

고용량 수소 저장을 위한 나노복합체(Nanocomposite)

1970년대 이후 수소(hydrogen)는 온실가스와 유해한 오염물질을 분출하는 탄화수소를 기반으로 하는 연료와는 달리 청정 연소가 가능하기 때문에, 화석 연료의 유망한 대안으로 거론되어 왔다. 수소의 유일한 연소부산물물은 물이다. 가솔린과 비교하여 수소는 경량이며 더 높은 에너지 밀도를 제공할 뿐 아니라 손쉽게 이용할 수 있다. 그러나 수소가 연료로서 가솔린을 대신하기 위하여, 수소는 안전하고 높은 밀도로 저장될 필요가 있어야 하고, 쉽게 접근할 수 있어야 한다. 한편 재료에 따른 한계가 이러한 어려움을 해결할 수 없기 때문에, 수소 저장 기술의 발전은 다른 청정 에너지원에 밀려 지연되어 왔다.

최근 몇 년 동안, 과학자들은 이러한 휘발성 기체를 안전하게 유지하기 위하여 수소를 고체로 저장하거나 더 큰 질량을 반응성이 낮은 보다 더 적은 부피로 만들어 수소 저장 문제를 해결하는 시도를 해왔다. 그러나 이러한 고행 물질 대부분은 소량의 수소만을 흡수할 수 있으며, 수소의 전반적인 에너지 효율성을 향상시키기 위해서는 극한의 가열 또는 냉각을 필요로 한다.

현재 미국 에너지부(DOE; Department of Energy) 산하 로렌스 버클리 국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory) 연구진은 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA; poly(methyl methacrylate)) 기질에 나노입자의 마그네슘(magnesium) 금속이 뿌려져 있는 새로운 수소 저장 재료를 고안했다. 연구진이 개발한 새로운 유연한 나노복합체(nanocomposite)는 일반적인 온도 조건에서 수소를 신속하게 흡수 및 방출할 수 있으며, 수소 저장, 배터리 및 연료 전지 등을 위한 재료 고안에서 중요한 혁신 기술인 순환 이후 금속을 산화시킬 필요가 없다는 장점을 가지고 있다.

이 연구를 주도한 버클리 연구소 소속의 Jeff Urban은 이 연구가 기본적인 열역학 및 운동에너지 장벽을 극복하기 위하여 혼성 나노규모의 재료를 고안할 수 있음을 보여 주었다고 밝혔다. 게다가 연구진이 이러한 새로운 복합재료에서 고분자와 나노입자 모두의 고유한 특성을 생산적으로 향상시킬 수 있다는 사실을 보여 주었다고 Urban은 밝혔다.

공동 저자인 Ki-Joon Jeon, Christian Kisielowski 등과 함께 Urban은 고분자에 확산되어 있는 개별적인 마그네슘 나노결정을 관찰하기 위하여 국립전자현미경연구소(NCEM; National Center for Electron Microscopy)에 설치되어 있는 TEAM 0.5 현미경을 이용했다. 전 세계에서 가장 강력한 원자 현미경인 TEAM 0.5의 고분해능 이미지 기술을 이용하여 연구진은 새로운 저장 재료군 내에서 수소의 행동 양식에 대한 예상치 못한 견해를 제공하는 다르게 배열 되어 있는 결정 구조 프레임워크 내의 원자 공동(atomic vacancy)인 결합을 추적할 수 있었다.

보다 더 지속 가능한 에너지 문제를 해결할 수 있는 새로운 재료의 발견은 DOE의 임무 중 핵심이라고 Kisielowski는 밝혔다. 연구진은 이러한 임무를 성공적으로 이끌기 위한 뛰어난 실험을 제공했다고 Kisielowski는 덧붙였다. 연구진이 TEAM 0.5 현미경을 이용한 분광 조사를 통하여 새로운 재료에서 수소의 존재를 확인할 수 있었으며, 이러한 조사가 TEAM 0.5 현미경을 이용하여 새로운 재료에서 수소의 직접적인 이미지를 얻을 수 있었다고 Kisielowski는 밝혔다.

연구진이 개발한 나노복합체 재료에서 수소의 흡수 및 방출에 대한

조사를 수행하기 위하여, 연구팀은 수소 저장을 포함하여 에너지를 생산 및 저장하기 위한 보다 더 환경 친화적인 기술 개발을 목표로 하는 버클리 연구소의 EETD(Energy and Environmental Technologies Division)에 도움을 요청했다.

EETD에서 연구진은 시제품을 테스트하기 위한 수소 저장 특성의 개발뿐 아니라 수소 저장 시설을 유지하기 위하여 산업계와 밀접하게 연계했다고 버클리 연구소 청정에너지 실험실 책임자인 Samuel Mao는 밝혔다. Mao는 새로운 재료의 합성과 개발을 연구하여 이후 수소 저장 연구를 위하여 EETD 설비를 이용하게 될 Jeff 연구진과의 협력 연구에 참여하게 되어 기쁘다고 밝혔다.

Urban은 이러한 야심에 찬 과학 분야가 버클리 연구소에서 강력한 협력 정신으로 잘 정비될 것이며, 성공 여부는 NCEM의 최신 현미경, EETD 전문가, MSD의 재료에 대한 노하우 등이 밀접하게 결합되어 달성될 것이라고 밝혔다.

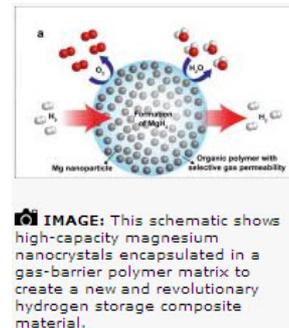


IMAGE: This schematic shows high-capacity magnesium nanocrystals encapsulated in a gas-barrier polymer matrix to create a new and revolutionary hydrogen storage composite material.

그림 1. 기체차단 고분자 매트릭스 안에 담겨진 고용량 마그네슘 나노크리스탈.
<Nature Materials, doi: 10.1038/nmat2978>

나노짜깁이 기술을 이용한 혈중종양세포 검출

혈중종양세포(CTCs; circulating tumor cells)은 혈액 중에 존재하여 체내를 순환하는 희소의 종양세포들을 일컫는다. 따라서 종양의 전이에 중요한 역할을 담당하므로 혈중종양세포들을 검출하는 것은 암의 진단과 치료에 오랫동안 중요한 숙제로 남아있다. 미국 LA 소재 캘리포니아주립대학교(UCLA, University of California Los Angeles)의 연구진은 나노미터 크기의 기둥들을 미세유체장치에 배열하여 혈액 속에 존재하는 혈중종양세포들을 효과적으로 포획하는 장치를 개발하였다.

종양의 전이는 고행암을 가진 환자에서 종양의 일부분이 떨어져 나와 혈액을 통해 체내의 다른 부분으로 이동하는 현상으로 암과 관련된 사망에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 현재 암을 진단하는 일반적인 방법은 초기 전이상태에서 조직의 일부분을 떼어내어 조사하는 생검(biopsy)인데 정확한 생검부위를 결정하는 것은 쉽지 않은 단점이 있다. 이에 반해 근래에 들어 주목 받고 있는 액체 생검(liquid biopsy) 방법은 간단히 혈액 시료만을 채취하여 혈액 내에 존재하는 혈중종양세포를 검출하는 것으로 암의 진행과 암의 치료의 경과를 가늠할 수 있을 뿐 아니라 초기의 검출과 진단에도 유용하다고 여겨진다.

3월 4일자 Angewandte Chemie 저널의 표지 논문으로 발표된 이 연구에 따르면 UCLA 연구진은 나노 벨크로(nano-Velcro) 기술과 마이

크로 유체장치와 결합하여 전립선암 환자들의 혈액 시료에서 매우 드물게 존재하는 종양세포들을 높은 효율을 가지고 검출하는데 성공하였다.

연구진은 2009년에 이미 나노미터 크기의 미세 기둥들을 표면에 형성하여 종양세포의 표면에 존재하는 미세용모(microvilli)들과 서로 짝 짝이(벨크로)가 부착하는 것과 같이 부착하게 하여 혈중종양세포를 검출하는데 성공하였다.

이번에 발표된 연구에서 연구진은 마이크로 유체장치 내에 이 나노짜 짝이를 설치하여 유체가 흘러가는 동안 서로 섞일 수 있는 흐름을 생성하였다. 따라서 혈중종양세포들은 유체의 흐름을 통해 나노짜 짝이 상에 더 많이 접촉할 수 있게 되었다. 마이크로 유체칩 내에서 세포들은 빠른 유속 때문에 채널의 상하로 끊임없이 접촉하게 되고 이 과정에서 종양세포들은 특이적으로 나노짜 짝이에 부착된 항체(EpCAM)를 통해 부착된다.

이번에 개발된 한층 진보된 2세대 혈중종양세포 검출장치는 종양세포의 부착률을 상당히 증가시켰고 사용이 좀 더 용이하였다. 이 기술은 혈중종양세포들과 일차 종양 또는 전이 종양과 비교를 가능하게 하여 종양의 발전이 어떻게 변화하는지 연구하는데 도움을 줄 것으로 기대된다. 또한 임상에 적용된다면 환자 개개인에 맞추어진 암의 치료를 개발하는데 도움을 줄 것이다.

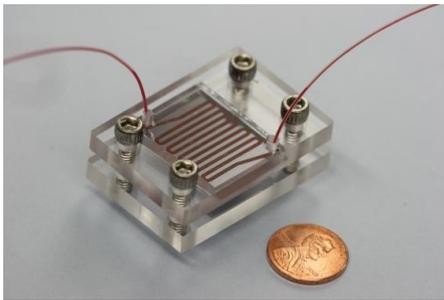


그림 2. 혈중 종양세포들을 검출하는 마이크로 유체장치 사진.

<Angewandte Chemie, doi: 10.1002/anie.201005853>

약물 전달 나노입자의 성능을 향상시키는 3차원 마이크로유체 시스템

최근에 미국의 한 공동 연구팀이 구형의 나노 입자를 형성하는 새로운 마이크로 유체 채널 시스템을 개발하는데 성공했다. 연구팀이 개발한 이번의 마이크로 유체 시스템에서 미세한 고분자 입자는 마이크로 유체 채널을 통과하면서 구형의 나노 입자로 변해간다. 연구팀은 이번 실험에서 아세토나이트릴(acetonitrile)이라는 유기 용매를 사용했으며 이러한 용매는 고분자 나노 입자들이 벽면에 응집되지 않고 채널을 따라 손쉽게 흐를 수 있는 작용을 돕는 역할을 한다.

MIT와 MIT 부속병원 브리검 여성병원(Brigham and Women's Hospital)의 공동 연구진은 암이나 다른 여러 질병에 약물을 전달하는 약물 전달 시스템에 사용될 수 있는 새로운 나노입자를 만드는 새로운 방법을 개발하는데 성공했다. 이번 연구 결과를 통해 균일 조성의 나노 입자를 빠른 속도로 대량 생산하는 것이 가능해지게 되었다. 무엇보다도 이번의 나노입자 제조 방법은 나노 입자의 크기 및 조성을 정밀하게 조절할 수 있다는 데에서 기존의 기술과 차별성을 가지고 있다.

연구팀은 이번 연구에서 일반적으로 사용되는 생분해성 고분자(bio-

degradable polymer)를 기반으로 나노입자를 만들었다. 이렇게 형성된 나노입자는 약물 분자를 대량으로 운반할 수 있으며 또한 몸의 면역 체계에 영향을 받지 않으면서 효과적으로 약물을 방출할 수 있다는 큰 이점을 가지고 있다.

이번의 새로운 나노입자 생산 시스템에서는 마이크로 유체 채널을 통과하는 고분자 입자의 흐름은 3차원적인 모습을 보인다. 고분자 입자는 흐름 채널의 벽으로부터 자유로워 고분자가 유체 흐름의 내부에서 자연스럽게 구형의 나노입자로 변하게 한다. 이는 종래의 2차원적인 시스템에서 고분자가 종종 채널의 위 부분과 아래 부분에서 응집되는 현상이 발생하여 채널의 흐름을 방해하는 것과는 비교된다. 이는 이번의 새로운 시스템에서 사용된 아세토나이트릴이라는 유기 용매가 고분자 나노입자가 마이크로유체 시스템의 통로에 막히는 것을 방지하는 역할을 하기 때문이다.

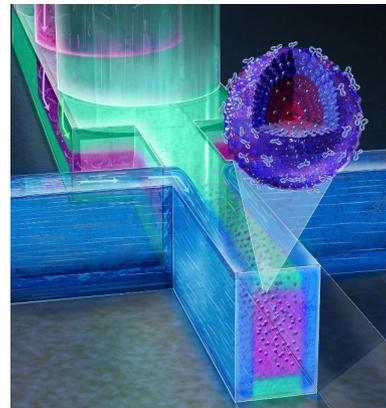


그림 3. 3차원의 마이크로 유체 시스템 내의 약물 전달 나노입자의 대량생산.

<Advanced Materials, DOI: 10.1002/adma.201004333>

전류에 노출되어 절단되는 연성 고분자

듀크대학의 연구팀은 처음으로 전선 절연체와 같은 연성 고분자가 전류에 노출되어 절단되는 것을 보여 주었다. 연구원들은 수십 년 동안 절연체와 같은 고분자들이 고분자의 변형 때문에 끊어질 수 있다고 생각해 왔으나 그러한 과정은 결코 증명되지 않았다. 일련의 실험에 의해 듀크대학의 기술자들은 마이크로 현미경으로 관찰할 수 있는 수준으로 플라ستيك이 전압을 계속적으로 증가하면 변형되어 깨지는 것을 처음으로 보여 주었다. 전선, 케이블 및 커패시터에 사용되는 절연체 고분자와 같이 고분자들은 우리 주위의 어느 곳에서도 발견할 수 있다.

듀크의 기술자들이 발견한 결과는 에너지 수확의 첨단 분야뿐만 아니라 전류와 접해야만 하는 어떠한 고분자의 내구성과 효율을 향상 시키기 위한 새로운 고분자를 개발하는데 도움이 된다. “우리는 이들 고분자들이 전압이 증가하게 되면 결국은 끊어지거나 파괴된다는 것을 오랫동안 잘 알고 있었다. 현재 우리는 실제로 실시간으로 일어나는 과정을 볼 수 있다.”라고 듀크 대학 Pratt 공대 기계재료학과의 조교수인 Xuanhe Zhao는 말한다. 그는 대학원생인 Qiming Wang과 함께 일련의 연구를 수행하였으며 연구결과를 Physical Review Letters에 온라인으로 게재하였다.

듀크 연구진이 개발한 혁신적인 결과는 연성의 고분자가 다른 단단한 고분자층 혹은 보호 기지체에 부착시키는 것으로 이에 의해 절단이 일어나지 않고 변형 과정을 관찰할 수 있다. 그리고 나서 고분자-기지