

자기이방성을 이용한 고응답성 원격제어 소프트 액추에이터 개발

하민정 | 광주과학기술원 신소재공학부 (E-mail: minjeongha@gist.ac.kr)

소프트 액추에이터는 외부 자극원에 반응하여 형상 변형과 탄성 회복이 가능하며, 특히 자기장에 의한 토크 발생으로 동작하는 자성 소프트 액추에이터는 빠른 응답 속도와 원격 제어가 가능해 로봇 동작의 자유도를 높일 수 있다. 본 연구에서는 자기이방성 입자와 열감응성 형상기억고분자 기반 소프트 액추에이터 개발을 통해 관절 구조 없이 빛과 자기장만으로 고정밀 형상변형이 가능하며, 실시간 동작 모니터링과 피드백 제어로 인간이 개입하기 어려운 공간에서 임무를 수행할 수 있는 로봇 시스템의 핵심 기술을 증명하였다.

소프트 액추에이터(soft actuator)는 외부 환경 변화에 적응하며 임무를 수행하는 소프트 로봇의 핵심요소로 열, 빛, 전기장, 자기장과 같은 자극원에 반응하여 형상 변형과 탄성 회복을 반복할 수 있는 소재 개발이 필수적이다. 큰 부피와 강성 스켈레톤(skeleton)으로 변형에 제약이 있는 기존 액추에이터와 달리, 관절 구조 없이 상대적으로 고자유도 변형이 가능한 소프트 액추에이터는 좁고 굴곡진 공간에서 동작하거나 부드러운 물체와 상호작용 가능한 장점이 있다. 특히, 외부 자기장에 반응하여 형상 변형과 회복이 가능한 자성 소프트 액추에이터는 빠른 응답 속도와 고정밀 원격 제어를 가능하게 하여 생체 삽입형 마이크로 로봇, 착용형 로봇, 탐사 로봇 등과 같은 첨단 로봇 산업 분야에서 큰 주목을 받고 있다. 자성 소프트 액추에이터는 연성 고분자 소재와 자성 입자 분산상으로 이루어진 복합소재를 기반으로 하며, 자성 입자의 자화 상태와 외부 자장에 의한 자기력을 통해 형상 변형과 동작 제어가 가능하다. 자기력에 의한 자성 소프트 액추에이터의 응답성은 크게 병진력(translational force), 자기변형(magnetostriction), 토크(torque)의 형태로 나타난다. 자장 구배 하에 자성 입자의 재정렬과 자기력으로 병진 운동을 유도할 수 있으나 복잡한 형태의 변형은 어렵고, 자기변형의 경우 10-

1,500 ppm 수준으로 변형률($\Delta\lambda/\lambda$)이 매우 낮다. 반면 토크는 연성 소재의 부피 변형을 동반할 수 있어 토크 발생을 유도하는 자성 소프트 액추에이터 연구가 활발히 진행되고 있다.

자성 입자의 자기이방성은 토크 발생의 주요 원인으로, 자성체의 결정구조에서 기반하는 결정 자기이방성(magnetocrystalline anisotropy), 형상 이방성(shape anisotropy), 스트레스 이방성(stress anisotropy) 등 복합적 요인에 의해 나타난다. 주로 높은 결정 자기이방성으로 강한 토크를 발생시킬 수 있는 희토류계 자성 물질인 Nd 합금과 탄성 고분자를 복합한 자성 소프트 액추에이터가 개발되었으며, 자기장뿐만 아니라 다중 자극에 선택적으로 반응하는 형상기억고분자를 소재로 사용하여 소프트 액추에이터의 정밀 동작 제어 특성을 확보할 수 있다. 또한, 고분자의 경화 과정에서 자화를 통해 높은 분해능으로 강자성체의 자기 모멘트(magnetic moment)를 프로그래밍(programming)하면 자기 극 방향에 따라 복잡하고 다양한 형상 변형이 가능하다. 본 연구에서 제시된 자성 소프트 액추에이터는 미리 설계된 관절 구조 없이 자기 모멘트 프로그래밍과 열에 의해 탄성계수가 변하는 형상기억고분자를 복합하여 원격 동작 제어가 가능하다. 특히 동작의 실시간 모니터링(real-time monitoring)과 피드백 제어(feedback control)로 외부 환경 변화에 따른 변형이 가능하기 때문에 자가 적응형 로봇 시스템으로 응용할 수 있어 로봇 산업 분야로의 실질적 활용 가능성이 높아질 것으로 기대한다.

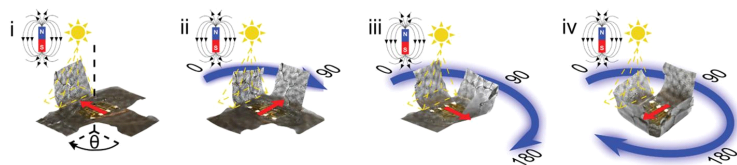


그림 1. 자기이방성 입자와 열감응성 형상기억고분자 기반 자성 소프트 액추에이터의 원격 동작 제어 사진.

본 연구결과는 *Advanced Materials*에 "Reconfigurable Magnetic Origami Actuators with On-Board Sensing for Guided Assembly"의 제목으로 2021년 6월에 게재되었다 (DOI: 10.1002/adma.202008751).