

# 04

아무리 온도가 높아도 **녹지 않는**  
**물질**을 만들 수 있을까요

홍준용 충남 천안서당초 3

A



이덕환 교수가 답하다

고체의 녹는점은 물질의 종류에 따라 크게 다릅니다. 금속 중에서도 녹는 점이 3422°C로 가장 높은 텅스텐(W)을 비롯해 레늄(Re) · 탄탈럼(Ta) · 몰리브데넘(Mo) · 니오븀(Nb)은 내화 금속(refractory metal)으로 분류됩니다. 하지만 온도가 6000°C가 넘는 지구 내부의 맨틀에는 모든 것이 녹아버립니다. 온도가 높아지면 물질을 구성하는 원자의 열운동이 심해져서 결국에는 모든 화학결합이 끊어지면서 녹아버리거나 분해돼 버립니다.

### 쉽게 녹지 않는 물질의 개발

잘 녹지 않는 내화 금속은 밀도가 대단히 높고, 화학적으로 반응성이 매우 낮은 특성이 있습니다. 금속 상태의 원자가 서로 밀집해서 단단하게 달라붙어 있기 때문에 쉽게 녹지 않는다는 뜻입니다. 내화 금속은 고온에

서 사용하는 공구를 만들기에는 더없이 좋은 소재입니다. 이는 다른 금속을 성형하는 주형(casting mold)이나 부식성이 강한 화학물질의 반응 용기를 만드는 데에 매우 유용합니다. 그러나 내화 금속 자체를 생산하고 가공하는 데에는 상당한 기술력이 필요합니다. 그래서 내화 금속을 본격적으로 활용하기 시작한 것은 고작 100여 년 전부터였습니다.

잘 녹지 않는 물질을 만드는 일은 생각보다 훨씬 어렵습니다. 서로 다른 두 물질을 물리적으로 섞어서 만든 혼합물은 오히려 더 낮은 온도에서 녹게 됩니다. 혼합물이 녹아서 액체가 되면 혼합 엔트로피가 증가해 열역학적으로 더 안정해지기 때문입니다. 소금이 섞여 있는 간장독이 잘 얼지 않게 되는 ‘어는점 내림’의 원리가 바로 그것입니다.

혼합물이 더 낮은 온도에서 녹는 현상은 인류 역사를 획기적으로 발전시켰습니다. 구리(Cu)에 주석(Sn)을 10% 정도 섞어주면 구리가 녹는 1085°C보다 130°C나 낮은 온도에서도 쉽게 녹아서 쇠물이 만들어집니다. 장작이나 숯을 사용할 수밖에 없던 과거에 매우 유용한 사실이었습니다.

구리와 주석을 섞어서 녹인 쇠물을 식히면 구리나 주석과는 완전히 다르게 단단하면서 독특한 색감까지 가진 ‘청동’이라는 합금이 만들어집니다. 대략 6000년 전 메소포타미아 지역의 사람들이 우연히 청동을 만드는 방법을 알아냈습니다. 인류 최초의 금속 소재인 청동기의 등장은 돌도끼를 사용하던 석기 시대 사람들의 삶을 완전히 바꿔놓았습니다. 우리가 ‘놋쇠’라고 알고 있는 ‘황동’은 구리와 아연(Zn)을 섞어서 만든 합금입니다.

청동을 녹여서 가공하기 위해서는 뜨겁게 녹은 쇠물을 넣어도 녹거나 타버리지 않는 주형이 필요했습니다. 다행히 자연에는 그런 소재가 지천으로 널려 있습니다. 모래와 진흙의 기본 골격 역할을 하는 실리카(SiO<sub>2</sub>)·알루미나(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)·산화 철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)이 대표적입니다. 실리카는 1710°C, 알루미







나는 2072°C, 산화 철은 1565°C로 가열해야 녹습니다. 청동은 고령토와 같은 점토로 만든 주형으로도 가공할 수 있습니다.

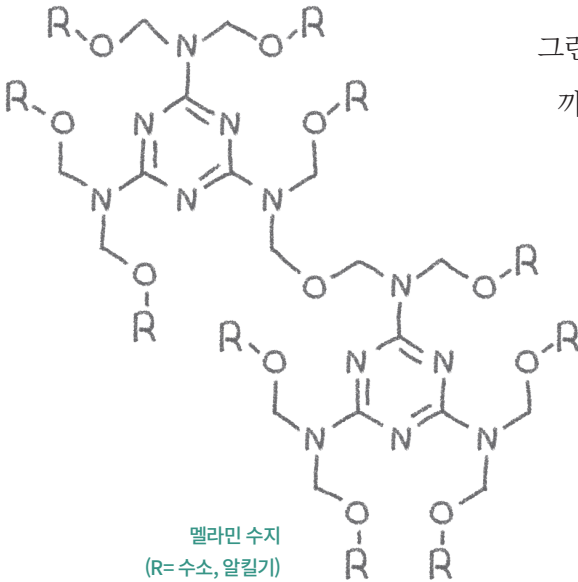
1565°C에서 녹는 철을 가공하기 위해서는 더 어려운 기술이 필요합니다. 석탄처럼 훨씬 더 화력이 센 연료를 안전하게 연소시키는 기술을 개발해야 합니다. 석탄을 잘못 사용하면 맹독성의 일산화 탄소가 발생하기 때문입니다. 쇳물을 녹일 수 있는 용광로나 가마도 필요합니다. 점토를 1400°C 이상에서 구운 ‘세라믹’이나 내화 벽돌도 만들어야 합니다.

쉽게 녹지 않는 세라믹은 지금도 일상생활과 산업용으로 다양하게 활용되고 있습니다. 특히 우주 왕복선이 지구 대기권으로 재진입할 때는 온도가 1600°C까지 치솟을 수 있습니다. 자칫하면 왕복선의 동체가 녹거나 불타서 흔적도 없이 사라져버릴 수도 있습니다. 미국항공우주국(NASA)은 재진입하는 우주 왕복선의 동체에 실리카로 특수 제작한 세라믹 타일과 탄소 섬유로 강화한 흑연 복합소재를 사용했습니다.

금속에 탄소를 혼합해서 만든 내화 세라믹도 있습니다. 탄화 탄탈륨(TaC)과 탄화 하프늄(HfC)으로 만든 세라믹은 4000°C까지 녹지 않습니다.

## 불에 타지 않는 천연 소재

숯·석탄·장작은 온도가 너무 높아지면 녹아서 액체로 변하는 대신 공기 중의 산소와 반응을 일으켜서 연소해 버립니다. 이러한 연소 반응이 일어나는 과정에서 발생하는 빛과 열은 어둠을 밝히거나 난방, 음식 조리 등에 사용할 수 있습니다. 인류는 50만 년 전부터 화석연료를 활용하는 기술을 개발했습니다. 인간은 지구상에서 불을 적극적으로 이용하는 유일한 동물입니다.



그런데 불을 잘못 다루면 재앙에 가까운 화재로 번져서 심각한 피해가 발생하기도 합니다. 화재에 취약한 목조 건물을 사용할 수밖에 없었던 조선 시대의 한성도 예외가 아니었습니다. 창덕궁에서 남산에 이르는 대규모 소방 도로를 건설하고, 경복궁 앞에는 재앙을 물리친다는 대형 해태상을 세웠지만 역부족이었습니다.

불연재(fire resistant material)와 난연재(fire retardant material)는 화학을 이용해서 화재의 피해를 최소화하기 위해 널리 사용하는 물질입니다. 석고·시멘트·섬유 등을 넣은 소석고(plaster)는 소방관이 화재 현장에서 착용하는 방화복, 건축 등에 많이 사용되는 불연재입니다. 아라미드 섬유는 심각한 석면증과 폐암을 유발하는 것으로 확인돼 전 세계적으로 사용이 금지된 석면을 대체할 목적으로 개발됐는데, 군용·산업용·건축용으로 사용되는 대표적인 난연재입니다. 난연성 멜라민 수지는 주방 용기로 사용되고 있습니다.

물론 불연재나 난연재도 매우 높은 온도로 가열하면 연소하거나 분해됩니다. 유기물은 이산화 탄소와 물로 변해서 날아가 버리고, 광물질 성분만 재로 남게 됩니다.