

된다. C-C 연결자 양 측면에 있는 각각의 다이아몬도이드의 반발력은 결합이 뻗쳐지기에 충분했다. 실제로 일반적인 알칸의 C-C 결합의 중심 연결이 1.5Å인데 반해, 이들의 연결은 1.7Å 이상의 길이를 지니고 있었다. 하지만 중심 결합 양 쪽의 수소 결합 사이의 반데르발스 인력은 분자들을 한데 모으기에 충분했으며 실제로 이들은 매우 안정적인 고체를 이루고 있었다. 이에 대해 Schreiner는 “우리가 보여준 것은 충분히 긴 안정적인 결합을 만들기 위해 내부적으로 발생하는 힘들의 균형을 맞추는 것이 가능하다는 것이다. 사람들은 일반적으로 이러한 약한 상호작용을 없애려고 한다. 일반적으로 이러한 힘들을 없애려고만 하지 이들이 결합했을 때 얼마나 강한 힘을 만들어내는 지는 아무도 알지 못했다.”라고 말했다. 독일 뮌스터대학(University of Munster)의 이론 유기화학자인 Stefan Grimme는 “이번 새로운 연구 결과는 매우 중요한데 그 이유는 지난 5년 이상 동안 있어왔던 반데르발스 힘에 새로운 관심을 불러 일으키기 때문이다. 한 가지 중요한 점은 화학자들이 입체적 상호관련성이라는 것을 부정적인 형태나 생각들로 이해하고 있다는 점이다. 그러나 이들은 매우 매력적인 반데르발스 힘을 지니고 있으며 이러한 것들은 지금껏 간과되어 왔다.”고 말했다.

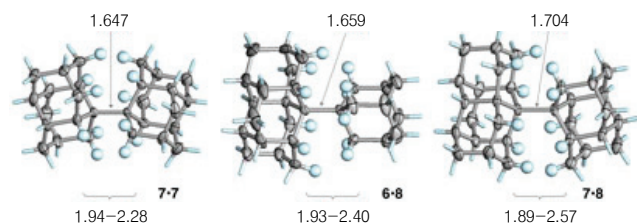


그림 6. 반발력과 인력들을 적절하게 조절하여 C-C결합의 길이를 30%까지 늘일 수 있다.

<Nature, **477**, 308 (2011), DOI: 10.1038/nature10367>

나노입자와 폴리머 혼합물

혼합되지 않는 두 개의 폴리머를 블렌딩(blending)할 경우에 흥미로운 형상이 만들어질 수 있다. 두 개의 구성요소로 되어 있는 혼합물의 경우에 두 개의 폴리머 상이 박막에서 완전히 연결된 폴리머 박막들은 두 개의 연속된 형상을 가지는 것으로 알려져 있다. 한 개의 폴리머가 흥미로운 이중 반응(예를 들면, 전자 또는 양성자 전도)을 가진 경우에, 한 개의 구성 요소가 가지고 있던 이런 고유의 성질이 전체 박막에서 존재할 수 있다. 이중 연속된 구조는 유사한 불연속 형상과 비교할 때 증가된 계면 표면적을 가지게 된다. 유기 광발전 소자의 경우에, 전하 분리와 그로 인한 동력 출력이 필요하기 때문에 이런 계면이 중요하고 벌크-헤테로 접합 전지(bulk-heterojunction cell, BHJ cell)가 향상된 성능을 보이게 하는 주요 이유가 된다. BHJ 전지는 반대되는 전하 캐리어 반응을 가진 두 개의 상을 연결할 필요가 있다. 이것이 이번 연구에서 이중 연속된 구조를 도입한 이유라고 연구진은 말했다. 이중 연속된 형상이 만들어질 때 가장 큰 문제 중 하나는 그들의 불안정성이다. 어닐링은 도메인

조대화와 이후에 일어나는 상 연결의 손상을 불러올 수 있다. 이런 문제를 해결할 수 있는 한 가지 해결책은 준안정 상태에서 구조의 변화를 막는 것이다. 펜실베이니아 대학(University of Pennsylvania)의 연구진은 나노입자를 사용해서 이것을 달성할 수 있는 방법을 보여주었다.

폴리머 혼합물에 나노입자의 첨가는 그들의 형상을 제어할 수 있는 매력적인 방법이다. 그래서 이번 연구진은 140 nm에서 2500 nm까지의 두께를 가진 poly(methyl methacrylate) (PMMA) : poly(styrene-*ran*-acrylonitrile) 박막의 상 분리와 1 wt%에서 10 wt%까지의 실리카 나노입자의 영향을 조사했다. 박막 두께를 증가시킬 때, 이중 연속된 형상을 안정화시키기 위해서 필요한 나노입자의 농도는 10 wt%에서 2 wt%까지 감소시켰다. 이중 연속된 형상은 유기 태양전지, 멤브레인, 촉매, 연료전지 등과 같은 높은 계면 면적이 필요한 분야에 유용하게 적용될 수 있을 것이다. 나노입자는 계면 위에서 상 분리를 일으키는 경향이 있다. 이런 입자들이 계면 위에서 매우 밀집한 2차원 육각형 구조를 형성하는 경우에 입자는 “막힘 상태”가 된다. 이런 막힘은 이중 연속된 형상을 속박(pinning)시킬 수 있다. 더 중요한 것은 이것이 이런 상태의 안정성을 매우 향상시킬 수 있다는 것이다. 이 기술은 블록 공중합체를 사용해서 유사한 구조를 만드는 것과 비교할 때 매우 간단하고 쉽다.

이번 연구진은 나노입자의 농도가 비람직함 구조를 달성하는데 중요하다는 것을 발견했다. 이번 연구진은 집속 이온빔 에칭(focused ion-beam etching, FIB)과 주사 전자 현미경을 사용해서, 두 개의 혼합되지 않는 폴리머 상 간에 샌드위치된 나노입자를 분명하게 관찰할 수 있었다. 유기 광발전에서 탄소나노튜브, 그래핀, 양자점 등과 같은 나노입자의 사용이 증가한다는 것을 고려할 때, 광활성/전기활성 구성요소와 상 안정제로서 이런 이중 기능성을 이해하는 것은 매우 중요하다.

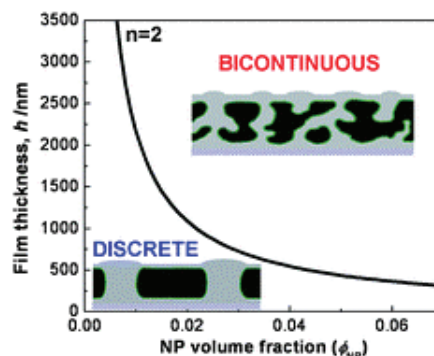


그림 7. 이중 연속된 박막과 불연속 박막에서 두께와 나노입자 부피율 간의 영향.

<Soft Matter, **7**, 7262 (2011), DOI: 10.1039/C1SM05619K>

본 기술 뉴스는 KISTI 미리안의 글로벌동향브리핑(GTB)에서 발췌하였습니다.

<포항공과대학교 이태우, e-mail: twlee@postech.ac.kr>