

과학계 이슈



Science Issue

분자 캠코더

찰나의 분자 구조를 촬영하다



KAIST 화학과 이 효 철 교수

●●● 영화 ' 매트릭스 ' 를 보면 주인공이 날아오는 총탄을 볼 수 있고 몸을 움직여 그 총탄을 피한다. 물론 실제 상황에서는 빠른 속도로 날아오는 총탄을 피할 수 없을 것이다. 하지만 그 총탄의 날아오는 모습을 영화에서처럼 볼 수는 있을까? 텔레비전 프로그램 '스펀지' 에서 날아가는 총탄과 화살의 순간 순간의 모습을 고속촬영 카메라에 담아서 보여 준 적이 있다. 이러한 촬영이 가능한 이유는 바로 고속촬영 카메라의 셔터가 일반 카메라보다 훨씬 짧아서 시간을 훨씬 세분화 할 수 있기 때문이다. 마치 같은 일초의 시간이라도 더욱 길게 늘이는 효과를 가진다. 과연 이러한 동영상 촬영이 우리 물질 세계를 이루는 분자에도 가능할까? 조금만 생각해도 두 가지 이유 때문에 어렵다는 것을 알 수 있다. 먼저 분자는 총탄과는 달리 아주 작다. 그리고 그 움직임도 총탄보다 훨씬 빠르다. 그러면 어떻게 이러한 분자의 구조변화를 눈으로 보듯이 따라갈 수 있을까?

●●● 그러면 이러한 분자들의 움직임은 얼마나 빠를까? 분자들을 이루는 원자들의 움직임을 살펴보면 될 것인데 이 속도는 자그마치 초속 1 킬로미터(1 km/s)이다. 즉 1 나노미터를 움직이는데 약 1 피코초 밖에 걸리지 않는다(1 피코초는 0.000000000001 = 10⁻¹² 초, 즉 10억분의 1초이다). 이러한 빠른 움직임을 잡아 내려면 어떻게 해야 할까? 답은 바로 아주 짧은 빛이다. 빛의 속도는 충분히 빠르기 때문이다. 총탄의 모습을 찍어내는 고속촬영 카메라도 결국에는 총탄에 반사된 빛을 잡아내는 것인데 이때 사용되는 빛은 짧은 시간만 나오는 것이 아니라 연속적으로 나오는 빛이다. 그런데도 불구하고 순간의 모습을 잡아낼 수 있는 것은 바로 셔터의 역할에 있다. 셔터가 아주 짧은 시간 동안만 열리기 때문이다.

●●● 쉽게 생각하면 이러한 셔터의 열림 시간을 계속 줄여나가면 분자의 움직임도 포착해 낼 수 있을 것 같지만 불행히도 셔터의 열림 시간을 줄이는 데에는 한계가 있다. 하지만 아주 짧은 시간폭을 가지는 펄스 형태의 빛을 사용하면 그 자체가 셔터의 역할을 감당할 수 있다. 현대의 레이저 기술의 발달로 이러한 짧은 빛을 쉽게 만들어 낼 수가 있다. 칼텍의 썬웨일 교수는 이러한 원리를 발달시켜서 두 개의 원자로 이루어진 간단한 분자에서 두 원자 사이의 거리가 움직이는 현상, 즉 진동현상을 관찰했고 이 공로로 1999년 노벨화학상을 수상했다. 그와 그의 동료들이 사용한 빛은 가시광선 혹은 자외선이었는데 이 파장대의 빛으로는 더욱 더 복잡한 분자에서는 직접적인 분자의 모양에 대한 정보를 줄 수가 없다는 치명적인 단점이 있다. 그 이유는 무엇일까?

●●● 분자의 크기는 아주 작다. 또한 분자의 정확한 모양을 포착하기 위해서는 분자를 이루는 원자들간의 거리, 즉 0.1 나노미터 정도의 공간 분해능을 가져야 한다. 그런데 가

시광선과 자외선의 파장은 수백 나노미터로 원자들간의 거리보다 훨씬 길다. 쉽게 말하면 원자와 원자 사이의 경계가 구분될 수가 없는 것이다. 이러한 이유 때문에 가시광선을 사용하는 보통의 광학현미경으로는 분자를 직접 볼 수 없다. 따라서 더 작은 것을 보기 위해서는 새로운 방식의 현미경들이 필요한데, 광학렌즈 대신에 전자나 중성자의 흐름을 렌즈처럼 활용하는 방식을 이용할 수 있다. 이러한 것의 대표적인 예가 바로 전자 현미경이다. 또한 미세한 탐침으로 표면을 훑어가면서 컴퓨터로 표면에 있는 원자의 이미지를 재구성하는 주사 터널링 현미경도 다른 한 방법이다. 하지만 대부분의 기체상에서의 분자의 구조와 고체상에서의 분자의 구조는 전자 혹은 엑스선 회절방법을 사용해서 얻어진다. 회절에 사용되는 엑스선은 보통 제 3세대 방사광 가속기에서 제공된다. 우리나라도 포항에 이와 같은 가속기가 있다.

●●● 사실 우리 주변에서 일어나는 많은 화학 반응들이 결정에서 보다는 액체상태에서 일어나고 있으므로 액체상태에서 분자들의 구조변화를 실시간으로 잡아내는 것은 특히 중요하다. 하지만 지금까지는 이러한 움직임까지는 관찰할 수 없었는데 그 이유는 결정과는 달리 액체에서는 분자 사이에 일정한 배열이 없고 무질서 하게 끊임없이 움직이고 있기 때문이다. 과연 액체속에서 일어나는 이러한 움직임을 잡아 낼 수 있는 것일까? 기존의 상식은 액체의 무질서한 성질 때문에 불가능할 것으로 생각했다. 하지만 최근에 필자의 연구팀에서는 세계 최초로 액체에 빛을 쬐인 후 일어나는 복잡한 분자들의 움직임을 100억분의 1초 간격으로 촬영하는 데 성공했다. 이 실험도 역시 3세대 방사광 가속기에서 이루어졌는데, 유기물을 녹인 알코올 용액에 100억분의 1초동안의 펄스폭을 가진 아주 짧은 엑스선 펄스를 쬐은 후 여기에서 나오는 회절 신호를 측정했고 그 결과가 세계적인

과학전문잡지인 사이언스 지에 게재되었다(그림 1 참조). 메탄올이란 액체에서 특정 물질(C₂H₄I₂)의 분자구조가 바뀌는 과정을 정확히 포착하는데 성공한 것이다. 아주 짧은 엑스선 펄스가 분자의 움직임을 찍어내는 초고속 분자 캠코더의 역할을 한 셈이다. 이는 액체에서 일어나는 분자의 구조 변화를 실시간으로 정확하게 규명할 수 있게 된 것을 의미한다.

●●● 엑스선 펄스는 그 동안 결정(結晶)을 가진 고체를 관찰하는 데는 광범위하게 활용되어 왔지만, 액체의 움직임을 관찰하는 데는 적절하지 않은 것으로 여겨져 왔다. 학계에서는 이러한 움직임을 정확하게 측정하면, 나노 물질이나 단백질 등의 기능을 알아낼 수 있을 것으로 보고 있다. 예를 들어, 미래에는 약물이 질병을 일으키는 단백질에 어떻게 결합해 작용하는지를 시간에 따라 파악할 수 있어 약물의 효과를 정확히 알 수 있을 지도 모른다. 마치 사진 대신 캠코더 녹화장면을 보면서 실상을 파악하는 것과 같은 것이다.

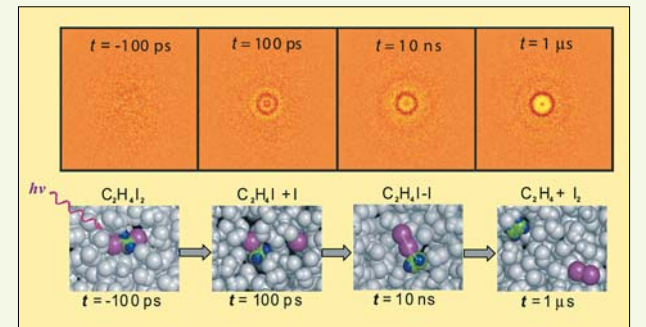


그림 1. (위) 펨토초 레이저로 반응을 시작 시킨 후, 극초단 펄스로 관찰하면 시간에 따라 변하는 회절 패턴을 얻을 수 있다. (아래) 이 신호를 분석하면 용액에서 벌어지는 분자들의 움직임을 생생하게 동영상으로 담아낼 수 있다.