

고분자-불소계면활성제 복합체와 실리카 나노입자를 이용한 다층박막의 젖음성에 관한 연구

성충현

동의대학교 고분자소재공학전공

Wetting Properties of Layer-by-Layer Films of Polymer-Fluorinated Surfactant Complex and Silica Nanoparticles

Choonghyun Sung

Polymeric Materials Engineering Major, Dong-eui University

요약 최근 들어 자가세정, 발유성 김서림 방지 코팅 등으로 응용 가능한 친수/발유성 표면에 대한 관심이 증가하고 있다. 친수/발유성 표면은 일반적 표면과 달리 물 접촉각이 작고, 오일 접촉각이 큰 특수한 표면이다. 본 연구에서는 친환경적인 다층박막적층법을 이용하여 물 접촉각보다 오일 접촉각이 더 큰 표면을 구현하고자 하였다. Poly(allylamine hydrochloride) (PAH)-sodium perfluorooctanoate (SPFOA) 복합체와 실리카 나노입자를 이용하여 다층박막을 제조하였다. 다층박막 어셈블리 조건에 따른 접촉각의 변화를 관찰하였다. PAH-SPFOA 용액의 pH가 6.5, 7.5인 경우, 최외각층이 PAH-SPFOA인 다층박막의 물/오일 접촉각은 $53^{\circ}/0^{\circ}$, $80^{\circ}/0^{\circ}$ 이었다. 반면 PAH-SPFOA 용액이 pH 9.0인 경우, 물/오일 접촉각이 $127^{\circ}/89^{\circ}$ 로 증가하였다. pH 6.5, 7.5의 PAH-SPFOA 용액으로 제조한 다층박막을 SPFOA로 추가적으로 표면 처리한 경우, 물/오일 접촉각은 $79^{\circ}/66^{\circ}$, $98^{\circ}/81^{\circ}$ 이었다. 실리카 나노입자가 최외각층인 다층박막은 SPFOA 표면처리를 통해, 물/오일 접촉각이 $81^{\circ}/57^{\circ}$ 에서 $89^{\circ}/88^{\circ}$ 변화하여, 물/오일 접촉각의 차이가 가장 작게 나타났다. 7 nm와 22 nm의 실리카 나노입자 크기 차이는 물/오일 접촉각 차이에 큰 영향을 미치지 못하였다. 실험결과 다층박막의 친수/발유성이 미흡하나, 다층박막법을 이용한 친수/발유성 표면 연구에 기초가 될 것으로 기대한다.

Abstract Recently, there has been increasing interest in the hydrophilic/oleophobic surface that can be applied for self-cleaning and oil-repellent anti-fogging coatings. This surface shows a low water contact angle (WCA) and a high optical contact angle (OCA), unlike conventional surfaces. In this study, a layer-by-layer (LbL) assembly technique is used to fabricate a surface that has a higher OCA value than WCA. A poly(allylamine hydrochloride) (PAH)-sodium perfluorooctanoate (SPFOA) complex and silica nanoparticles were used to build LbL films. The effect of LbL assembly on the contact angle was studied. When the pH of the PAH-SPFOA solution was 6.5 and 7.5, the WCA/OCA of the LbL films with a PAH-SPFOA outermost layer were $53^{\circ}/0^{\circ}$ and $80^{\circ}/0^{\circ}$, respectively. In contrast, at a pH of 9.0 in the PAH-SPFOA solution, the WCA and OCA were 127° and 89° , respectively. When films assembled using PAH-PFOA with a pH of 6.5 and 7.5 were additionally treated with SPFOA, WCA/OCA were $79^{\circ}/66^{\circ}$ and $98^{\circ}/81^{\circ}$, respectively. When LbL films with a silica nanoparticle-terminated layer were treated with SPFOA, WCA/OCA changed from $81^{\circ}/57^{\circ}$ to $89^{\circ}/88^{\circ}$, where the WCA and OCA values became most similar. The effect of silica nanoparticle sizes of 7 nm to 22nm on the WCA/OCA difference was negligible. Although hydrophilicity/oleophobicity of the LbL film was insufficient, the results will serve as the basis for research on LbL-assembled hydrophilic/oleophobic surfaces.

Keywords : Layer-by-Layer, Multilayer, Polyelectrolyte-Surfactant Complex, Wettability, Hydrophilic/Oleophobic

본 논문은 2022년도 동의대학교 교내연구비에 의해 연구되었음(과제번호 202201650001).

*Corresponding Author : Choonghyun Sung(Dong-eui Univ.)

email: chsung@deu.ac.kr

Received July 8, 2022

Accepted September 2, 2022

Revised August 10, 2022

Published September 30, 2022

1. 서론

고체의 젖음성을 제어하는 기술은 학계와 산업계에서 큰 관심을 받아왔다. 특히 초발수, 초친수, 초발유 등의 초젖음 표면에 대한 연구가 매우 활발히 진행되어 왔다 [1]. 이는 표면의 젖음성을 제어하여 자가세정[2], 김서림 방지[3], 방빙[4], 물/오일 분리[5], 미세유체 흐름제어[6] 등의 광범위한 분야로 응용이 가능하기 때문이다. 초젖음(superwetting) 표면에 대한 연구는 연꽃잎의 초발수 특성이 나노/마이크로 크기의 계층구조(hierarchical structure)와 낮은 표면에너지를 통하여 구현된다는 사실이 밝혀진 후 [7] 폭발적으로 증가하였다. 계층구조를 제어하기 위해, 리소그래피[8], 솔젤[9], 전기화학[10] 등의 다양한 방법이 사용되어 왔으며, 표면에너지 조절을 위해 계층구조 위에 친수 또는 소수성 화합물을 코팅하였다. 그러나 이러한 방법은 종종 유해한 화학물질을 사용하거나, 대량 생산이 힘들거나, 다양한 모양의 기판을 코팅하는 것이 어렵다[11].

최근 들어, 계층구조와 표면에너지를 제어하는 방법으로 다층박막적층법(layer-by-layer assembly)이 많은 관심을 받고 있다[11]. 이는 수용액 기반의 친환경적인 코팅법이며 다양한 모양의 기판을 용이하게 코팅할 수 있다. 다층박막적층법은 고분자와 나노입자 등 두 종류 이상의 재료를 정전기적인 인력 또는 수소결합 등을 이용하여 교대로 적층하는 방법이다. 계층구조를 만들기 위해 고분자/나노입자 다층박막[12], 나노입자가 코팅된 다공성 다층박막[13], 고분자-계면활성제 복합체를 이용한 다층박막[14], 고분자 블렌드를 이용한 다공성 구조를 갖는 다공성 다층박막[15,16] 등이 활용되었다. 이러한 다층박막을 이용하여 초발수 또는 초친수 표면을 구현하였다.

표면장력이 높은 액체일수록, 고체 표면에서 접촉각이 크게 나타나기 때문에, 일반적으로 물 접촉각이 일반적 오일 접촉각보다 크다. 그러나 일부 연구에서 물 접촉각이 오일 접촉각보다 작은 표면이 보고되었으며, 이를 친수/발유성 표면이라고 한다. 물 접촉각은 작을수록, 오일 접촉각은 클수록 좋다. 이러한 표면은 세정제 없이 물이 기름때를 제거할 수 있는 자가세정 표면, 기름때가 묻지 않는 발유성 김서림 방지 코팅, 오일의 흡착으로 인한 오염을 방지하는 물/오일 분리막으로도 활용될 수 있다[17]. 이 모든 응용은 친수성과 발유성을 동시에 갖기 때문에 가능하다.

친수/발유성 표면의 구현을 위해 여러 방법이 시도되

었다. 친수성 고분자에 불소성분을 함유한 불소계 고분자, 불소처리한 나노입자, 소수성 고분자 등의 활용한 연구가 발표되었으나 그 성능이 미흡하였다[18,19]. 최근 고분자전해질-불소계면활성제 복합체와 나노입자의 혼합액을 코팅한 우수한 초친수/초발유 표면이 보고되었다[20]. 이후 불소계면활성제를 활용한 연구가 다수 발표되었다[21,22]. 그러나 친수/발유성 표면에 대한 이해는 아직 부족한 상황이다.

본 연구에서는 수용액 기반의 친환경적인 다층박막법을 이용하여 젖음성을 조절하여 친수/발유성 표면을 목표로 물 접촉각은 감소시키고, 오일 접촉각은 증가시키고자 하였다. 이를 위해 친수성 고분자전해질과 실리카 나노입자, 불소계면활성제를 이용하여 다층박막을 제조하였다. 먼저 양이온성을 띤 고분자 전해질/불소계면활성제 복합체를 제조하고 이를 음이온성 실리카 나노입자와 교대로 적층하여 다층박막을 얻었다. 다층박막의 어셈블리 조건, 나노입자의 크기, 추가적인 표면 처리 등에 따른 물/오일 접촉각의 변화를 살펴보았다.

2. 실험

2.1 재료

Poly(allylamine hydrochloride) (PAH, 160,000 g/mol)과 sodium perfluorooctanoate(SPFOA)는 Alfa Aesar로부터 구입하였다. 염산과 수산화나트륨, 아세톤, 에탄올은 석산화합물로부터 구입하였다. 실리카 나노입자 Ludox SM(평균입도 7 nm)과 Ludox TM-40(평균입도 22 nm)는 Aldrich로부터 구입하였다.

2.2 다층박막의 제조

PAH-SPFOA 복합체와 실리카 나노입자를 이용하여 다층박막을 제조하였다. PAH-SPFOA의 복합체 용액은 다음과 같이 제조하였다. 단량체 기준 PAH 10 mM 수용액과 SPFOA 10mM 수용액을 2:1의 부피비로 혼합하여 제조하였고, 염산과 수산화나트륨 1M 수용액을 이용하여 pH를 조절하였다. 실리카 나노입자 수용액은 Ludox SM (평균입도 7 nm) 또는 Ludox TM-40 (평균입도 22 nm) 을 0.06%로 증류수에 분산하고, pH 8.0으로 고정하였다.

다층박막은 다중딥코터(HT-17, 한테크)를 이용하여 슬라이드글래스에 적층하였다. 슬라이드글래스는 아세

톤, 에탄올, 증류수에 담그고 초음파로 10분씩 세척하고 오븐에서 건조하였다. 이후 슬라이드글래스를 플라즈마 처리한 후(Plasma cleaner 32G-2, Harrick), PAH-SPFOA 용액에 15분 동안 담그고, 3개의 증류수 용액에 담그어 2분, 1분, 1분씩 세척하였다. 이후, 슬라이드글래스를 실리카 나노입자 수용액에 15분 동안 담그고, 2분, 1분, 1분씩 증류수 용액에서 세척하였다. 위의 사이클을 30회 반복하고, 마지막에 PAH-SPFOA 용액에 15분간 담그고, 동일한 방법으로 증류수에서 세척하여 최외각층이 PAH-SPFOA인 다층박막을 얻었다 ((PAH-SPFOA/Silica)₃₀ /PAH-SPFOA). 최외각층이 실리카 나노입자인 다층박막은 마지막 PAH-SPFOA 흡착 단계를 생략하였다((PAH-SPFOA/Silica)₃₀).

2.3 다층박막의 특성평가

다층박막의 두께와 조도는 단차측정기(Alphastep D-100, KLA-Tencor)를 이용하여 측정하였다. 조도는 제곱평균제곱근(root mean square) 값이다. 다층박막의 표면모폴로지는 전자현미경(JSM-IT800, JEOL)를 이용하여 관찰하였고, 표면 원자조성은 X-선 광전자 분광기(XPS)(K-Alpha, Thermo Fisher Scientific)을 이용하여 분석하였다. 전자현미경과 X-선 광전자 분광기는 동의대학교 융합부품소재 핵심연구지원센터 장비를 활용하였다. 물/오일 접촉각은 3-4 μ L의 액적을 다층박막에 떨어뜨리고, 액적의 모양을 분석하여 측정하였다 (Pheonix 150, SEO).

3. 실험 결과

Fig. 1은 PAH-SPFOA 복합체 용액의 pH 변화에 따른 다층박막의 두께와 조도를 보여준다. 용액의 pH가 4.0에서 9.0으로 증가함에 따라 두께는 49 nm에서 103 nm로 증가하였다. 특히, pH 4.0에서는 다른 pH에 비해 다층박막의 성장이 미미하였고, pH 9.0에서는 성장이 월등히 빠르게 나타났다. pH가 증가함에 따라, 두께의 증가와 함께 조도도 22 nm에서 132 nm로 증가하였다.

Fig. 2는 실리카 입자의 크기에 따른 두께와 조도의 변화를 보여준다. PAH-SPFOA 용액 pH 4.0인 경우는 다층박막의 성장이 느려 제외하였다. 실리카의 평균입도가 7 nm(Ludox SM)를 적용한 다층박막이 평균입도22 nm의 실리카 입자(Ludox TM-40)를 사용한 경우보다

두께와 조도가 크게 나타났다. 이는 다층박막의 빠른 성장을 위해서는 적절한 크기의 실리카 입자 적용이 중요함을 나타낸다.

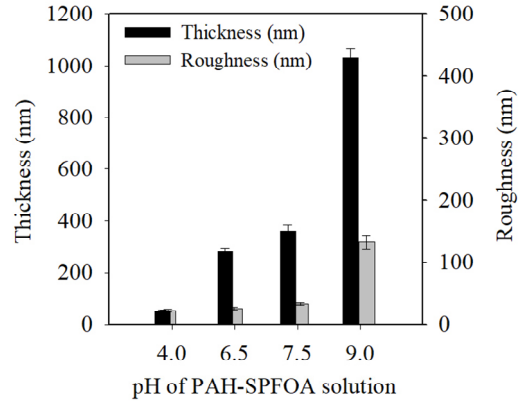


Fig. 1. Thickness and roughness of LbL films prepared at varying pHs of PAH-SPFOA solution.

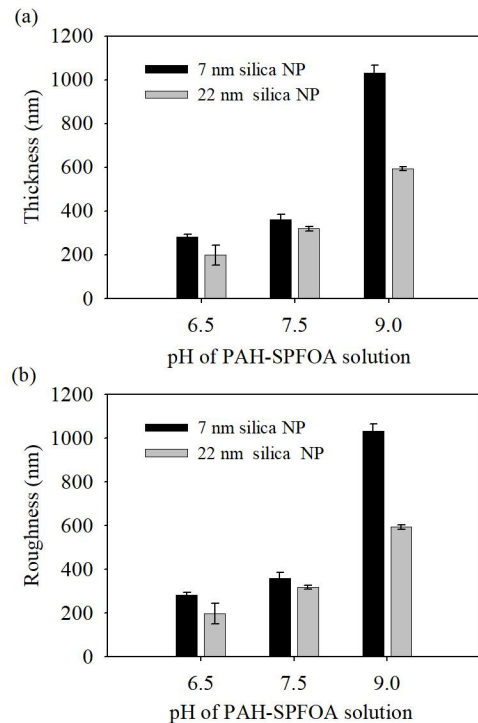


Fig. 2. (a) Thickness and (b) roughness of LbL films prepared with silica nanoparticles (NP) of 7 and 22 nm.

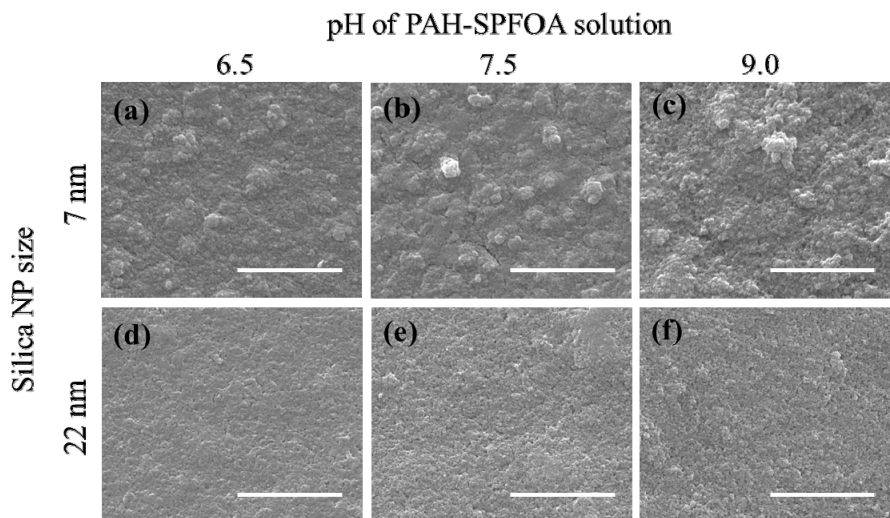


Fig. 3. SEM images of LbL films assembled with PAH-SPFOA solutions of varying pHs and silica NPs of 7 and 22 nm. The scale bar is 2 μ m.

실리카 나노입자의 크기에 따른 다층박막의 표면 모폴로지를 SEM을 이용하여 관찰하였다(Fig. 3). Fig. 2의 결과와 마찬가지로, 7 nm의 실리카 나노입자를 사용한 경우에 표면의 조도가 높게 나타났으며, 특히 PAH-SPFOA 용액 pH 9.0에서 조도가 높았다.

다음으로, 다층박막의 젖음성을 평가하였다. Fig. 4a는 최외각층이 PAH-SPFOA인 다층박막의 물/오일 접촉각을 나타낸다. PAH-SPFOA 용액의 pH가 6.5에서 9.0으로 증가함에 따라 물 접촉각(WCA)은 53°에서 127°로 증가하였다. 반면, 오일 접촉각(OCA)은 pH 9.0에서 89° 정도였으나, pH 6.5와 pH 7.5에서는 오일이 완전히 젖는 것으로 나타났다. 이에 따라 물/오일 접촉각의 차이는 pH 9.0에서 가장 작은 38°로 나타났다.

다층박막 제조과정에서 PAH-SPFOA 복합체가 침전하지 않고 안정적으로 분산되어 있게 하도록, PAH에 부착되는 SPFOA의 양이 제한된다. 또한 PAH-SPFOA 용액의 pH에 따라, SPFOA의 함량이 달라질 수 있다. 이에 따라, 최외각층이 PAH-SPFOA인 다층박막을 추가적으로 10mM의 SPFOA 용액에 담궈 불소 처리하였다.

Fig. 4b는 추가적으로 SPFOA 처리된 다층박막의 젖음성을 보여준다. 눈에 띄는 점은 PAH-SPFOA 용액의 pH가 6.5와 7.5인 경우, SPFOA의 처리로 오일 접촉각이 각각 66°와 81°로 대폭 증가한 것이다. pH 9.0인 경우는 SPFOA 처리 전에는 오일 접촉각은 102°로 증가폭이 다소 적었다. 또한 물 접촉각도 SPFOA 처리로 10-26° 정도 증가하였다. 이로 인해 SPFOA 처리를 통하여 물/오일 접촉

각 차이는 pH 4.0, 7.5, 9.0에서 각각 13, 17, 33°로 감소하였다.

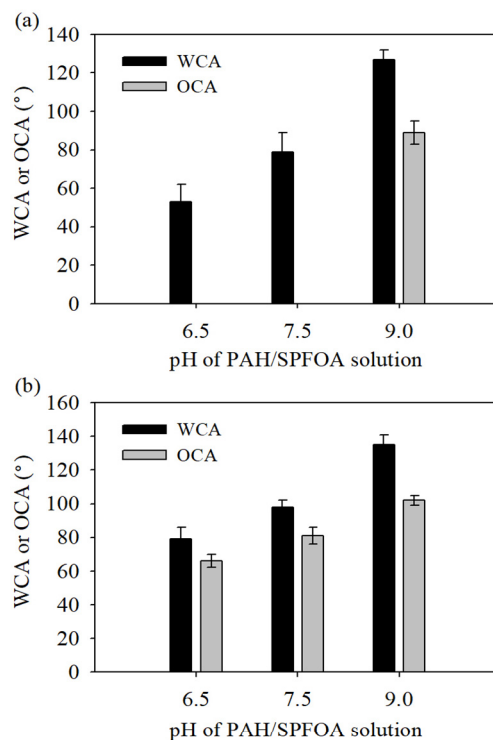


Fig. 4. WCA and OCA of LbL films of PAH-SPFOA outermost layer, (a) as-made and (b) after additional SPFOA treatment. Ludox SM was used for LbL assembly.

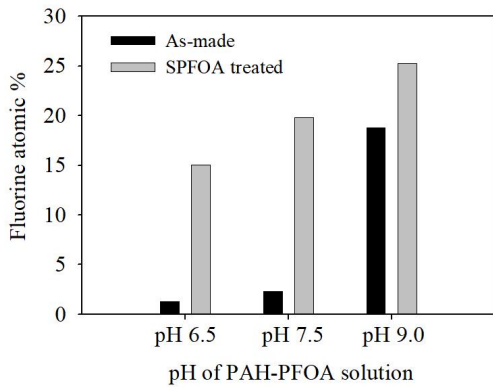


Fig. 5. Fluorine atomic % of LbL film surface (a) as-made and (b) after SPFOA treatment obtained by XPS.

SPFOA 표면처리 전후의 불소원자 함량(%)을 XPS로 분석하였다(Fig. 5). SPFOA 처리되지 않은 다층박막은, PAH-SPFOA 용액의 pH가 6.5와 7.5 경우, 불소원자 함량(%)이 1-2%로 매우 적었으나, pH 9.0에서는 25% 이상으로 크게 증가하였다. 이는 Fig. 4a에서 pH 6.5와 7.5에서는 오일 접촉각이 매우 작다가, pH 9.0에서 갑자기 증가함을 설명한다. pH 4.5와 6.5로 상대적으로 낮은 경우, SPFOA의 카르복실산의 이온화가 낮아 PAH의 아민 그룹과 이온 결합을 형성하는 비율이 낮아지기 때문으로 판단된다. 그러나 추가적인 SPFOA 처리를 한 경우, 불소 함량이 15-25%로 높아졌다. 이는 물/오일 접촉각의 증가에 상응한다.

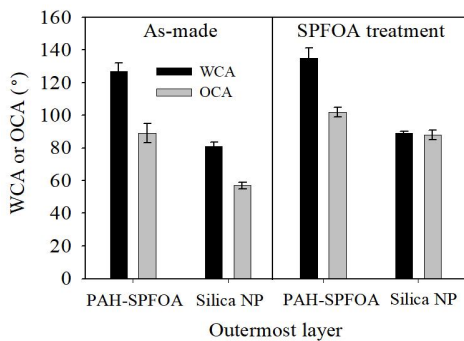


Fig. 6. WCA and OCA of LbL films with different outermost layer, as-made and after SPFOA treatment. PAH -PFOA solution of pH 9.0 and 7.0 nm silica NP was used.

Fig. 6은 최외각층의 종류에 따른 다층박막의 물/오일 접촉각을 나타낸다. 모든 다층박막은 pH 9.0의 PAH-SPFOA 용액과 7 nm 실리카 나노입자를 이용하

여 제조하였으며, 접촉각은 다층박막을 SPFOA 처리하기 전후로 측정되었다. SPFOA 처리 전(Fig. 6 좌측)을 보면, PAH-SPFOA 최외각층 다층박막의 경우, 물 접촉각 127°, 오일 접촉각 89°로 물/오일 접촉각 차이는 38°, 실리카 최외각층 다층박막은 물 접촉각 81°, 오일 접촉각 57°로 접촉각이 전체적으로 다소 낮았으며 물/오일 접촉각 차이가 24°였다.

반면, 추가적으로 SPFOA 처리된 경우(Fig. 6 우측), PAH-SPFOA 최외각층 다층박막은 물/오일 접촉각의 증가가 크지 않았으며, 물/오일 접촉각 차이는 33°였다. 실리카 나노입자 최외각층의 다층박막의 경우, 물 접촉각 증가는 7°로 크지 않은 반면, 오일 접촉각은 31° 정도로 비교적 크게 증가하였다. 이에 따라 물/오일 접촉각의 차이가 1°로 매우 작게 나타났다.

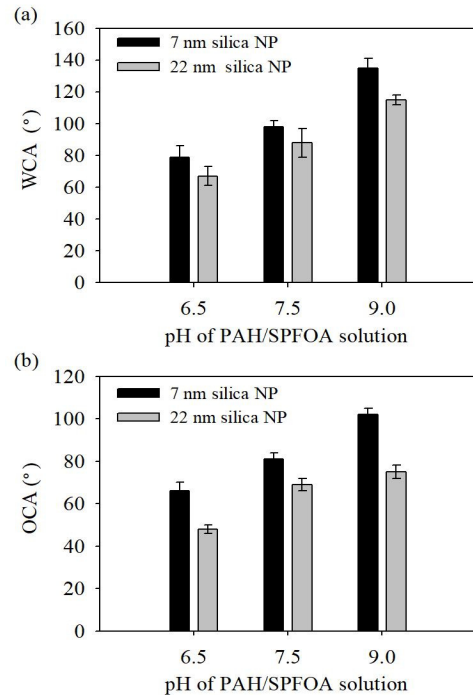


Fig. 7. (a) WCA and (b) OCA of SPFOA-treated LbL films assembled with silica NPs of 7 and 22 nm.

실리카 나노입자 크기에 따른 물 접촉각과 오일 접촉각을 Fig. 7에 나타내었다. 사용된 다층박막은 모두 추가적으로 SPFOA 처리된 샘플이다. 대체적으로 실리카 나노입자의 크기가 클수록, 물 접촉각은 10-20°, 오일 접촉각은 12-27° 정도 감소하였다. 이는 다층박막 표면에너지의 대체적인 증가를 의미한다. 실리카 나노입자의 크기에 따른 물/오일 접촉각의 차이는 크지 않았다.

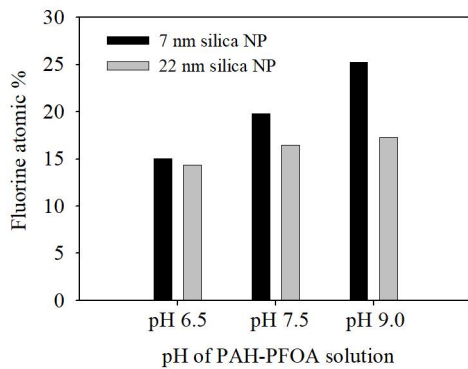


Fig. 8. Fluorine atomic % of SPFOA-treated LbL film assembled with silica NPs of 7 and 22 nm.

Fig. 8은 7 nm와 22 nm 실리카 나노입자로 제조된 SPFOA 처리된 다층박막의 불소 원자 함량(%)을 나타낸다. 실리카 나노입자의 크기가 22 nm로 큰 경우, 불소원자 함량이 약간 작게 나타났다. 이는 표면에너지의 감소를 의미하며, 22 nm 실리카 나노입자 적용 시, 물/오일 접촉각이 감소하는 이유를 설명한다.

4. 결론

본 연구에서는 PAH-SPFOA 고분자-계면활성제 복합체와 실리카 나노입자를 이용하여 다층박막을 제조하고 필름성장과 젖음성을 관찰하였다.

PAH-SPFOA 복합체 용액의 pH를 6.5, 7.5, 9.0으로 증가시켰을 때, pH 9.0에서 다층박막의 두께와 조도가 가장 컸으며, 다층박막의 불소원자 함량이 가장 높게 나타났다. pH 9.0의 조건에서 PAH-SPFOA 복합체 형성이 가장 효과적이며, 이에 따라 다층박막의 성장이 가장 빠르고, 불소 함량이 가장 높게 나타났다.

PAH-SPFOA 최외각층 다층박막의 물 접촉각과 오일 접촉각 차이는 pH 6.5와 7.5에서는 접촉각 차이가 50-80°로 컸으나, pH 9.0에서는 38°로 비교적 차이가 줄어들었다. 특히, 다층박막을 추가적으로 SPFOA 처리한 경우, pH 6.5, 9.0에서 접촉각 차이가 13-17°로 크게 감소하였다. 또한 pH 9.0의 PAH-SPFOA 용액으로 다층박막을 제조했을 때, PAH-SPFOA 최외각층 다층박막은 접촉각 차이가 SPFOA 처리 전후 각각 38°와 33°로 큰 차이가 없었다. 반면, 실리카 나노입자가 최외각층인 다층박막의 경우, 접촉각 차이가 SPFOA 처리 전에는 24°였으나, SPFOA 처리 이후 1°로 크게 감소하였다.

실리카 나노입자의 크기가 7 nm에서 22 nm로 증가함에 따라, 물 접촉각과 오일 접촉각의 크기는 모두 감소하여, 물 접촉각과 오일 접촉각의 차이는 큰 차이를 나타내지 않았다.

본 연구에서는 수용액 기반의 친환경적인 다층박막법을 이용하여, 고분자-불소계면활성제 복합체/실리카 나노입자 다층박막을 제조하였다. 젖음성 평가 결과, 오일 접촉각이 물 접촉각보다 큰 친수/발유성 표면의 특성은 미흡하였다. 그러나 다층박막 어셈블리 pH 조건 및 추가적인 SPFOA 처리를 통해, 물 접촉각보다 80° 작았던 오일 접촉각의 값을 증가시켜 물/오일 접촉각의 차이를 1° 수준으로 감소시킬 수 있었다.

이러한 고분자-불소계면활성제 복합체/실리카 나노입자 다층박막에 대한 젖음성 평가 결과는 향후, 친수/발유성 표면의 젖음성 제어를 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 향후 보다 우수한 친수/발유성 다층박막의 구현을 위해, 불소 화합물을 다층박막 내부에 사용하기보다는, 친수층과 발유층을 가진 2층구조 다층박막, 또는 친수성입자/불소화합물의 혼합물을 표면에 흡착시키는 다층박막 등을 활용하는 방법이 가능할 것으로 보인다.

References

- [1] B. Su, Y. Tian, L. Jiang, "Bioinspired interfaces with superwettability: from materials to chemistry", *Journal of American Chemical Society*, Vol.138, Iss.6, pp.1727-1748, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1021/jacs.5b12728>
- [2] S. Nishimoto, B. Bhushan, "Bioinspired self-cleaning surfaces with superhydrophobicity, superoleophobicity, and superhydrophilicity", *RSC Advances*, Iss.3, pp. 671-690, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1039/C2RA21260A>
- [3] F. Xu, X. Li, Y. Li, J. Sun, "Oil-repellent antifogging films with water-enabled functional and structural healing ability", *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol.9, Iss.33, pp.27955-27963, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.7b08996>
- [4] N. Wang, D. Xiong, Y. Deng, Y. Shi, K. Wang, "Mechanically robust superhydrophobic steel surface with anti-icing, UV-durability, and corrosion resistance properties", *ACS Applied Materials & Interfaces*, Vol.7, Iss. 11, pp.6260-6272, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1021/acsami.5b00558>
- [5] W. Zhang, Y. Zhu, X. Liu, D. Wang, J. Li, "N. Wang, D. Xiong, Y. Deng, Y. Shi, K. Wang, "Salt-Induced

- Fabrication of superhydrophilic and underwater superoleophobic PAA-g-PVDF membranes for effective separation of oil-in-water emulsions", *Angewandte Chemie International Edition*, Vol.53, Iss.3, pp.856-860, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1002/anie.201308183>
- [6] A. Shastry, M. J. Case, K. F. Böhringer, "Directing droplets using microstructured surfaces", *Langmuir*, Vol.22, No.14 pp.6161-6167, 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1021/la0601657>
- [7] L. Feng, S. Li, Y. Li, H. Li, L. Zhang, "Super-hydrophobic surfaces: from natural to artificial", *Advanced Materials*, Vol.14, Iss.24, pp.1857-1860, 2002.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.200290020>
- [8] M. Liu, S. Wang, Z. Wei, Y. Song, L. Jiang, "Bioinspired design of a superoleophobic and low adhesive water/solid inter-face", *Advanced Materials*, Vol.21, Iss.6, pp.665-669, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.200801782>
- [9] X. -X. Zhang, S. Cai, D. You, L. -H. Yan, H. -B. Lv, "Template-free sol-gel preparation of superhydrophobic ORMOSIL films for double-wavelength broadband antireflective coatings", *Advanced Functional Materials*, Vol.23, Iss.35, pp.4361-4365.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adfm.201203059>
- [10] Z. She, Q. Li, Z. Wang, C. Tan, J. Zhou, "Highly anticorrosion, self-cleaning superhydrophobic Ni-Co surface fabri-cated on AZ91D magnesium alloy", *Surface and Coatings Technology*, Vol.251, pp.7-14, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.03.060>
- [11] X. Huang, N. S. Zacharia, "Functional polyelectrolyte multilayer assemblies for surface with controlled wetting behavior", *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.132, Iss.45, 42767, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1002/APP.42767>
- [12] T. Soeno, K. Inokuchi, S. Shiratori, "Ultra-water -repellent surface: fabrication of complicated structure of SiO₂ nanoparticles by electrostatic self-assembled films", *Applied Surface Science*, Vol.237, Iss.1-4, pp.539-543, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2004.06.041>
- [13] L. Zhai, F. Ç. Cebeci, R. Cohen, M. Rubner, "Stable superhydrophobic coatings from polyelectrolyte multilayers", *Nano Letters*, Vol.4, Iss.7, pp.1349-1353, 2004.
DOI: <https://doi.org/10.1021/nl049463j>
- [14] M. Wu, N. An, Y. Li, J. Sun, "Layer-by-layer assembly of fluorine-free polyelectrolyte surfactant complexes for the fabrication of self-healing superhydrophobic films", *Langmuir*, Vol.32, Iss.47, pp.12361-12369, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b02607>
- [15] C. Sung, Y. Heo, "Porous layer-by-layer films assembled using polyelectrolyte blend to control wetting properties", *Polymers*, Vol.13, Iss.13, 2116, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3390/polym13132116>
- [16] C. Sung, S. Choi, J. Kim, "Surface morphologies and wetting properties of layer-by-layer assembled films of polyelectrolytes with bimodal molecular weight distribution", *Korean Journal of Chemical Engineering*, Vol.37, Iss.7, pp.1266-1273, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11814-020-0545-y>
- [17] Y. Wang, X. Gong, "Special oleophobic and hydrophilic surfaces: approaches, mechanisms, and applications", *Journal of Materials chemistry A*, Vol. 5, Iss.8, pp.3579-3773, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1039/c6ta10474f>
- [18] J. A. Howarter, J. P. Youngblood, "Self-cleaning and anti-fog, surfaces via stimuli-responsive polymer brushes", *Advanced Materials*, Vol.19, Iss.22, pp.3838-3843, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1002/adma.200700156>
- [19] A. K. Kota, G. Kwon, W. Choi, J. M. Mabry, A. Tuteja, "Hygro-responsive membranes for effective oil-water separation", *Nature Communications*, Vol.3, 1025, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1038/ncomms2027>
- [20] J. Yang, Z. Zhang, X. Xu, X. Zhu, X. Men, "Super hydrophilic-superoleophobic coatings", *Journal of Materials Chemistry*, Vol.22, Iss.7, pp.2834-2837, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1039/C2JM15987B>
- [21] P. S. Brown, B. Bhushan, "Mechanically durable, superoleophobic coatings prepared by layer-by-layer technique for anti-smudge and oil-water separation", *Scientific Reports*, Vol.5, 8701, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1038/srep08701>
- [22] S. Amirpoor, R. S. Moakhar, A. Dolati, "A novel superhydrophilic/superoleophobic nanocomposite PDMS -NH₂/PFONa-SiO₂ coated-mesh for the highly efficient and durable separation of oil and water", *Surface & Coatings Technology*, Vol.394, 125859, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125859>

성 총 현(Choonghyun Sung)

[정회원]



- 1998년 2월 : 한국과학기술원 화학공학과 (공학석사)
- 2003년 12월 : Georgia Institute of Technology 화학공학과 (공학석사)
- 2004년 3월 ~ 2009년 7월 : LS엠트론 전자부품그룹 선임연구원
- 2009년 7월 ~ 2010년 5월 : LG 이노텍 소재연구소 책임연구원
- 2014년 12월 : Texas A&M University, 화학공학과 (공학박사)
- 2015년 2월 ~ 2017년 1월 : LG 화학 정보전자소재연구소 차장
- 2017년 2월 ~ 현재 : 동의대학교 신소재공학부 조교수

<관심분야>
기능성 코팅 및 필름