

하이드로젤 마이크로 액적간 순차적 결합을 통한 다중자극감응 자가변형구조체 제작 공정

김종식 · 심태섭 | 아주대학교 화학공학과 (E-mail: tsshim@ajou.ac.kr)

영국 Oxford 대학의 Hagan Bayley 연구팀은 지질층으로 안정화된 하이드로젤 마이크로 액적간의 안정적 결합을 이용하여 다양한 기능성 액적의 네트워크 구조를 제작하는 공정을 개발하였다. 이를 통해 다중자극에 감응하는 스마트 자가변형구조체 제작에 성공하였다.

연성재료 기반 자가변형구조체는 생체적합성이 높고 친환경적인 연성로봇 및 자가구동체로써 최근 연구가 활발히 진행 중이다. 특히 자극 반응 하이드로젤은 외부 자극(온도, pH, 빛 등)에 반응하여 상 또는 부피가 변화하는 특성을 갖고 있어, 다양한 환경변화에 대응 가능한 구조체 제작에 활용되고 있다. 이러한 구조체의 변형을 보다 세밀하고 복잡하게 구현하기 위해선 소재의 형태 및 구성을 자유롭게 설계할 수 있어야 하지만, 현재의 제작 공정은 주로 광식각공정이나 압출 인쇄에 의존하고 있어 평평한 시트와 필라멘트 구조 등으로 제작에 한계가 있다. 최근 3D 프린팅 기술에 힘입어 구조제작에 다양성이 증가하였으나, 적층 제조방식의 한계로 2차 및 3차원 패턴링에는 아직 해결해야 할 공정상 한계점이 존재한다.

영국의 Oxford 대학 연구팀은 수 나노리터 수준의 마이크로 액적간 결합기술을 이용하여 해당 문제를 해결하고자 하였다. 광중합이 가능한 *N*-isopropylacrylamide

(NIPAm) 소재 기반의 고분자 전구체 액적을 지질이 포함된 오일에 떨어뜨림으로써, 단층 지질에 의해 안정화된 표면을 갖는 마이크로 액적을 형성하였다. 복수의 액적이 서로 맞닿게 될 경우, 접촉면에 지질간 자기조립에 의해 지질 이중층이 형성되며, 중합 후 액적의 형태를 유지하는 마이크로 액적 네트워크 구조형성에 성공하였다.

해당 연구진은 위와 같은 제작 공정을 활용하여 다양한 기능성을 갖는 미세구조체 제작에 성공하였다. 온도감응형 poly(NIPAm) 소재를 기반으로 poly(ethylene glycol) diacrylamide(PEGDAAm)이 소량 첨가되어 낮은 임계 용액온도를 제어하거나, 금 나노입자 및 자성입자를 포함하여 광열효과 및 자기장 반응성을 갖는 다양한 전구체 용액을 준비하였으며, 해당 마이크로 액적의 연속적인 결합을 통해 미세구조체를 제작하였다. 특히 액적의 결합 순서를 3차원적으로 자유롭게 제어 가능하여, 원하는 자극에 원하는 형태로 자유롭게 변형제어가 가능한 자가변형구조체를 구현하였다(그림 1). 최종적으로 복수의 기능을 갖는 마이크로 액적 네트워크 구조를 통해 온도와 자기장을 동시에 활용하여 좁은 미로를 통과하여 특정 물질을 수송할 수 있는 하이드로젤 수송체 구현에 성공하였다.

본 연구는 하이드로젤 구조체의 제작을 위해 지질의 자기조립과 같은 하향식공정과 미세액적의 순차적 주입과 같은 적층공정이 결합된 융합공정을 구현하여 미세구조체 제작에 있어 새로운 접근 방식을 제안하였다. 해당 기술은 향후 소프트 로봇 공학, 생체 의학 장치 및 기타 형태 변형 연성재료의 설계에 대한 새로운 가능성을 보여준다.

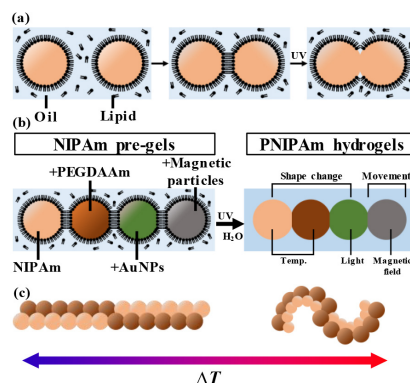


그림 1. (a) 액적 쌍에 의한 마이크로 액적 네트워크 제조 공정 모식도, (b) 서로 다른 외부 자극(온도, 빛, 자기장)에 반응하는 마이크로 액적, (c) 온도에 반응하는 연속적인 마이크로 액적의 형태 변화.

본 연구결과는 저널 *Nature Chemistry*에 “Multi-responsive hydrogel structures from patterned droplet networks”이라는 제목으로 2020년 3월에 게재되었다 (DOI: 10.1038/s41557-020-0444-1).