스계 섬유로 직조된 것이며, 구체적인 일 예로, 상기 섬유는 면, 케이폭 등의 종모섬유(Seed fiber), 아마, 저마, 대마, 황마 등의 인피섬유(Bast fiber), 마닐라 마, 사이잘 마 등의 잎맥섬유(Leaf fiber), 야자 섬유 등의 과실 섬유(Fruit fiber) 등을 들 수 있다. 바람직하게는 상기 셀룰로오스계 직물이 면 직물인 것이 전술한 기공 특성, 조성 특성 등을 만족하고, 전술한 효과를 제대로 구현할 수 있는 측면에서 좋다.
- [0051] 상기 셀룰로오스계 직물의 규격, 사이즈, 형태는 흡착제의 사용 규모 및 흡착의 구체적 용도에 따라 적절히 용이 변경될 수 있으므로 제한되지 않으며, 일 예로 형태는 소정의 두께를 가지는 시트 형상인 것이 수상의 표면부에 유분 흡착제가 안정적으로 부유되도록 할 수 있는 측면에서 바람직할 수 있다.
- [0052] 전술한 바와 같이, 본 발명에 따른 제조 방법으로 제조되는 유분 흡착제는 높은 흡착 능력은 물론, 특히 광열 변환 특성이 매우 우수하여, 흡착된 오일의 증발 및 제거에 효과적이다. 구체적으로, 본 발명에 따른 유분 흡착제는 1 kW/m^2 의 광 조사 시 광 흡수율이 50 내지 99%, 바람직하게는 70 내지 99%일 수 있다.
- [0053] 본 발명에 따른 수상에 유출된 오일의 정화 방법은, 수상에 유출된 오일을 상기 유분 흡착제로 흡착 및 증발시키는 것으로서, 상기 유분 흡착제를 대상의 수상 표면부에 투입하여 오일을 흡착하는 흡착 단계 및 오일이 흡착된 유분 흡착제에 광이 조사되어 오일이 증발(또는 분해)되는 증발 단계를 포함한다.
- [0054] 본 발명의 일 예에 있어서, 상기 흡착 단계에서, 유분 흡착제는 수상과 오일상의 계면에 위치하여 오일이 흡착되는 것일 수 있다.
- [0055] 또한 본 발명의 일 예에 따른 수상에 유출된 오일의 정화 방법은, 상기 흡착 단계 이후 또는 상기 증발 단계 이후에 오일이 흡착 및 증발된 유분 흡착제를 회수하는 회수 단계를 더 포함할 수 있다.
- [0056] 전술한 유분 흡착제를 사용하여 광 조사 시 오일의 흡착과 증발을 유도할 경우, 상기 오일은 탄소수 3 내지 23의 유기 탄소 화합물을 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 오일은 탄소수 3 내지 9의 유기 탄소 화합물(휘발유 등), 탄소수 10 내지 13의 유기 탄소 화합물(등유 등), 탄소수 14 내지 23의 유기 탄소 화합물(경유 등) 등 넓은 탄소수 범위의 다양한 오일을 제거할 수 있는 효과가 있다.
- [0058] 이하 본 발명을 실시예를 통해 상세히 설명하나, 이들은 본 발명을 보다 상세하게 설명하기 위한 것으로, 본 발명의 권리범위가 하기의 실시예에 의해 한정되는 것은 아니다.
- 실시예 1**
- [0059] 가로 및 세로가 7 cm인 면 재질의 부직포(Cotton non-woven fabrics)(35 g/m, 남양 원단)를 머플 퍼니스(Muffle furnace)에서 대기 분위기 조건으로 3 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 가열 속도로 210 $^{\circ}\text{C}$ 에서 2 시간 동안 반탄화한 후, 실온인 25 $^{\circ}\text{C}$ 에서 자연적으로 냉각하여 유분 흡착제(C210)를 제조하였다.
- 실시예 2**

[0060] 실시예 1에서 반탄화 온도를 240℃로 변경한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 유분 흡착제(C240)를 제조하였다.

실시예 3

[0061] 실시예 1에서 반탄화 온도를 270℃로 변경한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 유분 흡착제(C270)를 제조하였다.

실시예 4

[0062] 실시예 1에서 반탄화 온도를 300℃로 변경한 것을 제외하고, 실시예 1과 동일한 방법으로 유분 흡착제(C300)를 제조하였다.

[0063] [비교예 1]

[0064] 실시예 1에서 반탄화를 하지 않고 부직포 그대로를 유분 흡착제(CNWF)로 사용하였다.

[0066] <표면 형성 색상 분석>

[0067] 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)를 전계방사형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM)(Merlin Compact, ZEISS, Germany)으로 그 표면을 관찰하였으며, 이를 도 1에 나타내었다.

[0068] 도 1에 도시된 바와 같이, 비교예 1의 무처리 부직포인 유분 흡착제(CNWF)는 무작위로 배열된 편평한 모양의 먼 섬유로 구성되어 셀룰로오스 Iβ형 먼 섬유의 표면을 나타낸다. 실시예 2 내지 실시예 4의 반탄화된 먼 부직포인 유분 흡착제(C240, C270, C300)는 CNWF의 흰 색상에서 검은 색상으로 변경되고 섬유의 형태가 잘 유지되었다. 이러한 표면의 색상 변화는 반탄화 과정에서 비탄소 원자의 제거와 셀룰로오스 주쇄의 탈수에 의한 것으로 판단된다.

[0070] <결정 구조 분석>

[0071] 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)를 X-선 회절분석법(X-ray Diffraction, XRD)(X' Pert Pro Multi-Purpose, PANalytical, 네덜란드)을 이용하여 결정 구조를 분석($2\theta = 5-60^\circ$, CuKα 방사선)하였으며, 그 결과를 도 2에 도시하였다.

[0072] 도 2 (a)에서와 같이, 비교예 1의 무처리 부직포인 유분 흡착제(CNWF)는 (110), (1-10), (200) 및 (004) 평면에 대해 $2\theta = 15.3, 16.8, 23.1$ 및 34.8° 에서 전형적인 피크를 나타냈으며, 이는 각각 셀룰로오스 Iβ형 먼 섬유의 고유한 단상정 결정 구조에 해당한다. 실시예 1의 유분 흡착제(C210)의 경우, 저온에서의 열 안정화가 먼 섬유의 결정 구조를 저하시키기에 충분하지 않기 때문에 210℃에서 열 안정화 후에도 이러한 피크가 유지되었다. 도 2 (b)에서 실시예 2의 유분 흡착제(C240)는 $2\theta = 23^\circ$ 에서 피크를 나타내며, 이는 열 안정화 동안 고리화 반응으로 인해 먼 섬유에서 방향족 구조가 형성되었음을 나타낸다. 실시예 3의 유분 흡착제(C270) 및 실시예 4의 유분 흡착제(C300)의 경우, 결정 구조의 열적 분해로 인해 피크가 사라졌다. 이들은 (002) 흑연 평면에 대한 넓은 피크가 약 25° 에 집중되어 열 안정화 후 부분적인 흑연과 유사한 구조가 형성되었음을 의미한다.

[0074] <원소 조성 및 화학 특성 분석>

[0075] 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)를 X-선 광전자분광법(X-ray photoelectron spectroscopy, XPS)(MultiLab 2000, ThermoElectron Corporation, 영국)을 이용하여 원소 조성과 화학 구조의 변화를 조사하였으며, 그 결과를 도 3에 도시하였다.

[0076] 도 3에서 (a)는 모든 샘플의 C(285 eV) 및 O(586 eV) 피크를 나타낸다. 비교예 1의 무처리 부직포인 유분 흡착제(CNWF)의 경우, C와 O의 원자 함량은 각각 62.14% 및 37.86%였다. 실시예 1의 유분 흡착제(C210)의 경우, O 함량은 40.28%로 증가한 반면, C 함량은 저온 열 안정화 과정에서 59.72%로 감소하였다. 그러나 실시예 4의 유분 흡착제(C300)의 경우, 열 안정화 온도가 상승함에 따라 O 함량은 26.3%로 감소한 반면, C 함량은 73.7%로 점

차 증가하였다. 즉, O/C의 비율은 비교예 1(CNWF)의 경우 0.6이며, 실시예 4(C300)의 경우 0.35로 각각 감소하였다.

[0077] 도 3에서 (b)는 비교예 1의 무처리 부직포인 유분 흡착제(CNWF), (c)는 실시예 1의 유분 흡착제(C210), (d)는 실시예 2의 유분 흡착제(C240), (e)는 실시예 3의 유분 흡착제(C270), (f)는 실시예 4의 유분 흡착제(C300)의 C1의 좁은 XPS스펙트럼을 각각 나타낸다. 비교예 1(CNWF)과 관련된 특징적인 피크는 각각 287.78 eV (O-C-O), 285.83 eV(C-O) 및 284.08 eV(C-C)이다. 실시예 1(C210)의 경우, 저온 열 안정화 과정에서 먼 섬유 표면 산화로 인해 C-C 결합에 비해 O-C-O 및 C-O 결합이 상대적으로 증가하였다. 반탄화 온도가 240℃ 이상인 실시예 3(C240) 및 실시예 4(C300)의 경우, 열 안정화 후 먼 섬유에서 탈수, 탈중합 및 고리화 반응에 의해 형성된 방향족 구조로 인해 C=C 및 OC=O 결합이 나타났다.

[0079] <기공 특성 분석>

[0080] 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 기공 특성, 구체적으로, 이들의 공극 크기 분포, 공극 면적, 공극률 및 벌크 밀도를 Hg 다공성 측정법(Auto Pore IV 9520, Micromeritics, USA)을 통해 분석하였다.

[0081] 공극 크기 분포, 공극 면적, 공극률 및 벌크 밀도는 Hg 다공성 측정법(Auto Pore IV 9520, Micromeritics, USA)을 통해 분석하였으며, 광흡수 특성을 특성화하기 위해 확산 반사 분광광도계(A diffuse reflectance UV-Vis-NIR spectrometer)(SolidSpec-3700, Shimadzu Co., Ltd, 일본)를 사용하였다.

[0082] 도 4는 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 공극 크기 분포, 공극 면적, 공극률 및 벌크 밀도를 Hg 다공성 측정법(Auto Pore IV 9520, Micromeritics, USA)을 통해 측정하여 나타낸 것이다. 이때 (a) 내지 (e)는 순서대로 비교예 1(CNWF), 실시예 1(C210), 실시예 2(C240), 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)의 기공 크기 분포를 나타낸 것이며, (f)는 이들의 기공 직경을 나타낸 것이다.

[0083] 모든 샘플은 바이 모달 공극 크기 분포를 가지며, 중간 기공(2~50 nm) 및 거대 기공(50 nm 이상)을 가졌다. 도 4의 (a) 내지 (e)에서와 같이, 비교예 1(CNWF)의 경우 3~10 nm 및 100~400 μm 범위의 기공 직경을 가졌으며, 열 안정화 온도가 증가함에 따라 100~400 μm 의 기공 크기 범위를 포함하는 거대 기공의 영역이 감소한 반면, 10 μm 미만의 기공 크기 범위를 포함하는 중간 기공 및 거대 기공의 영역이 상대적으로 증가하였다. 도 4의 (f)에서, 비교예 1(CNWF)의 총 기공 면적은 38.69 m^2/g 인 반면, 실시예 1(C210) 및 실시예 2(C240)는 각각 17.12 m^2/g 및 21.96 m^2/g 으로 열 안정화로 인한 표면 산화가 기공 면적을 줄일 수 있음을 나타낸다. 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)의 경우, 열 안정화 과정에서 비탄소 원자(주로 수소 원자)가 제거됨에 따라 총 기공 면적이 각각 54.525 m^2/g 및 94.693 m^2/g 으로 크게 증가하였다.

[0084] 이는 위에서 언급한 XPS 분석 결과와 잘 일치하며, 모든 샘플의 부피 밀도도 전체 기공 면적의 결과와 유사한 경향을 나타내었으며, 이는 열 안정화 온도가 증가함에 따라 다공성이 증가함을 의미한다. 구체적으로, 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)의 경우, 각각 91% 및 97%의 현저히 높은 다공성과, 각각 0.1016 g/mL 및 0.1030 g/mL의 낮은 부피 밀도를 가지고 있어, 경량 및 고다공성과 같은 높은 오일 흡수 능력과 높은 부력으로 흡착과 결합된 태양열에 의한 오일 증발에 효율적으로 적용될 수 있음을 알 수 있다.

[0086] <태양열 변환 특성 분석>

[0087] 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 태양열 변환 효과를 조사하기 위해 태양광 소스로 태양광 시뮬레이터(PEC-L01, Pecce11 Inc., 일본)를 사용하여 광 흡수 특성을 분석하였으며, 이를 도 5에 나타내었다. 이때 표면 온도는 적외선 카메라(FLIR 720001, FLIR Systems Inc., USA)를 사용하였다.

[0088] 광 흡수 및 광열 변환은 물 또는 유기용매의 증발 효율과 직접 관련된 태양열 증발 시스템의 광 흡수제로서 중요한 특성으로서, 4 개의 샘플인 실시예 1 내지 실시예 4의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)에 대한 1 kW/m^2 및 400~1000 nm의 광 흡수 스펙트럼 및 광흡수 효율을 도 5의 (a) 및 (b)에 도시하였다. 도 5 (a)에서, 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)는 광 흡수가 강한 것으로 나타났으며, 이는 계산된 태양광 흡수 효율을

비교하면 더 명확하다. 도 5 (b)에서, 실시예 1(C210), 실시예 2(C240), 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)는 각각 16%, 66%, 78% 및 76%의 태양 광 흡수 효율을 나타낸다. 고온에서 탄화된 부직포는 탄소 함량이 높기 때문에 블랙 카본과 같은 순수한 탄소 구조에 가까우며, 인해 실시예 3(C270) 및 실시예 4(C300)는 뛰어난 태양열 흡수 효율을 가지며 열 방출 특성이 우수하였다.

[0089] 도 5의 (c) 및 (d)는 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 태양광 조사에 따른 표면 온도를 나타낸 것으로, (c)는 기록 표면 온도, (d)는 태양광이 조사되는 동안의 각 유분 흡착제의 평균 표면 온도를 나타낸 것이다. 도 5 (c)에서, 1 kW/m^2 의 태양광 조사 후 각 유분 흡착제의 표면 온도가 빠르게 상승하였다. 또한 도 5 (d)에 표시된 발열 값이 태양 흡수 효율과 잘 일치하였다. 실시예 3(C270)의 경우, 표면 온도가 59.1°C 로서 강력한 태양광 흡수 특성을 가졌으며, 실시예 1(C210), 실시예 2(C240) 및 실시예 4(C300)의 경우, 표면 온도가 각각 39.8°C , 57.0°C 및 57.2°C 였다. 이로부터 실시예 3(C270)이 가장 좋은 태양 에너지 열 변환 재료로 적합함을 알 수 있으며, 따라서 실시예 3(C270)의 유분 흡착제는 탄소 기반 흑체로서 좋은 태양열 흡수제 역할을 할 것으로 기대할 수 있다.

[0091] <광 조사 시 유기용매 증발 특성 분석>

[0092] 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 태양열 조사 시 유기용매의 증발 특성을 분석하였으며, 그 결과를 도 6에 도시하였다.

[0093] 흡착제의 유기용매 흡수는 태양열 변환으로 효과적인 증발을 위한 중요한 요소이며, 흡착제의 C-C 및 C=O 그룹의 수는 비극성 용매의 흡수로 이어지는 표면 에너지 감소의 이점과 관련이 있다. 유기용매는 열적으로 안정된 면 섬유를 통해 지속적으로 흡수될 수 있고, 작은 기공에 채워져 얇은 유기용매 층을 형성할 수 있다. 기공 직경과 다공성의 차이는 국소 가열 효과와 관련된 유기용매 흡수량을 결정한다. 태양열 증발 효율을 측정하기 위해서 탄소수가 다른 3 가지 모델의 유기용매로 옥탄(Octane), 데칸(Decane), 도데칸(Dodecane)을 사용하여 측정하였다.

[0094] 구체적으로, 태양열 증발에 의한 유기용매의 질량 변화는 두 가지 방법으로 측정되었다. 첫째, 도 6의 (a)와 같이 열 안정화된 면 섬유인 유분 흡착제에서 발생하는 열이 대량의 유기용매로 손실되는 것을 최소화하기 위해 유리 기반 지지체를 스페이서로 사용하였다. 유기용매는 모세관 습윤을 통해 유분 흡착제에 공급되었다. 둘째, 도 7의 (a)와 같이 유기용매(옥탄, 데칸, 도데칸 및 이들의 1:1:1 중량비의 혼합 유기용매) 0.8 g 및 탈이온수 43 g을 비커에 투입하여 물 위에 유기용매의 얇은 층을 형성하였다. 유분 흡착제를 투입하고 광조사한 후, 상기 유분 흡착제를 비커에서 제거하고 중량 손실을 측정하였다. 실험 세트는 1 kW/m^2 의 빛을 조사하는 태양광 시뮬레이터, 유기용매의 질량 변화를 측정하기 위한 전기 저울, 온도 측정을 위한 적외선 카메라로 구성되었다. 이때 실내 온도는 $22\text{--}25^\circ\text{C}$ (24°C)이었으며, 습도는 18-25% (20%)였다.

[0095] 도 6은 실시예 1 내지 실시예 4 및 비교예 1의 유분 흡착제(C210, C240, C270, C300, CNWF)의 태양열 조사 시 유기용매의 증발 특성을 분석한 것으로, (a)는 실험 방법을 개략적으로 나타낸 모식도이며, (b)는 옥탄의 증발 속도, (c)는 데칸의 증발속도, (d)는 도데칸의 증발속도를 나타낸 것이다. 도 6의 증발 결과에 따르면, 실시예 3(C270)은 유기용매의 표면 흡착 및 광 흡수 효율이 높아 유기용매의 증발에 매우 효율적이었다. 이는 높은 탄소 함량과 높은 기공 특성(높은 다공성, 작은 공극 직경)에 따른 것이며, 유기용매의 국부 가열에 유리하다.

[0096] 또한 실시예 3의 유분 흡착제(C270)에 대하여, 유기물로 오염 된 강이나 바다와 같은 유사한 환경을 재현하여 기름이 유출된 수상에서 기름을 흡착하는 실제 상황에서의 유기 증발 실험을 설계 및 측정하였으며, 그 결과를 도 7에 도시하였다.

[0097] 도 7의 (a)는 유기물과 물의 계면에 유분 흡착제가 투입된 상태를 모식화하여 나타낸 것으로, 물 위의 유기층은 0.65 mm의 얇은 층을 형성하였다. 도 7의 (b)는 광 조사 시 유기상과 수상의 계면에서 유분 흡착제가 위치하고, 실제로 태양열에 의해 국부적인 열을 방출하는 모습을 열화상 카메라로 관찰한 이미지이다. 유분 흡착제가 없을 경우, 전체 용매에서 균일한 온도 분포를 보인 반면, 유분 흡착제가 투입된 경우, 유기용매는 유분 흡착제의 태양열 변환 및 열 확산 억제에 의해 유기상과 수상의 계면 부분에서 국부적으로 높은 온도를 보였다.

[0098] 도 7의 (c) 및 (d)는 유분 흡착제의 유무 및 태양광 조사의 유무에 따른 유기용매의 증발 효율을 나타낸 것으로, 이때의 실험은 3 종의 유기용매(옥탄, 데칸, 도데칸)와 상기 3 종의 유기용매가 1:1 중량비로 혼합된 혼합 유기용매가 사용되었다. 도 7의 (c)에서, 광이 조사될 시, 유분 흡착제가 있는 경우는 옥탄, 데칸 및 도데

칸의 경우에 대하여 유분 흡착제가 없는 경우 대비 각각 2 배, 4.4 배, 2.3 배 및 3.2 배 더 높은 증발 효율을 가졌다. 반면, 도 7의 (d)에서, 광이 조사되지 않을 시, 유분 흡착제가 있을 경우 오히려 증발 효율이 40~60% 정도 더 낮았다.

[0100] <광 조사 시 원유의 증발 특성 분석>

[0101] 석유 유출은 탄화수소의 탐사, 생산 및 운송에서 항상 발생할 가능성이 있으며, 대규모 기름 유출 문제는 생태계에서 자체 청소로 기름을 처리하는 것에 오랜 시간이 걸리기 때문에 심각한 환경오염을 유발한다. 따라서 이를 대처하기 위한 전략이 필수적이다.

[0102] 광 조사 시 원유의 증발 특성 분석은 도 7과 같이 상기 ‘광 조사 시 유기용매의 증발 특성 분석’에서 수행한 것과 동일한 방법으로 수행되었다. 원유의 태양열 조사 시 증발 특성을 분석하기 위해, 비커에 탈이온수 43 g 및 원유(1 g, 1.5 g 및 2.5 g)를 첨가하여 물 위에 3 가지 다른 양의 원유 층을 형성하였다. 그리고 실시예 3(C270)의 유분 흡착제를 원유와 물의 경계면에 위치시키고, 광 조사 후, 상기 유분 흡착제를 비커에서 제거한 다음 중량 손실을 측정하였다. 실험 세트는 1kW/m^2 의 빛을 조사하는 태양광 시뮬레이터, 유기용매의 질량 변화를 측정하기 위한 전기 저울, 온도 측정을 위한 적외선 카메라로 구성되었다. 이때 실내 온도는 22-25℃이었으며, 습도는 18-25%였다.

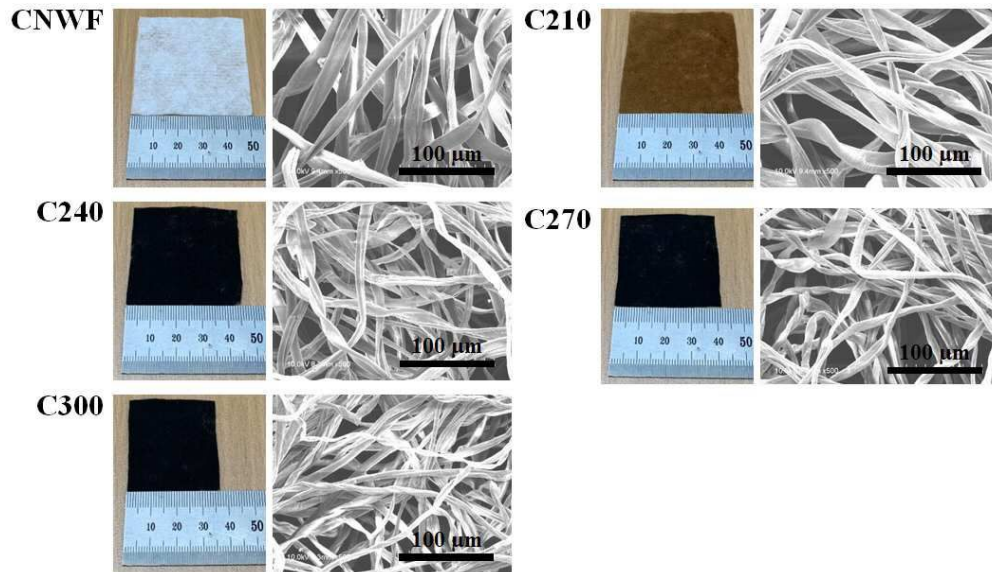
[0103] 도 8의 (a)는 수상에 유출된 원유의 고효율 처리를 위한 새로운 전략이 제시되어 있다. 실시예 3의 유분 흡착제(C270)는 수상층과 원유층의 경계면 사이에 부유하여 있으며, 초기 원유(2.5 kg/m^2 , 1.5 kg/m^2 , 1.0 kg/m^2)는 유분 흡착제의 2 단계 공정을 통해 처리된다. 실시예 3의 유분 흡착제(C270)는 높은 태양열 변환 및 열확산 억제 특성을 가짐에 따라 고효율 방식으로 원유를 증발시키며, 증발 과정에서 흡착제의 낮은 표면 에너지에 의한 강한 흡착으로 인해 확산된 유층에서 원유를 지속적으로 끌어당긴다. 이후, 증발하여 남은 원유는 흡착제에 의해 마지막으로 흡착되어 제거된다.

[0104] 이와 같이, 대규모 기름 유출이 발생했을 때 흡착제를 통한 정화의 실제 적용성 및 상용성이 매우 높음을 확인하였다. 도 8의 오일 질량 변화 그래프는 실시예 3의 유분 흡착제(C270)의 2 가지 오일 처리 단계에 의한 원유 정화가 효과적으로 수행됨을 나타낸다. 원유는 다양한 조성을 가진 탄화수소의 복잡한 혼합물로서, 상기 그래프로부터 끓는점의 차이로 인해 질량 변화율이 점차 감소하는 것을 보여준다. 저비점의 탄화수소가 먼저 증발하여 증발 초기에 오일 질량 변화 속도가 빠르며, 시간이 경과함에 따라 나머지 고비점의 탄화수소에 의해 질량 변화율이 점차 감소하였다. 초기 원유는 2.5 kg/m^2 에서 12 시간 후, 1.5 kg/m^2 에서 6 시간 후 및 1.0 kg/m^2 에서 4 시간 후에 더 이상 증발하지 않았다. 증발 후 남아있는 고비점의 탄화수소는 유분 흡착제에 흡착되어 흡착제의 회수에 의해 제거된다. 초기 원유량이 1.0 kg/m^2 및 1.5 kg/m^2 일 때 제거 효율은 각각 94% 및 88%이었다. 그러나 초기에 형성된 원유층이 2.5 kg/m^2 일 경우 제거 효율은 69%로 저하되었다.

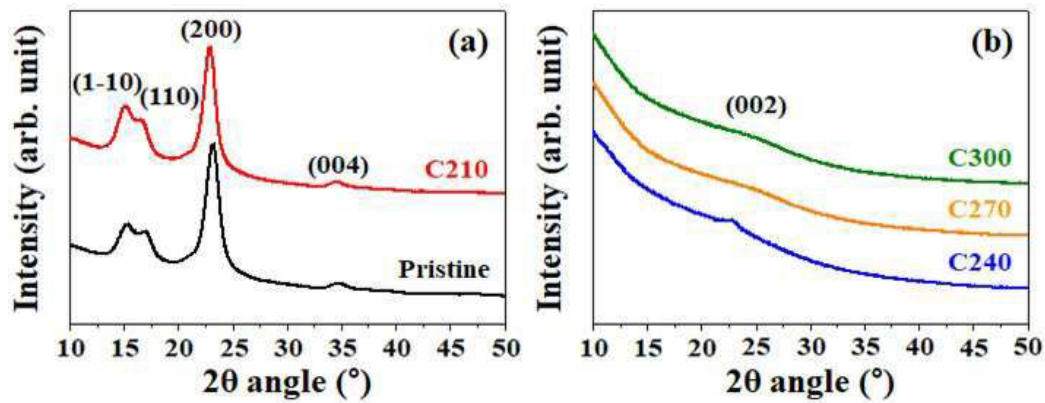
[0105] 흡착은 원유 유출을 정화하는 잘 알려진 방법이고, 일반적인 흡착제는 높은 흡착 능력에 한계가 있다. 이에 반해, 본 발명에 따른 오일 정화 방법은 친유성 흡착 메커니즘에만 의존하는 흡수제의 한계를 극복하기 위해 두 단계(증발 및 흡착)에 초점을 맞추었으며, 본 발명과 종래 발명과의 원유 처리 능력의 차이를 도 8의 (d)에 나타내었다. 원유 흡착을 이전 연구와 비교하면 흑연을 제외하고 32 g/g 의 가장 높은 효율을 나타낸다. 그러나 흑연은 대량의 밀도에서 흡착 능력이 급격히 감소하여 대규모의 오일 처리가 어렵다. 본 발명에 따르면, 유일한 에너지 투입은 지속 가능한 태양 에너지뿐으로, 본 발명은 초기 원유의 함량이 증가함에 따라 오일 처리 용량도 함께 증가하는 등 대규모의 오일 처리가 가능한 상업적으로 매우 유용한 기술이다.

도면

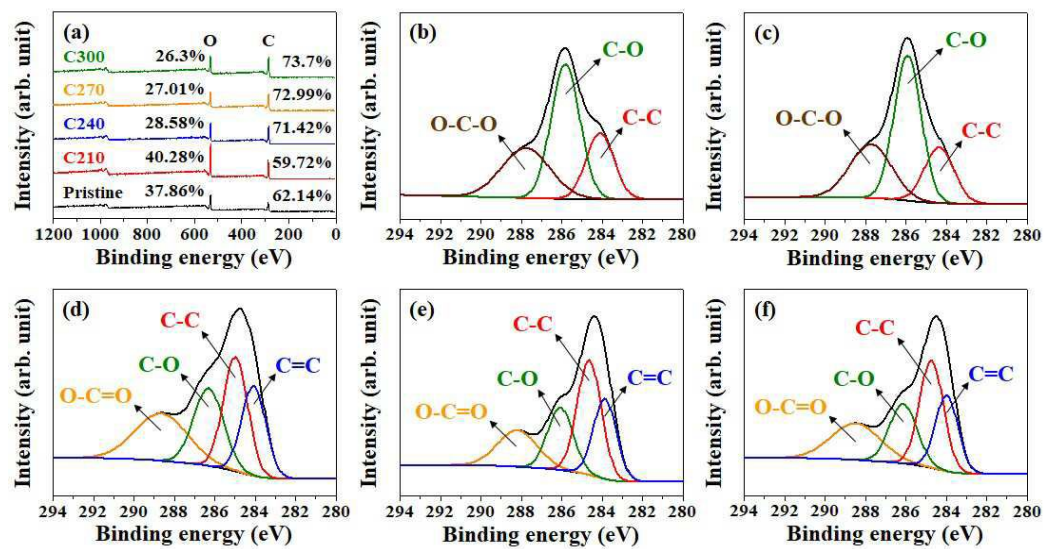
도면1



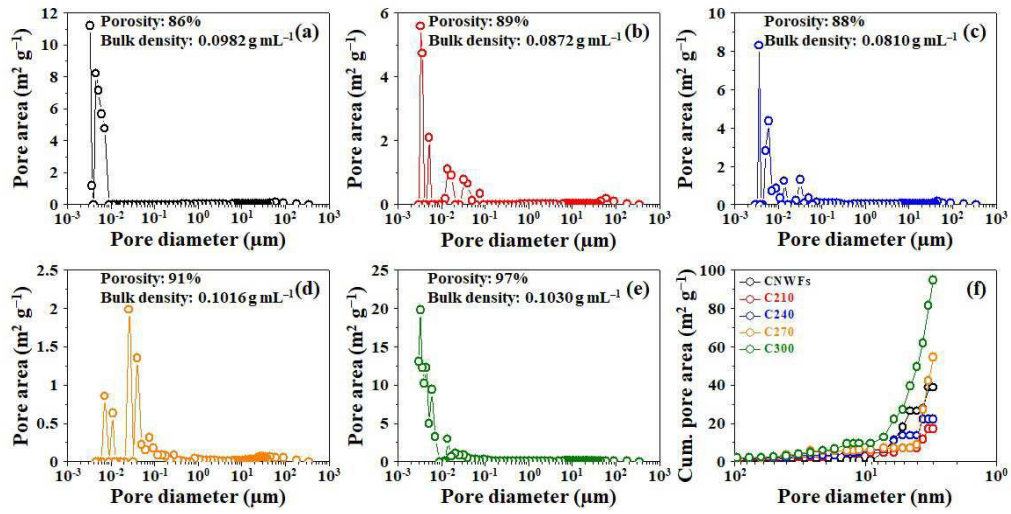
도면2



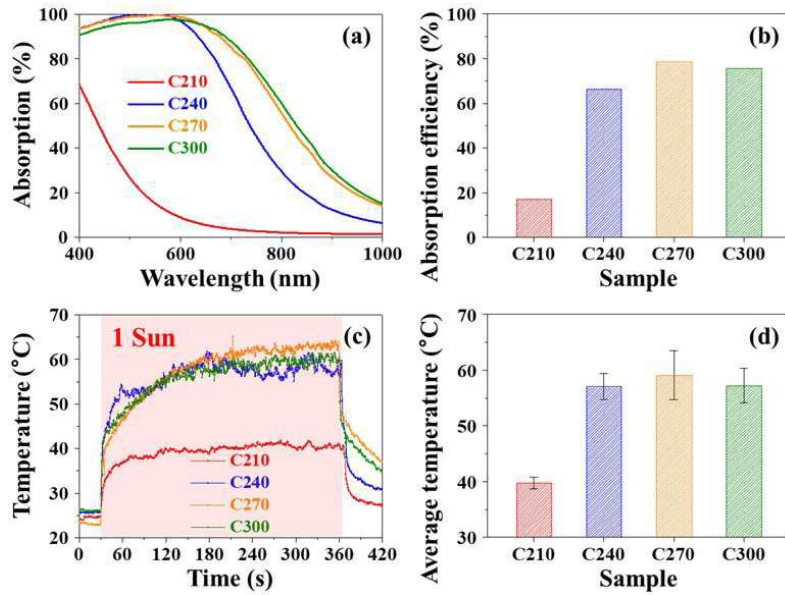
도면3



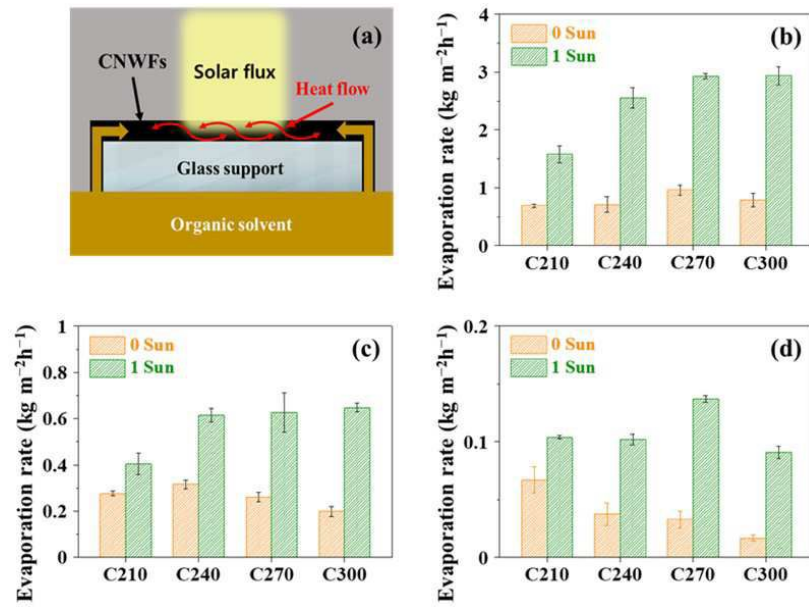
도면4



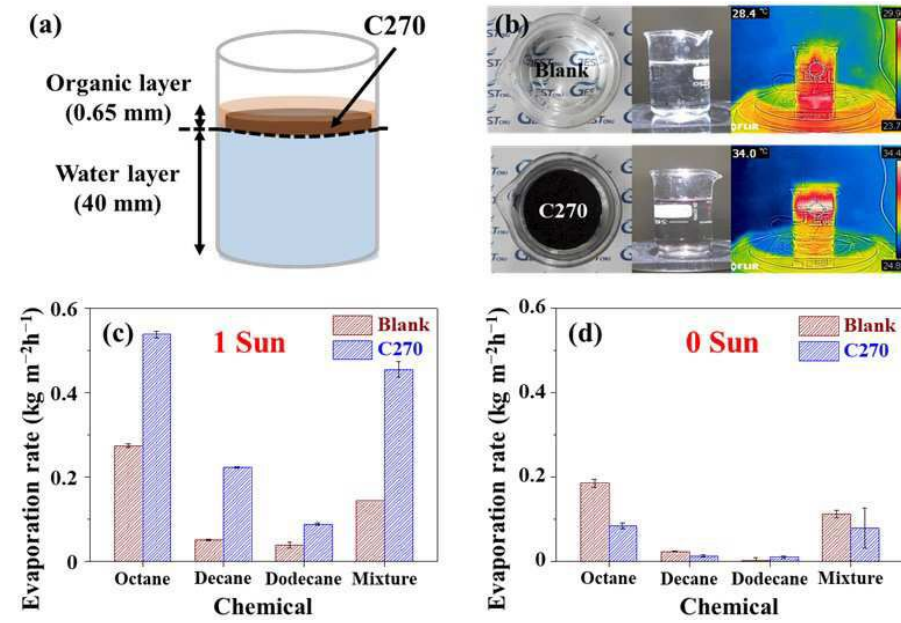
도면5



도면6



도면7



도면8

