

# 고안정성 초박막 이온성 고분자 박막 제작 기술

생명화학공학과 임성갑

이온성 고분자는 우수한 전기 전도도, 다양한 기능성에도 불구하고 기계적 물성이 약하고 용매에 쉽게 용해되는 단점으로 인해 안정적인 박막 형태로의 적용이 제한적이었다. 우리는 본 연구를 통해 고안정성의 다기능성 초박막 (sub-20 nm) 이온성 고분자 물질을 새로이 설계하고 및 이를 구현할 수 있는 신규 기상 합성법을 새로이 개발하였다. 다양한 이온성 단량체 물질의 발굴과 더불어, 안정성을 향상시킬 수 있는 이온 가교 반응의 개발을 통해 박막의 표면 특성을 원하는대로 조절할 수 있는 다양한 종류의 맞춤형 이온성 고분자 물질의 합성에 성공하였다. 새로운 박막 증착 공정의 도입을 통해 통해 초박막 이온성 고분자의 균일한 도포가 가능해졌고, 이를 통해 기재의 bulk 특성은 그대로 유지한 채 표면 전하를 정밀하게 제어할 수 있는 표면 개질 플랫폼을 확립하였다. 발굴된 이온성 고분자 초박막은 물/기름 분리용 멤브레인, 고성능 초강력 접착제, 항균성 표면처리 등의 다양한 분야에 새로이 적용될 수 있음을 보였다.



## 1. 연구배경

이온성 고분자 (ionic polymer)는 고분자 사슬 내에 이온 성분을 가지는 고분자 물질로서 우수한 전기 및 화학적 특성을 가지고 있어, 다양한 분야로의 확장성이 높다. 하지만, 현재 사용되는 이온성 고분자는 주로 액상에서 제조되고 있으며, 이로 인해 여러 문제점들이 노출되고 있다. 특히, 이온성 고분자는 대부분의 유기용매에 취약하며, 기계적 강도가 낮아 주로 겔 (gel) 형태의 성형이 이루어지고 있으며 sub-micron 단위의 초박막 형태로의 성형은 매우 어렵다. 기재 표면의 마이크로 및 나노 크기의 표면 구조가 있을 경우, 겔 형태의 이온성 고분자를 기재에 액상으로 도포하면 점도 및 모세관력으로 인해 그 표면 구조를 유지하지 못하고 덮어버릴 우려가 있다. 이는 다공성 멤브레인과 같은 기재에 이온성 고분자를 도포할 경우 기공의 막힘과 함께 멤브레인의 수축 혹은 구조 변형을 초래하며 멤브레인의 투과성을 크게 저하시킬 우려가 있다.

## 2. 연구내용

용매에 대한 불안정성과 낮은 기계적 강도는 이온성 고분자에 가교반응을 도입함으로써 극복할 수 있다. 하지만, 일반적으로 가교도가 증가 할수록 고분자의 용해도가 낮아지기 때문에 기판에 가교된 형태로의 직접적인 도포가 어렵다는 문제점이 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 기상증착 고분자합성 공정인 개시제를 통한 화학증착 (initiated chemical vapor deposition, 이하 iCVD) 공정을 도입하여 새로운 형태의 고안정성 이온성 고분자 박막 형성에 성공하였다. 기상 공정인 iCVD 공정에서는 용매나 첨가제를 사용하지 않기 때문에 초고순도의 고분자 합성이 가능하며, 기상에서는 다양한 물성의 단량체 물질을 균일하게 혼합하는 것이 가능하므로, 여러 기능을 동시에 갖는 공중합체의 균일한 합성이 가능해진다. 본 연구에서는 tertiary amine 단량체와 alkyl halide

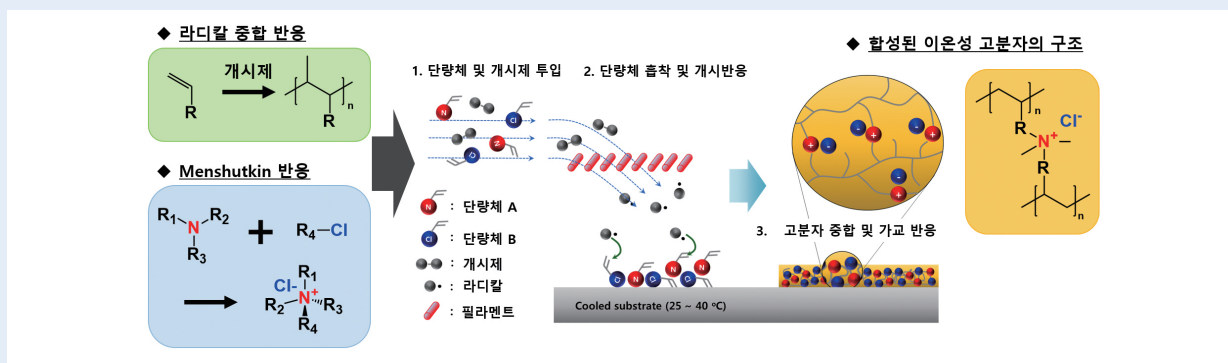


그림 1. In-situ 이온성 가교반응을 이용한 이온성 고분자 물질 중합 및 증착 모식도

단량체를 iCVD system에 동시에 주입하여 고분자 중합반응과 더불어 tertiary amine과 alkyl halide 간의 친핵성 가교 반응을 동시에 유도함으로써, 기상에서 높은 가교도를 지니는 새로운 이온성 고분자 박막 물질을 one-step으로 중합하는데 성공하였다. 본 친핵성 반응을 통해 가교된 이온성 고분자는 이온 성분이 소멸되지 않기 때문에 기존의 일반적인 가교 방식과는 달리 박막 내의 이온 밀도를 극대화할 수 있었다. 또한, 다양한 기능기를 포함하는 단량체의 도입 및 주입된 단량체의 상대적인 조성의 제어를 통해 박막의 물성을 정밀하게 제어할 수 있음 역시 증명하였다. 무엇보다도, 이온성 고분자 박막의 두께를 20 nm 이하의 초박막 두께에서도 정밀하게 제어가 가능함을 증명함으로써, 향후 다양한 초박막 표면 개질 분야에 있어 중요한 디딤돌이 될 것으로 기대된다. 또한, 이온 가교 반응의 세부적인 제어를 통해 단계적 가교 역시 가능한 합성 방법의 개발 역시 이루어짐으로써, 초강력 나노 접착제의 개발 및 이를 활용한 Ag nanowire 전극의 개발 등 다양한 분야로의 적용이 가능함 역시 발표하였다. 이러한 연구결과는 기상 공정을 통해서도 다양한 형태의 이온성

고분자의 중합이 가능하다는 것을 실험적으로 증명한 최초의 사례로서, 향후 초박막 이온성 고분자 개발에 있어 하나의 중요한 기반 기술이 될 것으로 기대된다.

### 3. 기대효과

이온성 고분자 특유의 전기화학적 활성과 더불어 우수한 친수성, pH 등과 같은 주변환경에 대한 감응성 등 독특한 장점을 지닌 이온성 고분자 물질이 여러 용매에서도 우수한 안정성을 지니며, 20 nm 이하의 초박막의 형태로 다양한 기재에 직접적으로 적용 가능하다는 점을 본 연구를 통해 증명하였다. 본 연구팀은 이미 본 이온성 고분자 물질의 멤브레인 개질을 통해 물/기름 혼합물을 효과적으로 분리할 수 있음을 보인 바가 있으며, 또한 생체적합성을 띠면서도 항균성을 가져 의료용 기기의 표면개질에 적합함 박막 물질의 개발도 이루어졌다. 다양한 전기화학적 에너지 저장매체로의 확장성 역시 높은 기술로서 향후 다양한 표면 물성의 요구에 대응할 수 있는 새로운 platform 기술로서의 확장 가능성이 무궁무진할 것으로 기대된다.

### | 연구성과 |

[논문 1] M. Joo<sup>†</sup>, J. Shin<sup>†</sup>, J. Kim, J.B. You, Y. Yoo, M.J. Kwak, M.S. Oh, S.G. Im\*, "One-Step Synthesis of Cross-Linked Ionic Polymer Thin Films in Vapor Phase and Its Application to an Oil/Water Separation Membrane", *Journal of the American Chemical Society*, 2017, 139(6), 2329-2337

[논문 2] M. Joo<sup>†</sup>, M.J. Kwak<sup>†</sup>, H. Moon, E. Lee, S.Q. Choi, S.G. Im\*, "Thermally Fast-Curable, "Sticky" Nano-Adhesive for Strong Adhesion on Arbitrary Substrate, *ACS Applied Materials and Interfaces*, 2017, 9(46), 40868-40877

[수상] 제 23회 삼성 휴먼테크논문대상 Energy & Environment 부문 동상 수상

[특허] 특허 3건 출원, 1건 등록 (등록 : 10-1746632, 2017.06.07.)

[홍보] 언론 홍보 1건 (대덕넷, 2017.03.20.)