

냉장고와 에어컨의 냉매로 개발됐습니다. CFC는 화학적으로 매우 안정적인 물질로 건강에 유해하지 않습니다. 색과 냄새가 없고, 혀에 닿아도 아무런 맛이 나지 않습니다. 프레온의 한 종류인 프레온-12는 약 20°C에서 증기압이 4.3기압 정도고, 프레온-11은 상온에서 0.803기압 정도입니다. 가격이 LPG보다 조금 비싸지만, 화장품이나 의약품용 스프레이로는 제격이었죠.

그러나 CFC가 화학적으로 너무 안정한 것이 오히려 문제가 됐습니다. 공기 중에 배출된 CFC는 부서지지 않은 상태로 대기 중에서 50년 이상 떠다닐 수 있습니다. 공기에 떠다니던 CFC가 40km 고도의 성층권으로 올라가면 문제가 됩니다. 성층권에는 오존층이 존재하는데요. 이 오존층은 우주에서 지구로 들어오는 자외선을 흡수해 지구 표면에 도달하는 자외선량을 조절해 줍니다. 이 오존층 덕분에 육상 생물이 출현했죠. 그런데 CFC가 성층권으로 올라가면 아직 오존층이 걸러주지 않은 햇빛 속 강력한 자외선이 CFC를 부숩니다. 그 결과 염소 원자가 방출되죠. 이렇게 떨어져 나온 염소는 성층권에 있는 오존층을 파괴합니다. 1977년 미국은 '청정 대기법 수정법안'을 내놓으면서 대기 중에 CFC가 방출되는 것을 규제하기 시작했습니다. 그리고 1989년 몬트리올 의정서에 의해 CFC는 전 세계적으로 생산, 사용이 금지됐죠.

아직도 LPG, CFC를 대신할 완벽한 스프레이 추진제는 나오지 않았습니다. 일각에선 CFC를 대신해 오존층 파괴를 걱정할 필요가 없는 수소 플루오린화 알케인(HFA) 또는 수소 플루오린화 올레핀(HFO)을 추진제로 사용하기도 합니다만 이 역시 기존 용매에 비해 비싸고, 불에 탈 수 있고, 온실효과가 큰 것이 문제입니다.

Chapter 3. 공장-지구에서

Q

24

액화 질소는
어떻게 영하 196°C를
만드나요?



A



석원경 교수가 답하다

질소는 주로 기체 상태로 존재합니다. 기체 상태의 질소를 모아 섭씨 영하 약 196°C도 까지 온도를 낮추면 액체 상태로 변합니다. 이런 액체 상태의 질소를 액화 질소, 또는 액체 질소라고 부릅니다. 액체 질소는 매우 차가워, 다른 물질을 급속으로 얼릴 수 있습니다. 그래서 매우 다양한 분야에서 이용됩니다.

액체 질소의 놀라운 능력은 장미꽃 실험에서 확인할 수 있습니다. 액체 질소에 장미꽃을 넣으면 순간적으로 쫘쫘 얼어 딱딱해집니다. 그대로 장미꽃을 단단한 바닥에 떨어뜨리면 유리처럼 산산조각이 나버립니다. 이때 더 신기한 일이 발생합니다. 부서져 있는 장미꽃 조각을 온기가 있는 따뜻한 손으로 집으면 언제 그랬냐는 듯이 장미꽃의 본래 부드러운 질감이 되 살아납니다. 유리판에 액체 질소를 부으면 유리판이 순간적으로 깨져버리는 모습도 볼 수 있습니다. 마치 마술을 보는 것처럼 신기한 경험입니다.

액체 질소 주변으로 연기가 나는 이유

액체 질소는 공기를 이용해서 생산합니다. 공기의 78%가 질소이기 때문에 액체 질소의 원료는 어디에서나 쉽게 구할 수 있습니다. 대부분의 액체 질소는 제철 공장에서 사용하는 액체 산소를 만드는 과정에서 부산물로 생산합니다. 만일 액체 질소가 소량 필요하다면 공기를 고압으로 압축한 뒤 ‘줄-톰슨 효과’를 이용해 팽창 시켜 만들 수도 있습니다. 액화된 공기를 ‘초저온 증류법’으로 분리하는 방법도 있습니다. 산소보다 질소가 흡착이 더 잘 되는 제올라이트의 특성을 이용한 ‘압력 스윙 흡착 방법’도 사용합니다.

액체 질소는 대부분 보온병에 넣어둡니다. 보온병 속 액체 질소는 느린 속도로 끓으며 기화돼 사라집니다. 액체 질소가 기화되면 부피가 700배 이상 늘어나니 주의가 필요합니다. 소량의 액체 질소를 담은 보온병의 경우에는 기화된 질소가 쉽게 빠져나가도록 일부러 뚜껑을 덮지 않습니다. 그러나 대량의 액체 질소를 저장하거나, 운반할 때는 단열된 특수 고압 탱크를 사용해야 합니다.

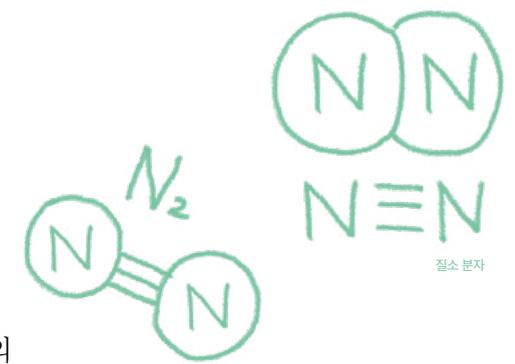
액체 질소가 빠르게 증발하면 주변에 흰 연기가 모락모락 피어오릅니다. 흔히 질소가 응축된 것이라고 오해하기도 하죠. 그러나 이는 액체 질소가 증발하는 과정에서 주위 공기의 온도가 떨어져 공기 중 수증기가 냉각돼 나타나는 현상입니다.

액체 질소는 모든 것을 얼려버릴 정도로 차갑습니다. 액체 질소가 피부에 닿으면 순간적으로 피부가 얼어버립니다. 자칫 동상에 걸릴 수도 있습니다. 그래서 액체 질소 방울이 튀어서 피부나 눈에 닿지 않도록 조심해야 합니다. 액체 질소를 다룰 때는 반드시 단열과 방수가 되는 특수 장갑



을 착용해야 하죠.

액체 질소가 이토록 차가운 건, 바로 질소가 기체로 변하는 끓는 점이 영하 약 196°C로 매우 낮기 때문입니다. 액체와 기체가 함께 존재하는 온도를 뜻하는 끓는점은 물질의 고유한 성질입니다. 액체 상태인 물질이 있을 때 온도를 계속 높이다 보면, 끓는점에 도달합니다. 이때 운동 에너지를 많이 가진 분자는 기체로 변해 공간을 자유롭게 날아다니고, 운동 에너지가 없는 분자만 액체 상태로 남아 있습니다.



생명체에 없어서는 안 될 질소

액체 질소는 차가울 뿐만 아니라 화학적으로 반응성도 매우 낮습니다. 질소 원자 2개가 삼중 결합으로 워낙 단단하게 결합하고 있기 때문입니다. 그래서 질소 기체만 들어 있는 통 속에서는 촛불도 꺼지고, 생물도 질식해 버립니다. 질소의 본래 뜻도 실은 '질식을 일으키는 원소'입니다. 질소를 뜻하는 독일어 'Stickstoff'도 같은 뜻입니다. 국제적으로 쓰고 있는 'nitrogen'은 질소가 많이 들어 있는 칠레 초석을 나타내는 프랑스어 'nitre'에서 유래된 것입니다.

반응성이 낮다고 질소가 쓸모없는 것은 아닙니다. 질소는 모든 생물이 소중하게 쓰고 재활용하는 매우 중요한 원소입니다. 인간의 건강에 꼭 필요한 단백질을 만드는 아미노산과 유전 정보를 담고 있는 핵산 모두 질소의 화합물입니다. 질소가 없으면 어떤 생물도 목숨을 이어갈 수 없습니다.

액체 질소는 병원에서도 꼭 필요합니다. 가령 병원에서 피부에 불룩하게 돌아난 사마귀를 치료할 때, 액체 질소로 사마귀를 급속 냉동시키면 간단하게 떼어내며 제거할 수 있습니다. 수술 중에 환자의 몸에서 떼어낸 조직이나 환자에게 수혈할 혈액을 임시로 저장해 둘 때도 액체 질소를 사용합니다.

그밖에 병원이나 생명과학연구실에서 세포나 박테리아를 배양한 뒤 보관할 때도 액체 질소를 사용합니다. 액체 질소로 생물 시료를 급속 냉동하면 세포 내 조직이 파괴되지 않습니다. 또 정자와 난자를 연구용으로 장기간 보관할 때도 필요하죠.

차가운 액체 질소는 실생활에서도 유용하게 쓰입니다. 근래에 개발된 ‘분자요리’에서도 액체 질소로 아이스크림을 만들죠. 우유 방울을 액체 질소에 떨어뜨리면 구슬 아이스크림이 만들어집니다. 우유에 액체 질소를 불어 넣어도 아이스크림이 되고요. 아이스크림에 질소가 남는 것을 걱정할 필요는 없습니다. 질소는 금세 공기 중으로 날아가 버립니다.

냉동인간에서 자기부상열차까지… 미래 기술 실현할 질소

살아 있는 개구리를 액체 질소에 5초 동안 넣으면, 개구리도 장미꽃처럼 쫄쫄 얼어버립니다. 그렇다고 개구리가 죽은 것은 아닙니다. 쫄쫄 언 개구리를 차가운 얼음물에 넣어두면 얼마 뒤에 개구리는 정신을 차리고 신나게 헤엄치죠. 변온동물인 개구리는 체온이 떨어지면 겨울잠을 자는 생리적 특성이 있습니다. 개구리의 혈액과 세포액에는 낮은 온도에서도 얼지 않도록 해주는 부동액 성분이 들어 있습니다. 다른 동물로 실험해서는 같은 실험 결과를 얻을 수 없습니다.

그런데 액체 질소로 인간을 급속 냉동시킨 뒤 훗날 복원하는 연구가 현실에서 이뤄지고 있습니다. 즉 냉동인간을 만들려는 것이죠. 이는 개구리 겨울잠 실험과는 차원이 다른 시도입니다. 미국의 알코어 생명연장재단은 현재 액체 질소 탱크 속에 170여 명의 냉동인간을 보관하고 있다고 알려졌습니다. 냉동인간은 우선 죽음을 경험한(?) 특수한 상황의 사람만 가능합니다. 죽은 뒤 몸에 심폐 소생 장치를 연결해 호흡과 혈액 순환 기능을 되살린 사람이죠.

냉동인간을 만들기 위해서는 이런 사람들의 몸속 혈액을 모두 빼내고, 대신 혈관에 동결 억제제 다이메틸설폭사이드(DMSO)를 채워 넣습니다. 그리고 이 상태로 냉동인간이 깨어나길 희망한 날까지 액체 질소 탱크 속에 넣어둡니다. 훗날 실제로 냉동인간을 되살릴 수 있을지는 미지수입니다. 특히 냉동시켰던 뇌를 정상적인 기능을 하도록 복구하는 일은 쉽지 않을 겁니다.

이밖에도 액체 질소는 액체 헬륨을 사용해 온도를 낮추는 초전도체에도 쓰입니다. 초전도 현상은 극저온에서만 이뤄지는데, 액체 질소는 액체 헬륨의 냉기가 빠져나가지 않도록 가둬주는 역할을 하죠. 전기 저항이 없는 초전도체에서는 전류에 의한 열 손실이 발생하지 않기 때문에 많은 양의 전류를 흘려줄 수 있습니다.

이런 초전도체로 코일을 만들면 강한 자기장을 내는 초전도 전자석을 만들 수 있습니다. 초전도 전자석은 병원 정밀검사에 쓰이는 자기공명영상 장치, 단백질 등의 분석에 사용하는 초강력 핵자기공명 장치, 분자의 질량을 측정하는 질량분석기 등에 쓰입니다.

또 초전도체를 사용한 자기부상열차도 개발하고 있습니다. 기차가 선로 위에 떠 있는 상태로 운행할 수 있으면 마찰에 의한 에너지 손실이 줄어

듭니다. 진동과 소음도 사라질 겁니다. 초전도체를 사용한 자기부상열차는 미래의 편안하고 효율적인 교통수단이 될 것으로 예상됩니다. 액체 질소가 미래 기술을 실현하는 데 중요한 ‘키(key)’를 쥐고 있는 셈입니다.

Chapter 3. 공장-지구에서

Q

25

만약 세상에
산과 염기가 없다면
어떤 일이
생길까요?

