

우주에서 발견된 풀러린

우주 공간에 버키민스터풀러린(buckminsterfullerene, C60)이 실존한다는 사실이 캐나다 웨스턴 온타리오 대학(University of Western Ontario)의 Jan Cami 연구진에 의해 처음 확인되었다. 이로써 90년 넘게 풀리지 않는 우주에 대한 수수께끼 중 하나의 해답을 조만간 얻게 될지도 모른다. Science(2010, DOI: 10.1126/science.1192035) 온라인 속보판에 따르면 연구진은 C60과 C70으로 이루어진 거대한 성운을 행성상 성운(Tc 1)에서 발견하였다. 미항공우주국의 Spitzer 우주망원경에 장착되어 있는 적외선 분광기를 이용해 Tc 1의 적외선 스펙트럼을 측정한 결과 C60과 C70의 존재를 확인했다(그림 1). 성간 물질(interstellar medium) 속에 다량의 유기화합물이 존재한다는 증거는 많지만 C60나 C70 같은 풀러린계 화합물이 발견된 것은 이번이 처음으로, 지금까지 성간 물질 속에 존재하는 것으로 확인된 유기화합물 중 가장 큰 화합물은 탄소 13개로 이루어진 물질이었다.

Tc 1은 지구에서 대략 6,000 광년 떨어진 거리에 위치한 행성상 성운으로, 이 성운에서 이상한 방사 스펙트럼을 처음으로 관찰한 사람은 본 연구진의 일원인 미국 코넬 대학의 Jeronimo Bernard-Salas이다. 그는 즉시 그 스펙트럼을 Cami 박사를 포함한 여러 공동 연구자들에게 넘겼으며, C60의 4가지 특징적인 피크와 C70의 6가지 특징적인 피크도 찾아냈다. 연구진은 스펙트럼에 대한 해석을 확실히 확인하기 위해 컴퓨터를 이용한 수치해석모델을 개발해 스펙트럼이 얻어졌을 환경을 시뮬레이션 했으며, 그 결과 C60 피크의 파장과 밴드폭이 온도에 따라 다른 양상을 나타낸다는 사실을 확인하고, 330 K에서 C60이 나타내는 열방사 밴드를 성공적으로 계산하였다. 연구진은 같은 모델을 이용해 행성상 성운에 존재하는 풀러린의 총질량이 약 1023 kg 정도일 것이라는 예측을 했다. 이는 달의 약 10배에 해당하는 질량이다. 연구진의 발견은 1996년 노벨 물리학상 수상자인 Harry Kroto 교수가 버키민스터풀러린을 발견할 당시의 실험을 떠올리게 한다. 당시 Kroto 교수는 적색 탄소 거성(red giant carbon stars)의 대기외각의 화학적 환경을 모사한 조건에서 버키민스터풀러린을 발견했다. 이 실험을 통해 우주 공간에 C60 같은 풀러린계 화합물이 존재 가능성이 예상되었으며, 오늘에 이르러 그 존재가 확실히 확인된 것이다. 당시 실험은 Kroto와 Bob Curl 그리고 Rick Smalley가 복사선이 지구에 도착할 때 설명할 수 없는 흡수가 일어나는 현상을 연구하기 위해 설계한 것이었다. DIB(diffuse interstellar bands)

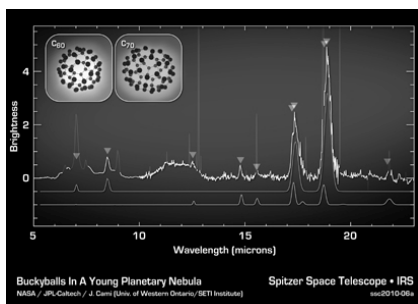


그림 1. 미항공우주국의 Spitzer 우주망원경에 장착되어 있는 적외선 분광기를 이용해서 얻어진 Tc 1의 적외선 스펙트럼(C60 in red, C70 in blue).

라고 불리는 이 흡수는 1919년 처음 발견되었지만 아직까지도 정확한 설명이 어려운 실정이다. 최근 조사에 따르면 근자외선에서 근적외선에 이르는 영역에서 600개 이상의 DIB가 발견되지만 이것이 나타나는 이유는 아직 밝혀지지 않았다. 연구진은 DIB의 원인으로 C60과 같은 탄소를 포함하는 분자들일 거라고 주장했다. 이 화합물들은 매우 안정하기 때문에 우주공간에 생각보다 많이 존재할 것이기 때문이라는 것이 연구진의 생각이다.

<출처: <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2010/July/22071002.asp>>

금속-포피린 복합체를 이용한 분자 기어

일본 연구자들은 산이나 염기를 사용하여 화학적으로 작동되고 멈출 수 있는 포피린 복합체(porphyrin complexes)를 기반으로 하는 일단의 분자기어를 만들었다(S. Ogi *et al.*, *Chem. Eur. J.*, 2010, DOI:10.1002/chem.201000276). 이 연구는 소형 장치들에서 작동시킬 수 있는 나노크기 기계들을 향한 중요한 발전이다. 규슈대학교(Kyushu University)의 Seiji Shinkai와 츠쿠바에 있는 국립물질과학연구소(National Institute for Materials Science in Tsukuba)의 Masayuki Takeuchi가 이끈 그 연구진은 두 가지 다른 종류의 금속-포피린 복합체를 통합하여 서로에서 수직인 두 개의 톱니를 가진 기어를 만들었다. 주요(상부) 로터(rotor)는 그것들 사이에 끼인 란타넘(lanthanum)을 가진 두 개의 평평한 포피린 고리들— 이중 샌드위치 란타넘 포피린(double-decker lanthanum porphyrin)에 기반한다. 그 샌드위치의 위쪽 고리는 알킨들(alkynes)로 분리된 벤젠 고리(benzene rings)로 이루어진 4개의 톱니를 가진 로터 기어(rotor gear)이다. 피리딘 기(pyridine groups)가 아래쪽 포피린 고리의 한쪽이나 두 쪽 모서리에 부착되어 있다. 이것들은 각각 4개의 톱니를 가진 두 번째 포피린 로터 기어들의 중심에 있는 로듐 원자들(rhodium atoms)과 공유결합한다(그림 2). Takeuchi는 그 두 가지 종류의 모터들이 매우 다른 자연적인 회전 속도를 가진다고 설명했다. 이중 샌드위치 포피린 로터는 NMR 분광법으로 관찰할 수 있을 만큼 느리지만, 다른 것은 훨씬 더 빠르다고 그는 말했다. 그 두 개가 함께 맞물리면 위쪽의 로터가 사이드 기어들(side gears)의 속도를 조절하여 그것들을 관찰할 수 있을 만큼 감속시킨다. 그 기어들이 그렇게 부드럽게 서로 맞물린다는 사실은 큰 발전이다. 그러한 기계들을 고안하다 보면, 종종 공간적인 밀집(steric crowding)이 원래의 구조를 완전히 바꾸어 놓아서 그것들이 함께 맞물리지 않는다고 Takeuchi는 덧붙였다. 그 연구진은 또한 용액에서 그 로터 복합체에 트리에틸아민(triethylamine, TEA)을 추가 시 사이드 로터들이 풀려져서 더 빠르게 도는 것을 발견했다. 그 다음에 TFA(trifluoroacetic acid)를 추가하면, 그 사이드 로터들이 위쪽의 로터와 다시 맞물리어 속도를 낮추는 것을 발견했다. Takeuchi는 마지막 피롤(pyrrole) N-H가 양성자를 잃을 때 그 포피린 염기에 구조적인 변화를 일으켰기 때문이라고 보았다. 차와 트럭, 기차를 포함하여 다양한 나노규모의 기계들을 만든 미국 텍사스(Texas)에 있는 라이스대학교(Rice University)의 James Tour는 그것이 기술적으로 지능적으로 훌륭한 연구라고 언급한 바 있다. 그 기어들이 서

로서로 잘 맞물리고, 서로의 회전에 영향을 주는 것이 특히 인상적이었다고 했다. 그러나 Tour는 이런 종류의 기계로부터 유용한 일을 정말로 얻기 위해서는 그것을 표면에 부착시켜야 한다고 덧붙였다.

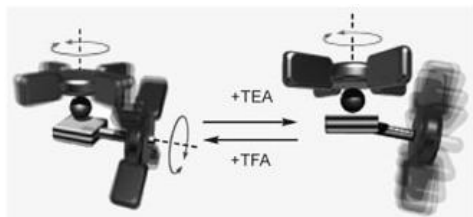


그림 2. TEA를 추가하여 사이드 로터의 작동을 멈췄지만, TFA를 추가하면 그것을 상부 로터와 다시 맞물리게 하여 속도를 늦출 수 있음을 보여주는 모식도.

<출처: <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2010/June/25061001.asp>>

최초의 그래핀 터치스크린

한국과 일본의 연구자들이 수십 센티미터에 이르는 그래핀 막(graphene films) - 탄소 원자 하나 두께의 평평한 조각 - 을 만들었다(S. Bae *et al.*, *Nature Nanotech.*, 2010, DOI: 10.1038/NNANO.2010.132). 연구자들은 이 큰 그래핀 막들을 투명한 전극들로 만들었으며, 이것을 다시 터치스크린 판 장치(touchscreen panel devices)로 통합하였다. 이 새로운 연구는 겨우 수 년 전에 최초로 분리된 이래로 놀랍게 진보한 기술에서 또 하나의 이정표를 만든 것이다. 성균관대학교의 안중현, 홍병희 박사가 이끈 이 연구진은 이전에 증명된 기술을 이용하여 화학적 기상 증착법(chemical vapour deposition)을 사용하여 구리 박막 위에 그래핀 층을 키웠다. 돌림판(roller)을 사용하여, 그래핀 면은 접착 중합체 지지(adhesive polymer support)에 눌러서, 구리는 식각되어 제거되어 중합체에 부착된 그래핀 막을 남길 수 있다. 그런 다음 다시 돌림판을 이용하여 PET와 같은 최종 기질 위에 그래핀을 누르고, 중합체 접착체는 가열하여 제거할 수 있다. 그 다음에 유사한 방식으로 그래핀의 다음 층이 추가될 수 있다(**그림 3**).

연구자들은 이 기술을 사용하여 대각선 길이가 30인치(76 cm)에 이르는 직사각형의 그래핀 막을 만들었다. 그래핀은 질산으로 처리하였고, 이 형태에서 그래핀 조각은 크고 투명한 전극으로서 작용할 수 있고, 터치스크린 장치에서 작동하는 것을 증명하였다. 전형적으로, 이러한 응용에 사용되는 투명 전극들은 인듐 주석 산화물(indium tin oxides, ITO)로 제조할 수 있다. 이 연구자들은 그래핀 전극이 더 좋은 투명성을 가지고 더 강하다고 언급하였다. 인듐의 가격은 지난 수 십년 동안 몇 배 올랐으며, 이것은 디스플레이(display)와 태양 전지 시장이 확장됨에 따라 더욱 심각해질 것이라고 안박사는 지적하였다. 또한, ITO와 같은 산화물 재료들은 보통 부서지기 쉽고 약하며, 이 때문에 ITO를 기반으로 하는 터치스크린은 한정된 수명을 가지는 반면, 그래핀을 기반으로 하는 스크린은 영구적으로 쓰일 수 있다고 덧붙였다. 그래핀 생산은 어떤 다른 희귀 물질들 없이 극소량의 탄소원만 필요로 하고, 구리는 재생 가능하기 때문에 ITO 생산에 비해 훨씬 더 환경친화적이라고 덧붙였다. 약 5년 전에 분리된 그래핀을 발견하여 현대 그래핀 과학의 창시자로 널리 인정받고 있는, 영국의 맨체스터대학교(University of Manchester)에 있는 Andre

Geim은 그 새로운 연구가 그래핀 기술이 성취할 수 있는 놀라운 속도를 증명해 보여주었다고 말했다. Geim에 의하면 이것은 그래핀이 더 이상 산업적인 응용에 관해서 단지 희망사항이 아니라는 것을 명확하게 보여주며, 사람들은 실험실 규모에서 산업적 규모의 생산으로 믿을 수 없을 만큼 빠르게 전환시키기 때문에, 2년 이내에 소비재를 가질 수 있을 것이라고 예상했다.

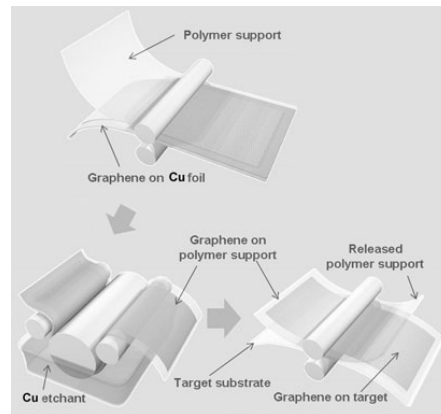


그림 3. 그래핀을 이용한 터치스크린 제조공정 모식도.

<출처: <http://www.rsc.org/chemistryworld/News/2010/June/20061001.asp>>

폴리카보네이트 지붕이 달린 세계에서 가장 빠른 자동차

독일 Bayer Material Science의 폴리카보네이트는 자동차의 경량 유리용도로 사용하기 위해 계속해서 생산되는 재료이다. 신형 부가티 베이론(Bugatti Veyron) 16.4 그랜드 스포츠 자동차는 일반자동차의 안전성 및 동적인 특성과 함께 오픈카의 지붕 로드스터(roadster)를 결합한 자동차로서 투명하며 파노라믹한 지붕이 포함된 천장을 가지고 있다(**그림 4**). 이 지붕은 간단하게 스위치를 이용하여 개폐할 수 있다. “우리는 천장을 쉽게 개폐할 수 있고 무게를 많이 줄이기 위해 자동차 디자인에 폴리카보네이트를 채택하였다. 독일 베이어 머티리얼사 이언스에서 생산하는 폴리카보네이트는 자동차의 경량화를 위해 유리 대신에 사용하기 위해 계속해서 개발되는 제품으로서 우리는 폴리카보네이트 유리를 제조하는 전체 공정 단계를 책임지는 Leverkusen 회사의 노하우에서도 혜택을 받고 있다.”고 부가티 외장 엔지니어링 부서의 유리 프로젝트 책임자인 Daniel Starmann는 말한다.

이 기술의 한 예는 부가티 상표를 포함하는 폭스바겐 그룹의 요구사항을 충족하기 위해 베이어 머티리얼사가 개발한 신세대 적외선 흡수 색이다. 이 기술은 처음으로 오픈카 지붕에 응용되었다. 선택된 회색 색상은 유리가 상응하는 적외선 부분을 여과시키는 정도와 같은 효율성으로 태양광의 적외선 부분을 여과시킨다. 그 결과로서 자동차 내부는 태양 아래에서와 같이 온도가 많이 올라가지 않는다.

파노라믹 지붕은 독일 Geesthacht에 기반을 두고 있는 독일 회사 KRD Sicherheitstechnik GmbH가 제조하였다. 이 회사는 이미 여러 해 동안 자동차에 적용하기 위해 폴리카보네이트 시트로 만들어진 경량이며 안전한 유리를 제조한 경험을 가지고 있으며 전체 공정을 담당하고 있다. 부가티 지붕은 5 밀리미터 두께를 가진 폴리카보네이트 Makrolon GP 회색 722의 단단한 시트로 만들어졌다. 베이어 시트 유럽 회사(Bayer Sheet Europe GmbH)는 자동차 유리용으로