원소입니다. 세포 내 이들의 농도는 '소듐-포타슘 펌프'라 불리는 소듐-포타슘-ATP가수분해효소 막 단백질에 의해 조절됩니다. 황은 수용성 비타민인 티아민(thiamine·비타민 B_1)과 바이오틴(biotin·비타민 B_7)을 구성하는 원소입니다. 염소는 우리가 매일 섭취하는 소금의 주성분이며, 위액을 구성하는 주요 원소입니다. 염소는 몸속에서 음이온으로 존재해 삼투압 및 수분 평형을 유지하는 데 중요한 역할도 하고 있습니다. 마그네슘은 칼슘, 인과 함께 뼈 미네랄의 주요 성분 중 하나입니다.

우리 몸에는 총 몇 개의 원자가 있을까

이렇게 다양한 원소로 이뤄진 우리 몸에는 모두 몇 개의 원자가 존재할까요? 이 질문에 정확한 답을 하려면 인체에 존재하는 모든 원소들의 원자 개수를 더해야 합니다. 불가능한 일이죠.

하지만 문제를 단순화해 근접한 답을 찾아 볼 수는 있습니다. 가령 몸무게가 72 kg인 성인이 우리 몸에서 압도적으로 많은 양을 차지하고 있는 물(H_2O)로만 이뤄져 있다고 가정해봅시다. 물분자 1몰(mol), 즉 약 6×10^{23}개에 해당하는 질량은 18 g입니다. 다시 말해 72 kg인 사람이 물로만 이뤄져 있다면 4000몰, 즉 2.4×10^{27}개의 물 분자가 존재하는 셈이며, 물 분자 한 개는 수소 2개, 산소 1개 등 총 3개의 원자로 이뤄져 있으므로 총 1만2000몰, 즉 7.2×10^{27}개의 원자가 존재하는 셈이 됩니다. 주요 원소들의 인체 내 존재 비율을 고려해 좀 더 복잡한 계산을 하더라도 물로만 계산을 했을 때와 결과는 크게 달라지지 않습니다.

최형서(경남 동진여중 1)

Q

생명현상에 필요한 물질은 왜 탄소로 이뤄졌나요?

04

차상원 교수가 답하다

우리 몸이 호흡과 물질대사를 통해 에너지를 만들고 유전정보를 전달하는 과정을 보면 수없이 많은 탄소화합물이 관여하고 있습니다. 생명체는 왜 하필 탄소(C)를 골격으로 가진 화합물들을 일꾼으로 고용했을까요?

태초의 지구 환경에서 간단한 유기화합물이 생성될 수 있는지, 그 가능성을 연구한 미국의 화학자 스탠리 밀러(Stanley L. Miller)는 다음과 같은 실험을 고안했습니다. 환원성 대기 성분인 수소(H_2), 메테인(CH_4), 암모니아(NH_3)를 물(H_2O)과 함께 밀폐된 용기에 넣고 전기방전을 가했습니다. 그 결과, 간단한 유기물인 글리신, 알라닌 등의 아미노산이 생성됨을 확인했습니다.

이러한 밀러의 실험이 정말 지구 태초의 환경을 재현했는지에 대해서는 논쟁이 있을 수 있습니다. 그러나 현재 생명체와 우주에서 발견되는 원소의 비율 등에 비춰볼 때 밀러의 실험에 사용된 원소들, 즉 수소(H), 탄소(C), 질소(N), 산소(O)가 생명현상에 관여하는 물질의 골격을 이룰 후보였음은 분명해 보입니다.

생명물질이 될 수 있는 세 가지 조건

그렇다면 네 가지 원소들 중 가장 적합한 원소는 무엇일까요? 일단 생명현상에 필요한 물질의 골격을 이루는 원소가 되기 위해서는 다양성이 뒷받침돼야 합니다. 원소끼리 결합하는 경우의 수가 많으면 많을수록 생명현상에 필요한 물질을 다양하게 만들어 낼 수 있기 때문입니다.

원소들이 각각 몇 개의 결합을 할 수 있는지는 미국의 물리화학자 길버트 루이스(Gilbert N. Lewis)가 1916년에 발표한 '옥텟 규칙(Octet rule)'을 보면 예상할 수 있습니다. 옥텟 규칙에 따르면 1주기 원소인 수소를 제외하고, 어떤 원소가 몇 개의 결합을 할 수 있는지는 원소가 몇 개의 전자를 받아 최외각 껍질에 전자 8개를 완성할 수 있는지에 달려있습니다. 즉, 최외각 전자가 각각 4개, 5개, 6개인 탄소, 질소, 산소는 각각 최대 4개, 3개, 2개의 같거나 다른 원소와 결합을 이룰 수 있습니다.

수소는 전자를 1개만 갖고 있지만, 최외각 전자가 2개만 되면 안정해지는 1주기 원소이기 때문에 단일결합밖에 이룰 수 없습니다. 반면 탄소는 4개의 팔을 벌려 4개의 원소를 맞이할 수 있습니다. 실제로 4개의 팔을 이용해 사슬형, 가지형, 고리형 등 다양한 분자의 골격을 만듭니다.

두 번째 조건은 강인함입니다. 같은 원소가 길게 여러 개 결합돼도 안정적이어야 한다는 뜻입니다. 장난감 블록에 비유하면 이해하기 쉽습니다. 블록의 표면에는 요철이 있어 블록끼리 다양한 형태로 결합할 수 있습니다. 이때 요철끼리 결합하는 이음새가 헐겁거나 엉성하면 구조물을 얼마

쌓기도 전에 무너져 버립니다.

다시 원소로 돌아와봅시다. 만약 질소간의 단일결합(-N-N-)이 탄소간의 단일결합(-C-C-)보다 훨씬 강하고 안정하다면, 다양성은 다소 떨어져도 질소가 생명물질의 골격이 됐을지도 모르겠습니다. 하지만 실제로는 탄소간의 단일결합이 질소간 또는 산소간의 단일결합보다 2배 이상 강합니다.

이러한 차이는 원소마다 '전자 욕심'이 다르기 때문에 발생합니다. 같은 주기의 원소들을 비교하면 이미 전자를 다 채워 안정한 상태인 비활성 기체 원소들은 제외하고, 최외각 껍질에 채워야 할 전자의 개수가 적은 원소일수록 전자에 대한 욕심이 더 강합니다. 즉, 세 원소 중 전자를 2개만 받으면 안정해질 수 있고 양성자 수 또한 가장 많아 전자를 끌어당기는 힘이 가장 센 산소가 전자 욕심이 가장 많습니다. 탄소는 산소나 질소에 비하면 전자 욕심이 아주 적은 편이고요.

화학에서는 원소끼리 공유한 전자에 대해 욕심을 보이는 정도를 '전기음성도(electronegativity)'라고 말합니다. 전기음성도가 높은 원소들끼리 단일결합을 하면 서로 전자쌍을 끌어가려고 하기 때문에, 힘센 두 사람이 고무줄을 양쪽으로 팽팽하게 당기는 것처럼 결합이 약해집니다. 하지만 탄소처럼 전기음성도가 적당하면 팔가마를 만들 때 팔목과 팔목을 서로 겹쳐 잡는 것처럼 강한 단일결합을 만들 수 있습니다. 실제로 탄소 골격은 분자량이 10만이 넘는 고분자도 거뜬히 만들 정도로 튼튼합니다.

마지막으로 생명물질의 골격을 이루는 원소가 되기 위해서는 유연해야 합니다. 역동적인 생명현상에 참여하는 생체분자는 다양하게 구조를 바꾸거나, 분해되거나, 다른 분자와 합쳐질 수 있어야 한다는 뜻입니다. 이런 면에서도 전기음성도가 원소들 중 중간 정도여서 어느 원소든 받아들일 준비가 돼있으며 최대 4개의 원소와 결합할 수 있는 탄소가 제격입니다.

같은 14족 규소는 안될까?

이쯤 되면 한 가지 의문이 생길 수 있습니다. '주기율표상 탄소 바로 밑에 있으면서 비금속인 규소(Si)도 생명의 원소가 될 수 있지 않을까?'하는 질문이죠. 물질의 다양성 조건만 놓고 보면, 탄소처럼 최외각 전자가 4개인 규소도 생명체를 이루는 원소가 되지 말라는 법은 없으니까요.

하지만 규소는 탄소보다 훨씬 크기 때문에 탄소와 아주 다른 특성을 보입니다. 우선 강인함의 측면에서 봤을 때, 규소간의 단일결합(-Si-Si-) 힘은 탄소간의 단일결합의 힘의 60%에 불과합니다. 대신 규소-산소간의 결합(-Si-O-)은 탄소간의 결합보다 훨씬 강합니다. 따라서 규소는 자기들끼리만 길게 결합하는 대신, 산소를 중간중간에 연결시켜 거대한 네트워크를 형성합니다. 대표적인 예가 생명체가 생명을 영위할 수 있는 기반인 지각입니다.

이 대목에서 '규소가 그렇게 산소와 결합하길 좋아한다면, 이산화탄소(CO_2, O=C=O)처럼 단일 기체 분자를 만들어 식물의 생명과정 중 가장 중요한 광합성에 참여할 수 있지 않을까?'하는 좀 더 고차원적인 질문을 하는 분들도 있을 겁니다. 답은 '그럴 수 없다'입니다. 규소는 산소와 이중결합해 이산화탄소 구조와 같은 화합물(O=Si=O)을 이루지 못합니다. 2주기 원소인 산소와 3주기 원소인 규소의 크기 차이가 커서 이중결합을 이루려면 너무 많은 에너지가 필요하기 때문입니다. 이에 반해 탄소는 산소와 크기가 비슷해 전자의 겹침이 용이합니다. 이중결합을 쉽게 이룰 수 있고, 단일 기체분자인 이산화탄소를 쉽게 만들 수도 있는 거죠. 결국 생명체에게 '팔방미인' 같은 원소가 바로 탄소라 할 수 있겠습니다.

동경호(경남 무지개초 5)
심현서(경남 무지개초 4)
최규연(경기 안양여고 1)
최형서(경남 동진여중 1)

Q

외계생명체를 찾으려면 어떤 원소에 주목해야 할까요?

05