



02 통합과학 화학 2 — 못은 왜 녹슬까

결합에서 반응·산과 염기까지

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-02

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

못은 왜 녹슬까



코넬 개념암기

이야기식

그래프 개념지도

풍부한 그림과 문제들

역사 속 인물과 일화들

I O N S · B O N D S · M O L E C U L E S · M A T E R I A L S ·
R E A C T I O N S · A C I D S

못은 왜 녹슬까

문제로 풀어 가는 통합과학 화학 이야기 2

결합에서 반응·산과 염기까지 —

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

이광조 박사

판본 v7 · 2026-10-02

못은 왜 녹슬까

문제로 풀어 가는 통합과학 화학 이야기 2

못은 왜 녹슬까

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 — 원자가 손잡는 법에서 녹슨 못과 동굴까지	6
일러두기 — 이 책의 짜임	7

제4부 원자가 손잡는 법

20장 전자를 잃고 얻다 — 이온	10
21장 왜 원자는 결합할까 — 옥텟과 이온 결합	20
22장 이온 결합 물질의 성질 — 깨지고, 녹으면 전기가 통한다	31
23장 공유 결합 — 전자쌍을 함께 가지다	41
24장 분자의 모양과 극성 — 물은 왜 굽었나	54
25장 금속 결합 — 전자의 바다	69
26장 결합으로 물질을 가려내기 — 알갱이의 탐정 수첩	80
제4부 단위 마무리 — 수능형 문제	96

제5부 결합이 만든 물질

27장 규산염 광물 — 지각의 뼈대	107
28장 탄소 — 생명의 뼈대	117
29장 단백질 — 아미노산 목걸이	129
30장 핵산 — DNA의 두 가닥	143
31장 반도체 — 규소에 섞은 한 방울	154
32장 초전도체와 그래핀 — 저항이 사라지고, 한 겹이 강해질 때	165
제5부 단위 마무리 — 수능형 문제	177

제6부 화학 반응

33장 화학 반응식 세우기 — 원자는 사라지지 않는다	188
34장 산소를 얻고 잃는 반응 — 구리의 검은 옷	199
35장 전자를 주고받는 반응 — 산소 없는 산화	210
36장 철의 제련과 녹슨 못 — 쇠를 얻고 쇠를 잃다	221
37장 광합성·호흡·연소·전지 — 생활 속 산화 환원	231
제6부 단위 마무리 — 수능형 문제	242

제7부 산과 염기

38장 산 — 신맛과 수소 이온	254
-------------------	-----

39장 염기 — 미끌미끌함과 수산화 이온	265
40장 지시약과 pH — 붉은양배추가 알려 주는 것	276
41장 중화 반응 — 이온의 수를 세어 보자	290
42장 동굴과 빗물과 두부 — 마지막 토요일	300
제7부 단원 마무리 — 수능형 문제	326

부록

부록 A 용어 풀이	336
부록 B 교과 연결표	340
부록 C 스스로 풀어 보기 — 정답과 해설	342
부록 D 화학 기본 수치와 단위	350

머리말 — 원자가 손잡는 법에서 녹슨 못과 동굴까지

상권에서 우리는 소금 한 알을 쪼개 원자에 이르고, 그 원자의 재료가 별 속에서 태어났다는 것, 원자의 성질이 바깥 전자의 수로 정해져 주기율표가 된다는 것까지 왔다. 하권은 그 원자들이 **어떻게 손을 잡는지**를 묻는다.

원자는 바깥 전자를 주고받아 이온이 되거나(이온 결합), 전자쌍을 함께 가지며(공유 결합), 전자의 바다를 이루며(금속 결합) 서로 묶인다(제4부). 결합의 방식이 물질의 성질을 정한다. 지각을 이루는 규산염 광물, 생명의 뼈대인 탄소 화합물과 단백질·핵산, 반도체와 그래핀 같은 새 물질이 모두 이 결합으로 설명된다(제5부). 그다음 원자가 짝을 바꾸는 **화학 반응**을 반응식으로 세우고, 산소와 전자가 오가는 산화·환원으로 녹슨 못과 제련, 광합성과 호흡, 전지를 읽는다(제6부). 마지막으로 물에 녹아 H^+ 와 OH^- 를 내는 **산과 염기**, 그 둘이 만나는 중화 반응으로 석회 동굴과 빗물, 두부의 간수까지 간다(제7부).

하권도 상권처럼 장 첫 쪽의 〈이 장의 출발점〉과 〈기본개념〉, 문제와 풀이 대화, 풀이 그림, 과학자 이야기, 단원 앞뒤의 지식 그래프와 단원 끝 수능형 문제, 장마다 〈과학의 최전선〉으로 짜여 있다. 마지막 장의 〈끝까지 묻기〉에서는 한 해를 마친 학생들이 “원자는 사라지지 않을까?”를 다시 묻는다. 상권을 읽지 않았더라도 따라올 수 있도록 필요한 곳마다 앞 개념을 짧게 되짚었다.

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.

원자가 손잡는 법

원자는 어떻게 서로 손을 잡을까?

20

이온
전자를 잃고 얻는다

21

이온 결합
정전기 인력

23

공유 결합
전자쌍을 함께 쓴다

24

굽은 물 분자
극성 분자 · 104.5°

25

금속 결합
자유 전자의 바다

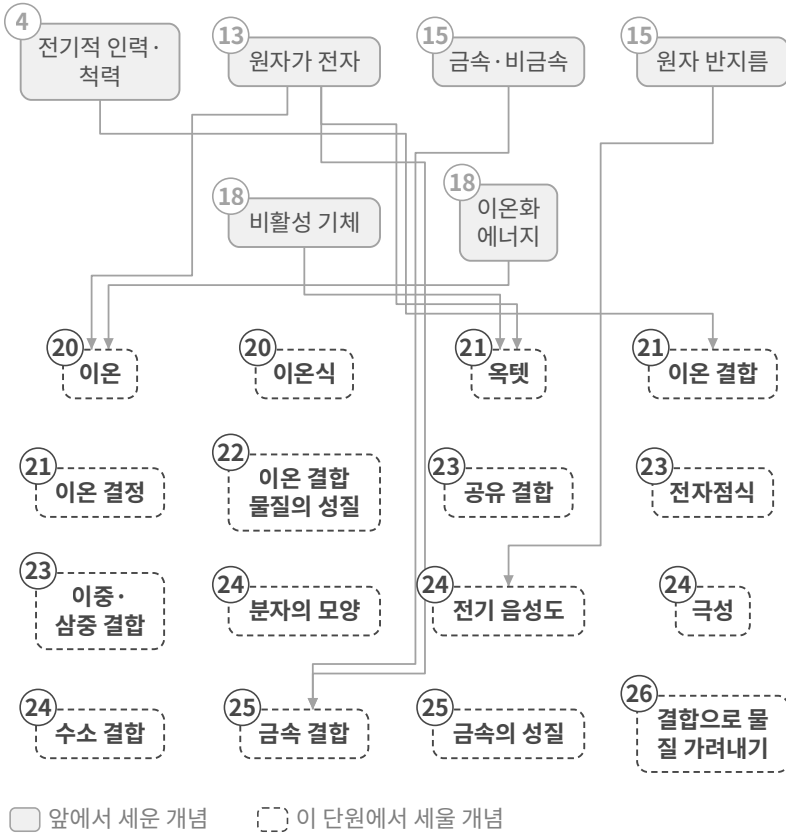
26

소금물 설탕물
결합 가려내기
전기가 통하는가

원자는 전자를 주고받아 이온으로, 전자쌍을 나눠 분자로,
전자를 함께 풀어 금속으로 묶인다 — 결합이 성질을 정한다.
→ 다음 단원에서: 이 결합들이 지은 돌·생명·새 물질

제4부 한눈에 보기 — 이 단원의 이야기를 한 장에 담았다. 원 속 숫자는 장 번호

제4부 들어가며 — 무엇에서 출발하나



[제4부] 단원 들어가며 — 지식 그래프 회색 상자는 앞 단원에서 세운 개념, 점선 상자는 이 단원에서 새로 세울 개념이다. 화살표는 "이 개념이 있어야 저 개념을 이해할 수 있다"는 뜻이고, 원 속 숫자는 그 개념을 세우는 장이다

20

전자를 잃고 얻다 — 이온

출발점 원자가 전자 13장 · 이온화 에너지 18장

새 개념 이온 · 이온식

이어짐 이온 결합 21장 · 전자 이동 산화 환원 35장 · 산(H^+) 38장 · 염기(OH^-) 39장

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	이온	원자가 전자를 잃거나 얻어 전하를 띠게 된 알갱이.
2	양이온	전자를 잃어 양(+)전하를 띤 알갱이.
3	음이온	전자를 얻어 음(-)전하를 띤 알갱이.
4	나트륨 이온	나트륨 원자가 바깥 전자 1개를 잃어 생긴 Na^+ .
5	염화 이온	염소 원자가 전자 1개를 얻어 생긴 Cl^- .
6	전극	전류를 흘려 넣거나 받으려고 용액 따위에 담그는 도체.
7	이온식	원소 기호 오른쪽 위에 전하의 크기와 부호를 적어 이온을 나타낸 식.
8	산화 이온	산소 원자가 전자 2개를 얻어 생긴 O^{2-} .

7월 마지막 토요일 오후, 돌집 과학방. 장마가 걷히고 남한강 물빛이 짙어졌다. 태오는 기말고사 74점이 적힌 성적표를 접어 가방에 넣었고, 미숙은 소백두부에서 쓰는 소금 한 봉지를 탁자에 올려놓았다. 칠판 구석에는 상권 때 그린 나트륨과 염소의 전자 껍질 그림이 아직 지워지지 않고 남아 있었다.

석 교수 여름방학 첫 토요일이구나. 오늘부터 하권, 원자끼리 손잡는 이야기를 시작한다. 원자에서 시작해 보자. 원자는 (+)전하를 띤 원자핵과 그 둘레 껍질의 전자로 되어 있지. 양성자 수와 전자 수가 같아서 원자 전체는 전하가 0이었어.

태오 13장의 원자가 전자도 생각나요. 가장 바깥 껍질의 전자로. 나트륨은 2, 8, 1이라 1개, 염소는 2, 8, 7이라 7개예요.

하린 18장의 이온화 에너지도요! 원자에서 전자 하나를 떼어 내는 데 드는 에너지였죠?

석 교수 둘 다 잘 기억하는구나. 오늘 이야기는 그 두 가지에서 이어진다. 바깥 전자가 떠나거나 새로 들어오면 원자는 어떻게 될까?

전자 하나가 떠나면

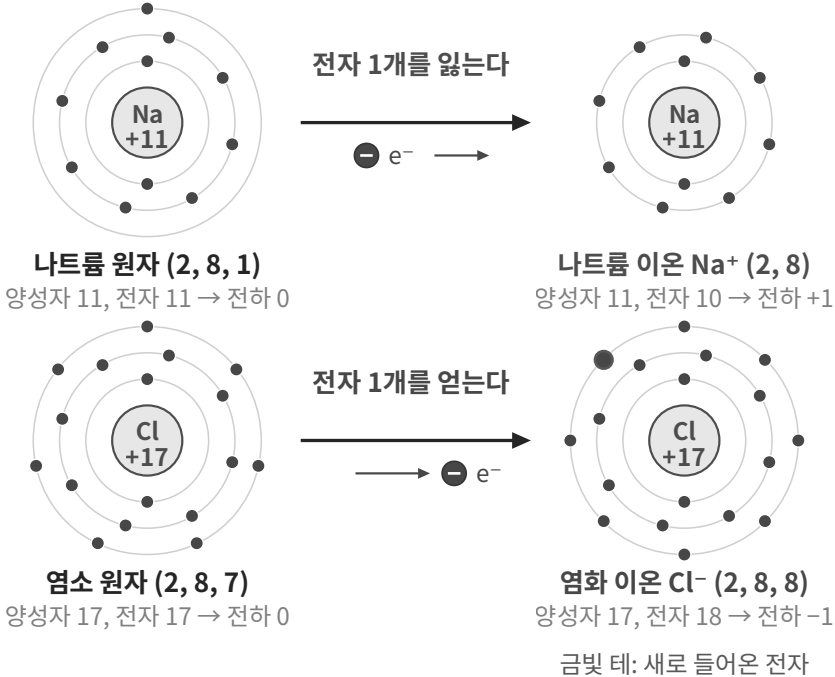
석 교수 나트륨 원자를 세어 보자. 양성자 11개가 +11, 전자 11개가 -11이라 합이 0이지. 여기서 바깥 전자 1개가 떠나면?

태오 +11에 -10이니깐 +1이요. 알갱이 전체가 (+)전하를 띠네요.

석 교수 그렇지. 이렇게 원자가 전자를 잃거나 얻어 전하를 띠게 된 알갱이를 **이온**이라 한다. 전자를 잃어 (+)전하를 띠면 **양이온**, 전자를 얻어 (-)전하를 띠면 **음이온**이야. 나트륨 원자는 전자 1개를 잃어 나트륨 이온 Na^+ 이 되고, 염소 원자는 전자 1개를 얻어 염화 이온 Cl^- 이 된다. 그림 20-1을 보렴.

미숙 가운데 원자핵 숫자는 그대로고 바깥 전자만 들고 나네요. 핵은 손대지 않는 건가요?

석 교수 네, 핵은 그대로입니다. 그래서 이온이 되어도 원소는 바뀌지 않지요. Na^+ 도 여전히 나트륨이고 원자 번호는 11입니다. 이온의 전하는 양성자 수에서 전자 수를 뺀 값이에요.



[그림 20-1] 원자가 이온이 되는 모습 나트륨 원자(2, 8, 1)는 바깥 전자 1개를 잃어 Na^+ (2, 8)이 되고, 염소 원자(2, 8, 7)는 전자 1개를 얻어 Cl^- (2, 8, 8)이 된다. 원자핵의 양성자 수는 그대로다(모식도)

하린 그러니까 전자가 나가면 (+), 들어오면 (-)라는 거죠? 부호가 거꾸로라 헛갈려요.

석 교수 전자를 “빛”이라고 생각해 보렴. 빛이 줄면 (+) 쪽, 빛이 늘면 (-) 쪽이지. 이 알갱이에 ‘이온’이라는 이름을 붙인 사람은 패러데이란다. 1834년 그는 용액에 전류를 흘리며 전극 쪽으로 옮겨 가는 것을 그리스 말로 ‘가는 것’이라는 뜻의 이온이라 불렀어¹.

석 교수 1916년 독일의 코셀은 원자가 전자를 잃거나 얻으면 비활성 기체와 같은 전자 배치가 된다고 설명했단다². Na^+ (2, 8)은 네온과, Cl^- (2, 8, 8)은 아르곤과 전자 배치가 같지.

왜 하나만 떠날까

태오 그런데 나트륨은 왜 딱 1개만 잃어요? 2개를 잃어서 Na^{2+} 이 될 수도 있잖아요.

석 교수 18장의 이온화 에너지로 따져 보자꾸나. 전자를 하나 떼 다음 둘째 전자를 또 떼는 에너지도 쥔 수 있단다. 나트륨은 첫째 전자에 5.14 eV, 둘째 전자에 47.3 eV가 들어³. 아홉 배가 넘지.

하린 왜 갑자기 그렇게 커져요?

석 교수 첫째 전자는 셋째 껍질에 혼자 있어서 핵에서 멀고, 안쪽 전자 10개가 핵의 당김을 가려 준단다. 둘째 전자는 핵에 훨씬 가까운 둘째 껍질에서 떼어 내야 해. (+)와 (-)는 가까울수록 세게 당기니 떼기가 훨씬 어렵지⁴.

미숙 장독 뚜껑 위에 얹은 것은 쉽게 집어 가도, 독 안의 된장은 뚜껑부터 열어야 꺼낼 수 있는 것과 같네요.

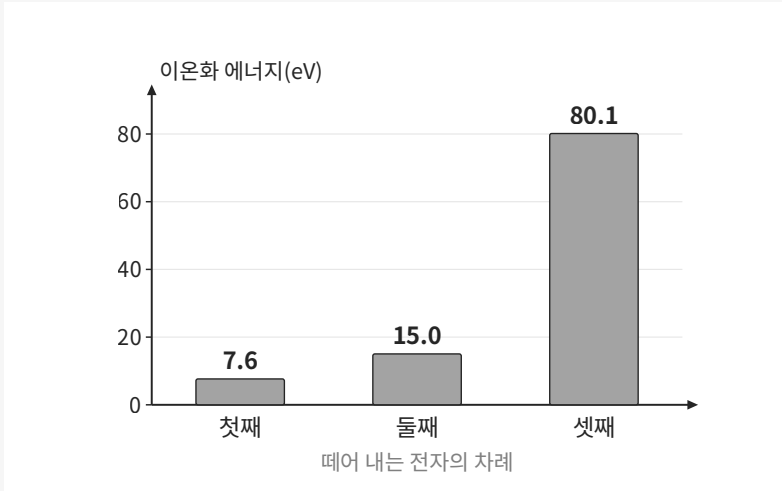
석 교수 좋은 비유입니다. 그래서 원자는 대개 바깥 껍질의 원자가 전자만 잃습니다. 원자가 전자가 1개인 1족은 +1, 2개인 2족은 +2, 3개인 13족 알루미늄은 +3의 양이온이 되지요. 반대로 원자가 전자가 6개인 16족은 2개, 7개인 17족은 1개를 얻어 -2, -1의 음이온이 됩니다².

하린 그러니까 원자가 전자가 적으면 잃고, 많으면 얻어서 가장 가까운 비활성 기체처럼 된다는 거죠?

석 교수 바로 그거란다. 크기도 달라져. 양이온은 바깥 껍질이 통째로 없어져 원자보다 작아지고, 음이온은 전자끼리 더 밀어내 원자보다 커진단다. Na^+ 의 반지름은 약 102 pm, Cl^- 은 약 181 pm이야⁵.

문제 20-1 이온화 에너지 막대 읽기

그림 20-2는 3주기 원소 X의 원자에서 전자를 하나씩 차례로 떼어 낼 때 드는 에너지를 첫째부터 셋째까지 나타낸 것이다. X가 가장 가까운 비활성 기체와 같은 전자 배치의 이온이 될 때, 그 이온식으로 가장 알맞은 것은?



[그림 20-2] 문제 20-1의 그림 원자 X의 첫째·둘째·셋째 이온화 에너지(단위 eV)를 막대로 나타냈다(자료: NIST 원자 스펙트럼 데이터베이스)

- ① X^+
- ② X^{2+}
- ③ X^{3+}
- ④ X^{2-}
- ⑤ X^-

태오 첫째 막대가 제일 낮으니까 하나만 떼기 쉽다는 거죠. ① X^+ 요!

석 교수 조건을 다시 읽어 보렴. 막대가 몇 개고, 어디서 갑자기 커지지?

하린 첫째가 7.6, 둘째가 15.0이라 두 배쯤인데, 셋째는 80.1이에요. 셋째에서 확 뛰어요.

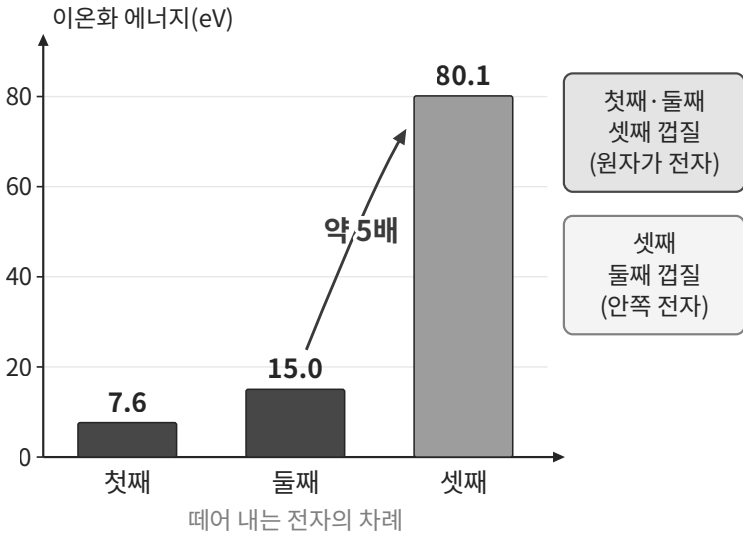
석 교수 그림 계획을 세우자. 갑자기 크게 뛰는 곳 바로 앞까지가 바깥 껍질의 전자, 곧 원자가 전자란다.

태오 뛰기 전까지 두 개니까 원자가 전자가 2개네요.

석 교수 그 두 개를 떼면 무엇이 남지?

미숙 안쪽 껍질 2, 8만 남으니 네온과 같은 배치예요. 전하는 +2고요.

석 교수 그림 20-3처럼 막대마다 전자가 나오는 껍질을 적어 보면 한눈에 보인단다. 정답은 ②야. X는 3주기 2족의 마그네슘이란다³.



[그림 20-3] 풀이 그림 첫째·둘째 전자는 셋째 껍질(원자가 전자)에서, 셋째 전자는 핵에 가까운 둘째 껍질에서 나온다. 껍질을 넘을 곳에서 에너지가 약 5배로 된다

하린 둘째도 첫째보다 두 배쯤 큰데, 그건 괜찮아요?

석 교수 전자 하나가 빠지면 남은 전자를 핵이 조금 더 세게 붙잡아서 차례로 조금씩 커진단다. 껍질을 넘을 때 크게 뛰는 것이 핵심이야.

태오 “처음 크게 뛰는 곳 앞의 개수가 잃는 전자 수”네요. 이걸 외워 둘게요.

이온식 쓰기

석 교수 이온은 원소 기호 오른쪽 위에 전하의 크기와 부호를 적어 나타낸단다.

이것을 **이온식**이라 해. 숫자를 먼저, 부호를 뒤에 쓰고, 1은 쓰지 않아.

Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , O^{2-} , F^- , Cl^- 처럼 말이야. 그림 20-4에 1~20번 원소가 흔히 만드는 이온을 모았단다.

1족	2족	13족	14족	15족	16족	17족	18족
H —							He —
Li Li⁺	Be Be²⁺	B —	C —	N N³⁻	O O²⁻	F F⁻	Ne —
Na Na⁺	Mg Mg²⁺	Al Al³⁺	Si —	P P³⁻	S S²⁻	Cl Cl⁻	Ar —
K K⁺	Ca Ca²⁺						
+1	+2	+3		-3	-2	-1	

주황: 양이온, 파랑: 음이온, 회색: 이온을 거의 만들지 않음
 흰 칸의 수소는 성질이 특별해 따로 다룬다

[그림 20-4] 주기율표 1~20번 원소가 흔히 만드는 이온 1족 +1, 2족 +2, 13족 알루미늄 +3, 15족 -3, 16족 -2, 17족 -1이다. 18족은 이온을 거의 만들지 않고, 탄소·규소처럼 원자가 전자가 4개인 원소는 이온보다 다른 방식으로 결합한다

하린 족 번호만 보면 전하가 보여요! 이름은 어떻게 불러요?

석 교수 양이온은 원소 이름 뒤에 ‘이온’을 붙여 나트륨 이온, 마그네슘 이온이라 해. 음이온은 ‘~화 이온’으로 불러서 염화 이온, 산화 이온, 플루오린화 이온이 된단다.

미숙 소금 봉지 뒤에 적힌 ‘나트륨 ○○ mg’도 이 나트륨 이온이지요?

석 교수 네. 음식 속 나트륨은 원자가 아니라 Na⁺으로 들어 있지요. 우리 신경도 Na⁺이 세포 안으로 드나드는 흐름으로 신호를 보냅니다. 1949년 호지킨과 카츠는 오징어 신경 바깥 용액의 나트륨 이온을 줄이면 신경 신호가 작아지는 것을 보였어요⁶. 태오 휴대전화의 리튬 이온 전지도 Li⁺이 두 전극 사이를 오가며 충전과 방전을 하고요⁷.

문제 20-2 산소가 이온이 될 때

산소 원자(원자 번호 8)가 가장 가까운 비활성 기체와 같은 전자 배치의 이온이 될 때, (1) 잃거나 얻는 전자 수와 이온식, (2) 그 이온의 양성자 수와 전자 수, (3) 전자 배치가 같은 비활성 기체를 쓰시오.

태오 산소는 원자가 전자가 6개니까 6개를 다 잃으면 안쪽 2개만 남아요. O^{6+} 아니에요?

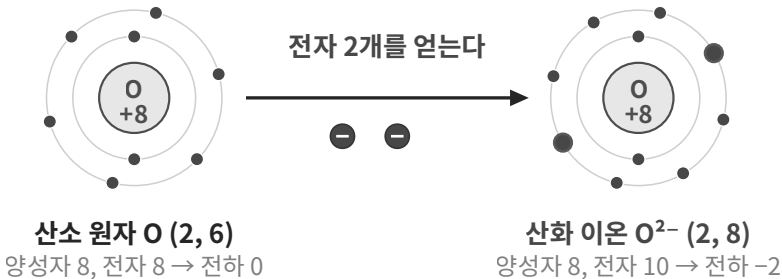
석 교수 조건을 다시 보자. ‘가장 가까운’ 비활성 기체라고 했지. 6개를 잃는 것과 2개를 얻는 것 중 어느 쪽이 가까울까?

하린 2개를 얻는 쪽이 훨씬 적게 움직여요.

석 교수 에너지로도 확인해 보자. 산소 원자의 첫째 이온화 에너지는 13.6 eV로 나트륨의 두 배가 넘는단다³. 전자 여섯 개를 떼는 건 어렵겠지.

미숙 그럼 2개를 얻어서 2, 8이 되네요. 전하는 양성자 8에서 전자 10을 빼니 -2, O^{2-} 이고요.

석 교수 그림 20-5로 확인해 보자. 모범 답은 (1) 전자 2개를 얻어 O^{2-} , (2) 양성자 8개와 전자 10개, (3) 네온(2, 8)이란단다.



[그림 20-5] 풀이 그림 산소 원자(2, 6)가 전자 2개를 얻어 산화 이온 O^{2-} (2, 8)이 된다. 양성자 8개, 전자 10개라 전하는 -2다

태오 이름은 산소 이온이예요?

석 교수 음이온이니 산화 이온이라 부른단다. 그림에서 핵의 +8은 그대로인 것도 보이지?

하린 원자가 전자가 적으면 잃고, 많으면 얻고, 목표는 가까운 비활성 기체!
오늘 것은 이 한 줄이네요.

오늘의 정리

- 이온은 원자가 전자를 잃거나 얻어 전하를 띤 알갱이다. 전자를 잃으면 양이온, 얻으면 음이온이며, 원자핵(양성자 수)은 그대로다.
- 이온의 전하 = 양성자 수 - 전자 수. 원자는 대개 원자가 전자만 잃거나 모자란 만큼 얻어 가장 가까운 비활성 기체와 같은 전자 배치가 된다.
- 이온화 에너지가 처음 크게 뛰는 곳 앞까지의 전자 수가 원자가 전자 수다.
- 이온식은 원소 기호 오른쪽 위에 전하를 쓴다(Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , O^{2-} , Cl^-). 음이온 이름은 ‘~화 이온’이다.

스스로 풀어 보기 정답과 해설은 부록 C

- 이온과 그 전자 배치를 옳게 짝지은 것은?
 ① K^+ - 2, 8, 8, 1
 ② Ca^{2+} - 2, 8, 8
 ③ F^- - 2, 8, 1
 ④ S^{2-} - 2, 8, 6
 ⑤ Al^{3+} - 2, 8, 3
- 리튬(원자 번호 3)의 첫째·둘째 이온화 에너지는 각각 5.39 eV, 75.6 eV이다. 리튬이 만드는 이온의 이온식을 쓰고, 둘째 값이 훨씬 큰 까닭을 전자 껍질로 설명하시오.

과학의 최전선 이온을 하나씩 가두어 재는 기술

여기까지 밝혀졌다 — 이온은 전하를 띠므로 전기장으로 붙잡을 수 있다. 파울은 빠르게 방향이 바뀌는 전기장으로 ‘벽 없는 덫’을 만들어 이온 하나를 오래 가두고 들여다보는 길을 열었다⁸. 오늘날에는 덫에 가둔 알루미늄 이온 하나와 수은 이온 하나로 만든 두 시계의 진동수 비를 소수점 아래 열일곱째 자리까지 맞춰 낸다⁹. **아직 모른다** — 이런 시계로 자연의 기본 상수가 아주 느리게 변하는지 찾고 있다. 두 이온 시계의 비를 한 해 동안 거듭 재어 미세 구조 상수의 변화에 한계를 두었지만, 그 한계보다 작은 변화가 있는지는 아직 모른다⁹. **가설과 연구** — 더 정밀하게 재려면 이온을 더 고요하게 붙잡아야 한다. 덫을 흔드는 전기장의 진동수를 낮춰 이온의 쓸데없는 떨림을 줄인 알루미늄 이온 시계는 오차를 10^{-18} 아래로 낮추었다¹⁰.

이 장의 출처

1. Faraday, M. (1834). Experimental researches in electricity.-Seventh Series. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 77–122. <https://doi.org/10.1098/rstl.1834.0008>
2. Kossel, W. (1916). Über Moleklbildung als Frage des Atombaus. Annalen der Physik, 354(3), 229–362. <https://doi.org/10.1002/andp.19163540302>
3. Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader, J., & NIST ASD Team. (2024). NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.12): Ionization energies. National Institute of Standards and Technology. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/ionEnergy.html>
4. Coulomb, C.-A. (1785). Premier mémoire sur llectricit et le magntisme. Histoire de l'Académie Royale des Sciences, 569–577.
5. Shannon, R. D. (1976). Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. Acta Crystallographica Section A, 32(5), 751–767. <https://doi.org/10.1107/s0567739476001551>
6. Hodgkin, A. L., & Katz, B. (1949). The effect of sodium ions on the electrical activity of the giant axon of the squid. The Journal of Physiology, 108(1), 37–77. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1949.sp004310>
7. Goodenough, J. B., & Park, K. (2013). The Li-Ion Rechargeable Battery: A Perspective. Journal of the American Chemical Society, 135(4), 1167–1176. <https://doi.org/10.1021/ja3091438>
8. Paul, W. (1990). Electromagnetic traps for charged and neutral particles. Reviews of Modern Physics, 62(3), 531–540. <https://doi.org/10.1103/revmodphys.62.531>
9. Rosenband, T., Hume, D. B., Schmidt, P. O., Chou, C. W., Brusch, A., Lorini, L., Oskay, W. H., Drullinger, R. E., Fortier, T. M., Stalnaker, J. E., Diddams, S. A., Swann, W. C., Newbury, N. R., Itano, W. M., Wineland, D. J., & Bergquist, J. C. (2008). Frequency Ratio of Al+and Hg+Single-Ion Optical Clocks; Metrology at the 17th Decimal Place. Science, 319(5871), 1808–1812. <https://doi.org/10.1126/science.1154622>
10. Brewer, S. M., Chen, J., Hankin, A. M., Clements, E. R., Chou, C. W., Wineland, D. J., Hume, D. B., & Leibrandt, D. R. (2019). Al + 27 Quantum-Logic Clock with a Systematic Uncertainty below 10^{-18} . Physical Review Letters, 123(3), 033201. <https://doi.org/10.1103/physrevlett.123.033201>

왜 원자는 결합할까 — 옥텟과 이온 결합

출발점 전기적 인력·척력 4장 · 원자가 전자 13장 · 비활성 기체 18장 · 이온 20장

새 개념 옥텟 · 이온 결합 · 이온 결정

이어짐 이온 결합 물질의 성질 22장 · 공유 결합 23장 · 염 41장

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	결합	원자나 이온이 서로 붙들려 에너지가 낮은 한 덩어리를 이루는 것.
2	옥텟	바깥 껍질에 전자 8개가 들어 이룬 안정한 무리.
3	옥텟 규칙	결합할 때 바깥 전자가 8개(첫째 껍질은 2개)가 되는 쪽으로 가는 경향.
4	정전기 인력	양이온과 음이온처럼 반대 전하 사이에 작용하는 끌어당기는 힘.
5	이온 결합	양이온과 음이온이 정전기 인력으로 끌어당겨 붙는 것.
6	쿨롱의 법칙	두 전하 사이의 힘이 전하의 곱에 비례하고 거리의 제곱에 반비례한다는 법칙.
7	이온 결정	양이온과 음이온이 규칙적으로 번갈아 쌓인 고체.
8	염화 칼슘	Ca^{2+} 하나와 Cl^- 둘이 모여 이룬 물질 CaCl_2 .

같은 토요일 오후 네 시, 돌집 과학방. 창밖에서 매미 소리가 쏟아졌다. 미숙이 내온 콩국물을 한 잔씩 비우자, 석 교수가 고무풍선 두 개를 붙여 털 스웨터에 문질렀다. 풍선 하나를 벽에 대자 풍선이 떨어지지 않고 붙었고, 두 풍선을 실에 매달아 가까이 가져가자 서로 밀어내며 벌어졌다.

석 교수 4장에서 본 것 기억나니? 같은 전하끼리는 밀고, 다른 전하끼리는 당긴다고 했지. 원자에서 시작해 보자. 20장에서 나트륨은 전자를 잃어 Na^+ 이 되고, 염소는 전자를 얻어 Cl^- 이 되었어. 그런데 조금 알갱이 속에서 이 둘은 왜 떨어지지 않고 붙어 있을까?

태오 나트륨이 염소한테 전자를 줬으니까요. 전자를 주고받은 게 결합 아니에요?

석 교수 많은 사람이 그렇게 말한단다. 오늘은 그 말이 정확한지 따져 보자꾸나.

미숙 그러고 보면 신기해요. 16장에서 교수님이 보여 주신 나트륨은 칼로 잘리는 무른 금속이었고, 17장의 염소는 코를 찌르는 누르스름한 독한 기체였잖아요. 그 둘이 만나서 제가 날마다 두부에 치는 소금이 된다니요.

석 교수 그렇지요. 성질이 이렇게 통째로 바뀐다는 것은 원자들이 전혀 새로운 방식으로 묶였다는 뜻입니다. 오늘은 그 묶는 힘의 정체를 찾아봅시다.

여덟 개로 가득 찬 껍질, 옥텟

석 교수 18장의 비활성 기체부터 떠올려 보자. 헬륨은 2, 네온은 2, 8, 아르곤은 2, 8, 8이라 바깥 껍질이 가득 차 있어서 다른 원자와 거의 반응하지 않았지.

하린 그리고 20장에서 Na^+ 은 네온, Cl^- 은 아르곤과 전자 배치가 같았어요.

석 교수 잘이었구나. 1916년 미국의 루이스는 원자의 바깥 전자 여덟 개를 정육면체의 여덟 꼭짓점에 놓는 그림으로 결합을 설명하려 했단다¹. 1919년 랭뮤어는 이 여덟 전자의 안정한 무리를 **옥텟**이라 불렀지². 원자들이 결합할 때 바깥 껍질의 전자가 8개(첫째 껍질만 있으면 2개)가 되는 쪽으로 가는 경향을 **옥텟 규칙**이라 해.

태오 원자가 여덟 개를 채우고 싶어서 그러는 거예요?

석 교수 원자에게는 바라는 마음이 없단다. 그 배치일 때 에너지가 낮아서 그쪽으로 가는 것뿐이야. 학생들이 “원자는 껍질을 채우려 한다”는 말로만 결합을 설명하다가 오히려 헷갈린다는 연구도 있단다³.

하린 그럼 옥텟 규칙은 언제나 맞는 법칙이예요?

석 교수 이 책에서 다루는 1~20번 원소에서는 잘 맞는 어림 규칙이라고 기억해 두렴. 수소와 리튬처럼 첫째 껍질이 바깥 껍질이 되는 원자는 8개가 아니라 2개일 때 헬륨과 같아지지. 규칙을 외우기보다, 늘 가까운 비활성 기체의 전자 배치를 떠올려 보는 게 좋다.

태오 금속은 이온화 에너지가 작아서 잃는 쪽, 비금속은 얻는 쪽이었으니까, 이온 결합은 금속과 비금속이 만날 때 잘 생기겠네요.

석 교수 좋은 짐작이다. 소금처럼 1족 금속과 17족 비금속이 만나는 경우가 대표적이란다.

전자를 옮기는 것만으로는 손해다

석 교수 그럼 에너지를 직접 세어 보자. 나트륨 원자에서 전자 하나를 떼는 데 5.14 eV가 들어⁴. 염소 원자는 전자 하나를 받으면서 3.61 eV를 내놓지⁵. 전자 하나가 옮겨 간 결과는 어떨까?

미숙 5.14를 쓰고 3.61을 돌려받으니... 1.53 eV를 손해 보네요. 장사로 치면 밀지는 거래예요.

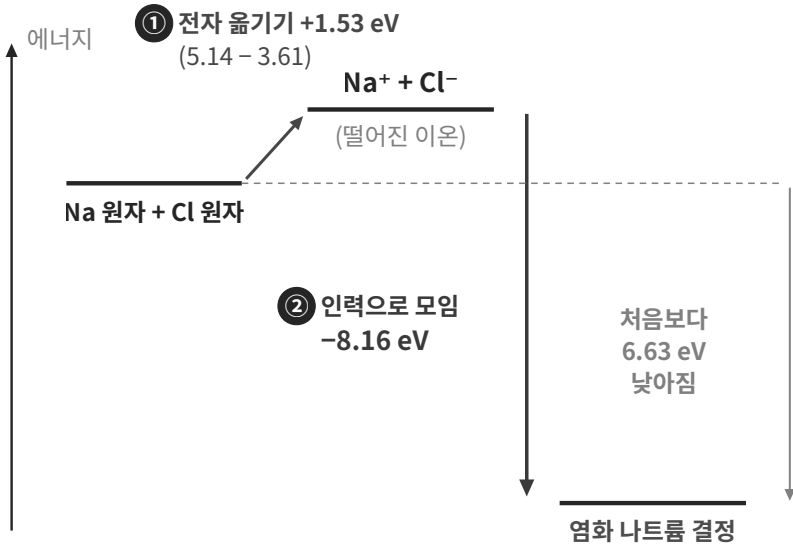
석 교수 그렇습니다. 전자를 옮기기만 해서는 오히려 에너지가 더 들어요. 그런데 그렇게 생긴 Na^+ 과 Cl^- 은 반대 전하라 서로 당기지요. 둘이 다가가 결정을 이루면 이온 한 쌍마다 약 8.16 eV가 나옵니다⁵. 그림 21-1의 계단을 보세요.

하린 전자가 옮겨 갈 때는 계단을 올라가고, 두 이온이 붙을 때 훨씬 깊이 내려가네요!

석 교수 그래서 결합을 만드는 힘은 전자를 주고받는 일이 아니라, 그 결과 생긴 양이온과 음이온 사이의 **정전기 인력**이란다. 전자의 이동은 이온을 만드는 앞 단계일 뿐이야. 이렇게 양이온과 음이온이 정전기 인력으로 끌어당겨 이루는 결합을 **이온 결합**이라 해⁶.

태오 그럼 전하가 크면 더 세게 붙겠네요?

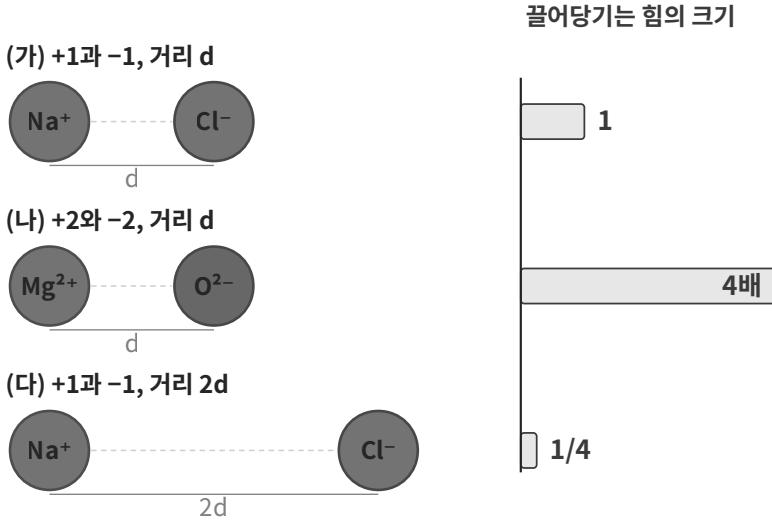
석 교수 그렇지. 1785년 쿨롱은 두 전하 사이의 힘이 거리의 제곱에 반비례한다는 것을 켜었다⁷. 전하가 클수록, 이온이 가까울수록 인력이 세지. Mg^{2+} 과 O^{2-} 은 Na^+ 과 Cl^- 보다 훨씬 세게 붙는단다. 그림 21-2에서 화살표 길이를 건주어 보렴.



[그림 21-1] 염화 나트륨이 생길 때의 에너지 계단(이온 한 쌍 기준) 전자를 옮겨 이온을 만드는 데 1.53 eV가 들지만(①), 두 이온이 정전기 인력으로 모여 결정이 되면 8.16 eV가 나와(②) 처음보다 6.63 eV 낮아진다(자료: 무기화학 교재의 NaCl 값)

태오 전하가 두 배씩이면 2 곱하기 2라서 4배네요. 거리가 두 배면 반대로 4분의 1이고요.

하린 그러니까 전자가 옮겨 가서 이온이 생기고, 그 이온들이 풍선처럼 서로 당겨서 붙는 게 결합이라는 거죠?



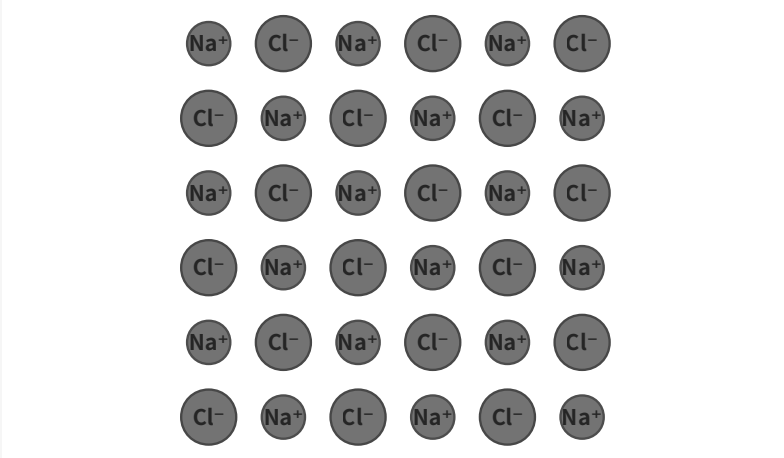
[그림 21-2] 이온 사이 인력의 크기 견주기 같은 거리라면 전하가 +2와 -2인 짝은 +1과 -1인 짝보다 4배 세게 당기고, 전하가 같아도 거리가 2배가 되면 인력은 4분의 1로 준다(쿨롱의 법칙, 모식도)

분자가 없는 결정

석 교수 그림 소금 속에서 이온들은 어떻게 놓여 있을까? 1913년 영국의 브래그는 소금 결정에 X선을 쏘여 생긴 무늬로 그 배열을 알아냈단다⁸. Na^+ 과 Cl^- 이 가로·세로·높이로 번갈아 놓인 정육면체 모양의 배열이었지. 이렇게 양이온과 음이온이 규칙적으로 쌓인 고체를 **이온 결정**이라 해⁹.

문제 21-1 소금 결정 한 면 읽기

그림 21-3은 염화 나트륨 결정의 한 면을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



[그림 21-3] 문제 21-1의 그림 염화 나트륨 결정의 한 면. Na^+ 과 Cl^- 이 번갈아 놓여 있다(보기 좋게 두 이온의 크기를 실제보다 비슷하게 그렸다)

<보기> ㄱ. Na^+ 과 Cl^- 의 수의 비는 1 : 1이다. ㄴ. Na^+ 하나는 이웃한 Cl^- 하나와만 짝을 지어 NaCl 분자를 이룬다. ㄷ. 어느 이온이든 가장 가까운 이웃은 반대 전하의 이온이다.

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

태오 화학식이 NaCl 이니가 NaCl 분자가 있는 거죠. 셋 다 맞아요. ⑤번!

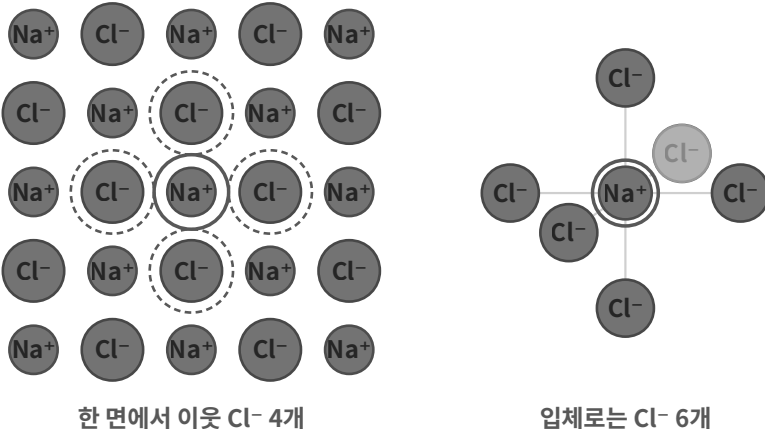
석 교수 그림을 다시 보렴. 가운데쯤에 있는 Na^+ 하나를 골라 보자. 그 Na^+ 에 맞닿은 Cl^- 은 몇 개지?

하린 위, 아래, 왼쪽, 오른쪽... 네 개요. 모두 거리가 똑같아요.

석 교수 그림 21-4처럼 입체로 보면 앞과 뒤에도 하나씩 있어서 모두 여섯 개란다. 그럼 그 여섯 가운데 어느 것이 이 Na^+ 의 짝일까?

태오 어... 똑같이 붙어 있으니 누구 하나를 짝이라고 할 수가 없네요.

석 교수 그래서 $\hookrightarrow$ 이 틀렸단다. 이온 결정에는 따로 떼어 낼 수 있는 분자가 없어. NaCl이라는 화학식은 Na^+ 과 Cl^- 의 수가 1 : 1이라는 비를 나타낼 뿐이지. 조금 속에 NaCl 분자가 있다고 여기는 학생이 많다는 조사도 있단다¹⁰.



[그림 21-4] 풀이 그림 가운데 Na^+ 하나를 둘러싼 Cl^- 은 한 면에서 4개, 앞뒤까지 합하면 6개이고 모두 같은 거리에 있다. 어느 하나도 ‘짝’이 아니다

미숙 두부 판에 칸칸이 흰 두부, 검은콩 두부를 번갈아 놓은 것 같네요. 어느 칸이 어느 칸의 짝이라고 할 수 없고, 전체에서 반반인 것만 말할 수 있고요.

석 교수 딱 맞는 비유입니다. $\neg$ 은 번갈아 놓였으니 1 : 1이고, $\hookrightarrow$ 은 이웃이 늘 반대 전하라 끌어당기는 것이지요. 정답은 ③입니다.

문제 21-2 칼슘과 염소가 만나면

칼슘 원자(전자 배치 2, 8, 8, 2)와 염소 원자(2, 8, 7)가 이온 결합을 이룬다. 두 원자가 만드는 이온의 이온식을 각각 쓰고, 이온 결합 물질의 화학식을 전하의 합으로 구하시오.

미숙 염화 칼슘이네요! 가게 옷장에 넣는 제습제 통에 적혀 있어요.

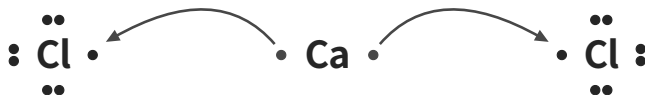
태오 칼슘은 2개를 잃어 Ca^{2+} , 염소는 1개를 얻어 Cl^- . 하나씩 만나니까 CaCl_2 이요.

석 교수 전하를 더해 보렴. 결정 전체의 전하는 얼마가 되어야 하지?

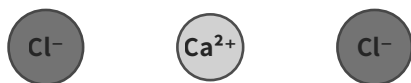
하린 소금 결정은 전기를 띠지 않으니까 0이어야 해요. 그런데 +2와 -1을 더하면 +1이 남아요.

석 교수 그럼 계획은 하나야. 합이 0이 되도록 이온의 개수를 맞추는 거지. 그림 21-5를 보자.

① 칼슘이 내놓은 전자 2개를 염소 둘이 하나씩 받는다



② 이온이 되어 정전기 인력으로 모인다



전하의 합: $(+2) + 2 \times (-1) = 0 \rightarrow \text{CaCl}_2$

$\text{Ca}^{2+} : \text{Cl}^- = 1 : 2$

[그림 21-5] 풀이 그림 칼슘 원자가 내놓는 전자 2개를 염소 원자 2개가 하나씩 받아, Ca^{2+} 하나와 Cl^- 둘이 된다. 전하의 합은 $(+2) + 2 \times (-1) = 0$ 이다

태오 칼슘이 잃은 전자 2개를 염소 둘이 하나씩 받는군요. 그럼 Ca^{2+} 하나에 Cl^- 둘, 1 : 2예요.

석 교수 모범 답은 “ Ca^{2+} 과 Cl^- , 화학식 CaCl_2 ”란다. 화학식은 이온 수의 가장 간단한 비를 아래 첨자로 적지. 1은 쓰지 않고.

미숙 저울 양쪽 추를 맞추듯이, 잃은 전자 수와 얻은 전자 수를 맞추면 되는 거네요.

석 교수 네. 되돌아보면 전자 수를 맞추는 것과 전하의 합을 0으로 만드는 것은 같은 일입니다.

오늘의 정리

- 원자들이 결합할 때 바깥 껍질의 전자가 8개(첫째 껍질은 2개)가 되는 쪽으로 가는 경향을 옥텟 규칙이라 한다. 원자가 무엇을 바라서가 아니라 그 배치일 때 에너지가 낮기 때문이다.
- 전자를 옮겨 이온을 만드는 일만으로는 에너지가 더 든다. 양이온과 음이온이 정전기 인력으로 모일 때 훨씬 큰 에너지가 나온다. 이 인력이 이온 결합이다.
- 이온 결정에서는 이웃이 늘 반대 전하이며 분자가 따로 없다. NaCl은 이온 수의 비를 나타낸다.
- 이온 결합 물질의 화학식은 전하의 합이 0이 되도록 이온 수를 맞춘다(NaCl, MgO, CaCl₂).

스스로 풀어 보기 정답과 해설은 부록 C

1. 이온 결합에 대한 설명으로 옳은 것은?
 - ① 전자가 옮겨 가는 일 자체가 결합이다.
 - ② 양이온과 음이온이 정전기 인력으로 끌어당겨 이루어진다.
 - ③ 염화 나트륨 결정은 NaCl 분자가 모인 것이다.
 - ④ 원자는 옥텟을 원하기 때문에 전자를 내준다.
 - ⑤ 이온의 전하가 클수록 이온 사이의 인력은 약해진다.
2. 알루미늄(2, 8, 3)과 산소(2, 6)가 이온 결합을 이룰 때 생기는 물질의 화학식을 쓰고, 전하의 합으로 그 까닭을 설명하시오.

과학의 최전선 | 결합을 원자 수준에서 짚기

여기까지 밝혀졌다 — 2009년 연구진은 바늘 끝에 일산화 탄소 분자 하나를 붙인 원자간력 현미경으로 분자 속 원자들의 배열을 전에 없이 선명하게 찍었다¹¹. 2012년에는 같은 방법으로 분자 속 결합마다 밝기와 겉보기 길이가 다른 것까지 보여, 결합의 차수를 가려냈다¹². 소금 결정 표면 위 나트륨 이온 하나에 물 분자가 몇 개 붙었는지도 이런 현미경으로 본다¹³. **아직 모른다** — 그러나 영상 속 선이 곧 결합이라고 말할 수는 없다. 계산해 보니 분자 사이에 보이는 날카로운 선은 전자가 많이 모인 진짜 결합이 아니라 바늘 끝이 휘어서 생긴 능선일 수 있었다¹⁴. 바늘의 휘어짐까지 담은 새 이론이 필요하다는 과제가 남아 있다¹⁵. **가설과 연구** — 연구자들은 바늘 끝의 움직임에 계산에 넣어 영상을 다시 풀이하며, 무엇이 원자이고 무엇이 결합의 흔적인지 가려내는 기준을 세우고 있다^{14,15}.

이 장의 출처

- Lewis, G. N. (1916). THE ATOM AND THE MOLECULE. Journal of the American Chemical Society, 38(4), 762–785. <https://doi.org/10.1021/ja02261a002>
- Langmuir, I. (1919). THE ARRANGEMENT OF ELECTRONS IN ATOMS AND MOLECULES. Journal of the American Chemical Society, 41(6), 868–934. <https://doi.org/10.1021/ja02227a002>
- Taber, K. S. (1998). An alternative conceptual framework from chemistry education. International Journal of Science Education, 20(5), 597–608. <https://doi.org/10.1080/0950069980200507>
- Kramida, A., Ralchenko, Yu., Reader, J., & NIST ASD Team. (2024). NIST Atomic Spectra Database (ver. 5.12): Ionization energies. National Institute of Standards and Technology. <https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/ionEnergy.html>
- Weller, M., Overton, T., Rourke, J., & Armstrong, F. (2018). Inorganic chemistry (7th ed.). Oxford University Press.
- Kossel, W. (1916). Über Molekülbildung als Frage des Atombaus. Annalen der Physik, 354(3), 229–362. <https://doi.org/10.1002/andp.19163540302>
- Coulomb, C.-A. (1785). Premier mémoire sur l'électricité et le magnétisme. Histoire de l'Académie Royale des Sciences, 569–577.
- 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>
- 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.
- Butts, B., & Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. Research in Science Education, 17(1), 192–201. <https://doi.org/10.1007/bf02357187>
- 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>
- Gross, L., Mohn, F., Moll, N., Schuler, B., Criado, A., Guitián, E., Peña, D., Gourdon, A., & Meyer, G. (2012). Bond-Order Discrimination by Atomic Force Microscopy. Science, 337(6100), 1326–1329. <https://doi.org/10.1126/science.1225621>

13. 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>
14. Hapala, P., Kichin, G., Wagner, C., Tautz, F. S., Temirov, R., & Jelínek, P. (2014). Mechanism of high-resolution STM/AFM imaging with functionalized tips. *Physical Review B*, 90(8), 085421. <https://doi.org/10.1103/physrevb.90.085421>
15. 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>

2 2

이온 결합 물질의 성질 — 깨지고, 녹으면 전기가 통한다

출발점 이온 결정 21장

새 개념 이온 결합 물질의 성질

이어짐 결합으로 물질 가려내기 26장

기본개념 이 장의 개념 9개 — 먼저 외우고, 그다음에 읽자

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

1	천일염	바닷물을 염전에 가두고 햇볕과 바람으로 물을 날려 얻은 소금.
2	정제염	바닷물에서 다른 이온을 걸러 내 거의 염화 나트륨만 남긴 소금.
3	간수	천일염에서 빠지는, 마그네슘 이온이 들어 쓴맛을 내는 물.
4	전류	전하를 띤 알갱이가 한 방향으로 움직이는 흐름.
5	수화	물에 녹은 이온 둘레를 물 분자가 둘러싸는 것.
6	수용액	물질이 물에 녹아 있는 용액.
7	반발력	같은 전하끼리 서로 밀어내는 힘.
8	이온 액체	양이온과 음이온만으로 되어 있으면서 상온에서 액체인 물질.
9	용매	물처럼 다른 물질을 녹이는 물질.

8월 첫 토요일 오후, 돌집 과학방. 한바탕 소나기가 지나가고 마당의 돌이 김을 뿜었다. 미숙이 소백두부 부엌에서 쓰는 소금 두 병을 들고 왔다. 한 병은 젓빛이 도는 붉은 천일염, 다른 병은 눈처럼 고운 정제염이었다. 탁자 위에는 석 교수가 챙겨 둔 돋보기, 건전지와 꼬마전구, 전선, 증류수 한 병이 놓여 있었다.

미숙 김장할 땐 천일염, 두부 간할 땐 정제염을 써요. 돌이 뭐가 다른 건지 늘 궁금했어요.

석 교수 오늘은 소금의 성질을 직접 확인해 봅시다. 원자에서 시작해 보자. 21장에서 소금은 Na^+ 과 Cl^- 이 정전기 인력으로 번갈아 쌓인 이온 결정이라 했지. 오늘 볼 성질은 모두 그 배열에서 나온단다.

두 소금, 같은 결정

석 교수 천일염은 바닷물을 염전에 가두고 햇볕과 바람으로 물을 날려 얻은 소금입니다. 그래서 무기질이 많이 남아 있지요¹. 염화 나트륨 말고도 마그네슘 이온, 칼슘 이온, 칼륨 이온 같은 다른 이온이 조금 섞여 있어요. 정제염은 바닷물에서 그런 것들을 걸러 내 거의 염화 나트륨만 남긴 소금이고요.

미숙 그러고 보니 천일염 포대를 오래 세워 두면 밑으로 싹싹한 물이 빠져요. 어른들은 그걸 간수라고 불렀지요.

석 교수 네, 그 쓴맛을 내는 것이 주로 마그네슘 이온이 든 물입니다. 간수로 두부를 굳히는 까닭은 29장에서 자세히 이야기하지요. 천일염을 묵혀 쓰는 것도 간수를 빼서 쓴맛을 줄이려는 지혜랍니다.

하린 돋보기로 보니 돌 다 알갱이가 네모나요! 천일염은 크고 울퉁불퉁한데, 모서리를 보면 정육면체가 겹쳐 있어요.

석 교수 잘 보았구나. 21장에서 1913년 브래그가 X선으로 밝힌 대로 소금 속 이온은 정육면체 모양으로 쌓여 있단다². 그 배열이 눈에 보이는 크기까지 자라니 알갱이도 네모지게 되는 거야. 천일염이든 정제염이든 이 뼈대는 같지.

태오 알갱이가 이렇게 단단한데, 녹으려면 얼마나 뜨거워야 해요?

석 교수 염화 나트륨은 801 °C에서 녹고 1465 °C에서 끓는단다³. 사방의 이웃이 모두 반대 전하라 이온 하나를 떼어 내기가 무척 어렵기 때문이지. 부엌

가스 불로 달군 프라이팬으로는 어림도 없어. 녹은 소금은 매우 위험하니 절대 따라 하지 말자.

하린 그럼 21장에서 본 Mg^{2+} 과 O^{2-} 로 된 산화 마그네슘은 더 높은 온도에서 녹겠네요? 전하가 두 배씩이라 인력이 네 배였잖아요.

석 교수 좋은 추리구나. 실제로 산화 마그네슘은 소금보다 훨씬 높은 온도에서야 녹아서, 뜨거운 가마의 안쪽 벽돌 재료로 쓰인단다. 이온의 전하가 클수록, 이온 사이가 가까울수록 녹는점이 높아지는 경향이 있지⁴.

누르면 쪼개진다

석 교수 태오야, 천일염 한 알을 손가락 뒷면으로 지그시 눌러 보렴.

태오 어, 딱 소리가 나면서 쪼개졌어요! 찰흙처럼 눌릴 줄 알았는데, 반듯한 면을 따라 갈라졌어요. 조각도 여전히 네모나고요.

하린 얼음 사탕은 눌러도 부서지기만 하던데, 소금은 반듯하게 잘리는 게 신기해요.

석 교수 단단한 것과 깨지지 않는 것은 다르단다. 왜 이렇게 갈라지는지는 조금 뒤에 문제로 따져 보자꾸나. 먼저 전기부터 흘려 보자.

녹으면 통한다

석 교수 건전지와 꼬마전구를 전선으로 잇고, 두 전선 끝을 전극으로 삼자. 먼저 마른 소금 더미에 꽂아 보렴.

태오 전구가 안 켜져요. 증류수에 담가도 꺼져 있고요.

석 교수 이번에는 증류수에 소금 한 손가락을 녹여서 담가 보자.

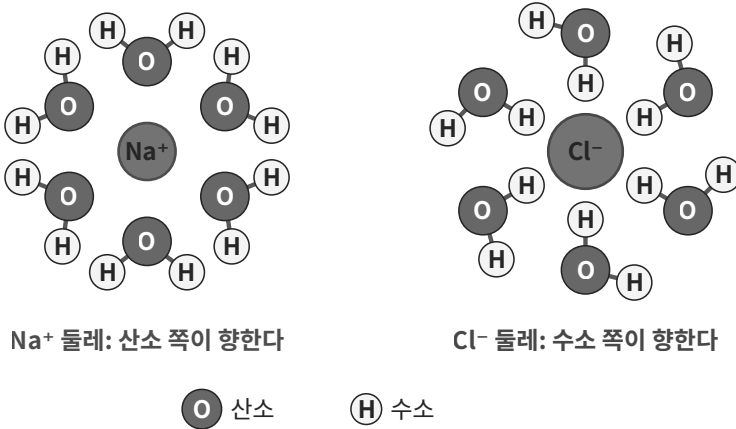
미숙 어머, 불이 들어왔어요! 그럼 설탕물은요? ... 설탕물에서는 다시 꺼져네요.

하린 소금도 이온이고 소금물에도 이온이 있는데, 왜 마른 소금에서는 안 켜져요?

석 교수 전류가 흐르려면 전하를 띤 알갱이가 **움직여야** 한단다. 고체 속 이온은 이웃에게 붙들려 제자리에서 떨기만 할 뿐 옮겨 다니지 못하지. 1887년 아레니우스는 소금 같은 물질이 물에 녹으면 이온으로 나뉘어 용액이 전기를 통한다고 주장했단다⁵.

미숙 물이 어떻게 그 단단한 결정을 뜯어내지요?

석 교수 물 분자는 전체로는 전하가 없지만 산소 쪽은 조금 (-), 수소 쪽은 조금 (+)을 띵니다. 왜 그런지는 24장에서 자세히 보지요. 그래서 Na^+ 둘레에는 물 분자의 산소 쪽이, Cl^- 둘레에는 수소 쪽이 모여들어 이온을 하나씩 떼어 냅니다. 이렇게 물에 녹은 이온 둘레를 물 분자가 둘러싸는 것을 **수화**라 해요. Na^+ 하나 둘레에는 물 분자가 대개 여섯 개쯤 붙습니다⁶. 그림 22-1을 보세요.



[그림 22-1] 수화 물에 녹은 Na^+ 둘레에는 물 분자의 산소 쪽이, Cl^- 둘레에는 수소 쪽이 향한다. 물 분자에 둘러싸인 이온은 물속을 옮겨 다닐 수 있다(모식도, 한 평면에 그렸다)

하린 그러니까 물 분자들이 이온 하나를 여럿이서 에워싸고 데려가는 거죠?

미숙 소금물이 짠 것도 그렇게 흩어진 이온 때문이겠네요. 소금이 녹아 없어진 게 아니라 이온으로 흩어져 숨어 있는 거고요.

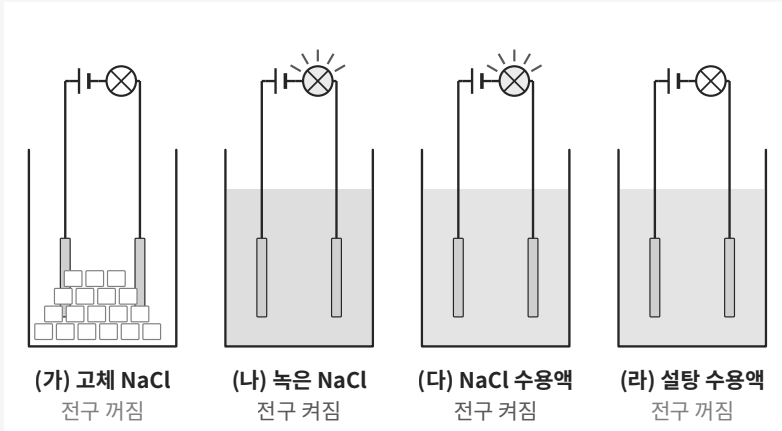
석 교수 그렇습니다. 물을 날려 보내면 이온들이 다시 모여 네모난 결정이 되지요. 염전에서 천일염을 얻는 일이 바로 그 과정입니다.

석 교수 요즘은 소금 결정 표면에 놓인 나트륨 이온 하나에 물 분자가 한 개, 두 개씩 붙는 모습까지 현미경으로 찍는단다⁷. 1834년 패러데이가 용액 속에서 전극 쪽으로 옮겨 가는 것에 이온이라는 이름을 붙인 것도 이

움직임 때문이었지⁸. 소금을 녹인 액체에도 전류가 흐른단다. 결정이 무너져 이온이 움직일 수 있기 때문이야⁴.

문제 22-1 전구가 켜지는 조건

그림 22-2는 여러 물질에 전극을 꽂고 전구가 켜지는지 본 결과다. 녹은 염화 나트륨의 결과는 공장 자료다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?



[그림 22-2] 문제 22-1의 그림 (가) 고체 염화 나트륨, (나) 녹은 염화 나트륨, (다) 염화 나트륨 수용액, (라) 설탕 수용액에 전극을 꽂았을 때 전구의 모습

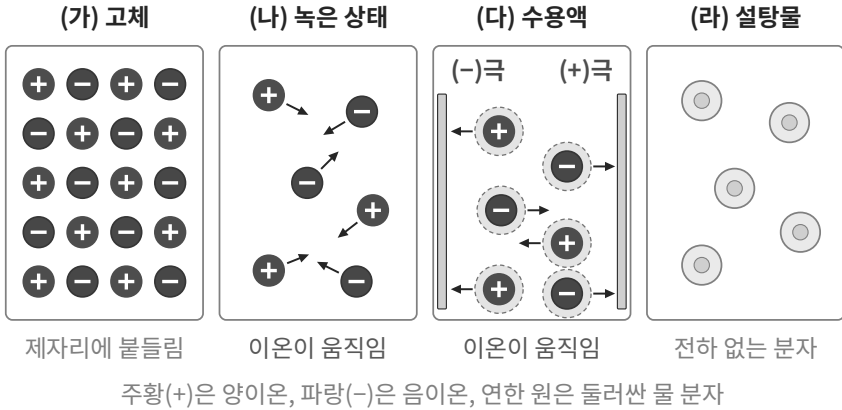
- ① (가)에는 이온이 없어서 전구가 켜지지 않는다.
- ② (나)와 (다)에서는 이온이 자유롭게 움직인다.
- ③ (다)에서 전하를 나르는 것은 NaCl 분자다.
- ④ (라)에서 설탕은 이온으로 나뉘어 있다.
- ⑤ 물에 녹이기만 하면 어떤 물질이든 전류가 흐른다.

태오 (가)는 불이 안 켜지니까 이온이 없는 거죠. ①번이요.

석 교수 고체 소금은 무엇으로 되어 있다고 했지?

태오 아, Na^+ 과 Cl^- 이요. 이온은 있는데... 못 움직이는 거였죠.

석 교수 그렇지. 그러니 조건을 “이온이 있는가”가 아니라 “이온이 움직이는가”로 바꿔 읽자. 그림 22-3에서 네 경우를 알갱이 수준으로 그려 보았단다.



[그림 22-3] 풀이 그림 (가) 고체: 이온이 제자리에 붙들려 있다. (나) 녹은 상태: 결정이 무너져 이온이 움직인다. (다) 수용액: 수화된 이온이 움직여 양이온은 (-)극, 음이온은 (+)극 쪽으로 간다. (라) 설탕 수용액: 설탕 분자는 전하가 없다

하린 (나)와 (다)에서만 이온이 떠돌아다녀요. ③은 NaCl 분자라고 했는데, 21장에서 소금에는 분자가 없다고 했잖아요.

미숙 ④는 설탕이 이온으로 나뉘다고 했는데 전구가 꺼졌으니 틀렸고, ⑤도 설탕물이 반례네요.

석 교수 정답은 ②입니다. 학생들이 소금이 물에 녹으면 NaCl 분자가 흩어진다고 생각하기 쉽다는 조사도 있으니, ③ 같은 선택지를 조심하세요⁹.

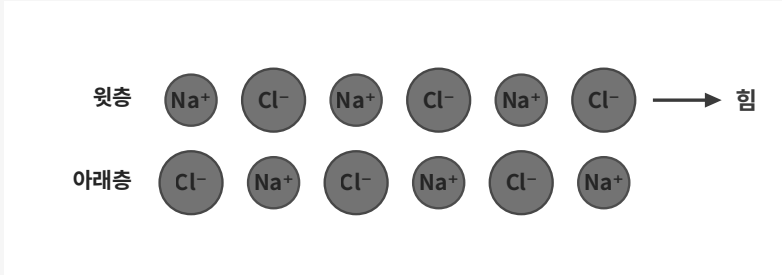
태오 고체에도 이온은 있다, 움직이지 못할 뿐이다. 이게 시험에 나오겠네요.

하린 그럼 바닷물이나 땀에도 이온이 녹아 있으니 전기가 통하겠네요?

석 교수 그렇단다. 그래서 젖은 손으로 전기 기구를 만지면 위험하지. 물 자체보다 물에 녹은 이온이 전류의 길을 열어 주거든.

문제 22-2 소금은 왜 쪼개질까

그림 22-4는 염화 나트륨 결정의 두 층을 옆에서 본 모습이다. 윗층에 옆으로 힘을 주어 이온 한 칸만큼 밀면 결정이 쪼개진다. 그 까닭을 이온 사이의 힘으로 설명하시오.



[그림 22-4] 문제 22-2의 그림 염화 나트륨 결정의 두 층과 윗층에 가하는 힘의 방향

태오 세게 치면 뭐든 깨지잖아요. 힘이 세서요.

석 교수 그럼 금속 숟가락은 왜 두드려도 휘기만 할까? 조건을 다시 보자. 윗층을 “한 칸만큼” 민다고 했지. 밀고 난 뒤 위아래로 마주 보는 이온은 무엇이 될까?

하린 원래는 위 Na⁺ 아래 Cl⁻처럼 반대끼리 마주 봤는데, 한 칸 밀면 Na⁺ 아래에 Na⁺, Cl⁻ 아래에 Cl⁻가 와요!

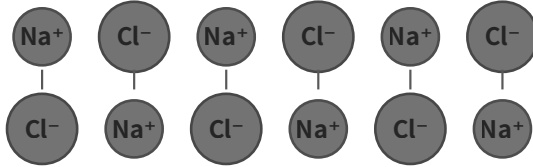
석 교수 그림 22-5에서 확인해 보렴. 같은 전하끼리 마주 보면 어떻게 되지?

미숙 풍선 두 개가 서로 밀어냈던 것처럼 층끼리 밀어내겠네요. 그래서 반듯한 면을 따라 짝 갈라지고요.

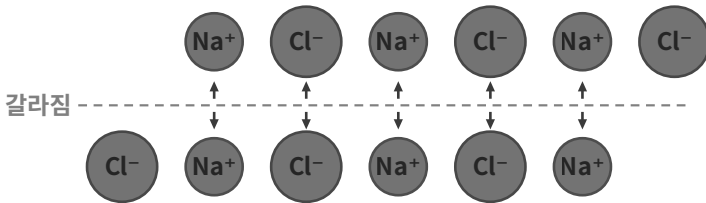
태오 그럼 세게 치는 것보다 층이 어긋나는 게 문제군요. 힘이 약해도 한 칸만 밀리면 갈라지는 거고요.

석 교수 모범 답은 이렇습니다. “힘을 받아 층이 이온 한 칸만큼 밀리면 같은 전하의 이온끼리 마주 보게 되어 반발력이 생기므로, 층과 층이 떨어지며 결정이 쪼개진다.” 금속이 휘기만 하는 까닭은 25장에서 자세히 보지요.

① 밀기 전: 위아래가 반대 전하 → 서로 당긴다



② 한 칸 밀린 뒤: 같은 전하끼리 마주 본다 → 밀어낸다



[그림 22-5] 풀이 그림 윗층이 한 칸 밀리면 같은 전하의 이온끼리 마주 보게 되어 층 전체가 서로 밀어내고, 결정은 그 면을 따라 갈라진다

오늘의 정리

- 천일염과 정제염은 섞인 이온의 양이 다를 뿐, 둘 다 Na^+ 과 Cl^- 이 정육면체 모양으로 쌓인 이온 결정이다.
- 이웃 이온 사이의 정전기 인력이 강해 녹는점이 높다(염화 나트륨 801°C).
- 힘을 받아 층이 밀리면 같은 전하끼리 마주 보며 밀어내 쉽게 쪼개진다.
- 고체에서는 이온이 움직이지 못해 전류가 흐르지 않는다. 녹거나 물에 녹으면(수화) 이온이 움직여 전류가 흐른다.

스스로 풀어 보기 정답과 해설은 부록 C

- 이온 결합 물질의 성질로 옳지 않은 것은?
 - ① 힘을 받으면 쉽게 쪼개진다.
 - ② 대체로 녹는점이 높다.
 - ③ 고체 상태에서 전류가 잘 흐른다.
 - ④ 수용액 상태에서 전류가 흐른다.
 - ⑤ 녹은 상태에서 전류가 흐른다.
- 증류수에 전극을 담그면 전구가 거의 켜지지 않지만, 소금을 조금 녹이면 켜진다. 그 까닭을 이온과 물 분자로 설명하시오.

과학의 최전선 상온에서 녹아 있는 소금, 이온 액체

여기까지 밝혀졌다 — 염화 나트륨은 801 °C가 되어야 녹지만, 양이온을 크고 울퉁불퉁한 유기 이온으로 바꾸면 상온에서도 액체인 이온 물질이 있다. 이를 이온 액체라 하며, 잘 날아가지 않는 새 용매로 연구되어 왔다¹⁰. 이온 액체 속 양이온과 음이온은 아무렇게나 섞이지 않고 나노미터 크기의 무리 구조를 이룬다¹¹. **아직 모른다** — 이온만으로 된 액체이니 전기적 힘은 아주 짧은 거리에서 금방 가려질 것이라 여겼다. 그런데 여러 실험실에서 이온 액체 속 두 표면 사이에 훨씬 먼 거리까지 미치는 전기적 힘이 보고되었고, 그 기원은 아직 논의 중이다¹². **가설과 연구** — 이온 액체가 오히려 묽은 소금물처럼 행동한다는 해석이 나왔지만 논란이 되었고, 여러 설명을 건주는 연구가 이어진다. 이 물음은 전지에 쓸 전해액을 설계하는 일과도 이어진다¹².

이 장의 출처

1. Cho, J., Jaiswal, L., & Ham, K. (2018). Beneficial Effects of Cheonilyeom (a Mineral-Rich Solar Sea Salt) on Health and Fermentation. In Korean Functional Foods (pp. 341–358). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315156453-14>
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. Haynes, W. M. (Ed.). (2016). CRC handbook of chemistry and physics (97th ed.). CRC Press.
4. Weller, M., Overton, T., Rourke, J., & Armstrong, F. (2018). Inorganic chemistry (7th ed.). Oxford University Press.
5. Arrhenius, S. (1887). Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. Zeitschrift für Physikalische Chemie, 1U(1), 631–648. <https://doi.org/10.1515/zpch-1887-0164>
6. Ohtaki, H., & Radnai, T. (1993). Structure and dynamics of hydrated ions. Chemical Reviews, 93(3), 1157–1204. <https://doi.org/10.1021/cr00019a014>

7. 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>
8. Faraday, M. (1834). Experimental researches in electricity.-Seventh Series. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 77–122. <https://doi.org/10.1098/rstl.1834.0008>
9. Butts, B., & Smith, R. (1987). HSC chemistry students' understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education*, 17(1), 192–201. <https://doi.org/10.1007/bf02357187>
10. Welton, T. (1999). Room-Temperature Ionic Liquids. *Solvents for Synthesis and Catalysis*. *Chemical Reviews*, 99(8), 2071–2084. <https://doi.org/10.1021/cr980032t>
11. Hayes, R., Warr, G. G., & Atkin, R. (2015). Structure and Nanostructure in Ionic Liquids. *Chemical Reviews*, 115(13), 6357–6426. <https://doi.org/10.1021/cr500411q>
12. Gebbie, M. A., Smith, A. M., Dobbs, H. A., Lee, A. A., Warr, G. G., Banquy, X., Valtiner, M., Rutland, M. W., Israelachvili, J. N., Perkin, S., & Atkin, R. (2017). Long range electrostatic forces in ionic liquids. *Chemical Communications*, 53(7), 1214–1224. <https://doi.org/10.1039/c6cc08820a>

23

공유 결합 — 전자쌍을 함께 가지다

출발점 옥텟 21장

새 개념 공유 결합 · 전자점식 · 이중·삼중 결합

이어짐 분자의 모양 24장 · 전기 음성도 24장 · 규산염 광물 27장 · 탄소 화합물 28장 · 반도체 31장

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	분자	공유 결합으로 묶인 원자 몇 개가 따로 떨어져 이론 한 덩어리.
2	공유 결합	두 원자가 전자쌍을 함께 가지며 묶이는 것.
3	공유 전자쌍	두 원자가 결합에 함께 쓰는 전자 두 개.
4	전자점식	원소 기호 둘레에 원자가 전자를 점으로 찍어 나타낸 식.
5	비공유 전자쌍	결합에 쓰이지 않고 한 원자에만 속한 전자 두 개.
6	염화 수소	수소 원자와 염소 원자가 공유 전자쌍 하나로 묶인 분자 HCl.
7	이중 결합	두 원자 사이에 공유 전자쌍이 둘인 것.
8	삼중 결합	두 원자 사이에 공유 전자쌍이 셋인 것.

8월 둘째 토요일 오후, 돌집 과학방. 한낮 기온이 34 °C까지 올라 선풍기 두 대가 쉬지 않고 돌았다. 미숙이 가게에서 가져온 과자 봉지는 뽕뽕하게 부풀어 있었고, 봉지 뒷면에는 ‘질소 충전’이라고 적혀 있었다.

하린 선풍기 바람도 공기 알갱이잖아요. 공기는 뭐로 되어 있어요?

석 교수 공기의 대부분은 질소 N_2 와 산소 O_2 란다. 원자에서 시작해 보자. 21장에서 이온 결합은 전자를 잘 잃는 금속과 전자를 잘 얻는 비금속이 만날 때 생겼지. 그런데 질소 원자 둘이 만나면 어떨까?

태오 둘 다 비금속이라 둘 다 전자를 얻는 쪽이에요. 주는 쪽이 없는데요?

미숙 그런데도 과자 봉지 속 질소는 멀쩡히 두 개씩 붙어 있다는 거지요?

석 교수 그렇습니다. 오늘은 아무도 전자를 내주지 않는데도 원자들이 붙는 방법을 알아봅시다.

루이스의 전자쌍

석 교수 가장 간단한 수소부터 보자. 수소 원자에서 전자를 떼는 데는 13.6 eV가 들어서, 나트륨의 5.14 eV보다 두 배 넘게 어렵단다¹. 떼기 어려운 전자를 서로 넘기려 들면 에너지가 너무 많이 들지.

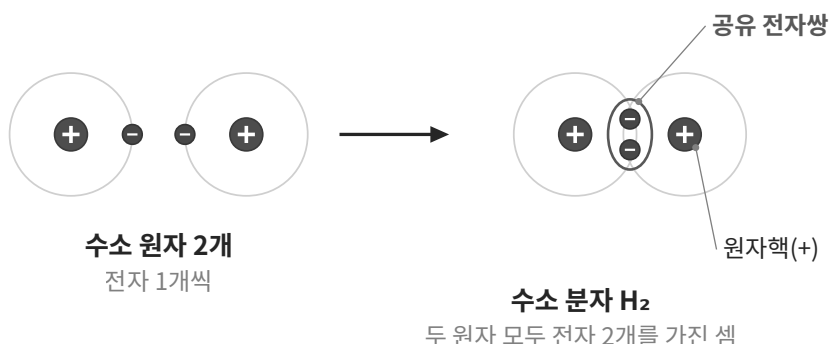
하린 그럼 둘 다 전자를 놓지 않는 채로 붙어야 하네요. 그게 어떻게 가능해요?

석 교수 수소 원자는 전자가 1개뿐이지. 수소 원자 둘이 다가가면, 두 전자가 두 원자핵 사이에 한 쌍으로 모인단다. 그 전자쌍을 두 원자핵이 함께 끌어당기니 두 원자가 묶이지. 그림 23-1을 보렴.

하린 전자 하나를 누가 빌려준 게 아니라, 둘이 가운데 놓고 같이 쓰는 거네요!

석 교수 바로 그거란다. 1916년 미국의 화학자 루이스는 두 원자가 전자 한 쌍을 함께 가지는 것이 결합이라고 제안했지². 두 원자가 전자쌍을 함께 가져 이루는 결합을 **공유 결합**이라 하고, 함께 가진 전자 두 개를 **공유 전자쌍**이라 해.

석 교수 1919년 랭뮤어는 이 결합에 ‘공유’라는 이름을 붙여 널리 알렸단다³. 1927년 하이틀러와 런던은 양자역학으로 계산해, 두 수소 원자가 전자쌍을 함께 가질 때 에너지가 낮아져 분자가 된다는 것을 처음 보였지⁴. 수소 분자의 두 핵 사이는 74 pm이고, 결합 하나를 끊는 데 약 4.5 eV가 든단다⁵.



[그림 23-1] 수소 분자가 생기는 모습 전자가 1개씩인 수소 원자 둘이 전자 2개를 한 쌍으로 함께 가진다. 두 원자핵(+)이 가운데 전자쌍(-)을 함께 끌어당겨 묶이며, 두 원자 모두 헬륨처럼 전자 2개를 가진 셈이 된다(모식도)

미숙 두 집이 담장 가운데 우물 하나를 같이 파서 쓰는 셈이네요. 우물 덕에 두 집이 떨어질 수 없고요.

석 교수 좋은 비유입니다. 다만 공유 결합도 결국 (+)인 원자핵과 (-)인 전자 사이의 전기적 인력으로 묶인다는 점을 기억하세요. 이온 결합과 힘의 뿌리는 같고, 전자가 놓이는 방식이 다를 뿐입니다. 학생들이 공유 전자쌍의 자리를 헛갈리는 일이 많다는 조사도 있지요⁶.

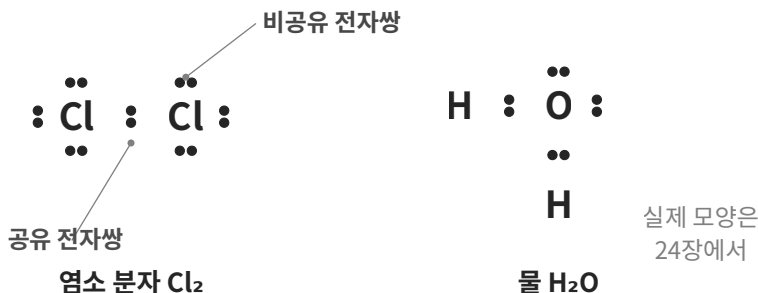
점으로 세는 전자, 전자점식

석 교수 루이스는 원소 기호 둘레에 원자가 전자를 점으로 찍어 결합을 나타냈단다². 이것을 **전자점식**이라 해. 그림 23-2를 보자.

태오 점 개수가 원자가 전자 수랑 같네요. 질소는 5개, 산소는 6개, 염소는 7개.

석 교수 그래. 짝이 없는 점이 결합에 쓸 수 있는 전자란다. 염소는 짝 없는 점이 1개라, 두 염소 원자가 하나씩 내어 한 쌍을 함께 가지면 둘 다 바깥 전자가 8개가 되지. 결합에 쓰이지 않고 한 원자에만 속한 전자쌍은 **비공유 전자쌍**이라 해.

하린 물은 산소 하나에 수소 둘이니까, 산소의 짝 없는 점 두 개가 수소와 하나씩 쌍을 이루는 거죠? 그럼 산소는 공유 전자쌍 둘, 비공유 전자쌍 둘이네요.



[그림 23-2] 원자의 전자점식과 분자의 전자점식 위: 수소·탄소·질소·산소·플루오린·염소 원자의 원자가 전자를 점으로 찍었다. 아래: 염소 분자(Cl_2)와 물(H_2O). 두 원자 사이의 점 두 개가 공유 전자쌍이고, 한 원자에만 속한 점 두 개가 비공유 전자쌍이다

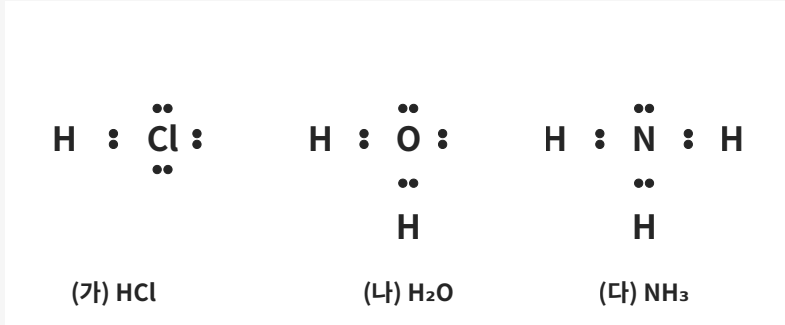
석 교수 정확해. 물 분자가 실제로 어떤 모양인지는 24장에서 자세히 볼 거야. 공유 전자쌍 하나는 줄 하나로 줄여 H-H, H-O-H처럼 쓰기도 한단다.

미숙 소금은 분자가 없다고 했는데, 물이나 수소는요?

석 교수 공유 결합으로 묶인 원자들은 몇 개씩 한 덩어리로 떨어져 있어서 분자가 됩니다. 물 한 잔 속에는 H_2O 분자가 저마다 따로 움직이지요. 21장의 소금 결정과 다른 점입니다.

문제 23-1 전자점식에서 전자쌍 세기

그림 23-3은 세 분자 (가) HCl, (나) H₂O, (다) NH₃의 전자점식이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?



[그림 23-3] 문제 23-1의 그림 (가) 염화 수소, (나) 물, (다) 암모니아의 전자점식

<보기> ㄱ. 세 분자에서 수소가 아닌 원자(Cl, O, N)는 모두 바깥 전자가 8개다. ㄴ. 비공유 전자쌍의 수는 (가) > (나) > (다)이다. ㄷ. 공유 전자쌍이 가장 많은 것은 (나)이다.

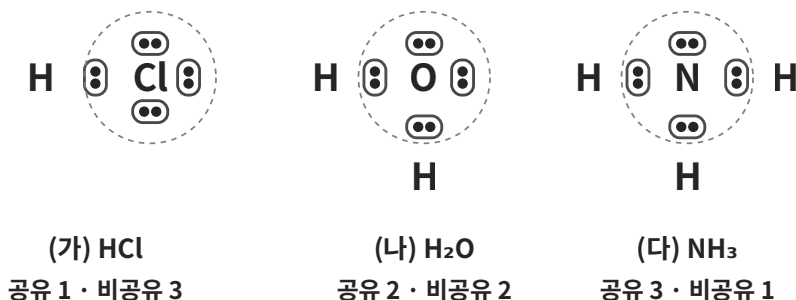
- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

태오 물이 제일 유명하니까 공유 전자쌍도 제일 많겠쥬. ㄷ도 맞아서 ⑤요!

석 교수 유명한 것과 전자 수는 상관없단다. 계획을 세우자. 분자마다 두 원자 사이의 점 쌍과 한 원자에만 붙은 점 쌍을 따로 세어 보는 거야.

하린 (가)는 H와 Cl 사이에 한 쌍, Cl에만 붙은 쌍이 셋. (나)는 사이에 두 쌍, O에만 둘. (다)는 N과 H 사이에 세 쌍, N에만 하나예요.

석 교수 그림 23-4처럼 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍을 다른 색으로 칠해 보면 헛갈리지 않는단다.



주황 테: 공유 전자쌍, 파랑 테: 비공유 전자쌍, 점선 원 안: 8개

[그림 23-4] 풀이 그림 공유 전자쌍(주황 테)과 비공유 전자쌍(파랑 테)을 나누어 썼다. 공유 전자쌍은 (가) 1, (나) 2, (다) 3개이고, 비공유 전자쌍은 (가) 3, (나) 2, (다) 1개다. Cl·O·N은 모두 전자 8개에 둘러싸여 있다

미숙 공유 쌍이 가장 많은 건 암모니아 셋이니 ㄷ은 틀렸고, 비공유는 3, 2, 1로 줄어드니 ㄴ은 맞네요.

태오 ㄱ은 Cl, O, N 모두 공유와 비공유를 합치면 네 쌍, 여덟 개예요. 정답은 ③이네요.

석교수 그렇지. 되돌아보면, 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍을 합한 수가 늘 넷이라는 것이 옥텟이란다.

둘, 셋을 함께 — 이중 결합과 삼중 결합

석교수 이제 공기 속 산소와 질소를 보자. 산소 원자는 짝 없는 점이 2개라, 두 산소 원자는 전자쌍 두 개를 함께 가져야 둘 다 8개가 된단다. 이것이 **이중 결합**(O=O)이야. 질소는 짝 없는 점이 3개라 전자쌍 세 개를 함께 가지는 **삼중 결합**(N≡N)을 이루지.

하린 줄이 많을수록 더 짝 붙어 있을 것 같아요.

석교수 자료로 확인해 보자꾸나. 두 원자를 떼어 놓는 데 드는 에너지가 산소 분자 하나에 약 5.2 eV, 질소 분자 하나에 약 9.8 eV로 거의 두 배이고, 두 핵 사이 거리는 121 pm과 110 pm이란다⁵. 전자쌍을 많이 함께 가질수록 결합이 세고 짧아지지.

미숙 그래서 과자 봉지에 질소를 넣는군요. 잘 끊어지지 않으니 과자와 반응도 잘 안 하고요.

석 교수 그렇습니다. 공기의 산소는 과자의 기름과 천천히 반응해 맛을 떨어뜨리지만, 질소는 삼중 결합이 워낙 단단해 얌전하지요.

태오 시험에는 어떻게 나와요?

석 교수 전자점식을 주고 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍을 세게 하거나, 단일·이중·삼중 결합을 고르게 하지. 점을 하나하나 세는 습관이면 충분하단다.

문제 23-2 이산화 탄소의 전자점식

이산화 탄소(CO_2)는 탄소 원자(원자가 전자 4개) 하나와 산소 원자(원자가 전자 6개) 둘로 되어 있고, 탄소가 가운데에 있다. 모든 원자의 바깥 전자가 8개가 되도록 전자점식을 그리고, 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍의 수를 쓰시오.

태오 가운데 탄소에 산소 둘을 줄 하나씩으로 이으면 $\text{O}-\text{C}-\text{O}$. 끝!

석 교수 탄소 둘레의 전자를 세어 보렴. 몇 개지?

태오 줄 둘이면 공유 전자쌍 둘, 전자 4개... 탄소는 8개가 안 되네요.

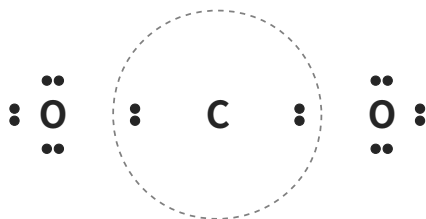
석 교수 계획을 세우자. 먼저 원자가 전자를 모두 더하고, 그다음 모든 원자가 8개가 되도록 나누어 보는 거야.

하린 $4 + 6 + 6 = 16$ 개, 전자쌍으로는 8쌍이에요.

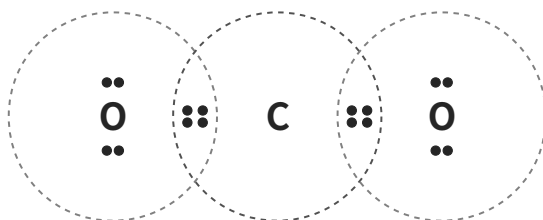
미숙 탄소가 산소마다 두 쌍씩 함께 가지면 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$. 탄소는 네 쌍, 여덟 개가 되고, 산소는 공유 두 쌍에 비공유 두 쌍을 더해 여덟 개가 되네요.

석 교수 쌍의 수도 맞는지 보렴. 공유 넷에 비공유 넷, 합해서 8쌍이지. 그림 23-5에 동그라미로 옥텟을 표시했단다. 모범 답은 “ $\text{O}=\text{C}=\text{O}$, 공유 전자쌍 4개, 비공유 전자쌍 4개”야.

① O-C-O로 이으면: 탄소 둘레 전자 4개(옥텟 아님)



② O=C=O로 이으면: 세 원자 모두 전자 8개(옥텟)



전자 16개 = 공유 전자쌍 4개 + 비공유 전자쌍 4개

[그림 23-5] 풀이 그림 이산화 탄소의 전자점식($O=C=O$). 점선 동그라미 안의 전자를 세면 탄소와 두 산소 모두 8개다. 전자는 모두 16개(8쌍)로, 공유 전자쌍 4개와 비공유 전자쌍 4개다

하린 전자 총수를 먼저 세고, 모자라면 줄을 늘리는 거네요. 산소 분자처럼요.

과학자 이야기 **길버트 뉴턴 루이스** 1875-1946 · 미국

태어나 자란 곳 — 루이스는 1875년 10월 23일 미국 매사추세츠주 웨이머스에서 변호사 프랭크 웨슬리 루이스와 메리 버 화이트 루이스 사이에서 태어났다(기록에 따라 25일)^{7,8}. 세 살에 글을 읽었고, 학교 대신 집에서 부모에게 배웠다. 1884년 가족이 네브래스카주 링컨으로 옮겨, 1889년 열세 살에 네브래스카 대학 부설 예비 학교에 들어가며 처음으로 학교 교육을 받았다^{7,8,9}.

그의 삶을 그림 23-6의 초상과 지도, 연표로 먼저 훑어보자.



[그림 23-6] 루이스의 삶의 지도와 생애 연표 매사추세츠주 웨이머스에서 태어나 네브래스카주 링컨에서 자랐고, 하버드 대학에서 공부했다(독일 유학과 마닐라 근무는 지도 밖). 매사추세츠 공과 대학을 거쳐 캘리포니아 대학 버클리에서 34년을 보내고 그곳 실험실에서 세상을 떠나 가까운 샌브루노에 묻혔다. 저작권이 풀린 초상 사진을 찾지 못해 이름 카드로 대신했다

배움과 스승 — 네브래스카 대학에서 두 해를 다닌 뒤 1893년 하버드 대학으로 옮겨 1896년 학사가 되었다. 한 해 동안 앤도버의 필립스 아카데미에서 가르친 뒤 하버드로 돌아와, 물리 화학자 리처즈 밑에서 전기 화학 연구로 1899년 박사 학위를 받았다^{7,8,9}. 이어 물리 화학의 중심지 독일로 가서 괴팅겐의 네른스트와 라이프치히의 오스트발트에게 배웠다^{7,9}. 1901년부터 하버드 강사로 일하다 1904년 필리핀 마닐라의 과학국에서 도량형 감독관을 한 해 맡았다. 평생 즐긴 시가는 이때 들인 버터이라고 한다^{7,8,9}. 1905년 노이스가 이끄는 매사추세츠 공과 대학의 젊은 물리 화학자 무리에 들어가 1911년 정교수가 되었고, 1912년 캘리포니아 대학 버클리의

화학 대학 학장 겸 학과장이 되어 세상을 떠날 때까지 34년을 머물렀다^{7,8}. 이듬해 1913년에는 미국 국립 과학원 회원으로 뽑혔고, 1918년 미국 철학회 회원이 되었다⁷.

결혼과 가족 — 버클리로 간 1912년, 6월 21일 하버드 대학 로망스어 교수의 딸 메리 힝클리 셀던과 결혼했다^{7,8}. 딸 마저리와 아들 리처드·에드워드, 세 자녀를 두었다. 늦게 결혼한 터라 그가 세상을 떠날 때 자녀들은 아직 이십 대였고, 두 아들은 아버지처럼 화학자가 되었다^{7,8}.

발견 — 그의 첫 관심은 열역학이었다. 화학 반응이 어디까지 일어날지를 정하는 자유 에너지를 여러 물질에 대해 25년 동안 재고 정리해, 1923년 조수 랜들과 함께 책으로 펴냈다. 이 책은 여러 세대 동안 화학 열역학의 가장 명쾌한 교과서로 쓰였다^{8,9,10}. 전자쌍 결합의 씨앗은 일찍 싹텄다. 1902년 하버드에서 원자가를 설명하려고 전자를 정육면체 꼭짓점에 놓은 그림을 강의 공책에 그렸지만, 스승들이 관심을 보이지 않아 발표하지 않았다^{7,9}. 1915년 버클리에 한 해 머문 영국 대학원생 파슨의 원고에서 두 전자로 된 결합과 정육면체 옥텟이라는 비슷한 생각을 본 것이 옛 착상을 되살린 계기였던 것으로 보인다⁹. 1918년 1월에는 제1차 세계 대전으로 프랑스에 가서 독가스 방어 학교를 세워 장교들을 가르쳤고, 9월 돌아와 훈장을 받았다⁹. 1926년에는 빛의 알갱이를 ‘광자’라 부르자고 제안했다^{7,11}. 1933년에는 무거운 수소로 된 물, 곧 순수한 중수를 처음 얻었다^{7,12}. 1923년 그는 산을 전자쌍을 받는 물질, 염기를 전자쌍을 주는 물질로 보는 새 정의도 내놓았는데, 산과 염기는 38·39장에서 자세히 배운다^{7,13}. 마지막 몇 해에는 젊은 카샤와 함께 유기 분자가 내는 인광의 정체를 밝혔다^{9,14}. 그의 마지막 연구 동료였던 카샤는 뒷날 플로리다 주립 대학에 분자 생물 물리 연구소를 세우는 데 앞장섰다^{7,15}.

함께한 사람들 — 하버드의 스승 리처즈(1868~1928)는 원자량을 정밀하게 재어 미국인 처음으로 노벨 화학상을 받았지만, 제자의 대담한 원자 이론에는 관심을 두지 않았다. 루이스는 인정받지 못한 것을 서운해했고, 1928년 하버드의 초빙도 거절했다^{9,16}. 괴팅겐의 네른스트와는 평생 사이가 나빴다. 네른스트의 친구였던 노벨 화학 위원 팔메르가 루이스에 대한 평가 보고를 나쁘게 썼다는 연구도 있다⁷. 어빙 랭뮤어(1881~1957)는 루이스의 생각을 넓혀 널리 알렸는데, 사람들이 이를 ‘랭뮤어의 이론’이라 부르자 루이스는 몹시 서운해했다. 두 사람은 편지로 다툼 뒤 몇 해 지나 다시 가까워졌고,

고등학교 통합과학 · 전 8권

이야기로 읽고, 그림으로 이해하고, 문제로 확인하는 통합과학

이 책 · 화학편 2

뜻은 왜 녹슬까

이온과 옥텟, 이온·공유·금속 결합으로 원자가 손잡는 법을 배우고, 규산염과 탄소, 단백질과 DNA로 이어지는 물질의 세계를 만납니다.

통합과학 8권 한눈에 보기



1 화학편 1
원자·원소·별



2 화학편 2 · 이 책
결합과 물질



3 생명편 1
분자와 세포



4 생명편 2
유전과 진화



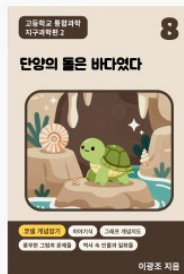
5 물리편 1
힘과 운동



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 065274

ISBN 979-11-23065-27-4

이어서 읽으시려면

02 통합과학 화학 2 — 뭇은 왜 녹슬까 — 전체 352쪽

ssbook.kr/book/tonghap-02

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 콩팥까지 항상성
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-08



대입 과학논술 09 — 면역·백신
몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지
~~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



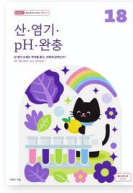
대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자
 유기 화학·생체 분자·고분자 문제 해설
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



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 문제는 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 × 르샤틀리에로 읽는 화학 평형
 24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



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



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



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



대입 과학논술 25 — 화학 전자·전기 분해
 화학 전자·전기 분해 문제는 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
~~18,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자
유전 정보에서 진화·생태계까지
~~18,500원~~ → **11,100원**
ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 뒤통해질까
원자에서 힘과 에너지까지
~~22,000원~~ → **13,200원**
ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나침반
원자에서 전자기파까지
~~24,000원~~ → **14,400원**
ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까
대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨
~~21,000원~~ → **12,600원**
ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다
원자에서 암석·판·지구의 역사까지
~~20,000원~~ → **12,000원**
ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식
이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영
양학과 분자생물학으로 다시 읽다
~~21,000원~~ → **12,600원**
ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비
사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의
언어로 다시 읽다
~~18,000원~~ → **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
~~18,000원~~ → **10,800원**
ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다
콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식
~~18,400원~~ → **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