

CHAPTER 01



깨끗한  
화학

때를 쏙 빼는 세제  
나쁜 세균을 없애는 살균제  
물을 깨끗하게 하는 화학  
공기를 정화하는 화학

세제로 빨래하고 손 소독제로는 손에 묻은 세균을 없앤다. 정수과정을 거친 수도물이지만 정수기로 한 번 더 걸러 먹기도 한다. 또 공기청정기로는 미세먼지를 제거해 집 안 공기를 깨끗하게 한다. 일상에서 흔히 만나는 세제, 살균제, 정수기, 공기청정기는 화학으로 옷, 몸, 물, 공기 등을 깨끗하게 만든다. '깨끗한 화학'의 세계로 떠나보자.

## 때를 쓱 빼는 세제

조선시대 화가 김홍도가 그린 그림 중에 <빨래터>라는 제목의 그림이 있다. 아낙네들이 모여 앉아 방망이를 두드리며 빨래를 하고 있고, 한쪽에 아이와 함께 있는 여인은 머리를 감았는지 머리손질을 부지런히 하고 있다. 그리고 바위 뒤에서 이를 몰래 훑쳐보는 선비의 모습은 조금 음흉하기까지 하다. 마을마다 있

김홍도의 《단원 풍속도첩》에 들어 있는 그림 중 하나인 <빨래터>. © 국립중앙박물관



었던 냇가 빨래터는 아낙네들의 수다의 장이었다. 아이들 얘기도 하고 남편 흉도 보고 시집살이 하소연도 빠지지 않았을 테다. 어쩌면 방망이로 빨랫감을 신나게 두드리면서 수다 떠는 것 이상으로 스트레스를 풀었을지도 모를 일이다.

## 빨래에 꼭 필요한 것, 세제

기원전 수천 년경 고대 이집트에서는 이미 빨래를 전담하는 관리를 두었고, 강가에서 빨래를 비틀어 짜는 모습이 담긴 벽화가 발견되기도 한 것을 보면, 빨래는 인류가 옷을 입기 시작하면서 함께 시작된 오랜 문화인 것으로 보인다. 그러나 빨래는 참 힘든 일이다. 쪼그리고 앉아 방망이로 두드리고 손으로 비벼 빼는 것은 고된 노동이다. 덩치 큰 이불 빨래를 발로 밟아 빼는 것도 다를 바 없다. 그러다 이 모든 것을 대신해 주는 세탁기가 발명되면서 사람들은 비로소 힘든 빨래 노동에서 일정 부분 해방됐다. 심지어 빨래를 차곡차곡 개는 기계,



세탁기의 개발로 빨래의 모습이 변화됐다. © shutterstock.com

바지의 주름까지 칼 같이 잡아주는 기계까지 나온 요즘은 그 옛날 수다의 장이었던 빨래터가 새로운 기술 개발의 장이 됐다.

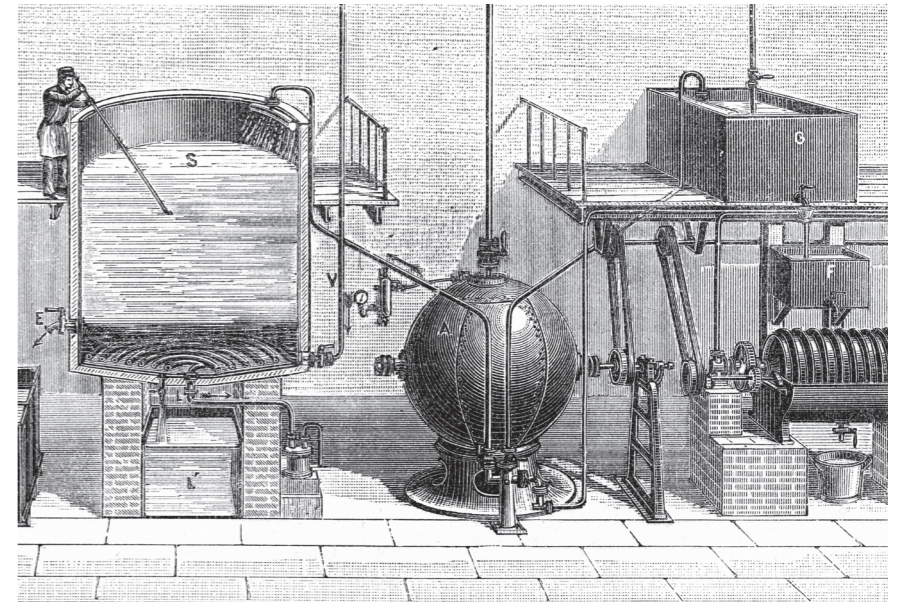
빨래를 해 주는 새로운 기계가 개발됐다 해도, 빨래를 하는 데 빠질 수 없는 것이 바로 세제다. 세제는 맹물로는 빠지지 않는 얼룩을 순식간에 빼 주고 누렇게 변해버린 옷을 새하얗게 만드는 마법과도 같은 물질이다.

### 때를 쓱 빼 주는 비누가 나타난다

인류가 비누를 만들어 쓰기 시작한 것은 기원전 2800년경 바빌로니아인들에 까지 거슬러 올라간다. 오늘날 비누는 종류도 모양도 여러 가지지만, 기본적으로 비누는 동물성 혹은 식물성 기름에 ‘수산화소듐(NaOH)’이라는 물질을 반응시켜 만든다. 수산화소듐은 비누를 구하기 힘들던 시절 우리나라에서도 빨래하는 데 사용했던 양젓물의 성분이다. 그런데 기름과 재를 섞어 끓이는 법이 적혀 있는 바빌로니아인들의 유물이 발견됐으니, 이들은 그 옛날에 이미 비누를 만들어 사용하고 있었던 것이다. 또 1세기경 고대 로마의 학자 플리니우스(Plinius)가 쓴 《박물지》에는 갈리아인들이 동물의 기름과 재로 비누를 만들어 썼다는 기록이 있다.

우리말 ‘비누’는 ‘더러운 것을 날려 보낸다’는 뜻의 ‘비루(飛陋)’에서 시작됐다고 하며, 영어 ‘soap’은 고대 로마인들이 동물을 태워 제사를 지내던 ‘사포(Sapo)’라는 언덕 이름에서 유래했다고 한다. 이들은 동물을 태울 때 생기는 재를 물에 넣고 빨래를 했는데, 동물의 몸에서 나온 기름과 재가 섞이면서 자연스럽게 비누가 만들어졌던 것이다.

우리나라에서도 젓물을 이용해 빨래를 했고 쌀뜨물이나 보리 삶은 물, 녹두물 등이 빨래에 쓰였다. 그리고 오줌을 삭혀 빨래에 이용하기도 했는데, 오줌을 삭히는 과정에서 요소가 암모니아로 바뀌어 젓물과 같은 역할을 한 것으로 보인다.



1875년 공장에서 비누를 만드는 과정을 보여주는 그림. © shutterstock.com

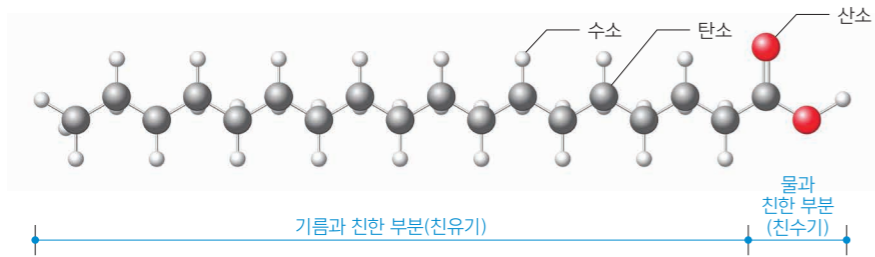
12세기에는 젓물 대신 천연 소다를 이용하면서 다양한 방법으로 비누가 만들어졌지만, 비누는 오랫동안 상류층들의 값비싼 사치품이었다. 비누를 보통 사람들이 사용하기 시작한 것은 18세기 프랑스의 화학자 니콜라 르블랑(Nicolas Leblanc)이 소금(NaCl)을 이용해 비누를 대량으로 생산하는 방법을 발견하면서부터이다. 비록 대량생산 초기에는 오염물질이 많이 나와 심각한 환경 문제를 일으켰지만, 문제가 차례로 해결되면서 비누가 드디어 대중화되었다.

사람들이 비누를 사용하기 시작하자 놀라운 일이 벌어졌다. 당시 병원에 들끓던, 옴 같은 피부병 환자들의 수가 수백 년 만에 급격히 줄었고, 발진티푸스의 발병률도 푹 떨어진 것이다. 이런 질병은 몸과 주변 환경을 깨끗이 하면 걸리지도 않고 전염되지도 않기 때문이었다. 비누가 수많은 생명을 구한 셈이다.

### 계면활성제, 물과 기름에 양다리를 걸치니 때가 쏙!

그런데 비누는 어떻게 옷의 얼룩을 없애고 때를 쏙 빼는 걸까? 잠깐 비누를 화학적인 눈으로 들여다보자.

흠먼지 같은 때는 탁탁 털거나 방망이로 두드려 떨어내면 그만이다. 또 설탕물처럼 물에 녹는 때는 물에 행구면 되니 문제 될 것이 없다. 물로 씻거나 터는 것만으로는 떨어져 나가지 않는 기름때는 비누 없이는 빼기 힘들다.



비누 분자의 구조. © shutterstock.com

비누가 기름때를 없앨 수 있는 것은 비누가 갖고 있는 재미있는 화학 구조 덕분이다. 비누 분자는 지방산으로 이루어진 막대사탕처럼 생겼는데, 탄소(C)와 수소(H) 여러 개가 연결된 기다란 막대 부분은 기름과 잘 결합하고 끝에 사탕처럼 붙어 있는 부분은 물과 잘 결합한다. 본래 물과 기름은 상극이어서 서로 섞이지 않지만, 한 분자 안에 물과도 친하고 기름과도 친한 성질을 다 갖고 있으니 이는 비누 분자가 물과도 섞이고 기름과도 섞일 수 있다는 뜻이다. 식물 유 같은 천연 유지의 지방산 알칼리염이 바로 우리가 말하는 비누이다. 사탕 부분은 물과 친한 천연당 같은 성분으로 만들 수도 있다.

물과 기름에 양다리를 걸칠 수 있는 비누 분자가 물속에 있는 기름을 만나면 어

떤 일이 벌어질지 상상해 보자. 기름때가 붙은 옷이 물속에 있다. 기름때를 만난 비누 분자들은 물과 기름때, 둘 중 친한 쪽을 향해 바로 방향을 잡는다. 기름과 친한 막대 부분이 기름을 붙잡고, 물과 친한 사탕 부분은 주변의 물 분자를 붙잡는다. 그리고 비누 분자 여러 개가 기름때를 둘러싸면, 가운데에 기름때를 두고 막대가 가운데를 향하고 사탕이 바깥쪽을 향한 모습이 된다. 그 다음 물을 잡고 있는 사탕 부분이 물에 계속 이끌리면, 마침내 때가 옷에서 푹 떨어진다. 이렇게 되면 막대사탕이 동그란 공 모양으로 때를 둘러싼 채로 물속에

#### 비누 분자가 때가 없애는 원리

비누 분자는 기름과 친한 부분(친유기)과 물과 친한 부분(친수기)이 함께 있는 계면활성제이다. 비누 분자의 친유기가 기름때에 달라붙은 뒤, 기름때와 옷 사이를 파고 들어가 감싸면서 옷으로부터 때가 완전히 분리시킨다. 비누 분자가 때가 동그랗게 둘러싼 공 모양의 구조를 '마이셀'이라고 한다.



때 있게 되는데, 이 공 모양의 구조를 ‘마이셀(미셀, micelle)’이라고 한다. 물 속에 있는 모든 기름때를 비누 분자가 둘러싸 마이셀을 만들면, 비로소 옷에서 기름때가 쏙 빠지는 것이다.

비누를 비롯해 오염물질을 제거하는 데 사용하는 물질을 통틀어 ‘세제’라고 한다. 인구가 늘면서 비누도 그만큼 많이 필요하게 됐지만, 종전의 비누 제조 방식으로는 늘어난 비누의 수요를 맞출 수가 없었다. 그래서 여러 단계의 화학

반응을 거쳐 인공적으로 만들어지는 ‘합성세제’가 개발됐고, 지금 우리가 샴푸나 바디샴푸, 세탁세제나 주방세제로 사용하고 있는 대부분의 세제가 합성세제이다. 만드는 방법과 재료가 다를 뿐 때를 빼는 원리는 비누와 마찬가지로 물과 기름에 모두 친한 분자의 구조를 이용한다. 이렇게 한 분자 안에 물과 친한 부분, 기름과 친한 부분을 동시에 갖고 있는 물질을 ‘계면활성제’라고 한다.

### 친환경 세제 만들기 - 베이킹소다의 힘

친환경 세제로 가장 많이 사용되는 재료가 바로 베이킹소다이다. 베이킹소다의 화학명은 ‘탄산수소나트륨( $\text{NaHCO}_3$ )’으로, 중조, 중탄산나트륨, 중탄산소다 등으로 부르는 이름도 참 여러 가지다. 빵이나 케이크를 부풀리는데 많이 사용해서 ‘베이킹소다’라는 이름이 붙었는데, ‘자연에서 온 마법의 가루’라는 광고 문구처럼 그 쓰임새는 가히 마법에 가깝다.

베이킹소다는 물에 쉽게 녹아 염기성을 띤다. 따라서 지방이 산화된 기름때처럼 산성을 띤 때를 만나면 중화반응을 일으켜 때가 쉽게 제거될 수 있다. 또한 베이킹소다는 아주 고운 가루 물질이기 때문에 흡집을 내지 않는 부드러운 연마제로 작용해 오염된 표면에서 때가 더 잘 떼어낼 수 있다. 베이킹소다는 화학반응을 통해 인공적으로 만들기도 하지만, 미국이나 호주, 중국 등에서는 탄산나트륨( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) 덩어리인 ‘트로나’ 광석을 채굴해 정제해서 얻는다. 이렇게 아주 오래전부터 지구에 있었던 천연물질이기 때문에 베이킹소다는 자연에 해를 끼치지 않는 친환경 세제가 될 수 있다. 베이킹소다는 가루를 물에 걸쭉할 정도로 탄 뒤 가스레인지처럼 기름때가 남아 있는 곳에 바르고 살살 문지르면 때가 빠진다. 또는 베이킹소다 1/2

티스푼을 물 200mL에 타서 완전히 녹이고 분무기에 넣은 뒤 때가 있는 곳에 뿌릴 수도 있다. 베이킹소다 물을 뿌리고 5분 정도 불린 뒤 행주로 닦아내는 방식이다. 같은 위치에 식초를 희석한 물을 뿌린 뒤 닦아내면 얼룩을 깔끔하게 지울 수 있다.



친환경 세제로 쓰이는 베이킹소다. © shutterstock.com

### 세제가 많다고 때가 잘 빠질까?

그런데 기름기가 번들번들한 그릇을 닦을 때나 세탁기로 빨래를 할 때, 늘 신경 쓰이는 것이 바로 세제의 양이다.

때를 빼는 데 과연 세제의 양은 많을수록 좋을까. 때는 계면활성제가 때를 둘러싸는 마이셀을 만들면서 제거되므로, 세제의 양은 계면활성제가 모든 때 입자에 대해서 마이셀을 만들 정도가 딱 적당하다. 이보다 적으면 때가 덜 빠질 것이고, 이보다 많으면 때를 모두 없애고도 세제가 물속에 남아 괜히 세제만 낭비한 것이 된다. 이런 의미에서 거품이 무조건 많다고 때가 잘 빠지는 것도 아니다. 세제를 사용할 때 나오는 거품은 계면활성제가 물의 표면장력을 줄이면서 생기는 것인데, 계면활성제는 때를 없앨 양만큼만 있으면 되니 거품이 많은 것은 필요 이상으로 세제가 많다는 뜻일 수도 있다.

필요 이상으로 세제를 사용하면 빨래에 세제 성분이 남아 피부에 좋지 않은 것도 문제가 되지만, 분해되는 데 시간과 물이 더 필요하다는 것도 문제다. 보통

세제가 많다고 때가 잘 빠지는 것은 아니다. 필요 이상의 세제는 물도 더 많이 사용하게 만들고 세탁 후 남아 있는 세제 성분은 사람의 피부에도 좋지 않다. © shutterstock.com



천연 지방 성분을 이용해 만드는 비누는 미생물에 의해 잘 분해되지만, 계면활성제 외에도 표백제나 탄산나트륨(소다회), 인산염 등 여러 가지 첨가제를 넣은 합성세제는 쉽게 분해되지 않는다. 특히 계면활성제가 활발하게 반응하도록 선물을 단물로 바꾸기 위해 넣는 인산염은 강과 호수의 녹조 현상을 일으킨다. 그래서 인산염 대신 제올라이트 같은 물질을 넣기도 하지만, 여전히 합성세제는 비누에 비해 분해가 느리다.

이런 문제로 요즘은 합성세제 대신 친환경 세제를 집에서 직접 만들어 쓰는 사람도 많다. 환경을 생각하는 것은 좋은데, 세제를 집에서 만들 때에는 양을 정확히 재서 만드는 것이 무엇보다 중요하다. 이 역시 화학 반응이기 때문에 반응하는 물질은 철저하게 원칙대로 반응하는 양만큼만 반응을 한다. 예를 들어, 집에서 비누를 만들 때 수산화나트륨이 필요 이상 들어갔다면, 만들어진 비누에 그대로 남은 수산화나트륨이 오히려 피부에 독이 될 수 있다. 환경을 생각하는 것도 좋지만 내 몸도 소중하니, 집에서 세제를 만들 때는 좀 더 신중할 필요가 있다.

### 샴푸에 독성이 있다는데?

계면활성제가 최근 몇 년 동안 꽤 큰 이슈가 되고 있다. 계면활성제가 심각한 독성을 갖고 있어서 피부에 남아 있으면 염증을 일으키는 것은 물론이고, 백내장이나 암까지 일으킬 수도 있다는 것이 몇몇 방송이나 인터넷을 통해 전해졌기 때문이다. 이를 두고 계면활성제가 해로운지, 그렇지 않은지에 대한 의견이 아직도 분분하다.

논란의 중심에 있는 계면활성제는 샴푸나 세안제 등 여러 세제에 두루 사용되는 '소듐라우릴설페이트(SLS)'이다. SLS에 대한 방송이 나가자 수십 년간 별문제 없이 써 왔던 샴푸가 어떤 사람들에게는 순식간에 독극물로 인식됐다. 정말 합성 계면활성제는 독극물인 걸까.

SLS를 고농도로 장시간 동물의 몸에 발라 놓았을 때 피부 조직이 파괴되는 것이 확인된 학술 논문이 있기는 하다. 그런데 매일 샴푸로 머리를 감고 금방 헹구내는 보통 사람은 고농도의 SLS에 장시간 노출될 일은 사실 거의 없으니, 이 연구 결과를 일반인에게 적용하는 데에는 무리가 있다. 게다가 논문에도 일상생활 용도로 SLS가 포함된 샴푸를 사용하는 것은 아무 문제가 없다고 밝히고 있다. 그러니 연구 결과를 일부만 얘기해 사람들을 혼란스럽게 했다는 느낌

을 지울 수 없다. 천연이든 합성이든 계면활성제가 두피에 닿으면 기름기인 피지를 없앤다. 그런데 계면활성제를 너무 많이 사용해 두피가 건조해지면, 피부염이 생길 수도 있다. 그러나 어쩌다 몸 안으로 들어간 계면활성제는 체내에서 분해되거나 배설되어, 축적되지는 않는 것으로 알려져 있다. 따라서 SLS가 몸속에서 독성물질로 작용한다는 것도 근거를 찾기 힘들다.

**특급 케미 자랑하는 [세제] 연구실**

우리나라 세제와 표백제 개발 역사에서 큰 획을 그은 사건을 꼽으라고 하면, 한국화학연구원에서 1980년에 개발한 산소계 표백제를 빼놓을 수가 없다. 당시 널리 쓰이던 표백제라고 하면 '락스'로 잘 알려진 염소계 표백제가 굳건한 1위를 차지하고 있었고, 산소계 표백제 기술을 가진 나라는 전 세계적으로도 프랑스가 유일한 상황이었다. 그런 가운데 소다회(탄산나트륨)와 과산화수소를 활용할 방안을 찾아달라는 한 기업의 의뢰를 받은 화학연은 과감히 산소계 표백제 개발에 도전했다. 화학연은 연구 시작 8개월 만에 프랑스의 기술과는 다른 한국형 산소계 표백제 개발에 성공했다. 새로 개발된 산소계 표백제는 기업에 기술을 이전하는 과정을 거쳐 마침내 1984년 세상 빛을 보았다. 30년 넘게 표백제의 대표 자리를 지켰던 '옥시크린'이 바로 그 주인공이다(옥시크린은 가습기 살균제 '옥시싹싹'과는 성분과 용도, 개발 시기가 전혀 다른 물질이다). 산소계 표백제는 표백은 물론, 살균과 냄새 제거뿐만 아니라, 빨래를 삶은 것과 같은 효과를 냈다. 속옷이나 수건 같은 빨래는 늘 삶아야 속이 시원하던 사람들의 관심을 끈 것은 바로 이 삶은 듯한 효과였다. 번거롭게 삶

을 필요 없이 표백제를 세제와 함께 넣기만 하면 되니, 편리함은 말할 필요가 없었다.

삶은 효과를 내는 주인공은 바로 발생기 산소다. 발생기 산소란 보통 산소에 비해 반응이 활발하게 일어나는 산소라고 할 수 있는데, 이 산소의 활발한 반응을 통해 옷에 묻어 있던 때가 속 시원히 떨어지니, 옷은 마치 삶은 것처럼 원래 색깔을 되찾을 수 있었다.

한편 당시 유럽에서 사용되던 기존의 산소계 표백제는 환경오염을 일으키는 붕소를 함유하고 있는 것이 문제였는데, 화학연에서 개발한 산소계 표백제는 붕소 대신 과탄산나트륨을 사용해, 환경오염 걱정도 깨끗하게 날려 버렸다. 이런 여러 가지 장점 덕분에 산소계 표백제는 빨래할 때 오래 넣는 물질이 됐고, 화학연 내에서도 최고 히트 연구 중 하나로 기록돼 있다.



산소계 표백제를 이용하면 마치 삶은 것처럼 옷의 원래 색깔을 되찾을 수 있다. © shutterstock.com

## 나쁜 세균을 없애는 살균제

“오늘은 ‘세계 손 씻기의 날’입니다!”

2월 14일 밸런타인데이, 3월 14일 화이트데이처럼 ‘세계 손 씻기의 날(Global Handwashing Day)’이라는 이름을 가진 날이 있다. 바로 10월 15일. 손이야 매일 씻는데 특별히 손을 씻는 날을 정했다니, 참 별 날도 다 있다는 생각이 든다. 그런데 손을 씻는다는 것은 사실 단순히 손에 묻은 보기 싫은 얼룩을 지우고 끈적끈적한 느낌을 없애는 것 이상으로 중요한 의미가 있다.

많은 사람들이 이용하는 대중교통은 특히 손을 통해 세균이 옮겨지기 좋은 장소다. © shutterstock.com



## 손 씻기만으로도 감염병을 예방한다

손 씻기가 중요한 의미를 갖는 것은 여러 가지 감염병을 일으키는 세균이 우리 몸속으로 들어가는 결정적인 통로가 바로 자신의 손이 되는 경우가 많기 때문이다. 손은 외부의 물건과 가장 많이 접촉하는 신체기관이다. 그래서 손을 깨끗하게 씻기만 해도 많은 감염병을 예방할 수 있으며, 심지어는 한 해 100만 명도 넘는 생명을 구할 수 있다는 얘기가 나온다. 2008년 UN에서 10월 15일을 ‘세계 손 씻기의 날’로 정해 손 씻기의 중요성을 사람들에게 알리기로 한 것도 바로 이 때문이다.

손 씻기가 중요하다는 것은 일찍이 19세기 중반에 헝가리의 의학자 제멜바이스(Ignaz Philipp Semmelweis)가 알아냈다. 그가 산부인과 의사로 일하던 당시

병원에서 손 씻기가 중요하다는 사실은 19세기 중반 헝가리 의학자 제멜바이스가 제기했다. © shutterstock.com

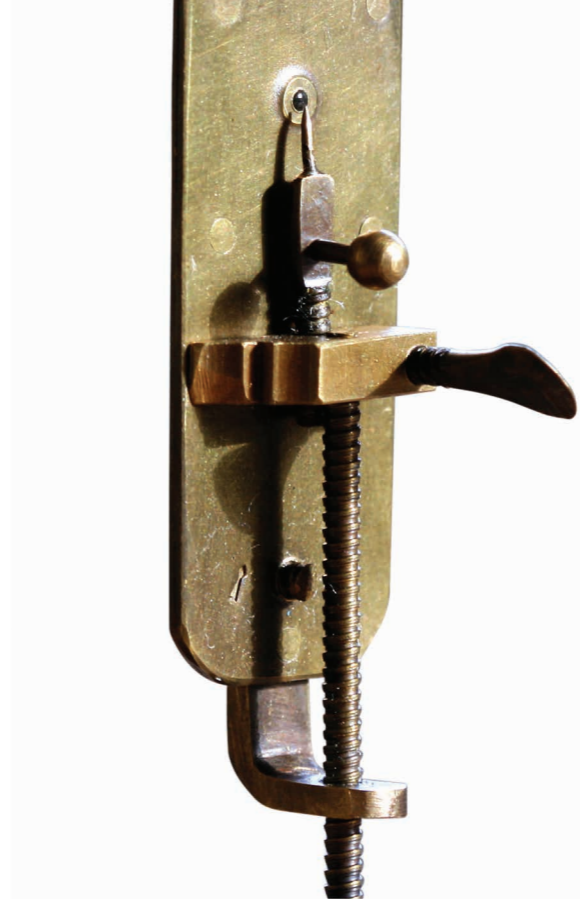




에는 산모가 분만 후 고열에 시달리는 ‘산욕열’이 흔한 질병이었다. 그런데 증상이 나타난 산모 중 10~30%가량이 목숨을 잃을 정도로 산욕열은 치명적이었다. 산욕열의 원인을 알아내기 위해 고민하던 제멜바이스는 의사들이 다른 환자나 시체를 만지다가 그대로 분만실에 들어가는 장면을 목격했다. 산욕열은 어쩌면 의사들의 손에 묻어 있는 어떤 것(후대의 과학자들에 의해 세균으로 확증됐다)이 산모에게 그대로 전달되면서 일어나는 것일지도 모른다고 생각한 그는 의사들에게 분만실로 들어가기 전에 손을 철저히 소독하도록 했다. 그랬더니 놀랍게도 산욕열로 인한 사망률이 0~2%까지 떨어지게 됐다. 그의 예상이 적중했던 것이다. 제멜바이스는 1861년 《산욕열의 원인, 개념과 예방(The Etiology, Concept and Prophylaxis of Childbed Fever)》이란 책을 발간해 손 씻기의 중요성을 주장했다.

제멜바이스의 발견과 주장이 의학계에 받아들여지기까지는 시간이 꽤 걸렸지만, 오늘날 손 씻기가 감염병을 예방하는 가장 간단하면서 경제적인 방법이라는 것에 반대하는 사람은 없을 것이다. 신종 인플루엔자가 전국에 퍼지던 2009년이나 메르스로 모두가 불안에 떨던 2015년에 TV나 인터넷 포털 사이트, 공공 게시판 등을 통해 가장 강조됐던 것이 무엇인지 기억하는가? 바로 ‘손 씻기’였다.

손을 깨끗하게 씻는 데에도 방법이 있다. 그냥 흐르는 물에 손을 행구는 정도로는 안 되고 반드시 비누나 손 소독제를 사용해야 한다. 비누를 사용할 때에는 먼저 손바닥에 비누를 묻혀 비비고 손톱 밑, 손가락 사이사이를 꼼꼼하게 문질러 흐르는 물에 행군다. 그러면 손에 묻어 있는 미끌미끌한 기름때뿐만 아니라 세균도 없앨 수 있다. 그리고 비누와 물을 사용할 수 없을 때에는 손 소독제를 적당량 손에 털어서 손 씻듯이 짹짹 비비면 된다.



레이우엔훅이 발명한 초기 현미경.  
© wikimedia.org

### 미생물, 눈에 보이지 않는 작은 생명체

사람마다 다르겠지만 일반적으로 손에는 무려 6만 마리의 세균이 살고 있다고 한다. 세균은 너무 작아 맨눈으로는 볼 수도 셀 수도 없지만, 몸속으로 들어가 염증을 일으키고 배탈이 나게 만들어 존재감을 드러낸다. 이렇게 맨눈으로 볼 수 없는 세균과 더불어 효모, 곰팡이 같은 작은 생물을 통틀어 ‘미생물’이라고 한다.

미생물은 보통 사람이 맨눈으로 구별할 수 있는 가장 작은 크기인 0.1mm보다 작은 생물이다. 어둡고 축축한 곳에서 늘 귀퀴한 냄새를 풍기는 ‘곰팡이’도 미생물에 속한다. 작은 미생물이 세상에 모습을 드러낸 것은 17세기에 네덜란드의 레이우엔훅(Antony van Leeuwenhoek)이 현미경을 발명하면서부터였다. 그리고 19세기에 이르러 프랑스의 화학자이자 미생물학자인 파스퇴르(Louis Pasteur)가 전염되는 질병의 원인이 바로 이런 미생물이라는 사실을 알아냈다.

세균은 ‘병균’이라는 별명까지 얻어 우리에게 해로운 존재로 자리 잡았다. 결핵균이 폐로 들어가 폐결핵을 일으키고 살모넬라균은 구토와 설사를 하게 만드는 식중독을 일으킨다. 장티푸스나 이질 역시 세균의 소행이며 14세기에 유럽 인구를 반으로 줄인 흑사병도 페스트균이 원인이다. 한편 발가락 사이의 무좀은 피부 각질에 기생하는 곰팡이 때문에 생기고 독감이나 일본뇌염은 전자현미경으로나 볼 수 있을 정도로 작은 바이러스가 일으킨다. 이렇게 잠깐만 생각해도 세균, 곰팡이, 바이러스 같은 미생물은



대표적인 발효식품인 메주에는 누룩곰팡이가 핀다. 누룩곰팡이는 메주를 발효시키는 효소 역할을 한다.  
© shutterstock.com

우리 몸에 이로울 게 하나 없는 존재로밖에 안 보인다.

하지만 요구르트를 만드는 유산균도 미생물이며 된장이나 김치, 맥주, 포도주, 식초 등 발효식품을 만드는 '발효균' 역시 미생물이다. 또 우리 몸속의 대장에 터트대감처럼 버티고 있는 대장균은 세균이지만 다른 해로운 세균이 침입하는 것을 막아주는 아균이다. 물론 대장균이 대장이 아닌 다른 장기로 옮겨가면 방광염이나 신우염 등을 일으키기도 하지만 말이다.

세균이나 곰팡이 때문에 음식이 상하면 당장은 화가 나지만, 지구 전체 생태계의 입장에서 보면 세균이나 곰팡이는 동식물의 사체를 분해해 물질의 순환이 이루어지는 데 없어서는 안 되는 중요한 구성원이다. 이렇게 미생물 중에는 해로운 것도 있고 이로울 것도 있으며, 때에 따라 이롭기도 하고 해롭기도 한 것이다.

### **살균, 미생물을 못 살게 하라**

물론 우리 건강을 해치는 미생물은 분명히 없애야 한다. 이렇게 해가 되는 미생물을 없애는 일을 '살균'이라고 한다. 살균(殺菌)은 말 그대로 균을 죽인다는 뜻이다. 비슷한 뜻으로 '멸균'이나 '소독'이라는 말도 함께 쓰인다. 멸균은 그야말로 미생물의 씨를 말려서 완벽하게 없앤다는 의미가 더해진 용어로, 살균보다 조금 강한 의미가 있다. 그런가 하면 소독은 미생물 중에서 특히 병을 일으키는 이른바 병원균을 없앨 때 주로 사용한다. 좁은 의미로는 미생물을 죽이지 않고 활동을 막기만 해도 소독한다고 말한다. 자세히 들여다보면 살균, 멸균, 소독 이 세 단어에 미묘한 차이가 있지만, 해로운 미생물을 없앤다는 의미로 거의 혼용된다.

살균하는 방법은 크게 2가지이다. 첫 번째는 미생물이 놓인 환경을 바꿔서 더 이상 살지 못하고 번식도 못하도록 하는 방법이다.

환경을 바꾸는 가장 간단한 방법은 물기를 없애는 것이다. 즉 건조다. 소고기를 물기 하나 없이 뽀뽀하게 건조시킨 육포를 비롯해 사과나 대추, 고구마, 무 등을 바삭하게 말린 것을 오래 두고 먹을 수 있는 이유는 부패를 일으키는 미생물이 더 이상 살지 못하는 환경이 된 덕분이다.

한편 소금에 푹 절이는 것 또한 미생물을 살 수 없게 만드는 한 방법이다. 1년 내내 두고 먹기도 하는 짭짤한 오이지가 좋은 예다. 오이를 소금에 절이면 삼투현상으로 미생물에서 수분이 빠져나와 미생물이 더 이상 번식하지 못하고 죽게 된다. 소금 대신 설탕이나 식초에 절이는 것도 같은 원리로 세균을 없앤다.

### **미생물에게 뜨거운 맛을!**

살균의 두 번째 방법은 미생물을 공격해 없애는 방법이다. 이 가운데 가장 일반적으로 사용하는 방법이 바로 뜨겁게 열을 가하는 것이다. 보통 물이 끓는 100℃ 정도가 되면 대부분의 미생물은 견디지 못하고 죽어 버린다. 대장균만

해도 60℃에서 20분 동안 가열하면 멸균할 수 있다. 하지만 모든 것에 예외가 있듯이 이 와중에도 열에 잘 견디는 것이 있다. 이런 미생물은 압력솥처럼 고압 상태를 만들면 물의 온도를 121℃까지 높여 없앨 수 있다.

그런데 우리가 먹을 식품을 이렇게 고온으로 살균하면 해로운 세균이야 완전히 박멸해 좋지만, 식품 안에 들어 있는 단백질 같은 영양소도 덩달아 파괴되니 난감한 상황이 벌어진다. 그래서 영양소를 최대한 지키면서 주로 병을 일으키는 세균만 없애는 방법을 알아냈다. 그것이 바로 '저온살균법'이다. 여기서 저온은 60~70℃ 정도로 물이 끓는 것보다는 낮은 온도를 말한다.

저온살균법은 파스퇴르가 포도주를 상하지 않게 보관하는 방법을 찾다가 알아낸 것이다. 요즘은 포도주뿐만 아니라 맥주, 우유, 식초 등 여러 식품에 사용되고 있다. 우리에게는 특히 우유의 살균 방법으로 익숙하다.

대부분의 미생물은 끓는 물에서 견디지 못하고 죽는다. © shutterstock.com



병원에서는 주사를 놓기 전 알코올로 피부를 소독한다. © shutterstock.com

### 화학물질로 미생물 공격하기

화학물질로도 미생물을 공격할 수 있다. 이때 사용하는 화학물질을 '살균제' 또는 '멸균제', '소독제'라고 한다. 병원에서 주사 놓을 때 알코올을 문힌 솜으로 팔이나 엉덩이를 쓱쓱 문지르는 것처럼 알코올은 널리 알려진 안전한 살균제다. 알코올 중에서도 술의 성분이기도 한 에틸알코올이 주로 사용된다. 에틸알코올은 미생물에 닿으면 세포막을 뚫고 들어가 세포 내 단백질을 응고시킴으로써 미생물을 죽인다. 살균제로 사용되는 에틸알코올은 100% 원액이 아니라 약 70% 농도로 희석한 것이다. 희석하는 이유는 에틸알코올 100% 용액은 세포막을 먼저 응고시켜 버려서 알코올 성분이 세포 안으로 침투하지 못하기 때문이다. 병원에서 주로 사용하는 손 소독제 역시 에틸알코올이나 아이소프로판올 등으로, 알코올이 주성분이다.

과산화수소 역시 가정상비약으로 꼽힐 만큼 많이 사용되는 살균제이다. 과산

화수소( $H_2O_2$ )는 몸 안에 있는 촉매에 의해서 물( $H_2O$ )과 산소( $O_2$ )로 분해되는 데, 한편으로는 ‘수산화라디칼’이라는 일종의 활성산소가 생성되는 과정도 함께 일어난다. 보통 활성산소는 다른 물질과 반응을 잘해 상대 물질을 쉽게 변형시키기 때문에 과산화수소에서 만들어지는 수산화라디칼이 세균을 만나면 세균의 세포 물질과도 재빨리 반응한다. 그러면 결과적으로 세균이 죽게 된다. 수산화라디칼의 이런 역할 덕분에 과산화수소가 살균제이자 소독제가 된다. 과산화수소가 세포를 파괴하는 능력이 워낙 출중하다 보니 보통 가정용 소독 약으로는 농도가 3%로 물에 희석된 것을 사용해야 안전하다. 이보다 높으면 세균뿐만 아니라 우리 몸의 아무 죄 없는 세포까지 파괴해 버리기 때문이다. 수영장 물이나 수돗물의 살균에는 염소가 사용된다. 염소 기체( $Cl_2$ )가 물을 만나면 ‘하이포아염소산’이라는 물질이 만들어지는데, 이 물질이 세균을 분해하는 뛰어난 능력을 갖고 있기 때문에 염소가 살균제가 된다.

한편 비누로 손에 묻은 세균을 없애는 과정에서는 비누로 손 표면을 미끄럽게 한 뒤 물로 헹구는 과정을 통해서 세균을 떼어내는 효과가 크다. 물론 살균제를 첨가해 만든 약용 비누의 경우는 비누로 손을 씻어 때를 없앤 다음, 첨가한 살균제가 손에 남아 있는 세균에 직접 작용해 살균 효과를 낸다.

알코올이나 과산화수소, 염소 외에도 유해한 미생물을 없애는 넓은 의미의 ‘살생물제’로 사용되는 화학물질은 다양하다. 그리고 지금도 새로운 살생물제가 전 세계 연구실에서 개발되고 있다. 이들 살균제를 사용하는 데 있어서 가장 중요한 것은 안전한 범위 내에서 정해진 용법을 철저히 지키는 것이다. 세균을 공격하는 물질은 언제든지 사람도 공격할 수 있기 때문이다.

### **보이지 않는 강력한 에너지로 미생물을 없앤다**

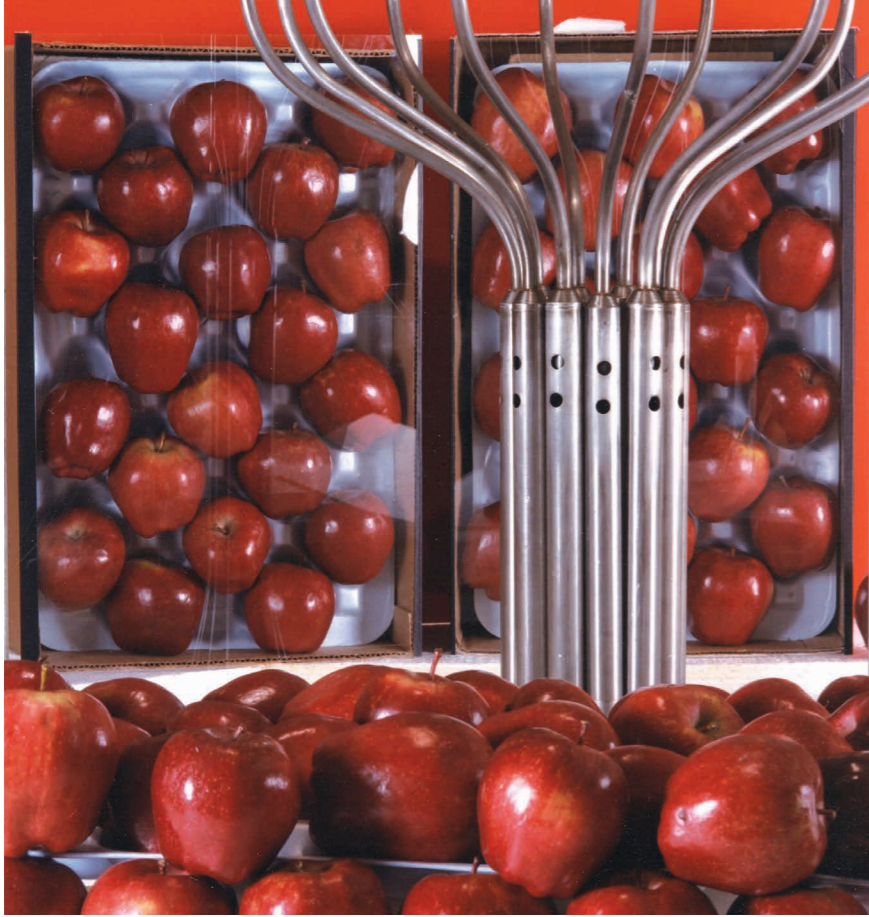
한편 살균제를 사용하지 않고도 미생물을 직접 공격할 수도 있다. 펄펄 끓여서 살균하는 것도 ‘높은 열’이라는 에너지를 이용하는 것이지만, 자외선이나 감마

선처럼 훨씬 더 에너지가 강력한 전자기파는 더 효과적인 살균 도구가 된다. 자외선 살균은 식당에서 컵이나 그릇, 조리도구 등을 살균하는 모습으로 우리에게 익숙하다. 자외선은 우리가 볼 수 있는 가시광선 중에서 보라색 빛 바깥쪽에 있어 가시광선보다 파장은 짧고 에너지는 더 세다. 자외선은 에너지의 세기에 따라 크게 A, B, C로 나뉜다. 에너지는 이 중 자외선 A가 가장 작고 자외선 C가 가장 크다.

자외선 A는 대부분 지표면까지 도달하고 오랜 시간 햇볕을 쬐었을 때 살갓을 벌겍게 만든다. 자외선 B는 오존층에 대부분 흡수되지만 일부는 오존층을 뚫고 지표면까지 온다. 자외선 A보다 에너지가 세기 때문에 피부암을 일으키기도 한다. 에너지가 가장 센 자외선 C는 미생물을 죽이는 살균력이 강하다. 자외선 살균기에 바로 이 자외선이 사용된다. 그런데 자외선은 물질을 잘 투과

자외선 살균기. 유아용 젖병, 컵 등을 살균하는 데는 에너지가 가장 센 자외선 C를 이용한다. © shutterstock.com





식품 살균의 도구로서 방사선을 시험하는 시설. © DOE

하지 못하기 때문에 살균기 안에 유리컵을 넣어두면 사실 표면만 살균된다. 간혹 유리컵을 거꾸로 엮어 놓은 곳이 있는데, 이때 컵 안쪽은 사실상 살균되지 않는다.

한편 감마선은 불안정한 원자핵을 가진 원자가 안정된 상태로 되면서 내놓는 방사선의 한 종류이다. 다리가 빠끗해서 병원에 갔을 때 뼈 사진을 찍는 데 사용하는 X선도 방사선이다. 이들 방사선은 강력한 에너지를 갖고 있기 때문에

세포를 파괴하고 돌연변이를 일으키기도 한다. 그래서 사람을 비롯한 생물에 무척 위험하지만, 바로 이 점을 미생물의 살균에 이용한다. 살균에 주로 사용되는 방사선은 감마선이다. 감마선은 웬만한 금속은 물론 납까지도 투과한다. 가공식품을 포장된 상태로도 살균할 수 있는 것은 이렇게 투과력이 좋기 때문이다. 게다가 유해 물질이 따로 발생하는 것도 아니어서 감마선을 살균에 이용하는 경우가 점점 늘어나고 있다.

### 우리 몸의 안전과 건강, 살균

살균은 우리를 감염병으로부터 예방하여 우리 몸의 안전과 건강을 지켜준다. 하지만 모든 세균을 없애야 하는 것은 아니다. 앞에서 잠깐 언급했듯이 대장균 처럼 우리 몸에 이로운 세균도 있기 때문이다. 사실 우리 몸 안에는 대변 고형 무게의 절반 이상을 차지할 정도로 세균이 많고, 종류도 수천 종이나 된다. 그리고 이 가운데 85%가 유익한 세균이다.

피부나 몸속에 살고 있는 유익한 세균은 이미 튼튼한 진지를 구축하고 있어서, 바깥에서 다른 균이 침입해 와도 자기네 진지를 웬만해서는 내주지 않는다. 결국 새로운 균이 자리를 잡지 못하고 쫓겨나니, 유익한 세균은 다른 세균이 들어오지 못하게 막는 보이지 않는 방어막이 된다. 또 유해균이 들어오면 면역체계를 자극해 이들을 물리칠 물질을 만들도록 재촉한다. 이 과정이 쌓이고 쌓이면, 우리 몸의 면역체계는 다양한 세균에 맞설 수 있도록 탄탄해진다.

그래서 면역력이 약한 노약자가 아니라면 우리 몸에는 어느 정도 외부 세균에 대한 면역력을 지니고 있다. 지나치게 노이로제에 걸릴 정도로 100% 살균을 외칠 필요가 없는 이유다.

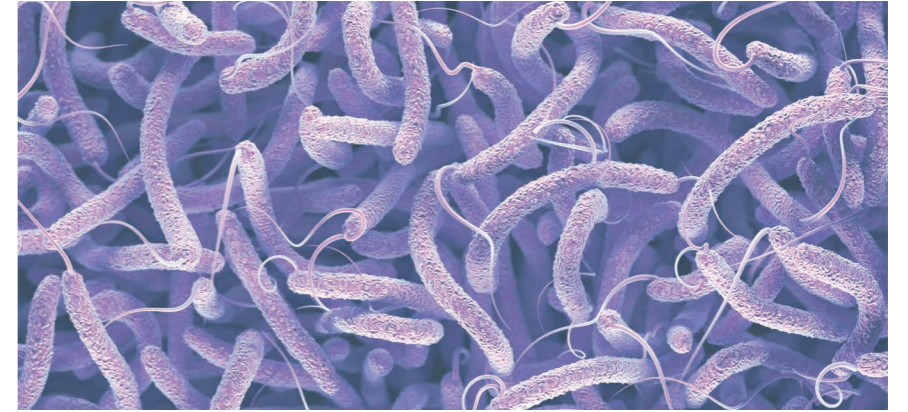
하지만 우리 건강을 위협하는 치명적인 세균들은 살균의 힘을 빌려야 한다. 인류 수명 100세 시대에 나쁜 세균을 없애는 살균제는 우리 건강에 톡톡히 기여하고 있다.

1854년 여름 영국의 런던은 또다시 콜레라의 공격을 받았다. 1832년 2만 명이 넘는 사람이 목숨을 잃었고 1848년에 또 1만 5천 명 넘게 콜레라에 희생된 다 음이었다. 멀쩡하던 사람도 하루아침에 쓰늘한 주검으로 만드는 이 무서운 병 이 왜 생기는지 사람들은 알지 못했다.

가난한 동네에만 많이 생 기니 ‘부자들이 뿌린 독극 물’ 때문이라는 얘기도 들 았고 ‘나쁜 공기 안에 있 는 독’ 때문에 생긴다고 도 했다. 그러나 의사였 던 존 스노(John Snow) 의 생각은 조금 달랐다. “물이야, 물. 아무래도 물 이 수상해…….”



1800년대 영국 런던의 콜레라는 식수를 통해 사람들에게 번졌다. 그림은 1866년 8월 편(FUN) 매거진에 실린 조지 핀웰의 만평. © FUN Magazine



콜레라균(*Vibrio cholerae*)의 이미지. © shutterstock.com

### 마침내 밝혀진 콜레라의 정체 그리고 물

극심한 구토, 설사와 고열을 동반하는 콜레라는 원래 인도 동부와 방글라데시 지역의 풍토병이다. 그런데 1817년부터 대유행을 시작해, 19세기가 끝날 때까지 유럽 사람들은 콜레라에 벌벌 떨어야 했다.

존 스노는 의사로서 콜레라 환자들을 접하면서 질병의 증상뿐만 아니라 주로 발병하는 장소나 콜레라 환자의 집 위치 등 발병 환경도 함께 조사했다. 그러다 런던 브로드 가에 있는 한 식수 펌프에 시선이 멈췄다. 이 펌프를 중심으로 콜레라 환자가 집중적으로 나타났던 것이다.

이것을 보고 그는 아무래도 이 펌프에서 나오는 물이 콜레라를 일으키는 것 같다는 점을 직감했다. 그래서 사람들이 더 이상 여기에서 나오는 물을 사용하지 못하도록 펌프를 폐쇄했다. 그 결과 콜레라의 기체는 드디어 꺾여 더 이상 번지지 않게 됐다. 그가 생각한 대로 콜레라가 거침없이 퍼졌던 이유는 바로 펌프를 통해 오염된 물이 주민들에게 전달됐기 때문이다.

이로부터 약 30년 후 독일의 미생물학자이자 의사인 로베르트 코흐(Robert Koch)가 콜레라균을 발견함으로써 콜레라의 정확한 원인이 밝혀졌다. 그러나 '물이 콜레라의 원인일 것이다'라는 존 스노의 생각과 조치는 콜레라의 전염을 막는 데 결정적인 역할을 했을 뿐만 아니라 '깨끗한 물'의 중요성을 깨닫는 중요한 계기가 됐다. 런던에 상하수도 시설을 갖추게 된 것도 이때부터였다.

### 생명을 유지하기 위해 필요한 물

우리 몸무게의 약 70%를 차지하는 물은 몸속에서 혈액이나 세포 등을 이루는 성분으로 몸 전체에 자리 잡고 있기 때문에, 물이 부족하면 몸의 각 기능에 문제가 생긴다. 즉 가만히 있는데 맥박이 빨라지고 감각이 둔해질 뿐만 아니라 심하면 혼수상태에 이른다. 콜레라로 수많은 사람이 목숨을 잃은 결정적인 증상 가운데 하나가 바로 극심한 설사였다. 몸에 필요한 영양분과 함께 수분이

물은 우리 몸의 70%를 차지한다. 땀 흘린 뒤에는 수분을 보충하는 것이 좋다. © shutterstock.com



너무 많이 빠져나가 몸이 제 기능을 할 수 없었던 것이다.

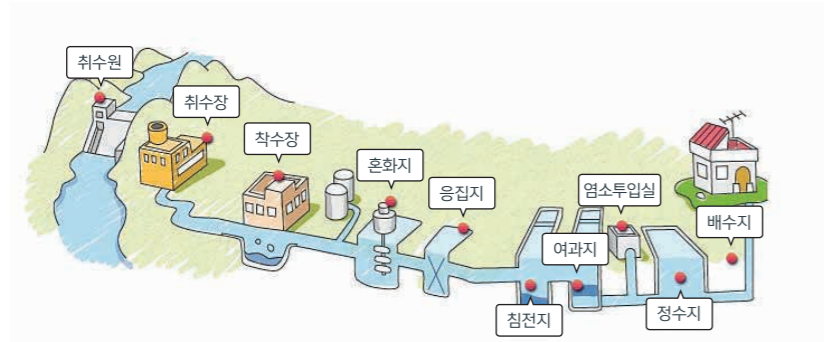
콜레라 사태와 같은 일을 겪지 않으려면 먹는 물이 깨끗해야 한다. 여기서 깨끗한 물이란 아무것도 들어 있지 않은 순수한 물, 즉 증류수를 뜻하는 것은 아니다. 우리 몸에는 여러 가지 양이온과 음이온이 적절한 균형을 이루면서 들어 있어서 아무것도 없는 증류수만 마시면 몸 속 이온의 균형이 깨지기 때문이다. 깨끗한 물에는 흙이나 먼지 같은 부유물은 물론 병을 일으키는 세균이나 곰팡이, 납이나 카드뮴 같은 중금속이 있으면 안 된다. 또 산성도 염기성도 아닌 중성인 물이 좋다. 우리나라 환경부에서는 70여 개 항목에 대해서 먹는 물의 수질 기준을 정해 놓았다. 수돗물을 만드는 정수 과정이나 일반 가정에서 사용하는 정수기의 필터도 이 허용치에 맞도록 설계된다.

### 강물은 이렇게 수돗물이 된다

수돗물의 정수 과정은 맨 처음 댐에 모아둔 물이나 강물을 직접 끌어오는 것에서 시작한다. 이 물은 '침사지'라는 곳으로 가는데, 여기서 물을 가만히 두면 물속에 들어 있는 흙이나 모래가 자연스럽게 가라앉는다. 큰 거름망으로 이들을 걸러내고 액체 염소를 넣어 살균까지 하면 1차적으로 비교적 큰 오염물을 없앨 수 있다. 그래도 물에는 침사지에서 가라앉지 않았던 가벼운 오염물이 그대로 둥둥 떠 있다. 이런 물질은 '응집제'라는 물질을 넣어서 오염물을 서로 엉겨 붙게 한다. 응집제가 물 전체에 골고루 퍼져야 물질이 효과적으로 엉기기 때문에 물속에는 물을 세차게 섞을 수 있는 프로펠러 같은 장치가 있다. 이 과정이 바로 '혼화지'에서 일어난다.

혼화지에서 응집제와 오염물질이 잘 섞여 작은 오염물 덩어리가 만들어지면 다음 단계인 '응집지'에서는 이름 그대로 오염물 덩어리가 더 크게 뭉쳐진다. 이 단계의 물이 '침전지'로 넘어가면 덩치가 커진 오염물 덩어리는 맨 처음 침사지에서처럼 가라앉고 드디어 위에 투명한 물이 모습을 드러낸다. 이때 생긴

## 수돗물의 정수 과정



댐에 모아둔 물이나 강물(취수원)을 끌어온 뒤(취수장) 침사지(착수정)에 물을 가만히 두면 물속에 있는 큰 오염물이 가라앉는다. 동등 떠 있는 가벼운 오염물은 혼화지에서 응집제를 넣어 엉겨 붙게 한다. 응집지에서는 오염물 덩어리가 더 크게 뭉쳐지고 침전지로 넘어가면 커진 오염물이 가라앉는다. 이렇게 만들어진 투명한 물은 여과지에서 미세한 오염물을 거르고 염소를 투입해 세균을 없앤다. 소독이 끝난 물은 정수지에 보관돼 있다가 각 지역의 배수지로 옮겨간 뒤 각 가정으로 전달된다.

### 응집제는 어떻게 오염물을 엉기게 만들까?

오염물이 골고루 퍼져 있는 물은 콜로이드 상태(알갱이가 보통 분자보다 비교적 큰 입자가 액체나 기체 속에 균일하게 퍼져 있는 상태)에 있다. 즉 오염물이 콜로이드 입자다. 콜로이드 입자는 보통 같은 종류의 전하, 특히 (-)전하를 띠고 있다. 같은 전기를 띤 입자끼리는 서로 반발하는 성질이 있기 때문에 오염물은 서로 달라붙지 않고 물속에 골고루 퍼져 있을 수 있다. 그런데 이때 (+)전하를 띤 물질을 넣으면 콜로이드 입자들 사이에 팽팽하게 퍼져 있던 반발력의 균형은 깨지고 만다. 그 결과 콜로이드 입자들끼리 달라붙든가, 새로 들어온 (+)전하를 띤 물질과 결합하든가 해서 엉기게 된다.

오염물 덩어리를 ‘슬러지’라고 하는데, 슬러지는 물기를 없애서 시멘트의 원료 등으로 재활용하거나 땅에 매립한다.

그러나 이게 끝이 아니다. 침전지에서 만들어진 투명한 물은 다시 ‘여과지’로 가서 모래와 자갈층을 통과한다. 이때 미처 걸리지 않은 미세한 오염물이 한번 더 걸러진다. 그 다음 마지막으로 염소를 넣어서 세균까지 말끔히 없애는 소독 과정을 마치면 우리 집에서 사용하는 수돗물이 될 준비가 완료된다. 소독이 끝난 물은 ‘정수지’에 임시 보관돼 있다가 각 지역의 ‘배수지’로 옮겨간 뒤 배수지에서 물의 양을 적절히 조절해 가면서 각 가정으로 보낸다.

정수 과정은 각 지역별 정수장의 여건에 따라서 내용이 조금씩 달라질 수밖에 없다. 최근에는 정수 효과를 더 높이기 위해 분리막을 이용하는 ‘막 여과 방식’을 사용하기도 한다. 여기서 분리막은 특정 물질만 선택적으로 통과시키는 일종의 필터이다. 그래서 막 여과 방식을 사용하면 병원성 미생물까지 제거할 수 있어서 소독제를 덜 사용하고도 수돗물의 질은 더 높일 수 있다.

### 수돗물을 조금 더 깨끗하게 만들려면?

수돗물에 남아 있는 오염물질을 좀 더 걸러내기 위해 활성탄이나 오존을 사용하기도 한다. 활성탄은 보통 코코넛 껍질이나 석탄에 수증기를 붙여넣으면서

성남 정수장의 전경.  
© 한국수자원공사

활성탄을 비롯한 여러 물질로 구성된 정수 필터.  
특히 활성탄은 흡착력을 이용해 오염물질을 없앤다.  
© shutterstock.com





고온에서 가열해 솟처럼 만든 것이다. 솟은 습기뿐만 아니라 냄새나 불순물을 제거하는 데 옛날부터 많이 사용되어 왔다. 솟 표면에 무수히 많이 있는 미세한 구멍에 작은 입자가 잘 달라붙기 때문이다. 이렇게 고체 표면에 기체나 액체 속 입자가 달라붙는 현상을 ‘흡착’이라고 하는데, 솟은 좋은 흡착제이다. 이런 솟의 흡착력을 한 단계 높인 것이 활성탄이다. 수돗물을 정수하는 과정에서도 활성탄의 흡착력을 이용해 물속에 남아 있는 작은 오염물질을 없앤다. 또 세균 같은 미생물을 없애기 위해 오존을 활용하기도 한다. 오존(O<sub>3</sub>)은 매우 불안정한 물질로 보통 산소(O<sub>2</sub>) 분자와 다른 물질과 반응을 무척 잘하는 ‘발생기 산소(O)’로 쉽게 분해된다. 발생기 산소는 반응성이 매우 강해서 세균 같은 미생물과 만나면 미생물을 죽이고 냄새도 없앤다.

### 수돗물, 정수기 안에서 또 한 번 걸러지다

수돗물이 우리 집에 오기까지 이렇게 긴 과정을 거치는데, 우리는 정수기로 수돗물을 또 한 번 걸러서 마시기도 한다.

정수기의 핵심은 필터다. 보통 세디멘트 필터, 프리카본 필터, 멤브레인 필터, 포스트카본 필터로 구성된다.  
© shutterstock.com



정수기의 핵심 부품은 역시 필터이다. 정수기에 따라 다르지만 필터는 보통 4 단계로 이루어져 있다. 수돗물을 맨 먼저 걸러내는 필터는 ‘세디멘트 필터’, 즉 ‘침전 필터’이다. 세디멘트 필터는 수도관에서 떨어져 나온 녹이나 먼지 같은 비교적 큰 오염물질을 1차적으로 걸러준다. 그 다음은 ‘프리(pre)카본 필터’를 거친다. 이 필터는 앞에서 수돗물을 정화할 때 사용한 활성탄으로 돼 있다. 프리카본 필터를 거치면서 수돗물에 남아 있는 염소나 안 좋은 냄새 등이 걸러지므로 사실상 물맛은 이 단계에서 결정된다. 그리고 세 번째로 ‘멤브레인 필터’를 거친다. 여기서는 물 분자와 물에 섞인 불순물의 크기 차이를 이용해 불순물을 걸러낸다.

멤브레인 필터가 불순물을 걸러내는 원리를 이해하기 위해서 먼저 삼투 현상을 살펴보자. 아주 단순한 예로 물은 통과하고 물보다 큰 입자는 잘 통과하지 못하는 막이 있다고 하자. 물통 한가운데에 이 막을 놓고 한쪽에는 소금물을, 다른 한쪽에는 순수한 물을 채우고 가만히 두면 순수한 물이 막을 통과해 소금물 쪽으로 움직인다. 막을 중심으로 양쪽의 농도를 맞추려는 지극히 자연스러운 현상이다. 이것을 ‘삼투’라고 한다. 이때 물이 소금물 쪽으로 넘어갈 때 막에 걸리는 압력을 ‘삼투압’이라고 한다.



그런데 만약 이 삼투압과 같은 압력을 소금물 쪽에 가한다면 어떻게 될까. 이 압력에 막혀 순수한 물이 소금물 쪽으로 좀처럼 넘어오지 못할 것이다. 그리고 이때 삼투압보다 더 센 압력을 가한다면? 힘에 밀려 소금물이 막을 통과해 물 쪽으로 넘어가려고 할 것이다. 그런데 소금이 물에 녹아 생긴 염화이온과 나트륨(소듐)이온은 막을 잘 통과하지 못하지만 물은 잘 통과해 순수한 물 쪽으로 넘어가게 된다. 이것을 삼투가 일어나는 반대방향으로 일어난다고 해 '역삼투'라고 한다.

삼투'라고 한다.

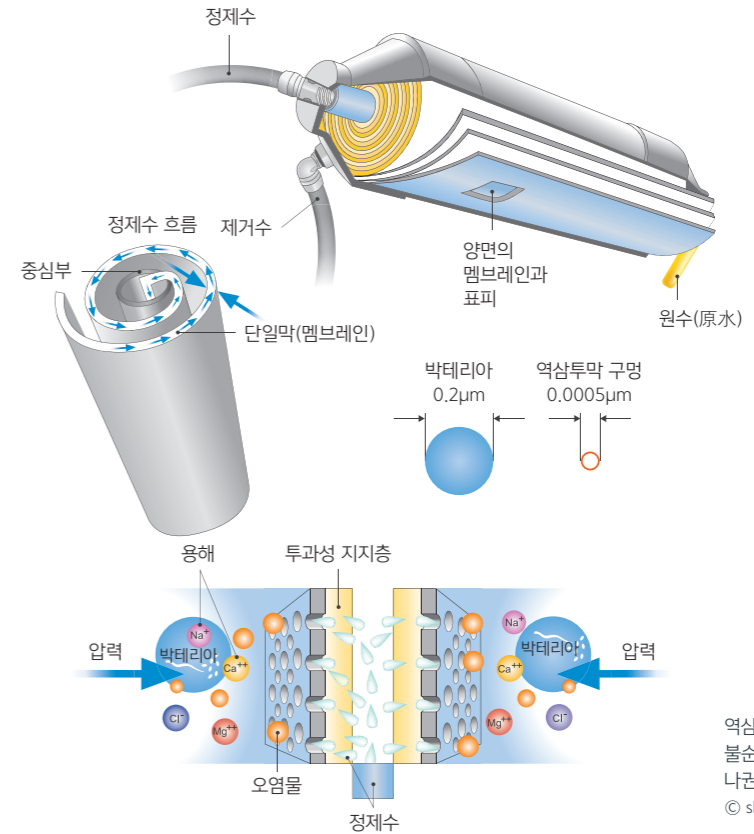
이렇게 역삼투를 이용해 정수할 때에는 삼투압을 이겨낼 수 있는 압력을 가해주는 장치가 필요하고, 필터의 종류에 따라서 필요한 압력은 다르다.

역삼투를 이용해서 물을 정수할 때 사용하는 막, 즉 필터는 여러 가지가 사용될 수 있는데, 이 가운데 크기가 0.0001~0.001 $\mu\text{m}$ (1 $\mu\text{m}$ =100만분의 1m) 정도로 작은 입자까지 잘 걸러내는 필터를 사용하면 세균은 물론 칼슘이온이나 마

### 생명을 구하는 빨대 정수기



사진 속 휴대용 정수기는 빨대처럼 생겼다. 이 휴대용 정수기 안에는 중공 사막 필터가 들어 있어서 물속에 넣고 빨대로 주스를 마시듯이 입으로 힘 있게 물을 빨아들이면 질병을 일으키는 세균이나 바이러스가 말끔히 제거된다. 필터를 교환해서 계속 쓸 수 있는 것은 아니지만, 하루에 물을 2L씩 1년 동안 걸러낼 수 있다. 제작비는 몇천 원 정도. 구호 기관을 통해 수질 오염이 심한 아프리카의 저개발국에 공급되어 오염된 물로 인해 생기는 질병의 발병률을 큰 폭으로 낮추기도 했다.



그네슘이온 같은 이온(미네랄 성분), 중금속까지 잘 걸러낼 수 있다. 한편 크기가 0.01~0.1 $\mu$ m인 입자까지만 잘 걸러내고 그보다 작은 입자는 잘 통과하는 필터를 사용하면, 세균이나 곰팡이는 걸러낼 수 있지만 미네랄 성분이나 중금속은 물과 함께 필터를 빠져나온다.

다만 정수기에 사용되는 필터에는 미네랄 성분은 통과시키면서 중금속은 걸러내는 것, 미네랄 성분과 중금속을 모두 걸러내는 것 등으로 종류가 다양하다. 그래서 제품에 따라 중금속과 미네랄 포함 여부 및 수질의 특성, 걸러내는 방식 등이 다르다.

필터의 구조에는 중공사막, 나관형, 평판형 등이 있는데, 정수기에는 중공사막이 많이 쓰인다. 중공사막은 가운데가 뿔 뚫린 '중공사' 다발로 된 막이다. 중공사는 표면에 미세한 구멍이 뚫린 빨대에 비유할 수 있다. 불순물이 포함된 물에 넣고 빨아들이면 오염물질은 빨대 속으로 들어오지 못하고 깨끗한 물과 미네랄 성분만 빨대 안으로 들어오는 것과 같은 원리로 작동한다. 이렇게 멤브레인 필터를 통과한 물은 다시 한 번 활성탄으로 이루어진 '포스트(post)카본 필터'를 통과해 정수 과정을 마친다.

한편 필터를 사용하지 않고 수도물을 정수하는 방법도 있다. 대표적인 방법이 자기장, 물이 흐르는 속도, 온도를 조절해 살균력이 있는 이온( $H_3O^+$ ,  $OH^-$ )을 만드는 이온화장치를 이용하는 것이다. 이들 이온은 유해균이나 냄새나는 물질 등을 없앨 수 있기 때문에 정수 효과를 볼 수 있다.

### 쓰고 버린 물도 깨끗하게 만든다

우리가 사용할 물뿐만 아니라 쓰고 버린 물을 깨끗하게 하는 것도 중요하다. 이 물은 결국 강으로 흘러가 다시 우리가 사용할 물이 되기도 할 테지만 강을 삶의 터전으로 살아가는 다른 생물들에게 해를 끼쳐서는 안 되기 때문이다. 쓰고 난 물은 하수도를 통해 한군데에 모인다. 이 상태의 물은 상당히 오염되

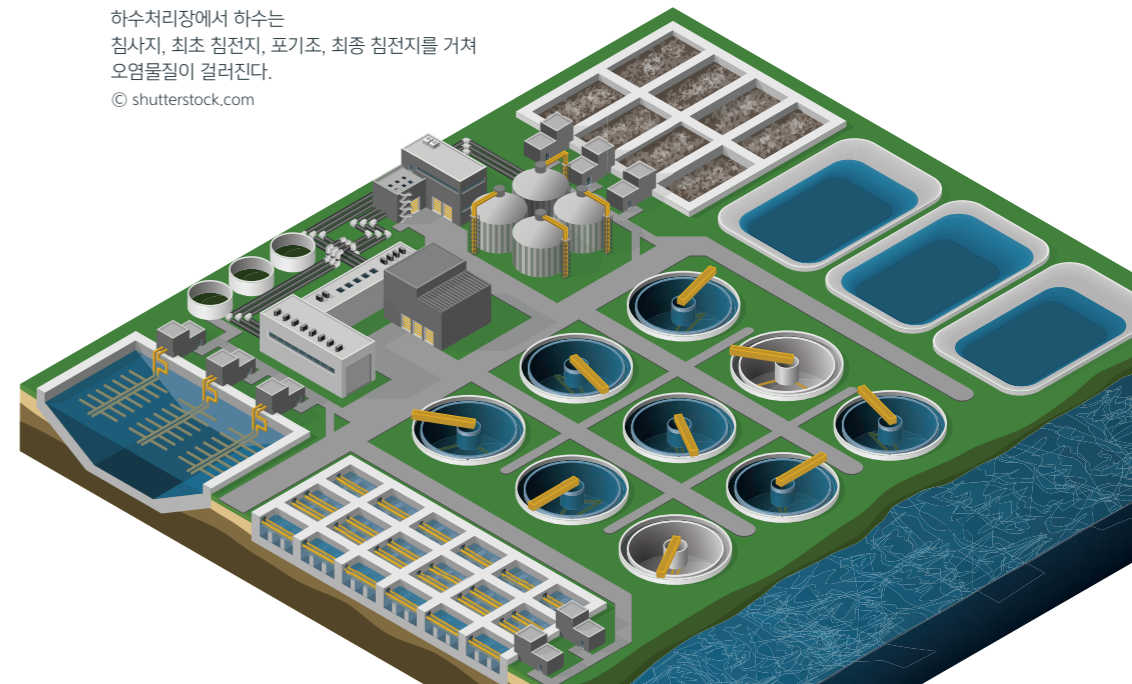
어 있기 때문에 먼저 '침사지'에서 쓰레기를 포함해 커다란 오염물을 건져낸다. 그 다음 양을 적절하게 조절해서 '최초 침전지'로 보내면 여기서 무거운 오염물질은 가라앉고 가벼운 오염물질은 물속에 떠 있게 된다. 가벼운 오염물질이 포함된 물은 '포기조'라는 곳으로 옮겨져 미생물에 의해 분해된다. 미생물이 오염물을 분해할 때 대량의 산소가 필요하기 때문에 공기를 끊임없이 불어넣는다. 이곳에서는 녹조나 적조를 일으키는 질소와 인도 없앤다.

그 다음 '최종 침전지'에서는 분해된 오염물은 가라앉고 맑은 물이 위에 뜬다. 이 물은 다시 대장균 소독 과정을 거쳐서 마침내 강으로 흘러가거나 청소용수, 소방용수 등으로 재사용된다. 이 단계의 물을 '중수도'라고 한다. 한편 전 과정에서 분리된 오염물질은 불에 태우거나 비료를 만드는 데 쓴다.

### 수돗물, 그냥 마시기엔 정말 찹찹할까?

꽤 복잡한 과정을 거쳐서 만들어지는 우리나라의 수돗물, 다른 나라와 비교했을 때 그 품질은 어느 정도 수준일까.

하수처리장에서 하수는 침사지, 최초 침전지, 포기조, 최종 침전지를 거쳐 오염물질이 걸러진다.  
© shutterstock.com



UN에서는 매년 각 나라에 대해서 수돗물의 수질뿐만 아니라 수량이나 하수처리 등을 종합적으로 판단해 ‘국가별 수질 지수’라는 것을 발표한다. 2016년 발표에서 우리나라는 122개국 가운데 당당히 8위에 이름을 올렸다.

그런데 2012년 조사에 따르면 실제로 수돗물을 그대로 마시는 사람은 3%를 조금 넘는 수준이다. 수도관이 오래돼 믿지 못하겠다, 냄새가 난다는 것이 수돗물을 그냥 마시기 힘들다는 대표적인 이유다. 정수장에서 집으로 물을 전달하는 급수관이 오래되어 냄새가 날 수도 있고 무더운 여름에는 오염물질이 정수된 물에 섞일 가능성도 있다. 하지만 사실 ‘그냥 짹짹하다’는 심리적인 요인이 가장 크게 작용한다.

수돗물에서는 가끔 소독약 냄새랑 비슷한 냄새가 날 때가 있다. 이 냄새의 정체는 염소. 수돗물의 정수 과정을 보면 처음과 마지막 단계에서 모두 2번에 걸쳐서 염소로 소독한다. 염소( $Cl_2$ )를 물에 넣으면 ‘하이포아염소산(HClO)’라는 물질이 만들어진다. 이것이 세포를 잘 뚫고 들어가 세균 같은 미생물을 죽이기 때문에 염소는 살균제, 소독제로 널리 쓰인다. 이때 넣는 염소의 양은 정수 시설에서 소독을 다 하고도 남아 있도록 넣는다. 각 가정으로 갈 때까지 미생물의 번식을 막아야 하기 때문이다. 이렇게 남아 있는 염소가 가끔 수돗물에서 기분 나쁜 냄새를 풍기는 것이다. 하지만 수돗물을 받아서 한두 시간 정도 두거나 끓이면 염소는 사라진다.

그런데 염소 소독의 진짜 문제점은 염소가 물속의 유기물과 반응해 ‘트리할로메탄’이라는 종류의 발암물질을 만든다는 것이다. 그래서 염소 소독을 마지막 단계에서만 하는 나라도 있고 오염물질을 반 이상 없앤 중간 단계에서 하는 나라도 있다. 유럽 여러 나라는 아예 염소 대신 오존으로 소독하기도 한다. 염소처럼 많은 화학물질은 양과 사용처에 따라 이롭기도 하고 해롭기도 한 양면성을 갖고 있다. 결국 화학물질의 혜택을 안전하게 누리기 위해서는 얼마를 어떻게 사용하느냐가 무엇보다 중요하다.

### 특급 케미 자랑하는 [분리막] 연구실

분리막이란 액체나 기체의 혼합물에서 필요한 물질만 골라서 통과시키는 막을 말한다. 우리 몸을 구성하고 있는 세포가 바로 이런 막으로 둘러싸여 있고 정수기에서 가장 중요한 역할을 하는 ‘멤브레인 필터’에서 말하는 멤브레인(막)이 바로 ‘분리막’이다.

분리막 기술은 물에서 오염물질을 없애는 정수 과정뿐만 아니라 바닷물에서 물과 염분을 분리해 담수를 얻는 ‘해수 담수화’, 첨단 반도체 산업에서 사용되는 물질의 정제 과정에서도 필요한 중요한 기술이다.

분리막 가운데 특히 중공사막은 1995년에 한국화학연구원에서 개발에 성공하고, (주)효성(당시 (주)동양나이론)이 중공사막 방식의 정수기를 만들면서 우리 생활 속으로 들어오기 시작했다. 화학연구원에서는 물을 깨끗이 하는 데 필요한 분리막 기술은 물론이고 분리막의 성능을 높일 수 있는 새로운 소재도 개발하고 있다.

최근에는 바닷물을 담수화하는 분리막 소재 및 공정 기술에 대한 연구개발이 한창이다. 분리막의 수명을 길게 만들고, 에너지 효율이 높은 분리막 소재 및 공정을 개발하는 것이 목표이다. 이 기술은 성능이 우수한 분리막을 기존보다 저렴한 비용으로 제조할 수 있다는 장점이 있다. 또 해수의 담수화 과정을 비롯해 온실가스 저장, 이차전지, 연료전지, 발전, 반도체 등에 응용 가능한 분리막 역시 개발하고 있다.



중공사 다발로 된 막이 적용된 필터.  
© wikimedia.org

## 공기를 정화하는 화학

“주방에서 요리할 때 만들어지는 미세먼지의 양을 조사한 결과, 밀폐된 곳에서 ‘고등어구이’를 할 때가 가장 많았다.”

이런 내용의 환경부 발표가 전해지면서부터 사람들에게 고등어구이는 하루아침에 멀리해야 할 음식이 되어 버렸다. 당초 이 조사는 요리할 때 생기는 미세먼지의 양을 줄이는 방법을 알아보기 위한 것이었다. 그래서 고등어구이, 삼겹살구이 등 몇 가지 요리를 대상으로 조사한 결과, 고등어구이를 할 때 미세먼지가 PM<sub>2.5</sub> 기준으로 1m<sup>3</sup>당 2290μg, 즉 나쁨 수준의 23배 가까운 양이 만들어진 것이다. 다만 15분만 환기를 하면 이때 생긴 미세먼지의 대부분을 없앨 수 있으니 요리할 때 환기가 중요하다는 것이 발표내용의 핵심이었다. 그러나

고등어 같은 생선을 구울 때는 많은 미세먼지가 발생하므로 환기가 중요하다. © shutterstock.com



이 내용이 기사화되면서 고등어가 마치 미세먼지의 주범인 것처럼 인식됐다. 고등어든 삼겹살이든 굽기 형태의 조리 중에 미세먼지가 많이 만들어지는 것은 사실이지만 이 미세먼지가 건강에 얼마나 해로운지에 대해서는 연구가 진행 중이다. 그러나 이미 미세먼지의 원흉으로 낙인찍힌 고등어의 판매량은 확 줄어들었고 고등어를 파는 상인이나 생선구이 전문점도 수입에 큰 타격을 입었다. 우리나라 사람들이 가장 많이 먹는 생선으로 인기를 누리던 고등어는 억울할 수밖에 없다. 건강에 해로운 미세먼지를 만드는 원인은 다양하니 말이다.

## 공기가 무서워지기 시작했다

공기는 원래 질소가 78%, 산소가 21%, 아르곤이나 이산화탄소 등이 나머지를 차지한다. 그런데 산업이 발달하면서 공장에서 내뿜는 연기나 자동차의 배기가스 등에서 나온 이른바 ‘매연’이 깨끗한 공기에 섞이면서 대기오염이 심각해지기 시작했다. 이 가운데 어느 정도 큰 먼지는 코털이 잘 걸러서 콧속에 코딱

미세먼지에 뒤덮인 서울. 언제부터인가 미세먼지 농도를 확인하는 일이 우리의 일상이 됐다. © shutterstock.com



지를 만들고 기관지 점막에서도 상당 부분 걸러진다. 그런데 공기 중에는 코나 기관지에서 걸러낼 수 없는 아주 작은 먼지도 있다.

보통 지름이 10 $\mu$ m(마이크로미터, 1 $\mu$ m=100만 분의 1m)보다 작은 먼지는 호흡기에서 걸러내지 못하는데, 이렇게 작은 먼지를 ‘미세먼지(Particulate Matter, PM)’라고 한다. 일반적으로 지름이 10 $\mu$ m보다 작은 것을 ‘미세먼지

### 황사, 미세먼지와 어떻게 다를까?

황사는 미세한 흙먼지가 바람에 실려 높이 올라갔다가 땅으로 떨어지는 현상이다. 우리나라에 나타나는 황사는 주로 중국 북부나 몽골의 사막지대에서 만들어진다. 삼국사기에 ‘174년 신라에 흙비(土雨)가 내렸다’는 기록이 있고 조선왕조실록에도 100건 넘는 황사 기록이 있다. 그러니 황사는 우리나라에 아주 오래전부터 있었던 현상이다.

황사를 이루는 흙먼지 알갱이는 규소나 알루미늄, 철처럼 위해성이 낮은 성분으로 구성된다. 사람의 활동에 의해 발생하는 탄소류나 황 및 질소 화합물처럼 위해성이 높은 대기오염물질로 구성된 미세먼지와 다르다. 또한 황사는 지상에서 수km 상공으로 올라가 편서풍이나 제트기류를 타고 이동하는 반면, 중국의 오염된 미세먼지는 보통 지상 1km 정도 높이에 퍼져 있어 이들이 물리적으로 섞일 가능성은 높지 않다. 하지만 황사가 중국의 산업지대를 지나오면서 공기 중의 오염물질을 함께 싣고 온다는 우려가 있고, 실질적으로도 2009~2012년 국내에 발생한 황사 중 50%가 중금속을 포함한다고 국립환경과학원에서 보고했다. 따라서 이제는 자체 독성이 높고 인체에 침투해 문제를 일으키는 미세먼지뿐만 아니라 독성 오염물질을 포함하고 있는 황사에도 세심한 주의가 필요하다.

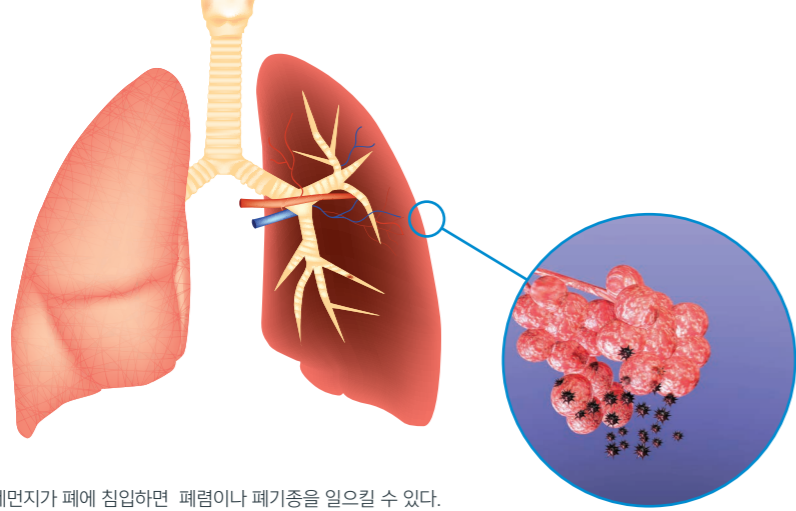
(PM<sub>10</sub>)’라 하고 이 가운데 지름이 2.5 $\mu$ m보다 작은 것을 ‘초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)’라고 부른다. 최근 국제사회에서 통용되는 용어에 맞춰 우리나라에서도 PM<sub>10</sub>을 부유먼지, PM<sub>2.5</sub>를 미세먼지로 부르고 있다.

미세먼지가 문제가 되는 것은 이들이 몸속으로 들어가 폐렴을 비롯한 각종 염증과 치명적인 심혈관계 질병을 일으키기 때문이다. 크기가 작을수록 몸속에 더 잘 퍼질 수 있기 때문에 그 위험성은 더 커진다. 미세먼지는 이미 세계보건기구(WHO)에서 정한 1급 발암물질 목록에 올라가 있을 정도로 몸속에 많이 쌓이면 치명적이다. ‘침묵의 암살자’, ‘침묵의 살인자’라는 듣기만 해도 오싹한 별명까지 얻은 이유가 바로 여기에 있다.

### 사상 최악의 미세먼지 사건 ‘런던 스모그’

오늘날 우리를 이렇게 신경 쓰게 만드는 미세먼지는 요즘 불거진 문제가 아니다. 1661년에 이미 영국의 존 이블린(John Evelyn)은 《매연보고서》라는 것을 써서 석탄을 사용할 때 나오는 연기가 공기를 더럽히고 이 공기를 들이마시면 심각한 폐 질환을 겪게 된다고 알렸다. 그 후 19세기 말 영국의 공기는 산업혁명과 함께 석탄의 사용량이 늘어나면서 늘 자욱한 안개가 연기와 함께 뒤섞여 공기를 희뿌옇고 답답하게 만들었다. 이런 대기 상태를 바로 연기(smoke)와 안개(fog)를 합쳐서 ‘스모그(smog)’라고 한다.

19세기 말에 이미 영국에서는 스모그 때문에 목숨을 잃는 사람들이 나왔다. 시간이 지날수록 사망자 수는 점점 늘어났는데 1952년 12월에는 꼬박 4일 동안 발생한 극심한 스모그로 인해 무려 4000여 명이 사망하며 최고조에 이르렀다. 이른바 ‘런던 스모그 사건’이다. 바람 한 점 없이 고요했던 런던 1952년 12월 5일 저녁이 되자 한 치 앞도 내다볼 수 없을 정도로 안개가 자욱하게 끼었고 기온이 내려가자 집집마다 석탄난로를 때기 시작했다. 굴뚝을 통해 나온 연기가 안개에 합세했고 설상가상으로 공장 굴뚝에서 나오는 매연이 이미 짙어



미세먼지가 폐에 침입하면 폐렴이나 폐기종을 일으킬 수 있다.  
© shutterstock.com

진 안개에 더해지면서 사상 최악의 스모그가 만들어진 것이다. 이렇게 스모그가 심해지자 먼저 동물들이 죽기 시작했다. 뒤이어 사람들도 심장발작을 일으키며 쓰러졌다. 5일째 되던 날 드디어 바람이 불면서 스모그는 깨끗이 사라졌지만 스모그의 후유증으로 인해 사망자는 계속 늘어나 4000여 명에 달했다. 그 후 만성 후유증으로 시달리다 사망한 사람까지 더하면 희생자는 1만 2000여 명이라고 한다.

이렇게 많은 사람이 목숨을 잃은 이유는 석탄이 탈 때 만들어지는 아황산가스 때문이었다. 아황산가스는 자극적인 냄새가 나는 기체인데 코로 들이마시면 목이 아프고 숨쉬기가 곤란해진다. 또 몸속에서 황산으로 변해 염증을 일으키며 폐렴이나 폐가 붓는 폐기종으로 악화되기도 한다.

### 미세먼지의 주요 성분, 아황산가스

아황산가스는 ‘이산화황(SO<sub>2</sub>)’이라고도 하는데 우리가 염려하는 미세먼지의 대표적인 성분이다. 요즘 석탄난로를 때는 집은 거의 없지만 아황산가스는 석탄이나 석유 같은 화석연료를 연료로 사용하는 발전소나 공장을 통해서 계속 배

출되고 있다.

다만 지금 우리는 아황산가스를 줄이기 위한 기술과 장치를 갖고 있다. 그래서 연료를 사용하기 전에 연료에 포함된 황 성분을 미리 제거하는 탈황기술을 사용하거나, 황이 포함된 연료를 태웠을 때 나오는 배기가스 내 기체 황산화물을 없애기 위해 흡수 및 흡착법을 통한 후처리 기술을 사용하고 있다.

한 예로 발전소와 같은 대형 고정원 설비에서 나오는 배기가스에 포함된 아황산가스를 없애는 과정을 보자. 먼저 배기가스가 굴뚝을 타고 공기 중으로 나가기 전에 ‘산화칼슘(CaO)’처럼 아황산가스와 잘 결합하는 물질을 넣어준다. 그러면 ‘황산칼슘(CaSO<sub>4</sub>)’이라는 미세한 고체 물질이 만들어지고 이때 물을 뿌리면 황산칼슘이 물에 묻어 바닥으로 떨어지기 때문에 아황산가스를 배기가스에서 없앨 수 있다.

하지만 자동차와 같은 이동 오염원의 경우 공간적 제약으로 인해 대형 황제거 장치를 장착할 수 없고 흡수 및 흡착제도 지속적으로 공급할 수 없어 고정원에 쓰이는 황 성분 저감용 후처리기술을 적용할 수 없다. 또한 황 성분은 배기가스 정화장치의 주요구성원인 촉매의 성능을 떨어뜨리므로 많은 양의 대기오염 물질이 정화되지 않은 채 대기 중으로 배출된다. 따라서 자동차 연료의 경우 이런 문제를 해결하기 위해 연료 내 황 함유량이 낮은 (초)저유황유를 사용하도록 법적으로 규정하고 있다. 최근에는 선박 연료에 대해서도 황 함유량의 규제를 전 세계적으로 강화하고 있다.

### 따가운 햇별이 만드는 스모그

한편 런던 스모그 사건이 일어나기에 앞서 1943년 여름에는 미국의 로스앤젤레스에서도 스모그가 나타났다. 런던에서처럼 엄청나게 많은 희생자를 낸 것은 아니지만 19세기 말부터 런던에서 자주 발생하던 스모그와는 모양새가 좀 달랐다. 마치 누런 먼지 층이 하늘을 한 겹 덮고 있는 것 같았는데, 눈이 따가

운 증세와 가슴통증을 호소하는 사람들이 점점 늘어났다.

공장이나 쓰레기 소각로에서 나오는 매연의 양을 줄여봤지만 누린 스모그는 사라지지 않았다. 로스앤젤레스 스모그의 주범은 바로 자동차의 배기가스였다. 배기가스에 들어 있는 이산화질소( $\text{NO}_2$ )나 탄화수소(HC)가 햇빛을 받아서 몸에 해로운 물질을 만들고 이 물질이 안개처럼 공중에 떠 있었던 것이다. 배기가스를 통해 나온 이산화질소( $\text{NO}_2$ )가 햇빛, 특히 자외선을 받으면 일산화질소( $\text{NO}$ )와 산소(O)로 분해된다. 이때 산소는 불안정해서 주변에 있는 산소분자( $\text{O}_2$ )와 결합해 오존( $\text{O}_3$ )이 된다. 이 오존이 눈을 따갑게 하고 코나 입으로 들어가면 목을 아프게 하는 것이다. 이런 반응은 햇빛을 받아 일어나기 때문에 ‘광화학 반응’이라고 하며 자외선이 강한 여름에 자주 발생한다. 로스앤젤레스에서 발생한 이런 스모그를 아황산가스와 안개에 의해 일어나는 런던의 일반적인 스모그와 구분하는 의미로 ‘광화학 스모그’라고 한다.

1952년 12월 영국 런던에서는 최악의 스모그가 발생했다.  
사진은 템스 강변에 위치한 영국 국회의사당이 안개에 쌓여 있는 모습이다. © shutterstock.com



자동차 배기가스 검사장.  
보통 자동차에는 배기가스에서 질소산화물이나 일산화탄소를 없애는 촉매변환장치가 달려 있다.  
© shutterstock.com

### 이산화질소도 미세먼지의 주요 성분

로스앤젤레스 스모그의 주요 원인이 된 이산화질소 역시 우리가 걱정하는 미세먼지의 주요 성분이다. 로스앤젤레스 스모그 덕분에 자동차의 배기가스에서 나오는 이산화질소가 또 다른 치명적인 스모그를 일으킨다는 것을 알았고 이것을 계기로 배기가스에 대한 규제도 엄격해졌다.

배기가스에서 이산화질소나 일산화질소 같은 ‘질소산화물’을 없애는 기술도 개발됐다. 이런 공정을 ‘탈질공정’이라고 한다. 휘발유 자동차에 삼원촉매 변환장치를 달아서 질소산화물이나 일산화탄소( $\text{CO}$ )를 수증기( $\text{H}_2\text{O}$ )나 이산화탄소( $\text{CO}_2$ ), 질소( $\text{N}_2$ ), 산소( $\text{O}_2$ ) 같은 무해한 기체로 바꾼 뒤 바깥으로 내보내는 것이 대표적이다. 삼원촉매 변환장치는 값비싼 백금이나 팔라듐처럼 반응을 빨리 일어나게 해주는 촉매 성분을 활용한다. 반면 질소산화물만 선택적으로 저감하는 기술에는 저렴한 구리나 바나듐계 성분을 활용하나 장치의 비용이 비싸다는 문제가 있어 많은 연구가 진행 중이다. 최근까지 언론 보도가 계속되는 ‘폭스바겐 사태’, ‘디젤 배출가스 문제’는 이런 질소산화물 저감기술 수준이 떨어져 발생한 문제라 할 수 있다.



### 스모그 종합세트 '베이징 스모그'

2000년대 초반부터 활발하게 진행되는 산업화로 중국은 눈에 띄는 경제성장을 하고 있지만 그 대가로 극심한 스모그에 시달리고 있다. 그것도 수십 년 전 런던과 로스앤젤레스가 겪었던 두 가지 스모그를 동시에 말이다. 가정에서는 난방으로 석탄을 사용하고 있고 급격하게 늘어난 자동차는 황산화물과 질소산화물이 섞인 배기가스를 공중으로 뿜어내고 있다.

중국의 스모그가 우리나라 사람들에게 초미의 관심사가 되는 것은 스모그 물질, 즉 미세먼지가 우리나라로 넘어오기 때문이다. 물론 우리나라의 미세먼지 상태가 전적으로 중국 탓은 아니다. 우리나라 안에서도 자동차 배기가스, 석탄 화력발전소뿐만 아니라 가정용 보일러, 건설현장 등에서 미세먼지를 내놓기 때문이다. 석탄 야적장에서 내놓는 미세먼지의 양도 꽤 많다. 게다가 이런 미세먼지가 다시 공기 중에 있는 수증기나 오존, 암모니아 같은 물질과 화학반응을 일으켜 황산암모늄이나 질산암모늄 같은 2차 미세물질을 만든다. 실제로 이렇게 만들어진 2차 오염물질이 우리나라 미세먼지의 절반 이상을 차지한다.

### 미세먼지, 일단은 걸러내자

2017년 3월 20일 서울의 미세먼지 농도가 인도의 뉴델리에 이어 세계 2위에 올랐다. 시간이 지날수록 미세먼지 농도는 나쁜 쪽으로 기록을 갈아치우고 있으니 참고 참다가 공기청정기를 사는 사람들이 늘고 있다. 그런데 막상 공기청정기를 사려고 보면 종류도 많고 기능도 여러 가지다. 여기서 잠깐 공기청정기가 어떻게 먼지를 걸러내는지 그 원리를 살펴보자.

공기청정기는 쉽게 말하면 먼지를 걸러내는 장치다. 요즘 공기청정기는 먼지뿐만 아니라 냄새까지도 없애준다. 공기청정기의 원조는 미국의 코트렐(F. G. Cottrell)이 만든 '전기집진장치'로 양전하와 음전하가 서로 잡아당기는 성질을 이용해 먼지를 제거하는 장치이다. 먼지가 섞인 공기에 고전압을 가해 먼지 입

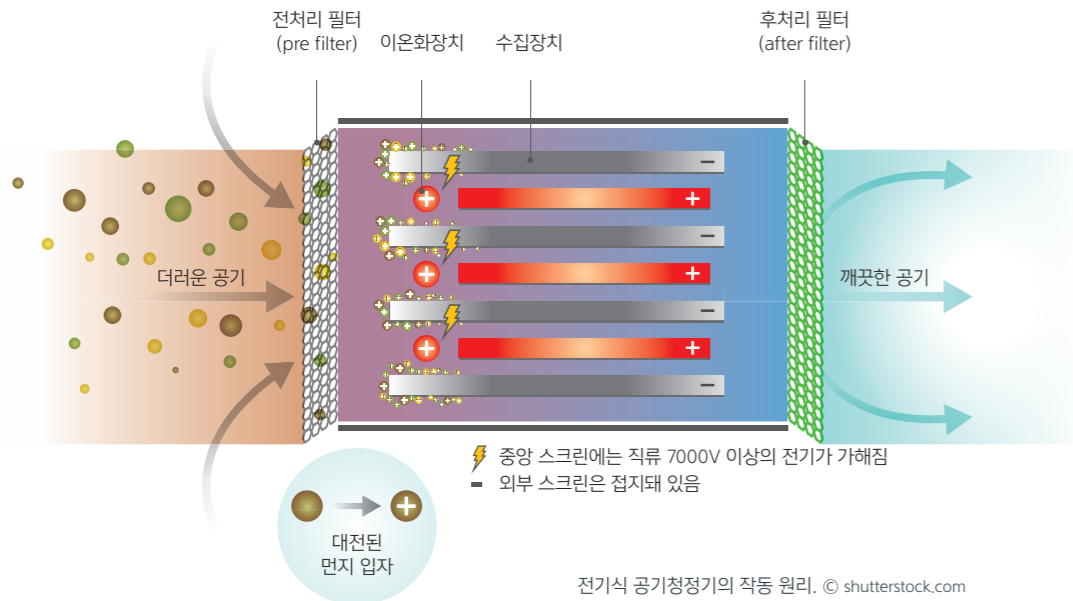
### 미세먼지 어떻게 측정할까?

미세먼지 농도는 보통 1m<sup>3</sup>에 몇 마이크로그램(μg)이 있는지로 나타낸다. 측정 방법에는 크게 다음과 같은 3가지가 있다.

가장 기본적인 방법이 '중량농도법'이다. 일정 시간 동안 필터에 미세먼지를 포집한 뒤 포집 전후 필터의 무게를 비교해 미세먼지의 양을 알아낸다. 다른 방법에 비해 비용은 적게 들지만 온도나 습도 등에 따라 미세먼지의 양이 다르게 측정될 수 있다는 단점이 있다.

'베타선 흡수법'은 미세먼지를 잘 포집할 수 있는 포집 테이프에 1시간 동안 미세먼지가 쌓이도록 한 뒤 베타선을 쬐어 미세먼지가 쌓이기 전후의 베타선의 양을 비교해 미세먼지의 양을 알아낸다. 여기서 베타선은 방사성 물질이 내놓는 방사선의 한 종류이다. 최소 1시간은 미세먼지를 모아야 하기 때문에 시시각각 변하는 미세먼지 농도를 측정하지 못하는 것이 단점이다. '광산란법'은 물질에 빛을 쬐었을 때 빛이 산란되는 정도를 측정해 미세먼지 농도를 구한다. 빛이 닿는 물질이 많을수록 산란되는 양도 많다는 기본적인 원리를 이용한다. 실시간으로 농도를 측정할 수 있다는 장점이 있지만 개수를 측정해 질량으로 환산하는 과정에서 오차가 발생할 수 있다.

자가 음전하(또는 양전하)를 띠게 만든 뒤 양전하(또는 음전하)를 띤 판을 지나게 한다. 그러면 먼지가 반대 전하를 띤 판에 끌려가 달라붙으므로 먼지를 없앨 수 있다. 전기집진장치는 제련소나 시멘트 공장, 화력발전소 등에서 먼지를 제거하는 데 널리 사용되며 가정용 공기청정기로도 만들어진다. 다만 기술 수준이 낮은 제품의 경우 작동 과정에서 허용치 이상의 오존을 발생시킬 수 있기 때문에 가정용 공기청정기나 음이온 발생기가 있는 제품을 사용할 때에는



오존 농도에 주의해야 한다.

요즘 가장 많이 사용하는 공기청정기는 지름 2.5 $\mu$ m의 초미세먼지까지 걸러준다는 헤파필터가 들어 있는 종류이다. 이런 공기청정기는 일반적으로 4단계 필터를 갖추고 있다. 공기가 가장 먼저 거치는 프리필터는 작은 구멍으로 이루어진 망사 모양으로, 눈에 보이는 비교적 큰 먼지를 걸러준다. 그 다음으로 거치는 항균필터는 살균효과가 있는 물질을 섞어서 만들거나 별도로 살균제 성분을 발라서 세균이나 곰팡이가 자라지 못하도록 하는 역할을 한다.

한편 '탈취필터'는 이름처럼 냄새를 없애 주는 필터이다. 일반적으로 숯과 비슷한 활성탄을 사용한다. 활성탄은 미세한 구멍이 무수히 많기 때문에 냄새 유발 분자가 잘 달라붙어 탈취제로 널리 쓰인다. 이렇게 어느 정도 먼지와 냄새가 제거되면 이제 '헤파필터'로 눈에 보이지 않는 미세먼지를 걸러준다.

헤파(HEPA, High Efficiency Particulate Air)필터는 지름이 0.3 $\mu$ m인 입자를 한 번 통과시켜서 99.97% 걸러낼 수 있다. 이 필터는 가느다란 실이 뒤죽박죽 엉켜 있는 구조를 하고 있다. 이 복잡한 구조를 통과하는 과정에서 초미세먼지뿐만 아니라 바이러스까지도 일부 걸러진다.

바깥 공기는 며칠씩 '미세먼지 나쁨' 단계여도 성능 좋은 공기청정기 덕분에 집안 공기는 쾌적하게 유지할 수 있다는 것은 무척 다행이다. 그러나 오랫동안 밀폐를 할 경우 산소 부족, 이산화탄소 증가 등으로 집안 공기질이 거꾸로 나빠질 수 있으니 주기적으로 환기해야 한다는 사실을 기억해 두자. 그리고 아무리 좋은 공기청정기라도 필터를 제때 갈지 않고 청소도 소홀히 한다면 미세먼지 제조기를 집 안에 들여놓는 것과 다를 바 없다는 것도!

