



18

연필심을 가공하면
 다이아몬드를
 만들 수 있을까요?



산업 현장 팔방미인, 계면활성제

비누는 물속에 들어가면 끈끈하게 결합하고 있는 물 분자 사이를 방해합니다. 즉, 물의 표면장력을 약하게 변화시킵니다. 이런 물질을 계면활성제라고 합니다. 계면활성제는 물과 기름처럼 전혀 다른 화학적 성질을 가진 두 물질이 서로 만나는 ‘계면’에서 화학적 활성을 나타낸다는 뜻입니다.

소수성 부분에는 길이가 긴 탄화 수소 사슬로 구성된 알킬기가 주로 사용됩니다. 친수성 부분에는 음전하를 가진 카복실기나 설펜기($-SO_3^-$)를 사용하는 음이온성 계면활성제가 쓰입니다. 양전하를 가진 4급 암모늄기($-R_4N^+$)를 사용하는 양이온성 계면활성제도 있습니다. 알킬기의 양쪽에 양이온과 음이온을 모두 가지고 있는 ‘비이온성 계면활성제’도 있죠.

계면활성제는 물과 기름이 잘 섞이도록 해주는 물질로 세제로만 쓰이지 않습니다. 산업 현장에서는 이를 유화제, 습윤제, 분산제 등으로 부릅니다. 가공식품, 화장품, 의약품이 대표적입니다. 영양, 보습, 의약 물품에는 기름 성분이 많이 들어 있습니다. 거품을 만드는 용도로 사용하는 기포제도 계면활성제입니다. 반대로 거품을 제거해 주는 계면활성제도 있죠.

사람만 계면활성제를 사용하는 것은 아닙니다. 식물이나 동물도 다양한 계면활성제를 만들어 씁니다. 생물의 몸속에서 일어나는 모든 생리작용이 물속에서 일어나기 때문이죠. 종종 광고에서 천연 계면활성제를 사용했다는 문구가 나오는데, 이는 계면활성제 성분을 식물이나 동물에서 추출해 사용했다는 뜻입니다. 하지만 천연 계면활성제가 무조건 건강에 이롭다는 주장은 잘 살펴봐야 합니다. 자연에 서식하는 식물이나 동물이 사람을 위해서 어렵게 계면활성제를 만들 이유가 없습니다. ‘자연산’이나 ‘천연’이 무조건 좋다는 주장은 늘 경계할 필요가 있습니다.

A



석원경 교수가 답하다

연필심에 사용되는 시커먼 흑연과 투명하게 반짝이는 귀한 보석 다이아몬드는 전혀 다르게 보이지만 사실은 모두 같은 탄소 덩어리입니다. 두 물질은 모두 탄소로만 이뤄져 있어 서로의 모습으로 변신할 수 있습니다. 육각형 고리가 그물처럼 연결된 연필심의 탄소 원자를 뜯어내서 정사면체 모양으로 다시 꿰맞추면 다이아몬드를 만들 수 있죠. 심지어 값비싼 보석으로 쓸 수 있을 정도로 큰 다이아몬드를 만들 수도 있습니다.

인조 다이아몬드 생산량, 연간 50만 캐럿

천연 다이아몬드는 지하 120~250km 부근의 암석권 맨틀 하부에 묻혀 있으며, 화산이 분출할 때 함께 땅 위로 솟아 올라 발견됩니다. 전세계에서 연간 1억 캐럿(1캐럿은 보석 200mg의 질량) 이상 생산됩니다. 다이아몬드는 투

명하고, 반짝이고, 단단한 특별한 물성을 가지고 있습니다. 고체의 단단한 정도를 상대적으로 나타내는 모스 굳기는 10으로 광물 중 가장 큰 값을 갖죠. 4개의 탄소가 정사면체 모양으로 연결된 독특한 결정 구조가 이런 물성을 만들어 냅니다.

단단한 덕분에 다이아몬드는 산업용으로도 유용하게 사용됩니다. 주로 유리, 철근 콘크리트 기둥, 석재 등을 절단하는 칼로 사용하고, 물체의 표면을 매끈하게 만드는 연마제나 반도체 제조용 공구나 수술용 도구에도 쓰입니다. 이런 산업용 다이아몬드의 98%는 비교적 저렴하게 얻을 수 있는 인조 다이아몬드입니다.

역사상 최초의 인조 다이아몬드는 1955년에 만들어졌습니다. 미국 제너럴일렉트릭(GE)의 연구소에서 흑연을 섭씨 1500°C로 가열하고, 5만기압의 압력을 가해서 인조 다이아몬드를 탄생시켰습니다. 하지만 최초의 다이아몬드는 크기가 1mm도 안 되는 작은 알갱이였습니다.

현재는 탄소 원자를 기체 상태로 만든 뒤 응집시켜 기판 표면에 탄소 원자를 붙이는 화학기상증착법(CVD·Chemical Vapor Deposition)을 사용합니다. 이외에 다이아몬드 ‘모루 셀(anvil cell)’이라는 고압 장치 속에서 1400°C 이상으로 가열한 탄소를 압축하는 고온고압법(HPHT·High Pressure High Temperature)도 있습니다. 또 탄소가 들어 있는 폭약이나 초음파를 이용해 인조 다이아몬드를 만드는 기술도 개발되고 있죠.

이런 방법으로 전 세계적으로 생산되는 보석용 인조 다이아몬드의 양은 매년 500만 캐럿 정도 됩니다. 천연 다이아몬드 생산량과 비교하면 턱없이 적은 양이지만, 인조 다이아몬드는 천연보다 훨씬 더 순도 높은 다이아몬드로 만들 수 있다는 장점이 있습니다. 가격도 천연 다이아몬드보다 20%가량 저렴합니다.

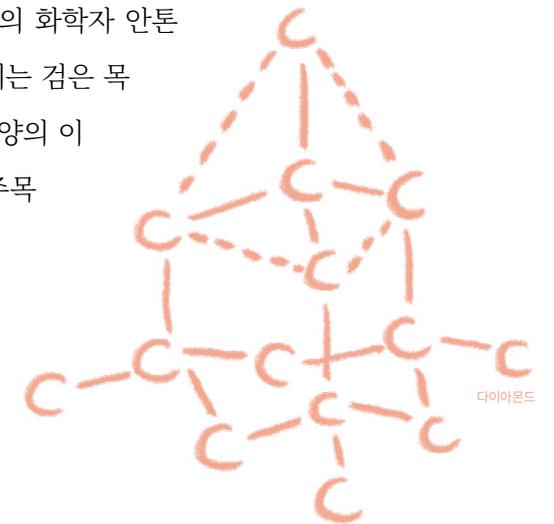


다이아몬드는 영원하다?

흔히 다이아몬드는 영원히 반짝거린다고 생각합니다. 다이아몬드 반지를 주고받으며 ‘영원한 사랑’을 약속하는 것도 이런 이유에서죠. 하지만 탄소로 이뤄진 물질 중 가장 안정적인 물질이 다이아몬드인 것은 아닙니다. 그리고 세월이 충분히 흐르고 나면 다이아몬드 역시 열역학적으로 더 안정한 흑연으로 변하게 됩니다.

다이아몬드를 구성하는 탄소는 생명의 근원이고 문명의 핵심입니다. 지구상에서 번성하는 모든 생물은 탄소를 이용해서 살아가죠. 3대 영양소인 탄수화물, 단백질, 지방이 모두 탄소의 화합물입니다. 유전정보를 담고 있는 DNA 역시 탄소의 화합물입니다. 심지어 ET라고 알려진 외계 생명체도 마찬가지로 탄소를 이용한다는 것이 현대 화학의 거부할 수 없는 결론입니다. 밤하늘의 별도 탄소가 촉매 역할을 하므로 신비롭게 반짝이는 빛을 낼 수 있습니다. 오늘날 우리는 ‘탄소 문화’의 시대를 살고 있습니다.

이런 탄소의 존재는 1772년 프랑스의 화학자 안톤 라부아지에가 밝혔습니다. 라부아지에는 검은 목탄과 다이아몬드를 각각 태우면 같은 양의 이산화 탄소가 만들어진다는 사실에 주목했죠. 그리고 마침내 목탄과 다이아몬드가 모두 순수하게 탄소만으로 이뤄진 탄소의 ‘동소체’라는 사실을 알아냈습니다. 한 종류의 원소로만 구성돼 있지만, 겉으로는 전



혀 다르게 보이는 물질을 동소체라고 합니다. 라부아지에는 탄소가 세상 만물을 구성하는 기본 단위인 원소라는 사실을 알아냈고, '석탄과 목탄의 원소'라는 뜻의 라틴어 'carbo'를 이용해 'carbon'이라고 이름 붙였습니다. 한글 '탄소(炭素)'도 같은 뜻입니다.

다이아몬드가 흑연으로, 그리고 흑연이 다이아몬드로 변할 수 있는 이유는 다이아몬드와 흑연이 모두 탄소로만 이뤄진 동소체이기 때문입니다. 특히 탄소는 흑연, 다이아몬드 외에도 여러 가지 동소체가 존재하는 유별난 원소죠. 대표적으로 탄소 원자 60개가 축구공 모양으로 뭉쳐진 '풀러렌'과 흑연에서 한 겹의 육각형 그물을 벗겨낸 '그래핀'이 있습니다. 육각형의 탄소 고리가 둥근 튜브 모양으로 연결된 '탄소 나노튜브'도 존재합니다. 물론 석탄이나 목탄처럼 탄소 원자들이 제멋대로 모여있는 비정질 탄소도 있습니다. 이런 탄소의 동소체들은 저마다 독특한 용도로 사용 됩니다.

탄소 동소체, 인류의 문명을 이끌다

흑연은 탄소 원자가 3개의 다른 탄소 원자와 연결된 6각형 고리가 그물처럼 겹겹이 쌓여있는 구조입니다. 각 그물 층 사이의 거리는 0.335nm(나노미터·1nm는 10억분의 1m)이고, 서로 느슨하게 연결돼 잘 미끄러집니다. 이런 특성 때문에 흑연은 연필심 외에 윤활제로 사용되기도 합니다. 또 불에 잘 타지 않는 내화재로도 쓰입니다. 인조 흑연은 용광로에서 사용하는 코크스에 실리카를 넣고 2500°C로 가열해 만듭니다. 인조 흑연은 도가니, 전지, 전기 분해조의 전극을 만드는 데 주로 사용합니다.

'꿈의 신소재'라 불리는 그래핀은 이런 흑연에서 육각형 그물 한 층을

벗겨낸 것을 말합니다. 러시아 출신의 영국 물리학자 안드레 가임과 콘스탄틴 노보셀로프가 스카치테이프를 흑연에서 그래핀을 떼어 내는 방법을 개발해 2010년 노벨물리학상을 받았죠. 2차원 구조로 이뤄진 그래핀은 마음대로 접거나 말 수 있는 플렉시블 디스플레이, 태양전지, 의료용 진단 소자를 만드는 데에 유용하게 활용될 것으로 보입니다.

축구공 모양의 풀러렌과 죽부인 모양의 탄소 나노튜브 역시 흑연과 같은 탄소로 만들어집니다. 풀러렌과 탄소 나노튜브는 '나노화학'이라는 새로운 연구 분야를 열었습니다.

나노미터 크기의 작은 공이라는 뜻에서 '0차원 물질'이라고 부르기도 하는 풀러렌은 사실 가마솥 밑 검댕에도 들어 있는 물질입니다. 풀러렌은 전극, 전달체 등의 분야에서 활발하게 활용되고 있습니다. 영국의 화학자 해럴드 크로토와 미국의 화학자 리처드 스몰리, 로버트 컬은 풀러렌을 처음으로 발견한 공로를 인정받아 1996년 노벨화학상을 받았습니다.

탄소 나노튜브의 장래도 매우 밝습니다. 철사보다 100배나 더 질기고, 열과 전기 전도도가 매우 높은 특성이 있기 때문입니다. 반도체의 특성을 가진 탄소 나노튜브도 만들 수 있습니다. 그래서 단단한 케이블이나 전극 소재로 사용되고, 향후에는 생명공학이나 의학에서도 다양하게 활용될 것으로 전망하고 있습니다.

마지막으로 석탄이나 목탄과 같은 비정질 탄소도 인류 문명의 발달에 크게 기여했습니다. 석탄은 전 세계 어디에서나 쉽게 채취할 수 있는 연료입니다. 그러나 석탄을 안전하게 태우는 일은 쉽지 않습니다. 산소의 공급이 충분하지 못하면 맹독성의 일산화 탄소가 발생하기 때문이죠. 그런 석탄을 안전하게 연소시키는 기술을 개발한 덕분에 18세기 산업혁명이 일어났습니다.

오늘날엔 석탄과 같은 화석 연료를 무분별하게 쓰는 바람에 이산화 탄소에 의한 기후 변화가 우리의 생존을 위협하게 됐습니다만, 탄소로 이뤄진 다양한 물질들이 인류 문명을 이끌어왔고, 앞으로도 그럴 것이라는 점은 부인할 수 없는 사실입니다.

곽다연(대구 강북중 3)
김윤서(대전 삼천중 2)
이선재(경기 정평중 2)
이예화(서울 김음중 1)
이제은(서울금성초 4)
조은호(대구 고산중 2)
한지울(서울초당초 5)
홍종익(서울 목문중 3)

Chapter 2. 집 학교에서



19

물감과
페인트는
어떤 차이가
있나요?

