



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0105330
(43) 공개일자 2018년09월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F28F 19/06 (2006.01) C09D 5/16 (2006.01)
F28F 19/04 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F28F 19/06 (2013.01)
C09D 5/1675 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0032240
(22) 출원일자 2017년03월15일
심사청구일자 2017년03월15일

(71) 출원인
두산중공업 주식회사
경상남도 창원시 성산구 두산볼보로 22 (귀곡동)
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732 (서천동, 경
희대학교 국제캠퍼스내)
(72) 발명자
김진범
경기도 용인시 처인구 포곡읍 백옥대로1898번길
34-48, 해밀타운 1호
김현식
서울특별시 도봉구 도봉로150길 42, 201동 601호
(방학동, 삼성래미안아파트2차)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인 정안

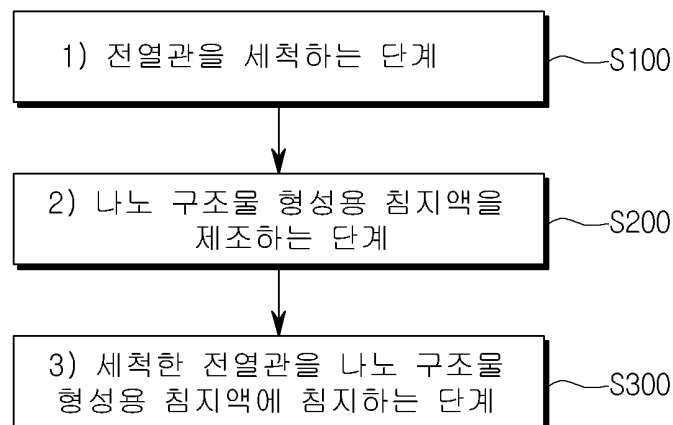
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 초발수 표면이 구현된 전열관 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관 및 이의 제조 방법으로, 전열관의 표면에 나노 구조물이 형성되어 고온의 환경에서도 초발수 표면의 구현이 가능하다. 또한, 나노 구조물이 형성된 전열관의 표면에 추가로 초발수 발수 코팅층을 형성하여 초발수성을 향상시킬 수 있다. 전열관 표면을 침지(dipping)시켜 나노 구조물을 형성하는 방식으로, 복잡한 형상에 대한 코팅이 가능하여, 조립된 다수의 전열관을 코팅할 수 있어, 코팅 후 전열관을 조립하는 과정에서 발생하는 손상을 방지할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

F28F 19/04 (2013.01)

F28D 2021/0063 (2013.01)

F28F 2245/04 (2013.01)

(72) 발명자

남영석

서울특별시 송파구 새말로8길 12, 101동 904호 (문정동, 건영아파트)

송경환

서울특별시 도봉구 노해로63가길 7, 9동 103호 (창동, 상아2차아파트)

오승태

경기도 화성시 동탄반석로 71, 446동 2002호 (반송동, 솔빛마을쌍용예가아파트)

심재환

경기도 성남시 분당구 불정로 361, 505동 703호 (서현동, 효자촌삼환아파트)

서동현

경기도 화성시 영통로27번길 53, 204동 1701호 (반월동)

명세서

청구범위

청구항 1

- 1) 전열관을 유기 용매를 이용하여 초음파 처리하는 단계;
- 2) 상기 1) 단계의 초음파 처리한 전열관을 세척하는 단계;
- 3) 상기 2) 단계의 세척한 전열관을 산성 용액에 침지하여 전열관 표면의 금속 산화물을 제거하는 단계;
- 4) 나노 구조물 형성용 침지액을 제조하는 단계; 및
- 5) 상기 3) 단계의 금속 산화물을 제거한 전열관을 상기 4) 단계의 나노 구조물 형성용 침지액에 침지하는 단계를 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 나노 구조물 형성용 침지액은 물; NaClO_2 ; NaOH ; 및 Na_3PO_4 를 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 나노 구조물 형성용 침지액은 물 100 중량부에 대하여, NaClO_2 1 내지 4 중량부; NaOH 3.5 내지 10 중량부; 및 Na_3PO_4 5 내지 11 중량부를 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 5) 단계는 나노 구조물 형성용 침지액에 전열관을 10분 이상 침지하는 것인 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 5

제 1항에 있어서,

상기 1) 단계의 유기 용매는 아세톤, 에탄올 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택되는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 3) 단계의 산성 용액은 2M의 염산(HCl)인 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 7

제 1항에 있어서,

상기 전열관은 알브라스(Al-bras)로 구성되는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 8

제 1항에 있어서,

상기 전열관은 다수의 전열관이 조립된 형태인 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 9

제 1항에 있어서,

상기 5) 단계 이후, 6) 전열관을 실란계 코팅액에 침지하여, 발수 코팅층을 형성하는 단계를 추가로 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 실란계 코팅액은 HDFS (Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane), TFTS (Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane), OTS(Trichloro(octyl)silane) 및 DCDMS(Dichlorodimethylsilane)로 이루어진 군으로부터 선택되는 실란계 화합물을 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 11

제 9항에 있어서,

상기 실란계 코팅액은 HDFS(Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane), TFTS(Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane), OTS(Trichloro(octyl)silane) 및 DCDMS(Dichlorodimethylsilane)로 이루어진 군으로부터 선택되는 실란계 화합물 및 휘발성 용매를 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 실란계 코팅액은 휘발성 용매 100 중량부를 기준으로, 실란계 화합물 0.1 중량부 이상 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법.

청구항 13

제1항에 따른 제조 방법으로 표면에 나노 구조물이 형성된 초발수 표면이 구현된 전열관.

청구항 14

제 13항에 있어서,
상기 나노 구조물은 Cu_2O 및 CuO 를 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관.

청구항 15

제 13항에 있어서,
상기 전열관은 실란계 화합물을 포함하는 발수 코팅층을 추가로 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관.

청구항 16

제 15항에 있어서,
상기 전열관은 표면 접촉각이 145도 이상인 초발수 표면이 구현된 전열관.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 초발수 표면이 구현된 전열관 및 그 제조 방법에 관한 것으로, 보다 구체적으로 전열관의 표면에 나노 구조물을 형성하거나, 추가로 발수 코팅층을 형성하여 초발수 표면을 구현한 전열관 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자력 발전소나 화력발전소에서는 우라늄, 석유, 석탄 등을 연료로 하여 열을 발생하여, 이 열로 시스템을 순환하는 물을 가열하여 증기를 형성한다. 형성된 증기는, 터빈을 돌려 전기를 생산하고, 터빈을 통과한 증기는 응축기에서 냉각되어 다시 물로 변한다. 특히, 증기 순환 발전방식에서 응축 과정을 물로 냉각하는 수랭식은 많은 양의 냉각수를 필요로 하므로, 응축기에 사용하는 냉각수로 해수를 사용한다. 따라서 냉각수로 사용되는 해수를 원활하게 공급 및 배출하기 위하여, 해안 가까이 설치되는 것이 일반적이다.

[0004] 응축기는 다른 표현으로 복수기라고 표현되며, 복수기(復水器)라는 한자를 풀이하면 증기를 물로 다시 되돌려주는 그릇으로, 해수를 응축기 전열관에 지속적으로 흐르게 하여, 응축기 내벽의 온도를 지속적으로 내려준다. 그러면 밸브를 통해서 나와 터빈을 돌린 수증기가 바로 응축기 내벽에 부딪히고 그 순간 수증기는 식혀져서 물로 되돌아가는 복수(復水)가 되고, 복수를 다시 보일러 파이프로 돌려보내 500도 내외의 물을 만들어 밸브를 통하여 터빈을 통과시킨다.

[0006] 보일러에서는 지속적으로 뜨거운 물이 과포화 증기가 되어 밸브를 통하여 터빈으로 뿜어져 나오고 복수기 안에 서는 증기가 급냉(急冷)이 되어 물로 되돌아 가는 과정이 지속적으로 반복된다.

[0008] 이때 응축기 외벽을 식혀주는 냉각수는 기계마찰열을 식혀주는 냉각수와는 비교할 수도 없이 많은 수량이 필요하고 발전기가 가동되는 동안은 지속적으로 해수를 공급해주어야 한다.

[0010] 터빈을 돌린 수증기는 응축기 내벽에 접촉함으로써 인해, 식어서 물로 되돌아가며, 이때, 응축기 내벽에 접촉하는 양을 늘리기 위해, 다수의 전열관으로 구성되어 접촉 면적을 늘린다.

- [0012] 응축기는 관 외부에서 응축에 의한 부식, 응축된 유체의 표면 잔류에 의해 발생하는 부식 등이 일어나는 문제가 있다. 마찬가지로, 발전소에서 사용되는 열 교환기(heat exchanger)의 경우에도, 전열관을 교차하여 통과하는 유로 간에 열 교환시 관 외부에서 응축에 의한 부식, 응축된 유체의 표면 잔류에 의해 발생하는 부식 등이 일어나는 문제가 발생할 수 있다.
- [0014] 이러한 문제를 방지하기 위해, 한국 공개 특허 제10-2014-0033084호는 가교 발수성 피막을 형성하고 있으며, 상기 가교 발수성 피막은 불소 원자 함유기를 갖는 수지; 4급 암모늄염기 함유 변성 에폭시 수지 및 아미노 수지를 함유하는 것을 특징으로 하지만, 상기 발수성 피막의 경우, 표면과 물방울의 접촉각이 150도 이상인 초발수 피막을 형성하기 어렵고, 고온의 환경에서도 발수 코팅을 유지하기 어려운 문제가 있다.
- [0016] 또한, 상기와 같은 초발수 피막을 형성하기 위해서는 롤 코터 방식 등을 이용하여 코팅액을 도포하여 코팅을 실시하였으나, 응축기에 포함되는 전열관은 다수의 전열관이 조립된 형태로, 기존의 발수성 코팅층을 형성하기 위해서는 전열관을 코팅하고, 코팅된 전열관을 조립해야 했다.
- [0018] 상기와 같이, 전열관을 코팅하고 코팅된 전열관을 조립할 경우, 코팅된 전열관을 조립하는 과정에서 발수 코팅층이 벗겨지는 문제가 발생할 수 있으며, 다수의 전열관을 개별적으로 코팅액을 도포하여 코팅해야 하는 번거로움이 존재하였다.
- [0020] 이에, 고온의 환경에서도 전열관의 표면에 초발수성을 나타낼 수 있고, 제조 과정을 단순하게 할 수 있는 방법의 개발이 시급한 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0021] 본 발명은 초발수 표면이 구현된 전열관 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.
- [0023] 본 발명은 전열관의 표면에 나노 구조물을 형성하여, 고온의 환경에서도 초발수 표면의 구현이 가능한 전열관을 제공하는 것을 목적으로 한다.
- [0025] 본 발명은 조립된 다수의 전열관을 침지시켜 나노 구조물을 형성하고, 발수 코팅층을 형성하는 것으로, 전열관의 표면에 나노 구조물을 형성하고, 이후 전열관을 조립하는 과정에서 발생할 수 있는 손상을 방지할 수 있는 제조 방법을 제공하는 것을 다른 목적으로 한다.
- [0027] 본 발명은 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관에 발수 코팅층을 추가로 형성하여, 발수력을 향상시킨 전열관을 제공하는 것을 또 다른 목적으로 한다.

- [0029] 본 발명의 다른 목적 및 이점은 하기의 발명의 상세한 설명 및 청구 범위에 의해 보다 명확하게 된다.

과제의 해결 수단

- [0030] 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려, 이들 실시예는 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기 위하여 제공되는 것이다.

- [0032] 또한, 도면에서 각 층의 두께나 크기는 설명의 편의 및 명확성을 위하여 가정된 것이며, 도면상에서 동일 부호는 동일한 요소를 지칭한다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 용어 "및/또는"은 해당 열거된 항목 중 어느 하나 및 하나 이상의 모든 조합을 포함한다.
- [0034] 본 명세서에서 사용된 용어는 특정 실시예를 설명하기 위하여 사용되며, 본 발명을 제한하기 위한 것이 아니다. 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 단수 형태는 문맥상 다른 경우를 분명히 지적하는 것이 아니라면, 복수의 형태를 포함할 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 경우 "포함한다(comprise)" 및/또는 "포함하는(comprising)"은 언급한 형상들, 숫자, 단계, 동작, 부재, 요소 및/또는 이들 그룹의 존재를 특정하는 것이며, 하나 이상의 다른 형상, 숫자, 동작, 부재, 요소 및/또는 그룹들의 존재 또는 부가를 배제하는 것이 아니다.
- [0036] 본 발명의 전열관은 응축기를 구성하는 전열관 뿐 아니라, 열 교환기의 유로와 같이, 발전소, 담수 기술, 물 수집(water harvesting) 등과 같은 분야에서 응축 관련 장치에 포함될 수 있는 전열관을 의미한다.
- [0038] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명은 1) 전열관을 유기 용매를 이용하여 초음파 처리하는 단계; 2) 상기 1) 단계의 초음파 처리한 전열관을 세척하는 단계; 3) 상기 2) 단계의 세척한 전열관을 산성 용액에 침지하여 전열관 표면의 금속 산화물을 제거하는 단계; 4) 나노 구조물 형성용 침지액을 제조하는 단계; 및 5) 상기 3) 단계의 금속 산화물을 제거한 전열관을 상기 4) 단계의 나노 구조물 형성용 침지액에 침지하는 단계를 포함하는 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법에 관한 것이다.
- [0040] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 나노 구조물 형성용 침지액은 물; NaClO_2 ; NaOH ; 및 Na_3PO_4 를 포함할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 나노 구조물 형성용 침지액은 물 100 중량부에 대하여, NaClO_2 1 내지 4 중량부; NaOH 3.5 내지 10 중량부; 및 Na_3PO_4 5 내지 11 중량부를 포함할 수 있다.
- [0044] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 5) 단계는 나노 구조물 형성용 침지액에 전열관을 10분 이상 침지할 수 있다.
- [0046] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 1) 단계 유기 용매는 아세톤, 에탄올 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다.
- [0048] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명 3) 단계의 산성 용액은 2M의 염산(HCl)일 수 있다.
- [0050] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 전열관은 알루미늄(Al -bras)로 구성될 수 있다.
- [0052] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 전열관은 다수의 전열관이 조립된 형태일 수 있다.
- [0054] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 5) 단계 이후, 6) 전열관을 실란계 코팅액에 침지하여, 발수 코팅층을 형성하는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0056] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 실란계 코팅액은 HDFS (Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane), TFTS(Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane), OTS(Trichloro(octyl)silane) 및 DCDMS(Dichlorodimethylsilane)로 이루어진 군으로부터 선택되는 실란계 화합물을 포함할 수 있다.

[0058] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 실란계 코팅액은 HDFS(Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane), TFTS(Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane), OTS(Trichloro(octyl)silane) 및 DCDMS(Dichlorodimethylsilane)로 이루어진 군으로부터 선택되는 실란계 화합물 및 휘발성 용매를 포함할 수 있다.

[0060] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 실란계 코팅액은 휘발성 용매 100 중량부를 기준으로, 실란계 화합물 0.1 중량부 이상 포함할 수 있다.

[0062] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명은 상기 제조 방법으로 표면에 나노 구조물이 형성된 초발수 표면이 구현된 전열관에 관한 것이다.

[0064] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 나노 구조물은 Cu_2O 및 CuO 를 포함할 수 있다.

[0066] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 전열관은 실란계 화합물을 포함할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일 구체예로, 본 발명의 전열관은 표면 접촉각이 145도 이상일 수 있다.

발명의 효과

[0069] 본 발명은 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관 및 이의 제조 방법으로, 전열관의 표면에 나노 구조물이 형성되어 고온의 환경에서도 초발수 표면의 구현이 가능하다. 또한, 나노 구조물이 형성된 전열관의 표면에 추가로 발수 코팅층을 형성하여 초발수성을 향상시킬 수 있다. 전열관 표면을 침지(dipping)시켜 나노 구조물을 형성하는 방식으로, 복잡한 형상에 대한 코팅이 가능하여, 조립된 다수의 전열관을 코팅할 수 있어, 코팅 후 전열관을 조립하는 과정에서 발생하는 손상을 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0070] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법에 대한 순서도이다.
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법에 대한 순서도이다.
 도 3은 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관에 대한 SEM 사진이다.
 도 4는 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관에 대한 FIB 사진이다.
 도 5는 나노 구조물 형성용 침지액 내의 NaClO_2 함량에 따른 전열관 표면의 나노 구조물 형성 여부에 대한 SEM 사진이다.
 도 6은 나노 구조물 형성용 침지액 내의 NaOH 함량에 따른 전열관 표면의 나노 구조물 형성 여부에 대한 SEM 사진이다.
 도 7은 나노 구조물 형성용 침지액 내의 Na_3PO_4 함량에 따른 전열관 표면의 나노 구조물 형성 여부에 대한 SEM 사진이다.
 도 8은 전열관을 나노 구조물 형성용 침지액 내에 침지 시키는 시간에 따른 전열관 표면의 나노 구조물 형성 여

부에 대한 SEM 사진이다.

도 9는 실관계 화합물 함량에 따른 발수 코팅층의 접촉각 사진이다.

도 10은 발수 코팅층의 형성을 위한 침지 시간에 따른 발수 코팅층의 접촉각 사진이다.

도 11은 알브라스로 구성된 전열관의 응축 거동 모습 및 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 알브라스로 구성된 전열관의 응축 거동 모습에 대한 비교 사진이다.

도 12는 표면 개질을 하지 않은 알브라스로 구성된 전열관과 제조예 1과 같이 제조한 전열관을 다양한 응축 레벨에서 열전달 계수(Supersaturation level, S)를 측정해본 결과이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0071] 본 발명의 초발수 표면이 구현된 전열관 및 이의 제조 방법을 도면을 참조하여 설명하면 다음과 같다.

[0073] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법에 대한 순서도로, 보다 구체적으로 1) 전열관을 세척하는 단계(S100); 2) 나노 구조물 형성용 침지액을 제조하는 단계(S200); 및 3) 세척한 전열관을 나노 구조물 형성용 침지액에 침지하는 단계(S300)를 포함한다.

[0075] 본 발명에서의 전열관은 알브라스(Al-bras)로 구성되는 것으로, 나노 구조물을 형성하기 위한 전열관은 응축기에 사용하기 위해 각각의 전열관을 개별적으로 나노 구조물을 형성하고, 조립할 수 있으나, 생산 공정의 단순화를 위해, 응축기에 사용하기 위한 형태로 다수의 전열관을 조립하고, 조립된 전열관을 상기의 제조 방법에 의해 표면에 나노 구조물을 형성할 수 있다. 도 11은 알브라스로 구성된 전열관의 응축 거동 모습 및 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 알브라스로 구성된 전열관의 응축 거동 모습에 대한 비교 사진으로, 알브라스로 구성된 전열관은 발수 표면이 형성되지 않아, 전열관과 접촉하는 공기 중에 포함된 수증기가 쉽게 응축하지 못하지만, 본 발명의 일 실시예에 따른 전열관은 초발수 표면이 구현됨에 따라, 전열관의 표면에서 응축하는 모습을 확인할 수 있다.

[0077] 상기 1) 단계(S100)는 전열관을 세척하는 것으로, 보다 구체적으로 1-1) 전열관을 유기 용매 내에서 초음파 처리하는 단계; 1-2) 초음파 처리한 전열관을 물을 이용하여 세척 후, 질소 가스를 이용하여 잔류하는 물기를 제거하는 단계; 및 1-3) 물기를 제거한 전열관을 산성 용액에 침지하고, 물을 이용하여 씻어 낸 이후, 질소 가스를 이용하여 잔류하는 물기를 제거하는 단계를 포함한다.

[0079] 1-1) 단계는 전열관을 유기 용매 내에서 초음파 처리하는 것으로, 상기 유기 용매는 아세톤, 에탄올 및 이들의 혼합물로 이루어진 군으로부터 선택될 수 있다. 보다 구체적으로, 아세톤에 전열관을 넣고 3 내지 7분 동안 1차 초음파 처리를 하고, 1차 초음파 처리가 끝난 전열관을 에탄올에 넣고 3 내지 7분 동안 2차 초음파 처리를 할 수 있다. 전열관을 초음파 처리시, 상기 유기 용매는 담금질액으로 이용하며, 상기 담금질액에 전열관을 넣고, 담금질액에 초음파 진동을 주어, 표면에 부착되어 있는 이물질 등을 제거할 수 있다.

[0081] 초음파 처리 이후, 물을 이용하여 세척하고, 질소 가스를 이용하여 잔류 하는 물기를 제거한 이후, 물기를 제거한 전열관을 산성 용액에 침지시킨다. 전열관은 금속으로 구성되어, 자연적으로 발생하는 금속 산화물층을 포함하게 되고, 이러한 금속 전열관의 표면에 자연적으로 형성되어 있는 산화물층을 제거하기 위해, 산성 용액에 침지시켜, 산화물층을 제거할 수 있다. 상기 산성 용액은 2M의 염산(HCl) 용액을 이용할 수 있으나, 상기 염산 용액 이외에 전열관 표면에 생성된 산화물층을 제거할 수 있다면, 제한 없이 사용가능하다. 다만, 산성 용액에 전열관을 침지시키는 것은 표면에 생성되어 있는 금속 산화물층을 제거하기 위함으로, 단시간 동안 침지시켜 금속 산화물층만을 제거해야 하므로, 침지 시간은 20 내지 40초이며, 20초 미만으로 침지시킬 경우에는 금속 산화물이 제거 되지 않고 잔존할 수 있으며, 40초 초과하여 침지시킬 경우에는 금속 산화물층 이외에 전열관의 금속이 제거될 수 있다.

- [0083] 상기 2) 단계(S200)는 나노 구조물 형성용 침지액을 제조하는 단계로, 상기 나노 구조물 형성용 침지액은 물; NaClO_2 ; NaOH ; 및 Na_3PO_4 를 포함하며, 보다 구체적으로 물 100 중량부에 대하여, NaClO_2 1 내지 4 중량부; NaOH 3.5 내지 10 중량부; 및 Na_3PO_4 5 내지 11 중량부를 포함할 수 있지만, 예시에 국한되지 않는다.
- [0085] 상기 나노 구조물 형성용 침지액의 NaClO_2 는 산소 원자를 제공하기 위한 것으로 1 중량부 미만 및 4 중량부를 초과하여 포함시킬 경우, 전열관의 표면에 나노 구조물이 형성되지 않는 문제가 있다.
- [0087] 상기 NaOH 는 강한 산화제로 전열관의 표면에 나노 구조물을 형성하는 주요 물질로, 4 중량부 미만으로 포함할 경우, 나노 구조물이 형성되지 않는 부분이 발생할 수 있으며, 10 중량부를 초과하여 포함할 경우,
- [0089] 상기 Na_3PO_4 는 Cu_2O 층위에 CuO 층을 형성하게 하면서, 두 층 간의 접착을 용이하게 하는 물질이다. 도 3은 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관에 대한 SEM 사진이며, 도 4는 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관에 대한 FIB 사진으로, 상기 도 4에 의하면, 전열관의 표면에 Cu_2O 층 및 CuO 층이 생성된 것을 확인할 수 있다. 즉, 전열관의 표면에 형성되는 나노 구조물은 Cu_2O 층 및 CuO 층으로, 상기 Na_3PO_4 는 전열관의 표면에 접하여 형성되는 Cu_2O 층의 상부면에 CuO 층을 형성하게 하며, 두 층의 접착을 용이하게 할 수 있다. 또한, 상기 나노 구조물 형성용 침지액에 Na_3PO_4 를 5 중량부 미만, 11 중량부 초과하여 포함시킬 경우, 전열관의 표면에 나노 구조물이 형성되지 않은 부분을 발견할 수 있다. 즉, 균일하게 나노 구조물이 형성되지 않는 문제가 발생할 수 있다.
- [0091] 상기 3) 단계(S300)는, 세척한 전열관을 나노 구조물 형성용 침지액에 침지하는 단계로, 10분 이상 침지시킬 수 있다. 10분 미만으로 침지시킬 경우, 전열관의 표면에 나노 구조물이 형성되지 않는 부분이 발생할 수 있다. 다만, 10분 이상 침지할 경우에는 전열관의 표면에 균일한 나노 구조물이 형성되었다.
- [0093] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 전열관의 제조 방법에 대한 순서도로, 보다 구체적으로, 1) 전열관을 세척하는 단계(S100); 2) 나노 구조물 형성용 침지액을 제조하는 단계(S200); 3) 세척한 전열관을 나노 구조물 형성용 침지액에 침지하는 단계(S300); 및 4) 전열관을 실란계 코팅액에 침지하여 코팅하는 단계(S400)를 포함할 수 있다.
- [0095] 상기 도 1과 같이, 전열관의 표면에 나노 구조물을 형성하고, 상기 4) 단계(S400)에 의해, 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 상부면에 발수 코팅층을 추가로 포함할 수 있다. 즉, 나노 구조물이 형성된 전열관을 실란계 코팅액에 침지하여, 발수 코팅층을 형성할 수 있다. 상기 발수 코팅층은 초발수성을 나타냄에 따라, 나노 구조물을 형성한 전열관의 발수력을 향상시킬 수 있다.
- [0097] 상기 4) 단계(S400)는, 표면에 나노 구조물을 형성한 전열관을 실란계 코팅액에 침지시켜 코팅층을 형성할 수 있다. 상기 실란계 코팅액은 HDFS(Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane), TFTS(Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane), OTS(Trichloro(octyl)silane) 및 DCDMS(Dichlorodimethylsilane)로 이루어진 군으로부터 선택되는 실란계 화합물을 포함할 수 있으며, 상기 실란계 화합물만으로 이루어진 코팅액을 이용할 수 있으나, 실란계 화합물에 휘발성 용매를 혼합하여 제조한 코팅액을 이용할 수 있다. 즉, HDFS(Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane), TFTS(Trichloro(1H,1H,2H,2H-perfluorooctyl)silane), OTS(Trichloro(octyl)silane) 및 DCDMS(Dichlorodimethylsilane)로 이루어진 군으로부터 선택되는 실란계 화합물만으로 실란계 코팅액을 제조할 수 있으나, 휘발성 용매에 상기 실란계 화합물을 혼합하여 실란계 코팅액을 제조할 수도 있다. 휘발성 용매에 실란

계 화합물을 혼합할 경우, 휘발성 용매 100 중량부를 기준으로, 실란계 화합물 0.1 중량부 이상을 포함하며, 실란계 화합물 0.1 중량부 미만으로 포함할 경우, 전열관의 표면에 발수 코팅층이 균일하게 코팅되지 않는 문제가 있으나, 실란계 화합물 0.1 중량부 이상을 포함할 경우에는 전열관의 표면에 균일한 발수 코팅층을 형성할 수 있다. 상기 휘발성 용매는 헥산(C_6H_{14})이지만, 예시에 국한되지 않고, 당업자가 선택할 수 있는 휘발성 용매는 모두 사용가능하다.

[0099] 이하, 실시예를 통하여 본 발명을 더욱 상세히 설명하고자 한다. 이들 실시예는 오로지 본 발명을 보다 실시적으로 설명하기 위한 것으로서, 본 발명의 요지에 따라 본 발명의 범위가 이들 실시예에 의해 제한되지 않는다는 것은 당업계에서 통상의 지식을 가진 자에 있어서 자명할 것이다.

[0101] 제조예 1

[0102] 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관의 제조

[0104] (1) 세척

[0105] 준비된 전열관을 아세톤(CH_3COCH_3)에 넣고 3 내지 7분 동안 초음파 처리하고, 이후 에탄올(C_2H_5OH)에 넣고 3 내지 7분 동안 초음파 처리하였다. 초음파 처리 이후, DI water를 이용하여 씻어내고, 질소가스 이용하여 표면에 잔류하는 물기를 제거하였다. 금속 산화물 제거를 위해 2M의 염산(HCl) 용액에 20 내지 40초 동안 침지시켰다. 염산 용액에 침지시킨 후, DI water를 이용하여 씻어내고, 질소가스 이용하여 표면에 잔류하는 물기를 제거하였다.

[0107] (2) 나노 구조물의 형성

[0109] 나노 구조물 형성을 위하여 DI water 100 중량부 기준으로, $NaClO_2$ 3.75중량부, NaOH 5 중량부 및 Na_3PO_4 10 중량부를 혼합하여 나노 구조물 형성용 침지액을 제조하고, 상기 나노 구조물 형성용 침지액을 끓인다. 세척된 전열관을 끓인 나노 구조물 형성용 침지액에 10분 동안 침지한 후 DI water를 이용하여 씻어내고, 질소가스 이용하여 표면에 잔류하는 물기를 제거하였다.

[0111] 제조예 2

[0112] 나노 구조물 형성용 침지액의 $NaClO_2$ 1.5 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.

[0114] 제조예 3

[0115] 나노 구조물 형성용 침지액의 NaOH 4 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.

[0117] 제조예 4

[0118] 나노 구조물 형성용 침지액의 Na_3PO_4 6 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.

[0120] 제조예 5

[0121] 전열관을 나노 구조물 형성용 침지액에 20분 동안 침지시킨 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.

- [0123] **제조예 6**
- [0124] **발수 코팅층이 형성된 전열관의 제조**
- [0126] 발수 코팅을 위해 헥산(C_6H_{14}) 용액 100mL 기준 HDFS(Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane) 0.1 중량부를 혼합하여, 발수 코팅액을 제조하였다.
- [0128] 상기 제조예 1의 나노 구조물을 형성한 전열관을 상기 발수 코팅액에 90초 침지시키고, DI water를 이용하여 씻어내고, 질소가스 이용하여 표면에 잔류하는 물기를 제거하였다. 이후 50도 오븐에서 건조시켜 제조하였다.
- [0130] **제조예 7**
- [0131] HDFS (Heptadeca-fluoro-1,1,2,2,2 tetrahydrodecyl trichlorosilane) 100중량%의 발수 코팅액을 사용한 것을 제외하고 제조예 6과 동일하게 제조하였다.
- [0133] **제조예 8**
- [0134] 발수 코팅액 내에 전열관을 120초 침지시킨 것을 제외하고 제조예 6과 동일하게 제조하였다.
- [0136] **비교예 1**
- [0137] 나노 구조물 형성용 침지액의 $NaClO_2$ 0.75 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.
- [0139] **비교예 2**
- [0140] 나노 구조물 형성용 침지액의 $NaClO_2$ 4.5 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.
- [0142] **비교예 3**
- [0143] 나노 구조물 형성용 침지액의 $NaOH$ 3 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.
- [0145] **비교예 4**
- [0146] 나노 구조물 형성용 침지액의 Na_3PO_4 4 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.
- [0148] **비교예 5**
- [0149] 나노 구조물 형성용 침지액의 Na_3PO_4 12 중량부를 넣은 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.
- [0151] **비교예 6**
- [0152] 전열관을 나노 구조물 형성용 침지액에 5분 동안 침지시킨 것을 제외하고 제조예 1과 동일하게 제조하였다.
- [0154] **비교예 7**
- [0155] 발수 코팅액을 헥산 100중량부 기준으로 HDFS 0.05 중량부를 넣은 것을 제외하고, 제조예 6과 동일하게 제조하

였다.

[0157] 비교예 8

[0158] 발수 코팅액에 전열관을 60초만 침지시킨 것을 제외하고 제조예 6과 같이 제조하였다.

[0160] 실시예 1

[0161] 표면에 나노 구조물이 형성된 전열관에 대한 성분 분석 결과

[0163] 제조예 1과 같이 제조한 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물에 대한 성분 분석을 진행하였다.

표 1

Element	Weight %	Atomic %
C	3.18	9.61
O	20.15	45.75
Al	1.14	1.53
Cu	71.86	41.07
Zn	3.68	2.04
Total	100	

[0166] 성분 분석 결과, 나노 구조물은 CuO 및 Cu₂O로 구성됨에 따라, Cu 및 O가 가장 많이 포함된 것을 확인할 수 있다. 그 이외의 구성 성분의 경우, Al, Zn 및 Cu는 알브라스를 구성하는 성분이다. 다만, C의 경우, 전열관의 표면에 나노 구조물을 생성한 이후, EDS 측정 과정에서 자연적으로 발생하는 오염으로 인해 포함된 불순물에 해당된다.

[0168] 실시예 2

[0169] 나노 구조물 형성용 침지액의 NaClO₂의 함량에 따른 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 비교

[0171] 제조예 1, 제조예 2, 비교예 1 및 비교예 2에 의해 나노 구조물을 제조한 전열관 표면의 SEM 사진을 촬영하여, 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 균일함 정도에 대해 관찰하였다.

[0173] 도 5는 제조예 1, 제조예 2, 비교예 1 및 비교예 2의 전열관에 대한 SEM 사진이다. 비교예 1 및 2의 경우, 부분적으로 나노 구조물이 형성되지 않는 부분이 발견되었으나, 제조예 1 및 2의 경우에는 나노 구조물이 균일하게 형성되었음을 확인할 수 있다.

[0175] 결과적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른, 나노 구조물 형성용 침지액 내의 NaClO₂의 함량 범위 값 미만이거나 초과인 경우에는 전열관의 표면에 균일하게 나노 구조물이 형성되지 않음에 따라, 발수력이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 반면, 본 발명의 NaClO₂의 함량 범위 내인 제조예 1 및 2의 경우에는 균일하게 나노 구조물이 형성되는 것이 확인되었는 바, 전열관에 초발수 표면이 구현됨을 확인하였다.

[0177] 실시예 3

- [0178] 나노 구조물 형성용 침지액의 NaOH의 함량에 따른 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 비교
- [0180] 제조예 1, 제조예 3 및 비교예 3에 의해 나노 구조물을 제조한 전열관 표면의 SEM 사진을 촬영하여, 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 균일함 정도에 대해 관찰하였다.
- [0182] 도 6은 제조예 1, 제조예 3 및 비교예 3의 전열관에 대한 SEM 사진이다. 비교예 3의 경우, 부분적으로 나노 구조물이 형성되지 않는 부분이 발견되었으나, 제조예 1 및 3의 경우에는 나노 구조물이 균일하게 형성되었음을 확인할 수 있다.
- [0184] 결과적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른, 나노 구조물 형성용 침지액 내의 NaOH의 함량 범위 값 미만인 경우에는 전열관의 표면에 균일하게 나노 구조물이 형성되지 않음에 따라, 발수력이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 반면, 본 발명의 NaOH의 함량 범위 내인 제조예 1 및 3의 경우에는 균일하게 나노 구조물이 형성되는 것이 확인되었는 바, 전열관에 초발수 표면이 구현됨을 확인하였다.
- [0186] 실시예 4
- [0187] 나노 구조물 형성용 침지액의 Na_3PO_4 의 함량에 따른 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 비교
- [0189] 제조예 1, 제조예 4, 비교예 4 및 비교예 5에 의해 나노 구조물을 제조한 전열관 표면의 SEM 사진을 촬영하여, 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 균일함 정도에 대해 관찰하였다.
- [0191] 도 7은 제조예 1, 제조예 4, 비교예 4 및 비교예 5의 전열관에 대한 SEM 사진이다. 비교예 4 및 5의 경우, 부분적으로 나노 구조물이 형성되지 않는 부분이 발견되었으나, 제조예 1 및 4의 경우에는 나노 구조물이 균일하게 형성되었음을 확인할 수 있다.
- [0193] 결과적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른, 나노 구조물 형성용 침지액 내의 Na_3PO_4 의 함량 범위 값 미만이거나 초과인 경우에는 전열관의 표면에 균일하게 나노 구조물이 형성되지 않음에 따라, 발수력이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 반면, 본 발명의 Na_3PO_4 의 함량 범위 내인 제조예 1 및 4의 경우에는 균일하게 나노 구조물이 형성되는 것이 확인되었는 바, 전열관에 초발수 표면이 구현됨을 확인하였다.
- [0195] 실시예 5
- [0196] 나노 구조물 형성용 침지액에 전열관을 침지 시키는 시간의 차이에 따른 형성된 나노 구조물의 비교
- [0198] 제조예 1, 제조예 5 및 비교예 6과 같이 전열관을 나노 구조물 침지액에 침지 시키는 시간을 변화시켜, 제조한 전열관에 대해 SEM 사진을 촬영하여, 전열관의 표면에 형성된 나노 구조물의 균일함 정도에 대해 관찰하였다.
- [0200] 도 8은 제조예 1, 제조예 5 및 비교예 6의 전열관에 대한 SEM 사진이다. 나노 구조물 형성용 침지액에 5분 정도 침지시킨 비교예 6의 경우, 부분적으로 나노 구조물이 형성되지 않는 부분이 발견되었으나, 10분 이상 침지시킨 제조예 1 및 5의 경우에는 나노 구조물이 균일하게 형성되었음을 확인할 수 있다.
- [0202] 결과적으로, 본 발명의 일 실시예에 따른, 나노 구조물 형성용 침지액 내에 전열관을 침지시킬 때, 10분 미만으

로 침지시킬 경우, 전열관의 표면에 균일하게 나노 구조물이 형성되지 않음에 따라, 발수력이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다. 반면, 본 발명의 침지 시간이 10분 이상인 제조예 1 및 5의 경우에는 균일하게 나노 구조물이 형성되는 것이 확인되었는 바, 전열관에 초발수 표면이 구현됨을 확인하였다.

[0204] 실시예 6

[0205] 발수 코팅액 내의 실란계 화합물의 함량에 따른 접촉각 결과 비교

[0207] 제조예 6, 제조예 7 및 비교예 5와 같이 발수 코팅액 내의 실란계 화합물의 함량을 달리하여 발수 코팅액을 제조하고, 나노 구조물이 형성된 전열관을 침지시켜 발수 코팅층을 형성한 이후, 접촉각을 측정하였다.

[0209] 도 9는 제조예 6, 제조예 7 및 비교예 7에 대한 전진 접촉각, 정지 접촉각 및 후진 접촉각을 측정한 것으로, 발수 코팅액에 실란계 화합물을 0.05 중량부 포함시킨 비교예 5의 경우, 후진 접촉각이 104도 정도로 측정되었으며, 이는 코팅층이 불균일하게 형성됨을 의미한다고 할 것이며, 제조예 6 및 7의 경우, 모든 접촉각이 145도 이상으로 나타난 점에 비추어, 초발수성을 나타냄을 확인하였다.

[0211] 실시예 7

[0212] 전열관을 발수 코팅액에 침지시킬 때의 침지 시간에 따른 접촉각 결과 비교

[0214] 제조예 6, 제조예 8 및 비교예 8과 같이 발수 코팅액에 전열관을 침지시키는 시간을 달리하여, 발수 코팅층을 형성하고, 접촉각을 측정하였다.

[0216] 도 10은 제조예 6, 제조예 8 및 비교예 8에 의해 발수 코팅층이 형성된 전열관의 접촉각을 측정한 결과로, 비교예 8과 같이 발수 코팅액에 전열관을 60초만 침지시킬 경우, 정지 접촉각 및 후진 접촉각이 130도 정도로 측정되었으며, 이는 발수 코팅층이 불균일하게 형성됨을 의미하며, 상기의 비교예 6과 같이 발수 코팅층이 불균일하게 형성될 경우, 발수력이 떨어지는 문제가 있다.

[0218] 반면, 제조예 6 및 8과 같이 전열관을 발수 코팅액에 90초 이상 침지시켜 발수 코팅층을 형성할 경우, 모든 접촉각이 145도 이상으로 균일하게 발수 코팅층이 형성되었으며, 전열관 표면이 초발수력을 나타낸다고 할 것이다.

[0220] 실시예 8

[0221] 초발수 표면이 구현된 전열관의 응축 열전달 측정

[0223] 제조예 6에 의해 표면에 나노 구조물 및 발수 코팅층이 형성된 전열관 및 표면 개질을 하지 않은 알브라스로 구성된 전열관에 대해 응축 열전달 실험을 진행하였다.

[0225] 응축 열전달 시험은 도11과 같은 응축 열전달 실험 장비를 이용해 측정하였다. 스테인리스 재질의 사각 진공 챔버가 있고, 내부에 전열관이 연결된다. 정밀한 응축 열전달 계수를 측정하기 위해서는, 반드시 응축을 방해하는 불응축 가스 (Non-condensable gas)를 제거해야 하기 때문에 진공 펌프를 이용해 챔버 내부를 0.5 Pa 이하로 만든다. 해당 진공도는 진공 챔버 왼쪽에 연결된 진공 압력계 (Pressure sensor)를 통해 확인한다. 진공 챔버 오른쪽에 연결된 별도 스테인리스 원형 통을 이용해 0.5 Pa 이하의 진공도 환경이 만들어진 진공 챔버 내부로 흐

거운 스팀을 공급한다. 해당 스테인리스 원형 통에는 깨끗한 물을 넣고 히터를 이용해 물을 100도로 끓여서 위와 같은 스팀을 공급하였다. 이후에 진공 챔버 내부가 뜨거운 스팀 환경이 만들어지면, 진공 챔버 오른쪽에 연결된 항온수조 (Thermal bath)를 이용해 설정된 차가운 물 (25도)을 진공 챔버 내부에 연결되어 있는 전열관에 공급하였다. 해당 전열관은 전열관 연결 부위에 불필요한 응축을 막기 위해 단열재로 감싸있으며, 전열관의 입/출구 부분에 온도 측정 센서 (Thermocouple probe)를 연결해 항온수조로부터 공급된 물이 전열관을 통과할 때의 온도 변화를 측정하였다. 진공 챔버 왼쪽에 위치한 카메라 (CCD camera)를 이용해 전열관 외벽의 응축 거동을 관찰하고, 온도 센서로부터 측정된 온도값을 컴퓨터를 이용해 받아서 응축 열전달 계수를 최종 측정하였다.

[0227] 응축 열전달 계수는 다음과 같이 계산된다. 먼저 온도 측정 센서를 이용해 전열관 입/출구의 온도를 측정하고 이 값을 이용해 전열관으로 공급된 전체 에너지를 계산한다.

[0229]
$$Q = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})$$

[0231] 여기서, Q는 전체 열전달량, $\dot{m}$ 는 전열관 내부로 흐르는 물의 유량, C_p 는 물의 정압 비열, T_{end} 은 전열관 출구 쪽의 물의 온도, 그리고 T_{in} 은 전열관 입구 쪽의 물의 온도를 의미한다.

[0233] 계산한 전체 열전달량을 이용해 전체 열전달 계수값 (Overall heat transfer coefficient) 값을 계산한다.

[0235]
$$\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) = U A \Delta T_{LMTD}$$

[0237] 여기서, U는 전체 열전달 계수값, A는 전열관의 총면적, 그리고 T_{LMTD} 는 대수평균 온도차를 의미한다. T_{LMTD} 는 다음과 같이 계산된다.

[0239]
$$T_{LMTD} = \frac{(T_1 - T_{in}) - (T_1 - T_{out})}{\ln\left(\frac{T_1 - T_{in}}{T_1 - T_{out}}\right)}$$

[0241] 이렇게 계산한 전체 열전달 계수는 응축 열전달 계수 (Condensation heat transfer coefficient)와는 다르다. 전체 열전달 계수는 전열관 내부를 흐르는 물과 외부 스팀 사이의 열전달 계수값이다. 이 값에 전열관 내부를 흐르는 물에 의한 강제 대류 열전달 계수값과 전열관 두께에 의한 온도강하 영향을 빼줬을 때, 응축 열전달 계수를 얻을 수 있다. 따라서, 응축 열전달 계수는 다음과 같이 계산된다.

[0243]
$$h_c = \left(\frac{1}{U} - \frac{A}{A_i h_i} - \frac{A \ln(d_{OD}/d_{ID})}{2\pi L k_{Al-brass}} \right)^{-1}$$

[0245] 여기서, h_c 는 응축 열전달 계수, A_i 는 전열관 내부 면적, h_i 는 전열관 내부 물의 유동에 의한 강제 대류 열전달 계수, d_{00} 는 전열관 외경, d_{ID} 는 전열관 내경, L 은 전열관 길이, 그리고 $K_{Al-brass}$ 는 알브라스 전열관의 열전달 계수를 의미한다. h_i 는 다음과 같이 계산된다.

$$h_i = \frac{k_i}{d_{ID}} \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/4}-1)}$$

[0248] 여기서 f 는 관의 마찰 계수, Re 는 전열관 내부를 흐르는 물의 레이놀즈 수, 그리고 Pr 는 프란틀 수 이다.

표 2

	제조예 6	순수 알브라스
평균 응축 열전달 계수값(h_c)	59.6	14.4
표준 편차	1.4	0.7

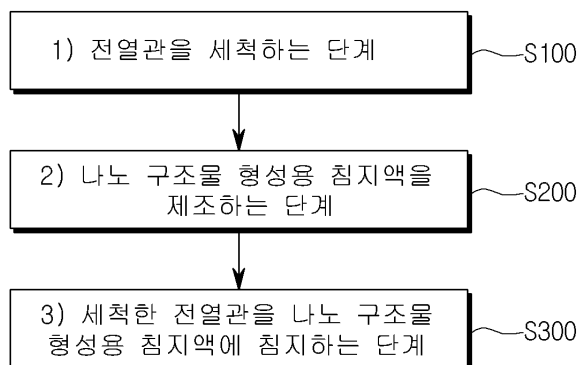
[0251] 응축 열전달 시험 결과, 표면 개질을 하지 않은 알브라스로 구성된 전열관과 비교하여, 제조예 6에 의해 표면에 나노 구조물 및 발수 코팅층이 형성된 전열관은 4.1배 가량 응축 열전달 성능이 상승하는 것으로 확인하였다.

[0253] 도 12과 같이 표면 개질을 하지 않은 알브라스 표면에서는 액막 형태의 응축이 진행되지만, 본 발명의 제조예 6과 같이 표면에 나노 구조물 및 발수 코팅이 형성된 알브라스 표면의 경우, 물방울 응축이 나타나며 액적이 쉽게 표면에서 제거되었다. 이러한 물방울 응축 거동은 필름 응축 거동보다 응축 열전달 성능이 뛰어나다고 할 것이다.

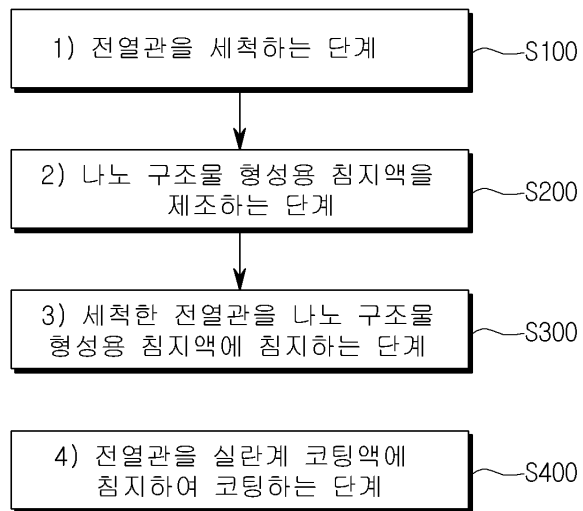
[0255] 도 13는 표면 개질을 하지 않은 알브라스 표면과 제조예 6의 알브라스 표면을 다양한 응축 레벨에서 응축 열전달 성능을 의미하는 열전달 계수(Supersaturation level, S)를 측정해본 결과, 제조예 6의 알브라스가 약 3배 가량 열전달 계수(Condensation heat transfer coefficient, h_c)가 큰 것을 확인하였다. 이는 본 발명의 일 실시예에 따른 초발수 표면이 구현된 전열관의 응축 열전달 성능이 표면 개질하지 않은 순수 알브라스로 구성된 전열관에 비해 훨씬 뛰어난 것을 의미한다고 할 것이다.

도면

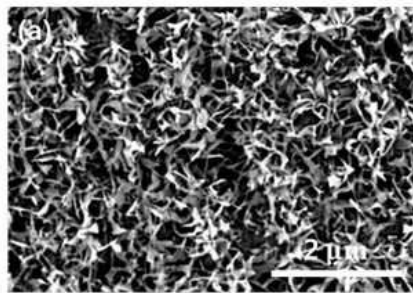
도면1



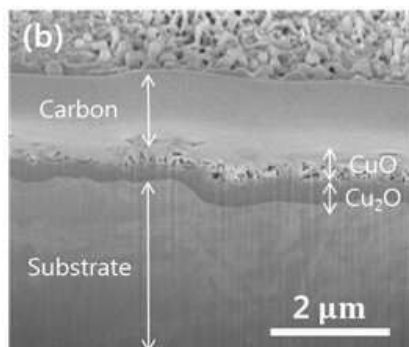
도면2



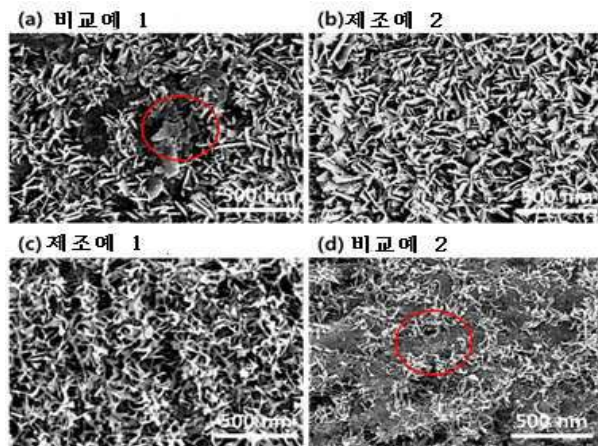
도면3



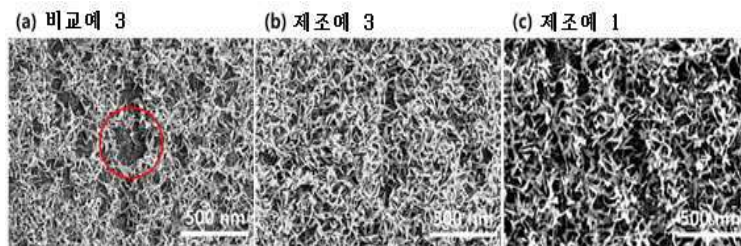
도면4



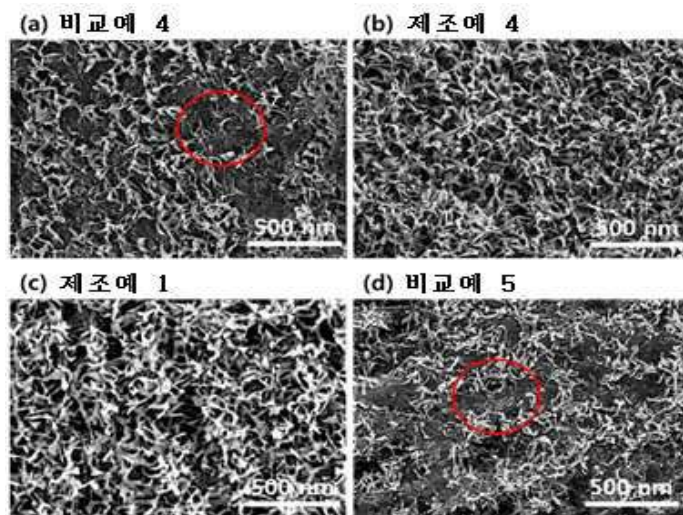
도면5



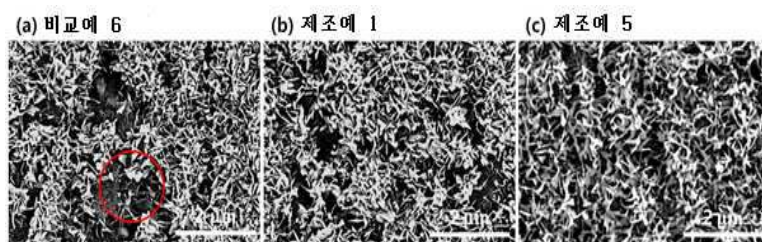
도면6



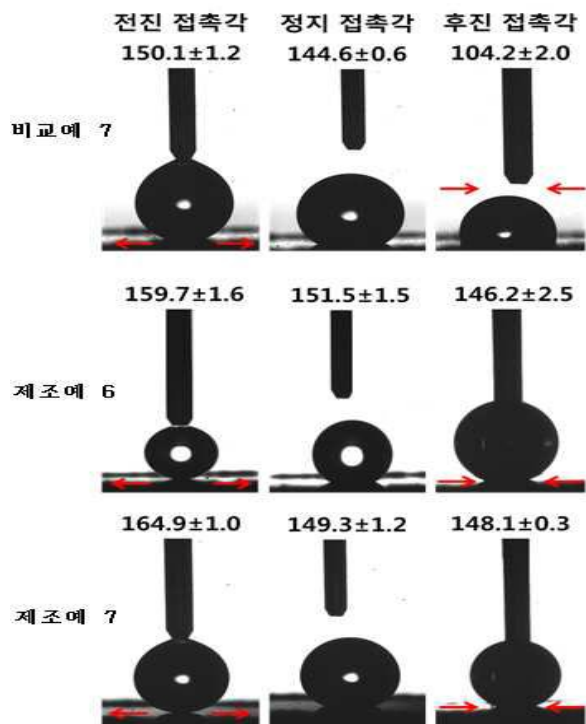
도면7



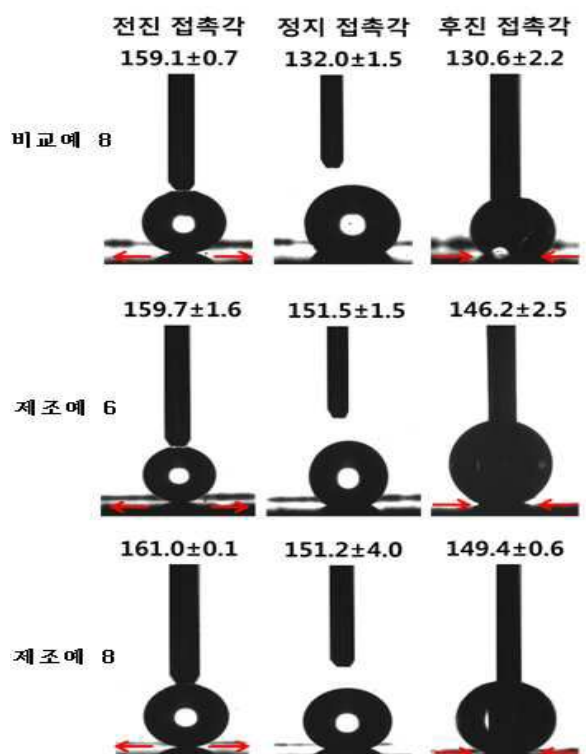
도면8



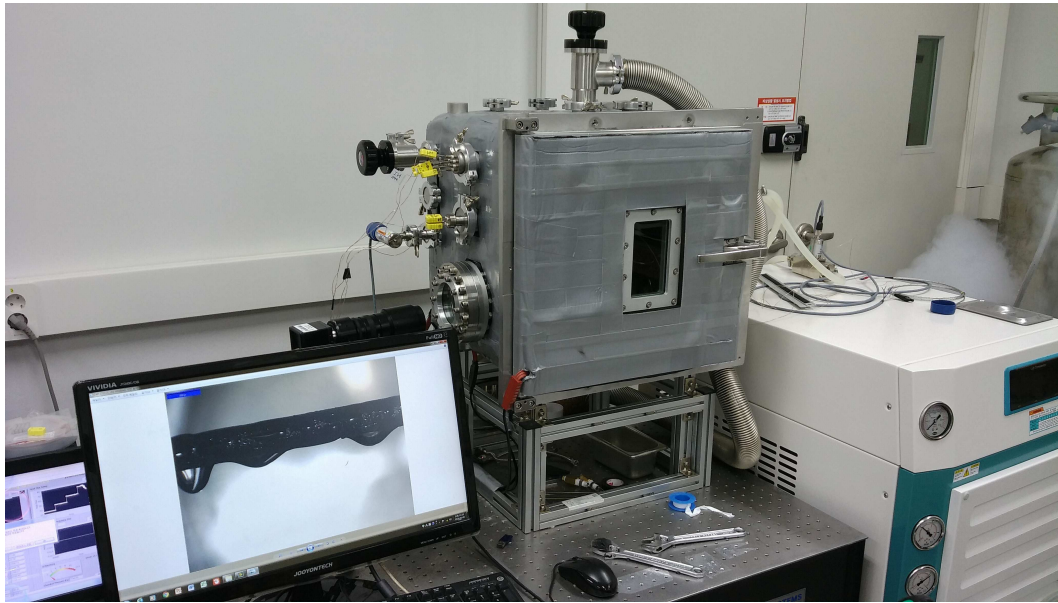
도면9



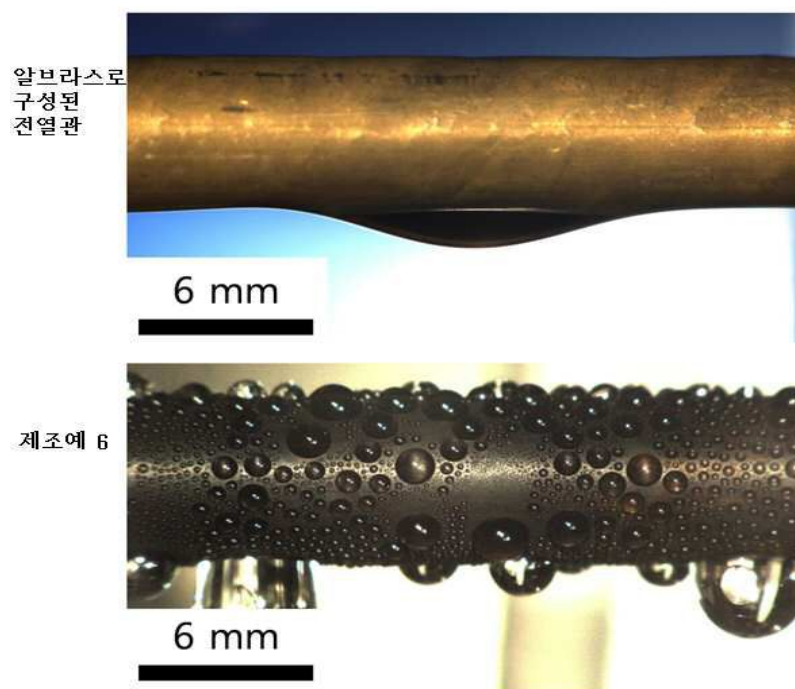
도면10



도면11



도면12



도면13

