

형상기억(Shape-Memory), 자가치유(Self-Healing) 특성의 수퍼하이드로젤

정연식 | KAIST 신소재공학과 (E-mail: ysjung@kaist.ac.kr)

최근 일본 이화학연구소에서는 나노시트 구조체와 선형 바인더 물질을 혼합하여 강도가 뛰어난 새로운 하이드로젤을 제조하는데 성공하여 기존의 플라스틱을 대체할 가능성을 제시하였다. 또한 완전 건조 후 흡습시에 최초 형상이 복원되는 형상기억 능력 및 분리 후 쉽게 다시 접합되는 자가치유 기능 등의 장점으로 인해 향후 여러 분야에서의 실용적인 활용이 기대되고 있다.

오늘날 많은 석유화학 제품들이 실생활에 광범위하게 사용되고 있지만, 원유의 가파른 가격 상승세 및 미래 고갈에 대비할 필요성이 대두되고 있다. 따라서 기능성 플라스틱 제조에 있어 화석 연료 의존성을 탈피하고자 하는 연구들이 주목을 받고 있는데, 그 중의 하나인 하이드로젤(hydrogel)은 물분자의 흡수에 의해 팽창된 3차원 구조의 고분자 체인이며 일반적으로 반고체 상태로 정의될 수 있다. 현재 콘택트렌즈, 기저귀, 의료용 전극, 세포 배양 등의 다양한 분야에 사용되고 있지만, 그 취약

한 강도로 인하여 활용 범위에 제약이 따르고 있는 것도 사실이다.

이를 극복하기 위하여 일본 동경대 및 이화학연구소(RIKEN)에서는 기계적 강도 및 안정성이 획기적으로 개선된 새로운 하이드로젤을 개발하여 기존 플라스틱 소재의 대체 가능성을 보여준 연구결과를 2010년 *Nature*지에 발표한 바가 있다. 연구

자와 덴드리머(dendrimer) 형태의 유기물 바인더(binder)를 활용하여 기계적 강도가 매우 뛰어나고 광학적으로 투명한 하이드로젤을 제조하는데 성공하였으며, 형상이 잘 유지되고 손상되었을 때 빠르게 복원되는 능력을 보였다. 하지만 연구진이 사용한 덴드리머 구조체의 복잡성 때문에 장시간의 합성 시간이 요구되는 등의 단점으로 인하여 실용화에는 한계가 있었다.

최근 같은 연구팀이 미국화학회지 *Journal of the American Chemical Society*에 발표한 결과에 따르면 ABA-triblock copolyethers 형태의 선형 분자를 바인더로 활용함으로써 이 문제를 해결할 수 있을 것으로 보인다. 여기서 A는 결사슬(side-chain) 말단부에 구아니디늄(guanidinium, $\text{HNC}(\text{NH}_2)_2^+$) 이온(Gu^+)을 포함하는 블록으로서 점토 나노시트의 표면에 바인딩 능력을 부여하게 되며, B는 폴리에틸렌옥사이드(poly(ethylene oxide), PEO)로서 유연한 링커(linker) 역할을 하게 된다. 상기 논문에서 연구자들은 각 블록의 길이 변화에 따른 기계적 특성 변화를 관찰 및 분석하였다.

이 제조 방법은 매우 간단하여, 상기 점토 입자 및 바인더 등을 물에 소량 혼합하면, 수 초 내에 스스로 지지(free-standing)가 가능한 젤이 형성된다. 이는 점토 나노시트와 고분자 바인더 사이에 가교 결합(cross-linking) 형태의 상호작용이 발생하기 때문인데, 흥미롭게도 영구적인 화학결합이 아닌 수소결합 및 정전기력으로 결합하게 된다. 영구적인 결합이 아니더라도 물분자의 교환 및 제거가 가

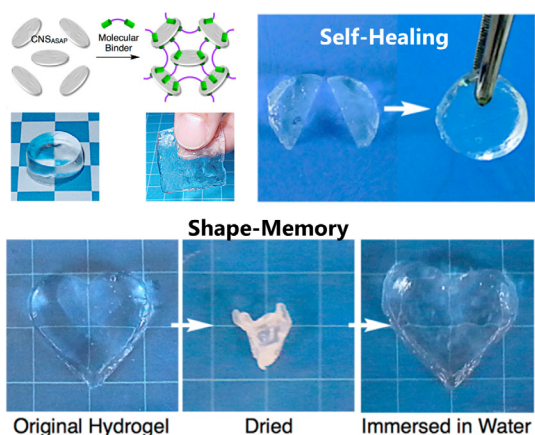


그림 1. 나노시트(nano-sheet) 형상의 점토(clay) 입자와 aba 공중합 고분자 형태의 선형 분자를 바인더로 활용하여 새로운 하이드로젤을 제조하였으며, 분리 후 재접합시 완벽하게 원상 복구되는 자가치유(self-healing) 현상과, 건조 후 재팽윤시에 형상이 복원(shape-memory)되는 능력을 보였음.

팀은 나노시트(nano-sheet) 형상의 점토(clay) 입

능할 정도로의 충분한 결합 강도가 입증되었다. 이러한 비공유결합(non-covalent bond) 덕분에 두 부분으로 자른 후에 단순히 접촉만 시켜줘도 수소 결합 및 정전기적 결합이 그대로 복원되어 자가치유(self-healing) 혹은 자가접합(self-bonding) 할 수 있는 유용한 능력을 갖게 된다.

또한 연구팀의 실험 결과에 따르면, 이 하이드로젤은 형상기억(shape memory) 특성을 갖고 있어서, 완전히 건조시킨 후에 물이나 유기 혹은 이온성 액체로 다시 적시면 원래의 구조로 돌아올 수 있다. 이런 특성을 이용해, 유착방지제(anti-adhesive material)를 포함한 생의학적 치료나 수술 등에서도 광범위

하게 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

본 연구결과는 2013년 9월, *Journal of the American Chemical Society* 저널에 "Linear versus Dendritic Molecular Binders for Hydrogel Network Formation with Clay Nanosheets: Studies with ABA Triblock Copolyethers Carrying Guanidinium Ion Pendants"라는 제목으로 게재되었다(DOI:10.1021/ja408547g).

본 토픽은 KISTI 미리안의
글로벌동향브리핑(<http://mirian.kisti.re.kr>) 및
NanoWerk (<http://www.nanowerk.com>)의
기사를 참조하여 정리하였습니다.

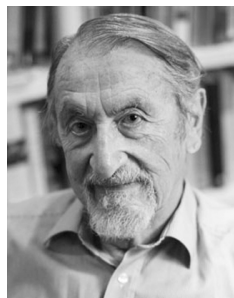
2013년 노벨 화학상

도춘호 | 자유기고가, 전 순천대 교수 (E-mail: choondo@sunchon.ac.kr)

2013년 노벨 화학상은 컴퓨터를 이용해서 화학 반응을 디자인하고 화학 반응 결과를 예측하는 계산 화학 분야의 하버드대학교의 카프러스 교수, 스텐포드대학교의 레빗 교수 그리고 남가주대학교의 와셀 교수가 공동으로 수상했다. 이번 수상자들은 QM/MM(quantum mechanics/molecular mechanics)라고 알려진 양자역학과 분자역학을 합친 계산 화학 분야를 개발해서 생체 고분자와 같은 거대한 분자들의 작용을 이해하는데 큰 역할을 했다. (주: 노벨상 위원회의 홈페이지 자료 등을 인용해서 2013년 노벨 화학상을 소개합니다)

우리는 화학 반응의 결과를 보통 실험을 통해서 얻는다. 실험대신 이론으로 풀어보려는 것이 이론 화학이다. 예를들면, 교과서에 나오는 것처럼 공-막대기(ball and stick), 공-스프링(ball and spring)과

같은 분자 모델을 만들어서 분광 진동스펙트럼을 설명할 때 고전 역학적 수식으로 푸는 것도 이론 화학이다. 화학 반응은 전자의 이동이 포함되어 있고 화학 결합이 끊어지고 새로 생기는 것이다. 분자의 모양이 바뀌고 크기기도 바뀐다. 그리고 화학 반응은 반응에 참여하는 분자들이 정지 상태에 있는 것이 아니고 에너지를 받아서 여기 상태에서 반응하고 반응은 중간 상태나 전이 상태를 거친다. 우리가 일반적으로 알고 있는 분자의 구조는 에너지가 낮은 상태의 것을 알고 분자 내의 각 원자의 움직임이나 전자의 이동은 알 수가 없다. 더구나 결합이 끊어지고 생기는 상태는 더욱 알 수 없다. 이전에는 이런 문제



카프러스 교수
(Martin Karplus)



레빗 교수
(Michael Levitt)



와셀 교수
(Arieh Warshel)