



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충

평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기

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/nonsul-19

POD 정가 24,000원 → **14,400원** (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

산·염기· pH·완충

산·염기 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 22문항 · 2011~2025학년도



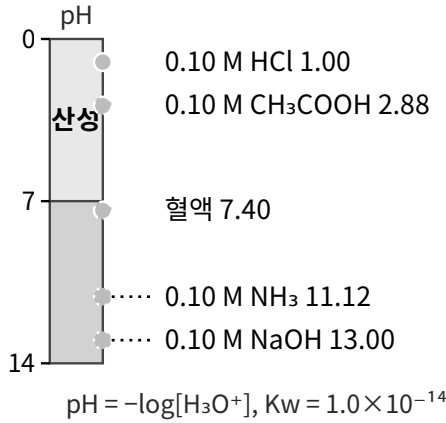
산·염기·pH·완충

1부 기본개념편 · 2부 기출문제와 기본개념 · 3부 논술답안작성 패턴분석 · 4부 실전기출문제와 풀이과정

산·염기 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

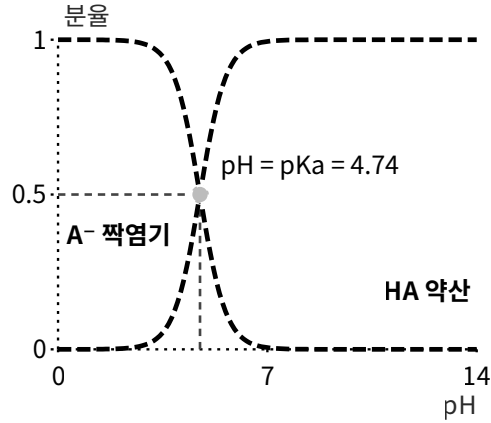
핵심 = 평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정 | 22문항 · 8개 대학 (2011~2025)

1 물의 평형 → pH



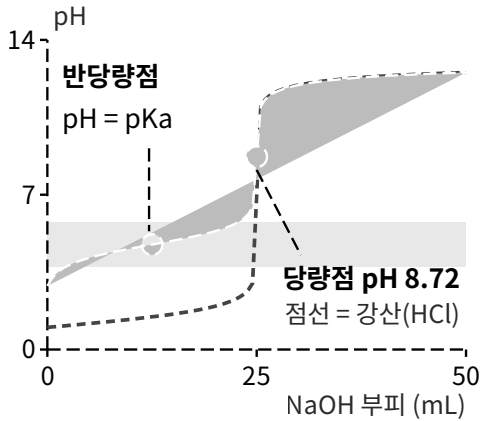
강산·약산 pH 비교
부피 변화 반영

2 약산의 해리 (Ka)



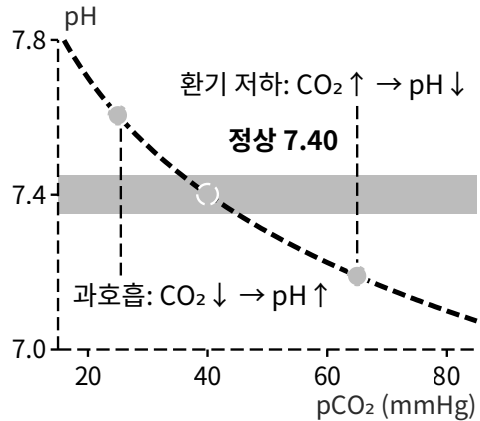
짝염기 분율, 공통이온 효과
Ka 계산·해리도

3 중화 적정과 완충



반당량점 $\text{pH} = \text{pKa}$
당량점은 염기성(가수분해)

4 생체 완충: 혈액



호흡 보상, 르샤틀리에 원리
 $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

한 줄 요약: 산·염기 = 평형식을 세우고, 몰수로 시작해 부피로 나눈다

연결 단원 → 화학 평형 · 화학 전지(Nernst 식의 pH 의존) · 아미노산·단백질

그림 1. 산·염기·pH·완충 장의 그림 요약. ① 물의 평형과 pH 척도, ② 약산의 해리(분율 곡선), ③ 중화 적정 곡선, ④ 혈액 탄산 완충계. 모든 곡선은 평형식으로 계산했다(CH₃COOH $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$, 혈액은 $\text{pH} = 6.1 + \log\left(\frac{[\text{HCO}_3^-]}{0.03 \cdot \text{pCO}_2}\right)$).

차례

기본개념편	8
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가.....	9
기본개념편을 열며	11
제 1장 왜 산·염기인가	12
1.1 생명은 물속에서 일어나는 화학이다	14
1.2 H_3O^+ 와 OH^- 는 분자들의 ‘양성자 주개’와 ‘양성자 받개’	15
1.3 화학 반응은 전하가 움직이는 일이다	18
1.4 산·염기는 어떻게 반응을 빠르게 만들까 — 활성화에너지	18
1.5 이 장의 줄거리, 그리고 앞으로의 길	20
제 2장 산과 염기, 어떻게 알아볼까.....	22
2.1 산과 염기의 성질.....	25
2.2 지시약: 색으로 읽는 H_3O^+ 농도	26
2.3 산·염기를 보는 눈은 어떻게 바뀌었나	26
제 3장 물의 이온곱과 pH	29
3.1 이온곱 K_w : 곱이 일정하다	31
3.2 pH는 ‘10의 지수’를 읽기 쉽게 바꾼 숫자	32
3.3 K_w 는 온도에 따라 변한다	33
제 4장 산과 염기의 정의: 양성자를 주고받는 짝	35
4.1 브뢴스테드-로리 정의	37
4.2 짝산과 짝염기	37
4.3 양쪽성과 루이스의 눈	38
제 5장 강산과 약산: 얼마나 잘 쪼개지는가.....	40
5.1 강산은 100 %, 약산은 일부만	43
5.2 세기를 숫자로: 산 해리 상수 K_a	44
5.3 물을수록 더 많이 쪼개진다 — 오스트발트 묽힘	44
제 6장 약산의 pH를 계산하자.....	46
6.1 세 단계 풀이법	49
6.2 근사는 언제 믿을 수 있나 — 5 % 규칙	49
6.3 같은 방법을 다른 문제에도	50
제 7장 약염기, 그리고 K_a 와 K_b 의 관계.....	52
7.1 약염기의 평형	55
7.2 짝산과 짝염기의 $K_a \cdot K_b = K_w$	55
제 8장 산과 염기가 만나면: 중화 반응	57
8.1 중화는 $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$	60
8.2 물을 세어 보자.....	60
제 9장 적정과 지시약: 농도를 알아내는 법.....	63
9.1 적정의 원리	65
9.2 적정 곡선과 지시약 고르기	65
9.3 반당량점에서는 $\text{pH} = \text{pK}_a$	66
제 10장 염의 물 반응: 가수분해	68
10.1 염을 이루는 이온 하나하나를 본다	70
10.2 염 용액의 pH 계산	71
제 11장 같은 이온이 더해지면: 공통 이온 효과	73
11.1 평형이 밀리는 방향	76
11.2 비율이 바뀌면 pH가 바뀐다.....	77

제 12장 완충 용액: pH를 붙잡는 장치	79
12.1 완충 용액이 하는 일	81
12.2 헨더슨-하셀바흐 식: 비로 pH 읽기	82
12.3 완충 용량: 얼마나 막을 수 있나	83
제 13장 양성자를 여러 개 가진 산과 양쪽성 분자	85
13.1 다가산은 계단을 올라가듯	88
13.2 양쪽성 이온과 아미노산	89
제 14장 몸속과 지구의 완충, 그리고 2부로	91
14.1 혈액의 탄산 완충계	94
14.2 지구의 완충: 바다	95
14.3 기본개념편을 마치며: 2부로 가는 길	95
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	97
부록 B. 용어 풀이	100
기출문제와 기본개념	101
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	102
0. 이 장의 사용법	103
1. 출제 개념	104
1.1 산·염기의 세 가지 정의	104
1.2 물의 자동이온화와 pH	104
1.3 강산·약산과 산 이온화 상수 K_a	105
1.4 짝산-짝염기, $K_a \cdot K_b = K_w$, 염의 가수분해	105
1.5 중화 반응과 적정	106
1.6 공통이온 효과와 완충 용액	106
1.7 완충 용량과 그 한계	107
1.8 다가산과 양쪽성 물질	108
1.9 생체·환경 응용	110
1.10 그래프 개념도 읽는 법	110
2. 출제 경향	112
2.1 반복되는 출제 패턴 여섯 가지	115
2.2 학교별 성향	116
논술답안작성 패턴분석	117
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	118
3. 답안 작성법	120
3.1 계산형 답안의 4단 구조	120
3.2 서술형 답안의 4문장 틀	121
3.3 표기와 수치 규칙	121
3.4 시간 배분과 자기 점검	121
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	122
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	124
실전기출문제와 풀이과정	126
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	127
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념	131
5.1 한눈에 보는 기출 22문항	131
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론	132
5.3 기본 개념 한눈에	133

5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다	134
6. 출제 문항 분석과 모범답안	135
〈기출문제 1 (경북대 2025년)〉	135
〈기출문제 2 (연세대 미래캠퍼스 2025년)〉	144
〈기출문제 3 (경북대 2024년)〉	158
〈기출문제 4 (연세대 2023년)〉	166
〈기출문제 5 (연세대 2023년)〉	176
〈기출문제 6 (연세대 미래캠퍼스 2023년)〉	185
〈기출문제 7 (연세대 2022년)〉	196
〈기출문제 8 (연세대 미래캠퍼스 2022년)〉	205
〈기출문제 9 (연세대 2021년)〉	214
〈기출문제 10 (연세대 2021년)〉	223
〈기출문제 11 (경희대 2020년)〉	235
〈기출문제 12 (연세대 2020년)〉	244
〈기출문제 13 (고려대 2016년)〉	252
〈기출문제 14 (고려대 2016년)〉	264
〈기출문제 15 (성균관대 2016년)〉	275
〈기출문제 16 (건국대 2015년)〉	282
〈기출문제 17 (고려대 2015년)〉	290
〈기출문제 18 (서울과기대 2015년)〉	304
〈기출문제 19 (고려대 2014년)〉	314
〈기출문제 20 (서울시립대 2012년)〉	320
〈기출문제 21 (성균관대 2012년)〉	330
〈기출문제 22 (연세대 2011년)〉	331
7. 변형·예상 문항	332
8. 강의 연결	334
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	334
8.2 강의 구성 시 유의점	335
9. 전체 문제 총평	336
9.1 숫자로 먼저 보기	336
9.2 다섯 가지 총평	336
9.3 대학별 한 줄 총평	338
9.4 이렇게 공부하자	338
10. 참고문헌	339

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 산·염기 논제의 네 장면	1
그림 2. chm1	12
그림 3. life1	13
그림 4. 물의 자동이온화	14
그림 5. charge0	16
그림 6. 결사슬 전하와 pH	17
그림 7. 활성화에너지와 촉매	19
그림 8. pH와 반응 속도	20
그림 9. chm2	22
그림 10. life2	24
그림 11. 지시약의 색	26
그림 12. 산·염기 개념의 연표	27
그림 13. chm3	29
그림 14. life3	30

그림 15. H_3O^+ 와 OH^- 의 시소	31
그림 16. 일상 물질의 pH	33
그림 17. chm4	35
그림 18. life4	36
그림 19. 짹산-짹염기	37
그림 20. chm5	40
그림 21. life5	42
그림 22. 강산과 약산의 이온화	43
그림 23. chm6	46
그림 24. life6	48
그림 25. chm7	52
그림 26. life7	54
그림 27. chm8	57
그림 28. life8	59
그림 29. 중화 중 pH 변화	61
그림 30. chm9	63
그림 31. life9	64
그림 32. 적정 곡선과 지시약	65
그림 33. chm10	68
그림 34. life10	69
그림 35. 염의 액성	70
그림 36. chm11	73
그림 37. life11	75
그림 38. chm12	79
그림 39. life12	80
그림 40. 물과 완충용액의 pH	81
그림 41. 헨더슨-하셀바흐 직선	82
그림 42. 완충 용량	83
그림 43. chm13	85
그림 44. life13	87
그림 45. 인산의 화학종 분율	88
그림 46. 알라닌의 화학종 분율	89
그림 47. chm14	91
그림 48. life14	93
그림 49. 혈액의 탄산 완충계	94
그림 50. 물과 완충용액에 HCl을 가할 때의 pH	107
그림 51. 완충 용량 β 의 pH 의존성	108
그림 52. 인산의 화학종 분율	109
그림 53. 알라닌의 pH별 화학종 분율	109
그림 54. 그래프 개념도(DAG)	111
그림 55. 연도별·대학별 출제 문항 수	113
그림 56. 계산형 문항의 풀이 절차	120
그림 57. 〈기출문제 1 (경북대 2025년)〉 개념 그래프	136
그림 58. 〈기출문제 2 (연세대 미래캠퍼스 2025년)〉 개념 그래프	146
그림 59. 〈기출문제 3 (경북대 2024년)〉 개념 그래프	158
그림 60. 〈기출문제 4 (연세대 2023년)〉 개념 그래프	167
그림 61. 〈기출문제 5 (연세대 2023년)〉 개념 그래프	177
그림 62. 〈기출문제 6 (연세대 미래캠퍼스 2023년)〉 개념 그래프	187
그림 63. 〈기출문제 7 (연세대 2022년)〉 개념 그래프	197
그림 64. 〈기출문제 8 (연세대 미래캠퍼스 2022년)〉 개념 그래프	206
그림 65. 〈기출문제 9 (연세대 2021년)〉 개념 그래프	215
그림 66. 〈기출문제 10 (연세대 2021년)〉 개념 그래프	224
그림 67. 〈기출문제 11 (경희대 2020년)〉 개념 그래프	236
그림 68. 〈기출문제 12 (연세대 2020년)〉 개념 그래프	244
그림 69. 〈기출문제 13 (고려대 2016년)〉 개념 그래프	252
그림 70. 〈기출문제 14 (고려대 2016년)〉 개념 그래프	264

그림 71. <기출문제 15 (성균관대 2016년)> 개념 그래프	275
그림 72. <기출문제 16 (건국대 2015년)> 개념 그래프	282
그림 73. <기출문제 17 (고려대 2015년)> 개념 그래프	291
그림 74. <기출문제 18 (서울과기대 2015년)> 개념 그래프	304
그림 75. <기출문제 19 (고려대 2014년)> 개념 그래프	314
그림 76. <기출문제 20 (서울시립대 2012년)> 개념 그래프	320

표 목 록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장	9
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념	10
표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	12
표 4. 제 2장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	23
표 5. 산과 염기의 대표 성질	25
표 6. 제 3장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	29
표 7. 제 4장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	35
표 8. 세 가지 산·염기 정의 비교	38
표 9. 제 5장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	41
표 10. 대표적인 산의 K_a 와 pK_a	44
표 11. 제 6장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	47
표 12. ICE 표: $HA \rightleftharpoons H^+$	49
표 13. 제 7장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	53
표 14. 제 8장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	58
표 15. 제 9장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	63
표 16. 제 10장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	68
표 17. 제 11장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	74
표 18. 공통 이온이 있을 때의 ICE 표	76
표 19. 제 12장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	79
표 20. 제 13장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	86
표 21. 제 14장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념	92
표 22. 기본개념편 장과 2부 개념의 대응	96
표 23. 2부 목차와 내용	102
표 24. 산·염기 정의의 비교	104
표 25. 염의 액성 판단	105
표 26. 0.10 M CH_3COOH 25.0 mL를 0.10 M $NaOH$ 로 적정할 때 영역별 pH	106
표 27. 산·염기·pH·완충 문항 목록	112
표 28. 개념별 출제 빈도	114
표 29. 문항별 요구 개념 수와 최대 층	115
표 30. 학교별 성향	116
표 31. 논술답안작성 패턴분석	118
표 32. 서술형 답안의 문장 틀	121
표 33. 논술 기본 패턴 5가지	122
표 34. 문항별 소문항에 적용한 패턴	123
표 35. 실전기출문제와 풀이과정 전체 문항 목차	129
표 36. 실전기출문제와 풀이과정	130
표 37. 대학별 기출 문항 수·연도·소재	131
표 38. 학년도별 문항 수	131
표 39. 소문항에 적용한 답안 패턴의 분포	132
표 40. 소문항 난이도 분포	132
표 41. 기본 개념 한눈에	133
표 42. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적	134
표 43. 기출문제 1	137
표 44. 기출문제 2	147
표 45. 기출문제 3	159

표 46. 기출문제 4	168
표 47. 기출문제 5	177
표 48. 기출문제 6	188
표 49. 기출문제 7	197
표 50. 기출문제 8	206
표 51. 기출문제 9	215
표 52. 기출문제 10	225
표 53. 기출문제 11	236
표 54. 기출문제 12	245
표 55. 기출문제 13	253
표 56. 기출문제 14	265
표 57. 기출문제 15	276
표 58. 기출문제 16	282
표 59. 기출문제 17	292
표 60. 기출문제 18	305
표 61. 기출문제 19	314
표 62. 기출문제 20	321
표 63. 인강 회차 구성.....	334
표 64. 22개 문항의 규모.....	336
표 65. 대학별 출제 특징	338

1

제 1 부

기본개념편

산과 염기, 처음부터 차근차근

중학교 2학년 수준의 지식만으로 출발해 대학 논술의 산·염기·pH·완충까지 한 걸음씩 올라가는 이야기책입니다. 외울 것을 먼저 주지 않고, 왜 그런지를 먼저 묻고 그다음에 식을 만듭니다.

14개 장

물에서 완충까지

대화 + 그림

하린·태오·이모·석 교수

스스로 풀어 보기

정답은 부록 A

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 물 → 산과 염기의 성질 → 세기($K_a \cdot K_b$) → 중화·적정 → 염 → 완충 → 다가산·생체 응용의 순서로 이어집니다. 앞 장의 결과가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠릅니다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장

구간	장	무엇을 하는가
A. 물과 pH	1~3장	물이 스스로 이온이 되는 모습에서 출발해 산·염기의 성질과 pH 척도를 만든다. 이후 모든 계산의 바닥이 된다.
B. 산·염기의 정의와 세기	4~7장	양성자를 주고받는 짝(짝산-짝염기)으로 정의하고, 강산·약산을 K_a 로 구분해 약산·약염기의 pH를 직접 계산한다.
C. 중화와 염	8~10장	산과 염기가 만나는 반응, 적정 곡선 읽기, 염이 물과 다시 반응하는 가수분해를 다룬다.
D. 완충	11~12장	공통 이온 효과로 완충 용액이 왜 pH를 붙잡는지 이해하고 헨더슨-하셀바흐 식으로 계산한다.
E. 확장과 응용	13~14장	양성자를 여러 개 가진 산, 양쪽성 분자, 혈액과 바다의 완충을 본다. 이어서 2부 2부로 간다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈핵심〉 → 〈과학의 최전선〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 순서입니다. 장의 첫머리에는 **이 장의 개념도 1쪽**과 **그 개념이 쓰인 기출표**가 있어, 지금 배우는 개념이 나중에 어떤 문제로 나오는지 미리 볼 수 있습니다. 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 A에 모아 두었습니다. 막히면 해설을 먼저 보지 말고, 장 안의 해당 그림과 식으로 돌아가 한 번 더 시도하십시오.

3. 장별 목차

표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념

장	제목(쪽)	새로 배우는 개념
제 1장	왜 산·염기인가 (12쪽)	물의 자동이온화 · 양성자 주개와 받개 · 전하의 이동 · 활성화에너지
제 2장	산과 염기, 어떻게 알아볼까 (22쪽)	산·염기의 성질 · 지시약 · 산·염기 개념의 역사
제 3장	물의 이온곱과 pH (29쪽)	이온곱 Kw · pH · pOH · 로그
제 4장	산과 염기의 정의: 양성자를 주고받는 짝 (35쪽)	아레니우스 · 브뢴스테드-로리 · 짝산-짝염기 · 양쪽성 · 루이스
제 5장	강산과 약산: 얼마나 잘 쪼개지는가 (40쪽)	이온화 정도 α · 산 해리 상수 Ka · pKa
제 6장	약산의 pH를 계산하자 (46쪽)	ICE 표 · 근사식 · 5 % 규칙
제 7장	약염기, 그리고 Ka와 Kb의 관계 (52쪽)	염기 해리 상수 Kb · $K_a \cdot K_b = K_w$ · $pK_a + pK_b = 14$
제 8장	산과 염기가 만나면: 중화 반응 (57쪽)	중화 · 알짜 이온 반응식 · 몰 수 계산 · 중화 열
제 9장	적정과 지시약: 농도를 알아내는 법 (63쪽)	적정 · 당량점과 끝점 · 적정 곡선 · 반당량점
제 10장	염의 물 반응: 가수분해 (68쪽)	가수분해 · 염의 액성 · 염 용액의 pH
제 11장	같은 이온이 더해지면: 공통 이온 효과 (73쪽)	공통 이온 효과 · 르샤틀리에 원리의 적용
제 12장	완충 용액: pH를 붙잡는 장치 (79쪽)	완충 용액 · 헨더슨-하셀바흐 식 · 완충 용량 · 완충 범위
제 13장	양성자를 여러 개 가진 산과 양쪽성 분자 (85쪽)	다가산 · 단계별 해리 · 양쪽성 이온 · 등전점
제 14장	몸속과 지구의 완충, 그리고 2부로 (91쪽)	탄산-탄산수소 완충계 · 호흡과 신장의 조절 · 해양 산성화

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 그림에 나온 숫자를 손으로 한 번 계산해 본다.
- 장이 끝나면 〈스스로 풀어 보기〉를 먼저 풀고 부록 A로 확인한다.
- 계산이 막히는 장은 5~7장(Ka·pH 계산)과 11~12장(완충)이다. 이 두 구간은 두 번 읽는다.
- 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

산과 염기는 중학교 과학에서 처음 만나고, 대학 논술에서는 계산과 서술이 함께 나오는 단원이다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(원자와 분자, 농도의 뜻, 간단한 지수와 비율)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 것을 먼저 주지 않고, **왜 그런가**를 먼저 묻고 그다음에 식을 만든다. 장마다 같은 순서로 구성했다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 돌집 과학방에서 화학을 배운다. 궁금한 것은 바로 묻는다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 일상의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 과학방의 화학 선생님. 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

각 장의 구성

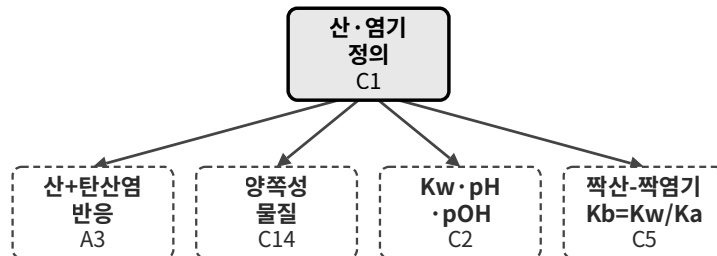
- 〈이 장의 출발점〉 — 이 장을 읽기 전에 알아야 할 것.
- 본문 대화 — 실험·일상 예에서 개념을 만든다.
- 〈핵심〉 상자 — 외워야 할 한 줄.
- 〈문제〉 + 풀이 대화 — 본문 속에서 바로 풀어 본다.
- 〈과학의 최전선〉 — 개념이 생명·환경에서 어떻게 쓰이는지.
- 〈스스로 풀어 보기〉 — 정답과 해설은 부록 A. 장 끝에 참고문헌을 붙였다.

왜 산·염기인가? 1장은 생명의 기본 물질인 물에서 출발한다. 물은 스스로 이온이 되어 H_3O^+ 와 OH^- 를 늘 일정한 비율로 가지고 있고, 이 이온들이 분자에게 양성자를 주고받으며 분자의 전하·구조·기능을 정한다. 또 화학 반응은 본질적으로 전자와 양전하의 이동이며, 산·염기는 그 이동을 도와 활성화에너지를 낮춘다. 이 한 줄기를 끝까지 따라가는 것이 기본개념편의 줄거리다.

제 1장 왜 산·염기인가

새 개념 물의 자동이온화 · 양성자 주개와 받개 · 전하의 이동 · 활성화에너지
 이어짐 pH 3장 · 짝산-짝염기 4장 · 완충 12장 · 혈액 완충 14장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념 앞뒤로 이어지는 개념 화살표: 선수 → 응용

그림 2. 제 1장에서 배우는 개념(C1 산·염기정의)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

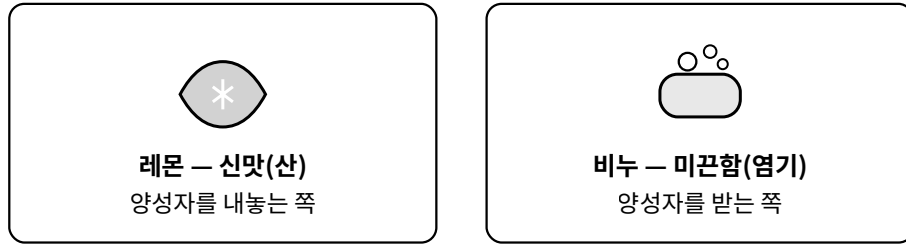
이 장의 개념이 쓰인 기출

표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념

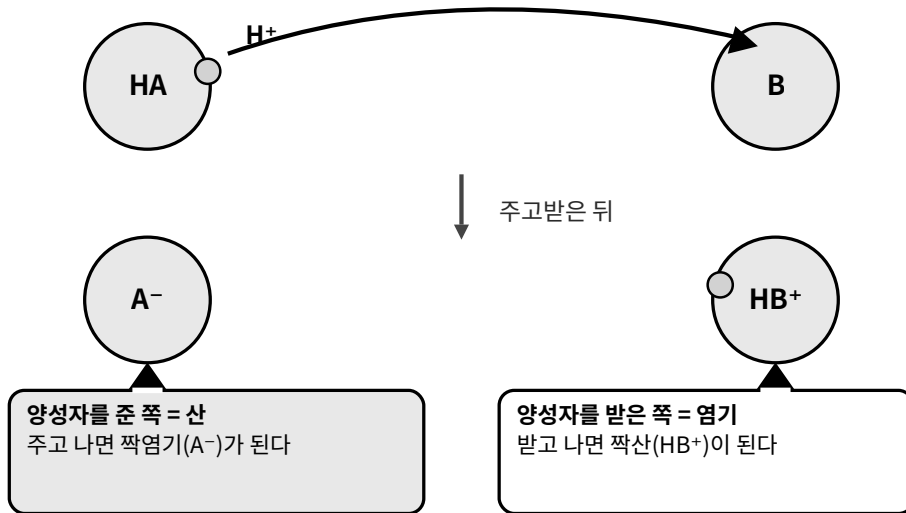
기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 3 (경북대 2024년) (158쪽)	CO ₂ 와 석회수의 중화 반응식과 필요 Ca(OH) ₂ 질량	C1 산·염기정의 — CO ₂ 같은 산성 산화물이 물과 반응해 산으로 작용한다는 이해
기출 11 (경희대 2020년) (235쪽)	아미노산의 산·염기 성질과 pH별 구조	C1 산·염기정의 — (1) 브뢴스테드-로우리 정의 (H ⁺ 주개 = 산, 받개 = 염기)를 구조에 적용
기출 14 (고려대 2016년) (264쪽)	베이킹소다: CO ₂ 발생·산·염기·자발성	C1 산·염기정의 — (e) 브뢴스테드-로우리 정의로 “H ⁺ 를 받는 염기” 판별
기출 17 (고려대 2015년) (290쪽)	클레오파트라의 진주: 식초·완충·약산 해리도	C1 산·염기정의 — (나) 산·염기 정의의 발전과 (c)(d)의 해석 바탕
기출 18 (서울과기대 2015년) (304쪽)	산화물의 산·염기성, 브뢴스테드·루이스 정의, 물의 양쪽성, 산의 세기(HClO ₄ vs HBrO ₄)	C1 산·염기정의 — [4.2.1][4.2.3] 브뢴스테드·루이스 정의로 물의 역할을 판단

산과 염기는 양성자(H^+)를 주고받는 일이다

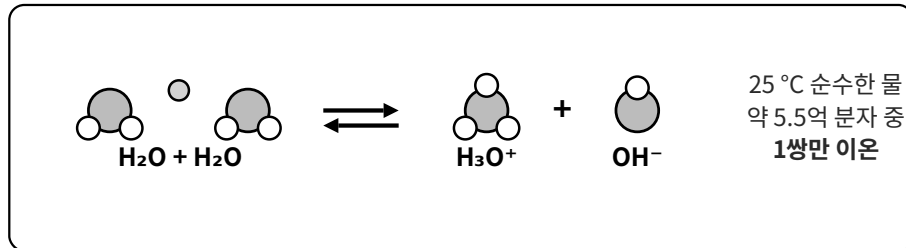
물 한 컵 속에서도 이 일이 아주 조금씩 일어난다



양성자 하나가 건너간다



순수한 물도 서로 주고받는다 (자동이온화)



양성자가 건너가려면
넘을 언덕(활성화에너지)이 있다



그림 3. 산과 염기는 양성자(H^+)를 주고받는 일이다 — 레몬과 비누에서 물 분자까지(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 양성자를 내놓는 쪽이 산, 받는 쪽이 염기이고, 준 뒤에는 짝염기·짝산이 된다.
2. 순수한 물에서도 H_2O 끼리 양성자를 주고받아 H_3O^+ 와 OH^- 가 아주 조금 생긴다(약 5.5억 분자 중 1쌍).
3. 양성자가 건너가려면 넘어야 할 언덕, 곧 활성화에너지가 있다.

이 장의 출발점

이 장은 아무것도 외우지 않아도 읽을 수 있다. 다만 다음 세 가지만 머릿속에 두자. ① 물질은 아주 작은 알갱이(분자·원자·이온)로 되어 있다. ② 원자는 가운데에 + 전하를 띤 핵이, 둘레에 - 전하를 띤 전자가 있다. ③ + 전하와 - 전하는 서로 끌어당긴다. 이 셋이면 충분하다.

첫 토요일, 돌집 과학방의 나무 문이 열리고 석 교수가 들어왔다. 하린·태오 남매와 미숙 이모는 이번에는 산과 염기만 따로 깊이 파 보자고 졸랐다. 석 교수는 칠판 대신 투명한 컵 하나를 탁자에 올려놓았다.

석 교수 오늘은 이 컵 하나로 한 학기를 시작하자. 안에 든 건 그냥 물이다. 이 물이 우리가 배울 산과 염기의 출발점이란다.

태오 물이 산·염기의 출발점이라고요? 산은 레몬이나 식초고, 염기는 비누 같은 거 아니에요? 물은 중성이잖아요.

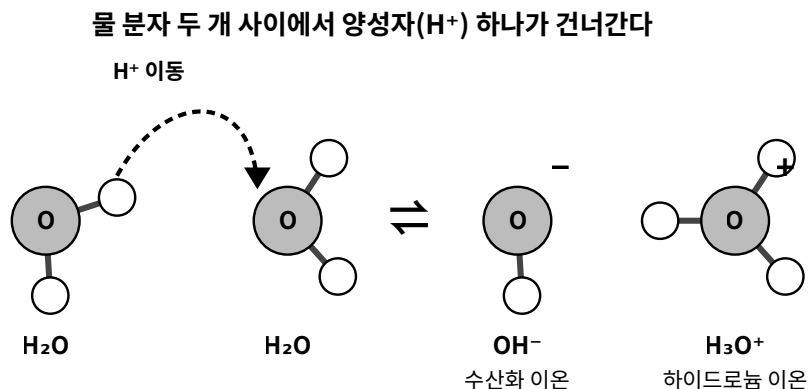
석 교수 좋은 대답이다. 그런데 “중성”이라는 말을 오늘은 조금 다르게 이해해 볼 거야. 중성이라고 해서 물속에 산도 염기도 없다는 뜻은 아니거든.

1.1 생명은 물속에서 일어나는 화학이다

석 교수 우리 몸의 절반 넘게가 물이다. 어른은 몸무게의 대략 60 %, 세포 하나만 떼어 보아도 70 % 안팎이 물이야. 단백질도, DNA도, 포도당도 모두 물에 녹아 있거나 물에 둘러싸여 있다. 생명이 하는 화학은 거의 전부 물속에서 일어난다고 해도 틀리지 않아.

이모 그럼 물이 그냥 “배경”이 아니라 주인공이라는 거네요?

석 교수 맞아요. 그리고 이 주인공에게는 숨은 습관이 하나 있다. 물 분자는 아주 가끔, 스스로 쪼개진다.



25 °C 순수한 물: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = 1.0 \times 10^{-7} \text{ M}$
물 분자 $55.5 \text{ M} \div 10^{-7} \text{ M} \approx 5.6$ 억 개 가운데 한 쌍만 이온

그림 4. 물 분자 두 개가 만나 H⁺(양성자) 하나가 건너가면 하이드로늄 이온(H₃O⁺)과 수산화 이온(OH⁻)이 한 쌍 생긴다. 25 °C 순수한 물에서는 물 분자 약 5.6억 개 가운데 한 쌍만 이렇게 이온으로 존재한다($55.5 \text{ M} \div 10^{-7} \text{ M}$).

하린 쪼개진다고요? 물 분자가 둘로 갈라지는 거예요?

석 교수 정확히는 이렇게 일어난다. 물 분자 두 개가 부딪칠 때, 한 분자의 수소 원자핵 하나가 이웃 분자로 건너간다. 수소 원자핵은 양성자(proton) 하나다. 전자는 두고 핵만 간 거니까 + 전하를 가진 알갱이가 건너간 셈이지. 받은 쪽은 H_3O^+ 가 되고, 준 쪽은 OH^- 가 된다.

태오 H^+ 하나가 옮겨 간 거네요. 그런데 그림 아래 “5.6억 개 가운데 한 쌍”이면 거의 안 일어나는 거 아니에요?

석 교수 숫자로 보면 아주 드물다. 25 °C의 순수한 물 1 L에는 H_3O^+ 가 10^{-7} mol, OH^- 도 10^{-7} mol 들어 있다. 물 분자는 약 55.5 mol이니까 5.6억 개에 한 쌍꼴이야. 하지만 이게 중요하다. 이 일은 한 번 일어나고 끝나는 게 아니라, 쉬지 않고 일어난다. 이온이 생기는 속도와 다시 물로 돌아가는 속도가 같아서 개수가 일정하게 유지될 뿐이야. 이런 상태를 평형이라고 해.

핵심 ① 물의 자동이온화

물이 있는 곳에는 언제나, 그리고 어디서나 H_3O^+ 와 OH^- 가 일정한 비율로 존재한다. 순수한 물에서는 두 이온이 똑같은 양이다. 이것이 물의 **자동이온화**(자체 이온화)이며, 산과 염기 이야기의 모든 출발점이다.

1.2 H_3O^+ 와 OH^- 는 분자들의 ‘양성자 주개’와 ‘양성자 받개’

이모 그런데 그 이온이 그렇게 조금뿐이라면 뭐가 중요해요? 있어도 없는 거나 마찬가지 같은데.

석 교수 여기서 질문이 하나 바뀐다. 이온이 얼마나 많은가가 아니라, 그 이온이 다른 분자에게 무엇을 해 주는가야. H_3O^+ 는 자기가 가진 H^+ 를 다른 분자에게 줄 수 있고, OH^- 는 다른 분자의 H^+ 를 가져갈 수 있다. 그러니까 H_3O^+ 는 양성자 주개, OH^- 는 양성자 받개다.

하린 세포 안의 분자들은 거의 다 양성자를 주거나 받을 수 있는 자리를 갖고 있겠네요?

석 교수 그렇단다. 단백질을 이루는 아미노산 곁사슬을 보자. 글루탐산의 곁사슬 끝에는 $-\text{COOH}$ 가 있고, 라이신에는 $-\text{NH}_2$ 가 있고, 히스티딘에는 고리 속 질소가 있다. 이들은 모두 H^+ 를 내놓거나 붙잡을 수 있어. 그리고 H^+ 를 가졌는지 아닌지에 따라 전하가 달라진다.

pH가 바뀌면 결사슬의 구조가 바뀐다 — H⁺를 붙들거나 내놓는다

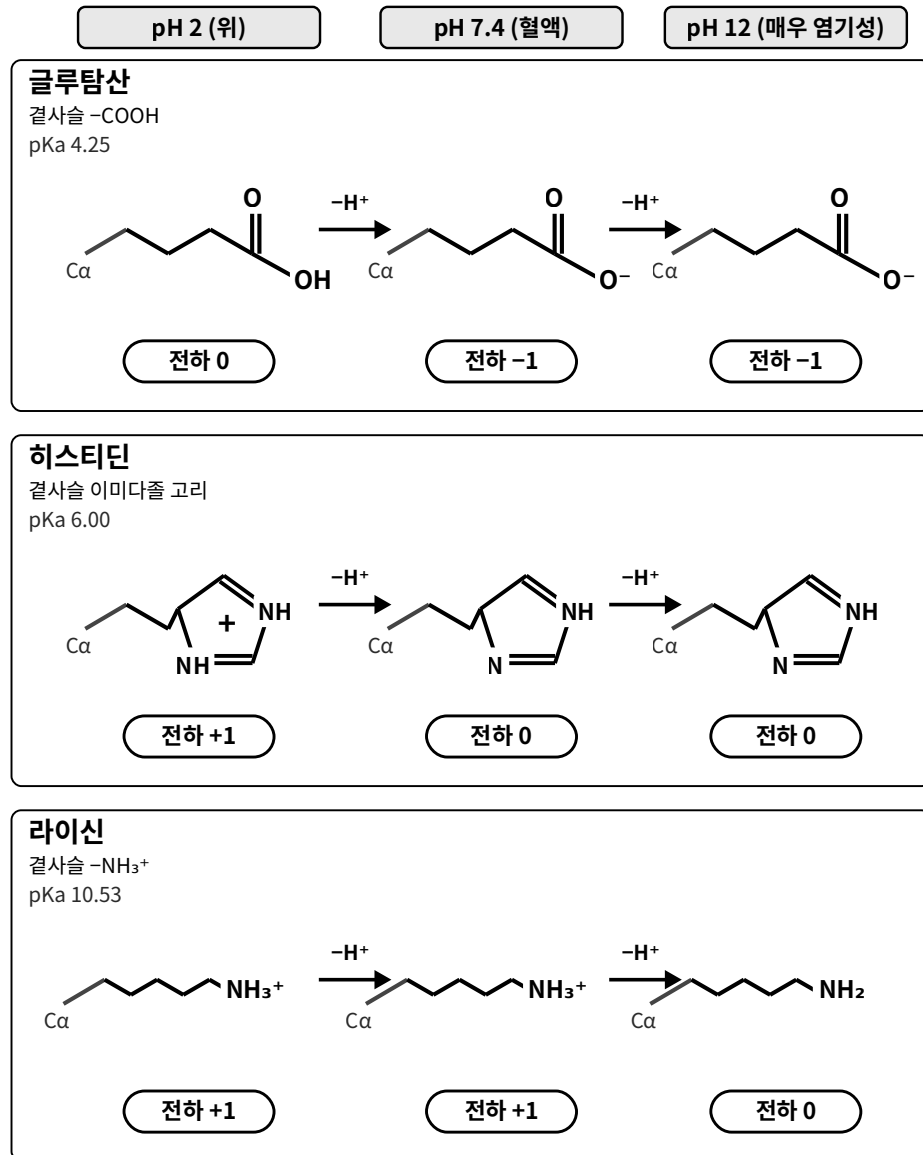


그림 5. 아미노산 결사슬의 구조는 용액의 pH에 따라 바뀐다. 같은 결사슬이 pH가 낮으면 H⁺를 붙든 모양, 높으면 H⁺를 내놓은 모양이 된다. 글루탐산은 -COOH(전하 0) → -COO⁻(전하 -1), 히스티딘은 고리의 NH가 둘인 모양(전하 +1) → 하나만 남은 모양(전하 0), 라이신은 -NH₃⁺(전하 +1) → -NH₂(전하 0)로 바뀐다. 오른쪽 화살표는 H⁺ 하나를 내놓는 방향이다.

석 교수 결사슬의 끝 모양을 직접 보자. 글루탐산은 끝이 -COOH야. 여기서 O-H의 H가 H⁺로 떨어져 나가면 -COO⁻가 되고, 전하가 0에서 -1로 바뀐다. 이 변화가 일어나는 경계가 pKa 4.25야.

하린 그러면 위(pH 약 2)에서는 H⁺가 많으니까 H를 붙든 -COOH 모양이고, 혈액(pH 7.4)에서는 H⁺가 적으니까 -COO⁻ 모양이겠네요.

석 교수 그렇지. 히스티딘은 오각형 고리 속에 질소 두 개가 있다. pH가 낮으면 두 질소에 모두 H가 붙어서 고리 전체가 +1이고, pH가 pKa 6.00보다 높아지면 질소 하나가 H⁺를 내놓아서 전하가 0이 돼. 라이신은 끝의 -NH₃⁺가 pKa 10.53 근처에서 H⁺를 내놓고 -NH₂가 된다.

태오 그림 5을 보면 pH 7.4에서는 세 결사슬 가운데 히스티딘이 가운데 열에서 바뀌어 있어요. pKa가 6.00이라서 pH 7.4가 그보다 오른쪽이기 때문이죠?

석 교수 맞아. 각 결사슬이 어느 pH에서 모양을 바꾸는지는 pKa가 정해 준다. 이제 모양 바뀔을 전하의 크기로 바뀌서 한 장의 곡선으로 보자.

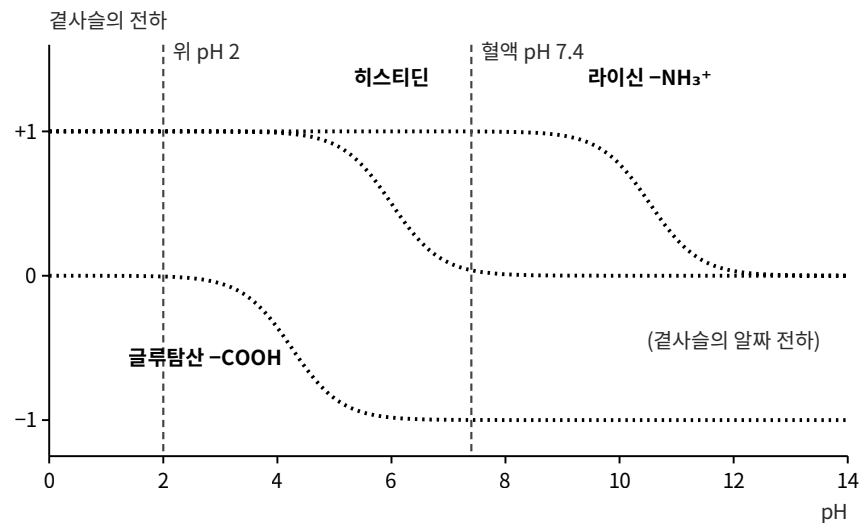


그림 6. 아미노산 결사슬의 알짜 전하는 용액의 pH에 따라 달라진다(pKa: 글루탐산 4.25, 히스티딘 6.00, 라이신 10.53). pH가 낮으면 (H_3O^+ 많음) 결사슬이 H^+ 를 붙들고, pH가 높으면(OH^- 많음) 내놓는다. 점선은 위(pH 약 2)와 혈액·세포질(pH 7.4).

태오 그림 6을 보면 pH 7.4에서 글루탐산은 -1이고 라이신은 +1이네요. pH 2인 위에서는 글루탐산이 0으로 바뀌고요.

석 교수 잘 읽었다. 글루탐산 결사슬은 위에서는 H^+ 를 붙잡고 있어서 전하가 0이지만, 혈액에서는 H^+ 를 내놓아서 -1이 돼. 라이신은 반대로 혈액에서는 H^+ 를 붙잡아 +1이다. 전하가 바뀌면 어떤 일이 생길까?

하린 + 와 -가 서로 끌어당기니까... 단백질이 접히는 모양이 달라지겠어요!

석 교수 그렇다. 단백질은 긴 줄이 +와 - 사이의 끌림으로 접혀서 입체 모양을 이룬다. 어느 자리의 전하가 바뀌면 끌림이 바뀌고, 모양이 바뀌고, 그 모양에 꼭 맞는 분자만 붙잡는 기능도 바뀐다. 그래서 효소마다 가장 잘 일하는 pH가 정해져 있어. 위에서 단백질을 자르는 펩신은 pH 2 근처에서, 소장의 트립신은 pH 8 근처에서 가장 일을 잘한다.

이모 그러니까 농도가 적어서 중요하지 않은 게 아니라, 적기 때문에 조금만 바뀌어도 큰 영향을 주는 거군요. 두부 만들 때 콩물이 응고되는 것도 단백질의 전하가 바뀌어서 그런가요?

석 교수 좋은 짐작이다. 응고제가 단백질 사이의 전하 반발을 줄여서 엉기게 하는 것이니, 비슷한 원리에 닿아 있다. 다만 그 자세한 기작은 이 책의 범위 밖이니 여기서는 방향만 기억하자.

핵심 ② 이온의 농도가 분자의 모양과 기능을 정한다

H_3O^+ 와 OH^- 는 대부분의 분자에게 양성자(H^+)를 주는 쪽 또는 받는 쪽으로 작용한다. 그래서 두 이온의 농도(= pH)가 달라지면 분자가 가진 전하가 달라지고, 전하가 달라지면 구조와 기능이 달라진다.

1.3 화학 반응은 전하가 움직이는 일이다

태오 그런데 교수님, 저는 화학 반응이 “물질이 다른 물질로 바뀌는 것”이라고 배웠어요. 전하가 움직인다는 건 처음 들어요.

석 교수 같은 말을 다른 눈으로 본 거란다. 분자는 원자들이 전자를 함께 나누어 가진 덩어리야. 반응이 일어나 분자가 바뀐다는 건 결국 전자가 옮겨 가서 새 결합이 만들어지고 옛 결합이 끊어진다는 뜻이다. 전자는 - 전하를 가졌으니, 전자가 움직이면 그 자리의 전하 분포가 함께 움직인다. 반응 중에 분자 한쪽이 +쪽으로 기울고 다른 쪽이 -쪽으로 기울는 것을 우리는 **전하의 이동**이라고 부르기로 하자.

하린 그러면 H^+ 가 옮겨 가는 건요? 아까 물에서 H^+ 하나가 건너갔잖아요.

석 교수 아주 좋은 연결이야. H^+ 는 + 전하를 가진 양성자다. 양성자가 한 분자에서 다른 분자로 옮겨 가면, 분자 사이에서 + 전하가 통째로 건너간 거지. 이때 받는 쪽 분자는 자기 쪽에 있는 전자쌍 하나를 내밀어 양성자와 새 결합을 만든다. 즉 양성자 이동은 전자쌍의 이동이기도 하다. 눈에 보이는 건 양성자지만, 일을 하는 건 전자쌍이야.

핵심 ③ 반응의 본질

화학 반응 = 전자(- 전하)의 이동 = 양전하의 재배치. 산·염기 반응은 그중에서도 가장 단순한 경우로, 양성자 하나(+ 전하 하나)가 한 분자에서 다른 분자로 건너가는 반응이다.

1.4 산·염기는 어떻게 반응을 빠르게 만들까 — 활성화에너지

석 교수 마지막으로 가장 중요한 이야기를 하자. 반응이 일어나려면 부딪치는 분자들이 먼저 에너지 언덕 하나를 넘어야 한다. 이 언덕의 높이를 **활성화에너지**(E_a)라고 불러. 언덕이 높으면 넘는 분자가 적어서 반응이 느리고, 낮으면 많이 넘어 빠르다.

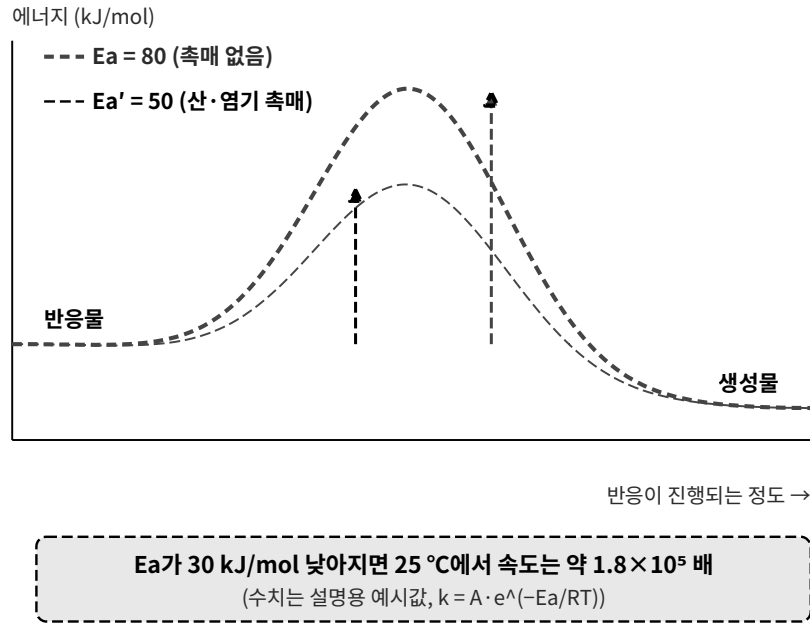


그림 7. 반응 경로의 에너지 모양(설명용 값). 회색 점선은 산·염기가 없을 때($E_a = 80$ kJ/mol), 갈색 실선은 산·염기가 도울 때($E_a' = 50$ kJ/mol)이다. 반응물과 생성물의 에너지 차는 같고 언덕만 낮아진다.

태오 산이나 염기가 어떻게 언덕을 낮춰요?

석 교수 방금 배운 전하의 이동으로 설명할 수 있다. 예를 들어 어떤 분자의 탄소 원자를 - 전하를 띤 쪽이 공격하려면, 그 탄소가 + 쪽으로 기울어 있어야 유리하다. 이때 근처의 H_3O^+ 가 양성자 하나를 그 분자의 산소에 붙여 주면 어떻게 될까?

하린 산소가 + 를 띠니까 전자를 더 세게 끌어당기겠네요. 그러면 탄소가 더 + 쪽으로 기울고, 공격받기 쉬워져요!

석 교수 훌륭하다. 반대로 OH^- 가 다른 분자의 H^+ 를 떼어 가면 그 분자는 - 쪽으로 기울어 스스로 다른 분자를 공격하는 힘센 일꾼이 된다. 이렇게 산(양성자 주개)과 염기(양성자 받개)는 전하를 미리 옮겨 놓아 반응의 문턱을 낮추어 주는 역할을 한다. 그 결과 같은 온도에서도 반응이 훨씬 빨라져.

이모 얼마나 빨라지는데요? 그림에서는 80에서 50이니까 별것 아닌 것 같은데.

석 교수 속도 상수는 $k = A \cdot e^{(-E_a/RT)}$ 꼴이라서 E_a 가 30 kJ/mol 줄면 25 °C에서 $e^{(30000/(8.314 \times 298))} \approx 1.8 \times 10^5$ 배가 돼. 십팔만 배다. 그림의 높이 차이는 작아 보여도, 지수에 들어가기 때문에 속도로는 엄청난 차이가 난다.

하린 그럼 산·염기가 많을수록 무조건 빠른 거예요?

석 교수 중간 단계에서는 맞다. 하지만 pH를 끝없이 낮추거나 높일 수는 없어. 아까 본 것처럼 단백질의 모양과 전하가 바뀌어 버리니까. 그래서 생명은 pH를 아주 좁은 범위에 붙잡아 두고 그 안에서 반응을 조절한다.

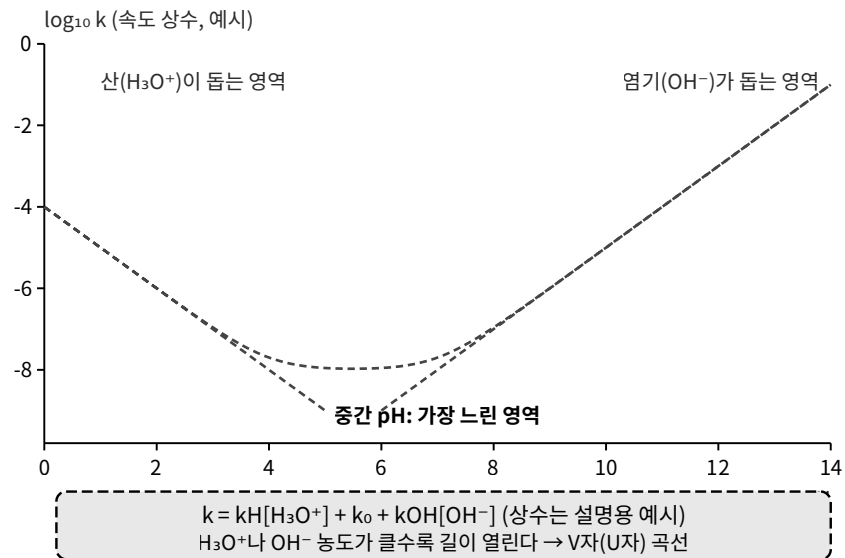


그림 8. 많은 반응의 속도 상수 k 는 pH에 따라 U자(V자) 꼴이 된다(설명용 값). 낮은 pH에서는 H_3O^+ 가, 높은 pH에서는 OH^- 가 반응을 돕고, 가운데에서는 그 도움이 가장 작아 속도가 가장 느리다.

과학의 최전선 — 효소는 산·염기 촉매의 달인

효소는 활성 자리에 히스티딘 같은 결사슬을 정확한 위치에 배치해 놓고, 필요한 순간에 양성자를 주거나 받아 가게 한다(일반 산·염기 촉매). 이 덕분에 효소는 활성화에너지를 크게 낮춘다. 예컨대 단백질을 자르는 키모트립신의 활성 자리에서는 히스티딘이 양성자 받개 노릇을 한다(Nelson & Cox, 2021). 산과 염기를 이해한다는 것은 효소가 일하는 방식을 이해하는 첫걸음이다.

1.5 이 장의 줄거리, 그리고 앞으로의 길

석 교수 오늘 이야기를 한 줄씩 이어 보자. 생명은 물속의 화학이다. 물은 스스로 이온이 되어 H_3O^+ 와 OH^- 가 늘 일정하게 있다. 이 이온들은 다른 분자에게 양성자를 주고받는다. 그래서 그 농도가 분자의 전하, 모양, 기능을 정한다. 반응은 본질적으로 전하의 이동이고, 산과 염기는 그 이동을 쉽게 해 활성화에너지를 낮춘다.

태오 그러면 앞으로 배울 pH는 “ H_3O^+ 농도를 편하게 읽는 숫자”이고, 완충용액은 “그 농도가 함부로 흔들리지 않게 잡아 주는 장치”겠네요.

석 교수 정확히 그렇다. 다음 장부터 그 도구들을 하나씩 만들자. 먼저 산과 염기를 눈으로 알아보는 방법부터 시작하자꾸나.

문제 1.1

25 °C 순수한 물 1.0 L에서 물 분자 약 55.5 mol 가운데 이온으로 존재하는 것은 H_3O^+ 10^{-7} mol(과 OH^- 10^{-7} mol)이다. 물 분자 몇 개당 H_3O^+ 한 개꼴인지 구하라.

하린 물 분자 수가 55.5 mol이고 H_3O^+ 가 10^{-7} mol이니까 비를 구하면 되겠어요.
 $55.5 \div 10^{-7} = 5.55 \times 10^8$ 이에요.

석 교수 단위가 서로 같은 mol이니 그대로 나누면 개수의 비가 된다. 약 5.6억 개에 한 개꼴이다. 아보가드로수를 곱해 줄 필요는 없지.

문제 1.2

어떤 효소의 활성 자리에 있는 히스티딘의 pKa를 6.0이라 하자. pH 7.4에서 이 겂사슬은 대부분 H⁺를 가진 상태일까, 내놓은 상태일까? 이유를 간단히 설명하라.

태오 그림 6에서 히스티딘 곡선을 보면 pH 6 근처에서 +1에서 0으로 내려가요. pH 7.4는 그보다 오른쪽이니까 0쪽이에요.

석 교수 그렇지. pH가 pKa보다 높을수록 용액에 H⁺가 모자라서 겂사슬이 H⁺를 내놓은 쪽이 많아져. 그래서 7.4에서는 대부분 H⁺를 내놓은 상태(전하 0 쪽)이다. 그런데 pH 7.4와 6.0은 1.4 차이밖에 안 되니, 아주 일부는 아직 H⁺를 가지고 있다. 그 일부가 양성자를 주고받는 촉매 일을 하는 거란다. 자세한 계산은 12장에서 해 보자.

스스로 풀어 보기 정답은 부록 A

1. 물의 자동이온화 반응식을 쓰고, 이때 양성자를 준 분자와 받은 분자를 구분하라.
2. 위(pH 약 2)에서 글루탐산 겂사슬(-COOH)이 가진 전하는 -1, 0, +1 중 무엇인가? 그림 6를 보고 답하라.
3. 활성화에너지가 20 kJ/mol 낮아지면 25 °C에서 반응 속도는 약 몇 배가 되는지, $k = A \cdot e^{(-E_a/RT)}$ 를 써서 구하라($R = 8.314 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$).
4. “H₃O⁺ 농도가 10⁻⁷ M밖에 안 되니 산·염기는 생명에 중요하지 않다”는 주장의 틀린 점을 두세 문장으로 반박하라.

이 장의 참고문헌

Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson. Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). Lehninger principles of biochemistry (8th ed.). W. H. Freeman.

제 2장 산과 염기, 어떻게 알아볼까

새 개념 산·염기의 성질 · 지시약 · 산·염기 개념의 역사
이어짐 pH 3장 · 적정 9장 · 산+탄산염 반응 2부 A3

이 장의 개념도

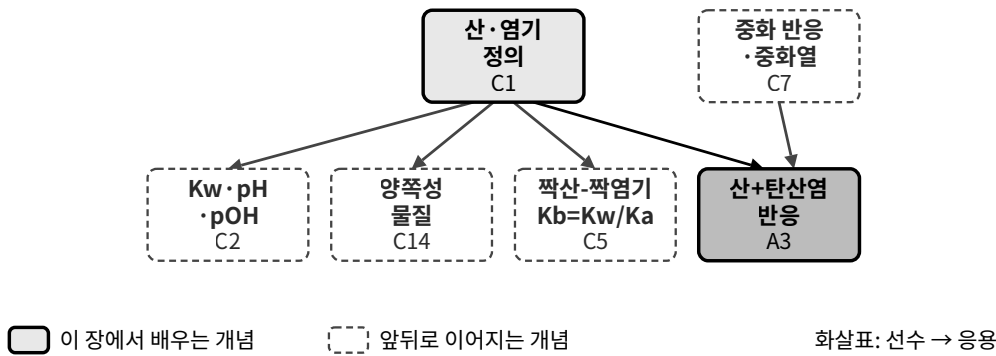


그림 9. 제 2장에서 배우는 개념(A3 산+탄산염반응, C1 산·염기정의)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

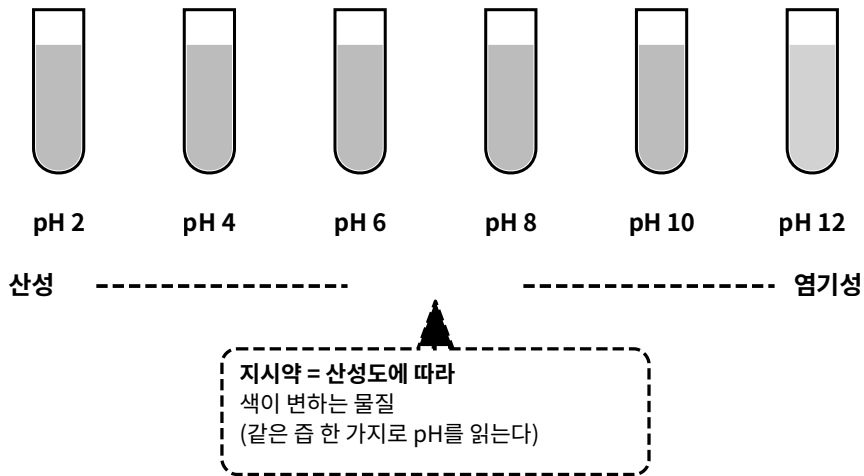
표 4. 제 2장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 1 (경북대 2025년) (135쪽)	산성 호수 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 중화와 CO_2 양적 관계	A3 산+탄산염반응 — CO_2 가 물에 녹아 탄산이 되고 염기와 반응하는 흐름
기출 3 (경북대 2024년) (158쪽)	CO_2 와 석회수의 중화 반응식과 필요 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 질량	C1 산·염기정의 — CO_2 같은 산성 산화물이 물과 반응해 산으로 작용한다는 이해 A3 산+탄산염반응 — $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ (석회수가 뿌영게 되는 반응)
기출 10 (연세대 2021년) (223쪽)	해양 산성화와 탄산칼슘 형성 평형(산호초·달걀 껍데기)	A3 산+탄산염반응 — CO_2 가 물에 녹아 탄산이 되고 Ca^{2+} 와 만나 CaCO_3 가 되는 흐름
기출 11 (경희대 2020년) (235쪽)	아미노산의 산·염기 성질과 pH별 구조	C1 산·염기정의 — (1) 브뢴스테드-로우리 정의 (H^+ 주개 = 산, 받개 = 염기)를 구조에 적용
기출 14 (고려대 2016년) (264쪽)	베이킹소다: CO_2 발생·산·염기·자발성	A3 산+탄산염반응 — (a) 탄산수소염 + 산 $\rightarrow$ 염 + 물 + CO_2 라는 기체 발생 중화 C1 산·염기정의 — (e) 브뢴스테드-로우리 정의로 “ H^+ 를 받는 염기” 판별
기출 17 (고려대 2015년) (290쪽)	클레오파트라의 진주: 식초·완충·약산 해리도	C1 산·염기정의 — (나) 산·염기 정의의 발전과 (c)(d)의 해석 바탕 A3 산+탄산염반응 — (a) 산 + 탄산염 $\rightarrow$ 염 + 물 + CO_2
기출 18 (서울과기대 2015년) (304쪽)	산화물의 산·염기성, 브뢴스테드·루이스 정의, 물의 양쪽성, 산의 세기(HClO_4 vs HBrO_4)	C1 산·염기정의 — [4.2.1][4.2.3] 브뢴스테드·루이스 정의로 물의 역할을 판단

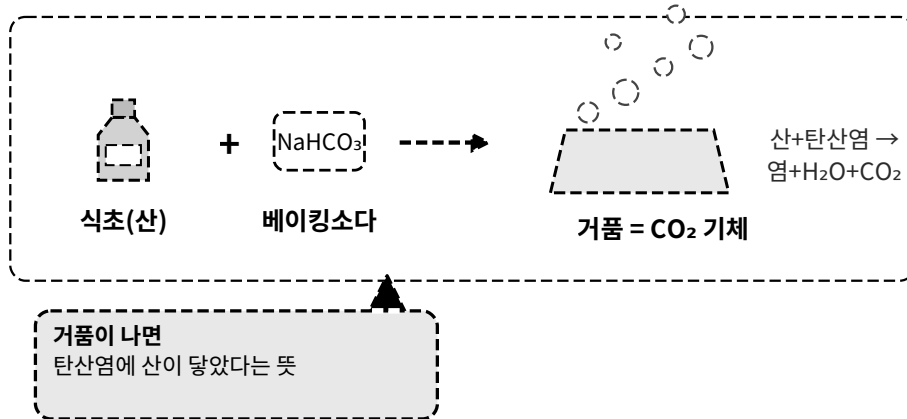
산과 염기는 어떻게 알아볼까

맛·색·거품 — 눈으로 보이는 단서들

적양배추 즙: 지시약의 색은 pH를 따라 바뀐다



식초 + 베이킹소다 → 거품(CO_2)



산·염기를 설명하는 생각이 바뀌어 온 길



그림 10. 산과 염기를 알아보는 단서 — 지시약의 색, 산과 탄산염의 거품, 그리고 정의의 역사(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 적양배추 즙 같은 지시약은 pH에 따라 색이 달라지므로, 한 가지 즙으로 산성도를 읽을 수 있다.
2. 식초(산)에 베이킹소다(탄산염)를 더하면 CO_2 거품이 난다.
3. 산·염기의 정의는 맛과 지시약에서 아레니우스, 브뢴스테드-로리·루이스로 넓어졌다.

이 장의 출발점

1장의 다음 한 줄이면 된다: 물에는 H_3O^+ 와 OH^- 가 늘 있고, 산은 H_3O^+ 가 많은 쪽, 염기는 OH^- 가 많은 쪽이다. 이 장에서는 그 차이를 코나 입이 아니라 눈으로 알아보는 방법을 배운다.

하린 교수님, 지난주에 집에서 적양배추를 삶았더니 보라색 물이 나왔어요. 거기에 식초를 넣었더니 빨개지고, 세제를 넣었더니 초록색이 됐어요!

석 교수 아주 좋은 실험을 했구나. 그게 오늘 이야기의 시작이다. 사람은 오래전부터 산과 염기를 구별하려고 했는데, 처음에는 맛과 느낌으로 했단다.

2.1 산과 염기의 성질

석 교수 산(acid)이라는 이름은 ‘신’이라는 뜻의 라틴어 acidus에서 왔다. 식초와 레몬즙이 시다. 염기는 만지면 미끄럽고 쓴맛이 난다. 비누가 미끈거리는 것이 그 예다. 다만 실험실의 물질은 절대 맛보면 안 된다. 강한 산과 염기는 피부와 눈을 상하게 한단다.

태오 맛으로 구별한다는 건 옛날 방법이네요. 지금은 성질로 구별하나요?

석 교수 그렇다. 표로 정리해 보자.

표 5. 산과 염기의 대표 성질(수용액)

항목	산	염기
감촉·맛(일상 식품)	시다(식초, 레몬)	쓰고 미끈하다(비누, 재 우린 물)
금속과 반응	마그네슘, 아연 등과 반응해 수소 기체(H_2)를 낸다	대부분 반응하지 않는다(알루미늄·아연은 예외)
탄산염과 반응	CO_2 기체 발생(거품)	—
전기 전도	전기가 통한다(이온이 있으므로)	전기가 통한다
지시약	리트머스를 붉게	리트머스를 푸르게
서로 만나면	서로의 성질을 약하게 하는 중화 반응(8장)	

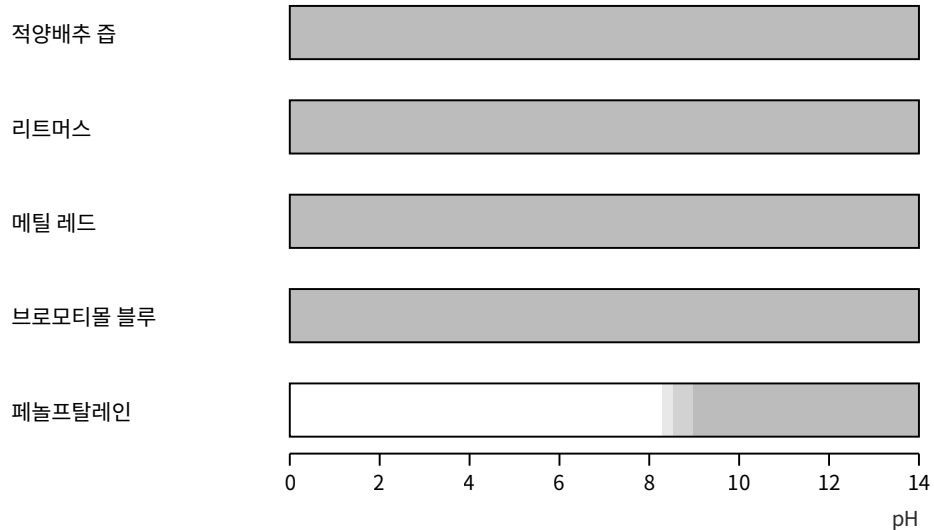
이모 아, 그래서 달걀 껍데기에 식초를 부르면 거품이 나는군요. 달걀 껍데기가 탄산칼슘이니까.

석 교수 정확해요. $\text{CaCO}_3 + 2 \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_2 + 3 \text{H}_2\text{O}$. 산이 탄산염에 양성자를 주면 탄산이 되고, 탄산은 곧 물과 이산화탄소로 나뉜다. 석회암 동굴이나 대리석 조각이 산성비에 녹는 것도 같은 반응이야. 이 반응은 2부 응용 개념 A3(산+탄산염)에서 다시 만난다.

2.2 지시약: 색으로 읽는 H_3O^+ 농도

석 교수 맛을 볼 수 없다면 눈으로 봐야겠지. 어떤 물질은 pH에 따라 자기 구조가 바뀌어서 색이 달라진다. 이런 물질을 지시약(indicator)이라고 한다. 하린이가 쓴 적양배추의 보라색은 안토시아닌이라는 색소 때문이다. 이 색소는 H^+ 를 붙이거나 떼면 구조가 바뀌어서 빛을 흡수하는 색도 바뀐다.

지시약의 색은 pH에 따라 이렇게 바뀐다(대략)



리트머스·메틸 레드 등은 좁은 pH 구간(변색 구간)에서만 색이 변한다.
적양배추 색은 즙의 농도와 조건에 따라 달라진다.

그림 11. 지시약의 색은 pH에 따라 바뀐다(대략). 리트머스, 메틸 레드, 브로모티몰 블루, 페놀프탈레인은 좁은 pH 구간(변색 구간)에서만 색이 변하고, 적양배추 즙은 넓은 구간에서 연속적으로 변한다.

하린 그림에서 리트머스는 pH 4.5에서 8.3 사이에서만 변해요. 그럼 pH 2인 용액과 pH 4인 용액은 구별 못 하겠네요?

석 교수 맞다. 리트머스만으로는 둘 다 붉은색이야. 그래서 목적에 맞는 지시약을 고른다. 페놀프탈레인은 pH 8.3 아래에서는 무색이고 10 위에서는 붉은 자주색이니, 염기성을 확인할 때 쓴다. 적정(9장)에서 지시약을 어떻게 고르는지 자세히 배울 거야.

태오 지시약이 색을 바꾸는 것도 결국 H^+ 를 주고받는 일이에요?

석 교수 맞다. 지시약도 약한 산이나 염기다. $\text{HIn} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{In}^-$ 에서 HIn과 In^- 의 색이 다르다. 용액의 H_3O^+ 가 많으면 HIn이 많아 한 색이, 적으면 In^- 가 많아 다른 색이 보이는 거지. 1장에서 본 결사슬의 전하 변화와 같은 그림이다.

2.3 산·염기를 보는 눈은 어떻게 바뀌었나

석 교수 이제 개념의 역사를 한 장으로 보자.

산·염기 개념이 바뀌어 온 길

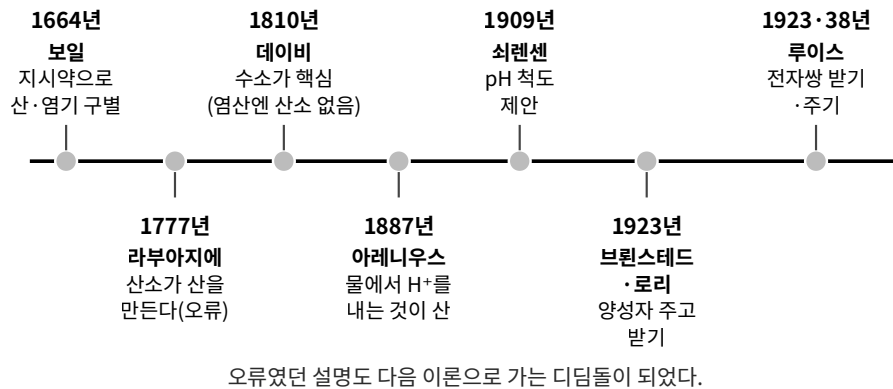


그림 12. 산·염기 개념의 연표. 점은 각 이론이 제안된 시기이다(1777년 라부아지에는 후에 틀린 것으로 밝혀져 회색). 보일(1664)의 《색에 관한 실험》에서 식물 즙으로 산·염기를 구별했다.

이모 라부아지제가 틀렸다니 의외네요. 유명한 사람인데.

석 교수 과학은 그렇게 자란단다. 라부아지에는 산소(oxygen)라는 이름을 ‘산을 만드는 것’이라는 뜻으로 지었다. 산이 산소를 가졌다고 생각한 거지. 그런데 데이비가 1810년에 염산(HCl)에는 산소가 없다는 것을 보였고, 산의 정체는 산소가 아니라 수소 쪽에 있다는 생각이 퍼졌다. 이어서 아레니우스(1887)는 산을 “물에서 H⁺를 내는 물질”이라고 정의했고, 1923년에는 브뢴스테드와 로리가 “H⁺를 주는 물질”로 넓혔다. 같은 해에 루이스는 “전자쌍을 받는 물질”이라는 더 넓은 정의를 내놓았다.

하린 그런데 한 가지 궁금해요. 1장에서 반응은 전자와 양전하의 이동이라고 했잖아요. 루이스의 정의가 바로 그 말이에요?

석 교수 눈이 매우 날카롭구나. 맞다. 루이스의 정의는 전자쌍이 누구에게 가는지에 초점을 맞춘다. 이번 책에서는 물에서 일어나는 산·염기를 주로 다루니까 브뢴스테드-로리 정의를 쓰고, 루이스는 4장에서 한 번 맛만 본다.

과학의 최전선 — pH 종이에서 스마트폰 센서까지

지시약 종이는 색을 눈으로 비교하므로 대략적인 값만 준다. 정밀한 측정에는 유리 전극 pH 미터를 쓴다. 이 전극은 수소 이온의 양(정확히는 활동도)에 따라 전극 전위가 달라지는 것을 이용한다. 방법은 달라도 결국 H₃O⁺의 양을 서로 다른 신호로 읽어 내는 셈이다.

문제 2.1

다음 중 산성 물질이 반응해서 기체를 내는 것을 모두 고르라. (가) 아연 + 묽은 염산 (나) 달걀 껍데기 + 식초 (다) 마그네슘 + 수산화나트륨 수용액 (라) 대리석 + 산성비

태오 (가)는 수소가 나오고, (나)는 이산화탄소가 나와요. (라)도 같은 이산화탄소요. (다)는 염기와 마그네슘이니까 반응 안 하고요.

석 교수 (가), (나), (라)가 답이다. (다)는 마그네슘이 염기 용액과 반응하지 않으므로 기체가 나오지 않는다. 표에서 ‘금속과 반응’의 염기 칸을 다시 읽어 보렴.

문제 2.2

어떤 용액에 리트머스를 넣었더니 붉은색, 메틸 레드를 넣었더니 붉은색, 페놀프탈레인은 무색이었다. 이 용액의 pH 범위를 그림 11를 보고 추정하라.

하린 리트머스가 붉으면 pH가 4.5보다 작아요. 메틸 레드도 붉으니까 4.4보다 작고요. 페놀프탈레인 무색은 8.3보다 작다는 건데, 이미 4.4보다 작으니까 새로 아는 건 없어요.

석 교수 그렇다. 세 정보를 합치면 pH가 4.4보다 작다는 것까지만 확정된다. 정확한 값을 알려면 변색 구간이 더 낮은 지시약이 필요해. 이렇게 겹치는 구간을 찾는 방식으로 pH를 추정하는 게 지시약 조합법이다.

스스로 풀어 보기 정답은 부록 A

1. 산과 염기가 지시약으로 서로 다른 색을 보이는 이유를 ‘H⁺를 주고받는다’는 말을 넣어 한 문장으로 쓰라.
2. 탄산칼슘(CaCO₃)과 산(H₃O⁺)이 반응하는 식을 쓰고, 나오는 기체의 이름을 말하라.
3. 어떤 용액이 메틸 레드에서 노란색, 브로모티몰 블루에서 파란색, 페놀프탈레인에서 무색이다. pH 범위를 그림 11를 보고 구하라.
4. 아레니우스, 브뢴스테드-로리, 루이스의 산 정의를 한 문장씩 쓰라.

이 장의 참고문헌

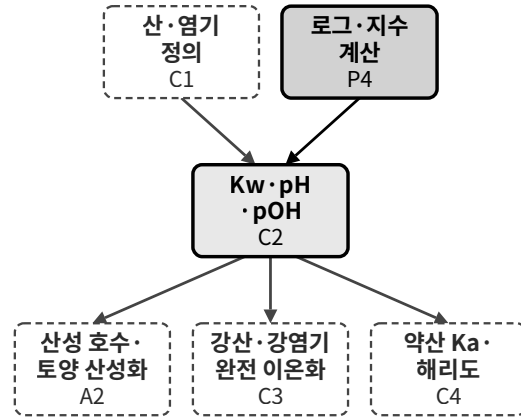
Boyle, R. (1664). Experiments and considerations touching colours. Henry Herringman. Arrhenius, S. (1887). Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. Zeitschrift für physikalische Chemie, 1, 631–648. Lewis, G. N. (1938). Acids and bases. Journal of the Franklin Institute, 226(3), 293–313. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(38\)91691-6](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(38)91691-6) Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson.

제 3장 물의 이온곱과 pH

새 개념 이온곱 K_w · pH · pOH · 로그

이어짐 강산·약산 5장 · 약산 pH 6장 · 완충 12장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념

 앞뒤로 이어지는 개념

화살표: 선수 → 응용

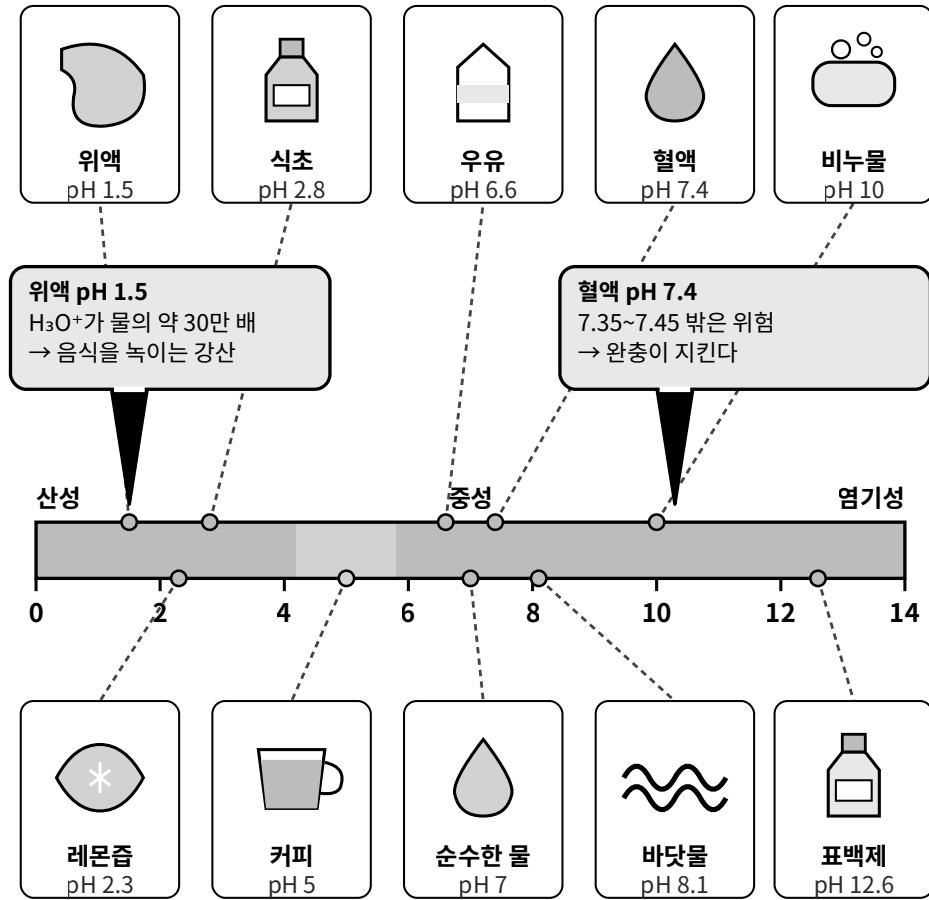
그림 13. 제 3장에서 배우는 개념(P4 로그·지수계산, C2 K_w ·pH·pOH)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 6. 제 3장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 6 (연세대 미래캠퍼스 2023년) (185쪽)	염의 가수분해에 의한 액성 판단과 염화 암모늄 수용액의 pH	P4 로그·지수계산 — $\log 7 = 0.845$, $6 - \log 7$ 처리 등 로그 계산 C2 K_w·pH·pOH — $K_w = 10^{-14}$ 와 pH 정의
기출 10 (연세대 2021년) (223쪽)	해양 산성화와 탄산칼슘 형성 평형(산호초·달걀 껍데기)	C2 K_w·pH·pOH — 해수 pH 변화와 $[H_3O^+]$ 의 관계
기출 12 (연세대 2020년) (244쪽)	에탄올 산화(1차 반응)로 생긴 아세트산의 pH 3 조건과 초기 에탄올 질량	P4 로그·지수계산 — $pH \leftrightarrow [H_3O^+]$ 변환과 반감기 $(1/2)^n$ 계산에서 쓰는 로그·지수 감각 C2 K_w·pH·pOH — pH 3에서 $[H_3O^+] = 10^{-3}$ M로 바꾸는 pH 정의
기출 15 (성균관대 2016년) (275쪽)	인산의 단계적 이온화와 학종 농도비	C2 K_w·pH·pOH — $pOH \rightarrow pH \rightarrow [H^+]$ 변환 ($pH + pOH = 14$)

생활 속 pH — 컵 속에 H_3O^+ 가 몇 개 들었는가



컵 속을 확대하면 — 같은 부피 안의 H_3O^+ (●)와 OH^- (■)

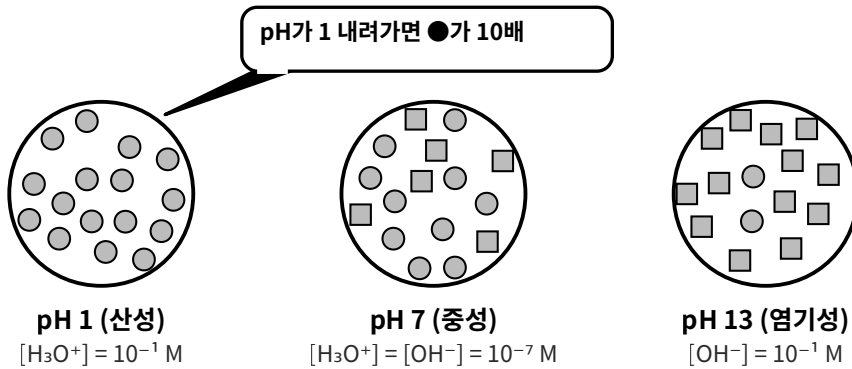


그림 14. 생활 속 pH와 H_3O^+ 농도 — 위액에서 표백제까지, 그리고 컵 속 확대(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. pH 막대의 색은 산성(붉은색)에서 염기성(보라색)으로 바뀐다.
2. pH가 1 내려가면 H_3O^+ 는 10배가 된다. 위액(pH 1.5)과 순수한 물(pH 7)은 H_3O^+ 가 약 30만 배 차이 난다.
3. 혈액은 pH 7.35~7.45 안에 있어야 하며, 이를 지키는 장치가 완충이다.

이 장의 출발점

10의 거듭제곱(10^3 , 10^{-2})을 읽을 수 있으면 된다. 10^{-3} 은 1000분의 1, 곧 0.001이다. 로그(log)는 이 장에서 처음부터 설명하니 걱정하지 않아도 된다. 1장에서 본 “순수한 물에서 H_3O^+ 는 $10^{-7} M$ ”이라는 숫자만 기억하자.

태오 교수님, pH가 7이면 중성, 7보다 작으면 산성이라는 건 아는데요. 왜 하필 7이예요? 0이나 1이면 더 외우기 쉬웠을 텐데요.

석 교수 좋은 질문이다. 7은 마음대로 정한 숫자가 아니라 물의 성질에서 나온 거란다. 1장에서 순수한 물의 H_3O^+ 가 얼마라고 했지?

하린 $1.0 \times 10^{-7} M$ 이요. 그리고 OH^- 도 똑같이 $1.0 \times 10^{-7} M$ 이고요.

3.1 이온곱 Kw: 곱이 일정하다

석 교수 두 값을 곱해 보자. $10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$. 이 곱을 물의 **이온곱 상수** K_w 라고 하고, 25 °C에서 $K_w = [H_3O^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$ 이다. 여기서 []는 몰 농도 (mol/L)를 뜻하는 기호야.

태오 곱이 일정하다고요? 그럼 H_3O^+ 를 늘리면 OH^- 는 줄어야 하겠네요.

석 교수 그렇다. 물에 산(HCl)을 넣어 H_3O^+ 를 10^{-2} 로 만들었다고 하자. 그러면 OH^- 는 $10^{-14} \div 10^{-2} = 10^{-12}$ 로 줄어든다. 늘어난 H_3O^+ 가 OH^- 를 만나 다시 물이 되는 거지. 이걸 **르샤틀리에 원리**(평형이 깨지면 그 영향을 줄이는 쪽으로 이동한다)와 같은 이야기야.

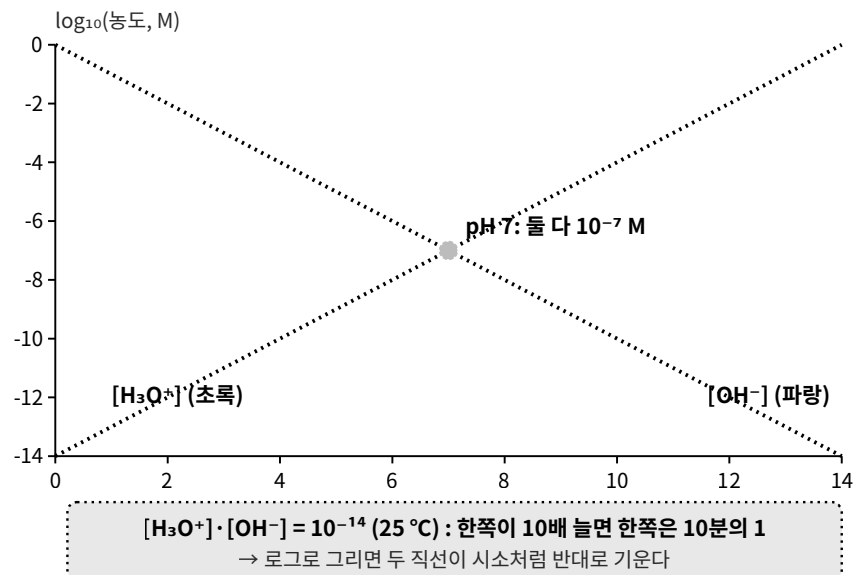


그림 15. 로그 눈금으로 그린 H_3O^+ 와 OH^- 농도. 두 직선은 pH 7에서 만난다. 한쪽이 10배 늘면 다른 쪽은 10분의 1로 줄어, 곱 10^{-14} 이 일정하게 유지된다(25 °C).

이모 시소 같네요. 한쪽이 올라가면 한쪽은 내려가는.

석 교수 아주 좋은 비유예요. 시소의 가운데(받침점)가 바로 pH 7이다. 받침점에서는 양쪽이 같아서 “중성”이라고 불러. 그러니 pH 7은 우연이 아니라 $10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$ 에서 나온 것이다.

3.2 pH는 ‘10의 지수’를 읽기 쉽게 바꾼 숫자

석 교수 농도가 10^{-1} M부터 10^{-14} M까지 무려 14자리나 변하니, 매번 이렇게 쓰면 불편하다. 그래서 1909년 덴마크의 쇠렌센이 이 농도를 편하게 읽는 숫자를 제안했다. 그게 pH야.

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}_3\text{O}^+]$$

하린 로그가 뭐예요? 처음 보는데요.

석 교수 로그는 어렵지 않다. “10을 몇 제곱하면 이 수가 될까?”를 묻는 거야. 10을 3제곱하면 1000이니 $\log 1000 = 3$ 이다. $10^{-3} = 0.001$ 이니 $\log 0.001 = -3$. 그러니 H_3O^+ 농도가 0.001 M이면 $\text{pH} = -(-3) = 3$ 이다. 지수의 부호만 바꿔서 읽으면 돼.

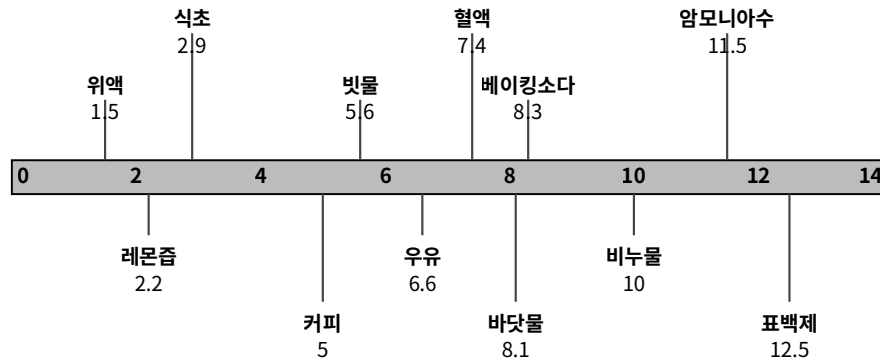
태오 그럼 농도가 1.0×10^{-7} 이면 pH가 7이네요. 그런데 농도가 3.2×10^{-4} 처럼 딱 떨어지지 않으면요?

석 교수 그때는 $\log 3.2 = 0.51$ 을 써. $3.2 \times 10^{-4} = 10^{(0.51)} \times 10^{-4} = 10^{(-3.49)}$ 이므로 $\text{pH} = 3.49$ 다. 감각으로는 “ 10^{-4} 보다 조금 크니 pH는 4보다 조금 작은 3.49”로 느끼면 충분해. 계산기가 없을 때를 위해 $\log 2 \approx 0.30$, $\log 3 \approx 0.48$ 을 기억해 두면 편하다.

핵심 ① pH의 규칙

$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$. pH가 1 작아지면 H_3O^+ 는 10배 많아진다. pH 3은 pH 5보다 H_3O^+ 가 100배 많다. 25 °C에서 $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ ($\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-]$). pH 7은 중성, 7보다 작으면 산성, 크면 염기성이다.

우리 둘레의 pH (대략값)



제품·조건에 따라 달라지는 대략값이다. 숫자 하나가 10배의 차이를 뜻한다.

그림 16. 일상 물질의 pH(대략값). 같은 간격(숫자 1)이 10배의 농도 차이를 뜻한다. 위액(pH 1.5)과 혈액(7.4)은 H_3O^+ 농도로 약 80만 배 차이이다.

이모 그러니까 위액이 pH 1.5이고 혈액이 7.4면, 숫자로 6 차이밖에 안 나는데 실제로는 백만 배 가까이 다르다는 거네요?

석 교수 $10^{(7.4-1.5)} = 10^{5.9} \approx 8 \times 10^5$. 그렇다. 숫자가 작아 보여도 농도 차이는 엄청나. 그래서 우리 몸이 pH를 0.1만 벗어나도 큰일이라는 걸 생각해 보면 된다. 혈액 pH는 7.35~7.45 사이로 아주 좁게 유지된단다. 0.1이면 H_3O^+ 농도가 약 26 % 달라지는 거야.

3.3 Kw는 온도에 따라 변한다

태오 우리 몸은 37 °C인데 25 °C 기준이 그대로 맞나요?

석 교수 좋은 점을 짚었다. Kw는 온도에 따라 변한다. 25 °C에서는 10^{-14} 이지만 37 °C에서는 약 2.4×10^{-14} 이다. 그럼 순수한 물의 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{(2.4 \times 10^{-14})} = 1.5 \times 10^{-7}$, pH는 약 6.8이다. 그래도 H_3O^+ 와 OH^- 가 같으니까 중성이다. 그래서 “pH 7이면 중성”은 25 °C에서만 맞는 말이야. 본문 문제는 따로 말이 없으면 25 °C로 읽는다.

문제 3.1

0.020 M 질산(HNO_3 , 강산) 수용액의 pH와 pOH를 구하라. (HNO_3 는 물에서 완전히 이온화된다고 보라. $\log 2 = 0.30$)

하린 강산이면 전부 이온이 되니까 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0.020 = 2.0 \times 10^{-2}$ M이에요. $\text{pH} = -\log(2.0 \times 10^{-2}) = -(0.30 - 2) = 1.70$ 이에요.

태오 그리고 $\text{pOH} = 14 - 1.70 = 12.30$ 이요.

석 교수 둘 다 맞다. 확인하는 법이 하나 있다. $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ 이니까 $1.70 + 12.30 = 14.00$. 그리고 계산 전에 어렵해 보는 습관을 들이자. 0.01이면 pH 2, 0.1이면 pH 1이니 0.02는 그 사이에서 2보다 조금 작은 값일 거라고 말이야.

문제 3.2

어떤 용액의 pH가 5.3이다. $[H_3O^+]$ 를 구하라. ($10^{0.7} = 5.0$)

이모 pH가 5.3이면 $10^{-5.3}$ 이잖아요. $10^{(-5.3)} = 10^{(-6+0.7)} = 10^{0.7} \times 10^{-6} = 5.0 \times 10^{-6} M$ 이에요.

석 교수 정확해요. “소수 부분을 0.7로 만들려고 6에서 빼 온다”는 요령이다. $10^{0.7}$ 이 5라는 건 $\log 5 = 0.70$ 에서 나온다.

스스로 풀어 보기 (정답은 부록 A)

1. 25 °C에서 $[OH^-]$ 가 $1.0 \times 10^{-3} M$ 인 용액의 $[H_3O^+]$ 와 pH를 구하라.
2. pH 2인 용액과 pH 5인 용액의 H_3O^+ 농도는 몇 배 차이인가?
3. 0.0050 M HCl의 pH를 구하라. ($\log 5 = 0.70$)
4. 37 °C의 순수한 물이 pH 6.8이어도 중성인 이유를 말하라.

이 장의 참고문헌

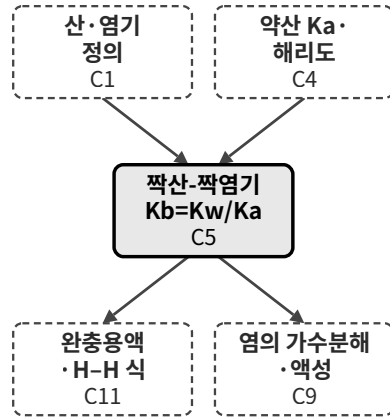
- Sørensen, S. P. L. (1909). Enzymstudien II: Über die Messung und die Bedeutung der Wasserstoffionenkonzentration bei enzymatischen Prozessen. *Biochemische Zeitschrift*, 21, 131–304.
- Harris, D. C., & Lucy, C. A. (2020). *Quantitative chemical analysis* (10th ed.). W. H. Freeman. Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). *Chemistry: The central science* (14th ed.). Pearson.

제 4장 산과 염기의 정의: 양성자를 주고받는 짝

새 개념 아레니우스·브뢴스테드-로리· 짝산-짝염기· 양쪽성· 루이스

이어짐 약산 Ka 5장· 가수분해 10장· 다가산 13장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념

 앞뒤로 이어지는 개념

화살표: 선수 → 응용

그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

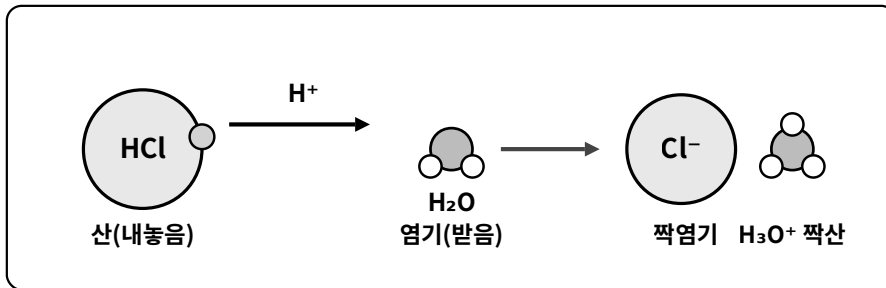
표 7. 제 4장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (연세대 미래캠퍼스 2025년) (144쪽)	중화적정·약산 pH·혈액 완충·총괄성	C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$ — 2-1: $K_b = K_w / K_a$ 로 짝염기의 세기를 구한다
기출 4 (연세대 2023년) (166쪽)	질산 암모늄의 가수분해와 토양 산성화	C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$ — $K_a(NH_4^+) = K_w / K_b$ 로 NH_4^+ 의 산 세기를 제시문의 K_b 에서 구하는 데...
기출 5 (연세대 2023년) (176쪽)	NH_3 / NH_4^+ 완충 용액 제조와 산 첨가 시 변화	C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$ — NH_3 의 K_b 에서 짝산 NH_4^+ 의 $pK_a(9.26)$ 를 구하는 과정
기출 6 (연세대 미래캠퍼스 2023년) (185쪽)	염의 가수분해에 의한 액성 판단과 염화 암모늄 수용액의 pH	C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$ — $K_b(NH_3)$ 에서 $K_a(NH_4^+) = K_w / K_b$ 를 구하는 변환
기출 18 (서울과기대 2015년) (304쪽)	산화물의 산·염기성, 브뢴스테드·루이스 정의, 물의 양쪽성, 산의 세기($HClO_4$ vs $HBrO_4$)	C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$ — [4.2.3] 짝산-짝염기 쌍 (H_3O^+ / H_2O , NH_4^+ / NH_3)
기출 20 (서울시립대 2012년) (320쪽)	산의 세기· K_a ·pH와 벤젠 니트로화·술폰화	C5 짝산-짝염기 $K_b = K_w / K_a$ — (a) $K_b = K_w / K_a$ 로 짝염기의 세기를 구하는 짝산-짝염기 관계

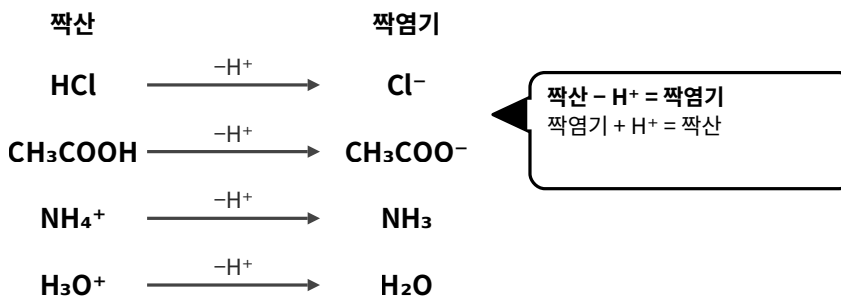
산·염기 정의 — 양성자를 주고받는 짝

공을 던지는 쪽이 산, 받는 쪽이 염기, 던진 뒤에는 서로 짝이 된다

브뢴스테드-로리: 양성자 캐치볼



짝산-짝염기 쌍: 양성자 하나 차이



물은 산도, 염기도 될 수 있다 (양쪽성)

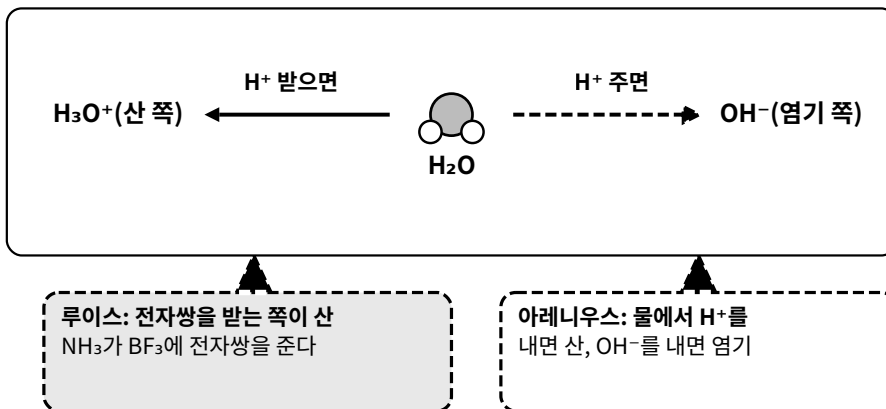


그림 18. 양성자 캐치볼과 짝산-짝염기 — 산이 양성자를 던지면 염기가 받는다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 짝산에서 H^+ 하나를 빼면 짝염기가 되고, 짝염기에 H^+ 를 더하면 짝산이 된다.
2. 물은 H^+ 를 받으면 H_3O^+ , 내놓으면 OH^- 가 되는 양쪽성 물질이다.
3. 아레니우스는 물속의 $H^+ \cdot OH^-$, 루이스는 전자쌍의 이동으로 산·염기를 정의한다.

이 장의 출발점

1장의 핵심 ①~③이면 충분하다. 산과 염기는 H^+ (양성자)를 주고받는 쪽이다. 이 장은 그 생각을 정확한 정의와 짝의 개념으로 다듬는다. 3장의 H_3O^+ 표기도 그대로 쓴다.

태오 교수님, 아레니우스는 “산은 물에 녹아 H^+ 를 내는 물질, 염기는 OH^- 를 내는 물질”이라고 배웠어요. 그런데 암모니아(NH_3)는 OH^- 가 들어 있지 않은데도 염기라고 하던데요?

석 교수 바로 그 점이 아레니우스 정의의 한계였다. 그래서 1923년 브뢴스테드와 로리가 따로 같은 해에 정의를 넓혔지. 오늘은 그 새 정의를 익히고, 산과 염기가 늘 짝으로 다닌다는 것을 배우자.

4.1 브뢴스테드-로리 정의

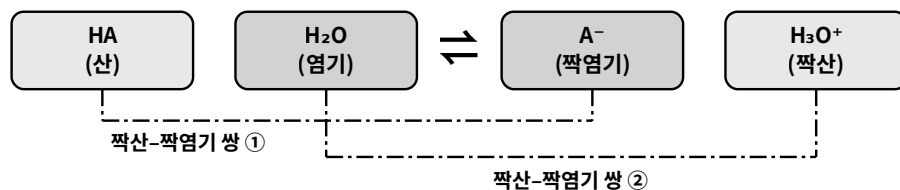
석 교수 새 정의는 이렇게 간단하다. 산은 양성자(H^+)를 주는 물질, 염기는 양성자를 받는 물질이다. 1장에서 물 분자끼리 H^+ 를 주고받는 것을 봤지. 이 눈으로 암모니아를 보자. $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$. NH_3 가 물에서 H^+ 를 받았으니 염기다. OH^- 는 물에서 나온 거지 NH_3 에 들어 있던 게 아니야.

하린 물이 H^+ 를 줬으니까 물은 산이네요? 물이 산이라니 이상한데요.

석 교수 그 말이 이 정의의 핵심이다. 물은 NH_3 앞에서는 산으로, 아세트산(CH_3COOH) 앞에서는 염기로 행동한다. 상대에 따라 역할이 바뀌는 물질을 양쪽성(amphiprotic) 물질이라고 한다.

4.2 짝산과 짝염기

산과 염기는 양성자(H^+)를 주고받는 짝



산: H^+ 를 주는 쪽 (양성자 주개) 염기: H^+ 를 받는 쪽 (양성자 받개)

반응이 거꾸로 가면 역할이 뒤바뀐다 → 짝산-짝염기 쌍

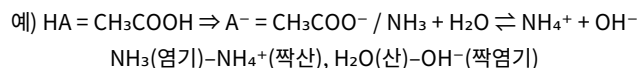


그림 19. 산(HA)이 H^+ 를 주면 짝염기(A^-)가 되고, 염기(H_2O)가 H^+ 를 받으면 짝산(H_3O^+)이 된다. 반응식 하나에 짝산-짝염기 쌍이 두 개 들어 있다.

석 교수 그림의 맨 위 반응 $HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$ 를 보자. 정반응에서 HA는 H^+ 를 주고 A^- 가 된다. 거꾸로 가는 반응에서는 A^- 가 H^+ 를 받아 HA가 된다. 그러니 A^- 는 HA에서 H^+ 하나가 빠진 짝이다. 이 둘을 **짝산-짝염기 쌍**이라고 한다. H_2O 와 H_3O^+ 도 쌍이야.

이모 그러면 산이 세면 짝염기는 어떻게 돼요?

석 교수 좋은 질문이다. 산이 H^+ 를 쉽게 내놓을수록, 그 짝염기는 H^+ 를 도로 받기 싫어한다. HCl은 아주 센 산이라 Cl^- 는 H^+ 를 거의 받지 않는 아주 약한 염기다. 반대로 약한 산인 아세트산의 짝염기 CH_3COO^- 는 H^+ 를 어느 정도 붙잡는다. 이 관계는 7장에서 $K_a \cdot K_b = K_w$ 라는 식으로 정확해져.

핵심 ① 짝산-짝염기

산 $\rightleftharpoons$ 짝염기 + H^+ . 산이 셀수록 짝염기는 약하고, 약한 산의 짝염기는 어느 정도 염기성을 띤다. 반응식 하나에는 짝산-짝염기 쌍이 두 개 있다.

4.3 양쪽성과 루이스의 눈

태오 HCO_3^- 는요? 탄산수소 이온이요. 혈액에서 중요하다고 들었어요.

석 교수 HCO_3^- 는 H^+ 를 내놓으면 CO_3^{2-} 가 되고(산), H^+ 를 받으면 H_2CO_3 가 된다(염기). 양쪽성이야. 14장에서 혈액의 pH를 지키는 핵심 이온이 되니 기억해 두자. 인산수소 이온($H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-})이나 아미노산도 양쪽성이다(13장).

하린 루이스는 어떻게 달라요? 2장에서 맛만 본다고 하셨잖아요.

석 교수 루이스는 H^+ 가 아니라 전자쌍의 이동을 본다. 염기는 전자쌍을 주는 쪽, 산은 전자쌍을 받는 쪽이다. NH_3 가 H^+ 에게 전자쌍을 줄 때(N의 비공유 전자쌍), 브뢴스테드 식으로는 “양성자를 받은 것”이고 루이스 식으로는 “전자쌍을 준 것”이다. 같은 사건을 다른 쪽에서 본 거야. 이 둘은 서로 모순되지 않는다. 1장에서 “양성자 이동은 전자쌍의 이동”이라고 했던 말이 바로 이것이다.

표 8. 세 가지 산·염기 정의 비교

이론	산	염기	특징
아레니우스(1887)	물에서 H^+ 를 내는 물질	물에서 OH^- 를 내는 물질	물 용액에만 적용, NH_3 설명이 어렵다
브뢴스테드-로리(1923)	양성자(H^+) 주개	양성자 받개	짝산-짝염기, 용매가 물이 아니어도 적용
루이스(1923-38)	전자쌍 받개	전자쌍 주개	양성자가 없는 반응도 포함, 가장 넓다

문제 4.1

다음 반응에서 산과 염기, 그리고 짝산-짝염기 쌍을 각각 짝지어라. $HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$

하린 HCO_3^- 가 H^+ 를 받아 H_2CO_3 가 됐으니 HCO_3^- 가 염기고 H_2CO_3 가 짝산이에요. 물은 H^+ 를 줘서 OH^- 가 됐으니 산이고 OH^- 가 짝염기예요.

석 교수 정확하다. 쌍은 (HCO_3^- ; H_2CO_3)와 (H_2O ; OH^-)이다. 같은 HCO_3^- 가 H_2O 에게 H^+ 를 주는 반응도 가능하다. 그때는 HCO_3^- 가 산이다. 어느 쪽 역할을 하는지는 상대에 달렸다.

문제 4.2

HSO_4^- 의 짝염기와 짝산을 각각 쓰라. 또 NH_3 의 짝산, CH_3COOH 의 짝염기도 쓰라.

태오 H^+ 를 하나 내놓으면 짝염기이니까 HSO_4^- 의 짝염기는 SO_4^{2-} 이고, H^+ 를 하나 받으면 짝산이니까 H_2SO_4 예요. NH_3 의 짝산은 NH_4^+ , CH_3COOH 의 짝염기는 CH_3COO^- 요.

석 교수 규칙은 늘 “ H^+ 하나 차이”다. 전하도 함께 확인하자. $\text{HSO}_4^-(-1)$ 에서 $\text{H}^+(+1)$ 가 빠지면 -2 가 되어 SO_4^{2-} 가 되었지.

스스로 풀어 보기 (정답은 부록 A)

1. 짝산-짝염기의 관계를 ‘ H^+ 하나’라는 말을 써서 정의하라.
2. H_2PO_4^- 의 짝산과 짝염기를 쓰라.
3. $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ 에서 H_2O 가 산인 이유를 설명하라.
4. 루이스의 정의로 BF_3 가 산인 이유를 한 문장으로 쓰라(BF_3 는 전자쌍을 받는다).

이 장의 참고문헌

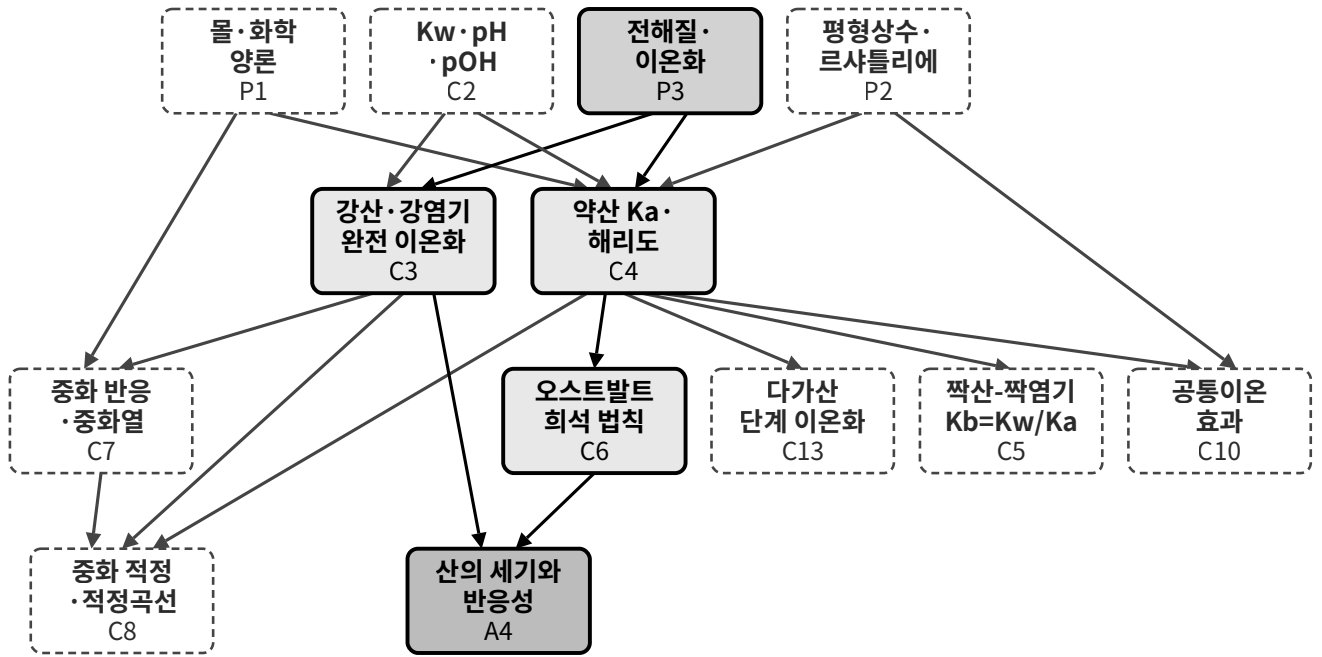
Brønsted, J. N. (1923). Einige Bemerkungen über den Begriff der Säuren und Basen. *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas*, 42(8), 718–728. <https://doi.org/10.1002/recl.19230420815> Lewis, G. N. (1938). Acids and bases. *Journal of the Franklin Institute*, 226(3), 293–313. [https://doi.org/10.1016/S0016-0032\(38\)91691-6](https://doi.org/10.1016/S0016-0032(38)91691-6) Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). *Chemistry: The central science* (14th ed.). Pearson.

제 5장 강산과 약산: 얼마나 잘 쪼개지는가

새 개념 이온화 정도 α · 산 해리 상수 K_a · pK_a

이어짐 약산의 pH 6장 · 오스트발트 묽힘 법칙 2부 C6 · 산의 세기 2부 A4

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념

 앞뒤로 이어지는 개념

화살표: 선수 → 응용

그림 20. 제 5장에서 배우는 개념(P3 전해질·이온화, A4 산의 세기와반응성, C3 강산·강염기완전 이온화, C4 약산 K_a ·해리도, C6 오스트발트희석 법칙)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

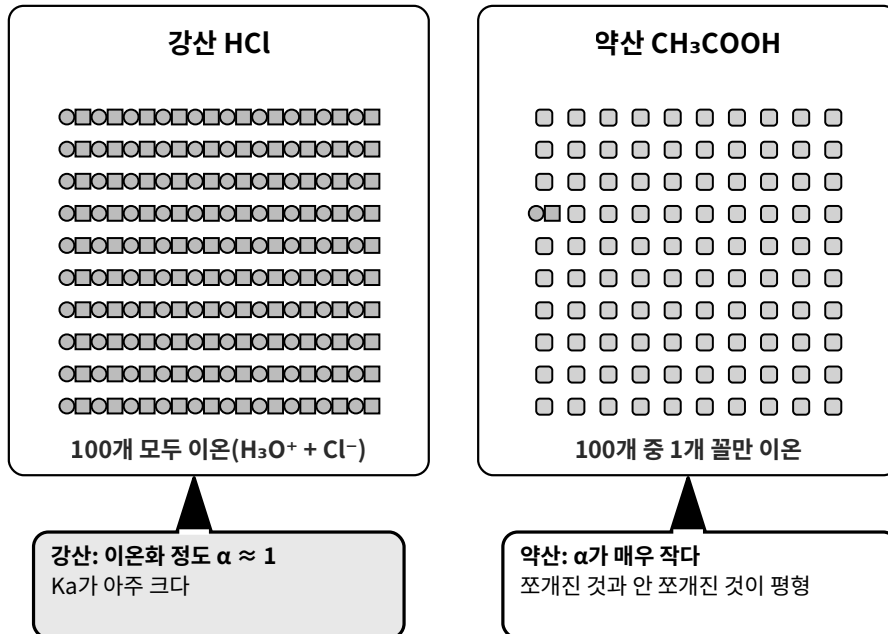
표 9. 제 5장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (연세대 미래캠퍼스 2025년) (144쪽)	중화적정·약산 pH·혈액 완충·총괄성	C4 약산 Ka·해리도 — 2-3: 약산 H_2CO_3 의 Ka와 근사식
기출 6 (연세대 미래캠퍼스 2023년) (185쪽)	염의 가수분해에 의한 액성 판단과 염화 암모늄 수용액의 pH	C4 약산 Ka·해리도 — 약산(NH_4^+) 수용액의 평형표와 $x \ll C$ 근사
기출 7 (연세대 2022년) (196쪽)	0.10 M 염산과 아세트산에 Mg를 넣을 때	C4 약산 Ka·해리도 — 아세트산이 일부만 이온화한다는 약산의 평형과 $[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{(\text{Ka} \cdot C)}$ 근사 A4 산의 세기와반응성 — Ka 크기로 산의 세기를 비교하고 $[\text{H}_3\text{O}^+]$ 차이로 연결
기출 10 (연세대 2021년) (223쪽)	해양 산성화와 탄산칼슘 형성 평형(산호초·달걀 껍데기)	P3 전해질·이온화 — 탄산· HCO_3^- 가 전해질로서 이온화한다는 기초 개념 C4 약산 Ka·해리도 — 탄산(H_2CO_3)이 약산이라 일부만 이온화한다는 점과 Ka_1 값의 의미
기출 12 (연세대 2020년) (244쪽)	에탄올 산화(1차 반응)로 생긴 아세트산의 pH 3 조건과 초기 에탄올 질량	C4 약산 Ka·해리도 — 약산 아세트산의 이온화 평형과 $\text{Ka} = [\text{H}_3\text{O}^+]^2/C$ 근사
기출 17 (고려대 2015년) (290쪽)	클레오파트라의 진주: 식초·완충·약산 해리도	C4 약산 Ka·해리도 — (e) 약산의 해리도와 $\sqrt{(\text{Ka}/C)}$ 관계 C6 오스트발트희석 법칙 — (e) 농도가 커질수록 해리도가 감소하는 약산의 성질
기출 18 (서울과기대 2015년) (304쪽)	산화물의 산·염기성, 브린스테드·루이스 정의, 물의 양쪽성, 산의 세기(HClO_4 vs HBrO_4)	A4 산의 세기와반응성 — [4.2.4] 전기음성도·결합 극성으로 산의 세기를 구조와 연결
기출 19 (고려대 2014년) (314쪽)	약산의 농도와 해리도, 르 샤틀리에 원리(희석)	C4 약산 Ka·해리도 — 약산 HA의 평형과 $\alpha = \sqrt{(\text{Ka}/C)}$ 근사 C6 오스트발트희석 법칙 — 농도가 낮아질수록 해리도가 커지고 이온 농도는 작아지는 약산의 성질
기출 20 (서울시립대 2012년) (320쪽)	산의 세기·Ka·pH와 벤젠 니트로화·술폰화	C4 약산 Ka·해리도 — (b) 약산 아세트산의 평형과 근사 계산 C3 강산·강염기완전 이온화 — (c) HCl이 완전 이온화하는 강산이라는 개념, 강산·약산 구분

강산과 약산 — 얼마나 잘 쪼개지는가

같은 100개의 산 분자를 물에 풀어 놓았을 때

● H_3O^+ ■ 음이온(A^-) □ 안 쪼개진 분자 HA



pKa 사다리 — 숫자가 작을수록 강한 산

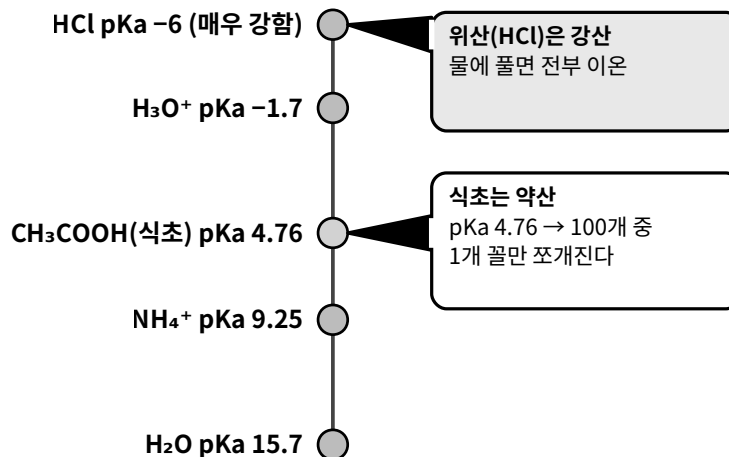


그림 21. 강산과 약산 — 같은 100개의 분자를 물에 풀었을 때와 pKa 사다리(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 강산은 100개가 모두 이온으로 쪼개지고($\alpha \approx 1$), 약산은 100개 중 1개 꼴만 쪼개진다.
2. pKa가 작을수록 센 산이다. HCl은 약 -6, 식초의 아세트산은 4.76이다.
3. 약산은 쪼개진 것과 안 쪼개진 것이 평형을 이루므로 Ka로 센 정도를 나타낸다.

이 장의 출발점

4장의 짝산-짝염기, 3장의 pH, 그리고 평형(앞뒤 반응 속도가 같아 양이 변하지 않는 상태)이면 충분하다. 평형에서는 생성물 농도의 곱을 반응물 농도의 곱으로 나눈 값이 온도가 같으면 일정하다는 것만 알면 된다.

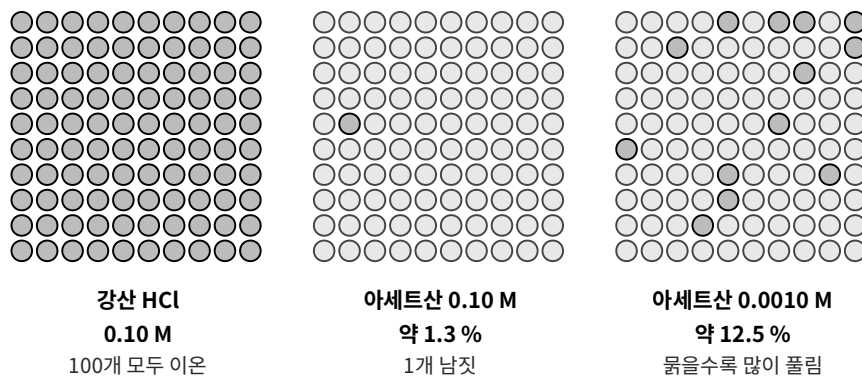
하린 교수님, 식초 속 아세트산도 산이고 염산도 산인데, 염산은 만지면 큰일 나고 식초는 샐러드에 뿌려 먹잖아요. 왜 그렇게 달라요?

석 교수 산이 H^+ 를 내놓는 능력이 다르기 때문이다. 둘 다 물에 녹으면 H^+ 를 물에게 주지만, 염산은 거의 전부가 주고 아세트산은 아주 일부만 준다. 오늘은 그 ‘일부’를 숫자로 나타내는 법을 배우자.

5.1 강산은 100 %, 약산은 일부만

석 교수 염산(HCl)을 물에 녹이면 $HCl + H_2O \rightarrow H_3O^+ + Cl^-$ 이 거의 끝까지 간다. 그래서 0.10 M HCl에서는 H_3O^+ 가 거의 0.10 M이다. 이런 산을 **강산**이라고 한다. 대표적인 강산은 HCl, HBr, HI, HNO_3 , $HClO_4$, 그리고 H_2SO_4 (첫 번째 양성자)이다. 반면 아세트산이나 불화수소산(HF) 같은 **약산**은 일부만 이온이 되고 나머지는 분자 상태로 남아 있다. $CH_3COOH + H_2O \rightleftharpoons CH_3COO^- + H_3O^+$ 는 양쪽 방향으로 계속 일어나 평형을 이룬다.

같은 100개의 산 분자 가운데 이온이 된 것(초록)



HCl 0.10 M: 100 %, 아세트산 $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ 로 계산 (그림은 비율을 보이는 모형)

그림 22. 같은 100개의 산 분자 가운데 이온이 된 것(초록). 강산은 모두, 아세트산($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)은 0.10 M에서 약 1.3 %, 0.0010 M에서 약 12.5 %만 이온이 된다. 물을수록 이온이 된 비율이 커진다.

태오 그림에서 아세트산 0.10 M은 100개 중 1개 남짓만 이온이네요. 대부분은 그냥 CH_3COOH 로 남아 있고요.

석 교수 그 비율을 **이온화 정도**(해리도) α 라고 부른다. $\alpha = (\text{이온이 된 양}) \div (\text{처음 녹인 양})$. 아세트산 0.10 M에서는 $\alpha \approx 0.013$ 이다. 그럼 $[H_3O^+]$ 는?

하린 $0.10 \times 0.013 = 1.3 \times 10^{-3}$ M이에요. 그러면 pH는 $-\log(1.3 \times 10^{-3}) \approx 2.9$ 네요.

석 교수 좋다. 같은 0.10 M이어도 염산은 pH 1, 아세트산은 pH 약 2.9다. 농도가 같아도 산의 센 정도(세기)가 달라서 pH가 다른 거야.

5.2 세기를 숫자로: 산 해리 상수 K_a

석 교수 α 는 농도에 따라 바뀌어서 산의 세기를 나타내는 고정된 숫자로는 아쉽다. 그래서 평형 상수를 쓴다. $HA + H_2O \rightleftharpoons A^- + H_3O^+$ 에서

$$K_a = [H_3O^+][A^-] / [HA]$$

이모 물은 식에 안 들어가요?

석 교수 묽은 용액에서 물은 55.5 M로 거의 일정하게 많아서 상수 속에 포함해 버린다. 그래서 식에 쓰지 않아. K_a 가 크면 평형이 이온 쪽으로 많이 기울어 있는 센 산이고, 작으면 약한 산이다. 아세트산의 K_a 는 25 °C에서 1.8×10^{-5} 이다.

태오 숫자가 너무 작아서 비교하기 힘든데요?

석 교수 그래서 pH처럼 $pK_a = -\log K_a$ 를 쓴다. 아세트산은 $pK_a = 4.74$ 이다. pK_a 가 작을수록 센 산이다.

표 10. 대표적인 산의 K_a 와 pK_a (25 °C)

산	K_a	pK_a
아세트산 CH_3COOH	1.8×10^{-5}	4.74
불화수소산 HF	6.8×10^{-4}	3.17
탄산 H_2CO_3 (첫째)	4.3×10^{-7}	6.37
시아노화수소 HCN	4.9×10^{-10}	9.31

하린 HF의 K_a 가 아세트산보다 커요. 그럼 HF가 더 센 산이요?

석 교수 맞다. 같은 농도라면 HF가 H^+ 를 더 많이 내놓는다. 그런데 ‘더 센 산’이라는 말과 ‘더 진한 산’이라는 말을 헷갈리지 말자. 세기는 산의 종류(K_a)가 정하고, 진하기는 농도가 정한다. 아주 진한 약산과 아주 묽은 강산을 비교하는 것이 시험에 자주 나오는 함정이야.

자주 하는 착각

‘강산 = 진한 산’이 아니다. 강산이라도 묽을 수 있고 약산이라도 진할 수 있다. 세기는 K_a , 진하기는 몰 농도이다. 0.0010 M HCl(강산)의 pH는 3.00이고, 1.0 M 아세트산(약산)의 pH는 약 2.4이다. 진한 약산이 묽은 강산보다 H_3O^+ 가 더 많을 수 있다.

5.3 묽을수록 더 많이 쪼개진다 — 오스트발트 묽힘

태오 그림에서 아세트산을 묽히면 12.5 %까지 올라가는데, 같은 산인데 왜 비율이 바뀌어요?

석 교수 평형의 원리다. 물을 더 넣어 농도를 낮추면 평형은 입자 수가 많아지는 이온 쪽으로 이동해서 이온이 된 비율이 늘어난다. 약산에서는 $\alpha \approx \sqrt{(K_a/C)}$ 로 근사할 수 있어서, 농도가 100배 묶어지면 α 는 10배 커진다. 이것이 **오스트발트의 묽힘 법칙**이다. 0.10 M에서 1.3 %가 0.0010 M에서 12.5 %가 되는 것을 그림에서 확인했지. 10배가 아니라 9.4배인 것은 근사가 깨지는 구간이라 그렇다. 그 이유는 다음 장에서 만난다.

문제 5.1

0.010 M 아세트산에서 $\alpha \approx \sqrt{(K_a/C)}$ 로 이온화 정도를 어림하라. ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)

하린 $K_a/C = 1.8 \times 10^{-5} \div 1.0 \times 10^{-2} = 1.8 \times 10^{-3}$ 이고, 제곱근은 약 0.042예요. 그러니까 4.2 % 정도요.

석 교수 정확하다. 단, 이 값이 5 %를 넘으면 근사 자체가 안 맞기 시작한다. 4.2 %는 아직 괜찮은 경계다. 이 규칙은 6장에서 정리한다.

문제 5.2

산 HA의 pKa가 3.0이고 산 HB의 pKa가 5.0이다. 어느 쪽이 센 산이며, K_a 는 몇 배 차이인가?

태오 pKa가 작은 HA가 더 센 산이에요. K_a 는 10^{-3} 과 10^{-5} 니까 100배 차이요.

석 교수 pKa가 2 차이면 K_a 는 10^2 배 차이다. pH와 똑같은 규칙이지.

스스로 풀어 보기 (정답은 부록 A)

1. 강산과 약산의 차이를 ‘이온이 된 비율’이라는 말을 써서 설명하라.
2. 0.10 M HCl과 0.10 M 아세트산 중 pH가 낮은 쪽을 고르고 이유를 쓰라.
3. K_a 가 1.0×10^{-4} 인 산의 pKa를 구하라.
4. 아세트산 0.10 M과 0.0010 M 중 이온화 정도 α 가 큰 것은 어느 쪽인가? 평형의 원리로 이유를 쓰라.

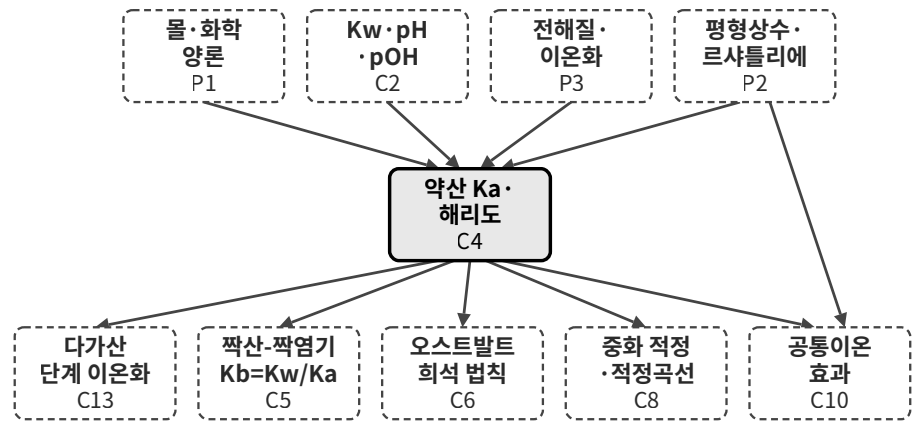
이 장의 참고문헌

Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., Stoltzfus, M. W., & Lufaso, M. W. (2018). Chemistry: The central science (14th ed.). Pearson. Harris, D. C., & Lucy, C. A. (2020). Quantitative chemical analysis (10th ed.). W. H. Freeman.

제 6장 약산의 pH를 계산하자

새 개념 ICE 표 · 근사식 · 5 % 규칙
이어짐 약염기 7장 · 완충 11~12장 · 2부 C4

이 장의 개념도



이 장에서 배우는 개념 앞뒤로 이어지는 개념 화살표: 선수 → 응용

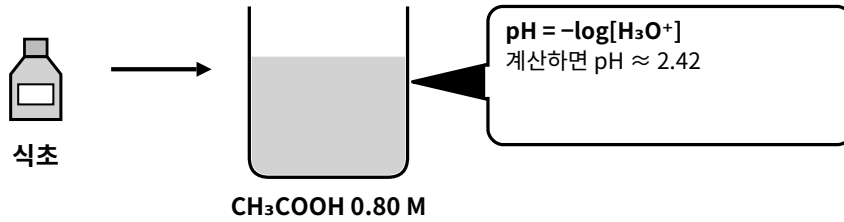
그림 23. 제 6장에서 배우는 개념(C4 약산 Ka·해리도)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 11. 제 6장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (연세대 미래캠퍼스 2025년) (144쪽)	중화적정·약산 pH·혈액 완충·총괄성	C4 약산 Ka·해리도 — 2-3: 약산 H_2CO_3 의 K_a 와 근사식
기출 6 (연세대 미래캠퍼스 2023년) (185쪽)	염의 가수분해에 의한 액성 판단과 염화 암모늄 수용액의 pH	C4 약산 Ka·해리도 — 약산(NH_4^+) 수용액의 평형표와 $x \ll C$ 근사
기출 7 (연세대 2022년) (196쪽)	0.10 M 염산과 아세트산에 Mg를 넣을 때	C4 약산 Ka·해리도 — 아세트산이 일부만 이온화된다는 약산의 평형과 $[\text{H}_3\text{O}^+] \approx \sqrt{K_a \cdot C}$ 근사
기출 10 (연세대 2021년) (223쪽)	해양 산성화와 탄산칼슘 형성 평형(산호초·달걀 껍데기)	C4 약산 Ka·해리도 — 탄산(H_2CO_3)이 약산이라 일부만 이온화된다는 점과 K_{a1} 값의 의미
기출 12 (연세대 2020년) (244쪽)	에탄올 산화(1차 반응)로 생긴 아세트산의 pH 3 조건과 초기 에탄올 질량	C4 약산 Ka·해리도 — 약산 아세트산의 이온화 평형과 $K_a = [\text{H}_3\text{O}^+]^2/C$ 근사
기출 17 (고려대 2015년) (290쪽)	클레오파트라의 진주: 식초·완충·약산 해리도	C4 약산 Ka·해리도 — (e) 약산의 해리도와 $\sqrt{K_a/C}$ 관계
기출 19 (고려대 2014년) (314쪽)	약산의 농도와 해리도, 르 샤틀리에 원리(희석)	C4 약산 Ka·해리도 — 약산 HA의 평형과 $\alpha = \sqrt{K_a/C}$ 근사
기출 20 (서울시립대 2012년) (320쪽)	산의 세기· K_a ·pH와 벤젠 니트로화·술폰화	C4 약산 Ka·해리도 — (b) 약산 아세트산의 평형과 근사 계산

약산의 pH를 계산하자 — 식초 한 컵

식초의 아세트산 약 0.80 M, $K_a = 1.8 \times 10^{-5}$ 

ICE 표 — 처음(I) · 변화(C) · 평형(E)

	HA	H_3O^+	A^-
처음 I	0.80	0	0
변화 C	-x	+x	+x
평형 E	$0.80 - x$	x	x

$K_a = x^2 / (0.80 - x) = 1.8 \times 10^{-5}$

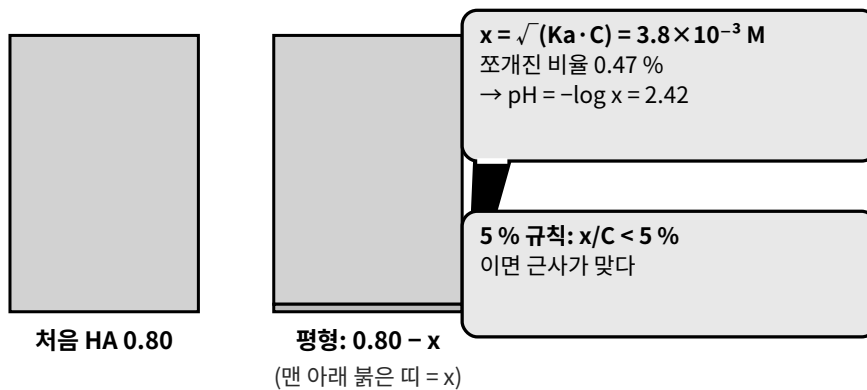
x는 0.80에 비해 아주 작다 $\rightarrow 0.80 - x \approx 0.80$ 

그림 24. 약산의 pH 계산 — 식초 0.80 M의 ICE 표와 근사(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. ICE 표는 처음(I), 변화(C), 평형(E)을 차례로 적어 K_a 식에 넣는 방법이다.
2. x는 0.80에 비해 매우 작아(0.47 %) $0.80 - x \approx 0.80$ 으로 놓을 수 있다.
3. $x = \sqrt{K_a \cdot C} = 3.8 \times 10^{-3} \text{ M}$ 이므로 $\text{pH} \approx 2.42$ 이다. $x/C < 5 \%$ 이면 근사가 맞다.

이 장의 출발점

5장의 K_a 식, 3장의 $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$, 그리고 이차방정식 $x^2 + bx - c = 0$ 의 근의 공식 ($x = (-b + \sqrt{(b^2 + 4c)}) \div 2$)을 쓴다. 근의 공식이 낯설면 그 부분은 ‘이런 식이 있구나’ 하고 넘어가도 이 장의 핵심은 따라올 수 있다.

태오 교수님, 시험에서는 “0.10 M 아세트산의 pH를 구하라”가 자주 나온다던데요. 어떻게 푸는 거예요?

석 교수 이제 우리가 가진 도구로 풀 수 있다. 계산 순서만 정하면 돼. 이 순서를 세 단계로 쓰자.

6.1 세 단계 풀이법

석 교수 첫째, 반응식을 쓰고 처음·변화·평형의 세 줄을 쓴다. 이것을 ICE 표(Initial, Change, Equilibrium)라고 불러. 아세트산 HA의 농도가 C이고, 이온이 된 양을 x라 하자.

표 12. ICE 표: $\text{HA} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{H}_3\text{O}^+) + \text{A}^-$

구분	[HA]	[H ₃ O ⁺]	[A ⁻]
처음(I)	C	0	0
변화(C)	-x	+x	+x
평형(E)	C - x	x	x

석 교수 둘째, 평형값을 K_a 식에 넣는다. $K_a = x^2 / (C - x)$. 셋째, x를 구해서 $\text{pH} = -\log x$.

하린 $x^2 / (C - x) = K_a$ 라는 이차식을 풀어야 하네요. 어려워 보여요.

석 교수 그래서 근사를 쓴다. 약산은 이온이 된 양 x가 아주 작아서 $C - x \approx C$ 로 봐도 된다. 그러면 $x^2 = K_a \cdot C$, 곧

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = x \approx \sqrt{(K_a \cdot C)}$$

이모 그럼 0.10 M 아세트산은 $\sqrt{(1.8 \times 10^{-5} \times 0.10)} = \sqrt{(1.8 \times 10^{-6})} = 1.34 \times 10^{-3}$ M이고, pH는 2.87이네요!

석 교수 맞다. 정확히 이차식을 풀면 $x = 1.33 \times 10^{-3}$ M, pH 2.88이다. 거의 같아서 근사로 충분하다.

6.2 근사는 언제 믿을 수 있나 — 5 % 규칙

태오 근사가 안 맞는 경우도 있겠죠?

석 교수 있다. 아주 묽거나 K_a 가 큰 경우다. 그래서 풀고 나서 반드시 확인해야 한다.
 x 가 처음 농도 C 의 5 % 이하이면 근사를 믿고, 5 %를 넘으면 이차식을 푼다.
 이것이 5 % 규칙이다.

문제 6.1

0.0010 M 아세트산의 pH를 근사식으로 구하고, 5 % 규칙으로 점검한 뒤 필요하면 정확히 다시 구하라. ($K_a = 1.8 \times 10^{-5}$)

하린 근사식으로는 $x = \sqrt{(1.8 \times 10^{-5} \times 1.0 \times 10^{-3})} = \sqrt{(1.8 \times 10^{-8})} = 1.34 \times 10^{-4}$ M이에요. 그럼 pH는 3.87이에요.

태오 그런데 $x \div C = 1.34 \times 10^{-4} \div 1.0 \times 10^{-3} = 13.4 \%$ 예요. 5 %를 넘어요!

석 교수 잘 계산했다. 그럼 이차식을 푼다. $x^2 + K_a \cdot x - K_a \cdot C = 0$ 이니 $x = (-K_a + \sqrt{(K_a^2 + 4 \cdot K_a \cdot C)}) \div 2$. 숫자를 넣으면 $x = 1.25 \times 10^{-4}$ M이다. 이때 pH = 3.90이다. 근사값 3.87과는 0.03 차이밖에 안 나는 것 같지만, 구한 H_3O^+ 농도로는 7 % 정도 어긋난다. 정밀한 문제에서는 이 차이가 감점 요인이 돼.

이모 그럼 처음부터 정확한 식으로만 풀면 안 돼요?

석 교수 정확한 식으로 풀어도 된다. 다만 시험에서는 시간이 한정되니 근사로 빨리 풀고 5 %로 확인하는 습관이 현명하다. 확인 없이 쓰는 근사는 위험하고, 확인한 근사는 도구다.

핵심 약산의 pH 풀이 4단계

(1) 반응식과 ICE 표를 쓴다. (2) $K_a = x^2/(C - x)$. (3) 근사 $x \approx \sqrt{(K_a C)}$ 로 푼다. (4) x/C 가 5 % 이하인지 확인한다. 넘으면 이차식으로 다시 푼다. 답은 $pH = -\log x$.

2부의 풀이 절차도(그림 56)에서 약산 문항은 ‘평형식 세우기 → 근사 → 5 % 확인’ 구간을 따른다. 2부에서 다시 만날 때 이 4단계를 떠올리면 된다.

6.3 같은 방법을 다른 문제에도

석 교수 이 방법이 통하는 곳은 많다. 0.20 M 아세트산이라면?

문제 6.2

0.20 M 아세트산의 $[H_3O^+]$, pH, 그리고 이온화 정도를 구하라.

하린 $x = \sqrt{(1.8 \times 10^{-5} \times 0.20)} = \sqrt{(3.6 \times 10^{-6})} = 1.9 \times 10^{-3}$ M이에요. $pH = -\log(1.9 \times 10^{-3}) = 2.72$ 예요. 이온화 정도는 $1.9 \times 10^{-3} \div 0.20 = 0.0095$, 약 0.95 %네요. 5 %보다 작으니까 근사해도 되고요.

석 교수 완벽하다. 이렇게 세 값(농도, pH, α)을 한 세트로 구하는 문제가 매우 자주 나오니 이 순서를 몸에 익혀 두자.

산·염기 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

1부 기본개념편

14개 장 · 장마다 생활 속 개념도 한 쪽과 개념 지도

3부 논술답안작성 패턴분석

설명·비교·판별·계산·해결 5가지 답안 틀, 감점 답안과 우수 답안 비교

2부 기출문제와 기본개념

기출 22문항(2011~2025학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안 · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

한 단원씩 깊게, 25권으로 완성하는 고교 과학 논술 — 시리즈 전 25권 (테두리가 이 책)

논술 마스터 시리즈 · 생물 12권 (01~12)



논술 매니아 시리즈 · 화학 13권 (13~25)



개념 → 기출 → 답안 → 실전, 한 단원을 끝까지.

대학 논술 원문과 공식 해설로 검증한 풀이, 생활 속 개념도와 개념 그래프로 읽는 고교 과학 논술 교재입니다.

값 24,000원

실린 기출 문항의 저작권은 각 대학에 있습니다.

값 24000 원

53430



ISBN 979-11-23065-18-2

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충 — 전체 342쪽

ssbook.kr/book/nonsul-19

판매가 **14,400원** (POD 정가 24,000원)

- 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

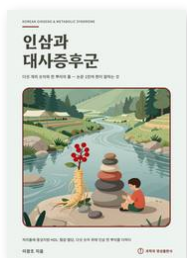
인삼 (6)



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 진료실까지, 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)



발끝의 강

피의 흐름에서 발바닥까지, 땅과 몸 사이에서 확인된 것과 아직 모르는 것

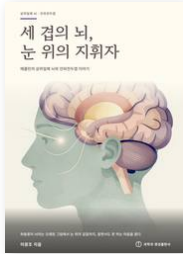
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



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

18,000원 → **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 전면 수록

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/iamblichus



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지

요하의 흙인형 · 우하량의 여신 · 해명경 · 태을금 화종지 다섯 갈래를 한자리에 놓다

26,000원 → **15,600원**
ssbook.kr/book/hongsan

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역

대학 기출로 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 — 기출 22문항으로 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·에너지 대사

포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-10



대입 과학논술 11 — 신경계·활동 전위
펌프가 기울기를 만들고, 통로가 열리고 닫히며 신호가 생긴다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-11



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성

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 × 르샤틀리에로 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 전지·전기 분해

화학 전지·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 — 꽃은 왜 녹슬까

결합에서 반응·산과 염기까지

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까

분자에서 세포·효소·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 따뜻해질까

원자에서 힘과 에너지까지

22,000원 → **13,200원**

ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나뭇잎

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 영양학과 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

과학과 초월의 길목에서

과학과 영성이 만나는 자리

교보문고 판매

ssbook.kr/book/science-transcend

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/seogyong-1



고전의 지명을 좌표로 옮기다 제1권 기초편

동아시아 고전 지명의 계량적 위치 추정 (제1~7장)

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/geonames-1

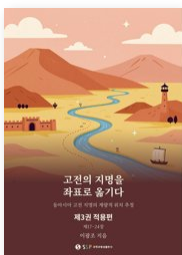


고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

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