

보도자료



미래를 개척하는 지식 공동체

보도일시	즉시
	2022. 8. 5.(금)
문의	연구책임자 화학부 남좌민 교수(02-880-6816) / 교신저자
	연구진 화학부 김윤희 연구원 / 제1저자

서울대 연구팀, 세계 최초로 기계결합이 된 나노머신 구현 성공 - 금 나노카테닌 구조 합성으로 *Nature Synthesis* 표지 선정 -

■ 요약

연구 필요성	여러 나노입자들을 모아 새로운 조립 (assembly) 구조를 형성하면 뛰어난 성질을 가진 새로운 물질을 만들 수 있다. 현재까지는 원하는 형태의 조립 구조를 만들기 위해서 DNA와 같은 입자 간 상호작용 물질을 활용해서 형성하였다. 하지만 이러한 기능성 물질은 크게 안정하지 않아 잘 끊어지며 거대한 조립 구조를 무너트린다. 따라서, 전체 구조를 이루는 나노입자들 간에 끊어지지 않는 결합 설계하는 것이 전체적인 조립 구조와 성질을 유지하고 조절하는데 필수적이나 아직 구현된 적이 없다.
연구성과/ 기대효과	본 연구에서는 무기 금속으로만 이루어진 나노카테닌 (nanocatenane) 구조, 즉 기계적으로 얽여있어 (mechanically interlocked) 영구적으로 끊어지지 않는 새로운 나노물질을 최초로 합성하였다. 본 연구팀은 빛에 강하게 감응하는 플라즈모닉(plasmonic)한 재료인 금을 사용하여 나노카테닌 구조를 합성하였고, 생체 분자 검지와 3D 디스플레이 기술 등에 유용한 성질인 원편광 이색성(circular dichroism)이 나타남을 보였다. 나아가, 이를 사용하여 빛과 같은 외부 자극을 사용하여 그 움직임이 조절 가능한 나노미터 크기의 나노카테닌 기반 나노머신(nanomachine)을 세계 최초로 제작하였다.

■ 본문

<p>□ 두 개의 나노체인이 기계결합으로 얽여 있는 나노카테닌 구조 세계 최초로 구현</p> <p>○ 남좌민 서울대 화학부 교수 연구팀은 기계적으로 얽여있어 끊어지지 않는 나노물질을 최초로 합성하는데 성공하고 8월 5일 <i>Nature</i> 자매지인 국제 학술지 <i>Nature Synthesis</i>에 게재했다. <i>Nature Synthesis</i>는 이번 연구를 표지논문으로 선정하였고 Research Briefing으로도 선정해 비중 있게 다뤘다.</p>

○ 여러 나노입자들을 모아 새로운 조립 구조를 형성하면 뛰어난 성질을 가진 새로운 물질을 만들 수 있다. 현재까지는 원하는 형태의 조립 구조를 만들기 위해서 DNA와 같은 입자 간 상호작용 물질을 활용해서 형성하였다. 하지만 이러한 기능성 물질은 크게 안정하지 않아 잘 끊어지며 거대한 조립 구조를 무너트린다. 따라서, 전체 구조를 이루는 나노입자들 간에 끊어지지 않는 결합 설계하는 것이 전체적인 조립 구조와 성질을 유지하고 조절하는데 필수적이나 구현된 적이 없었다.

○ 이처럼 끊어지지 않는 결합을 설계하기 위해 본 연구팀은 유사한 성질을 가지는 분자 구조에서 영감을 받았다. 그 분자는 고리 모양의 분자가 기계결합(mechanical bond)에 의해 서로 엮여있는 카테닌*(catenane)이라는 분자이며, 2016년 분자기계(molecular machines)를 설계하고 합성한 공로를 인정받아 노벨화학상을 수상한 '장 피에르 소바주 (Jean-Pierre Sauvage)' 교수가 주로 연구한 분자로 알려져 있다. 본 연구팀에서 합성한 나노카테닌은 카테닌 분자와 마찬가지로 두 개의 고리가 서로 엮여있으며, 이러한 구조적인 특징이 두 나노고리를 끊어지지 않고 영구적으로 엮여있도록 한다(그림 참조). 본 연구에서는 나노기계결합, 나노카테닌 등이 최초로 구현이 되었다.

□ 나노기계결합 기반 기계적 기능성과 카이랄 특성* 제어 및 변환이 가능한 나노머신 구현

○ 본 연구팀은 빛에 강하게 감응하는 플라즈모닉*(plasmonic)한 재료인 금을 소재로 사용하여 나노카테닌 구조를 합성하였다. 이러한 금의 특성을 활용하여 3D 디스플레이 기술과 생체분자 검지 기술 등에 유용한 카이랄 (chiral) 광학 특성인 원편광 이색성(circular dichroism)이 나타남을 확인하였다. 더 나아가 빛에 의해 기계적 움직임이 제어되고 카이랄 특성을 조절하고 변화시킬 수 있는 나노머신을 개발하였다. 본 연구팀이 개발한 나노머신은 일직선으로 작용하는 힘을 회전 움직임으로 변환할 수 있으며, 이때 형성되는 힘은 근단백질의 주요성분인 미오신(myosin)이 만들어내는 힘의 10배임을 밝혀냈다.

○ 본 연구에서는 '장 피에르 소바주 교수'의 기계결합과 카테닌 분자 개념이 나노물질 세계에 최초로 도입이 되었으며 나노기계결합(nanomechanical bond)과 나노카테닌이 나노입자 사이의 결합과 나노입자 조립체에 대한 개념을 새롭게 만들어내고 확장하는데 크게 기여할 것으로 기대가 된다.

○ 본 연구결과는 나노 및 소재 분야에서 가장 포텐셜이 큰 주제 중 하나인 나노머신(nanomachine)과 나노로봇(nanorobot) 분야에 새로운 지평을 열 수 있을 것으로 기대가 되고, 바이오센서, 디스플레이 등의 응용 연구분야에 폭 넓고 다양하게 활용될 수 있을 것이다.

○ 한편 이번 연구는 과학기술정보통신부 기초연구사업 중견연구(유형 2) 및 선도연구센터(SRC)의 지원

을 받아 수행됐다.

□ 연구결과

Mechanically Interlocked Gold Nanocatenanes

Yoonhee Kim, Jwa-Min Nam*

(*Nature Synthesis*, 2022, DOI: 10.1038/s44160-022-00116-2)

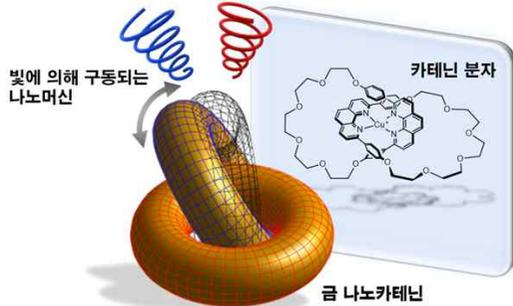
본 연구에서는 기계적으로 얽여있어(mechanically interlocked) 영구적으로 끊어지지 않는 나노기계결합(nanomechanical bond)을 하고 있는 나노카테닌(nanocatenane)을 최초로 합성하였다. 빛에 강하게 감응하는 플라즈모닉(plasmonic) 특성을 지닌 금 나노카테닌 구조를 합성하여 바이오센서와 디스플레이 기술 등에 활용 가능한 카이랄(chiral) 성질인 원편광 이색성이 나타남을 보였다. 더 나아가, 이를 사용하여 빛과 같은 외부 자극을 사용하여 기계적 움직임과 카이랄 특성이 조절 가능한 초소형 나노머신을 제작하였다.

□ 용어설명*

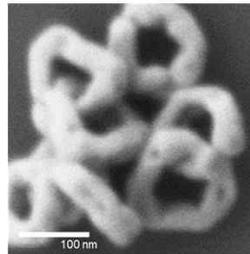
- 카테닌 (catenane): 카테닌은 '사슬'을 의미하는 라틴어 'catena'에서 파생된 단어로, 2개 이상의 맞물린 거대고리, 즉 2개 이상의 고리 모양의 분자가 서로 기계적으로 맞물린 분자 구조이다.
- 플라즈몬 (plasmon): 플라즈몬이란 금속 내의 자유전자가 집단적으로 진동하는 유사 입자를 말한다. 금속 나노입자에서는 플라즈몬이 표면에 국부적으로 존재하기 때문에 표면 플라즈몬이라고 부르기도 한다. 나노크기의 금속 나노입자가 일반적인 금속의 색과 다른 여러가지 색을 나타낼 수 있는 원리이기도 하다.
- 카이랄 특성 (chirality): 손대칭성이라고도 하며, 왼손과 오른손처럼 구조와 모양이 똑같이 생겼지만 마치 거울에 비친 듯이 반대 방향을 향하고 있어 서로 겹쳐질 수 없는 구조를 말한다.

□ 그림설명

구조적/광학적 카이랄 특성



실제로 합성된 나노카테닌



△ 카테닌 분자에서 영감을 받아 합성한 두 개의 금 나노고리가 서로 기계적으로 얽여있는 금 나노카테닌

□ 연구자

- 성 명 : 남좌민
- 소 속 : 서울대학교 자연과학대학 화학부 교수
- 연락처 : jmnam@snu.ac.kr



- 성 명 : 김윤희
- 소 속 : 서울대학교 자연과학대학 화학부 박사과정 학생
- 연락처 : younhee4x@snu.ac.kr

