

렌즈를 만드는데 사용되는 재료의 일종인 하이드로겔(hydrogel)을 이용한다. 하이드로겔은 주로 폴리머 내부에 결합된 물로 이루어져 있다. 일부 하이드로겔들은 온도나 산도와 같은 조건들이 변화에 따라 부풀거나 오그라들 수 있다. 드레스덴공대(Technical University of Dresden)의 안드레아스 리히터(Andreas Richter)와 조지 파슈브(Georgi Paschew)는 맹인들을 위한 새로운 촉각 디스플레이를 개발하기 위한 노력으로 하이드로겔의 그러한 능력을 이용했다. “우리는 부피와 기계적 강도를 크게 바꿀 수 있는 스마트 하이드로겔을 사용한다.”라고 리히터는 말했다.

이 두 과학자들은 온도에 민감한 하이드로겔 방울 4225개로 이루어진 사각 배열을 만들었다. 각 방울의 폭은 대략 300마이크론이며 이웃 방울과도 비슷한 정도의 간격을 두고 있다. 단 1제곱센티미터의 배열 속에는 겔 ‘화소’가 297개나 포함되어 있다. 화소들은 광 빔이 비추지면 가열되는 검정 폴리에스테르 뒤판 위에 놓여있으며, 광 빔은 개별적인 방울을 따뜻하게 만들 수 있을 정도로 충분히 좁다. 29 °C 이하에서는 화소들의 높이가 0.5밀리미터이지만, 35 °C까지 가열되면 일부 물을 방출하여 절반 높이가 된다. 또한, 화소들은 불투명해지고 촉감이 훨씬 더 딱딱해진다. 검정 뒤판을 가로질러 광 빔을 빠르게 주사하면 1초에 두 번 바뀌는 고해상도 촉각 영상을 표시하는 것이 가능하다. 광 빔이 화소에서 제거되면, 화소의 온도는 빠르게 떨어지고 겔은 이전 크기로 다시 부풀며 잃어버렸던 물을 빨아들인다. 모양이 좀 더 가파른 기복으로 변화하도록 하고 물이 새지 않도록 막기 위해, 겔은 플라스틱 막 아래에 봉인되었다.

이 시스템은 사람의 접촉으로 정보를 소통하는 촉각 디스플레이를 만드는데 이용될 수 있을 것이라고 리히터는 말한다. 그와 같은 디스플레이는 맹인들을 위해 사용되거나, 로봇 수술 장비의 인터페이스에 내장되어 로봇의 손가락 끝에 닿는 것을 외과의사가 느낄 수 있도록 하는데 이용될 것이다. 이런 일이 실현되려면 겔의 반응온도를 낮추는 것과 같은 약간의 개선이 필요하지만, 연구팀의 시작품은 디스플레이에 필요한 것들은 대부분 이미 할 수 있다. 또한, 리히터는 수축하고 팽창하는 겔이 미세한 랩온어칩(lab-on-a-chip) 장치에 쓰일 아주 작은 펌프와 밸브의 역할을 어떻게 할 수 있을지에 관해서도 연구하고 있다. “이번 연구는 최초로 집적복합표면을 설계, 엔지니어링 및 최적화한 주목할 만한 시연이며 중요한 진전이다.”라고 런던 임페리얼컬리지(Imperial College)의 폴리머마이크로 유체공학단 단장인 조아오 카브랄(Joao Cabral)은 말한다.

(*Advanced Materials*, 2009)

더 강해진 나노연필

인텔(Intel)과 Caltech 연구진은 초고밀도 데이터 저장에 사용될 수 있는 썬워진 탄소나노튜브로부터 만들어진 나노연필(nanopencil)을 만들었다. 탐침은 예전에 만들어진 노출되거나 폴리머로 덮여진 나노튜브와는 달리 내마모성이 좋고 강유전성 박막 위에서 6.8 nm 만큼 작은 비트 크기로 데이터를 저장할 수 있다. 이것은 1 Tbit/inch² 만큼 큰 저장밀도를 가지도록 할 것이다.

탐침 기반 “자리찾기 및 주사(seek-and-scan)” 데이터 저장 시스템은 초고밀도 비휘발성 메모리를 만드는데 이상적이다. 여기서 주사 탐침이나 탐침 어레이는 매체에 데이터를 쓰거나 읽는다. 이 비트 크기는 탐침 팁의 크기에 의존하고 과학자들은 나노크기 탐침 강유

전체 박막의 극성을 부분적으로 반대로 할 수 있다는 사실을 최근 보였고 나노미터만큼 작은 도메인 크기를 만든다.

그러나, 한 가지 난관이 있다. 그것은 실용적인 장치에서 탐침은 매우 높은 속도(100 μm/s 이상)에서 밑에 있는 장치와 연결되는데 그때 기존의 주사 탐침 팁(scanning probe tip)이 매우 빠르게 마모되어서 해상도를 떨어뜨린다. 탄소나노튜브는 매우 강한 기계적 성질과 내마모 성질을 가지고 있어서 탐침으로서 이상적이다. 그러나, 탄소나노튜브는 휘거나 뒤틀러지기 쉬워서 탐침 팁으로 사용이 제한된다.

연구진은 뛰어난 내마모 성질을 가진 유전체 물질인 실리콘 산화물로 코팅된 탄소나노튜브 탐침을 만들었다. 연구진은 이 탄소나노튜브가 일반적인 읽기/쓰기 조작동안 일반적으로 인가되는 5 nN 힘보다 3배 더 큰 비틀림 힘을 견딜 수 있을 것이라고 판단했다. 이 수치는 파릴렌(파라 크실렌에서 얻은 플라스틱)으로 코팅된 다중벽 탄소나노튜브 탐침보다 14배 더 큰 값이다. 또한, 연구진은 PZT 박막 위의 나노연필 마모율이 50 mm/s 스캔 속도에서 4.35×10^3 nm/s 이라는 것을 알 수 있었다. 이것은 나노연필이 읽기/쓰기를 할 수 있는 스캔 거리가 11 km보다 더 길다는 것을 의미한다. 이 수치는 일반적인 데이터 저장 장치에서 요구되는 값을 초과한다.

과학자들에 따르면 나노튜브의 중첩되는 폴리머 코팅되거나 노출된 나노튜브 탐침에서 보여준 휘거나 비틀러지는 문제들을 피하면서 나노튜브의 매우 작은 크기를 이용한다. 더 나아가 새로운 탐침은 강유전체 박막 위에 6.8 nm 만큼 작은 비트 크기를 쓸 수 있다. 이것은 1 Tbit/inch² 만큼 큰 저장밀도를 가능하게 한다.

연구진은 전도성 AFM 팁 위에 단일 나노튜브나 한 묶음의 나노튜브들을 부착시켜서 탐침을 만들었다. 그 후에 나노튜브 탐침 위에 실리콘 산화물을 균일하게 코팅시켰다. 마지막으로 다이아몬드 표면 위에 팁을 미끄러지게 해서 나노연필을 날카롭게 했다. 이 작업으로 일부 실리콘 산화물 코팅이 제거된다.

읽기/쓰기 조작에 나노연필을 사용하기 위해서 연구진은 강유전체 박막 표면과 접촉된 나노튜브 팁에 전기 펄스를 인가했다. 전기장은 한 개의 비트를 쓰기 위해서 박막의 작은 영역에서 분극 방향(polarisation direction)으로 부분적으로 움직일 수 있다. 읽는 동안 AC 신호가 팁에 인가되었다. 이것은 역압전효과(reverse piezo-electric effect)를 통해서 아래 있는 박막의 기계적 팽창과 수축을 유도한다. 역압전 반응의 상은 비트들의 지역적 분극 방향에 의존한다.

(*Applied Physics Letters*, September, 2008)

약물을 전달하는 매우 작은 나노입자 캡슐

펜실베이니아 주립대학(Penn State University) 연구진은 병든 세포에 약물을 전달할 수 있는 폴리머 층과 나노입자로 구성된 매우 작은 입자 주입기(particle syringe)를 개발하였다. 이 전달 시스템은 다양한 물질을 전달할 수 있을 정도로 충분히 강하고 플렉서블할 수 있다.

많은 사람들은 자신의 질병을 근심하기보다는 어떤 치료의 영향을 더 두려워한다고 연구진은 말했다. 약물들은 독이다. 치료는 암을 죽이기 위해서 약물을 투여하는 것이지 환자에게 투여하는 것이 아니다. 그래서 표적 치료는 매우 중요하다. 약물 전달을 위한 더 새로운 접근들은 특정 세포를 찾아서 이 세포에 약물이 방출되도록 하는 입자들을 포함한다. 또 다른 접근은 입자들이 세포 속으로 들어가서 약

물을 방출하는 것이다. 그러나, 이런 약물 시스템들은 매우 복잡하고 해결해야 할 문제들이 많다.

이번 연구진은 5 마이크로 이하의 구체 용기로 이루어진 더 일반적인 약물 시스템을 만들었다. 이 구체들은 전달되어야 하는 약물이나 액체 약물을 위해 속이 빈 구조로 되어 있고 후에 제거될 수 있는 물질들로 둘러 싸여진 고체 마이크로입자들로 구성되었다.

물질의 교류 음극과 양극 층은 마이크로캡슐을 형성한다. 캡슐들은 약물에 노출하는 영역으로서 표면의 약 5 %를 코팅되지 않은 채 남기면서 이 표면에 약물이 잘 부착되도록 한다. 그 후 마이크로캡슐은 미끄러운 고착되지 않는 배리어 코팅으로 덮여진다. 이 연구결과에 따르면 약물을 전달을 위해서 개발된 첫 번째 마이크로캡슐은 아니지만 예전 시도들은 함께 고착되거나 응집되는 표면을 가졌다고 연구진은 말했다. 또한, 약물 전달을 조절하기 위해서 구체에 매우 작은 구멍을 만들었는데 이것은 새로운 시도이다.

표적된 약물 전달 시스템은 몸체로 들어오는 순간에 약물을 방출한다. 그러나, 물질을 연속적으로 방출하는 마이크로 주입기는 표면의 매우 작은 구멍으로부터 약물을 방출하고 나머지 거의 95%에서는 약물이 방출되지 않는다. 이것은 표적에 약물이 집중되도록 할 것이고 몸에서 순환하는 독성의 양을 감소시킬 것이다.

이 입자들은 당신이 필요할 때 당신이 원하는 것을 첨가할 수 있는 전달 용기라고 연구진은 말했다. 약물들은 캡슐이 만들어질 때 첨가된 고체이거나 후에 채워진 액체일 수도 있다. 병을 앓고 있는 세

포를 타겟으로 하는 화학물질을 다양한 방법으로 첨가할 수 있다. 연구진은 마이크로캡슐을 건조시키고 다시 재구성함으로써 마이크로캡슐의 견고성을 측정했다. 긴 시간동안 건조되고 재수화되는 과정을 견디는 능력은 인체 속에 삽입되는 마이크로캡슐의 신뢰성을 향상시킬 것이다.

구체의 재충전을 확보하기 위해서 연구진은 형광 염료가 포함된 용액을 사용했다. 마이크로캡슐의 채움과 비우기는 매우 작은 비드(bead)가 표류하는 액체의 산도로 조절된다. 성공적인 재수화(rehydration)와 충전은 이 마이크로 주입기가 필요할 때 제조되고 약물을 저장할 수 있다는 것을 암시한다. 그 후 마이크로캡슐은 적절한 약물로 채워질 수 있고 특히 질병과 환자들을 치료하기 위해서 부착된 적절한 표적 약품을 가진다.

이 마이크로캡슐을 만들기 위해서 사용된 마스크 프로세스는 상당히 저렴하고 현재 기술로 대량 생산이 가능하다고 연구진은 말했다. 연구진은 현재 이 마이크로주입기의 바깥쪽 면을 위한 완벽한 불침투성 코팅을 연구하고 있고 마이크로 주입기의 다른 면을 테스트하고 있다.

(Soft Matter, 2008)

본 기술뉴스는 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 글로벌동향브리핑(GTB) 및 나노위클리(Nano Weekly)에서 발췌, 정리하였습니다.

<경희대학교 박재형, e-mail: jaehyung@khu.ac.kr>