

산학연 연구실 소개

성균관대학교 연성물질연구실

(SKKU Soft Matter Research Laboratory, SMRL)

주소: 경기도 수원시 장안구 서부로 성균관대학교 자연과학캠퍼스 제2공학관 (우: 16419)

전화: 031-290-7289, Fax: 031-299-4801

홈페이지: <http://self-assembly.weebly.com>

연구책임자 | 이기라 교수
성균관대학교

1. 연구실 개요

콜로이드 입자는 분자보다는 크지만 크기가 수 마이크로 미터 이하이므로, 중력이 상대적으로 약하다. 또한, 서로 정전기 힘 또는 입체 장애 효과에 의해 서로 반발하여 응집되지 않고 안정한 상태에 있다. 브라운 운동(열적 요동)에 의해 끊임없이 움직이는 것이 특징이며, 이러한 입자의 크기가 빛의 파장과 비슷한 경우 빛을 강하게 산란시키기 때문에 분산상태에서 다양한 산란 현상을 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 틴들(Tyndall) 현상으로 알려져 있고, 빛의 산란은 입자의 형상 및 물성의 영향을 많이 받게 된다. 이때 입자들이 서로 뭉치게 되면 형상이 달라졌기 때문에 다른 방식으로 산란하게 되는데 이러한 방식으로 분산 상태를 역추적할 수 있다. 한편, 금속 입자는 표면 플라즈몬 공명 현상에 의해 빛의 파장보다 작은 크기 영역에서도 독특한 광학 특성을 보이는데, 입자

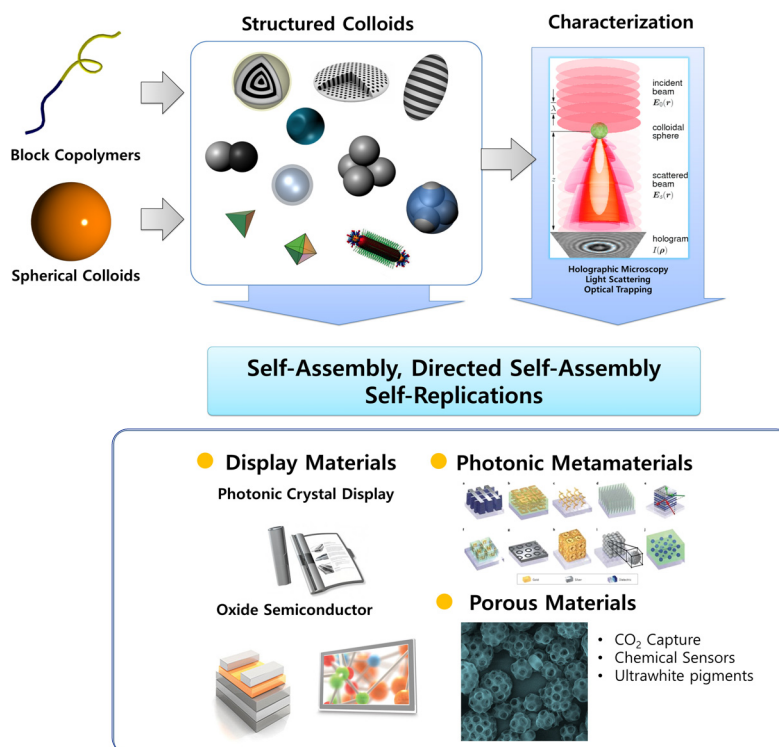


그림 1. 콜로이드의 합성과 특성 평가 및 응용 연구의 개략도.

들이 뭉치게 되면 입자들 간에 상호 플라즈몬 공명현상이 일어난다.

이러한 입자 또는 집합체들이 인력이 작용하는 특정 조건에서 3차원 결정 구조가 형성 되기도 하는데, 입자 하나 하나에 외부에서 힘을 부여하지 않고도 대면적의 나노 구조를 얻을 수 있기 때문에 나노 패턴 공정의 대표적인 예이며 자기 조립 공정이라고 부른다. 외부 조건에 따라 다양한 형태로 조절이 가능하므로 이를 이용한 다양한 나노 패턴 제작에 활용하기 위해 노력해 왔다. 특히, 기존의 공정으로 제작이 어려운 대면적 패턴이나 3차원 패턴의 제작 공정으로 주목 받아왔다.

한편, 앞에서 설명한 바와 같이 빛의 파장 근방의 입자가 결정화 또는 구조화 되면 새로운 광학적 공명 현상이 일어날 수 있다. 3차원 광결정은 대표적인 예로서 빛의 반복적인 산란 현상은 특정 파장에서 높은 반사율이 구현되며, 미시공간에서 빛을 제어하거나 디스플레이 등의 광학 소자에 적용하려는 연구가 많이 되고 있다. 이에 따라서, 금속 콜로이드 입자의 경우에는 크기가 빛의 파장보다 작기 때문에 금속 입자를 포함한 전체 계를 균일한 물질로 인식할 수 있다. 이러한 경우 평균적인 금속입자의 반응 특성이 물질의 광학 물성을 결정하게 되며, 입자의 크기, 형상, 구조를 제어하고 물질의 광학물질을 조절 할 수 있다. 특히, 특정한 조건하에서는 굴절률을 자연계에 존재하는 값 이상으로 높이거나 음의 값을 구현할 수 있다. 자연계에 존재하지 않는 물성을 보이는 인공적인 물질이라는 의미로 이러한 성질을 가진 물질을 메타물질(meta-materials)라 부른다. 최근에는 기계적인 물성이나 열물성에 관한 메타물질에 대한 연구도 보고 되고 있어 이와 구분하기 위해 ‘광학 메타 물질’이라고 구분하여 부르기도 한다.

성균관대학교 연성물질 연구실은 이러한 새로운 광학적 특성을 보이는 응용 소재에 사용될 수 있는 다양한 광학적 특성(굴절률, 투과율)을 갖는 콜로이드 입자를 합성하고, 표

면을 제어하여 새로운 나노 구조를 조립하는 연구를 수행하고 있다. 나아가서는 이러한 소재를 활용한 다양한 응용 연구를 여러 기관과 공동으로 수행하고 있다.

2. 주요 연구분야

2.1 DNA로 코팅된 콜로이드 입자

콜로이드 입자의 조립 또는 결정화를 위해서 콜로이드 입자간의 인력을 제어해야 한다. DNA는 염기서열에 따라 선택적인 상보적인 결합을 할 수 있으며, 온도에 따라서도 가역적으로 제어가능하다. 따라서, 상보적인 결합이 가능한 두 종류의 DNA를 서로 다른 입자 위에 코팅하게 되면 특정 온도 이하에서 DNA가 서로 결합으로 인하여 입자가 붙게 된다. DNA 결합이 일어나는 온도, 즉 결합온도 주변에서 온도를 유지시키면 DNA의 결합과 분리가 지속적으로 일어나면서 입자들이 서로 위치를 수정하면서 조립된다. 이에, DNA를 설계함으로써 다양한 결정구조 또는 3차원의 복합 구조의 구현이 가능해진다.

금 나노입자위에 DNA를 코팅하여 프로그램 가능한 조립에 관한 연구는 오랫동안 보고 되었으나, 마이크로 입자에 DNA를 코팅하고 조립하는 연구는 큰 진전이 없었다. 입자 표면에 DNA 밀도가 낮으면 금 나노입자와 달리 DNA의 길이가 입자에 비해 상대적으로 낮아서 마이크로 입자의 결합 후에 상대적인 위치가 결합이 떨어지기 전에는 고정되기 때문에 항상 무질서한 결합만 일어나게 된다. 이러한 문제는 입자 표면에 DNA 밀도를 높여야 하며, 여러 종류의 DNA를 코팅함으로써 보다 복잡한 구조체를 구현할 수 있다. 본 연구실에서는 고분자 입자에 DNA 블록공중합체를 도입함으로써 인하여 클릭 결합 반응으로 DNA의 코팅 농도를 매우 높일 수 있음을 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 다양한 DNA기반 조립연구를 수행하고 있다. 한단계 나아가서는, 고분자 이외에 실리카 등의 물질에도 DNA를 코팅하기 위한 방법을 개발하였으며, 이를 활용한 연구를 진행 중이다.

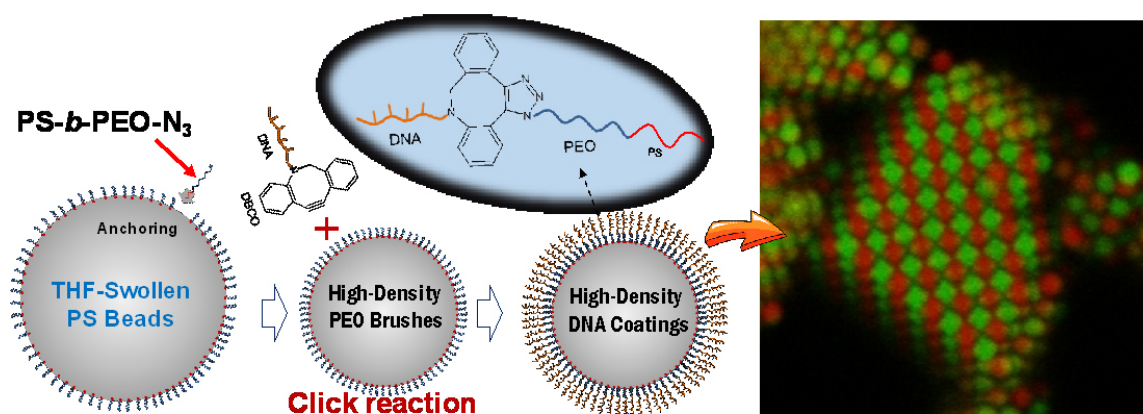


그림 2. 팽윤법을 이용한 입자 표면에 고밀도 DNA코팅 방법과 이를 이용한 CsCl구조의 콜로이드 결정 구조.

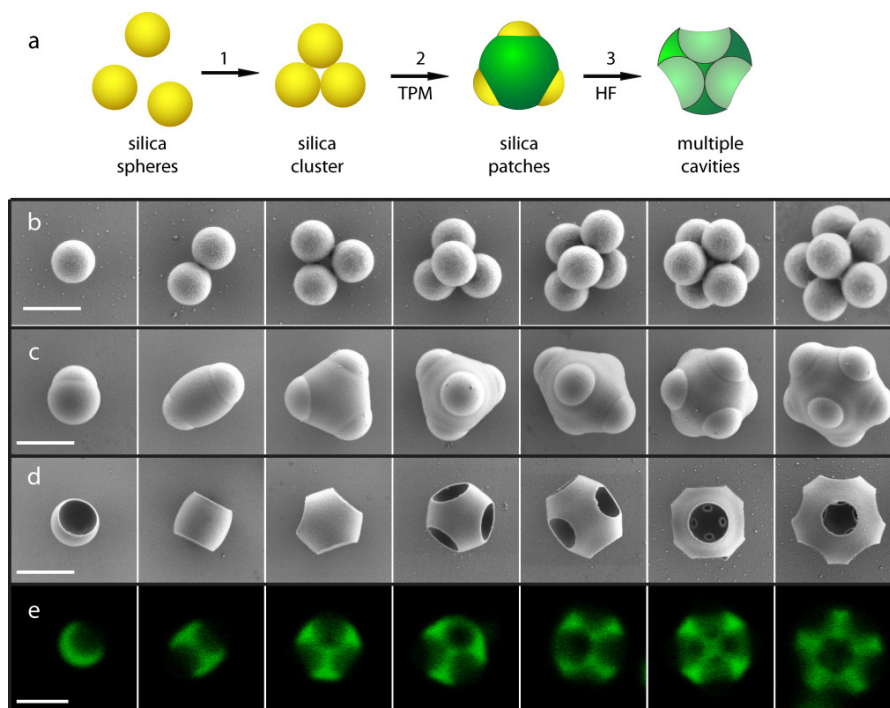


그림 3. 콜로이드 클러스터에 반응성 실란을 선택적인 성장하여 제조한 패치입자와 클러스터 제거 후에 얻어진 다공성 입자.

2.2 콜로이드 입자의 형상 제어 및 다중 패치 하이브리드 입자 합성

입자의 형상은 입자의 상호 작용 힘과 더불어 자기 조립을 통한 3차원 구조를 위한 핵심 요소이다. 본 연구팀은 구형의 입자 위에 중합이 가능한 실리카 전구체를 솔젤반응을 통해 성장시키고 이후 라디칼 반응을 통해 중합함으로써 눈사람 모양의 비구형의 입자를 제조할 수 있음을 보고하였다. 이 후 원래 구형 입자를 제거하면 보조개가 있는 입자를 만들 수 있는데, 특히, 이 실리카 전구체는 솔젤 반응 후에도 액체 상태로서 중합전에 고분자 물질을 유기용매로 팽윤시킴으로써 다양한 형상의 입자를 얻을 수도 있다.

이 방법을 구형 입자 대신 클러스터에 적용함으로써 전혀 새로운 형태의 하이브리드 입자를 그림과 같이 구현 할 수 있다. 마찬가지로 원래 있던 클러스터 입자를 제거하게 되면 다공성 입자를 제조할 수 있으며 이러한 입자는 다른 입자와 다시 결합하여 3차원 구조체로 구현이 가능하다. 본 연구 팀은 앞서 DNA코팅 기술과 접목하여 3차원 구조체의 형성에 관한 연구를 수행중에 있으며, 구성 물질을 반도체 물질 등으로 대체함으로써 콜로이드 상의 트랜지스터를 구현할 수 있음을 보였다.

2.3 금 나노입자 합성 및 조립을 통한 메타물질 연구

앞서 콜로이드 입자의 형상 제어 및 표면 개질에 관한 연구는 콜로이드 물질의 3차원 구조체 형성을 위한 두가지 핵심 기술로 기반 기술이면서 주로 광산란 또는 광결정에 관한

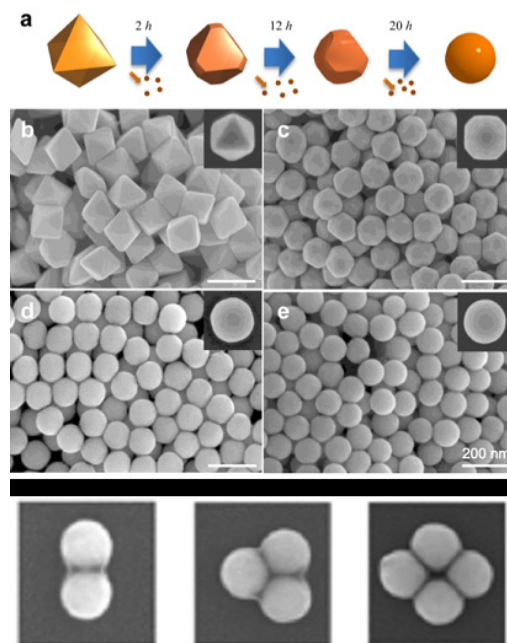


그림 4. 팔면체 에칭을 통한 구형 금 나노입자의 제조 및 2차원 클러스터 제조.

응용을 고려하여 수행하고 있다. 금 나노입자는 주로 표면 플라즈몬 현상때문에 연구되어 왔으나, 최근 입자간 공명현상을 통해 메타물질을 구현 할 수 있음이 보고되면서 매우 주목 받는 연구 주제가 되었다. 그러나, 금과 같은 금속 나노입자는 앞서 설명한 고분자, 실리카 등의 비정질 물질과 달리 결정성 물질로서 비구형의 입자가 주로 합성되며, 이러한

비구형 입자의 공명 현상이 너무 민감하여 비구형 입자의 조립을 통한 일정한 플라즈몬 공명현상을 구현하기가 매우 어려웠다.

본 연구팀은 그림에 보인 바와 같이 팔면체 입자로 부터 정밀한 에칭반응을 통해 구형의 입자를 합성할 수 있음을 보고하였다. 이를 바탕으로 이차원 클러스터를 조립하고 광학적 특성을 관찰하였다. 향후 자기조립을 통한 메타물질 구현하기 위한 연구를 수행 중이다.

2.4 다공성 입자 합성 및 응용 연구

앞에서 보인 바와 같이 콜로이드 입자를 틀로 해서 크기와 구조가 제어된 거대 기공을 갖는 다공성 입자를 쉽게 제조할 수 있다. 또한, 많이 알려진 바와 같이 계면활성제를 사용해서 메조기공을 구현할 수도 있다. 특히 콜로이드 입자와 계면활성제를 함께 사용하면 두가지 기공을 한 입자에서 구현할 수 있다. 입자의 크기가 기공의 크기 분포에 따라 다양한 응용 연구를 공동으로 수행하고 있다. 약물 전달체, 이산화 탄소 흡수제, 촉매 담지체, 이차전지 전극로 활용하는 연구를 현재 활발하게 진행하고 있으며, 최근 김재운 교수 연구팀과 공동으로 한국연구재단으로부터 지원받아 다공성 입자소재은행(<http://pnb.knrrc.or.kr/>)을 설립하고 관련 연구자들에게 용도에 맞는 다공성 입자를 제공하거나 공동연구를 수행하고 있다.

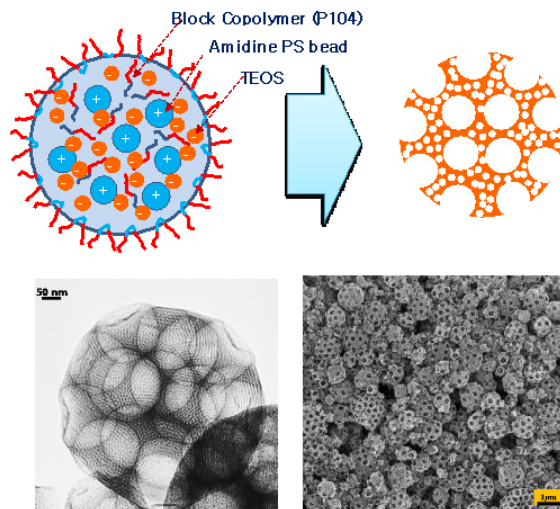


그림 5. 콜로이드 입자와 계면활성제를 동시에 사용하여 얻어진 다공성 입자.

3. 연구실 구성 현황

현재 본 연구실은 이기라 교수를 중심으로 연구원 1명, 박사과정 7명, 석사과정 8명이 각각 독창적인 연구주제를 가지고, 국내외 다양한 분야의 연구진 및 산업체와 협력 연구를 진행하고 있다.