



민제원 경기 상현고 2

18

생명체의 DNA를 데이터
저장 장치로 활용할 수 있을까요

A



이덕환 교수가 답하다

유전 정보를 담고 있는 DNA를 저장 장치로 활용하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있습니다. DNA를 구성하는 4개의 염기인 A, T, G, C을 이용하면 1개 비트에 4개의 정보를 저장할 수 있습니다. 디지털 정보를 4진법으로 저장할 수 있는 셈입니다. 오늘날 전자기기에서 사용하는 2진법의 실리콘 기반 반도체보다 훨씬 더 많은 정보를 저장할 수 있게 될 것입니다. 이 경우 DNA를 저장 장치로 활용하는 기기도 완전히 새로 개발해야 합니다. 앞으로 적지 않은 투자와 노력이 필요하다는 뜻입니다.

정보를 기록하는 유일한 생물

자연에 사는 모든 생물은 생존을 위해 정보를 활용합니다. 먹이를 찾고 번식하는 등 모든 일에는 정보가 필요합니다. 정보를 정확하게 파악하고

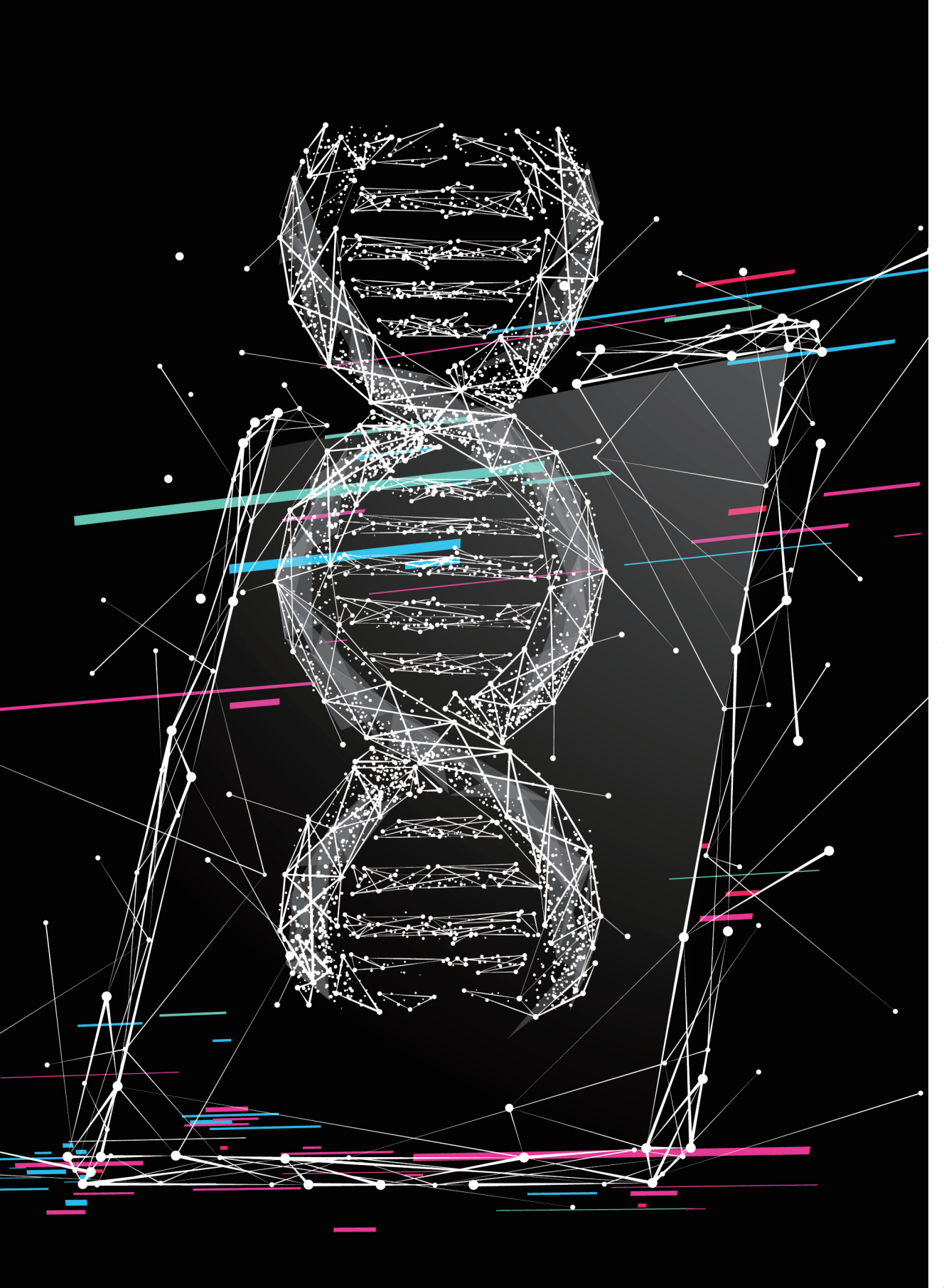
분석해야만 생명을 이어갈 수 있습니다. 사람도 예외가 아닙니다. 피부를 통한 촉각, 눈을 통한 시각, 귀를 통한 청각, 코를 통한 후각, 그리고 혀의 맛 돌기(미뢰)를 통한 미각을 이용해서 정보를 파악합니다.

정보를 기억하는 능력을 갖춘 생물은 많습니다. 거칠고 위험한 야생에서 생존하는 데 그게 도움이 되기 때문입니다. 인간은 정보를 기억해두는 것을 넘어 기록으로 남기는 능력이 있습니다. 수렵 채취 생활을 하던 구석기 시대의 인류는 기억을 동굴 벽화로 남겼습니다. 이들은 쉽게 지워지거나 변색되지 않는 화학 안료를 이용해 기록했습니다.

문명이 발달하면서 기록에 대한 욕구는 더욱 커졌습니다. 정보를 기록하기 위해 기록 매체가 필요했고, 이를 위한 문자도 고안했습니다. 최초의 문자 기록은 기원전 3000년경 고대 메소포타미아의 수메르인이 점토판에 새긴 썩기 문자입니다. 2021년 8월 미국이 이라크에 반환해 언론에 떠들썩하게 소개된 고대 유물 ‘길가메시의 꿈’ 점토판은 그런 기록물 중 하나입니다. 길가메시는 초기 수메르 왕조인 우루크의 전설적인 왕으로, 길가메시의 꿈은 현존하는 가장 오래된 서사시입니다.

우리도 자랑스러운 기록 문화를 가지고 있습니다. 8세기 통일 신라 시대에 제작된 것으로 추정되는 ‘무구정광대다라니경’은 세계에서 가장 오래된 목판 인쇄물입니다. 14세기 고려시대에 금속활자로 인쇄한 ‘직지심체요절’도 있습니다. 금속활자로 만든 현존하는 가장 오래된 문서입니다.

21세기는 정보화 시대입니다. 더 정확한 정보를 남보다 더 빠르게 많이 확보하고, 제대로 분석하고 기록하며 활용하는 기술이 무엇보다 중요한 시대입니다. 정보화 시대의 정보는 모두 디지털로 변환시켜서 다양한 매체에 기록합니다. 보통 자기 기록 장치나 광 기록 장치, 반도체 메모리 소자에 정보를 기록합니다. 많은 사람이 대용량의 기록 장치를 공유하는 클



라우드 시스템과 대규모의 데이터를 저장해 두는 데이터 센터도 빠르게 늘어나고 있습니다. 이제는 이런 센터가 소비하는 전기를 값싸게 공급하는 것이 인류의 새로운 과제로 떠오르는 실정입니다.

DNA 저장 장치가 매력적인 이유

현재 지구상의 생물이 사용하고 있는 DNA는 A, T, G, C의 4진법으로 정보를 저장할 수 있습니다. DNA에 저장해둔 유전 정보는 쉽게 훼손되지 않습니다. 상보 관계에 있는 염기가 서로 수소결합으로 단단하게 결합해 이중나선 구조가 쉽게 풀리지 않습니다. 더욱이 디옥시리보스와 인산이 연결돼 만들어지는 DNA의 바깥 골격이 내부의 염기를 외부의 화학적 환경으로부터 완벽하게 차단해주는 역할을 합니다. 정보를 담고 있는 염기 서열이 제멋대로 바뀌게 될 가능성을 걱정할 이유가 없습니다.

정보를 저장하는 DNA의 길이도 실리콘 반도체 소자보다 훨씬 짧게 만들 수 있습니다. 염기 사이 간격은 고작 0.34nm에 지나지 않습니다. 반도체 회로 선폭이 10nm인 최첨단 실리콘 반도체보다 정보 저장 용량이 훨씬 큰 메모리 소자를 만들 수 있다는 뜻입니다.

지난 반세기 동안 DNA 속 염기 서열을 읽어내는 기술이 눈부시게 발전했습니다. 32억 개의 염기 서열을 읽어 유전자 지도를 그리는 ‘인간 유전체 프로젝트(HGP·Human Genome Project)’는 1990년에 공식적으로 시작돼 2003년 4월에 완료됐습니다. 13년 동안 미국, 영국, 일본, 프랑스, 독일, 중국 등 6개국의 과학자가 참여했고, 30억 달러(약 3조 5000억 원) 이상의 연구비가 사용됐습니다. 그런데 이제 인간의 유전체를 읽어내는 일은 몇 시간 만에 해결할 수 있게 됐습니다. DNA를 복제, 증폭, 편집하는 기술까지 개

발됐습니다.

그러나 DNA를 정보 기록 장치로 사용하려면 더 복잡한 첨단 기술이 필요합니다. 디지털 정보가 기록된 인공 DNA를 신속하게 합성하는 기술, DNA에 기록된 염기 서열을 빠르게 읽어내는 기술 등이 필요합니다. 정보를 저장하는 DNA를 안전하게 보관하고, 활용하는 기술도 개발해야 합니다.

DNA를 정보 기록 장치로 쓰는 아이디어는 1959년 미국의 이론물리학자 리처드 파인만이 처음 제시했습니다. DNA의 이중나선 구조가 밝혀지고 6년이 지났을 당시에는 허황한 꿈과 같은 아이디어였습니다.

그런데 약 60년이 지난 2019년 파인만의 아이디어가 실현됐습니다. 미국의 스타트업 카탈로그(Catalog)는 위키피디아의 모든 영문 텍스트를 하나의 DNA에 저장하는 성과를 거뒀습니다. 무려 16GB 분량이었습니다. 카탈로그는 데이터를 저장하기 위해 DNA 가닥을 합성해 사용했으며, 당시 초당 4메가비트(Mb)로 데이터를 기록했습니다.

같은 해 스위스 취리히연방공대(ETH Zürich) 연구팀은 ‘사물 DNA(DoT·DNA of Things)’의 가능성도 제시했습니다. 거의 모든 물체를 데이터 저장 장치로 바꾸는 방법을 발견한 것입니다. 연구팀은 서로 연결된 컴퓨터로 구성되는 사물 인터넷과 달리 사물 DNA는 정보를 저장한 DNA로 생물에 직접 삽입할 수 있어서 암호 저장 장치로도 사용할 수 있다고 밝혔습니다.

DNA 사슬을 이용해서 복잡한 연산 작업을 수행하는 DNA 컴퓨터도 개발되고 있습니다. 이미 1994년에 레오나르드 아델만이 처음 제시했던 DNA 컴퓨터의 아이디어는 정보 저장, 나노 이미지 구현, 반응 네트워크 및 합성 관리 등의 다양한 용도로 개발되고 있습니다.