(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0078195
(43) 공개일자 2022년06월10일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C09K 3/18 (2006.01) *C08K 3/34* (2006.01)
C08L 33/04 (2006.01) *C09D 183/04* (2006.01)
C09D 5/16 (2006.01) *C09D 7/61* (2018.01)
(52) CPC특허분류
C09K 3/18 (2013.01)
C08L 33/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0167468
(22) 출원일자 2020년12월03일
심사청구일자 2020년12월03일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
이한보람
서울특별시 강서구 우장산로8길 49, 901호(내발산동, 홍익아파트)
문찬희
경기도 안산시 상록구 본오로8길 29, 201호
(74) 대리인
차준용

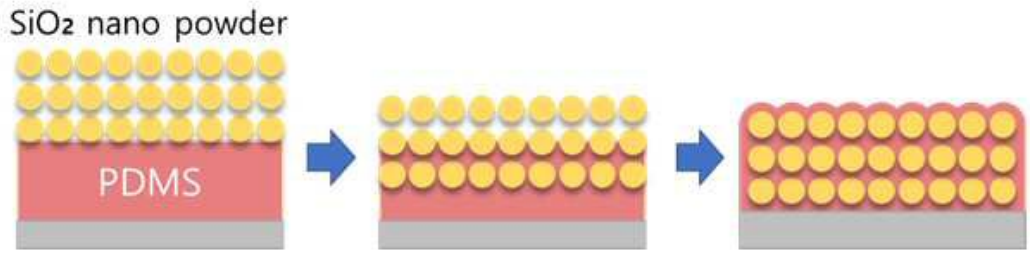
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법**

(57) 요 약

본 발명은 a) PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산 (Polyacrylicacid, PAA)를 혼합하여 혼합 용액을 마련하는 단계; b) 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계; c) 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 SiO_2 분말을 균일하게 덮이도록 뿌려주는 단계; 및 d) 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하게 하여 상기 기재 상에 아이스포빅 표면층을 형성하는 단계;를 포함하는, 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법에 관한 발명이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C09D 183/04 (2013.01)
C09D 5/1681 (2013.01)
C09D 7/61 (2018.01)
C08K 2003/343 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1525010434
과제번호	PE20900
부처명	해양수산부
과제관리(전문)기관명	극지연구소
연구사업명	극지연구소운영지원(R&D)
연구과제명	2020년도 국내 학·연 극지연구 진흥프로그램(PAP사업)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	극지연구소
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

a) PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산 (Polyacrylicacid, PAA)를 혼합하여 혼합 용액을 마련하는 단계;

b) 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계;

c) 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 SiO_2 분말을 균일하게 덮이도록 뿌려주는 단계; 및

d) 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하게 하여 상기 기재 상에 아이스포빅 표면층을 형성하는 단계;를 포함하는, 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 아이스포빅 표면층의 물과의 접촉각은 150도 이상인 것을 특징으로 하는 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하는 단계는 모세관 현상에 의해 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)가 상기 SiO_2 분말의 표면으로 흡습되면서 수행되는 것을 특징으로 하는 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 기재 상에 형성된 아이스포빅 표면층 중 외부에 노출된 표면에는 SiO_2 분말을 둘러싼 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 돌기가 형성된 것을 특징으로 하는 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계는 스핀 코팅, 브러쉬(brush) 코팅 및 딥코팅(Dip coating) 중 어느 하나 이상의 방법에 의해 수행되는 것을 특징으로 하는 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 SiO_2 분말의 평균 입경은 1.0 μm 내지 5.0 μm 인 것을 특징으로 하는 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법에 관한 발명이다.

배 경 기 술

[0003] 혹한의 상황에서 표면의 결빙문제는 다양한 장치와 장비의 오작동 혹은 고장을 야기할 수 있으며 물리적인 파괴에 이르게 할 수 있다.

[0004] 물체 표면에 수분의 결빙을 방지하거나, 형성된 얼음의 부착 강도를 낮추는 아이스포빅(Icephobic) 코팅 기술이 최근 주목 받고 있다.

[0005] 아이스포빅 특성의 구현에는, 일차적으로 물방울을 흡수하지 않고 튕겨내는 초발수(Superhydrophobic) 특성을 제공하는 것이 필요하다. 이러한 초발수 특성은 초소수성 처리에 의해 구현될 수 있으며, 일반적으로 표면에 미세한 요철구조를 형성하고 소수성을 띨 수 있도록 화학적 표면 처리를 행할 때 달성될 수 있는 것으로 알려져 있다. 즉, 소수성 특성을 나타내는 표면이 마이크로 나노 패턴 등에 의해 표면 거칠기가 증가하는 경우 표면에서 물과의 접촉각이 150도 이상으로 초발수성을 나타내는 것으로 알려져 있다.

[0006] 그러나, 기존 아이스포빅 표면의 구현방법에서 사용되는 에칭(Etching) 혹은 리소그래피(Lithography), 전기방사법(Electrospinning) 등은 낮은 경제성과 효율성, 대면적 코팅이 불가능하다는 단점이 있다.

[0007] 따라서, 초발수성을 위한 표면 거칠기 및 소수성 처리와 관련하여 경제성 및 공정성 측면에서 개선된 기술에 대한 연구가 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2020-0050981호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 액체 상태에서 쉽게 경화시킬 수 있는 소수성 폴리머(PDMS, 에폭시)에 마이크로/나노 파우더를 뿌려줌으로써 아이스포빅(100kPa 이하의 압력에서 표면 얼음을 제거하는 능력) 특성을 가진 마이크로/나노 구조를 형성하는 코팅 방법이 제안된다.

과제의 해결 수단

[0010] 상기 기술적 과제를 해결하고자, 본 발명은 a) PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산 (Polyacrylicacid, PAA)를 혼합하여 혼합 용액을 마련하는 단계; b) 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계; c) 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 SiO_2 분말을 균일하게 덮이도록 뿌려주는 단계; 및 d) 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하게 하여 상기 기재 상에 아이스포빅 표면층을 형성하는 단계;를 포함하는, 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법을 제공한다.

[0011] 상기 아이스포빅 표면층의 물과의 접촉각은 150도 이상인 것을 특징으로 한다.

[0012] 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하는 단계는 모세관 현상에 의해 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)가 상기 SiO_2 분말의 표면으로 흡습되면서 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0013] 상기 기재 상에 형성된 아이스포빅 표면층 중 외부에 노출된 표면에는 SiO_2 분말을 둘러싼 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 돌기가 형성된 것을 특징으로 한다.

[0014] 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계는 스핀 코팅, 브러쉬(brush) 코팅 및 딥코팅(Dip coating) 중 어느 하나 이상의 방법에 의해 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 SiO_2 분말의 평균 입경은 1.0 μm 내지 5.0 μm 인 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0016] 본 발의 일 실시형태에 따른 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법에 의할 경우 PDMS와 SiO_2 분말의 자발적인 모세관 현상에 의해 간단한 공정과 비교적 저렴한 재료의 비용으로 종래 아이스포빅 코팅 공정 방법에 비하여 뛰어난 가격 경쟁력을 가진다.

[0017] 또한, 대면적 코팅이 용이하여 넓은 분야에서 적용될 수 있다는 장점이 있다.

[0018] PDMS가 코팅된 마이크로/나노 구조는 PMDS의 낮은 표면에너지 때문에 초소수성 특성(water contact angle > 150도)과 낮은 water contact angle hysteresis(< 20도)를 띄게 된다.

[0019] 특히, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 아이스포빅 코팅은 나노/마이크로 SiO_2 파우더의 입도가 작을수록 더 향상된 아이스포빅 특성을 보이며, 평균 입경 1.32μm의 SiO_2 파우더를 사용한 경우 최소 92.1kPa의 압력으로 표면에서 얼음을 제거할 수 있어, 본 발명과 같은 표면 코팅층이 없는 경우에 비하여 최소 4배 이상의 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength) 감소 효과가 있었다.

도면의 간단한 설명

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 아이스포빅 코팅층을 형성하는 과정을 나타내는 도면이다.

도 2는 코팅층이 없는 기재 (SS304)와 아이스포빅 코팅층(PDMS/SiO_2)의 (a) 접촉각과 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength), (b) 동적 접촉각을 나타내는 도면이다.

도 3은 볼밀링을 통한 파우더의 입도별 (a) SEM (Scanning Electron Microscope) 분석 사진, (b) 코팅시 접촉각과 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength)를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 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.

[0024] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 아이스포빅 코팅층을 형성하는 과정을 나타내는 도면이다.

[0026] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시형태에 따른 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법은, a) PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산(Polyacrylicacid, PAA)를 혼합하여 혼합 용액을 마련하는 단계; b) 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계; c) 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 SiO_2 분말을 균일하게 덮이도록 뿌려주는 단계; 및 d) 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하게 하여 상기 기재 상

에 아이스포빅 표면층을 형성하는 단계;를 포함한다.

[0028] 본 발명의 일 실시형태에 따른 아이스포빅 표면 구현방법은 우선 PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산 (Polyacrylicacid, PAA)를 혼합하여 혼합 용액을 마련하는 단계를 수행한다.

[0029] 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산 (Polyacrylicacid, PAA)은 100 : 10 : 3의 비율로 혼합하여 혼합 용액을 마련할 수 있으나, 반드시 이에 제한되는 것은 아니다.

[0030] 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)와 경화제 (curing agent) 및 폴리아크릴산 (Polyacrylicacid, PAA)를 100 : 10 : 3의 비율로 혼합하여 혼합 용액을 마련한 후 혼합시 발생한 기포들은 진공 상태의 데시케이터(Desiccator)에 20분간 넣어줌으로써 제거한다.

[0031] 다음으로, 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계가 수행된다.

[0032] 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계는 스핀 코팅, 브러쉬(brush) 코팅 및 딥코팅(Dip coating) 중 어느 하나 이상의 방법에 의해 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0033] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계는 스핀 코팅에 의해 수행될 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니며 상황에 따라 브러쉬(brush) 코팅 또는 딥코팅(Dip coating) 방법에 의해 수행될 수 있다.

[0034] 상기와 같이 서로 다른 공정인 스핀 코팅, 브러쉬(brush) 코팅 또는 딥코팅(Dip coating)을 각각 적용하더라도 본 발명의 일 실시형태 따른 초소수성 및 아이스포빅 특성은 동일하게 유지될 수 있다.

[0035] 특히, 본 발명의 일 실시형태에서 상기 혼합 용액을 기재 상에 코팅하는 단계를 브러쉬(brush) 코팅 또는 딥코팅(Dip coating) 방법에 의해 수행할 경우 대면적 코팅이 가능하다는 우수한 장점이 있다.

[0036] 상기 기재는 특별히 제한되는 것은 아니며, 예를 들어 스테인레스 스틸 304 (SS304)가 사용될 수 있다.

[0037] 상기 스테인레스 스틸 304 (SS304) 기재를 아세톤, 이소프로판올 및 탈이온수로 각각 10분 동안 초음파 세척기에서 세척하고, 상기 스테인레스 스틸 304 (SS304) 기재를 스핀 코터에 위치시키고 혼합된 상기 혼합 용액을 떨어뜨리며, 100 RPM에서 5초 및 800 RPM에서 60초간 스핀 코팅을 진행한다.

[0038] 다음으로, 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 SiO_2 분말을 균일하게 덮이도록 뿌려주는 단계가 수행된다.

[0039] 상기 단계는 체를 이용하여, 나노/마이크로 SiO_2 분말을 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 균일하게 덮이도록 뿌려준다.

[0040] 상기 SiO_2 분말의 평균 입경은 1.0 μm 내지 5.0 μm 인 것을 특징으로 하는 나노/마이크로 SiO_2 분말일 수 있다.

[0041] 다음으로, 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하게 하여 상기 기재 상에 아이스포빅 표면층을 형성하는 단계가 수행된다.

[0042] 상기 단계는 상기 나노/마이크로 SiO_2 분말을 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 균일하게 덮이도록 뿌린 후 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 상기 SiO_2 분말이 충분히 스며들 수 있도록 상온에서 대기한다.

[0043] 그 이후, 질소 블로잉을 통하여 PDMS(Polydimethylsiloxane)와 결합되지 않은 분말을 제거한 후 80 ℃로 예열된 오븐에서 3시간 동안 경화시킨다. 오븐에서 꺼낸 샘플에 한번 더 질소 블로잉을 함으로써, 남은 파우더를 제거하면 최종적으로 상기 기재 상에 아이스포빅 코팅층을 형성할 수 있다.

[0044] 상기 아이스포빅 코팅층의 두께는 스핀 코팅의 RPM을 제어함으로써 조절 가능하며, 약 200 μm 일 수 있다.

[0045] 상기와 같이 본 발명의 일 실시형태에 따른 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법은 액체 상태에서 쉽게 경화시킬 수 있는 소수성 폴리머(PDMS, 에폭시)가 마이크로/나노 파우더와의 표면에너지 차이로 인하여 자발적으로 코팅이 됨으로써 낮은 표면에너지를 가지는 마이크로/나노 구조 표면을 형

성하는 것이다.

[0046] 상기 PDMS가 코팅된 마이크로/나노 구조는 PMDS의 낮은 표면에너지 때문에 초소수성 특성(water contact angle > 150도)과 낮은 water contact angle hysteresis(< 20도)를 띄게 된다. 이는 표면의 나노 구조로 인하여 생긴 공기층이 물방울을 떠받치기 때문에 생기는 현상으로 표면과 물방울이 작은 접촉면적을 가지고 있음을 나타낸다.

[0047] 즉, 얼음이 얼었을 때에도 마찬가지로 얼음과 표면의 작은 접촉면적으로 인하여 얼음을 분리할 때의 ice adhesion이 적어지게 되므로 쉽게 얼음을 제거할 수 있다.

[0048] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 92.1kPa의 압력에서 얼음이 제거되는 특성을 확인하였다.

[0049] 복잡하고 비용이 많이 드는 기존의 아이스포빅 코팅의 단점을 보완하여 비교적 값이 저렴한 재료들로 간단하게 대면적 코팅이 가능하다는 것이 본 발명의 특징이다. 이러한 아이스포빅 코팅은 낮은 온도에서 사용되는 장비 혹은 기기에 적용되어 결빙으로 인한 사고를 예방할 수 있다.

[0051] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 상기 아이스포빅 표면층의 물과의 접촉각은 150도 이상인 것을 특징으로 한다.

[0052] 본 발명에서는 나노/마이크로 SiO_2 파우더들이 형성하는 나노/마이크로 구조에 PDMS가 자발적으로 코팅되는 현상을 이용하였기 때문에, 일반적인 기재의 표면 및 PDMS만으로 코팅된 표면에 비하여 물과의 접촉각이 더욱 크며, 150도 이상을 구현할 수 있다.

[0053] 특히, SiO_2 분말의 평균 입경을 1.32 ㎛로 조절하여 사용한 본 발명의 아이스포빅 표면층의 물과의 접촉각은 160도까지 구현할 수 있다.

[0054] 이로 인하여, 최소 92.1kPa의 압력으로 표면에서 얼음을 제거할 수 있어, 본 발명과 같은 표면 코팅층이 없는 경우에 비하여 최소 4배 이상의 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength) 감소 효과가 있다.

[0056] 본 발명의 일 실시형태에 따른 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현방법은 상술한 바와 같이 상기 기재 상에 코팅된 혼합 용액 층 상부에 SiO_2 분말을 균일하게 덮이도록 뿌려주는 단계와 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하는 단계를 포함하며, 이 때 상기 SiO_2 분말에 PDMS(Polydimethylsiloxane)가 자발적으로 코팅된다.

[0057] 실제 이론적 계산에 의해 PDMS(Polydimethylsiloxane) 내부로 상기 SiO_2 분말이 침전되는 시간(1)과, PDMS(Polydimethylsiloxane)가 상기 SiO_2 분말을 흡습하는 시간(2)을 계산할 경우, 흡습으로 인한 코팅이 주도적으로 진행됨을 알 수 있다.

[0058] (1) Stoke's law

$$V=\left[\frac{\rho_s-\rho_l}{18\mu}g\right]d$$

[0059]

[0060] 여기서, V는 침강 속도, ρ_s와 ρ_l은 각각 SiO_2 분말과 PDMS의 밀도, g는 중력가속도이고, d는 파우더의 지름이며, μ는 PDMS의 점도를 나타낸다.

[0061] 즉, Stoke' law에 의해 나노/마이크로 SiO_2 분말이 PDMS 내부로 침전되는 속도를 계산할 수 있다.

[0062] PDMS 용액 위에 5㎛의 나노/마이크로 SiO_2 분말이 있다고 가정했을 때, 나노/마이크로 SiO_2 분말은 PDMS보다 밀

도가 크기 때문에 가라앉게 된다 (SiO_2 분말의 밀도=2.65 g/cm^3, PDMS의 밀도=0.965 g/cm^3).

[0063] 위 식으로부터 SiO_2 분말의 침전 속도를 계산해 보면 6.6 nm/s 인 것을 알 수 있다.

[0065] (2) Washburn's equation

$$L=\sqrt{\frac{\gamma rtCos\theta}{2\eta}}$$

[0066]

[0067] 여기서, γ는 액체의 표면 텐션이고, Θ는 분말과 액체 사이의 접촉각, η는 동적 속도이고, r은 평균 포어 크기, t는 침투시간을 나타낸다.

[0068] 두 번째 모델인 모세관 현상에 의해 PDMS가 SiO_2 분말 입자 위로 흡습되는 침투 길이 L은 Washburn's equation에 의해 얻어진다.

[0069] Washburn's equation은 다공성 구조에서 일어나는 모세관 현상에 대한 방정식이다.

[0070] γ를 20 mN/m, Θ를 0° , L을 70 μm, η를 3.5 Pa·s 및 r을 1 μm로 가정했을 때 침투시간 t는 약 15.75 s로 계산되며, 9.5 μm/s의 속도로 SiO_2 분말에 상기 PDMS가 흡습됨을 알 수 있다.

[0071] 상기 값은 (1)에서 얻은 침전에 의한 코팅보다 확실히 짧은 시간이다. 즉, 모세관현상에 의해 발생하는 PDMS가 위로 흡습되는 모델이 더 자연스럽게 일어난다. 이는 아이스포빅 코팅 공정에서 모세관현상에 의한 모델이 침식에 의한 모델보다 지배적이라는 것을 뜻한다.

[0073] 즉, 본 발명의 일 실시형태에 따르면, 상기 SiO_2 분말이 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 혼합 용액 층 내부로 침투하는 단계는 모세관 현상에 의해 상기 PDMS(Polydimethylsiloxane)가 상기 SiO_2 분말의 표면으로 흡습되면서 수행되는 것을 특징으로 한다.

[0075] 도 2는 코팅층이 없는 기재 (SS304)와 아이스포빅 코팅층(PDMS/SiO_2)의 (a) 접촉각과 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength), (b) 동적 접촉각을 나타내는 도면이다.

[0076] 도 2를 참조하면, 기존 SS304 표면 위에서는 85.6도로 낮은 contact angle과 361kPa이라는 높은 ice adhesion을 가지고 있다.

[0077] 하지만, 본 발명의 일 실시형태에 따른 소수성 폴리머와 마이크로/나노 파우더를 이용한 아이스포빅 표면 구현 방법에 따라 표면을 소수성, 초소수성 코팅으로 변화시킬 경우 물과의 접촉각(Contact Angle, CA)은 최대 150도, 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength)는 최대 158kPa로 2배 이상 icephobic 효과가 증가한 것을 확인할 수 있었다.

[0079] 도 3은 볼밀링을 통한 파우더의 입도별 (a) SEM (Scanning Electron Microscope) 분석 사진, (b) 코팅시 접촉각과 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength)를 나타내는 도면이다.

[0080] 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시형태에서 상기 기재 상에 형성된 아이스포빅 표면층 중 외부에 노출된 표면에는 SiO_2 분말을 둘러싼 PDMS(Polydimethylsiloxane)를 포함하는 돌기가 형성된 것을 특징으로 한다.

[0081] 즉, SiO_2 파우더를 밀링하여 1.32μm의 SiO_2 파우더를 이용하여 실험을 진행하였을 때 도 3의 SEM (Scanning Electron Microscope) 사진에서 볼 수 있듯이 같은 단위면적 내에 더 많은 분말을 통한 돌기들을 확인할 수 있다. 이러한 나노 구조의 변화로 인하여 물방울을 떠받힐 수 있는 공기 트랩을 증가시킨 경우 물과의 접촉각

(Contact Angle, CA)은 최대 10도 이상 증가하였으며, 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength)는 92.1kPa까지 낮아짐을 확인할 수 있었다.

[0082] 즉, SiO_2 분말의 평균 입경을 1.32 μm로 조절하여 사용한 본 발명의 아이스포빅 표면층의 물과의 접촉각은 160도까지 구현할 수 있다.

[0083] 이로 인하여, 최소 92.1kPa의 압력으로 표면에서 얼음을 제거할 수 있어, 본 발명과 같은 표면 코팅층이 없는 경우에 비하여 최소 4배 이상의 얼음 부착 강도(Ice Adhesion Strength) 감소 효과가 있다.

[0084] 상기 본 발명의 일 실시형태에 따른 방법으로 형성된 PDMS가 코팅된 나노구조는 PDMS의 낮은 표면에너지로 인하여 cassie baxter 모델 특성이 지배적으로 나타난다. Cassie baxter 모델은 높은 contact angle (> 150도)과 낮은 동적 접촉각(슬라이딩 앵글, 접촉각 히스테리시스)으로 확인할 수 있다. Cassie baxter 모델은 얼음과의 접촉면적이 작아져서 ice adhesion이 줄어들게 만든다. 이는 PDMS 나노 구조가 형성하는 공기 층이 물방울을 떠받히기 때문이다. 본 발명에서 Cassie baxter 모델 특성의 향상을 위해서 SiO_2 분말을 볼밀링 함으로써 평균 입도를 조절하였고, 분말의 입도가 작을수록 조밀한 미세구조가 형성되어 동일한 단위 면적당 얼음을 떠받힐 수 있는 더 많은 공기층을 형성하기 때문에 얼음과 표면의 접착력이 더 작아지는 것을 확인하였다.

[0086] 본 발명의 일 실시형태에 따르면, PDMS와 SiO_2 분말의 자발적인 모세관 현상에 의해 간단한 공정과 비교적 저렴한 재료의 비용으로 종래 기존의 아이스포빅 코팅 공정 방법에 비하여 뛰어난 가격경쟁력을 가진다. 또한 대면적 코팅에 용이하여 넓은 분야에서 적용될 수 있다는 장점이 있다.

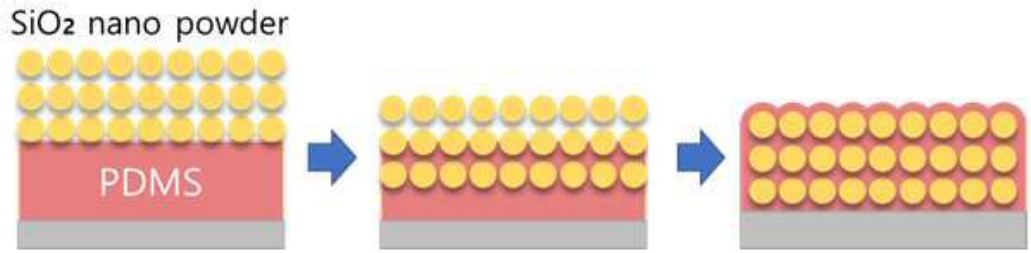
[0087] 또한, 비행기나 선박 등의 교통수단에서 오작동을 야기할 수 있는 엔진을 포함한 주요 부품의 결빙을 방지하거나, 얼음이 형성되더라도 쉽게 얼음이 제거되어 작은 사고부터 큰 인명사고까지 다양한 문제를 예방할 수 있다.

[0088] 또한, 낮은 온도에서 표면 결빙으로 기능 고장 혹은 손상이 발생할 수 있는 통신탑이나 안테나 등의 외부 노출 시설물에 적용하여 결빙 문제를 예방할 수 있고, 관리 비용을 절감할 수 있다.

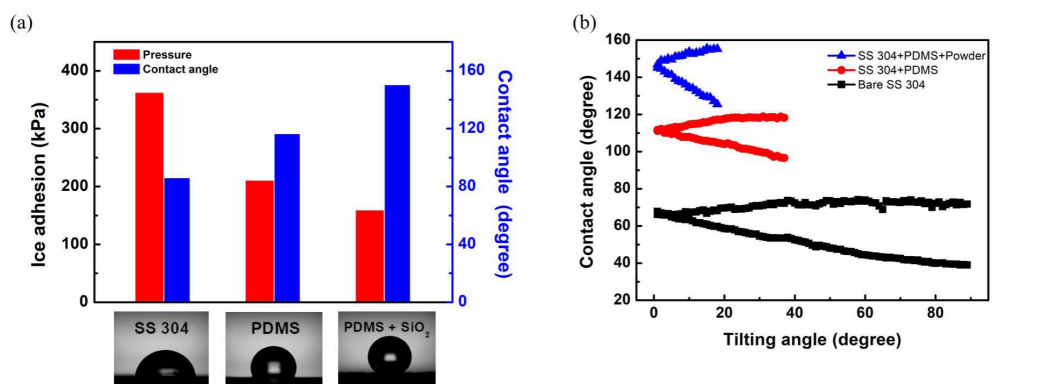
[0090] 이상에서 설명한 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어서 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위내에서 여러 가지 치환, 변경이 가능하므로 전술한 실시예에 한정되는 것은 아니다.

도면

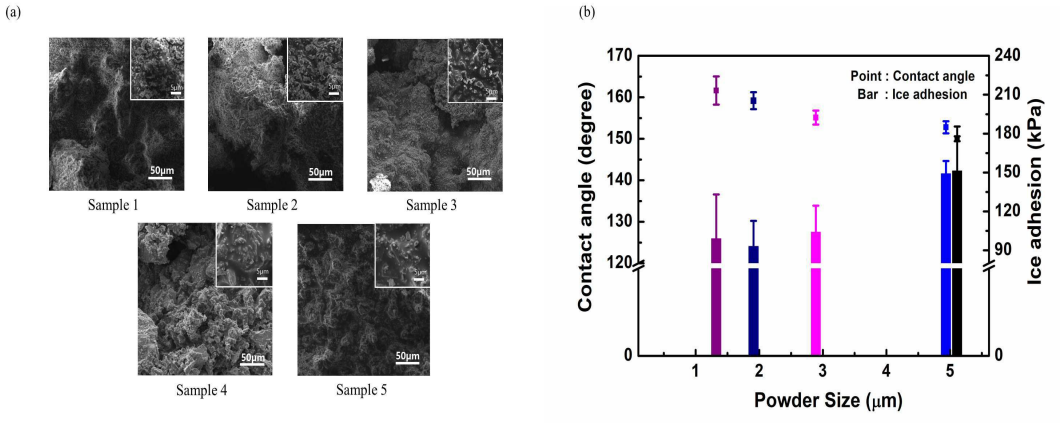
도면1



도면2


(a)
Pressure
Contact angle
Ice adhesion (kPa)
Contact angle (degree)
SS 304
PDMS
PDMS + SiO2
(b)
SS 304+PDMS+Powder
SS 304+PDMS
Bare SS 304
Contact angle (degree)
Tilting angle (degree)

도면3


(a)
Sample 1
Sample 2
Sample 3
Sample 4
Sample 5
(b)
Point : Contact angle
Bar : Ice adhesion
Contact angle (degree)
Ice adhesion (kPa)
Powder Size (μm)