

물질을 만들기 위한 이러한 방법의 증합은 새로운 접근 방식이다. 연구진은 화학적으로 고리 모양으로 서로 연결되어진 원자 클러스터로 형성되어진 고무 같이 매우 특이한 복합 폴리머 화합물을 만들 수 있는 새로운 방법을 제공했다. 폴리머 네트워크를 만들기 위한 현재의 방법들은 큰 분자들을 교차 연결(cross-link)하는 화학적 반응에 의존했다. 그러나 이런 방법으로 만들어진 물질들은 응력을 받았을 때 자주 약한 연결로 되어 있는 교차 연결 부위가 깨어져서 물질이 파괴되는 사태까지 발생할 수 있다고 연구진은 말했다. 연구진은 마술사들이 “마술 링(magic ring)”을 선보일 때 사용되는 것과 비슷하게 두 개의 링 모양의 분자들이 서로 연동되도록 하는 다른 방법을 시도했다.

연구진이 이번에 만든 물질들은 기계적으로 뒤틀릴 때 움직일 수 있는 교차 연결을 위한 기준점(anchor point)을 제공하면서 폴리머 사슬을 따라서 미끄러질 수 있는 링의 형식으로 되어 있다. 연구진은 유연한 네트워크로 되어 있는 폴리머를 만드는데 이 방법을 사용할 수 있었고 이 디자인이 폴리머 물리학자들이 제안한 이론적 모델에 적격이라고 말했다. 폴리머 물리학자들이 제안한 이론적 모델은 폴리머가 이러한 링으로 교차 연결되도록 하는 것이다.

연구진은 현재 이 기술에 적합한 물질들을 만들기 위한 최적화된 방법을 개발했다. 이 연구결과는 *Journal of the American Chemical Society*에 “Polypseudorotaxanes via Ring-Opening Metathesis Polymerizations of [2] Catenanes”이라는 제목으로 게재되었다.

(*J. Am. Chem. Soc.*, October 2008)

올레핀 복분해 반응을 위한 강력한 촉매

강력한 올레핀 복분해(olefin metathesis: 이중 결합을 가진 단순한 물질을 보다 복잡한 화학 물질로 변환시키는 기법) 반응을 일으킬 수 있는 매우 효과적인 새로운 촉매가 보스턴대학 및 MIT 과학자들에 의해 발견됨으로써, 의약품, 생물 및 재료 분야 연구에 광범위한 과학적 원천을 제공하고 있다. 2005년 촉매 올레핀 복분해 발견으로 노벨화학상을 수상한 바 있는 MIT의 Richard Schrock와 보스턴대학의 Amir H. Hoveyda 교수에 따르면, 이 새로운 촉매는 쉽게 제조할 수 있으며, 예전에 화학자들에 의해 구현된 적이 없는 독특한 특성을 가지고 있다고 한다. 이 연구팀의 연구결과는 *Nature*지 온라인 판에 게재되어 있다.

인류의 삶을 질을 향상시킬 수 있는 분자를 획득하기 위해서는, 신빙성 있고 효율이 높으며 선택적이고 친환경적인 화학반응이 필요하다. 이런 변환을 촉진시키는 촉매의 개발은 현대화학의 큰 성과 중 하나라고 볼 수 있다. 촉매 올레핀 복분해는 단순한 분자들을 복잡한 분자로 변환시킨다. 그러나 가장 큰 난제는 다양한 반응에 적용함에 있어서 실제적이고 선택성이 매우 큰 유기화학반응을 일으킬 수 있는 촉매의 개발이었다. 전례 없는 이번의 촉매는 다양한 분야에서 연구를 향상시키는데 기여할 것으로 기대하고 있다. 알켄 혹은 올레핀으로 불리는 탄소-탄소 이중결합을 갖는 매우 쓰임새가 많은 분자들은, 의약품 분야나 생물학적 활성분자에 널리 존재하는 물질이다. 사면체 형상의 새로운 촉매는 중심금속에 네 가지 리간드를 갖는 형태로 되어 있으며, 촉매의 반응성과 선택성을 높여주는 역할을 한다.

중심금속은 몰리브덴(molybdenum)이며, 화학자들이 간단하고,

독특하면서 효율적으로 원하는 분자를 생성시키거나 원하는 반응을 유도하는데 이용할 수 있는 방법을 제공한다. 새로운 촉매는 또한 구조적으로 유연하고 상대적으로 독특한 특성을 가지고 있다. 안정적인 분자구성과 유연한 구조를 가진 촉매의 발견으로 전례 없던 수준의 반응성과 선택성을 가진 새로운 화학변환 기법의 설계, 준비 및 개발이 가능할 것으로 기대된다고 공동저자인 보스턴대학의 Steven J. Malcolmson, Simon J. Meek, 및 Elizabeth S. Sattely 등은 밝히고 있다. 본 발견은 Hoveyda 연구팀과 Schrock 연구팀의 장기간에 걸친 협동연구의 최신 결과이며, 미국국립보건원으로부터 거의 10년에 걸쳐 350만 달러의 자금을 지원받았다.

(*Nature Advance Online Publication*, 16 November, 2008, doi:10.1038/nature07594)

생체 분자를 감지하는 수직 그래핀 시트

원자 한 개 두께의 탄소로 이루어진 그래핀은 새롭게 밝혀진 전자 성질 때문에 현재 응집물리학(condensed matter physics)과 재료 과학 분야에서 높은 관심을 가진다. 지금까지 알려지지 않았던 그래핀의 중요한 특징은 전기촉매(electrocatalytic) 성질과 기능화를 위한 장소로 사용될 수 있는 그래핀의 모서리(edge)에서 나왔다. 그래핀 자체는 자연계에서 저절로 존재하지 않고 중합되거나 조절하기가 지극히 어렵다. 또한, 대면적으로 장치에 적용되기가 매우 어렵다. 그러나 실제 적용을 위해서는 신뢰성 있고 대면적으로 생산할 수 있는 기술을 개발해야 한다.

영국 울스터 대학(University of Ulster)의 P. Papakonstantinou 박사와 N. Shang 박사는 그래핀 시트가 효율적이고 대면적으로 성장할 수 있고 전기촉매 성질을 가질 수 있는 새로운 방법을 개발했다. 이것을 하기 위해서 연구진은 원-스텝 마이크로파 플라즈마 강화 화학 기상 증착(one-step microwave plasma enhanced chemical vapour deposition) 방법을 사용하여 풍부한 모서리 면/결합이 있는 플랫폼(platform) 속에 대량의 수직 그래핀 시트를 결합시켰다. 이 플랫폼을 사용해서 연구진은 빠른 전자 이동, 뛰어난 전기촉매 그리고 생체 감지 성질을 첫 번째로 성공적으로 증명했다. 이 연구결과는 *Journal of Advanced Functional Materials*에 게재되었다.

도파민(Dopamine)은 중추 신경, 신장, 호르몬 그리고 심장 혈관계에서 매우 중요한 역할을 하는 신경 전달 물질이다. 도파민의 농도 변화로 인간의 건강 상태를 알 수 있기 때문에 도파민을 검출하는 것은 중요하다. 기존의 전극은 도파민 응답에 대한 선택성과 감도가 떨어지기보다는 도파민과 같이 공존하는 아스코르브산(ascorbic acid)과 요산(uric acid)에 의해서 불명확한 값이 나왔다. 그러나 이번의 그래핀 플랫폼은 고감도에서 도파민을 잘 감지할 수 있다. 뛰어난 전기촉매와 민감한 감지 성질은 그래핀의 독특한 전자 구조, 풍부한 모서리 결합 그리고 대면적 때문이다. 기존의 다른 전극의 다단계 제조 과정에 비해서 이 그래핀 플랫폼은 CVD 프로세스로 매우 짧은 시간에 간단하고 효율적인 한 공정으로 제조할 수 있다.

이 연구결과는 전기분석, 생체 감지, 에너지 저장/변환 분야 등의 다양한 영역에서 적용할 수 있는 새로운 종류의 그래핀 전극을 만들었고 이 그래핀 전극은 수직으로 정렬된 탄소 나노튜브 전극과 경쟁할 수 있다. 고순도 다층 그래핀 나노플레이크(nanoflake) 박막은 촉매를 사용하지 않고도 간단한 방법으로 실리콘을 효율적으로 성장시

킬 수 있다. 다층 그래핀 나노플레이크는 매우 탄소화된 2-3 nm 두께의 모서리를 가진 많은 칼날 모서리(knife-edge) 나노플레이크로 구성되었고 선택적으로 수직 방위를 가진다. 연구진은 이 그래핀 전극을 사용해서 유리 탄소 전극보다 훨씬 뛰어나게 도파민, 아스코르브산, 요산을 동시에 구별할 수 있다는 것을 증명했다.

(*Advanced Functional Materials*, November, 2008)

약물 전달과 화상 관찰을 할 수 있는 나노입자

많은 과학자들은 종양 세포 화상 관찰에서부터 치료 약물의 표적 전달까지 암과 관련된 다양한 영역에서 나노입자를 적용하려는 노력을 하고 있다. 캘리포니아 대학(University of California, Davis) 연구진은 단일 시스템으로 종양 세포의 화상 관찰과 치료를 할 수 있는 리포솜(liposome)을 개발하였다. 이 리포솜 나노입자는 초음파로 활성화된다. 10월 달에 워싱턴에서 열린 MRgFUS 심포지엄에서 캘리포니아 대학의 카테린 페라라(Katherine Ferrara) 교수는 약물 표적화에 많은 잠재력을 가지고 있고 효율적이고 안정적인 약물 수송을 할 수 있는 초음파로 활성화되는 리포솜에 대해서 발표했다. 연구진은 PET로 이 나노입자를 기능화시켜서 다중화상 관찰(multimodality imaging)도 할 수 있도록 하였다.

이 연구의 장점은 PET를 가진 껍질과 광학 이미지 장치를 가진 약물 구획(drug compartment)으로 인해서 이미지를 볼 수 있다는 점이라고 연구진은 설명했다. 약물 캐리어가 가진 큰 문제점은 약물을 격리시켰기 때문에 생체 순환계에 약하거나 비효율적인 표적 약물전달이 발생할 수 있다는 점이다. 연구진은 두 개의 구획들을 화상 관찰할 수 있어서 약물이 캐리어와 분리되는 비율을 측정할 수 있었다. 또한 이 나노입자는 친수성(hydrophilic), 양친매성(amphipathic) 그리고 소수성(hydrophobic) 약물을 담은 광학 탐침을 선택할 수 있는 장점을 가졌다고 연구진은 설명했다. 연구진은 암 세포에 항암 약물을 전달하기 위한 매개체로 80과 100 nm 사이의 지름을 가진 리포솜을 사용했다. 리포솜에는 형광 탐침이 캡슐화 되어 있고 리포솜 껍질 위에 PET 탐침이 부착되었다. 조직에 주입 후 이 리포솜은 조직의 암 세포 영역에 부착된다. PET 탐침(^{64}Cu)으로 4 mm이나 더 큰 지름을 가진 종양 속에 집중된 리포솜의 높은(33 dB) target-to-background ratio 이미지를 만들어 내었다.

표적 영역으로 초음파를 순차적으로 방출하면 리포솜이 젤(gel) 상태에서 지질(lipid) 상태로 변형되어서 종양 세포가 빠르게 가열되고 나노입자 속에 캡슐화된 약물이 방출된다. 약물 투하 프로세스는 상변화 동안 작동하도록 되어 있고 캡슐화된 형광 탐침의 광학 이미지 관찰을 통해서 이 결과를 확인할 수 있었다. 친수성 약물이 탑재된 입자를 사용함으로써 종양 조직의 그램 당 축적된 약물의 양이 주입한 약물의 양의 평균 14%가 되었다. 조직을 절개하여 조사해 본 결과 기존의 자유-약물 주입 방법에 비교해서 지역적 약물 농도가 50에서 200배 정도 증가된 사실을 확인할 수 있었다. 이 국부적 방출 메커니즘이 없는 예전의 리포솜 시스플라틴(liposomal cisplatin, 친수성 약물)의 약물 주입 방법은 비효율적이었다고 연구진은 말했다. 많은 연구진들은 약물전달을 할 수 있는 많은 물질을 연구하고 있고 그 중에서 특히 미세 거품(microbubble) 즉 작은 가스 거품에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 이번 연구는 이런 기존의 연구와는 달랐다고 연구진은 설명했다.

이번 캐리어(carrier)의 장점은 더 작고 몸 속 순환계에 더 안정적이며 더 높은 약물을 장착할 수 있다는 점이다. 별도의 실험으로 연구진은 약물 투여하기 전에 표적 영역에서 발생할 수 있는 초음파의 영향을 조사했다. 이 실험으로 초음파 처리는 가벼운 염증과 국부적인 내피 침투성(endothelial permeability)을 증가시킨다는 사실을 알게 되었다. 쥐의 좌우 상칭의 유방암에 단지 한 면을 초음파에 노출시켰고 그 후에 리포솜 입자를 주입했다. PET 화상 관찰로 초음파 처리된 면에서 3배에서 4배까지 증가된 입자 축적을 밝혀내었다. 두 개의 결과들을 결합시키면 종양에 축적되는 약물의 양이 기존 방법에 비해서 600배 증가시킬 수 있을 것이라고 연구진은 제안했다.

이 연구는 National Cancer Institute로부터 지원받았고 이 연구진은 현재 임상 초음파 스캐너(clinical ultrasound scanner) 속에 치료 능력을 결합시킴으로써 화상 관찰과 치료를 할 수 있는 초음파 시스템을 개발하고 있다. 연구진은 이 방법의 장점을 가진 새로운 PET 탐침과 PET 초음파 하드웨어와 결합된 화상 관찰 시스템을 만들려고 시도하고 있다.

(출처 : K. Ferrara, presentation at the MRgFUS Symposium "Nanoparticles locate tumour, deliver drugs")

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

<한국과학기술연구원 진병두, e-mail: bdchin@kist.re.kr>