

23

낮에 빛을 저장해 뒀다가
밤에 쓸 수 있을까요

A

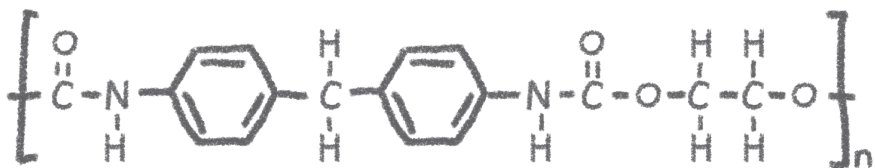


이덕환 교수가 답하다

낮을 환하게 밝혀주던 빛을 밤에 사용하려는 시도가 언제나 어려운 것은 아닙니다. 1980년대에 많은 사람이 지붕 위에 설치했던 검은색의 집열판이 바로 그것입니다. 집열판은 태양으로부터의 빛을 열에너지로 전환하는 기술을 이용합니다. 낮 동안에 뜨거운 햇빛 에너지를 모아서 온수로 만들어 뒀다가 필요할 때 사용했지요.

지금은 태양 빛을 훨씬 더 적극적으로 이용하는 기술이 개발되고 있습니다. 빛을 구성하는 광자를 저장했다가 사용하는 다양한 양자(quantum) 기술이 대표적입니다.

빛은 광자(photon)라는 기묘한 양자이기도 하면서 동시에 고전적인 전자 기파이기도 합니다. 이런 빛의 입자-파동 이중성을 적극적으로 이용한 기술이지요. 이를 이용한 양자 컴퓨팅과 양자 메모리 등의 새로운 미래 기술도 등장하고 있습니다.



폴리우레테인

열을 이용하는 화학 기술

빛 에너지를 열에너지로 전환하는 것은 그렇게 어렵지는 않습니다. 빛을 효율적으로 흡수하는 흡광체만 있으면 되며, 흡광체는 빛을 완전히 흡수하거나 일부만 통과시키는 물질입니다. 우리 눈에 검은색으로 보이는 모든 물체는 훌륭한 가시광선 흡광체입니다.

흡광체는 빛 에너지를 원자나 분자의 진동 에너지로 저장합니다. 이때 고체와 액체 사이의 상전이를 이용하면 더 많은 양의 열을 저장했다가 활용할 수 있습니다. 고체는 열을 흡수하면서 녹아 액체가 되고, 액체는 열을 방출하면 다시 딱딱한 고체가 되기 때문이지요.

하지만 문제가 있습니다. 높은 온도의 액체에 저장된 열이 외부로 빠져나가지 않도록 가둬두는 일이 만만치 않기 때문입니다. 폴리우레테인(polyurethane)을 비롯한 다양한 보온재와 단열재가 개발돼 있지만, 한계가 있습니다. 특히 저장해 둔 열에너지의 양이 많아지면 많아질수록 효율적인 보온과 단열은 더욱 어려워집니다.

저장해 둔 열에너지를 사용하는 것도 간단한 문제가 아닙니다. 열적 접촉을 통한 전통적인 열전달 기술만으로는 만족하기 어려울 수 있습니다. 특히 액체의 온도가 충분히 높지 않을 때는 에너지를 회수하는 데 여러 가지 현실적인 어려움이 발생합니다.



이에 서로 다른 파장의 빛에 민감하게 반응해서 상전이를 방지하거나 촉발하는 물질을 활용하는 기술이 개발되고 있습니다. 그런 기술을 사용하면 현재 10시간 정도에 지나지 않는 축열 기술의 한계를 극복할 수 있을 것입니다.

기묘한 광자의 이중성

진공 속에서 빛은 초속 30만 km의 엄청난 속도로 진행합니다. 정확한 빛의 속도(c)는 초속 299,792,458m로, 2018년에 개정된 국제표준단위의 기준이 되는 보편상수입니다. 둘레의 길이가 약 4만 km인 지구의 적도를 1초에 7바퀴 반을 돌 수 있고, 지구에서 1억 5000만 km나 떨어져 있는 태양에 8분 20초 만에 도달할 수 있습니다.

세상에서 빛을 구성하는 입자인 광자보다 더 빨리 움직일 수 있는 물질은 없습니다. 1905년 알베르트 아인슈타인이 특수 상대성 이론으로 밝혀낸 놀라운 과학적 진실입니다. 특허사무소의 하급 심사원이었던 아인슈타인이 스위스 베른의 기차역에 설치된 벽시계를 보면서 얻은 힌트를 이용한 사고 실험의 결과였습니다. 빛이 광자로 돼 있다는 생각은 17세기 아이작 뉴턴의 아이디어이기도 했습니다.

빛은 전기장과 자기장이 서로 수직으로 진동하면서 직진하는 전자기파이기도 합니다. 19세기 말 영국의 물리학자 제임스 맥스웰이 밝혀낸 사실입니다. 그런 빛은 물질이 가득 채워진 매질을 지나갈 때는 속도가 느려집니다.

빛의 전기장과 자기장이 물질을 구성하는 전자, 양성자와 상호작용하기 때문입니다. 인파가 가득한 시장이나 지하철 플랫폼 안에서 수많은 사람

들을 비집고 걸어가기가 어려운 것과 같은 상황입니다. 그래서 매질을 지나는 빛의 속도는 매질의 굴절률에 반비례합니다.

빛을 정지시키는 실험들

놀라운 속도로 질주하는 광자를 거의 정지 상태에 가까울 정도로 감속시키는 기술이 개발되고 있습니다. 전자기 유도투과(EIT·electromagnetically induced transparency)로 굴절률을 매우 증가시키는 방법입니다. 이는 원자에 강한 빛에 쏘아 특정 파장을 통과시키는 현상으로 1990년 미국 스탠퍼드대 연구팀이 제안했습니다.

이후 1999년 미국 하버드대와 스탠퍼드대 공동연구팀은 초저온으로 냉각시킨 고체에 전자기 유도투과 기술을 이용해 빛의 속도를 초속 17m까지 낮추는 실험에 성공했습니다. 국내에서는 2018년 기초과학연구원(IBS)과 KAIST 연구팀이 그래핀과 이온 겔 층을 결합한 메타 물질을 이용해서 빛의 속도를 능동적으로 조절하는 장치를 개발했습니다.

광자를 한정된 공간에 가둬버리는 기술도 개발됐습니다. 2001년 미하일 루킨 미국 하버드대 물리학과 교수는 진공상태에서 빛을 완전히 정지된 상태로 저장했다가 놓아주는 기술을 개발했습니다. 붉은 레이저 펄스를 뜨거운 루비돔 증기가 들어 있는 유리 상자에 넣었다가 원할 때 다시 꺼내는 실험에 성공한 것이었지요.

레이저 펄스는 유리 상자에 기체 상태로 존재하는 루비돔 원자와 강하게 상호작용을 해서 빛과 전자의 성질을 모두 지닌 입자인 폴라리톤(polariton)을 만들어 냅니다. 레이저 펄스의 세기를 충분히 약하게 만들면 유리 상자에 쏘여준 레이저 펄스의 광자가 모두 루비돔 원자 속에 갇혀버

리게 됩니다. 세상에서 가장 빠른 속도로 움직이던 광자를 0.3nm 크기의 원자 속에 가둬버린 것입니다.

유리 상자에 조절 레이저(control laser)를 쏘여주면 루비듐 원자에 폴라리톤의 상태로 갇혀 있던 광자를 방출시킬 수 있습니다. 지금은 상온에서 상당히 긴 시간 동안 광자를 가둬두는 다양한 기술이 개발돼 있으나, 당시에는 매우 놀라운 실험 결과였습니다.

같은 해, 미국 하버드대의 또다른 실험실에서 렌 하우 교수도 빛을 정지시키는 기술을 개발합니다. 다만 실험에 이용한 화학 물질이 달랐지요. 하우 교수는 극저온 상태에서 냉각된 소듐 기체를 이용해 빛을 정지시키는 데 성공했습니다.

레이저를 고체 속에 가둬두는 기술도 있습니다. 2002년 한국전자통신연구원(ETRI) 연구팀은 미국 연구팀과 협력해 빛을 저장장치로 이용할 수 있는 기술을 개발했습니다. 연구팀은 세계 최초로 빛을 고체 속에 정지시켜 가뒀다가 원래 상태로 되돌리는 실험에 성공했습니다.

오르토규소산 이트륨(Y_2SiO_5)에 프라세오디뮴(Pr) 이온을 도핑한 비균일 고체에 레이저를 몇 시간 동안 가둬두는 실험이었습니다. 레이저빔을 사용해 빛의 속도를 늦추고, 결정체에 가뒀다가 일정시간 뒤에 다른 레이저를 사용해 재생했습니다. 현재는 미국의 여러 실험실에서도 비슷한 연구가 활발하게 진행되고 있습니다.

빛의 기묘한 양자역학적 특징인 입자-파동 이중성은 실용적으로도 다양하게 활용될 것으로 기대하고 있습니다. ‘0’과 ‘1’의 이진법을 기반으로 하는 전자 컴퓨터 대신 ‘양자 중첩’이 가능한 빛의 편극을 기반으로 하는 ‘큐비트(qubit)’를 이용하는 양자 컴퓨터에서도 빛을 가둔 뒤 상태를 바꿔 다시 전송하는 기술이 필요합니다.

양자 컴퓨터의 미래는 짐작하기도 어렵습니다. 광자의 양자 이중성을 적극적으로 활용하는 양자 암호, 양자 통신, 양자 메모리 기술도 빠르게 발전하고 있습니다.