

바이오 이미징을 위한 Ag 나노입자 합성 및 형광 특성 비교

김규린, 김기출*

목원대학교 식품제약학부

e-mail:kckim30@mokwon.ac.kr

Synthesis of Ag Nanoparticles for Bio-imaging and Comparison of Fluorescence Properties

Gyu-Rin Kim, Ki-Chul Kim*

Division of Food and Pharmaceutical Technology, Mokwon University

요약

질병 진단 및 치료, 생명과학 연구에 중요한 역할을 하는 바이오 이미징은 물질의 조직 구조 및 기능에 있어 영향을 준다. 바이오 이미징 분야에서 주목 받고 있는 금속 나노입자 중 하나인 은 나노입자는 형광 증강, 바이오 센싱 등 다양한 분야에 활용된다. 화학적 환원법을 이용하여 은 나노입자(Silver Nanoparticles)를 합성하고, 합성 조건에 따른 형광 특성을 비교 분석하였다. 합성된 은 나노입자는 UV-visible 분광학 분석에서 전형적인 표면 플라즈몬 공명(SPR, Surface Plasmon Resonance) 흡광 피크를 나타내어 형광 기반 바이오 이미징에 적합한 은 나노입자의 응용 가능성을 제시하였다. 본 연구 결과는 은 나노입자의 합성 및 특성 제어가 바이오 이미징 분야에서 효율적으로 활용되기 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 향후 입자 구조 최적화와 생체 적합성 연구를 통해 실제 의료 진단 및 생체 영상 기술에 적용 가능성이 기대된다.

1. 서론

바이오 이미징은 생체 내 세포 및 조직의 구조와 기능을 비침습적으로 시각화할 수 있는 핵심 기술로, 질병의 조기 진단, 치료 효과 모니터링, 생명 현상에 널리 활용되고 있다. 그러나 생체 환경에서 높은 해상도, 높은 민감도, 그리고 생체 적합성을 동시에 만족시키는 이미징 기술을 구현하는 것은 여전히 큰 기술적 도전 과제이다[1]. 이러한 한계를 극복하기 위해 최근에는 나노기술 기반의 신호 증강 및 조절 전략이 활발히 연구되고 있으며, 특히 금속 나노입자는 고유의 플라즈몬 공명(Surface Plasmon Resonance, SPR) 특성을 통해 생체 신호의 감지 및 영상화 성능을 크게 향상시킬 수 있어 주목받고 있다[1,2].

그중에서도 은 나노입자(Silver Nanoparticles, Ag NPs)는 강한 SPR 반응과 우수한 광학 특성, 비교적 간단한 합성 공정으로 인하여 형광 증강(Fluorescence enhancement), 바이오 이미징, 바이오 센싱 등 다양한 바이오 분석 응용 분야에서 활발히 연구되고 있다[1-3]. 특히 Ag NPs는 입자의 크기와 형태에 따라 SPR의 세기 및 공명 파장을 정밀하게 조절할 수 있어, 특정 파장 영역에서 형광 신호를 효과적으로 증폭시킬 수 있다는 장점을 가진다[3]. 이러한 특성은 생체 내 복잡한 환경에서도 정확도 높은

이미징 구현을 가능하게 하며, 임상 적용 가능성 역시 높게 평가되고 있다[1]. 최근에는 사면체, 구형 등 다양한 형태의 은 나노입자를 합성할 수 있는 기술이 개발되면서, 형광 특성 및 SPR 반응 조절의 유연성이 더욱 향상되고 있다[2].

따라서 본 연구에서는 은 나노입자를 합성하고, 이들의 형광 특성 및 광학 신호 증강 효과를 분석함으로써, 형광 기반 바이오 이미징의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

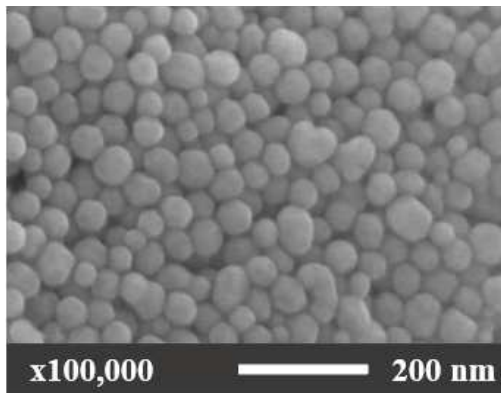
2. 실험방법

본 연구에서는 Lingyun Ye et al. [4]이 보고한 화학적 합성법을 기반으로 은 나노입자를 합성하였다[4]. 은 전구체로 사용되는 질산은(Silver Nitrate, AgNO_3)을 탈이온수(Deionized water, DI water)에 용해시킨 뒤, 상온에서 20분간 교반하여 전구체 용액을 준비하였다. 이후, 수소화붕소나트륨(Sodium Borohydride, NaBH_4), 수산화나트륨(Sodium Hydroxide, NaOH), 폴리비닐피롤리돈(Polyvinylpyrrolidone, PVP), 에탄올(Ethyl Alcohol)을 혼합하여 제작한 환원제 용액을 dropwise 한 뒤, 20분간 추가로 교반하였다. 반응이 진행됨에 따라 용액의 색은 점차 회색에서 황갈색으로 변화하였으며, 이는 은 나노입자의 형성을 시각적으로 확인할 수 있는 지표로 활용된다. 합성된

은 나노입자는 Ethyl Alcohol과 DI water를 이용하여 원심분리기를 통해 세척 후, 수득하였다. 합성된 은 나노입자의 구조적 및 광학적 특성을 확인하기 위해 다음과 같은 분석을 수행하였다. 표면 형상을 관찰하기 위해 전계방출형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM) 분석을 진행하였고, 광학적 특성평가를 위해 자외선-가시광선 분광광도계(UV-Visible Spectrophotometer) 분석을 진행하였다.

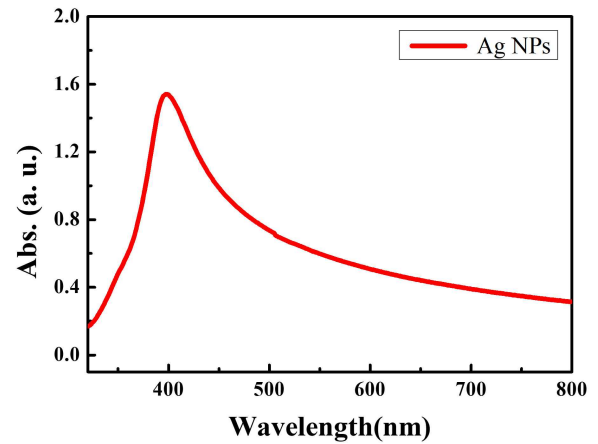
3. 실험결과 및 고찰

합성된 은 나노입자의 표면 형상을 관찰하기 위한 FE-SEM 분석 결과를 [그림 1]에 나타내었다. 분석 결과, 약 20 nm ~ 60 nm 수준의 직경을 갖는 은 나노입자가 합성된 것을 확인하였다. 이는 Lingyun Ye 등[4]이 보고한 Ag@SiO₂ Core-shell 나노입자의 형상과 유사한 결과로, 본 연구에서 사용한 환원 조건이 안정적인 은 나노입자의 형성 과정에 있어 무리 없이 진행되었음을 나타낸다.



[그림 1] 합성된 은 나노입자의 FE-SEM 이미지

추가로 UV-Visible Spectroscopy로 광학적 특성을 확인하였고, 그 결과를 [그림 2]에 나타내었다. 퀴츠 셀(quartz cell)을 이용하여 UV-Visible 분광학 분석을 진행한 결과, 대부분의 시료에서 약 420nm 부근의 파장에서 뚜렷한 흡광 피크가 관찰됨으로써, 은 나노입자의 표면 플라즈몬 공명(SPR)에 해당하는 특징적인 흡수 피크가 나타난 것을 관찰할 수 있었다. 은 나노입자의 광학적 특성 및 형광 특성은 합성 조건에 따라 미세하게 변화할 수 있으므로, 이를 정확하게 평가하는 것이 중요하다. 특히 SPR 특성 확인은 은 나노입자의 바이오 이미징 적용 가능성을 극대화하는 데 필수적인 과정이다[5].



[그림 2] 합성된 은 나노입자의 UV-Visible 분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 화학적 환원법을 통해 은 나노입자를 합성하였으며, 표면형상과 광학적 특성을 평가하였다. FE-SEM 분석과 UV-Visible 분광학 분석을 통해 20~60 nm 직경을 갖는 은 나노입자가 성공적으로 합성된 것을 확인하였다. 특히, 합성된 은 나노입자는 우수한 형광 특성과 안정된 광학 응답을 보여주어, 형광 기반 바이오이미징에 효과적으로 적용될 수 있는 가능성을 보여준다. 은나노 입자의 구조적 정밀 제어, 표면 기능화, 생체 적합성 평가 등을 통해 실제 바이오이미징 시스템에 적합한 최적화된 나노소재로의 발전이 기대된다.

References

- [1] Peng Tan, HeSheng Li, Jian Wang, Subash C. B. Gopinath, "Silver nanoparticle in biosensor and bioimaging: Clinical perspectives", *Biotechnology and Applied Biochemistry*, Vol. 68, pp. 1236–1242, October, 2020.
- [2] Laura G. Rodriguez Barroso, Eduardo Lanzagorta Garcia, Marija Mojicevic, Miriam Huerta, Robert Pogue et al., "Triangular Silver Nanoparticles Synthesis: Investigating Potential Application in Materials and Biosensing", *Applied Sciences*, Vol. 13, # 8100, July, 2023.
- [3] Prashant K. Jain, Xiaohua Huang, Ivan H. El-Sayed, Mostafa A. El-Sayed, "Noble Metals on the Nanoscale: Optical and Photothermal Properties and Some Applications in Imaging, Sensing, Biology, and Medicine", *Accounts of Chemical Research*, Vol. 41, pp. 1578–1586, May, 2008.

- [4] Lingyun Ye, Haohui Li, Jiawei Xiang, Junqi Chen, Xin Zhang et al., “Synthesis of Ag@SiO₂ core-shell nanoparticles for antibacterial application in water-based acrylic polymer coatings”, *Surfaces and Interfaces*, Vol. 51, No. 104490, August, 2024.
- [5] Rabia Javed, Anila Sajjad, Sania Naz, Humna Sajjad, Qiang Ao, “Significance of Capping Agents of Colloidal Nanoparticles from the Perspective of Drug and Gene Delivery, Bioimaging, and Biosensing: An Insight”, *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 23, No. 10521, September, 2022.