

광 감응 마이크로결정 어레이를 포함하는 고분자 액추에이터

이창연 | 중앙대학교 화학공학과 (E-mail: cylee@cau.ac.kr)

열, 빛 등의 다양한 에너지를 운동에너지로 변환하는 액추에이터는 반복적인 기계적 변형을 수반하기 때문에 통상적으로는 탄성을 지니는 재료를 기반으로 한다. 그러나, 본 연구에서는 딱딱한 결정을 엔진으로 하는 소프트 액추에이터를 개발하였다. 마이크로 사이즈의 결정을 고분자 멤브레인 내에 성장시키는 방법으로 기존 단결정 기반 액추에이터의 낮은 기계적 물성/가공성 문제점을 해결하였다. 최대 47 kJ M^{-3} 의 일을 할 수 있는 액추에이터가 제작되었고, 이는 단결정 기반 액추에이터는 물론 기존 탄성체 기반의 액추에이터의 성능보다 뛰어나다.

흥 미롭게도, 딱딱하고 깨지기 쉬운 단결정이 액추에이터로 활용될 수 있다. 밀집된 결정 내의 국부적인 분자의 섭동(molecular perturbation)이 분자 간 상호작용을 통해 결정 격자 전체로 전파될 수 있고, 궁극적으로 결정의 변위나 거시적인 변형으로 나타날 수 있다. 단결정 기반 액추에이터는 기존의 액정 고분자/비정질 고분자/젤 등의 탄성체 대비 빠른 응답속도, 높은 에너지 전환율 등을 지닐 수 있다는 잠재력으로 큰 기대를 받고 있다. 그러나, 단결정이 지니는 아주 전형적인 문제점들—반복적인 기계적 변형으로 인한 파손, 낮은 가공성—은 여전히 풀기 어려운 큰 도전과제로 남아 있다.

최근 University of Colorado Boulder의 Ryan C. Hayward 교수 연구팀은 고분자 내에 단결정을 어레이 형태로 성장시킴으로써 기존 단결정 액추에이터의 한계를 극복할 수 있음을 보고하였다. 고분자는 한 방향으로 정렬된 마이크로 채널을 지니는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(polyethylene terephthalate, PETE)가 사용되었고, 단결정 소재로는

빛의 파장에 따라 분자구조를 가역적으로 바꿀 수 있는 다이아릴에텐(diarylethene, DAE)이 사용되었다. 용매 어닐링을 통해 DAE 결정을 고분자 마이크로 채널 내에 성장시켰는데, 흥미롭게도 자발적으로 다결정(필름 상층부)—단결정(필름 하층부)으로 구획화되어 결정이 성장되었다. 다결정의 경우, 랜덤한 배향으로 인해 방향성 있는 결정 변형이 일어나기 어려운 반면, PETE 고분자 배향에 의해 이축 성장된 DAE 단결정은 비등방 변형을 보여 종합적으로 고분자 액추에이터가 180° 이상 구부러 지는 모션이 나타났다.

본 논문에서는 결정 기반의 액추에이터 설계 규칙에 대한 다양한 통찰을 제공하고 있어 향후 해당 연구 분야의 기술 발전에 중요한 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구결과는 *Nature Materials*에 “Photo-actuators via epitaxial growth of microcrystal arrays in polymer membranes”의 제목으로 2023년 7월에 게재되었다 (DOI: 10.1038/s41563-023-01610-4).

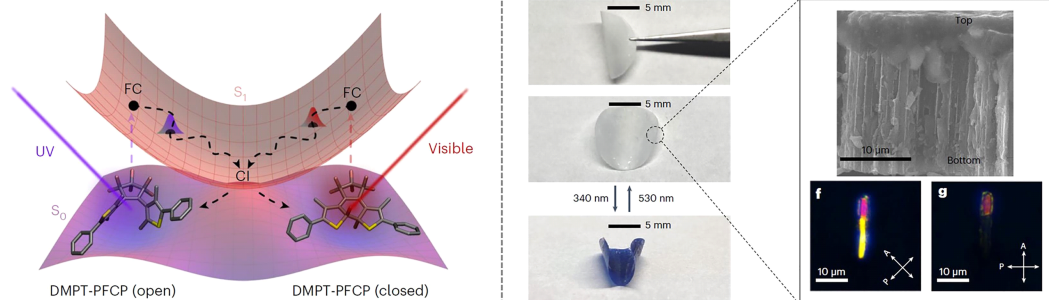


그림 1. 빛에 의한 DAE 분자구조 변화(왼쪽) 및 액추에이터 벤딩 모션(오른쪽).