

표준모형을 구성하는 기본입자들은 모두 대형 입자 가속기를 통해서만 확인할 수 있습니다. 1968년에 톱 쿼크가 처음 발견되면서, 기본입자를 찾아내기 위한 연구가 활발하게 이뤄지기 시작했습니다. 2012년에 프랑스에 있는 유럽입자물리연구소(CERN)에서 ‘신의 입자’로 알려진 힉스 보손의 존재가 마지막으로 확인됐습니다. 힉스 입자의 존재를 주장했던 영국의 피터 힉스와 프랑스의 프랑수아 앙글레르는 2013년 노벨물리학상을 받았습니다.

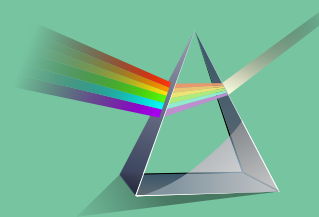
다시 처음 질문으로 돌아와, 모든 물질은 각각 6종의 쿼크와 렙톤 그리고 힘을 만들어내는 5종의 보손으로만 이뤄졌고 이는 논란의 여지가 없는 사실일까요? 현재 과학기술 수준에서 내릴 수 있는 답은 “그렇다”입니다. 지금의 과학으로는 우주에서 이들보다 더 가벼운 물질, 즉 이들을 구성하는 기본입자들의 존재를 확인할 방법이 없습니다.

Chapter 3. 공장-지구에서



30

원소들은 어떻게  
자신만의 스펙트럼을  
가지나요?





석원경 교수가 답하다

물질은 고유한 색깔을 가지고 있습니다. 물질이 빛을 흡수하고 방출하기 때문이죠. 이를 ‘스펙트럼(spectrum)’이라고 합니다. 그런데 세상의 모든 물질은 저마다 독특한 양자역학적 구조로 돼 있어 각각 고유한 스펙트럼을 가지고 있습니다. 물질을 구성하는 기본 단위인 원소도 예외가 아닙니다.

빛 연구는 17세기에 아이작 뉴턴이 처음 시작했습니다. 뉴턴은 창문으로 들어오는 햇빛을 프리즘에 통과시켰더니 반대쪽 벽에 무지개처럼 다양한 색깔의 연속된 띠가 나타나는 현상을 발견했습니다. 뉴턴은 이 띠를 스펙트럼이라고 불렀습니다. 스펙트럼은 본래 라틴어로 ‘이미지’나 ‘유령’을 뜻하는 말입니다. 뉴턴은 이 빛의 정체를 이해하고 싶었습니다. 그는 햇빛은 다양한 색깔의 ‘빛 알갱이’로 구성돼 있다고 생각했습니다. 이는 오늘날 양자역학의 ‘광자(photon)’와 비슷한 개념이었습니다.

18세기가 되자 독일의 물리학자 요제프 프라운호퍼는 햇빛을 더욱 정

밀하게 분석했습니다. 프리즘 대신 금속 표면에 가는 평행선을 그어서 회절 격자를 만들고, 이를 사용해 빛을 분석하는 프라운호퍼 분광기를 개발했습니다. 놀랍게도 뉴턴이 관찰했던 스펙트럼에는 어두운 선들이 곳곳에 숨겨져 있었죠. 이런 선은 600개가 넘었습니다. 햇빛에서 관찰되는 이 ‘선 스펙트럼(line spectrum)’의 정체는 20세기에 양자역학이 정립된 뒤 명확히 밝혀졌습니다.

이후 독일의 화학자 로베르트 분젠과 물리학자 구스타프 키르히호프는 석탄 가스가 들어 있는 분젠 버너의 불꽃으로 가열한 물질에서 나오는 빛을 프리즘으로 분석했습니다. 여기서 물질마다 독특한 파장의 빛만 선택적으로 방출한다는 사실을 발견했습니다. 한편 금속의 불꽃 색깔은 모두 다릅니다. 소듐(Na)은 진한 노란색, 리튬(Li)은 진홍색, 포타슘(K)은 옅은 보라색, 주석(Sn)은 녹색, 칼슘(Ca)은 주황색, 알루미늄(Al)은 은백색입니다.

그래서 폭약으로 뜨겁게 달군 금속 원소에서 방출되는 불꽃을 이용해서 화려한 불꽃 축제를 즐기곤 합니다. 원소의 고유한 불꽃 반응이 훗날 원자의 양자역학적 구조를 밝혀내는 결정적인 단서가 되기도 했습니다.

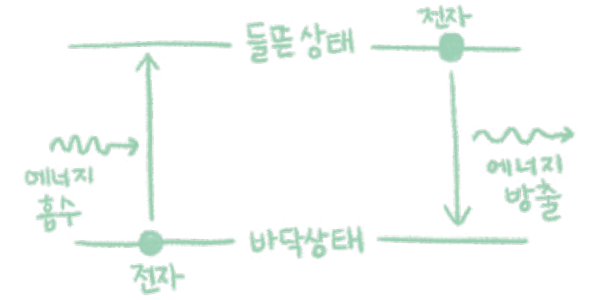
### 양자역학, 스펙트럼의 정체를 밝히다

19세기 영국의 물리학자 제임스 클러크 맥스웰은 빛이 전기장과 자기장이 서로 수직으로 진동하는 전자기파라고 설명했습니다. 그러나 맥스웰의 전자기 이론으로는 물질의 색깔은 물론 뜨거운 물체가 방출하는 빛의 색깔도 설명할 수 없었습니다.

물질의 스펙트럼을 설명하기 위해선 양자역학 이론이 필요했습니다. 특히 원자와 분자를 구성하는 전자의 상태는 양자역학적으로 정의되는 ‘오



비탈(orbital)로 결정됐죠. 전자는 외부에서 에너지를 흡수하면 더 높은 에너지를 가진 오비탈로 들뜨게 됩니다. 이때 흡수하는 에너지는 두 오비탈 사이의



에너지 차이에 의해 정해집니다. 반대로 높은 에너지 상태의 오비탈에 있는 전자가 빛을 방출하면서 에너지를 잃어버리면 더 낮은 에너지를 가진 오비탈로 내려오게 됩니다. 그때 방출되는 빛의 색깔도 역시 두 오비탈의 에너지 차이에 의해서 결정됩니다.

이를 이용하면, 소듐 금속의 불꽃 반응에서 관찰되는 빛의 색깔을 설명할 수 있습니다. 뜨겁게 가열한 소듐 금속의 들뜬 상태인  $3p$  오비탈에 들어있던 전자가 에너지를 잃어버리면 바닥 상태인  $3s$  오비탈로 돌아오게 됩니다. 이때 방출되는 빛은  $3p$  오비탈과  $3s$  오비탈의 에너지 차이에 해당하는  $589\text{nm}$ 의 파장을 가진 노란색입니다.

### 분광법이 가져온 과학의 눈부신 발전

‘분광법(spectroscopy)’은 빛을 이용해서 물질의 정체와 양자역학적 특성을 연구하는 수단입니다. 모든 물질은 근본적으로 양자역학적 상태가 서로 다르기 때문에 분광법을 이용하면 물질을 정확히 파악할 수 있습니다. 가령 여러 가지 물질이 섞여 있는 시료에서 특정한 물질의 농도를 알아낼 때 분광법이 유용하게 쓰입니다. 물질이 빛을 흡수하는 정도나 방출하는 빛의 세기 등으로 물질의 농도를 알 수 있기 때문이죠. 스포츠 선수가 금지 약물을 사용했는지를 확인하기 위한 도핑 검사에서도 분광법을 활용

하죠. 또 토양이나 수질의 오염도 분광법을 이용해서 확인합니다. 병원의 병리학 실험실이나 도핑 검사실은 모두 분광학 실험실이라는 뜻입니다.

분광법은 우리 눈으로 볼 수 있는 가시광선 외에 마이크로파, 적외선, 자외선, X-선, 감마선 등도 사용합니다. 파장의 영역에 따라서 얻을 수 있는 정보도 달라지니, 그만큼 다양한 연구에 활용할 수 있습니다. 예를 들어 마이크로파를 이용하면 분자의 회전 운동에 대한 정보를 파악할 수 있습니다. 적외선으로는 진동 운동을 분석합니다. 자외선으로는 분자를 구성하는 화학결합에 대한 정보를 얻고, X-선과 감마선으로는 원자의 종류와 위치를 파악합니다. 강한 자기장을 이용해 물질에 들어 있는 전자의 상태를 변형시킨 뒤, 물질의 정보를 얻는 분광법도 있습니다. 단백질 분석에 많이 사용하는 핵자기공명 분광법입니다. 이는 단백질에 붙어있는 수소 원자의 상태를 정밀하게 파악할 수 있습니다.

1억 5000만km나 떨어진 태양 분석도 가능합니다. 1868년 프랑스의 천문학자 피에르 장센은 개기 일식이 진행되는 동안 관찰한 햇빛에서 새로운 흡수선을 관찰했습니다. 지구에서 확인하지 못했던 헬륨의 정체가 밝혀진 순간이었습니다. 현대 천체물리학자는 망원경으로 관찰한 별빛을 통해 우주의 역사를 읽어내고 있습니다. 한 예로 수소의 핵융합에서 방출되는 별빛의 색깔이 아주 조금 붉게 보이는 분광학적 관찰로 우주가 빠르게 팽창하고 있다는 사실을 알아냈죠. 우주가 138억 년 전의 빅뱅에서 시작했다고 믿게 된 데도 분광학 연구가 중요한 역할을 했습니다.

외계 생명체가 존재하는 ‘골디락스’ 행성을 찾는 일도 별빛에 대한 분광학적 분석을 통해서만 가능한 일입니다. 액체 상태의 물이 있고, 다양하게 산화된 상태의 탄소가 존재한다는 사실은 분광학적 분석으로 알 수 있습니다. 물론 쉬운 일은 아니지만, 그렇다고 포기할 수도 없는 일이죠.

## 질문별 키워드

<b>1</b> 알칼로이드 캡사이신 캡사이시노이드 아드레날린 GPCR 엔돌핀 스코빌 척도 레시니페라톡신 헬리코박터균	염색제 유전자 유전자 단백질 리보솜 RNA 단성 생식 유성 생식 박테리아 이중 나선	발효 아플라톡신 염화플루오린화 탄소 통조림 보존제 범벅 가공식품	폴리렌 탄소 나노튜브 그래핀 나노화학	하이드로늄 이온 중화반응 수산화 이온 자기 이온화 반응 수소이온농도 안토시아닌 일칼리 음료
<b>2</b> 배설 섬유소 셀룰로오스 포도당 수소결합 셀로덱스트린 셀룰레이스 알파 글루코시데이스 식이섬유 녹말 ATP 글리코겐	<b>7</b> 알레르기 전신 면역반응 일산화 탄소 글루텐 알레르겐 히스타민 위생 가설	<b>13</b> 라면 수프 MSG L-글루탐산 코리네박테리움 중국음식점 중후군 화학조미료 인공조미료	<b>19</b> 물감 페인트 안료 염료 발색단 라스코 동굴 강서대묘 이산화 타이타늄 알리자린 코치닐 색소 케르메스 색소 티리언 퍼플 인디고 페라 모브 염료	<b>26</b> 합박눈 눈송이 전기음성도 프랙털 차원
<b>3</b> 에탄올 수산화기 친수성 메탄올 술 효모 아세트알데하이드 알코올 의존증 알코올 중독증 음주 측정기 혈중알코올농도	<b>8</b> 바이러스 코로나19 사스코로나바이러스-2 박테리아 담배 모자이크 바이러스 핵산 후천성면역결핍증 인간면역결핍바이러스 유리균 유익 바이러스 사이토카인 박테리오파지	<b>14</b> 생분해성 플라스틱 미세플라스틱 콜라겐 옥수수 전분 빨대 쌀 빨대 폴리하이드록시알카노에이트 플라스틱 페플라스틱	코치닐 색소 케르메스 색소 티리언 퍼플 인디고 페라 모브 염료	<b>27</b> 초록 바다 녹조 적조 부영양화 남세균 녹조 라떼 구조류 환경오염 지오스민 용존산소
<b>4</b> 땀 침 아포크린샘 에크린샘 염화 소듐 액취증 α-아밀레이스 프티알린 위발성 유기화합물 입 냄새 페로몬	<b>9</b> 소독제 이산화 염소 비말 살균제 항균 필름 자외선 소독기	<b>15</b> 아이스팩 폴리비닐알코올 폴리아크릴레이트 SAP 수화젤 슬라임 일회용 기저귀 생리용품 수산화기	아교 본드 순간접착제 포스트-잇 시멘트	<b>28</b> 기후변화 지구 온난화 온실가스 메테인 파리 기후변화 협약
<b>5</b> 손바닥 발바닥 멜라닌 지문 닌하이드린 세균 바이러스	<b>10</b> 마스크 면 마스크 폴리에틸렌 폴리프로필렌 저밀도 폴리에틸렌 일회용 마스크 덴탈 마스크	<b>16</b> 공기 청정기 필터 헤파 오존 발생 장치 오존 음이온 방향제 이산화 탄소	<b>21</b> 네온사인 비활성 기체 오가네손 헬륨 방사성 붕괴 디스플레이 플라스마 디스플레이 패널 유기발광다이오드	<b>29</b> 빅뱅 원소 양성자 중성자 주기율표 국제순수·응용화학연합 오비탈 동위원소 핵융합 반응 토카막 표준 모형 페르미온 보손 쿼크 중성미자 렙톤 광자 유럽입자물리연구소 신의 입자
<b>6</b> DNA 데옥시리보핵산 데옥시리보스 인산 이온 뉴클레오타이드	<b>11</b> 해모글로빈 미오글로빈 요리 호모 에렉투스 감칠맛 분자요리 좋은 음식 나쁜 음식	<b>17</b> 비누 젯물 수산화 소듐 지방산 에스터 비누화 반응 카복실기 마이셀 합성세제 계면활성제	<b>20</b> 딱풀 접착제 덱스트린 카제인 아교 본드 순간접착제 포스트-잇 시멘트	<b>30</b> 스펙트럼 회절 격자 선 스펙트럼 분젠 버너 불꽃 색깔 전자기파 양자역학 분광법 골디락스 행성
	<b>12</b> 즉석식품 방부제 보존제 절임	<b>18</b> 흑연 다이아몬드 연필심 인조 다이아몬드 화학기상증착법 탄소 동소체	<b>22</b> 수소 현대부르크호 천연가스	<b>25</b> 산과 염기 암모늄 이온
	<b>23</b> 스프레이 추진제 액화석유가스 오존층	<b>24</b> 액체 질소 줄-튐스 효과 보온병 질소 냉동인간 다이아몬드실록사이드 액체 헬륨 초전도체	<b>25</b> 산과 염기 암모늄 이온	



에필로그

## 세상 모든 것을 만드는 화학

우리 몸, 나아가 세상에 존재하는 모든 물질은 화학으로 이뤄져 있습니다. 심지어 밤하늘에서 반짝이는 별과 광활한 우주를 가득 채운 우주 먼지까지도요. 그러니 화학물질이 없는 세상에 살고 싶다는 말은 비현실적인 이야기입니다. 그런 세상에서는 우리 인간들도 존재할 수가 없기 때문이죠.

화학은 세상 모든 물질의 정체와 변환 과정을 밝혀주는 중요한 학문입니다. 현대 화학은 118종의 원소에서 시작합니다. 92종은 지구상에 존재하는 천연 원소이고, 나머지 26종은 20세기에 과학기술이 발전하면서 입자 가속기로 만들어낸 인공 원소입니다.

인공 원소 합성은 각국의 자존심이 걸린 일이기도 합니다. 미국, 러시아, 독일 등이 인공 원소 합성의 종주국이었는데, 21세기 일본이 동양에서는 최초로 113번 원소를 발견했습니다. 일본은 이 원소에 ‘일본의 원소’라는 뜻을 담아 ‘니호늄(Nh)’이라 이름을 붙였습니다. 이에 우리 한국에서도 하루빨리 ‘코리아늄’을 만들어야 한다는 목소리가 나오고 있습니다.

화학의 핵심은 화학물질입니다. 화학물질은 원자들의 화학결합으로 만들어진 분자가 모인 것으로, 종류가 매우 많습니다. 지금까지 알려진 화학물질만 무려 7000만 종이 넘습니다. 그런데도 매년 수천 종의 화학물질이 새로 발견되거나 만들어집니다. 화학이 복잡하게 느껴지는 것도 사실 화학이 다루는 화학물질의 종류가 너무 많기 때문입니다.

화학물질은 종류가 다양한 만큼 물질마다 개성도 독특합니다. 염료 물

질은 낙엽에 물을 들여 가을의 숲을 화려하게 만들고, 요리할 때 넣는 화학조미료는 음식에 감칠맛을 더해줍니다. 포도당, 소금처럼 인간에게 필요한 필수 화학물질도 있지만, 테트로도톡신, 다이옥신처럼 우리 몸속에 들어와 치명적인 독성을 일으키는 물질도 있습니다.

그렇다고 독성을 띠는 모든 물질이 나쁜 것은 아닙니다. 세상에는 ‘좋은 물질’과 ‘나쁜 물질’이 따로 있지 않습니다. 좋은 것도 잘못 사용하면 독이 되고, 나쁜 것도 현명하게 쓰면 오히려 혜택을 누릴 수 있습니다.

한 예로 수산화 소듐과 염산은 맹독성을 띠지만, 두 물질을 섞으면 화학적 변환을 일으켜 물, 소금 등 인간의 건강에 꼭 필요한 물질을 만듭니다. 그리고 세상에 살아 숨 쉬는 모든 생명체가 이런 화학물질의 변환을 이용해서 생존에 필요한 에너지를 얻게 됩니다.

누구에게나 세상은 아는 만큼 보이는 법입니다. 화학을 복잡하고, 어렵다고만 생각하면 화학물질에 숨은 신비로운 사실을 짐작조차 할 수 없습니다. 더욱이 이 세상은 화학물질로 가득 채워져 있으므로 화학 지식은 현대를 사는 모두에게 필수 상식인 셈입니다.

이 책은 국내에서 가장 오랜 역사를 자랑하는 순수 학술단체 ‘대한화학회’의 창립 75주년을 기념해 발간했습니다. 이 책이 우리 사회에 널리 퍼져 있는 화학에 대한 잘못된 인식을 바로잡는 일에 도움이 되기를 바랍니다.

또 책을 통해 더 많은 청소년이 우리 생활을 더욱 편리하고 안전하게 만들어주는 화학을 비롯한 과학 분야에 관심을 두게 되기를 바라는 마음도 있습니다. 화학이 지구를 더 푸르게 만들어준다는 사실을 꼭 기억해주시기 바랍니다.

2020년 12월 10일  
저자 일동