

나노입자로 만든 하이드로젤

이재승 | 고려대학교 신소재공학부 (E-mail: jslee79@korea.ac.kr)

미국 매사추세츠 공대(MIT)의 연구팀은 최근 나노입자와 고분자의 자기 조립 현상을 이용한 하이드로젤을 만드는 데 성공하였다. 이 나노입자-고분자 하이드로젤은 치료 목적의 약물 전달 매개체로서 매우 우수한 특성을 보이며 실용화에 근접했다는 평가를 받고 있다.

하이드로젤은 액체와 고체의 중간 성질을 가지며 젤 형성 시 그 외부 모양을 자유롭게 결정할 수 있고, 특히 수용액상에서 다량의 용액을 내부에 함유하면서 팽윤되는 특성을 가지고 있다. 뿐만 아니라 하이드로젤 자체가 체내에서 혈관계를 따라 곧바로 분산되어 사라지지 않고, 안정적인 덩어리 저장소로서 흡수했던 용액을 일정하게 방출한다는 특징 때문에 예전부터 약물 전달 매개체로서 많은 연구가 진행되었다. 그러나 특정 부위의 치료를 위해서 궁극적으로는 하이드로젤 덩어리를 외과적 수술을 통해 환부에 직접 이식을 해야 한다는 한계가 있기 때문에 실제로 치료에 이용되기에는 한계가 있었다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여, 연구팀은 주사기를 이용해 원하는 부위에 주입할 수 있는 새로운 하이드로젤을 나노입자와 고분자의 자기 조립 현상을 기반으로 하여 개발하였다(그림 1). 이 하이드로젤은 특이하게도 힘을 주면 모양을 쉽게 바꾸지만, 힘을 주던 것을 멈추면 그 상태에서 자체적으로 다시 결합을 회복하여 그 모양을 유지하는 특성을 가지고 있다. 이러한 특성이 나타날 수 있도록, 연구팀은 친수성/소수성 고분자의 공중합체인 poly(ethylene glycol)-*b*-poly(lactic acid)(PEG-*b*-PLA)로 만들어진 나노입자와 소수성 그룹이 달려있는 사슬 모양 고분자인 셀룰로오스 유도체를 혼합하였다. 이렇게 혼합된 나노입자와 고분자는 각각의 소수성 그룹들 간의 상호 작용에 의하여 약한 2차 결합을 느슨하게 형성하게 되며, 나노입자에 의해 잘 엮여진 고분자 가닥들이 네트워크를 이루게 되어 하이드로젤 형태를 띄게 된다. 이 때 나노입자와 고분자 간의 결합이 매우 약하기 때문에 주사기의 피스톤이 밀어내는 식의 물리적인 힘을 외부

에서 주면 쉽게 이 결합이 끊어지게 되어 하이드로젤의 형태가 손쉽게 변하게 되어 주사기로 주입하는 것이 가능하게 된다. 그러나 힘을 더 이상 주지 않으면 새로운 위치에서 서로 접하고 있는 나노입자와 고분자가 다시 느슨한 결합을 형성하게 되어(re-heal) 하이드로젤의 형태가 그대로 유지되는 효과를 갖게 된다. 연구팀은 고분자의 소수성을 화학적으로 조절하거나 나노입자의 크기를 및 함유량을 조절함으로써 이러한 하이드로젤의 물리적인 특성이 조절 가능함을 보여주었다.

일반적인 하이드로젤은 약물 전달을 위하여 일단 약물이 용해된 수용액을 흡수한 후 방출하는 과정을 거쳐야 하고, 따라서 물에 잘 녹는 친수성 약물 위주로 연구될 수 밖에 없었다. 그러나 이 나노입자-고분자 하이드로젤은 하이드로젤 자체의 흡수에 의한 친수성 약물 전달 이외에도 PEG-*b*-PLA 나노입자의 내부에 소수성 약물을 주입하여 전달시킬 수 있기 때문에 이러한 한계를 극복한 것으로 평가되며, 특히 대부분의 항암 치료에 사용되는 화학 물질이 소수성 분자로 구성되어 있음을 고려할 때 실용화를 위하여 매우 유용한 특성이라 할 수 있다. 연구팀은 이를 증명하기 위하여, 친수성 및 소수성 두 종류의 물질을 다 함유한 하이드로젤을 준비하여 쥐를 대상으로 주입하고, 두 물질 모두 하이드로젤로부터 동시에 고르게 방출됨을 형광 이미징 기법을 통하여 확인하였다.

연구진은 향후 혈관 생성 억제 인자, 혹은 성장 인자 등을 함유시켜 인체에 한번 주입함으로써 장기간 고르게 방출되는 하이드로젤을 개발할 수 있을 것으로 전망하고 있으며, 이로 인해 해당하는 질병 및 증상을 지닌 환자들이 최소한의 주사 시술을 통해 치료 받음으로써 삶의 질을 개선할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

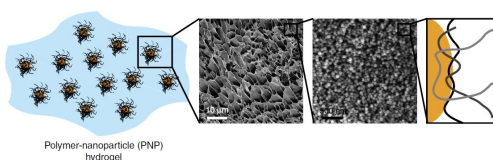


그림 1. 나노입자-고분자 하이드로젤의 계층적인 구조를 나타 내주는 모식도 및 전자현미경 사진.

* 본 연구결과는 저널 *Nature Communications*에 "Self-assembled hydrogels utilizing polymer-nanoparticle interactions"라는 제목으로 게재되었다(DOI: 10.1038/ncomms7295).