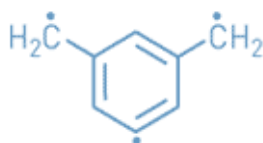


유기화합물의 삼중라디칼

짝을 이루지 않은 3개의 전자를 포함하는 유기화합물 최초의 삼중라디칼 (triradical)이 미 퍼듀대학의 Paul G. Wenthold와 사우스캘리포니아대학의 Anna I. Krylov 연구진에 의해 발견되었다. *Angewandte Chemie* 저널에 실린 논문 [*Angew. Chem. Int. Ed.*, **43**, 742 (2004)]에 따르면 이러한 형태의 삼중라디칼은 전이금속에서 드물게 발견되기는 하지만, 탄화수소에서는 발견된 사례가 아직 없다는 것이다. 뿐만 아니라 전자가 분자궤도함수 (molecular orbitals)를 채우는 방식을 규정하는 Aufbau principle와 Hund's rules과 같은 기본 원리에도 위배되기 때문에 매우 희귀한 '예외적'인 사례이다. 논문에 따르면 연구진은 삼중라디칼 5-dehydro-1,3-quinodimethane의 전자배열을 모델화합물의 질량 분석연구와 전자구조계산을 통해 추론해냈다. 새로운 성질을 나타내는 물질을 설계하기 위해선 예외적인 성질을 나타내는 물질이 그러한 성질을 나타내는 본질적인 원인, 즉 그 물질의 구조에 대한 기초적인 이해가 필요하다. 라디칼처럼 짝을 이루지 않은 전자를 포함하는 분자는 그렇지 않은 분자보다 반응성이 더 높은 것이 일반적이다. 인체의 질병이나 노화과정을 일으키는 것으로 알려져 있는 '자유라디칼 (free radical)'이 그 대표적인 예이다. 연구진이 발견한 삼중라디칼은 이러한 점에서 새로운 가능성을 제시하고 있다. 그 중 가장 관심을 끄는 것은 비금속 자성체의 개발에 큰 몫을 할 것으로 기대된다는 점이다. 이미 많은 과학자들에 의해 플라스틱과 같은 고분자물질을 이용한 비금속 자성체 개발이 시도되고 있다. 자력 (magnetism)은 짝을 이루지 않은 전자의 거동과 관련된 현상으로 발견된 새로운 화합물은 이러한 점에서 비금속 자성체 개발에 사용 가능한 고분자 물질의 단량체로 사용될 가능성이 높다는 점이 주목된다.

(*C&EN*, February 2, 2004)



비할로젠 난연제의 개발

난연 재료는 주로 할로젠계 폴리머 재료가 많이 이용되고 있는데, 환경 의식이 높아짐에 따라 비할로젠계 재료의 사용이 요구되고 있다. 일본의 야마가타 대학이 고무, 폴리올레핀, 금속 수산화물의 3성분계 재료를 이용한 유연성이 뛰어나고 재생이 가능한 비할로젠 난연제를 개발하였다. 고무로 에틸렌 폴리프로필렌 디엔 공중합체 (EPDM), 폴리올레핀으로 폴리에틸렌 (PE) 또는 연질 에틸렌계 공중합체를 이용하였으며 금속 수산화물로는 입자지름이 미세한 실란계 커플링제로 표면처리한 수산화마그네슘을 사용하였다. 이 난연재료는 3성분에 가교제로 유허 분말을 첨가하면서 가열과 혼합으로 제조한다. 폴리올레핀보다는 고무의 배합 비율을 크게 하고, 수산화마그네슘은 고무와 폴리올레핀 양의 70~80% 정도일 때 유연성과 기계적 강도의 균형이 양호해진다. 가교 재료를 투과형 전자현미경으로 보면, PE가 연속상이 되고, EPDM이 그 안에 분산, 수산화마그네슘은 EPDM 중에 선택적으로 내재되어 있다. 이러한 3성분의 분산 상태가 유연성이나 기계적 강도의 향상에 중요하다는 것이 확인되어, 내열성, 내유성 향상으로 연결시킬 수 있을 것으로 기대되고 있다. 현재 전원 코드나 케이블에 사용되는 전선 피복 재료는 폴리염화비닐 및 클로로프로펜 고무 등 할로젠계 폴리머가 이용되고 있다. 그러나, 비할로젠 난연제의 개발로 연소 시에 유해 가스를 포함하지 않고, 열가소성이면서 재생이 가능한 재료의 적용이 기대된다.

(*화학공업일보*, December 15, 2003)

때가 타지 않는 옷

아이들은 보통 손으로 옷을 만져 더럽힌다. 그러나 만일 옷에 오염물이 배이지 않는다면 어떨까? 화학공학자이자 사업가인 데이비드 소안은 나노-텍스 (Nano-Tex)에서 나노기술의 원리를 사용하여 무명과 같은 천연 섬유의 강도와 내구성을 개선시켰다. 여기에는 나노휘스커 (nanowhisker)라고 불리는 작은 구조물이 형성되어 있다. 그 구조물은 섬유에 액체 얼룩이 방울로 달렸다가 바로 굴러 떨어지게 만든다. 나노휘스커가 무명섬유 가닥에 에어 쿠션을 만들기 때문에 어떤 오염물이 섬유의 표면에

떨어지면 작은 털들이 액체 방울들을 강하게 떠받쳐서 섬유에 액체 방울이 닿지 않고 바로 굴러 떨어지게 된다. 이 오염 방지 공정을 나노-케어 (Nano-Care)라고 부르며, 이 때의 합성 나노휘스커는 길이가 단지 10 nm이며 몇 개의 탄소 원자로 만들어진다. “나노휘스커는 커피, 홍차, 샐러드오일, 케찹, 간장, 크랜베리 주스 등 다양한 유체를 밀쳐낸다.”라고 소안은 말한다. 나노휘스커는 일부러 유연하게 설계했다. 나노휘스커를 먼 분자에 붙이기 위해 수십억 개의 나노휘스커가 가득찬 물 탱크에 먼을 담갔다. “나노휘스커는 물속에 있는 작은 쥐며느리처럼 보인다. 쥐며느리가 작은 공모양으로 몸을 둘둘 말듯이 작은 휘스커는 안쪽으로 향한 채 직물의 섬유 방향으로 둘둘 말려 공모양이 된다. 그 다음 물을 증발시키기 위해 담갔던 섬유를 가열한다. 물이 증발되면서 작은 나노휘스커는 원통형 먼 섬유와 영구적인 화학결합을 한다. 따라서 나노휘스커는 씻겨져 나가거나 떨어지지 않을 수 있다. 그 결과 오염물을 밀쳐내는 무명이 만들어진다. 겉 모양은 원래의 섬유와 똑같으며 딱딱하거나 보풀이 일지 않는다. 그는 나노-터치 (Nano-Touch)에 대해 연구하고 있다. 그 공정을 거치면 먼과 울의 내구성이 훨씬 더 강해진다. 또한 땀이 배출되고 몸에서 나는 냄새가 배이지 않게 하는 나노-드라이 (Nano-Dry) 방법을 개발했다. 나노-드라이는 일부 스포츠웨어에 적용되고 있으며 나노휘스커는 아동복을 포함한 면바지나 군복에 사용되고 있다.

(ScienCentralNews, December 11, 2003)

순수한 나노튜브 섬유의 합성

단일벽 탄소 나노튜브들을 원료로 써서 연속적인 섬유들을 만드는 방법이 미국 라이스대학의 연구팀에 의해 발견되었다. 이 공정은 산업적 스케일에서 케블러 (Kevlar)를 만드는 공정과 비슷하며, 순수 탄소 나노튜브 (SWNT)로 된 실, 케이블, 그리고 판재를 생산할 수 있는 실질적 단초가 된다. 연구진은 나노튜브가 무게는 6분의 1밖에 안되면서 강철보다 100배는 더 강할 것으로 추산한다. 비교 차원에서 보면, 방탄복 제조섬유로 쓰이는 케블러는 같은 무게의 강철에 비해 약 5배의 강도를 보인다. 화학적으로 탄소 나노튜브들은 서로 매우 강하게 들러 붙어서 덩어리로 뭉쳐 있게 되는 경향이 있어 다루기가 까다롭다. 따라서 산업적 스케일에 적용할 수 있

는 공정기술의 부재로 순수한 나노튜브들로 구성된 큰 물체는 제작된 바 없다. 라이스대학 연구팀은 다량의 나노튜브들을 액체 형태로 보관하는 방법을 발견하여 거시적 스케일의 SWNT 물체들을 산업적으로 제작하는 데 있어서의 가장 큰 장애물을 제거했다고 믿고 있다. 나노튜브들을 강한 황산에 녹임으로써 지금까지 가능했던 것보다 10배나 더 진한 농도로서 순수한 탄소 나노튜브들을 10 wt%까지 포함하는 용액들을 만들 수 있었다. 이 새로운 공정 경로는 지금까지의 공정 기법들에 쓰여 왔지만 산업적 스케일로 확대하는 데에 있어서 장애가 되어왔으며 최종 제품의 순도도 낮추는 것으로 알려진 고분자 첨가제나 세제 등을 필요로 하지 않는다. “이제 농도가 증가함에 따라 나노튜브들은 우선 스파게티 가닥들처럼 정렬하게 되고 궁극적으로 순수한 섬유들로 뽑아내는 공정 처리가 가능한 뽁뽁하게 밀집된 액정을 형성하게 된다”고 연구팀의 Matteo Pasquali 교수는 말했다. 나노튜브들은 두께가 불과 원자 1개에 불과한, 순수한 탄소로만 되어 있는 속이 빈 원통 구조로 되어 있다. 나노튜브들은 금속성 또는 반도체성을 띌 수 있어서 스마트하면서도 초 강도를 지닌 소재들을 제조하는 데에 도입될 수 있다. 예를 들어 미 항공우주국 (NASA)은 항공기와 우주비행선에 나노튜브 소재를 도입하는 방안을 연구하고 있다.

(Eurekalert, December 9, 2003)

다공성 고분자 신소재

“나노미터 크기의 기공 (Pore)을 가진 고분자들을 사용하면 분리와 흡착 공정, 그리고 이성질 촉매 등에 유용할 것으로 보인다”라고 신소재를 개발한 영국의 화학자들이 말하고 있다. 내재적 마이크로 기공성 고분자 (PIM - Polymers of Intrinsic Microporosity)라고 이름이 붙여진 이 소재들은 산업적으로 제조되는 원료 물질들로부터 합성된다. 이 연구는 맨체스터대학의 Neil B. McKeown과 Peter M. Budd에 의해 수행되었다. “마이크로 기공성은 매우 뾰뚱하고 비틀린 고분자의 분자 구조에 기인한다. 이러한 분자 구조는 고체상으로 밀집 쌓기를 불가능하게 하여 마이크로 다공성이 초래된다. 평균 0.5 nm 직경의 마이크로 기공들이 서로 연결되어 있는 구조는 놀라울 정도로 높은 표면적을 나타낸다”라고 McKeown은 말했다. 제올라이트나 활성 탄소들과 같은 종래의 마이크로 기공성 소재들과는

달리 PIM들은 용해성이 좋아 분리 용도로 적합한 열적으로 안정한 박막들이나 활성 멤브레인들로 주조 (cast)가 가능하다. “용해성은 또한 PIM은 고분자와 촉매를 모두 포함하고 있는 용액을 단순하게 캐스팅 해 넣어 촉매를 마이크로 기공 구조 속에 포획함으로써 균질 촉매의 지지를 위한 마이크로 다공성 매질로도 쓰일 수 있게 해준다. 접근 가능한 표면의 성질의 단량체 전구체들의 선택에 의해 결정된다. 따라서 화학선택성 촉매작용, 분리, 또는 흡착과 같은 여러 다른 용도로 맞춤형 PIM을 만들 수 있

으며 거울상 이성질체 공정 (Enantiomeric Process)들에 키랄성 (chirality, 손대칭성)을 부여할 수 있을 것”이라고 McKeown은 말한다. 맨체스터 대학의 화학자들은 PIM이 물로부터 페놀과 같은 유기 물질을 제거하는 막 (membrane)으로 쓰일 수 있는 단단하고 독립적인 박막으로 만들 수 있다는 것을 보여 주었다. 현재 이 연구팀은 독성 화합물들과 악취성 화합물들을 선택적으로 흡수하는 용도로 PIM을 쓸 수 있는 방법을 연구할 계획을 갖고 있다.

(C&EN, January 19, 2004)