

포항공과대학교 연성 물질 및 기능성 계면 연구실

(Soft Matter & Functional Interfaces Laboratory,
Pohang University of Science and Technology)

이효민

포항공과대학교 화학공학과
hyomin@postech.ac.kr

포항공과대학교 화학공학과 연성 물질 및 기능성 계면 연구실에서는 연성 물질의 계면에서의 구조 및 동적 거동에 대한 기초 연구를 바탕으로 새로운 기능성 물질 제조 연구를 수행하고 있으며, 특히 고분자, 생체 분자, 콜로이드를 비롯한 연성 물질과 흡착, 응축, 젖음 등의 계면 현상을 접목하여 물, 에너지, 환경, 헬스케어의 다양한 문제점들에 대해 새로운 해결책을 제시하는 것을 주 목표로 두고 있다. 현재 본 연구실에서 수행하고 있는 연구는 크게 세 가지로 나눌 수 있으며 이는 각각 액적 기반 미세유체 기술(droplet microfluidics)을 이용한 다중 액적(multi-phase emulsion drop)의 디자인 및 이를 주형으로 한 기능성 미세입자 제조 연구, 고분자 기반의 나노/마이크로 구조를 이용한 표면 젖음성 조절 및 공기 중

수증기 제어 연구, 그리고 필터와 무필터 방식의 다양한 미세면지 저감 기술 및 인체 유해성 평가 기술 개발 연구이다.

주요 연구 분야

1) 액적 기반 미세유체기술 연구

최근 고부가 가치의 기능성 생체물질들을 외부 환경으로부터 보호하면서도, 일정한 조건하에서는 외부로 약물 및 생체 분자를 선택적으로 방출시킬 수 있는 미세담지 기술이 주목받고 있다. 본 연구실에서는 액적 기반 미세유체기술을 이용하여 마이크로 영역 내 유체의 매우 정교한 흐름 제어를 통해 다양한 구조와 조성을 가진 미세입자를 연속 공정을 통해 제조하는 연구를 수행하고 있다. 특히 미세유체 기술을 이용하여 제조하는 다중 액적의 경우, 하나의 액적 내에 여러 개의 상이 존재하며 각 상에 여러 물리·화학적 공정을 도입할 수 있어 구조 및 조성 제어의 자유도가 높아 기능성 미세입자 제조에 있어서 그 가능성이 무궁무진하다. 본 연구실에서는 생체 재료 분야와의 연계를 통한 3차원 세포배양 시스템, 약물 전달 시스템, 인공 세포 구조 구현 연구들을 수행하고 있으며, 이러한 재료 기반 연구뿐만 아니라 새로운 액적 형상 기작과 미세유체소자의 병렬화 연구 등을 통한 대량생산 및 상용화 연구도 수행하

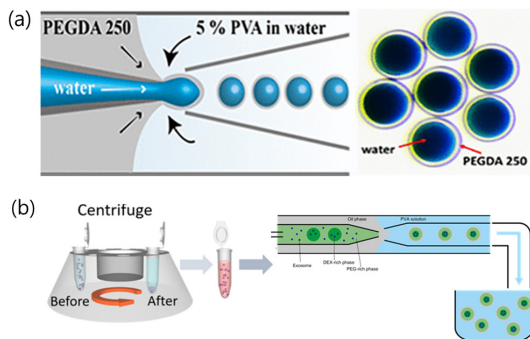


그림 1. (a) 액적 기반 미세유체 기술을 이용한 입자 제조, (b) 미세유체 기술 및 수성 이상계를 이용한 세포의 소포체 분리 기술.

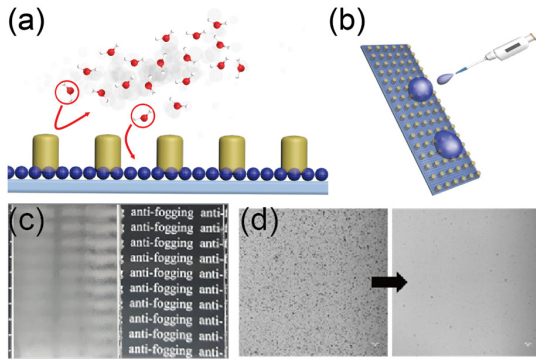


그림 2. (a) 쌍성습윤성 표면을 이용한 기저의 친수성 영역에의 선택적인 물 분자 흡수, (b) 낮은 표면에너지의 재료의 표면 구조 제어를 통한 젖음성 조절, (c) 친수성 표면의 김서림 방지(anti-fogging) 기능, (d) 소수성 표면의 자가 세정(self-cleaning) 기능.

고 있다. 이의 일환으로 현재 폴리머솜(polymersome)과 리포솜(liposome) 기반의 피부전달체 개발 연구를 수행 중에 있으며 특히 해당 분야의 경우, 수성 이상계(aqueous-two phase systems)와 삼중 액적 시스템을 접목하여 고효율로 세포의 소포체(exosome)를 분리하여 질병 진단에 활용하는 연구까지도 확대 진행할 예정이다.

2) 기능성 고분자 표면 연구

자율 주행 기술이 적용된 감지 센서, 사물 인터넷, 태양광 패널, 의료 기기의 렌즈와 같은 고부가 가치 산업에서의 광학용 기관은 일상 생활에 중요하게 자리잡고 있다. 특히 에너지 효율과 안전, 가시성과 직결되기 때문에 극한 상황에서도 높은 광투과성을 유지해야 한다. 여기서 광투과성을 저해하는 가장 큰 요인은 김서림 현상, 표면 오염, 표면 손상이 있는데, 본 연구실에선 이를 해결하기 위한 기능성 표면에 대한 연구를 수행 중이다.

김서림은 차가운 표면이 상대적으로 높은 온도와 습도 조건에 노출될 경우 공기 중에 존재하는 물 분자들이 표면에 빛을 산란시킬 수 있는 방울 형태로 응축되어 나타나는 현상으로 본 연구실에서는 기존의 초친수성(superhydrophilic) 표면이 아닌 소수성 캡핑층과 친수성 영역의 이중 구조로 이루어진 쌍성습

윤성 표면 (zwitter-wettable surface)을 구현하여 공기 중의 수증기를 제어하는 방법을 연구하고 있다. 해당 표면의 경우, 소수성 표면의 특성상 응결핵 형성 자유에너지 장벽이 높아 소수성 캡핑층의 두께와 조성을 제어하여 물 분자의 투과율을 높일 경우, 응축 과정에서 기저의 친수성 영역에만 선택적으로 물을 흡수시킬 수 있으며 이를 통해 김서림을 방지할 수 있을 뿐만 아니라 극저온의 환경에서 표면에 응축된 물층이 얼어서 발생하는 성에도 방지할 수 있다. 또한, 해당 표면의 경우, 낮은 표면 에너지를 가지고 있어 기존의 초친수성 표면이 유기물질들에 의해 쉽게 오염되는 문제점을 해결할 수 있다. 본 연구실에서는 여기에서 더 나아가 다층박막적층법과 소프트리소그래피를 접목하여 나노/마이크로 구조를 형성함으로써 김서림 방지와 자가 세정이 동시에 가능한 표면 코팅 기술을 개발하고 있다. 또한, 고분자 코팅의 경우, 표면 손상에 대한 내구성이 필수적이며 이를 위해 외부의 손상에도 표면의 젖음성을 자가 치유(self-healing)할 수 있는 기능이 요구된다. 이를 해결하기 위해 본 연구실에서는 하나의 입자에 서로 다른 물리·화학적 성질을 가지는 콜로이드 계면활성제를 제조하고 이를 코팅 내부에 담지함으로써 손상 후 노출되는 새로운 표면에 콜로이드 계면활성제가 재배열 되려는 성질을 이용하는 연구도 수행 중이다.

3) 미세먼지 저감 및 유해성 평가 연구

최근에 발표된 자료에 의하면 우리나라 초미세먼지(PM2.5) 농도가 경제협력개발기구(OECD) 회원국 가운데 가장 높은 것으로 나타났으며 이러한 공기 중의 미세먼지는 인체 건강에 심각한 악영향을 끼치는 것으로 알려져 있다. 이에 따라 최근 들어 미세먼지를 효과적으로 저감할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지고 있는 추세이다. 미세먼지를 저감하는 기술은 크게 필터를 이용한 방식과 필터를 사용하지 않는 무필터 방식으로 나뉜다.

필터 방식에서 가장 일반적으로 사용되는 HEPA(High Efficiency Particulate Absorbing) 필터는

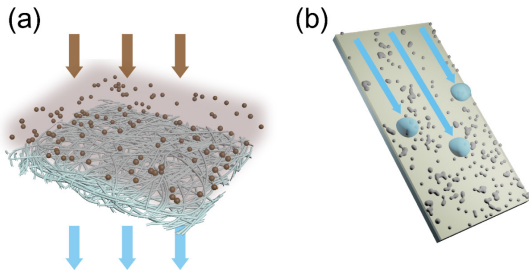


그림 3. (a) 나노 섬유 필터를 통한 미세먼지 저감 기술, (b) 표면 처리 기술과 응축 현상을 활용한 미세먼지 저감 기술.

높은 저감 효율을 가지는 만큼 높은 압력 강하를 수반한다는 단점이 있다. 본 연구실에서는 마이크로미터 단위의 두께를 갖는 기존의 HEPA 필터의 단점을 개선하고자 전기 방사법을 사용하여 나노 섬유 필터를 제작하고 있으며, 나노 섬유의 물성 및 구조를 제어하여 미세먼지의 저감 성능을 향상시키고 이를 다양한 미세먼지 노출 환경(농도, 크기, 조성, 시간)에서 측정하고 최적화하는 연구를 수행하고 있다. 뿐만 아니라 광투과성이 높고 재사용이 가능하며 유증기도 흡수 할 수 있는 다양한 기능과 형태를 가지는 나노 섬유 필터 제조 연구도 현재 수행하고 있다. 필터를 이용하여 미세먼지를 저감하는 방식 외에도 정

전기 집진, 습식 스크러버(wet scrubber) 등의 다양한 무필터 방식의 기술들도 존재하며, 본 연구실에서는 기존의 상용화된 기술과 다르게 표면 처리 기술에 응축 현상을 접목하여 새로운 무필터 방식의 미세먼지 저감 기술 개발도 병행하고 있다.

이러한 미세먼지 저감 기술 외에도 미세먼지가 우리 인체에 어떤 영향을 미치는지에 대한 연구도 진행 중이다. 본 연구실에서는 기존에 역학 조사로만 알 수 있었던 미세먼지와 심혈관계 질환 사이의 상관관계를 인공 폐 조직을 활용함으로써 미세먼지 입자의 노출 환경에 따라 실시간으로 관찰하고 이를 통해 미세먼지의 인체 유해성에 대해 정량적으로 평가할 수 있는 새로운 방법론을 개발하는 것을 궁극적 목표로 한다.

연구실 구성원

포항공과대학교 화학공학과 의 연성 재료 및 기능성 계면 연구실은 2019년 7월 현재 박사후연구원 1명, 석박통합과정 학생 5명, 석사과정 학생 3명 등 총 9명으로 구성되어 있다.