



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0089054  
(43) 공개일자 2023년06월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
C02F 1/14 (2006.01) C02F 1/04 (2023.01)  
F22B 1/00 (2018.01) C02F 103/08 (2006.01)  
(52) CPC특허분류  
C02F 1/14 (2013.01)  
C02F 1/043 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2021-0177394  
(22) 출원일자 2021년12월13일  
심사청구일자 2021년12월13일

(71) 출원인  
울산대학교 산학협력단  
울산광역시 남구 대학로 93(무거동)  
(72) 발명자  
김용수  
서울특별시 강남구 삼성로 212, 21동 1201호(대치동, 은마아파트)  
라시드 마문 우르  
울산광역시 남구 신북로 23번길 6-8, 202호 (무거동)  
타히르 지산  
울산광역시 남구 대학로 131번길 9-2, 103호  
(74) 대리인  
특허법인다나

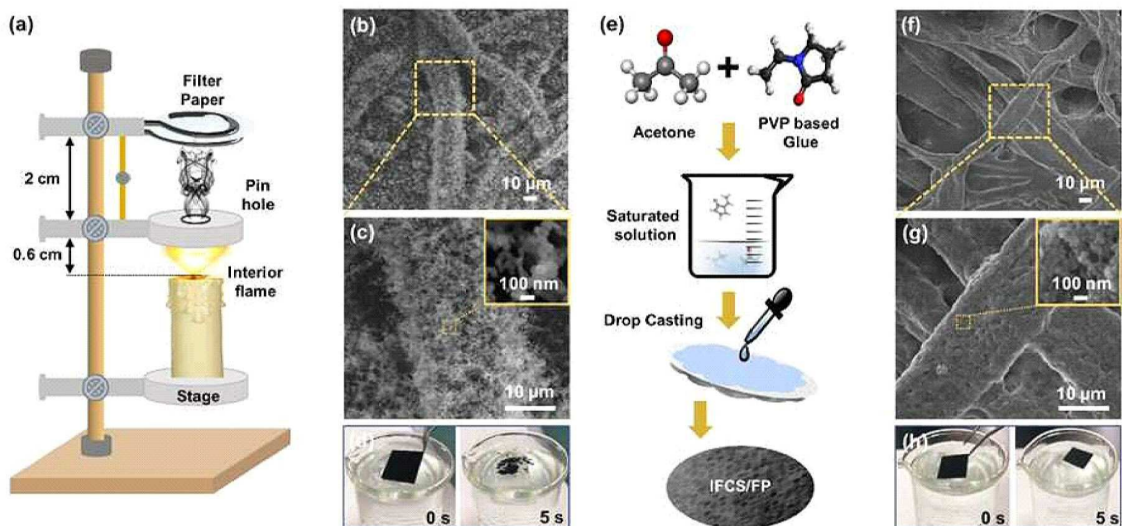
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 태양광 담수화 복합 구조체 및 이의 제조방법

(57) 요약

본 발명은 간단한 2단계 프로세스(공정)에 의해 준비된 셀룰로스 여과지(FP)에 증착된 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)으로 구성된 비용 효율적인 태양 증기 발생기를 제공한다. 결과 IFCS/FP 장치는 셀룰로스 FP의 다공성 미세구조에서 들어오는 햇빛의 다중 산란과 함께 IFCS층의 광대역 태양 흡수 때문에 높은 광열 변환 능력을 나타낸다. 또한 IFCS의 낮은 열전도율은 IFCS/FP 표면에서 광온적으로 생성된 열을 효과적으로 국소화시켜 기본 벌크물(수)로의 전도 열 손실을 상당히 억제한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

**F22B 1/006** (2013.01)

**C02F 2103/08** (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| 과제고유번호      | 1711133217                    |
| 과제번호        | 2021R1A2C1004209              |
| 부처명         | 과학기술정보통신부                     |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                        |
| 연구사업명       | 개인기초연구(과기정통부)(R&D)            |
| 연구과제명       | 층상물질기반차세대광학소자-밸리트로닉스및폴라리톤소자연구 |
| 기 여 율       | 1/2                           |
| 과제수행기관명     | 울산대학교                         |
| 연구기간        | 2021.03.01 ~ 2022.02.28       |

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

|             |                         |
|-------------|-------------------------|
| 과제고유번호      | 1345332334              |
| 과제번호        | 2019R1A6A1A11053838     |
| 부처명         | 교육부                     |
| 과제관리(전문)기관명 | 한국연구재단                  |
| 연구사업명       | 이공학학술연구기반구축(R&D)        |
| 연구과제명       | 기초과학연구소                 |
| 기 여 율       | 1/2                     |
| 과제수행기관명     | 울산대학교                   |
| 연구기간        | 2021.03.01 ~ 2022.02.28 |

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

거름종이(Filter paper, FP); 및  
상기 거름종이 일면에 배치된 내부 불꽃 촛 그을음(Inner flame candle soot, IFCS) 층;을 포함하는  
태양광 담수화 복합 구조체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,  
상기 거름종이(FP)는 셀룰로오스(Cellulose)를 포함하는 태양광 담수화 복합 구조체.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,  
상기 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS) 층은 소수성이고, 상기 거름종이(FP)는 초친수성인 태양광 담수화 복합 구조체.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,  
상기 거름종이(FP)의 타면 및 상기 거름종이와 내부 불꽃 촛 그을음층 사이에 접착제층이 더 배치된 태양광 담수화 복합 구조체.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,  
상기 접착제층은 폴리비닐피롤리덴(Polyvinylpyrrolidone)(PVP)을 포함하는 태양광 담수화 복합 구조체.

#### 청구항 6

제4항에 있어서,  
상기 접착제층은 폴리비닐피롤리덴(Polyvinylpyrrolidone)(PVP)과 아세톤이 1:4 함량비로 혼합된 포화 용액을 포함하는 태양광 담수화 복합 구조체.

#### 청구항 7

제1항에 있어서,  
상기 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)은 카복실기, 메틸기, 메틸렌기 및 이들의 혼합으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상을 포함하는 태양광 담수화 복합 구조체.

## 청구항 8

- a) 거름종이(Filter paper, FP)의 일면에 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)을 형성하여 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS) 층을 형성하는 단계; 및
- b) 상기 거름종이 타면에 접착제를 떨어뜨려, 상기 거름종이 타면 및 상기 거름종이와 내부 불꽃 촛 그을음 층 사이에 접착제층을 형성하는 단계;를 포함하는, 태양광 담수화 복합 구조체 제조방법.

## 청구항 9

제8항에 있어서,

상기 접착제는 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone)(PVP)과 아세톤이 1:4 함량비로 혼합된 포화 용액인 태양광 담수화 복합 구조체 제조방법.

## 청구항 10

제8항에 있어서,

상기 거름종이(FP)는 셀룰로오스(Cellulose)를 포함하는 태양광 담수화 복합 구조체 제조방법.

## 청구항 11

제8항에 있어서,

상기 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS) 층은 소수성이고, 상기 거름종이(FP)는 초친수성인 태양광 담수화 복합 구조체 제조방법.

## 청구항 12

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항의 태양광 담수화 복합 구조체를 포함하는 해수 담수화 시설.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 태양광 담수화 복합 구조체 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 세계 인구의 급속한 증가와 이용 가능한 담수 자원의 지속적인 오염으로 인해, 물 부족은 놀라운 속도로 증가하고 있다. 한 보고서에 따르면, 세계 인구 중 거의 36억 명이 깨끗한 물을 접할 수 없고, 2050년에는 60억 명에 육박할 것으로 추산된다. 따라서, 폐수 처리를 위한 저렴하고 효율적인 방법을 개발하는 것이 매우 바람직하다. 담수 부족을 완화하기 위해 증기 압축, 다효과 증류, 역삼투와 같은 수많은 기술이 확립되었다.

[0004] 그러나 이러한 방법은 높은 전기 소비량 또는 복잡한 지원/설치 구조를 요구하여 특히 소외된 그리드 지역사회와 개발 도상 지역에 대한 적용 가능성을 방해한다. 태양 증류는 오염되거나 바닷물에서 불순물을 제거하기 위해 친환경적이고 비용이 들지 않으며 지속 가능한 에너지를 활용하기 때문에 잠재적인 대안으로 떠오르고 있다. 이에 따라 관련 기술은 광학 집광기나 부피형 태양열 흡수기를 통해 벌크 워터를 증발시키는 전통적인 방식

에서 저비용·효율적인 계면 태양광 증기 발생기 실현으로 빠르게 전환됐다. 원칙적으로, 계면 태양광 증기 발생기는 태양 에너지를 가열하도록 변환하고 적절한 양의 물 공급이 기화 속도를 최대화하는 증발 표면에 그것을 가둔다.

[0005] 따라서 이러한 장치의 성능은 주로 4가지 핵심 요인에 따라 달라진다: i) 광열 변환, ii) 증발 표면에서의 생성 열 국소화, iii) 제어된 물 수송에 대한 효과적인 모세관 작용 및 iv) 물 증발. 이와 관련해 플라즈모닉 나노입자, 유기고분자, 반도체, 기능성 소재 및 바이오매스 소재 등 다양한 혁신 광열소재가 각각의 특성에 맞게 제안되었다. 그러나 탄소복합체는 자연적 풍부함과 뛰어난 열 변환 때문에 태양 증기 발생에 가장 널리 연구되는 물질이다. 그 결과, 탄소복합체는 태양 증기 발생을 위한 비즈, 나노튜브, 박리된 그래파이트, 다공성 그래핀 및 유리성 발포체와 같은 자연 및 합성 형태로 널리 연구되어 왔다.

[0006] 그을음은 탄화수소의 불완전 연소로 인한 탄소 기반 화합물의 복합체이다. 우수한 물리화학 및 전기화학 초정전 용량 때문에 에너지 저장 장치의 전극으로 광범위하게 연구되어 왔다.

[0007] 추출된 그을음의 물리적, 화학적 특성은 광원의 (탄화수소) 조성에 크게 좌우된다는 점에 주의하여야 한다. 예를 들어 파라핀 왁스 양초에서 추출된 화염 그을음은 높은 태양 흡수율, 낮은 열전도율, 조정 가능한 친수성, 안정성 및 상대적으로 낮은 독성과 같은 태양 증기 발생에 유익한 특성을 나타낸다. 그러나 이러한 특징은 불꽃 끝부분에서 채취한 그을음과 내부 영역 사이에서 서로 다른 산화 정도(연소)에 따라 크게 달라질 수 있다.

## 선행기술문헌

### 특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 한국 등록특허공보 제10-2091594호

## 발명의 내용

### 해결하려는 과제

[0010] 따라서 촛불 불꽃 그을음을 통한 태양광 증기 발생을 여러 번 시도해도 그을음 발생지(불꽃 부위)에 대한 자세한 분석은 여전히 없는 상태이다. 또한 대부분의 그을음 기반 태양광 증기 발생기는 정교한 합성 절차를 따르며 값비싼 화학 시약을 사용하기 때문에 대규모 적용시 매우 비싸다는 문제가 있다(표 1).

[표 1]

| S No. | Device name                           | Ingredients                                                                                                                                                                                                                                        | Soot Source              | Soot flame region | Self-floatability                    | Salt resistance | References |
|-------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------------|-----------------|------------|
| 1     | SE-CS and SE-KS                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Soot</li> <li>○Phenolic aldehyde foam</li> <li>○Cotton cloth</li> <li>○Glacial acetic acid</li> <li>○Cellulose aerogel</li> <li>○Iron wire</li> <li>○Cyclohexane</li> <li>○Cellulose nanofibers</li> </ul> | 1) Candle<br>2) Kerosene | Not Specified     | Supported by Janus layer             | Yes             | [3]        |
| 2     | CPAFs                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Soot</li> <li>○hydroquinone</li> <li>○formaldehyde</li> <li>○ethanol</li> <li>○sodium chloride</li> <li>○DI water</li> <li>○polyvinyl alcohol</li> </ul>                                                   | Kerosene                 | Not Specified     | Supported by phenolic aldehyde foams | Yes             | [4]        |
| 3     | Cotton based solar evaporation device | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Soot</li> <li>○Cotton</li> <li>○polyvinylidene fluoride</li> <li>○Polystyrene foam</li> <li>○ethanol</li> </ul>                                                                                            | Candle                   | Not Specified     | Supported by Polystyrene foam        | No              | [5]        |
| 4     | DSC                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Soot</li> <li>○Cotton</li> <li>○Polystyrene foam</li> <li>○Sulfuric acid</li> <li>○DI water</li> <li>○glue</li> <li>○Ethanol</li> <li>○Acetone</li> </ul>                                                  | Diesel                   | Not Specified     | Supported by Polystyrene foam        | No              | [6]        |
| 5     | CS/AC 3DISSG                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Soot</li> <li>○Adsorbent cotton</li> <li>○Polystyrene foam</li> <li>○ethanol</li> </ul>                                                                                                                    | Candle                   | Not Specified     | Supported by Polystyrene foam        | No              | [7]        |
| 6     | IFCS/FP                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>○Soot</li> <li>○Filter Paper</li> <li>○Acetone</li> <li>○Polyvinylpyrrolidone</li> </ul>                                                                                                                    | Candle                   | Inner Flame Soot  | Yes                                  | Yes             | This Work  |

[0012]

[0013]

본 발명은 상기의 문제점을 해결하기 위하여 간단한 2단계 프로세스에 의해 준비된 셀룰로스 여과지(FP; 거름종이)에 증착된 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)으로 구성된 비용 효율적인 태양광 담수화 복합 구조체 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0015]

본 발명에서는 셀룰로스 막에 코팅된 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)으로 구성된 저가형 태양광 증기 발생기, 즉 거름종이(FP)를 제공한다.

[0016]

IFCS/FP 장치는 간단한 2단계 절차를 통해 제작된다. i) 초 친수성 특성을 가진 FP 표면에 양초 내부 불꽃 영역에서의 소수성 그을음을 선택적으로 증착하고 ii) 접착을 통해 IFCS와 FP 사이의 접착력을 극대화한다. 흥미롭게도, IFCS 및 FP 조합은 IFCS/FP가 부유할 수 있도록 자연스럽게 소수성/친수성 계면을 생성한다.

[0017]

또한 IFCS/FP는 IFCS 층의 광대역 태양 흡수의 누적 효과와 FP의 다공성 형태학으로부터 들어오는 햇빛의 잠재적 포획으로 인해 높은 광열 변환 능력을 보유하고 있다.

[0018]

또한 IFCS 층의 낮은 열전도율은 FP의 모세관 작용에 의해 가열된 표면에 적절한 비율의 물을 공급하여 증발 과정을 용이하게 하는 증발 표면에 광열변환으로 생성된 열을 효과적으로 위치시킨다.

[0019]

상기 특성들의 복합적인 효과는 1(3) 태양 조도 하에서 약  $1.16(4.09) \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 의 높은 증발률과 약 75.1(90.9)%의 효율을 지닌 IFCS/FP를 부여한다.

[0020]

또한 기계적 강도를 0.3 kg 무게로 1회 및 2회 접힘 상태에서 체계적인 노출을 통해 시험하는 동안 여러 번의 실행에서 지속적인 성능으로 IFCS/FP의 안정성과 내구성은 입증되었다.

[0021]

마지막으로 담수화 능력을 유도결합플라즈마(ICP) 방식으로 시험해 담수화 후 이온농도 감소를 나타내는 동시에 자가세척(염에 대한 저항) 능력을 통해 장치의 완전한 재활용성을 확보했다.

[0022]

본 발명의 일 실시형태에 따르면, 거름종이(Filter paper, FP); 및 상기 거름종이 일면에 배치된 내부 불꽃 촛

그을음(Inner flame candle soot, IFCS) 층;을 포함하는 태양광 담수화 복합 구조체를 제공한다.

[0023] 상기 거름종이(FP)는 셀룰로오스(Cellulose)를 포함할 수 있다.

[0024] 상기 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS) 층은 소수성이고, 상기 거름종이(FP)는 초친수성이다.

[0025] 상기 거름종이(FP)의 타면 및 상기 거름종이와 내부 불꽃 촛 그을음층 사이에 접착제층이 더 배치될 수 있다.

[0026] 상기 접착제층은 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone)(PVP)을 포함할 수 있다. 상기 접착제층은 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone)(PVP)과 아세톤이 1:4 함량비로 혼합된 포화 용액을 포함할 수 있다.

[0027] 상기 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)은 카복실기, 메틸기, 메틸렌기 및 이들의 혼합으로 이루어진 군에서 선택된 어느 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0028] 본 발명의 다른 실시형태는, a) 거름종이(Filter paper, FP)의 일면에 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)을 형성하여 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS) 층을 형성하는 단계; 및 b) 상기 거름종이 타면에 접착제를 떨어뜨려, 상기 거름종이 타면 및 상기 거름종이와 내부 불꽃 촛 그을음 층 사이에 접착제층을 형성하는 단계;를 포함하는, 태양광 담수화 복합 구조체 제조방법을 제공한다.

[0029] 본 발명의 또 다른 실시형태는 상기 태양광 담수화 복합 구조체를 포함하는 해수 담수화 시설을 제공한다.

### 발명의 효과

[0031] 해수는 자연적 풍부함 때문에 태양빛과 함께 물 부족과 에너지 위기의 관점에서 세계적인 도전에 대응할 수 있는 잠재력을 가지고 있다.

[0032] 본 발명은 간단한 2단계 프로세스에 의해 준비된 셀룰로스 여과지(FP)에 증착된 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)으로 구성된 비용 효율적인 태양 증기 발생기를 제공한다.

[0033] 결과 IFCS/FP 장치는 셀룰로스 FP의 다공성 미세구조에서 들어오는 햇빛의 다중 산란과 함께 IFCS층의 광대역 태양 흡수 때문에 높은 광열 변환 능력을 나타낸다. 또한 IFCS의 낮은 열전도율은 IFCS/FP 표면에서 광온적으로 생성된 열을 효과적으로 국부화시켜 해수 전체로의 전도 열 손실을 상당히 억제한다.

[0034] 한편, FP의 모세관 작용은 가열된 표면에 적정량의 물을 공급하여 증발과정을 가속화한다. 이러한 특성의 시너지 효과를 이용하여 IFCS/FP 장치는 1(3) 태양 조도 하에서 약  $1.16(4.09) \text{ kgm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 의 높은 증발률 및 약 75.1(90.9)%의 효율을 달성한다. 더욱이 IFCS/FP 장치는 1(3) 태양 조사 하에서 15회의 반복 사이클에 걸친 지속성 성능 때문에 탁월한 수명을 나타낸다.

[0035] 따라서, IFCS/FP의 유연한 제작, 탁월한 기계적 강도, 담수화 및 내염성 능력은 대규모 실제 응용에 적합한 후보이다.

### 도면의 간단한 설명

[0037] 도 1은 IFCS/FP의 2단계 제작 프로세스를 나타내는 도면이다: (a) FP의 내부 불꽃 촛 그을음 수집을 위한 자체 제작한 장치의 개략도, (b와 c) 증착된 IFCS와 FP 사이의 약한 접착력을 보여주는 FE-SEM (전계방출형 전자주사현미경) 이미지(삽입은 IFCS 입자 간의 응집력 부족을 보여줌), (d) 약한 결합으로 인해 침전된 IFCS와 FP의 분리를 보여주는 시간 경과 디지털 이미지, (e) PVP 기반 포화 글루 용액의 단계적 제조공정, (f 및 g) IFCS와 FP 사이 뿐만 아니라 IFCS 입자(내부) 사이에서도 강한 결합을 보여주는 IFCS/FP의 FE-SEM 이미지, (h) IFCS와 FP와 같은 구성성분 간의 강한 접착으로 인해 IFCS/FP의 탁월한 부동성을 나타내는 시간 경과 디지털 이미지.

도 2는 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)의 특성을 나타내는 도면이다: (a) IFCS 분말의 XRD 패턴( $30^\circ$ 와  $41^\circ$ 에서 XRD 피크는 각각 흑연의 육각형 격자의 (002)면과 (100)면에 해당함), (b) IFCS 분말의 라만 스펙트럼( $1370$ 과  $1600 \text{ cm}^{-1}$ 의 피크는 탄소의 D와 G 밴드를 나타내며, G 밴드의 높은 강도는 IFCS의 흑연화를 암시함), (c) ZnSe 기판에 증착된 IFCS의 FTIR(프리에 변환 적외선 분광) 스펙트럼, (d) 거의  $0^\circ$  각도로 친수성 특성을 나타내는 FP의 시간-경과 접촉각 측정, 소수성인 IFCS의 증착으로 인해 약  $111 \pm 1^\circ$ 의 큰 접촉각을 나타내는 IFCS/FP의 시간-경과 접촉각 측정, (e) 파장,  $250 \text{ nm}$  이상의 태양광에 대한 IFCS/FP(녹색)의 흡수 스펙트럼(전체 태양 스펙트럼)

펙트럼에 걸친 높은 흡수는 IFCS/FP의 뛰어난 광열 변환 능력을 나타냄).

도 3은 1개의 태양 조명 하에서의 소자 주위의 열 분포(열 프로파일), 성능 및 열 관리를 나타내는 도면: (a-c) 물, FP 및 IFCS/FP의 시간 경과에 따른 열 이미지(표면과 벌크 워터 사이의 온도 차이가 크다는 점에서 IFCS/FP가 우수한 열 국소화를 보이며, 또한 IFCS/FP 소자의 높은 표면온도는 우수한 광열 변환 능력을 보여줌), (d) 순수한 물(청색)과 FP(녹색) 및 IFCS/FP(적색)의 시간 함수로서의 질량손실, 즉 증발한 물의 양을 보여주는 그래프, (e) 1 태양 조명 하에서 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 측정된 증발 속도 및 효율, (f) 1 태양 조명 하에서 IFCS/FP를 통한 불가피한 전도, 대류, 복사에 의한 열 손실의 개략도이다.

도 4는 3개의 태양 조명 하에서의 열 분포(열 프로파일), 성능 및 열 손실을 나타내는 도면: (a-c) 물, FP 및 IFCS/FP의 시간 경과에 따른 열 이미지(표면과 벌크 워터 사이의 온도 차이가 크다는 점에서 IFCS/FP가 우수한 열 국소화를 보여줌), (d) 순수한 물(청색)과 FP(녹색) 및 IFCS/FP(적색)의 시간 함수로서의 질량손실, 즉 증발한 물의 양을 보여주는 그래프, (e) 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 측정된 증발 속도 및 효율, (f) 3 태양 조명 하에서 IFCS/FP를 통한 불가피한 전도, 대류, 복사에 의한 열 손실의 개략도이다.

도 5는 IFCS/FP 장치의 재현성 (안정성), 담수화 및 기계적 유연성을 나타내는 도면이다: (a) 1 및 3 태양 조사 하에서 15회 이상 반복된 증류수를 사용한 IFCS/FP의 증발 속도(지속 성능은 IFCS/FP의 우수한 안정성을 나타냄), (b) IFCS/FP를 이용한 담수화 전후의 인공 해수의 염도(이온농도의 뚜렷한 감소는 IFCS/FP의 담수화 능력이 우수함을 나타냄), (c) 0.3 kg 이하의 1 및 2 접힘 상태 전후의 디지털 이미지(명확한 손상 징후가 나타나지 않아 기계적 강도와 유연성을 확인할 수 있음).

도 6은 IFCS/FP 장치의 내염성 또는 자체 재생성(재활용성)을 나타내는 도면이다: (a) IFCS/FP의 내염성 능력 개략도(담수화 과정에서 IFCS/FP(왼쪽 패널)의 표면과 미세 구조 내부에 소금 알갱이가 축적되고 어두운 곳(오른쪽 패널)에서 벌크(bulk) 수로 다시 확산됨), (b) 8시간 동안 담수화 후 IFCS/FP의 미세 기공에 소금 알갱이(녹색 점선 원)의 존재를 보여주는 SEM 이미지(삽입 디지털 이미지는 IFCS/FP 표면에 소금 응집체의 존재를 나타냄), (c) 도 6(b)와 동일한 IFCS/FP 영역에서 4시간 동안 어떻게 유지한 후 획득한 SEM 이미지(이미지는 IFCS/FP의 미세 기공 및 표면(삽입)에서 소금 알갱이 응집체를 성공적으로 제거한 것을 보여줌).

도 7은 IFCS/FP 장치의 장기적으로 안정적인 부유성을 나타내는 도면이다(1일차(a)와 30일차(b)에 촬영된 장치의 디지털 이미지는 색 변화나 IFCS 분리의 명확한 징후가 나타나지 않아 IFCS/FP의 안정적인 부유성이 드러남).

도 8은 IFCS와 불꽃 끝의 그을음을 비교한 도면이다: (a) IFCS와 불꽃 끝 그을음의 FTIR 스펙트럼, (b) IFCS/FP와 촛 불꽃 끝 그을음/FP상에 대한 액체(물)의 접촉각을 보여주는 디지털 이미지, (c) 친수성에 기인한 강한 모세관 작용으로 인한 비부유성을 갖는 FP와 (d) 소수성 IFCS의 증착에 따라 달성된 안정적인 부유성을 보여주는 사진.

도 9는 FP(녹색) 및 IFCS/FP(빨간색)의 확산 반사율, 투과율 및 흡수를 나타내는 그래프이다: (a) 200~2500nm 범위에서 IFCS/FP 및 FP의 확산 반사율(실선) 및 투과율(점선), (b)  $A = 1 - (R + T)$  방정식을 사용하여 계산한, FP와 IFCS/FP의 흡수 스펙트럼(여기서, R 및 T는 반사 및 투과율을 나타냄).

도 10은 FP의 인공 부유 테스트를 나타내는 도면이다: (a) 도식에서는 글루건을 사용하여 FP의 네 모서리에 모두 부착된 소량의 플라스틱 접착제를 부유할 수 있도록 나타냄(삽입 이미지는 FP의 디지털 이미지를 플라스틱으로 코팅한 모서리로 표시함), (b) 수면에 뜰 수 있는 플라스틱으로 코팅된 FP의 디지털 이미지.

도 11은 1 태양 조사 시 인접 시간 간격이 5분인 시간-경과 열 이미지를 나타내는 도면이다: (a-c) 각각 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 시간 경과 열 이미지를 나타냄(각 그림의 왼쪽 하단 패널(강조 표시)은 0분 및 60분에서 각 장치의 표면 온도를 나타냄).

도 12는 IFCS/FP 장치의 질량 손실 및 열 분포 프로파일을 모니터링하는 데 사용되는 자체 제작 측정 시스템 개략도이다.

도 13은 암흑 환경에서의 증발 속도 및 효율성을 나타내는 도면이다: (a) 순수한 물, FP, IFCS/FP의 암흑 질량 손실, (b) 순수한 물( $0.21 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , 13.1%), FP( $0.2 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , ~12.4%) 및 IFCS/FP( $0.19 \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ , ~11.9%)의 암흑 환경에서 증발 속도 및 효율.

도 14는 3 태양 조사 시 인접 시간 간격이 5분인 시간-경과 열 이미지를 나타내는 도면이다: (a-c) 각각 순수한

물, FP 및 IFCS/FP의 시간 경과 열 이미지를 나타낸다(각 그림의 왼쪽 하단 패널(강조 표시)은 0분 및 60분에서 각 장치의 표면 온도를 나타냄).

도 15는 담수화 특성 파악을 위한 자체 제작한 설정을 나타내는 도면이다: (a) 인공 해수의 담수화 측정을 위한 자체 제작한 장치 개략도, (b) 하나의 태양 조명의 부재 및 존재 시 담수화 설정의 디지털 이미지, (c) 대규모 IFCS/FP 장치의 기계적 유연성.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 이하, 실시예를 통해 본 발명을 보다 구체적으로 설명한다. 그러나 이들 예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐 어떠한 의미로든 본 발명의 범위가 이들 예로 한정되는 것은 아니다.

## [0040] 1. 실험

[0041] **재료:** 어드밴텍 거름종이(2호, 지름 110mm)는 현대마이크로에서 구매했다. 양초들은 명광화학공업으로부터 구입하였다. AMOS® 글루 스틱을 아세톤과 1:4 비율로 혼합하여 포화 글루 용액을 제조했다.

[0043] **특성:** 전계 방출 주사 전자 현미경(FE-SEM) 이미지는 JEOL JSM-6500F 현미경으로 촬영되었다.

[0044] XRD 2 $\theta$  스캔은 실험실 소스(4-원) X선 회절계(파장 = 1.5406 Å Cu K $\alpha$ 1, D8 Discover, Bruker)를 통해 실행되었다.

[0045] 실온에서의 라만 스펙트럼은 473 nm 레이저를 광 여기원을 사용하여 기록되었다.

[0046] 4,000–1,000 cm<sup>-1</sup> 범위의 푸리에 변환 적외선(FTIR) 분광기는 브루커 인베니오 R 분광계를 사용하여 얻었다.

[0047] 샘플의 물 접촉각은 SEO, Phoenix 300으로 측정되었다. 확산 반사 및 투과 스펙트럼은 적분구가 장착된 Varian, Cary5000 분광계를 사용해 얻었다.

[0048] 아베트 테크 10500 태양 시뮬레이터는 자연 햇빛을 복제하기 위해 사용되었다. 온도 프로파일은 Testo-872(320 X 240 픽셀) 열 이미지를 사용하여 측정되었다.

[0049] 1.5 X 1.5 cm<sup>2</sup> 크기의 IFCS/FP를 태양열 시뮬레이터 아래의 사각 컨테이너에 전자 저울(Vibra, AJH-220E-D)의 1 및 3 태양 위치에 배치하여 벌크 수의 질량 변화를 기록하였다.

[0050] 식염수와 담수화수의 이온 농도는 유도결합플라즈마(ICP) 질량분석법에 의해 분석되었다.

## [0052] 2. 결과 및 토의

[0053] 도 1은 IFCS/FP 장치의 체계적인 제작 과정을 나타낸다.

[0054] 우선 IFCS는 도 1(a)에 도식화된 것과 같이 홈빌트(자체제작) 설정을 통해 제어된 방식으로 FP에 증착된다. 이 설정은 초, 핀 홀(조리개), FP 및 잠금 막대를 위한 3개의 조정식 홀더로 구성되며, 핀 홀(조리개)과 FP 사이에 최대 2cm의 일정한 거리를 확보한다. 또한, 촛 심지 상단과 핀 홀(조리개) 사이의 거리는 전체 그을음 채취 과정 동안 0.6cm로 유지되었다. 핀 홀(조리개) 구멍(직경, ~0.3cm)은 촛 불꽃의 정확한 중앙에 위치하여 불꽃 끝 그을음을 완전히 차단하고 내부 불꽃 그을음만 FP에 도포되도록 한다.

[0055] 도 1(b)에 표시된 저해상도 FE-SEM 이미지는 FP의 다공성 미세 구조에 IFCS가 성공적으로 증착되었음을 보여준다. 그러나 도 1(b)의 강조된 영역에서 획득한 고해상도 FE-SEM 이미지(도 1(c))는 IFCS와 FP뿐만 아니라 개별 IFCS 입자(삽입) 사이에서도 약한 결합이 있으며, 이는 물에 5초간 노출 시 IFCS와 FP의 신속한 분리가 나타남을 보여주는 시간 경과 디지털 이미지(도 1(d))에 의해 추가로 확인된다.

[0056] IFCS와 FP의 결합을 강화하기 위해 도 1(e)와 같이 상온에서 자기 교반을 통해 준비한 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone)(PVP) 기반 접착제와 아세톤(1:4)의 포화 용액을 그을음이 증착된 FP 후면에 떨어뜨려 주조했다. IFCS/FP 장치를 15분 동안 자연 건조했다.

- [0057] 도 1(f)은 접착 후 IFCS/FP의 저해상도 FE-SEM 이미지를 보여준다. 상대적으로 매끄러운 표면 텍스처(Texture, 조직형태)는 IFCS와 FP 사이에 강한 접착력을 제공하는 접착 효과를 쉽게 나타내며, 이는 도 1(f)의 강조된 부분에서 캡처한 고해상도 FE-SEM 이미지(도 1(g))에서 매우 뚜렷하게 나타난다. 삽입 이미지는 개별 IFCS 입자 사이의 더 강한 응집력을 드러낸다. 또한 도 1(h)의 시간 경과 디지털 이미지는 물에 5초 노출 시 IFCS와 FP가 해리(분리)되지 않기 때문에 IFCS와 FP 사이의 강한 결합을 나타낸다. IFCS/FP의 장기적 안정적 부유성은 도 7과 같이 30일이라는 긴 기간에 걸쳐 시험되었고, 가혹한 초음파 환경에 노출되었다.
- [0058] IFCS 분말의 결정 구조는 각각 X선 회절(XRD)과 마이크로 라만 분광법으로 분석되었다. 도 2(a)는 IFCS의 XRD 스펙트럼을 나타낸다. 더 넓은 피크의 특징적인 낮은 강도는 IFCS 입자의 낮은 결정질을 나타낸다. 육각 흑연 격자의 (002)면과 (100)면에 해당하는  $\sim 30^\circ$  와  $\sim 41^\circ$  의 회절 피크는 IFCS의 흑연화(JSPD #41-1487)를 시사한다.
- [0059] 도 2(b)는 IFCS의 라만 스펙트럼을 나타낸다.  $1370\text{ cm}^{-1}$ 에서의 라만 피크는 탄소동소체의 D-밴드에 해당하는데, 이는 기본적으로  $\text{sp}^2$  혼성 결정 구조의 왜곡을 나타내는 반면  $1600\text{ cm}^{-1}$ 에서의 피크는 흑연 물질에서 C-C 결합의 확장을 나타내는 G-밴드와 관련이 있다. 또한, G-밴드의 높은 강도는 IFCS에  $\text{sp}^2$  혼성 흑연이 풍부하다는 것을 보여주며, 이는 XRD 분석과 일치할 뿐만 아니라 내부 불꽃 그늘음의 소수성 특성을 나타낸다.
- [0060] IFCS의 화학적 조성은 푸리에 변환 적외선(FTIR) 분광법으로 특징지어졌으며, 이는 숯 그늘음이 카복실기, 메틸기, 메틸렌기 등과 같은 분지형 탄화수소의 혼합물임을 보여준다.
- [0061] 도 2(c)는 ZnSe 기판에 수집된 IFCS의 FTIR 스펙트럼을 나타낸다.  $3429$  및  $1639\text{ cm}^{-1}$ 에서의 피크는 각각 표면 하이드록시기(-OH)와  $\text{H}_2\text{O}$  굽힘 모드의 스트레칭 진동을 나타낸다. 일반적으로 C-H 스트레칭 밴드는  $3300\sim 2800\text{ cm}^{-1}$  범위에서 나타난다. 따라서  $2918\text{ cm}^{-1}$ 의 띠는  $\text{CH}_2$ 의 비대칭 스트레칭 진동에서 발생하며,  $2954\text{ cm}^{-1}$ 과  $2849\text{ cm}^{-1}$ 의 두 피크는  $\text{CH}_3$  모이어티(부분)의 대칭과 비대칭 진동에 기인한다. 또한 약  $1718\text{ cm}^{-1}$  및  $1089\text{ cm}^{-1}$  주위의 골은 각각 카보닐기(C=O)와 카복시기(C-O)의 존재를 나타낸다.  $1462\text{ cm}^{-1}$ 의 피크는  $\text{CH}_3$ 의 H-C-H 대칭 굽힘 모드를 나타내며,  $1377\text{ cm}^{-1}$ 의 밴드는  $\text{CH}_2$  기능기의 CH 스트레칭 진동에 해당한다.
- [0062] 또한 내부 불꽃 영역과 불꽃 끝에서 채취한 숯 그늘음의  $\text{CH}_3$  밴드( $2954$  및  $2849\text{ cm}^{-1}$ ) 특성 비교는 도 8(a)에 나와 있다. 내부 화염 부위의 그늘음은 강하고 강렬한  $\text{CH}_3$  띠를 보여주는데, 이는 숯불 왁스의 불완전 연소/산화로 인한  $\text{CH}_3$ (유기물)의 상당 부분을 나타낸다. 더 강한  $\text{CH}_3$  밴드는 또한 IFCS의 소수성 특성을 보여주는데, 이는 도 2(b)에 언급된 라만 분석과 일치한다. IFCS의 소수성을 직접적으로 확인하기 위해, 물 접촉각을 측정했다.
- [0063] 도 2(d)는  $100\text{ ms}$ 의 인접 시간 간격의 시간-경과 접촉 각도 이미지를 나타낸다.  $300\text{ ms}$ 에서 거의  $0^\circ$ 의 접촉각은 FP의 초 친수성을 나타내며, 이는 강력한 모세관 작용의 존재를 나타내므로 FP가 도 8(c)와 같이 수면 위에 뜰 수 없게 한다. 그러나 IFCS 층이 도포되면  $300\text{ ms}$ 에서 더 큰 접촉각  $\sim 111 \pm 1^\circ$ 가 관측되어 IFCS의 소수성을 나타낸다.
- [0064] 결과적으로 IFCS/FP 장치는 수면 위에 꾸준히 떠 있을 뿐만 아니라(도 8(d)), 증발 표면으로 물을 효과적으로 운반하는 데 필수적인 모세관 작용을 나타낸다.
- [0065] 광열 변환은 햇빛을 열로 변환하는 장치의 성능으로, 효율적인 태양 증기 발생기의 필수 전제 조건 중 하나로 간주된다. 도 2(e)는 태양 시뮬레이터(AM 1.5G)의 에너지 분포에 대한 IFCS/FP의 흡수 스펙트럼을 나타낸다. IFCS/FP는 전체 태양 스펙트럼에서 높은 흡수율( $>95\%$ )을 보여 우수한 광열 변환 능력을 나타내며, 이는 IFCS의 광대역 태양 흡수 효과와 FP의 다공성 형태적 특성에 의해 입사 햇빛의 다중 산란 효과에 기인한다. 흡수 스펙트럼은 도 9(a)와 9(b)에 표시된 것처럼 방정식  $A = 1 - (R + T)$ (여기서, R과 T는 각각 확산 반사율과 투과율을 나타냄)를 사용해 추정한다.
- [0066] 열 국소화는 태양 증기 발생을 증가시키는 기본 벌크 물의 열 손실을 억제하는 데 중요한 역할을 한다. IFCS/FP의 열 국소화 능력은 표면과 벌크 수의 동적 온도 변화를 1시간 동안 모니터링하여 평가하였으며, 이를 위해 20분마다 이미지를 촬영하여 실시간 온도 변화를 조사하였다.

[0067] 도 3(a)-3(c)는 1개의 태양 조명 하에서 각각 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 시간 경과 열 이미지를 나타낸다. 60 분 동안의 순수한 물의 열 분포 프로파일(도 3(a))은 물의 열전도율이  $0.61 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ 로 높기 때문에 비커 전체에 걸쳐 거의 균일한 온도 분포를 나타낸다. 표면과 벌크 워터 사이의 무시할 수 있는 온도 차이( $\sim 0.1^\circ\text{C}$ )는 열 국소화가 없음을 보여준다. 대조적으로, FP와 IFCS/FP는 각각 도 3(b)와 3(c)에 나타난 것과 같이 용기 전체의 불균일한 온도 분포에서 명백하게 나타나는 상당한 열 국소화를 나타낸다. 또한 IFCS/FP는 조작하지 않은 FP( $0.10 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )에 비해 IFCS 층( $0.07 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ )의 열전도율이 상대적으로 낮기 때문에 우수한 생성열 국소화를 명확히 보여준다.

[0068] 따라서 IFCS/FP에 대한 60분에서의 열 이미지는 FP( $\sim 2.4^\circ\text{C}$ )에 비해 표면과 벌크 수의 온도차가  $11.7^\circ\text{C}$ 까지 크게 나타나므로 IFCS/FP 소자의 열 국부화 능력이 우수함을 확인할 수 있다. 또한 IFCS/FP의 시간-경과 열 이미지(도 3(c))는 표면 온도가 FP( $34.1^\circ\text{C}$ )와 순수( $29.6^\circ\text{C}$ )보다 높은 최대값  $\sim 44^\circ\text{C}$ 까지 빠르게 증가하는 것을 보여줌으로써 IFCS/FP의 우수한 광열 변환 능력을 검증하고, 도 1(e)의 흡수율과 일치한다. 도 10에서 설명한 바와 같이 이러한 측정을 위해 FP를 인위적으로 띄웠다는 점에 주의하여야 한다. 1개의 태양 조명 아래에서 순수한 물, FP 및 IFCS/FP에 대한 자세한 시간-경과 열 이미지는 도 11에 나와 있다.

[0069] 상기 분석에 기초하여 IFCS/FP는 효율적인 태양 증기 생성을 위해 중요한 모든 매개변수를 보여준다. IFCS/FP 장치의 성능은 도 12와 같은 자체 제작 설정을 사용하여 1시간 동안 벌크 수의 질량 손실을 모니터링하여 평가하였다. 광열 변환 효율성은 다음 식을 사용하여 계산되었다.

$$\eta [\%] = \frac{\dot{m}h_{lv}}{C_{opt}P_o} \times 100 \quad (1)$$

[0070]

[0071] 여기서  $\dot{m}$  ( $\text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ )은 정상 상태 조건에서 증발로 인한 질량 변화,  $P_o=1\text{kW m}^{-2}$ 는 들어오는 태양 에너지의 전력 밀도,  $C_{opt}$ 는 장치 표면의 광학적 농도,  $h_{lv}$ 는 액체-증기 상변이의 총 열 엔탈피를 나타내며, 이는 다음 식과 같이 잠열과 현열 엔탈피의 합과 동일하다.

$$h_{lv} = \lambda_{lv} + C_p (T_2 - T_1) \quad (2)$$

[0072]

[0073] 여기서  $\lambda_{lv}=2257 \text{ kJ kg}^{-1}$ 은 표준 대기압에서 수증기의 잠열이며,  $C_p = 4.2 \text{ kJ kg}^{-1}\text{K}^{-1}$ 은 비열 용량이고,  $T_2-T_1$ 은 물의 온도 차이를 나타낸다.

[0074] 도 3(d)는 한 번의 태양 조명 하에서 순수한 물, FP 및 IFCS/FP에 대한 질량 손실, 즉 증발한 물의 양을 나타낸다. IFCS/FP는 FP( $0.124 \text{ g}$ ) 및 순수( $0.122 \text{ g}$ )에 비해 최대  $0.262 \text{ g}$ 의 질량 손실을 보여준다. 해당하는 증발률과 광열 변환 효율은 도 3(e)에 표시되어 있다. 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 물 증발률은  $0.54$ ,  $0.55$ ,  $1.16 \text{ kgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ 인 것으로 확인되었으며, 연관된 열 변환 효율은 각각  $34.1$ ,  $35$  및  $75.1\%$ 로 계산되었다. FP의 효율은 열 국부화에도 불구하고 순수한 물과 거의 동일한 것으로 관찰되었다.

[0075] 이는 도 9(b)와 같이 태양 흡수 스펙트럼이 낮기 때문에 FP의 광열 변환 능력이 약하기 때문이다. 햇빛이 없을 때 발생하는 자연 증발을 설명하기 위해 암흑 증발률을 측정했다. 도 13은 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 암흑 증발률을 보여준다. 암흑 성능을 제외한 후 IFCS/FP의 순효율은 최대  $63.2\%$ 로 순수한 물과 베어 FP보다 각각 3배, 2.8배 높았다. 이 같은 성능 향상은 높은 광열변환과 효과적인 모세관 작용, IFCS/FP 장치의 열 국소화에 따른 누적 효과 때문으로 풀이된다.

[0076] IFCS/FP를 사용하는 태양 증기 발생 프로세스 동안 발생하는 불가피한 열 손실은 도 3(f)에 도식적으로 나타나 있다. 한 태양 조명 하에서 IFCS/FP 표면에서 주변으로의 반사, 대류, 복사 등 열 손실은 각각  $\sim 3.05$ ,  $\sim 8.85$ ,  $\sim 11.42\%$ 였으며, 기반 벌크로의 전도 열 손실은  $12.5\%$ 로 계산되었다.

[0077] IFCS/FP의 성능도 강렬한 태양 조사 하에서 시험되었다.

[0078] 도 4(a)-4(c)는 3 태양 조명 하에서 각각 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 시간-경과 열 화상카메라 측정 이미지를 나타낸다. 이러한 열 분포 프로파일은 하나의 태양 조명 아래에서의 열과 거의 동일한 경향을 보인다. 그러나

순수한 물(0.2℃)과 FP(2.5℃)에 비해 표면과 벌크 수 사이의 높은 온도 차이에서 명백하게 IFCS/FP에 대해 더욱 개선된 열 국소화가 관찰되었다. 결과적으로 기본 벌크 수로의 대한 전도 열 손실은 효과적으로 억제되어 3 태양 조명 하에서 IFCS/FP의 성능, 즉 수증기 증발률 및 효율이 크게 향상되었다.

[0079] 도 14는  $3 \text{ kWm}^{-2}$  하에서의 순수한 물, FP 및 IFCS/FP에 대한 자세한 시간-경과 열 이미지를 보여준다. 도 4(d)는 3개의 태양 조사 하에서 순수한 물, FP 및 IFCS/FP의 질량 손실을 나타낸다. IFCS/FP는 FP(0.401 g) 및 순수(0.240 g)에 비해 최대 0.921g의 높은 질량 손실을 나타낸다. 순수, FP 및 IFCS/FP의 추정 증발률과 광열 변환 효율은 도 4(e)에 나와 있다. 순수한 물, FP, IFCS/FP의 증발률은 1.1, 1.8,  $4.09 \text{ kgm}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 인 반면 해당 광열 변환 효율은 각각 23.6, 38.8 및 90.9%로 계산되었다. 자연 증발(도 13)을 고려할 때 IFCS/FP의 순효율은 79%로 여전히 순수수와 FP의 3.35배, 2.04배 높다.

[0080] 한편, 3 태양 하에서의 IFCS/FP의 효율성은 1 태양 조명 아래에서의 효율보다 최대 1.25배 높으며, 이는 특히 IFCS/FP의 열 국소화 강화로 인한 열손실, 전도 열손실이 크게 감소하였기 때문이다. 도 4(f)는 3개의 태양 조명 하에서 열 손실을 도식적으로 보여준다. 반사, 대류 및 복사 열 손실은 각각 3.05, 5.67 및 7.89%로 계산되었고, 전도 열 손실은 3.67%로 추정되었다(표 2의 상세 정보).

[0081] [표 2]

|                  | Light Evaporation Rate ( $\dot{m}$ )<br>( $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) | Dark Evaporation Rate ( $\dot{m}$ )<br>( $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) | Actual Evaporation Rate ( $\Delta m = \dot{m} - \dot{m}_d$ )<br>( $\text{kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ) | Total Heat Enthalpy                       |                                                |                   |                                     | Light Efficiency $\eta[\%] = \frac{Q_{ev}}{Q_{in}} \times 100$ | Dark Efficiency $\dot{\eta}[\%] = \frac{Q_{evd}}{Q_{in}} \times 100$ | Actual Efficiency $\Delta \eta = \eta - \dot{\eta}$ (%) | $Q_{cond}$ (%) | $Q_{conv}$ (%) | $Q_{rad}$ (%) | $Q_{tot}$ (%) |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
|                  |                                                                               |                                                                              |                                                                                                       | $h_{Te} = \lambda_{Te} + C_p \Delta T$    |                                                |                   |                                     |                                                                |                                                                      |                                                         |                |                |               |               |
|                  |                                                                               |                                                                              |                                                                                                       | $\lambda_{Te}$<br>( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) | $C_p$<br>( $\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ) | $\Delta T$<br>(K) | $h_{Te}$<br>( $\text{kJ kg}^{-1}$ ) |                                                                |                                                                      |                                                         |                |                |               |               |
| 1 Sun<br>IFCS/FP | 1.16                                                                          | 0.19                                                                         | 0.97                                                                                                  | 2257                                      | 4.2                                            | 17.8              | 2331.76                             | 75.1                                                           | 11.9                                                                 | 63.2                                                    | 12.5           | 8.85           | 11.42         | 3.05          |
| 3 Sun<br>IFCS/FP | 4.09                                                                          | 0.19                                                                         | 3.9                                                                                                   | 2257                                      | 4.2                                            | 34                | 2399.8                              | 90.9                                                           | 11.9                                                                 | 79                                                      | 3.67           | 5.67           | 7.89          | 3.05          |

[0082]

[0084] 도 5(a)는 증류수를 사용하여 15회의 반복 주기에 걸쳐 IFCS/FP의 증발 속도를 나타낸다. 1과 3 태양 조사 하에서 거의 지속적인 성능은 본 발명의 IFCS/FP의 탁월한 안정성을 나타낸다. IFCS/FP의 담수화 성능은 담수화 전후의 인공 해수 이온 농도를 측정하여 조사하였다. 자체 제작한 담수화 설정은 도 15에 나와 있다. 도 5(b)는 담수화 후 이온 농도가 현저하게 감소하여 세계보건기구(WHO) 기준에 따른 음용에 적합함을 보여준다. 대형(직경: 11cm) IFCS/FP 장치의 기계적 강도와 유연성은 도 5(c)와 같이 1배 및 2배 접힘 상태에서 0.3kg 무게로 시험했다. 중량 제거 전후 획득한 디지털 이미지에는 손상의 명확한 증거가 없으며, 이는 IFCS/FP의 기계적 강도와 유연성이 양호하다는 것을 나타낸다.

[0085] 도 6(a)는 IFCS/FP 장치의 염-저항성(자체 세척/재생성)을 도식적으로 설명한다. 담수화 과정에서 왼쪽 패널에 표시된 것처럼 소금 결정(흰색)이 미세 기공 내부와 IFCS/FP 장치 표면에 축적된다. 그러나 축적된 소금 결정체는 오른쪽 패널과 같이 빛이 없을 때(암흑) 하부의 벌크 수로 다시 확산되어 IFCS/FP를 자가 세척한다.

[0086] 도 6(b)는 8시간 동안 담수화용으로 적용된 IFCS/FP의 SEM 이미지를 나타낸다. 이미지 선명도는 IFCS/FP의 미세 기공에 축적된 소금 클러스터(녹색 원)를 보여준다. 또한 삽입 디지털 이미지는 IFCS/FP 표면에 소금 응집체(흰색)가 형성되는 것을 보여준다. 도 6(c)는 IFCS/FP를 4시간 동안 어둡게 유지한 후 그 SEM 이미지를 나타낸다. 이미지는 도 6(b)와 동일한 IFCS/FP 영역에서 획득된다. 미세 기공과 표면(내부)에서 소금 결정이 완전히 제거되는 것이 관찰되었으며, 이는 IFCS/FP 장치의 뛰어난 염-저항 능력을 나타냈다.

### [0088] 3. 결론

[0089] 요약하자면, 셀룰로스 여과지(FP)에 수집된 내부 불꽃 촛 그을음(IFCS)으로 구성된 저가 IFCS/FP 장치를 통해 효율적인 태양광 증기 발생을 증명했다. IFCS/FP 장치는 간단한 2단계 프로세스를 통해 제작된다. 각각 IFCS와 FP의 소수성 및 초친수성 특성 때문에 최종 장치는 부유할 수 있으며, 이는 자가 부유식 태양 증기 발생기에 필수적인 것으로 간주된다. IFCS/CF의 체계적인 분석에 따르면 본 발명의 장치는 효율적인 태양 증기 발생기에 필

요한 모든 중요한 매개 변수를 보여준다.

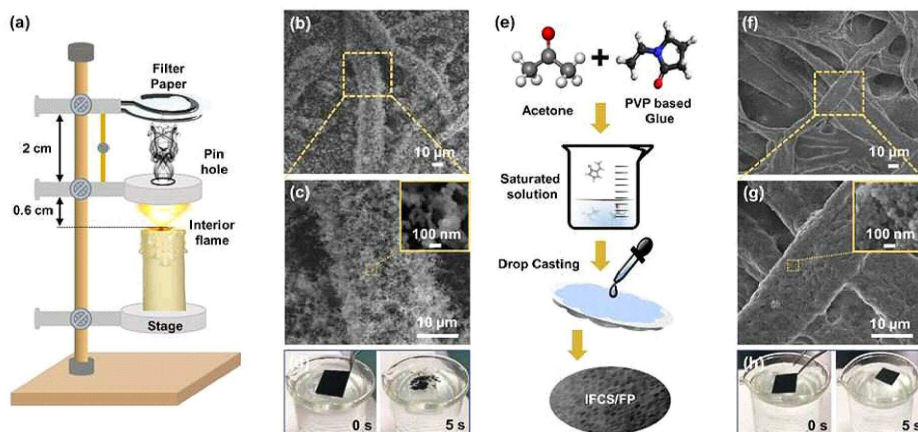
[0090] 예를 들어, IFCS/FP의 높은 광 흡수 및 다공성 형태는 필수적인 빛-열 변환 능력을 제공하는 반면, 낮은 열 전도율은 기초 벌크 수에 대한 열 손실을 감소시키는 데 상당히 중요한 열 국소화를 제공한다. 또한 IFCS/FP의 제어된 모세관 작용은 증발기 표면에 적절한 양의 물을 공급하여 증발 과정을 강화한다.

[0091] 결과적으로 IFCS/FP 장치는 1(3) 태양 조명 하에서  $1.16(4.09) \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ 의 높은 증발률과 75.1(90.9)%의 효율을 달성했다. 게다가, IFCS/FP의 유연한 제작, 뛰어난 안정성, 기계적 강도 및 염분 저항 능력은 본 발명의 장치가 대규모 태양 담수화 및 폐수 처리에 잠재적으로 적용될 수 있음을 시사한다.

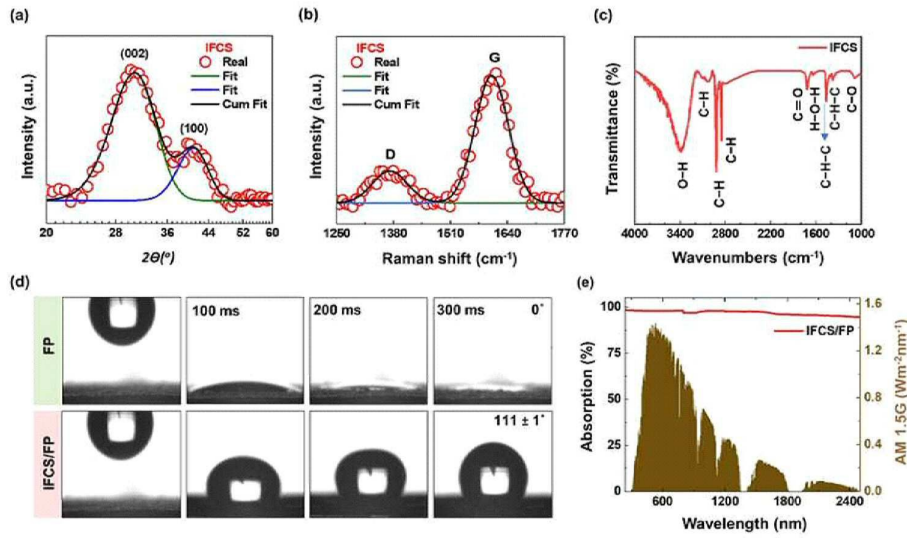
[0093] 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위내에서 여러 가지 치환, 변경이 가능하므로 전술한 실시예에 한정되는 것은 아니다.

## 도면

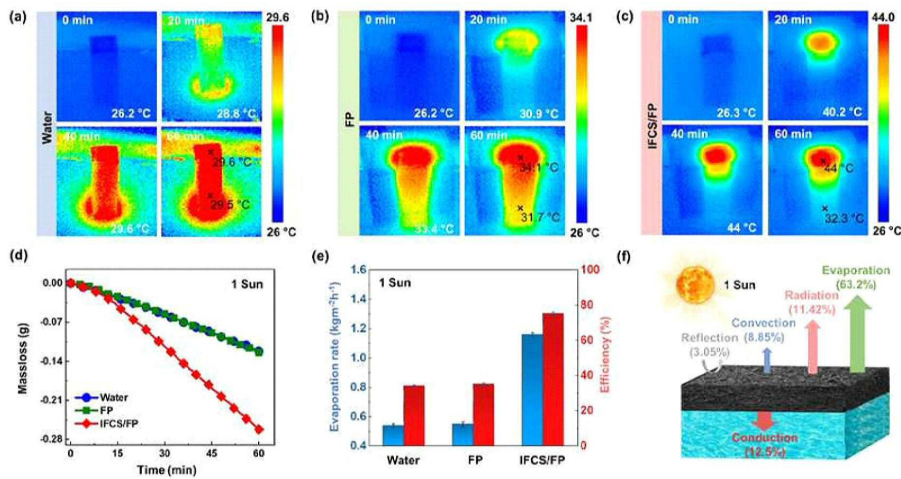
### 도면1



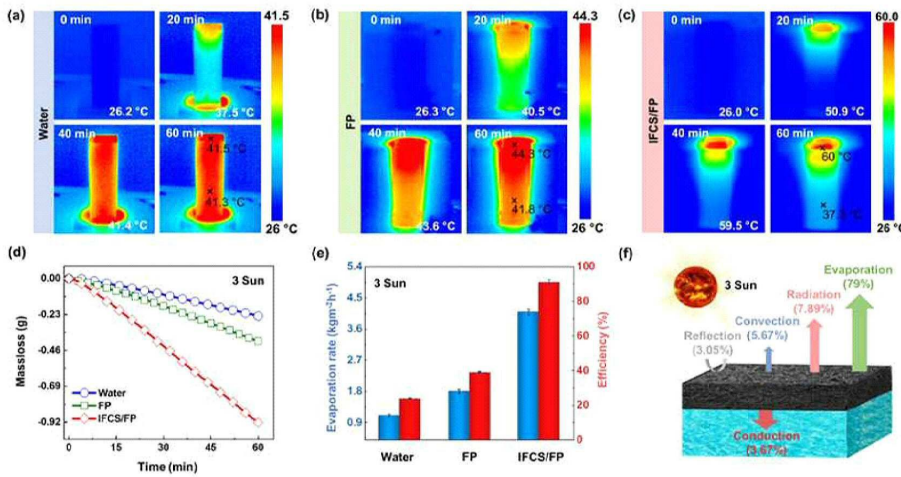
도면2



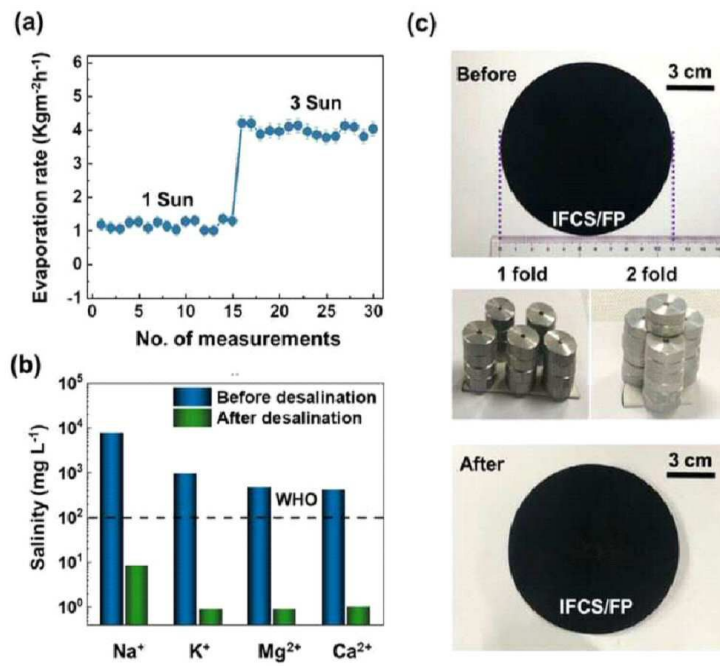
도면3



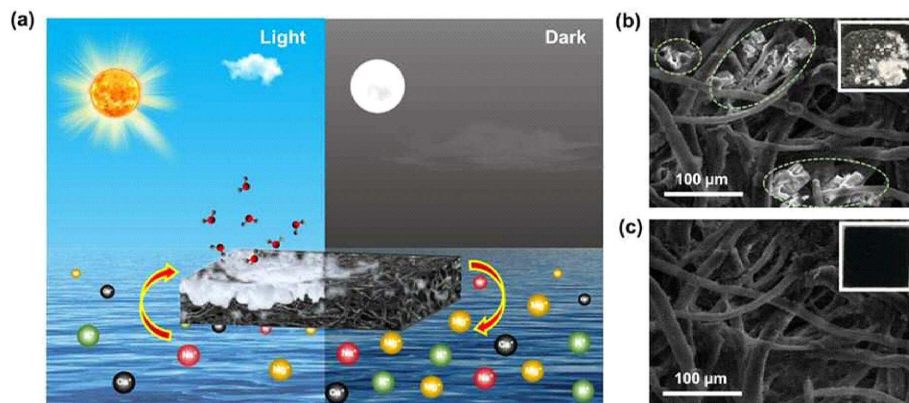
도면4



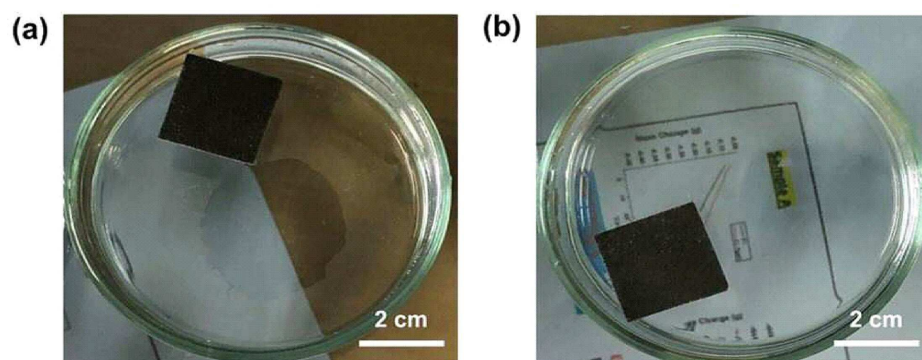
도면5



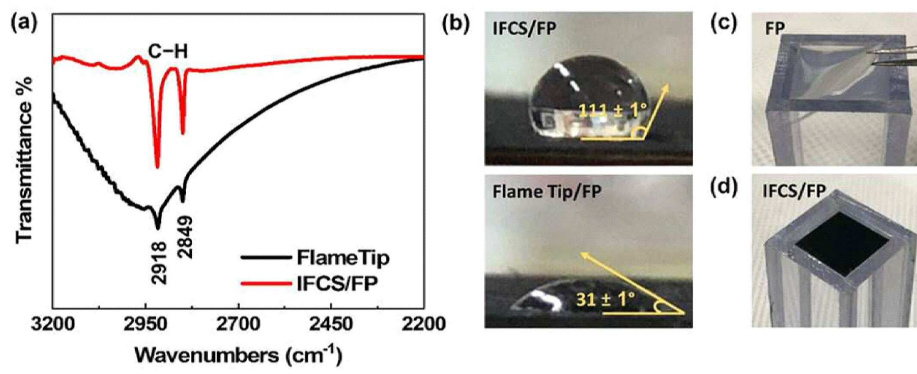
도면6



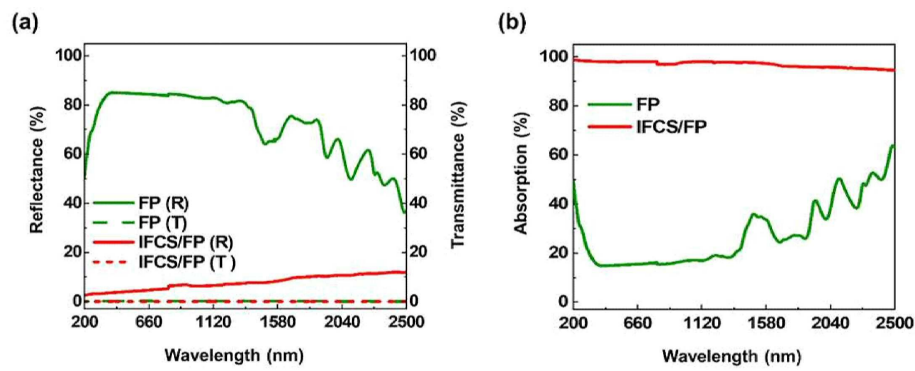
도면7



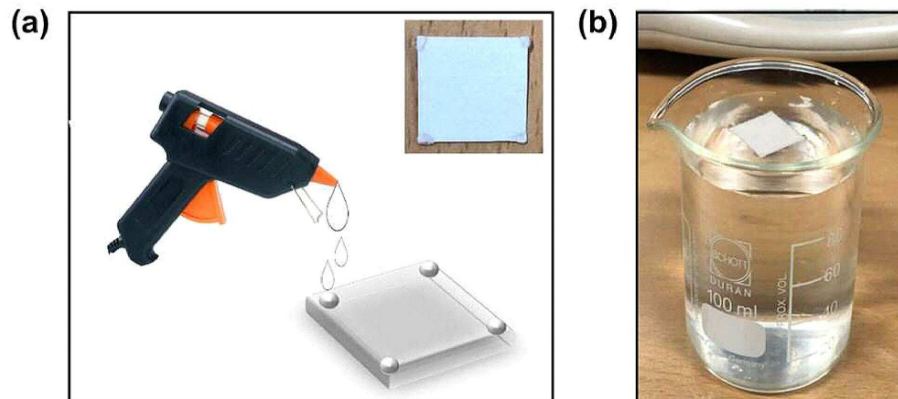
도면8



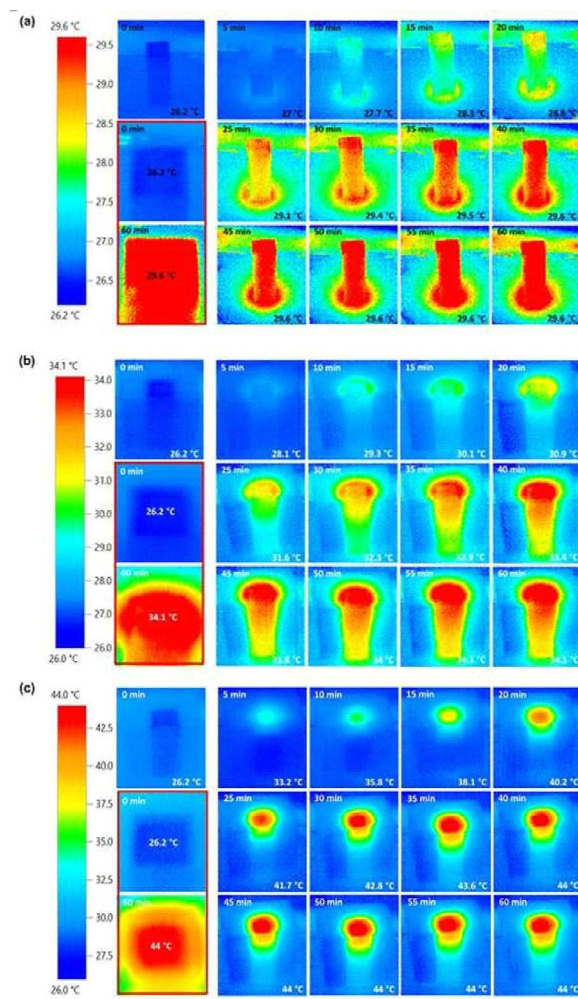
도면9



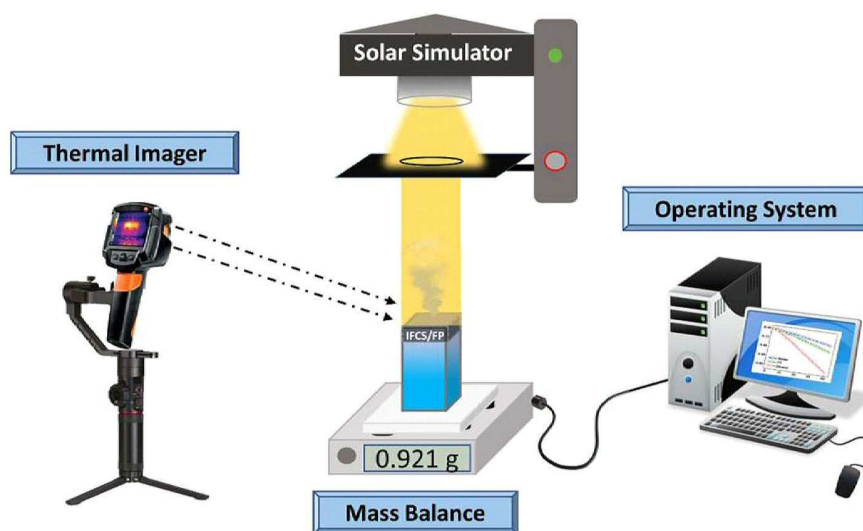
도면10



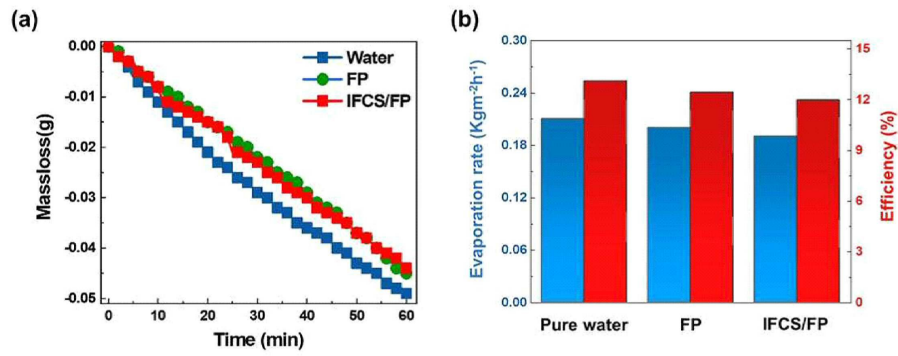
도면11



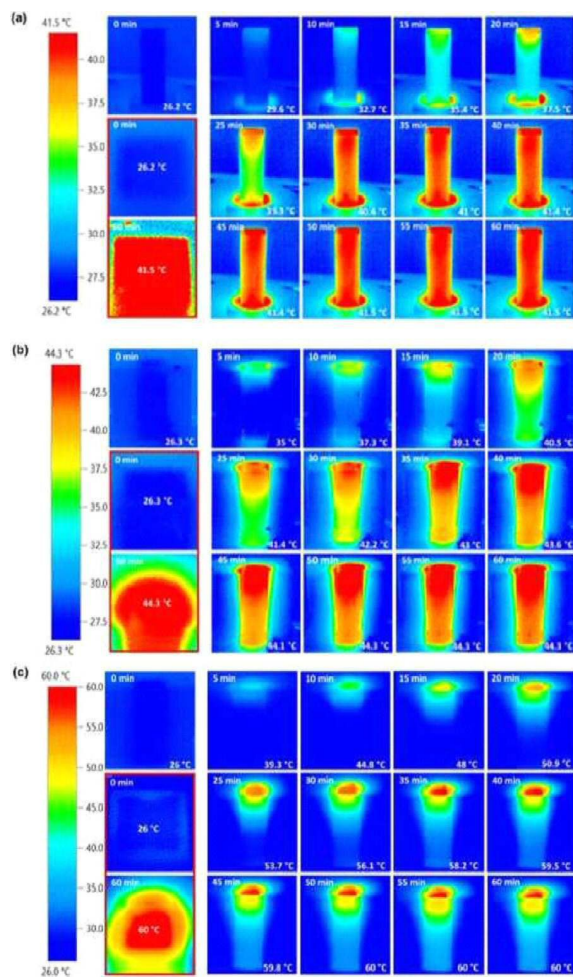
도면12



도면13



도면14



도면15

