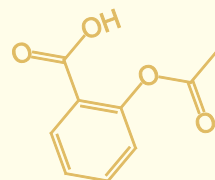
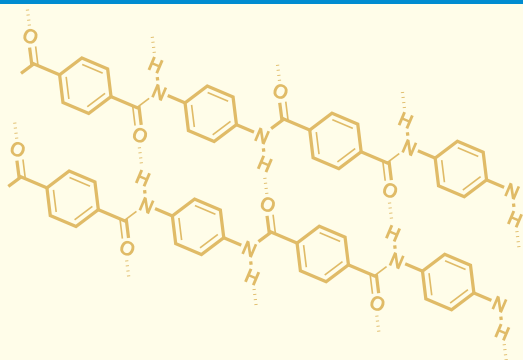
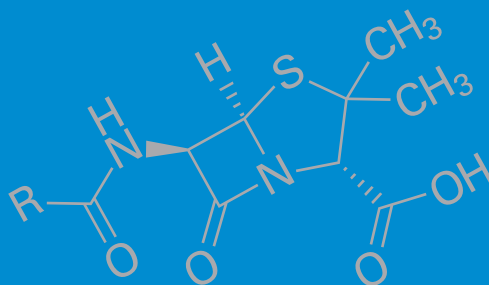


## 깨끗한 화학, 건강한 화학, 지키는 화학

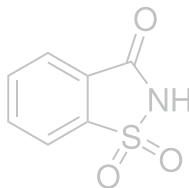


# 안전한 화학

깨끗한 화학, 건강한 화학, 지키는 화학

# 안전한 화학

깨끗한 화학, 건강한 화학, 지키는 화학



## 안전한 화학

2017년 09월 28일 초판 1쇄 인쇄

2017년 09월 30일 초판 1쇄 발행

저자 한국화학연구원, 안전성평가연구소

기획·발간 한국화학연구원

주소 (우 34114) 대전광역시 유성구 가정로 141

전화 (042)860-7114

팩스 (042)861-7022

홈페이지 [www.krict.re.kr](http://www.krict.re.kr)

편집·제작 (주)동아에스앤씨

주소 (우 04370) 서울시 용산구 청파로 109

전화 (02)3148-0745

팩스 (02)3148-0809

출판등록 2016. 3. 9 (제2016-000021호)

디자인 d\_

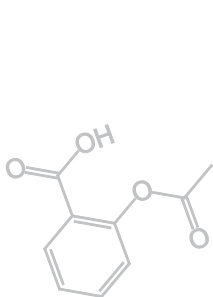
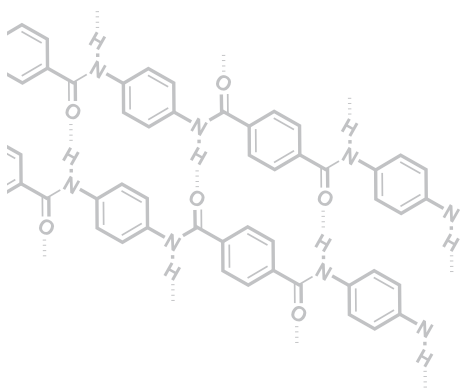
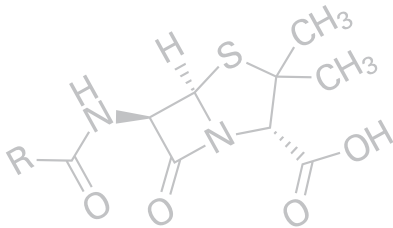
이미지 출처 shutterstock.com

ISBN 979-11-952788-3-1

\* 잘못된 책은 바꾸어 드립니다.

\*\* 본 책의 내용에 대한 무단 전재 및 복제를 금합니다.

\*\*\* 본 책의 내용을 인용할 시에는 반드시 출처를 표기합니다.



요즘 화학에 관한 인식이 무척 안 좋은 것 같습니다. 화학물질 자체에 대한 기피를 말하는 ‘케미포비아(chemiphobia)’라는 표현도 유행어처럼 사용되고 있습니다. 심지어 화학과를 나왔다고 하는 사람이 어느 제품을 소개하면서 ‘이 제품에는 화학물질이 없어서 안전하다’고 소개하는 경우도 보았습니다.

그런데 어떤 물질이 만들어지는 데 화학이 관여하지 않는 경우가 있을까요. 유독 화학이라는 단어가 빠져야 안전하고 좋은 제품이고 안심할 수 있다고 여기는 이유가 무엇일까, 어떻게 하면 화학이 이런 누명에서 벗어날 수 있을까를 생각하면서 이 책을 기획하게 되었습니다.

모든 물질은 다 화학물질로 만들어져 있습니다. 그 분자가 어떻게 결합되는가가 화학반응이고 화학식으로 설명되고 있기 때문입니다. 우리가 살아가는 데 가장 바탕이 되는 물은 수소(H)와 산소(O) 원자로 이루어진  $H_2O$ 이고 식생활의 기본이 되는 소금의 주성분도 나트륨(Na, 소듐)과 염소(Cl) 원소로 이루어진 NaCl입니다.

화학물질은 마치 칼의 양면 같은 면이 있습니다. 제대로 알고 잘 사용하면 화학물질로 인해 피해를 입지 않고 편리하고 풍요로운 삶을 사는 데 도움이 되지만, 적정량을 초과하면 생명까지도 앗아가는 위해성을 가질 수 있습니다.

최근 이슈가 된 가습기 살균제, 살충제 계란, 생리대 등에 대한 논란도 제품이 만들어지고 유통되는 과정에서 화학물질이 잘못 쓰이거나 안전성에 대한 인식과 법·규제가 부족하여 벌어진 일들입니다.

하지만 이러한 논란과 문제가 있다고 해서, 화학물질 자체를 우리 일상생활에서 배제한다면 어떤 일이 일어날까요. 의약품이 없어서 아파도 약을 구하기

힘들고, 소독된 물과 음식을 먹지 못해 위생 상태가 취약해질 것입니다. 우리가 일상적으로 사용하고 있는 스마트폰, 자동차 등도 더 이상 볼 수 없을 것입니다.

모든 화학물질은 인체 위해성을 평가해 안전하지 못한 물질은 등록이 허가되지 않습니다. 그러나 적절한 인체 위해성 평가과정이 없이 화학물질이 유통되는 경우 사고가 발생하게 되어 안전 관리가 매우 중요한 것입니다.

화학전문연구기관으로서 한국화학연구원(화학(연))은 화학물질에 대한 포괄적인 오해를 없애고 일반인들이 누구나 화학제품을 사용할 때 도움이 되는 기본적인 화학지식을 가질 수 있도록 《안전한 화학》을 발간하게 되었습니다. 무엇보다 화학물질의 안전성평가 연구를 주도하는 안전성평가연구소와 함께 이 책을 발간하게 되어 더욱 뜻깊고 기쁘게 생각합니다. 지난번 화학(연)에서 기획한 《맛있는 화학》에 이어 《안전한 화학》을 통해 주변의 화학제품들과 친밀한 관계를 가지고 올바르게 사용할 수 있도록 화학에 관한 진실을 만나 보시기 바랍니다.

이 책이 나오기까지 수고하신 한국화학연구원과 안전성평가연구소, 동아에스앤씨의 편집위원 여러분에게 진심으로 감사드립니다.

한국화학연구원장

이규호



현대문명에서 필수적인 화학물질은 올바르게 사용할 때 인간의 삶을 풍요롭게 하지만 자칫 부주의하게 사용한다면 인간에게 치명적인 위해를 가한다는 사실을 최근의 각종 화학물질 사고를 통해 배울 수 있었습니다.

2011년 가습기 살균제의 사용으로 인해 산모, 영유아 등이 폐질환에 걸리거나 심한 경우 사망에 이른 안타까운 사고는 화학물질 안전관리에 대한 인식부족과 국가제도상의 미비로 빚어진 참담한 결과였습니다.

가습기 살균제에 포함된 PHMG나 PGH와 같은 물질은 호흡기를 통해 체내에 들어와 폐 안에 쌓이고, 폐 조직 안에서 폐섬유화증 등을 유발하는 위험한 물질로 밝혀졌습니다. 당시 화학물질로 제조된 공산품에 대한 법적 관리 체계를 갖추지 못한 상황에서 적절한 인체 위해성 평가과정 없이 판매되면서 끔찍한 사고로 이어졌습니다.

일련의 사건은 ‘케미포비아’라 불릴 만큼 화학물질에 대한 대중의 거부반응을 확산시키고 있습니다. 이렇듯 화학물질은 위험하다는 인식이 팽배하지만, 세대를 거듭해 발전하는 과학기술 안에서 새롭게 개발되었던 많은 화학물질은 이미 우리의 삶에 깊숙이 자리 잡고 있습니다.

그런 의미에서 이번 한국화학연구원에서 기획한 《안전한 화학》 발간에 공동으로 참여하게 된 것을 매우 기쁘게 생각합니다. 두렵고 위협적인 대상으로 여겨지고 있는 화학물질의 이면에는 현대사회의 쾌적한 삶을 영위할 수 있도록 하는 순기능이 분명한 사실로 존재합니다.

이번에 발간하는 《안전한 화학》에서는 위생과 건강, 안전을 위해 일상생활을 비롯한 산업 전반에 쓰이는 여러 가지 화학물질들을 ‘깨끗한 화학’, ‘건강한 화

학’, ‘지키는 화학’이라는 이름 아래 구성했습니다. 각 장(章)은 화학물질을 둘러싼 역사적 기록과 알기 쉽게 설명한 화학의 원리, 생활 속 유익한 정보 등으로 꼼꼼하게 지면을 채워 우리가 미처 알지 못했던 화학의 진면목을 알아볼 수 있도록 했습니다. 더불어 이런 화학물질이 인체에 어떤 영향을 미치는지 사전에 확인하는 안전성평가의 원리를 소개하고, 화학물질을 안전하게 관리하기 위한 법과 제도에 이르는 화학물질 관리체계까지 두루 담았습니다.

이 분야의 한 축을 책임지는 안전성평가연구소는 의약품, 농약, 건강기능식품, 화장품, 식품첨가물 등에 포함된 화학물질과 생물산업제품의 안전성을 평가하고, 이와 관련된 안전성평가를 주도하는 정부출연 연구기관입니다. 1980년 설립된 이후 국내 안전성평가연구의 체계를 구축해 오며, 화학물질 사고를 예방하고 안전한 화학물질을 국민에게 제공하기 위해 최선의 노력을 다하고 있습니다.

단순히 화학물질로 인한 위험과 사고를 예방하는 차원에서 나아가 화학물질이 가져온 놀라운 변화의 순간을 살펴보면서 우리의 생활을 이롭게 만드는 화학물질의 깊고 넓은 세계를 즐거이 누리길 바랍니다.

그리하여 한국화학연구원과 안전성평가연구소에서 한뜻으로 만든 《안전한 화학》의 마지막 페이지를 덮었을 때, 화학물질에 대한 오해와 편견을 조금이나마 털어낼 수 있는 기회가 되길 바랍니다.

목차

|     |     |
|-----|-----|
| 발간사 | 004 |
| 서문  | 006 |

CHAPTER 01  
깨끗한 화학

|                |     |
|----------------|-----|
| 때를 쏙 빼는 세제     | 012 |
| 나쁜 세균을 없애는 살균제 | 024 |
| 물을 깨끗하게 하는 화학  | 036 |
| 공기를 정화하는 화학    | 050 |

CHAPTER 02  
건강한 화학

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 피부 건강을 지키는 화장품     | 064 |
| 굼주림 걱정을 덜어준 비료와 농약 | 076 |
| 아픈 데를 고쳐주는 의약품     | 088 |
| 식생활을 바꾼 식품첨가물      | 100 |

CHAPTER 03  
지키는 화학

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 몸을 지키는 합성섬유            | 114 |
| 단단하게, 똑똑하게 외형을 지키는 신소재 | 128 |
| 화재에 견디는 화학             | 140 |
| 사회의 안전과 안보를 지키는 화학     | 152 |

CHAPTER 04  
화학물질의 안전

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 화학물질의 안전성 평가는 이렇게! | 168 |
| 화학물질의 안전한 관리를 위해   | 182 |
| 화평법, A to Z        | 200 |

|      |     |
|------|-----|
| 참고문헌 | 214 |
|------|-----|

## 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.

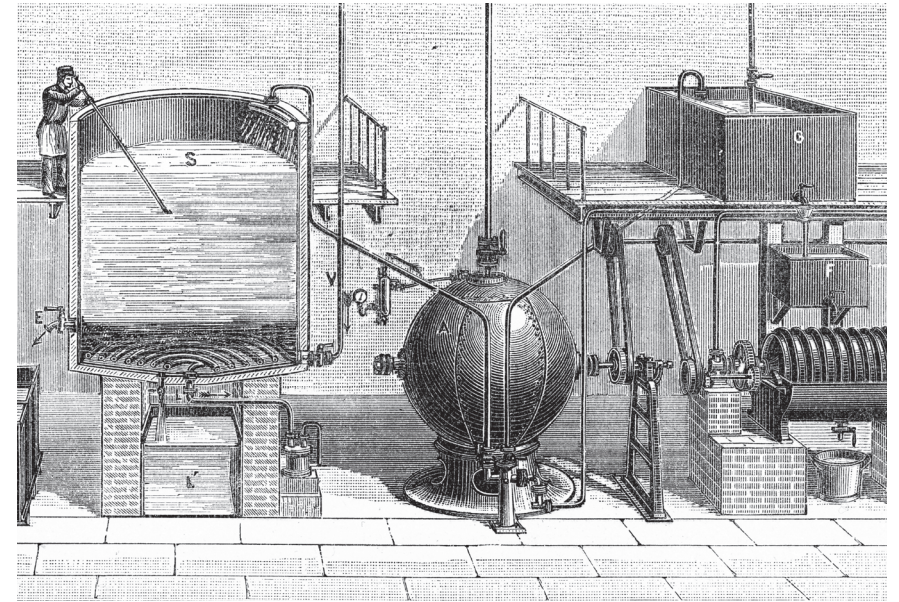
빨래를 해 주는 새로운 기계가 개발됐다 해도, 빨래를 하는 데 빠질 수 없는 것이 바로 세제다. 세제는 맹물로는 빠지지 않는 얼룩을 순식간에 빼 주고 누렇게 변해버린 옷을 새하얗게 만드는 마법과도 같은 물질이다.

### 때를 쓱 빼 주는 비누가 나타나다

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



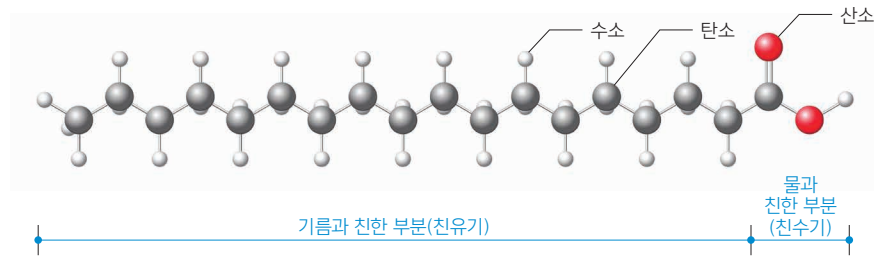
1875년 공장에서 비누를 만드는 과정을 보여주는 그림. © shutterstock.com

12세기에는 잿물 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 톱 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

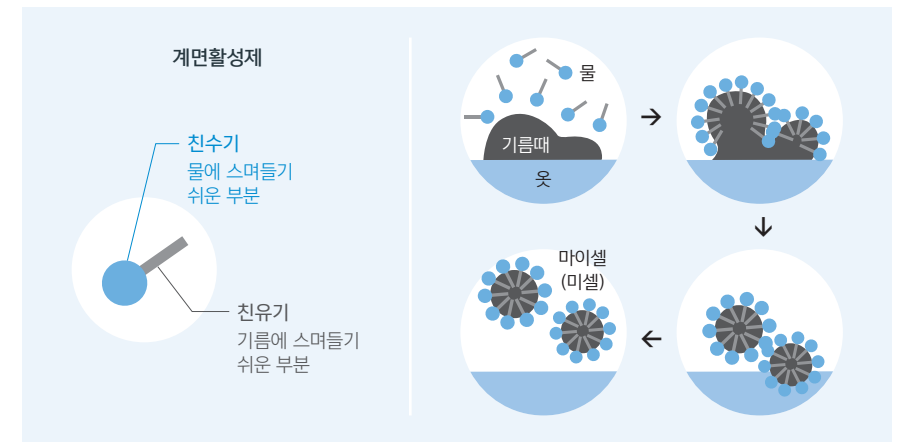
비누가 기름때를 없앨 수 있는 것은 비누가 갖고 있는 재미있는 화학 구조 덕분이다. 비누 분자는 지방산으로 이루어진 막대사탕처럼 생겼는데, 탄소(C)와 수소(H) 여러 개가 연결된 기다란 막대 부분은 기름과 잘 결합하고 끝에 사탕처럼 붙어 있는 부분은 물과 잘 결합한다. 본래 물과 기름은 상극이어서 서로 섞이지 않지만, 한 분자 안에 물과도 친하고 기름과도 친한 성질을 다 갖고 있으니 이는 비누 분자가 물과도 섞이고 기름과도 섞일 수 있다는 뜻이다. 식물 유 같은 천연 유지의 지방산 알칼리염이 바로 우리가 말하는 비누이다. 사탕 부분은 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 때를 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 파고들어가 감싸면서 옷으로부터 때를 완전히 분리시킨다. 비누 분자가 때를 동그랗게 둘러싼 공 모양의 구조를 '마이셀'이라고 한다.



떠 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 부풀리는 데 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 흡입을 내지 않는 부드러운 연마제로 작용해 오염된 표면에서 때를 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 센물을 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 헹궈내는 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

## 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 지을 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.

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 으레 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

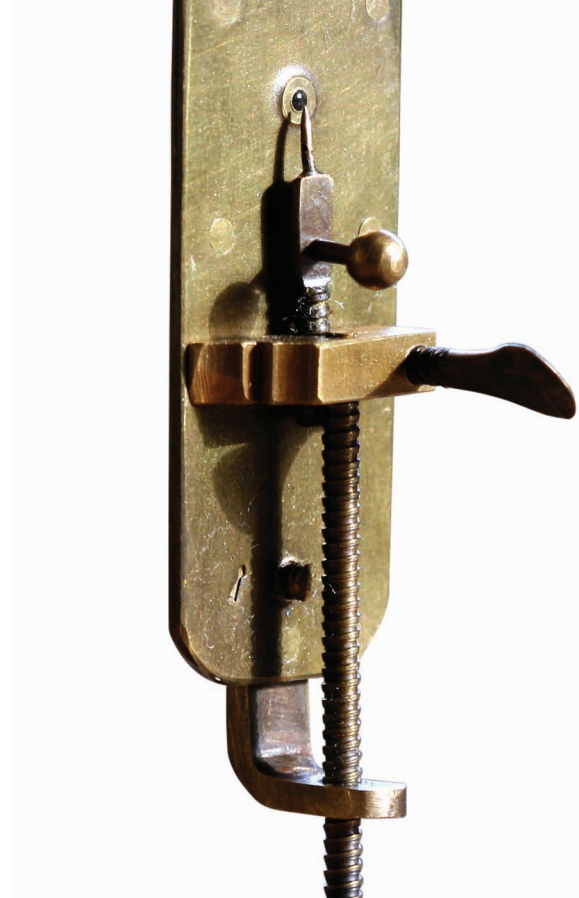
병원에서 손 씻기가 중요하다는 사실은 19세기 중반 헝가리 의학자 제멜바이스가 제기했다. © shutterstock.com



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 덜어서 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 터줏대감처럼 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 이로운 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. 우리에게서는 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 분해되는데, 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 행구는 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. 찜찜 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 쬔 때 살갓을 별정계 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 얹어 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.

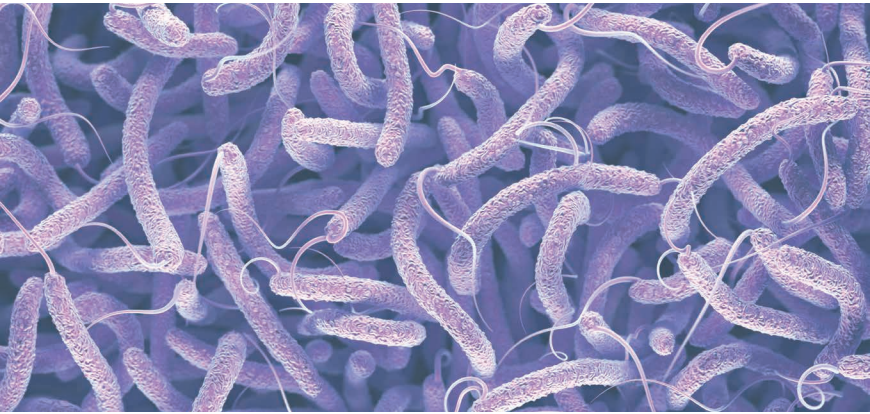


1854년 여름 영국의 런던은 또다시 콜레라의 공격을 받았다. 1832년 2만 명이 넘는 사람이 목숨을 잃었고 1848년에 또 1만 5천 명 넘게 콜레라에 희생된 다 음이었다. 멀쩡하던 사람도 하루아침에 쓰늘한 주검으로 만드는 이 무서운 병 이 왜 생기는지 사람들은 알지 못했다.



가난한 동네에만 많이 생  
기니 ‘부자들이 뿌린 독극  
물’ 때문이라는 얘기도 들  
었고 ‘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  
판(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 환자들의 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 기세는 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.

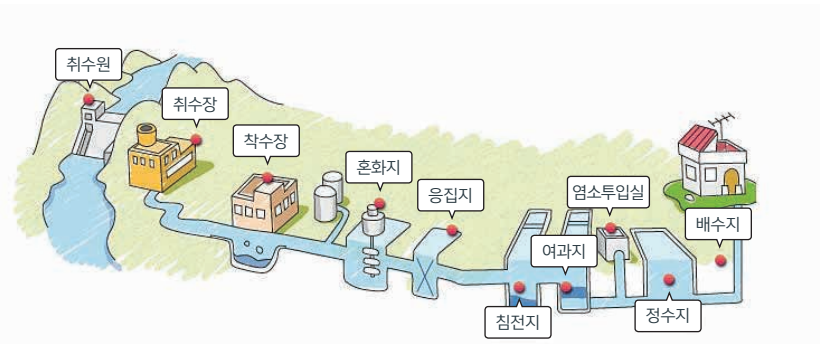
### 강물은 이렇게 수돗물이 된다

수돗물의 정수 과정은 맨 처음 댐에 모아둔 물이나 강물을 직접 끌어오는 것에서 시작한다. 이 물은 ‘침사지’라는 곳으로 가는데, 여기서 물을 가만히 두면 물 속에 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 걸러지지 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 스팀처럼 만든 것이다. 스팀은 습기뿐만 아니라 냄새나 불순물을 제거하는 데 옛날부터 많이 사용되어 왔다. 스팀 표면에 무수히 많이 있는 미세한 구멍에 작은 입자가 잘 달라붙기 때문이다. 이렇게 고체 표면에 기체나 액체 속 입자가 달라붙는 현상을 ‘흡착’이라고 하는데, 스팀은 좋은 흡착제이다. 이런 스팀의 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( $O_3$ )은 매우 불안정한 물질로 보통 산소( $O_2$ ) 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 4단계로 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.



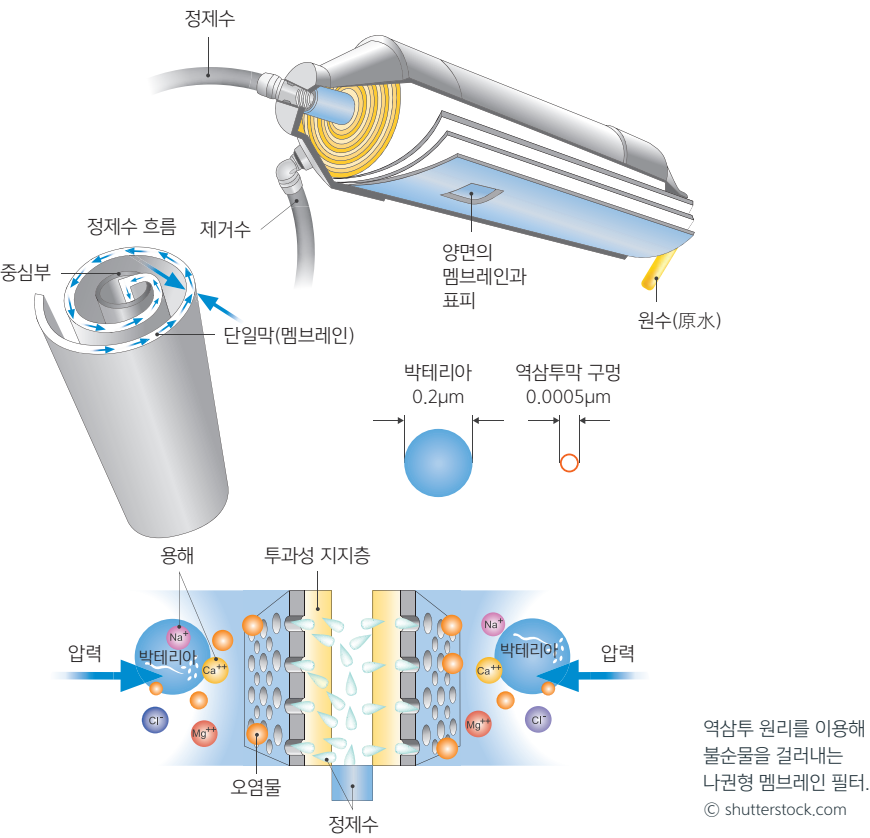
그런데 만약 이 삼투압과 같은 압력을 소금물 쪽에 가한다면 어떻게 될까. 이 압력에 막혀 순수한 물이 소금물 쪽으로 좀처럼 넘어오지 못할 것이다. 그리고 이때 삼투압보다 더 센 압력을 가한다면? 힘에 밀려 소금물이 막을 통과해 물 쪽으로 넘어가려고 할 것이다. 그런데 소금이 물에 녹아 생긴 염화이온과 나트륨(소듐)이온은 막을 잘 통과하지 못하지만 물은 잘 통과해 순수한 물 쪽으로 넘어가게 된다. 이것을 삼투가 일어나는 반대방향으로 일어난다고 해 ‘역삼투’라고 한다.

### 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.

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  $0.0001 \sim 0.001\mu\text{m}$  ( $1\mu\text{m} = 100$ 만분의 1m) 정도로 작은 입자까지 잘 걸러내는 필터를 사용하면 세균은 물론 칼슘이온이나 마





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, 나권형, 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 수돗물을 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

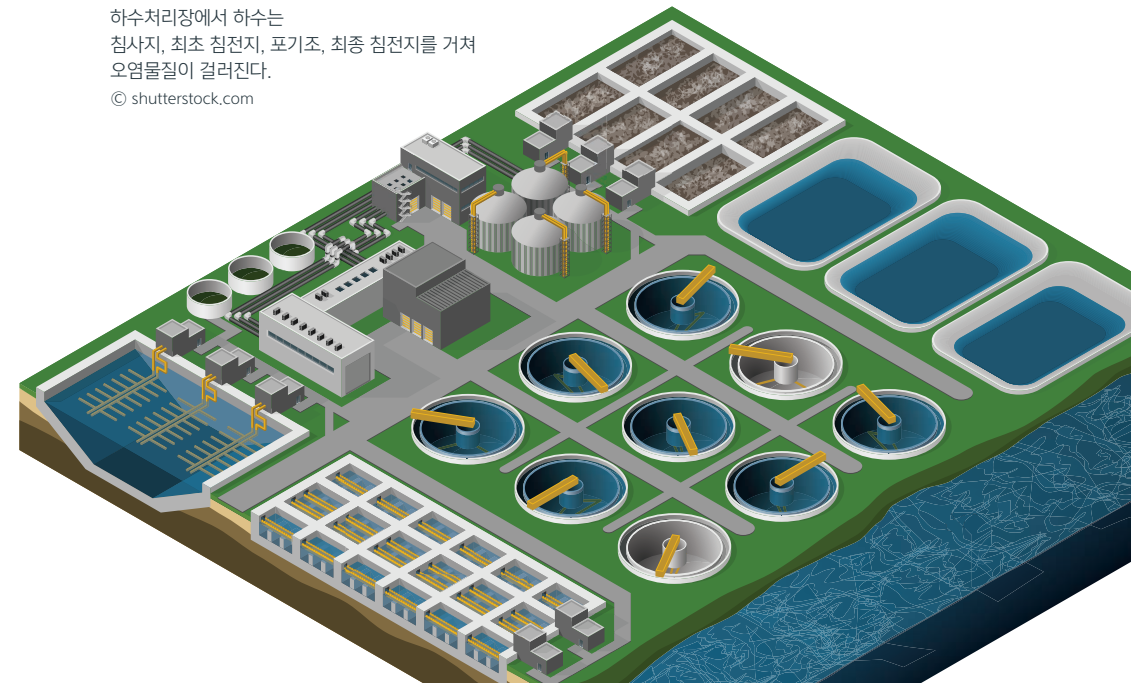
어 있기 때문에 먼저 ‘침사지’에서 쓰레기를 포함해 커다란 오염물을 건져낸다. 그 다음 양을 적절하게 조절해서 ‘최초 침전지’로 보내면 여기서 무거운 오염물질은 가라앉고 가벼운 오염물질은 물속에 떠 있게 된다. 가벼운 오염물질이 포함된 물은 ‘포기조’라는 곳으로 옮겨져 미생물에 의해 분해된다. 미생물이 오염물을 분해할 때 대량의 산소가 필요하기 때문에 공기를 끊임없이 불어넣는다. 이곳에서는 녹조나 적조를 일으키는 질소와 인도 없앤다.

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 찜찜할까?

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 찹찹하다’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( $\text{Cl}_2$ )를 물에 넣으면 ‘하이포아염소산( $\text{HClO}$ )’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 저감, 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  $PM_{2.5}$  기준으로  $1m^3$ 당  $2290\mu g$ , 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  $10\mu\text{m}$ (마이크로미터,  $1\mu\text{m}=100\text{만 분의 } 1\text{m}$ )보다 작은 먼지는 호흡기에서 걸러내지 못하는데, 이렇게 작은 먼지를 ‘미세먼지(Particulate Matter, PM)’라고 한다. 일반적으로 지름이  $10\mu\text{m}$ 보다 작은 것을 ‘미세먼지

#### 황사, 미세먼지와 어떻게 다를까?

황사는 미세한 흙먼지가 바람에 실려 높이 올라갔다가 땅으로 떨어지는 현상이다. 우리나라에 나타나는 황사는 주로 중국 북부나 몽골의 사막지대에 서 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.

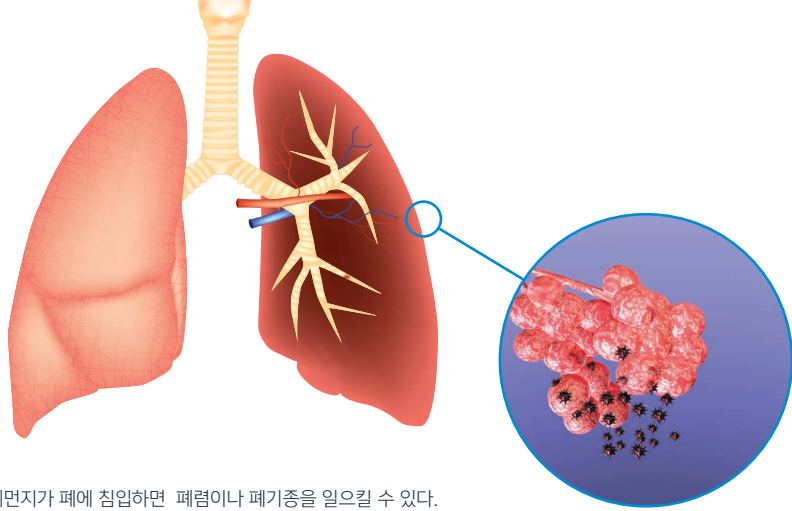
( $\text{PM}_{10}$ )’라 하고 이 가운데 지름이  $2.5\mu\text{m}$ 보다 작은 것을 ‘초미세먼지( $\text{PM}_{2.5}$ )’라고 부른다. 최근 국제사회에서 통용되는 용어에 맞춰 우리나라에서도  $\text{PM}_{10}$ 을 부유먼지,  $\text{PM}_{2.5}$ 를 미세먼지로 부르고 있다.

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( $\text{SO}_2$ )’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( $\text{CaO}$ )’처럼 아황산가스와 잘 결합하는 물질을 넣어준다. 그러면 ‘황산칼슘( $\text{CaSO}_4$ )’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( $\text{O}$ )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 먼지 뿐만 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

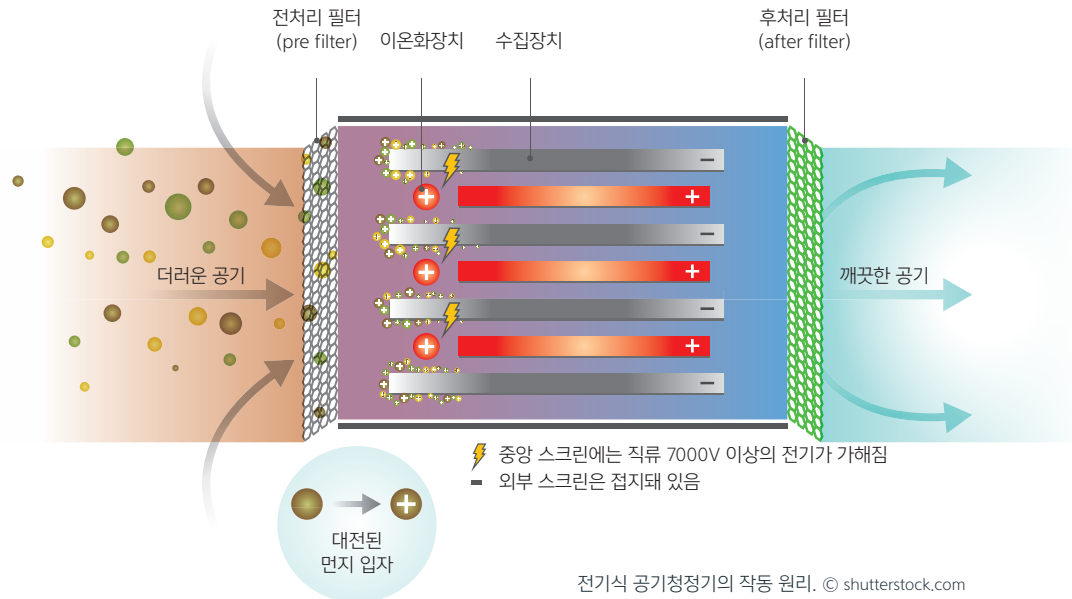
### 미세먼지 어떻게 측정할까?

미세먼지 농도는 보통 1m<sup>3</sup>에 몇 마이크로그램( $\mu\text{g}$ )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 쏘여 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 쏘었을 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



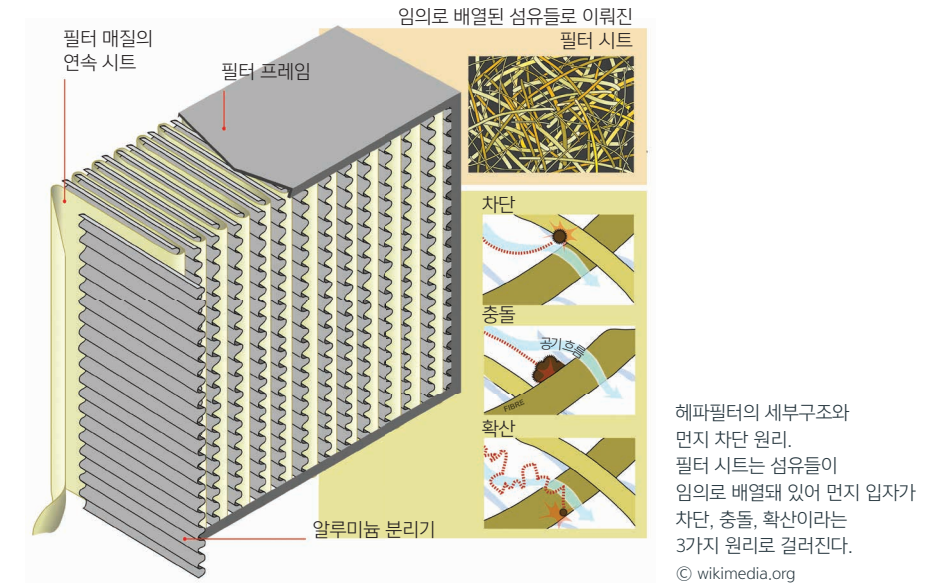
오존 농도에 주의해야 한다.

요즘 가장 많이 사용하는 공기청정기는 지름  $2.5\mu\text{m}$ 의 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  $0.3\mu\text{m}$ 인 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 집 안 공기는 쾌적하게 유지할 수 있다는 것은 무척 다행이다. 그러나 오랫동안 밀폐를 할 경우 산소 부족, 이산화탄소 증가 등으로 집 안 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!



## CHAPTER 02



## 건강한 화학

피부 건강을 지키는 화장품  
굼주림 걱정을 덜어준 비료와 농약  
아픈 데를 고쳐주는 의약품  
식생활을 바꾼 식품첨가물

피부 속 수분을 지키거나 피부에 해로운 자외선을 차단하는 화장품, 농작물을 키우는 데 쓰는 비료와 농약, 질병을 치료하는 의약품, 식료품의 신선함과 맛을 더하는 식품첨가물. 모두 우리 몸을 건강하게 만드는 데 일조하는 제품이며 특히 화학으로 그 기능과 역할이 더 풍성해졌다. '건강한 화학'의 세계를 만나보자.



“보습의 끝판왕!”

어느 화장품 광고에 식빵이 등장했다. 식빵 한쪽 면에만 버터나 잼을 바르듯, 화장품을 꼼꼼히 펴 바른다. 그리고 토스터에 넣어 굽는다. 시간이 지나 ‘톡’ 하고 올라온 식빵. 새까맣게 타서 거의 숯이 되었다. 그러나 이때 식빵을 뒤집어 화장품을 바른 면을 보여주는데 놀랍게도 뽀얀 식빵 색깔이 그대로다. 토스터의 뜨거운 열기 속에서도 식빵의 촉촉함을 지켜내는 화장품의 보습능력은 구구절절 말이 필요 없었다. 딱 한 마디, 보습의 끝판왕!

### 수천 년 전부터 시작된 화장

요즘 크림이나 로션 등 기초 화장품 광고에서 강조하는 것 중 하나가 바로 보습이다. 피부 밑에서 수분이 든든하게 받쳐주지 못하면 탄력도 떨어지고 처지면서 주름이 생기기 때문이다.

요즘은 자연스러움을 강조한 연한 화장이 유행이어서 피부 자체에 관심이 많다. 하지만 화려한 색조화장이 유행했던 때도 있었다. 그리고 화장에 관심 있는 남성들도 늘어나 화장이 더 이상 여성들의 전유물도 아니다.

화장의 역사는 시간을 거슬러 올라가 수천 년 전 고대 이집트에서부터 시작된다. 이 시기 왕의 무덤에서 발견된 벽화나 투탕카멘의 황금마스크, 네페르티티 왕비의 흉상에서 볼 수 있는 굵고 까만 아이라인은 고대 이집트인들의 상징과도 같은 화장법이다. 남녀 모두 화장을 했으며 이들의 화장은 아름답게 보이는 것을 넘어서 지도자로서 신과 같은 존재라는 것을 강조하는 수단으로도 의미가 있었다. 또 2010년에 발표된 연구에 의하면 이런 눈 화장에 쓰인 ‘납염



과거에는 화장할 때 납을 많이 사용했다. 고대 이집트의 지도자는 납염으로 굵고 까만 눈화장을 했고(왼쪽), 영국 엘리자베스 1세는 납으로 만든 하얀 가루를 이용해 얼굴을 하얗게 분칠했다(오른쪽). © shutterstock.com

(lead salt)’이라는 물질이 산화질소를 만들어 눈병에 대한 면역력을 키워준 효과도 있었다고 한다.

한편 고대 그리스와 로마인들 역시 화장을 했다. 이들의 화장은 얼굴을 하얗게 하는 것이 특징인데 이는 땀별에서 피부를 까맣게 그을리면서 일을 하는 하층민이 아니라는 것을 강조하기 위해서였다. 꿀과 올리브오일로 피부를 촉촉하게 유지하고 목탄으로 눈썹을 그리기도 했다. ‘레드오커’라는 황토 같은 붉은 흙을 볼과 입술에 바르는 색조화장까지 했다.

이렇게 화려하게 진화하던 화장이 중세에 와서는 전혀 다른 방향으로 흘러간다. 화려함이 곧 죄로 인식되는 사회적인 분위기 속에서 정결함만을 극단적으로 강조하는 화장이 유행했다. 눈 밑에 진한 다크서클을 만들어 얼굴을 어둡게 만들고 입술은 파랗거나 검게 칠했다. 그러다 14세기부터 시작된 르네상스와 함께 화려한 화장이 부활한다.

이때부터 화장이 여성들만의 문화가 됐고 귀족뿐만 아니라 일반인들도 조금씩 화장을 하기 시작했다. 이 시대 화려한 화장의 전형을 보여주는 사람은 바로 영국의 여왕 엘리자베스 1세이다. 이때도 얼굴을 하얗게 분칠을 했는데 이때 사용한 납 성분이 섞인 가루 때문에 여왕의 얼굴은 날이 갈수록 창백하다 못해 파랗게 변해갔다고 한다.

하얀 피부는 동서양을 막론하고 동경의 대상이었는지 우리나라 사람들도 오래 전부터 피부를 하얗게 하는 화장을 해 왔다. 이미 고조선이 세워지기 전부터 북방의 읍루인들은 돼지기름을 발라 겨울철에 피부를 보호했다고 하며, 남방의 변한인들은 쑥이나 산마늘 등을 이용해 얼굴을 하얗게 하는 데 사용했다고 한다. 단군 설화에 쑥과 마늘이 등장하는 이유도 흰 피부를 귀하게 여기던 당시의 풍습과 관련이 있는 것으로 보인다. 화장에 대한 기록이 뚜렷하게 남은 때는 삼국시대부터다. 고구려 벽화에는 볼연지를 한 사람들이 보이고 회화에

현대에는 수많은 화장품이 사용되고 있다. © shutterstock.com



묘사된 백제 사람들은 은은한 화장을 즐겼다. 특히 백제의 화장술은 이웃나라 일본에까지 전해졌다고 한다. 신라 사람들의 화장은 조금 화려했다. 분을 발라 얼굴을 하얗게 하는 것은 기본, 눈썹도 그리고 볼과 입술도 발그레하게 화장했다. 고려나 조선에 이르러서는 기생은 화려하게 귀족이나 양반은 은은하게 화장을 해서 화장으로 신분을 드러냈다.

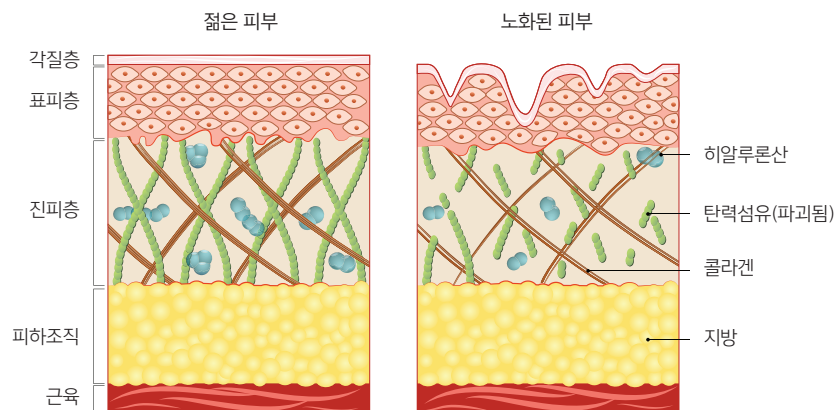
우리나라에 요즘과 같은 현대식 화장품이 등장한 것은 1915년에 ‘박가분’이라는 분이 만들어지면서부터다. 그 후 1947년에 ‘동동구리무’라는 크림이 나와 크게 인기를 끌었고 요즘은 화장품의 종류가 일일이 나열하기 어려울 정도로 많다.

### 우리 몸에서 가장 큰 기관, 피부

19세기에 들어서면서 화학적 합성을 통해 화장품이 만들어지기 시작했고, 이후 많은 사람들이 화장품을 일상적으로 사용하고 있다. 화장품은 피부에 바르는 화학물질이다. 피부는 우리 몸 최전선에서 해로운 물질이나 자극이 몸속으로 들어오지 못하도록 막아주는 1차 방어막이자 우리 몸에서 가장 큰 기관이다. 그리고 땀을 흘려 체온을 조절해주는가 하면 수분이 밖으로 빠져나가지 못하게 막는다. 또 뜨겁고 차가운 것을 느끼는 감각 기능도 피부에서 일어나며 햇빛을 받아 비타민 D를 합성하기도 한다.

피부는 두께가 얇으면 0.2mm, 두꺼워도 6mm 정도에 지나지 않는 얇은 막이지만 그 안을 들여다보면 다시 3개의 층으로 이루어져 있다. 가장 바깥에 있는 ‘표피’는 딱딱한 케라틴질로 이루어져 수분 손실과 병원체의 침입을 막아주는 각질층과 표피세포로 구성되어 있으며 피부를 구릿빛으로 만드는 멜라닌이 바로 표피에 있는 멜라닌 세포에 의해서 만들어진다. 표피 아래에는 ‘진피’가 있는데 피부 탄력에 중요한 역할을 하는 콜라겐과 결합조직이 대부분을 차지한다. 나이가 들면 콜라겐 함유가 가늘어지고 섬유 사이에 빈 공간이 많아져 피부가 처





피부의 구조. © shutterstock.com

지고 주름이 생긴다. 콜라겐이 바로바로 채워지면 피부는 탄력을 유지할 수 있지만 20대 중반 이후로 콜라겐이 만들어지는 속도는 점점 줄어드니 피부는 조금씩 탄력을 잃을 수밖에 없다.

마지막으로 피부 맨 아래쪽에 있는 피하조직은 지방세포로 이루어져 있다. 이곳은 폭신폭신했던 조직을 통해 외부 충격을 흡수하고 영양분을 저장한다.

### 촉촉함과 부드러움을 지키는 기초 화장품

이런 피부가 우리 몸을 위해 할 일을 제대로 하기 위해서는 피부 조직 자체가 건강해야 한다. 다시 말해서 수분과 유분이 적당히 유지돼야 하고 영양분도 충분해야 한다는 뜻이다. 세수를 하고 나서 바르는 화장수(액체), 로션, 크림처럼 피부와 가장 먼저 만나는 화장품을 ‘기초 화장품’이라고 한다.

피부에서 수분과 유분을 유지하려면 피부에 수분이나 유분을 더해주거나 피부에서 날아가지 못하도록 막으면 된다. 우리 피부는 이미 수분이 날아가지 못하

도록 하는 장치를 가지고 있는데 대표적인 것이 바로 피부를 한 겹 뒤덮고 있는 ‘피지’이다.

표피에 있는 ‘세라마이드’ 성분도 수분을 붙잡아 둔다. 세라마이드는 가끔 보습력을 강조한 화장품의 광고 문구에서도 볼 수 있는데, 세제에 들어 있는 계면활성제처럼 물과 친한 성분과 기름과 친한 성분을 모두 가지고 있다. 그래서 피지와 함께 피지 바로 아래층의 수분을 붙잡아서 보호막을 형성하는 것이다. 한편 피부에는 아미노산이나 젖산, 요소 그리고 이름은 조금 어렵지만 ‘피롤리돈 카르복실산(PCA)’처럼 수분을 붙잡아 둘 수 있는 ‘천연보습인자’라는 물질도 있다. 이들은 물에 잘 녹기 때문에 목욕을 오래 하면 각질층에 있는 천연보습인자가 물에 씻겨 나가 피부가 쉽게 건조해진다. 피부 건조증이 심한 사람들에게 의사도 목욕을 너무 자주 하지 말라고 권하는 이유는 바로 이 때문이다. 따라서 피부의 보습을 가장 큰 임무로 삼는 기초 화장품에는 피부가 가지고 있는 천연보습인자와 비슷한 성분이나 글리세린, 히알루론산 같이 보습 능력이 뛰어난 성분이 널리 사용된다. 이 외에도 올리브오일 같은 식물성 기름도 수분이 날아가는 것을 막는 성분으로 많이 사용된다.

### 자외선을 막아주는 보호막 화장품

피부 세포를 위한 건강한 환경을 만들어주는 화장품을 기초 화장품이라고 한다면 강력한 에너지로 피부를 공격하는 자외선을 막거나 얼굴을 더 뽀얗고 하얗게 만드는 등 특별한 능력을 가진 화장품을 ‘기능성 화장품’이라고 한다.

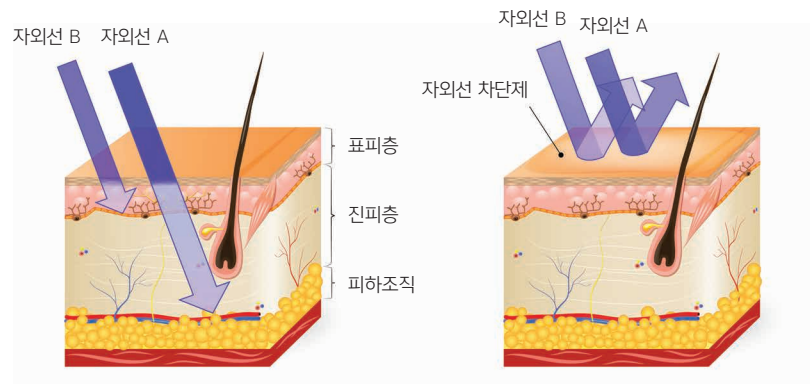
자외선은 눈에 보이지는 않지만 강력한 에너지로 세포를 공격한다. 공격받은 세포는 DNA에 변형이 생기고 이것을 제대로 복구하지 못하면 제 기능을 하지 못하고 망가지거나 심한 경우에는 암세포로 변형되기도 한다. 바로 이 점 때문에 피부에 있어서 자외선은 늘 경계해야 할 대상이다. 그래서 자외선이 강한 여름이나 야외 활동이 길어질 때에는 평소 화장을 하지 않는 사람들도 자외선



차단제만큼은 발라야 한다.

자외선 차단제는 자외선을 피부 속으로 들어오지 못하도록 표면에서 반사시키거나 피부에 도달한 자외선을 흡수해 피부 안쪽까지 들어가지 못하게 하는 방법으로 자외선을 막는다. 자외선 가운데 우리에게 영향을 미치는 자외선은 자외선 A와 B다. 이 가운데 자외선 A를 차단하는 물질로는 이산화타이타늄( $\text{TiO}_2$ )과 산화아연( $\text{ZnO}$ )이 주로 쓰인다. 자외선 차단제를 발랐을 때 피부를 허영게 만드는 바로 그 주인공이다. 이들은 모두 자외선 A를 잘 흡수하는데 표면을 유리 같은 물질로 코팅하면 피부 표면에서 자외선을 일단 반사시키기 때문에 자외선 차단 효과를 더 높일 수 있다.

한편 자외선 B를 차단하는 물질로는 아미노벤조산이나 벤조페논 같은 물질이 쓰인다. 이들이 자외선을 흡수하면 분자의 에너지가 높아졌다가 다시 원상태로 떨어지는데 이때 줄어드는 에너지만큼 열이 나온다. 자외선 차단제를 바르고 나서 약간 화끈거리는 느낌이 드는 것은 자외선 B가 잘 차단되고 있다는 증거이다.



자외선 A는 파장이 길어 진피 깊숙이까지 도달해 장기적인 위험성이 높고, 자외선 B는 파장이 비교적 짧아 진피에는 이르지 못하지만 표피에 에너지를 집중시켜 짧은 시간에 큰 피해를 준다. 피부에 자외선 차단제를 바르면 자외선 A와 B를 막아 피부를 보호할 수 있다. © shutterstock.com



아열대 기후인 미얀마에서는 타나카라는 전통 화장품을 사용해 피부를 보호한다. © shutterstock.com

자외선 차단  
지수,  
SPF와 PA

자외선 차단제 용기에는 SPF30, SPF50 또는 PA+, PA++ 같은 표시가 있다. 여기서 SPF는 자외선을 전체적으로 얼마나 차단해주는지를 나타내는 지수이다. 예컨대 SPF30인 자외선 차단제는 피부에 들어온 자외선의 1/30, 그러니까 대략 3%만 피부에 도달하고 나머지는 차단된다는 뜻이다. 마찬가지로 SPF50은 1/50, 즉 2%만 피부에 도달하고 나머지 98%는 차단된다는 뜻이다. 한편 PA는 자외선 A를 얼마나 차단해주는지를 나타내는 지수다. +의 개수가 많을수록 자외선 A를 많이 차단해준다고 생각하면 된다.



쌀을 씻을 때 나오는 미감수(쌀뜨물)에는 다양한 영양물질과 비타민이 풍부해 피부 미백과 탄력 증진에 도움이 된다. © shutterstock.com

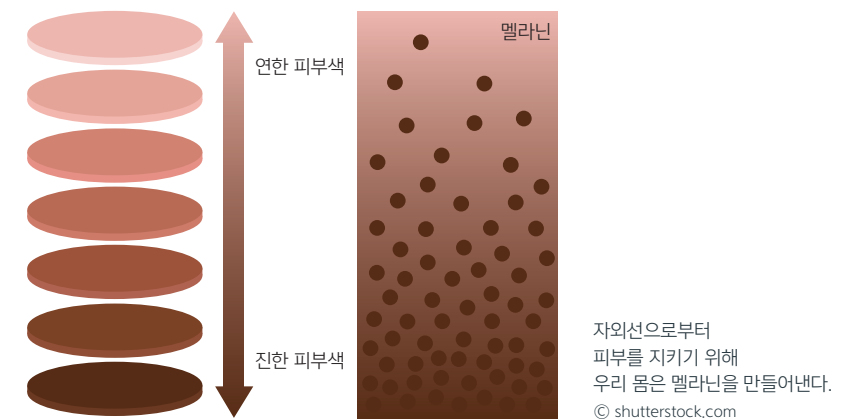
### 칙칙한 피부 톤을 화사하게, 미백 화장품

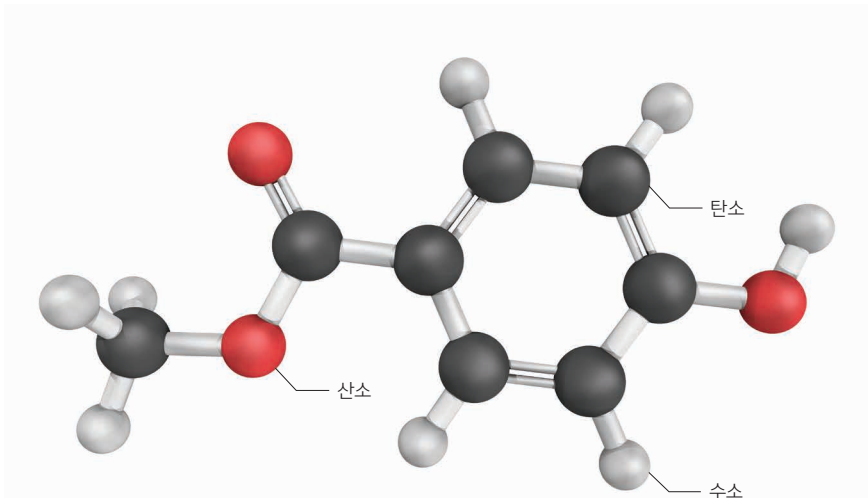
또 다른 기능성 화장품으로 피부를 하얗게 만들어 주는 ‘미백 화장품’이 있다. 옛날 미백 화장품의 주재료는 납이었다. 납 조각을 가열해 만들어지는 하얀 가루를 기름이나 물에 개어 얼굴에 펴 바르면 얼굴이 뽀얗게 됐다. 납은 치명적인 독성을 가진 물질이다. 오랫동안 몸에 쌓이면 여러 장기뿐만 아니라 신경계에도 영향을 미쳐 마비를 비롯해 정신이상, 발작을 일으킨다. 그래서 납 가루를 화장품으로 사용하던 시대에 납 중독으로 목숨을 잃는 경우도 많았다. 우리나라의 박가분에도 납 성분이 들어 있었는데 납이 몸에 해롭다는 것이 알려지면서 판매가 중단됐다.

요즘 미백 화장품은 표피에서 흑갈색 물질인 멜라닌이 만들어지는 과정을 조절해 미백 효과를 낸다. 사실 멜라닌은 우리 몸을 보호하는 물질이다. 햇빛을 오래 쬐면 자외선이 더 이상 몸속으로 들어오지 못하게 하려고 멜라닌이 만들어져 자외선을 흡수하기 때문이다. 멜라닌이 이렇게 자외선을 막아주지 않으면 우리 몸은 자외선의 공격을 그대로 받아 치명적인 손상을 입는다.

멜라닌은 멜라노사이트(멜라닌을 만드는 세포) 안에 있는 ‘티로신’이 산화되어 만들어지는데, 이 반응에 ‘티로시나아제’라는 효소가 필요하다. 대표적인 미백 물질로 알려진 ‘알부틴’은 티로시나아제의 생성을 막아 멜라닌이 만들어지지 못하게 한다.

한편 ‘하이드로퀴논’이라는 물질은 티로시나아제 생성을 억제해 멜라닌 색소가 줄어드는 효과를 내는 동시에, 멜라노사이트의 대사를 교란해 세포 자체를 죽게 만든다. 그러면 그 자리를 멜라닌이 없는 새로운 세포가 채워 결과적으로 미백 효과를 낸다. 다만 신경독성과 면역독성을 유발할 수 있고 발암성이 있기 때문에 화장품보다는 주로 의약품으로 만들어진다.





파라벤의 구조. © shutterstock.com

### 화장품 속 파라벤

화장품은 보통 조금씩 덜어서 쓴다. 한 번 뚜껑을 열면 여러 달 사용하기 때문에 쓰는 동안 성분이 변하거나 곰팡이가 생기는 것을 막기 위해 ‘보존제’라는 물질이 첨가된다. 화장품의 보존제로는 ‘파라벤’이라는 물질이 널리 사용된다. 파라벤은 ‘파라하이드록시벤조산’이라는 물질에 에틸알코올이나 부틸알코올 등을 반응시켜 만든 물질을 통틀어 이르는 말이다. 세균이나 곰팡이를 없애는 효과가 있어서 1920년대부터 지금까지 비누와 의약품, 치약 등에도 보존제로 사용되어 왔다. 어떤 파라벤은 일정 농도 이하로 사용하면 식품첨가물로도 안전하게 사용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그런데 최근 들어 파라벤이 몸속에 축적되면 유방암과 성조숙증 등을 일으키는 유해 물질이라는 주장이 나와 사람들에게 혼란을 주고 있다. 파라벤은 정말 유해할까.

사실 전문가들 사이에서도 파라벤에 대한 의견이 나뉜다. 몸속에 축적되지 않고 소변으로 바로 배출된다고도 하고, 유방암 발병과 관계없다는 연구 결과가 있는가 하면 발암성을 확인했다고도 하기 때문이다. 현재 우리나라 식품의약품안전처에서는 파라벤을 규정 농도로만 사용하면 안전하다고 밝히고 있다. 한편 이런 상황에서 파라벤이 들어 있지 않다고 광고하는 제품들이 과연 안전한지 생각해 볼 필요가 있다. 몇 달씩 사용하는 화장품에 보존제는 필수 물질이다. 보존제가 전혀 들어 있지 않다면, 그 화장품은 개봉한 지 며칠 지나면 상할 것이기 때문이다.

따라서 파라벤을 보존제로 쓰지 않았다면 분명 다른 물질을 보존제로 사용했을 텐데 과연 그 보존제는 안전한지 확인해 봐야 한다. ‘무(無)파라벤’이니 ‘파라벤 프리(free)’라고 광고하는 제품을 파라벤이 없다고 무조건 믿을 것이 아니라는 얘기다. 번거롭지만 성분을 따져보고 제조사에 확실한 설명을 요구할 수도 있다. 물론 제조사가 파라벤을 사용하지 않았다는 것을 강조할 것이 아니라 사용한 물질이 안전한지를 소비자에게 알리는 것이 우선시돼야 한다.



굵주림 걱정을 덜어준 비료와 농약

“인구가 폭발적으로 늘어나면 식량 생산이 이를 따라가지 못해 결국 식량에 큰 문제가 생길 것이다.”

18세기 말 영국의 통계학자이자 경제학자인 맬서스(Thomas Robert Malthus)는 《인구론》이란 저서에서 이렇게 말했다. 그로부터 100년 정도 지난 19세기 말 세계 인구는 약 10억 명에서 16억 명으로 급격히 늘어났고, 그의 예상대로 식량부족을 걱정하는 상황에 놓였다.

사람들은 농작물의 수확량을 늘릴 수 있는 방법을 찾아 나섰고, 그중 하나가 바로 비료였다. 같은 땅에서 농작물이 더 잘 자라고 열매가 더 많이 열리게 하

질소화합물이 포함된 비료는 인류의 먹거리 문제를 해결하는 데 큰 도움이 됐다. © shutterstock.com



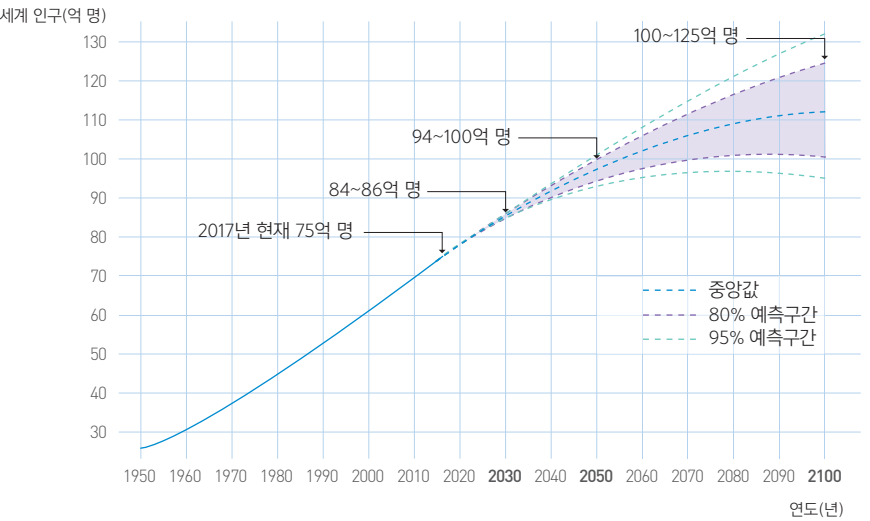
려면 성능 좋고 구하기 쉬운 비료가 필요했다. 이미 당시에도 동물의 배설물이나 발효시킨 풀과 나뭇잎 같은 ‘천연비료’가 있었지만, 이것으로는 인구 증가 속도에 맞춰 식량을 확보하는 데 어려움이 있었다.

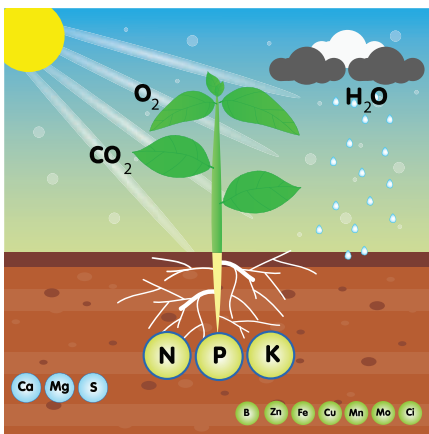
식량 생산량을 획기적으로 높여줄 강력한 영양제가 절실한 상황이었다. 이 영양제가 바로 지금의 질소비료 같은 ‘화학비료’였다. 특히 사람들은 화학자들이 연금술사처럼 질소비료를 만들어주길 바랐고, 화학자들 스스로도 공기 중의 질소를 이용해 비료를 생산하고자 노력했다.

식물이 자라는 데 필요한 질소

식물이 자라는 데에는 질소, 인산, 칼륨(포타슘), 칼슘, 마그네슘, 황, 철, 붕소, 아연, 망간 등 여러 가지 성분이 필요하다. 이 가운데 질소, 인산, 칼륨이

유엔 세계 인구 전망





식물은 뿌리를 통해서만 질소화합물을 흡수한다.

© shutterstock.com

특히 중요한데 이 3가지 성분 중 하나라도 부족하면 식물이 제대로 자랄 수 없다. 그런데 19세기 경에는 인산이나 칼륨비료는 비교적 구하기 쉬웠으나 질소비료는 그렇지 않았다.

질소는 공기의 78%를 차지할 정도로 풍부하다. 하지만 안타깝게도 식물에겐 기체 상태의 질소( $N_2$ )를 흡수할 수 있는 방법이 없다. 질소와 다른 물질이 결합한 질소화합물을 뿌리를 통해 빨아

들이는 방법밖에 없다.

당시 질소비료를 만들기 위해 남미로부터 ‘칠레초석’이나 ‘구아노(새의 배설물)’를 질소비료의 원료로 수입해 쓰곤 했지만, 그 양이 제한돼 있었다. 또 제철소에서 철을 만들 때 부산물로 나오는 염화암모늄( $NH_4Cl$ )을 이용하기도 하고 전기를 이용해 질소와 산소를 반응시켜 산화질소( $NO$ )를 만들어보기도 했지만 모두 조건이 까다로워 대량으로 생산할 수는 없었다.

공기 중의 질소를 활용해 질소비료를 만드는 것이 가장 이상적인 방법이지만, 당시 화학자들에게도 이것은 쉽지 않은 과제였다.

### 공기에서 질소를 뽑아 비료를 만든다

1909년 독일의 화학자 프리츠 하버(Fritz Haber)가 드디어 그 제법을 찾아냈다. 질소( $N_2$ )와 수소( $H_2$ )를 고온, 고압에서 반응시켜 암모니아( $NH_3$ )를 만드는 방법을 발견했던 것이다. 이렇게 만들어진 암모니아를 이용해 대량으로 질소

### 땅속에 질소를 공급하는 질소고정세균

옛날부터 농부들은 콩은 특별히 거름을 주지 않아도 잘 자라고 콩을 재배하면 땅이 비옥해진다는 것도 경험으로 알고 있었다. 이것은 과학적으로도 사실인데 콩과 식물에는 화학자들이 그토록 원하던 공기 중에서 질소를 빼내 질소화합물을 만드는 특별한 세균이 공생하고 있기 때문이다. 이 질소화합물이 뿌리를 통해 식물로 들어가 양분이 되고 흙속에도 질소화합물을 남겨두어 땅이 비옥해진다.

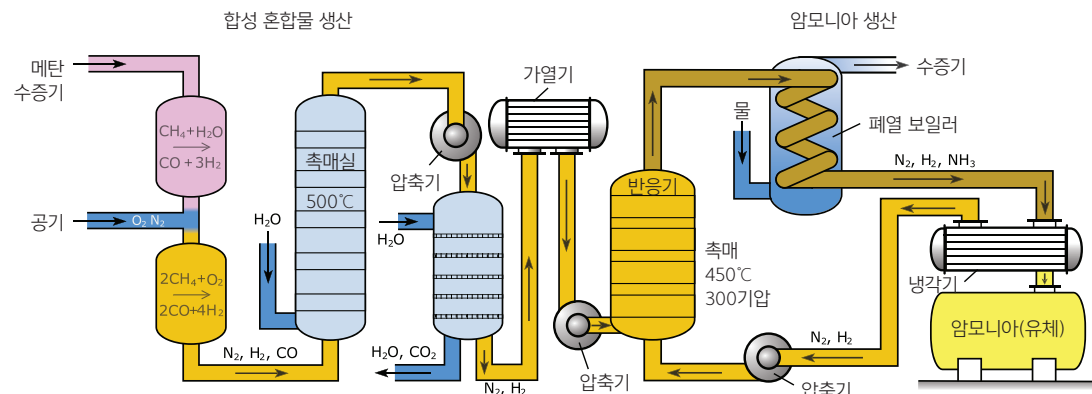
공기 중에 있는 질소를 모아 질소화합물을 만드는 것을 ‘질소고정’이라고 하는데 콩과식물과 공생하는 이런 세균을 ‘질소고정세균’이라고 한다. 그런데 보통 이들은 뿌리 근처에 혹을 만들어서 ‘뿌리혹박테리아’라는 이름으로 더 많이 불린다.

비료를 만들 수 있었다. 하버는 이 암모니아 합성법의 개발로 1918년 노벨 화학상을 받았다.

당시 하버가 개발한 암모니아 합성법은 오스뮴( $Os$ ) 촉매를 사용했는데, 이 촉매가 비싸고 구하기 힘든 게 문제였다. 더 좋은 촉매를 찾아 노력한 끝에 우라늄을 찾아내기도 했지만 우라늄도 비싸기는 마찬가지였다.

그러다 독일의 화학자 보슈(Carl Bosch)가 적당한 불순물이 첨가된 철을 촉매로 사용하면 훨씬 싼 값으로 암모니아를 만들 수 있다는 사실을 알아내면서 암모니아의 대량 생산법이 마침내 완성됐다. 이것을 ‘하버-보슈 공정’이라고 하며 지금도 질소비료를 만드는 데 활용된다.





하버 보슈 공정. © wikimedia.org

### 비료는 모자라지도 넘치지도 않게

그러나 질소만 충분하다고 식물이 잘 자라는 것은 아니다. 인산과 칼륨이 부족해도 잘 자라지 않는다.

인산은 생명을 유지하는 데 없어서는 안 되는 성분으로 부족하면 농작물이 자라지 못할 뿐만 아니라 잎이 짙은 갈색으로 변하기도 한다. 동물의 똥가루나 배설물 등이 옛날부터 인산비료로 사용되어 왔고 화학비료로는 과인산석회나 인산암모늄 등이 사용되고 있다.

칼륨은 특히 세포벽을 두껍게 하고 광합성이나 단백질을 합성하는 데에도 필요한 성분이다. 보통 나무의 재나 소변 등이 칼륨을 보충하는 천연비료로 쓰였고 화학비료로는 염화칼륨이나 황산칼륨이 쓰인다.

이 외에도 철, 마그네슘이 부족하면 잎이 누렇게나 하얗게 되고 아연이 부족하면 잎이 바삭 마른다. 또 칼슘이 부족하면 세포벽이나 조직이 약해진다. 그래서 나타나는 증상을 보고 부족한 성분이 포함된 비료를 뿌려주면 농작물을 다시 건강하게 만들 수 있다.

하지만 비료의 과도한 사용은 주변 환경뿐만 아니라 사람에게도 해를 끼치게 된다. 질소비료의 경우 빗물과 지하수를 통해 하천으로 유입되면, 수중생태계의 균형이 깨지기도 한다. 또 질산염이 수돗물에 기준치 이상 섞이기라도 하면 발암물질의 생성을 도와 신생아에게 치명적인 영향을 준다. 따라서 비료를 사용할 때에는 적당히 필요한 만큼만 정확하게 사용하는 것이 중요하다.

### 식물의 성장을 방해하는 것들을 없애는 농약

식량 생산량을 늘리기 위한 또 한 가지 방법이 있다. 비료까지 먹고 잘 자란 농작물을 중간에서 가로채는 해충, 농작물을 병들게 하는 세균과 곰팡이, 흙속에 있는 양분을 마구 빼앗아 먹는 잡초를 없애는 것이다.

농경지와 종자를 소독하고, 재배 중 또는 저장 중에 발생하는 병충해로부터 농작물을 보호하기 위해 사용되는 모든 약제를 통틀어 ‘농약’이라고 부른다. 심지어

산이나 숲에 불을 질러 그 자리에 농사를 짓는 화전(火佃)은 따로 비료를 주지 않고 나무가 불타 때 나온 재를 양분으로 사용해 작물을 키우는 방법이다. © shutterstock.com





어 농작물의 색깔을 좋게 하여 품질을 향상시키는 약제들도 농약에 포함된다. 최근에는 농약의 오염용으로 인한 부정적인 이미지를 개선하기 위해 ‘농약’ 대신 ‘작물보호제’라는 용어를 사용하기도 한다.

농약은 원료에 따라 식물추출물이나 미생물을 활용하는 천연물농약과 화학농약으로 구분되고 처리대상에 따라서 살균제, 살충제, 제초제로 나눌 수 있다. 농약은 제품에 따라 적용할 수 있는 농작물이 다르고 방제할 수 있는 병해충이나 잡초가 달라서 국내에 등록된 농약만 하더라도 현재 1200종에 이른다. 이러한 농약 하나를 개발하는 데는 많은 시간과 비용이 든다. 최근 보고서에 따르면 14만 여 개의 신물질 후보군 중에서 단 1개만이 농약으로 상품화된다고 한다. 또 여기에 소요되는 기간은 평균 9.8년, 투자비용은 2,600억 원에 이른다.

병충해와 잡초를 막기 위해 농약을 치고 있다. © shutterstock.com



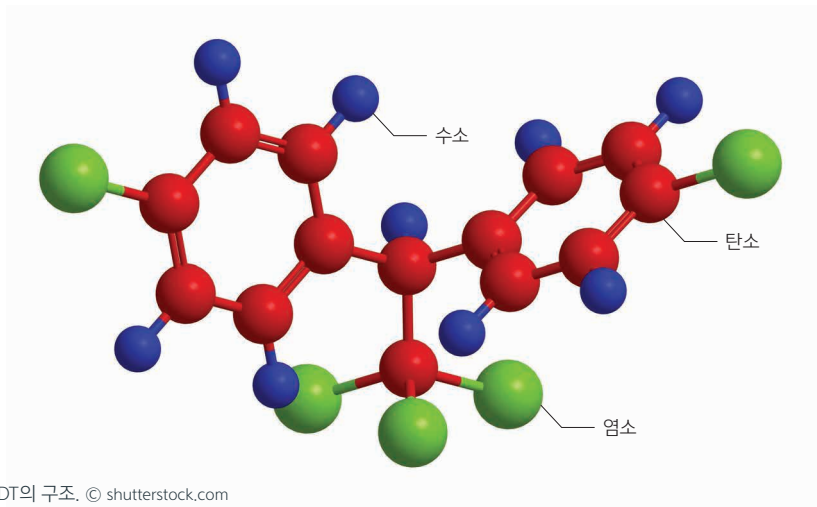
다. 이렇게 개발된 농약은 효능뿐만 아니라 환경, 독성의 안전성 검증에도 큰 비중을 두고 투자하는 첨단과학의 산물이다.

### 화학농약이 본격적으로 사용되다

농약의 역사를 이야기하면서 DDT(Dichloro-diphenyl-trichloroethane)를 빼놓을 수 없다. DDT 자체는 19세기 말에 개발됐지만, 스위스의 화학공업회사 가이거(노바티스의 전신)사의 연구원 파울 뮐러(Paul Hermann Müller)가 살충제로 유용하다는 사실을 깨닫고 제품화하는 데 성공했다. 1939년 뮐러는 새로운 백색 염료를 합성하는 실험 중 DDT를 사무실에 놓아두고 여름휴가를 떠났다. 그런데 휴가에서 돌아와 보니 파리 여러 마리가 이 물질 주변에 죽어 있는 것을 발견하면서 본격적으로 살충제 용도로 개발을 시작했다.

뮐러의 연구에 힘입어 1942년 첫선을 보인 DDT 살충제는 제2차 세계대전에서 티푸스와 말라리아 병원균의 매개체인 벼룩과 모기를 퇴치하는 데 사용되어 수많은 병사들의 목숨을 살리는 데 혁혁한 공을 세웠다.

DDT는 곤충의 표면을 둘러싸고 있는 얇은 지방층 막을 녹여 몸속으로 침투해 신경을 마비시키고 결국에는 죽게 만든다. 효과가 빠를 뿐만 아니라 분해가 늦어 효력이 지속적으로 유지되고 광범위한 살충효과를 발휘했다. 게다가 생산비도 저렴하여 ‘신이 내린 물질’이라고 칭송받으며 전 세계적으로 사용됐다. 하지만 미국의 작가 레이첼 카슨(Rachel Carson)이 1962년에 《침묵의 봄》을 발표하면서 DDT의 문제점이 세상에 알려졌다. DDT는 분해가 늦기 때문에 먹이사슬을 통해 동물의 몸에 계속 축적됐고 DDT의 독성을 증명이라도 하듯 주변에서 흔히 보던 새가 사라지고 물고기가 떼죽음을 당했다. 결국 DDT는 환경파괴의 주범이 됐고 미국을 비롯한 많은 나라에서 1972년부터 사용을 금지했다. 우리나라에서도 1976년 생산금지, 1979년 판매금지가 됐다. 지금은 말라리아가 극성을 부리는 인도나 사하라 이남 아프리카 지역에서만 제한적으로



사용되고 있다. 현재 등록되어 사용되는 살충제들은 DDT의 약점인 환경독성을 최대한 줄인 것으로, 주로 농작물의 잎을 갇아먹어 피해를 주는 해충(나방의 유충)과 식물의 잎이나 줄기에 관을 꽂아 체액을 먹는 진딧물류를 대상으로 하며, 위생해충(진드기, 벼룩, 모기)에 사용되기도 한다.

**잡초를 없애는 제초제, 병을 예방하고 고치는 살균제**

또 다른 농약에는 재배 중인 농작물 주변에 무성하게 자라 흡속의 양분을 마구 빼앗아 먹는 잡초를 없애는 제초제가 있다. 제초제는 선택성 제초제와 비선택성 제초제로 나눌 수 있다. 선택성 제초제는 농작물에는 해를 끼치지 않고 주변 잡초만 선택적으로 제거할 수 있는 반면, 비선택성 제초제는 농작물과 잡초를 가리지 않고 제초효과를 나타낸다. 비선택성 제초제는 일반적으로 작물을 파종하기 전 논과 밭에 자란 잡초를 제거할 때 사용한다. 많은 제초제가 식물의 광합성에 필요한 효소를 억제하거나 세포벽이 만들어지지 못하게 해서 잡

초를 제거한다.  
 살균제는 농작물에 발생하는 세균병과 곰팡이병을 예방하거나 치료하는 농약이다. 지구가 온난화되면서 식물의 질병이 다양해졌고 살균제의 사용량도 해마다 증가하고 있다.  
 DDT가 생태환경 독성과 관련해 많은 논란을 불러 일으켰지만 살충제 역사에서 현대적인 유기합성농약의 새 장을 열었다는 사실은 분명하다. 그리고 새로운 농약을 개발할 때 효능뿐만 아니라 물, 토양을 포함한 생태환경과 그 먹이사슬에 미치는 영향도 철저하게 고려해야 한다는 교훈을 남겼다.  
 현재 개발되는 제초제, 살충제, 살균제를 포함한 모든 농약은 제거하고자 하는 대상에 대해서는 높은 효과를 보이지만 농작물 피해는 없어야 한다. 그리고 무엇보다도 농약을 사용하는 사람과 주변 동식물을 포함한 환경에 대한 안전성이 완벽히 검증돼야만 제품으로 판매할 수 있다. 이렇듯 농약 분야는 안전성에 대해 모든 나라에서 가장 높은 수준의 규제를 받고 있다.  
 우리나라를 포함한 선진국에서는 시장에 나온 농축산물에 남아 있는 농약의 허용치를 엄격하게 법으로 정해 놓았다. 농약의 종류에 따라 독성이 다르기 때문에 잔류 허용치는 농약에 따라 다르며, 남아 있는 농약의 양이 허용치보다 적은 경우는 인체에 해가 없다고 판단된다. 2017년 8월에 발생한 ‘살충제 달걀’ 파동은 진드기를 없애기 위해 닭에게 뿌린 살충제가 계란에 들어가 허용치 이상으로 검출된 사건이다. 사용 금지된 살충제 사용과 허용기준치 이상의 살충제 성분 검출 문제는 반드시 짚고 넘어가야 할 문제이다. 다행히 이번 국내 살충제 계란 파동에서는 살충제 성분에 가장 심하게 오염된 달걀이라도 몸무게 65kg의 성인이 하루에 126개까지 섭취해도 급성 독성이 나타날 가능성은 매우 낮은 것으로 조사되어, 국민 건강에 심각한 위협을 가져오지 않을 것으로 보인다. 하지만 향후 농축산물의 생산량을 늘리기 위해 불가피하게 농약을 사용할 땐 엄격한 기준으로 정한 사용량과 방법을 정확하게 지키는 것이 중요하다.

### 정말 유기농으로 돌아가야 할까?

인류는 비료와 농약의 개발 등 녹색혁명을 통해 농산물 수확량을 획기적으로 늘렸다. 하지만 여기에 과학기술이 어떻게 얼마나 공헌했는지는 잘 모르는 것 같다. 오히려 새로운 농약이 개발됐다고 하면 부정적인 시선부터 보내고 농약이나 비료 없이 농사짓는 방식이 친환경적이라며 선호하는 사람들도 많다. 식품에서 허용치 이상의 농약이 검출됐다는 뉴스가 들리면 유기농 제품에 관심이 쏠린다. 정말 우리는 유기농법으로 돌아가야 할까?

유기농 제품, 즉 유기농산물은 화학비료나 농약을 전혀 사용하지 않고 재배한 농산물을 말하지만 유기농 재배 농민들도 살충 효과가 있는 제충국제와 같은 천연물농약이나 비료를 사용할 수 있다. 하지만 이런 천연물농약과 비료가 합성 화학농약과 비료보다 반드시 안전하다고 할 수는 없다. 천연물농약에 포함된 성분에 대해 정확히 모른 채 천연물이라는 이유로 남용한다면 기준치 이상의 농약을 섭취할 수도 있다.

독성학의 아버지라 불리는 스위스의 파라셀수스(Philippus Paracelsus)는 일찍이 “독은 어디에나 존재하며 독성이 없는 물질은 없다. 단지 그 양에 따라 독

채소나 과일을 먹기 전 물에 30초에서 1분만 잘 씻어주면 남아 있을 수 있는 대부분의 농약을 없앨 수 있다.  
© shutterstock.com



이 되기도 하고 약이 되기도 할 뿐이다”라고 주장했다. 따라서 천연물농약을 사용했는지 아니면 합성 화학농약을 사용했는지에 따라 안전성을 판단할 것이 아니라 어떤 성분이 어디에 얼마나 쓰이는지에 대한 주의가 필요하다.

또 일반적인 방법에 비해 수확량이 20~50% 낮은 유기농법으로는 곧 100억 명에 육박하게 될 인류를 안정적으로 먹여 살릴 수 없을 것이다. 유기농법은 소규모 지역 환경에 맞게 운영돼야 잘 적용될 것이다.

### 특급 케미 자랑하는 [신물질 제초제] 연구실

농작물이 먹어야 할 양분을 빼앗아 먹는 잡초는 농업이 시작된 이래 늘 골칫덩이였다. 그래서 농작물은 보호하면서 잡초만 없애주는 제초제가 지금까지 수없이 개발됐고 효과도 톡톡히 보고 있다. 그런데 제초제를 사용할수록 제초제에 대한 잡초들의 내성도 커져 새롭고 강력하면서 사람과 환경에 안전한 제초제가 늘 필요한 상황이다. 이 3박자를 모두 갖춘 신물질 제초제가 개발됐다. 바로 한국화학연구원에서 무려 2500종에 달하는 물질을 합성하고 테스트한 끝에 개발한 ‘테라도’라는 비선택성 제초제가 그 주인공이다.

테라도의 능력은 기존 제초제를 가뿐히 뛰어넘는다. 가장 널리 사용되는 제초제가 약효를 보는 데 1~2주 걸리던 것에 반해 테라도는 단 2~3일 만에 약효가 나타난다. 또 신물질 제초제이므로 다른 제초제에 내성을 가진 잡초에도 강력하게 작용할 수 있다. 사람과 동물에 대한 안전성 또한 갖추고 있어 영국과 미국에서 실시하는 90여 개 항목에 달하는 까다로운 안전성 시험을 거뜬히 통과했다. 테라도는 국내뿐만 아니라 2019년 미국을 시작으로 세계 각지에서 맹활약할 것으로 기대된다.



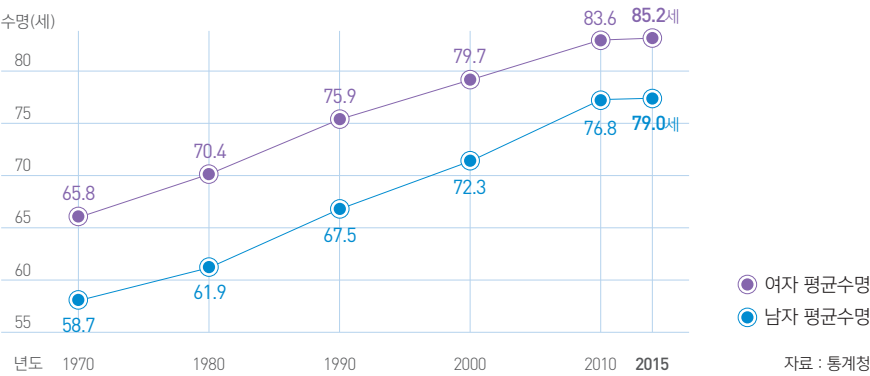
아픈 데를 고쳐주는 의약품

‘2년 살면 1년은 덤’이라는 말을 들어본 적이 있는가.  
사람의 수명이 2년에 1년씩 늘어난다는 뜻이다. 2개를 사면 1개를 더 준다는 ‘2+1’과 비슷하다. ‘에이~ 설마!’라고 생각하는 사람이 많겠지만 1970년부터 지금까지 우리나라 사람들의 기대수명의 변화를 따져보면 사실이다. 1970년에 62.3세이던 평균 기대수명이 1990년에는 71.7세, 2010년에는 80.2세, 2015년에는 82.1세로 조사됐다. 거의 일정한 비율로 늘어 45년 동안 20년이 늘었으니 대략 2년마다 1년씩 늘어난 셈이다.

먹을 것도 있고 병도 고치니 오래 산다

19세기 말부터 인구가 급격히 늘어났어도 사람들이 굶어 죽지 않았던 것은 화학비료가 발명되고 종자가 개량돼 식량이 늘어난 영향이 크다. 여기에 또 한 가

우리나라 평균수명 변화 그래프



합성 의약품의 발달로 나뭇잎이나 열매를 일일이 끓이거나 달이지 않아도 돼 간편하다. © shutterstock.com

지 결정적인 역할을 한 것이 있으니 바로 병을 고쳐주는 약의 발명이다.  
옛날에도 풀과 나무열매 또는 동물이나 광물 같은 자연물을 이용한 약으로 병을 고쳤다. 우리나라 한의학에서 사용하는 약이 그렇고 서양에서도 마찬가지였다. 다만 서양에서는 화학이 발달하면서 약효가 있는 자연물에서 필요한 성분을 뽑거나 그 성분과 같은 물질을 화학적으로 합성해 가루약이나 알약처럼 우리에게 익숙한 ‘약’을 만들었다. 이런 약은 나뭇잎이나 열매를 일일이 끓이거나 달이지 않아도 되니 간편하기 이를 데 없고 대량생산도 가능하니 여러 사람이 아플 때에도 문제가 없다. 이런 약을 옛날에 자연물을 그대로 이용하던 ‘생약’과 구분해 ‘합성 의약품’이라고 한다.

합성 의약품 제1호, 아스피린

합성 의약품의 문을 연 것은 해열·진통제의 대표 ‘아스피린’이다. 아스피린은 아주 오래전부터 열이 나고 머리 아플 때 진통제로 사용하던 버드나무 껍질에



아스피린을 개발한  
독일의 화학자 펠릭스 호프만.  
© shutterstock.com

서 시작됐다. 버드나무의 효험은 3500년 전 고대 이집트뿐만 아니라 우리나라의 동의보감에도 기록되어 있을 정도로 동서양을 막론하고 유명했다. 버드나무와 같은 약효를 나타내는 물질은 조팝나무에도 들어 있었다.

19세기 중엽 버드나무 껍질에서 해열·진통 효과를 내는 물질을 뽑아내는 데 성공하고 독일의 화학자 콜베(Hermann Kolbe)가 이를 이용해 ‘살리실산’이라는 물질을 대량생산하는 방법을

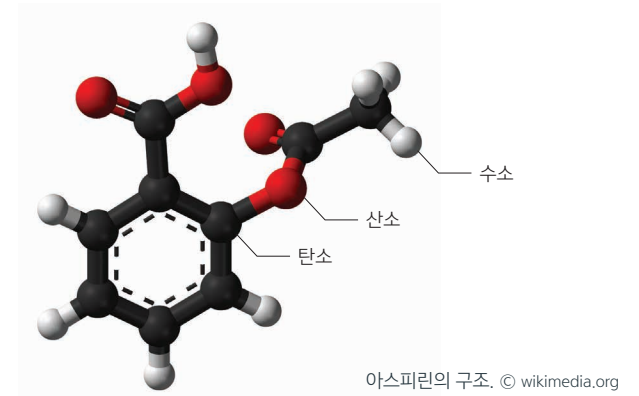
개발했다. 이렇게 해서 살리실산이 해열·진통제로 사용됐지만 살리실산은 맛이 쓰고 구역질이 나서 먹기 힘들었다. 그래서 1897년에 펠릭스 호프만(Felix Hoffmann)이 살리실산을 변형해 ‘아세틸살리실산’이라는 물질을 만드는데 살리실산보다 먹기가 훨씬 쉬웠다. 이 약이 바로 합성 의약품 제1호 ‘아스피린’이다. 아스피린은 아세틸살리실산이 만들어지고 나서 2년 후 독일에서 상표등록을 마치고 판매되기 시작해 지금까지도 전 세계적으로 팔리고 있다.

아스피린은 열을 내리고 통증을 가라앉히는 효과 외에도 염증을 가라앉히고 피가 뭉치거나 굳는 것을 막는 효과도 있다. 그래서 아세틸살리실산의 함량이 보통 아스피린의 1/3 이하인 저용량 아스피린은 ‘혈전방지제’로 쓰인다.

아스피린의 아세틸살리실산 외에도 해열·진통제 성분으로 많이 사용되는 물질로 ‘이부프로펜’과 ‘아세트아미노펜’이 있다. 이부프로펜은 주로 어린이용 해열제로 많이 쓰이는 부루펜 시럽의 주성분이며, 아세트아미노펜은 두통약으로 많이 먹는 타이레놀의 주성분이다.

### 본격적인 질병 치료의 시대를 연 페니실린

합성 의약품의 역사에서 또 하나 큰 획을 긋는 사건은 바로 항생제 페니실린



의 발견이다. 인류를 괴롭혔던 많은 병이 아주 작은 미생물 때문에 발생한다는 것은 이미 잘 알려져 있었다. 따라서 문제가 되는 미생물을 없애는 물질을 찾아내면 병을 치료할 수 있을 텐데, 그런 약을 개발하기는 쉽지 않았다. 병원균을 없애는 물질이 사람 몸에 들어가면 멸절된 세포까지 죽여 몸에 해로운 경우가 많았기 때문이다.

그러다 1928년 스코틀랜드의 생물학자 알렉산더 플레밍(Alexander Fleming)이 드디어 사람에게 해롭지 않으면서 세균을 죽일 수 있는 ‘페니실린’이라는 물질을 발견했다. 플레밍은 당시 포도상구균을 키우는 실험을 하고 있었는데 균을 키우던 페트리접시를 두고 휴가를 다녀오니 접시에는 곰팡이가 피었고 그 주위에는 포도상구균이 자라지 못해 깨끗했다. 이것을 보고 그는 곰팡이가 내보내는 어떤 물질이 균을 자라지 못하게 한다고 결론을 내렸고, 이 물질을 ‘페니실린’이라고 이름 지었다. 문제의 곰팡이가 ‘페니실리움’이라는 종류에 속했기 때문이다.

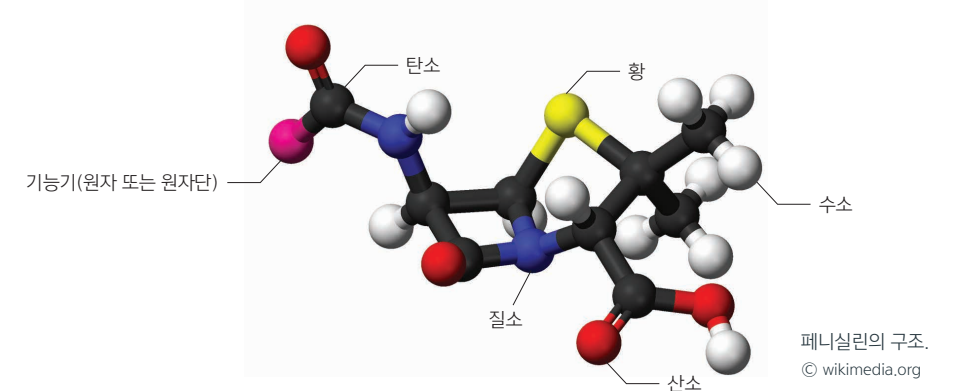
페니실린은 세균을 둘러싸고 있는 막의 형성을 억제시켜 세균을 죽이는데, 포도상구균뿐만 아니라 다른 여러 병원균에도 효과가 있었다. 그리고 무엇보다

사람에게 해가 없었다. 이후 곰팡이에서 페니실린 성분만 뽑아내는 정제 기술이 개발되고 페니실린을 만드는 새로운 곰팡이가 발견되는 한편 이들의 대규모 배양법이 개발되면서 페니실린을 대량으로 생산할 수 있게 됐다. 그 결과 페니실린은 1943년부터 약으로 사용되기 시작했다.

세균을 죽이는 페니실린 같은 약을 ‘항생제’라고 한다. 엄밀히 말해 항생제는 미생물이 만드는 물질에 한해서 사용하는 용어다. 보통 항생제라고 하는 약 가운데에는 미생물에서 유래하지 않고 화학적 합성으로 만들거나 항생제 성분을 변형한 것도 있는데, 이런 약은 ‘항균제’라고 부르는 것이 옳다.

페니실린이 나오면서 세균으로 인한 많은 질병을 치료할 수 있는 길이 열렸지만 시간이 지나면서 페니실린에 대한 내성균이 나타나기 시작했다. 그래서 사람들은 이 세균을 죽이기 위한 더 센 항생제를 만들었고 그러다 보니 어떤 항생제에도 끄떡없는 ‘슈퍼박테리아’라는 천하무적 세균까지 등장했다. 사람과 세균 사이의 밀고 밀리는 싸움은 지금도 계속되고 있다.

알렉산더 플레밍이 실험을 하고 있는 모습. © wikimedia.org



### 100세 시대를 실현하는 다양한 질병 치료제

아스피린으로부터 시작된 합성 의약품은 100여 년 동안 꾸준히 개발되어 요즘은 작은 약국에만 가도 진열장을 빼곡히 채울 정도로 종류가 많아졌다.

평소 가장 많이 찾는 약 가운데 하나가 속이 더부룩할 때 찾는 소화제이다. 우리가 먹은 음식은 입에서 위, 소장을 지나면서 잘게 분해되는 소화 과정을 거쳐 몸에 흡수된다. 이때 각 소화기관에서는 소화를 돕는 소화효소가 맹활약을 하는데, 스트레스를 많이 받거나 급하게 먹었을 때에는 정상적으로 소화가 진행되지 않는다. 그래서 소화제에는 소화효소나 소화효소가 더 잘 나오도록 위장의 운동을 부추기는 물질이 들어 있어 소화를 돕는다. 소화제 성분으로 많이 쓰이는 ‘판크레아틴’이라는 물질은 보통 돼지의 췌장에서 뽑은 것으로 탄수화물, 단백질, 지방의 분해를 돕는 소화효소가 들어 있다. 따라서 돼지고기에 알레르기가 있는 사람은 ‘판크레아틴’의 사용을 피하는 것이 좋다.

또 넘어지거나 베었을 때 바르는 후시딘이나 마데카솔 같은 상처치료제도 자주 쓰는 약이다. 상처가 나면 보호막이던 피부가 갈라지면서 그 틈으로 세균이 침투해 피부 안쪽 조직을 공격하기 시작한다. 그래서 세균을 없애고 뚫린 피부

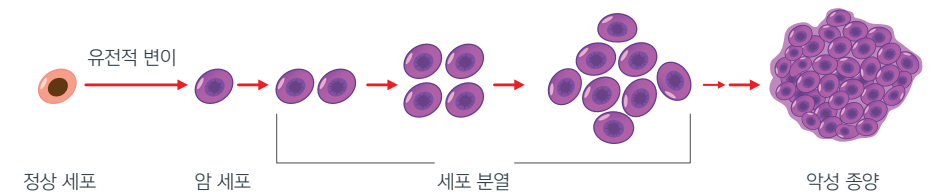


방어막을 새살로 메꾸는 것이 중요한데 이 일을 하는 약이 바로 상처치료제다. 한편 사망률이 가장 높은 질병으로 꼽히는 암에 걸리면 병원에서 암 조직을 떼어내는 수술을 받거나 방사선 또는 약물로 치료를 받아야 한다. 암세포는 세포분열을 멈추지 않는 돌연변이 세포다. 우리 몸속 세포는 분열을 통해 죽은 세포 자리를 새 세포가 채우면서 그 수를 일정하게 유지한다. 그런데 암세포는 어떤 이유에선가 멈추지 않고 분열을 계속해 커다란 세포 덩어리인 ‘종양’을 만들고 결국 터를 잡게 해준 장기가 일을 제대로 하지 못하게 만든다. 이것이 바로 암이다.

약물치료에 쓰이는 항암제는 이런 암세포의 증식을 막거나 암세포를 직접 죽인다. 그런데 정상세포에도 영향을 미쳐 머리카락이 빠지거나 구토가 나는 부작용이 따른다. 그러다 2000년대에 들어서 만성골수성백혈병(골수암)을 치료하는 ‘글리벡’이라는 약이 개발됐는데 이 약은 정상세포는 거의 건드리지 않고 암세포만 공격하는 놀라운 능력을 지녔다. 기존 항암제에 비해 부작용도 거의 없어서 글리벡의 등장 이후 현재는 암세포만 골라서 공격하는 ‘표적치료제’가 활발하게 개발되고 있다. 최근에는 화합물 외에 항체를 사용해 자기면역을 증가시키는 ‘면역 치료제’가 쓰이고 있다. 이뿐만 아니라 세포 치료제, 유전자 치료제 등도 활발히 연구되고 있다.



넘어지거나 베었을 때 바르는  
상처치료제는  
상처난 피부로 들어오는 세균을 막고  
새살이 나도록 돕는다.  
© shutterstock.com



암이 발병하는 하는 과정. © shutterstock.com

### 새로운 약은 그냥 똑딱 만들어지지 않는다

이렇게 오늘날 질병을 치료하는 약의 60~80%가 합성 의약품이다. 이런 합성 의약품 하나가 세상에 나오기 위해서는 상당히 까다로운 관문을 꽤 많이 거쳐야 한다. 그리고 시간도 오래 걸린다.

새로운 약을 만드는 것은 화합물질을 2개 이상 조합해 새로운 화합물을 만드는 것에서 시작한다. 새로운 물질은 많이 만들수록 좋다. 그래야 특정 질병을 예방하거나 치료하는 귀한 물질이 나올 확률도 높아질 테니 말이다.

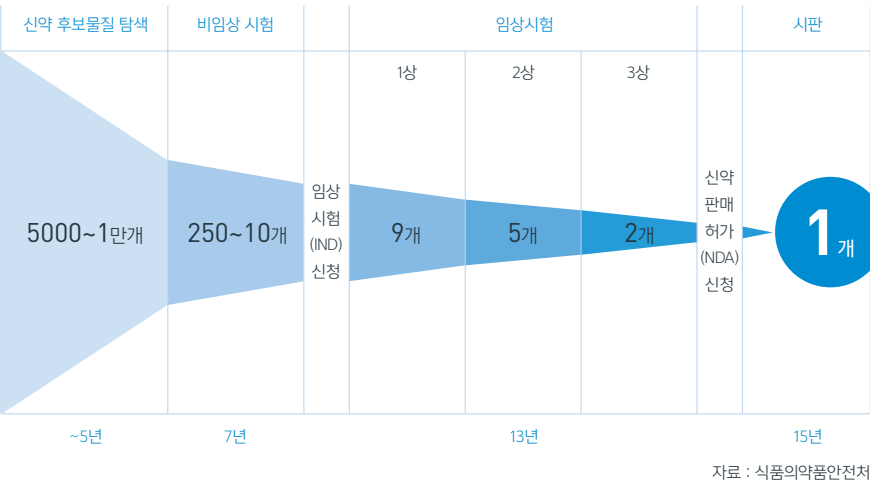
새로운 물질을 일단 만들어 놓으면 그 다음에는 각 물질의 특성을 파악해야 한다. 그래야 어떤 물질이 쓸 만한 재료가 되는지를 알 수 있기 때문이다. 여기에 ‘동시대량효능검색법(HTS, High Through-put Screening)’이라는 기술이 사용되는데, 이름 그대로 한꺼번에 많은 물질의 생물학적 활성을 파악하는 기술이다. 여기에는 전적으로 로봇이 투입돼 하루에 20만 종, 즉 사람이 평생 검사해도 못할 정도로 많은 양을 처리할 수 있다.

이 과정이 끝나면 특정 질환에 도움이 될 것 같은 물질을 골라내고 몸속에서 어떻게 반응할지, 독성은 없는지, 물에 잘 녹는지 등을 시험한다. 여기까지 관문을 모두 통과한 물질은 드디어 신약 후보 물질이 된다. 꽤 까다로운 시험을 통과했지만 아직은 안전성이 검증되지 않은 후보 물질일 뿐이다.

그래서 다음 단계에서는 사람을 대상으로 하는 임상시험에 앞서서 동물을 대상으로 먼저 안전성과 효능을 검사한다. 동물 실험은 보통 포유류 동물을 대상으로 하는데, 요즘은 크기가 3~4cm인 제브라피시를 활용하는 경우가 늘고 있다. 제브라피시는 유전자나 조직이 사람과 비슷하고 개체 수도 많아서 실험에 드는 시간과 비용을 훨씬 줄일 수 있다.

이렇게 동물 실험 단계를 통과하면 사람을 대상으로 하는 임상시험에 들어가고 문제가 없으면 마침내 새로운 약이 탄생한다. 실제로 약이 시중에 나오기 위해서는 약효나 안전성뿐만 아니라 주사로 투약할 것인지, 먹는 알약으로 만들 것인지, 피부에 바를 것인지 등 투약 방식도 치료하려는 질병에 알맞아야 한다. 이 모든 과정을 거치는 데 무려 10~15년이 걸리니 신약개발 과정은 중종 긴 거리를 달려야 하는 마라톤에 비유되곤 한다.

신약개발과정과 성공률



책은 도서관에,  
화합물은  
한국화합물  
은행에!

이 세상에 있는 원소의 종류는 100가지가 넘고, 이런 원소들을 조합해서 만들 수 있는 화합물의 개수는 그야말로 한도 끝도 없다. 따라서 수많은 화합물 가운데 신약개발에 사용해볼 만한 물질을 찾는 것은 막막하기까지 하다.

그래서 도서관에 책을 모아 놓고 필요할 때 찾아보는 것처럼, 화학자들은 지금까지 만들어진 화합물 가운데 신약개발에 쓸 만한 물질을 보관하는 '화합물은행'을 운영하고 있다. 한국화학연구원에 자리한 한국화합물은행(www.chembank.org)은 화학연구원 연구자를 포함한 국내 산학연 연구자들이 신약개발 연구과정에서 만든 다양한 화합물을 수집해 현재 약 50만 종을 보유하고 있으며, 제약회사나 연구소에서 신약개발 연구나 바이오 연구를 할 때 필요로 하는 화합물을 제공하고 있다. 한국화합물은행이 보유하고 있는 화합물들은 구조가 매우 다양하고 약물성이 좋기 때문에 신약개발 연구나 바이오 연구를 시작할 때 좋은 종자물질로 사용할 수 있다.

신종 질병을 막아라!

다양한 질병을 치료할 수 있는 신약을 개발하는 덕분에 인간이 정복할 수 있는 질병의 종류도 많아지고 있지만 최근에는 신종 질병의 위협이 커지고 있다. 기후변화에 따라 기존에 없던 새로운 질병이 출현할 확률이 높아졌고, 국제 교역과 여행 인구가 증가하면서 한번 창궐하면 피해도 심하다. 1980년대 이후 신종 또는 변종 바이러스에 의해 목숨을 잃은 사람만 해도 4000만 명이 넘는다. 최근에는 에볼라바이러스, 지카바이러스 그리고 우리나라에 중동호흡기증후군(MERS) 사태를 일으킨 신종 코로나바이러스가 기승을 부렸다. 이런 바이러



지카바이러스는 모기로부터 전염된다.  
© shutterstock.com

스뿐 아니라 약제내성 결핵이나 슈퍼박테리아 등에 의한 신종 질병에 대응하기 위해서도 화학의 역할이 크다.

바이러스는 혼자서는 생물이랄 할 수 없는 그저 단백질과 유전자의 결합체에 불과하다. 그런데 살아 있는 다른 생물의 몸(숙주)에 들어가면 필요한 물질을 합성하기도 하며 정상적인 생물로 돌변한다. 남의 세포 속에서 증식하기도 해서 세포를 찢고 나오는데, 찢어진 세포는 제 기능을 못해 몸을 내준 생물은 병에 걸린다. 바이러스는 돌연변이가 생겨도 복구가 안 돼 변종이 잘 만들어지고, 변종 바이러스는 기존의 치료제로 치료할 수도 없다. 아만타딘 내성 인플루엔자 환자에게 더 이상 아만타딘을 투여할 수 없는 것처럼 말이다.

이에 대응하기 위해 바이러스성 질병에 대한 신약 물질 개발 연구가 한창이다. 바이러스는 늘 숙주와 함께 있기 때문에 숙주에게는 안전하면서 바이러스만을 죽일 수 있는 약을 개발하는 것은 힘든 일로 여겨졌다. 그러나 에이즈바이러스가 나타나면서 바이러스 치료제 연구가 활발히 이뤄지기 시작했다. 에이즈, 또는 라이노바이러스가 일으키는 감기처럼 아직도 치료제가 개발되지 않은 바이러스성 질병이 많은데, 바이러스의 확산을 막는 종합대책을 마련하는 동시에 바이러스 치료제도 개발하고 있다. 조류인플루엔자 바이러스, 메르스 코로나 바이러스, 에볼라 바이러스 등 고위험성 바이러스는 일반 실험실에서 연구할

수 없다. 따라서 연구자들은 생물안전 3등급(Biosafety Level 3, BL3) 또는 4등급 실험실에서 바이러스 질병을 치료할 수 있는 신약 개발에 몰두하고 있다. 최근에는 이런 신약 후보물질을 발굴할 뿐만 아니라 신·변종 바이러스 질병, 희귀질환 등을 예방하고 진단하며 치료하고 확산을 방지하기 위한 종합적인 기술도 개발이 한창이다. 구체적으로는 신종 질병을 신속하고 간편하게 진단할 수 있는 기술 개발, 백신 후보물질 개발, 감염병 치료 후보물질 개발, 질병 확산 예측 모델 개발 등이 진행되고 있다. 2100년이 되면 사람의 기대수명이 무려 120세가 될 것이라고 한다. 늘어난 수명만큼 인생을 즐기기 위해서는 건강이 중요하다. 건강한 삶을 위한 화학의 역할이 기대되는 이유다.

#### 신종 질병 대응에 앞장선다! CEVI 융합연구단

인구밀도가 높고 유동인구가 많아 바이러스 전파 속도가 빠른 우리나라는 바이러스가 일으키는 질병에 대한 대응책을 마련하는 것이 중요하다. 그래서 과학자들이 모였다. 바로 2016년 출범한 CEVI 융합연구단이다. 주관 기관인 한국화학연구원을 비롯한 17개의 다양한 산·학·연 기관에서 100명이 넘는 인원이 참여하고 있다. 신·변종 바이러스에 대한 정확한 동정, 감염 진단 기술, 예방 백신과 치료제 개발 및 확산 방지 대책 등에 대한 융합 연구가 진행되고 있다. 일례로 해외 유입 바이러스 감염에 대응하기 위해 공항이나 항만에 바이러스 포집 장치, 현장 진단 장비, 자동화된 검역 관제 시스템, 감염 확산 사전예측 기술 등을 입체적으로 적용하고자 노력하고 있다. 이런 시설을 공항이나 항만에 설치하면 외국에서 바이러스에 감염되어 입국하더라도 국내에서 바이러스가 퍼지는 것을 조기에 대응할 수 있다. '2차 감염자 0명'에 도전하는 것이 CEVI 융합연구단의 큰 목표다.



## 식생활을 바꾼 식품첨가물

청어는 비교적 차가운 바닷물에 사는 등 푸른 생선이다. 맛도 고소하고 영양가도 높아서 동서양을 막론하고 예나 지금이나 인기가 좋다. 우리나라에서는 옛날부터 청어를 바닷바람에 여러 날 말려 짭조름하면서 쫄득한 과메기를 만들어 먹었고, 서양에서도 청어가 중요한 식량자원이었다. 네덜란드에서는 나라의 운명을 바꾸는 결정적 역할을 하기도 했다.

### 염장, 청어를 오래 보관하게 되다!

네덜란드 북쪽으로 펼쳐진 북해에서 청어가 많이 잡히기 시작하자 청어잡이는 네덜란드의 주요 산업이 됐다. 14세기 중반 한 어부가 청어를 오랫동안 보관할 수 있는 방법을 고안해 내면서 청어잡이는 새로운 국면을 맞이한다. 청어는 금방 상해서 오래 두고 먹을 수 없었는데, 청어는 잡자마자 내장과 머리를 도려

네덜란드의 전통 음식인 '절인 청어(Dutch herring)'. 보통 피클과 함께 즐긴다. © shutterstock.com



내고 소금을 듬뿍 뿌려 통에 넣어두니 1년도 넘게 두고 먹을 수 있었던 것이다. 요즘도 널리 사용되는 '염장법'이다. 오래 보관할 수 있으니 먼 나라에도 내다 팔 수 있었다. 그 결과 네덜란드는 막대한 부를 얻게 됐다.

우리나라의 김치, 자반고등어, 오이지 등도 염장법을 이용한 음식이다. 소금 대신 설탕이나 꿀에 폭 담가두는 방법도 있다. 한편 물기 하나 없이 뽀뽀하게 말리거나 19세기 초 프랑스의 니콜라 아페르(Nicolas Appert)가 발명한 것처럼 병에 음식을 넣고 완전히 밀봉한 뒤 병째 한 번 끓이는 병조림을 이용해도 음식을 오랫동안 보관할 수 있다.

이 모든 방법은 지금도 꽤 요긴하게 쓰이지만, 재료와 조리방법이 다양한 요즘 가공식품에는 '보존료'라는 화학물질을 넣는다. 보존료는 식품이 부패하는 것을 막아주며, 주로 미생물에 의한 부패를 방지하기 위해 사용된다.

### 식품의 신선함과 맛을 더하는 식품첨가물

요즘은 국이나 반찬은 물론 밥도 종류별로 살 수 있어서 전자레인지나 뜨거운 물에 데우기만 하면 집에서 직접 요리한 것 못지않게 잘 차려 먹을 수 있다. 이렇게 곡물이나 채소, 생선, 고기 같은 재료를 조리해서 파는 가공식품이 많이 만들어지면서 '식품첨가물'이 등장했다. 식품첨가물은 제조·가공 또는 보존 과정에서 식품에 넣거나 섞는 물질 또는 식품을 적시는 데 사용되는 물질(식품위생법 제2조(정의))을 말한다. 방부제 같은 보존료뿐만 아니라 맛을 더 좋게 하거나 더 맛있게 보이려 하거나 더 부드러운 식감을 주기 위해 넣는 여러 가지 물질이 여기에 해당한다. 감미료, 향미증진제, 착색료, 팽창제, 영양강화제 등이 바로 우리가 많이 접하는 식품첨가물이다.

식품첨가물은 사람이 먹는 음식에 들어가는 물질이기 때문에 인체에 해가 없는 범위 내에서 사용하도록 그 기준이 엄격하다. 그래서 사람이 매일, 평생 먹어도 해가 없는 양을 각 첨가물의 '1일섭취허용량(Acceptable Daily Intake,

ADI)’으로 정하고 있다. 1일섭취허용량은 사람 체중 1kg당 1일 섭취량이다. 먼저 동물 실험을 통해 동물의 1일섭취허용량을 알아낸 뒤 그 양의 1/100을 사람의 1일섭취허용량으로 정한다. 따라서 실제 식품 한 품목에 사용되는 첨가물의 양은 극히 적은 양이다.

탄산음료에 보존료로 많이 쓰이는 ‘안식향산’을 예로 들어 보자. 안식향산의 1일섭취허용량은 ‘국제식량농업기구·세계보건기구 합동 식품첨가물전문가위원회(JECFA)’에서 안전성 평가를 거쳐 하루에 체중 1kg당 5mg으로 설정한 바 있다. 체중 30kg인 어린이가 하루에 섭취해도 좋다고 허용되는 양은 5mg의 30배인 150mg이다. 250g짜리 탄산음료 1캔에 들어 있는 안식향산의 양이 7.72mg이라고 할 때 이 어린이가 하루 동안 안식향산의 섭취허용량에 도달하려면 이 탄산음료를 무려 20캔 가까이 마셔야 한다. 그러니 웬만해서는 식품 첨가물을 건강에 이상이 생길 정도로 많이 먹는 일은 없다.

즉석 식품 중 하나인 컵라면이 진열돼 있는 편의점. 컵라면뿐 아니라 과자, 음료 등에도 식품첨가물이 들어간다.  
© shutterstock.com



일부 탄산음료에는 보존료로 안식향산이 쓰인다.  
1일섭취허용량을 지키면 문제없다.  
© shutterstock.com

식품첨가물은 제품 포장면의 ‘원재료명 및 함량’에 표시돼 있는데, 식품첨가물의 이름과 함께 팽창제인지 보존료인지 그 용도를 함께 표시하고 있다.

현재 우리나라에서 정한 식품첨가물의 용도는 모두 31개이다. 그럼 이 가운데 대표적인 식품첨가물 몇 가지를 살펴보자.

### 산화를 막아 신선함을 유지하다

식품의 신선함을 유지하기 위해 넣는 식품첨가물로는 앞에서 살펴본 보존료와 함께 산화방지제가 있다. 보존료와 산화방지제 모두 식품의 영양가와 신선도를 유지하기 위해 사용되는 식품첨가물이지만, 보존료는 주로 미생물의 활동으로 인한 식품의 변질을 막는 물질이고 산화방지제는 산소 등에 의해 식품이 산화되거나 변질되는 것을 방지하는 물질이라는 점에서 다르다. 산화방지제는 주로 지방 성분의 산화를 막는다. 그래서 마요네즈처럼 지방 성분이 많은 식품에 산화방지제를 첨가하면 지방의 산화를 늦춰서 다 먹을 때까지 신선함을 유지할 수 있다. 또 구연산 같은 ‘산도조절제’를 넣어주면 식품의 산도를





마요네즈처럼 지방 성분이 많은 식품에는 산화방지제를 첨가하면 신선함이 오래 유지된다. © shutterstock.com

조절해 산화방지제의 효과를 돕는다. 산도조절제는 보통 라면이나 치즈 등에 많이 사용된다. 라면이 오래되면 기름에 전 냄새가 나는데 바로 산도조절제의 효력이 다했기 때문이다.

### **보는 즐거움에 씹는 즐거움을 더하다**

빵은 겉은 딱딱하더라도 안은 촉촉하고 부드러워야 맛있고 젤리는 쫄쫄쫄쫄 씹는 맛이 있어야 한다. 그리고 케이크는 부드럽고 폭신해야 제맛이다. 이렇게 음식이 갖고 있는 고유의 모양이나 식감을 만들어내기 위해서는 특별한 물질이 필요하다. 젤리의 모양을 기다란 벌레 모양이든 아기 곰 모양이든 정해진 모양으로 만들기 위해서는 틀 안에서 재료를 굳히는 젤라틴 같은 ‘겔 형성제’가 필요하다. 콩물을 끓여 네모난 두부를 만들려고 해도 글루코텔타락톤, 황산마그네슘 같은 ‘응고제’가 필요하다.

또 풍성하게 부풀어 오른 빵을 만들려면 이스트(효모) 같은 ‘팽창제’의 도움을 받아야 한다. 폭신한 스펀지 같은 케이크를 만들기 위해서는 보통 베이킹파우더를 사용한다. 베이킹파우더는 탄산수소나트륨을 주성분으로 하는 팽창제이다. 팽창제는 재료와 섞일 때 만들어진 가스로 반죽을 부풀리는데, 반응을 일으키는 탄산수소나트륨에 다른 물질을 섞어 가스가 충분히 만들어지도록 한 것이 베이킹파우더이다.

색깔도 음식에 있어서 중요한 요소이다. 갈색빛이 도는 고기보다는 선홍색 고기가 더 맛있어 보이고 초록색 채소 위에 새빨간 토마토가 올라가 있으면 식욕이 생기는 것처럼 말이다. 그래서 먹어도 해롭지 않은 식용색소를 ‘착색료’로 식품에 첨가한다. 식용색소 황색 제4호 등 16종의 합성색소, 심황색소, 베리류 색소 등의 천연색소 등이 대표적인 예이다. 사탕이나 젤리류가 알록달록하게 만들어질 수 있는 것은 이런 착색료 덕분이다.

한편 햄이나 소시지 같은 육가공품에 붉은색을 더 선명하게 하기 위해 아질산나트륨 같은 ‘발색제’를 넣기도 한다. 아질산나트륨은 보존료 역할도 한다. 그



탄산수소나트륨이 주성분인 베이킹파우더를 반죽에 넣으면 빵, 과자를 부풀려 식감을 좋게 만들 수 있다. © shutterstock.com





젤리는  
젤라틴 같은 '겔 형성제'로  
정해진 모양을 만들고  
착색료로 알록달록한 색상을  
구현할 수 있다.  
© shutterstock.com

래서 색도 내고 신선함도 유지하는 일석이조의 효과를 볼 수 있다. 그러나 독성 물질이 만들어지는 부작용 때문에 용도와 사용량을 엄격하게 제한하고 있다.

### 영양가를 높이고 단맛을 더하다

아침밥 대신 또는 간식으로 인기가 높은 시리얼은 옥수수나 쌀 등의 주재료에 각종 비타민, 아연, 철 등 영양성분이 들어가 한 끼 식사로도 손색없을 정도이다. 이렇게 조리 과정에서 어쩔 수 없이 빠져나가는 영양소를 보충하거나 별도로 영양가를 높이기 위해 넣는 식품첨가물을 '영양강화제'라고 한다.

또 단맛을 더하기 위해서 '감미료'라는 식품첨가물을 사용하기도 한다. 감미료는 단맛을 내는 물질인데 천연 당류를 제외한 인공합성 감미료를 말한다. 감미도는 설탕이 기준이 된다. 최근 다이어트에 관심을 갖는 사람들이 많아지면서 칼로리가 낮지만 설탕보다 수백 배의 단맛을 내는 고감미료에 대한 이용이 증가하고 있다.

아스파탐, 사카린나트륨, 글리실리진산나트륨, 스테비오사이드 같은 것이 그 주인공이다. 이 가운데 사카린나트륨은 설탕의 300배, 글리실리진산나트륨, 스테비오사이드도 설탕보다 200~300배나 달다. 주로 제로 칼로리 콜라, 소주



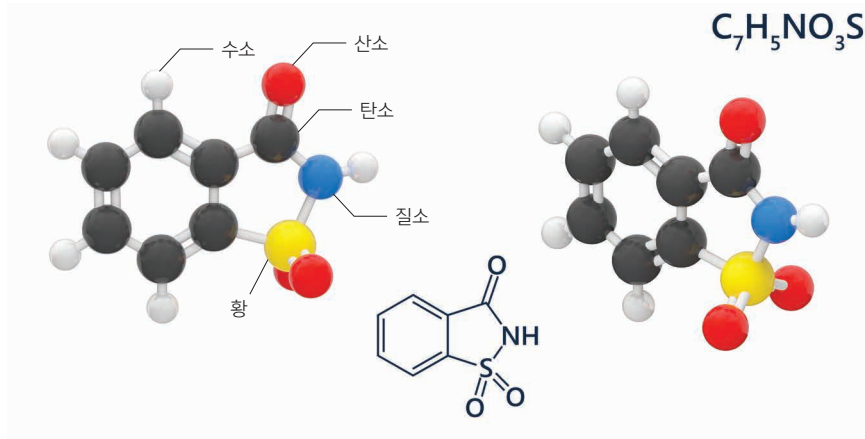
시리얼은 곡물 주재료에 다양한 영양성분이 들어가 한 끼 식사로 손색없다. © shutterstock.com

등에 사용되고 있지만 감미질이 좋지 않다는 단점을 갖는다.

### 사카린을 아시나요?

사카린나트륨은 설탕이 귀하던 시절에 설탕 대신 사용하곤 했던 하얀 가루 '사카린'으로 더 익숙하다. 보통 감미료로 사용하는 사카린나트륨은 이 사카린을 이용해 만든다. 사카린은 1879년 미국 존스홉킨스대학에서 아이러 렘슨(Ira Remsen) 교수와 그의 독일인 제자였던 콘스탄틴 팔베르크(Constantin Fahlberg)에 의해 발견됐다.

세계대전을 거치며 물자가 부족했던 시절에 저렴한 사카린의 인기는 가히 상상을 초월했다. 우리나라에서도 사카린은 6.25 전쟁 이후 어려웠던 시기에 서민 가정의 생필품이었다. 하지만 1977년에 사카린을 먹인 쥐가 방광암에 걸렸다



사카린의 분자 구조. © shutterstock.com

는 연구결과가 발표되면서 사카린은 발암물질 목록에 올랐다. 이때부터 사카린은 사람들에게 해로운 물질로 인식되기 시작했고 이것은 지금도 여전하다. 그러나 사카린이 암을 일으키고 몸에 안 좋은 물질이라는 것은 오해다. 당시 실험 쥐에 먹인 사카린의 양은 상당히 고농도였고 허용량을 지키면서 먹으면 인체에 무해하다는 사실이 밝혀졌기 때문이다. 그래서 세계보건기구(WHO)에서도 1993년에 사카린을 발암물질 목록에서 지웠다. 오히려 최근에는 사카린이 암세포의 증식을 억제하는 효과가 있다는 연구 결과가 발표되고 있다. 우리나라에서는 ‘당원’이나 ‘뉴슈가’ 등의 이름으로 판매되고 있는데, 젓갈류, 김치류, 빵튀기, 시리얼, 껌 등 25개 식품에 한해서만 사용이 허용된다. 감미료로 많이 사용되는 물질로는 ‘아스파탐’도 있다. 아스파탐은 사카린에 대한 발암물질 논란이 일어나자 비만이나 성인병 환자들을 위해 개발된 감미료이다. 설탕과 열량이 같지만 단맛은 설탕보다 200배나 강한 아스파탐은 지금도 ‘화인스위트’라는 이름으로 널리 사용된다.

### MSG는 역울하다?

사카린만큼이나 역울한 누명을 쓴 식품첨가물이 하나 더 있다. 바로 ‘MSG’라고 불리는 물질이다. ‘L-글루탐산나트륨’인 MSG는 식품의 맛을 한층 더 깊게 해주는 ‘향미증진제’라는 식품첨가물로 쓰인다. 재료만으로 충분한 맛이 나지 않을 때 이 마법의 가루를 아주 조금만 넣으면 맛이 확 살아난다. 그런데 안타깝게도 많은 사람들이 MSG를 몸에 좋지 않은 화학물질로 여긴다. MSG는 1908년 일본의 화학자 이케다 기쿠나에가 다시마에서 뽑아내면서 세상에 널리 알려졌다. 그는 MSG의 맛을 ‘우마미(감칠맛)’라고 했다. 감칠맛은 짭맛, 단맛 등 기존에 알려져 있던 맛과는 다른 새로운 맛이였다. 사실 이 맛은 고기를 끓인 육수, 또는 생선을 소금에 절인 젓갈에서도 발견할 수 있고 동서양 모두 오래전부터 이 맛을 내는 성분을 요리에 이용해 왔다.

다시마, 마른 멸치, 말린 표고버섯, 가다랑어 포(가츠오부시) 등을 넣으면 감칠맛 나는 국물을 끓일 수 있다. 여기에는 천연 MSG가 들어 있기 때문이다. © shutterstock.com



MSG를 구성하는 글루탐산은 우리 몸에 꼭 필요한 20가지 아미노산 중 하나로 필요한 만큼 몸속에서 만들어지며 체내 아미노산의 30%나 차지한다. 그리고 신경전달물질로서 몸 구석구석에 정보를 전달하는 중요한 역할을 한다. 다시 말해 MSG는 우리 몸을 구성하는 한 성분이다. 그런데 MSG를 몸에 좋지 않은 물질이라고 하니 MSG 입장에서는 여간 억울한 일이 아니다.

어떤 사람들은 화학적으로 합성한 인공물질이기 때문에 몸에 안 좋다고 하는데, 인공물질이 다 몸에 해롭다고 할 수 없을뿐더러 요즘 판매되는 MSG는 당밀이나 사탕수수 등을 발효균을 이용해 발효시키는 방법으로 얻는다. 된장이나 간장처럼 발효 과정을 이용하는 천연 조미료인 것이다. 초창기 방법처럼 다시마 같은 해조류를 끓여 추출할 수도 있고 화학적인 합성법도 시도한 적이 있지만, 모두 효율이 너무 낮아 대량생산에는 적합하지 않아 사용하지 않는다.

식품첨가물은 전문가들이 안전성 평가를 통해 엄격한 기준으로 1일섭취허용량을 정한다. © shutterstock.com



### 식품첨가물, 식생활을 풍요롭게 하다

2016년 현재 우리나라에서 사용하는 식품첨가물의 종류는 607종이다. 모두 철저한 검증을 통해 안전성을 인정받은 물질이다. 또 식품첨가물이 몸속에 쌓인다고 걱정하는 사람도 있는데, 거의 대부분의 식품첨가물이 몸속에서 분해되어 소변 등을 통해 몸 밖으로 빠져나가니 걱정할 필요가 없다.

건강을 위해서는 여러 가지 음식을 골고루 먹는 것이 중요하다. 안전한 물질인 식품첨가물 덕분에 우리는 마트에서 햄이나 베이컨을 사 먹을 수 있고 바쁜 아침에 필요한 영양소가 골고루 들어 있는 시리얼로 한 끼를 해결할 수 있다. 설탕을 넣지 않고도 달달한 맛을 즐길 수 있는 것도 모두 식품첨가물 덕분이다. 또 식품첨가물은 음식에 향과 색깔을 더해 먹는 즐거움도 선사해준다. 다만 식품첨가물이 안전한 물질이라 하더라도 가공식품만 많이 먹는 것은 자칫 영양 불균형을 일으킬 수 있기 때문에 바람직하지 않다는 점에 주의하자.

#### 식품첨가물이 궁금하다면?

식품의약품안전처에서 운영하는 식품첨가물 정보 사이트 '안전미인(안전美인, <http://www.safetyin.kr>)'에 들어가 보자. '식품첨가물 정보 검색' 항목에 궁금한 식품첨가물을 입력하면 용도를 비롯해 자세한 정보를 얻을 수 있다.





## CHAPTER 03



## 지키는 화학

몸을 지키는 합성섬유  
단단하게, 푹푹하게 외형을 지키는 신소재  
화재에 건디는 화학  
사회의 안전과 안보를 지키는 화학

튼튼하면서 가벼운 겨울코트, 비에 잘 젖지 않는 등산복처럼 몸을 지키는 의류는 합성섬유 덕분에 가능했다. 세라믹 코팅, 형상기억소재, 자기치유물질처럼 단단하게 푹푹하게 외형을 지키는 신소재가 있고 화재로부터 지켜주는 내열·난연성 소재가 있다. 또 독성물질 누출, 원자력 사고 같은 재난에 대응해 사회 안전을 지키기 위해서도 화학물질이 필요하다. '지키는 화학'의 세계를 살펴보자.

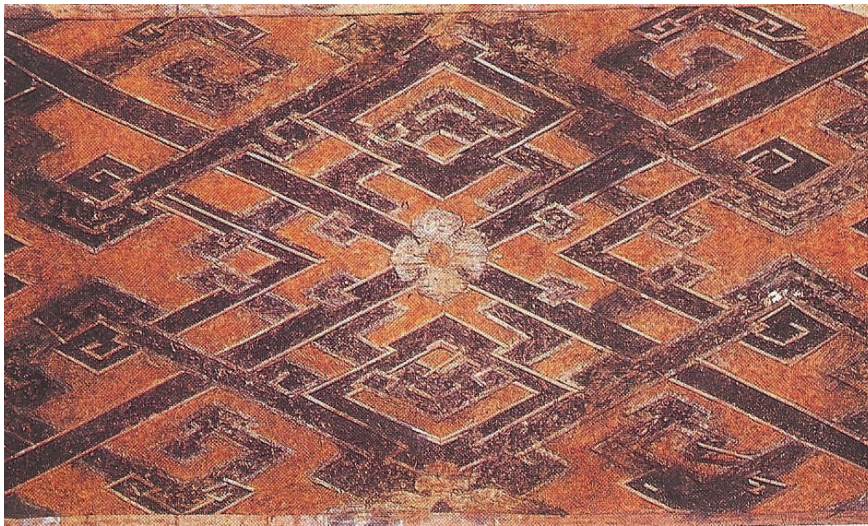
## 몸을 지키는 합성섬유

최초의 옷은 무엇으로 만들었을까. 고고학적으로는 1만 년 전의 신석기시대부터 마직물로 보이는 섬유를 이용해 옷을 만들어 입었을 것으로 추정된다. 인더스 강 유역에서는 5000년 전의 물건으로 추정되는 면직물이 발견됐다. 아주 오래전부터 인류는 추위와 바람을 피하기 위해 식물과 동물 가죽을 이용해 옷을 만들어 입었던 것이다.

### 문명의 발달과 섬유의 역사

섬유의 역사는 문명의 역사이기도 하다. 몸을 지키기 위한 기능적인 필요성뿐

중국 후난성에서 발견된 비단 옷감. 기원전 2세기경 서한 왕조 때 직조된 것으로 추정된다. © wikimedia.org



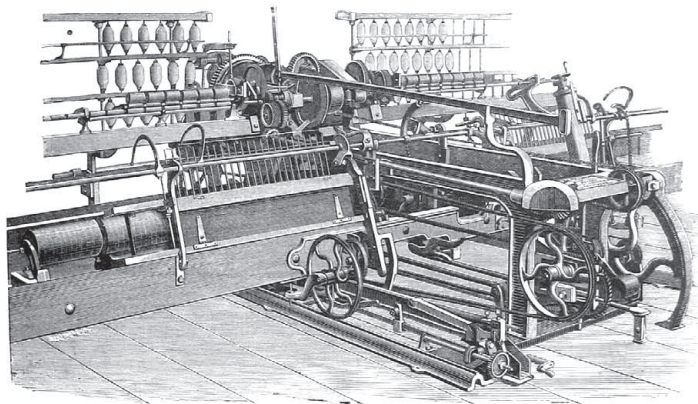
만 아니라 옷감이 주는 아름다움은 많은 사람들을 매료시켰다. 기원전 1700년 경부터 만들기 시작한 비단은 부드러운 감촉과 빛깔 때문에 중국을 비롯한 아시아뿐만 아니라 로마에서도 최고급 옷감으로 큰 인기를 끌었다. 또한 비단은 같은 무게로 따졌을 때 강철보다 질기기 때문에 갑옷의 안감으로 받쳐 입기도 했고 제1차 세계대전 이전까지 방탄복의 소재로 활용되기도 했다.

이처럼 값지고 중요한 옷감이기에 오랫동안 중국에서 비단의 제조법은 국가 기밀로 보호받았고, 귀중한 비단을 얻기 위해 많은 상인들이 먼 길을 떠났다. 중국에서부터 중앙아시아 사막과 초원을 거쳐 유럽까지 이르는 교역로인 실크로드(Silk Road)는 단순한 비단의 교역로가 아니라 동서양의 다양한 문화와 재화가 이동하고 서로 교류하는 연결로였다.

비단이 주로 귀족과 부유층의 사랑을 받았다면 값싸고 튼튼한 면직물은 널리 대중들의 사랑을 받았다. 그러나 면직물은 생산과정이 복잡하고 손이 많이 가기 때문에 산업혁명 전까지는 늘 공급이 수요보다 부족했다. 1769년 리처드 아크라이트가 발명한 수력 방적기와 1779년 사무엘 크럼프턴이 발명한 물 방적기를 이용해 생산과정이 기계화되면서 손으로 만들 때보다 가늘고 질긴 면직물을 대량으로 생산할 수 있게 됐다. 면직물의 대량생산은 산업혁명의 시발점이 됐다.

### 합성섬유의 시대가 열린다

산업혁명을 통해 생산이 기계화됐지만 면직물과 같은 천연섬유의 생산은 여전히 수요에 비해 많이 부족했다. 비단과 같이 여전히 수공업으로 생산되는 천연섬유는 20세기 초반까지도 값비싼 사치품이라 아무나 사용할 수 없었다. 자연적인 재료에서 섬유를 얻는 것이 쉽지 않다면 연금술처럼 다른 값싼 재료에서 비단 같은 비싼 섬유를 만들 수 있지 않을까. 1655년 영국의 과학자 로버트 후크가 처음으로 이 아이디어를 제시했을 때는 모두들 허무맹랑한 얘기가



1892년 영국 맨체스터에서 발행된 신문 <텍스타일 머큐리(Textile Mercury)>에 실린 물 방적기 그림.  
© wikimedia.org

고 생각했다. 그러나 화학이 발달하면서 천연 섬유가 고분자물질로 구성돼 있다는 사실을 발견하며 점차 현실화됐다. 고분자물질은 수많은 원자가 결합해서 이루어진 분자의 혼합물을 의미하며 천연섬유는 식물에서 얻은 당류나 단백질이 다양한 패턴으로 긴 사슬처럼 연결된 고분자물질이다. 화학자들은 얻는 데 복잡한 과정을 거쳐야 하는 천연 고분자 대신 석유를 정제하는 과정에서 얻은 나프타(naphtha)와 같은 부산물에서 얻은 합성 고분자를 이용해 천연섬유와 같은 구조를 만들고자 노력했다.

합성섬유는 어떠한 원리로 만들어지는 것일까. 합성섬유는 원료인 석유나 석탄에서 추출한 탄소화합물을 인공적으로 합성해 길게 연결시켜 만든 섬유이다. 고분자물질은 일반적으로 작은 분자들이 계속 결합해 이어지면서 만들어진 다. 이때 결합하는 단위가 되는 작은 분자를 단위체(또는 단량체)라고 부르며 이 단위체들을 화학반응으로 결합해 만들어낸 고분자물질을 중합체라고 한

다. 단위체들이 연결된 중합체는 제조방법에 따라서 우리가 흔히 쓰는 플라스틱으로 만들 수도 있으며 열을 가하거나 다른 화학물질로 녹여서 노즐을 통해 길게 뽑아내면 합성섬유로 사용할 수 있다.

### 천연섬유와 합성섬유, 어떻게 다른가?

인공적으로 원료를 추출할 수 있는 합성섬유는 천연섬유와 비교해서 여러 장점을 갖고 있다.

우선 합성섬유는 저렴하다. 아주 오래전부터 고급품인 비단과 양모와 같은 천연섬유는 비슷한 기능의 합성섬유와 비교할 때 생산비용이 비싸고 시간이 오래 걸린다. 비단 원사와 양모는 날씨와 기후에 따라 생산량이 달라지며 지역과 품종에 따라 품질이 각기 다르다. 예를 들어 양모 제품인 캐시미어는 중국, 티베트, 인도 지역에서만 생산된다. 특히 여름철에 양의 가슴 털을 빗질해 채취하기 때문에 양 한 마리당 생산량이 약 250g에 불과하며 생산량이 작은 만큼 캐시미어로 만든 옷은 가격이 매우 비싸다.

반면에 합성섬유는 공장 설비를 갖추기 위한 초기 비용은 많이 들지만 동일한 품질의 섬유제품을 기후나 지역과 관계없이 값싸게 대량 생산할 수 있어 좀 더 많은 사람들의 수요에 맞출 수 있다.

기능적인 부분에서도 합성섬유가 천연섬유보다 우수한 점이 많다. 종류에 따라 약간씩 성질이 다르지만 일반적으로 합성섬유로 만든 옷은 천연섬유에 비해 가볍고 질기며 마찰에 강해 잘 구겨지지 않고 오래 입을 수 있으며 세탁 및 관리도 더 편리하다. 화학적으로 안정한 물질로 구성됐기 때문에 천연섬유에 비해 잘 분해되지 않아 좀벌레나 곰팡이로부터 안전하다는 장점도 있다. 천연섬유는 본래의 특성 외에 다른 기능을 부가할 수 없지만 합성섬유는 생산원료와 공정에 따라서 고어텍스 원단과 같이 다양한 기능을 부가할 수도 있다. 나일론과 같은 합성섬유는 처음에는 주로 의류에 사용됐지만 강도와 내마모성이



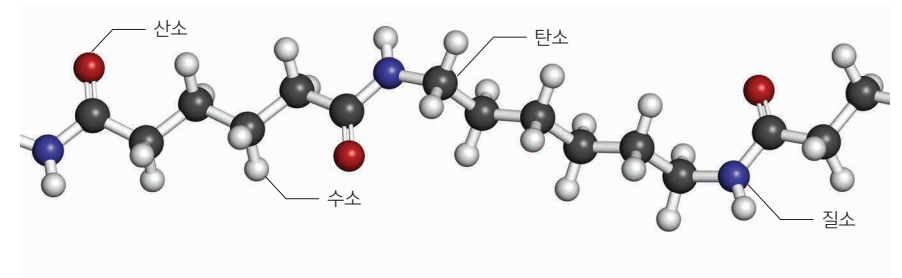
금속과 비교할 만큼 좋아 플라스틱의 재료와 같이 다양한 산업소재로 쓰이고 있다. 하지만 착용감, 감촉, 흡습성 면에서는 아직 합성섬유가 따라가지 못하고 있어 의류용으로 천연섬유도 여전히 사용되고 있다.

전 세계 섬유생산통계에 따르면 나일론, 폴리에스테르(폴리에스터) 같은 합성 섬유의 생산이 꾸준히 증가해 1993년에는 천연섬유 생산을 넘어섰다. 오스트리아의 섬유기업 렌징(Lenzing)사가 발표한 보고서에 따르면 2011년 전 세계에서 생산된 약 8400만 톤의 섬유 중에서 5100만 톤이 합성섬유였다. 나일론이 개발된 지 불과 반세기 만에 천연섬유와 합성섬유의 위치가 역전된 것이다. 앞으로 화학기술이 발전해 합성섬유의 단점들이 점차 개선된다면 언젠가는 정말 천연섬유로 만든 옷을 보기 힘든 날이 올지도 모르겠다.

### 섬유 산업의 혁명 ‘나일론’의 등장

‘나일론(nylon)’은 기적의 섬유로 불렸다. 세상에 처음 나일론을 공개했을 때 듀폰사는 ‘석탄과 물, 공기로 만들어진, 거미줄보다 기늘고 실크보다 아름다우며 강철보다 강한 섬유’라고 선전했다. 조금 과장되긴 했지만 나일론은 기존의 천연섬유처럼 가볍고 부드러워 구김이 잘 가지 않는 반면에 면직물이나 실크와는 비교할 수 없을 정도로 튼튼하고 잘 헤어지지 않는 ‘꿈의 섬유’였다. 사실 나일론은 실크를 타깃으로 삼아 실크의 분자 구조를 모사해 만든 것이다. 나일론은 우연한 발견을 계기로 탄생했다.

1935년 합성고무를 연구하던 듀폰사의 윌리스 캐러더스(Wallace Hume Carothers)와 연구원들은 놀이 삼아 연구 중이던 합성고무가 얼마나 늘어날 수 있는지 내기를 하곤 했다. 길게 잡아당긴 합성고무가 끊어지지 않고 마치 섬유질처럼 길게 늘어나는 것을 본 캐러더스는 합성고무가 아니라 합성섬유로 연구할 것을 주장했다. 우연한 발견을 계기로 합성섬유의 연구를 시작한 듀폰사는 1938년 세계 최초의 합성섬유인 나일론을 개발했다. 나일론은 석유에서



대표적인 나일론 중 하나인 '나일론 6,6'의 분자 구조.  
각각 6개의 탄소가 포함된 두 종류의 단량체, 즉 헥사메틸렌다이아민과 아디프산이 중합체를 구성한다.  
© shutterstock.com

추출한 헥사메틸렌다이아민과 아디프산을 반응시켜 만든 폴리아미드(polyamide) 중합체에서 뽑아낸 합성섬유이다. 제조 방법에 따라서 나일론-6, 나일론-6,6, 나일론-6,10 등의 상품이 있으며 뒤에 붙는 숫자는 반복되는 단위체에 포함된 탄소 원자의 개수를 의미한다.

당시 여성들은 비단이나 면으로 만든 헐렁한 스타킹을 신었다. 나일론으로 만든 스타킹은 비단과 비슷한 촉감과 광택을 가지면서도 더 탄력이 있어 찌글찌글해지지 않았다. 나일론 스타킹은 처음으로 발매되던 1940년 5월 15일 새벽부터 수많은 여성들이 가게 앞에 줄을 서 있다가 개장하자마자 구매해 하루 만에 400만 켤레가 매진됐다. 이 소식이 전 세계에 기사화되면서 이날은 역사적인 날로 기록됐다. 판매가 시작된 첫해에 총 6400만 켤레의 스타킹이 판매됐으며 1941년까지 나일론 스타킹은 양말 시장에서 30% 이상의 점유율을 기록했다. 듀폰사는 프랑스 파리 패션계를 통해 나일론 제품을 적극 선전했다. 1955년 패션쇼에서 샤넬, 크리스찬 디올, 니나리치 등 유명 패션기업들이 듀폰의 나일론 가운을 입은 모델들을 선보이면서 합성섬유로 만든 옷은 대중화



1954년 스웨덴 말뚝에서 한 여성이 나일론 스타킹을 검사하고 있다.  
© wikimedia.org

되기 시작했다.

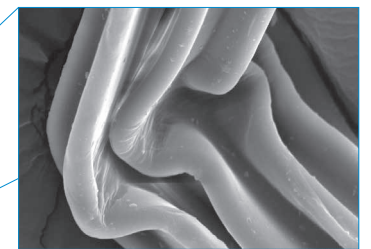
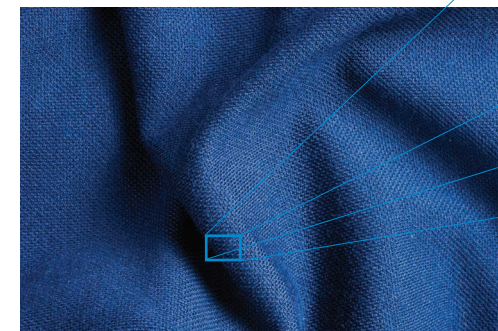
그러나 나일론은 흡습성이 낮아 정전기가 잘 일어나며 햇빛에 약해 변색이 잘 일어나는 단점이 있어 의류용으로 널리 쓰이기에는 무리가 있었다. 제2차 세계 대전이 발발하자 듀폰의 나일론은 의류가 아닌 군수품에 활용되기도 했다. 가벼우면서도 질기고 튼튼한 나일론은 낙하산과 타이어, 비행기 연료탱크와 같은 다양한 군수품에 사용되어 연합군의 승리를 이끌었다. 오늘날 나일론은 의류 소재보다는 다양한 나일론 제품을 기반으로 한 엔지니어링 플라스틱 재료에 더 많이 활용되고 있다.

### 가장 대중적인 합성섬유 ‘폴리에스테르’ 섬유

나일론이 가장 유명한 합성섬유라면 폴리에스테르(polyester)는 가장 많이 사용하는 합성섬유이다. 1941년 영국의 화학자 존 윈필드(John R. Whinfield)와 제임스 딕슨(James T. Dickson)이 개발한 폴리에스테르는 석유화학제품인 에틸렌글리콜(ethylene glycol)과 테레프탈산(terephthalic acid)의 중합체로부터 얻은 합성섬유이다. 원료가 되는 중합체가 에스테르결합( $-CO-O-$ )을 통해 긴 사슬 구조를 갖고 있어 폴리에스테르라고 부른다.

폴리에스테르 섬유는 염색이 어렵고 정전기가 발생하기 쉽다는 단점이 있지만 나일론 못지않게 튼튼하고 주름이 적으며 흡습성이 낮아 세탁 후에 쉽게 마르기 때문에 다양한 의류에 사용되고 있다. 또한 열가소성이 좋아 열처리를 한 폴리에스테르 의류는 세탁 후에도 다림질이 거의 필요 없을 정도로 형태를 잘 유지한다. 개발 당시에는 촉감이 비단과 비슷해 비단의 대체제로 주목받았다. 면이나 양모 같은 천연섬유와 비교할 때 폴리에스테르로 만든 옷은 훨씬 튼튼

폴리에스테르 직물은 주름이 잘 생기지 않고 세탁 후에 쉽게 마른다. © shutterstock.com



폴리에스테르 섬유 표면의 주사전자현미경(SEM) 사진. © wikimedia.org



하고 주름이 잘 생기지 않아 관리하기가 편리하다. 그러나 여러 단점 때문에 주로 천연섬유를 보완해 혼방 형태로 쓰이고 있다. 의류용과 산업용으로 쓰임새가 넓어 폴리에스테르 섬유는 전체 합성섬유 생산량의 65%를 차지할 정도로 널리 사용되고 있다. 주요 제품으로는 면-폴리에스테르 혼방제품인 테릴렌(Terylene), 테토론(Tetoron), 데이크론(Dacron) 등이 있다.

이렇듯 합성섬유는 특성상 물을 흡수하는 성질이 낮아 땀을 잘 흡수하지 못하거나 정전기를 유발하기도 하지만 다양한 기능과 장점이 있다. 이 덕분에 합성섬유를 이용하면 튼튼하면서도 가벼운 겨울코트, 비에도 잘 젖지 않는 여름옷, 잘 늘어나거나 헤어지지 않는 스타킹 같은 제품을 만들 수 있다. 그래서 나일론, 폴리에스테르 등 다양한 합성섬유가 개발·제작돼 왔다.

### 섬유의 ‘일석이조’ 결합, 혼방

오늘날 대부분의 의류는 천연섬유 또는 합성섬유만으로 만들지 않는다. 우리가 많이 들어본 면 혼방, 모 혼방이라는 이름의 직물로 만들고 있다. 혼방이란 서로 다른 두 종류 이상의 섬유를 혼합하거나 성질이 다른 동일 섬유를 혼합해 실을 만드는 것을 말한다. 왜 하나의 섬유로 옷을 만들지 않고 번거롭게 혼방해 만드는 것일까.

생산 공정이 복잡해지지만 혼방을 하는 이유는 두 가지 섬유의 장점을 함께 취하고 서로의 단점을 보완하기 위해서이다. 예를 들어 천연섬유인 면직물로 만든 옷은 흡습성이 좋아 땀을 잘 흡수하기 때문에 항상 쾌적함을 유지할 수 있다. 하지만 강도가 약하고 잘 구겨지기 때문에 오래 입기 어렵다. 합성섬유인 폴리에스테르를 혼방해 옷을 만들면 면직물의 장점은 그대로 유지하면서 질기고 구김이 거의 없어 다림질이 편리한 폴리에스테르의 장점을 함께 갖게 된다. 두 가지 섬유의 장점을 통해 각자의 단점을 보완할 수 있기 때문에 많은 옷들이 혼방섬유를 이용하는 것이다.



우리가 입는 의류 대부분은 두 종류 이상의 섬유를 혼합해 만든다. 사진은 서울의 한 매장에 진열돼 있는 혼방셔츠.  
© shutterstock.com

비단의 경우에는 비슷한 촉감의 합성섬유인 레이온 섬유와 혼방하는 경우가 많으며 양모의 경우 아크릴 섬유와 주로 혼방해 사용하고 있다. 기능적인 측면뿐만 아니라 경제적인 부분에서도 혼방섬유로 옷을 만드는 것이 이득이다. 예를 들어 양모와 같은 값비싼 천연섬유만으로 겨울옷을 만들면 가격이 비싸 소비자에게 큰 부담이 된다. 하지만 비슷한 촉감과 성질을 가진 아크릴 섬유와 혼방해 겨울옷을 만들면 저렴한 가격에 우수한 품질의 겨울옷을 입을 수 있다. 겨울 코트의 경우 양모-아크릴 혼방제품을 양모만으로 만든 제품과 비교하면 촉감 면에서 조금 차이가 있지만 보온성은 크게 차이가 없고 가격은 혼방 제품이 훨씬 저렴하다.



과거에는 천연섬유와 천연섬유를 조합해 혼방했으나 최근에는 합성섬유와 천연섬유를 주로 혼방하고 합성섬유끼리도 혼방해 사용하고 있다. 합성섬유는 생산과정에서 굵기, 길이, 모양을 자유롭게 변화시킬 수 있어 면이나 양모 같은 천연섬유와 혼합해 사용하기 편리하다. 혼방섬유의 특성은 섬유 간의 조합 비율에 따라 결정된다. 일반적으로 폴리에스테르와 면은 각각 65%, 35%의 비율로 혼방한다. 만일 폴리에스테르의 비율이 높아지면 튼튼하고 질긴 섬유를 얻을 수 있지만 착용감이 떨어지고 표면이 더 매끄러워져서 염색이 잘되지 않는다. 반대로 면의 비율이 증가하면 몸에 닿는 감촉이 더 좋아지지만 구김이 잘 생겨 관리하기가 어려워진다. 또 다른 혼방제품인 아크릴 섬유와 양모는 보통 각각 55%, 45%로 혼합한다. 그런데 양모의 비율이 늘어날수록 가격이 비싸지고 세탁할 때 섬유가 수축하기 쉬워 관리하기 힘들어진다.

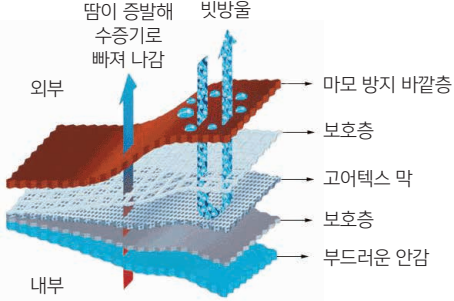
서로 색이 다른 물감이 도화지에서 만나 다채로운 색감을 내듯이 천연섬유와 합성섬유의 혼방을 통해 더 싸고 다양한 기능을 가진 옷을 만들 수 있으니 일석이조가 아닐 수 없다.

### 방수 소재의 대명사, 고어텍스

다들 '고어텍스(Gore-Tex)'라는 이름을 들어봤을 것이다. 흔히들 고어텍스를 등산복 브랜드 이름처럼 알고 있는데, 사실 고어텍스는 발명자인 윌버트 고어(Wilbert L. Gore) 박사의 이름에서 유래된 기능성 소재다. 고어텍스는 방수, 방풍 기능이 뛰어나면서 동시에 투습성이 뛰어난 분리막 소재이다. 주요 성분은 불소계 발수 코팅 소재인 테플론, 즉 폴리테트라플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene)으로 다른 화학물질과 화학반응이 쉽게 일어나지 않아 화학적으로 매우 안정한 물질이다. 테플론 수지를 가열해 늘리면 눈에 보이지 않는 미세한 구멍이 있는 얇은 막이 생기는데, 이를 나일론 또는 폴리에스테르 옷감의 겉면에 접착해 만든 것이 바로 고어텍스이다. 고어텍스의 기능은 이 미세한 구멍에서 나온다. 고어텍스에 뚫려 있는 미세한 구멍은 지름이 200nm(나노미터, 1nm=10<sup>-9</sup>m)로 빗방울(지름 1mm)보다 작아 비가 옷에 스며들지 못하게 막는 반면, 수증기(지름 0.4nm)보다는 크기 때문에 몸에서 나온 땀은 증발해 수증기 형태로 열과 함께 바깥으로 방출된다.



아웃도어 제품에 많이 쓰이는 고어텍스 소재는 빗방울이 침투하지 못하게 하는 동시에 땀은 수증기 형태로 방출하도록 해준다.  
© shutterstock.com



고어텍스에 뚫려 있는 미세한 구멍은 빗방울보다 작고 수증기보다는 크다. © wikimedia.org

연꽃잎처럼  
물방울이  
스며들지 않는  
섬유



연꽃잎 위에 빗방울이 스며들지 않고 구슬처럼 맺혀 있다. © shutterstock.com

비오는 날에는 연꽃잎 위에 빗방울들이 스며들지 않고 구슬처럼 흘러내리는 것을 볼 수 있다. 이런 현상은 나뭇잎 표면에 있는 미세한 털 때문에 발생한다. 나뭇잎의 미세한 털들이 물방울과 표면 사이의 접촉면적을 줄여 물방울과 표면 사이의 서로 당기는 힘을 감소시킴으로써 물방울들이 구슬처럼 구르게 되는 것이다. 또한 물방울과 접촉하는 표면의 에너지가 극히 낮은 경우도 계면 사이의 힘이 약화돼 동그란 구형의 물방울이 형성되고 쉽게 구르게 된다.

자연의 원리를 알게 되면 이를 다양한 분야에서 활용할 수 있다. 합성섬유 표면이 매우 낮은 표면에너지를 가져 소수성을 보이거나 표면에 미세한 털과 같은 돌기를 만들 수 있다면 연꽃잎처럼 물이 잘 스며들지 않는 옷

을 만들 수 있을 것이다. 이처럼 원단 표면을 가공해 물을 튕겨 굴러 떨어지도록 하는 것을 발수가공(water repellent)이라고 한다. 비나 눈에 젖기 쉬운 스키복이나 우의, 텐트 같은 아웃도어 제품용 기능성 소재에는 이런 발수가공이 반드시 필요하다. 발수가공에는 섬유 단계에서 미세한 돌기를 만들어 발수기능을 갖도록 하는 방법도 있지만 기존 원단에 발수제를 코팅하는 방법도 있다. 아웃도어 의류나 텐트는 주로 발수제를 이용하는데, 발수제에 사용되는 원료는 1990년대까지 대부분 일본과 독일에서의 수입에 의존하고 있었다.

한국화학연구원은 2년간의 연구를 통해서 새로운 ‘불소계 발수제’를 개발하는 데 성공했다. 새로운 발수제는 물에 나노 크기의 소수성 불소수지 입자가 분산돼 있는 형태를 갖기 때문에 기존 섬유제품에 단순히 뿌려주는 것만으로도 표면을 소수성으로 바꾸며 연꽃잎처럼 미세한 돌기막이 생생돼 비가 잘 스며들지 않는다. 새로운 발수제는 텐트와 우산 같은 다양한 아웃도어 제품에 이용할 수 있어 개발 첫해에만 90억 원의 매출을 올릴 정도로 성공리에 판매되고 있다. 새로운 발수제는 불소를 사용하기 때문에 기존 발수제와 달리 물뿐만 아니라 기름과 같은 오염물질이 잘 스며들지 못한다. 따라서 기름과 같은 오염물질이 많이 발생하는 산업현장의 위생복, 안전복에 널리 사용되고 있다.

또한 본 ‘불소계 발수제’는 불이 붙기 쉬운 톨루엔, 신나와 같은 유기용제를 사용하지 않고 물을 용제로 사용하기 때문에 화재위험이 없을 뿐만 아니라 유해한 휘발물질이 발생하지 않아 인체에 무해하다. 사용과정뿐만 아니라 생산과정에서도 수질오염의 주범인 유기용제를 사용하지 않기 때문에 환경 친화적이다. 이처럼 화학소재는 자연을 모방한 특수기능으로 우리의 편리와 안전을 한층 업그레이드하고 있다.

## 단단하게, 똑똑하게 외형을 지키는 신소재

‘주꾸미가 찾아준 900년 전 보물.’ 2007년 5월 18일 충남 태안에서 통발로 주꾸미를 잡던 어부 김용철 씨는 깜짝 놀랐다. 통발 속 주꾸미 한 마리가 비색(翡色)이 감도는 접시를 단단히 잡고 있었던 것이다. 김 씨가 경찰에 즉각 신고하면서 900년간 잠들어 있던 태안 보물선의 발굴은 이렇게 시작됐다. 개성으로 향하다 침몰한 것으로 추정되는 배에서는 2만여 점의 최상급 고려청자가 발견됐다. 보물선은 오랫동안 바닷속에서 형체를 알기 힘들 정도로 부패됐지만 발굴된 청자들은 수백 년 동안 바닷속에 잠들어 있었다고는 믿을 수 없을 정도로 선명한 비색을 자랑했다. 어떻게 고려청자는 아름다움을 지킬 수 있었을까.

### 도자기의 아름다움을 지키는 유약

그 비결은 고려청자에 사용된 유약에 있다. 유약이란 도자기의 표면에 얇게 씌워서 광택과 색채 또는 무늬를 내는 유리질의 분말을 칭하며, 장식과 규석, 석회석을 혼합해 만든다. 초벌구이한 도기에 유약을 바르고 가마에서 고온에 굽는 소성과정을 거치면 유약의 성분과 공기 중의 산소가 만나 산화과정을 거치면서 얇은 유리막이 생성된다. 이렇게 만든 그릇은 표면에 굳은 유약 때문에 좀 더 단단해지고 물이 잘 스며들지 않아 바닷속에서도 수백 년을 견딜 수 있다. 유약은 도자기를 좀 더 튼튼하게 만들 뿐만 아니라 아름다운 빛깔을 더해준다. 도자기를 굽는 불에는 산화염과 환원염이 있다. 산화염은 가마 속의 산소가 충분히 완전히 깨끗하게 연소되는 불이며 붉은색을 띤다. 이 방법은 도자기에 바른 물감(안료)의 색상이 뚜렷하게 나와 주로 현대 도자기, 다양한 색의 예술작품들을 굽는 데 이용된다. 반면 가마 내부의 산소 공급을 차단하면 연료가 불



‘국보 97호’인 청자 음각 연꽃 넝쿨무늬 매병.  
© 국립중앙박물관

완전 연소해 푸른색의 환원염이 발생한다. 이때 불완전 연소로 발생한 일산화탄소가 유약의 산화제이철 성분과 결합하면서 산화제일철로 환원되어 고려청자의 푸른빛을 만들어 낸다. 청자와 백자 같은 전통자기들은 주로 환원염 상태에서 구워내며 유약 때문에 색상이 미려하고 강도가 매우 뛰어나다.

오늘날 우리가 사용하는 대부분의 그릇들은 유약을 발라 만들고 있다. 그러나 처음부터 유약을 사용해서 그릇을 만들던 것은 아니다. 처음으로 우리 조상들이 사용한 그릇은 유약을 바르지 않은 흙을 500℃ 이상의 고온에 구워 만든 토기이다. 신석기시대(빛살무늬토기)부터 고려시대까지만 하더라도 주로 토기를 사용했다. 그러나 낮은 온도에서 초벌구이를 한 토기는 점토 사이에 보이지 않는 미세한 구멍이 많아 음식물의 물기가 잘 스며들고 쉽게 잘 깨져 오래 사용





유약을 바르지 않았던 신석기시대 토기는 점토 사이에 미세한 구멍이 많아 쉽게 깨졌다. © shutterstock.com

하기 힘들었다. 강도가 낮아 오래 사용하기 힘든 토기의 단점을 극복하기 위해 800℃ 이상에서 재벌구이를 해 만든 그릇이 옹기이다. 토기보다 고온에서 구워낸 옹기는 토기보다 표면에 미세한 구멍이 작아 튼튼하지만 역시 물기가 잘 스며들어 오래 사용하기 어려웠다.

유약은 우연히 발견됐다. 최초의 도자기 유약은 기원전 3000년경 이집트에서 천연 탄산소다와 모래를 섞어서 유리구슬을 만들다 발견했다고 한다. 우리나라에서는 신라시대에 토기를 굽는 과정에서 토기에 불이 직접 닿아 부서지는 것을 막기 위해 재로 덮어 보호하면서 자연스럽게 발견됐다. 완성된 토기에 덮인 재를 털어내니 재가 유리코팅으로 변해 바깥에 달라붙어 물이 스며드는 것을 막아줄 뿐만 아니라 아름다운 빛깔을 만들어주는 것을 우연히 발견하게 되면서 유약은 도자기를 만드는 데 없어서는 안 될 재료가 됐다.

### 열로부터 지켜주는 세라믹

오랫동안 유약은 물과 충격으로부터 도자기를 지켜주는 보호막이었다. 그런데 기술이 발달하면서 유약으로부터 보호받던 도자기가 이제는 세라믹이라는 새로운 이름으로 다른 물질들을 보호하고 있다.

세라믹(ceramics)이란 고대 그리스어의 ‘케라모스(keramos)’, 즉 ‘흙으로 만들어진 또는 불에 태워서 만든 물건’이란 말에서 나왔다. 사람이 인위적으로 열을 가해 만들어진 비금속무기물질인 세라믹은 구석기시대 토기부터 사용해온 가장 역사가 오래된 재료이다. 대표적인 세라믹 제품으로 유리와 도자기가 있다. 오늘날의 세라믹은 점토와 모래 같은 천연 무기 재료를 그대로 사용하는 것이 아니라 천연 재료에서 필요한 성분을 순수하게 정제한 뒤 초미세 분말로 만들어 원하는 형태를 잡은 뒤에 가마에서 구워서 제작한다. 1970년대부터 만들기 시작한 새로운 세라믹은 현재 입자 크기가 나노미터(10억분의 1m) 단위로까지 줄어든 파인 세라믹(fine ceramics)에 이를 정도로 정밀해지고 있다. 세라믹은 입자 크기가 작을수록 강도가 더욱 높아져서 인공뼈, 엔진, 기어 등에 사용할 뿐 아니라 여러 가지 기능을 갖는 각종 센서에도 이용하고 있다.

우주왕복선의 외부 표면에는 세라믹 코팅이 돼 있어 강력한 마찰열을 버틸 수 있다. © shutterstock.com



## 주방기기 안전하게 사용하려면

주방식기로 이용하는 도자기에 바른 유약이 문제가 된 적이 있다. 과거에는 광명단과 같이 산화납( $Pb_3O_4$ ) 성분이 포함된 유약을 사용해 붉은색이 나고 표면이 매끈한 그릇을 만들었다. 하지만 납 위험성 때문에 요즘 국내에서 만드는 도자기는 납을 포함하지 않는 무연유약만 사용하도록 법으로 정하고 있다.

다양한 식기에 들어가는 화학약품도 안전성 논란이 있다. 특히 가볍고 튼튼해 주방용기로 널리 쓰이는 플라스틱은 환경호르몬 문제가 따라다닌다. 플라스틱의 일종인 폴리카보네이트(PC), 폴리아릴설폰(PASF), 에폭시 수지로 만든 용기를 고열로 가열하거나 음식과 접촉할 경우 비스페놀A가 용해돼 나올 수 있다. 비스페놀A는 발암, 내분비계 교란을 통한 성기능 장애 등을 일으킬 수 있는 화학물질이다.

하지만 대부분의 플라스틱 주방용기는 환경호르몬으로부터 안전하다고 봐도 괜찮다. 국내에서 생산·유통되는 주방용품의 95%가 폴리프로필렌(PP) 재질이며, 우유병이나 생수병에 쓰이는 폴리에틸렌(PE)이나 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)에서는 비스페놀A가 나오지 않는다. 실제 폴리카보네이트(PC) 재질 용기에서 검출되는 비스페놀A 수치는 정부 조사결과 안전기준치보다 낮은 미미한 수준이며, 소변으로 금방 배출돼 안전하다. 그러나 식약청은 성인에 비해 환경호르몬에 민감한 유아를 보호하기 위해 2012년부터 비스페놀A가 나오는 유아용 젖병의 제조·수입·판매를 금지하고 있다.

플라스틱 주방기기는 안전하게 사용하기 위해서는 용도에 맞게 써야 한다. 특히 플라스틱 용기를 전자레인지에서 돌릴 때에는 사용가능 여부를 반드시 확인해야 한다. 폴리염화비닐(PVC) 소재와 컵라면 용기 등에 쓰이는 폴리스티렌(PS), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET)는 열에 약하기 때문에 전

자레인지에 넣지 않는 것이 좋다. 반면 폴리프로필렌(PP), 폴리에틸렌(PE) 소재 용기는 전자레인지에서 사용할 수 있지만 되도록 식품을 데우는 용도로만 쓰고 조리용으로 장시간 사용하지 않는 것이 바람직하다. 따라서 전자레인지에는 도자기나 유리로 만든 주방용기나 전자레인지용 플라스틱 용기를 사용해야 한다.

환경호르몬의 문제는 주방에서 많이 쓰는 프라이팬에도 있다. 대부분의 프라이팬에는 음식이 조리 중에 늘어붙지 않게 코팅이 돼 있는데, 코팅에 사용되는 '과불화옥탄산(PFOA)'에서 환경호르몬이 유출될 수 있기 때문이다. 탄소와 불소의 결합물인 과불화옥탄산은 물과 기름에 저항하는 특성 때문에 프라이팬 코팅은 물론이고 의류의 방수처리에도 널리 쓰이고 있다. 대표적인 프라이팬 코팅제인 '테플론'에도 과불화옥탄산이 포함돼 있다. 과불화옥탄산은 호르몬 교란물질로서 당뇨와 뇌혈관 질환 등을 유발할 수 있어 주의가 필요하다. 특히 빈 프라이팬을 오래 가열하거나 코팅이 벗겨진 프라이팬을 사용할 경우 유출 가능성이 높아지니 주의해야 한다. 일반적으로 코팅 프라이팬의 수명은 1년에서 1년 반에 불과하다. 따라서 조리도구를 안전하게 사용하기 위해서는 프라이팬의 수명을 감안해 사용해야 하며, 코팅 프라이팬 외에 무쇠나 스테인리스 재질의 프라이팬의 사용도 고려해 볼 필요가 있다.



굽기 전에 잘 말린 도자기 그릇들. © shutterstock.com

세라믹의 강점은 도자기에서 알 수 있듯 열에 무척 강하다는 것이다. 금속이나 플라스틱과 달리 세라믹은 미세한 분자들이 강하게 결합돼 있어 1000℃가 넘는 온도에도 녹거나 분해되지 않는다. 우주왕복선의 외부 표면이 무려 3만 3000개의 초경량 특수 세라믹 타일로 덮여 있는 것도 이처럼 열에 강한 성질 덕분이다. 용광로에서 쇳물을 뽑아내려면 열에 강한 세라믹 내화(耐火)벽돌이 필수적이다. 이 때문에 제철용 세라믹 내화 벽돌은 산업혁명의 핵심품목으로 1800년대만 해도 유럽 각국에서 정부가 직접 생산을 관리할 정도로 중요한 품목이었다.

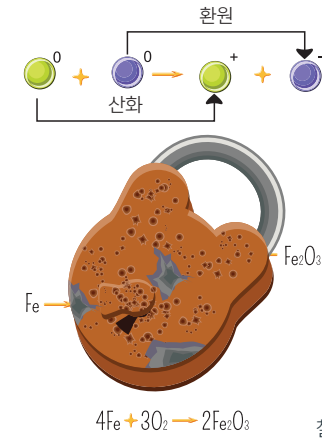
단일 소재뿐만 아니라 세라믹 코팅기술은 다양한 분야의 공업제품에 이용되고 있다. 특히 고온고압에서 작동하는 발전용 가스터빈이나 항공기 제트엔진에서 세라믹은 반드시 필요한 소재이다. 발전소에서 좀 더 효율적으로 전력을 생산하기 위해서는 가스터빈의 작동온도가 높아야 한다. 그러나 금속제 터빈부품은 강도가 높고 마찰에 강하나 고열에 약해 형태가 달라질 수 있어, 세라믹을 활용한 차열코팅(Thermal Barrier Coating, TBC)을 통해 열로부터 보호하고 있다. 항공기 제트엔진 역시 연소가스의 고열로부터 금속부품이 변형되는 것을 막기 위해 세라믹 코팅을 하고 있다. 이처럼 유약으로부터 보호받던 도자기는 이제는 우주항공 산업에서 발전 산업까지 다양한 분야에서 고열로부터 재료를 지키는 역할을 하고 있다.

### 산화로부터 금속을 지키는 다양한 방법들

수분에 취약하고 강도가 약한 토기의 단점을 보완하기 위해 유약을 발라 도자기를 만든 것처럼, 외부의 수분을 차단하는 일은 철과 같은 금속에게도 중요한 문제다. 철은 자동차부터 생활용품, 그리고 건축물에 이르기까지 우리 생활에서 쓰이지 않는 곳이 없는 중요한 재료이다. 만약 철이 없다면 에펠탑 같은 고층 건축물은 당연히 지을 수 없을 것이고 아직도 우리는 초가집과 나무

집에서 살고 있을 것이다. 하지만 이런 철에는 치명적인 약점이 존재한다. 바로 산화환원반응이다. 철(Fe)이 물(H<sub>2</sub>O)과 산소(O<sub>2</sub>)와 접촉하면 전자를 잃어버리고 산화해 우리가 흔히 녹이라고 부르는 붉은색의 산화철(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·3H<sub>2</sub>O)이 돼 버린다. 건축물에 사용된 철이 녹슬게 되면 강도가 크게 약해져서 무너질 수 있다.

따라서 철로 만든 건물과 제품들은 녹스는 것을 막기 위해 다양한 방법을 사용하고 있다. 가장 일반적인 방법은 겉에 페인트와 같은 도료를 바르는 것이다. 마치 유약이 도자기를 수분과 충격으로부터 보호하는 것처럼 페인트나 기름을 발라 수분과 공기로부터 철을 보호할 수 있다. 하지만 페인트나 기름은 유약과 달리 시간이 지나면 벗겨지기 쉬워서 주기적으로 다시 발라줘야 한다는 단점이 있다. 그래서 좀 더 튼튼한 다른 금속을 철 표면에 도금하는 방법이 있다. 철보다 반응성이 큰 아연이나 반응성이 적은 주석을 입혀서 수분과 산소를 차단하는 것이다. 아연을 도금한 금속을 합석이라 부르며 표면에 흠이 생기더라도 아연이 먼저 산화되어 철을 보호해주기 때문에 주로 지붕과 같은 건축용 자



페인트가 벗겨지면 공기 중에 노출된 철은 녹이 쏜다.  
© shutterstock.com

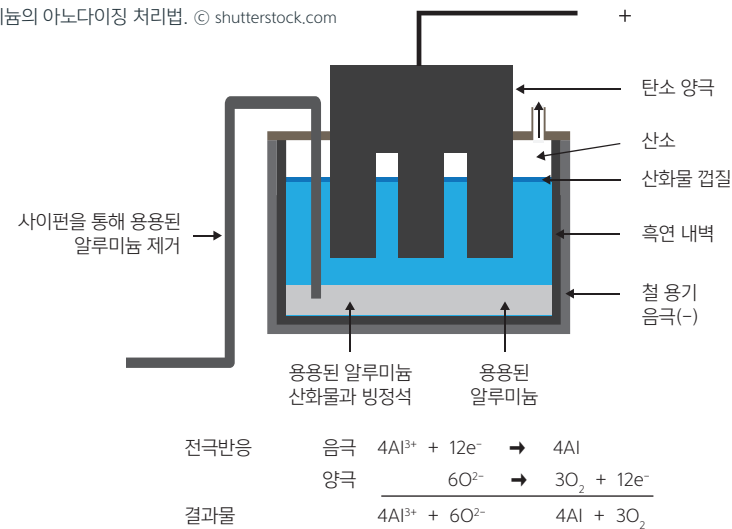
철이 산화되는 원리. © shutterstock.com



재나 차량용 강판으로 사용한다. 주석을 겉에 도금한 금속을 양철이라고 부르는데 독성이 없어 통조림의 포장용기로 사용하고 있다.

물과 접촉해 산화되는 것은 철뿐만 아니라 알루미늄에게도 큰 문제이다. 많은 사람들이 알루미늄은 녹슬지 않는다고 생각하는데 이는 잘못된 상식이다. 순수한 알루미늄은 철보다 반응성이 좋아서 녹이 더 잘 생겨 위험하다. 그럼에도 왜 알루미늄은 녹슬지 않는 것처럼 보일까? 답은 알루미늄의 반응성이 워낙 좋기 때문이다. 알루미늄은 반응성이 매우 높아 공기 중의 산소와 수분과 급속히 반응해 순식간에 표면이 산화알루미늄( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )으로 변한다. 철의 표면에 생기는 산화철(녹)과 달리 산화알루미늄의 얇은 막은 마치 유약이나 페인트처럼 알루미늄을 물과 공기로부터 차단하여 더 이상 산화되지 않게 보호한다. 우리가 알루미늄이 녹슬지 않는다고 생각하는 건 바로 이 산화알루미늄 피막 때문이다. 하지만 자연적으로 생기는 산화알루미늄 피막은 두께가 얇아 잘 벗겨지기 때

알루미늄의 아노다이징 처리법. © shutterstock.com



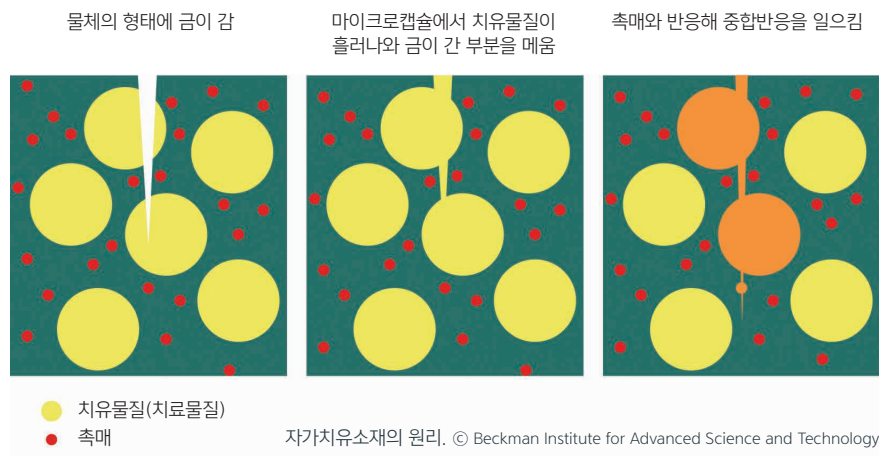
문에 좀 더 튼튼한 보호막을 만들 필요가 있다. 전기화학적 방식을 통해서 좀 더 두껍고 튼튼한 산화알루미늄 보호막을 알루미늄에 씌우는 방법을 아노다이징(anodizing, 양극산화)이라 부른다. 아노다이징(양극산화)은 양극(anode)과 산화(oxidizing)의 합성어로서 금속제품을 황산 같은 전해액에 넣고 전기를 흘리게 되면 금속제품이 전류가 흐르는 양극 역할을 하며 산화되기 때문에 이렇게 부르고 있다. 아노다이징을 통해 생성된 피막은 자연적으로 만들어진 것과 비교하면 매우 단단하고 잘 부식되지 않는다. 또한 피막의 표면에 매우 미세한 구멍이 나 있어서 순수 알루미늄과 달리 다양한 색상으로 염색하기 쉽다. 우리가 사용하는 스마트폰과 가전제품의 다양한 색깔은 바로 아노다이징 과정을 통해서 만들어진 것이다.

### 원형을 복구하는 형상기억소재와 자가치유소재

유약과 아노다이징을 통해 만든 보호막은 수분과 충격으로부터 소재를 지키지만 완벽한 방법은 아니다. 망치로 치는 식으로 강한 충격을 가하게 되면 강철 같은 튼튼한 소재도 결국 깨지기 때문이다. 그런데 형상기억합금이라는 특수한 소재로 형태를 만들게 되면 어떠한 외부충격에도 제품의 형태를 보호할 수 있다.

형상기억합금이란 다른 모습으로 변형됐을 때 열을 가하면 다시 변형 전의 모습으로 되돌아오는 성질을 가진 합금을 말한다. 우리가 아는 일반적인 금속은 한번 충격을 가해 형태가 변하면 원래대로 돌아오지 않는다.

형상기억합금을 처음으로 사용한 것은 1969년 아폴로 11호의 통신 안테나였는데, 발사할 때는 접혀 있다가 달 표면에서 적당한 온도가 되면 저절로 펴지게 만들었다. 일상생활에서는 브래지어와 같은 여성용 속옷에 가장 흔하게 사용되며 세탁과정에서 찌그러진 형태가 체온에서 다시 원래대로 돌아오게 된다. 그 외에도 기계부품이나 측정기기, 치열 교정용 보정기 같은 의료용으로 사용



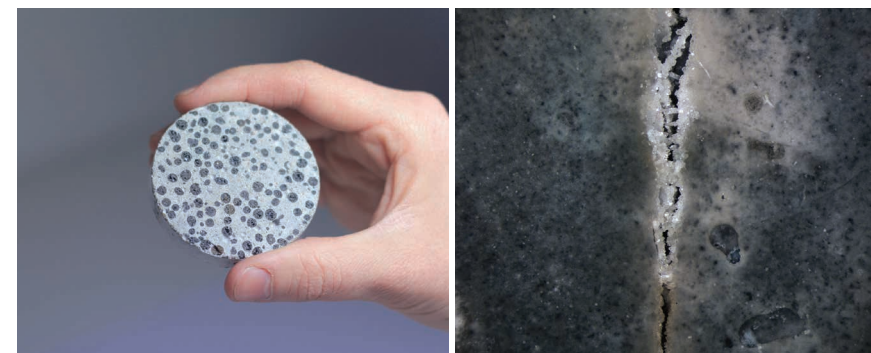
하기 위한 연구가 진행됐으며 전투기의 파이프 이음쇠와 온실 창이 개폐장치 등에도 형상기억합금이 사용되고 있다.

아무리 유약으로 보호하더라도 한번 깨진 도자기는 다시 원래대로 돌아오지 않는다. 그래서 도자기나 휴대전화 액정유리 같이 깨지기 쉬운 물건들은 늘 조심해서 다룰 수밖에 없다. 휴대전화의 경우 한번 금이라도 가면 수리비로 큰돈을 지불해야 해서 두꺼운 케이스나 강화유리 같은 소재로 보호하는 사람들이 많지만 파손으로부터 완전히 자유로울 수는 없다. 충격으로부터 완전히 보호할 수 없다면 형상기억합금처럼 금이 가도 자동으로 원상회복되는 유리나 플라스틱을 만들면 되지 않을까?

놀랍게도 SF영화에서나 볼 법한 스스로 상처를 치유하는 소재에 대해서 이미 국내외에서 연구가 진행되고 있다. ‘외부 환경에 의해 손상을 입은 고분자가 스스로 결함을 감지해 자신의 구조를 복구함은 물론이고 원래의 기능을 회복할 수 있는 지능형 재료’를 자가치유소재(self-healing material)라고 부르고 있다. 자가치유소재는 스스로 복원기능을 가지므로 미세한 손상에 대처하기 용

이하며 재료에 따라서는 복구된 부분의 성능이 원래 물질과 차이가 없어 다양한 응용분야에 활용할 수 있다.

자가치유소재가 생물체처럼 스스로 상처를 치유하는 비결은 고분자물질에 있다. 손상부위를 복원할 수 있는 접착제와 같은 고분자물질을 첨가해 충격이 발생했을 때 스스로 복원하는 것이다. 예를 들어 플라스틱 소재에 액체치료물질이 담긴 미세한 캡슐을 주입해, 충격으로 플라스틱에 금이 가면 캡슐이 터지면서 액체치료물질이 방출된다. 캡슐에서 나온 액체치료물질이 플라스틱과 접촉하면서 마치 접착제처럼 변해서 충격으로 생긴 틈 사이에 스며들어 단단하게 메우는 것이다. 고분자물질 캡슐을 이용한 자가치유소재는 이미 상용화돼 반도체 회로기판 등 다양한 용도에 이용되고 있다. 캡슐을 이용한 자가치유소재는 제작이 비교적 쉽고 플라스틱부터 유리까지 다양한 소재에 응용할 수 있기 때문에 가장 널리 연구되는 방법이다. 이 외에도 중공섬유(hollow fiber) 또는 관다발(vascular network)을 사용한 시스템 연구, 특정한 빛(자외선)을 받으면 형질이 바뀌는 고분자물질을 이용한 자가치유소재 연구도 진행 중이다.



자가치유소재는 미래의 건축자재로 각광받고 있다.  
© University College London

자가치유콘크리트가 깨진 부분을 스스로 메우고 있다.  
© Delft University of Technology

‘서울의 상징, 해태.’ 상상의 동물인 해태는 선한 사람과 악한 사람을 구별한다고 해서 공정한 재판을 상징하는 동물이다. 조선시대에는 관리를 감찰하고 법을 집행하는 사헌부의 상징으로 관복에 사용했으며, 오늘날에도 국회의사당과 대검찰청 앞에 해태상이 세워져 있다. 그런데 또 다른 의미로 해태는 화재나 재앙을 물리치는 신수(神獸)로 여겨져 경복궁 앞에 한 쌍의 해태상이 궁궐 앞을 지키고 있다.

### 방화복을 입은 소방관

풍수지리설에 따를 때 서울은 나라의 수도로서 더없이 좋은 곳이지만 단 하나 화재에 약하다는 단점이 있다고 한다. 특히나 관악산이 유달리 불의 기운이 강해서 그 기운을 경복궁 뒤의 북악산이 제대로 막아주기 어렵다는 것이



궁중소방대에서  
완용펌프(수동 소방기구)를  
조작하는 훈련을 하고 있다.  
© wikimedia.org

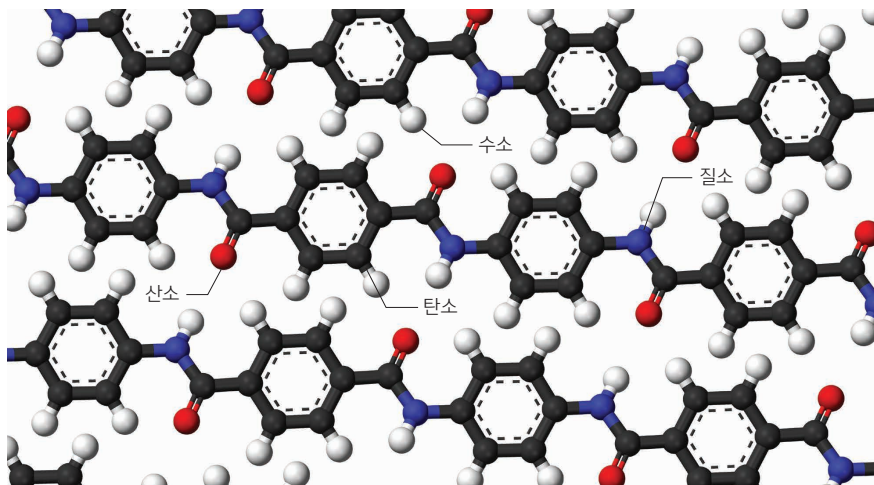
다. 그래서 불의 기운을 억누르기 위해 경복궁 앞에 두 개의 해태 석상을 세웠다고 한다.

풍수가 과학적인 설명은 아니지만, 목조건축물이 주를 이루던 중세 동아시아 권의 도시에서 화재는 종종 일어나는 재해였다. 자연히 화재를 예방하고 진압하는 방법도 발전했는데, 이미 세종대왕 시대에 오늘날 소방서와 같은 우리나라 최초의 소방기관인 금화도감(禁火都監)이 설치됐다. 50여 명의 군인들로 구성된 소방대인 금화도감 소속의 멸화군(滅火軍)들은 도끼와 쇠갈고리, 밧줄 등을 갖추고 물에 적신 천을 매단 장대와 노비들이 퍼온 물을 이용해 화재현장에서 불을 꺾다. 멸화군들이 가진 장비에서도 알 수 있듯이 사실 이들의 주요 임무는 화재 진압보다는 화재가 더 크게 번지는 것을 막는 것이다. 뜨거운 열기와 불꽃으로부터 신체를 보호할 방법이 없었던 멸화군들은 불을 끄기보다 도끼와 쇠갈고리를 통해 불이 붙은 건물을 무너뜨리고 주변을 정리하여 불길이 번지는 것을 막았다.

언제부터 소방관들이 불길 속으로 들어가 화재를 진압하고 인명을 구조할 수 있게 됐을까. 영국 빅토리아 시대(1837~1901년) 런던의 소방관들은 마치 바닷속 잠수부와 같은 복장으로 화재 현장을 누볐다. 불에 타지 않게 두꺼운 가죽으로 만든 코트와 머리를 보호하는 헬멧 그리고 외부로 연결된 파이프를 통해서 공기를 공급받는 방화복은 연기로부터 몸을 지키는 데는 적합했지만 화재 현장의 열기로부터 보호하기는 부족함이 많았다. 더구나 두꺼운 가죽코트는 화재현장에서 물을 뒤집어쓰다 보면 물을 먹어 무거워져 소방관들을 금방 지치게 만들었다. 가죽에서 고무코팅 소재로 소방관들의 코트가 바뀌면서 좀 더 가벼운 방화복을 입을 수 있게 됐지만, 불길로부터 직접 소방관들을 지킬 수 있게 된 것은 1950년대가 지나야 가능했다.

아라미드(aramid) 섬유는 불에 잘 타지 않는 난연성 섬유로 소방관들을 불꽃과 열로부터 지키기에 가장 적합한 소재이다. 1960년대 미국 듀폰사가 처음으





아라미드 섬유인 케블라의 구조. © wikimedia.org

로 노멕스(Nomex)라는 이름으로 개발한 아라미드 섬유는 500℃가 넘어도 쉽게 탄화될 뿐 타지 않기 때문에 불꽃에 직접 닿는 방화복 외피로 사용하기에 알맞다. 또한 같은 합성섬유인 나일론보다 2.5배나 강도가 높으며 폴리에스테르보다는 탄성이 6배가 좋아 화재현장의 추락물과 같은 외부충격에 대해서도 신체를 보호할 수 있다는 장점을 가진다.

하지만 이런 아라미드 섬유가 세상에 빛을 보기까지는 꽤 오랜 시간이 걸렸다. 바로 열에 잘 녹지 않는 내열성 때문이다. 합성섬유는 원료물질을 열에 녹여서 가느다란 섬유로 뽑아내는 용융방사 과정을 통해 만들어진다. 그런데 아라미드 섬유를 구성하고 있는 고분자들은 열에 잘 녹지 않아 원료로부터 섬유를 뽑아내는 데 어려움을 겪었다. 오랜 실험 끝에 듀폰사가 우연히 다른 화학물질과 혼합해 원료 물질을 녹일 수 있는 방법을 발견하면서 생산이 가능해졌다. 열로부터 소방관을 지킬 수 있는 특성 때문에 세상에 나오는 것이 늦춰진 셈이다.

### 일상생활에서 화재로부터 지켜주는 내열·난연성 소재

2014년 5월 28일 오후 서울 지하철 3호선 도곡역으로 진입하던 전동차 안에서 화재가 일어났다. 방화범인 70대 남성은 미리 준비한 11L가량의 시너를 전동차 의자에 뿌리고 불을 붙이고 달아났다. 불이 일어난 과정이나 상황이 192명의 사망자를 낸 2003년 대구 지하철 화재와 흡사했지만 다행히 아무런 인명 피해도 나지 않았다. 11년 전 대구지하철 참사 이후 열차 내부를 난연성 소재로 전면 교체했기 때문이다.

대구 지하철 화재사고 때에 전동차의 실내와 천장은 불에 탈 때 유독성 가스를 내뿜는 섬유강화플라스틱(FRP)과 염화비닐 소재로 돼 있었다. 객차 내부에 붙어 있는 광고용 종이나 플라스틱, 아크릴판처럼 불에 타기 쉬운 소재도 문제였다. 화재에 대한 인식이 부족했기 때문에 아무도 위험성을 알지 못했지만, 전동차 안에 가득 찬 가연성 소재들은 불을 삼시간에 퍼지게 하고 유독가스를 배

대구 지하철 화재사고 이후 열차 내부 소재를 난연성 소재로 교체해 사용하고 있다. © shutterstock.com





출해 수많은 사상자를 발생시켰다. 사고 이후 전국적으로 낡은 전동차를 교체하거나 불이 쉽게 옮겨 붙지 않게 내부를 개조하는 시설투자가 강화됐다. 객실 의자는 스테인리스와 코팅 처리된 난연 섬유로 바뀌었으며, 열차 바닥은 염화 비닐에서 합성고무로, 단열재는 폴리에틸렌에서 잘 타지 않는 유리섬유로 바뀌었다. 대구지하철 사고 이후 전동차 내장재를 난연 소재로 바꾸면서 2014년 도곡역 사건에서는 방화가 큰불로 이어지지 않았던 것이다.

지하철 방화사건과 같은 화재위험으로부터 안전을 지켜주는 화학소재들은 내열성, 난연성을 가진다. 불에 강하다는 점에서 내열성 소재와 난연성 소재는 비슷해 보이지만 그 원리가 다르다. 이들 소재의 원리를 비교하기 위해 먼저 물체의 연소과정에 대해서 알아보자. 섬유와 목재, 플라스틱을 포함한 모든 소

내열성 소재로 만든 방화복은 화재현장의 고열에서도 소방관들이 활동할 수 있게 해준다. © shutterstock.com



재들은 가열과 열분해, 연소 및 전파 과정을 통해서 연소된다. 예를 들어 나무에 열을 가하면 나무 섬유질 속의 수증기가 먼저 증발하고 섬유질이 열분해되면서 일산화탄소처럼 불이 붙기 쉬운 가연성 기체가 발생한다. 목재에 붙은 불이 가연성 기체를 연료 삼아 공기 중의 산소와 결합해 타면서 화재가 점점 확산된다. 이런 가열, 열분해, 연소 및 전파 과정 중에 하나라도 차단하면 불은 금방 꺼지게 된다.

내열성 소재는 초고온에도 물체의 성질이 안정적이라서 열분해가 잘되지 않는다. 따라서 열분해 과정을 통해 가연성 기체가 발생하지 않아 거의 연소되지 않는 특성을 가진다. 대표적인 소재에는 소방관들의 방화복에 사용하는 아라미드 섬유와 탄소섬유 등이 있다. 아라미드 섬유는 400℃ 이상의 고열에도 열분해가 되지 않아 방화복, 우주복처럼 다양한 환경에서 인체를 보호하는 보호복의 재료로 사용되고 있다. 하지만 이들 소재가 아주 불에 타지 않는 것은 아니다. 일정 온도 이상으로 올라가면 내열성 소재 역시 열분해 되어 불에 타게 되지만, 그 온도가 너무 높기 때문에 사실상 일반적인 환경에서는 타지 않는다고 봐도 될 것이다.

반면 난연성 소재는 가연성 소재와 불연성 소재의 중간 성질을 가진 소재로 불이 붙더라도 금방 꺼지는 자소성(自消性)을 가진 물질이다. 난연성 소재는 불꽃에 접촉하고 있을 때는 열분해가 이루어져 타지만 불꽃에서 떨어지면 더 이상 타지 않고 스스로 꺼진다. 이와 같이 난연성 소재는 우리가 흔히 생각하는 것처럼 타지 않는 소재가 아니라 붙은 불이 스스로 꺼져서 주변으로 화재를 더 크게 번지지 않게 하는 소재이며 방염소재라고도 부른다. 실제로 난연성 섬유로 만든 커튼이나 쿠션에 불을 갖다 대면 검게 그을리면서 타지만 발화원인 불에서 떨어지면 자연스럽게 불이 꺼지는 것을 볼 수 있다. 또한 불에 탈 때 유독가스가 발생하지 않아 화재사고 시에 인명피해를 줄이는 데 큰 도움이 된다. 난연성 소재는 불에 타기 쉬운 소재에 난연 물질을 넣어 쉽게 만들 수 있다. 먼

직물은 원래 불에 잘 타지만 섬유제조 과정에서 인(P)이나 질소(N)계 난연성 고분자물질을 첨가해 난연성 섬유를 만들고 있다. 섬유 속의 난연성 고분자물질은 열과 불꽃에 닿으면 산소와 반응해 안정된 물질인 탄화물로 변화한다. 검게 탄화된 섬유질은 열분해 과정에서 가연성 기체가 잘 발생하지 않아서 불이 자연적으로 꺼지게 된다. 대표적인 난연성 섬유인 ‘프로반(Proban)’은 면직물과 인이나 질소계 고분자를 합성해 만들며, 면직물보다 난연성이 뛰어날 뿐만 아니라 기존의 면 특유의 촉감과 흡습성은 그대로 갖고 있어 병원 시트, 베개 커버, 커튼 등 다양한 방염제품에 사용된다.

난연성 목재와 플라스틱 등도 비슷한 원리를 이용해서 만든다. 소재에 난연성 물질인 염화암모늄, 인산암모늄 등을 혼합하거나 코팅하는 것이다. 예를 들어 목재에 난연성 물질을 발라두면 화재발생 시에 열과 반응해 불꽃을 차단하는 얇은 피막이 목재 위에 형성된다. 또한 난연성 물질이 열분해 되면서 열을 흡수하거나 암모니아나 할로젠화수소 같이 불에 잘 타지 않는 기체를 발생시켜 자연스럽게 불이 꺼지게 된다.

### 내화재라고 불에 안 타는 것은 아니다

난연성 소재를 사용하게 되면 화재로부터 완전히 안전하게 지낼 수 있을까? 정답은 ‘그렇지 않다’이다. 난연성 소재는 불에 잘 타지 않지만 아주 타지 않는 것은 아니다. 난연성 소재라도 오랫동안 불꽃과 고열에 노출되면 타기 때문에 아주 안심하면 위험하다. 법적으로 불에 잘 타지 않는 소재를 내화재로 규정하고 있으며 성능에 따라 난연, 준(準)불연, 불연으로 구분하고 있다. 대형화재로 인해서 화재안전에 대한 관심이 늘어나고 있지만 정작 소재 관련 용어에 대해서는 잘 모르는 사람이 많다. 내화재라는 단어에 난연이든 불연이든 화재에 강하다는 의미가 포함돼 있지만 그 수준이 다르다. 불연재는 불에 타지 않는 재료로서 20분간 750℃로 가열할 때 자체 열 발생이



대표적인 준불연재인 석고보드는 불에 강하고 유독가스를 적게 배출하기 때문에 건축자재로 많이 사용한다.  
© shutterstock.com

적으며(50℃ 미만), 10분간 305℃로 가열한 뒤 잔류 불꽃이 없는(30초 미만) 재료를 의미한다. 주로 대리석이나 석재, 콘크리트, 유리섬유와 같은 건축자재들이 불연재에 속한다. 준불연재는 불에 잘 타지 않는 재료로서 10분간 305℃로 가열한 뒤 잔류 불꽃이 없는데(30초 미만), 그 재료의 연소가스 속에 방치된 쥐가 9분 이상 활동할 수 있다. 충분히 불에 강하고 유독가스를 적게 내뿜는 준불연재에는 석고보드 등이 있다. 일상생활에서 가장 흔하게 볼 수 있는 난연재는 가연성 재료인 목재 등에 비해 타기 어려운 재료로서 6분 동안 235℃로 가열한 뒤 잔류 불꽃이 없으며(30초 미만), 그 재료의 연소가스 속에 방치된 쥐가 9분 이상 활동할 수 있다. 우리가 아는 대부분의 내장재들은 난연재에 속한다. 불연재보다는 연소되기 쉬우나 다양한 특수처리를 통해서 연소를 어렵게





특수 처리를 해 불에 타는 것을 어느 정도 방지하는 방염제품도 오랫동안 불꽃과 고열에 노출되면 불에 탈 수 있다.  
© shutterstock.com

만들어 화재 시 유독가스 발생을 줄인 제품이다. 난연재보다 낮은 수준의 화재안전 기준으로 방염제품이 있다. 커튼이나 이불처럼 일반적으로 불에 잘 타기 쉬운 제품에 특수 처리를 해 불에 타는 것을 어느 정도 방지하는 제품이다.

### 불을 끄는 화학

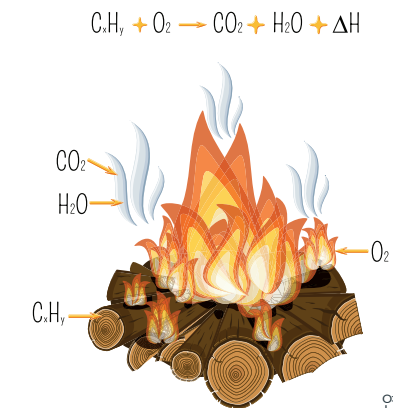
화재로부터 안전을 지키는 가장 좋은 방법은 화재예방이다. 화재를 예방하기 위해서 안전교육과 감시활동을 계속하고는 있지만 현실적으로 100% 화재를 예방할 수는 없는 노릇이다. 하지만 화재가 일어났을 때 초기 진압만 잘해도 큰 사고를 막을 수 있다. 이러한 초기 진압에 가장 중요한 역할을 하는 것이 바로 소화기이다. 소화기에는 화학 반응이 숨어 있다.

불은 연소의 3요소인 연료와 산소 그리고 충분한 온도라는 세 가지 조건 중 어느 하나만 없어도 꺼진다. 우리가 사용하는 소화기는 산소를 연료와 불꽃으로부터 차단해 불을 끄는 도구이다. 소화기를 이용해 불을 끌 때 조심해야 할 점은 화재의 종류에 따라서 사용하는 소화기가 다르다는 점이다. 적합하지 않은 소화기를 사용하게 되면 불을 끄기는커녕 번지게 만들 위험이 있다. 오늘날 일

반적으로 사용하는 소화기에는 거품 소화기와 분말 소화기, 할론 소화기, 이산화탄소 소화기 등이 있다.

거품소화기는 소화기 속 용액이 섞이면서 만들어진 거품을 이용해 산소를 차단하는 소화기이다. 소화기를 거꾸로 흔들면 안에 있는 탄산수소나트륨 용액과 황산알루미늄 용액이 접촉하면서 이산화탄소와 수산화알루미늄이 만들어지는데, 이때 분비된 거품이 외부 산소의 유입을 차단한다. 거품소화기는 목재와 의류 등에 불이 붙은 일반적인 화재뿐만 아니라 휘발유 등의 유류나 화학약품에 의한 화재에 사용하기에 적합하지만, 거품으로 인한 감전위험 때문에 전기화재에는 사용하지 말아야 한다. 또한 소화기 속의 약제를 관리하기 힘들어 널리 사용하는 편은 아니다.

분말소화기는 관리가 편리하고 다양한 화재에 대응할 수 있어 가장 많이 사용하며, 질소나 이산화탄소 같이 불에 잘 타지 않는 기체의 고압가스를 이용해 소화약품인 탄산수소나트륨이나 인산암모늄 분말을 분사해 불을 끈다. 분사된 소화약품은 불꽃에 닿아 분해되면서 이산화탄소나 여러 가지 기체로 변해 공



연소가 일어나는 원리. © shutterstock.com

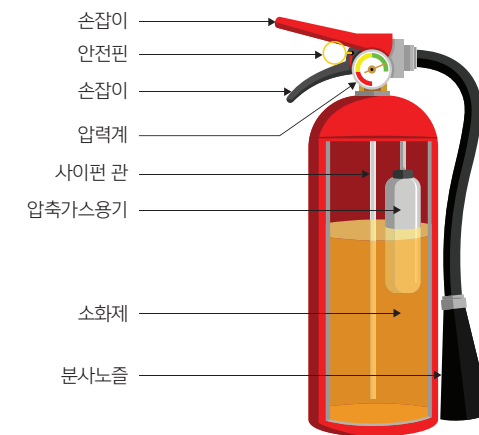
기를 차단하기 때문에 일반적인 화재뿐만 아니라 유류, 전기, 화학약품 등으로 인한 화재처럼 거의 대부분의 화재현장에서 사용할 수 있다. 다만 화재를 진압한 다음에 분말가루가 많이 남기 때문에 뒤처리가 힘들다는 단점이 있다. 분말 약제의 특성상 장기간 보관할 때에는 약제가 굳을 수 있기 때문에 정기적으로 관리해야 한다. 관리 방법은 어렵지 않다. 한 달에 한 번씩 소화기를 거꾸로 들었다가 뉘다 하는 식으로 흔들어 주면 되며, 소화기의 압력 게이지를 주기적으로 확인해 적정 수준(초록색)에 머물러 있는지 점검해야 한다.

할론가스를 소화약품으로 사용하는 할론 소화기는 일반화재 및 유류, 전기, 화학약품 등에 의한 다양한 화재 현장에서 사용할 수 있는 소화기이다. 소화력이 강력한 반면에 사용 후 가루가 남지 않아 가정에서부터 공장, 자동차 등 고가장비의 안전을 지키기 위해 주로 사용하고 있다. 그러나 원료인 할론가스가 오존층을 파괴하는 온실가스의 하나로 지목받고 있어서 곧 생산이 중단될 예정이다.

이산화탄소 소화기는 이산화탄소를 압축·액화해 소화약제로 사용한다. 분사된 액화 이산화탄소는 드라이아이스 기체로 변하면서 화재가 난 곳을 이산화탄소 가스로 덮어 공기(산소)의 공급을 차단한다. 분말소화기와 달리 액체 소화제를 이용하기 때문에 장기보관이 편리하며, 사용 후에도 가루가 남지 않고 소화 대상물의 손상이 적기 때문에 주로 박물관이나 미술관에 많이 비치된다. 그러나 이산화탄소와 일산화탄소로 인한 질식 위험이 있기 때문에 지하 및 일반 가정에는 비치와 사용이 금지돼 있으며, 사용 중에도 항상 조심해야 한다. 화재별로 맞는 소화기는 어떻게 구별할 수 있을까. 소화기 겉면에는 분말 소화기, 이산화탄소 소화기 등 제품명이 쓰여 있기 때문에 그에 따라 사용하면 좋겠지만 급박한 화재상황에는 소화 약제별 용도가 기억이 나지 않을 수도 있다. 그럴 때는 소화기 겉 라벨에 쓰여 있는 알파벳과 색상을 보자. 소화기의 라벨에는 화재분류에 따른 소화기 용도를 알파벳과 색깔로 구분하고 있다. 먼저 ‘A’

는 보통화재용이며 분류색상은 흰색을 띤다. 보통화재는 나무, 솜, 종이 등 일반적인 가연성 물질에 의한 화재로 물로 소화가 가능한 화재를 말한다. 다음 ‘B’는 석유나 타르, 페인트 등으로 인한 유류화재 용도이며 분류색상은 황색이다. 마지막으로 ‘C’는 전기화재용으로 분류색상은 청색이다. 예를 들어 분말소화기의 라벨에는 알파벳 ‘A’, ‘B’, ‘C’가 함께 적혀 있다. 이는 분말소화기를 일반화재를 포함해서 유류화재, 전기화재와 같은 대부분의 화재에 사용할 수 있다는 의미이다. 세 가지 알파벳의 화재분류만 기억한다면 소화기 종류를 모르더라도 상황에 맞는 소화기를 사용할 수 있을 것이다.

따라서 평소에 주변에 소화기가 어디에 비치돼 있는지 늘 확인해두고 사용법을 잘 익혀 두는 것도 중요하다. 화재가 나면 우선 소화기를 화재가 난 곳으로 운반해야 한다. 침착하게 손잡이 부분의 안전핀을 빼고 바람을 등지고 서서 호스를 불 쪽으로 향하게 하여 소화기의 위아래 손잡이를 힘껏 움켜쥐고 빗자루로 쓸 듯이 뿌려주는 것이 효과적이다. 다양한 소화기를 목적에 맞게 올바른 방법으로 사용한다면 화재 위험으로부터 우리 스스로를 지킬 수 있을 것이다.



소화기의 구조. © shutterstock.com

## 사회의 안전과 안보를 지키는 화학

‘20세기 최대 산업재해, 보팔 대참사!’

1984년 12월 3일 평화로운 새벽 3시 인도 보팔(Bhopal) 지역이 한순간에 아비규환이 됐다. 다국적 화학약품 제조회사인 유니언 카바이드의 현지 화학 공장에서 일어난 사고 때문이다. 농약의 원료로 사용하는 아이소사이안화메틸(MIC)이라는 유독물질이 공장 화재로 인해서 누출된 것이다. 사고가 발생한 지 2시간 만에 유독가스 36톤이 누출됐으며 인근지역에서만 3828명이 죽고 3만여 명이 상해를 입었다. 히로시마 원폭 피해와 비교될 만큼 사상자가 발생한



1984년 보팔에서 유독가스 누출로 사망하거나 장애를 입은 사람들의 아픔을 담은 조각. © wikimedia.org

이 참사는 사고가 난 지 30여 년이 넘는 지금까지도 누출된 화학물질로 인한 후유증이 계속되고 있다. 하지만 화학물질 사고와 같은 다양한 위험을 극복하기 위해서는 화학물질의 도움이 필요하다.

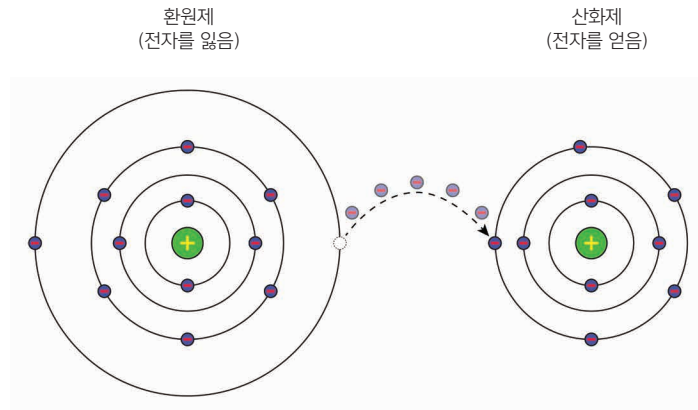
### 화학물질 사고도 화학으로 해결한다

전자제품부터 의약품까지 화학물질은 다양한 곳에서 인류에게 생활의 편리함을 제공하고 삶의 질을 향상시켜 왔다. 그러나 그만큼 화학물질로 인한 위험도가 가까이에 늘 존재하고 있다. 경북 구미에서 불산 누출사고로 사망자를 포함한 10여 명의 인명피해가 발생해 인근 지역이 특별재난구역으로 선포됐던 것처럼 인도 보팔사고 같은 일이 우리 주변에서 일어나지 말라는 법은 없다.

독성 화학물질이 누출됐을 때 장기적인 관점에서 직접적인 인명피해만큼이나 위험한 것은 토양과 하천, 지하수가 오염되는 것이다. 누출된 독성물질은 토양과 물을 오염시켜 오랫동안 생태계와 우리 건강에 치명적인 간접 피해를 입히게 된다. 보팔사고의 경우 화학물질이 수년에 걸쳐 인근 논밭과 지하수를 오염시켜 암 발병률이 증가됐고, 지금까지도 유산 및 기형아 출산이 일어나고 있다. 이런 간접 피해의 위험성 때문에 환경부의 화학물질사고대응 매뉴얼에서는 사고 발생 시 빠른 대피와 함께 오염 확산 방지를 강조하고 있다. 독성 화학물질의 누출을 막기 위해서는 오염물질 차단이 가장 중요하다. 매뉴얼에서는 더 이상 누출되는 것을 막기 위해 개인보호 장비를 갖춘 뒤 누출되는 곳의 밸브를 잠그고 하수구 등으로 연결되는 통로를 흙으로 차단할 것을 규정하고 있다. 그런데 이미 누출로 오염된 토양과 하천은 어떻게 해야 할까.

이이제이(以夷制夷)라고 했듯이 화학물질로 오염된 토양과 하천을 복구하기 위해서는 또 다른 화학물질인 방제약품을 사용한다. 화학물질 누출 초기에 독성 화학물질의 성질에 맞는 방제약품을 이용한다면 오염 피해를 크게 줄일 수 있다. 반응성을 기준으로 방제약품에는 중화제, 산화환원제 그리고 흡착제가





또 다른 중화제인 산화환원제의 원리. 산화는 전자를 잃는 반응이며 환원은 전자를 얻는 반응이다.  
환원제는 다른 물질을 환원시키면서 자신은 산화되는 반면, 산화제는 다른 물질을 산화시키면서 자신은 환원된다.  
© shutterstock.com

있다. 가장 일반적으로 사용하는 방제약품인 중화제는 누출된 화학물질이 물과 반응하거나 토양에 노출됐을 때 유독한 산성 또는 염기성 물질을 만드는 경우 사용한다. 즉 누출된 화학물질이 만드는 물질의 성질과 반대되는 화학물질을 투입함으로써 중성화시키는 것이다. 예를 들어 황산이나 질산 같은 산성 물질이 누출되면 염기성 물질인 가성소다나 소석회 같은 물질을 투입한다. 반대로 비료의 재료인 암모니아와 같은 염기성 물질이 누출되면 아세트산이나 묽은 염산을 중화제로 사용하는 것이다.

중화제는 화학물질 사고현장의 수습과정뿐만 아니라 폐광산의 환경복원과정에서도 널리 사용되는 화학물질이다. 강원도 일대에 있는 폐광산 지역에서는 광산폐기물과 침출수로 인한 환경오염이 큰 문제이다. 방치되고 노출된 광물과 지하수 등이 반응해 만들어진 산성광산배수(Acid Mine Drainage, AMD)

는 강산성을 띠며 지하수나 하천을 따라 흐르면서 인근 토양을 오염시켜 농사가 불가능한 것은 물론 사람이 살기 어려운 곳으로 만든다. 산성광산배수를 정화하기 위해서 반대 성질인 염기성 중화제를 투입하고 있다. 주로 소석회나 굴, 조개류의 껍질가루를 이용하고 있는데 가격이 저렴하고 효과가 우수해 관련 연구가 활발하게 이뤄지고 있다.

또 다른 중화제인 산화환원제는 산화환원반응을 이용해 독성물질 자체를 다른 무독성 물질로 변화시켜 제거한다. 산화환원반응은 전자를 얻거나 잃는 화학반응이다. 즉 산화는 전자를 잃는 반응을, 환원은 전자를 얻는 반응을 말한다. 중화제로 사용되는 산화제는 다른 물질을 산화시키면서 자신은 환원되는 물질이며, 반대로 환원제는 다른 물질을 환원시키면서 자기 자신은 산화되는 물질이다. 예를 들어 청산가리로 잘 알려진 독극물질인 시안화물의 2차 생성물인 시안화나트륨( $\text{NaCN}$ )을 제거하기 위해서는 산화제인 차아염소산나트륨( $\text{NaOCl}$ )을 투입한다. 독성물질인 시안화나트륨과 산화제인 차아염소산나트륨이 접촉하면 산화환원반응이 일어나 두 물질은 질소와 이산화탄소, 수산화나트륨( $\text{NaOH}$ ) 그리고 염화나트륨( $\text{NaCl}$ )으로 변화해 독성이 사라지게 된다.

### 바다를 지키는 화학물질

간혹 바다에서도 예기치 않은 사고가 일어난다. 2007년 태안 앞바다에서는 유조선과 크레인선의 충돌로 약 8만 배럴이나 되는 원유가 누출됐다. 이 때문에 태안군과 서산시의 양식장, 어장 등 8000여ha가 원유에 오염돼 어패류가 폐죽음을 당했다. 질은 기름띠와 타르덩어리가 만리포, 천리포, 모항, 안흥항과 가로림만, 안면도까지 유입됐으며 당장 세계적인 철새도래지로 손꼽히는 천수만까지 위협받는 상황이 초래됐다.

이렇게 한번 생태계가 파괴되면 원상회복하는 데 수십 년이 걸린다. 그런데 태안 원유 유출사고의 경우 수십만 명의 자원봉사자들이 발 벗고 나선 덕분에 생



2007년 태안 앞바다에서 원유 유출 사고가 일어나 기름으로 뒤덮인 태안군 학암포 해안. © 녹색연합

각보다 빠르게 충격을 극복할 수 있었다.

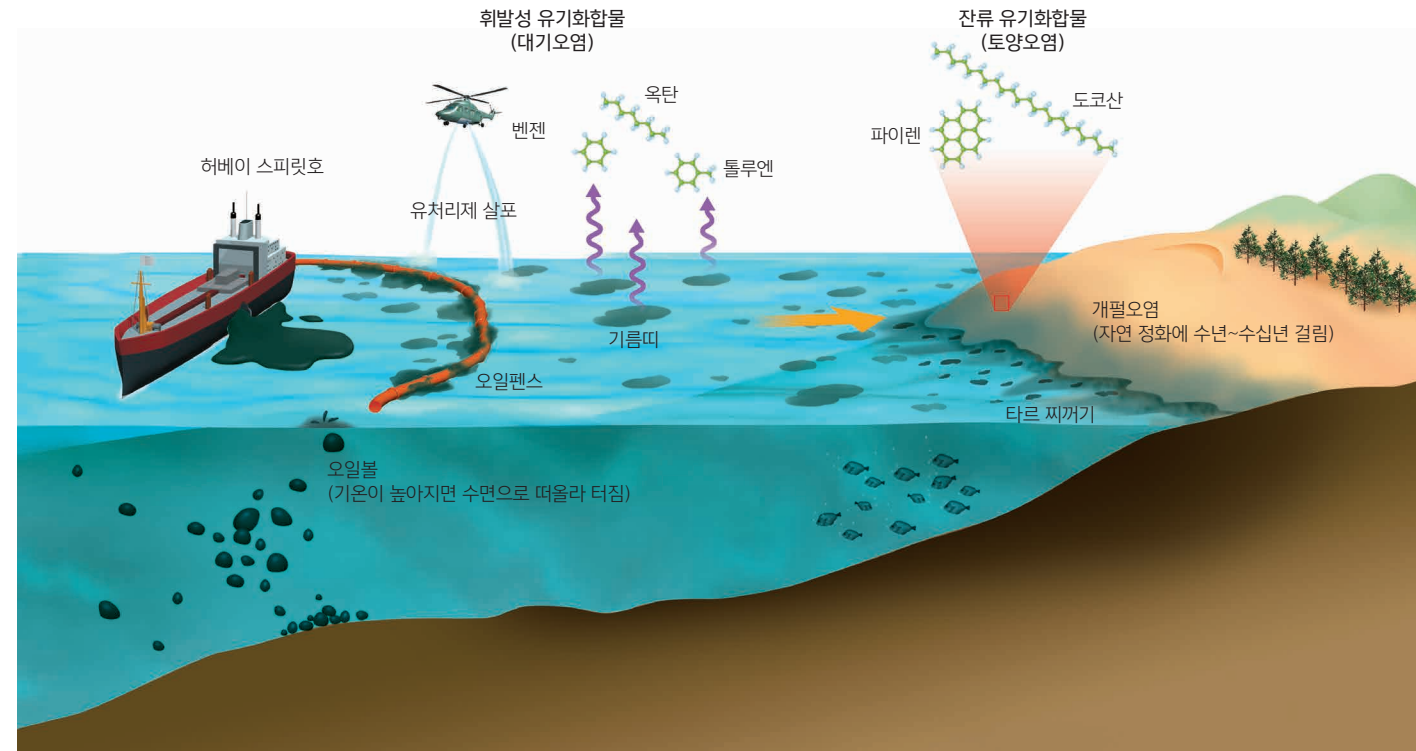
자원봉사자들의 손이 닿지 않는 태안 앞바다에는 유처리제와 응고제 같은 화학약품들이 한몫했다. 유화제라고 부르기도 하는 유처리제(oil dispersant)는 가정에서 사용하는 세제처럼 계면활성제를 이용해 해수와 누출된 기름의 유막 간의 표면장력을 감소시켜 미세한 방울로 분산시킨다. 즉 유처리제는 기름덩어리를 잘게 부수어 미세한 기름방울로 만들어준다. 잘게 분산된 기름은 표면적이 넓어지기 때문에 더 빨리 미생물을 통해 분해된다. 연구결과에 따르면 유처리제를 사용하면 그렇지 않았을 때보다 미생물의 생분해 속도가 적어도 수십 배, 조건에 따라서는 수백 배까지 빨라진다고 한다. 유처리제를 이용한 기름제거방법은 유독성 문제가 있지만 기름 처리방법이 간단하고 파도의 영향을 적게 받기 때문에 널리 사용되고 있다.

최근에는 유처리제에 포함된 유독성분 때문에 응고제를 이용한 방법을 많이 연구하고 있다. 유처리제가 기름을 미세하게 분해시켜 생분해를 촉진한다면, 응고제는 반대로 액체 상태의 기름을 서로 뭉치게 만들어 고체 상태로 만든다. 응고된 기름은 물에 뜨기 때문에 쉽게 바닷속에서 퍼 올릴 수 있어 오염물질을 제거하기가 좀 더 편리해진다. 특히 응고제는 유처리제보다 독성이 적고 바다

에 녹지 않아 친환경적이다.

예전처럼 회복하려면 적어도 20년은 걸릴 것이라는 전문가들의 암울한 예측과 달리 10년도 안 되어 태안해안은 예전처럼 해양생태계의 보고로 돌아왔다. 최악의 해양오염으로부터 태안을 지킨 것은 자원봉사자들의 손길과 여러 화학물질 덕분이었다. 사고 당시 독성문제 때문에 유처리제의 투입에 대해서 논란이 많았지만 적절한 화학물질의 사용이 없었다면 태안 해양생태계의 회복은 훨씬 더 먼 미래의 일이 됐을지도 모른다.

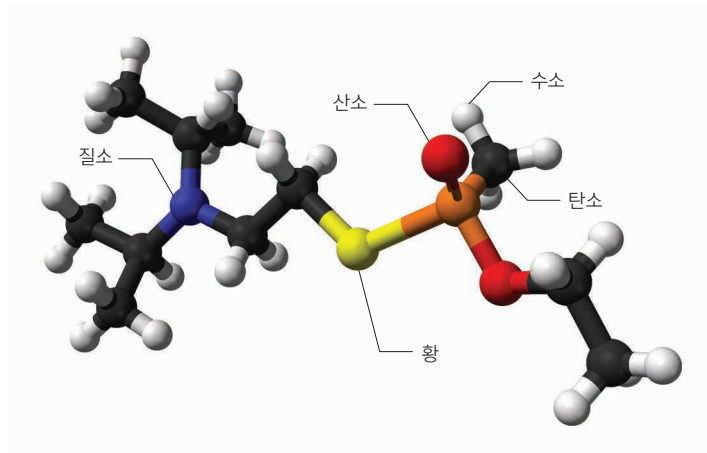
태안 원유 유출 사고의 영향과 대처. 유출된 기름은 뭉쳐서 바다에 가라앉기도 하는데, 유처리제를 살포하면 기름덩어리를 잘게 부수어 분해 속도가 빨라진다.



### 살충제에서 무기로 바뀐 화학물질

사고로 누출된 화학물질과 달리 처음부터 사람을 해하기 위해 존재하는 화학물질이 있다. 바로 화학무기이다. 화학무기는 유독성 물질을 이용해 사람을 살상하는 무기이다. 시위진압용의 최루탄이나 베트남전에서 밀림을 제거하기 위한 고엽제도 화학무기에 포함된다. 처음으로 화학무기가 사용된 것은 제1차 세계대전 당시 벨기에 이프르 전선에서였다. 당시 독일군이 프랑스군과 영국군의 참호에 염소가스로 공격했던 것이다. 최초의 화학전 이후 무수한 사람들이 화학무기로 희생됐고 오늘날에는 1993년 조인된 화학무기금지협약(CWC)에 의해 개발 및 생산, 비축이 금지되고 있다.

그런데 지난 2월 13일 피살된 김정남에게 사용된 화학물질이 화학무기로 사용되는 신경작용제인 'VX'로 알려지면서 큰 논란이 됐다. VX는 현재까지 알려진 독가스 가운데 가장 유독한 신경작용제로 몇분 만에 목숨을 빼앗을 수 있는 맹독성 물질이다. VX는 실온에서 호박색의 유성 액체로 존재하고 특별한 맛이



신경작용제 VX의 구조. © wikimedia.org

나 냄새가 없지만 호흡기, 눈, 피부 등을 통해 인체에 흡수되면 사린가스보다 100배 이상의 독성을 발휘한다. 하지만 원래 VX는 무기가 아닌 살충제로 개발됐다. 1952년 영국의 화학자 라나지트 고시(Ranajit Ghosh)가 살충제 목적으로 VX를 개발했지만 오래지 않아 인체에 치명적이라는 사실이 확인돼 상업적 용도의 사용과 판매가 금지됐다. 그러나 미국과 러시아를 비롯한 여러 나라들이 화학무기로서의 가능성에 주목하고 냉전시절 화학전 무기로 VX를 이용했던 것이다. 오늘날 VX는 1991년 유엔안전보장이사회 결의 687호를 통해 대량살상무기(WMD)로 분류돼 있으며, 화학무기금지협약을 통해 생산과 비축을 금지하고 있다. 화학무기금지협약 회원국인 미국과 러시아는 생산된 화학무기를 이미 전량 폐기한 상태이다.

화학무기는 테러에 사용되기도 한다. 가장 대표적인 사례가 1995년 일본에서 발생한 옴진리교 사린가스 테러사건이다. 신흥종교집단이었던 옴진리교가 출근시간에 맞춰 도쿄 지하철에 화학무기인 사린가스를 살포해 6천여 명이 중경상을 입고 13명이 숨지는 참극이 발생했다. 많은 사람들이 이 사건에 경악했던 이유는 희생자가 많았을 뿐만 아니라 신흥종교집단이 테러에 이용할 정도로 화학무기 생산이 크게 어렵지 않았기 때문이다. 북한과 휴전선을 맞대고 있는 우리로서는 전쟁 위험은 물론이고 일상생활에서 테러집단에 의한 화학무기 위험도 걱정해야 할지 모른다. 화학물질을 인류를 위해 올바르게 사용하기 위해서는 화학물질을 무기로 사용하는 것을 금지하는 국제적 협약과 국내법을 반드시 준수해야 한다. 또한 만약의 사고를 대비해 스스로 보호할 수 있는 방법을 미리 준비할 필요도 있다.

### 화생방 및 화학사고 상황에 대처하는 방법

만약 주변에서 화학사고가 발생한다면 제일 먼저 입과 코를 가리고 빨리 최대한 멀리 대피해야 한다. 화학물질이 흡수되는 경로는 입, 코 같은 호흡기와 피



부이다. 따라서 피부가 직접 노출되지 않도록 우의나 비닐을 착용하고 수건이나 마스크, 방독면 등을 이용해 코와 입을 감싸고 대피해야 한다. 우의나 비닐로 보호한다고 해도 옷에는 소량의 독성물질이 묻어 있을 수 있다. 따라서 안전한 장소로 대피한 뒤에는 반드시 비눗물로 샤워를 하고 새 옷으로 갈아입어야 한다.

화학사고가 발생했을 때 어디로 대피하는 것이 가장 안전할까? 사고가 발생한 곳에서 최대한 멀리 떨어진 곳으로 대피하는 것이 정답이지만 긴급 상황에서 항상 그럴 수는 없다. 이때에는 되도록 높은 곳으로 대피해야 한다. 화학사고로 발생한 독성가스는 대부분 공기보다 무겁기 때문에 높은 곳으로 대피하는 것이 안전하다. 화재 발생 시에는 연기가 공기보다 가볍기 때문에 자세를 낮게 하고 대피할 것을 권하고 있지만 화학사고 시에는 자세와 관계없이 되도록 빨리 이동해야 한다. 또한 바람은 독성물질을 운반하는 역할을 하므로 반드시 바람을 거슬러 이동해야 한다. 만약 실내로 대피한 경우에는 창문 등을 닫고 외부공기와 통하는 설비(에어컨, 환풍기 등)의 작동은 중단해야 한다. 하지만 실내공간은 환기가 잘되지 않아 한번 유입된 독성물질이 배출되지 않으니 되도록 실외로 대피하는 것이 바람직하다. 만약 자동차를 타고 사고현장을 지나게 된다면 창문을 닫고 에어컨 등을 반드시 꺼서 외부 공기가 차량 내부로 들어오는 것을 막아야 한다.

대피하는 과정에서 화학물질에 노출됐다면 최대한 빨리 병원에 가서 전문 의료진의 도움을 받아야 하지만, 병원까지 가는 동안에 응급조치를 먼저 취한다면 피해를 최소화할 수 있다. 화학물질에 눈이 노출됐으면 10~15분가량 생리 식염수나 흐르는 물에 씻어내야 한다. 단 알칼리성 물질에 노출된 경우는 30~60분가량 세척해야 한다. 화학물질이 피부에 닿았을 때는 오염된 옷을 벗기고 화학물질에 노출된 부위를 비누와 물로 완전히 씻어내야 한다. 만약 입으로 삼켰을 때는 토해내야 하지만 억지로 토해내는 것은 좋지 않으며 구토물이 기도



화학사고가 나면 바람을 거슬러 이동해야 한다. 바람을 타고 독성 물질이 퍼지기 때문이다. 사진은 화학물질을 실은 열차의 충돌사고에서 승객을 구조하는 장면. © shutterstock.com

들어가지 않도록 조심해야 한다.

또 하나 중요한 것은 사건이 일어난 초기에 신속하게 대응하는 것이다. 화생방 사고나 화학 사고로 인한 피해는 초기 대응이 빠를수록 크게 줄어든다. 먼저 사고발생을 소방서나 경찰서, 관할 지자체에 빨리 신고하고 주변 사람들에게 알려 함께 대피할 수 있도록 해야 한다. 빠른 행동도 중요하지만 임의로 사고에 대응하면 자칫 유독물질이 더 확산될 수 있기 때문에 전문가의 도움을 받아 행동하는 것이 바람직하다. 안전한 장소로 신속히 대피하고 방송 등을 통해 정보를 파악하고 행동하는 것이 우리 몸을 유독물질로부터 지킬 수 있는 최선의 방법이다.

### 원자력 안전을 지키는 화학물질

독성물질 누출, 화학무기 살포, 원자력 사고와 같은 재난에 대응해 사회 안전

을 지키기 위해서는 화학물질이 반드시 필요하다. 원자력 발전은 경제적이면 서도 온실가스를 발생시키지 않아 친환경적이지만 인체에 치명적인 방사성 물질을 이용하기 때문에 이중삼중의 안전장치를 갖추고 있다. 하지만 지진과 같은 재난에서는 발전소의 안전장치만으로는 충분하지 않을 수도 있다는 것을 후쿠시마 원자력발전소 사고 사례를 통해 이미 잘 알고 있다. 국내에서도 원자력발전소를 운영하고 있지만, 중국이 서해 쪽에서 원자력발전소를 대규모로 운영하고 있기 때문에 중국 원전 사고의 영향이 편서풍을 타고 직접 전해지는 우리나라로서는 마냥 안심할 수가 없는 실정이다. 그러면 만의 하나 발생할 수도 있는 원자력 사고에 어떻게 대응할 수 있을까.

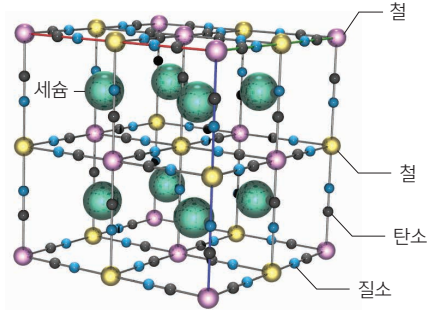
원자력 사고가 날 때 가장 큰 문제는 방사성 물질로 인한 오염이다. 방대한 오염지역을 정화하기 위해서는 제염(除染) 작업이 필요하다. 제염작업은 오염물질에 있는 방사성 물질을 제거하거나 최소화시켜 정화작업을 쉽게 만드는 과정을 말한다. 만약 제염작업이 이뤄지지 않으면 방사능 수치가 높아 기계나 사람을 통한 정화작업 자체가 불가능해진다. 오염수준이 낮은 지역에서는 오염된 토양의 표면을 긁어내고 폐기물을 수거해 제거하지만, 오염수준이 높은 원자로 인근지역에서는 화학적 제염이 반드시 필요하다.

화학적 제염의 원리는 비누로 우리 몸의 때를 벗겨내는 것과 유사하다. 아세톤과 중탄산나트륨 같은 화학제염제를 이용해 오염물질의 표면에 붙은 방사성 물질을 녹여내 제거하는 것이다. 많이 쓰이는 제염방법에는 유기계 환원제와 킬레이트제(알칼리성 철)를 화학제염제로 이용해 원자로나 장비 표면의 산화철 피막을 녹여내는 방법(CAN-DECON 법)이 있다. 이렇게 방사성 물질로 오염된 산화철 피막을 제거하면 오염지역의 방사선 농도를 줄일 수 있다.

제염 외에도 방제약품을 통해 직접적으로 방사성 물질을 흡착하는 방법이 있다. 원래 염색용 시료인 프러시안 블루(Prussian Blue, PB)는 방사성 세슘의 흡착소재로 후쿠시마 지역을 복원하기 위해 가장 많이 이용한 화학물질이다.



염색용 시료인 프러시안 블루는 방사성 세슘의 흡착소재로 많이 쓰인다.  
© wikimedia.org



프러시안 블루가 방사성 세슘을 흡착한 모습.  
© Mark Foreman's blog

프러시안 블루는 알칼리 양이온에 대한 선택적 흡착이 가능한 소재로서 입자 구조 때문에 방사성 세슘을 제거하는 데 효과적이다. 프러시안 블루 입자의 격자구조는 그 크기가 세슘의 양이온과 딱 맞아 다른 화학물질에 비해 흡착력이 높다. 또한 격자구조 내부에 들어 있는 물 분자가 세슘이온을 녹여 주므로 좀 더 효과적으로 흡착시킬 수 있다.

### 방사성 물질로부터 내 몸 지키기

일본 후쿠시마 원자력발전소 사고로 방사성 물질이 누출되면서 국내 병원들도 덩달아 바빴다. “거기 가면 요오드(아이오딘) 처방을 받을 수 있나요?”라고 문의하는 전화가 하루에도 수십 통씩 이어졌기 때문이다. 그런데 왜 사람들은 요오드를 찾은 것일까.

요오드가 방사능으로 인한 갑상선암을 예방하는 데 효과가 있기 때문이다. 요오드화칼륨을 섭취하면 요오드 성분이 갑상선으로 미리 들어가 방사성 요오드가 들어오는 것을 막아준다. 원자력 사고 시 방출되는 방사성 물질인 요오



드-131은 호흡을 통해 갑상선에 흡수돼 방사선인 ‘베타선’을 방출한다. 이 때문에 주변 세포 구조가 변화되고 당장은 증세가 나타나지 않더라도 수년 뒤 갑상선암으로 발전할 수 있다. 일례로 1986년 체르노빌 원전 사고 당시 인근 지역에 살거나 방사능으로 오염된 식품을 섭취한 사람들에게 갑상선암 발병이 증가한 적이 있었다.

방사성 요오드를 직접 흡입하기 24시간 전에 요오드화칼륨을 섭취하면 갑상선의 요오드의 양이 포화상태에 이르러 방사성 요오드가 갑상선에 흡수되는 것을 막을 수 있다. 만약 이미 흡입한 뒤라도 최소 15분 안에 요오드화칼륨을 투여하면 90% 이상, 6시간 내 투여하면 50% 정도의 방어효율을 기대할 수 있다. 이때 갑상선에 흡수되지 못한 방사성 요오드는 소변 등을 통해 몸 밖으로 배출된다. 하지만 특별한 방사능 오염이 없는데도 예방 차원에서 요오드를 복용하는 것은 오히려 건강을 해칠 수 있다. 요오드 과다 복용 시 알레르기과 두드러기,

홍합, 구운 감자, 새우, 김, 미역 등에 요오드가 풍부하다. © shutterstock.com



방사성 요오드가 갑상선에 흡수되는 것을 막는 요오드화칼륨 정. © shutterstock.com

갑상선 기능항진증 또는 기능저하증 같은 부작용이 발생할 수 있기 때문이다. 갑상선 기능항진증은 혈액 속에 갑상선 호르몬이 과도하게 생기는 병으로 신진대사가 과도하게 활발해져 갑상선이 커지고 눈이 튀어나오며 심장이 빨리 뛰는 등의 증상이 나타난다. 반대로 저하증은

혈액 속에 갑상선 호르몬이 부족해 생기는 병이다. 몸속의 물질대사가 잘 이뤄지지 않아 몸이 나른하고 기력이 없어지는 등의 증상이 나타난다.

일반적으로 성인의 경우 하루 요오드 섭취 권장량은 0.15mg이며 최대 3mg까지만 복용을 제한하고 있다. 하지만 피폭 시에는 신체를 보호하기 위해 요오드 섭취량을 늘린다. 즉 요오드화칼륨(KI)을 기준으로 성인은 하루 130mg씩, 3세 이상에서 18세 이하의 어린이 및 청소년은 하루 65mg씩 최대 10일간 복용할 것을 권하고 있다. 사실 요오드는 약으로만 섭취할 수 있는 특별한 물질이 아니다. 미역, 다시마와 같은 해조류에도 요오드 성분이 풍부하다. 그러나 해조류 등을 먹는 것만으로는 방사능 요오드에 대응할 만큼 충분한 양을 섭취할 수 없기에 약을 통해 복용할 것을 권한다. 현재 과학기술정보통신부는 방사선 피폭 사고에 대비해 한국원자력의학원 부설 국가방사선비상진료센터, 서울대병원 등 21개의 방사선 비상진료 지정 의료기관과 방사선보건연구원에서 13만 명분의 요오드화칼륨 정을 보관하도록 규정하고 있다. 국내에서 일정 수준 이상의 방사선이 검출되면 과학기술정보통신부에서 방사선 비상진료기관을 통해 무상으로 공급하니 만약의 사태에 대비해 미리 주변의 방사선 비상진료기관을 확인해 두는 것도 좋을 듯하다.



## CHAPTER 04



# 화학물질의 안전

화학물질의 안전성 평가는 이렇게!  
화학물질의 안전한 관리를 위해  
화평법, A to Z

안심하고 화학물질을 사용하기 위해서는 동물실험 등을 이용한 화학물질의 안전성 평가가 필수적이다. 또한 화학물질은 그 특성을 제대로 인식하고 안전하게 관리해야 한다. 이를 위해 화학물질관리법, 화평법(화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률)이 마련돼 시행되고 있다. '화학물질의 안전'을 위한 노력을 들여다보자.

## 화학물질의 안전성 평가는 이렇게!

화학비료와 함께 병충해를 방지하기 위해 살충제, 제초제, 농약 등이 개발되면서 농업 생산성은 더욱 향상됐다. 화학비료와 살충제가 개발되어 인류의 식량 부족 걱정에서 벗어났던 것이다. 문제는 살충제가 병충해뿐만 아니라 농작물과 심지어는 인체에도 유독할 수 있다는 사실이다. 1940년대에는 농작물과 인체에 피해를 적게 주는 새로운 살충제들이 연구됐다. 그중 하나가 ‘기적의 살충제’ DDT였다.

1939년 스위스의 화학자 파울 뮐러는 우연히 60년 전 합성된 염소계 유기화합물인 DDT(Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane)라는 분자가 강력한 살충효과를 지니고 있다는 사실을 발견해 DDT를 살충제로 개발하는 데 성공했다. DDT는 농작물에 피해를 입히는 해충들을 거의 완벽하게 박멸했으며 발진티푸스나 말라리아처럼 곤충을 매개로 하는 질병들로부터 많은 사람들을 구했다. 그러나 과유불급이라고 농민들이 권고량의 몇 배가 되는 DDT를 뿌려대면서 문제가 발생했다. 곤충들이 살충제에 내성을 갖게 돼 DDT의 효력이 떨어지자 이보다 수십 배나 강한 살충제들이 차례로 도입됐다. 1950년대 후반부터 미국에서 살충제가 대량으로 살포된 지역의 경우 물고기가 떼죽음을 당하거나 올새, 흰머리수리 등의 개체 수가 급감했다.

1962년 미국의 생물학자이자 작가인 레이첼 카슨(Rachel Carson)이 살충제의 폐해를 고발한 《침묵의 봄》이라는 책을 냈다. 이 책에서 DDT는 생분해가 잘되지 않아 당장은 인체에 유해하지 않지만 먹이사슬을 통해 점차 축적되면서 결국 조류나 사람에게까지 영향을 미친다고 고발했다. 이는 생물농축(biological concentration) 혹은 생물증폭(biological magnification)이라 한다. 《침묵의

봄》의 영향으로 1972년 미국 정부는 공중보건을 위한 특별한 경우를 제외하고는 DDT의 사용을 금지하기에 이르렀다.

DDT의 사용이 금지된 뒤 살충제에 대한 사람들의 관심이 시들해지면서 DDT보다 더 해로운 유기인계 살충제가 더 많이 사용되기 시작했다. 그 결과 미국의 살충제 사용량은 1964년과 비교해 30년이 지난 1994년에는 두 배로 증가했고 그중 절반 이상이 독성이 강한 유기인계 살충제였다. 사용량이 증가하면서 1990년대 미국에서는 살충제와 관련된 중독 사고가 매년 1만 건 이상 보고됐다.

오늘날에는 살충제뿐만 아니라 의약품부터 의류, 전자제품까지 생활 속에서 화학물질을 사용하지 않는 곳이 없다. 가슴기 살균제 사고처럼 우리가 안전하다고 생각한 부분에서도 독성 위험이 항상 도사리고 있다. 따라서 DDT처럼 문제 되는 화학물질의 사용을 금지하는 것만큼 중요한 것은 살충제와 같은 화학물질의 독성을 정확히 평가하고 관련 영향을 분석해 규제하는 안전성 평가 제도를 구축하는 것이다.

### 화학물질 안전성 평가제도의 도입

독성학에 기초한 화학물질 안전성 평가제도에 대해서 본격적으로 논의한 것은 1937년 미국에서 일어난 ‘엘릭시르 설파닐아마이드 비극(Elixir Sulfanilamide tragedy)’부터였다. 미국의 제약회사인 마센질(Massengill)은 알약 형태의 항생제인 설파닐아마이드를 어린이들도 쉽게 먹을 수 있도록 딸기향을 첨가한 시럽 형태로 만들어 ‘엘릭시르 설파닐아마이드’라는 상품명으로 판매했다. 그런데 시장에 판매된 지 얼마 지나지 않아 엘릭시르 설파닐아마이드를 먹은 사람들이 죽어 나가기 시작했다. 사태를 파악하고 미국 정부가 긴급히 시장에서 약품을 회수할 때까지 이 약을 먹은 353명 중에 무려 105명이나 사망했다.

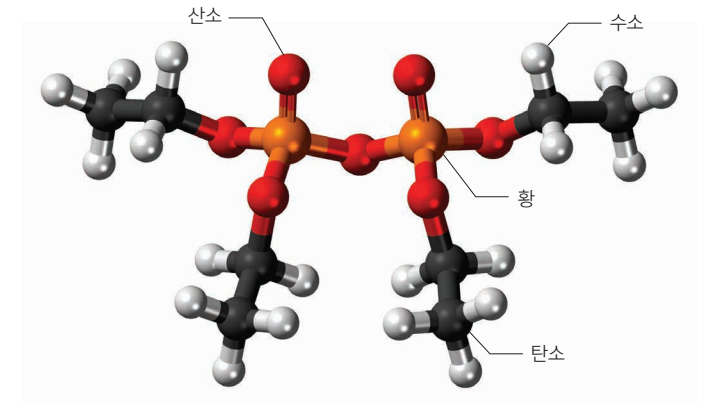


1937년경 판매된  
엘릭시르 설파닐아마이드 병.  
© FDA

사고의 원인은 설파닐아마이드를 녹여 시럽으로 만드는 데 사용한 디에틸렌글리콜(diethylene glycol)이라는 용매에 있었다. 오늘날 자동차 부동액으로 사용하는 디에틸렌글리콜은 인체에 치명적인 독성을 가진 화학물질이지만 당시만 하더라도 이 용매에 대한 독성은 전혀 알려지지 않은 상태였다. 사태의 재발을 막기 위해 미국 의회는 사건이 발생한 다음 해에 지금과 같은 형태의 엄격한 화학물질 안전성 평가 제도를 입법했다. 이 법안에 따라 모든 제약회사는 독성 시험 자료를 미국 식품의약국(FDA)에 제출해야만 약품을 사람에게 적용할 수 있게 됐다.

화학물질의 안전성을 평가하기 위해서는 독성학을 이해할 필요가 있다. 독성학(毒性學, toxicology)은 생물에 부정적인 영향을 미치는 화학물질의 작용 메커니즘을 밝히고 특히 사람이 독성 물질에 노출된 뒤의 증상과 이에 대한 조치, 예방 등을 연구하는 생물학, 화학, 약리학의 한 계열이다. 엘릭시르 설파닐아마이드 비극 이후 독성학을 독립된 학문 분야로 정립하는 데에는 미국 식품의약국과 시카고대학 약학과 부설 독성연구소가 결정적인 기여를 했다.

실험동물의 절반이 죽을 때의 투여량인 반수치사량(Lethal Dose 50, LD50)은 바로 이때 개발된 개념으로 어떤 물질의 독성을 평가하는 중요한 기준이다. 반수치사량은 독성학에서 가장 중요한 법칙 중 하나인 ‘양이 독을 결정한다(The dose makes the poison)’는 개념에 따라 화학물질의 인체 독성을 평가하는 방법을 담고 있다. 보통 쥐와 같은 설치류를 대상으로 화학물질을 한 번 투여하고 2주일 동안 사망률을 관찰해 계산한다. 해당 물질의 반수치사량은 생물체

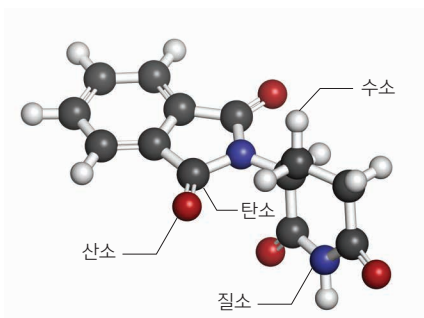


테트라에틸피로인산(TEPP)의 구조. © wikimedia.org

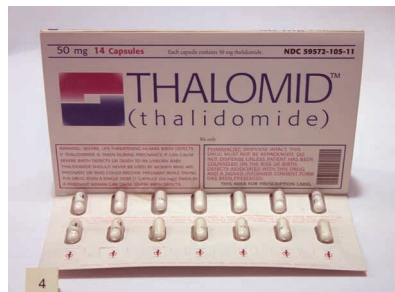
몸무게 1kg당 mg으로 나타낸다. 예를 들어 생물농축으로 사용이 금지된 DDT의 반수치사량이 250mg/kg인데, 대체제인 유기인계 살충제인 테트라에틸피로인산(TetraEthyl PyroPhosphate, TEPP)은 반수치사량이 2mg/kg에 불과해 매우 유독한 물질임을 알 수 있다.

또 다른 개념으로는 반수영향농도(Effective Concentration 50, EC50)가 있다. 반수영향농도는 주어진 조건하에서 특정 약물을 시험 집단에 적용했을 때 50%에 해당되는 수에서 약리 효과나 독성이 나타나는 농도를 의미한다. 반수영향농도는 생물체가 화학물질의 독성에 영향을 받기 시작하는 최소 용량을 의미하며, 그 이하에서는 독성이 유효하지 않다고 해석할 수 있다. 이와 같이 반수치사량과 반수영향농도 같은 독성평가 정보는 화학물질의 관리와 사용에 있어 객관적인 위험성을 알려 주며, 이를 기준으로 전체적인 안전성을 평가하게 된다.





탈리도마이드의 구조. © shutterstock.com



영국 런던의 과학관에 전시돼 있는  
1960년산 탈리도마이드 정. © wikimedia.org

### 독성영향평가의 전환점 '탈리도마이드 증후군'

1930년대 엘릭시르 설파닐아마이드 사건이 화학물질의 안전성 평가와 독성학의 성립에 중요한 계기가 됐다면, 1950년대 후반의 탈리도마이드 증후군은 기존의 독성영향평가방식이 근본적으로 바뀌게 된 중요한 전환점이 됐다.

탈리도마이드(Thalidomide)는 1950년대 후반 서독에서 개발해 상용화된 진정·수면제이다. 임산부가 이 약을 복용하면 입덧이 완화되는 효과가 있다고 알려져 유럽은 물론 일본과 호주 등 50여 개국에 널리 판매됐다. 그런데 탈리도마이드를 복용한 임산부가 팔다리가 짧거나 발가락이 들러붙은 기형아를 출산하는 등 심각한 부작용이 발생했다. 독일에서만 5천여 명, 전 세계에서 1만 2천 명의 아이들이 탈리도마이드로 인해 기형아로 태어났다. 4년 반이라는 시간이 지나서야 기형아와 이 약의 상관관계가 밝혀졌고 이 약의 판매와 사용이 금지됐다.

놀라운 것은 탈리도마이드가 쥐와 햄스터, 개, 고양이 등을 대상으로 한 동물 실험에서는 아무런 문제가 없었다는 점이다. 동물실험에서 부작용이 발견되지

않았기에 탈리도마이드는 안전하다고 평가받아 시장에 판매될 수 있었다. 기형아 출산과 같은 부작용이 널리 알려진 뒤 인간과 유사한 원숭이를 대상으로 실험한 결과, 사람과 같은 부작용이 확인되어 탈리도마이드는 시장에서 퇴출됐다. 이처럼 인간과 동물은 유전자 구조가 100% 같지 않아 동물에게 문제가 없는 물질도 인간에게는 치명적일 수 있으며 서로 다른 동물들 사이에서도 약물에 대한 반응이 다를 수 있다. 또한 탈리도마이드에 노출됐던 임산부 중 일부는 정상적인 아이를 출산한 것이 알려지면서 같은 인간 내에서도 효과가 다르게 나타날 수 있음이 밝혀졌다.

이런 교훈들을 통해 기존 독성평가방식이 크게 바뀌었다. 태아 상태에서 기형 유발과 같은 부작용에 주목하면서 평가대상 약물이 발생 및 생식 과정에 미치는 영향에 대해 체계적으로 시험하기 시작했다. 또한 같은 약물이라도 종에 따라 독성에 대한 영향이 서로 다르다는 사실이 발견되면서 오늘날 독성평가에서는 두 종류 이상의 동물(설치류인 쥐와 설치류가 아닌 토끼 등의 동물)을 이용하고 있다.

### 위해성 = 노출 × 유해성

화학물질의 안전성을 평가하는 목적은 유독한 화학물질의 사용을 완전히 금지하는 것이 아니라 위해성을 최대한 줄여 관리하는 것이다. 즉 화학물질의 독성과 노출수준에 대한 정보를 알고 이를 바탕으로 그 위해성을 평가함으로써 적합한 관리 체계를 만드는 것이 화학물질 독성 및 안전성 평가의 핵심이다. 그런데 여기서 위해성이라는 단어에 주목해볼 필요가 있다. 우리는 흔히 '어떤 화학물질이 유해하다 또는 위해하다'라고 혼동해 쓰는 경우가 많은데, 유해와 위해는 엄연히 다른 말이다. 유해성(有害性, toxicity 또는 hazard)이란 화학물질의 독성처럼 사람의 건강이나 환경에 좋지 아니한 영향을 미치는 화학물질 고유의 성질을 말하며, 위해성(危害性, risk)이란 유해한 화학물질이 노출되는

경우 사람의 건강이나 환경에 피해를 줄 수 있는 정도를 말한다. 반수치사량은 위해성을 평가하기 위해 화학물질 본래의 유해성이 치사량에 이르는 노출량을 계산하는 개념이다. 예를 들어 화학물질인 벤젠은 암을 유발하는 고유의 성질(유해성)을 갖고 있는데, 벤젠의 독성이 사람이나 환경에 어느 정도의 피해를 줄 수 있는지(위해성)는 따로 평가해야 알 수 있다.

위해성은 유해성의 크기에 화학물질에 대한 노출량을 감안해 평가하게 된다(즉  $\text{위해성} = \text{노출} \times \text{유해성}$ ). 따라서 유해성이 작다고 해도 인체에 직접적으로 노출되면 충분히 위해를 미칠 수 있으며, 독성이 매우 높은 물질이라도 독성이 나타나는 용량 이상으로 사람에게 노출되지 않도록 잘 통제된다면 안전하게 사용될 수 있다. 화학물질의 위해성 평가는 유해성이 아닌 위해성을 평가하는 과정이다. 단순히 화학물질의 독성뿐만 아니라 노출되는 상황과 용량과 같은 환경에 따라서 달라지는 인체에 대한 위험을 평가하고 통제 가능성을 검토해야 한다.

이런 원칙에서 화학물질의 위해성 평가는 크게 세 가지 단계로 이뤄진다. 가장 첫 단계는 ‘무엇이 해로운가?’라는 유해성 확인이다. 유해성 확인(hazard identification)은 어떤 물질로부터 발생할 수 있는 위험과 부작용이 일어날 수 있는 요인과 가능성을 파악하는 절차이다. 이 단계에서는 화학물질이 갖고 있는 고유한 독성과 그로 인한 인체의 변화를 파악한다. 이를 위해서는 독성학 사례연구, 임상조사, 역학실험 또는 동물실험의 결과를 이용한다.

다음 두 번째 단계는 ‘독성물질이 얼마나 있어야 해로운가?’를 측정한다. 용량반응 평가(dose-response assessment)는 유해성이 확인된 화학물질이 얼마만큼 위험성을 갖는지 수량적으로 표현하는 단계이다. 발암물질과 비발암성 물질에 대한 접근법이 서로 다르다. 암을 유발하는 물질에 대해서는 즉각적인 반응이 일어나지 않기 때문에 발암잠재력(CPF)을 추정하는 방법을 사용하며, 비발암성 물질에 대해서는 독성이 나타나기 직전 투여량을 의미하는 최대무작

용량(No Observed Effect Level, NOEL)을 측정하고 있다. 이 단계에서 평가량은 거의 동물실험을 통해 얻고 있어서 사람이 독성물질에 노출되는 경우를 예측하는 데는 부적절할 수도 있다.

마지막으로 ‘어떻게 독성물질에 노출되나?’를 분석한다. 노출평가(exposure assessment)는 위해성 평가 과정 중에서 소홀하게 다뤄지기 쉬운 과정이다. 노출평가를 하기 위해서는 산업현장을 포함한 실제 환경에서 유해물질의 노출 강도와 빈도, 기간 및 경로, 시기, 노출됐거나 노출 가능성이 있는 집단의 특성을 연구한다.

안전성 평가를 통해 얻어진 자료들은 화학물질의 위험을 관리하기 위한 자료로 이용된다. 화학물질의 안전성 평가가 주로 사실과 과학적 실험을 통해 이뤄진다면, 위험관리 과정은 안전성 평가에서의 자료를 근거로 삼아 위험을 제어

흡입독성평가에는 주로 설치류인 실험용 생쥐와 래트를 사용한다. 사진은 작은 생쥐. © shutterstock.com



하고 감소시키기 위한 여러 정책 방안을 검토하는 과정이다. 정책검토 과정에서는 위험평가결과와 사회·경제·정치적인 요소를 고려해 우선순위를 판단하고 가장 적절한 안전규제정책을 선정하게 된다.

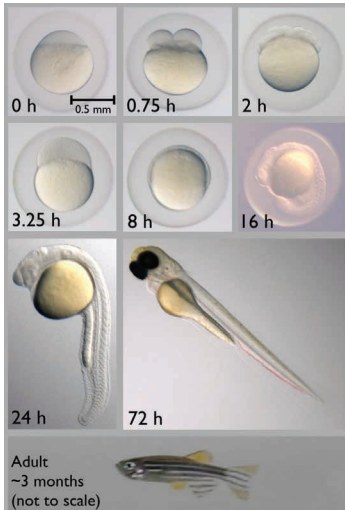
### 동물실험으로 화학물질의 독성평가

화학물질의 독성평가과정에서는 다양한 동물실험이 진행된다. 가장 기본적으로 진행되는 실험은 수서생물(水棲生物, 물에 서식하는 생물)을 이용한 독성평가이다. 노출된 화학물질이 상당부분 강과 바다로 유입되기 때문에 독성평가에서 수서생물에 대한 영향분석은 가장 기본적으로 이뤄진다. 독성평가에는 보통 물벼룩이나 작은 어류, 조류를 이용하는데, 최근에는 수생식물인 개구리밥풀이나 어류의 부화자어를 이용한 독성시험법을 많이 이용하고 있다. 부화자어를 이용한 독성시험은 갓 수정된 어류의 배아부터 갓 부화한 치어 단계까지의 어류의 생애(life cycle) 동안 시험화학물질에 노출시켜 화학물질의 영향을 관찰하는 단기 독성시험이다. 실험은 실험용액에 수정란을 넣을 때부터 시작해 부화된 치어가 알에 포함된 영양물질인 난황을 완전히 흡수하거나 먹이부족으로 죽은 치어가 생기기 시작할 때까지 진행한다. 또한 치어에 미치는 외부영향을 통제하기 위해서 실험 기간 동안 다른 먹이를 지급하지 않는다. 대조군과의 비교를 통해 반수치사량과 반수영향농도를 측정할 수 있으며, 다자란 어류를 대상으로 하는 기존 실험과 달리 수정란부터 치어까지 각 생애 단계별로 독성의 영향 차이를 분석할 수 있다는 장점이 있다. 대표적인 실험동물에는 제브라피시(zebrafish)가 있다. 제브라피시는 수정란부터 치어까지 성장 과정이 빨라 장기가 형성되는 과정을 파악하는 데 시간이 적게 걸리고 수정란의 배아가 투명해 일반 현미경으로 쉽게 관찰할 수 있어서 부화자어를 이용한 독성실험에 많이 사용되고 있다. 화학물질의 흡입독성평가는 인체의 호흡기를 통해서 흡입된 물질이 체내에서

어떤 영향을 미치는지, 독성을 갖는지를 판별하는 중요한 평가방법이다. 동물을 이용한 흡입독성시험에서는 실험동물이 일정한 시간 동안 일정한 양의 유해물질을 흡입할 수 있는 환경을 조성해 변화를 관찰한다. 호흡기를 통한 독성평가인 만큼 어류나 식물을 사용할 수 없기 때문에 주로 설치류 동물인 실험용 생쥐(mouse)와 래트(rat)를 사용하고 있다. 실험용 생쥐는 사람과 유사한 장기를 갖고 있고 몸의 크기도 작아 취급하기 쉬우며 번식력도 우수하다. 시궁쥐라고도 부르는 래트는 생쥐와 모습이 비슷하지만 몸집이 열 배 가까이 커서 수술 조작이 쉬우며 주로 영양성분과 행동 연구, 당뇨병 및 고혈압 연구 등에 사용된다.



대표적인 실험동물인 제브라피시의 배아를 현미경으로 관찰하고 있다. © shutterstock.com



제브라피시의 발생 과정. 배아에서 24시간 만에 몸과 꼬리가 분리되고 수개월 뒤에 길이 2.5cm의 성체가 된다. © wikimedia.org



왜 동물실험을 하는 걸까. 새로운 화학물질을 개발하는 과정에서 그 물질이 인체에 어떤 영향을 미치는지 사람을 대상으로 직접 실험할 수는 없기 때문이다. 오늘날 새롭게 개발된 의약품이나 의료용 기구, 화학물질, 식품 등을 인간에 적용하기 전에는 안전성과 유효성을 동물실험을 통해 확인한 뒤 그 결과를 사람에게 적용하고 있다. 동물실험을 통한 독성평가에는 많은 실험동물의 희생이 뒤따른다. 이런 희생이 있었기에 우리가 더욱 안전하고 건강한 생활을 누리고 있다는 사실을 잊지 말도록 하자.

### 동물실험의 3원칙, 그리고 대체 방법들

독성을 평가하기 위한 동물실험은 동물의 생명권과 동물학대 문제 때문에 오랫동안 비난받아 왔다. 연구자들도 이런 논란을 잘 알고 있어 동물실험의 3원칙을 정해 지키고 있다. 즉 가능한 한 적은 수의 동물을 이용(감소, reduction)하고, 실험 전에 대체가능한 방법(대체, replacement)은 없는지 확인하며, 실험과정 중에는 동물이 고통을 받지 않는 방법(개선, refinement)으로 진행한다는 것이다. 사실 이런 윤리적인 이유뿐만 아니라 다양한 이유에서 과학자들은 실험동물을 대체할 수 있는 방법들을 연구하고 있다.

동물실험을 통한 안전성 시험 결과를 사람에게 직접 적용하는 것을 전문적인 용어로 ‘외삽(extrapolation)’이라 한다. 그런데 근본적으로 인간과 동물은 다르기 때문에 동물실험에서 문제가 발생하지 않았더라도 사람이 사용했을 때는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 동물실험의 결과를 사람에게 외삽하는 것이 과연 안전한지 의문을 가질 수 있다. 앞서 이야기한 탈리도마이드의 경우 쥐와 토끼를 대상으로 한 동물실험에서 아무런 부작용도 발생하지 않았지만 사람이 복용했을 때 기형아를 유발했다. 하지만 과학의 발전으로 앞으로는 실험동물의 희생 없이도 화학물질의 안전성을 좀 더 정확하게 평가할 수 있을지도 모른다. 만약 실험동물의 생리화학적 현상을 세포나 조직 단위에서 재현하고 설명할 수



유전자 칩을 이용해서도 동물실험을 대체할 수 있다. © 안전성평가연구소

있다면 굳이 실험동물을 사용하지 않아도 독성을 평가할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 세포와 생체조직을 배양하는 기술에 대한 연구가 필요하다. 이 분야에서 가장 활발하게 연구되고 있는 대체재는 줄기세포이다. 줄기세포(stem cell)는 생물을 구성하는 세포들의 기원이 되는 세포이다. 즉 처음에는 특정한 세포로 분화되지 않은 채 그대로 있다가 적절한 환경에서 필요에 따라 신경, 혈액, 연골처럼 몸을 구성하는 여러 기관이나 조직을 구성하는 세포로 분화할 가능성을 가진 세포를 말한다. 만약 줄기세포를 인체의 주요 장기(간, 심장, 피부, 신경, 근육)로 분화할 수 있다면, 동물실험 없이도 줄기세포로 만든 주요 장기에 실험물질을 처리해 그 반응을 관찰함으로써 인체에서 발생할 수 있는 독성을 사전에 예측할 수 있을 것이다. 이 방법은 저렴한 비용으로 빠르게 독

성과 효력검사를 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 생체에서 나타나는 장기들 간의 연관을 보이는 독성을 예측할 수 없고 투여 경로에 따른 독성의 차이도 알 수 없으며 생체에서 일어나는 대사과정으로 생긴 물질에 대한 독성을 예측할 수 없다는 단점이 있다.

줄기세포를 이용해 인공신체 조직과 세포를 만드는 것을 넘어서 컴퓨터 시뮬레이션으로 만든 가상세포를 독성평가에 사용하려는 연구도 진행 중이다. 실제로 KAIST 생명화학공학과 연구진은 컴퓨터로 인체 세포를 모방해 실험할 수 있는 ‘가상세포’를 2010년에 개발했다. 가상세포는 실제 세포에서 일어나는 효소반응을 컴퓨터로 재구성해 실제 세포처럼 반응하도록 하는 컴퓨터 시스템이다. 이것을 이용하면 생명체의 세포를 체계적으로 분석해 화학물질의 투입에 따른 신체 대사변화를 정확하게 예측할 수 있다. 줄기세포를 이용한 세포실험과 비교해도 연구비용과 소요시간을 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 특히 유전자 염기서열 분석이 이루어진 모든 생명체에 적용할 수 있어 동물실험 대체를 포함한 다양한 분야에서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

이처럼 살아 있는 동물 대신 줄기세포를 이용한 인간세포나 조직, 컴퓨터 모델링을 활용하는 방법 등 다양한 대체실험방법이 연구되고 있다. 이들 방법은 검증되지 않은 부분이 많아 완전히 동물실험을 대체하기까지는 아직 갈 길이 멀다. 그럼에도 줄기세포와 컴퓨터를 이용한 동물대체시험법은 다량의 화학물질을 빠르게 검사할 때 장점을 발휘하기 때문에 실험동물을 대신해 초기 독성 평가에 쓰일 수 있다. 동물을 쓰지 않는 방법을 우선 고려하고 동물의 수를 줄이며 고통을 최소화한다는 실험동물 윤리의 3원칙을 준수하기 위해서도, 동물실험보다 더욱 실효성이 있으면서 윤리적으로도 좀 더 정당한 대체시험법의 연구는 앞으로 더 활성화될 것이다.

#### 미세먼지의 유해성, 안전성평가 연구소가 감시한다

미세먼지가 높은 날에는 병원을 찾아오는 호흡기 질환자가 증가한다. 지름이 보통 10 $\mu$ m(마이크로미터) 이하인 미세먼지는 사람의 호흡기에서 걸러지지 않고 폐포까지 침투한다고 알려져 있다. 하지만 아직까지 미세먼지가 어떤 메커니즘을 통해 인체에 영향을 미치는지에 대한 정보가 매우 부족하다.

정확히 미세먼지의 유해성을 평가하기 위해서는 동물실험을 통한 독성평가가 반드시 필요하나 여러 문제 때문에 그동안 어려웠다. 우선 동물을 이용한 흡입독성평가를 진행하기 위해서는 kg 단위의 실험물질이 필요하지만 자연적으로 채집해서는 충분한 양을 얻기가 힘들며, 채집한 미세먼지도 지역과 계절, 시간에 따라 성분이 달라지는 문제가 있었다.

안전성평가연구소의 흡입독성연구센터에서는 이런 문제를 극복하기 위해 ‘인공 미세먼지 대기모델’을 개발해 표준화했다. 예를 들어 한겨울에는 난방 때문에 화석연료로 인한 미세먼지가 많으며, 봄철에는 몽골에서 발생하는 분진이 더해져 미세먼지의 성분구성이 달라진다. 새로운 미세먼지 대기모델은 자연환경 속에 존재하는 미세먼지 함량을 기초로 계절과 장소, 시간에 따라 가장 실제와 흡사한 인공 미세먼지 구성을 제시해 실험의 정확성을 크게 향상시킬 수 있게 됐다. 앞으로 미세먼지의 유해성 메커니즘이 밝혀진다면 미세먼지에 대한 국민들의 막연한 불안감도 한결 나아질 것이다. 또한 유해성평가결과를 통해 미세먼지가 야기할 수 있는 질병을 예측함으로써 이에 대응하는 국민보건정책을 수립할 수 있을 것이다.

이와 더불어 한국화학연구원 탄소자원화연구소에서는 연소 및 화학 공정에서 발생하는 미세먼지와 전구체를 저감하기 위한 다양한 기술을 개발하고 있다. 이를 통해 국내뿐만 아니라 전 세계 대기환경을 개선하는 데 기여하고자 한다.



화학물질의 안전한 관리를 위해

우리나라의 화학 산업은 거의 모든 산업에 직간접적으로 관련되어 있으며 산업 규모 면에서도 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 생산액만 하더라도 2006년 기준으로 약 89조 원으로 국내 제조업 총생산의 9.8%를 차지하고 있으며, 화학 산업 외에 반도체 같은 전기전자, 자동차, 의약품, 항공우주 등에 관련된 각종 첨단산업의 원료와 기초소재를 공급하고 있어 국가 경제가 성장할수록 화학물질의 이용이 증가하게 된다.

반면 화학물질은 잘못 사용하면 삶의 질을 높이는 일등공신이 될 수 있지만, 부

주의하게 취급하고 남용하면 우리 건강과 환경에 해를 끼칠 수 있다. 안전 불감증으로 인해 화학물질의 위험성을 간과하면 화학물질이 우리의 생명과 안전을 위협하기도 한다. 따라서 무엇보다 화학물질의 특성을 제대로 인식하고 안전하게 관리하는 것이 중요하다.

화학물질관리법 이전

화학사고 가능성은 계속 커지고 있다. 울산과 여수 등 중요 화학 산업단지가 가동을 시작한 지 50년 가까이 되어 설비노후화로 인한 대형사고의 위험이 점차 증가하고 있다. 이뿐 아니라 반도체 등 전기전자 관련 산업의 비약적 발전으로 화학물질 사용량과 유해위험성이 높은 다양한 신종 화학물질 수요가 증

착공을 시작한 지 40년 만인 2014년에 준공된 여수국가산업단지의 전경. 국내 화학공업의 중심지다. © 여수시



첨단산업에서는 의외로 많은 유독성 화학물질이 사용되므로 철저한 관리가 필요하다. 사진은 화학공장의 내부. © shutterstock.com



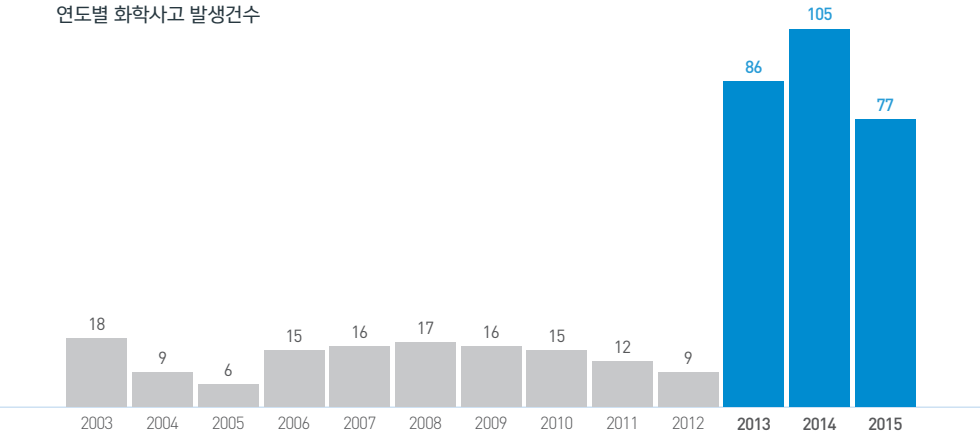


가하면서 다른 산업에서 화학물질 누출사고 발생 위험도 크게 증가하고 있다. 최근에 발생한 가슴기 살균제 피해사고, 구미 불산 누출사고 등 화학물질 관련 사고들은 대부분 취급 부주의 등으로 발생한 사고이다.

최근 우리 사회는 화학물질 사고에 대해 매우 민감하게 반응하고 있다. 환경부에 보고된 화학물질 관련 사고 건수를 보면 2010년 15건, 2011년 12건, 2012년 9건이었던 것에 비해 2013년에는 무려 86건의 사고가 접수됐다. 사고신고 건수가 늘어난 것으로 화학사고가 급증한 것이라고 보기에는 무리가 있다. 오히려 구미 불산 누출사고 이전에는 단순 작업장 안전사고로 간주되거나 무관심하게 넘어가던 사소한 사고에 대해서도 민감하게 반응하면서 신고 건수가 늘어났다고 보는 것이 합리적이다. 이렇듯 화학물질사고에 대한 관심이 높아졌으며, 안전한 사회를 만들어야 한다는 요구도 커지고 있다. 우리나라는 화학물질의 체계적인 안전관리를 위해 2013년에 ‘화학물질관리법’, 일명 화관법을 제정했다.

이전까지 화학물질의 관리 규제가 없었던 것은 아니다. 1963년 우리나라 최초로 유해화학물질의 관리에 대해서 ‘독물 및 극물에 관한 법률’을 통해 규정했다. 그러나 동법의 관리대상은 독극물에 한정돼 있었다. 1986년 산업구조 고도화에 따른 합성화학물질의 증가에 따라 ‘환경보전법’을 개선해 합성화학물질의 신고 및 심사 제도를 도입했다. 이를 통해 유해한 물질의 제조 및 수입, 유통을 금지하거나 제한할 수 있는 법적 근거가 마련됐다. 그러나 독극물은 ‘독물 및 극물에 관한 법률’에, 화학합성물질은 ‘환경보전법’에 근거하는 식으로 이원화돼 있기 때문에 책임소재의 문제가 항상 존재했다. 따라서 이원화된 법체계를 하나로 통합하고 유해화학물질을 종합적이고 체계적으로 관리하기 위해 1990년 ‘유해화학물질관리법’을 제정했다. 그 후 23년 만에 ‘유해화학물질관리법’을 대체하게 된 ‘화학물질관리법’의 목적은 무엇이며 기존 법들과 비교해 무엇이 다른 것일까.

연도별 화학사고 발생건수



2003년부터 2015년 사이의 연도별 화학사고 발생건수. 2013년부터 급격히 증가했음을 확인할 수 있다. 이는 기존의 화학물질 관리법안의 보완이 필요함을 뜻하기도 한다. 출처: 환경부

### 화학물질관리법이란?

‘화학물질관리법’은 2012년에 발생한 구미 불산 누출사고를 계기로 제정됐다. 이 사고로 현장에 있던 휴브글로벌 직원 4명과 펌프수리 외주업체 근로자 1명 등 모두 5명이 숨졌다. 또 사고 진압에 동원된 소방관을 비롯해 공장 근로자, 주민, 경찰, 기자 등 600여 명이 가스를 흡입해 병원에서 치료를 받았다. 구미 불산 누출사고에서 문제가 됐던 점은 사고 인근 지역주민들이 인근 공장에서 어떤 유해화학물질을 사용하고 있는지에 대해 전혀 모르고 있었다는 점이다. 사업체와 지자체 역시 불산의 위험성을 간과해 제독작업이 완료되지 않음에도 사고 발생 하루 만에 대피했던 주민들을 집으로 돌려보내 피해자가 늘어나게 됐다. 이 사고의 가장 큰 문제점 중 하나는 초기 대응이 허술했다는 것이다. 사고방제를 위해 출동한 소방관들도 불산에 대한 제대로 된 정보가 없어서 불산을 중화하는 조치를 하지 않은 채 물만 뿌렸다. 맹독성 화학물질인 불산의 확



지난 2015년 군산에서 열린 대규모 유해화학물질 유출사고 대비 현장훈련.  
소방기관과 군부대가 상황별 훈련을 진행하고 있다. © 전라북도

산을 막으려면 소식회를 뿌려야 했으나 이를 구하지 못해 물로 가스를 희석하는 데 그쳤다. 구미시와 소방서는 사고 발생 다음 날인 국립과학수사연구원의 감식 후 중화작업을 벌였다. 또한 공장 근로자와 주민의 대피 조치도 사고발생 3시간이 지나서야 이뤄질 정도로 많은 문제를 보였다.

2013년에 제정된 화학물질관리법은 화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률(화평법)에서 유해화학물질로 판명된 물질을 체계적으로 관리하고 화학사고를 예방하기 위해 유해화학물질의 취급기준을 강화한 법률로 ‘화관법’이라고도 부른다. 기존 유해화학물질관리법의 한계점이 노출되어 국민들의 불안감이 늘어나는 상황에서 새로운 법률은 좀 더 체계적인 관리와 예방을 통해 국민 건강과 환경을 보호하는 것을 목표로 하고 있다. 화관법의 내용은 크게 네 가지, 즉 국민의 알권리 보장과 안전관리 강화, 사고예방관리, 그리고 신속한 사고대응으로

분류할 수 있다. 먼저 국민의 알권리를 보장하기 위해서 화학물질에 대한 통계 조사 및 정보체계 구축을 명시하고 있으며, 유해화학물질 취급 및 설치, 운영 기준의 구체화 등을 통해서 화학물질의 안전한 관리를 도모하고 있다. 또한 화학사고 장외영향평가제도 및 영업허가제 신설 등을 통한 유해화학물질 예방관리체계를 강화하고 있다. 그리고 신속하게 화학사고에 대응하기 위해 사고대비물질 관리를 강화하고, 화학사고 발생 시 즉시 신고의무를 기업체에게 부여하며, 현장조정관의 파견을 제도화하는 등의 내용을 담고 있다.

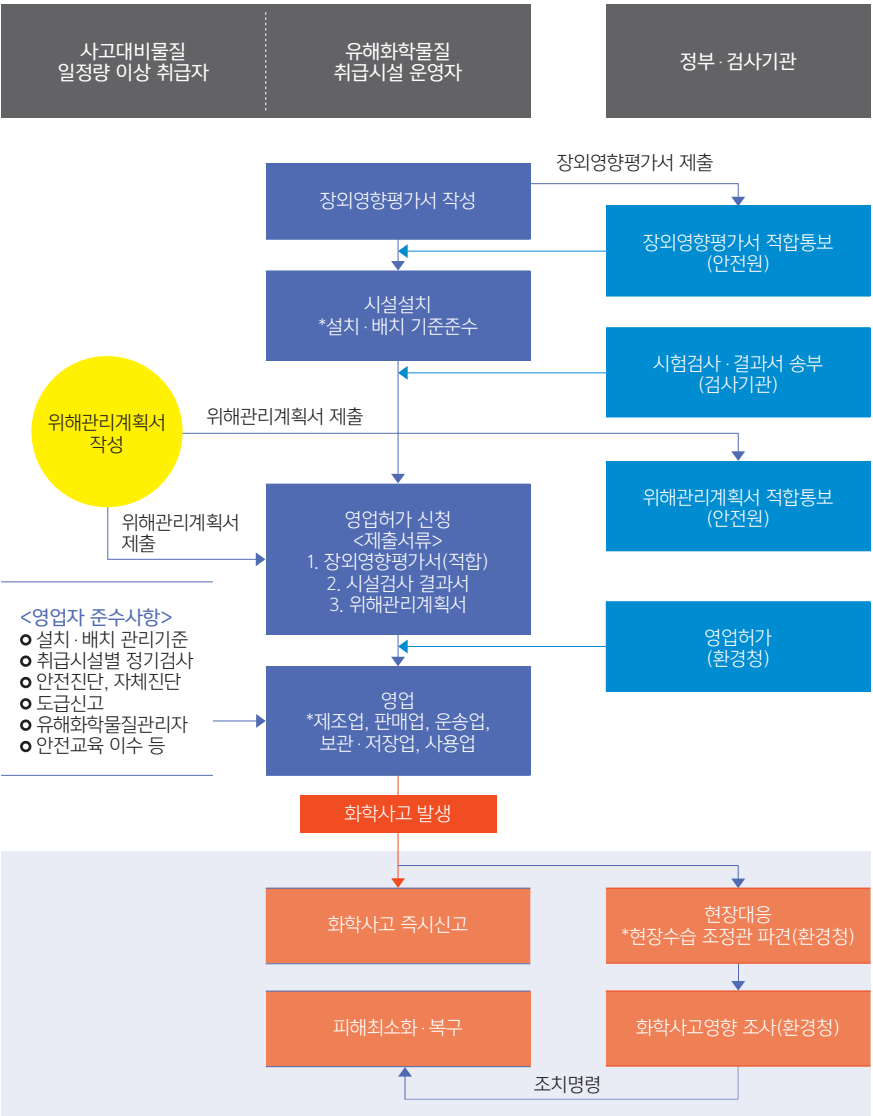
### 화학물질관리법의 주요 내용

화학물질관리법의 핵심은 유해화학물질에 대한 정보의 공개와 공유이다. 본 제도에서는 화학물질을 사용·제조하거나 수입·판매하는 사업체에 대해서 취급하고 있는 화학물질 및 취급시설을 대상으로 2년 주기로 통계조사를 실시하도록 규정하고 있다. 종전까지는 화학물질에 대해서만 유해성 정보를 공개했지만 화학물질을 취급·관리하거나 판매하는 시설에 대한 정보를 공개함으로써 지자체와 소방당국이 관할 지역 사업체들의 시설을 좀 더 안전하고 체계적으로 관리할 수 있도록 하고 있다. 또한 지역주민들에게 주변에 유해화학물질 취급 사업체를 알림으로써 위험요소에 대한 알권리를 보장할 수 있다. 예전 불산 사고 시에는 사고 물질에 대한 취급정보를 지자체와 소방당국이 알지 못해서 누출된 물질이 불산임을 아는 데 많은 시간이 걸렸으며 이로 인해 피해가 더 확산됐다. 화학물질안전원에 의해 조사·수집된 유해물질 및 배출량 정보는 ‘화학물질 배출량 정보공개 시스템’의 홈페이지(<http://ncis.nier.go.kr/triopen>)를 통해서 국민들에게 공개되고 있다.

좀 더 근본적으로 사고를 감소시키기 위해서는 정보공개와 함께 화학물질의 취급 및 보관, 시설안전에 대한 관리를 강화해 사고를 예방해야 한다. 사고예방을 위해 화학물질관리법에서는 유해화학물질의 취급기준을 강화하고 있다. 새

화관법 주요관리 체계

관계기관별 규제흐름



롭게 규정을 추가해 유해화학물질을 운반하는 작업원은 반드시 유해화학물질 관리자 또는 유해화학물질안전교육을 받은 사람이어야 하며 작업 시에는 취급 물질에 적합한 개인보호장구를 착용하는 것을 의무화하고 있다. 구미 불산 누출사고의 경우는 개인보호장구를 착용하지 않아 인명피해가 더 커졌다.

새롭게 화학물질관리법에서 수행되고 있는 안전관리제도에는 장외영향평가와 검사제도, 안전진단제도 및 위해관리계획서 제출이 있다. 먼저 장외영향평가서는 화학사고 발생으로 사업장 주변 지역의 사람이나 환경 등에 미치는 영향을 평가하도록 하는 제도이다. 화학물질관리법에서는 유해화학물질 취급시설을 설치해 운영하려는 사업자는 공사 30일 전까지 화학사고가 사업장을 포함한 주변 환경에 미칠 영향과 사고 시나리오에 따른 안전 확보 및 피난 대책을 포함한 장외영향평가서를 화학물질안전원에 반드시 제출해야 한다.

검사 및 안전진단 제도는 유해화학물질 취급시설에 대한 사고를 예방하기 위해 사업자에게 의무화하고 있다. 검사는 유해화학물질 취급시설이 안전기준에 적합하게 설치·운영되고 있는지 확인하는 제도이다. 기존 제도와 달리 화학물질관리법에서는 모든 규모의 유해화학물질 취급시설에 대해서 검사 제도를 의무화하고 있다. 법에서 규정하고 있는 검사에는 시설을 설치하고 가동하기 전에 수행하는 설치검사와 규정에 맞게 운영하고 있는지에 대한 정기검사 및 수시검사가 있다. 안전진단은 검사와 달리 설치된 시설의 결함 및 잠재된 위험성을 찾아내어 제거하기 위한 제도이다. 검사제도와 같이 모든 유해화학물질 취급시설을 대상으로 하며 서류조사 및 외관검사, 비파괴시험을 통해서 시설 결함이나 노후화로 인한 사고위험을 사전에 찾아내는 것을 목표로 한다. 위해관리계획은 사고대비물질을 지정 수량 이상 취급하는 사업장에서 취급물질·시설의 잠재적인 위험성을 평가하고, 화학사고 발생 시 활용 가능한 비상대응체계를 마련해 화학사고 피해를 최소화하도록 하는 제도이다. 앞선 장외영향평가가 새롭게 화학물질취급시설을 설치하려는 사업체를 대상으로 하고





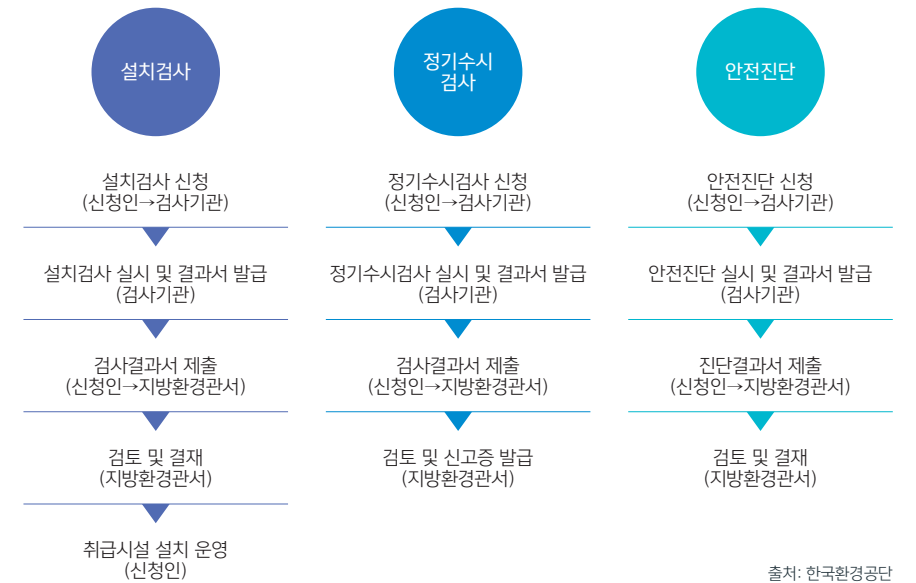
화관법에 따라 화학물질 사고 시에 긴급히 대처할 수 있도록 개인보호구를 비치해야 한다.  
개인용 보호구를 착용하고 훈련 중인 모습. © 군산시

있다면 위해관리계획은 기존 사업체를 대상으로 한다. 화학사고 위험이 높은 물질을 지정 수량 이상 취급하는 사업자는 화학사고 대비 교육 및 훈련, 자체 점검계획과 사고발생 시 대응, 복구 시나리오 및 주민보호조치가 포함된 위해 관리계획서를 작성해야 한다. 위해관리계획서는 매 5년마다 새로 작성해야 하며 사업체는 지역사회 관할관청 홈페이지나 신문 등을 통해서 매년 1회 이상 고지해야 할 의무를 가진다. 그러나 사업체 주변의 확인된 영향범위에 주민이 없고 과거 5년간 사고발생이 없는 경우에는 취급물질과 시설정보와 같은 기본 정보만 제출하도록 규정하고 있다.

화학물질관리법에서는 업무상 과실 또는 중과실로 화학 사고를 일으켜 사상에

이르게 한 사람은 10년 이하 금고나 2억 원 이하 벌금을 부가하고 있어 이전 유해물질관리법과 비교해 법규위반에 대한 벌칙이 대폭 강화됐다. 유해화학물질 사고로 인해서 2년에 3회 이상 영업정지처분을 받은 경우에는 사업체의 허가를 취소할 수 있으며, 개인보호장구를 착용하지 않은 경우나 유해화학물질 취급량을 초과해 진열하는 경우에는 영업정지 등의 처벌이 가능하다. 특히 영업정지 처분을 대신하는 과징금을 부가할 수 있는데, 다수 사업장을 보유한 경우 영업정지 처분을 받은 사업장의 매출액의 5%, 단일 사업장의 경우에는 매출액 2.5%의 과징금을 부과하고 있다. 유해물질관리법에서 과징금이 3억 원 이하인 것을 생각할 때 처벌이 매우 무거워졌다.

#### 유해화학물질 취급시설 검사 및 안전진단 절차



## **안전과 경제성장의 규제 줄다리기**

화학물질관리법을 둘러싸고 기업과 시민사회, 정치권의 논란이 끊이지 않고 있다. 구미 불산 누출사고를 계기로 좀 더 안전한 사회를 만들기 위해서 화관법이 제정됐지만 법안의 내용을 보면 기업에게 부담이 되는 부분이 많은 것이 사실이다.

기업들은 화학물질관리법이 기업 본연의 경쟁력을 훼손할 수 있다는 점을 들어 반발하고 있다. 특히 기업들이 위반 시 물어야 하는 과징금 규모가 너무 크다고 지적하고 있다. 업무상 과실로 유해화학물질사고가 발생하게 되면 매출액의 최대 5%까지 과징금을 기업에게 부과할 수 있도록 규정하고 있어 다른 법률과 비교할 때 형평성이 맞지 않다고 주장한다. 사실 과징금은 화학물질관리법 초안보다 상당히 후퇴한 것이다. 처음 국회에 법안이 발의됐을 때는 매출액의 50%를 과징금으로 물려야 한다는 내용이 담겨 있었다. 이후 논의과정에서 10%로 조정됐다가 다시 5%까지 낮아진 것이다. 또한 하청업체의 위반사항에 대해서도 원청업체가 책임져야 하기 때문에 기업, 특히 대기업의 관리 책임이 과중하다고 하소연을 하고 있다. 법 심사과정을 검토하는 국회 환경노동위원회 전문위원실에서조차 다른 법률과 비교할 때 부담이 너무 과중하다는 의견을 내기도 했다. 최종 법안에서 과징금 비율이 하향됐지만 여전히 기업들이 느끼는 부담은 상당하다. 연매출이 수천억 원에 달하는 기업들의 경우 자칫 수백억 원대의 과징금을 내야 하는 상황에 몰릴 수 있기 때문이다. 실제 한국경영자총협회는 이 법이 통과되자 경영활동에 심각한 악영향을 줄 것이라며 매출액 5% 이하의 과징금은 과도하다고 비판하기도 했다.

하지만 기업 경영 활성화보다 화학물질관리의 안전성을 좀 더 강화해야 한다는 여론이 더 우세하다. 2017년 국회에서는 현행 2년 동안 3회 이상 영업정지 처분을 받은 경우에 한해 사업체의 영업허가를 취소하던 것을, 2년이라는 기간에 관계없이 고의 또는 중대한 과실로 3회의 화학 사고를 일으킨 경우에 바로

영업허가를 취소하는 화학물질관리법 일부 개정안이 발의됐다. 개정안을 대표 발의한 국회의원들은 “동일 유형의 화학사고 재발을 방지하고 영업자들에게 안전사고에 대한 경각심을 높여 화학물질이 누출돼 인명과 환경에 악영향을 미치는 사고의 발생을 억제하기 위해서 개정안을 대표 발의했다”고 개정안을 제의한 이유를 밝혔다. 논의과정을 거쳐 실제 개정안은 사고 발생이 아니라 사고 발생을 즉시 신고하지 않은 부분에 대해서 3회 위반한 사업장의 영업허가를 취소하는 방향으로 다소 완화됐다. 그러나 가습기 살균제 피해사고, 부산 폐기물 처리공장 질산 누출사고 등 화학물질 관련 사고가 끊임없이 발생하고 있어 국민들의 걱정과 우려가 계속 커지고 있는 만큼 화학물질의 안전한 관리에 대한 규제는 계속 강화될 것이다.

## **화학물질관리법을 지원하기 위한 노력**

안전한 화학물질의 관리는 법제도를 새롭게 만드는 것으로 끝나지 않는다. 화학물질관리법을 제대로 시행하기 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 기반이 갖춰져야 한다. 특히 화학물질관리법은 유해화학물질에 대한 정보공개와 공유를 강조하는 만큼 정보공유 플랫폼과 실시간 모니터링 등의 지원이 필요하다. 화학물질안전원은 유해화학물질의 정보와 안전관리방법을 신속하고 정확하게 제공하기 위해서 2017년부터 화학물질종합정보 포털을 운영하고 있다. 포털에서는 국내에서 유통하고 있는 화학물질 4만 3000종의 물리화학적 특성과 이들 물질을 취급할 때 주의사항과 같은 정보들을 알려주고 있다. 또한 해당 물질의 누출로 인한 화학사고 발생 시 대응요령, 인체독성과 유해성에 대한 국내외의 규제를 포함한 다양한 안전정보를 제공하고 있다.

또한 화학물질종합정보 포털은 화학물질취급자를 교육하기 위한 유용한 정보를 함께 제공하고 있다. 실무교육에 유용한 화학사고 발생 장소와 사고유형, 원인, 피해현황 등 화학사고 사례 정보와 화학물질 취급사업장의 유통, 배출



정부에서 제공하는 화학물질종합정보 포털. 화학물질을 분류번호로 검색하면 영문명, 국문명, 유독물질 여부, 기존의 등록대상 화학물질 여부를 알 수 있고, 유독물질을 포함한 혼합물질의 함량과 규제정보까지 확인할 수 있다.  
 © 화학물질안전원

정보 등 화학물질에 대한 전반적인 궁금증을 해소할 수 있는 각종 정보를 포털을 통해 얻을 수 있다. 특히 포털이 제공하는 유해화학물질 사고 발생 시 대피요령과 방재정보들은 현장에서 신속하게 초동대처를 하는 데 유용할 것으로 기대된다.

화학물질종합정보 포털은 기존의 ‘화학물질관리법 민원 24’ 사이트와 통합해 운영함으로써 시너지 효과를 강화시킬 수 있다. 화학물질관리법 민원 24에서는 유해화학물질 운반계획서 제출, 법률정보제공, 영업 관련 인허가 접수 등에 관해 사업자들의 화학물질관리법 이행을 돕고자 2016년에 개설된 민원처리 시스템이다. 민원 24와의 통합을 통해서 화학물질안전원의 화학물질종합

정보포털은 기존 민원24의 업무처리는 물론 국내 유해물질과 관련된 모든 정보를 한 곳에서 제공할 수 있게 됐다. 예를 들어 유해화학물질 운반차량의 사고가 발생했을 때 과거에는 차량이 운반하고 있는 화학물질정보를 바로 알기 힘들어 초동대처가 늦어지곤 했다. 하지만 화학물질종합정보 포털에서는 차량번호 검색만으로도 화학물질의 종류, 수량, 운전자 연락처 등을 실시간으로 확인할 수 있다. 또한 화학물질의 운반을 감독하는 지방 환경청 담당자들과 화학물질안전원의 인증을 받은 사업체 관리자들은 차량으로 운반되는 화학물질의 종류와 물동량, 이동 경로를 실시간으로 확인해 관리감독을 좀 더 효율적으로 할 수 있다.

한국화학연구원에서도 대한화학회 홈페이지에 ‘화학물질통합관리프로그램’을 무료로 배포·공개하고 있다. 이를 통해 산학연 관계자들에게 화학물질의 법적 규제 정보, 물질 안전 보건 자료(material safety data sheet) 등 주요 정보를 제공하고, 체계적인 화학물질 관리 환경을 조성하고 있다.

### 안전관리를 위한 예방설비 및 보호 장비

화학 물질을 안전하게 관리하기 위해서는 화관법과 같은 규제체제와 함께 다양한 예방설비와 보호 장비들이 필요하다. 특히 산업체에서는 다양한 종류의 화학물질을 사용하고 있기 때문에 화학사고를 예방하기 위한 설비들이 반드시 갖춰져야 한다.

가장 기본적인 예방 설비는 환기장치이다. 상당수 사고들은 밀폐된 공간에서 유출된 화학물질로 인한 흡입, 질식 등으로 발생하고 있으며 신선한 공기를 환기하는 것만으로도 충분히 사고를 방지할 수 있다. 환기장치는 인위적으로 실내 공기를 청정하게 유지해주는 설비로 공장 및 건물의 실내에 축적될 수도 있는 오염물질을 배출하고 농도를 낮춤으로써 사고를 예방한다. 지하철과 같이 유해물질이 잘 배출되지 않아 오염물질이 축적되기 쉽거나 산업현장과 같이



안전밸브의 구분

| 구분                 | 내용                      |
|--------------------|-------------------------|
| 파열판식 안전밸브          | 산소, 질소, 아르곤, 수소 등의 압축가스 |
| 가용 전 안전밸브          | 아세틸렌, 염소 등              |
| 스프링식과 파열판식 2중 안전밸브 | 초저온 용기                  |
| 스프링식 안전밸브          | LPG 용기                  |

출처: 화학물질안전개론

유해물질을 보관·사용하는 장소에는 법으로 환기시설 설치기준을 정하고 있다. 환기장치에는 후드와 덕트, 공기정화장치, 배기구가 있으며, 오염물질이 발생하는 곳에 설치해 화학물질을 외부로 배출하거나 외부 공기를 유입해 희석하는 데 사용된다.

압력방출장치는 화학물질의 보관용기나 파이프 등의 압력이 비정상적으로 상승할 때 증기를 신속히 방출하기 위한 예방설비이다. 화학물질을 보관하는 용기에는 안전을 위해 압력방출장치로서 안전밸브가 부착돼 있다. 인도 보팔사고의 경우 화학물질을 보관하던 용기의 압력이 부실한 관리로 비정상적으로 상승해 폭발하는 바람에 발생했다. 만약에 안전밸브와 같은 압력방출장치가 정상적으로 작동했다면 화학물질 누출로 인한 피해가 최소한으로 줄어들었을 것이다. 안전밸브에는 스프링의 힘을 이용한 스프링식과 압력이 일정 수준 이상으로 상승하면 배출구를 막고 있는 판이 깨져 압력을 방출하는 파열판식이 있으며 구분에 따른 사용용도는 아래 표와 같다.

화학공장에서는 유독성 가스의 누출이 발생하면 인명피해뿐만 아니라 환경오염의 위험성이 있어 이를 방지하기 위한 설비로서 화학반응을 이용한 제독설비가 필요하다. 제독설비에는 흡착현상을 이용한 고체흡착처리장치와 촉매반

방진마스크 등급

| 구분 | 내용                                          |
|----|---------------------------------------------|
| 특급 | 베릴륨, 석면 등과 같이 독성이 강한 물질들을 함유한 분진 발생         |
| 1급 | 금속흄 등과 같이 열적으로 생기는 분진 발생<br>기계적으로 생기는 분진 발생 |
| 2급 | 특급 및 1급 착용장소 이외의 분진 발생 장소                   |

출처: 안전보건공단

응을 이용한 촉매산화처리장치, 열을 이용해 유해물질을 태워 버리는 연소처리장치, 물을 이용한 습식흡수처리 장치가 있다. 이들 제독설비는 각기 장단점을 갖고 있으며 배출하는 오염물질에 맞춰 사용하고 있다.

사고예방과 함께 안전을 위해 중요한 것은 유해화학물질로부터 신체를 지켜줄 보호 장비이다. 유해화학물질의 노출은 주로 호흡기와 피부를 통해 이뤄진다. 호흡기 보호 장구에는 크게 공기 정화식과 공기 공급식으로 분류된다. 오염된 공기를 정화통 또는 여과제를 통해 정화하는 방식인 공기 정화식은 사용이 간편하고 가격이 저렴해 널리 사용되고 있지만, 산소농도가 낮은 장소나 유해물질 농도가 높은 경우에는 사용할 수 없다. 또한 외부공기를 완전히 여과하는 것이 아니기 때문에 적은 양으로도 인체에 치명적인 물질을 취급하는 곳에서는 사용하지 말아야 한다.

공기 정화식 보호 장구에는 방진 마스크와 방독 마스크가 있다. 방진 마스크는 분진, 미세한 수증기 및 연기를 정화하는 장치로 각 등급마다 사용처가 다르다. 가장 널리 사용하는 호흡용 보호구인 방독마스크는 유해가스 및 유해증기(유기증기, 할로젠 가스, 황화수소, 시안화수소, 아황산가스, 암모니아가스)의 노출을 방지한다. 방독마스크에 달려 있는 정화통은 차단할 수 있는 유해화학

물질에 따라 색깔이 다르기 때문(녹색: 암모니아, 노랑: 아황산가스, 갈색: 유기화합물, 회색: 기타)에 반드시 사용 전에 점검해야 한다.

공기 공급식 보호 장비는 외부로부터 신선한 공기를 공급받는 방법으로 주로 산소농도가 낮거나 오염농도가 높은 장소, 치명적인 유해물질을 사용하는 경우에 사용하고 있다. 대표적인 공기 공급식 보호 장비에는 송기식 마스크가 있다. 송기식 마스크는 공기저장탱크나 콤프레서를 이용해 착용자의 마스크, 헬멧 등에 깨끗한 공기를 공급하는 장치이다. 정화통이나 여과장치가 필요 없어 고장이 적으며 유지보수가 덜 필요하여 좀 더 경제적인 장비이다.

화학물질로부터 피부를 보호하기 위해서는 안전장갑과 안전복을 착용해야 한다. 화학물질의 분자는 매우 미세하여 모공을 통해 흡수될 수도 있기 때문에 반드시 일반장갑이 아닌 화학물질용 보호 장갑을 이용해야 한다. 보호복은 손뿐만 아니라 전신을 화학물질로부터 보호해준다. 보호대상 물질에 따라 액체 방호와 분무보호 형태가 있다. 액체방호 보호복은 액체 화학물질로부터 신체를 보호해주며 분무방호 보호복은 좀 더 미세한 입자의 분무 침투로부터 보호한다. 화학물질용 보호복의 구분은 보호 성능과 형태에 따라 나누어지는데, 일반용 보호복과 긴급용 보호복의 구분은 화염저항성능에 따라 다르다. 긴급용 보호복은 일반용과 달리 화재 등으로 발생하는 열기와 화염으로부터 신체를 보호할 수 있는 성능을 갖고 있다.

### **사고대응을 위한 화학물질**

사고 예방장치들에도 불구하고 불의의 사고 등에 의해 화학물질의 누출이 발생할 수 있다. 누출된 화학물질의 물리·화학적 특성에 따라 다양한 방제방법이 있다. 화학물질을 방제하는 방법에는 크게 물리적으로 포집하는 방법과 화학적으로 제독하는 것이 있다. 물리적 포집에는 화학물질을 이용해 오염물질을 흡수·흡착하거나 고체화시켜 제거하기 용이하게 만드는 방법이다. 화학적

제독은 산화환원 및 중화반응 등을 이용해 오염물질의 독성을 약화시키거나 성질을 변화시키는 방법이다. 물리적 포집과 화학적 제독을 위해서 다양한 화학물질이 방제약품으로 사용되고 있다. 예를 들어 가성소다·소다회 등은 산성 물질을 중화하는 데, 황산수용액· 묽은 염산 등은 염기성 물질을 중화하는 데, 규조토·탄산수소나트륨 등은 액체위험물을 흡착하는 데, 활성탄 등은 독성가스를 포집하는 데 쓰인다.

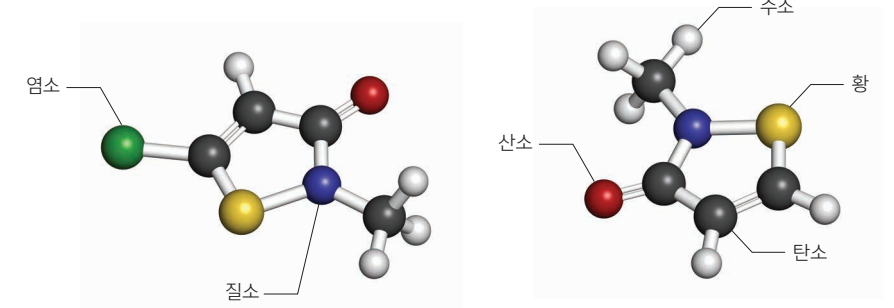
생활의 편리와 함께 화학물질은 공장뿐만 아니라 다양한 장소에서 사용되고 있으며 그만큼 화학물질에 대한 노출위험이 증가하고 있다. 화학물질뿐만이 아니다. 우리 사회는 방사성 물질을 포함해 다양한 오염물질에 항상 노출돼 있다. 정부는 화관법과 같은 다양한 규제정책을 통해 오염물질로부터 건강과 환경을 지키기 위해 노력하고 있다. 또한 규제정책뿐만 아니라 화학물질을 이용하는 다양한 예방설비와 보호 장구, 방제약품 등을 통해 안전한 생활을 지키고 있다.

‘기이한 폐질환!’ 2006년 여름이었다. 처음 보는 종류의 폐질환으로 한두 살배기 아이들이 계속 죽어가자 서울아산병원 홍수중 교수는 당혹감에 휩싸였다. 의사 경력 20년이 넘는 그도 한 번도 보지 못한 특성의 폐질환이었기 때문이다. 같은 증상의 환자들이 봄철만 되면 몇 명씩 중환자실에 누웠고 그중 80%는 사망할 정도로 속수무책이었다. 기이한 폐질환의 원인이 밝혀진 것은 그로부터 수년이 지나서였다. 2011년 정부의 역학조사결과로 밝혀진 범인은 바로 가습기 살균제였다.

### 가습기 살균제 사건과 화학물질 안전

정부의 공식 집계에 따르면 2016년까지 가습기 살균제에 의한 폐손상으로 인한 사망자는 146명이다. 추가 피해 신고 접수와 민간단체에 접수된 신고를 포함하면 전체 피해자 규모는 1500명 이상으로 추산되며 사망자 규모는 260명에 이르고 있다. 그런데 여기에는 정부의 관리 소홀이라는 치명적인 원인이 숨어 있었다. 원래 외국에서 가습기 세정제로 사용하던 물질이 국내에서 가습기 살균제로 탈바꿈한 것이다. 같은 화학물질이라도 용도에 따라 인체에 미치는 영향은 크게 달라진다.

가습기 살균제에 들어 있는 CMIT와 MIT, PHMG, PGH는 피부독성이 다른 살균제보다 낮아 원래 샴푸와 물티슈처럼 피부에 직접 닿는 제품을 살균해 보존하려고 사용되는 살균성분이다. 이들 물질을 가습기 세척이 아니라 가습기 물에 넣어 직접 사용하면서 예상치 못한 일이 발생했다. 가습기에서 발생한 미세한 물방울에 이 물질들이 함께 포함돼 폐 속 깊숙이 침투해 염증을 일으킨 것



가습기 살균제에 사용된 CMIT(왼쪽)와 MIT(오른쪽)의 분자 구조. © shutterstock.com

이다. 염증이 반복되면서 폐 세포조직이 섬유질로 변해 딱딱하게 굳어져 호흡 곤란 등으로 결국 사망에 이르게 된다. 이것이 바로 가습기 살균제 사건의 실체이다. 가습기 살균제에 들어 있는 살균 성분들이 호흡기로 흡입될 때 발생할 수 있는 독성에 대해서는 아무런 연구가 돼 있지 않았기 때문에 피해자가 발생하고 2011년 역학조사가 이뤄질 때까지 아무런 제재 없이 가습기 살균제가 판매됐다. 특히 문제의 가습기 살균제는 공산품으로 분류되기 때문에 화학물질의 인체유해성을 규제하는 식품위생법이나 약사법이 아닌 ‘품질경영 및 공산품안전관리법’에 따른 일반적인 안전 기준만이 적용돼 피해 예방에 실패했다. 가습기 살균제의 독성 정보를 알고서도 원료를 공급한 제조사나 흡입독성에 대한 자료도 확보하지 못한 채 제품을 출시하고도 인체에 무해하다고 과장 광고한 가습기 살균제 기업들의 무책임함이 이 사건의 직접적인 원인이다. 또한 화학물질과 이를 이용해 만든 화학제품이 별개로 관리됨에 따라 용도 변경으로 인체에 대한 노출경로가 달라져도 이에 맞는 독성을 심사할 수 없는 법·제



도의 미비와, 국민이 직접 호흡하는 가습기 살균제를 공산품으로 관리하면서도 최소한의 안전기준도 마련하지 않고 자율인증제품으로 방치한 것 역시 참혹한 이 사건의 발단이 됐다.

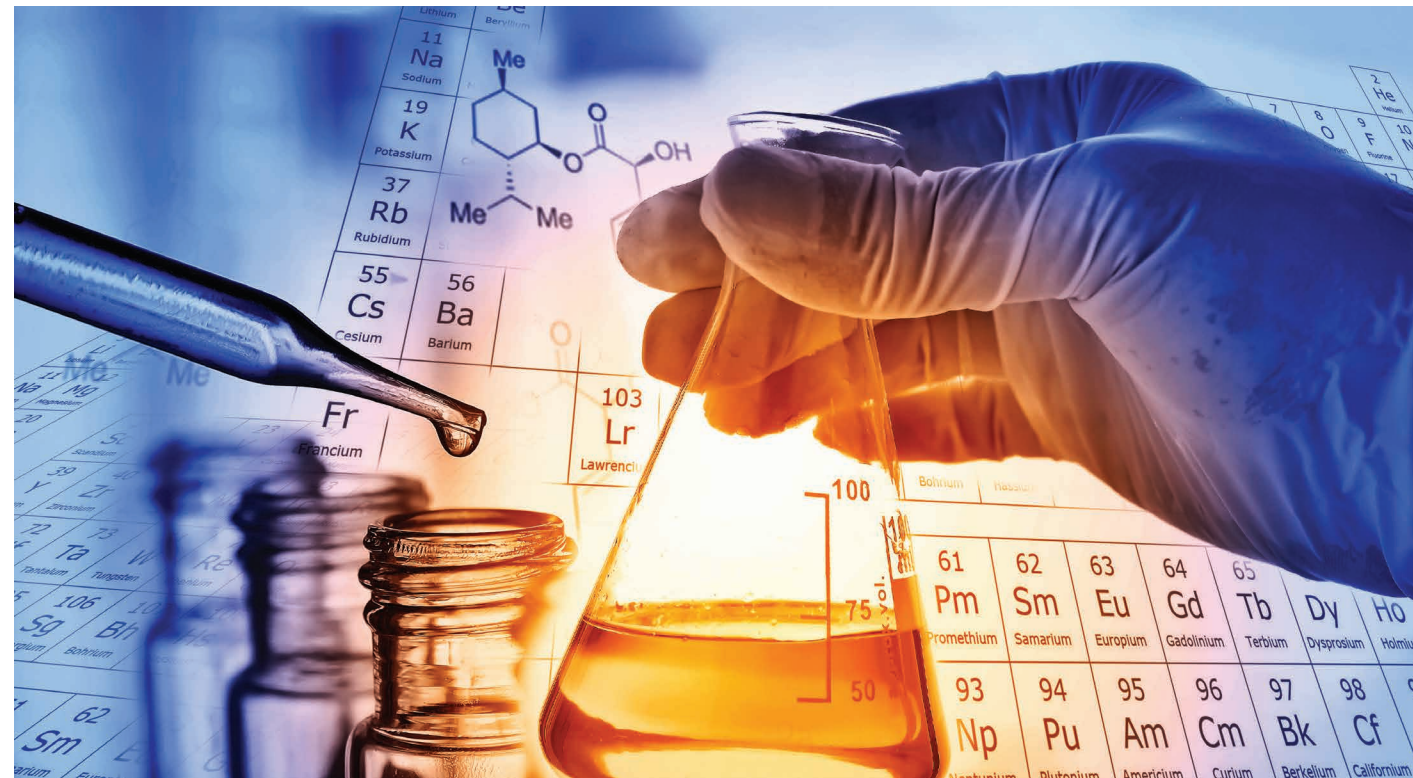
### 화평법의 제정

가습기 살균제와 같은 화학물질의 안전성 평가와 관리는 그동안 유해화학물질관리법에 근거해 수행됐다. 그런데 유해화학물질관리법에서는 새로운 화학물질에 대해서만 유해성 평가를 의무화했다. 따라서 이전부터 물티슈 등에 사용하고 있던 가습기 살균제 속의 CMIT와 MIT 같은 기존 화학물질의 유해성에 대해서는 아무런 규제가 이뤄지지 않았다. 국내에서 유통하고 있는 화학물질은 약 4만 3천여 종에 달하지만 이들 중에서 유해성 정보가 확인된 물질은 15%에 불과하다. 즉 대부분의 기존 화학물질이 가습기 살균제와 같이 유해성 여부에 대해서 확인되지 않은 채 사용되고 있는 것이다. 이런 상황에서 제2의 가습기 살균제 사건이 일어나지 않으리라는 법이 있겠는가.

국제적으로도 화학물질 안전에 대한 관심이 증가하고 있다. UN은 2020년까지 화학물질의 위해를 최소화하기 위한 포괄적인 전략인 ‘국제적 화학물질관리에 대한 전략적 접근(Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM)’을 채택하고 이행할 것을 세계 각국에 권고하고 있다. 또한 국제무역에서도 화학물질에 대한 유해정보 없이 시장에 출시하는 것을 금지하는 원칙(No Data, No Market)이 강화되고 있다. 이처럼 유럽과 일본, 중국 같은 주요 시장에 우리 화학물질과 제품을 판매하기 위해서는 국제적 기준에 맞는 화학물질 유해성 평가제도가 반드시 필요하게 됐다. 유럽연합은 신화학물질 관리정책(REACH)을 2007년에 도입했으며, 일본과 중국 역시 2010년부터 새로운 화학물질유해성 관리제도를 운영하고 있어 우리가 선진국들에 비해 다소 늦었다고 볼 수 있겠다.

화학물질 등록 및 평가 등에 관한 법률(화평법)은 국내 시장의 모든 화학물질에 대한 유해성과 같이 안전한 사용에 필요한 정보를 사전에 확보해 공유하며, 생활용 화학제품으로 인한 피해사고로부터 국민건강과 환경의 피해를 미리 방지하기 위한 목적으로 2013년에 제정됐으며 2015년부터 시행되고 있다. 연간 1톤 이상 제조·수입되는 기존 화학물질과 국내시장에 처음 유입되는 모든 신규 화학물질에 대해 유해성 심사를 의무화하는 것이 화평법의 핵심이다. 기업들은 연간 1톤 이상의 기존 화학물질이나 신규 화학물질을 제조·수입할 때 매년 용도와 제조·수입량 등을 등록해야 한다. 또 해당 화학물질을 등록할 때는 제조·수입 물질의 용도, 특성, 유해성, 위해성에 관한 자료를 제출해야 한다. 환경부는 등록 자료를 토대로 유해성이 있는 물질은 ‘유독물질’로, 위해성이 있는 물질은 ‘허가물질, 제한물질, 금지물질’로 지정해 고시한다. 기존화학물질

화학물질에 대한 유해정보가 없는 제품은 시장에 출시하는 것을 금지하는 원칙이 강화되고 있다. © shutterstock.com



은 국내 유통량, 유·위해성 정보 등을 고려해 등록대상이 사전에 고시되고 등록유예기간이 부여된다. 또한 기업들이 원활하게 화평법을 이행할 수 있도록 정보시스템을 구축해 운영하고 녹색화학센터 지정 및 중소기업 지원 등 산업계 지원규정을 명시하고 있다.

### 화평법의 주요 내용

화평법이 도입되면서 여러 가지 변화가 발생했다. 첫째, 신규화학물질에 대해서만 실시하던 유해성 심사를 화학물질 등록제도로 개편하면서 심사대상을 기존화학물질까지 확대했다. 화평법에서는 신규화학물질 또는 연간 1톤 이상의 기존화학물질을 제조하거나 수입하는 사업체는 유해성과 위해성 정보 등에 관한 자료를 등록해야 한다. 또한 인체와 환경에 심각한 피해를 입힐 우려

화평법이 도입되면서 화학물질에 대한 관리가 철저해졌다. © shutterstock.com



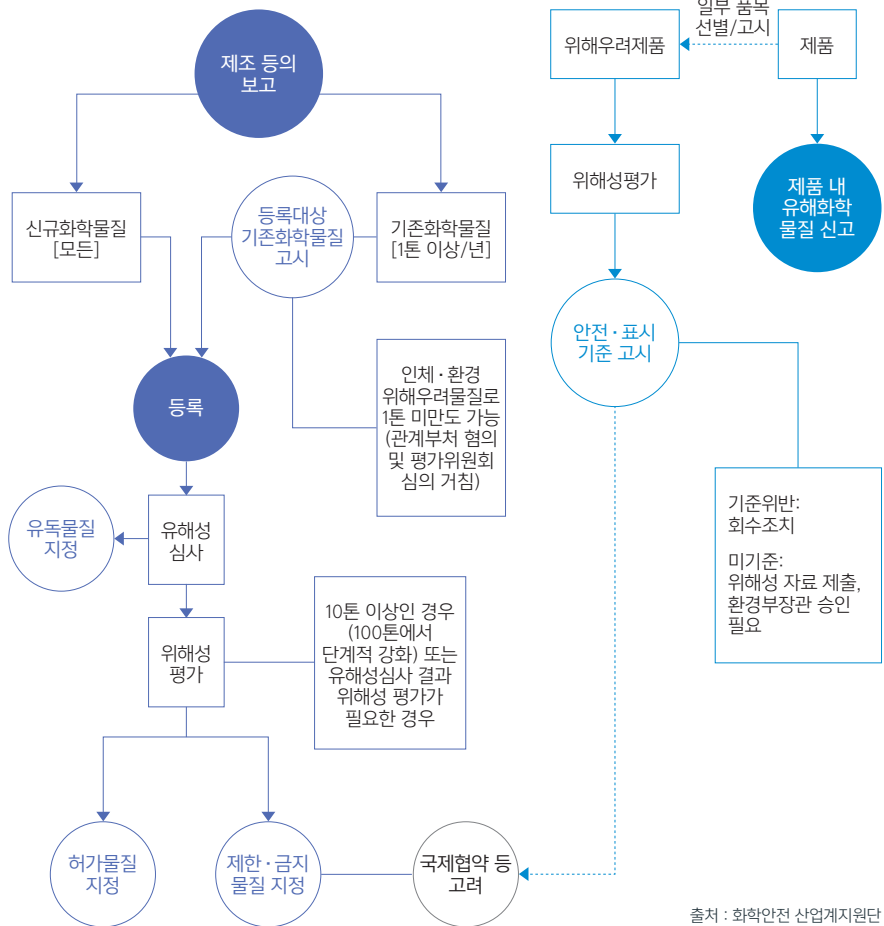
가 크다고 인정되어 지정된 화학물질에 대해서는 연간 생산·수입량이 1톤 미만이라도 관련 자료들을 등록해야 한다. 제조하거나 수입하려는 화학물질의 양이 연간 10톤 이상인 경우에는 화학물질의 전 과정에서 취급방법과 노출통제, 관리방법을 기술한 누출시나리오 등 위해성 정보를 등록하도록 되어 있다. 화학물질의 정보제공에 대해서 화평법은 화학물질의 거래 및 양도 시에 해당 물질의 등록번호와 물질, 유해성 및 위해성에 관한 정보, 안전사용 정보 등을 제공해야 한다고 규정하고 있다. 또한 변경사항이 발생한 경우 알게 된 날로부터 1개월 이내에 상대방에게 알려야 한다. 직접적인 거래관계뿐만 아니라 제조사나 수입자, 판매자 간에도 상대방이 요청하면 관련 정보를 제공할 의무를 부여하고 있다.

둘째, 화학물질 자체 독성 위주의 관리에서 사용용도와 노출정도 등을 고려한 '위해성 관리'로 개념이 변화했다. 등록된 화학물질에 대해서 정부가 유해성 심사 및 위해성 평가를 실시해 결과에 따라 유독물질과 허가물질, 제한물질, 금지물질을 지정하게 된다. 화평법에서는 기존의 유해성 평가(화학물질 고유의 성질)와 함께 화학물질 노출에 따른 실제 생태계 및 건강에 피해를 주는 정도를 평가하는 '위해성 평가'를 하고 있다. 위해성 평가의 경우 제조·수입량이 연간 100톤 이상이거나 유해성 심사 결과 위해성 평가가 필요하다고 인정되는 경우 실시되며, 화학물질별 우선순위에 따라서 단계적으로 실시된다. 유해성 및 위해성 심사는 공인된 독성시험기관(GLP기관)의 시험을 통해 진행되며 기업체에게 결과를 통지하게 되어 있다.

셋째, 위해우려제품에 대한 안전관리제도를 도입해 유해화학물질이 포함된 생활화학제품으로 인한 피해를 방지하기 위한 근거규정을 마련했다. 화평법에서는 화학물질뿐만 아니라 화학물질이 포함된 제품을 위해우려제품으로 규정하고 화학물질과 동일하게 신고 및 관리 의무를 부가하고 있다. 이에 따라 유해화학물질이 들어 있는 제품을 생산하거나 수입하는 사업체는 화학물질의 명



### <화학물질 및 혼합물>



칭과 함량, 위해성 정보, 제품 내 화학물질의 용도 등을 신고해야 한다. 예외로 제품에 포함된 화학물질이 고체형태로 남아 사용과정 중에서 누출되지 않

는 제품들은 신고의무에서 제외하고 있다. 그리고 국민의 건강이나 환경에 위해성이 우려되는 생활제품(세정제, 방향제, 접착제, 광택제, 합성세제, 표백제 등)과 살생물제(방충제, 소독제, 방부제 등)에 대해서는 신고의무와 함께 위해성 평가를 실시할 것을 의무화했다. 또한 위해성 평가를 바탕으로 제품 속 유해물질에 대한 안전기준 적합성을 제품에 표시해 소비자들이 제품의 안전성을 확인할 수 있도록 하고 있다. 정부는 안전기준에 부적합한 제품에 대해서 판매 금지 및 제품회수를 명령할 수 있다.

화평법에서는 화학물질의 안전을 지키기 위해 규제를 강화하는 동시에 여러 가지 보완장치를 함께 마련하고 있다. 화학물질 유해성 및 위해성 평가에는 상당한 비용과 시간이 들어가기 때문에 기업들, 특히 중소기업에게는 상당한 부담

화학물질의 유해성 및 위해성 평가에 상당한 시간과 비용이 들어가므로 중소기업에는 상당한 부담이 될 수도 있다.

© shutterstock.com





이 되는 것이 사실이다. 따라서 화평법에서는 화학물질을 등록하는 데 드는 비용을 절감하기 위해 동일 기존화학물질을 제조·수입하는 대기업과 중소기업은 서로 협력해 공동으로 제출·등록할 수 있도록 규정하고 있다. 하지만 기업의 영업비밀이 공개되어 상당한 상업적 손실을 야기할 것으로 예상되는 경우와 공동으로 제출하는 것이 개별적으로 제출하는 것보다 더 많은 비용이 소요되는 경우에는 개별로 제출하는 것이 가능하다. 마지막으로 화평법에서는 기존법과 달리 유해화학물질에 ‘허가물질’을 추가해 화학물질 사용의 제한·금지가 아니라 허가를 통한 대체물질 개발을 유도하고 있다.

화평법 위반에 대한 벌칙은 위반정도에 따라 다르다. 화학물질의 정보를 제공하지 않거나 거짓으로 제공하는 행위에 대해서는 1년 이하의 징역 또는 3천 만 원 이하의 벌금을 내야 하며, 등록하지 않거나 거짓으로 등록하고 관련 화학물질을 제조·수입하는 사람은 5년 이하의 징역 또는 1억 원 이하 벌금에 처하게 된다. 안전표시기준에 적합하지 않는 제품을 판매하거나 증여하는 사람은 7년 이하의 징역 또는 2억 원 이하의 벌금에 처할 수 있다.

### 화평법과 유럽연합 REACH 비교

화평법의 기본 체계는 유럽연합의 화학물질관리제도인 REACH를 많이 참조하고 있어 한국판 REACH 제도라는 의미에서 화평법을 K-REACH라고 부르기도 한다. 유럽연합의 REACH(Registration, Evaluation, Authorization and restriction of CHemicals) 제도는 화학물질의 양과 위해성에 따라 (사전) 등록, 평가, 신고, 허가, 제한을 하는 ‘신화학물질관리규정’으로 화평법보다 앞선 2007년에 발효됐다. REACH 이전에 유럽연합은 각국별로 화학물질을 관리하기 위한 500여 개의 지침과 규정이 있었지만 기존 화학물질에 대한 평가가 미흡하고 정보가 부족하기 때문에 관련 규정들을 통합하고 강화해 새로운 법령인 REACH를 채택하게 됐다. REACH가 실행됨에 따라서 유럽연합 내에



우리나라의 화평법은 까다로운 유럽연합의 화학물질관리제도인 REACH를 참조하고 있어 K-REACH라고 불린다.  
© shutterstock.com

서 연간 1톤 이상 제조하거나 수입하는 모든 화학물질에 대해서 등록이 의무화됐으며, 물질의 양과 특성에 따라서는 평가 또는 허가를 받아야 한다. 따라서 우리나라에서 유럽연합으로 연간 1톤 이상 수출하는 모든 화학물질은 반드시 유럽화학물질청(ECHA)에 등록해 화학물질별 등록번호를 발급받아야 한다. 많은 부분에서 화평법과 유럽연합의 REACH는 공통점을 갖고 있지만 몇몇 부분에서 차이점을 가진다. 가장 주요한 차이점으로 완제품 신고 제도를 꼽을 수 있다. REACH 제도에서는 ‘완제품 생산업체는 사용하고자 하는 화학물질이 REACH 부속서 17(Annex X VII) 제한물질 목록에 포함돼 있는지 확인해야 한

다'고 규정하고 있다. 연간 1톤 이상 제조하거나 수입하는 완제품에 들어 있는 화학물질이 허가받기 위한 후보 목록(candidate list)에 포함되며, 그 함유량이 완제품 무게의 0.1%를 초과하는 경우에는 완제품도 신고해야 한다. 하지만 국내의 경우에는 기업에 과도한 부담을 줄 수 있다는 당시 지식경제부의 의견을 반영해 화평법의 입안 과정에서 완제품에 관한 조항이 삭제됐다.

또 다른 차이점은 기존화학물질에 대한 등록범위이다. REACH 제도에서는 1톤 이상의 모든 기존화학물질에 대해서 등록을 요구하고 있으나 화평법은 환경부에서 우선적으로 지정한 화학물질에 한해서 등록하고 있다. 정부가 지정한 기존 화학물질은 510종으로 국내 유통 중인 1만 8770종의 화학물질에 비하면 화학물질안전과 국민들의 알권리를 지키기에는 많이 부족하다는 비판을 받고 있다. 이 때문에 정부는 화평법의 개정을 통해서 기존의 510종에서 7000종으로 등록대상 기존화학물질을 대폭 확대할 계획이다.

반면 신규화학물질에 대한 등록 및 심사 범위는 화평법이 REACH에서 규정하는 것보다 종류가 광범위하다. 화평법에서는 소량이라 하더라도 신규화학물질에 대해서 예외 없이 유해성 심사를 받도록 규정하고 있지만 REACH에서는 1톤 이하의 경우 이를 면제하는 예외조항을 두고 있기 때문이다.

### 화평법과 관련한 주요 쟁점사항

화평법은 구미 불산 누출사고, 가슴기 살균제 피해 등 대표적인 화학물질 안전 사고 이후 사전에 화학물질을 관리해 피해를 방지하기 위해 만들어졌으나 산업계의 강한 반발을 사고 있다. 산업계는 기존에 등록을 면제받았던 소량화학물질과 연구개발(R&D)용 화학물질에 대한 등록의무화, 화학물질을 등록하기 위해 판매 및 수입 거래 당사자 간의 정보제공에 따른 영업비밀 유출 가능성 증가와 같은 독소조항이 기업 활동을 저해할 것으로 우려하고 있다.

화평법에서는 연간 사용량 100kg 미만의 소량 신규화학물질에 대해서 등록

을 의무화하고 있다. 대기업의 경우 소품종 다량의 화학물질을 이용하기 때문에 화평법으로 인한 피해가 적은 편이다. 그러나 주로 다품종 소량의 화학물질을 취급하는 중소기업은 각각의 신규화학물질에 대해서 등록절차를 거쳐야 하기 때문에 등록비용이 큰 부담이 된다고 항변하고 있다. 환경부는 산업계의 이런 요구를 반영해 제조·수입량에 따라서 필요한 등록 자료를 차등화하고, 등록 절차를 간소화해 기업들의 부담을 최소화하려 노력하고 있다. 또한 원활하게 법률을 이행할 수 있도록 관련 정보시스템을 구축해 운영하고, 녹색화학센터 지정 및 중소기업 지원방안을 화평법에 명시하고 있다. 그러나 정부는 소량 신규화학물질에 대한 유해성·위해성 심사와 심사결과의 등록은 여러 불편

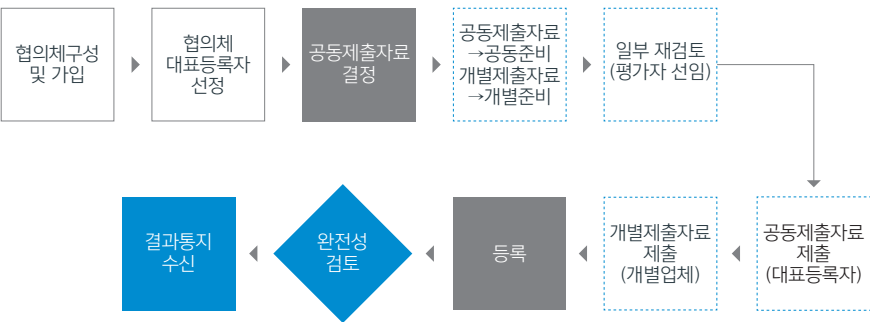
우리 생활과 화학물질은 떼려야 뗄 수 없는 관계다. 화학물질은 생활에 필수적인 부분부터 생활을 좀 더 편리하게 해주는 부분까지 널리 사용되고 있다. © shutterstock.com



합과 비용 증가에도 불구하고 반드시 필요하다고 보고 있다. 미지의 신규화학 물질이 아무런 정보 없이 국내에 유통될 경우 제2의 가습기 살균제 사고가 재 발할 수 있기 때문이다.

연구개발(R&D)용 화학물질의 등록 여부 역시 큰 논란거리이다. 화평법 이전 의 유해화학물질관리법 시행령에는 '화학물질 또는 화학물질이 함유된 제품을 개발하거나 공정을 개선하기 위해 제한된 장소에서 조사·연구자만 사용하는 신규화학물질'은 유해성 심사 면제 대상이었다. 그러나 화평법에서는 연구개 발용 화학물질도 모두 등록하도록 규정하고 있다. 이에 대해서 산업계는 제품 을 생산하기 위한 공정 개발이나 공정 개선활동 등을 하기 위한 연구개발용 화 학물질에 대해서는 예외를 인정해야 한다고 주장한다. 해외의 경우 호주, 캐 나다, 미국 등 주요국의 경우에는 연구개발용 화학물질에 대해서 심사를 면제 하고 있다. 이에 대해 환경부는 연구개발용 물질에 대해서 등록을 면제하는 방 안을 검토하고 있다.

등록대상 기존화학물질의 등록신청자료 제출절차.



출처 : 화학안전 산업계지원단

화학물질의 등록에 걸리는 시간도 문제이다. 새로운 화학물질을 등록하기 위 해서는 10개월가량의 시간이 소요된다. 따라서 연구개발용 화학물질의 등록이 늦어질수록 연구개발과 제품출시가 지연될 수 있기 때문에 라이프 사이클이 짧고 소재 혁신의 중요성이 강조되는 반도체, 디스플레이 시장에서 국내 기업 들이 경쟁력을 잃을 수 있다는 것이 산업계의 주장이다.

또 다른 쟁점은 영업비밀 유출이다. 화평법에서는 제조·수입자가 요청할 경우 사용·판매자는 화학물질의 용도, 노출정보, 사용량과 판매량, 안전 사용 여부 등의 정보를 제공하도록 규정하고 있다. 반대로 사용·판매자가 제조·수입자 에 요청한 경우도 정보를 제공해야 한다. 산업계는 상대의 요구에 따라 의무적 으로 제공·공개해야 하는 제품정보에 화학물질의 안전한 취급과 무관한 정보 까지 포함돼 있어 국내기술이 해외에 노출되는 식으로 영업 비밀이 침해당할 수 있다고 우려하고 있다. 이런 이유로 기업들은 혼합물질의 구성성분과 함유 량처럼 영업 비밀로 보호할 가치가 있는 사항은 예외로 인정해야 한다고 주장 하고 있다. 환경부는 이런 우려를 반영해 기업영업 비밀을 보호하기 위해 관련 제품의 화학물질자료 제출 시에 자료보호요청을 할 수 있게 하고 있으며, 기타 하위법령을 통해 영업비밀 침해우려를 최소화하려 노력하고 있다.

화평법은 국민의 건강과 환경을 보호하기 위해 필요한 규정이지만, 기업의 등 록비용 부담을 높이고 신물질과 신제품 연구·개발(R&D) 열기를 식혀 결국 기 업의 경쟁력이 약화될 것이라는 우려의 목소리가 존재하고 있다. 정부는 화평 법 시행과 관련된 기업들의 어려움과 부작용을 최소화할 수 있는 방안을 계속 검토하고 있다. 특히 화학물질 등록과 관련한 중소기업들의 경제적 부담을 덜 고 화평법을 원활히 이행하기 위해 다양한 지원활동을 하고 있다.



## 참고문헌

|                                                  |
|--------------------------------------------------|
| <b>공통</b>                                        |
|                                                  |
| 《퀴리부인은 무슨 비누를 썼을까?》 2007. 여인형 지음. 한승.            |
| 《화학의 프로메테우스》 2002. 새런 버트시 맥그레인 지음. 이충호 옮김. 가람기획. |
| 네이버 지식백과, 두산백과, 위키백과                             |

### 1장 깨끗한 화학

《인류를 구한 항균제들》 2007. 예병일 지음. 살림.

《죽기 전에 꼭 알아야 할 세상을 바꾼 발명품 1001》 2010. 잭 첼로너 지음. 이사빈 옮김. 마로니예북스.

《생활 속의 화학과 고분자》 2010. 정진철 지음. 자유키아데미.

《생각보다 강력한 천연세제》 2014. 아키코 아야오 지음. 박유미 옮김. 그린홈.

《세제와 세탁의 과학》 2013. 김성현 지음. 교문사

《파스티르가 들려주는 저온살균 이야기》 2006. 이재열 지음. 자음과 모음.

《미생물의 세계》 2005. 이재열 지음. 살림.

《청결의 역습》 2013. 유진규 지음. 김영사ON.

《이덕환의 과학세상》 2007. 이덕환 지음. 프로네시스.

《물 전문가는 어떤 물을 마실까》 2013. 이태관 지음. 북마크.

《초대하지 않은 손님, 전염병의 진화》 2007. 최석민 지음. 프로네시스.

《재미있는 미생물과 감염병 이야기》 2014. 천명선 지음. 박재현 그림. 가나출판사.

《역사로 보는 환경》 2009. 김정규 지음. 고려대학교출판부.

《바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭡까요?》 2016. 환경부.

<화학세계> 2017년 6월호 '미세먼지의 화학적 정체' 이덕환. 대한화학회.

'제멜바이스의 발견' 유네스코와 유산(세계기록유산) heritage.unesco.or.kr/mows/semmelweis-discovery/

한국상하수도협회 물사랑 홈페이지(www.ilovewater.or.kr)

## 2장 건강한 화학

《진정일 교수의 교실 밖 화학 이야기》 2013. 진정일 지음. 궁리.

《사물의 민낯》 2012. 김지룡, 갈릴레오 SNC 지음. 애플북스.

《피부는 다시 젊어질 수 있다》 2011. KBS 생로병사의 비밀 제작팀, 황진성, 김정은 지음. 문예춘추사.

《화학으로 이루어진 세상》 2007. K. 메테페셀헤르만, F. 하마어, H-J.크바드베크제거 지음. 권세훈 옮김. 예코리브르.

《공기로 빵을 만든다고요?》 2013. 여인형 지음. 생각의힘.

《건강에 목숨 걸지 마라》 2009. 이승남 지음. 브리즈.

《시크릿바디》 2015. 의정부과학교사모임 지음. 어바웃어북.

《건강한 식품선택을 위한 식품라벨 꼼꼼 가이드》 2012. 김정원, 강희진, 서성희, 김근형 지음. 우듬지.

<과학동아> 2013년 3월호 '미백화장품, 얼마나 효과 있나' 오가희. 동아사이언스.

한국민족문화대백과사전(encykorea.aks.ac.kr)

식품의약품안전처 식품안전정보나라(www.foodsafetykorea.go.kr)

## 3장 지키는 화학

《사소한 것들의 과학》 2016. 마크 미오노니 지음.

윤신영 옮김. MID.

《한 권으로 끝내는 교과서 실험관찰 5·6학년》 2011. 양일호 지음. 북이십일.

《의복과 환경》 1998. 수잔 M. 와트킨스 지음. 최혜선 옮김. 이화여자대학교 출판문화원.

《피복재료학》 2004. 안병기 지음. 경춘사.

《사고대비 화학물질 응급처치 지침서》 2016. 순천향대학교 구미병원 유해가스노출 환경보건센터·환경부.

《Dirty Old London: The Victorian Fight Against Filth》 2015. Lee Jackson. Yale University Press.

<ASTI Monthly Issue Magazine> 2016년 7월호.

'자가 치유 고분자 소재'를 말하다. 한만우.

'섬유의 기능성 소재(내열, 난연 및 방염 소재) 최근 동향' 2011. 김기수. 한국과학기술정보연구원.

화학사고 응급대응 정보시스템(ceis.nier.go.kr)

화학물질 안전관리 정보시스템(kischem.nier.go.kr)

중앙일보, 2011년 9월 14일, [뉴스 클립] Special Knowledge <351> 직물의 역사, 조현숙 기자.

사이언스 올 공식블로그, blog.naver.com/ksf0803/110095010030, 강철보다 강하고 비단보다 아름다운 나일론

Insight of GS Caltex, www.insightofgscaltex.com/?p=20083, 47억벌, GS칼텍스의 폴리에스테르로 제작할 수 있는 의복의 수

SK에너지, blog.skenergy.com/1663, [라이프 인 사이드] 합성섬유 도대체 넌 누구니?

듀폰 블로그, blog.naver.com/dupontblog/220077559658, 듀폰과 함께하는 나일론의 과거와 현재

그리고 미래

국민일보, 2010년 6월 20일, [이광형의 '문화재 속으로'] (20) 주꾸미가 건져 올린 고려청자, 이광형 기자

한국도자재단, 유약(釉藥)의 기능과 종류(한국도자재단)www.ggcm.or.kr/05data/05.asp?-mode=view&idx\_num=7&page=&search=&-category=

조선일보, 2007년 10월 17일, [뉴 테크놀로지] 도자

기의 진화 '세라믹', 이영완 기자

사이언스 타임즈, 2013년 9월 30일, 스스로 복원되는 자가 치유 폴리머, 김준래 객원기자

LG케미토피아, blog.lgchem.com/2016/03/shape-memory-alloy/, 금속계의 아벤저스-형상기억 합금

부산일보, 2013년 2월 1일, [식기구 안전 사용법] 플라스틱 용기는 해롭다? 용도 맞게 쓰면 걱정 없어요, 최혜규 기자

여성조선, 2016년 7월 19일, 당신의 프라이팬은 안전합니까?, 박미현 기자

허핑턴포스트, 2015년 3월 4일, 플라스틱 용기를 전자레인지에 넣으면 정말 해로울까?, Alison Spiegel

아시아경제, 2014년 5월 29일, 도곡역 지하철 화재, 대구 지하철 참사와 이것이 달랐다, 최동현 기자

문화재청, www.cha.go.kr/cop/bbs/selectBoardArticle.do?nttlD=26122&bbsId=BBSMSTR\_1008, 불과 싸우기 위해 태어난 멸화군

아시아경제, 2015년 2월 3일, 국산 수퍼섬유로 만든 '특수방화복' 입는다, 조강욱 기자

세계일보, 2016년 12월 2일, 보팔 가스 참사, 권홍우 논설위원

사이언스 타임즈, 2016년 10월 12일, 해상 기름 유출, 나노기술로 해결, 이강봉 객원기자

오마이뉴스, 2014년 3월 31일, 기준치 이하 방사능 누출, 정말 안전한가?, 최예용·류재광

하이닥, 2012년 10월 9일, 불산가스유출 사고로 살퍼본 환경오염사고 발생시 대처요령, 김선희 기자

전자신문, 2016년 1월 24일, [과학한이슈]방사능 제거기술, 송혜영 기자

한겨레, 2011년 4월 4일, KISTI의 과학향기-방사성 요소드에 대처하는 우리의 자세!, 이진한 동아일보 기자

연합뉴스, 2017년 2월 24일, 최강독가스 VX의 흑역사·살충제로 태어나 대량살상무기로, 김보경 기자

조선일보, 2016년 8월 3일, 죽음의 바다에서 생명의 바다로…'만리포 사랑', 김석모 기자

## 4장 화학물질의 안전

《독성학자가 알려주는 첨단독성평가의 비밀》 2015. 안전성평가연구소.

《화학물질 위험성평가 매뉴얼》 2012. 안전보건공단.《화학물질안전개론》 2016. 문일 외 6명 지음. 청송.

《화학물질관리법 해설서》 2015. 화학안전산업계지원단.

《화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률 해설서》 2015. 화학안전산업계지원단.

<감사> 2013년 가을호 '화학물질 안전관리 현황분석과 개정 법률을 통해서 본 화학물질관리의 전망' 윤준현. 감사원.

<월간 노동리뷰> 2013년 7월호 '최근 화학사고 발생의 문제점과 예방대책' 이충호. 한국노동연구원.

<Deloitte Anjin Review> 2015년 창간호 '화평법이 무엇인가요?' 딜로이트.

<LG POLYMER JOURNAL> 2014년 여름호 '유럽 연합 신화학물질 관리제도(REACH)의 이해' 권혁철. LG화학.

'미세먼지 왜 위험한가? 독성평가로 규명한다' 2017. 4. 18. 보도자료. 안전성평가연구소.

'화학물질관리법 주요내용 및 기업 준비사항' 2015. 금강유역환경청.

'유해화학물질 사고사례 및 화학사고 대응기술' 환경부.

'화학물질관리법 내 화학사고 정책의 개선방안 및 산업계 지원방안 연구' 2016. 박정규 외 3명. 한국환경정책·평가연구원.

'화평법·화관법의 이해' 2014. 김수호. 한국화학물질관리협회.

'화평법 및 화관법 기업대응' 이은정. 스위스케미칼 컨설팅.

'화학물질의 등록 및 평가 등에 관한 법률(화평법)의 주요 쟁점과 시사점' <중소기업Report> 2013.

경기중소기업종합지원센터.

'화평법 도입에 따른 유해화학 물질 관리제도 변화' 2015. 문예린. 한국환경산업기술원.

'화평법 및 하위법령의 주요 내용 분석과 기업 대응 방안' 2014. 한국환경산업기술원.

요코하마대학 동물실험위원회(www.yokohama-cu.ac.jp.k.ef.hp.transer.com/animal/index.html)

동아사이언스, 2015년 04월 20일, DDT, 그 영욕(榮辱)의 역사. 강석기 과학칼럼니스트

한겨레, 2009년 1월 7일, KISTI의 과학향기-암모니아 합성법의 두 얼굴, 임성아 과학칼럼니스트

한겨레, 2012년 5월 1일, KISTI의 과학향기-동물실험, 피할 수 없으면 대체하라, 박재학 서울대 교수

한국정책신문, 2017년 2월 1일, 3회 이상 화학사고시 영업허가 취소…'삼진아웃제' 도입 추진, 김희주 기자

한국경제, 2017년 5월 29일, 화학물질 1개 등록비만 수억원인데…7000개로 늘리겠다는 환경부, 강현우 기자

문화일보, 2013년 9월 13일, 신규 화학물질 등록 의무화…건당 최대 1억1200만원 소요, 박영출·장석범 기자

경향신문, 2013년 7월 26일, "기이한 질환, 2006년 시작된 공포…공기 중 떠다니는 그 무엇이 문제였다", 송윤경 기자

국회보, 2016년 7월 1일, 특집\_가습기 살균제 사건으로 본 생활 화학물질 안전대책\_국가·기업의 책임성 강화로 시민의 건강과 안전 지켜야, 임종한 인하대 교수

도서 제작

참여자

(가나다순)

한국화학연구원

이규호 / \* / 고영주 / 김대일 / 김용석 / 김용은 / 김종혁 / 김희택 / 류병환 / 박재득 / 박지원 / 송재광  
엄현석 / 오길환 / 오동엽 / 이평수 / 최재진 / 허일정 / 허정녕 / 홍도영

안전성평가연구소

정문구 / \* / 계치문 / 김민자 / 김성환 / 서종수 / 신은주 / 윤석주 / 최성진 / 한강현 / 황유식

동아에스앤씨

김택원 / 양길식 / 이충환 / \* / 김종립 / 현계영

아침에 일어나 저녁에 잠들 때까지 부지불식중에 우리는 화학의 도움을 받고 있습니다.  
비누로 손을 씻고 정수 과정을 거쳐 깨끗한 물을 마시며 상처 난 곳에 연고를 바르고  
기능성 옷 덕분에 여름에 시원하고 겨울에 따뜻하게 지냅니다.  
모두 '안전한 화학' 덕분입니다.

