

차가운 얼음 위에서도 화학 변화 일어난다

글_강현 서울대학교 화학과 교수 surfion@snu.ac.kr

우리는 물 없이는 하루도 살 수 없다. 사람 뿐 아니라 지구상의 거의 모든 생명체는 물을 매체로 생명 현상을 이어나가고 있다. 물은 대기압하에서 섭씨 0도와 100도 사이의 온도에서 액체로 존재한다. 그러나 이러한 액체상의 물은 물분자가 가질 수 있는 여러 가지 물리적 상태 중에서 오히려 특이한 경우에 해당한다. 광활한 우주에서 오직 지구라는 특이한 조건에서만 액체상의 물이 발견되고 있으며 나머지 영역에서는 물은 얼음이나 기체 등의 다른 상태로 존재한다. 우리 주위에 너무도 흔한 이 투명한 액체는 알고 보면 상당히 희귀한 존재인 셈이다.

우주에서 물의 가장 보편적인 상태는 '얼음'

우주 전체로 볼 때, 물의 가장 보편적인 상태는 얼음으로 알려져 있다. 차가운 우주의 성간 구름 영역에서는 물 분자들이 모래 먼지 위에 냉결되어 작은 얼음 알갱이를 이루고 있다. 그러면 이 얼음 알갱이들은 어떠한 역할을 하는가. 과학자들은 이들이 우주의 진화 과정에서 복잡한 분자들을 생성시키는 일을 수행한다고 생각한다.

우주 대폭발 이론에 따르면, 약 140억 년 전에 초기 우주에서 만들어진 원자들이 우주가 일정 온도 이하로 냉각되자 서로 결합하여 물, 일산화탄소 등의 간단한 분자들을 만들기 시작했다고 본다. 그런데 문제는, 대폭발로부터 수 억 년이 지난 이후에는 이미 우주의 온도가 너무 낮아져 화학 반응이 활발히 일어날 수 없었다는 것이다. 또한 우주팽창으로 기체 밀도가 매우 희박해져 기체반응을 통해 복잡한 분자들이 더 이상 생성될 수 없었을 것이다. 그럼에도 불구하고, 우주공간에 복잡한 분자 종들이 존재한다는 증거는 현재 여러 곳에서 나타나고 있다. 따라서 지난 150억 년 동

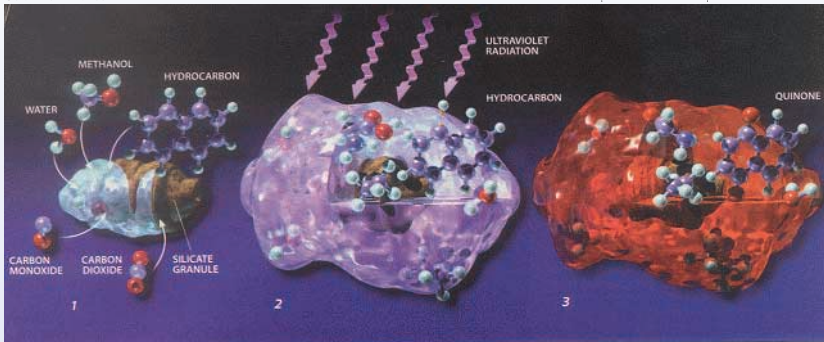
안 차가운 우주 공간에서 화학 공장은 어디에 있었는가의 의문이 남는다.

과학자들은 얼음 알갱이들이 화학공장의 역할을 했을 것이라고 생각한다. 얼음 알갱이 표면에는 성간에 존재하는 물 및 다른 간단한 분자들이 충돌하게 되면 차가운 온도 때문에 그대로 달라붙게 된다. 이렇게 얼음 알갱이는 오랜 시간에 걸쳐 우주 공간에 떠도는 여러 분자들을 모으며 점점 크기가 자란다. 그리고 여러 가지 분자들이 응결된 얼음 층에서 광화학 반응 등이 진행된다면 제법 복잡한 구조의 분자들(퀴논, 아미노산 등)이 생성될 수 있을 것이다(그림 참조). 이렇게 생성된 진화된 분자들은 길고 오랜 우주 여정을 통해 태양계로 영입되고, 지구에서 생명체를 태동시키는 밑거름이 된다. 이상이 과학자들이 추정하고 있는 지구 물질들의 과거사이다. 이러한 과거사 캐내기는 예전에는 공상과학의 영역으로 치부되기도 했으나, 최근에는 새로이 얻어지는 여러 과학적 증거에 힘입어 이에 대한 논리적이고 과학적인 연구가 활발해지고 있다.

얼음 표면에서 분자이동·화학반응 관찰

상기한 얼음 알갱이 분자진화론에서 핵심 의문 중의 하나는 '과연 냉각된 얼음에서 화학 반응이 일어날 수 있는가'이다. 이 질문은 완벽히 화학적 연구주제이다. 그러나 얼음은 그 동안 화학자들의 관심 대상에서 옆으로 비껴있었다. 그 이유는 조금만 논리적인 생각을 해 보면 화학반응이 얼음 속에서 일어나기는 매우 어렵다는 것을 쉽게 예상할 수 있기 때문이다. 차가운 얼음 속에서는 모든 것이 제자리에 얼린 상태로 갇혀 있다. 분자의 이동이나 화학적 변환은 따라서 불가능하며 만일 일어난다고 해도 엄청나게 느릴 수밖에

Scientific American



우주의 성간 구름에서 일어나는 얼음 알갱이의 생성과정과 광화학 반응을 보여주는 상상도. (1)차가운 모래 먼지에 빙결되는 물 및 여타 작은 분자들이 얼음 알갱이를 키운다 (2)자외선 및 우주선에 의해 분자의 광분해가 일어난다 (3)조각난 분자들이 얼음층에서 서로 결합하여 퀴논 등의 복잡한 분자로 진화된다.

에 없다. 실제로 얼음 속에서 일어나는 반응은 거의 알려져 있지 않다.

그러나 얼음 표면에서는 사정이 꽤 다르다. 최근 본인을 포함한 일련의 연구자들의 연구에 의하면 얼음 표면에서는 분자의 이동이 가능하고 화학반응도 일어난다.

염산을 예로 들어보자. 염산은 강한 산이며 물에 녹으면 완전히 해리된다고 고등학교 과정에서 배웠다. 얼음 표면에서는 어떠할까. 연구 결과에 따르면 염산은 얼음 표면의 온도에 따라 강산이 되기도 하고 약산으로 작용하기도 한다.

그러면 다른 반응들은 어떠한가. 얼음 위에서 화학반응들의 독특한 경향은 반응경로의 여러 중간 지점에서 일단 정지하는 행태를 보이는 것이다. 액체 물 속에서 진행되는 반응이 서울-부산간의 직행열차라면, 얼음 위의 기차는 수원, 대전, 대구 등 중간역마다 다 멈추어 서며 대부분 종착역인 부산까지 가지 못하는 경우가 많다. 즉, 한 반응에서 한 가지의 최종 생성물이 만들어지기보다는, 다양한 반응 중간체를 포함한 여러 가지의 생성물이 만들어지는 것이다. 이는 성간의 얼음 알갱이에서 복잡한 분자로의 진화가 이루어진다는 가설을 뒷받침하는 결과이다.

독특한 얼음표면 화학반응, -100°C 이하에서 가능

이와 같이 얼음 표면의 반응은 독특하며 물 속에서 일어나는 반응과는 사뭇 다르다. 그러나 집의 냉장고에 얼려둔 음식 맛이 변하지 않을까, 또는 얼린 음식을 먹으면 몸 속에서 이상한 화학반응이 나타나지는 않을까 걱정할 필요는 없다. 얼음의 반응이 크게 달라지는 것은 영하 100도 이하의 온도에 해당하기 때문이다. 냉동실이나 우리가 살고 있는 지표면에서는 가장 낮은 온도도 영하 50도 이하로는 거

의 내려가지 않는다. 이러한 따뜻한 조건에서는 얼음 표면은 항상 얇은 물 층으로 덮여있어, 실제적으로 얼음 표면의 반응은 물에서와 같게 된다.

지표면으로부터 고도가 높ی 올라가면 성층권 대기에서는 온도가 영하 90도까지 내려가기도 한다. 우주의 성간구름 영역의 온도는 대개 영하 250도(절대온도 20K) 부근에 있다. 따라서 성간 얼음 알갱이 표면에서는 위와 같은 독특한 화학반응이 지배한다고 볼 수 있다.

얼음 표면의 반응은 비록 빠르게 일어나지는 않지만, 오랜 시간에 걸친 우주의 물질 진화과정에 영향을 미쳤을 수 있다. 그러나 머나먼 우주에서 일어나는 반응은 지금부터 수십 억년 이후에나 태양계에 영향을 미칠 수 있기 때문에, 지금 당장 우리 생활에 영향을 줄 일은 절대로 없다. 이렇게 생각하면 얼음 화학은 참으로 써먹을 데 없는 학문이며, 이를 연구하는 과학자들은 한심한 사람들로 여겨질 수도 있다. 그럼에도 불구하고 자연을 탐구하여 그 섭리를 조금씩 더 깨닫게 되는 것은 즐거운 일이다.

오늘 아침에 우리가 마신 한 잔의 물에는 아주 오래 전에 저 멀리 다른 은하에서 생성되어 지구로 운반되어 온 물 분자들이 상당량 들어 있다. 또한 우리의 몸도 이렇게 외계로부터 온 분자들로부터 만들어졌다. 즉, 지구는 고립된 물질계가 아니라 끊임없이 외계와 분자를 교환하며 의사소통을 해 오고 있는 것이다. 단지 이러한 사실을 깨닫게 해주는 것 자체만으로도 과학연구는 가치가 있는 것이다.



글쓴이는 서울대학교에서 학사, 캘리포니아공대에서 박사학위를 받고 포항공대를 거쳐 서울대에서 재직하고 있다. 최근에는 얼음화학 연구에 관심을 갖고 이의 응용성을 찾기 위해 복귀를 탐사하기도 했다.