



2020. 11. 11.(수)

문의 : 담당자 연락처 (02-880-7759)/ 공동 주저자  
 연구책임자 Junhua Yu 교수 (02-880-9159)/ 교신저자  
 연구원 Yanlu Zhao, Sungmoon Choi (02-880-7759)/ 공동 주저자

## 형광공명에너지전이를 이용한 나노케이지 크기 규명 - 단백질 내 나노케이지의 식별 및 특성화 연구에 한걸음 다가가 -

- 서울대학교 사범대학 화학교육과 Junhua Yu 교수 연구진은 은 나노달의 형광공명에너지전이를 이용해 나노케이지의 크기를 밝힌 연구가 ACS Insights Korea 주요연구로 선정되었다고 전했다.
- 나노케이지(나노미터 크기의 주머니 구조)는 매크로 분자의 많은 생물학적 활동을 이해하기 위하여 필요할 뿐만 아니라 새로운 나노물질의 합성 및 응용에도 이용이 되고 있다. 나노케이지의 구조와 기능을 해독하는 것은 그 구조 내 구속되고 미세하게 조절이 된 나노구조가 어떻게 반응을 지원하고 촉매 하는지를 이해하는데 필수적 요소이며, 나노케이지의 크기는 그 나노케이지의 기능을 설명하는 핵심 매개변수이다. 그러나 지금까지 빠르고 직관적으로 나노케이지의 크기를 검출하는 것은 도전 과제로 남아 있었다.

유기용매인 헥산올/사이클로헥산에 계면활성제인 트리톤엑스-100(Triton X-100)을 넣고 소량의 물을 넣으면, 계면활성제의 친수성 머리 부분은 소량의 물이 있는 안쪽으로 모이게 되고, 소수성의 꼬리 부분은 바깥쪽 유기용매 쪽으로 접하여 만들어진 구조가 역마이셀 이다. 이 역마이셀 내의 물 나노케이지는 효소(enzyme)의 극성 포켓(polar pocket)과 유사하며, 단백질의 구속된 나노케이지를 조사하기 위한 모델과 화학적 반응을 동역학적으로 조정하는 플랫폼으로 자주 사용되고 있다.

형광은 발광의 한 형태로 빛을 흡수한 물질이 들뜬 전자상태에서 낮은 전자상태로 전이 할 때 방출하는 빛(광발광)을 뜻한다. 은 나노닷은 이런 우수한 광발광을 지닌 물질이다. 첫 번째 은 나노닷의 광발광 영역이 두 번째 은 나노닷을 들뜨게 할 수 있는 에너지 영역에 해당될 때, 두 개의 물질이 아주 가까운 거리에 위치하면 첫 번째 은 나노닷을 들뜨게 하여 광방출한 에너지가 두 번째 은 나노닷을 광방출 하도록 한다. 이를 형광공명에너지전이(FRET)라고 한다.

본 연구는 역마이셀 내에서 물 나노케이지의 크기 변화를 명확하게 하기 위해 물에서 이온으로 해리되지 않는 비이온성 계면활성제인 트리톤엑스-100을 사용하였고, 이러한 반응이 일어나는 현장(in-situ)에서 생성된 물 나노케이지의 크기를 은 나노닷의 형광공명에너지전이를 이용하여 측정하였다.

이 접근방식으로 측정된 물 나노케이지의 직경은 극저온 투과전자현미경 얻은 것과 일치하였다. 이는 은 나노닷으로 부터의 형광공명에너지 측정이 나노케이지 크기를 감지하는데 빠르고 정확한 도구가 될 수 있음을 보여주고 있다.

□ **단백질 내 나노케이지의 식별 및 특성화**는 항상 어려워 큰 도전으로 여겨지고 있다. 이에, 본 연구성과는 향후 이에 적용할 수 있는 빠르고 정확한 방법을 제시한데 큰 의의가 있다. 본 연구는 한국연구재단의 지원으로 수행되었으며, 연구결과는 물리화학 분야의 권위있는 국제 학술지 **저널 오브 피지컬 케미스트리 레터스 (The Journal of Physical Chemistry Letters)** 에 2020년 8월 6일자로 온라인 게재되었다. 또한, ACS Insights Korea 주요 연구 논문으로 선정되었다.

□ **관련링크**

- 논문링크: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcllett.0c01950>
- ACS Insights Korea:

□ 문의사항

서울대학교 화학교육과 Junhua Yu 교수/ 02-880-9159/ junhua@snu.ac.kr

[붙임] 1. 연구결과 2. 용어설명 3. 그림설명

## 연구결과

### *In Situ* Generated Silver Nanodot Förster Resonance Energy Transfer Pair Reveals Nanocage Sizes

Yanlu Zhao, Sungmoon Choi, and Junhua Yu\*

(The Journal of Physical Chemistry Letters, 2020, 11, 16, 6867–6872)

(selected featured researches from ACS Insights Korea)

비이온성 계면활성제 기반의 역마이셀 모델을 만들어, 역마이셀 내의 물 나노케이지의 크기 변화를 발광하는 은 나노닷의 형광공명에너지전이를 이용하여 나노케이지의 크기를 빠르고, 정확하게 측정할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이는 지금까지 어렵게 여겨지고 있는 단백질 내 나노케이지의 식별 및 특성화에 연구에 해결책을 주리라 내다본다.

# 용 어 설 명

## 1. 나노케이지 (nanocage)

- 나노미터 크기를 지닌 주머니 구조

## 2. 역마이셀 (reverse micelle)

- 계면활성제 분자들은 일반적으로 한 분자 내에 친수성과 소수성 부분을 모두 갖고 있으며, 양자의 균형에 따라 분자의 회합상태가 변한다. 보통 용매의 극성이 큰 경우에는 계면활성제의 친수성 부분이 바깥으로 향한 마이셀을 형성하고, 용매의 극성이 작은 경우에는 계면활성제의 소수성 부분이 바깥으로 향한 역마이셀을 형성한다.

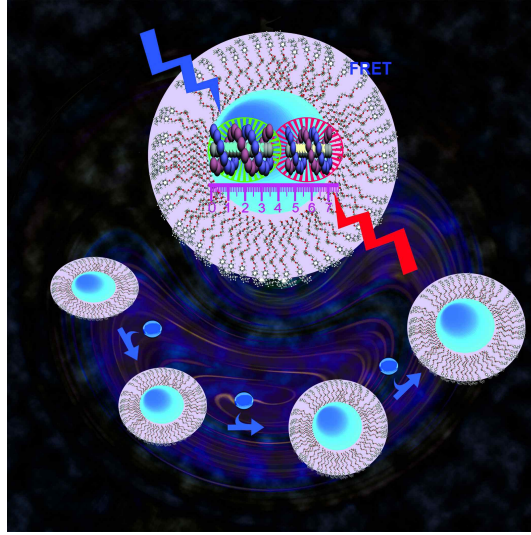
## 3. 형광공명에너지전이 (FRET, Förster Resonance Energy Transfer)

- 1946년에 테오도르 피르스터(Theodor Förster)라고 하는 독일 물리화학자에 처음으로 보고되었으며, 이러한 그의 공적에 의하여 FRET의 주요 법칙들이 그의 이름을 붙여 불리고 있다. 형광 공명 에너지 전이 (Fluorescence Resonance Energy Transfer)란 두 종류의 형광 분자 물질이 아주 가까운 거리에 위치할 때에 두 물질 사이에 일어나는 에너지 이동 현상을 지칭한다. 이러한 형광 공명 에너지 전이(FRET) 과정을 위해서는 두 개의 광에 민감한 분자 물질(chromophores)이 필요하며, 에너지를 주는 분자를 공여자(donor), 에너지를 받는 분자를 수여자(acceptor)라고 부른다.

## 4. 은 나노닷 (silver nanodots)

- 은 나노닷은 펩타이드, 고분자, DNA 등과 같이 보호그룹으로 둘러싸여져 만들어진 구조 내에서 은 이온을 환원시켜 얻은 은 나노클러스터로, 발광하는 안정한 은 나노클러스터를 뜻한다.

# 그림 설명



(그림) 나노케이지 크기는 역마이셀 모델을 사용하여 인시츄에서 생성된 발광하는 은 나노닷 쌍의 형광공명에너지전이에 의하여 빠르고, 정확하게 감지되었다.