

연결부인 삼각형 입체중심(stereocenters)을 단단한 선형 구조의 나노와이어에 도입한 Lieber 교수의 기존 연구결과를 기반으로 하고 있다. 많은 복잡한 유기 분자에서 발견되는 화학적 허브(chemical hubs)와 유사한 이들 입체중심은 구부러진 구조들(kinks)을 1차원 나노구조체에 도입하여 보다 복잡한 형태로 변환시킨다.

Lieber 교수 연구팀은 나노와이어에 적절한시스(cis) 위치에 2개의 120도 각을 도입함으로써, V형 틈에 센서가 있는 두 갈래진 nano-FET에 합치되는 한 개의 V형 60도 각이 생성된다는 것을 발견했다. 그 다음 두 개의 팔이 나노 트랜지스터에 전류를 생성하기 위해 와이어에 연결된다.

<출처: Science, 329, 830 (2010)>

새로운 생체모방형 나노센서

GE 글로벌 연구소(GE, Global Research)의 연구진은 미 공군 연구소(Air Force Research Laboratory), 뉴욕 주립대학(State University of New York at Albany), 영국 엑서터 대학(University of Exeter)의 연구진과 함께 생화학 무기 및 폭발물을 보다 빠르고 선택적으로 검출을 할 수 있는 새로운 생체 모방형 나노센서를 연구하고 있다. 3년 전에, GE 연구진은 나비 날개와 닮은 나노구조가 뛰어난 화학적 감지 성질을 가지고 있다는 것을 증명했다. 그 후에, 이 연구진은 독특한 성질을 가진 새로운 감지 플랫폼을 개발했다. 이 새로운 생체 모방형 감지 플랫폼은 위험한 화학물질을 검출하는데 감도, 속도, 정확성을 매우 증가시킬 수 있었다. 이런 요인들은 위험으로부터의 노출을 피하고 효과적인 의료 반응을 관찰하는데 중요한 것들이다. 이 센서는 저렴하게 제조될 수 있고 매우 작은 크기로 되어 있다. 또한 대량 생산이 용이하고 필요한 곳에 쉽게 배치시킬 수 있었다. 이 생체 모방형 센서는 크기 및 제조 분야의 장점 이외에도 독특한 감지 특성을 가지고 있어서 다음과 같은 분야에 적용될 수 있을 것이다(발전소의 배출량 모니터링, 식음료 안전성 모니터링, 수질 상태 검사, 질병 검출을 위한 호흡 분석, 상처 치료 분석). 센서는 가스 농도에 대한 데이터를 수집해서 국부적 영역 또는 대규모 분산 영역의 공기 질을 파악하는데 주로 사용되고 있다. 이런 데이터를 통해서 발전소의 공기 질을 더 정확하게 파악할 수 있어서 화학물질에 노출되거나 건강에 위협을 받을 경우에 경고를 할 수 있다. 이번 연구진의 생체 모방형 센서의 독특한 감지 특성은 감지 데이터의 질을 향상시키고 정확한 데이터를 수집할 능력을 제공한다. 연구진은 자연의 광학적 구조에 영감을 받아서 이런 특성을 가진 나노센서를 개발하게 되었다. 예를 들어, 나비 날개, 벌레의 등껍질, 공작의 깃털에서 볼 수 있는 밝은 색깔은 주로 그들의 복잡한 구조에 의해서 발생하게 된다. 이 연구의 목적은 자연의 포토닉스 구조를 이용해서 가시광선 및 근적외선 파장에서 제어 가능한 포토닉스 장치를 만드는 것이다. 다양한 분야의 전문가들로 구성된 이번 연구진은 새로운 플랫폼 개발을 위해서 연구를 계속하고 있다.

<출처: <http://www.azonano.com>>

홍합의 접착단백질을 응용한 접착제로 파열된 태아막을 밀봉

태아막(fetal membrane)은 발육 중인 태아를 둘러싸고 있는 구

조체이다. 임신 중 불의의 사고(예: 의료진이 의료기구로 태아막을 잘 못 찢는 경우)로 인하여 태아막이 파열되거나 구멍이 뚫리면 양수가 누출되어 조산(premature labor)이나 유산(miscarriage)을 초래할 수 있다. 웬만한 태아막의 결손은 자연적으로 치유되지만, 저절로 복구되지 않는 태아막 손상을 효과적으로 복구하는 방법은 현재 존재하지 않는다. 이에 대한 가능한 해결방법 중의 하나는 생체적 합성을 지닌(biocompatible) 소재를 이용하여 파열된 태아막을 밀봉하는 것이다. 미국 노스웨스턴 대학의 연구진은 American Journal of Obstetrics & Gynecology 최근호에 실린 논문에서, 홍합으로부터 영감을 얻은 밀봉제(sealant)를 이용하여 손상된 인간의 태아막을 복구하는데 성공하였다고 발표하였다. 어떤 물체에 달라붙는 힘이 가장 센 생물을 꼽으려면 단연 홍합이다. 홍합이 한 번 바위에 착 달라붙으면 칼로 긁어내야 가까스로 떨어질 정도다. 홍합의 다리에서는 끈적끈적한 접착체가 생성되어 홍합을 바위나 기타 구조물에 고착시킨다. 홍합은 이 접착체 덕분에 엄청난 파도에도 끌려 내려가지 않고 버틸 수 있다. 홍합이 보유한 이처럼 가공할만한 접착력의 비밀은 1980년대에 일부 밝혀졌다. 현재 캘리포니아 주립대 샌타바버라 캠퍼스(UCSB)에 재직 중인 허버트 웨이트(Herbert Waite) 교수는 당시 홍합의 접착패드에 있는 DOPA(dihydroxyphenylalanine)가 접착력의 근원임을 밝혀냈다(DOPA는 단백질을 구성하는 아미노산의 하나인 티로신이 변형된 물질로서, 파킨슨씨병의 치료에 이용되는 DOPA와 동일한 물질이다). 보통 접착체는 물에 약하지만 홍합은 오히려 물 속에서 접착력이 더 세진다. 홍합의 접착단백질(mussel adhesive proteins)이 골절이나 수술부위를 봉합하는 의료용 접착제로 각광받는 것도 이 때문이다. 그러나 접착력이 워낙 세다 보니 그 힘이 어느 정도인지를 제대로 측정하지 못해 개발에 걸림돌이 되어 왔다. 노스웨스턴 대학의 연구진은 2002년 홍합의 접착단백질을 응용하여 주사용 밀봉제(injectable sealant)를 개발한 바 있다. 연구진이 개발한 밀봉제는 2개의 상이한 용액으로 구성된 혼합물이며, 이 2가지의 용액들이 결합하면 10~20초 후에 젤을 형성하도록 되어 있다(이 2가지 성분 중의 하나는 홍합 접착단백질의 핵심 아미노산인 DOPA이고, 다른 하나는 촉매제이다). 연구진은 이번 연구에서, 자신들이 개발한 밀봉제가 태아막 조직의 손상을 안전하게 밀폐할 수 있는지를 알아보기 위하여, *in vitro*에서 투관침(trocar)으로 인간의 태아막 조직에 3.5 mm의 구멍을 뚫어 태아막 파열을 시뮬레이션하였다. 그리고는 다양한 의료용 접착제로 태아막의 구멍을 처리한 다음, 각 밀봉제별로 효능(접착력)과 부작용(세포독성)을 비교분석하였다. 연구진이 이번 연구에서 사용한 의료용 접착제들은 Dermabond (Ethicon Inc, 독일), Histoacryl (B. Braun GmbH, 독일), Tissucol (Baxter AG, 스위스), 그리고 3개의 「폴리(에틸렌글리콜) 기반 폴리머 하이드로겔」 [poly(ethylene glycol)-based polymer hydrogels, 홍합유래 밀봉제 포함]이었다. 연구진은 이 접착제들을 태아막과 24시간 동안 직접 접촉시키고 급성독성을 테스트하는 한편, 방출물질의 독성을 평가하기 위하여 밀봉제의 추출물을 72시간 동안 양막세포(amnion cells)와 함께 배양하였다. 접착력과 독성을 평가하는 데는 형태학적 분석(morphologic analysis) 및 생화학적 분석법들이 이용되었다. 분석 결과 홍합유래물질의 접착력이 가장 우수한 반면 세포독성은 가장 낮은 것으로 나타났다. “연구에 사용된 모든 접착제의 추출물은 배양세포에 독성을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 그러나 그중에서도 티슈콜(tissucol)과 홍합유래 밀봉제만이 효능과 비

과피성, 비독성을 겸비하는 것으로 밝혀졌다. 특히 홍합유래 밀봉제는 투관침에 의한 구멍을 밀봉하여 내용물의 유출을 막고 인장강도 테스트를 견뎌냈다.”고 연구진은 말했다. 의료용 순간접착제란 넓은 의미로는 반창고로 대표되는 접착제로부터 의료용구의 포장, 외과용 점·접착제 및 지혈제 등을 포함한다. 좁은 의미로는 피부, 혈관, 소화기, 성형외과 등 의료분야에 직접적으로 사용되는 접착제를 의미한다. 따라서 의료용 순간접착제는 피부에 접촉하는 관계로 생체적합성이 요구되며, 생체 내에서 독성과 위해성이 없어야 한다. 또한 생분해성이 고 지혈효과가 있어야 하며, 수분이 있는 곳에서도 순간적으로 접착이 종결될 수 있고, 생체의 치유가 방해되지 않아야 한다. 현재 실용화되고 있는 의료용 접착소재로는 시아노아크릴레이트(cyanoacrylate)계, 피브린 글루(fibrin glue)계, 젤라틴 글루계, 폴리우레탄계 등이 있지만, 생체모방공학(biomimetics) 학자들은 홍합이나 게코 도마뱀 등의 접착성질을 이용하여 수술부위 등을 봉합하는 새로운 기술을 개발하고 있다. 지금까지 많은 연구자들이 홍합의 접착단백질에 대한 선행연구결과를 발표했지만, 이번 연구는 홍합의 접착단백질을 생체막의 손상 치료에 실제로 사용해 보고 그 결과(접착력, 독성, 생체적합성)를 기존의 의료용 접착제와 비교 평가하였다는데 있다.
<출처: *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **202**, 85 (2010)>

세계 최고 성능의 전자현미경을 구현하는 고성능 전자원 개발

물질·재료연구기구(NIMS) 재료 신뢰성연구(萌芽)연구소 1차원 나노재료그룹의 Jie Tang 그룹리더 및 Zhang Han 연구원은 란탄붕화물(LaB₆) 나노와이어의 표면청정화기술과 결정제어 기술을 확립하는데 성공하였으며, 이로써 전자현미경의 성능을 비약적으로 향상시킬 것으로 기대되는 란탄붕화물의 실용화에 길이 열리게 되었다.

현재의 전자현미경에서는 바늘상의 텅스텐(W) 끝부분에서 방출된 전자를 고전압에 의해 가속화하고, 그것을 이용한 전자선을 통해 확대상을 얻었다. 전자원을 더욱 장수명화시키면서 동시에 보다 높은 분해능을 실현하기 위해서는 전압에 의해 전자원으로부터 직접 전자를 끌어내는 ‘전계방사형(電界放射型)’으로 해서 보다 목적에 적합한 재료를 개발하는 것이 요구되어 왔는데 이 재료의 대표적인 예가 LaB₆이다. NIMS는 먼저 미국 노스캐롤라이나대학과의 공동 연구로 LaB₆ 나노와이어를 제작하는데 성공하여 기술로서 확립해 놓았다. 이는 특수한 환경에서 나노와이어를 자연스럽게 성장시키는 방법(화학기상법)이다. 이 나노와이어를 전자원으로서 실용화하기 위해서는 특성의 안정화가 필수적이기 때문에, 표면의 청정화와 표면의 구조, 즉 결정면의 제어가 필요하다.

이번 개발에서는 전계증발(電界蒸發)에 의해 나노와이어 표면을 청정화하는데 성공했다. 이로써 전자원의 고휘도 방사를 위해 필수적인 불순물 제거가 가능하게 되었다. 또, 화학기상법의 최적화에 의해 자연성장된 나노와이어의 결정 방향·결정면을 제어하는 데도 성공했다. 본 기술의 확립을 통해 LaB₆ 나노와이어를 전자원으로 이용하여 최적의 결정면을 얻는 것이 가능해진 것이다.

본 개발 성과에 의해 종래의 성능을 대폭 능가하는 전계방사 전자원 실용화에 필요한 과제를 해결할 수 있었다. LaB₆ 전계방사형 전자원을 이용한 전자현미경이 실용화되면, 전자현미경 등의 계측·분석 장치의 성능을 한 단계 향상시켜, 보다 선명한 이미지나 원소

식별 능력을 얻을 수 있다. 또, 전자선묘화 장치나 의료용 X선 장치 등의 성능이 향상되는 외에, 나노기술의 연구 수준과 연구 효율도 대거 향상될 것으로 기대된다. 연구진은 향후 민간 기업과의 공동 연구 개발에 의해 실용화·제품화를 진행할 예정이다. 본 성과는 과학기술 진흥기구(JST) 산학이노베이션가속사업 ‘첨단계측 분석기술·기기 개발’ 프로그램의 「나노구조제어 LaB₆ 차세대 전계방사 전자총의 개발」의 일환으로 얻어졌다.

<출처: *Nano Letters*, **10**, 3539 (2010)>

천연물로부터 가스 저장용 금속유기 골격체 제조

설탕 한 숟가락, 소금 약간, 알코올 몇 방울—이것들이 바로 새로운 타입의 견고한 나노다공성 금속유기 골격체 제조에 사용되는 재료들이다. 여기서 사용된 설탕은 일반 설탕이 아니라 바이오재생 옥수수 전분으로부터 제조한 감마-사이클로덱스트린(γ -cyclodextrin)이다.

미국 노스웨스턴대학(Northwestern University)의 Fraser Stoddart 교수 연구팀과 UCLA 및 영국의 세인트앤드류스대학(University of St. Andrews) 과학자들이 *Angewandte Chemie* 저널에 발표한 바에 따르면, 이 간단한 재료들이 재생 가능한 천연 소재로 만든 새로운 종류의 생체적합 다공성 결정의 기반이 될 것이라고 한다.

금속-유기 골격체(metal organic frameworks, MOF)는 높은 규칙성을 가진 격자형 결정이다. 격자의 꼭지점은 전이금속(예, 구리, 아연, 니켈, 코발트 등) 복합체이며, 꼭지점 사이는 유기분자로 연결되어 있다. MOF는 자신의 기공 내에 수소나 이산화탄소와 같은 가스를 저장할 수 있다. 또한, 물질의 분리, 촉매반응 또는 신체내의 목표지향 약물전달 등에도 사용될 수 있다. 기존에 알려진 대부분의 MOF는 석유화학계 빌딩블록 화합물로 제조되었다. 반면에 Stoddart 연구팀은 천연물로부터 MOF를 합성하는데 성공했다.

“천연물 유래의 빌딩블록은 일반적으로 비대칭 구조라는 문제점을 가지고 있다. 이로 인해 높은 규칙성을 가진 다공성 골격체로 이들을 결정화시키는 것이 매우 어렵다.”고 Stoddart 교수는 말한다. 감마-사이클로덱스트린이 이 문제점에 대한 해결책을 제시했다. 이 화합물은 8개의 비대칭 글루코스가 고리 형태로 배열되어 대칭 구조를 띠고 있다. 미국과 일본 등 많은 국가에서는 사이클로덱스트린을 식품첨가제로 사용하고 있다. 골격체의 두 번째 성분은 알칼리금속 염이다. 이에 적합한 후보물질로는 바로 일반 식염(염화나트륨), 식염대체물질인 염화칼륨 또는 방부제로 널리 사용되는 벤조산칼륨(potassium benzoate) 등이 있다.

이들 성분을 물에 용해시킨 후, 알코올로 증기 확산하여 결정화시켰다. 곡식으로부터 제조한 알코올과 같이 시판되는 재료를 이용할 수도 있다. “이들 재료는 모두 저렴하게 구입할 수 있는 고품질, 식품용의 고순도 물질들이다.”라고 Stoddart가 말했다. 제조된 결정체는 6개의 감마-사이클로덱스트린 분자가 칼륨 이온에 의해 3차원으로 연결된 입방체로 이루어진다. 이 정육면체는 완벽히 배열되어, 쉽게 접근이 가능한 기공을 가진 다공성 골격체를 형성한다. “이러한 분자 배열은 기존에는 알려진 바가 없다. 기공의 부피가 전체 골격체의 54%를 차지한다.”라고 Stoddart 교수가 언급했다. 다공성소재에 있어서는 특히 이례적으로, 골격체를 물에 녹이면 그 구성 성분으로 완전히 분해되었다가 알코올로 다시 결정화시킬 수 있다. 이렇게 함