(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0155580
(43) 공개일자 2024년10월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C02F 1/14 (2006.01) *C02F 103/08* (2006.01)
(52) CPC특허분류
C02F 1/14 (2013.01)
C02F 2103/08 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0052060
(22) 출원일자 2023년04월20일
심사청구일자 2023년04월20일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
장지현
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
SOURAV CHAULE
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
강지훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
제일특허법인(유)

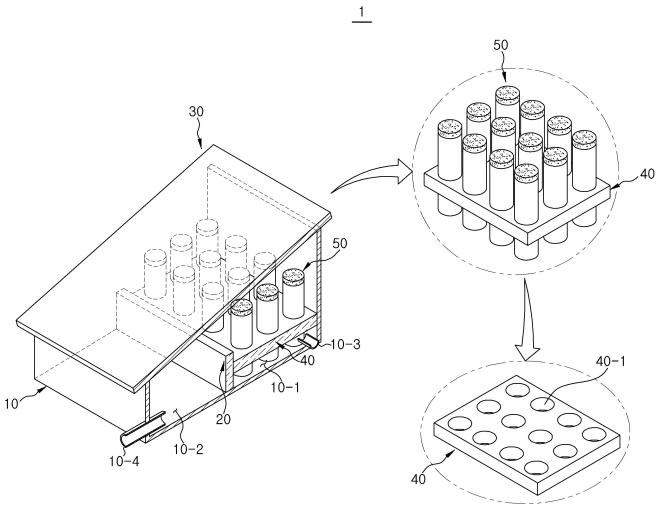
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 **태양광 증발기 및 이를 포함하는 태양광 담수화 장치**

(57) 요 약

본 발명은 태양광 증발기 및 이를 포함하는 태양광 담수화 장치에 관한 것이다. 구체적으로 본 발명의 일 실시예에 따르면, 기둥 형상을 가지는 지지체; 상기 지지체의 측면의 적어도 일부를 감싸며 상기 지지체의 상면으로 물이 유동하는 통로를 제공하는 피복재; 및 상기 피복재의 적어도 일부에 접촉되도록 상기 지지체의 상면에 배치되며 광을 흡수하여 열로 전환하고 상기 피복재를 통해 공급되는 물을 증발시켜서 수증기를 생성하는 광흡수체를 포함하며, 상기 지지체는 상기 광흡수체가 수면으로부터 소정 높이 이격되도록 배치되는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

대 표 도



(52) CPC특허분류
C02F 2201/002 (2013.01)
Y02A 20/124 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711180686
과제번호 2020R1A2C2014050
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 자발적 수소생산을 위한 고효율/고안정 산화철 광물분해 전극 연구
기 여 율 1/2
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711158825
과제번호 2019M1A2A2065612
부처명 기획재정부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 기후변화대응기술개발
연구과제명 온사이트 수소충전소를 위한 광전기화학 수소생산기술 및 시스템 개발
기 여 율 1/2
과제수행기관명 울산과학기술원
연구기간 2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

기둥 형상을 가지는 지지체;

상기 지지체의 측면의 적어도 일부를 감싸며 상기 지지체의 상면으로 물이 유동하는 통로를 제공하는 피복재; 및

상기 피복재의 적어도 일부에 접촉되도록 상기 지지체의 상면에 배치되며 광을 흡수하여 열로 전환하고 상기 피복재를 통해 공급되는 물을 증발시켜서 수증기를 생성하는 광흡수체를 포함하며,

상기 지지체는 상기 광흡수체가 수면으로부터 소정 높이 이격되도록 배치되는,

태양광 증발기.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 지지체는 상기 상면을 포함하는 일 부분은 수면 위로 노출되고 나머지 부분은 수면 아래로 잠기도록 배치되며,

상기 피복재의 일 부분은 수면 위로 노출되고 나머지 부분은 수면 아래에 잠기는,

태양광 증발기.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 지지체는

0.02 W/mK 이하의 열전도도를 가지는,

태양광 증발기.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 지지체는 목재로 형성되는,

태양광 증발기.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 피복재는 섬유를 포함하는,

태양광 증발기.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 섬유는 면(綿, cotton)을 포함하는,

태양광 증발기.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 소정 높이는 상기 피복재를 통해 상기 광흡수체로 공급되는 물이 증발되기 위해서 필요한 에너지와 상기 광흡수체에 흡수된 광 에너지가 평형이 되는 높이인,

태양광 증발기.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 광흡수체는 3차원 그래핀 네트워크(3-dimensional graphene network)인,

태양광 증발기.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 3차원 그래핀 네트워크는,

기재 위에 콜로이드 실리카(colloidal silica)를 적층시켜 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 형성하고, 상기 3차원 콜로이드 실리카 구조체에 그래핀 성장용 고체 탄소원 및 금속 전구체를 함유하는 용액을 채워 넣으며, 상기 용액이 채워진 상기 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 기체 하에서 어닐링하여 금속을 함유하는 나노발포체(nano-foam) 구조의 그래핀을 형성하고, 상기 콜로이드 실리카 및 상기 나노발포체 구조의 그래핀 중의 금속을 제거하여 제조되는,

태양광 증발기.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 용액이 채워진 상기 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 기체 하에서 어닐링하는 온도는 900 ℃ 내지 1100 ℃인,

태양광 증발기.

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 3차원 그래핀 네트워크의 표면적은 900 cm^2/g 내지 1100 cm^2/g 인,

태양광 증발기.

청구항 12

제 8 항에 있어서,

상기 3차원 그래핀 네트워크는 250nm 내지 2500nm 파장의 광에 대한 흡광도가 90% 내지 99.9% 인,

태양광 증발기.

청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 3차원 그래핀 네트워크의 공극률은 80% 내지 90%인,

태양광 증발기.

청구항 14

제 8 항에 있어서,

상기 3차원 그래핀 네트워크의 평균 기공 직경은 8nm 내지 12nm인,

태양광 증발기.

청구항 15

제 1 항에 있어서,

상기 피복재는 친수성이고,

상기 광흡수체는 소수성인,

태양광 증발기.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 피복재는 초친수성인,

태양광 증발기.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 광흡수체에는 소수성제가 혼합되는,

태양광 증발기.

청구항 18

상부가 개방된 수조;

상기 수조의 내부가 염수 저장부와 담수 저장부로 나뉘도록 상기 수조의 내부에 배치되는 구획판;

상기 구획판과 이격되고 상기 염수 저장부 측보다 상기 담수 저장부 측이 더 낮도록 경사지게 상기 수조의 개방된 상부를 덮으며 상기 염수 저장부의 직상부의 적어도 일부는 투명한 덮개;

상기 염수 저장부에 배치되는 염분 수집부재; 및

태양광을 흡수하고 염수를 증발시켜서 수증기를 생성하며 상기 염분 수집부재를 관통하여 상기 염수 저장부에 저장된 염수에 적어도 일부가 잠기도록 배치되는 태양광 증발기를 포함하는,

태양광 담수화 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 태양광 증발기 및 이를 포함하는 태양광 담수화 장치에 대한 발명이다.

배 경 기 술

[0002] 담수 부족은, 현재 전세계적으로 빠른 시일 내에 해결해야 할 가장 심각한 문제 중 하나이다. 담수 부족 문제의 기술적 해결책으로, 막 증류(MD, membrane distillation)법, 역삼투압(RO, reverse osmosis)법, 및 플래쉬 증류(flash distillation)법 등이 사용되어 왔다. 그러나, 저소득 국가와 오지 등에, 필수량의 담수를 공급하기 위해서는, 보다 저렴하게 담수를 공급할 필요가 있다.

[0003] 태양광 계면 증발(solar-driven interfacial evaporation)은, 태양광을 열로 전환시키는 광흡수체(photoabsorber)를 사용하여 공기와 물의 계면에서 물을 증발시키는 것이다. 태양광 계면 증발은 기반 시설 및 필수 에너지가 최소가 될 수 있기 때문에, 해수로부터 담수를 만들어 저소득 국가와 오지 등에 필수량의 담수를 공급하는 데에 유망한 기술적 해결책이 될 수 있다.

[0004] 태양광 계면 증발에서는, 태양 에너지가 물의 증발에 사용되는 유일한 에너지이다. 또한, 광열(光熱,

photothermal) 전환 효율을 향상시키기 위해서, 태양광 계면 증발의 광흡수체(photoabsorber)로, 플라즈모닉 나노(plasmonic nano) 소재, 탄소 기반 소재, 고분자 소재, 및 그래피틱 하이드로겔(graphitic hydrogel)을 포함하는 다양하고 효과적인 광열 소재가 사용되었다.

[0005] 그러나, 이러한 광열 소재의 우수한 광 흡수성능에도 불구하고, 광흡수체로의 과도한 물의 공급은, 광흡수체의 광열 전환 효율에 역효과를 줄 수 있다. 다시 말해, 광흡수체로의 과도한 물의 공급은, 광의 조사로 광흡수체에서 발생된 열이, 불필요하게 광흡수체로 과도하게 공급된 물을 가열하는 데에 사용되기 때문에, 대량의 열전도 손실을 발생시킬 수 있다.

[0006] 이와 관련하여, 태양 에너지가 최대로 계면 증발에 사용될 수 있도록, 공기-물 계면에서의 물의 상태를 조절하기 위한 연구가 있어 왔다. Lei Miao et al. 은 천연 목재 시트에 대하여 다른 카본 소재들을 사용하여 광흡수체로의 물의 공급율을 조절하였다(Mu, X. *et al.* Energy Matching for Boosting Water Evaporation in Direct Solar Steam Generation. *Solar RRL* 4, (2020)). 또한, Guihua Yu et al. 은, rGO(reduced graphene oxide, 산화흑연(graphite oxide)에서 환원과정을 거쳐 작용기들을 제거한 것) 광흡수체에 결합된 폴리비닐알콜(PVA, polyvinylalcohol) 기반 하이드로겔을 사용하여 공기-물 계면에서의 물의 상태를 조절하였다(Zhou, X., Zhao, F., Guo, Y., Zhang, Y. & Yu, G. A hydrogel-based antifouling solar evaporator for highly efficient water desalination. *Energy Environ Sci* **11**, 1985-1992 (2018)). 그러나, 하이드로겔 기반 광흡수체는, 친수성 작용기가 많이 존재하여, 하이드로겔 네트워크가 많은 양의 물을 포함하기 때문에, 열이 분산되어 전체 효율이 낮았다.

[0007] 한편, 종래의 태양광 증발기는, 장기간의 태양광 계면 증발 동안에, 물이 증발함에 따라, 염분이 광흡수체 상에 서서히 축적되었으며, 이로 인해 심각한 부착물 문제, 및 증발률의 감소를 야기하였으며, 결과적으로 태양광 증발기를 악화시켰다.

선행기술문헌

비특허문헌

[0008] (비특허문헌 0001) Mu, X. et al. Energy Matching for Boosting Water Evaporation in Direct Solar Steam Generation. Solar RRL 4, (2020)

(비특허문헌 0002) Zhou, X., Zhao, F., Guo, Y., Zhang, Y. & Yu, G. A hydrogel-based antifouling solar evaporator for highly efficient water desalination. Energy Environ Sci 11, 1985-1992 (2018)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명의 실시예들은 상기와 같은 배경에서 발명된 것으로서, 구성이 간단하고 저렴하면서도 우수한 증발률과 열효율을 가지며 증발률의 저하 없이 장기간 사용이 가능한 태양광 증발기 및 이를 포함하는 태양광 담수화 장치를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명의 일 측면에 따르면, 기둥 형상을 가지는 지지체; 상기 지지체의 측면의 적어도 일부를 감싸며 상기 지지체의 상면으로 물이 유동하는 통로를 제공하는 피복재; 및 상기 피복재의 적어도 일부에 접촉되도록 상기 지지체의 상면에 배치되며 광을 흡수하여 열로 전환하고 상기 피복재를 통해 공급되는 물을 증발시켜서 수증기를 생성하는 광흡수체를 포함하며, 상기 지지체는 상기 광흡수체가 수면으로부터 소정 높이 이격되도록 배치되는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0011] 또한, 상기 지지체는 상기 상면을 포함하는 일 부분은 수면 위로 노출되고 나머지 부분은 수면 아래로 잠기도록 배치되며, 상기 피복재의 일 부분은 수면 위로 노출되고 나머지 부분은 수면 아래에 잠기는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0012] 또한, 상기 지지체는 0.02 W/mK 이하의 열전도도를 가지는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0013] 또한, 상기 지지체는 목재로 형성되는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0014] 또한, 상기 피복재는 섬유를 포함하는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0015] 또한, 상기 섬유는 면(綿, cotton)을 포함하는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0016] 또한, 상기 소정 높이는 상기 피복재를 통해 상기 광흡수체로 공급되는 물이 증발되기 위해서 필요한 에너지와 상기 광흡수체에 흡수된 광 에너지가 평형이 되는 높이인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0017] 또한, 상기 광흡수체는 3차원 그래핀 네트워크(3-dimensional graphene network)인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0018] 또한, 상기 3차원 그래핀 네트워크는, 기재 위에 콜로이드 실리카(colloidal silica)를 적층시켜 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 형성하고, 상기 3차원 콜로이드 실리카 구조체에 그래핀 성장용 고체 탄소원 및 금속 전구체를 함유하는 용액을 채워 넣으며, 상기 용액이 채워진 상기 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 기체 하에서 어닐링하여 금속을 함유하는 나노발포체(nano-foam) 구조의 그래핀을 형성하고, 상기 콜로이드 실리카 및 상기 나노발포체 구조의 그래핀 중의 금속을 제거하여 제조되는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0019] 또한, 상기 용액이 채워진 상기 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 기체 하에서 어닐링하는 온도는 900 ℃ 내지 1100 ℃인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0020] 또한, 상기 3차원 그래핀 네트워크의 표면적은 900 cm^2/g 내지 1100 cm^2/g 인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0021] 또한, 상기 3차원 그래핀 네트워크는 250nm 내지 2500nm 파장의 광에 대한 흡광도가 90% 내지 99.9% 인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0022] 또한, 상기 3차원 그래핀 네트워크의 공극률은 80% 내지 90%인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0023] 또한, 상기 3차원 그래핀 네트워크의 평균 기공 직경은 8nm 내지 12nm인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0024] 또한, 상기 피복재는 친수성이고, 상기 광흡수체는 소수성인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0025] 또한, 상기 피복재는 초친수성인, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0026] 또한, 상기 광흡수체에는 소수성제가 혼합되는, 태양광 증발기가 제공될 수 있다.

[0027] 또한, 상부가 개방된 수조; 상기 수조의 내부가 염수 저장부와 담수 저장부로 나뉘도록 상기 수조의 내부에 배치되는 구획판; 상기 구획판과 이격되고 상기 염수 저장부 측보다 상기 담수 저장부 측이 더 낮도록 경사지게 상기 수조의 개방된 상부를 덮으며 상기 염수 저장부의 직상부의 적어도 일부는 투명한 덮개; 상기 염수 저장부에 배치되는 염분 수집부재; 및 태양광을 흡수하고 염수를 증발시켜서 수증기를 생성하며 상기 염분 수집부재를 관통하여 상기 염수 저장부에 저장된 염수에 적어도 일부가 잠기도록 배치되는 태양광 증발기를 포함하는, 태양광 담수화 장치가 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명의 실시예들에 따르면, 광흡수체가 수면과 이격되어, 광흡수체에서의 전도 열손실이 감소되고 광흡수체로의 물의 공급이 조절되도록 함으로써, 광흡수체에 공급된 광 에너지가 가능한 광흡수체에서의 물의 증발에 사용되도록 할 수 있다는 효과가 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 광흡수체에 염분이 축적되는 것을 방지하여 광흡수체에서의 증발률의 저하 없이 장기간 사용이 가능하다는 효과가 있다.

[0030] 또한, 본 발명의 실시예들에 따르면, 구성이 간단하고 저렴하면서도 우수한 증발률과 열효율을 가지며 증발률의 저하 없이 장기간 사용이 가능하여, 저소득 국가와 오지 등에 필수량의 담수를 공급할 수 있다는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 담수화 장치의 일부 절개 사시도와 일부 확대도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 증발기의 사시도이다.

도 3은 도 2의 Ⅰ-Ⅰ'선에 따른 단면도이다.

도 4는 지지체의 상면과 수면 사이의 이격 높이인 수면 이격 높이에 따른 영향을 알아보고자 수행한 실험을 나타내는 도면이다.

도 5는 지지체의 상면의 수면 이격 높이에 따른, 지지체 상면의 온도, 지지체가 잠긴 물의 온도, 및 물의 이동 높이를 나타내는 도면, 지지체 상면에서의 증발률을 나타내는 그래프, 및 지지체 상면의 온도와 지지체 상면에서의 증발률을 같이 나타내는 그래프이다.

도 6은 지지체의 측면을 피복재로 감싸는 것을 나타내는 도면이다.

도 7은 측면이 피복재로 감싸지는 경우에 지지체의 상면의 수면 이격 높이에 따른 영향을 알아보고자 수행한 실험을 나타내는 도면이다.

도 8은 측면이 피복재로 감싸지는 경우, 지지체의 상면의 수면 이격 높이에 따른, 지지체 상면의 온도, 지지체가 잠긴 물의 온도, 및 물의 이동 높이를 나타내는 도면, 지지체 상면에서의 증발률을 나타내는 그래프, 및 지지체 상면의 온도와 지지체 상면에서의 증발률을 같이 나타내는 그래프이다.

도 9는 3차원 그래핀 네트워크 제조과정 및 3차원 그래핀 네트워크에서의 광의 흡수와 흡수된 광의 열로의 전환을 나타내는 도면이다.

도 10은 3차원 그래핀 네트워크의 주사전자현미경 사진과 투과전자현미경 사진이다.

도 11은 400℃, 700℃, 및 1000℃ 에서 어닐링(annealing)해서 제조된 3차원 그래핀 네크워크를 UV-Vis-NIR 분광기 및 라만 분광기로 분석한 것을 나타내는 그래프이다.

도 12는 1000℃에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크를 X-선 광전자 분석기(XPS, X-ray photon spectroscopy)로 분석한 그래프 및 BET 분석법으로 탄소가 어떻게 결합되어 있는지에 대한 정보와 표면적-기공 크기 분포를 나타내는 그래프이다.

도 13은 지지체, 피복재 및 3차원 그래핀 네트워크인 광흡수체를 포함하는 태양광 증발기의, 광흡수체의 수면 이격 높이에 따른, 광흡수체의 온도, 지지체와 피복재가 잠긴 물의 온도를 나타내는 도면, 광흡수체의 온도를 나타내는 그래프, 및 광흡수체에서의 증발률을 나타내는 그래프이다.

도 14는 광흡수체가 수면과 이격되지 않은 태양광 증발기 및 증발률이 최대가 되도록 광흡수체가 수면과 이격된 태양광 증발기에서의 열전달을 나타내는 도면이다.

도 15는 광흡수체에 소수성제가 혼합되지 않은 태양광 증발기의 시간에 따른 증발률을 나타내는 그래프 및 광흡수체에 소수성제가 혼합되지 않은 경우에 광흡수체의 외주 단부에 염분이 축적되는 것을 나타내는 사진이다.

도 16은 광흡수체에 소수성제가 혼합된 태양광 증발기의 광흡수체의 수면 이격 높이에 따른 증발량을 나타내는 그래프, 광흡수체에 소수성제가 혼합된 태양광 증발기의 시간에 따른 증발률을 나타내는 그래프, 및 광흡수체에 소수성제가 혼합된 경우에 광흡수체에 염분이 축적되지 않은 것을 나타내는 사진이다.

도 17은 태양광 증발기가 소수성제와 혼합되지 않은 광흡수체를 포함하는 경우와 소수성제와 혼합된 광흡수체를 포함하는 경우의 반복 사용시의 증발률을 나타내는 그래프이다.

도 18은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 증발기의 증발률과 열효율 및 염수의 자연 증발률과 열효율을 나타내는 그래프이다.

도 19는 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 담수화 장치를 통해 해수를 담수화 한 것을 나타내는 사진이다.

도 20은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 담수화 장치를 통해 해수를 담수할 때의 증발률 및 담수량을 나타내는 그래프이다.

도 21은 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 담수화 장치를 통해 해수를 담수화 하기 전과 담수화 한 후의 염도를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0032] 이하에서는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 구체적인 실시예에 대하여 도면을 참조하여 상세히 설명하도록 한다.

[0033] 아울러 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 구성 또는 기능에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다.

[0034] 또한, 어떤 구성요소가 다른 구성요소에 '연결', '지지', '공급', '전달', '접촉'된다고 언급된 때에는 그 다른 구성요소에 직접적으로 연결, 지지, 공급, 전달, 접촉될 수도 있지만 중간에 다른 구성요소가 존재할 수도 있다고 이해되어야 할 것이다.

[0035] 본 명세서에서 사용된 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로 본 발명을 한정하려는 의도로 사용된 것은 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함한다.

[0036] 또한, 본 명세서에서 상부, 상면, 높이, 높이방향 등의 표현은 도면에 도시를 기준으로 설명한 것이며 해당 대상의 방향이 변경되면 다르게 표현될 수 있음을 미리 밝혀둔다. 마찬가지의 이유로 첨부 도면에 있어서 일부 구성요소는 과장되거나 생략되거나 또는 개략적으로 도시되었으며, 각 구성요소의 크기는 실제 크기를 전적으로 반영하는 것이 아니다.

[0037] 명세서에서 사용되는 "포함하는"의 의미는 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소 및/또는 성분을 구체화하며, 다른 특정 특성, 영역, 정수, 단계, 동작, 요소, 성분 및/또는 군의 존재나 부가를 제외시키는 것은 아니다.

[0038] 이하, 도 1 내지 도 18을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 태양광 증발기 및 이를 포함하는 태양광 담수화 장치의 구체적인 구성에 대하여 설명한다.

[0039] 태양광 담수화 장치(1)는, 태양광을 사용하여, 해수 등의, 염분을 포함하는 물인 염수를 증발시키고 수증기를 생성하여 담수를 만드는 것이다. 태양광 담수화 장치(1)는 수조(10), 구획판(20), 덮개(30), 염분 수집부재(40), 및 태양광 증발기(50)를 포함할 수 있다.

[0040] 도 1을 참조하면, 수조(10)에는 해수 등의 염수가 공급되어 저장되며, 염수가 증발되어 생성된 수증기가 응축되어 만들어진 담수가 저장될 수 있다. 수조(10)는 상부가 개방될 수 있다. 또한, 수조(10)는 내부가 구획판(20)에 의해서 염수 저장부(10-1)와 담수 저장부(20-1)로 나뉠 수 있다. 염수 저장부(10-1)에는 염수 공급관(10-3)이 연결되어 염수가 염수 공급관(10-3)을 통해 염수 저장부(10-1)에 공급되고 저장될 수 있다. 담수 저장부(20-1)에는 담수가 저장되며, 담수 저장부(20-1)에는 담수 배출관(10-4)이 연결되어 담수 저장부(20-1)에 저장된 담수가 담수 배출관(10-4)을 통해 배출되어 담수 사용처에 공급될 수 있다.

[0041] 구획판(20)은 수조(10)의 내부에 배치되어 수조(10)의 내부를 해수 저장부(10-1)와 담수 저장부(20-1)로 나눌 수 있다.

[0042] 덮개(30)는 태양광이 수조(10)의 염수 저장부(10-1)로 입사되도록 하며, 염수 저장부(10-1)에서 염수가 증발되어 생성된 수증기가 응축되어 담수가 되도록 하고, 담수가 담수 저장부(20-1)로 이동되도록 할 수 있다. 덮개(30)는, 구획판(20)과 소정 거리 이격되고 염수 저장부(10-1) 측보다 담수 저장부(20-1) 측이 더 낮도록 경사지게 수조(10)의 개방된 상부를 덮을 수 있다. 또한, 덮개(30)는, 염수 저장부(10-1)의 직상부의 적어도 일부가 투명할 수 있다. 덮개(30)의 염수 저장부(10-1) 직상부의 투명한 부분을 통해, 태양광이 염수 저장부(10-1)에 입사될 수 있다. 덮개(30)의 염수 저장부(10-1) 직상부의 적어도 일부는 석영 유리(quartz glass)로 형성될 수 있다. 석영은 자외선에서 적외선 범위까지의 광의 투과성이 우수하다. 덮개(30)의 염수 저장부(10-1) 직상부의 적어도 일부가 석영 유리로 형성되면, 자외선에서 적외선 범위까지의 태양광이 염수 저장부(10-1)에 입사될 수 있다.

[0043] 염분 수집부재(40)는 태양광 증발기(50)를 지지할 수 있다. 또한, 염분 수집부재(40)에는 태양광 증발기(50)에 축적된 염분이 수집될 수 있다. 다시 말해, 염분 수집부재(40)에는 태양광 증발기(50)에 포함되는 후술할 피복재(200)에 축적된 염분이 중력에 의해서 떨어져서 수집될 수 있다. 염분 수집부재(40)는 수조(10)의 염수 저장부(10-1)에 배치될 수 있다. 염분 수집부재(40)는 염수 저장부(10-1)에 저장된 염수에 부유(浮游)될 수 있다. 또한, 염분 수집부재(40)에는 태양광 증발기(50)가 관통하는 관통구멍(40-1)이 형성될 수 있다. 염분 수집부재(40)의 관통구멍(40-1)을 태양광 증발기(50)가 관통한 상태에서, 염분 수집부재(40)가 수조(10)의 염수 저장부(10-1)에 저장된 염수에 부유(浮游)되는 것으로, 태양광 증발기(50)의 적어도 일부가 염수에 잠길 수 있다.

[0044] 도 2와 도 3을 참조하면, 태양광 증발기(50)는 태양광을 흡수하고 염수를 증발시켜서 수증기를 생성할 수 있다. 태양광 증발기(50)는 염분 수집부재(40)를 관통하여 염수 저장부(10-1)에 저장된 염수에 적어도 일부가 잠기도록 배치될 수 있다. 태양광 증발기(50)는 지지체(100), 피복재(200), 및 광흡수체(300)를 포함할 수 있다.

[0045] 지지체(100)는 광흡수체(300)를 지지할 수 있다. 지지체(100)는 기둥 형상을 가질 수 있다. 예를 들어, 지지체(100)는, 높이방향에 수직한 횡단면의 직경보다 높이가 큰 원기둥 형상을 가질 수 있다. 기둥 형상을 가지는 지지체(100)의 상면에 광흡수체(300)가 배치되어 지지체(100)가 광흡수체(300)를 지지할 수 있다.

[0046] 지지체(100)는 상면에 배치되는 광흡수체(300)가 수면으로부터 소정 높이 이격되도록 배치될 수 있다. 지지체(100)는, 광흡수체(300)가, 수조(10)의 염수 저장부(10-1)에 저장된 염수의 수면으로부터 소정 높이 이격되도록 배치될 수 있다. 지지체(100)는, 상면을 포함하는 일 부분은 수면 위로 노출되고 나머지 부분은 수면 아래로 잠기도록 배치될 수 있다. 지지체(100)는, 상면을 포함하는 일 부분은, 수조(10)의 염수 저장부(10-1)에 저장된 염수의 수면위로 노출되고 나머지 부분은 수조(10)의 염수 저장부(10-1)에 저장된 염수의 수면 아래로 잠기도록 배치될 수 있다.

[0047] 지지체(100)에 의해서 광흡수체(300)가 수면으로부터 소정 높이 이격되면, 광흡수체(300)가 물에 직접 접촉하지 않을 수 있다. 다시 말해, 지지체(100)에 의해서 광흡수체(300)가 수면으로부터 소정 높이 이격되면, 광흡수체(300)가 지지체(100)의 일부가 잠긴 물에 직접 접촉하지 않을 수 있다. 또한, 지지체(100)에 의해서 광흡수체(300)가 수면으로부터 소정 높이 이격되면, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 전환된 열이 전도에 의해서 지지체(100)의 일부가 잠긴 물로 전달되는 것을 최소화시킬 수 있다. 다시 말해, 지지체(100)에 의해서 광흡수체(300)가 수면으로부터 소정 높이 이격되면, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 전환된 열의 전도 열손실을 감소시킬 수 있다. 또한, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 전환된 열이 최대한 광흡수체(300)로 공급된 물의 증발에 사용되도록 할 수 있다.

[0048] 지지체(100)는 비교적 낮은 열전도도를 가질 수 있다. 지지체(100)가 비교적 낮은 열전도도를 가지면, 지지체(100)를 통한 지지체(100)의 일부가 잠긴 물로의 전도 열손실을 최소화시킬 수 있다. 다시 말해, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 전환된 열이 지지체(100)를 통한 전도에 의해서 지지체(100)의 일부가 감긴 물로 전달되는 것을 최소화시킬 수 있다. 또한, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 전환된 열이 광흡수체(300)에 최대한 고립되도록 할 수 있다. 또한, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 전환된 열이 최대한 광흡수체(300)로 공급된 물의 증발에 사용되도록 할 수 있다. 지지체(100)는 0.02 W/mK 이하의 열전도도를 가질 수 있다. 또한, 지지체(100)는 목재로 형성될 수 있다. 목재는, 함수율에 따라 달라질 수는 있으나, 대략 0.15 내지 0.025 W/mK 의 열전도를 가질 수 있다. 또한, 목재는 비교적 구하기가 쉽고 가격이 저렴하며 가공이 용이하다. 따라서, 지지체(100)가 목재로 형성되면, 태양광 증발기(50) 및 태양광 담수화 장치(1)의 제작이 용이하고 제작 비용이 적게 소요될 수 있다. 또한, 목재는 물에 일부가 잠기면 모세관 현상에 의해서 물이 수송될 수도 있다. 지지체(100)는 0.02 W/mK 이하의 열전도도를 가지는 목재로 형성될 수 있다.

[0049] 도 4와 도 5를 참조하면, 광흡수체(300)가 지지체(100)의 상면에 배치되지 않은 상태에서, 지지체(100)의 상면과 수면과의 이격 높이인 수면 이격 높이에 따른 영향을 살펴보았다. 직경은 2cm로 동일하고 높이는 각각 3.5cm, 4.5cm, 5.5cm, 6.5cm, 및 7.5cm 로 서로 다르며 목재로 형성된 5개의 지지체(100)를 준비하였다. 또한, 서로 1cm 간격으로 5개의 지지체(100) 각각이 동일하게 3.5cm씩 물에 잠기게 하여, 5개의 지지체(100)의 상면 각각이 수면과 0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 및, 4cm 높이로 이격되도록 하였다. 이러한 상태에서, AM 1.5G 태양광 스펙트럼과 동일한 광을 지지체(100)에 조사하고 지지체(100)의 상면의 온도, 지지체(100)가 잠긴 물의 온도, 물의 이동 높이, 및 지지체(100) 상면에서의 증발률을 측정하였다.

[0050] 도 5에서, PW는, Pristine cylindrical Wooden supporter의 약자로, 목재로 형성된 원기둥 형상의 지지체(100)를 나타낸다. 또한, PW_0, PW_1, PW_2, PW_3, PW_4는, 각각 상면의 수면 이격 높이가 0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm인, 목재로 형성된 원기둥 형상의 지지체(100)를 나타낸다.

[0051] 도 5를 참조하면, 지지체(100)의 상면의 수면 이격 높이가 커질수록 지지체(100)가 잠긴 물의 온도는 낮아지고 지지체(100) 상면의 온도는 높아졌다. 따라서, 지지체(100)의 상면을 수면과 이격시키는 것으로, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열이 지지체(100)가 잠긴 물로 전도에 의해서 전달되는 것을 감소시킬 수 있다. 다시 말해, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실을 감소시킬 수 있다. 또한, 지지체(100)의 상면을 수면과 이격시키는 것으로, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실을 최소화시킬 수 있다. 또한, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열을 지지체(100)의 상면에 고립시킬 수 있다.

[0052] 지지체(100) 상면에서의 증발률은 PW_0와 PW_1 사이에서는, 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 커질수록 증가하였다. PW_1은 PW_0 보다 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 커서, 지지체(100)의 상면이 지지체(100)가 잠긴 물에 직접 접촉하지 않기 때문에, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물

로의 열전도 손실이 PW_0 보다 감소하였기 때문이다. 그러나, PW_1에는 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실이 무시하지 못할 정도로 존재한다. PW_1에서 지지체(100)의 상면에는, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열로 증발시킬 수 있는 양보다 많은 양의 물이, 목재로 형성된 지지체(100)의 모세관 현상에 의해서, 공급되기 때문이다.

[0053] 한편, PW_1보다 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 큰 PW_2에서는, 지지체(100) 상면에서의 증발률이 PW_0 보다 큰 폭으로 작아졌다. 또한, PW_2보다 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 큰 PW_3과 PW_4 에서의 증발률도 PW_0 보다 큰 폭으로 작았다. 물이 이동 높이를 살펴보면, PW_0는 지지체(100)의 상면이 지지체(100)가 잠긴 물에 접촉하기 때문에, 지지체(100)의 상면에 물이 공급될 수 있다. 또한, PW_1에서는, 목재로 형성된 지지체(100)의 모세관 현상을 통해 물이 지지체(100)의 상면으로 공급될 수 있다. 그러나, PW_2 내지 PW_4에서는, 목재로 형성된 지지체(100)의 모세관 현상을 통해서는, 물이 지지체(100)의 상면으로 공급되는 것이 어렵다. PW_2 내지 PW_4에서 지지체(100) 상면에서의 증발률이 PW_0 보다 큰 폭으로 작은 것은, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열로 증발시킬 수 있는 충분한 양의 물이 지지체(100)의 상면에 공급되지 못하기 때문이다.

[0054] 따라서, 지지체(100)의 상면이 수면으로부터 이격되어 전도 열손실을 감소시킨다고 하더라도, 지지체(100) 상면에서의 증발률을 높이기 위해서는, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열로 증발시킬 수 있는 충분한 양의 물을, 지지체(100)의 상면에 공급해주어야 함을 알 수 있다. 후술할 바와 같이, 지지체(100)의 측면의 적어도 일부를 피복재(200)로 감쌀 수 있다, 또한, 지지체(100)의 상면이 수면으로부터 이격된다고 하더라도, 지지체(100)의 상면에, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열로 증발시킬 수 있는 충분한 양의 물을 공급해 줄 수 있다.

[0055] 피복재(200)는 지지체(100)의 상면으로 물이 공급되는 통로를 제공할 수 있다. 다시 말해, 피복재(200)는 지지체(100)의 상면에 배치되는 광흡수체(300)로 물이 공급되는 통로를 제공할 수 있다. 피복재(200)를 통해서 지지체(100)의 상면으로 물이 공급될 수 있기 때문에, 지지체(100)의 상면이 수면으로부터 이격된다고 하더라도, 지지체(100)의 상면으로 물이 공급될 수 있다. 또한, 지지체(100)의 상면이 수면으로부터 이격된다고 하더라도, 지지체(100)의 상면에 배치되는 광흡수체(300)에 물이 공급될 수 있다. 다시 말해, 광흡수체(300)가 수면으로부터 이격된다고 하더라도, 광흡수체(300)에 물이 공급될 수 있다.

[0056] 도 6을 참조하면, 피복재(200)는 지지체(100)의 측면을 적어도 일부 감쌀 수 있다. 피복재(200)는 지지체(100)의 측면의 적어도 일부를 감싼 상태에서, 일 부분은 수면 위로 노출되고 나머지 부분은 수면 아래에 잠길 수 있다. 또한, 수면 아래에 잠긴 피복재(200)의 부분을 통해 물이 피복재(200)에 유입되고, 피복재(200)에 유입된 물은 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 유동할 수 있다.

[0057] 피복재(200)는 친수성일 수 있다. 피복재(200)가 친수성이면, 지지체(100)의 상면이 수면과 이격된다고 하더라도, 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 물이 공급될 수 있다. 또한, 후술할 바와 같이 피복재(200)가 친수성이면, 광흡수체(300)가 소수성이 되도록 함으로써, 광흡수체(300)에 염분이 축적되는 것을 방지할 수 있다. 피복재(200)는 섬유를 포함할 수 있다. 섬유는 친수성일 수 있으며 비교적 구하기 쉽고 저렴하며 가공이 용이하다. 따라서, 피복재(200)가 섬유를 포함하면, 태양광 증발기(50) 및 태양광 담수화 장치(1)의 제작이 용이하고 제작 비용이 적게 소요될 수 있다. 피복재(200)는 초친수성일 수 있다. 피복재(200)가 초친수성이면, 지지체(100)의 상면이 수면과 이격된다고 하더라도, 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 물이 원활하게 공급될 수 있다. 또한, 피복재(200)가 초친수성이면, 광흡수체(300)가 소수성이 되도록 함으로써, 광흡수체(300)에 염분이 축적되는 것을 방지할 수 있다. 피복재(200)에 포함되는 섬유는 면(綿, cotton)을 포함할 수 있다. 면은 초친수성이며 비교적 구하기 쉽고 가격이 저렴하며 가공이 용이할 수 있다.

[0058] 도 7과 도 8을 참조하면, 광흡수체(300)가 지지체(100)의 상면에 배치되지 않은 상태에서, 피복재(200)가 지지체(100)의 측면의 적어도 일부를 감쌌을 때, 지지체(100)의 상면과 수면과의 이격 높이에 따른 영향을 살펴보았다. 직경은 2cm로 동일하고 높이가 각각 3.5cm, 4.5cm, 5.5cm, 6.5cm, 및 7.5cm 로 서로 다르며 목재로 형성된 5개의 지지체(100)를 준비하였다. 또한, 면으로 피복재(200)를 형성하여, 각 지지체(100)의 측면을 피복재(200)로 감쌌다. 또한, 피복재(200)가 측면을 감싼 5개의 지지체(100) 각각이 서로 1cm 간격으로 동일하게 3.5cm씩 물에 잠기게 하여, 피복재(200)가 측면을 감싼 5개의 지지체(100)의 상면 각각이 수면과 각각 0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 및, 4cm 높이로 이격되도록 하였다. 이러한 상태에서, AM 1.5G 태양광 스펙트럼과 동일한 광을 지지체(100)에 조사하고 지지체(100)의 상면의 온도, 지지체(100)가 잠긴 물의 온도, 물의 이동 높이, 및 지지체(100) 상면에서의 증발률을 측정하였다.

[0059] 도 8에서, CW는, Cotton wrapped cylindrical Wooden supporter의 약자로, 면으로 형성된 피복재(200)가 측면

을 감싸며 목재로 형성된 원기둥 형상의 지지체(100)를 나타낸다. 또한, CW_0, CW_1, CW_2, CW_3, CW_4는, 면으로 형성된 피복재(200)가 측면을 감싸며 목재로 형성된 원기둥 형상이고 각각 상면의 수면 이격 높이가 0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm 인 지지체(100)를 나타낸다.

[0060] 도 8을 참조하면, 피복재(200)로 측면을 감싼 경우에도, 지지체(100)의 상면과 수면과의 이격 높이인 수면 이격 높이가 커질수록 지지체(100)가 잠긴 물의 온도는 낮아지고 지지체(100) 상면의 온도는 높아졌다. 따라서, 지지체(100)의 상면을 수면과 이격시키는 것으로, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실을 감소시킬 수 있다. 또한, 지지체(100)의 상면을 수면과 이격시키는 것으로, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실을 최소화시킬 수 있다. 또한, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열을 지지체(100)의 상면에 고립시킬 수 있다.

[0061] 피복재(200)가 지지체(100)의 측면을 감싼 경우에는, 지지체(100) 상면에서의 증발률도 수면 이격 높이가 커질수록 증가하였다. 물의 이동 높이를 통해 알 수 있듯이, 피복재(200)가 지지체(100)의 측면을 감싼 경우에는, 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 커진다고 하더라도, 피복재(200)를 통해 물이 지지체(100)의 상면으로 공급될 수 있다. 그러므로, 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이의 조절로, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실을 최소화시킬 수 있다. 도 8에서는 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 가장 큰 CW_4가, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열의, 지지체(100)가 잠긴 물로의 열전도 손실이 최소화되어, 지지체(100)의 상면에서의 증발률이 최대가 됨을 알 수 있다.

[0062] 한편, 피복재(200)가 지지체(100)의 측면을 감싸고 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이를 5cm로 하여, 지지체(100)의 상면에서의 증발률을 측정해 보았다. 피복재(200)가 지지체(100)의 측면을 감싸고 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이가 5cm인 CW_5는 CW_4보다 지지체(100)의 상면에서의 증발률이 작아졌다. CW_5의 경우에는, 피복재(200)를 통해서도, 광의 조사로 지지체(100)의 상면에 발생된 열로 증발시킬 수 있는 충분한 양의 물이, 지지체(100)의 상면에 공급되지 못하였기 때문이다. 따라서, 지지체(100)의 상면에서의 증발률이 최대가 될 수 있는, 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이는 CW_4의 수면 이격 높이가 될 수 있다. 또한, CW_4의 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이는, 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 공급되는 물이 증발되기 위해서 필요한 에너지와 지지체(100) 상면에 조사되어 흡수된 광 에너지가 평형이 되는 높이일 수 있다. 다시 말해, 광의 조사로 지지체(100) 상면에서 발생된 열로 피복재(200)를 통해 공급된 물 전체를 증발시킬 수 있는 높이일 수 있다.

[0063] 지지체(100) 상면에 조사되어 흡수되는 광 에너지는 일정하다. 따라서, 지지체(100) 상면의 수면 이격 높이를 조절하여 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 공급되는 물의 양을 조절할 수 있다. 또한, 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 공급되는 물의 양을 조절하여, 피복재(200)를 통해 지지체(100)의 상면으로 공급되는 물이 증발되기 위해서 필요한 에너지를 조절할 수 있다. 또한, 지지체(100)의 상면에서의 증발률이 최대가 되도록 할 수 있다. 또한, 지지체(100)의 상면에 배치되는 광흡수체(300)에서 최대 증발률을 가지기 위한 광흡수체(300)와 수면과의 이격 높이인 광흡수체(300)의 수면 이격 높이를 구할 수 있다. 다시 말해, 광흡수체(300)에서 최대 증발률을 가지기 위한 광흡수체(300)의 수면 이격 높이는, 피복재(200)를 통해 광흡수체(300)로 공급되는 물이 증발되기 위해서 필요한 에너지와 광흡수체(300)에 흡수된 광 에너지가 평형이 되는 높이일 수 있다.

[0064] 광흡수체(300)는 광을 흡수하여 열로 전환하고 피복재(200)를 통해 공급된 물을 증발시켜서 수증기를 생성할 수 있다. 광흡수체(300)는 피복재(200)의 적어도 일부에 접촉되도록 지지체(100)의 상면에 배치될 수 있다. 또한, 광흡수체(300)에는 피복재(200)를 통해 물이 공급될 수 있고, 광흡수체(300)에 공급된 물은, 광의 흡수와 전환으로 광흡수체(300)에서 발생된 열에 의해서 증발하여 수증기가 될 수 있다.

[0065] 광흡수체(300)는 3차원 그래핀 네트워크(3-dimensional graphene network, 3DGN)일 수 있다. 도 9를 참조하면, 3차원 그래핀 네트워크는 다음의 과정을 통해 제조될 수 있다. 먼저, 기재 위에 콜로이드 실리카(colloidal silica)를 적층시켜 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 형성할 수 있다. 또한, 3차원 콜로이드 실리카 구조체에 그래핀 성장용 고체 탄소원 및 금속 전구체를 함유하는 용액을 채워 넣을 수 있다. 또한, 용액이 채워진 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 기체 하에서 어닐링(annealing)하여 금속을 함유하는 나노발포체(nano-foam) 구조의 그래핀을 형성할 수 있다. 또한, 콜로이드 실리카 및 나노발포체 구조의 그래핀 중의 금속을 제거하여 3차원 그래핀 네트워크가 제조될 수 있다. 여기에서, 콜로이드 실리카가 적층되는 기재는 석영(quartz), 산화알루미늄(Al_2O_3), 질화갈륨(GaN) 또는 이산화규소(SiO_2)/규소(Si) 기판일 수 있다. 또한, 그래핀 성장용 고체 탄소원은 폴리비닐알코올(PVA, polyvinylalcohol)일 수 있으며, 금속 전구체는 니켈 전구체로, 염화니켈($NiCl_2$)일 수 있다. 또한, 콜로이드 실리카 및 나노발포체 구조의 그래핀 중의 금속의 제거는 식각액에 의해서 제거(에칭;

etching) 될 수 있으며, 식각액은 불산(HF)일 수 있다.

[0066] 예를 들어, 실리카 나노 스피어(silica nanosphere, Si NPs)에 폴리비닐알코올/니켈 전구체가 덮혀진 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 분위기에서 어닐링할 수 있다. 3차원 콜로이드 실리카 구조체의 어닐링에 의해서, 니켈 입자의 표면에 카본이 침전되어 수 개 층의 그래핀 시트가 형성될 수 있다. 또한, 템플레이트(template) 및 촉매로서, 실리카 나노 스피어와, 니켈 입자가 3차원 구조의 메조포러스(mesoporous) 그래핀을 성장시키는 데에 사용될 수 있다. 또한, 실리카와 니켈 화합물을 불산으로 에칭하여 제거함으로써 수 나노미터 크기의 기공을 가지는 메조포러스 3차원 그래핀 네트워크가 생성될 수 있다.

[0067] 도 10을 참조하면, 3차원 그래핀 네트워크의 주사전자현미경(SEM, scanning electron microscope) 사진은, 3차원 그래핀 네트워크가 3차원 다공질 그래파이트 카본 연결 네트워크(three-dimensional porous graphitic carbon connected network)를 가짐을 보여준다. 따라서, 3차원 그래핀 네트워크는 증발될 물의 수송 및 물의 증발로 생성되는 수증기의 배출에 유리하여, 태양광 담수화 성능을 향상시킬 수 있다. 또한, 3차원 그래핀 네트워크의 투과전자현미경(TEM, transmission electron microscope) 사진은, 탄소 물질의 광열 전환 메커니즘에 포함되는, 그래핀 시트(graphene sheet)로 둘러싸인 기공들이 3차원 그래핀 네크워크에 존재함을 보여준다. 3차원 그래핀 네트워크에 서로 다른 크기의 기공들이 존재한다는 것은, 광이 전환된 열로 증발되어 생성된 수증기가 쉽게 배출될 수 있도록 함으로써 지속적인 동작이 가능하도록 한다. 또한, 수 개의 그래핀 층으로 분리된 다공질 기공은, 흡수된 광이 그래핀 층 사이에서 여러 번 반사되도록 하여 흡수성을 향상시킬 수 있으며 광열 전환 효율을 높일 수 있다.

[0068] 도 11을 참조하면, 각각 400℃, 700℃, 및 1000℃의 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크의 250nm 내지 2500nm 사이의 파장을 가지는 광의 흡광도와, 확산 반사도를 UV-Vis-NIR 분광기를 통해 살펴보았다. 도 11에서 3DGN은 3차원 그래핀 네트워크를 나타내며, 3DGN@400℃, 3DGN@700℃, 및 3DGN@1000℃는 각각 400℃, 700℃, 및 1000℃의 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크를 나타낸다. 1000℃의 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크인 3DGN@1000℃가 최소의 확산 반사도에서 98%의 흡광도를 달성하였으며, 이는 3DGN@1000℃의 3D 다공질 구조 내에서의 다중 반사에 의한 것이다. 또한, 라만 분광기를 통해, 각각 400℃, 700℃, 및 1000℃의 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크의 그래파이트 특성을 살펴보았다. 1000℃의 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네크워크인 3DGN@1000℃의 라만 스펙트럼은 ~2700cm^{-1}에서 작은 2D 밴드를, ~1400cm^{-1}과 1600cm^{-1}에서 각각 넓은 D 밴드와 G 밴드를 나타내었다. 이것은 3DGN@1000℃에 그래파이트 영역이 더 많은 부분을 차지한다는 것을 말해준다. 이러한 특성은 3DGN@1000℃가, 작용기가 제거되고 1000℃ 이상의 온도에서 그래파이트화가 수행되어서이다. 전술한 3DGN@1000℃의 특성은 400℃ 및 700℃ 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크인 3DGN@400℃ 및 3DGN@700℃에서는 약했다. 그러므로, 도 11을 참조하면, 3차원 그래핀 네트워크의 제조시, 용액이 채워진 3차원 콜로이드 실리카 구조체를 수소 기체 하에서 어닐링하는 온도는 900 ℃ 내지 1100 ℃ 이어야 함을 알 수 있다.

[0069] 도 12를 참조하면, 1000℃의 온도에서 어닐링하여 제조된 3차원 그래핀 네트워크인 3DGN@1000℃를 X-선 광전자 분광기(XPS)에 의해서 분석하였다. 284.18, 285.38, 287.08 및 289.88 eV의 결합 에너지에서 3DGN@1000℃의 C1s 스펙트럼은 각각 C-C, C-O, C=O, -O-C=O에 해당한다. 또한, π-π* 전이가 가능한 π 결합이 있는 것으로 확인되었다. 높은 수준의 그래핀에서 다수의 π 결합은 거의 모든 파장의 태양광에 의한 π에서 π*로의 이행과 관련된 전자 들뜸을 용이하게 한다. 따라서, 광흡수면이 크고 광열 전환으로 인해 3DGN@1000℃가 광수확의 잠재적 광열 소재임을 확인할 수 있다. 광흡수체(300)에서의 물의 증발은 물-공기 계면에서 발생하므로 표면적과 기공 크기는 물의 증발을 위해 중요하다. 또한, 콜로이드 실리카 입자를 이용해 금속 전구체를 가진 그래핀이 성장하면 메소포어 및 결함 영역이 있는 소층 그래핀이 형성된다는 보고가 있다. 따라서, 이 방법을 통해 제작된 본 발명의 3차원 그래핀 네트워크인 3DGN@1000℃는 1040 m^2/g의 특정 표면적을 가진 상호 연결된 다공질 네트워크를 가지며, 다양한 크기의 기공이 다양한 파장으로 빛을 가두는 데 도움을 주었다.

[0070] 3차원 그래핀 네트워크의 표면적은 900 cm^2/g 내지 1100 cm^2/g 일 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크의 표면적이 900 cm^2/g 보다 작으면, 물 증발 및 광 흡수 효과가 감소할 수 있다. 또한, 3차원 그래핀 네트워크의 표면적이 1100 cm^2/g 보다 크면, 물 증발 및 광 흡수 효과는 증가할 수는 있다. 그러나, 3차원 그래핀 네트워크의 표면적을 1100 cm^2/g 보다 더 크게 하려면, 화학적 활성화(activation) 과정이 필요하기 때문에, 비용적인 면에서 효과적이지 않을 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크는 250nm 내지 2500nm 파장의 광에 대한 흡광도가 90% 내지

99.9% 일 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크의 250nm 내지 2500nm 파장의 광에 대한 흡광도가 90% 보다 작으면, 광열 효과가 감소할 수 있다. 또한, 3차원 그래핀 네트워크의 250nm 내지 2500nm 파장의 광에 대한 흡광도가 99.9% 보다 큰 물질은 거의 제작하기가 불가능하다. 3차원 그래핀 네트워크의 공극률은 80% 내지 90% 일 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크의 공극률이 80% 보다 작으면, 물 증발 및 광 흡수 효과가 감소할 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크의 공극률이 90% 보다 크면, 3차원 그래핀 네트워크의 밀도가 감소하여 광 흡수 능력이 감소될 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크의 평균 기공 직경은 8nm 내지 12nm일 수 있다. 3차원 그래핀 네트워크의 평균 기공 직경은 8nm 보다 작으면, 물 증발이 원활하게 일어날 수 없다. 또한, 3차원 그래핀 네트워크의 평균 기공 직경이 12nm 보다 크면, 광 포획(light trapping)효과가 감소하여 광 흡수 능력이 감소될 수 있다.

[0071] 한편, 3차원 그래핀 네트워크는 에탄올을 사용하여 드롭 캐스팅으로 지지체(100)의 상면에 균일하게 배치되고, 에탄올 솔벤트를 제거하기 위해서, 1시간 동안 60℃ 에서 건조됨으로써, 지지체(100)의 상면에 배치될 수 있다.

[0072] 도 13을 참조하면, 지지체(100), 피복재(200), 및 3차원 그래핀 네트워크인 광흡수체(300)를 포함하는 태양광 증발기(50)에 대하여, 광흡수체(300)와 수면과의 이격 높이인 수면 이격 높이에 따른 영향을 살펴보았다.

[0073] 도 13에서, CW_0+3DGN, CW_1+3DGN, CW_2+3DGN, CW_3+3DGN, CW_4+3DGN은, 3차원 그래핀 네트워크인 광흡수체(300)의 수면 이격 높이가 각각 0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm 인, 태양광 증발기(50)를 나타낸다. 또한, AM 1.5G 태양광 스펙트럼과 동일한 광을 태양광 증발기(50)에 조사하고 광흡수체(300)의 온도, 지지체(100)와 피복재(200)가 잠긴 물의 온도, 및 광흡수체(300)에서의 증발률을 측정하였다.

[0074] 도 13을 참조하면, 광흡수체(300)의 온도는, 도 8의 광흡수체(300)가 배치되지 않았을 때의 지지체(100)의 상면의 온도와 비교하여 전체적으로 높았다. 광흡수체(300)가 광을 흡수하여 열로 전환시켰기 때문이며, 광흡수체(300)의 광열 전환 효율이 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한, 광흡수체(300)의 온도는 광흡수체(300)의 수면 이격 높이가 커질수록 높아졌다. 또한, 광흡수체(300)에서의 증발률도, 도 8의 광흡수체(300)가 배치되지 않았을 때의 지지체(100) 상면에서의 증발률과 비교하여 전체적으로 컸다. 또한, 광흡수체(300)에서의 증발률은 광흡수체(300)의 수면 이격 높이가 커질수록 증가하였다. 또한, 광흡수체(300)의 수면 이격 높이가 4cm인 CW_4+3DGN에서 최대 증발률인 2.3kg/m^2h 를 나타내었다.

[0075] 도 14를 참조하면, 광흡수체가 수면과 이격되지 않은 종래의 태양광 증발기인 도 13에서의 CW_01+3DGN과, 광흡수체(300)의 수면 이격 거리가 4cm인 본 발명에 따른 태양광 증발기(50)이며 최대 증발률을 가지는 도 13에서의 CW_04+3DGN에서의 열 전달에 대하여 살펴보았다.

[0076] 도 14에서, T_E 는 태양광 증발기 주위의 온도, T_T는 광흡수체의 온도, T_L은 태양광 증발기 측면의 온도, T_W는 태양광 증발기의 지지체의 일부와 피복재의 일부가 잠기는 물의 온도이다.

[0077] CW_01+3DGN에서 광흡수체에 공급되는 태양광 에너지는 일정하다. 또한, 광흡수체의 온도 T_T 는 태양광 증발기 주위의 온도 T_E 보다 높다. 따라서, 광의 조사로 광흡수체에서 발생된 열은, 광흡수체와 주위와의 온도 차에 의해서 대류 및 복사에 의해서 주위로 전달될 수 있다. 또한, 광흡수체는 태양광 증발기의 지지체의 일부와 피복재의 일부가 잠기는 물과 접촉하며, 광흡수체의 온도 T_T 는 태양광 증발기의 지지체의 일부와 피복재의 일부가 잠기는 물의 온도 T_W 보다 높다. 따라서, 광의 조사로 광흡수체에서 발생된 열은, 전도에 의해서도 지지체의 일부와 피복재의 일부가 잠기는 물로 전달될 수 있다. 다시 말해, 광의 조사로 광흡수체에서 발생된 열의 전도 열손실이 무시하지 못할 정도로 나타날 수 있다. 따라서, CW_01+3DGN에서는, 광의 조사로 광흡수체에서 발생된 열이 광흡수체에서의 물의 증발에 최대한 사용될 수 없으며, 0.98kg/m^2h 의 작은 증발률을 나타내었다.

[0078] CW_04+3DGN에서도 광흡수체(300)에 공급되는 태양광 에너지는 일정하다. 또한, 광흡수체의 온도 T_T 는 태양광 증발기 주위의 온도 T_E 보다 높다. 따라서, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 발생된 열은, 광흡수체(300)와 주위와의 온도 차에 의해서 대류 및 복사에 의해서 주위로 전달될 수 있다. CW_04+3DGN은 광흡수체(300)의 수면 이격 높이가 4cm 이다. 따라서, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 발생된 열이, 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물로 전도에 의해서 전달되는 것이 최소화될 수 있다. 다시 말해, 광의 조사로 광흡수체(300)에서 발생된 열의 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물로의 전도 열손실이 최소화될 수 있다. 따라서, CW_04+3DGN에서는 광의 조사로 광흡수체(300)에서 발생된 열이 광흡수체(300)에서의 물의 증발에 최대한 사용될 수 있으며, 2.308kg/m^2h 의 큰 증발률을 나타내었다.

[0079] 한편, CW_04+3DGN에서는, 태양광 증발기(50) 측면의 온도 T_L 가, 태양광 증발기(50) 주위의 온도 T_E 보다 작다. 태양광 증발기(50) 측면의 온도 T_L 이 태양광 증발기(50) 주위의 온도 T_E 보다 낮은 이유는, 태양광 증발기(50) 측면에서도 물이 증발하여 태양광 증발기(50) 측면을 냉각시키기 때문이다. 또한, CW_04+3DGN에서는, 태양광 증발기(50) 측면의 온도 T_L 가 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물의 온도인 Tw 보다 작다. 물은 열용량 값이 높기 때문에 열을 저장할 수 있어서, 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물은 닫힌계(closed system)를 만들게 된다. 닫힌계를 만드는, 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물은 가급적 외부로 열을 빼앗기지 않기 때문에, 태양광 증발기(50) 측면의 온도 T_L 이 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물의 온도인 Tw 보다 작게 된다. 이러한 온도 분포에 의해서, CW_04+3DGN에서는, 태양광 증발기 주위와, 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물로부터 열이 태양광 증발기(50)로 전달될 수 있다. 따라서, CW_04+3DGN에서는 광의 조사로 광흡수체(300)에서 열이 발생될 뿐만 아니라, 태양광 증발기 주위와, 지지체(100)의 일부와 피복재(200)의 일부가 잠기는 물로부터 열이 태양광 증발기(50)로 전달되기 때문에, 열효율이 우수할 수 있다.

[0080] 도 15를 참조하면, 본 발명에 따른 태양광 증발기(50)이며 광흡수체(300)에서의 증발률이 최대가 되는 CW_4+3DGN의 증발률의 지속성에 대하여 살펴 보았다. 1시간 동안은 CW_4+3DGN의 증발률은 2.358kg/m^2h로 비교적 일정하였다. 그러나, 1시간이 지나면서 CW_4+3DGN의 증발률은 초기의 증발률인 2.358kg/m^2h 보다 낮아졌다. 도 15의 그래프에서 시간에 따른 증발률의 기울기가 K_1에서 K_1보다 크기가 작은 K_2로 변경된 것으로 증발률이 변경되었음을 알 수 있다. 광흡수체(300)에서 물의 증발이 계속해서 수행되면, 도 15의 사진에서와 같이 광흡수체(300)에 염분이 축적된다. 도 15에서는 광흡수체(300)의 외주 단부에 염분이 축적되었다. 광흡수체(300)에 염분이 축적되면, 광흡수체(300)로의 광의 흡수 및 광흡수체(300)로의 물의 공급이 축적된 염분에 의해서 방해받아, 증발률이 감소될 수 있다. 따라서, 증발률의 저하 없이 지속적으로 물의 증발이 수행되려면, 광흡수체(300)에 염분이 축적되지 않도록 해야만 함을 알 수 있다.

[0081] 광흡수체(300)에 염분이 축적되는 것을 방지하기 위해서, 광흡수체(300)가 소수성이 되도록 하였다. 광흡수체(300)는 소수성제와 혼합되어 소수성이 될 수 있다. 예를 들어, 광흡수체(300)에 혼합되는 소수성제는 듀퐁사의 상표명인 나피온(nafion)일 수 있다. 또한, 소수성제인 나피온은 3차원 그래핀 네트워크를 에탄올에 녹인 상태에서 나피온 용액을 혼합하여 3차원 그래핀 네트워크와 혼합될 수 있다. 또한, 소수성제인 나피온과 혼합된 3차원 그래핀 네트워크는 에탄올을 사용하여 드롭 캐스팅으로 지지체(100)의 상면에 균일하게 배치되고, 에탄올 솔벤트를 제거하기 위해서, 1시간 동안 60℃ 에서 건조됨으로써, 지지체(100)의 상면에 배치될 수 있다.

[0082] 도 16을 참조하면, 태양광 증발기(50)가 소수성제와 혼합된 3차원 그래핀 네크워크를 광흡수체(300)를 포함하며 이러한 태양광 증발기(50)의 광흡수체(300)의 수면 이격 높이에 따른 증발률을 살펴보았다. 또한, 증발률의 지속성 및, 광흡수체(300)에 염분이 축적되는지에 대하여 살펴보았다.

[0083] 도 16에서, N@3DGN은 소수성제인 나피온과 혼합된 3차원 그래핀 네트워크를 나타낸다. 또한, CW_0+N@3DGN, CW_1+N@3DGN, CW_2+N@3DGN, CW_3+N@3DGN, CW_4+N@3DGN은, 소수성제인 나피온과 혼합된 3차원 그래핀 네트워크인 광흡수체(300)의 수면 이격 높이가 각각 0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 4cm 인, 태양광 증발기(50)를 나타낸다. 또한, AM 1.5G 태양광 스펙트럼과 동일한 광을 태양광 증발기(50)에 조사하고 광흡수체(300)에서의 증발률을 측정하였다.

[0084] 도 13의 CW_0+3DGN, CW_1+3DGN, CW_2+3DGN, CW_3+3DGN, CW_4+3DGN의 광흡수체에서의 증발률 그래프와, 도 16의 CW_0+N@3DGN, CW_1+N@3DGN, CW_2+N@3DGN, CW_3+N@3DGN, CW_4+N@3DGN의 광흡수체에서의 증발률 그래프는 크게 차이가 없다. 따라서, 소수성제가 3차원 그래핀 네트워크에 혼합되는 것은 광흡수체(300)에서의 증발률에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 또한, 증발률이 최대인 CW_4+N@3DGN의 시간에 따른 증발률 그래프에서 알 수 있듯이, CW_4+N@3DGN은 증발률이 시간이 지나도 변경되지 않고 일정하였다. 도 16의 CW_4+N@3DGN의 시간에 따른 증발률 그래프에서 시간에 따른 증발률의 기울기가 K_1으로 일정하다는 것, 다시 말해 $K_1 = K_2$인 것으로 증발률이 일정하다는 것을 알 수 있다. 또한, 도 16의 사진에서 알 수 있듯이, 광흡수체(300)에 염분이 축적되지 않았다.

[0085] 본 발명에 따른 태양광 증발기(50)에서 피복재(200)는 친수성이며 광흡수체(300)는 소수성이다. 또한, 물은 피복재(200)를 통해서 광흡수체(300)로 공급된다. 피복재(200)는 친수성이기 때문에, 피복재(200) 측에서는 염분과 피복재(200)의 부착력이 염분의 응집력보다 크다. 또한, 광흡수체(300)는 소수성이기 때문에, 광흡수체(300) 측에서는 염분과 광흡수체(300)의 부착력이 염분의 응집력보다 작게 된다. 따라서, 피복재(200)를 통해서 광흡

수체(300)로 공급되는 물에 포함된 염분은 피복재(200)에 부착되고 광흡수체(300)에 축적되지 않을 수 있다.

[0086] 도 17을 참조하면, 태양광 증발기(50)가 소수성제와 혼합되지 않은 광흡수체(300)를 포함하는 경우와 소수성제와 혼합된 광흡수체(300)를 포함하는 경우의 반복 사용에 따른 지속성에 대하여 알아 보았다. 도 13에서 CW_4+3DGN와, 도 16에서 CW_4+N@3DGN를 선택하여 반복 실험을 하였다. CW_4+3DGN의 경우에는 반복 사용하면 할수록 증발률이 1.79kg/m^2h까지 점진적으로 감소하였으나, CW_4+N@3DGN의 경우에는, 반복 사용하더라도, 증발률이 2.30kg/m^2h 로 비교적 일정하였다.

[0087] 도 18을 참조하면, CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)의 증발률과 열효율 및 염수의 자연증발의 증발률과 열효율을 비교해보았다. CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)의 증발률은 2.30kg/m^2h 으로, 염수의 자연증발의 증발률인 0.52kg/m^2h 보다 컸다. 또한, CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)의 열효율은 94%로, 염수의 자연증발의 열효율인 16% 보다 높았다.

[0088] 도 19 내지 도 21을 참조하면, CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)를 포함하는 태양광 담수화 장치(1)를 시제품으로 제작하여 태양광으로 해수를 담수로 만들어 보았다.

[0089] 도 19를 참조하면, 태양광 담수화 장치(1)는 12 개의 CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)를 포함하였다. 12 개의 CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)는 4개의 행과 3개의 열로 서로 5cm 간격으로 염분 수집부재(40)를 관통하여 배치되었다. 또한, 태양광 담수화 장치(1)의 수조(10), 구획판(20) 및, 덮개(30)는 아크릴로 제작되었으며, 덮개(30)의 일부는 석영 유리로 형성되었다.

[0090] 평균 조도 90000lux의 자연광이 조사되고 최저 21℃ 에서 최고 26℃의 외기 온도인 부분적으로 맑은 날에 오전 10시부터 오후 6시까지 8시간 동안 태양광 담수화 장치(1)를 통해 해수를 담수로 만들었다.

[0091] 도 20을 참조하면, 태양광 담수화 장치(1)의 12개의 CW_4+N@3DGN의 태양광 증발기(50)의 광흡수체(300)에서의 증발률은 2.0kg/m^2h 이었으며, 60g의 담수가 만들어졌다.

[0092] 도 21을 참조하면, 담수화 전 해수의 이온 농도와 비교하여, 본 발명에 따른 태양광 담수화 장치(1)에 의해서 만들어진 담수 중의 나트륨 및 염소 이온의 농도는, 대폭 감소하였다. 또한, 본 발명에 따른 태양광 담수화 장치(1)에 의해서 만들어진 담수의 염분은 세계보건기구(WHO)와 미국 환경 보호국(EPA) 표준에 의해 정의된 안전한 식수의 염분 수준보다 훨씬 낮다. 따라서, 본 발명의 태양광 담수화 장치(1)의 담수화 효율이 우수함을 확인할 수 있었다

[0093] 이상 본 발명의 실시예들을 구체적인 실시 형태로서 설명하였으나, 이는 예시에 불과한 것으로서, 본 발명은 이에 한정되지 않는 것이며, 본 명세서에 개시된 기술적 사상에 따르는 최광의 범위를 갖는 것으로 해석되어야 한다. 당업자는 개시된 실시형태들을 조합/치환하여 적시되지 않은 형상의 패턴을 실시할 수 있으나, 이 역시 본 발명의 범위를 벗어나지 않는 것이다. 이외에도 당업자는 본 명세서에 기초하여 개시된 실시형태를 용이하게 변경 또는 변형할 수 있으며, 이러한 변경 또는 변형도 본 발명의 권리범위에 속함은 명백하다.

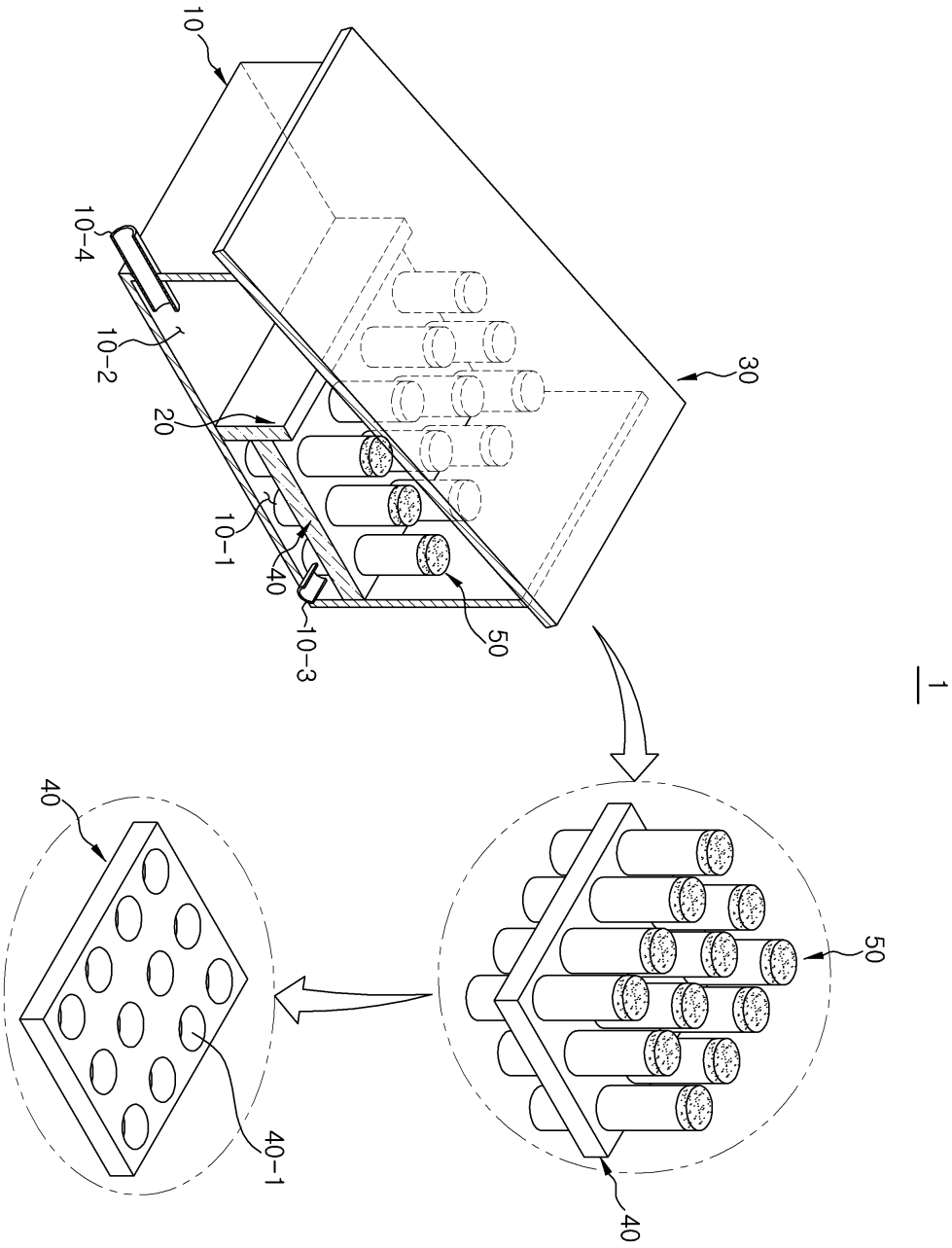
부호의 설명

[0094]

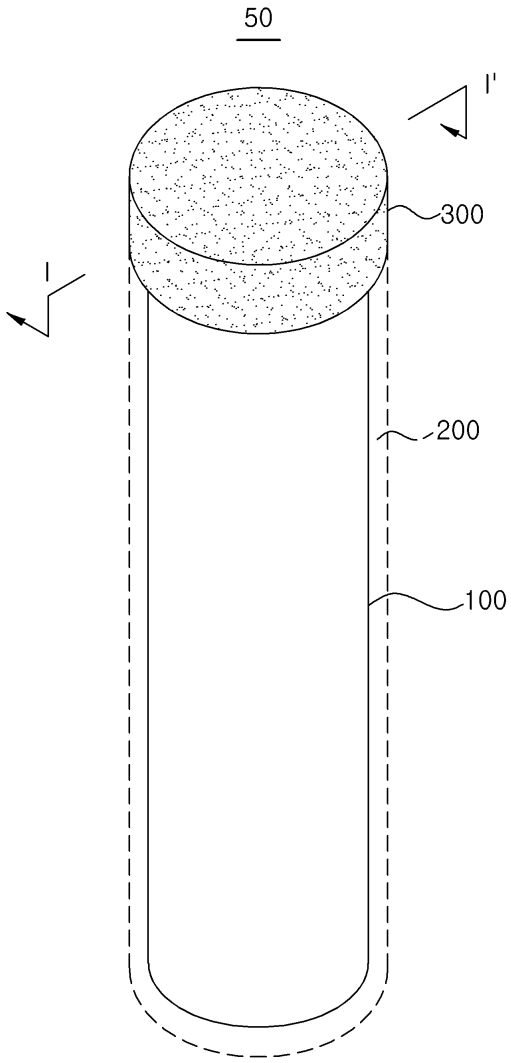
1 : 태양광 담수화 장치	10 : 수조
10-1 : 염수 저장부	10-2 : 담수 저장부
10-3 : 염수 공급관	10-4 : 담수 배출관
20 : 구획판	30 : 덮개
40 : 염분 수집부재	40-1 : 관통구멍
50 : 태양광 증발기	100 : 지지체
200 : 피복재	300 : 광흡수체

도면

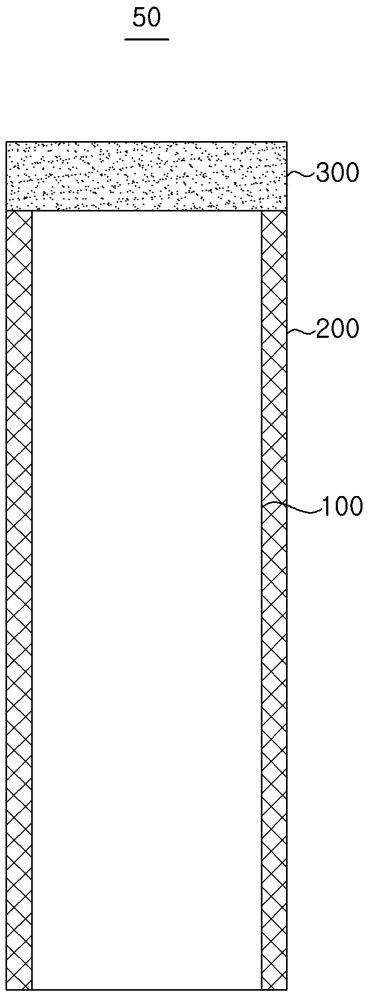
도면1



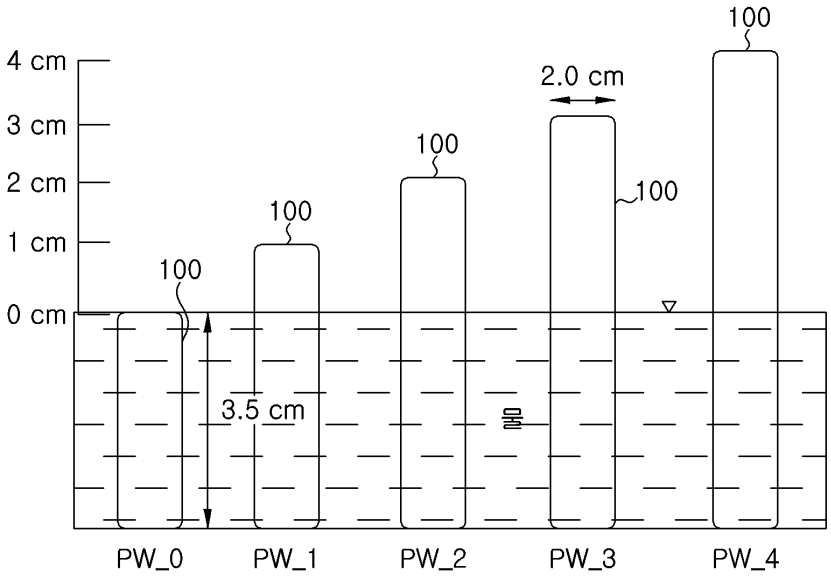
도면2



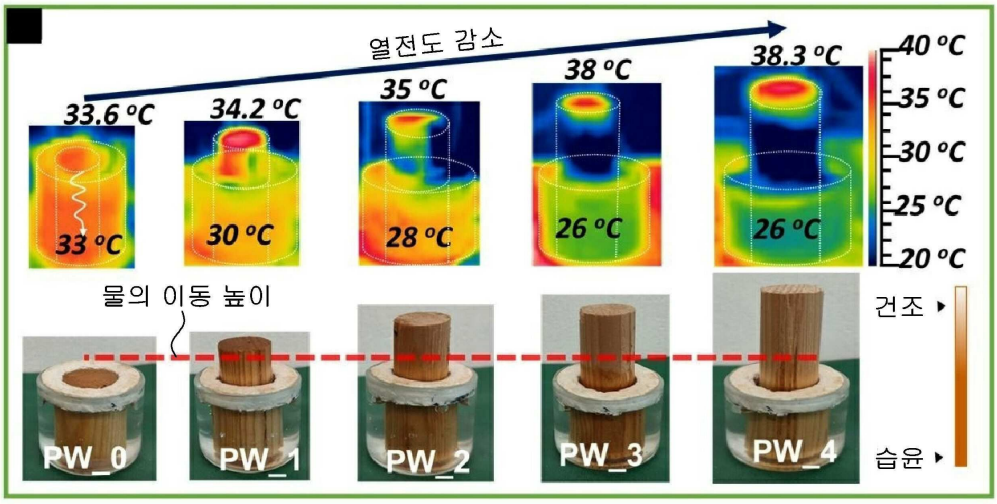
도면3

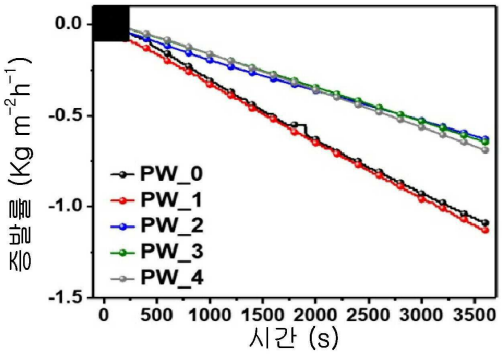

50
300
200
100

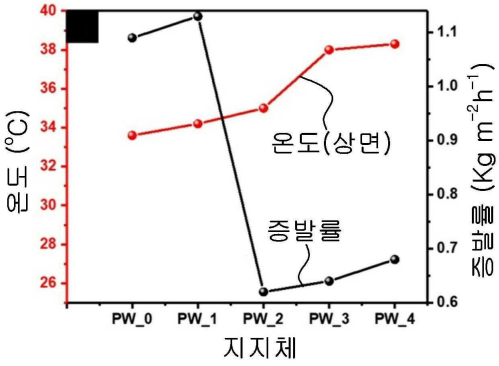
도면4


4 cm
3 cm
2 cm
1 cm
0 cm
100
100
100
2.0 cm
100
100
3.5 cm
물
PW_0
PW_1
PW_2
PW_3
PW_4

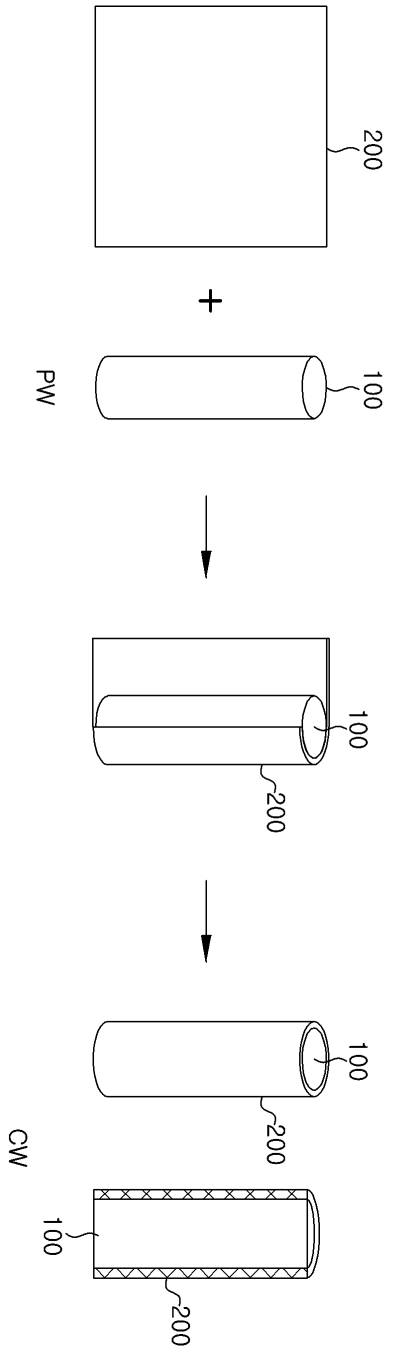
도면5


열전도 감소
33.6 °C
34.2 °C
35 °C
38 °C
38.3 °C
33 °C
30 °C
28 °C
26 °C
26 °C
40 °C
35 °C
30 °C
25 °C
20 °C
물의 이동 높이
PW_0
PW_1
PW_2
PW_3
PW_4
건조
습윤

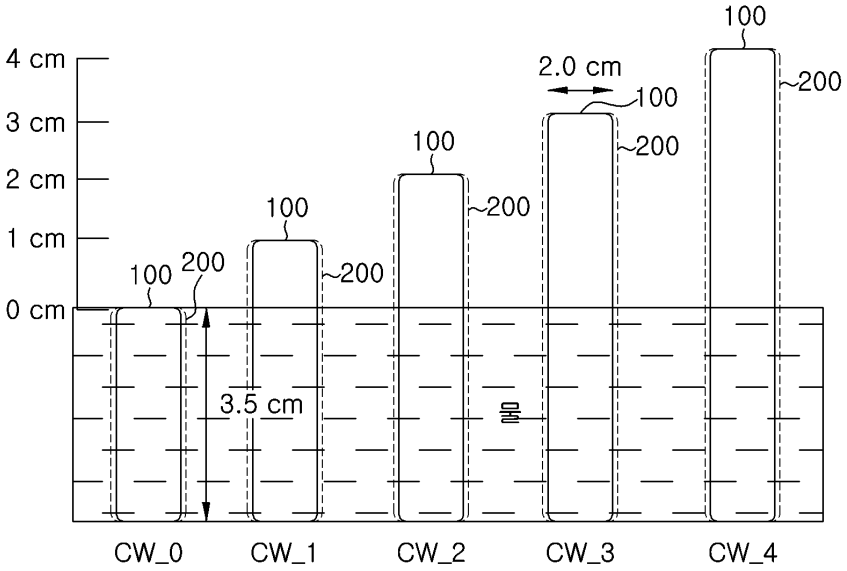

증발률 (Kg m-2h-1)
0.0
-0.5
-1.0
-1.5
PW_0
PW_1
PW_2
PW_3
PW_4
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
시간 (s)


온도 (°C)
40
38
36
34
32
30
28
26
온도(상면)
증발률
1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
증발률 (Kg m-2h-1)
PW_0
PW_1
PW_2
PW_3
PW_4
지지체

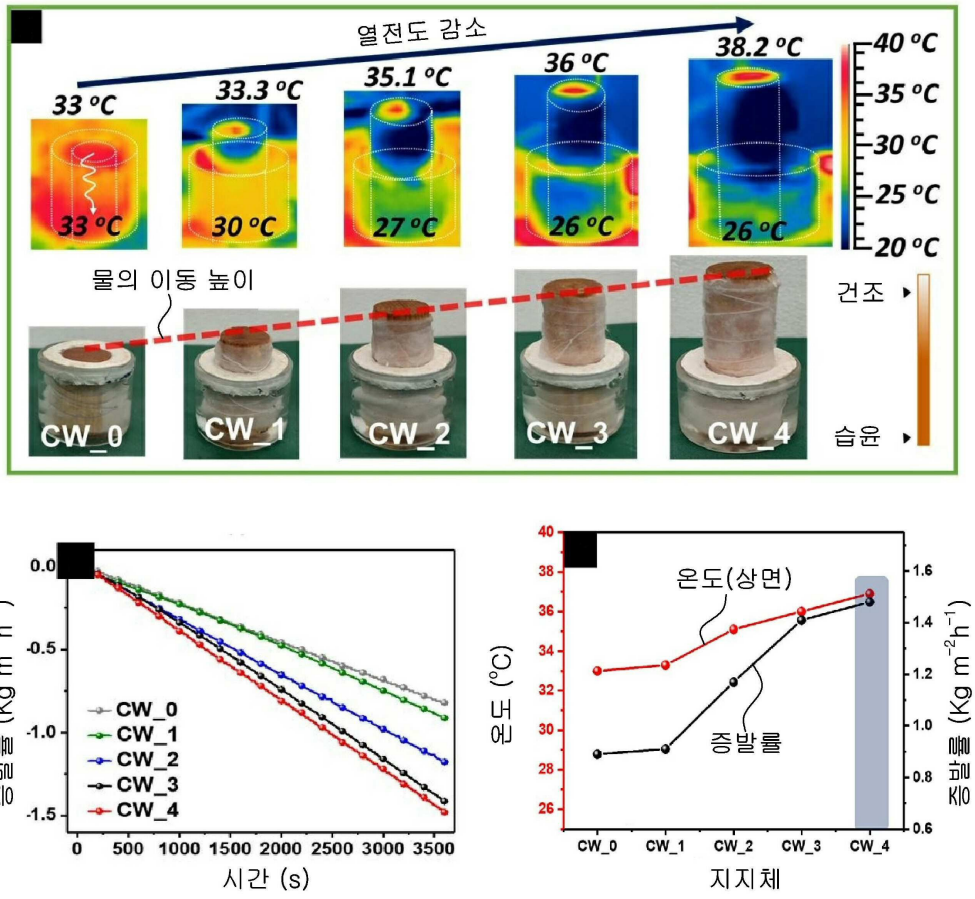
도면6



도면7


4 cm
3 cm
2 cm
1 cm
0 cm
100
200
3.5 cm
물
2.0 cm
CW_0
CW_1
CW_2
CW_3
CW_4

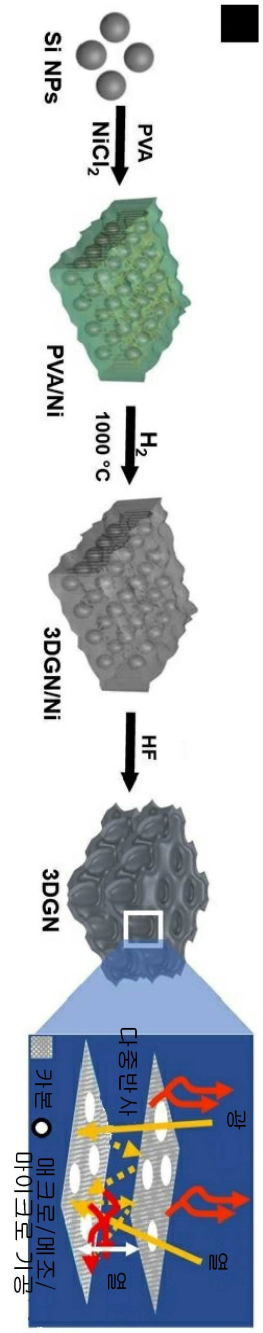
도면8


열전도 감소
33 °C
33.3 °C
35.1 °C
36 °C
38.2 °C
40 °C
35 °C
30 °C
25 °C
20 °C
물의 이동 높이
건조
습윤
CW_0
CW_1
CW_2
CW_3
CW_4

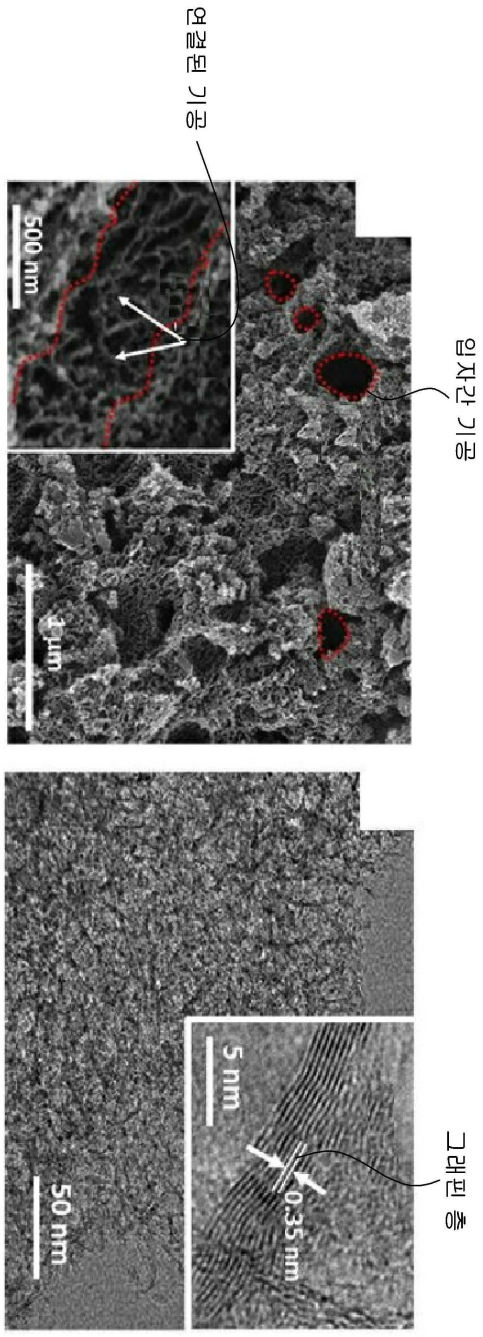
증발률 (Kg m⁻²h⁻¹)
시간 (s)
CW_0
CW_1
CW_2
CW_3
CW_4

온도 (°C)
온도(상면)
증발률
증발률 (Kg m⁻²h⁻¹)
지지체

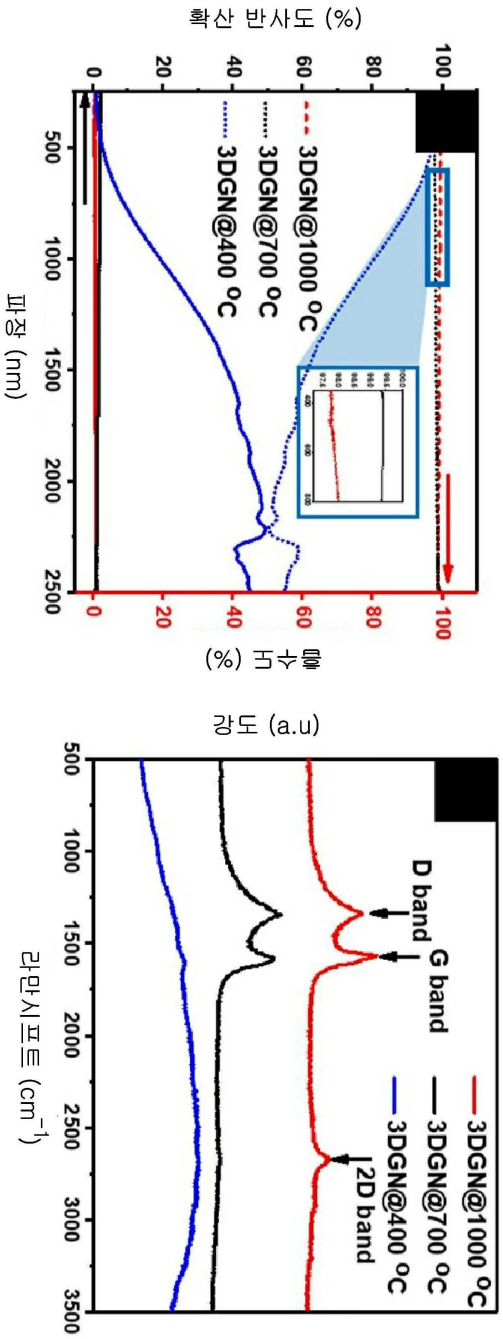
도면9


Si NPs
PVA
NiCl2
PVA/Ni
H2
1000 °C
3DGN/Ni
HF
3DGN
다중반사
광
열
카본
에크로/메조/
마이크로 기공

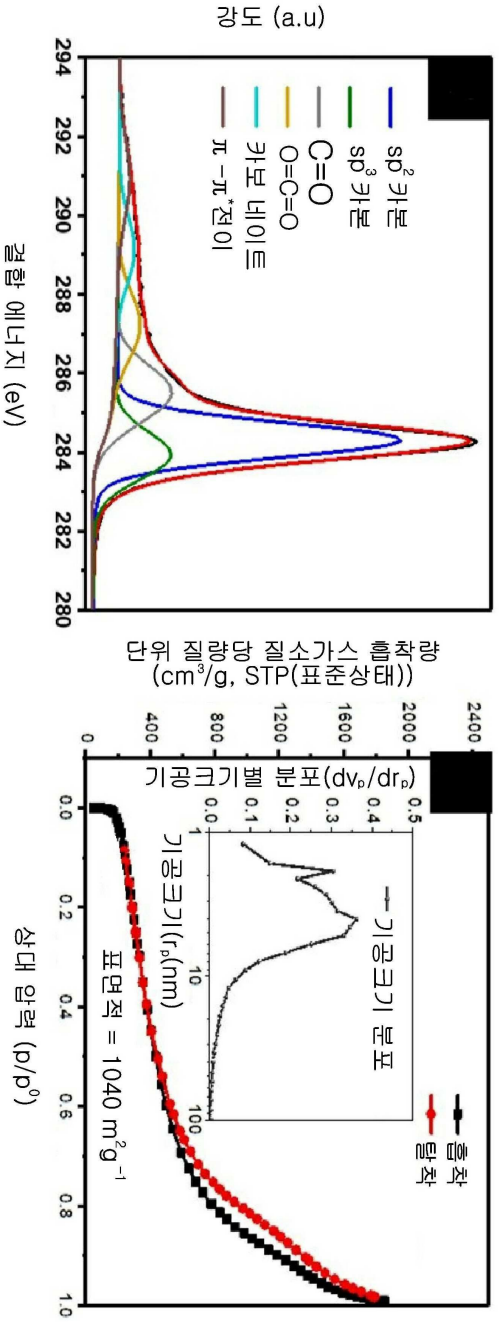
도면10



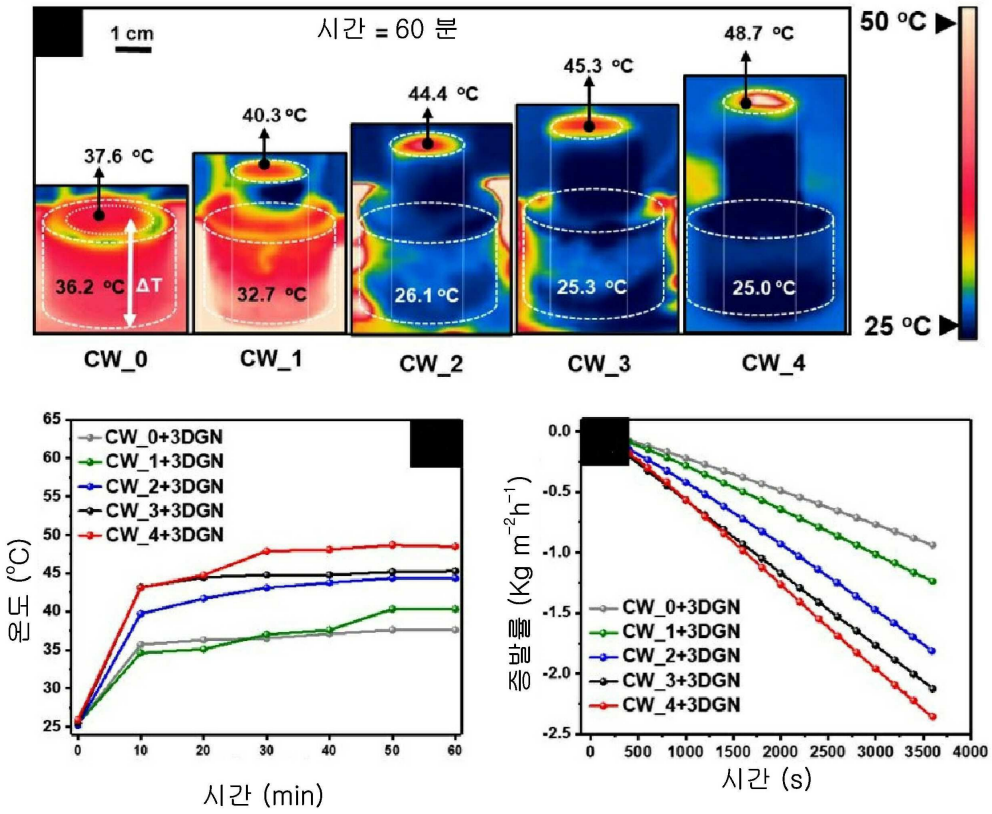
도면11


확산 반사도 (%)
파장 (nm)
3DGN@1000 °C
3DGN@700 °C
3DGN@400 °C
흡수도 (%)
강도 (a.u)
라만시프트 (cm-1)
D band
G band
2D band
3DGN@1000 °C
3DGN@700 °C
3DGN@400 °C

도면12


강도 (a.u)
결합 에너지 (eV)
294
292
290
288
286
284
282
280
sp² 카본
sp³ 카본
C=O
O=C=O
카보 네이트
π -π* 전이
단위 질량당 질소가스 흡착량
(cm³/g, STP(표준상태))
상대 압력 (p/p⁰)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
0
400
800
1200
1600
2000
2400
표면적 = 1040 m²g⁻¹
기공크기별 분포(dvₚ/drₚ)
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
기공크기(rₚ(nm))
1
10
100
기공크기 분포
흡착
탈착

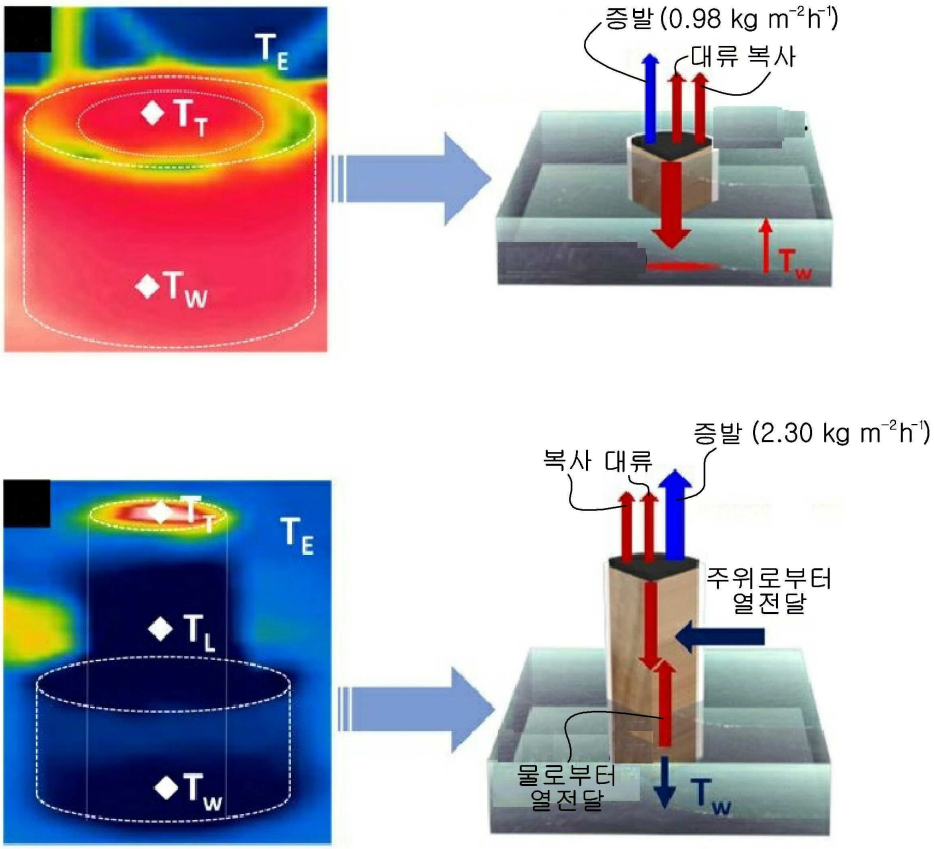
도면13


1 cm
시간 = 60 분
37.6 °C
40.3 °C
44.4 °C
45.3 °C
48.7 °C
50 °C
25 °C
36.2 °C
ΔT
32.7 °C
26.1 °C
25.3 °C
25.0 °C
CW_0
CW_1
CW_2
CW_3
CW_4

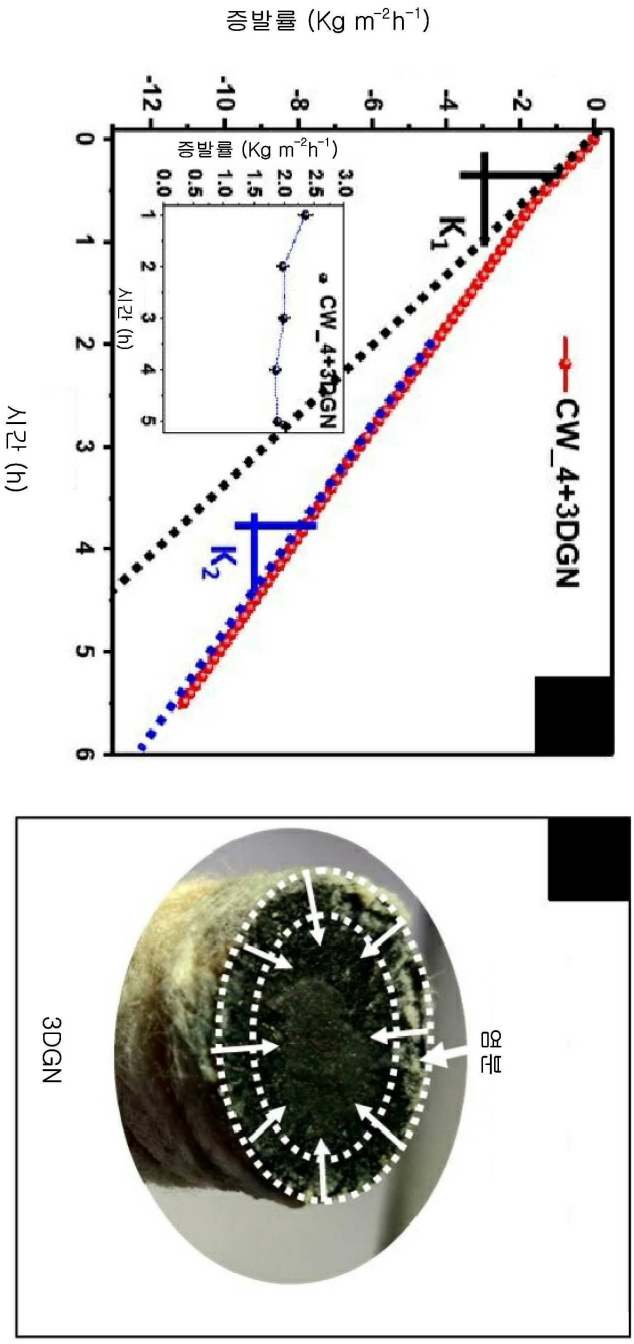
CW_0+3DGN
CW_1+3DGN
CW_2+3DGN
CW_3+3DGN
CW_4+3DGN
온도 (°C)
시간 (min)

CW_0+3DGN
CW_1+3DGN
CW_2+3DGN
CW_3+3DGN
CW_4+3DGN
증발률 (Kg m-2h-1)
시간 (s)

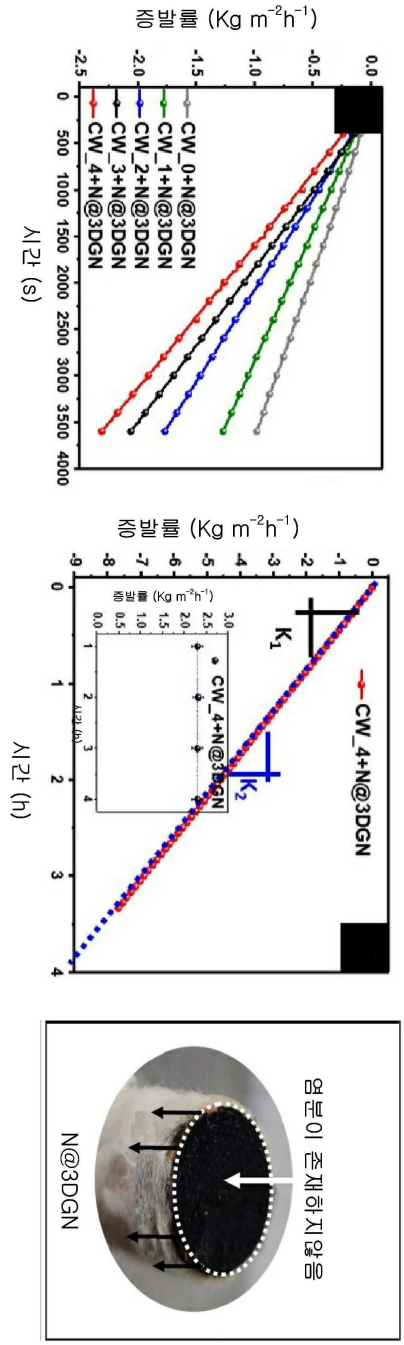
도면14


T_E
T_T
T_W
증발 (0.98 kg $m^{-2}h^{-1}$)
대류 복사
T_w
T_T
T_E
T_L
T_W
증발 (2.30 kg $m^{-2}h^{-1}$)
복사 대류
주위로부터 열전달
물로부터 열전달
T_w

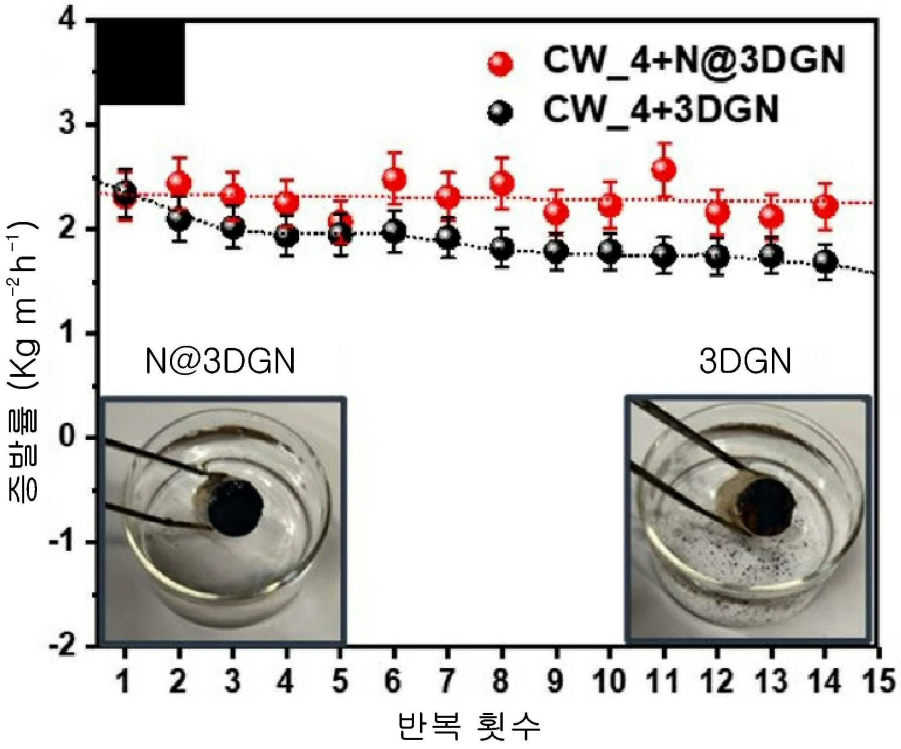
도면15



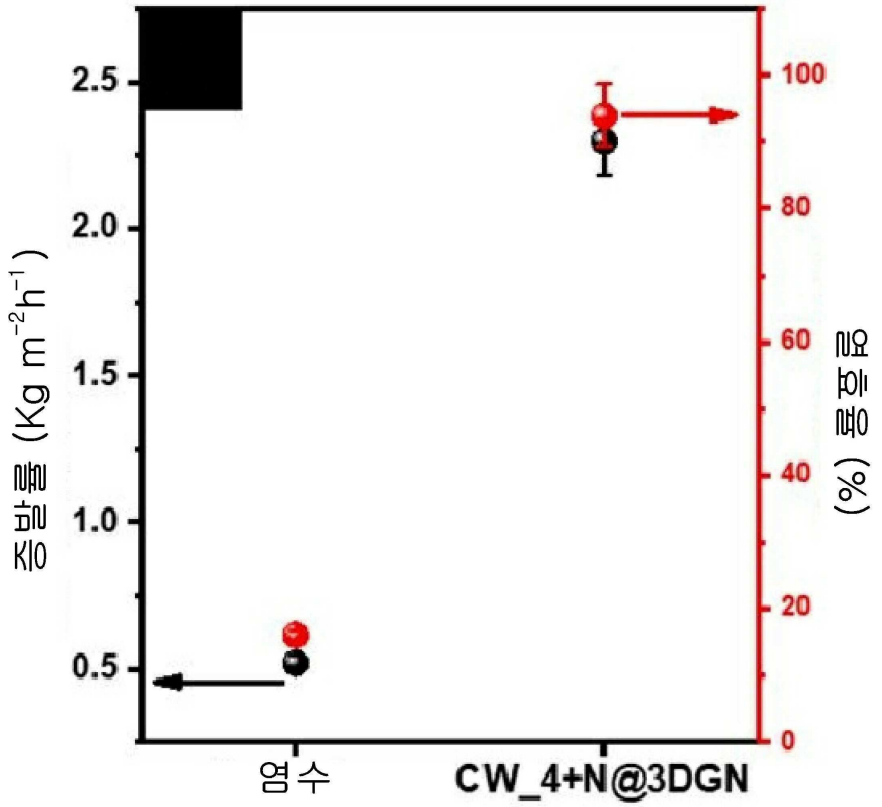
도면16


증발률 (Kg m^{-2}h^{-1})
시간 (s)
CW_0+N@3DGN
CW_1+N@3DGN
CW_2+N@3DGN
CW_3+N@3DGN
CW_4+N@3DGN
증발률 (Kg m^{-2}h^{-1})
시간 (h)
CW_4+N@3DGN
K_1
K_2
염분이 존재하지 않음
N@3DGN

도면17

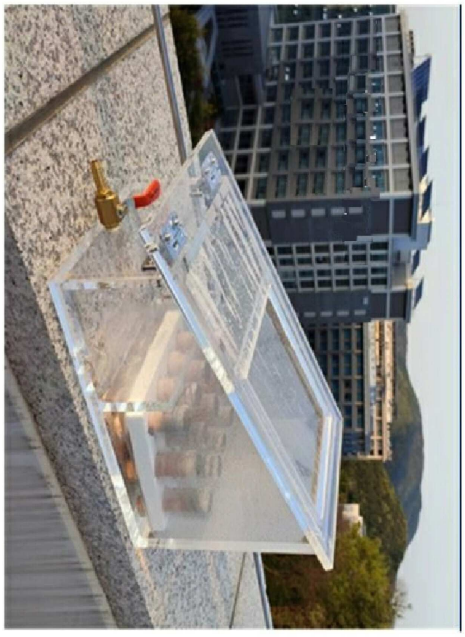

CW_4+N@3DGN
CW_4+3DGN
N@3DGN
3DGN
증발률 (Kg m-2h-1)
반복 횟수

도면18

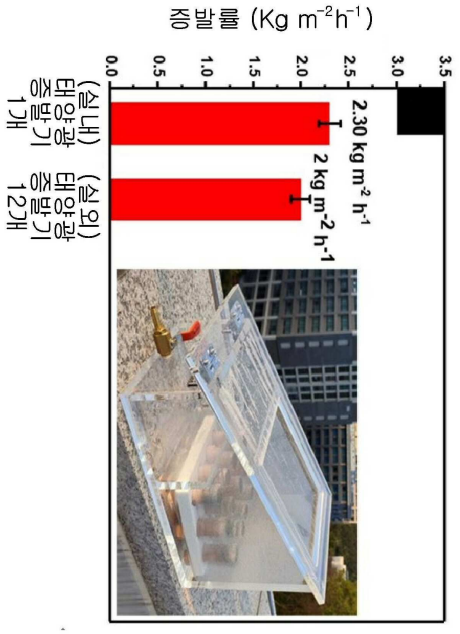

증발률 (Kg m-2h-1)
효율 (%)
염수
CW_4+N@3DGN

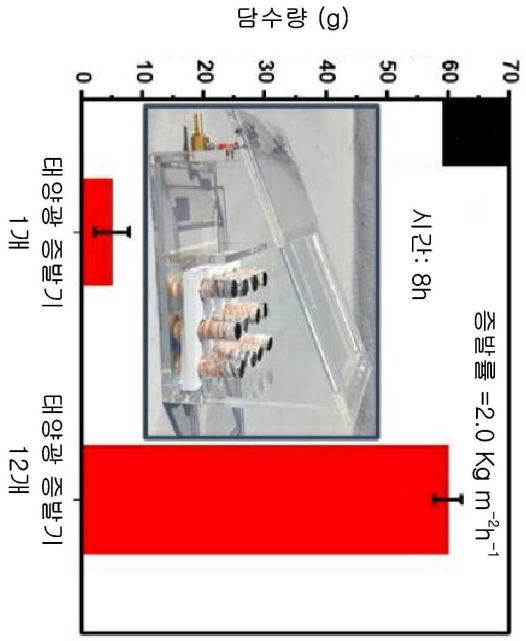
도면19



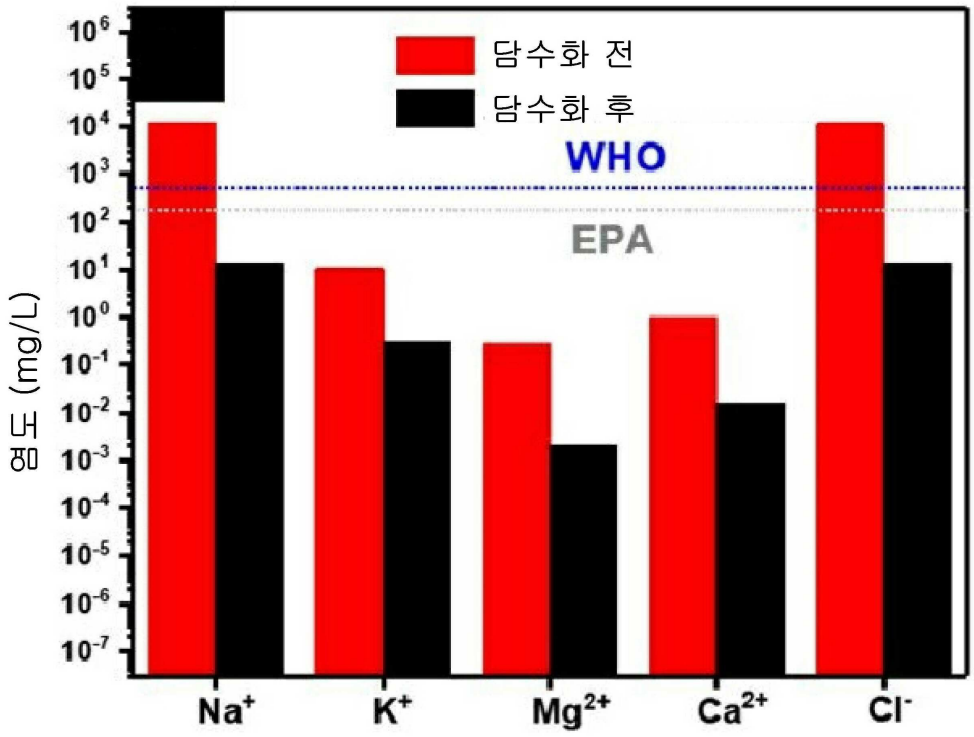


도면20


증발률 (Kg m-2h-1)
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
2.30 kg m-2 h-1
2 kg m-2 h-1
(실내) 태양광 증발기 1개
(실외) 태양광 증발기 12개


담수량 (g)
0
10
20
30
40
50
60
70
증발률 =2.0 Kg m-2h-1
시간: 8h
태양광 증발기 1개
태양광 증발기 12개

도면21


담수화 전
담수화 후
WHO
EPA
농도 (mg/L)
10^{6}
10^{5}
10^{4}
10^{3}
10^{2}
10^{1}
10^{0}
10^{-1}
10^{-2}
10^{-3}
10^{-4}
10^{-5}
10^{-6}
10^{-7}
Na^{+}
K^{+}
Mg^{2+}
Ca^{2+}
Cl^{-}