

초소수성 멤브레인

1. 소개

최근 나노기술의 발전으로 소수성(hydrophobic) 재료를 이용하여 마이크로 나노구조를 구축하거나 또는 소수성 나노구조의 표면에 낮은 표면에너지(surface energy) 화학물질을 수식하고 표면에 초



김형원

hwonkim@reseat.re.kr

한양대학교 화학공학과 학사
前 LG엔지니어링(주) 상무
前 STX 제일중합기술 부서장
KISTI ReSEAT전문연구위원

소수성(superhydrophobic)을 부여시켜 물과의 접촉각을 극대화(160° 이상)하여 방수 및 방오재료로 개발 또는 다성분의 선택적 분리기술로 이용된다.

더욱이 최근 오묘한 자연모방 또는 생체모방 기술에 근거하여 점성을 제어하는 초소수성 표면은 특정 영역에서 마이크로 액체방울의 무손실 운반이 가능하다. 또한 점성이 없는 초소수성 표면 재료는 여러 가지 독특한 기능을 나타내어 자체 청결과 저항력 감소에 응용된다. 전기방사에 의한 초박막·초경량 초소수성 나노필름으로 코팅한 재료는 호흡성(breathable)은 물론 방수나 자가



청소표면 등의 응용분야에 초점을 맞추고 있지만 이 물질들의 강하고 굴곡진 표면에 기인한 물의 반발성질에 기인하여 광범위하게 약물 방출기간을 조절하는 약물전달물질의 적합성도 입증된 바 있어 의/약학적으로 이용된다. 연구자들은 무지개빛(iridescence)과 초소수성과 관련된 두 자연적 기술을 모방하여 다층의 그래핀 산화물(graphene oxide) 위에 다양한 구조를 만드는 데 성공했다. 초소수성 표면은 미세유체장치에 중요하며 생체유사 표면들은 그래핀의 다른 뛰어난 화학, 물리, 전기적 속성을 많이 이용할 수 있다.

초소수성 나노구조 표면들은 액체 수송, 태양전지와 멤브레인(membrane)의 투과증발 효과를 활용하여 분리가 어려운 성분을 고효율로 선택적 분리를 할 수 있기에 화학플랜트분야에 응용되고 미세전자장치 등에도 이용이 가능하여 전기, 전자, 반도체, 자동차, 바이오, 에너지, 물, 환경 등 국가 주력산업에 이용할 수 있는 우리나라 산업플랜트 미래의 핵심 유망기술이다. 정밀여과용 초소수성 멤브레인 기술은 상변화 없이 직접 접촉식 막 증류법을 이용한 최적의 해수담수화시스템으로 세계적인 물 부족의 해결은 물론 바

이오연료 중의 연료성분, 수소 및 질소, CO₂와 같은 가스분리의 효율성을 높여 우리나라 플랜트기술의 다각화와 시장다변화에 중요한 역할을 할 수 있다.

2. 초소수성 표면의 특징과 이의 활용기술

2.1 초소수성 표면의 특징

대부분 자연의 초소수성 표면에서 물방울이나 기름방울은 주위 오염물질을 감싸고 표면을 흘러내려 고도의 수분-반발 성질을 보인다. 이는 액체방울의 높은 접촉각(water contact angles)에 기인한다. 소수성은 일반적으로 표면에 접촉하고 있는 물방울의 접촉각의 측정치로 표현한다. 표면의 거칠거칠함(roughness)은 액체의 접촉각에 영향을 준다. 높은 접촉각의 초소수성 표면을 만들기 위한 연구와 이의 응용에 높은 관심을 모으고 있다. 자연모방 연구결과 소수성 표면의 형상학적 구조와 화학적 성분의 조화는 이들 간의 접착력을 변화시킴으로써 표면의 독특한 기능성에 극적인 역할을 하는 것으로 알려졌다.

2.2 초소수성 방수, 방오, 방식 및 선택적 발한 표면

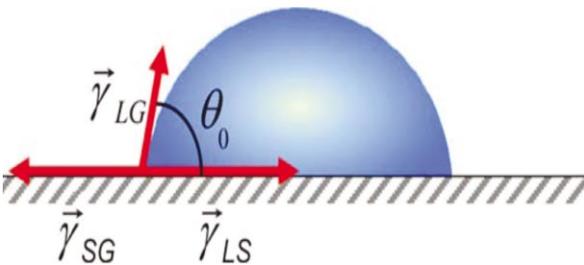
Zhou 일행은 전기화학적 양극처리와 자체-조립기술의 단순한 조합에 의해서 Ti과 Al기저에 초소수성 금속

산화물층을 제조하였다. 매끄러운 표면에 비하여 나노기공의 금속산화물은 산성에서 알칼리에 이르는 넓은 pH 범위에서 탁월한 자체 청결 성능 및 안정성을 보여 다양한 부식 환경에서 이를 활용하여 산업플랜트에 이용될 수 있다. Jiang 연구그룹은 격자 나노니들 구조에 조각한 배향의 나노홈(nano-groove)을 가지는 꼴이진 원추형 나노니들 구조의 물위를 걷는 인조다리를 성공적으로 조립하였다. 투습방수필름제조는 초소수성을 가지는 폴리에틸렌(PE, PP)계열의 소재를 이용, 필름형성 시 용해성 첨가물을 혼입한 후 이를 제거한 초소수성 다공성 필름의 제조, 소수성고분자(Polyether, Polyurethane)를 혼용하는 다중-층 제조기술 등이 있다. 그림 1과 같이 전기방사로 얻어지는 고밀도 기능성 복합 nano-web은 높은 기공도의 적층구조의 복합 초소수성 멤브레인으로 방수·방오 물질 및 그라스의 제조에 활용된다.

Jin 연구일행은 알루미늄 멤브레인 모형을 이용하여 높은 이력현상을 가지는 잘 정렬된 초소수성 폴리스티렌 나노튜브를 성공적으로 제조하였다. 이 높은 접착력은 물과 밀접하게 접촉하고 있는 조밀하게 쌓인 비극성의 폴리스티렌 나노튜브간의 van der Waals 힘의 증가에 기인한다.

2.3 초소수성 항결빙·항안개 및 집수 표면

최근 극-냉각 표면에서 정적 물방울 결빙에 관한 연



[그림 1] 초소수성 표면과 방수·방수 표면



구가 높은 관심을 받고 있다. Aizenberg 연구일행은 얼음 핵 형성이전에 물에 대한 충격배적 능력으로 인해 $-20 \sim 30^{\circ}\text{C}$ 범위에서 얼음이 생기지 않는 초소수성 물질을 개발하였다. 초소수성 표면은 항결빙성능 이외에 매끄러운 표면에 비하여 3상 선(TPL)의 준안정성에 기인하여 안개형성을 지연시킬 수 있다. Gao 일행은 석판인쇄술을 이용하여 폴리디메틸실록산 마이크로 반구와 실리카 나노구를 변형시켜 높은 항안개 성능의 인조 초소수성 화합물을 성공적으로 조립하였다.

최근 Zheng 연구 일행은 거미줄에 수집된 지향적 물방울에 대해 상세한 기계론적 연구를 한 결과, 이들 거미줄 구조는 나노섬유로 만들어진 무작위 방추매듭으로 정기적 변화를 함으로써 수분이 분리/수집되는 'wet-rebuilt'를 택한다는 것을 확인하였다. 이 거미줄 구조를 모방하여 지향적 수분-수집 인조섬유를 제조하였다. 또 다른 예로서 Cohen 연구 일행은 진한 안개공기로부터 음료용 집수의 초소수성 막을 제조하였다.

2.4 초소수성 물질의 약물전달시스템

호주 CSIRO, 싱가포르 난양기술대학 및 캐나다 토론토 대학의 연구진은 수직으로 정렬된 탄소나노튜브 어레이(array)의 표면 초소수성이 rhBMP-2의 생물활성(bioactivity), 방출속도, 체류 등은 골재생과 구강재건을 맡고 있는 인간 간엽 줄기세포의 분화를 자극할 수 있는 성장인자라는 것을 확인하였다. 이 새로운 물질은 생체분자와 전달시스템 간의 복합 상호작용을 연구하는 새로운 플랫폼을 제공하고 진보된 약물전달 시스템의 개발과 약품디자인을 촉진한다. 보스턴대학의 Mark Grinstaff는 초소수성 물질은 혈액과 같은 액체 속으로 스며들 때까지 초소수성 표면에 업로딩(uploading)된 약물이 달아나지 못하게 막아주는 현상을 확인하고 약물방출 속도 조절에 이용하기 위해 의학적 효율성을 평가하고 있다.

2.5 초소수성 표면을 이용한 선택적 분리

액체흐름의 유체저항의 감소는 거친 마이크로 또는 나노구조의 초소수성 표면에서 포착된 공기층에 의해서 분자인력의 감소와 이에 따른 액체-고체 접촉면적의 감소

에 기인한다. Carlborg 연구 일행은 높은 액체 압력과 대량 액체 흐름의 큰 마이크로채널에서 마찰을 감소시키기 위하여 새로운 자체조절기술을 보고하였다. 이 기술은 종전의 초소수성 표면에서 고압의 흐름에서 오는 한계를 극복할 수 있다. 이 기술은 기체-액체 경계면에서 압력강하를 줄일 수 있고 높은 액체 압력의 많은 유량을 처리하기 위한 시스템에서 지속적 초소수성 마찰저항의 감소를 이룰 수 있다.

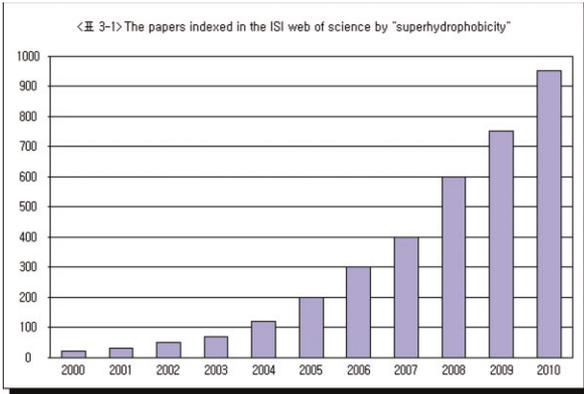
졸겔(sol-gel) 방법에 의해 합성한 나노 Polyethersulphone(PES)재료는 154° 의 높은 접촉각과 낮은 표면에너지를 가지는 초소수성 멤브레인이다. 초소수성의 막 증류(membrane distillation)에 의해 높은 투과유량으로 바닷물 중 소금(NaCl)을 효과적으로 제거하여 물 부족문제를 해결한다. Polydimethylsiloxane(PDMS)의 골격은 탄소가 아닌 실리콘 물질이다. PDMS-ZSM-5Zeolite 또는 PDMS-NaYZeolite로 소수성 나노 복합막을 제조하였다. 소수성 나노 제올라이트 입자분산 고분자 복합막을 이용한 투과증발에 의하여 바이오부탄올 또는 수소 및 질소의 기체분리의 플랜트설계에 효율적으로 이용한다.

저분자량의 알코올, 특히 에탄올은 대체 에너지원의 수송용 연료로 개발되어 사용된다. 그러나 알코올의 정제는 증류나 분자체(molecular sieve)를 이용하고 있어 투자비와 제조비용의 증가요인이 되고 있다. 최근 alcohol-water 매트릭스(matrix)에서 높은 선택성을 보이는 기공크기가 100-450 nm의 polytetrafluoroethylene(PTFE)/Teflon 또는 polypropylene 초소수성/친수성 멤브레인 분리기술은 바이오에너지의 투자비와 생산비를 낮추고 있다. 난양기술대학의 연구팀은 소수성의 다공성 polyvinylidene fluoride(PVDF) 증공사막을 이용하여 메탄가스에서 CO_2 를 효율적으로 분리하였다. 초소수성 PVDF 증공사막을 상전이법으로 제조하여 배기가스 중 CO_2 분리와 합성가스 중에 H_2/CH_4 분리에 적용하여 에너지, 환경 등 플랜산업에 적극 활용할 수 있다.

3. 초소수성 멤브레인 기술의 국제연구 동향

3.1 연도별 관련 국제 연구문헌 발표건수 추이

<표 1> 연도별 국제연구문헌 발간건수



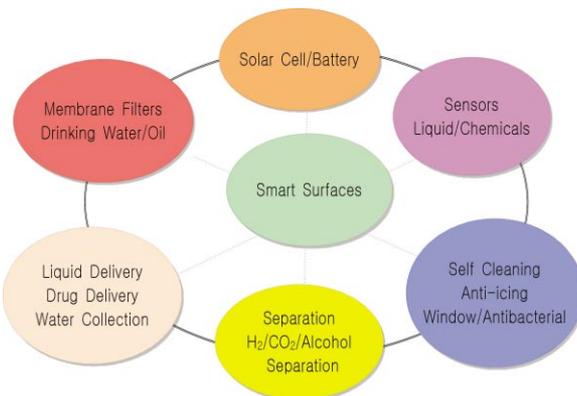
초소수성 멤브레인에 관련된 연도별 국제연구문헌 발간건수는 표 1과 같다.

3.2 초소수성 물질관련 주요 연구 분야

초소수성 물질관련 주요 연구 분야는 그림 2에서 보여주는 6개 분야로 대별할 수 있다.

3.3 실리кон/불소 화합물의 나노막 합성 및 적용

실리кон/불소(Si/F) 소재는 자체의 분자구조에 기인된 내열성, 내한성, 내후성, 방오, 내화화성, 내마모성, 친



[그림 2] 초소수성 물질 관련 연구 분야

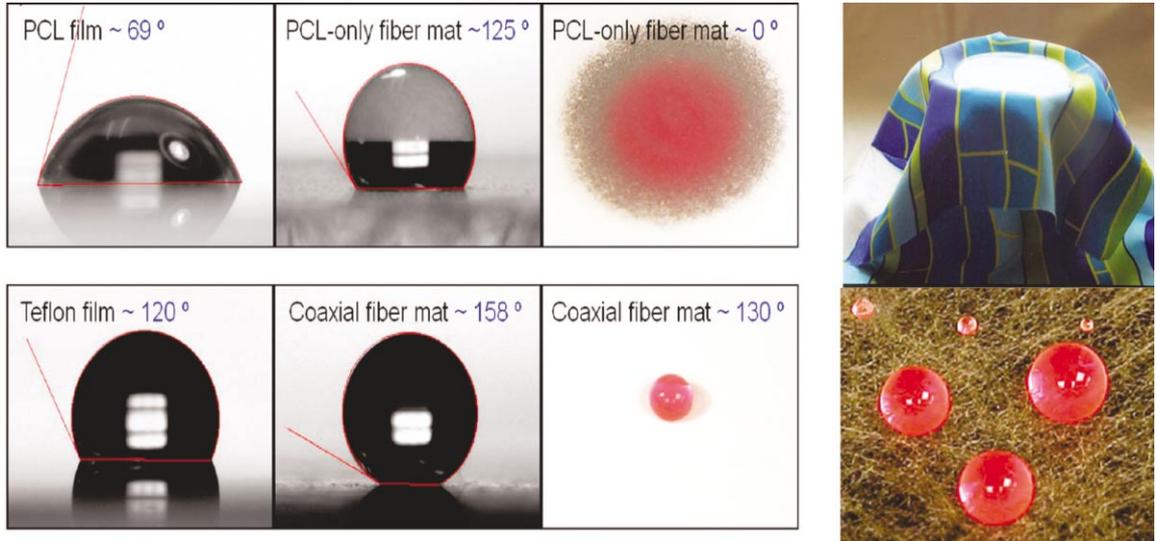
<표 2> 해외 연구기관의 초소수성 표면 연구 현황

선두 연구기관	주요 연구주제와 연구결과
일본 Kao 동경 연구센터	- AKD와 DKA를 이용한 결정화에 의한 초발수 표면 - 수 접촉각 170 이상
일본 동경대학 첨단과학기술 연구센터	- 표면 구조 제어와 광촉매에 의해 방외 방수표면 - 와이퍼 없는 자동차 유리, 적설 방지지붕 등에 응용
일본 나고야대학 공학연구과	- 마이크로파 플라즈마 CVD 방법에 의한 실리кон 초발수 표면 - 낮은 성막온도, 초발수 투명 플라스틱, 초발수 유리 등에 응용
독일 Bonn대학 및 Sto사	- 표면자정 능력을 갖는 실리кон계 초발수 도료

환경, 생체친화성 등 우수한 물리·화학적 특성을 가진다. 이러한 특성을 이용하여 실리кон/불소 화합물 소재는 전기, 전자, 반도체, 자동차, 선박, 바이오, 에너지, 환경, 플랜트엔지니어링 등 다양한 산업에 활용할 수 있다. 초발수 표면기술 부문에서 세계적으로 가장 앞서 있는 일본의 아사히 글라스의 Cytop, 듀폰의 테플론AF, 3M, 다이킨, 솔베이 등이 IT 산업에 사용할 수 있는 내오염성, 투명성, 저굴절률, 내빙성 등의 복합 불소계 초소수성 박막소재 개발하고 있다. 과불소 화합물은 전망이 높은 초소수성 막 소재로 각광을 받을 것이다(표 2 참조).

3.4 전기방사에 의한 초소수성 멤브레인 설계

초소수성 및 친수성효과에 의한 표면젖음 성질의 조절은 많은 미세유체 응용에서 중심기술이다. 테플론AF는 소수성 물질로 널리 이용되는 무정형 불소중합체이다. 테플론AF 층과 폴리(ε-카프로락탐)(PCL)의 핵심물질로 동-축 전기방사를 이용하여 처음으로 초소수성 멤브레인을 성공적으로 제조하였다(그림 3 참조). 동-축 전기방사 초소수성 멤브레인은 155° 이상의 물 접촉각을



[그림 3] PCL필름 및 섬유에서 물방울의 물 접촉각

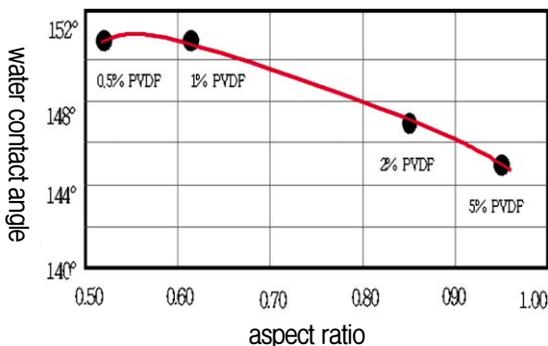
가진다.

원천적으로 전기방사 방법은 공정이 간단하나 초소수성 멤브레인을 제조하기 위한 다재다능의 기술이다. Ma 일행은 전기방사에 의해 163° 물 접촉각(WCA)을 가진 폴리스티렌 기반의 블록 공중합체를 사용하여 초소수성 멤브레인을 개발하였다. 유리상에서 전기방사 코팅방법을 사용하여 폴리비닐리덴 불화물(PVDF)과 불화한 실란분자(FSM)을 포함하는 이중층 초소수성 막을 제조한다. 표 3에서와 같이 코팅된 표면에서 종횡비(aspect

ratio)와 표면의 미세규모와 나노규모의 계층적 구조는 표면 조도와 코팅제에서 약품의 표면에너지와 함께 표면의 초소수성 성질에 영향을 준다.

전기 방사법에 의하여 불화 실란을 기능화한 초소수성 플루란/폴리비닐알코올(PULL/PVA) 혼합 멤브레인을 제조하였으며 물 접촉각은 150° 이상이였다. 폴리비닐알코올(PVA)는 좋은 화학적 및 열안정성을 가진 준결정체이다. PVA는 다양한 형태의 용매에 물리적 겔을 형성함으로 의학, 화장품제조, 제약, 플랜트 산업 등에 널리 응

<표 3> 코팅표면에서 aspect ratio의 효과



<표 4> PULL/PVA 멤브레인의 물 접촉각

Sample	PULL/PVA 혼합비(wt %)	물 접촉각(WCA) (degree)
9 wt.% TPC	80-20	147 ± 0.25
12 wt.% TPC	80-20	142 ± 0.15
9 wt.% TPC/PFOTES	80-20	155 ± 1.0
12 wt.% TPC/PFOTES	80-20	152 ± 0.5

PFOTES: Perfluorooctyltriethoxysilane
 TPC: Total polymer concentration

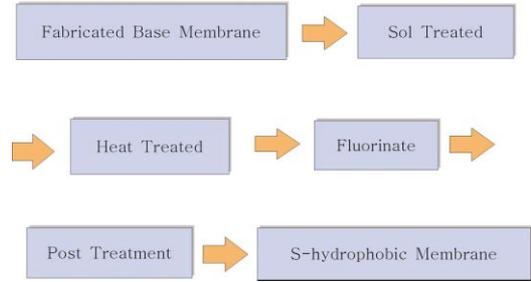
용된다(표 4 참조).

Polyethersulphone(PES)는 탁월한 화학적 안정성과 기계적 성질을 가진 소수성 물질로서 DPT-12 solution 으로부터 졸겔 방법을 사용하여 불화알킬실란으로 처리하여 조립한 초소수성 PES 멤브레인을 제조하였다. 졸겔에 의한 멤브레인 제조공정은 매우 간단하여 비용이 적게 들며 SEM, AFM, XPS 및 ATR-IR조사 결과 최상 단층은 마이크로구조의 표면과 불소로 강화되었음을 보여주었다.

그동안의 연구결과 초소수성 멤브레인의 성질은 화학적 조성과 표면 구조 특성에 의해서 크게 지배된다는 것을 확인하였다. 졸겔 방법에 의해서 약한 소수성 폴리에테르술폰(PES)을 기본 멤브레인으로서 사용하여 소수성을 강화하는 방법이다. 그림 4 공정에서 보여주는 바와 같이 기본 멤브레인을 우선 전구물 졸에 담그고, 이를 열처리한 이후 멤브레인을 불화알킬실란 용액에 담가 처리한 후 또다시 열처리에 의해 건조하여 초소수성 멤브레인을 제조한다.

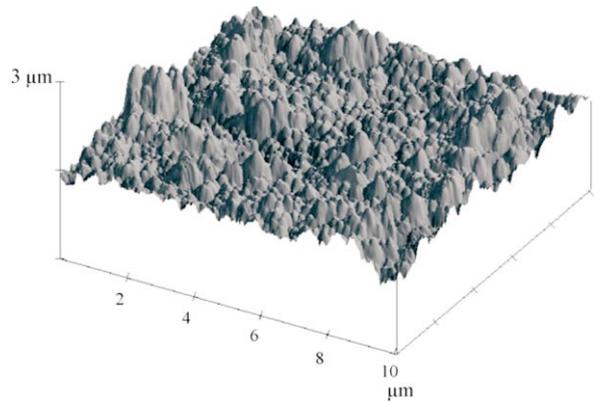
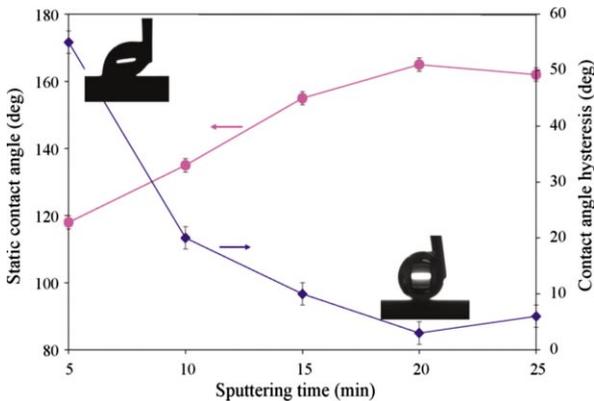
3.5 PTFE의 RF-스프터링에 의한 초소수성막

외부 표면에서 얼음의 형성과 누적은 전력 전달, 공급 및 수송 장치(보트, 비행기 및 도로), 전화통신망시설과 같은 구조물에서 심각한 문제가 된다. 소빙성 코팅은 이러한 얼음형성을 방지하는 흥미로운 해결책이 된다. 부식과 내수성 나노기공 구조 필름을 개발하기 위해 알루미늄 산화물의 양극처리는 나노기술의 출발시점에서 사용되는 적절한 공정으로서 산업적으로 각광을 받고 있다. 폴리테트라플루오르(PTFE)는 낮은 전기전도와 낮은 표면에너지 및 화학적 안정성 때문에 얼음접착력을 줄이는 가장 좋은 물질 중의 하나이나 용매에 불용성으로 스프인코팅에 방해가 되어 박막으로 침적시키기가 어려운 것으로 알려졌다. PTFE를 침전시키기 위하여 다양한 CVD와 VBD기술이 사용되었으나 RF-스프터링(RF-Sputtering) 기술은 공정이 간단하며 비용이 저렴하고, 친환경적이고 모든 기저에 일정한 구조와 탁월한 접착성을 제공하기 때문에 전기 및 기계, 화학플랜트 산업에 널리 이용된다. 합금기저에서 일차 산화피막을 만들어 초나노구조의 알루미늄산화물 기초층을 만들고 두 번째 단계에서 거친 표면에 RF-스프터링에 의해 PTFE로 코팅



[그림 4] 졸겔 방법에 의한 멤브레인 제조공정

미늄 산화물의 양극처리는 나노기술의 출발시점에서 사용되는 적절한 공정으로서 산업적으로 각광을 받고 있다. 폴리테트라플루오르(PTFE)는 낮은 전기전도와 낮은 표면에너지 및 화학적 안정성 때문에 얼음접착력을 줄이는 가장 좋은 물질 중의 하나이나 용매에 불용성으로 스프인코팅에 방해가 되어 박막으로 침적시키기가 어려운 것으로 알려졌다. PTFE를 침전시키기 위하여 다양한 CVD와 VBD기술이 사용되었으나 RF-스프터링(RF-Sputtering) 기술은 공정이 간단하며 비용이 저렴하고, 친환경적이고 모든 기저에 일정한 구조와 탁월한 접착성을 제공하기 때문에 전기 및 기계, 화학플랜트 산업에 널리 이용된다. 합금기저에서 일차 산화피막을 만들어 초나노구조의 알루미늄산화물 기초층을 만들고 두 번째 단계에서 거친 표면에 RF-스프터링에 의해 PTFE로 코팅



[그림 5] RF-스프터링한 PTFE 코팅제의 물 접촉각

하였다. 본 연구에서는 산화피막을 형성한 알루미늄에 PTFE의 스프터링을 하는 간단하고 저렴한 두 단계의 공정을 통하여 초소수성과 높은 소빙성을 가진 박막을 만들 수 있다(그림 5 참조).

PTFE의 스프터링에 의해서 산화피막을 만든 표면에서 「새집구조」를 형성하였다. PTFE의 RF-스프터링 코팅 표면에서 형성된 많은 양의 CF_3 과 CF_2 그룹은 필름의 낮은 표면에너지에 기여하였으며 그 결과 다른 연마한 알루미늄 표면에서 보다 3.5배가 낮은 얼음접착력을 보여주었다.

3.6 증착 방법에 의한 초소수성 멤브레인 설계

전선에 부착되는 눈의 제거를 위해 초소수성의 기공성 테플론시트(PTS)로 코팅한다. 줄겉과 같은 화학적 습식방법에 의해 TiO_2 의 코팅은 매우 어렵기 때문에 최근 물리적 건식방법을 이용하여 PTS에 TiO_2 광촉매의 코팅이 매우 매력적이다. 최근 이온 도움에 의한 증착(IAD)을 적용하여 낮은 기저 온도와 건식조건하에서 지지물질상에 활성 TiO_2 막을 만드는 기술이 개발되었다. 다양한 가열 지지물, 높은 온도에서 불안정한 테플론 상에서도 구조적 손상 없이 TiO_2 광촉매가 만들어진다. 투명한 인 -주석 산화물(ITO), 유리 및 폴리에틸렌 테레프탈산염(PET)에 소수성 ZnO 나노구조표면을 구축하기 위하여 간단한 연속적 이온층 흡착과 반응(SILAR)방법이 개발되었다. 서로 다른 기저에 증착시킨 ZnO 막은 다양한 모양의 계층적 구조, 초소수성, 항굴절 성질을 보여 스위칭 장치, 자체정화 스마트 유리제조 등에 응용될 수 있다.

4. 초소수성 멤브레인의 산업적 활용기술

4.1 초소수성 막에 의한 유기물의 선택적 분리

성분이 서로 혼합되지 않는 유기물 수용상의 유제(emulsion)는 석유화학, 금속, 수송연료 산업 등과 같은 공정산업에서 많은 폐수로 발생하여 해유화공정은 이러한 산업에서 필수적이다. Elham Gorouhi 일행(Desalination 200, 2006)은 0.2 μm 기공크기의 초소수성

PP멤브레인을 사용하여 유제폐수를 연속공정으로 효과적으로 분리하는 기술을 개발하였다. Jikang Yuan 일행(Nano Thec., 2008)은 초소수성과 친유성의 열안정성의 나노와이어 멤브레인을 구축하기 위한 자체조립 방법을 사용하였다. 자체조립된 망간산화물 나노와이어 멤브레인은 초소수성을 위해 증착기술을 이용하여 PDMS 필름으로 코팅하였으며 초소수성과 높은 선택성을 보인다. 이 나노와이어 멤브레인은 물 중량의 20배 이상의 기름을 선택적으로 흡수한다. 이 멤브레인은 효율적인 흡수력으로 넓은 범위의 유기용매와 기름의 분리기술에 응용된다. Toshinori Tsuru 일행은 MTES와 TEOS의 공중합체 교질용액을 사용하여 메틸화한 SiO_2 용액으로 기공성 기저를 코팅하고 소성하여 유기/무기 복합 초소수성 하이브리드 멤브레인을 제조하였다.

제조한 초소수성 SiO_2 멤브레인은 hexan용액에서 폴리올레핀 올리고마를 높은 효율로 성공적으로 분리하였으며 더욱이 불순물 접촉에 의한 기공막힘 현상도 관찰되지 않았다. 초소수성 SiO_2 멤브레인은 기름으로부터 왁스의 분리, 유기용매로부터 약품의 회수, 균일촉매의 회수 등의 산업에 응용할 수 있다. Kitty Nymeijer 일행은 소수성 폴리프로필렌 지지물 상부에 술폰화한 폴리(에테르 에테르 케톤: SPEEK)층을 가지는 선택적 복합 멤브레인을 개발하였다. 이 복합 멤브레인은 파라핀과 올레핀을 분리하기 위한 연속식 기액 멤브레인 접촉기에서 흡수체 및 탈수체로 사용되어 높은 생산성과 함께 높은 선택성을 보인다. 이 복합 올레핀-선택성의 멤브레인은 종전의 고에너지 소비 및 고비용의 증류법 및 선택적 추출 방법에서 찾아 볼 수 없는 높은 선택성과 생산성으로 매우 경제적이다.

4.2 초소수성 멤브레인에 의한 막증류

Amir Razmjou(Journal of Membrane Science, 2012)일행은 막증류(MD)에 이용하고자 저온열수(LTH)공정을 이용하여 미세기공 폴리비닐리덴 불화물(PVDF) 멤브레인에 TiO_2 나노입자의 침적을 통해 다중의 표면 거칠기를 가진 계층적 구조를 형성시켜 초소수성 및 초소유성 멤브레인을 제조하였다. TiO_2 코팅된 멤브레인은 저표면에너지 물질인 2H-과불소 도데실-3-염화실

란(FTCS)으로 불소실란화 반응을 시켰다. 이는 물정제, 담수화, 중금속 제거, 식품정제, 약품정제 등을 위한 막 종류에 응용된다. H. Fang 일행은 불화알킬실란(FAS)의 공중합을 통한 알루미늄-세라믹 표면개질에 의해 세라믹 표면을 친수성에서 소수성으로 변화시켰다. 알루미늄-세라믹 증공사 멤브레인은 막종류방법에 의한 담수화 플랜트에 효과적으로 다른 공정에 비하여 경쟁력이 높다.

분리막 투과증발(membrane pervaporation)은 막분리기술의 한 종류로서 액상 혼합물을 분리막의 공급측에 공급하고 분리 대상물질이 분리막을 선택적으로 투과하여 기체상태로 회수되는 기술이다. S.V. Satyana-rayana 일행은 폴리디메틸 실록산(PDMS) 또는 에틸렌-프로필렌 디엔 터폴리머(EPDM)을 이용하여 톨루엔-물 시스템의 투과 증발을 이용한 분리 공정기술을 소개하였다.

5. 국내 연구개발 수준

5.1 초소수성 표면 및 초소수성 소재의 기초연구

국내에서는 포항공과대학교, 한양대학교, 화학연구소, 고려화학(주) 등이 중심이 되어 표면 화학적 물성인 표면에너지가 낮은 초소수성의 박막(예로, 불소화합물을 포함한 박막)을 형성하기 위한 연구를 중점적으로 수행하여 개별제품별로 선진국과 비슷한 기술수준(물 접촉각 - 120°)을 유지하는 성과를 거두고 있다. 그러나 초소수성 표면기술의 핵심이 되는 박막 공간구조설계와 구조제어 및 고정화기술은 대학과 정부출연 연구소가 중심이 되어 연구를 수행하고 있으나, 국내의 원천기술은 세계적인 선두그룹에 비하면 낮은 수준에 머물고 있어 상용화 단계는 아직 멀다고 본다.

투명 불소계의 고분자 나노물질 등의 소재를 이용한 오염방지, 초발수, 반사방지 등의 초소수성 소재의 응용 기술 개발연구는 한국화학연구원 등이 중심이 되어 단량체 합성, 정제 및 중합 등을 중점적으로 약 20년간 연구가 진행되고 있으나 단일재료로서 만족할 만한 성능의 시제품 또는 성공적인 산업화 사례는 아직까지 확인된 바가

없다. 국내 업체들은 3M, 아사히그라스, 다이킨, 솔베이 등과 같은 세계시장에서 독점하고 있는 선진기술 확보 기업체와 기술협력 관계를 유지하여 부분적인 초소수성 소재 또는 완제품을 공급받아 제품화하고 있고 일부 기업체는 외국 기업과 기술 제휴 하에 제품개발을 진행하고 있는 실정이다. 국내기업은 일부 도입단계 또는 기술 개발 중에 있어 외국 기술수준의 약 60 ~ 70% 수준으로 판단된다.

5.2 향후 예측

초소수성 소재 및 멤브레인과 관련된 응용기술은 우리나라 소재산업의 국제경쟁력뿐만 아니라 국가기간산업인 전기, 전자, 반도체, 디스플레이, 자동차, 섬유, 석유화학, 조선, 바이오(화장품, 의료), 에너지, 환경 산업 등의 국내는 물론 해외 플랜트산업에 파급효과를 고려하면 조만간 시장규모는 수백조 원에 이를 것으로 예측하고 있다. 초소수성 소재 및 멤브레인과 관련된 기술파급효과와 그 시장규모가 막대한 만큼 비교적 기술 습득이 용이한 건축용 발수도로, 기능성 재료 등의 제조를 위한 표면조절의 기초 기술자립을 5년 내 이루고 이를 바탕으로 다른 전략적 기간 플랜트산업으로 그 응용을 확대해 나가는 것이 바람직하다. 특히 대형 플랜트 산업에 초소수성 소재 및 기술응용을 위해서는 앞으로 10년 내에 초소수성 소재를 위한 단량체의 개발/합성과 중합 및 표면 나노공간구조의 설계와 구조제어 및 고정화기술 등의 핵심기술의 확보가 보다 절실히 요구된다.

6. 맺는말

중국은 국가 첨단기술연구개발계획하에 50여 개 대학과 20여 개의 과학원연구소에서 국가자연과학기금위원회(NSFC)의 지원으로 나노소재 연구 사업을 추진 중에 있으며, 연구 인력도 3,000 ~ 5,000명에 이른다. 특히 이 분야의 일본과 중국의 국제 연구논문 발표 수나 특허 건수를 비교하더라도 우리나라를 크게 앞서고 있다. 우리나라 수출주도 기간산업의 기술경쟁력은 점차 약화되고 있어 특히 선박, 자동차, 반도체, 섬유, 플랜트엔지니어

어링 등의 분야는 후발 나라와 기술격차가 크지 않아 조만간 대등해질 것으로 보여 전략적 기술의 차별화가 시급하다.

현재 우리나라의 초소수성 나노물질 및 초소수성 멤브레인의 제조 및 활용기술은 선진국가에 비하여 낮은 수준이고 특히 고기능성 화합물의 단량체 설계/합성 및 응용은 일부 특정기업에서 개발단계로 이리한 핵심기술의 결여는 가까운 장래 국가 기술경쟁력은 물론 국가 경제

력에 큰 영향을 미칠 수 있다. 주력 플랜트 수출산업 기술경쟁력의 우위 확보와 지속적인 유지를 위해서는 첨단 소재의 개발과 이를 응용하는 원천기술의 확보가 시급하다. 이를 위한 국가적인 중장기 프로젝트화가 요구되며 학계는 물론 정부출연 연구기관과 기업체 연구소 간의 협력 및 학계 간 융합기술을 통한 산업체 응용에 빠르고 강한 시너지 효과가 필요하다. 