



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별

원자에서 원소의 기원 · 주기율표까지

컬러 PDF · 개인 영구 소장

이 PDF는 무료 샘플입니다

이 책의 앞표지와 앞 50쪽, 뒤표지를 읽어 보실 수 있습니다. 51쪽부터는 ssbook.kr에서 구매하시면 전체를 보실 수 있습니다.

ssbook.kr/book/tonghap-01

POD 정가 18,000원 → **10,800원** (60%)

ssbook.kr 홈페이지 안내

- **시리즈별 서가** — 인삼 · 오토파지 · 식물성 저탄고지 · 단식 · 생물리학 · 독립영양인간 · 중고등학교 교재 · 채식 · 라이프스타일 · 고대사
- **책마다 고유 주소** — 링크를 보내면 누구나 표지·소개·무료 샘플을 볼 수 있습니다
- **구매** — 회원가입(이메일 인증) 후 카드 결제(쿠키페이) → 내 서재에서 전체 컬러 PDF 내려받기
- **가격** — 종이책 POD 가격의 60%, 전 페이지 컬러 PDF
- **이용 범위** — 개인 영구 소장 가능, 공개 배포·재판매·공유 금지(내려받은 파일에는 구매자 정보가 표시됩니다)
- **책 신청 게시판** — 회원은 자유게시판에서 원하는 책 내용을 신청할 수 있습니다

소금과 별



코넬 개념암기

이야기식

그래프 개념지도

풍부한 그림과 문제들

역사 속 인물과 일화들

ATOMS · ELECTRONS · NUCLEI · SPECTRA ·
STARS · PERIODIC TABLE

소금과 별

문제로 풀어 가는 통합과학 화학 이야기 1

원자에서 원소의 기원·주기율표까지 —

통합과학 시리즈 제1권 화학 편, 단양 돌집 과학방의 첫 해 (봄~여름)

이광조 박사

판본 v7 · 2026-10-02

소금과 별

문제로 풀어 가는 통합과학 화학 이야기 1

소금과 별

이 책은 중학생과 고등학생, 그리고 화학을 다시 배우고 싶은 어른이 통합과학의 화학 부분을 원자에서부터 차근차근 이해할 수 있도록 네 사람의 대화로 풀어 쓴 교양서입니다. 책 속의 인물과 사건, 시험 점수와 실험 결과는 설명을 위해 지어낸 이야기 속 예시이며, 과학사와 연구 결과는 실제 문헌으로 각 장 끝에 출처를 밝혔습니다. 실험은 반드시 어른과 함께, 보안경과 장갑을 끼고 하십시오. 알칼리 금속·진한 산과 염기·하수구 세정제는 학생이 직접 다루지 말고, 불꽃 반응은 환기가 되는 곳에서 어른이 하십시오. 방사성 물질은 절대 다루지 마십시오.

차례

머리말 — 소금 한 알에서 별까지	6
일러두기 — 이 책의 짜임	8

제1부 원자라는 생각

1장 돌집 과학방의 첫 토요일 — 소금 한 알을 세 번 보기	11
2장 원소란 무엇인가 — 네 가지 원소에서 라부아지에의 원소로	23
3장 원자는 정말 있을까 — 돌턴의 원자설	38
4장 전자의 발견 — 음극선이 가르쳐 준 것	52
5장 금박을 뚫은 알파 입자 — 원자핵	62
6장 원자 번호, 질량수, 그리고 동위원소 — 원자핵 속 알갱이 세기	72
제1부 단원 마무리 — 수능형 문제	87

제2부 원소는 어디서 왔을까

7장 빅뱅 — 가장 가벼운 원자핵의 탄생	98
8장 전자는 어디에 있을까 — 전자 껍질과 에너지 준위	112
9장 별빛에 적힌 지문 — 스펙트럼	145
10장 별은 원소 공장이다 — 수소에서 철까지	159
11장 초신성과 중성자별, 그리고 우리 몸의 원소	174
12장 불안정한 원자핵 — 방사능	184
제2부 단원 마무리 — 수능형 문제	198

제3부 주기율표

13장 원자가 전자 — 바깥 껍질이 성질을 정한다	209
14장 멘델레예프의 빈칸 — 원자량 순서에 숨은 예언	220
15장 현대 주기율표 읽는 법 — 족과 주기	234
16장 알칼리 금속 — 물을 만나면 달아오르는 원소	245
17장 할로젠 — 소금을 만드는 원소	259
18장 비활성 기체와 주기적 성질 — 껍질이 가득 찬 원자들	270
19장 원소 이름에 새겨진 땅 — 이테르비 마을에서 118번까지	285
제3부 단원 마무리 — 수능형 문제	297

부록

부록 A 용어 풀이	307
부록 B 교과 연결표	312
부록 C 스스로 풀어 보기 — 정답과 해설	314
부록 D 화학 기본 수치와 단위	320

머리말 — 소금 한 알에서 별까지

화학 교과서를 펴면 원소 기호와 전자 배치, 반응식이 먼저 쏟아진다. 그런데 “이 소금 알갱이는 무엇으로 되어 있을까?”, “그 재료는 처음에 어디서 왔을까?”를 끝까지 물어 들어가면 결국 한곳에 닿는다. **원자**다. 모든 물질은 원자로 되어 있고, 원자는 가운데 작은 원자핵과 그 둘레의 전자로 되어 있다. 소금의 맛도, 별빛의 색도, 못이 녹스는 까닭도 모두 이 원자와 그 속의 전자에서 나온다.

그래서 이 책은 순서를 바꾸었다. 교과서 목차를 참고하되, **앞 장의 개념에서 뒤 장의 개념이 자연스럽게 나오도록** 이어 붙였다. 상권은 “물질을 끝까지 쪼개면 무엇이 남을까?”에서 출발해 원소와 원자, 전자와 원자핵, 동위 원소를 차례로 세운다(제1부). 그다음 우주의 시작과 별 속에서 원소가 어떻게 태어났는지를 빛의 스펙트럼으로 읽고(제2부), 그 원소들을 바깥 전자의 수로 한 장의 표에 정리한 **주기율표**에 이른다(제3부).

이 연결이 눈에 보이도록 장마다 첫 쪽에 두 가지를 두었다. **〈이 장의 출발점〉**은 그 장이 기대는 앞 장의 개념과 새로 세울 개념을 보여 준다. 그 아래 **〈기본개념〉**은 그 장의 핵심 낱말을 한 문장 정의로 모았다. 정의를 손으로 가리고 낱말만 보고 말해 보며 먼저 외운 다음 본문을 읽으면, 대화 속 설명이 훨씬 빨리 들어온다. 단원(부)마다 시작과 끝에는 개념이 이어지는 길을 그린 **지식 그래프**가 있고, 단원 끝에는 그 단원으로 풀어 보는 **수능형 문제** 다섯 개와 풀이가 있다.

장마다 **〈과학의 최전선〉** 상자에는 과학이 아직 밝히지 못한 것을 적었고, 몇몇 장의 **〈끝까지 물기〉**에서는 학생들이 “그건 왜요?”를 끝까지 묻는다. 전자는 정말 어디에 있는지, 물질이 ‘있다’는 것은 무엇인지 — 과학이 아는 데까지 정직하게 답하고, 그 끝에서 아직 모른다고 말하는 것이 과학을 지키는 길이라고 믿는다.

어떤 개념도 “그렇다고 외워라”로 시작하지 않으려 했다. 원자가 정말 있다는 것은 라부아지에의 저울, 돌턴의 원자설, 톰슨의 음극선, 러더퍼드의 금박 같은 **실험과 과학사**로 먼저 보여 주고, 그 실험을 한 사람들의 삶도 한두 쪽씩 담았다.

이 책의 무대는 충북 단양 남한강 가, 석회석으로 벽을 쌓은 옛 정미소를 고친 ‘돌집 과학방’이다. 은퇴한 화학자 석지환 교수가 과학방을 열고, 고등학교 1학년 태오와 중학교 2학년 하린 남매, 두부집 사장 미숙 이모가 봄부터 겨울까지

토요일마다 모인다. 통합과학 시리즈의 첫 해다. 장마다 본문 속 문제 두 개와 그 풀이 대화가 있다. 먼저 풀어 보고, 풀이 대화와 **풀이 그림**을 따라가며 자기 풀이와 견주어 보기 바란다. 장 끝 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 C에 있다.

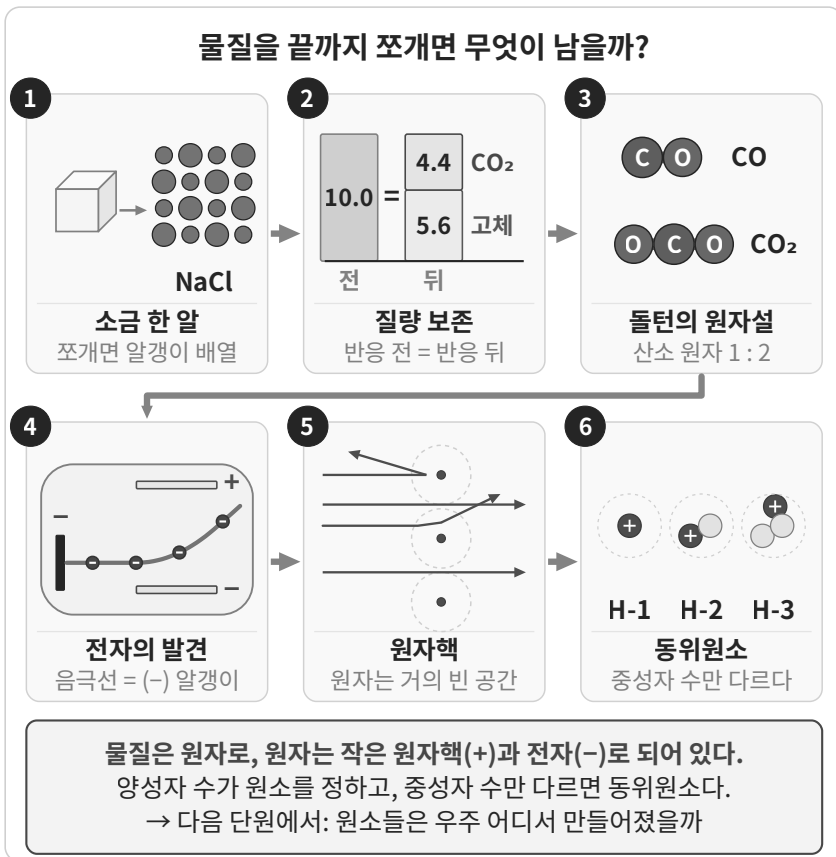
과학사와 연구 결과는 실제 문헌으로 각 장 끝에 출처를 밝혔다. 모든 논문의 DOI는 CrossRef에서 확인했다. 그림은 모두 좌표를 계산해 직접 그렸으며, 전자 배치와 분자의 모양, 반응식의 원자 수는 손으로 그리지 않고 계산으로 확인했다.

2026년 가을, 이광조

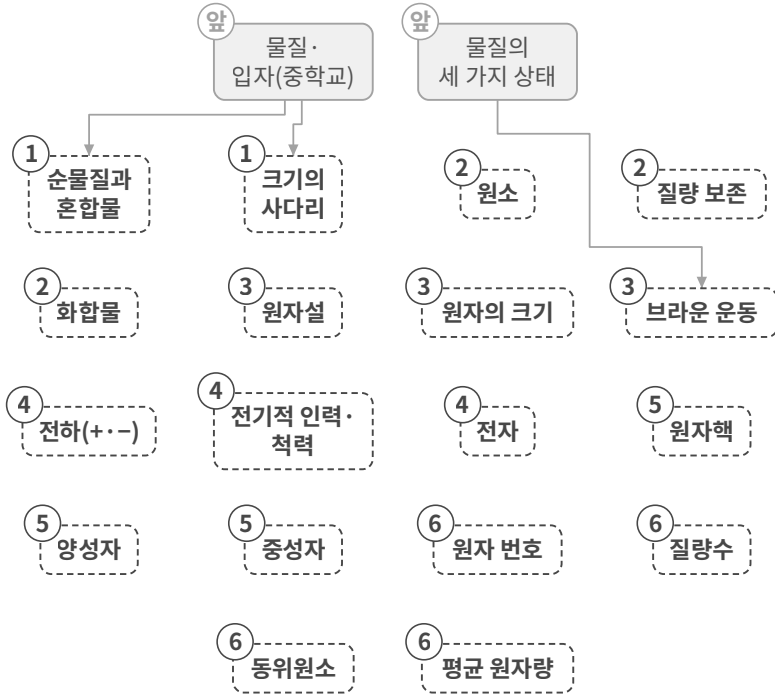
일러두기 — 이 책의 짜임

- **무대와 인물** 충북 단양 남한강 가의 ‘돌집 과학방’에서 은퇴한 화학 교수 석교수(석지환)와 하린·태오 남매, 두부집 ‘소백두부’의 미숙 이모가 함께 묻고 푼다. 인물과 사건, 시험 점수와 실험 결과는 설명을 위해 지어낸 이야기 속 예시이다.
- **단원의 짜임** 단원(부)마다 첫머리에 단원 전체를 한 장에 담은 그림과 〈들어가며〉 지식 그래프가, 마지막 장 끝에 〈정리〉 지식 그래프가 있다.
- **장 첫 쪽** 장마다 첫 쪽에 〈이 장의 출발점〉(앞 장에서 가져올 개념, 이 장에서 세울 개념, 이어질 뒤 장)과 〈기본개념〉(그 장의 핵심 개념을 낱말 하나와 한 문장 정의로 모은 표)을 두고, 본문은 다음 쪽부터 시작한다. 〈기본개념〉을 먼저 익힌 뒤 본문을 읽으면 이해가 쉽다.
- **문제와 풀이** 본문 속 문제는 「문제 7-1」처럼 장 번호와 차례를 붙였고, 바로 뒤의 대화와 풀이 그림이 풀이다. 장 끝 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 C에 있다.
- **상자와 이야기** 〈오늘의 정리〉는 그 장의 요점을, 〈과학의 최전선〉은 과학이 아직 밝히지 못한 것을 담았다. 과학자 이야기는 발견한 사람의 삶을 삶의 지도·연표와 함께 실었다. 몇몇 장에는 학생이 “왜?”를 끝까지 캐묻고 교수가 최신 이론을 거쳐 아직 모르는 곳까지 함께 가는 〈끝까지 묻기〉가 있다.
- **단원 마무리 〈수능형 문제와 풀이〉** 단원마다 끝에 수능형 문제 다섯 개와 풀이를 실었다. 대학수학능력시험 기출 문제(한국교육과정평가원이 공개한 2028학년도 수능 예시 문항 포함)를 바탕으로 한 변형 문제이며, 평가원의 저작권 때문에 기출 원문은 신지 않았다. 문제마다 붙인 출처 표기는 바탕으로 된 기출의 학년도·과목·번호이고, 문제는 상황·수치·그림·문장을 새로 쓴 것이다.
- **출처** 본문의 작은 위첨자 번호는 각 장 끝 「이 장의 출처」의 번호다. 논문은 DOI를 CrossRef에서 확인했고 APA 7판 양식으로 적었다.
- **부록 A** 용어 풀이, **B** 교과 연결표(2022·2015 개정 교육과정), **C** 스스로 풀어 보기 — 정답과 해설, **D** 화학 기본 수치와 단위.

원자라는 생각



제1부 들어가며 — 무엇에서 출발하나



□ 앞에서 세운 개념 □ 이 단원에서 세운 개념

[제1부] 단원 들어가며 — 지식 그래프 회색 상자는 앞 단원에서 세운 개념, 점선 상자는 이 단원에서 새로 세운 개념이다. 화살표는 "이 개념이 있어야 저 개념을 이해할 수 있다"는 뜻이고, 원 속 숫자는 그 개념을 세우는 장이다

01

돌집 과학방의 첫 토요일 — 소금 한 알을 세 번 보기

출발점 물질·입자(중학교) 앞 권

새 개념 순물질과 혼합물 · 크기의 사다리

이어짐 원소 2장 · 원자의 크기 3장

기본개념 이 장의 개념 10개 — 먼저 외우고, 그다음에 읽자

오른쪽 정의를 손이나 종이로 가리고, 단어만 보고 정의를 말해 보자. 막히는 단어는 본문에서 굵은 글씨로 다시 만난다.

1	원소 기호	원소를 알파벳 한두 글자로 나타내기로 약속한 기호.
2	혼합물	두 가지 이상의 물질이 섞인 것.
3	순물질	한 가지 물질로만 되어 녹는점 같은 성질이 일정한 것.
4	결정	알갱이가 규칙적으로 늘어서 쌓인 고체.
5	X선	빛보다 파장이 아주 짧아 결정 속 알갱이 배열을 읽게 해 주는 전자기파.
6	화학식	물질 속 원소의 종류와 개수 비를 원소 기호로 나타낸 것.
7	화학 삼각형	눈에 보이는 세계·입자의 세계·기호의 세계를 오가는 화학의 세 층.
8	크기의 사다리	한 칸 내려갈 때마다 크기가 10분의 1이 되게 사물을 늘어놓은 눈금.
9	주사 터널링 현미경	바늘과 표면 사이를 흐르는 약한 전류로 원자 크기의 굴곡을 읽는 현미경.
10	원자간력 현미경	바늘 끝과 표면 원자 사이의 힘을 재어 표면을 그려 내는 현미경.

3월 첫 토요일 오후, 단양 남한강 가. 강바람이 아직 차다. 옛 정미소를 고친 ‘돌집 과학방’ 문 위에 새 나무 간판이 걸려 있었다. 미숙이 두부 한 모와 천일염 한 봉지를 들고 앞장섰고, 태오와 하린이 뒤따랐다. 안에서는 흰머리의 석 교수가 돋보기 세 개와 검은 도화지를 탁자에 늘어놓고 있었다.

미숙 교수님, 약속대로 조카들 데려왔어요. 태오는 이번에 고등학교에 들어갔고, 하린이는 중학교 2학년이에요.

석 교수 어서 오세요, 미숙 씨. 서울에서 서른네 해 화학을 가르치다 고향에 돌아와 이 방을 열었다. 너희가 첫 손님이구나.

태오 저는 통합과학이 걱정이예요. 화학은 원소 기호부터 외울 게 너무 많아요.

석 교수 외우기는 나중 일이란다. 원자에서 시작해 보자. 오늘은 이 소금 한 알을 세 번 볼 거야. 눈으로, 돋보기로, 그리고 원자로.

하린 소금 한 알로 하루를 다 써요?

눈으로, 돋보기로 — 천일염은 섞인 물질

석 교수가 천일염 몇 알을 검은 도화지 위에 올렸다. 알갱이는 희끄무레했고 손끝이 조금 축축해졌다.

하린 돋보기로 보니 네모나요! 가운데가 움푹한 계단처럼 쌓인 알도 있어요.

미숙 두부집에서는 천일염 포대 밑에 고인 쓴 물을 간수로 써요. 그 물로 콩물을 굳히지요.

석 교수 좋은 단서입니다. 천일염에는 짠맛을 내는 소금 말고도 쓴맛을 내는 간수 성분과 물이 섞여 있어요. 이렇게 두 가지 이상의 물질이 섞인 것을 **혼합물**, 한 가지 물질로만 된 것을 **순물질**이라 합니다¹. 순물질은 녹는점처럼 성질이 일정하고, 혼합물은 섞인 비율에 따라 성질이 달라지지요.

하린 그러니까 천일염은 혼합물이고, 그 속 순수한 소금이 순물질이라는 거죠?

태오 섞여 있다는 걸 눈으로 확인할 수는 없어요?

석 교수 해 보자꾸나. 천일염 한 숟가락을 물에 녹여 거름종이에 거르고, 거른 물을 접시에 담아 창가에 두렴. 물이 마르면 무엇이 남는지 다음 주에 보자.

일주일 뒤, 접시 바닥에는 작은 흰 네모 결정이 촘촘히 붙어 있었고, 가장자리에는 끈적하고 쓴맛이 도는 얇은 막이 남아 있었다. 거름종이에는 회색 흙 알갱이가 조금 걸려 있었다.

하린 흙은 거름종이에 걸리고, 소금은 네모로 다시 나오고, 쓴 것은 가장자리에 따로 남았어요.

석 교수 섞인 물질은 녹는 정도, 알갱이 크기 같은 성질이 서로 달라서 이렇게 나눌 수 있단다. 하린이가 돋보기로 본 네모가 바로 순수한 소금 결정의 모양이야. 쪼개도 쪼개도 작은 네모가 나오지. 이게 눈과 돋보기로 보는 세계란다.

원자로 보기 — 브래그가 쏜 X선

태오 그다음은 현미경이에요?

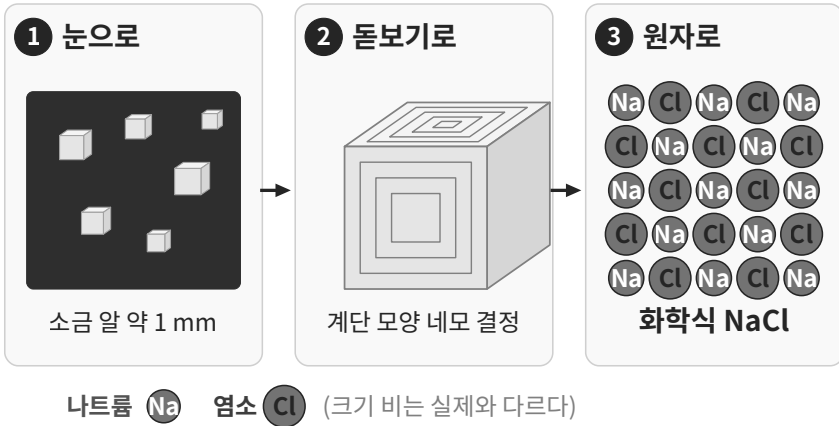
석 교수 보통 현미경으로도 네모 속은 안 보인단다. 1913년 영국의 브래그는 소금 결정에 X선을 쏘여 흩어진 무늬를 읽었어. 그 무늬로 소금 속에서 두 종류 알갱이가 가로·세로·높이로 한 칸씩 번갈아 쌓여 있음을 밝혔지². 나트륨 알갱이와 염소 알갱이란다. 정확히는 전기를 띤 알갱이, 곧 이온인데 20장에서 자세히 배운다.

하린 보이지도 않는 걸 무늬로 어떻게 알아요?

석 교수 촘촘한 방충망 너머로 가로등을 보면 불빛 둘레에 십자 무늬가 번지지? 그 무늬는 그물눈이 얼마나 촘촘하고 어떻게 늘어섰는지에 따라 달라진단다. X선은 빛보다 파장이 아주 짧아서, 결정 속 알갱이 줄이 그물눈 노릇을 해. 무늬의 간격과 모양을 거꾸로 따지면 알갱이가 어떻게 늘어섰는지 알 수 있지².

태오 그물을 직접 안 보고 그림자 무늬로 그물을 알아내는 거네요.

석 교수 그렇단다. 이런 방법으로 이웃한 두 알갱이 사이의 거리도 잴 수 있게 되었어. 요즘 교재에는 약 0.28 nm로 나온단다¹.



[그림 1-1] 소금 한 알을 세 번 보기 왼쪽은 눈으로 본 알갱이, 가운데는 돋보기로 본 계단 모양 결정, 오른쪽은 나트륨(보라)과 염소(초록) 알갱이가 번갈아 쌓인 배열과 화학식 NaCl이다. 알갱이 크기 비는 실제와 다르다(모식도)

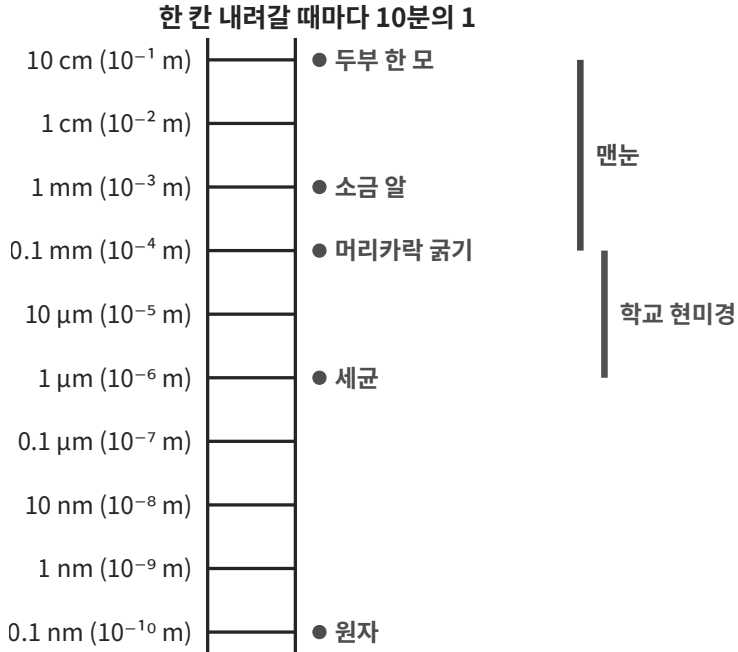
석 교수 그림 1-1을 보렴. 눈으로 본 알, 돋보기로 본 결정, 알갱이의 배열이 나란히 있지. 이 배열을 두 글자로 줄인 것이 화학식 NaCl이야. 나트륨과 염소가 1:1로 들어 있다는 약속이란다.

미숙 한 가지 물건을 세 가지 말로 하는 셈이네요.

석 교수 그렇지요. 존스톤은 화학이 어려운 까닭이 눈에 보이는 세계, 입자의 세계, 기호의 세계를 실 새 없이 오가야 하기 때문이라고 했습니다³. 이 생각은 ‘화학 삼각형’이라는 이름으로 여러 연구자가 다듬었고요⁴. 우리는 한 번에 한 층씩 오가 봅시다.

크기의 사다리

석 교수 두부 한 모는 10 cm쯤, 소금 한 알은 1 mm쯤이지. 사다리를 한 칸 내려갈 때마다 크기가 10분의 1이 되게 늘어놓아 보자. 이것이 **크기의 사다리**란다. 그림 1-2에서 머리카락 굵기는 0.1 mm, 세균은 1 μm(1 mm의 1,000분의 1)쯤이야. 원자는 그보다 훨씬 아래, 0.1 nm(10^{-10} m) 안팎에 있지¹. 1 nm는 1 μm의 1,000분의 1이란다.



[그림 1-2] 크기의 사다리 한 칸 내려갈 때마다 10분의 1이 된다. 두부(10 cm)에서 소금 알(1 mm), 머리카락 굵기(0.1 mm), 세균(1 μm)을 거쳐 원자(0.1 nm)까지 아홉 칸 내려간다

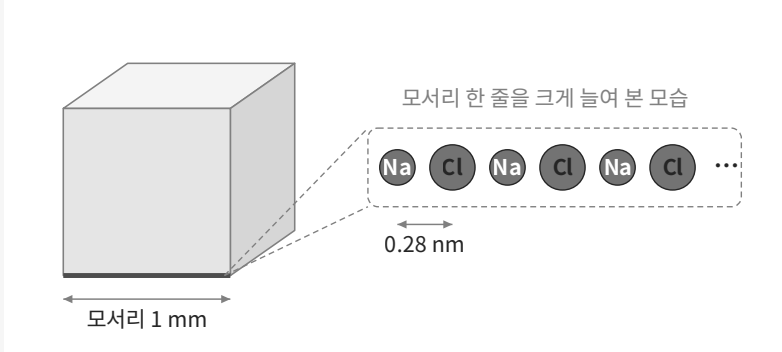
하린 두부에서 원자까지 아홉 칸이나 내려가요.

석 교수 칸마다 무엇으로 보는지도 짚어 보자. 맨눈은 0.1 mm 칸, 곧 머리카락 굵기쯤에서 멈추지. 돋보기는 몇 배쯤 더 내려가고, 학교 현미경은 세균이 있는 1 μm 칸까지 간단다. 원자는 거기서 네 칸을 더 내려가야 해서 빛으로 비추는 현미경으로는 볼 수 없어¹.

미숙 그래서 X선 무늬 같은 꾀를 쓴 거군요.

문제 1-1 모서리에 늘어선 알갱이

그림 1-3처럼 한 모서리가 1 mm인 정육면체 소금 알이 있다. 소금 속에서 이웃한 나트륨 알갱이와 염소 알갱이의 중심 사이 거리는 약 0.28 nm이다. 모서리 하나를 따라 늘어선 알갱이는 모두 약 몇 개인가? (1 mm = 1,000 μm , 1 μm = 1,000 nm)



[그림 1-3] 문제 1-1의 그림 모서리 1 mm인 소금 알과, 모서리 한 줄을 크게 늘여 본 알갱이 배열(간격 0.28 nm)

- ① 약 3,600개
- ② 약 36만 개
- ③ 약 360만 개
- ④ 약 3억 6천만 개
- ⑤ 약 36억 개

태오 1 mm는 1,000 μm 니까 1,000을 0.28로 나누면 약 3,600이네요. ①!

석 교수 조건을 다시 읽어 보렴. 간격의 단위가 무엇이지?

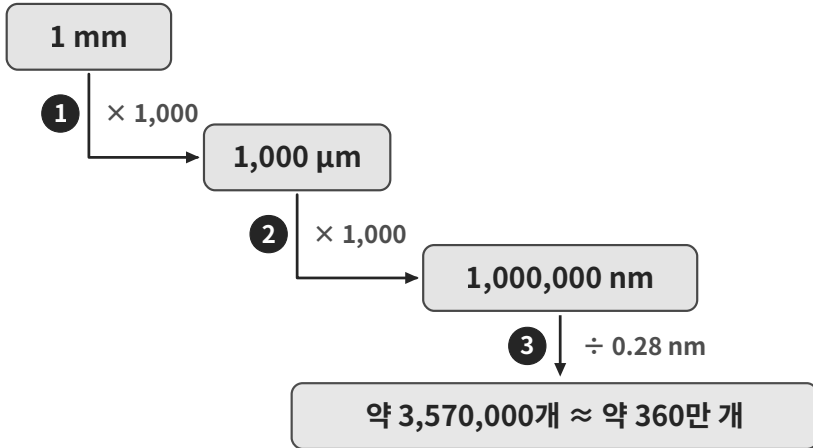
태오 아, μm 가 아니라 nm예요.

석 교수 그럼 계획을 세우자. 먼저 1 mm를 nm로 바꾸고, 그다음 간격으로 나누는 거야. 그림 1-4의 계단을 따라가 보렴.

하린 1 mm는 1,000 μm 이고, 1 μm 는 1,000 nm니까 1 mm는 1,000,000 nm예요.

태오 1,000,000을 0.28로 나누면 약 3,570,000이요. 약 360만 개네요.

석 교수 그래서 정답은 ③이란다. 단위 계단을 한 칸 빼먹으면 답이 1,000배 틀어진단다.



[그림 1-4] 풀이 그림 1 mm에서 μm 로($\times 1,000$), μm 에서 nm 로($\times 1,000$) 두 계단을 내려가 1,000,000 nm를 얻고(①②), 간격 0.28 nm로 나누면 약 360만 개가 된다(③)

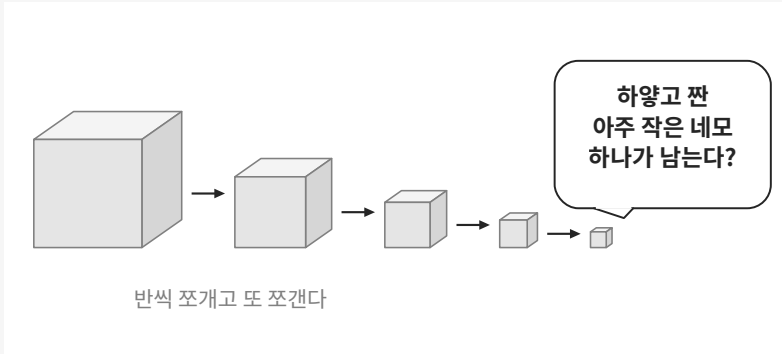
미숙 조금 한 알 모서리에 우리나라 서울 인구의 3분의 1쯤이 줄 서 있는 셈이네요.

알갱이 하나는 짤까

하린이 조금 알을 손톱으로 반으로 찼겠다. 조각도 네모났다.

문제 1-2 하린이의 그림 고치기

그림 1-5는 하린이가 그린 생각이다. “소금을 끝없이 쪼개면 하얗고 짜고 네모난 아주 작은 소금 알갱이 하나가 남는다.” 이 생각에서 옳지 않은 부분을 찾아 입자의 관점에서 고쳐 쓰시오.



[그림 1-5] 문제 1-2의 그림 소금 알을 반씩 쪼개 가다가 맨 끝에 ‘하얗고 짠 아주 작은 네모’가 남는다고 그린 하린이의 생각

태오 끝까지 쪼개면 나트륨 알갱이와 염소 알갱이가 되니까, ‘짠 알갱이’라고 고치면 돼요.

석 교수 절반만 맞았구나. 하린이 말에 붙은 성질부터 하나씩 떼어 보자.

하린 하얗다, 짜다, 네모나다. 세 가지요.

석 교수 색은 수많은 알갱이에 부딪힌 빛이 눈에 들어와 생기고, 짠맛은 혀가 녹은 알갱이 수없이 많은 것에 반응해 느낀단다. 네모도 알갱이가 규칙적으로 쌓였을 때 드러나지. 그림 1-6을 보렴.

미숙 두부에 소금 한 꼬집은 넣어야 간이 배지요. 알갱이 하나로는 혀가 알 수도 없겠네요.

석 교수 그렇습니다. 학생들은 덩어리의 성질을 원자 하나에 그대로 옮겨 붙이기 쉽다는 연구가 있어요⁵. 입자 사이가 비어 있다는 생각도 중학생에게 특히 어렵고요⁶.



[그림 1-6] 풀이 그림 수많은 알갱이가 규칙적으로 쌓인 덩어리에서만 색·짠맛·네모 모양이 나타난다(①). 나트륨 알갱이 하나, 염소 알갱이 하나에는 이런 성질이 없다(②)

하린 합창은 여럿이 모여야 나오는 것과 같네요.

석 교수 좋은 비유다. 모범 답은 이렇단다. “끝까지 쪼개면 나트륨 알갱이와 염소 알갱이가 남는다. 하얀 색, 짠맛, 네모 모양은 수많은 알갱이가 모여 규칙적으로 쌓였을 때 나타나는 성질이므로 알갱이 하나에는 없다.”

태오 시험에 이런 게 나오면 ‘성질은 모임의 것’이라고 쓰면 되겠어요.

석 교수 오늘 푼 두 문제처럼 이해하고, 계획하고, 풀고, 되돌아보는 순서를 지키자꾸나⁷. 풀이를 따라 소리 내어 읽는 것만으로도 실력이 빨리 는단다⁸. 이 방에서는 칠판에 적은 질문을 한 해 동안 하나씩 풀어 갈 거야. 원자는 정말 있을까, 원자 속에는 무엇이 있을까, 원소는 어디서 왔을까, 원자는 어떻게 손을 잡을까.

태오 첫 질문부터 이상해요. 원자가 있다는 건 중학교에서 다 배웠잖아요.

석 교수 배운 것과 확인한 것은 다르단다. 200년 전 과학자들도 원자가 정말 있는지 오래 다뤘어. 그 다툼을 어떤 실험이 끝냈는지는 3장에서 자세히 알아볼 거야. 다음 주에는 먼저 ‘원소’라는 말부터 똑바로 세우자.

하린 그럼 오늘 숙제는 창가 접시 지켜보기네요.

오늘의 정리

- 두 가지 이상의 물질이 섞이면 혼합물, 한 가지 물질이면 순물질이다. 천일염은 혼합물이다.
- 소금은 눈(알갱이)·돋보기(네모 결정)·원자(나트륨과 염소 알갱이가 번갈아 쌓인 배열)로 볼 수 있고, 기호로는 NaCl이다.
- 크기의 사다리에서 한 칸은 10배다. 소금 알은 1 mm, 원자는 약 0.1 nm(10^{-10} m)이다.
- 색·맛·모양은 수많은 알갱이가 모였을 때 나타나는 성질이다. 알갱이 하나에는 없다.

스스로 풀어 보기

 정답과 해설은 부록 C

1. 다음 중 순물질인 것은?

- ① 천일염
- ② 바닷물
- ③ 콩물
- ④ 순수한 물
- ⑤ 간장

2. 모서리 1 cm인 정육면체 설탕 덩어리를 한 번 1 mm인 작은 정육면체로 모두 자르면 작은 조각은 몇 개가 되는지 쓰고, 크기의 사다리로 설명하시오.

과학의 최전선 원자 하나를 본다는 것의 한계

여기까지 밝혀졌다 — 1982년 주사 터널링 현미경(STM, scanning tunneling microscope)이 나오면서 표면의 원자 크기 굴곡을 직접 볼 수 있게 되었다. 뾰족한 바늘을 표면에 아주 가까이 대고 흐르는 약한 전류를 읽는 현미경이다⁹. 1990년에는 영하 269 °C(4 K)에서 이 바늘로 제논 원자를 하나씩 옮겨 글자를 쓰기도 했다¹⁰. 2018년에는 조금 결정 표면 위에서 나트륨 알갱이 하나에 물 분자를 하나씩 붙여 가며 그 움직임을 보았다¹¹. **아직 모른다** — 바늘에 흐르는 전류는 원자 자체보다 표면 전자의 상태에 민감하다. 그래서 분자 속 원자 하나하나를 가려내기에는 큰 과제였다¹². 바늘 끝에 분자를 붙여 선명도를 높였지만, 그 바늘 끝이 휘면서 그림을 비트는 효과를 설명할 이론이 더 필요하고 남은 과제도 많다¹³. **가설과 연구** — 원자간력 현미경(AFM, atomic force microscope)은 바늘 끝과 원자 사이의 힘을 재는 현미경이다. 끝에 일산화 탄소 분자를 붙인 이 현미경은 분자 속 원자 배열을 처음으로 선명하게 그려 냈다¹². 두 현미경을 함께 써서 ‘원자를 본다’는 말의 뜻을 넓혀 가고 있다.

이 장의 출처

1. Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.
2. Bragg, W. L. (1913). The structure of some crystals as indicated by their diffraction of X-rays. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character, 89(610), 248–277. <https://doi.org/10.1098/rspa.1913.0083>
3. Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. Journal of Computer Assisted Learning, 7(2), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
4. Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. International Journal of Science Education, 33(2), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
5. Ben-Zvi, R., Eylon, B., & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable?. Journal of Chemical Education, 63(1), 64. <https://doi.org/10.1021/ed063p64>
6. Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. Science Education, 62(3), 273–281. <https://doi.org/10.1002/sce.3730620303>
7. Pólya, G. (1945). How to solve it. Princeton University Press.
8. Sweller, J., & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. Cognition and Instruction, 2(1), 59–89. https://doi.org/10.1207/s1532690xci0201_3
9. Binnig, G., Rohrer, H., Gerber, C., & Weibel, E. (1982). Surface Studies by Scanning Tunneling Microscopy. Physical Review Letters, 49(1), 57–61. <https://doi.org/10.1103/physrevlett.49.57>
10. Eigler, D. M., & Schweizer, E. K. (1990). Positioning single atoms with a scanning tunnelling microscope. Nature, 344(6266), 524–526. <https://doi.org/10.1038/344524a0>

11. Peng, J., Cao, D., He, Z., Guo, J., Hapala, P., Ma, R., Cheng, B., Chen, J., Xie, W. J., Li, X., Jelínek, P., Xu, L., Gao, Y. Q., Wang, E., & Jiang, Y. (2018). The effect of hydration number on the interfacial transport of sodium ions. *Nature*, 557(7707), 701–705. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0122-2>
12. Gross, L., Mohn, F., Moll, N., Liljeroth, P., & Meyer, G. (2009). The Chemical Structure of a Molecule Resolved by Atomic Force Microscopy. *Science*, 325(5944), 1110–1114. <https://doi.org/10.1126/science.1176210>
13. Jelínek, P. (2017). High resolution SPM imaging of organic molecules with functionalized tips. *Journal of Physics: Condensed Matter*, 29(34), 343002. <https://doi.org/10.1088/1361-648x/aa76c7>

02

원소란 무엇인가 — 네 가지 원소에서 라부아지에의 원소로

출발점 순물질과 혼합물 1장

새 개념 원소 · 질량 보존 · 화합물

이어짐 원자설 3장 · 화학 반응식 33장

기본개념 이 장의 개념 8개 — 먼저 외우고, 그다음에 읽자

오른쪽 정의를 손이나 종이로 가리고, 단어만 보고 정의를 말해 보자. 막히는 단어는 본문에서 굵은 글씨로 다시 만난다.

1	네 원소설	모든 것이 물·불·공기·흙 네 가지로 이루어졌다는 옛 생각.
2	수소	물을 만든다는 뜻의 이름이 붙은, 잘 타는 기체 원소.
3	산소	촛불을 더 밝게 타게 하는 기체 원소.
4	원소	화학적 방법으로 더 단순한 물질로 나눌 수 없는 물질의 기본 성분.
5	질량 보존 법칙	반응 전 물질 질량의 합과 반응 뒤 물질 질량의 합이 같다는 법칙.
6	화합물	두 가지 이상의 원소가 일정한 비율로 결합한 순물질.
7	화학 반응	원자가 결합하거나 떨어져 처음과 다른 물질이 생기는 변화.
8	이산화 탄소	석회석을 가열할 때 빠져나가는, 탄소와 산소의 화합물.

3월 둘째 토요일, 봄비가 돌집 과학방 양철 지붕을 두드렸다. 창가 접시에는 지난주에 말린 흰 소금 결정이 그대로 있었다. 석 교수는 탁자에 부엌 저울과 뚜껑 달린 유리병, 강철솥 한 뭉치, 단양 산에서 주워 온 회색 석회석 조각을 올려 두었다.

석 교수 지난주에 천일염을 녹이고 걸러 말려서 흙, 쓴 간수 성분, 순수한 소금으로 나눴지. 섞인 것을 풀어 순물질을 얻은 거야. 오늘은 여기서 한 걸음 더 들어간다. 원소에서 시작해 보자. 순물질인 소금은 더 나눌 수 있을까?

태오 소금은 소금이죠. 더 나누면 소금이 아니잖아요.

하린 지난주에 소금 속에 나트륨이랑 염소가 있다고 했어요. 그럼 나눌 수 있는 거 아니에요?

석 교수 바로 그 물음이 오늘의 주제란다. 무엇이 ‘더는 나눌 수 없는 것’인지, 사람들은 이전 년 넘게 다뤘어.

물·불·공기·흙에서 실험으로

석 교수 옛 그리스 사람들은 세상 모든 것이 물·불·공기·흙 네 가지가 섞여 생졌다고 보았단다. 나무가 타면 불이 나오고, 연기가 공기로 가고, 재가 흙으로 남으니 그럴듯했지.

미숙 두부도 콩과 물과 불로 만드니 딱 맞는 것 같은데요.

태오 그런데 그걸 어떻게 확인해요? 불을 저울에 올릴 수도 없잖아요.

석 교수 바로 그게 문제였단다. 네 원소설은 그럴듯한 설명이었지만, 저울로 재거나 실험으로 나눠 본 결과가 아니었어.

하린 그럼 네 원소설도 결국 확인해 보지 않은 생각이었던 거네요.

석 교수 그렇게 보이지요. 1661년 영국의 보일은 『회의적인 화학자』에서 그 네 가지가 정말 가장 단순한지 아무도 실험으로 확인하지 않았다고 따졌습니다. 원소는 머리로 정하지 말고 실험으로 가려야 한다는 것이었지요¹.

석 교수 그 뒤 백 년 동안 화학자들은 공기가 한 가지가 아님을 알아냈어요. 1766년 캐번디시는 금속에 산을 부어 잘 타는 공기를 모았습니다. 뒷날의 수소지요². 1775년 프리스틀리는 수은을 오래 달궈 얻은 붉은 가루를 다시 가열해 촛불을 더 밝게 타게 하는 공기를 얻었습니다. 뒷날의 산소예요³.

하린 그러니까 공기 속에 여러 공기가 섞여 있었다는 거죠? 공기도 혼합물이네요.

저울을 든 화학자, 라부아지에

석 교수 이 실험들을 한데 묶은 사람이 프랑스의 라부아지에란다. 그는 모든 반응을 저울로 잰어. 뚜껑을 꼭 닫은 그릇 속에서 금속을 태워도 그릇 전체의 질량은 변하지 않았고, 수소를 태우면 물만 생겼지. 거꾸로 물을 나누면 수소와 산소가 나왔고. 그러니 물은 원소가 아니라 두 원소가 결합한 물질이었던 거야⁴.

석 교수 1789년 그는 『화학 원론』에서 **원소**를 “화학적 방법으로 더는 나눌 수 없는 물질”이라 정하고 33가지 목록을 냈어⁴. 그리고 반응 전 물질 질량의 합과 반응 뒤 물질 질량의 합이 같다는 원리를 모든 실험의 바탕으로 삼았지. 이것이 **질량 보존 법칙**이란 다^{4,5}.

하린 수소, 산소라는 이름도 그때 붙었어요?

석 교수 그래. 라부아지에는 이름도 새로 정리했단다. 물을 만드는 원소라는 뜻으로 수소, 신맛을 만드는 원소라는 뜻으로 산소라고 불렀지. 우리말 이름도 그 뜻을 옮긴 거야⁴. 산소가 신맛을 만든다는 생각은 뒤에 틀린 것으로 밝혀졌지만 이름은 남았단다.

태오 이름이 틀렸는데도 그냥 쓰는 거예요?

석 교수 이름은 약속이니까. 중요한 건 물질마다 하나의 이름을 붙이고, 이름만 보고도 무엇이 결합했는지 알 수 있게 한 거란다.

태오 그림 2-1을 보니까 빛이랑 열도 원소래요. 틀렸네요?

석 교수 그때 저울로는 빛과 열을 잴 수 없었으니 그렇게 둔 거란다. 석회처럼 ‘흙’으로 적은 것들은 뒤에 더 나뉘는 화합물로 밝혀졌지. 그래도 33가지 가운데 23가지가 지금도 원소야. 원소를 “실험으로 더 나눌 수 없는 것”으로 정한 덕분에, 새 실험이 나오면 목록을 고칠 수 있었던 거지.

석 교수 이제 말을 정리하자. 순물질 가운데 한 가지 원소로만 된 것이 산소·철·수은 같은 물질이고, 두 가지 이상의 원소가 일정하게 결합한 순물질이 **화합물**이란 다. 물, 소금, 석회석이 화합물이지. 그림 2-2가 지난주부터 오늘까지의 지도야.

기체와 빛·열(5)	빛	열소	산소	질소
	수소			
비금속(6)	황	인	탄소	염산기
	불산기	붕산기		
금속(17)	안티모니	은	비스	비스무트
	코발트	구리	주석	철
	망가니즈	수은	몰리브덴	니켈
	금	백금	납	텅스텐
	아연			
흙(5)	석회	마그네시아	바리타	알루미나
	실리카			

☒ 오늘날에도 원소(23)
 ☐ 원소가 아닌 것(10)

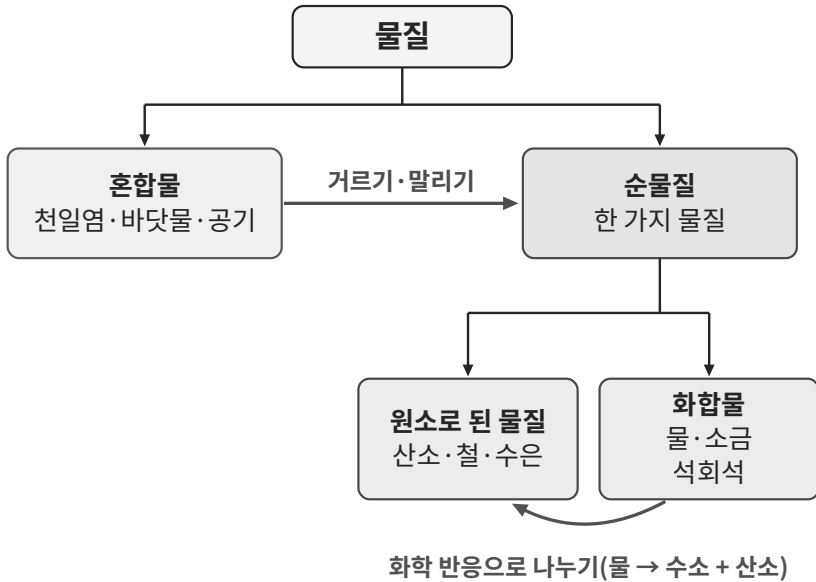
[그림 2-1] 라부아지에의 원소 목록(1789) 33가지 기체와 빛·열(5), 비금속(6), 금속(17), 흙(5)의 네 무리다. 질은 칸 23가지는 오늘날에도 원소이고, 열은 칸은 원소가 아니거나 그때 아직 나누지 못한 물질이다(자료: 라부아지에 1789)

미숙 교수님, 물을 끓이면 김이 나잖아요. 그것도 물을 나눈 건가요?

석 교수 좋은 물음입니다. 김은 기체가 된 물일 뿐이에요. 식히면 다시 물방울이 되지요. 물질이 모습만 바꾼 것이지 다른 물질로 나뉜 게 아닙니다. 라부아지에는 달군 쇠 대롱에 물을 흘려 수소를 얻었고, 수소를 태워 다시 물을 만들었어요. 무게를 재 보니 앞뒤가 맞았지요⁴.

태오 그럼 나누는 데도 두 가지가 있는 거네요. 지난주 천일염처럼 섞인 걸 푸는 것, 물처럼 결합한 걸 끊는 것.

석 교수 그렇지. 섞인 것은 거르거나 말리는 것만으로 풀리지만, 결합한 것은 화학 반응이 있어야 끊긴다. 그리고 어떤 반응으로도 더 끊기지 않는 것이 원소야.



[그림 2-2] 물질 나누기 지도 물질은 혼합물과 순물질로, 순물질은 한 가지 원소로 된 물질과 화합물로 나뉜다. 천일염을 녹여 거르고 말리면 순물질을 얻고, 물을 나누면 원소인 수소와 산소를 얻는다

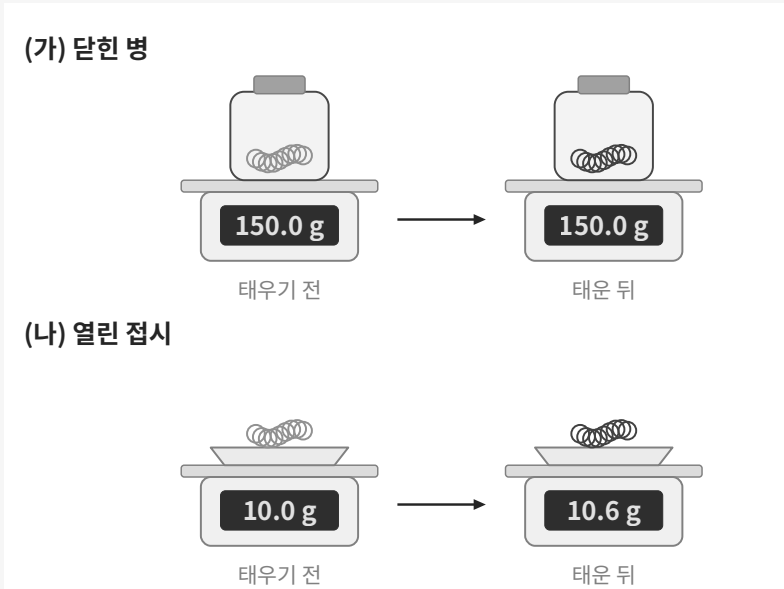
하린 그러니까 소금은 순물질이면서 화합물이고, 나트륨이랑 염소가 원소라는 거죠?

석 교수 그렇지. 태오 말도 반은 맞아. 소금을 나누면 더는 소금이 아니니까.

문제 2-1 세 저울의 눈금

그림 2-3은 강철솜으로 한 세 실험이다. (가) 뚜껑을 꼭 닫은 유리병 속에서 강철솜을 태웠다. (나) 열린 접시 위에서 강철솜을 태웠다. 태우기 전과 뒤의 저울 눈금이 그림과 같을 때, 옳은 것만을 있는 대로 고른 것은?

- ㄱ. (가)에서 반응 전후 질량이 같다.
- ㄴ. (나)에서 질량이 늘어난 것은 질량 보존 법칙이 성립하지 않기 때문이다.
- ㄷ. (나)를 닫힌 병 속에서 다시 하면 반응 전후 병 전체 질량이 같을 것이다.



[그림 2-3] 문제 2-1의 그림 (가) 닫힌 병 속 강철솜: 150.0 g → 150.0 g, (나) 열린 접시 위 강철솜: 10.0 g → 10.6 g

- ① ㄱ
- ② ㄴ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄱ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

태오 (나)는 눈금이 늘었으니 질량이 보존 안 된 거예요. ㄱ, ㄴ이니까 ③!

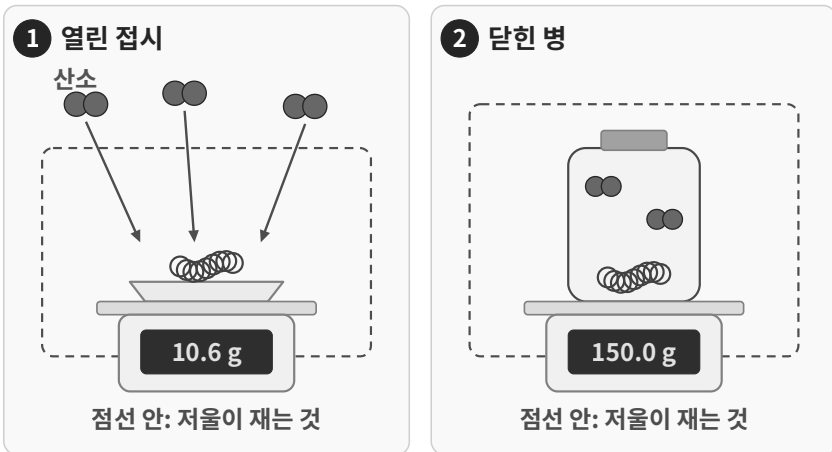
석 교수 계산은 빨랐는데 ‘왜’를 건너뛰었구나. 늘어난 0.6 g은 어디서 왔을까? 조건을 다시 읽어 보렴. (나)의 접시는 어떻게 되어 있지?

하린 열려 있어요. 둘레에 공기가 있어요.

석 교수 계획을 세우자. 반응에 들어간 물질을 모두 적고, 그중 무엇이 저울 위에 있었는지 따져 보는 거야.

태오 강철솜은 저울 위에 있었고… 공기 속 산소는 저울 밖에 있다가 강철솜에 붙었네요.

석 교수 그래. 그림 2-4처럼 저울 밖 산소 0.6 g이 저울 위로 올라온 거란다. 닫힌 병이면 산소도 처음부터 병 안에 있으니 눈금은 그대로지. 정답은 ④야.



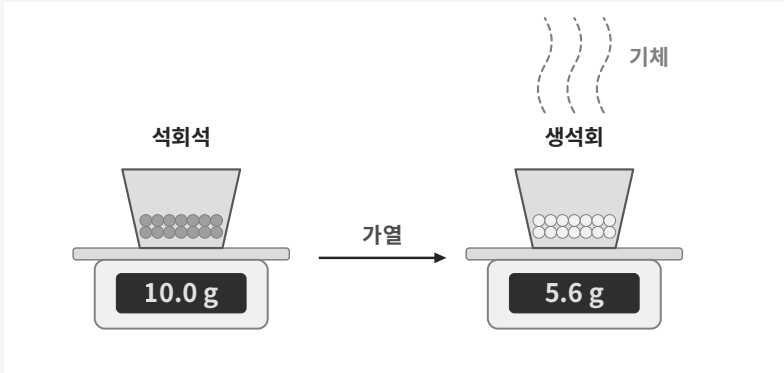
[그림 2-4] 풀이 그림 열린 접시에서는 저울 밖 공기의 산소가 강철솜과 결합해 저울 위로 들어온다(①). 닫힌 병에서는 산소가 처음부터 병 안에 있어 전체 질량이 변하지 않는다(②)

미숙 고기를 구우면 줄고 쇠를 태우면 느는데, 둘 다 드나든 공기를 안 잰기 때문이군요.

석 교수 그렇습니다. 열린 그릇의 반응에서 질량 보존을 헛갈리는 학생이 많다는 연구도 있어요⁶. 라부아지에가 굳이 그릇을 닫은 까닭이 여기 있지요.

문제 2-2 석회석이 가벼워졌다

단양의 석회석은 칼슘·탄소·산소가 결합한 화합물이다. 석회석 가루 10.0 g을 뚜껑 없는 도가니에서 충분히 가열했더니 그림 2-5처럼 흰 생석회만 5.6 g 남았다. 이때 도가니 밖으로 빠져나간 기체는 이산화 탄소뿐이다. 빠져나간 이산화 탄소의 질량을 풀이 과정과 함께 구하시오.



[그림 2-5] 문제 2-2의 그림 가열 전 석회석 10.0 g, 가열 뒤 생석회 5.6 g. 가열하는 동안 기체가 빠져나간다

태오 기체는 날아가 버렸으니 알 수 없는 거 아니에요?

석 교수 정말 알 수 없을까? 질량 보존 법칙은 무엇을 같다고 했지?

하린 반응 전 질량의 합과 반응 뒤 질량의 합이요.

석 교수 반응 뒤에는 무엇무엇이 생겼니?

태오 생석회랑 이산화 탄소요. 그럼 10.0 g이 5.6 g과 이산화 탄소가 나뉘어 버렸네요. $10.0 - 5.6 = 4.4$ g이요!

석 교수 그림 2-5를 그림 2-6의 막대로 바꾸면 한눈에 보인단다. 모범 답은 “반응 전 석회석 10.0 g = 생석회 5.6 g + 이산화 탄소이므로, 이산화 탄소는 4.4 g이다.”야.

반응 전	석회석 10.0 g	
반응 뒤	생석회 5.6 g	이산화 탄소 4.4 g

두 막대의 길이가 같다(질량 보존)

[그림 2-6] 풀이 그림 반응 전 막대(석회석 10.0 g)와 반응 뒤 막대(생석회 5.6 g + 이산화 탄소 4.4 g)의 길이가 같다

하린 저울 눈금이 줄어든 만큼이 바로 날아간 기체의 질량이에요. 문제 2-1이랑 반대예요. 거기선 기체가 들어와서 늘었고, 여기서선 기체가 나가서 줄었어요.

석 교수 잘 짚었다. 그러면 뚜껑을 꼭 닫은 튼튼한 그릇에서 가열했다면 눈금은 어땠을까?

태오 이산화 탄소가 못 나가니까 10.0 g 그대로요.

미숙 캐번디시가 모은 ‘고정 공기’도 석회를 구울 때 나온다고 했지요.

석 교수 잘 기억하셨네요. 캐번디시는 석회 같은 물질을 태우거나 산에 녹일 때 나오는 그 공기를 연구했습니다². 지금 우리가 부르는 이산화 탄소지요.

과학자 이야기 앙투안 라부아지에 1743-1794 · 프랑스

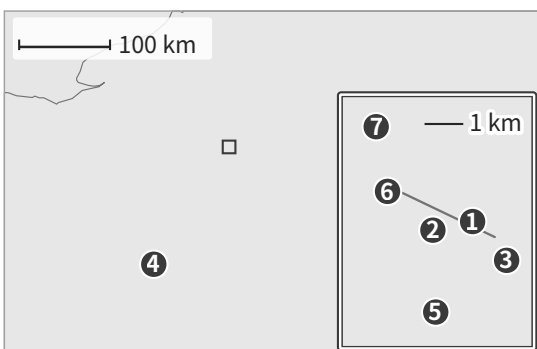
태어나 자란 곳 — 라부아지에는 1743년 8월 26일 파리의 넉넉한 집안에서 태어나, 그날 생메리 성당에서 세례를 받았다^{7,8}. 아버지는 파리 고등 법원의 변호사였다. 다섯 살 때 어머니가 세상을 떠나면서 큰 재산을 물려받았다^{8,9}. 1754년 열한 살에 파리의 카트르나시옹 학교(마자랭 학교라고도 한다)에 들어갔다^{7,8}.

그의 삶을 그림 2-7의 초상과 지도, 연표로 먼저 훑어보자.



앙투안 라부아지에

1743~1794 · 프랑스



① 생메리 성당 — 세례(1743)

② 카르나시옹 학교(1754~61)

③ 아르스날 — 집·실험실(1775~92)

④ 프레신 — 시험 농장(1778~)

⑤ 포르리브르 감옥 — 갇힘(1793)

⑥ 혁명 광장 — 처형(1794)

⑦ 에랑시 묘지 — 묻힘(1794)



[그림 2-7] 라부아지에의 초상과 삶의 지도, 생애 연표
파리에서 태어나 공부했고, 아르스날(병기창)의 집 겸 실험실에서 17년 동안 연구했다. 블루아 근처 프레신에서는 시험 농장을 꾸렸다. 혁명 광장에서 처형되어 에랑시 묘지에 묻혔다. 파리의 장소는 오른쪽 아래 확대 창에 찍었다(초상: 다비드가 1788년에 그린 부부 초상의 부분)

배움과 스승 — 학교의 마지막 두 해(1760~1761)에 화학·식물학·천문학·수학을 배웠고, 천문학자 라카유에게서 날씨 관측에 대한 평생의 관심을 얻었다^{7,8}. 집안의 뜻을 따라 법학을 공부해 1763년 학위를 받았지만, 변호사 일은 한 번도 하지 않았다^{8,9}. 지질학자 게타르를 스승으로 삼아 프랑스 곳곳을 함께 다녔고, 1767년에는 알자스·로렌의 지질 조사에 따라나섰다^{7,8,9}. 왕립 식물원에서 열린 루엘의 공개 화학 강의도 들었다^{9,10}. 1766년에는 도시의 밤길을 밝히는 방법에 관한 논문으로 왕이 주는 금메달을 받았다^{7,8}. 1768년 스물다섯 살에 과학 아카데미의 회원이 되었다. 가장 젊은 회원 가운데 하나였다^{8,9}.

결혼과 가족 — 아카데미에 들어갈 무렵, 왕을 대신해 세금을 거두는 회사인 징세 청부 조합의 몫을 샀다. 이 일로 번 돈이 연구비가 되었지만, 뒤에 목숨을 앗는 까닭이 된다^{8,9}. 1771년 12월 16일, 스물여덟 살의 그는 조합 간부 자크

폴즈의 열세 살 딸 마리안과 결혼했다. 신 살의 백작이 마리안에게 청혼하자, 아버지가 이를 막으려고 동료 라부아지에에게 혼담을 넣은 것이다^{7,10,11}. 마리안은 화가 다비드에게 그림을 배워 실험 기구를 정밀하게 그렸고, 영어 논문을 프랑스어로 옮겼다. 플로지스톤설을 편 커완의 책을 옮길 때는 잘못을 짚는 서문과 주석까지 달았다^{10,11}. 부부 사이에 자녀는 없었다^{11,12}.

발견 — 1775년 화약 관리 위원이 되어 파리 아르스날에 집과 실험실을 얻었고, 1792년까지 그곳에서 살며 연구했다. 그가 맡은 뒤 프랑스 화약은 양도 질도 크게 좋아졌다^{8,9}. 1774년 10월 파리를 찾은 프리스틀리에게서 붉은 수은 가루를 달궈 얻은 기체 이야기를 듣고 그 실험을 되풀이해, 뒤에 그 기체에 ‘산소’라는 이름을 붙였다^{8,9,13}. 1782~1783년 겨울에는 라플라스와 열음 열량계를 만들어, 동물이 숨 쉬며 내는 열이 느린 연소와 같다는 것을 보였다⁸. 징세 청부 일을 시작한 뒤에도 정밀한 실험을 이어 갔다. 유리 그릇에 물을 넣고 오래 끓이면 바닥에 흙 같은 앙금이 생겨 물이 흙으로 바뀐다고 들었는데, 그는 앙금이 물이 아니라 그릇 안쪽의 유리가 조금씩 녹아 나온 것임을 무게를 재어 보였다⁸. 1772년 가을에는 인과 황을 태우면 공기와 결합해 무게가 늘어난다는 것을 확인하고, 그 결과를 봉인한 쪽지로 아카데미에 맡겨 두었다⁸. 1778년에는 블루아 근처 프레신의 땅을 사서 시험 농장을 꾸렸다^{7,14}. 1791년에는 미터법을 권고한 도량형 위원회를 이끌었다^{8,9}.

함께한 사람들 — 라플라스(1749~1827)는 열량계 실험의 짝이었고, 수소와 산소를 태워 물을 만드는 실험도 함께했다. 그는 뒤에 『천체 역학』을 써 이름을 남겼다^{8,9,15}. 베르톨레·푸르크루아·기통 드 모르보는 1787년 『화학 명명법』을 함께 펴낸 동료다. 베르톨레(1748~1822)는 염소 표백제를 만들었고, 1804년 프랑스 상원 부의장이 되었다^{8,16}. 영국의 프리스틀리(1733~1804)는 1774년 산소를 따로 발견했지만, 플로지스톤설을 지키며 라부아지에의 새 이론에 맞서는 글을 썼다. 1791년 버밍엄 폭동을 겪은 뒤 1794년 미국으로 건너가 펜실베이니아에서 숨을 거두었다¹³. 젊은 화학자 세갱(1767~1835)은 1789~1790년 숨쉬기와 몸의 대사를 재는 실험에서 스스로 실험 대상이 되었고, 뒤에 값싼 가죽 무두질 방법으로 큰 부자가 되었다^{8,17}. 혁명 정부가 외국 태생 학자의 재산과 자유를 빼앗으려 하자, 라부아지에는 이탈리아 태생 수학자 라그랑주 등을 감싸 주었다⁸. 젊은 뒤퐁(1771~1834)은 라부아지에에게 화약 만드는 법을 배웠고, 미국에서 화약 회사 듀폰을 세웠다. 그는 “그분의 친절이 없었다면 우리 화약 공장은

시작되지 못했을 것”이라고 회고했다^{8,18}. 아내 마리안(1758~1836)은 남편이 죽은 뒤 1805년 그의 논문집을 펴내고 직접 서문을 썼다. 1804년 물리학자 럽퍼드와 재혼했으나 몇 해 만에 갈라섰고, 평생 라부아지에의 성을 지켰다. 1836년 파리의 집에서 세상을 떠나 페르라세즈 묘지에 묻혔다^{10,11}.

대표 저서와 논문 - 『Opuscles physiques et chimiques』 (1774) — ‘물리·화학 소논문집’. 공기에 관한 앞선 실험들을 되짚고 다시 해 본 책⁸. - 『Méthode de nomenclature chimique』 (1787) — ‘화학 명명법’. 동료 셋과 함께 만든 새 이름 체계^{8,16}. - 『Traité élémentaire de chimie』 (1789) — ‘화학 원론’. 첫 근대 화학 교과서로 꼽힌다. 마리안이 그린 실험 기구 그림 열세 장이 실렸다^{4,8,11}. - 「Mémoire sur la chaleur」 (1783) — ‘열에 관한 논문’. 라플라스와 함께 써서 그해 6월 아카데미에서 읽었다⁸.

마지막 날들 — 혁명이 거세지자 1791년 징세 청부 조합이 폐지되었고, 1792년 그는 아르스날의 집과 실험실을 떠나야 했다⁸. 1793년 11월 24일 옛 징세 청부인 모두에게 체포령이 내려졌고, 그는 11월 하순(기록에 따라 28일 또는 30일) 장인과 함께 포르리브르 감옥에 갇혔다^{7,8,10}. 마리안은 자주 면회를 가며 석방을 호소했다¹⁰. 나라 돈을 가로채고 담배에 물을 섞어 팔았다는 죄목이었다. 1794년 5월 8일 그는 파리의 혁명 광장(지금의 콩코르드 광장)에서 동료 징세 청부인들과 함께 단두대에서 처형되었다. 장인도 같은 날 처형되었다. 만 50세였다^{7,8,10}. 목숨을 살려 달라는 호소에 재판장이 “공화국에는 학자가 필요 없다”고 답했다는 말은 전해지는 이야기다^{8,19}. 주검은 단두대 희생자를 묻던 에랑시 묘지의 구덩이에 묻혔고, 유골은 1844~1859년 사이 파리 지하 납골당(카타콤)으로 옮겨졌다^{7,19,20}. 수학자 라그랑주는 “그 머리를 베는 데는 한순간이면 족했지만, 그만한 머리가 다시 나오려면 백 년도 모자랄지 모른다”고 탄식했다^{7,9}.

남긴 것 — 처형 1년 반 뒤 프랑스 정부는 그가 억울하게 죽었음을 인정하고 유품을 아내에게 돌려주었다⁸. 1935년 달의 충돌 구덩이에 그의 이름이 붙었고, 1999년 미국 화학회 등은 그의 화학 혁명을 국제 역사 화학 기념물로 지정했다^{7,8}.

오늘의 정리

- 원소는 화학적 방법으로 더는 나눌 수 없는 물질의 성분이다. 보일(1661)이 실험으로 가리자고 했고, 라부아지에(1789)가 33가지 목록을 냈다.
- 순물질은 한 가지 원소로 된 물질(산소·철)과, 두 가지 이상의 원소가 결합한 화합물(물·소금·석회석)로 나뉜다.
- 질량 보존 법칙: 반응 전 물질 질량의 합 = 반응 뒤 물질 질량의 합.
- 열린 그릇에서 질량이 늘거나 주는 것은 드나든 기체를 재지 않았기 때문이다.

스스로 풀어 보기 정답과 해설은 부록 C

1. 다음 중 화합물인 것은?

- ① 산소
- ② 수소
- ③ 철
- ④ 물
- ⑤ 천일염

2. 마그네슘 리본 2.4 g을 공기 중에서 모두 태웠더니 흰 가루 4.0 g이 생겼다. 마그네슘과 결합한 산소의 질량을 구하고, 질량이 늘어난 까닭을 설명하시오.

과학의 최전선 원소는 어디까지 늘어날까

여기까지 밝혀졌다 — 라부아지에의 33가지 목록은 지금 118가지로 늘었다. 가장 무거운 원소들은 자연에 없어 가속기로 원자를 부딪혀 만든다. 118번 원소도 이렇게 만들었다²¹. 2016년 국제 순수·응용 화학 연합(IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry)은 113·115·117번 원소의 발견을 인정했다. 원소의 이름과 새 원소 인정 같은 화학의 약속을 정하는 국제 단체다²². 이로써 주기율표 일곱째 줄이 찼다. **아직 모른다** — 이런 원소는 한 번에 원자 몇 개만 생기고 금방 부서져서, 원자를 하나씩 붙잡아 연구할 수밖에 없다. 그 성질은 가벼운 원소에서 늘어 본 예측과 크게 어긋난다. 원소를 어디까지 더 만들 수 있는지는 열린 물음이다²³. **가설과 연구** — 무거운 원자일수록 오래 버티는 ‘안정성의 섬’이 있다는 증거가 모이고 있다²⁴. 2024년에는 더 무거운 타이타늄 빔으로 116번 원소 원자 두 개를 만들어, 118번 너머 새 원소를 찾기 위한 발판을 놓았다²⁵.

이 장의 출처

- Boyle, R. (1661). The sceptical chymist. J. Cadwell for J. Crooke.
- Cavendish, H. (1766). Three papers, containing experiments on factitious air. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 141–184. <https://doi.org/10.1098/rstl.1766.0019>
- Priestley, J. (1775). An account of further discoveries in air. By the Rev. Joseph Priestley, LL.D. F.R.S. in letter to Sir John Pringle, Bart. P.R.S. and the Rev. Dr. Price, F.R.S. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 384–394. <https://doi.org/10.1098/rstl.1775.0039>
- Lavoisier, A.-L. (1789). Traité élémentaire de chimie. Cuchet.
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.
- ÖZMEN, H., & AYAS, A. (2003). STUDENTS DIFFICULTIES IN UNDERSTANDING OF THE CONSERVATION OF MATTER IN OPEN AND CLOSED-SYSTEM CHEMICAL REACTIONS. Chem. Educ. Res. Pract., 4(3), 279–290. <https://doi.org/10.1039/b3rp90017g>
- Wikipédia. (2026). Antoine Lavoisier [French]. Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier
- Wikipedia contributors. (2026). Antoine Lavoisier. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier
- Science History Institute. (2026). Antoine-Laurent Lavoisier. <https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/antoine-laurent-lavoisier/>
- Wikipedia contributors. (2026). Marie-Anne Paulze Lavoisier. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Marie-Anne_Paulze_Lavoisier
- Bennett, A. (2022). Marie-Anne Paulze Lavoisier: The invisible assistant. Chemistry World. <https://www.chemistryworld.com/culture/marie-anne-paulze-lavoisier-the-invisible-assistant/4014701.article>
- Wikipédia. (2026). Marie-Anne Pierrette Paulze [French]. Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Marie-Anne_Pierrette_Paulze
- Wikipedia contributors. (2026). Joseph Priestley. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Priestley

14. Wikipédia. (2026). Château de Freschines [French]. Wikipédia. https://fr.wikipedia.org/wiki/Ch%C3%A2teau_de_Freschines
15. Wikipedia contributors. (2026). Pierre-Simon Laplace. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Pierre-Simon_Laplace
16. Wikipedia contributors. (2026). Claude Louis Berthollet. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Claude_Louis_Berthollet
17. Wikipedia contributors. (2026). Armand Seguin. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Armand_Seguin
18. Wikipedia contributors. (2026). Éleuthère Irénée du Pont. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89leuth%C3%A8re_Ir%C3%A9n%C3%A9e_du_Pont
19. Poeti, R. (2026). Where Antoine Lavoisier's body is buried? Roberto Poeti Chimica. <https://www.robertopoetichimica.it/en/where-the-body-of-antoine-lavoisier-is-buried/>
20. Wikipedia contributors. (2026). Errancis Cemetery. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Errancis_Cemetery
21. Oganessian, Y. T., Utyonkov, V. K., Lobanov, Y. V., Abdullin, F. S., Polyakov, A. N., Sagaidak, R. N., Shirokovsky, I. V., Tsyganov, Y. S., Voinov, A. A., Gulbekian, G. G., Bogomolov, S. L., Gikal, B. N., Mezentsev, A. N., Iliev, S., Subbotin, V. G., Sukhov, A. M., Subotic, K., Zagrebaev, V. I., Vostokin, G. K., . . . Loughheed, R. W. (2006). Synthesis of the isotopes of elements 118 and 116 in the Cf 249 and Cm 245 + Ca 48 fusion reactions. *Physical Review C*, 74(4), 044602. <https://doi.org/10.1103/PhysRevC.74.044602>
22. Karol, P. J., Barber, R. C., Sherrill, B. M., Vardaci, E., & Yamazaki, T. (2016). Discovery of the elements with atomic numbers $Z = 113$, 115 and 117 (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 88(1-2), 139–153. <https://doi.org/10.1515/pac-2015-0502>
23. Smits, O. R., Düllmann, C. E., Indelicato, P., Nazarewicz, W., & Schwerdtfeger, P. (2023). The quest for superheavy elements and the limit of the periodic table. *Nature Reviews Physics*, 6(2), 86–98. <https://doi.org/10.1038/s42254-023-00668-y>
24. Oganessian, Y. T., & Utyonkov, V. K. (2015). Super-heavy element research. *Reports on Progress in Physics*, 78(3), 036301. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/78/3/036301>
25. Gates, J. M., Orford, R., Rudolph, D., Appleton, C., Barrios, B. M., Benitez, J. Y., Bordeau, M., Botha, W., Campbell, C. M., Chadderton, J., Chemey, A. T., Clark, R. M., Crawford, H. L., Despotopulos, J. D., Dorvaux, O., Esker, N. E., Fallon, P., Folden, C. M., Gall, B. J. P., . . . Woody, P. T. (2024). Toward the Discovery of New Elements: Production of Livermorium ($Z = 116$) with Ti 50. *Physical Review Letters*, 133(17), 172502. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.133.172502>

원자는 정말 있을까 — 돌턴의 원자설

출발점 물질의 세 가지 상태 앞 권 · 크기의 사다리 1장 · 질량 보존 2장 · 화합물 2장

새 개념 원자설 · 원자의 크기 · 브라운 운동

이어짐 전하(+-) 4장

기본개념 이 장의 개념 8개 — 먼저 외우고, 그다음에 읽자

오른쪽 정의를 손이나 종이로 가리고, 단어만 보고 정의를 말해 보자. 막히는 단어는 본문에서 굵은 글씨로 다시 만난다.

1	질량비	화합물 속 원소들의 질량 사이의 비.
2	일정 성분비 법칙	한 화합물을 이루는 원소의 질량비가 언제나 같다는 법칙.
3	원자	원소의 성질을 지닌 가장 작은 알갱이.
4	개수비	화합물 속에서 결합한 원자들의 개수 사이의 비.
5	원자설	원소마다 정해진 원자가 있고 반응은 원자의 짝 바꾸기라는 돌턴의 이론.
6	브라운 운동	물에 뜬 작은 알갱이가 물 분자에 부딪혀 불규칙하게 떠는 운동.
7	배수 비례 법칙	한 원소의 같은 질량과 결합하는 다른 원소의 질량이 간단한 정수비를 이룬다는 법칙.
8	분압 법칙	섞인 기체의 압력이 각 기체가 따로 내는 압력의 합이라는 법칙.

3월 넷째 토요일, 과학방 마당의 매화가 막 피었다. 탁자에는 구리 가루를 담은 작은 사기 접시, 알코올램프, 부엌 저울, 그리고 석 교수가 대학에서 가져온 낡은 광학 현미경이 놓여 있었다. 미숙은 우유 한 팩을 들고 왔다.

석 교수 지난 시간에 원소와 화합물을 나누고, 반응 전후 질량의 합이 같다는 질량 보존 법칙을 보았지. 오늘은 첫날 칠판에 적은 첫 질문을 풀 차례란다. 원자는 정말 있을까?

태오 중학교 교과서에 다 나와요. 원자는 있어요.

석 교수 교과서에 있다는 것과 네가 확인했다는 것은 다르지. 원자에서 시작해 보자. 200년 전 사람들은 무엇을 보고 원자가 있다고 생각했을까?

늘 같은 비율

석 교수가 구리 가루 0.8 g을 접시에 담아 알코올램프로 한참 달궜다. 붉은 가루가 점점 검게 변했다. 식힌 뒤 재니 1.0 g이었다.

석 교수 검은 가루는 구리와 공기 속 산소가 결합한 산화 구리란다. 구리 0.8 g에 산소 0.2 g이 붙었지. 구리를 두 배로 늘리면 어떻게 될까?

하린 산소도 두 배로 붙을 것 같아요.

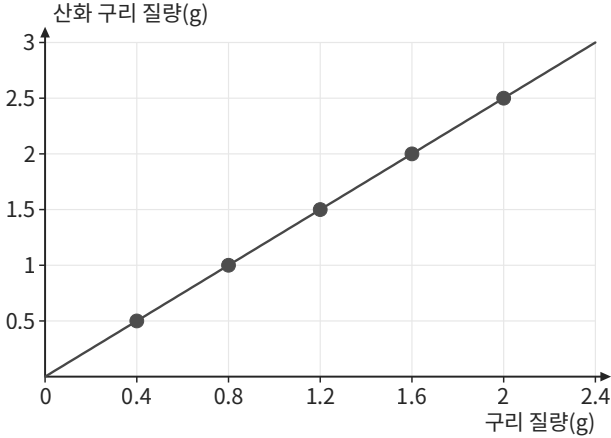
석 교수 1799년 프랑스의 프루스트가 바로 그걸 보였단다. 광산에서 캔 탄산 구리든 실험실에서 만든 것이든, 그 속 원소의 질량비는 언제나 같았어¹. 한 화합물을 이루는 원소의 질량비가 늘 일정하다는 것, 이것이 **일정 성분비 법칙**이야².

미숙 두부는 콩을 얼마나 넣느냐에 따라 맛이 달라지는데, 화합물은 그렇지 않군요.

석 교수 맞습니다. 두부는 여러 물질이 섞인 것이라 비율이 바뀌지만, 화합물은 비율이 딱 정해져 있지요. 문제로 확인해 봅시다.

문제 3-1 구리 그래프 읽기

그림 3-1은 여러 질량의 구리 가루를 모두 산화 구리로 바꾸었을 때 구리 질량과 생긴 산화 구리 질량을 나타낸 그래프이다. 구리 6.0 g을 모두 산화 구리로 바꾸면 산화 구리는 몇 g 생기는가?



[그림 3-1] 문제 3-1의 그림 구리 0.4~2.0 g을 모두 산화 구리로 바꾸었을 때 구리 질량(가로축)과 산화 구리 질량(세로축). 점들이 원점을 지나는 직선 위에 있다

- ① 6.0 g
- ② 6.5 g
- ③ 7.0 g
- ④ 7.5 g
- ⑤ 8.0 g

태오 그래프에서 0.4 g 늘 때마다 0.5 g씩 늘어요. 6.0 g이면 0.5를 더해서 6.5 g, ②요.

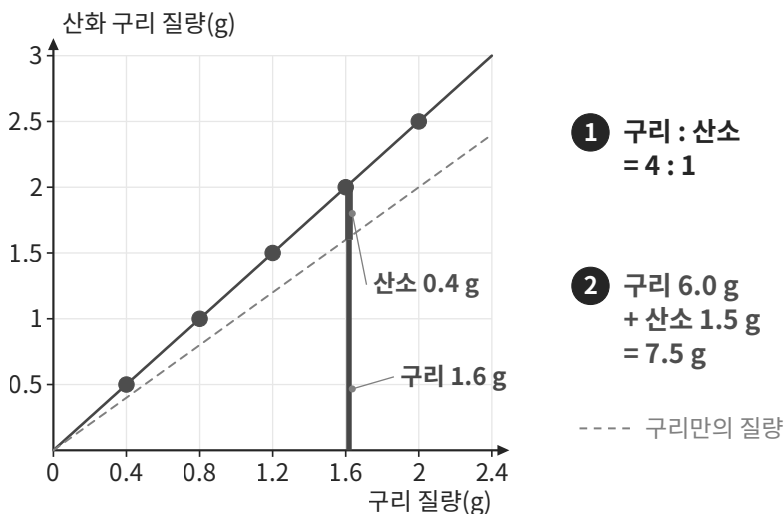
석 교수 조건을 다시 읽어 보렴. 늘 같은 것은 ‘더하는 양’일까, ‘비율’일까?

하린 구리 0.8 g에 산소 0.2 g, 1.6 g이면 산화 구리가 2.0 g이니 산소 0.4 g이에요. 산소가 구리의 4분의 1이에요.

석 교수 그럼 계획을 세우자. 구리와 산소의 질량비를 그래프에서 읽고, 6.0 g에 그 비를 적용하는 거야. 그림 3-2를 보렴.

태오 구리 : 산소 = 4 : 1이니까, 구리 6.0 g에는 산소 1.5 g이요. 산화 구리는 $6.0 + 1.5 = 7.5$ g이에요.

석 교수 정답은 ④란다. 직선이 원점을 지난다는 것이 ‘비율이 일정하다’는 뜻이지.



[그림 3-2] **풀이 그림** 어느 점에서나 구리 : 결합한 산소 = 4 : 1이다(①). 이 비율 구리 6.0 g에 적용하면 산소 1.5 g, 산화 구리 7.5 g이다(②)

미숙 소금 간 맞출 때도 한 숟가락씩 더하는 게 아니라 콩물 양에 비례해서 넣어야 하지요.

돌턴의 원자

석 교수 왜 비율이 늘 같을까? 영국 맨체스터의 교사 돌턴이 1808년 답을 내놓았단다. 원소마다 더는 쪼갤 수 없는 알갱이, **원자**가 있고, 같은 원소의 원자는 질량이 같다. 화합물은 서로 다른 원자가 간단한 개수비로 결합한 것이다. 반응은 원자가 새로 생기거나 없어지는 게 아니라 짝만 바꾸는 것이다³. 이것이 **원자설**이야.

하린 그러니까 산화 구리는 구리 원자 하나에 산소 원자 하나가 붙은 거라서, 가루를 아무리 많이 만들어도 비율이 같다는 거죠?

석 교수 그렇지. 원자가 사라지지 않으니 질량 보존도 저절로 설명되고.

태오 구리 원자 하나랑 산소 원자 하나의 질량이 다르니까 질량비가 1 : 1이 아니라 4 : 1이 되는 거고요?

석 교수 날카롭구나. 개수비는 1 : 1이어도 원자 하나하나의 질량이 달라서 질량비는 4 : 1이 된단다. 개수비와 질량비를 구별하는 게 오늘의 열쇠야. 돌턴은 원자를 동그라미 기호로 그렸어. 그림 3-3을 보렴.

돌턴의 원자 기호(1808)



수소



산소



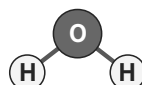
탄소

돌턴이 생각한 물



원자 1개 + 1개

오늘날의 물 H₂O



수소 원자 2개 + 산소 원자 1개

[그림 3-3] 돌턴의 원자 기호(1808)를 본뜬 그림 수소는 가운데 점이 찍힌 원, 산소는 빈 원, 탄소는 검은 원이다. 돌턴은 물을 수소 원자 하나와 산소 원자 하나의 결합으로 보았으나, 오늘날 물은 수소 원자 둘과 산소 원자 하나(H₂O)로 되어 있음을 안다

태오 물이 HO라니, 돌턴도 틀렸네요.

석 교수 원자의 개수를 셀 방법이 없어서 가장 간단한 짝을 먼저 가정했던 거란다³. 틀린 부분은 뒤 사람들이 고쳤지만, ‘원자의 개수비’로 생각하는 틀은 그대로 남았어.

원자는 얼마나 작을까, 그리고 정말 있을까

석 교수 1890년 영국의 레일리는 물 위에 기름 한 방울을 떨어뜨려 넓게 퍼지게 하고, 퍼진 넓이로 기름막의 두께를 셈했단다⁴. 막은 1 mm의 수백만분의 1쯤으로 얇았어. 막은 기름 분자 한 겹보다 얇을 수 없으니, 분자는 그보다 작다는 뜻이지. 오늘날 원자 하나의 크기는 약 10⁻¹⁰ m로 알려져 있단다².

미숙 넓이로 두께를 어떻게 알아요?

석 교수 부침개 반죽을 떠올려 보세요. 같은 한 국자라도 팬에 넓게 펼수록 얇아지지요. 반죽의 부피를 펼친 넓이로 나누면 두께가 나옵니다. 기름 한 방울의 부피를 알고, 물 위에 퍼진 넓이를 재면 막의 두께를 셈할 수 있어요.

태오 부피 ÷ 넓이 = 두께. 그건 시험에도 나오겠네요.

하린 그래도 여전히 원자를 본 건 아니잖아요.

석 교수 그래서 20세기 초까지도 원자는 계산을 편하게 하는 상상일 뿐이라는 과학자가 많았어⁵. 그 다툼을 끝낸 실험을 지금 해 보자.

미숙이 우유를 물에 한 방울 타서 유리판에 올렸다. 석 교수가 현미경 초점을 맞추자, 우유 속 작은 기름 알갱이들이 제자리에서 쉬지 않고 떨고 있었다.

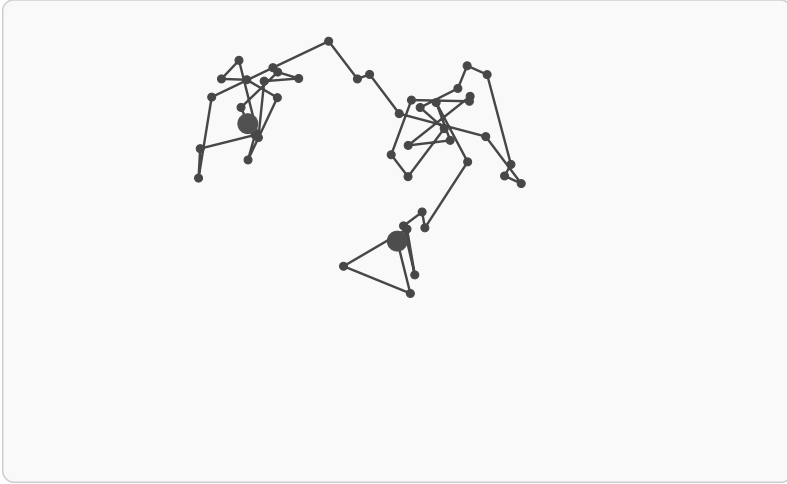
미숙 어머, 살아 있는 것처럼 움직여요!

석 교수 1827년 식물학자 브라운도 꽃가루 속 작은 알갱이가 물속에서 이렇게 떠는 것을 보았어요. 처음엔 생명의 움직임이라 여겼지만, 생명이 없는 광물 가루도 똑같이 움직였지요⁶. 이 떨림을 **브라운 운동**이라 합니다.

석 교수 1905년 아인슈타인은 눈에 안 보이는 물 분자들이 사방에서 알갱이를 두드리기 때문이라고 설명하고, 알갱이가 움직인 거리를 재면 분자의 수를 셀 수 있다고 계산했단다⁷. 1908년 프랑스의 페랭이 그 거리를 정밀하게 재어 예측과 맞음을 보였어⁵. 그림 3-4는 그런 알갱이의 자취란다.

태오 알갱이가 보이지 않는 분자에 얻어맞아서 흔들리는 거네요. 원자를 못 봐도 원자가 두드린 흔적은 보이는 거고요.

석 교수 그렇지. 그 뒤로 원자가 있다는 것을 의심하는 과학자는 거의 사라졌단다. 원자를 공 모양으로만 떠올리거나 크기를 짐작하지 못하는 학생이 많다는 조사도 있으니⁸, 오늘 본 떨림을 기억해 두렴.



● 처음 위치

● 나중 위치

점 사이: 같은 시간 간격

[그림 3-4] 브라운 운동하는 알갱이의 자취 일정한 시간 간격으로 알갱이의 위치를 찍고 선으로 이었다. 방향도 거리도 제멋대로다(모의 계산으로 그린 모식도)

문제 3-2 탄소와 산소의 두 화합물

그림 3-5는 탄소와 산소가 만드는 두 화합물 (가)와 (나)에서 탄소 3 g과 결합하는 산소의 질량을 나타낸 것이다. (가)는 일산화 탄소, (나)는 이산화 탄소이다. (1) 탄소 3 g과 결합하는 산소의 질량비 (가) : (나)를 구하고, (2) 이 비가 간단한 정수비가 되는 까닭을 돌턴의 원자설로 설명하시오.

(가) 탄소 3 g 산소 4 g → 일산화 탄소 7 g

(나) 탄소 3 g 산소 8 g → 이산화 탄소 11 g

[그림 3-5] 문제 3-2의 그림 탄소 3 g과 결합하는 산소: (가) 4 g, (나) 8 g

하린 (1)은 4 : 8이니까 1 : 2요.

태오 (2)는 산소가 두 배 많이 붙어서 두 배라고 쓰면 돼요.

석 교수 그건 (1)을 다시 말한 것뿐이란다. 왜 1.3배나 1.7배가 아니라 딱 두 배일까? 원자설에서 원자는 어떤 성질이 있었지?

하린 쪼갤 수 없고, 같은 원소의 원자는 질량이 같아요.

석 교수 계획을 세우자. 탄소 원자 하나에 산소 원자가 몇 개 붙는지로 두 화합물을 그려 보는 거야. 그림 3-6을 보렴.

태오 (가)는 탄소 하나에 산소 하나, (나)는 탄소 하나에 산소 둘이에요. 산소 원자는 반쪽이 없으니 한 개, 두 개처럼 정수로만 늘어요.

석 교수 모범 답은 “(1) 1 : 2. (2) 원자는 쪼갤 수 없고 같은 원소의 원자는 질량이 같으므로, 탄소 원자 하나에 산소 원자가 1개 또는 2개처럼 정수 개로만 붙는다. 그래서 산소의 질량비도 간단한 정수비가 된다.”란다. 두 원소가 여러 화합물을 만들 때 이런 정수비가 나타나는 것을 **배수 비례 법칙**이라 하지².

① 일산화 탄소



산소 원자 1개

② 이산화 탄소



산소 원자 2개

탄소 원자 1개당 산소 원자 1 : 2 → 산소 4 g : 8 g = 1 : 2

[그림 3-6] 풀이 그림 탄소 원자(검정) 하나에 산소 원자(빨강)가 하나 붙은 일산화 탄소(①)와 둘 붙은 이산화 탄소(②). 산소 원자 수가 1 : 2이므로 산소 질량도 1 : 2이다

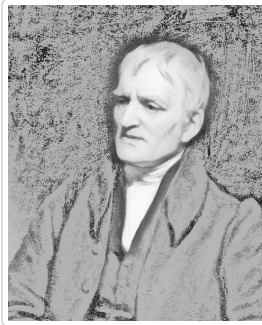
미숙 달걀을 반 개씩 넣을 수 없으니 달걀찜 레시피가 한 개, 두 개로만 늘어나는 것과 같네요.

과학자 이야기 존 돌턴 1766-1844 · 영국

태어나 자란 곳 — 돌턴은 1766년 9월 6일(기록에 따라 5일) 잉글랜드 북서부 컴벌랜드의 이글스필드에서 가난한 웨이커 교도 집안에 태어났다. 아버지 조지프는 베 짜는 사람이었고, 여섯 아이 가운데 어른이 된 셋 중 막내였다^{9,10}.

이웃 마을 파드쇼 홀의 퀘이커 학교에서 존 플레처에게 배웠고, 열 살 무렵부터 넉넉한 퀘이커 교도 엘리후 로빈슨의 집에서 일하며 저녁마다 수학을 배웠다. 로빈슨은 날씨를 관측하고 기구를 만드는 사람이었다^{9,10,11}. 열두 살에는 마을에 제 학교를 열어, 어린아이부터 자기보다 나이 많은 아이까지 가르쳤다^{10,11}.

그의 삶을 그림 3-7의 초상과 지도, 연표로 먼저 훑어보자.

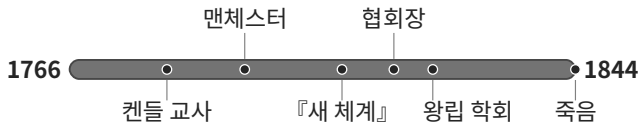


존 돌턴

1766-1844 · 영국



- ❶ 이글스필드 — 태어남(1766)
- ❷ 캔들 — 퀘이커 학교(1781~93)
- ❸ 맨체스터 — 교사·연구(1793~1844)
- ❹ 아드워 묘지 — 묻힘(1844)
- ❺ 런던 왕립 연구소 — 강의(1803~04)
- ❻ 파리 — 방문(1822)



[그림 3-7] 돌턴의 초상과 삶의 지도, 생애 연표 잉글랜드 북서부 호수 지방의

이글스필드에서 태어나 캔들의 퀘이커 학교에서 가르쳤고, 1793년 맨체스터로 옮겨 평생 그곳에서 가르치고 연구했다. 런던 왕립 연구소에서 강의했고 1822년 파리를 다녀왔다(초상: 토머스 필립스가 1835년에 그린 그림)

배움과 스승 — 1781년 열다섯 살에 형 조너선이 가르치던 캔들의 퀘이커 학교로 가서 조교가 되었고, 1785년 교장이던 사촌 조지 불리가 물러나자

형제가 함께 학교를 맡았다^{10,11}. 켄들에서 만난 눈먼 자연 철학자 존 고프가 평생의 스승이었다. 고프는 그에게 라틴어·그리스어·프랑스어와 수학을 가르쳤고, 날씨 일지 쓰는 법도 일러 주었다^{10,11,12}. 그는 잡지 『숙녀의 일기』와 『신사의 일기』에 실린 수학 문제의 답을 보내며 실력을 길렀고, 스물한 살 무렵에는 역학·광학·천문학을 다루는 강연을 열었다^{9,10,11}. 식물 채집도 즐겼는데, 꽃 색깔을 남들과 다르게 본다는 것을 깨달은 것이 바로 이때였다^{10,11}. 1787년 쓰기 시작한 기상 일지는 죽기 전날까지 57년 동안 20만 번 넘는 관측을 담았다^{9,11}. 1793년 고프의 추천으로 맨체스터의 뉴 칼리지에서 수학과 자연 철학을 가르치게 되었다. 대학이 1799년 요크로 옮겨 간 뒤에는 개인 교습으로 생활했다^{10,11}.

결혼과 가족 — 돌턴은 평생 결혼하지 않았고 자녀도 없었다. 왜 결혼하지 않았느냐는 물음에 “시간이 없었다”고 답했다고 한다^{9,10,11}. 케이크 교도답게 검소하게 살았고, 삶의 마지막 사반세기는 맨체스터의 존스 목사 집에서 하숙했다^{9,11}. 하루하루는 실험과 개인 교습으로 채워졌다. 쉬이라고는 목요일 오후의 볼링과 해마다 고향 호수 지방의 산을 오르는 여행뿐이었다. 높은 곳의 기온과 습도를 재려고 기압계를 들고 산에 올랐고, 헬벨린산에만 서른 번 넘게 올랐다^{9,10}.

발견 — 1794년 맨체스터 문학 철학 협회 회원이 되고 몇 주 만에, 첫 논문으로 자기 눈의 색맹을 발표했다. 남들이 빨강다고 하는 것이 자기에게는 그늘처럼 보인다고 적었고, 형도 그러하니 대물림된다고 보았다^{9,11}. 이 때문에 색맹을 ‘돌터니즘’이라고도 부른다^{9,13}. 그는 눈 속 액체가 푸른빛을 띠어서라고 짐작해 죽은 뒤 눈을 살펴보라고 부탁했다. 의사가 살펴보니 액체는 맑았다. 보존된 눈 조직을 1995년 유전자로 검사하자, 초록빛을 느끼는 색소가 없는 색맹으로 밝혀졌다^{11,14}. 1800년 협회 총무가 되었고, 1801~1803년 협회 강연에서 섞인 기체의 압력은 각 기체가 따로 내는 압력의 합이라는 ‘분압 법칙’을 내놓았다^{9,11,13}. 1816년(기록에 따라 1817년) 협회장이 되어 죽을 때까지 28년 동안 맡았다^{10,11}. 1803년 12월부터 이듬해까지 런던 왕립 연구소에서 강의했지만, 목소리가 거칠고 또렷하지 않아 인기 있는 강연자는 아니었다고 한다^{9,10,11}. 프랑스 과학 아카데미는 1816년 그를 통신 회원으로, 1830년 데이비의 뒤를 이어 여덟 명뿐인 외국인 회원으로 뽑았다. 1833년부터는 나라에서 해마다 150파운드, 1836년부터는 300파운드의 연금을 받아 가르치는 일의 짐을 덜었다^{9,10}.

함께한 사람들 — 스승 고프(1757~1825)는 어려서 천연두로 시력을 잃었지만 이름난 수학자였고, 시인 워즈워스의 시에도 나온다^{10,11,12}. 스코틀랜드 화학자 토머스 톰슨(1773~1852)은 1804년 돌턴에게서 원자의 무게 이야기를 직접 듣고, 1807년 자기 교과서에 소개해 원자설을 처음 널리 알렸다^{10,15}. 데이비는 1810년 왕립 학회 회원 후보가 되라고 권했지만 돌턴은 사양했고, 1822년 본인도 모르게 추천되어 회원이 되었다^{9,11}. 데이비는 그를 “아주 거친 실험가”라 평하면서도, 1826년 왕립 메달을 주며 그의 공을 천문학의 케플러에 견주었다^{9,10}. 1822년 여름에는 파리를 찾아 라플라스의 집에서 베르톨레 등과 식사했다^{9,10}. 프랑스의 게이뤼삭이 기체끼리는 간단한 부피비로 반응한다는 법칙을 내놓았지만, 돌턴은 이를 끝내 받아들이지 않았다^{9,10}. 베르셀리우스의 알파벳 원소 기호가 더 편하다는 평이 많았는데도, 끝까지 자기 동그라미 기호를 고집했다^{9,10}. 늘그막의 제자 제임스 줄(1818~1889)은 뒤에 열과 일의 관계를 밝혀 에너지 단위 ‘줄’에 이름을 남겼다. 맨체스터 시청에는 스승과 제자의 조각상이 마주 서 있다^{9,11,16}.

대표 저서와 논문 - 『Meteorological Observations and Essays』 (1793) — ‘기상 관측과 소론’. 그의 첫 책^{9,13}. - 「Extraordinary facts relating to the vision of colours」 (1794) — ‘색을 보는 일에 관한 놀라운 사실들’. 색맹을 처음 과학적으로 기술한 논문^{9,11}. - 『Elements of English Grammar』 (1801) — ‘영문법 요강’. 학교에서 쓰라고 지은 영어 문법책⁹. - 『A New System of Chemical Philosophy』 (1808~1827) — ‘화학 철학의 새 체계’. 원자설과 원자량 표, 원자 기호를 실은 책으로, 맨체스터 문학 철학 협회에 바쳤다^{3,11,13}.

마지막 날들 — 1837년과 1838년 뇌졸중을 겪어 말이 어눌해졌지만 실험은 이어 갔다. 1844년 5월 다시 쓰러진 뒤, 7월 26일 떨리는 손으로 마지막 기상 관측을 적었다^{9,10}. 이튿날인 7월 27일 아침, 맨체스터의 집에서 침대에서 일어나다 바닥에 쓰러져 숨진 채 발견되었다. 만 77세였다^{9,10}. 주검은 맨체스터 시청에 나흘 동안 놓였고 4만 명 넘는 사람이 다녀갔다. 8월 12일 마차 100대 가까운 장례 행렬이 그를 아드워 묘지로 모셨다^{9,10,17}. 묘지는 1966년 운동장이 되었고, 묘석 윗판은 맨체스터 메트로폴리탄 대학 존 돌턴관의 동상 곁으로 옮겨졌다^{9,17}.

남긴 것 — 조각가 찰트리가 만든 그의 조각상은 그가 살아 있을 때 세워졌고, 지금은 맨체스터 시청에 있다^{9,10}. 그가 죽고 두 해 뒤 맨체스터 시는 거리 하나에 ‘존 돌턴 거리’라는 이름을 붙였다^{9,11}. 원자와 분자의 질량 단위 ‘돌턴’과 달의 충돌 구덩이, 소행성이 그의 이름을 땄다⁹. 제2차 세계 대전 때 맨체스터 폭격으로 협회가 보관하던 그의 기록 상당수가 불탔다^{9,11}.

오늘의 정리

- 일정 성분비 법칙(프루스트, 1799): 한 화합물을 이루는 원소의 질량비는 늘 같다(산화 구리의 구리 : 산소 = 4 : 1).
- 돌턴의 원자설(1808): 원소마다 쪼갤 수 없는 원자가 있고, 화합물은 원자가 간단한 개수비로 결합한 것이며, 반응은 원자의 짝 바꾸기다.
- 배수 비례 법칙: 탄소 3 g과 결합하는 산소가 일산화 탄소는 4 g, 이산화 탄소는 8 g으로 1 : 2이다.
- 원자는 약 10^{-10} m로 작다. 브라운 운동(1827 관찰, 1905 설명, 1908 측정)이 원자와 분자가 실제로 있음을 보였다.

스스로 풀어 보기 정답과 해설은 부록 C

1. 돌턴의 원자설로 설명할 수 없는 것은?
 - ① 반응 전후 질량의 합이 같다.
 - ② 한 화합물을 이루는 원소의 질량비가 일정하다.
 - ③ 두 원소가 만드는 여러 화합물에서 배수 비례가 나타난다.
 - ④ 원자 속에 더 작은 알갱이가 들어 있다.
 - ⑤ 화합물은 원자가 간단한 개수비로 결합한 것이다.
2. 우유를 탄 물을 현미경으로 볼 때, 물을 따뜻하게 데우면 기름 알갱이의 떨림은 어떻게 달라질지 예상하고 그 까닭을 쓰시오.

과학의 최전선 원자 한 개의 질량을 재는 저울

여기까지 밝혀졌다 — 원자는 너무 가벼워 저울에 한 개씩 올릴 수 없다. 대신 결정 속 원자를 센다. 규소-28만으로 만든 1 kg짜리 매끈한 공의 부피와 원자 사이 간격을 재어 원자 수를 헤아리는 방법이다¹⁸. 이렇게 얻은 값으로 2019년부터 아보가드로 상수가 $6.02214076 \times 10^{23}$ 으로 고정되었다¹⁹. 원자를 전기장·자기장 틈에 가두어 도는 빠르기로 질량을 재는 방법은 1조분의 몇까지 정밀하다²⁰. **아직 모른다** — 그런데 가장 가벼운 원자들의 중심 알갱이(5장에서 배울 원자핵) 질량이 실험마다 서로 어긋난다. 그래서 지금 값의 불확도가 너무 작게 잡혔을 수 있다는 지적이 나왔다²⁰. 어느 값이 맞는지는 더 많은 측정이 필요하다. **가설과 연구** — 길이 약 150 nm의 탄소 나노튜브를 기타 줄처럼 떨게 하면, 무언가 붙을 때 떨림이 느려진다. 이 방법으로 1.7×10^{-24} g까지 가려내어 분자가 붙는 것을 감지했다²¹. 원자 한 개를 직접 다는 저울을 향한 걸음이다.

이 장의 출처

1. Proust, J.-L. (1799). Recherches sur le cuivre. Annales de Chimie, 32, 26–54.
2. Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.
3. Dalton, J. (1808). A new system of chemical philosophy (Part 1). R. Bickerstaff.
4. Strutt, R. J. (1890). Measurements of the amount of oil necessary in order to check the motions of camphor upon water. Proceedings of the Royal Society of London, 47(286-291), 364–367. <https://doi.org/10.1098/rspl.1889.0099>
5. Newburgh, R., Peidle, J., & Rueckner, W. (2006). Einstein, Perrin, and the reality of atoms: 1905 revisited. American Journal of Physics, 74(6), 478–481. <https://doi.org/10.1119/1.2188962>
6. Brown, R. (1828). A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. The Philosophical Magazine, 4(21), 161–173. <https://doi.org/10.1080/14786442808674769>
7. Einstein, A. (1905). Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen. Annalen der Physik, 322(8), 549–560. <https://doi.org/10.1002/andp.19053220806>
8. Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade - 12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. Journal of Research in Science Teaching, 29(6), 611–628. <https://doi.org/10.1002/tea.3660290609>
9. Wikipedia contributors. (2026). John Dalton. Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/John_Dalton
10. Clerke, A. M. (1888). Dalton, John (1766–1844). In L. Stephen (Ed.), Dictionary of national biography (Vol. 13). Smith, Elder. [https://en.wikisource.org/wiki/Dictionary_of_National_Biography,_1885-1900/Dalton,_John_\(1766-1844\)](https://en.wikisource.org/wiki/Dictionary_of_National_Biography,_1885-1900/Dalton,_John_(1766-1844))
11. Jones, N. (2026). John Dalton FRS (1766–1844): Manchester's greatest scientist? Manchester Literary and Philosophical Society. <https://www.manlitphil.ac.uk/past-members/john-dalton/>

고등학교 통합과학 · 전 8권

이야기로 읽고, 그림으로 이해하고, 문제로 확인하는 통합과학

이 책 · 화학편 1

소금과 별

소금 한 알을 세 번 들여다보는 이야기로 시작해, 원소와 원자, 전자와 원자핵, 빅뱅과 별의 원소 공장까지 따라갑니다.

통합과학 8권 한눈에 보기



1 화학편 1 · 이 책
원자 · 원소 · 별



2 화학편 2
결합과 물질



3 생명편 1
분자와 세포



4 생명편 2
유전과 진화



5 물리편 1
힘과 운동



6 물리편 2
전하와 전기력



7 지구과학편 1
공기 · 물 · 날씨



8 지구과학편 2
원소 · 암석 · 지구

과학과영성출판사

이광조 지음

값 18,000원

값 18000 원
53430



9 791123 065267
ISBN 979-11-23065-26-7

이어서 읽으시려면

01 통합과학 화학 1 — 소금과 별 — 전체 322쪽

ssbook.kr/book/tonghap-01

판매가 **10,800원** (POD 정가 18,000원)

- 전 페이지 컬러 PDF · 개인 영구 소장
- 카드 결제 즉시 내 서재에서 내려받기
- 공개 배포 · 재판매 금지

발간 도서 목록

다음 쪽부터 과학과영성출판사가 발간한 책 전체 목록(표지 · 가격 · 특징)을 안내합니다.

총 69종 · 판매가는 POD 정가의 60% · 컬러 PDF · 개인 영구 소장

인삼 (6)



만병통치 인삼의 신경내분비시스템
하나의 인삼뿌리는 어떻게 온몸의 스위치를 건드리는가
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-neuroendo



인삼과 당뇨
공복혈당 · 당화혈색소 · 합병증을 개선하는 인삼
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-diabetes



인삼과 대사증후군
허리둘레 · 중성지방 · HDL · 혈압 · 혈당을 개선하는 인삼치유의 과학적 원리
₩18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-metabolic



인삼과 아토피
금산 아토피 마을에서 어린이 임상시험 설계까지
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-atopy



인삼과 암치유
실험실에서 진로실까지, 1,300편의 논문이 말하는 것
₩18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/ginseng-cancer



인삼의 임상연구
최신연구와 방법론
₩18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-clinical

오토파지 (2)



스스로를 먹는 몸
오토파지, 자가포식, 세포가 자기를 고쳐 쓰는 법
₩18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/eating-self



오토파지와 암
세포는 스스로를 먹는다
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/autophagy-cancer

식물성 저탄고지 (11)



뇌신경 4+2축과 성격유형 그리고 식물성 저탄고지
도파민 · 세로토닌 · 노르에피네프린 · 아세틸콜린 + 글루타메이트 · 가바
₩20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/brain-axes



당뇨를 개선하는 식물성 저탄고지
혈당 · 당화혈색소 · 체중을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
₩17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-diabetes



고혈압을 개선하는 식물성 저탄고지
 혈압·체중·혈관 건강을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-hypertension



비만을 개선하는 식물성 저탄고지
 체중·허리둘레·체지방을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-obesity



뇌전증을 개선하는 식물성 저탄고지
 뇌전증 환자와 보호자를 위한 논문 근거 기반 식물성 저탄고지 식단
 23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-epilepsy



우울증을 개선하는 식물성 저탄고지
 소화관과 장·뇌 축, 에너지 대사를 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-depression



자폐를 개선하는 식물성 저탄고지
 일곱 갈래 기전이 한 점에서 만난다
 23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-autism



아토피를 개선하는 식물성 저탄고지
 피부 장벽과 면역, 장 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 19,000원 → **11,400원**
ssbook.kr/book/pkd-atopy



치매를 개선하는 식물성 저탄고지
 뇌 에너지 대사와 인슐린 신호, 혈관 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/pkd-dementia



암을 개선하는 식물성 저탄고지
 치료 중 체중 유지와 근육 보존, 영양 상태를 함께 살피는 식물성 케톤식 가이드
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-cancer



관절염을 개선하는 식물성 저탄고지
 염증 신호와 체중 부하, 대사 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-arthritis

단식 (1)



40일간 굶는 몸의 시간표
 카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로
 18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/fasting-40days

생물리학 (4)



발골의 강
 피의 흐름에서 발바닥까지, 명과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것
 18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



보이지 않는 99%, 부항 자국 아래에서 벌어지는 일
 부항과 미세혈관에 대한 열다섯 번의 강의
 17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/cupping99



세 겹의 뇌, 눈 위의 지휘자
매클린의 삼위일체 뇌와 안와전두엽 이야기
~~10,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/triune-brain



광유전
빛으로 세포를 제어하는 기술 — 원리·실험·회로·치료
~~42,000원~~ → **25,200원**
ssbook.kr/book/optogenetics

독립영양인간 (2)



이암블리코스의 피타고라스적 삶에 관하여
그리스어 원전 완역 · 테일러 판 전편 수록
~~10,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/iamblichus



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지
요하의 흙인형 · 우하랑의 여신 · 해명경 · 태을금
화중지 다섯 갈래를 한자리에 놓다
~~26,000원~~ → **15,600원**
ssbook.kr/book/hongsan

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역
대학 기술로 완성하는 분자생물학의 중심원리
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-01



대입 과학논술 03 — 멘델 유전·감수분열·가계도
분리·독립 × 감수 분열 × 확률의 곱 — 기술 22문
항으로 읽는 유전
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-03



대입 과학논술 05 — 재조합 DNA·생명공학
제한 효소의 인식·절단 × 조각 길이로 위치 추론
× 재조합·판별 실험 설계
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-05



대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질수송
인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-07



대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설
감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩
팥까지 항상성
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신
몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역
까지
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-09



대입 과학논술 10 — 세포호흡·광합성·에너지대사
포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-10



대입 과학논술 11 — 신경계·활동전위
펄프가 기울기를 만들고, 통로가 열리고 닫히며 신호가 생긴다
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-11



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물다양성
에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-12



대입 과학논술 13 — 원자 구조·주기성
전자 배치 × 유효 핵전하 × 이온화 에너지로 읽는 주기성
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-13



대입 과학논술 14 — 화학 결합·분자 구조·극성
원자가 전자 세기 × 전자쌍 반발 × 쌍극자 벡터 합
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-14



대입 과학논술 15 — 분자 간 힘·수소 결합·계면
극성 × 분자 간 힘의 서열 × 계면 에너지로 읽는 물질
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-15



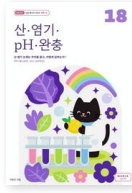
대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자
유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



대입 과학논술 17 — 화학양론·농도
몰 × 반응식 계수비 × 농도 환산으로 푸는 화학 계산
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-17



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수
산화·환원과 산화수 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-18



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충
평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-19



대입 과학논술 20 — 반응 속도
넘어야 할 언덕 — 반감기에서 촉매, 반응 메커니즘까지
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-20



대입 과학논술 21 — 화학 평형
평형 상수 K × 반응 지수 Q × 르사틀리에로 읽는 화학 평형
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



대입 과학논술 22 — 열화학·엔탈피·자유 에너지
열화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
25,000원 → **15,000원**
ssbook.kr/book/nonsul-22



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형
용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-23



대입 과학논술 24 — 기체
기체 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-24



대입 과학논술 25 — 화학 전자·전기 분해
화학 전자·전기 분해 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별
원자에서 원소의 기원·주기율표까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 못은 왜 녹슬까
결합에서 반응·산과 염기까지
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까
본자에서 세포·호소·에너지까지
±8,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자
유전 정보에서 진화·생태계까지
±8,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 뒤통질까
원자에서 힘과 에너지까지
±2,000원 → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나침반
원자에서 전자기파까지
±4,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까
대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨
±1,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다
원자에서 암석·판·지구의 역사까지
±8,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식
이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영
양학과 분자생물학으로 다시 읽다
±1,000원 → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비
사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의
언어로 다시 읽다
±8,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/constitution-neuro

역사 속의 채식인
채식의 역사를 사람들의 이야기로 읽다
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-history

채식이야기
채식에 관한 이야기
교보문고 판매
ssbook.kr/book/veg-story

우리 몸은 채식을 원한다
몸이 채식을 원하는 이유
교보문고 판매
ssbook.kr/book/body-wants-veg

라이프스타일 (3)



아주 쉬운 회춘의 원리
노화의 12가지 특징과 식이를 통한 회춘
±8,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다
콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식
±8,400원 → **11,000원**
ssbook.kr/book/skin-inside

고대사 (5)



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 홀로세의 기후와 지형 변화

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/climate-ea-1



고려 서경(西京)의 위치를 추정하다 1권 방법편

여덟 가지 방법으로 동아시아 고전 지명을 좌표로 옮기기

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/seogyyeong-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제1권 기초편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제1~7장)

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/geonames-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제8~16장)

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/geonames-2



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제3권 적용편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (적용 사례)

25,000원 → **15,000원**

ssbook.kr/book/geonames-3