

물리학이 발견한 것들 05

생명



이번 달에 살펴볼 내용은 생명현상에 관한 것이다. 얼핏 보면 생명현상은 우주의 기본적 작동원리인 엔트로피 증가의 법칙에 저항하는 듯 보인다. 엔트로피 법칙(열역학 제2 법칙)에 역행하는 듯 보이는 사례는 별 내부의 운동과 생명현상인데, 자세히 살펴보면 이들은 제2 법칙을 거스르지 않는다. 별의 내부와 생명현상은 오히려 엔트로피 2단계 과정으로 엔트로피의 증가를 가속시키는 역할을 한다. 그러나 생명현상의 내부만 들여다보면 실제로 항상성을 꾸준히 유지한다. 외부에서 에너지를 얻어 이를 생명 내부의 질서를 유지하는 데 사용하고 그 과정에서 발생하는 배설물과 열을 외부로 배출한다. 그 결과 생명현상과 그 주변의 전체적 엔트로피는 증가한다.

생명현상은 단순히 항상성을 유지하는 데 머무르는 것이 아니라 기능의 개선을 통해 그 생명현상의 재생산을

촉진하여 번성시킨다. 이 과정에서 실패하는 사례들도 많지만, 우리가 주변에서 쉽게 만나는 생명체들은 그 과정을 성공적으로 수행하여 멸종을 피한 종들이라 볼 수 있다. 지난 3년간 우리를 괴롭혀 온 코로나바이러스도 지속해서 변이를 일으키며 어떻게든 많은 복제를 통해 번성하려는 듯 보인다. 이런 변이들이 결국 종을 개선하고 긴 시간을 통해 바라보면 진화라고 정의될 수 있을 것이다. 인간을 포함한 모든 생명현상이 이런 과정을 겪는 것이다.

생명의 통일성

생명을 논하려면 생명의 기원에서 출발해야겠지만, 이 문제는 아직 결론이 나지 않았으므로 생명의 정수가 담겨있는 분자에서 시작하여 이야기를 풀어나가 보자. 생명을 바라볼 때도 생물학적 통일성이 제일 먼저 눈에 띈다. 지구에 존재하는 생명체의 종류는 얼마나 될까? 일부 연구에 의하면 최소 수백만 종에서 최대 수조 종에 이른다고 한다. 정확한 숫자는 알 수 없지만, 아무튼 엄청나게 많은 것은 분명하다. 그러나 숫자에 집착하다 보면 생명체의 몸 안에서 진화되는 신비한 과정을 간과하기 쉽다.

살아 있는 조직을 자세히 들여다보면 생명을 정의하는 가장 작은 단위인 세포에 도달하게 된다. 모든 세포는 출처에 상관없이 비슷한 구조로 되어 있기 때문에, 누군가가 당신에게 세포 1개를 보여준다면 그것이 쥐의 세포인지 개의 세포인지, 거북이인지 거미인지, 집파리인지, 사람인지 구

“

외부에서 에너지를 얻어 이를 생명 내부의 질서를 유지하는 데 사용하고 그 과정에서 발생하는 배설물과 열을 외부로 배출한다. 그 결과 생명현상과 그 주변의 전체적 엔트로피는 증가한다.

”

글. 권태혁 아리랑국제방송
기술센터 부장

별할 수 없을 것이다. 이것은 매우 놀라운 사실이다. 사람의 세포라면 다른 동물의 세포와 확실하게 구별되는 특징이 있어야 할 것 같은데, 현실은 전혀 그렇지 않다. 나와 벼룩의 세포가 육안으로 구별하기 어려울 정도로 비슷하다니 살짝 자존심이 상하지만, 여기에는 그럴 만한 이유가 있다. 현존하는 모든 다세포 생물은 먼 옛날에 존재했던 단세포 생물의 직계 후손이기 때문이다. 우리와 벼룩은 동일한 조상의 후손이기에 세포 구조가 비슷한 것이다.

이것은 매우 의미심장하다. 생명의 종류가 이토록 많으니 기원도 다양할 것 같지만, 사실은 그렇지 않다. 연체동물과 난초의 기원을 추적하다 보면 각기 다른 출발점에 도달할 것 같은데, 지금까지 수집된 증거에 의하면 모든 생명체의 기원은 하나의 공통조상으로 수렴한다. 모든 생명체가 공통으로 갖고 있는 두 가지 특징이 이 사실을 더욱 강하게 뒷받침하고 있다. 그중 하나는 우리에게 친숙한 ‘정보’다. 세포가 생명을 유지하기 위해 정보를 저장하고 활용하는 방법은 생명체의 종류와 상관없이 거의 동일하다. 두 번째 특징은 에너지와 관련되어 있다. 즉, 모든 생명체에서 세포가 에너지를 입수하고, 저장하고, 활용하는 방법도 거의 동일하다. 그토록 다양한 지구 생명체들이 이런 공통점을 갖고 있다는 것은 이들이 하나의 조상에서 비롯되었음을 보여주는 강력한 증거다.

생명 정보의 공통성

토끼가 살아 있음을 확인하는 방법의

하나는 움직임 확인하는 것이다. 귀를 움직이거나 앞발을 흔드는 토끼는 분명히 살아 있다. 물론 바위도 물살에 끌려 내려가거나 화산의 분화구에서 하늘 높이 솟구칠 수도 있다. 바위의 움직임은 거기 작용하는 외력에 기초하여 완전히 이해할 수 있으며, 심지어 바위의 미래도 예측할 수 있다. 누군가가 나에게 바위의 현재 상태와 화산 폭발 정보를 알려 준다면, 뉴턴역학을 이용한 계산을 통해 바위가 앞으로 겪게 될 일을 꽤 정확하게 알아낼 수 있다. 그러나 토끼의 행동은 예측하기가 훨씬 어렵다. 토끼의 움직임은 외부의 힘이 아닌 내부에서 결정되기 때문이다. 스스로 코를 찔룩이고, 고개를 돌리고, 다리를 흔드는 토끼는 자유 의지를 갖고 있는 것처럼 보인다. 토끼와 사람을 포함한 모든 생명체들은 정말로 자유 의지를 갖고 있을까? 이것은 지난 수백 년 동안 끊임없이 거론되어 온 난제이다. 어쨌거나 바위의 내부에서 일어나는 사건은 겉으로 드러나는 움직임에 아무런 영향도 주지 않지만, 토끼의 의지가 담긴 복잡하고 정교한 행동은 토끼가 살아 있다는 증거다.

이것은 결코 간단한 식별법이 아니다. 기계처럼 자동화된 시스템은 생명체와 비슷한 움직임을 실행할 수 있고 앞으로 기술이 발달하면 생명체와 거의 구별할 수 없을 정도까지 발전하겠지만, 이들의 움직임은 정보와 실행의 상호 작용, 즉 소프트웨어와 하드웨어 사이에 교환된 상호 작용의 결과다. 일반적으로 자동화 기계의 움직임은 직설적 서술이 가능하다. 드론이나 무인 자동차, 로봇청소기

들은 안에 탑재된 소프트웨어가 주변 환경 데이터를 입력으로 삼아 상황을 분석한 후, 하드웨어를 통해 날개와 로터, 또는 바퀴를 구동시킨다. 반면에 토끼의 움직임은 직설보다 은유적 표현이 더 효과적이다. 그런데도 소프트웨어/하드웨어 패러다임은 생명체를 이해하는 데 매우 유용한 개념이다. 토끼는 감각기관을 이용하여 주변 환경으로부터 데이터를 수집하고, 이것을 신경 컴퓨터(두뇌)로 분석한 후 신경계를 통해 명령(정보가 담긴 신호)을 하달하여 특정 행동(토끼 풀 뜯어 먹기, 땅에 떨어진 나뭇가지 뒤편에 던지기 등)을 수행한다. 토끼의 모든 행동은 몸속에 흐르는 복잡한 지시 사항들이 일련의 내부 처리 과정을 거쳐 나타난 결과다. 즉, 토끼는 생물학적 소프트웨어와 하드웨어를 모두 갖고 있다. 그러나 돌맹이에겐 이런 것이 단 하나도 없다.

토끼의 몸을 구성하는 세포로 들어가면 작은 규모에서 이와 비슷한 구조가 나타난다. 세포가 수행하는 기능의 대부분은 화학 반응을 제어, 촉진하고, 중요한 물질을 운반하고, 세포의 형태와 움직임을 제어하는 단백질 분자를 통해 실행되고 있다. 단백질의 구성 성분은 아미노산인데, 20종의 아미노산이 결합하는 방식에 따라 다양한 형태의 단백질이 생성된다. 26개의 알파벳을 조합하는 방식에 따라 다양한 단어가 만들어지는 것과 같은 이치다. 알파벳으로 인식 가능한 단어를 만들려면 특정한 배열 순서를 만족해야 하듯이, 유용한 단백질을 만들려면 아미노산도 특정한 배열 순서를 만족해야 한다. 아미노산이 무

작위로 조립된다면 생명에게 필요한 단백질이 생성될 확률은 거의 0에 가깝다. 20종의 아미노산이 서로 결합하여 긴 사슬을 만드는 방법의 수를 헤아려 보자. 150개의 아미노산이 사슬처럼 연결된 경우, 가능한 배열의 수는 약 10^{195} 가지다. 얼마나 큰 수인지 잘 모르겠다면 이렇게 생각해 보라. 10^{195} 는 우주에 존재하는 입자의 수보다 훨씬 많다! 한 무리의 원숭이들이 수십 년 동안 키보드 위를 아무리 열심히 뛰어들어도 ‘사느냐 죽느냐’라는 문장이 입력되지 않는 것처럼, 아미노산이 무작위로 결합한다면 생명체에게 필요한 단백질은 아무리 긴 세월이 흘러도 생성되지 않을 것이다. 복잡한 단백질이 합성되려면 모든 과정을 단계별로 서술하는 일련의 지침이 필요하다. 예를 들면 “이 아미노산을 저 아미노산의 끝에 걸고, 그것을 다시 이쪽에 이어 붙인 후 저 아미노산에 연결하고...” 기타 등등이다. 그래서 단백질이 합성되려면 세포 수준의 소프트웨어가 반드시 필요한데, 놀랍게도 이것은 왓슨과 크릭에 의해 기하학적 구조가 규명된 DNA 속에 암호화되어 있다.

DNA의 전체적인 형태는 이중나선(꼬인 사다리)이고 사다리의 가로대는 한 쌍의 염기로 이루어져 있으며, 염기는 A 아데닌, T 티아민, G 구아닌, C 사이토신의 네 종류가 있다. 같은 종의 생명체들은 성격이나 외모가 아무리 달라도 염기의 배열순서는 거의 동일하다. 사람의 DNA 염기 배열은 거의 30억 개까지 이어진다. 당신과 아인슈타인, 퀴리 부인, 그리고 윌리엄 셰익스피어의 염기 서열 차이는

약 0.2%에 불과하다. 500개의 염기 중 단 1개만 다른 셈이다. 나의 게놈이 세계적인 위인들과 거의 비슷하니 어깨가 으쓱해지겠지만, 악명높은 연쇄살인범들과도 비슷하다는 뜻이므로 그리 흐뭇해할 일은 아니다. 게다가 당신의 DNA 서열은 chimpanzee고도 99%가 일치한다. 그렇다고 좌절할 필요는 없다. 유전자가 아주 조금만 달라도 완전히 다른 생명체가 되기 때문이다.

DNA 사다리의 가로대가 형성될 때, 염기는 엄격한 규칙에 따라 쌍을 이룬다. 한쪽 가로대에 붙어 있는 염기 A는 반대쪽 가로대의 염기 T와 결합하고, G는 C와 결합한다. 따라서 한쪽 가로대의 염기 서열이 주어지면 반대쪽 가로대의 염기 서열은 자동으로 결정된다. 그리고 이 염기 서열은 아미노산의 염기 서열을 결정하여, 특정 종에게 필요한 단백질을 생산한다.

즉, 단백질을 생산하는 공정은 생명체의 종류와 상관없이 모두 동일하다. 너무 자세히 파고들어 가는 감이 있지만, 모든 생명에 적용되는 분자 단위 모스 부호의 작동원리는 다음과 같다. DNA에 달린 염기 중 연속된 3개는 20종의 아미노산 중 하나를 지정한다. 예를 들어 CTA는 류신을, GCT는 또 다른 아미노산인 알라닌을, GTT는 발린을 나타내는 식이다. 예를 들어 DNA의 한쪽 세로 기둥에 부착된 염기 서열의 일부가 CTA GCT GTT였다면, 이 암호는 ‘류신(CTA)을 알라닌(GCT)에 붙이고, 이것을 다시 발린(GTT)에 붙일 것’이라는 뜻이다. 1,000개의 아미노산이 연결된 단백질을 이런 암호로 정의하

려면 3,000개의 문자(염기)가 필요하다(암호가 시작되는 위치와 끝나는 위치도 3개의 문자열로 명시되어 있다. 영어의 한 문장이 대문자로 시작하여 마침표로 끝나는 것과 비슷하다). 이 서열이 모여서 단백질 구조의 청사진이 담긴 유전자가 형성된다. 이렇게까지 굳이 전문적인 내용을 시시콜콜 소개한 데에는 두 가지 이유가 있다. 첫째, DNA에 담긴 암호를 알면 세포의 소프트웨어에 대한 개념이 명확해지기 때문이다. DNA의 한 부분이 주어지면 세포의 업무를 지시하는 명령서를 읽을 수 있다. 무생물에서는 절대 찾아볼 수 없는 정교한 시스템이다. 둘째, 유전자 암호를 직접 보면 그것이 모든 생명체의 보편적 특징임을 알 수 있다. 해초의 DNA건 사람의 DNA건, 모든 DNA 분자에는 단백질 생성에 필요한 정보가 똑같은 방식으로 암호화되어 있다. 이것이 바로 생명의 정보에 존재하는 통일성이다.

생명 에너지의 통일성

에너지를 공급하지 않으면 증기 기관이 작동을 멈추는 것처럼, 생명도 중요한 기능(성장, 치유, 운동, 번식 등)을 수행하려면 반드시 에너지가 필요하다. 우리는 증기 기관을 작동시키기 위해 주변 환경에서 에너지를 취해 왔다. 석탄과 나무, 또는 다른 형태의 연료를 태워서 발생한 열에너지를 증기 기관에 투입하면 증기가 팽창하면서 외부에 일하는 식이다. 주변 환경에서 필요한 에너지를 취하는 것은 생명체도 마찬가지다. 동물은 음식에서 에너지를 얻고, 식물은 햇



빛에서 에너지를 얻는다. 그러나 증기 기관과 달리 생명체는 몸에 들어온 에너지를 곧바로 소비하지 않는다. 생명이 진행되는 과정은 증기 기관 내부의 증기가 팽창하거나 수축하는 과정보다 훨씬 복잡하여, 에너지를 적재적소에 공급하는 정교한 시스템이 필요하다. 생명체는 연료를 태워서 발생한 에너지를 세포의 요구에 맞춰 규칙적으로, 그리고 신뢰할 방법으로 저장, 배분하고 있다.

생명체가 에너지를 추출하고 배분하는 방법은 종에 상관없이 모두 동일하다. 생명이 채택한 에너지 관리 공정은 지금도 일련의 복잡한 과정을 거치며 당신과 나, 그리고 우리가 아는 모든 생명체의 몸 안에서 진행되고 있다. 이것이 자연이 이룩한 가장 위대한 업적이라고 생각한다. 생명은 ‘느리게 진행되는 화학적 연소 과정’을 통해 주변 환경에서 에너지를 추출하여 세포 안에 내장된 생물학적 배터리에 저장한다. 세포의 모든 요소에 에너지를 공급하려면 특별한 기능을 수행하는 맞춤형 분자를 합성해

야 하는데, 세포 배터리는 이 과정에 전기를 공급하는 에너지원이다.

이것은 매우 중요한 부분이므로 좀 더 자세히 살펴보자. 세부 사항을 전부 알 필요는 없다. 대충 훑어보기만 해도 생명의 경이로움을 충분히 느낄 수 있을 것이다.

생명이 에너지를 처리하는 과정의 핵심은 산화 환원 반응이다. 그다지 매력적인 이름은 아니지만, 불에 타는 장작의 예를 들어 보면 왜 그런 이름이 붙었는지 이해가 갈 것이다. 장작이 탈 때 나무에 함유된 탄소와 수소는 자신이 갖고 있던 전자를 공기 중의 산소에 내주면서 서로 결합하여 물과 이산화탄소가 되고, 이 과정에서 에너지를 방출한다. 그래서 불이 뜨겁다. 산소가 전자를 포획했을 때, 흔히 ‘환원되었다’고 말한다. 그리고 산소에 전자를 양도한 탄소와 수소는 ‘산화되었다’고 한다. 이 둘을 합쳐서 부른 것이 바로 산화 환원 반응이다 (환원을 뜻하는 ‘reduction’의 ‘red’와 산화를 뜻하는 ‘oxidation’의 ‘ox’를 붙여서 ‘redox’가 된 것이다). 요즘 과학자들은 이 용어를 더욱 넓은

의미로 사용하고 있다. 산소의 개입 여부와 상관없이, 화학 물질 사이에 전자가 교환되면 그냥 산화 환원 반응이라고 부른다. 그래도 불타는 장작은 화학적 연소를 보여주는 전형적 사례다. 궤도에 전자를 다 채우지 못하여 불안한 원자가 다른 원자로부터 전자를 기증받으면 억누르고 있던 다량의 에너지를 외부로 방출한다.

살아 있는 세포에도(일단은 동물의 세포에 집중하자) 이와 비슷한 산화 환원 반응이 일어나고 있지만, 당신이 아침에 먹은 원자에서 분리된 전자는 곧바로 산소에 영입되지 않는다. 그러지 않으면 이 과정에서 방출된 에너지가 세포에 화재 비슷한 사건을 일으켜 세포 기능에 심각한 장애를 초래할 것이다. 음식이 기증한 전자는 일련의 산화 환원 반응을 거친 후 궁극적으로 산소에 안착하지만, 단계마다 소량의 에너지를 방출하면서 간간히 휴식을 취한다. 야구장 관람석 꼭대기에 떨어진 야구공이 한 번에 바닥으로 내려오지 않고 계단을 따라 층층이 떨어지는 것처럼,

전자는 하나의 분자 수용체에서 다른 분자 수용체로 점프하면서 에너지를 단계적으로 방출한다(나중에 만나는 분자가 먼저 만난 분자보다 전자를 더 간절히 원하기 때문에, 단계마다 조금씩 에너지가 방출된다). 모든 원자 중에서 전자에 대한 집착이 가장 강한 산소는 제일 아래층에서 기다리다가 전자가 도착하면 단단히 끌어안으면서 마지막 남은 에너지를 쥐어 짜내고, 이것으로 에너지 추출 과정은 막을 내리게 된다.

이 과정은 식물도 크게 다르지 않다. 동물과 식물의 차이점은 ‘전자의 출처’뿐이다. 동물은 전자를 음식에서 얻고, 식물은 물에서 얻는다. 녹색 잎의 엽록소에 햇빛이 도달하면 물 분자의 전자가 에너지를 얻고 이탈하여 계단식으로 에너지를 방출하는 산화 환원 반응을 시작한다. 살아 있는 모든 생명체가 에너지를 얻는 과정은 전자가 점프하면서 진행되는 일련의 산화 환원 반응으로 요약할 수 있다. 그래서 ‘모든 생명현상은 최후의 쉼터를 찾아가는 전자의 여정’이라고 한다.

이것은 물리학의 관점에서 볼 때 정말로 놀라운 현상이다. 에너지는 우주 전역에서 통용되는 동전으로, 주조된 형태와 사용처도 매우 다양하다. 그중 한 형태인 핵에너지는 원자핵이 분열되거나 융합하는 과정에서 생성되고, 전자기적 에너지는 하전 입자들이 밀고 당기는 와중에 생성된다. 또 다른 동전인 중력에너지는 무거운 물체들의 상호 작용을 통해 생성된다. 그러나 지구의 생명체들은 그들만의 독특한 방법으로 에너지를 관리하고 있다. 음식이나 물에서 시

작하여 전자가 에너지가 낮은 쪽으로 계속 뛰어내리다가, 마침내 산소의 품에 안기는 일련의 전자기적 화학 반응이 바로 그것이다.

이렇게 독특한 에너지 추출법이 왜, 그리고 어떻게 지구 생명체의 전매특허가 되었을까? 아무도 알 수 없다. 그러나 유전자 암호와 마찬가지로, 이것은 모든 생명체에 공통적으로 적용된다. 생명이 에너지를 취하는 방법에 통일성이 존재하는 이유는 무엇일까? 답은 자명하다. 지구의 모든 생명체는 40억 년 전에 최초로 등장했던 단세포 동물의 직계 후손이기 때문이다.

생물학적 배터리

일련의 산화 환원 반응에서 방출된 에너지의 그다음 여정을 따라가면 생명의 통일성이 더욱 분명하게 드러난다. 산화 환원에서 얻은 에너지는 모든 세포에 내장되어 있는 생물학적 배터리를 충전하는 데 사용되며, 충전된 배터리는 모든 세포에 에너지를 운반하고 공급하는 수송 전문 분자를 합성하는 데 사용된다. 이것은 매우 정교한 과정으로, 모든 생명체에서 동일한 방식으로 진행되고 있다.

대략적인 개요는 다음과 같다. 전자가 산화 환원 수용체의 길게 뻗은 분자 팔로 점프하면 수용 분자(전자를 받아들이는 분자)가 경련을 일으키면서 방위에 변화가 생긴다. 즉, 주변의 다른 분자들은 일제히 한 방향을 바라보고 있는데, 유독 수용 분자의 방향만 달라지는 것이다(외형상으로는 톱니바퀴가 한 이빨만큼 앞으로 전진

한 것과 비슷하다). 잠시 후 변덕스러운 전자가 두 번째 수용체를 향해 점프를 시도하면 첫 번째 수용체의 수용 분자는 원래 방향으로 돌아가고, 새로운 수용 분자가 또다시 경련을 일으킨다. 그 후 전자가 계속 점프하면서 이와 같은 과정이 반복되는데, 전자를 받아들인 분자는 경련을 일으키며 톱니바퀴가 한 단계 앞으로 전진하고, 전자를 잃은 분자는 원래 위치로 되돌아간다.

전자의 점프와 수용 분자의 경련은 미묘하면서도 중요한 임무를 수행하고 있다. 분자가 오락가락하는 톱니바퀴처럼 앞뒤로 움직이면 한 무리의 양성자들이 이 동작에 밀려나면서 자신을 에워싼 막을 통과하여 얇은 두께로 축적되는데, 이것이 바로 ‘양성자 배터리’다.

일상적인 배터리에서는 화학 반응을 통해 전자가 배터리의 한쪽 끝(양극)에 축적된다. 이때 전자들 사이에는 전기적 척력이 작용하기 때문에 언제든지 달아날 준비가 된 상태다. 여기에 닫힌회로를 연결하고 전원 스위치를 켜면 양극에 갇혀 있던 전자들이 일제히 쏟아져 나와 모종의 전기 기구(전구, 휴대용 컴퓨터, 휴대전화 등)를 통과한 후 배터리의 반대쪽(음극)에 도달한다. 요즘 사람들은 배터리를 흔해 빠진 소모품쯤으로 취급하고 있지만, 사실은 매우 독창적인 발명품이다. 배터리에는 ‘기회만 주어진다면 사용자가 선택한 전기 기구에 자신의 에너지를 모두 헌납할 준비가 되어 있는’ 전자 집단의 에너지가 저장되어 있다.

살아 있는 세포의 배터리도 이와 비

슷하다. 일상적인 배터리와 다른 점은 전자 대신 양성자가 저장되어 있다는 것인데, 양성자들 사이에도 전기적 척력이 작용하기 때문에 작동원리는 거의 같다. (양성자와 전자의 전하량은 크기가 같고 부호만 다르다) 세포의 산화 환원 반응에 의해 양성자들이 한쪽에 축적되면, 이들은 동료로부터 멀어질 기회만 호시탐탐 노리고 있다. 그리고 이 배터리는 세포의 산화 환원 반응을 통해 충전된다. 사실 양성자들은 매우 얇은 막(원자 수십 개에 해당하는 두께)의 한쪽에 모여 있기 때문에, 전기장(전압을 막의 두께로 나눈 값)이 수천만 V/m에 달할 정도로 높다. 세포의 생물학적 배터리는 크기만 작을 뿐이지, 결코 하찮은 존재가 아니다.

세포는 이 초소형 발전소로 무슨 일을 하고 있을까? 정작 놀라운 일은 지금부터 일어난다. 양성자를 가로막고 있는 막에는 엄청나게 많은 나노 크기의 터빈이 달려 있어서, 뻘뻘하게 모여 있던 양성자들이 막을 통과하여 흐르면 터빈도 돌기 시작한다. 마치 강풍이 불어서 풍차의 날개가 돌아가는 것과 비슷하다. 과거 수백 년 동안 풍차는 바람의 에너지를 회전 운동으로 바꿔서 밀을 비롯한 여러 곡물을 뿜는 데 사용되었다. 세포의 풍차(터빈)도 하는 일은 비슷하지만, 구조를 분쇄하는 대신 새로운 구조를 만들어 낸다. 분자 터빈은 양성자를 바람 삼아 회전하면서 두 종류의 입력 분자(아데노신 2인산[ADP]와 인산기)를 합성하여 하나의 분자(아데노신 3인산[ATP])를 만들어 내고 있다. 터빈에 의해 강제로 형성

된 ATP 분자들은 전하의 부호가 같은 입자들이 화학 결합을 통해 꼭 끌어안고 있어서 역학적으로 ‘잔뜩 긴장한’ 상태다. 강한 힘으로 압축된 채 해방될 날만 학수고대하는 용수철과 비슷하다. 무엇이건 에너지를 많이 품고 있으면 사고를 칠 위험이 그만큼 커지지만, 세포는 매우 정교한 시스템이어서 오히려 이 상황을 자신에게 유리한 쪽으로 활용하고 있다. ATP 분자는 세포 안을 돌아다니다가 필요할 때 화학 결합을 끊고 에너지를 방출할 수 있으며, 이럴 때마다 구성 입자들은 에너지가 낮은 ‘편안한’ 상태로 떨어진다. ATP 분자가 분열되면서 방출된 에너지가 세포 공장에 동력을 공급하고 있는 것이다.

몇 가지 숫자만 확인하면 세포 공장의 지질 줄 모르는 기능을 실감할 수 있다. 평범한 세포 1개가 1초 동안 정상 기능을 유지하려면 약 1천만 개의 ATP 분자가 필요하다. 우리 몸은 수조 개의 세포로 이루어져 있으므로, 1초 사이에 무려 1×10^{20} 개의 ATP 분자가 소모되는 셈이다. ATP가 소모되면 원자재(ADP와 인산염)로 분해되고, 양성자 배터리로 구동되는 터빈에 의해 다시 ATP로 재생되어 이전과 똑같은 방식으로 세포 전체에 에너지를 공급한다. 사람의 평균 에너지 소모량을 생각할 때, 세포 터빈의 생산성은 가히 상상을 초월한다. 당신이 제아무리 속도의 대가라고 해도, 이 한 문장을 읽는 동안 당신의 몸은 5×10^8 개의 ATP 분자를 생산했다. 그리고 방금 3×10^8 개가 추가되었다. 위에서 설명한 내용은 고등학교 생명

과학 과목의 물질대사 편을 보면 관련된 ATP의 메커니즘을 더 세부적인 내용까지 확인할 수 있다. 쉽게 이해할 수 있게 제작된 유튜브 동영상도 많이 있다.

정리

세부 사항을 생략하면 앞에서 살펴본 내용들의 결론은 다음과 같다. 음식과 빛을 통해 생명체에 유입된 전자는 화학적 계단을 타고 내려오면서 각 층마다 에너지를 방출하고, 이 에너지는 모든 세포에 설치된 생물학적 배터리를 충전하며, 배터리는 분자를 합성하는 데 사용된다. 그리고 이 분자들은 세포의 기능이 유지되도록 곳곳에 에너지를 배달한다. 모든 생명체는 이런 방식으로 필요한 에너지를 충당하고 있다. 우리가 하는 모든 행동, 우리가 떠올리는 모든 생각의 저변에 이토록 정교하고 치밀한 에너지 생산라인이 가동되고 있는 것이다. 사실 자세한 세부적 내용이 중요한 것은 아니다. 이 이야기의 핵심은 모든 생명체가 세포에 에너지를 공급하는 데 동일한 메커니즘을 사용한다는 점이다. 에너지 공급과 DNA 암호에 이런 통일성이 존재한다는 것은 모든 생명체가 하나의 조상으로부터 비롯되었음을 보여주는 강력한 증거다. 인류가 알아낸 보편적 생명과학의 기반 위에 의학이 발전하고 신약 개발이 이루어지고, 우리가 그것들의 도움을 받으며 고통을 줄이며 더 건강하게 더 오래 살고 있다. 📺

알림 : 인지심리학자 스티븐 핑커와 물리학자 브라이언 그린의 최근 저작을 참고하고 요약했습니다.