



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형

용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

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-23

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

용액. 총괄성. 상평형

22

MANIA



용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 11문항 · 2009~2025학년도

이광조 지음

MANIA
논술 화학

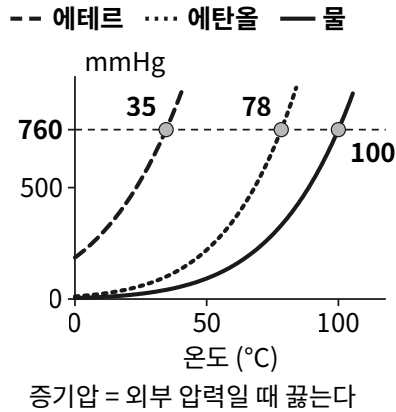
용액·총괄성·상평형

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

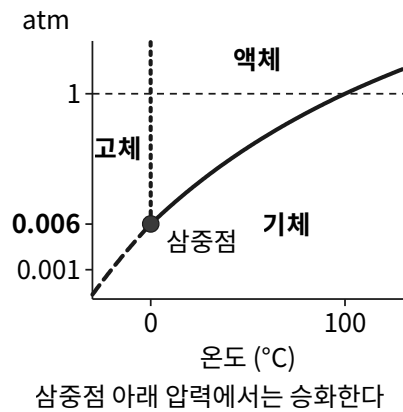
용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

핵심 = 몰랄 농도 × 입자 수 × 증기압 | 11문항 · 6개 대학 (2009~2025)

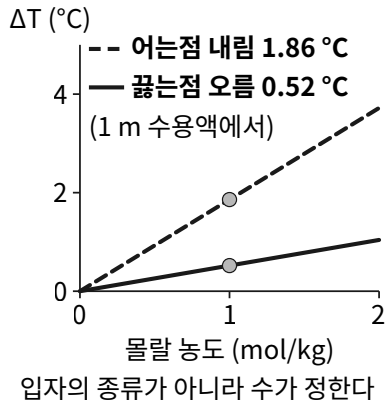
① 증기압 곡선과 끓는점



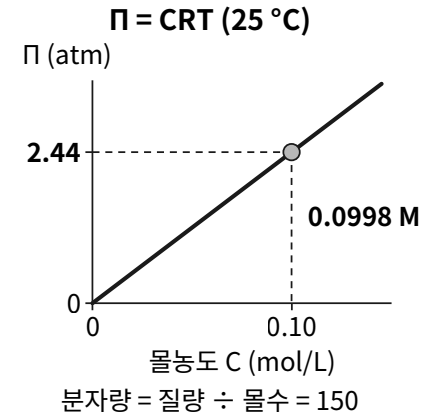
② 물의 상평형 그림



③ 총괄성: 몰랄 농도에 비례



④ 삼투압으로 분자량 구하기



한 줄 요약: 녹은 입자 수를 세면 증기압·끓는점·어는점·삼투압이 보인다

그림 1. 용액·총괄성·상평형 단원의 그림 요약. ① 증기압 곡선과 끓는점(물·에탄올·다이에틸 에테르, 앙투안 식으로 계산, 760 mmHg에서 끓는다), ② 물의 상평형 그림(삼중점 0.006기압·0.01 °C, 승화 곡선은 클라우지우스-클라페이롱 식으로 계산), ③ 라울 법칙과 총괄성(용질 몰 분율에 비례하는 증기압 내림, 1 m 수용액의 끓는점 오름 0.52 °C·어는점 내림 1.86 °C), ④ 삼투압으로 분자량 구하기(0.150 g/10.0 mL, 25 °C, 2.44 atm → 150 g/mol). 곡선과 수치는 모두 계산해서 그렸다.

한 줄 요약: 녹은 입자의 몰 수를 세고(몰랄·몰농도), 증기압이 얼마나 내려가는지로 끓는점·어는점·삼투압을 읽는다

연결 단원 → 분자 간 힘(16권) · 기체(24권) · 화학 평형(21권) · 산·염기(18권) · 화학양론(25권) · 세포막과 물질 수송(7권)

기본개념편	11
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	12
기본개념편을 열며	14
제 1장 왜 용액·총괄성·상평형인가	16
1.1 겨울 부엌의 세 장면	18
1.2 종류가 아니라 수: 녹아 있는 입자	19
1.3 네 가지 총괄성과 증기압	21
1.4 이 단원을 만든 사람들	22
1.5 이 책의 길	23
제 2장 녹는다는 것: 용매·용질과 극성	25
2.1 용매, 용질, 용액	27
2.2 비슷한 것끼리 녹는다	27
2.3 수화: 이온을 둘러싼 물 분자	29
2.4 녹을 때 드나드는 열	30
2.5 극성 기체와 무극성 기체	32
제 3장 농도를 재는 다섯 가지 자	35
3.1 같은 용액, 다섯 가지 자	37
3.2 몰농도와 몰랄 농도: 분모가 다르다	39
3.3 밀도를 다리로: 농도 바꾸기	40
3.4 묽히기: 묽수는 그대로	41
3.5 총괄성은 왜 몰랄 농도와 몰 분율을 쓰나	42
제 4장 얼마나 녹을까: 고체의 용해도와 용해도 곡선	45
4.1 포화 용액: 멈춘 것이 아니라 갈아진 것	47
4.2 용해도와 용해도 곡선	48
4.3 재결정: 식혀서 순수한 결정 얻기	50
4.4 과포화: 넘쳤는데도 녹아 있는 상태	52
4.5 왜 온도가 오르면 더 녹을까	53
제 5장 기체의 용해도와 헨리 법칙	55
5.1 기체도 녹는다: 녹고 빠져나오는 평형	57
5.2 헨리 법칙: 녹는 양은 부분 압력에 비례한다	57
5.3 헨리 상수가 다른 까닭	60
5.4 온도가 오르면 기체는 덜 녹는다	61
5.5 잠수병: 압력이 내려갈 때	62
제 6장 증발과 응축의 줄다리기: 증기압	65
6.1 열린 그릇과 닫힌 그릇	67
6.2 증발 = 응축: 증기압	67
6.3 증기압을 정하는 것과 정하지 않는 것	69
6.4 분자 에너지 분포와 증발(교과 밖 심화)	71
6.5 액체가 다 증발할까?	72
제 7장 증기압 곡선과 끓는점	75
7.1 증기압 곡선	77
7.2 끓음: 증기압이 외부 압력과 같아질 때	78
7.3 분자 간 힘과 끓는점	79

7.4 산 위의 끓는점과 압력술.....	80
7.5 증기압 곡선 읽는 법	81
제 8장 상평형 그림 읽기: 삼중점과 승화	84
8.1 세 곡선과 세 영역	86
8.2 삼중점 — 세 상이 함께 있는 단 하나의 점.....	88
8.3 물의 융해 곡선은 왼쪽으로 기운다	88
8.4 CO ₂ 는 왜 1 atm에서 액체가 없나	89
8.5 그림 위의 경로 읽기	91
제 9장 임계점과 초임계 유체	94
9.1 증기압 곡선은 어디서 끝나나.....	96
9.2 임계 온도 위에서는 눌러도 액체가 되지 않는다.....	97
9.3 초임계 유체 — 기체처럼 스며들고 액체처럼 녹인다	99
9.4 이상 기체가 틀리는 곳 — 반데르발스 식.....	100
9.5 상평형 그림 한 장을 끝까지 — 두 장의 정리	101
제 10장 용액의 증기압 내림: 라울 법칙	104
10.1 소금물과 맹물을 한 상자에	106
10.2 왜 증기압이 내려가나.....	107
10.3 라울 법칙	108
10.4 묽은 용액에서는 몰랄 농도에 비례한다.....	109
10.5 증기압 곡선이 통째로 아래로	111
제 11장 끓는점 오름과 어는점 내림	114
11.1 끓는점 오름 — 760 mmHg에 늦게 닿는다.....	116
11.2 어는점 내림 — 얼 때는 용매만 언다	117
11.3 상수는 용매가 정한다.....	119
11.4 끓는 국물과 부동액, 다시 보기	121
11.5 냉각 곡선 — 용액은 얼면서도 계속 식는다	121
제 12장 삼투와 삼투압	124
12.1 반투막 — 물은 지나가고 큰 용질은 막힌다	126
12.2 물은 묽은 쪽에서 진한 쪽으로	127
12.3 반트호프 식 $\Pi = CRT$	127
12.4 작은 농도, 큰 압력	128
12.5 몸속의 삼투: 등장액·저장액·고장액	130
12.6 역삼투 — 바닷물에서 마실 물을	131
제 13장 입자 수를 세는 법: 전해질과 분자량 결정	134
13.1 NaCl 1 mol은 입자 2 mol — 반트호프 인자 i	136
13.2 실제 i 는 이상값보다 작다.....	137
13.3 분자량 구하기 — 네 가지 길, 하나의 끝	138
13.4 큰 분자에는 삼투압	140
13.5 제설제는 무엇으로 고르나	141
13.6 검산 습관 세 가지	142
제 14장 몸속·지구·기술 속의 용액, 그리고 2부로	144
14.1 동결 건조 — 용질이 삼중점을 옮긴다	146
14.2 바다 위 구름 — 해염 입자와 응결.....	148
14.3 수액과 콩팥 — 삼투로 물을 되찾는 몸	150
14.4 제설제와 부동액, 다시 보기	150
14.5 기본개념편을 마치며 — 2부로	151
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	154

부록 B. 용어 풀이	157
기출문제와 기본개념.....	164
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	165
0. 이 장의 사용법	166
1. 출제 개념.....	167
1.1 용해와 농도 — C1 · C2.....	167
1.2 용해도와 헨리 법칙 — C3 · C4.....	168
1.3 증기압과 상평형 그림 — C5 · C6 · C7 · C8.....	169
1.4 라울 법칙과 총괄성 — C9 · C10 · C11 · C12.....	169
1.5 전해질과 분자량 결정 — C13 · C14	171
1.6 몸속·지구·기술 응용 — A1 · A2 · A3 · A4 · A5 · A6.....	172
1.7 그래프 개념도 읽는 법.....	173
2. 출제 경향.....	175
2.1 문항 하나에 담긴 개념의 수	177
2.2 반복되는 출제 패턴 일곱 가지	178
2.3 학교별 성향	179
논술답안작성 패턴분석	180
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	181
3. 답안 작성법.....	183
3.1 계산형 답안의 틀	183
3.2 서술형 답안의 네 문장 틀.....	183
3.3 표기와 수치 규칙	184
3.4 시간 배분과 자기 점검	184
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	185
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	187
실전기출문제와 풀이과정	193
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	194
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념.....	196
5.1 한눈에 보는 기출 11문항.....	196
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론.....	197
5.3 기본 개념 한눈에	198
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다.....	199
6. 출제 문항 분석과 모범답안	201
〈기출문제 1 (연세대 미래캠퍼스 2025년)〉	202
〈기출문제 2 (연세대 미래캠퍼스 2023년)〉	211
〈기출문제 3 (경희대 2023년)〉	223
〈기출문제 4 (연세대 2020년)〉	231
〈기출문제 5 (성균관대 2016년)〉	239
〈기출문제 6 (고려대 2012년)〉	247
〈기출문제 7 (고려대 2012년)〉	259
〈기출문제 8 (연세대 2011년)〉	270
〈기출문제 9 (성균관대 2010년)〉	278
〈기출문제 10 (한국항공대 2010년)〉	286

〈기출문제 11 (서울대 2009년)〉	297
7. 변형·예상 문항	311
8. 강의 연결	316
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	317
8.2 강의 구성 시 유의점	317
9. 전체 문제 총평	319
9.1 숫자로 먼저 보기	319
9.2 다섯 가지 총평	319
9.3 대학별 한 줄 총평	321
9.4 이렇게 공부하자	321
10. 참고문헌	323

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 용액·총괄성·상평형 논제의 네 장면	1
그림 2. 제 1장 개념도	16
그림 3. 생활 속 개념도 1	17
그림 4. 설탕물·소금물의 어는점과 끓는점	19
그림 5. 용액 단원의 연표	22
그림 6. 기본개념편 지도	23
그림 7. 제 2장 개념도	25
그림 8. 생활 속 개념도 2	26
그림 9. 물·에탄올·헥세인의 섞임	28
그림 10. 염화 나트륨의 수화	30
그림 11. 이온 화합물의 용해 엔탈피	31
그림 12. 제 3장 개념도	35
그림 13. 생활 속 개념도 3	36
그림 14. 한 용액을 재는 다섯 가지 자	38
그림 15. 묽히기와 몰수 보존	41
그림 16. 몰랄 농도와 몰 분율	42
그림 17. 제 4장 개념도	45
그림 18. 생활 속 개념도 4	46
그림 19. 포화 용액의 용해 평형	48
그림 20. $\text{KNO}_3 \cdot \text{NaCl}$ 의 용해도 곡선	49
그림 21. 재결정 계산	51
그림 22. 제 5장 개념도	55
그림 23. 생활 속 개념도 5	56
그림 24. 헨리 법칙: 압력과 녹은 농도	58
그림 25. 두 기체의 녹는 양 비교	61
그림 26. 온도와 포화 용존 산소	62
그림 27. 제 6장 개념도	65
그림 28. 생활 속 개념도 6	66
그림 29. 달린 그릇의 증발·응축과 증기 압력	68
그림 30. 25 °C 액체들의 증기압	69
그림 31. 두 온도의 분자 에너지 분포	71
그림 32. 제 7장 개념도	75
그림 33. 생활 속 개념도 7	76
그림 34. 세 액체의 증기압 곡선	77
그림 35. 높이와 물의 끓는점	80
그림 36. 증기압 곡선 읽기($A \cdot B \cdot C$)	82
그림 37. 제 8장 개념도	84
그림 38. 생활 속 개념도 8	85
그림 39. 물의 상평형 그림	87
그림 40. CO_2 의 상평형 그림	89
그림 41. 드라이아이스 풍선의 두 상태	91
그림 42. 제 9장 개념도	94
그림 43. 생활 속 개념도 9	95
그림 44. 임계 온도와 상온	97
그림 45. CO_2 의 초임계 영역	99
그림 46. CO_2 의 반데르발스 등온선	101
그림 47. 제 10장 개념도	104

그림 48. 생활 속 개념도 10	105
그림 49. 한 상자 속 맹물과 설탕물	106
그림 50. 증기압과 몰랄 농도	110
그림 51. 순수 물과 용액의 증기압 곡선	111
그림 52. 제 11장 개념도	114
그림 53. 생활 속 개념도 11	115
그림 54. 1 m 수용액의 어는점 내림과 끓는점 오름	118
그림 55. 어는점 내림과 끓는점 오름의 직선	120
그림 56. 냉각 곡선	122
그림 57. 제 12장 개념도	124
그림 58. 생활 속 개념도 12	125
그림 59. U자관 삼투	129
그림 60. 적혈구와 세 용액	130
그림 61. 역삼투	132
그림 62. 제 13장 개념도	134
그림 63. 생활 속 개념도 13	135
그림 64. 0.050 m 수용액의 어는점 내림	138
그림 65. 분자량 결정 순서도	139
그림 66. 헤모글로빈 용액의 측정량	140
그림 67. 제 14장 개념도	144
그림 68. 생활 속 개념도 14	145
그림 69. 동결 건조의 길	147
그림 70. 펄러 곡선	149
그림 71. 기본개념편의 길과 2부	152
그림 72. $\Delta T = K \cdot m$ 직선 위의 기출 수치	171
그림 73. 전체 개념 그래프	173
그림 74. 개념별 출제 횟수	174
그림 75. 연도별 출제 문항 수	175
그림 76. 대학별 출제 문항 수	176
그림 77. 〈연세대 미래캠퍼스 2025〉 개념 그래프	204
그림 78. 〈연세대 미래캠퍼스 2023〉 개념 그래프	212
그림 79. 증기압 곡선 예시(q179)	214
그림 80. 순수 용매와 용액의 증기압 곡선(q179)	216
그림 81. CO ₂ 상평형 그림 위의 경로(q179)	218
그림 82. 〈경희대 2023〉 개념 그래프	224
그림 83. 물의 상평형 그림(q134 원문)	231
그림 84. 〈연세대 2020〉 개념 그래프	232
그림 85. 수용액의 새 삼중점과 동결 건조 경로(q134)	235
그림 86. 〈성균관대 2016〉 개념 그래프	240
그림 87. 두 용기 실험 장치(q23)	249
그림 88. 〈고려대 2012〉 개념 그래프	250
그림 89. 〈고려대 2012〉 개념 그래프	260
그림 90. pH와 Fe ³⁺ 농도(q31)	266
그림 91. 〈연세대 2011〉 개념 그래프	271
그림 92. CO ₂ 상평형 그림과 지각 깊이 경로(q29)	274
그림 93. 〈성균관대 2010〉 개념 그래프	279
그림 94. KBr 용해도와 1 m 농도(q32)	280
그림 95. 순수 용매와 용액의 증발 비교(q279 원문)	287
그림 96. 〈한국항공대 2010〉 개념 그래프	288

그림 97. 물과 수용액의 증기 압력 곡선(q279 원문)	293
그림 98. 〈서울대 2009〉 개념 그래프	300
그림 99. 물방울 생성 에너지(q263)	304
그림 100. 켈러 곡선(q263)	306

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	12
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념.....	12
표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출.....	16
표 4. 네 가지 총괄성.....	21
표 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출.....	25
표 6. 용매와 용질의 조합과 녹는 정도.....	29
표 7. 제 3장의 개념이 쓰인 기출.....	35
표 8. 농도를 나타내는 다섯 가지 방법.....	39
표 9. 제 4장의 개념이 쓰인 기출.....	45
표 10. 질산 칼륨과 염화 나트륨의 용해도(g/물 100 g).....	49
표 11. 제 5장의 개념이 쓰인 기출.....	55
표 12. 25 °C 물에 대한 헨리 상수.....	57
표 13. 제 6장의 개념이 쓰인 기출.....	65
표 14. 액체의 분자 간 힘, 25 °C 증기압, 1 atm에서의 끓는점.....	70
표 15. 제 7장의 개념이 쓰인 기출.....	75
표 16. 분자량·극성·수소 결합과 기준 끓는점.....	79
표 17. 제 8장의 개념이 쓰인 기출.....	84
표 18. 물과 CO ₂ 의 상평형 비교.....	92
표 19. 제 9장의 개념이 쓰인 기출.....	94
표 20. 대표 물질의 임계 상수.....	98
표 21. 제 10장의 개념이 쓰인 기출.....	104
표 22. 라울 법칙과 증기압 내림.....	108
표 23. 제 11장의 개념이 쓰인 기출.....	114
표 24. 여러 용매의 끓는점·어는점과 몰랄 오름·내림 상수.....	119
표 25. 제 12장의 개념이 쓰인 기출.....	124
표 26. 수액·체액·물의 입자 농도와 삼투압.....	131
표 27. 제 13장의 개념이 쓰인 기출.....	134
표 28. 0.....	137
표 29. 제 14장의 개념이 쓰인 기출.....	144
표 30. 생활 속 용액·총괄성·상평형.....	151
표 31. 2부 목차와 내용.....	165
표 32. 농도를 재는 다섯 가지 자와 총괄성에서 쓰는 곳.....	167
표 33. 25 °C 물에 대한 헨리 상수와 분자의 극성(이 책의 고정값).....	168
표 34. 물과 CO ₂ 의 상평형 그림 비교(이 책의 고정값).....	169
표 35. 네 가지 총괄성 한 줄 정리(묶은 용액, 비휘발성·비전해질 용질).....	170
표 36. 응용 소재와 쓰이는 개념.....	172
표 37. 이 책의 기출 문항 목록.....	176
표 38. 대학별 출제 문항.....	176
표 39. 문항별 개념 수와 개념도 최대 층(층이 깊을수록 선수 사슬이 길다).....	177
표 40. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서).....	179
표 41. 논술 기본 패턴 다섯 가지와 용액·상평형 답안에서의 쓰는 순서.....	181
표 42. 논술답안작성 패턴분석(3부) 목차와 내용.....	181
표 43. 서술형 답안의 문장 틀(끓는 국물에 더 깊이 데는 까닭).....	183
표 44. 논술 기본 패턴 5가지(용액·총괄성·상평형 답안).....	185
표 45. 문항별 소문항에 적용한 패턴(4부 모범답안의 “논술 패턴” 상자와 같은).....	185
표 46. 실전기출문제와 풀이과정 전체 문항 목차(학교·연도, 출제 내용, 쓰이는).....	194
표 47. 대학별 기출 문항 수·연도·소재(문항 번호는 6장의 기출문제 번호).....	196

표 48. 학년도별 문항 수와 답안 근거(11문항 모두 원문 수록).....	196
표 49. 11문항의 요구 28개에 적용한 주 답안 패턴(결합 패턴은 앞의 것을 주).....	197
표 50. 이 책의 개념과 기출에서 쓰인 횟수(많이 쓰인 순).....	198
표 51. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적.....	199
표 52. 기출문제 1의 개념과 복습 위치.....	204
표 53. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	205
표 54. 기출문제 2의 개념과 복습 위치.....	213
표 55. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	215
표 56. [표 2] 물과 에탄올의 성질(원문 표를 다시 조판).....	223
표 57. 기출문제 3의 개념과 복습 위치.....	224
표 58. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	225
표 59. 기출문제 4의 개념과 복습 위치.....	232
표 60. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	233
표 61. 기출문제 5의 개념과 복습 위치.....	240
표 62. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	241
표 63. 기출문제 6의 개념과 복습 위치.....	250
표 64. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	251
표 65. 기출문제 7의 개념과 복습 위치.....	260
표 66. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	262
표 67. 기출문제 8의 개념과 복습 위치.....	271
표 68. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	272
표 69. 기출문제 9의 개념과 복습 위치.....	279
표 70. 대학 채점 기준(2010학년도 자연 1 [문제 4]).....	280
표 71. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	281
표 72. 에틸렌글리콜과 물에 대한 물질의 성질(원문 표).....	287
표 73. 기출문제 10의 개념과 복습 위치.....	289
표 74. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	290
표 75. 원문 [그림 3-1]·[그림 3-2]의 요일별 값(원문 그래프에서 눈으로).....	299
표 76. 기출문제 11의 개념과 복습 위치.....	300
표 77. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	302
표 78. 인강 회차 구성(제안).....	316
표 79. 11개 문항의 규모.....	319
표 80. 대학별 한 줄 총평(이 책의 자료 범위 안에서).....	321

제 1 부

기본개념편

이 단원의 개념을 처음부터 차근차근. 대화로 묻고 답하며, 숫자를 직접 넣어 계산한다.

용액·총괄성·상평형

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 녹는다 → 농도 → 용해도 → 증기압 → 상평형 그림 → 총괄성 → 응용의 순서로 이어집니다. 앞 장의 결과가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠릅니다. 특히 3장의 농도 바꾸기와 6장의 증기압은 이 책의 모든 계산과 서술이 올라서는 바닥입니다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장

구간	장	무엇을 하는가
A. 녹는다는 것과 농도	1~3장	끓는 국물·소금 뿌린 얼음길·동결 건조 커피에서 출발해, 극성끼리 녹고 이온은 물 분자에 둘러싸인다는 입자 모형을 세운다. 녹은 양을 퍼센트·ppm·몰농도·몰랄 농도·몰 분율로 재고 서로 바꾼다.
B. 얼마나 녹는가	4~5장	포화와 용해 평형, 고체의 용해도 곡선과 재결정, 기체의 용해도와 헨리 법칙(부분 압력에 비례)을 다룬다.
C. 증기압과 상평형 그림	6~9장	증발과 응축의 동적 평형으로 증기압을 정의하고, 증기압 곡선에서 끓는점을, 상평형 그림에서 삼중점·승화·임계점을 읽는다.
D. 총괄성	10~13장	비휘발성 용질이 증기압을 몰 분율만큼 낮추는 라울 법칙에서 끓는점 오름·어는점 내림·삼투압을 차례로 끌어내고, 전해질의 입자 수(i)와 분자량 결정으로 넓힌다.
E. 응용과 종합	14장	동결 건조, 부동액과 제설제, 수액과 적혈구, 바다 위 구름 씨앗으로 앞의 개념을 모두 다시 쓰고 2부로 간다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈생활 속 개념도〉 → 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 → 이 장의 참고문헌 순서입니다. 장의 첫머리에는 이 장의 개념도와 그 개념이 쓰인 기출 표가 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(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 1장 (16쪽)	왜 용액·총괄성·상평형인가	용액 · 증기압 · 총괄성의 세 장면
기본개념편 제 2장 (25쪽)	녹는다는 것: 용매·용질과 극성	용매와 용질 · 극성끼리 녹는다 · 수화와 용해 에너지
기본개념편 제 3장 (35쪽)	농도를 재는 다섯 가지 자	퍼센트 농도·ppm · 몰농도 · 몰랄 농도 · 몰 분율 · 농도 바꾸기
기본개념편 제 4장 (45쪽)	얼마나 녹을까: 고체의 용해도와 용해도 곡선	포화·용해 평형 · 용해도 곡선 · 재결정
기본개념편 제 5장 (55쪽)	기체의 용해도와 헨리 법칙	헨리 법칙 · 헨리 상수 · 온도와 기체 용해도
기본개념편 제 6장 (65쪽)	증발과 응축의 줄다리기: 증기압	증발·응축 · 동적 평형 · 증기압

장(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 7장 (75쪽)	증기압 곡선과 끓는점	증기압 곡선 · 끓는점과 외부 압력 · 기준 끓는점
기본개념편 제 8장 (84쪽)	상평형 그림 읽기: 삼중점과 승화	상평형 그림 · 삼중점 · 승화 곡선 · 융해 곡선의 기울기
기본개념편 제 9장 (94쪽)	임계점과 초임계 유체	임계 온도 · 임계 압력 · 초임계 유체 · 기체의 액화 조건
기본개념편 제 10장 (104쪽)	용액의 증기압 내림: 라울 법칙	비휘발성 용질 · 라울 법칙 · 증기압 내림
기본개념편 제 11장 (114쪽)	끓는점 오름과 어는점 내림	끓는점 오름 · 어는점 내림 · 몰랄 오름·내림 상수
기본개념편 제 12장 (124쪽)	삼투와 삼투압	반투막 · 삼투 · 삼투압 $\Pi = CRT$ · 역삼투
기본개념편 제 13장 (134쪽)	입자 수를 세는 법: 전해질과 분자량 결정	반트호프 인자 i · 전해질의 총괄성 · 총괄성으로 분자량 구하기
기본개념편 제 14장 (144쪽)	몸속·지구·기술 속의 용액, 그리고 2부로	동결 건조 · 용액의 삼중점 · 구름 응결핵 · 응용 종합

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 3장(농도 바꾸기), 10~11장(라울 법칙·끓는점 오름·어는점 내림), 13장(분자량 결정)이다. 이 구간은 두 번 읽는다.
- 상평형 그림이 나오면 그림 위에 손가락으로 경로(일정 압력 가열, 일정 온도 감압)를 따라가 본다. 연세대 기출이 이 동작을 거듭 묻는다.
- 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

용액은 중학교 과학에서 “용질이 용매에 녹은 균일한 혼합물”로 처음 만나고, 고등학교 화학Ⅱ에서 농도·증기압·상평형 그림·물은 용액의 총괄성으로 넓어지며, 대학 논술에서는 몰랄 농도 계산과 상평형 그림 해석이 생활·의학·지구 제시문 속에서 함께 나오는 단원이다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(입자, 혼합물, 간단한 비례 계산)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 식을 먼저 주지 않고, 왜 그런 식이 필요한가를 먼저 묻고 그다음에 식을 만든다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 하린은 중학교 2학년, 태오는 논술을 준비하는 고등학교 2학년이다. 돌집 과학 방에서 화학을 배운다. 궁금한 것은 바로 묻고, 태오는 계산을 서두르다 단위를 빠뜨리기도 한다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 부엌과 가게에서 본 일상의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 충북 단양 ‘돌집 과학방’의 화학 선생님. 은퇴한 화학·생물 교수로, 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

첫 장면 — 눈 내린 토요일 오후, 라면 냄비 앞에서

밤새 눈이 내린 토요일, 돌집 과학방 앞길에는 이모가 아침에 뿌린 굵은 소금이 녹아 검은 길이 드러나 있었다. 석 교수는 난로 위에 라면 냄비를 올려 두었고, 이모는 가게에서 팔다 남은 동결 건조 커피 한 병을 들고 들어왔다.

- 이모** 교수님, 아침에 길에 소금을 뿌렸더니 영하인데도 눈이 녹았어요. 소금이 무슨 열이라도 내는 건가요?
- 석 교수** 열을 내서가 아니에요. 소금이 녹은 물은 0 °C에서 얼지 못하거든요. 얼음과 소금물이 만나면 얼음 쪽이 녹는 편이 더 쉬워지는 거죠.
- 하린** 소금물은 0 °C에서 안 언다고요? 물은 0 °C에서 어는 거 아니에요?
- 석 교수** 순수한 물은 그렇지. 무언가가 녹아 있으면 어는점이 내려간다. 저 라면 냄비를 봐. 맹물은 100 °C에서 끓지만 국물은 그보다 조금 더 뜨거워져야 끓는다.
- 태오** 그래서 끓는 국물에 데면 더 아프다는 거예요? 시험 문제에서 본 것 같아요.
- 석 교수** 맞다. 한국항공대 모의논술에 그대로 나온 질문이야. 어는점이 내려가는 것, 끓는점이 오르는 것, 둘 다 같은 뿌리에서 나온다.
- 이모** 뿌리가 뭔데요?
- 석 교수** 증기압입니다. 물 표면에서 물 분자가 빠져나가려는 힘이라고 생각하시면 돼요. 무언가가 녹아 있으면 그 힘이 약해집니다.
- 하린** 그럼 설탕을 녹여도 똑같아요? 소금이랑 설탕은 완전히 다른데요.
- 석 교수** 그게 이 단원에서 제일 신기한 점이야. 녹은 것이 설탕이든 요소든 상관없이, 녹은 입자의 수만 같으면 어는점은 똑같이 내려간다. 종류가 아니라 개수를 세는 성질이라서 총괄성이라고 부른다.
- 태오** 그럼 소금은요? 소금은 Na⁺랑 Cl⁻로 나뉘니까 입자가 두 배예요?
- 석 교수** 좋다. 그래서 같은 몰수라면 소금이 설탕보다 어는점을 거의 두 배 낮춘다. 이걸 세려면 “물 1 kg에 몇 몰이 녹았나”라는 새 자가 필요해. 그걸 3장에서 만든다.
- 이모** 이 커피는요? 병에 동결 건조라고 써 있는데, 얼려서 말렸다는 거예요?

석 교수 네. 얼린 커피를 아주 낮은 압력에 두면 얼음이 녹지 않고 곧바로 수증기로 날아갑니다. 승화라고 하죠. 어떤 온도와 압력에서 그렇게 되는지는 상평형 그림 한 장에 다 들어 있어요.

태오 연세대가 그 동결 건조를 물었어요. 용질이 녹아 있으면 조건이 어떻게 바뀌냐고요.

석 교수 그 문제는 8장의 상평형 그림과 11장의 어는점 내림을 둘 다 알아야 풀린다. 마지막 장에서 다시 만나자.

하린 그럼 오늘은 어디서부터 해요?

석 교수 소금이 물에 녹는다는 게 무슨 뜻인지부터. 녹는다는 걸 입자로 보면, 나머지는 하나씩 따라온다.

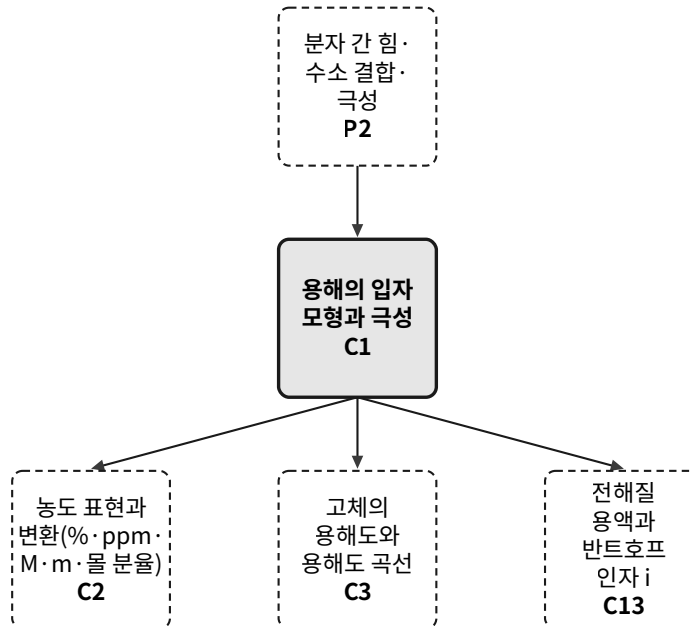
왜 용액·총괄성·상평형인가? **기본개념편 제 1장** (16쪽)은 끓는 국물, 소금 뿌린 얼음길, 동결 건조 커피라는 세 장면에서 출발한다. 셋 다 녹아 있는 입자의 수와 증기압으로 설명된다. 녹는다는 것을 입자로 보고(2장), 녹은 양을 몰랄 농도로 세고(3장), 증기압과 상평형 그림을 읽은 뒤(6~9장), 증기압 내림 하나에서 끓는점 오름·어는점 내림·삼투압을 모두 끌어내는 것이 기본개념편의 줄거리다.

제 1장 왜 용액·총괄성·상평형인가

새 개념 용액·증기압·총괄성의 세 장면

이어짐 용해 2장·증기압 6장·상평형 그림 8장·총괄성 10~13장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

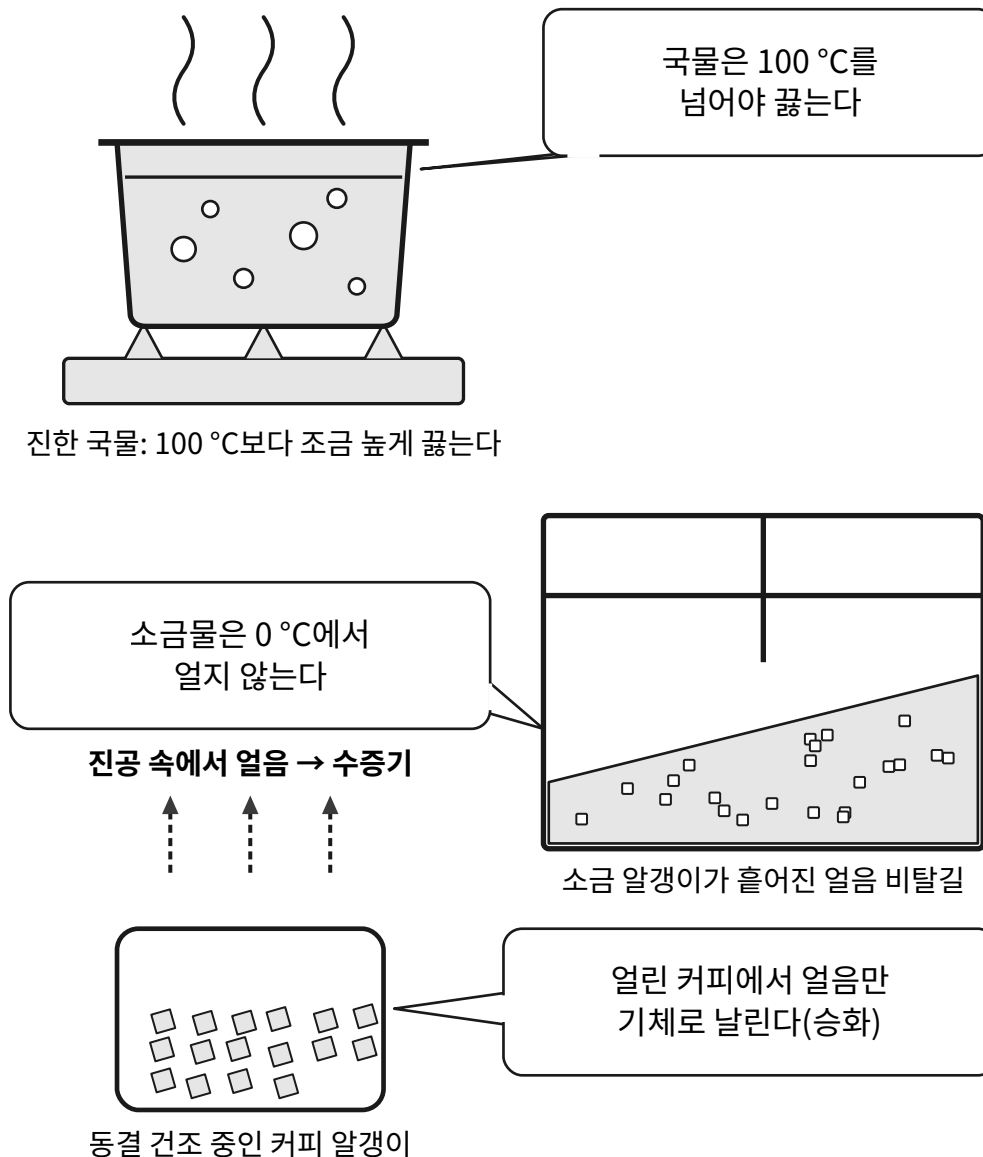
그림 2. 제 1장에서 배우는 개념(C1 용해의 입자 모형과 극성)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

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

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 6 (고려대 2012년) (247쪽)	극성이 가른 두 기체의 운명	C1 용해의 입자 모형과 극성

겨울 부엌의 세 장면 — 끓고, 얼고, 날아가고



셋 다 “녹은 입자 수”와 “증기압”의 문제

그림 3. 겨울 부엌의 세 장면 — 가스레인지 위에서 끓는 진한 국물, 창밖의 소금 뿌린 얼음길, 찬장 위 동결 건조 커피 병. 셋은 서로 다른 일처럼 보이지만 모두 “물에 녹아 있는 입자의 수”와 “물이 빠져나가려는 압력(증기압)”으로 설명된다(모식도, 온도는 이상 용액 계산값)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 용질이 녹으면 끓는점은 오르고 어는점은 내려간다.
2. 그 효과는 용질의 종류가 아니라 녹아 있는 입자 수로 정해진다.
3. 동결 건조는 상평형 그림의 삼중점보다 낮은 압력에서 얼음이 바로 수증기가 되는 승화다.

이 장의 출발점

이 장은 책 전체의 길잡이다. 물질의 양을 몰(mol)로 세는 법($1\text{ mol} = 6.02 \times 10^{23}$ 개, 포도당 $180\text{ g} = 1\text{ mol}$), 물이 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 얼고 1기압에서 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에 끓는다는 사실, 그리고 기체가 벽을 두드려 압력을 만든다는 그림 정도만 알면 된다. 식은 이 장에서 맛만 보고 뒤의 장에서 하나씩 다시 세운다.

1월의 첫 토요일, 단양 돌집 과학방의 난로 위에서는 이모가 끓이는 사골 국물이 보글거리고 있었다. 창밖 비탈길에는 아침에 면사무소 차가 뿌리고 간 흰 소금 알갱이가 얼음 위에 흩어져 있었다. 석 교수는 찬장에서 동결 건조 커피 병을 꺼내 탁자 한가운데에 놓았다.

석 교수 오늘부터 열네 번의 토요일 동안 “녹아 있는 것”에 대해 공부한다. 첫날이니 문제부터 던지마. 지금 이 방 안에 있는 세 가지, 끓는 국물, 창밖의 소금 뿌린 길, 이 커피 병. 셋의 공통점이 뭘까?

하린 셋 다 부엌에 있는 거요? 아, 길은 아니구나.

태오 셋 다 물이랑 관계가 있어요. 국물은 물이 끓는 거고, 길은 물이 어는 거고, 커피는 물을 뺀 거고요.

석 교수 좋은 출발이다. 끓고, 얼고, 빠져나가고. 물의 세 가지 상태 변화가 다 들어 있지. 그런데 셋 다 “맹물”이 아니라 무언가가 녹아 있는 물이라는 점이 오늘의 열쇠다.

1.1 겨울 부엌의 세 장면

석 교수 첫째 장면. 맹물은 1기압에서 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에 끓는다. 그런데 무언가가 녹아 있는 국물은 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 보다 조금 높은 온도가 되어야 끓는다. 이걸 **끓는점 오름**이라고 한다.

이모 그래서 국물에 데면 맹물보다 더 아픈 건가요? 어릴 때부터 그렇게 들었거든요.

석 교수 방향은 맞는데 크기는 따져 봐야 해요. 라면 국물 정도의 소금이면 끓는점은 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 안팎 밖에 안 오릅니다. 데는 정도의 차이는 대부분 기름과 걸쭉함이 피부에 오래 붙어 있기 때문이에요. 하지만 설탕을 잔뜩 녹인 시럽이나 잼은 이야기가 다릅니다. 설탕이 아주 진하면 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 되어야 끓어요. 잼 만들다 튼 방울이 유난히 뜨거운 까닭이지요.

하린 그럼 많이 녹일수록 끓는점이 더 올라가요?

석 교수 그렇다. 묽은 용액에서는 녹인 입자 수에 비례해서 올라간다. 이 비례가 오늘의 핵심이니 기억해 두렴.

석 교수 둘째 장면. 길에 소금을 뿌리면 얼음이 녹는다. 소금이 녹아든 물은 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 얼지 않고 더 낮은 온도까지 내려가야 언다. 이걸 **어는점 내림**이라고 한다. 소금 10 g 을 물 90 g 에 녹인 진한 소금물은 계산으로 약 $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 가 되어야 언다.

태오 소금이 열을 내서 얼음을 녹이는 줄 알았어요.

석 교수 많이들 그렇게 생각한다. 소금(염화 나트륨)은 녹을 때 열을 내지 않는다. 오히려 아주 조금 흡수한다. 얼음이 녹는 까닭은 얼음 표면에 생긴 얇은 물층에 소금이 녹아, 그 물이 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 에서 다시 얼지 못하게 되기 때문이다. 얼음은 계속 녹는데 다시 어는 쪽이 막히니 결국 녹는 쪽이 이긴다.

석 교수 셋째 장면이 가장 재미있다. 동결 건조 커피는 커피를 진하게 우려 공공 열린 다음, 진공 통에 넣고 공기를 빼서 압력을 아주 낮춘다. 그러면 얼음이 녹지 않고 곧바로 수증기가 되어 날아간다. 고체가 액체를 거치지 않고 기체가 되는 이 변화를 **승화**라고 한다.

이모 얼음이 녹지도 않고 사라진다고요? 겨울에 밖에 낸 빨래가 공공 언 채로 마르던 게 그건가요?

석 교수 바로 그거예요. 빨래의 얼음이 조금씩 수증기로 날아간 겁니다. 다만 빨래는 며칠 걸리고, 동결 건조 공장은 압력을 물의 **삼중점**인 0.006기압보다 낮춰서 몇 시간 만에 끝내요. 삼중점은 8장에서 상평형 그림으로 볼 거예요.

1.2 종류가 아니라 수: 녹아 있는 입자

석 교수 이제 숫자로 비교해 보자. 물 1 kg에 설탕 1 mol을 녹인 물과, 물 1 kg에 소금 1 mol을 녹인 물이 있다. 어느 쪽이 더 낮은 온도에서 얼까?

하린 소금이요! 길에 뿌리는 게 소금이니깐요.

석 교수 결과는 맞는데 이유가 중요하다. 설탕 분자는 물에 녹아도 설탕 분자 그대로 떠다닌다. 1 mol을 넣으면 입자 1 mol이다. 소금은 물에 녹으면 나트륨 이온(Na^+)과 염화 이온(Cl^-)으로 갈라진다. 1 mol을 넣으면 입자가 2 mol이 되는 거지.

태오 그럼 소금물은 설탕물보다 두 배로 더 내려가겠네요.

석 교수 이상적으로는 그렇다. **그림 4**에 계산한 값을 그려 두었다. 물 1 kg에 녹은 입자 1 mol마다 어는점은 1.86°C 내려가고, 끓는점은 0.52°C 올라간다. 설탕물 1 mol이면 어는점 -1.86°C , 끓는점 100.52°C . 소금 1 mol이면 입자가 2 mol이니 어는점 -3.72°C , 끓는점 101.04°C 다.

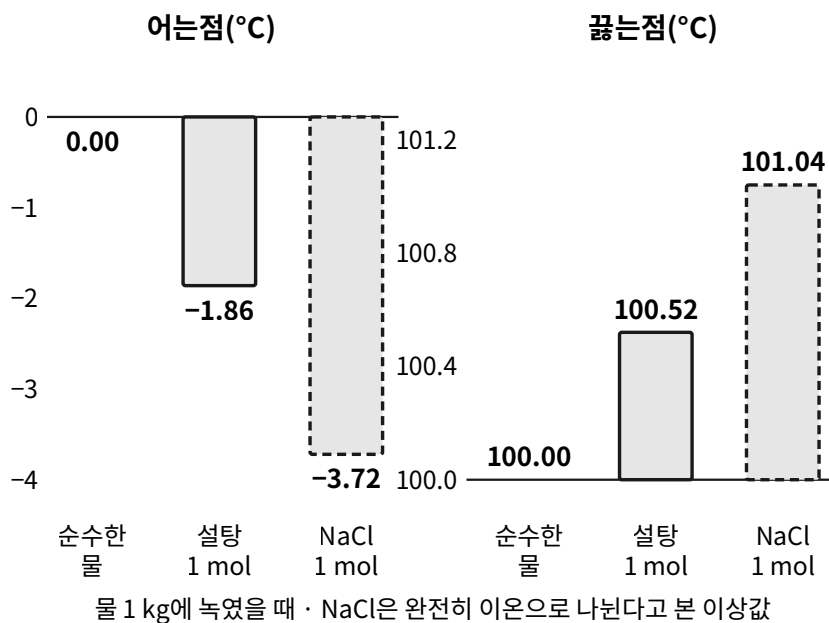


그림 4. 물 1 kg에 설탕 1 mol 또는 소금(NaCl) 1 mol을 녹였을 때의 어는점과 끓는점(완전히 이온으로 나뉜다고 본 이상값). 녹은 입자가 2배이면 어는점 내림($1.86 \rightarrow 3.72^\circ\text{C}$)과 끓는점 오름($0.52 \rightarrow 1.04^\circ\text{C}$)도 2배가 된다.

이모 1.86이니 0.52니 하는 숫자는 어디서 나온 건가요?

석 교수 물이라는 용매가 가진 고유한 값이에요. 다른 용매, 예를 들어 벤젠이면 다른 숫자가 됩니다. 11장에서 그 숫자들이 어디서 오는지 그래프로 보여 드릴게요. 오늘 기억할 것은 하나예요. 용매가 정해지면, 효과는 녹은 입자가 무엇인지가 아니라 몇 개인지로 정해진다는 것.

하린 설탕이든 포도당이든 요소든 다 똑같아요?

석 교수 물 1 kg에 1 mol씩이고 이온으로 나뉘지 않는다면 똑같다. 설탕 1 mol은 342 g이고 포도당 1 mol은 180 g이라 무게는 두 배 가까이 다르지만, 어는점은 둘 다 -1.86°C 다. 이렇게 입자의 종류와 관계없이 입자 수에만 달린 성질을 **총괄성**이라고 부른다. 영어로는 colligative property인데, “함께 묶인”이라는 라틴어에서 온 말이다. 입자를 한데 묶어 세기만 하면 된다는 뜻이지.

문제 1.1

물 1.00 kg에 포도당($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, 화학식량 180) 18.0 g을 녹였다. 물에서 녹은 입자 1 mol/kg마다 어는점이 1.86°C 내려간다고 할 때, 이 용액의 어는점을 구하라.

태오 포도당 18.0 g은 $18.0 \div 180 = 0.100$ mol이에요. 물이 1.00 kg이니까 1 kg당 0.100 mol이고요.

하린 그럼 $1.86 \times 0.100 = 0.186$ 이니까, 어는점은 0.186°C 예요.

석 교수 하린아, 무엇이 0.186이지?

하린 아, 내려간 양이요. 0°C 에서 0.186만큼 내려가니까 -0.186°C .

석 교수 정답은 -0.186°C 다. “어는점 내림”으로 구한 값은 변화량이라 부호를 붙여 다시 써야 한다. 답안에서 “어는점은 0.186°C ”라고 쓰면 오답이 된다. 검산도 해 보자. 0.100 mol은 1 mol의 10분의 1이니 1.86°C 의 10분의 1, 맞는다.

문제 1.2

문제 1.1과 같은 물 1.00 kg에 이번에는 염화 나트륨(NaCl , 화학식량 58.5) 5.85 g을 녹였다. NaCl 은 물에서 Na^+ 와 Cl^- 로 완전히 나뉜다고 가정하고 어는점을 구하라. 문제 1.1의 용액과 비교하여 어느 쪽이 더 낮은 온도에서 어는지 쓰라.

태오 $5.85 \div 58.5 = 0.100$ mol. 포도당이란 몰수가 같으니까 -0.186°C 요.

석 교수 함정에 빠졌구나. 0.100 mol의 NaCl 은 물속에서 몇 mol의 입자가 되지?

태오 아, 이온 두 개로 나뉘니까 0.200 mol이에요. 그럼 $1.86 \times 0.200 = 0.372$, 어는점은 -0.372°C 예요.

석 교수 정답은 -0.372°C , 소금물이 더 낮은 온도에서 언다. 같은 0.100 mol을 녹였어도 입자 수가 두 배라 효과도 두 배다. 다만 실제 소금물은 이온끼리 조금씩 달라붙어 있어서 -0.372°C 보다 약간 덜 내려간다. 그 이야기는 13장에서 반트호프 인자로 다룬다.

이모 그러면 길에 뿌리는 염화 칼슘(CaCl_2)은 이온이 세 개로 나뉘니까 더 잘 녹이겠네요.

석 교수 같은 몰수라면 그렇습니다. 그런데 같은 무게로 비교하면 결과가 달라져요. 그것도 13장에서 계산해 봐요.

거꾸로 읽으면 분자량을 잰다

- 태오** 교수님, 이걸 거꾸로 하면요? 어는점이 얼마나 내려갔는지 재면 몰수가 나오잖아요.
- 석 교수** 바로 그게 총괄성의 쓸모다. 모르는 물질 2.00 g을 물 1.00 kg에 녹였더니 어는점이 -0.0620°C 였다고 하자. 내려간 양을 1.86으로 나누면?
- 태오** $0.0620 \div 1.86 = 0.0333 \text{ mol/kg}$ 이네요. 물이 1.00 kg이니까 녹은 물질은 0.0333 mol 이고요.
- 하린** 2.00 g이 0.0333 mol이면 1 mol은 $2.00 \div 0.0333 = 60.0 \text{ g}$ 이네요. 분자량이 60이네요!
- 석 교수** 맞다. 저울과 온도계만으로 눈에 보이지 않는 분자 하나의 무게를 잰 셈이다. 라울이 19세기에 새로 만든 물질의 분자식을 정할 때 실제로 쓴 방법이고, 지금도 기출 문제에서 가장 자주 나오는 계산이다. 13장에서는 같은 생각을 끓는점과 삼투압으로도 해 본다.

변화량과 온도를 헷갈리지 말 것

$1.86 \times m$ 으로 구한 값은 “얼마나 내려갔나”이다. 답에는 0°C 에서 뺀 어는점(예: -0.186°C)을 쓴다. 거꾸로 측정된 어는점(예: -0.0620°C)에서 출발할 때는 먼저 변화량(0.0620°C)으로 바꾼 뒤 상수로 나눈다. 끓는점도 마찬가지로 100°C 에 더한 값을 답으로 쓴다.

1.3 네 가지 총괄성과 증기압

- 석 교수** 총괄성은 끓는점 오름과 어는점 내림만 있는 게 아니다. 모두 넷이다. 표 4에 정리했다.

표 4. 네 가지 총괄성 — 모두 “녹은 입자 수”에 비례하고, 출발점은 증기압 내림이다

총괄성	끓은 용액의 식	쓰는 농도	생활 속 예	배우는 장
증기압 내림	$\Delta P = X_{\text{용질}} \times P^{\circ}$	몰 분율	바닷물이 맹물보다 천천히 마른다	10장
끓는점 오름	$\Delta T_b = K_b \times m$	몰랄 농도	진한 시럽은 100°C 를 넘어 끓는다	11장
어는점 내림	$\Delta T_f = K_f \times m$	몰랄 농도	소금 뿌린 길, 자동차 부동액	11장
삼투압	$\Pi = C \times R \times T$	몰농도	배추 절이기, 링거 수액	12장

- 하린** 증기압이 뭐예요? 처음 들어요.
- 석 교수** 뚜껑 덮은 냄비를 떠올려 보렴. 물 분자 몇 개는 표면에서 튀어나가 기체가 되고, 기체가 된 분자 몇 개는 다시 물로 돌아온다. 나가는 수와 들어오는 수가 같아졌을 때, 냄비 위쪽 수증기가 만드는 압력이 **증기압**이다. 물이 “빠져나가려는 힘”을 압력으로 잰 값이라고 생각하면 된다. 6장의 주인공이다.
- 태오** 표에서 증기압 내림이 “출발점”이라고 쓰신 건 왜예요?
- 석 교수** 용질이 녹으면 물 분자가 빠져나가려는 경향이 줄어든다. 그래서 증기압이 내려간다. 증기압이 내려가면 1기압까지 올리는 데 더 높은 온도가 필요하니 끓는점이 오른다. 얼음과 균형을 맞추는 온도도 낮아지니 어는점이 내려간다. 반투막을 사이에 두면 물이 빠져나가려는 경향이 약한 쪽으로 물이 밀려 들어가니 삼투압이 생긴다. 네 현상이 한 뿌리에서 나온 가지인 셈이지.
- 이모** 그럼 표의 식은 다 외워야 하나요? 쓰는 농도도 다 다르네요.

석 교수 처음부터 외울 필요는 없어요. 몰 분율, 몰랄 농도, 몰농도가 각각 무엇인지는 3장에서 배우고, 왜 이 식에는 이 농도를 쓰는지는 그 장마다 설명합니다. 지금은 “네 가지가 있고, 뿌리가 같다”만 가져가시면 돼요.

1.4 이 단원을 만든 사람들

석 교수 이 식들은 대부분 19세기에 실험으로 찾아졌다. **그림 5**에 여섯 사건을 연표로 그렸다.

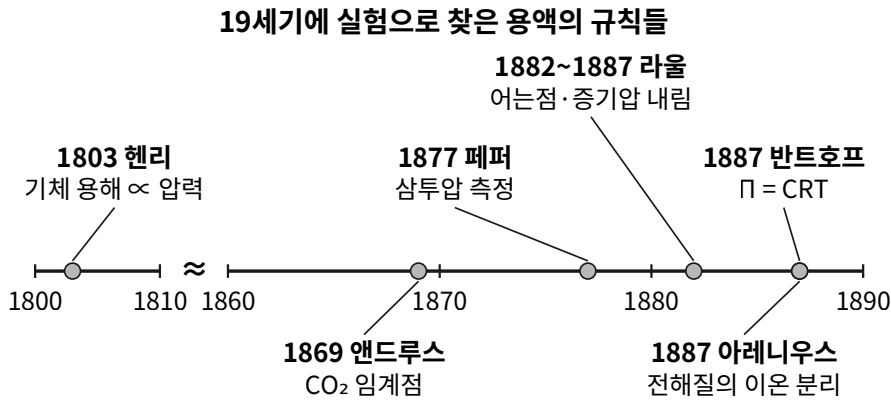


그림 5. 용액·총괄성·상평형 단원을 만든 여섯 사건(1803~1887). 기체가 물에 녹는 양(헨리), 임계점(앤드루스), 삼투압 측정(페퍼), 어는점·증기압 내림의 규칙(라울), 삼투압 식(반트호프), 전해질의 이온 분리(아레니우스)가 차례로 밝혀졌다.

석 교수 1803년 영국의 윌리엄 헨리는 물에 녹는 기체의 양이 그 기체의 압력에 비례한다는 것을 실험으로 보였다. 탄산음료 뚜껑을 따면 거품이 나는 이유가 여기 있다. 5장에서 다룬다. 1869년 토머스 앤드루스는 이산화 탄소를 눌러 가며 액체와 기체의 경계가 31 °C 위에서는 사라진다는 것을 찾았다. 임계점, 9장이다.

태오 1877년 페퍼는 뭘 했어요?

석 교수 독일의 식물학자 빌헬름 페퍼는 도자기 통 벽에 아주 얇은 막을 입혀 물만 통과하게 만들고, 설탕물이 물을 빨아들이며 올리는 압력을 처음으로 정확히 잴다. 그 측정값을 보고 네덜란드의 반트호프가 1887년에 삼투압이 기체의 압력 식과 똑같은 꼴, $\Pi = CRT$ 라는 것을 알아냈다. 12장이다.

석 교수 그 사이 1880년대 프랑스의 프랑수아 라울은 여러 용질을 여러 용매에 녹여 어는점과 증기압을 수없이 잴다. 그리고 “얼마나 내려가는지는 용질의 종류가 아니라 몰수가 정한다”는 규칙을 찾았다. 10장과 11장이 그의 몫이다.

하린 그럼 소금은 왜 두 배인지는 누가 알아냈어요?

석 교수 그게 바로 문제였지. 라울과 반트호프의 식은 설탕 같은 물질에는 잘 맞았는데, 소금이나 염산은 측정값이 거의 두 배로 나왔다. 1887년 스웨덴의 아레니우스가 “소금은 물속에서 이온으로 갈라져 입자 수가 늘어난다”고 설명했다. 당시에는 대담한 주장이었는데, 총괄성 측정값이 그 증거가 되었다. 13장의 이야기다.

이모 총괄성이 이온이 있다는 증거였다니, 숫자 하나가 큰일을 했네요.

석 교수 그래서 이 단원이 논술에 자주 나와요. 계산은 단순한데, 그 숫자로 보이지 않는 입자의 수를 세고 분자량까지 알아낼 수 있으니까요.

1.5 이 책의 길

석 교수 마지막으로 앞으로 열네 장을 어떤 순서로 걸을지 보자. **그림 6**가 지도다.

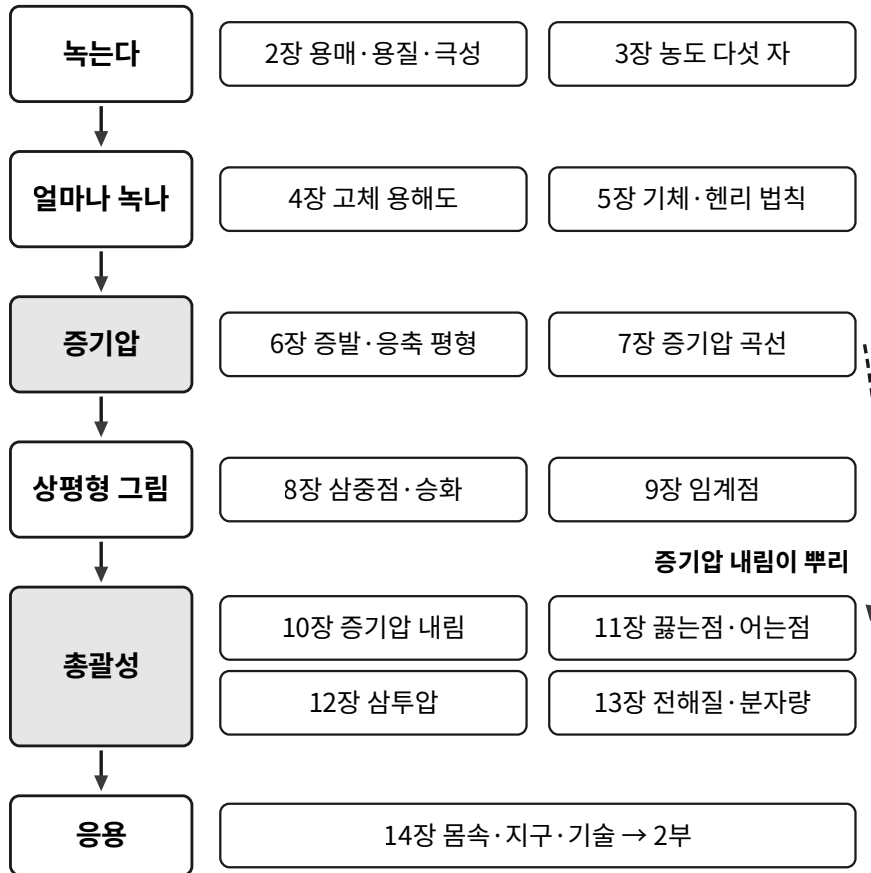


그림 6. 기본개념편의 길. 녹는다는 것(2장)에서 출발해 농도(3장), 용해도(4·5장), 증기압(6·7장), 상평형 그림(8·9장)을 거쳐 네 가지 총괄성(10~13장)과 응용(14장)에 이른다. 화살표는 “먼저 배우는 것 → 그 위에 세우는 것”의 방향이다.

석 교수 먼저 “녹는다”가 무슨 뜻인지 입자로 본다. 그다음 녹은 양을 재는 자, 곧 농도를 배운다. 얼마나 녹을 수 있는지가 용해도이고, 고체와 기체를 나누어 본다. 그다음 증기압과 증기압 곡선, 그리고 고체·액체·기체를 한 장에 그린 상평형 그림. 이 둘이 준비되면 비로소 총괄성 넷을 차례로 세운다.

태오 총괄성까지 가는 데 아홉 장이나 걸리네요. 바로 식부터 배우면 안 돼요?

석 교수 식만 외우면 계산은 할 수 있다. 하지만 논술은 “왜 끓는점이 오르는가”, “왜 용액의 증기압 곡선은 순수한 용매의 곡선보다 아래에 있는가”를 묻는다. 그 질문에 답하려면 증기압과 상평형 그림이 먼저 있어야 한다. 기출 문제에서도 계산 한 줄 앞에 설명 세 줄을 요구하는 경우가 많다.

하린 저는 계산보다 설명이 더 자신 없어요.

석 교수 그래서 장마다 생활 장면 하나와 그림 두세 개로 설명을 먼저 세우고, 계산은 숫자를 모두 보이며 천천히 간다. 오늘 한 것처럼.

이모 저는 아이들 옆에서 들으면서 부엌 일과 연결해 볼게요. 김장할 때 배추 절이는 것도 이 단원에 들어어나요?

석 교수 들어가요. 소금물이 배추 세포에서 물을 빼내는 삼투가 12장의 생활 장면입니다. 김치, 수액, 부동액, 압력솔까지 부엌과 병원과 자동차에서 하나씩 다시 만나게 될 거예요. 그리고 마지막 14장에서 그것들을 한 번에 모아 4부의 기출로 넘어갑니다.

태오 그럼 다음 주는 “녹는다”부터네요. 소금은 녹는데 기름은 왜 안 녹는지부터요.

핵심 총괄성 문제를 읽는 4단계

1. 용매가 무엇이고 얼마나 있는지(kg)를 먼저 적는다.
2. 녹인 용질의 몰수를 구한다(질량 ÷ 화학식량).
3. 이온으로 나뉘는 물질이면 입자 수를 곱한다(NaCl 2배, CaCl₂ 3배 — 이상값).
4. 입자의 몰랄 농도에 용매의 상수를 곱해 변화량을 구하고, 끓는점은 더하고 어는점은 빼서 부호까지 쓴다.

스스로 풀어 보기

1. 물 500 g에 설탕(화학식량 342) 34.2 g을 녹였다. 물 1 kg에 녹은 입자의 몰수를 구하라.
2. 물 1 kg에 요소(CO(NH₂)₂, 화학식량 60) 6.0 g을 녹인 용액과 포도당 18 g을 녹인 용액의 어는점을 비교하라.
3. 물 1 kg에 염화 칼슘(CaCl₂) 0.10 mol을 녹이면 이상적으로 어는점은 몇 °C인가?
4. 동결 건조에서 얼음이 녹지 않고 바로 수증기가 되게 하려면 무엇을 낮춰야 하는지 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

오늘 본 세 장면은 4부의 기출에서 그대로 문제가 된다. **기출문제 10**(한국항공대 2010) (286쪽)는 자동차 냉각수에 에틸렌 글리콜을 섞는 이유와 끓는 국물에 더 깊게 데는 이유를 물으며, 오늘의 표에 있는 끓는점 오름과 어는점 내림을 한 문항에 묶는다. **기출문제 1**(연세대 미래캠퍼스 2025) (202쪽)은 어는점이 -0.465 °C로 측정된 용액에서 녹인 물질의 질량과 끓는점, 삼투압까지 차례로 구하게 하는데, 출발은 문제 1.1과 똑같이 “변화량 ÷ 상수 = 몰랄 농도”다. **기출문제 4**(연세대 2020) (231쪽)는 동결 건조 커피의 원리를 상평형 그림으로 설명하게 하고, 용질이 녹아 있으면 조건이 어떻게 달라지는지를 묻는다. 세 문항 모두 이 장의 핵심 4단계와 “증기압이 뿌리”라는 그림 위에서 있다.

이 장의 참고문헌

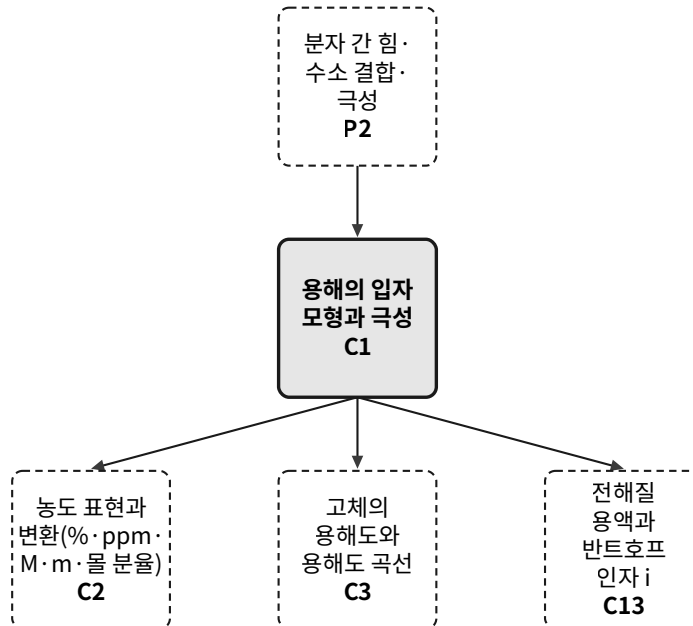
- Henry, W. (1803). Experiments on the quantity of gases absorbed by water, at different temperatures, and under different pressures. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 93, 29–274. <https://doi.org/10.1098/rstl.1803.0004>
- Andrews, T. (1869). The Bakerian lecture: On the continuity of the gaseous and liquid states of matter. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 159, 575–590. <https://doi.org/10.1098/rstl.1869.0021>
- van 't Hoff, J. H. (1887). Die Rolle des osmotischen Druckes in der Analogie zwischen Lösungen und Gasen. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 1, 481–508. <https://doi.org/10.1515/zpch-1887-0151>
- Arrhenius, S. (1887). Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 1, 631–648. <https://doi.org/10.1515/zpch-1887-0164>
- Atkins, P., de Paula, J., & Keeler, J. (2018). *Atkins' physical chemistry* (11th ed.). Oxford University Press.

제 2장 녹는다는 것: 용매·용질과 극성

새 개념 용매와 용질 · 극성끼리 녹는다 · 수화와 용해 에너지

이어짐 농도 3장 · 용해도 4장 · 기체 용해도 5장 · 전해질 13장

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념
 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

그림 7. 제 2장에서 배우는 개념(C1 용해의 입자 모형과 극성)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 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 6 (고려대 2012년) (247쪽)	극성이 가른 두 기체의 운명	C1 용해의 입자 모형과 극성

설거지통 속의 “비슷한 것끼리 녹는다”

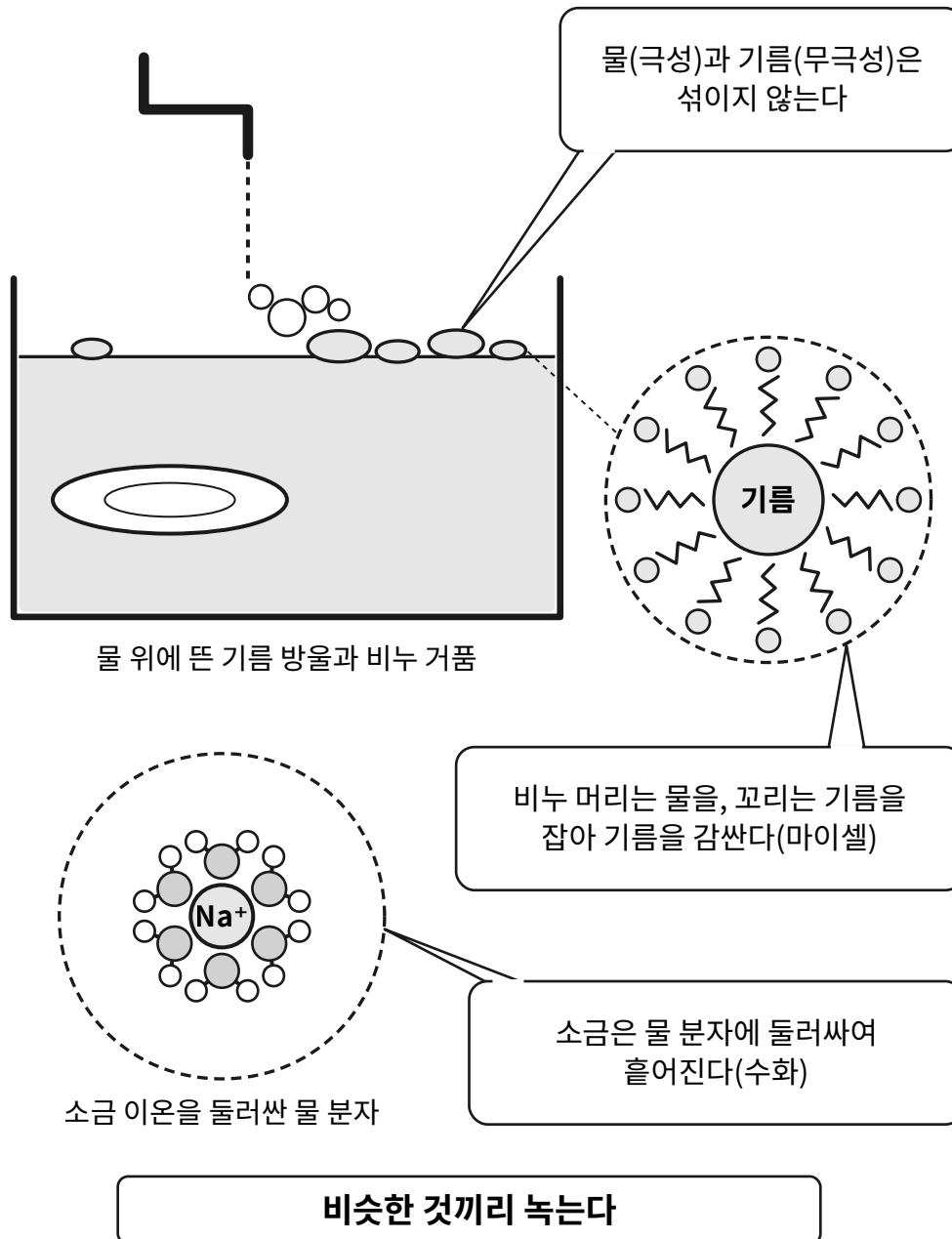


그림 8. 저녁 설거지통 — 물 위에 뜬 기름 방울, 비누 거품, 깨끗이 씻긴 접시. 물(극성)과 기름(무극성)은 섞이지 않지만, 비누 분자가 한쪽 끝으로는 물을, 다른 쪽 끝으로는 기름을 붙잡아 둘을 이어 준다. 소금은 물 분자에 둘러싸여 이온 하나하나로 흩어진다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 극성 용매인 물에는 극성 물질과 이온 물질이 잘 녹는다.
2. 비누 분자는 물을 좋아하는 머리와 기름을 좋아하는 꼬리로 기름때를 물에 이어 준다.
3. 소금의 이온은 물 분자에 둘러싸여(수화) 하나씩 흩어진다.

이 장의 출발점

기본개념편 제 1장 (16쪽)에서 총괄성은 “녹아 있는 입자의 수”로 정해진다는 것을 보았다. 이 장에서는 그 입자가 어떻게 물속으로 들어가는지를 본다. 물 분자가 굽은 모양이고 산소 쪽이 약한 음전하(δ^-), 수소 쪽이 약한 양전하(δ^+)를 띠는 것, 소금은 Na^+ 와 Cl^- 이 번갈아 쌓인 결정이라는 것, 그리고 반응열의 부호(흡열 +, 발열 -)를 알면 된다.

둘째 토요일 저녁, 수업 전 다 같이 먹은 김치찌개 그릇이 설거지통에 쌓였다. 하린이 세제를 짜 넣기 전에 물을 틀자, 그릇에 묻은 기름이 노란 동그라미가 되어 물 위에 동동 뗏다.

하린 교수님, 기름은 왜 물에 안 녹아요? 소금이란 설탕은 금방 녹는데요.

석 교수 오늘 수업의 첫 질문이 저절로 나왔구나. 답부터 말하면 “비슷한 것끼리 녹는다.” 물과 소금, 물과 설탕은 서로 비슷하고, 물과 기름은 다르다. 무엇이 비슷하고 무엇이 다른지가 오늘의 내용이다.

태오 비슷하다는 게 극성 얘기죠? 물은 극성이고 기름은 무극성.

석 교수 맞다. 그 말을 입자 그림으로 끝까지 풀어 보자.

2.1 용매, 용질, 용액

석 교수 먼저 이름부터. 소금물에서 소금처럼 녹아 들어간 것을 **용질**, 물처럼 녹이는 쪽을 **용매**, 둘이 섞여 만들어진 것을 **용액**이라고 한다. 대개 양이 많은 쪽을 용매라고 부른다.

이모 용액은 그냥 섞인 물이란 뭐가 다른가요? 휴탕물도 섞인 물이잖아요.

석 교수 좋은 구분이예요. 휴탕물은 가만히 두면 흙이 가라앉고, 빛을 비추면 뿌옇게 보입니다. 흙 알갱이가 분자보다 훨씬 커서 그래요. 용액은 용질이 분자나 이온 하나하나로 흩어져 있어서 아무리 오래 두어도 가라앉지 않고, 어디를 떠도 농도가 같습니다. 이런 혼합물을 **균일 혼합물**이라고 해요.

하린 그럼 공기도 용액이예요? 질소랑 산소가 고르게 섞여 있잖아요.

석 교수 넓은 뜻으로는 그렇다. 기체 용액이지. 놋쇠 같은 합금은 고체 용액이다. 다만 이 책에서는 물이 용매인 수용액을 주로 다룬다.

태오 액체끼리 섞이면 뭐가 용매예요? 소주는 물이란 에탄올이잖아요.

석 교수 보통은 양이 많은 쪽을 용매로 본다. 에탄올이 부피로 17 % 정도인 소주는 물이 용매, 에탄올이 용질이다. 거꾸로 에탄올이 대부분인 소독용 알코올이라면 에탄올을 용매로 부르기도 한다. 이름은 편의를 위한 것이고, 계산할 때 “어느 쪽을 용매로 정했는지”만 분명히 하면 된다. 총괄성 계산에서 “용매 1 kg”을 셀 때 바로 이 선택이 쓰인다.

2.2 비슷한 것끼리 녹는다

석 교수 물 분자를 다시 보자. 산소가 전자를 세게 끌어당기니 산소 쪽은 약한 음전하(δ^-), 수소 쪽은 약한 양전하(δ^+)를 띤다. 분자가 굽어 있어서 이 치우침이 상쇄되지 않는다. 이런 분자를 **극성 분자**라고 한다. 물 분자끼리는 한 분자의 H가 다른 분자의 O에 끌리는 수소 결합으로 단단히 이어져 있다.

태오 기름은 탄소와 수소만 길게 이어진 거라 전하 치우침이 거의 없고요.

석 교수 그렇다. 기름 분자끼리는 약한 분산력으로만 붙어 있다. 이제 기름 한 방울을 물에 넣었다고 생각해 보자. 기름 분자가 물 사이로 들어가려면 물 분자끼리의 수소 결합을 끊어 자리를 만들어야 한다. 그런데 기름은 물과 새로 강한 인력을 만들어 주지 못한다. 끊기만 하고 보상이 없으니 물 분자들은 서로 다시 붙고, 기름은 밀려나 한데 모인다.

하린 기름이 물을 싫어하는 게 아니라, 물이 물끼리 붙고 싶어서 기름을 밀어내는 거네요.

석 교수 아주 좋은 표현이다. 반대로 에탄올은 분자 한쪽에 -OH가 있어서 물과 수소 결합을 만든다. 그래서 물과 에탄올은 어떤 비율로도 섞인다. **그림 9**에 세 액체를 돌씩 섞은 결과를 그렸다.

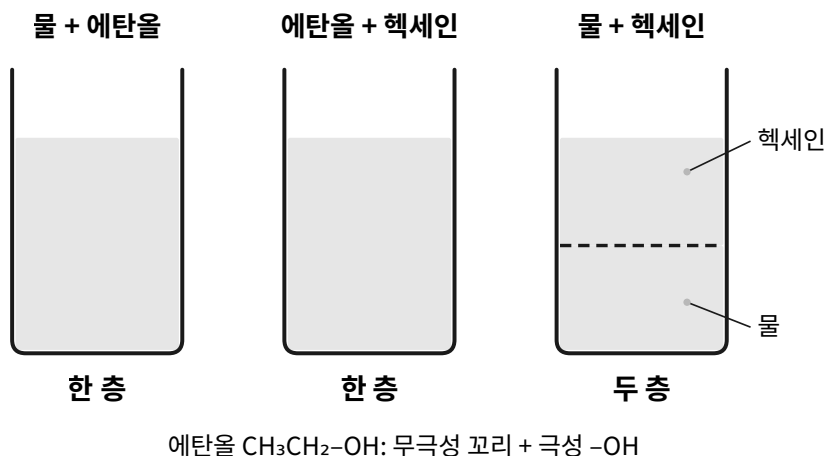


그림 9. 물·에탄올·헥세인을 같은 부피씩 돌씩 섞은 결과(25 °C). 물과 에탄올, 에탄올과 헥세인은 한 층이 되고, 물과 헥세인은 두 층으로 나뉜다(밀도가 작은 헥세인 0.66 g/mL가 위). 에탄올은 -OH(극성)와 -C₂H₅(무극성)를 함께 가져 양쪽과 섞인다.

태오 에탄올은 헥세인하고도 섞이네요? 극성인데요.

석 교수 에탄올은 한쪽은 -OH, 다른 쪽은 탄소 두 개짜리 무극성 꼬리다. 그 꼬리가 헥세인과 분산력으로 어울린다. 양쪽에 다리를 걸친 분자라서 둘 다와 섞이는 거지. 비누가 바로 이 원리를 극단까지 밀어붙인 분자다.

섞으면 부피가 줄어든다

석 교수 물과 에탄올을 섞을 때 재미있는 일이 하나 더 있다. 물 50 mL와 에탄올 50 mL를 섞으면 몇 mL가 될까?

하린 100 mL요. 당연하잖아요.

석 교수 재 보면 약 96 mL다. 에탄올 분자와 물 분자가 수소 결합으로 서로 촘촘하게 끼어들면서 빈틈이 줄기 때문이다. 큰 콩 한 되와 좁쌀 한 되를 섞으면 두 되가 안 되는 것과 비슷하다.

태오 그럼 용액 부피는 그냥 더하면 안 되겠네요.

석 교수 그렇다. 그래서 다음 장에서 배울 농도 가운데 “용액 1 L당”으로 재는 몰농도는 섞기 전에 부피를 미리 알 수 없다는 약점이 있다. 반면 “용매 1 kg당”으로 재는 몰랄 농도는 질량만 더하면 되니 이런 문제가 없다. 기출 문제가 “용액의 부피는 두 부피의 합으로 본다”는 조건을 따로 달아 주는 것도 이 때문이다.

이모 비누는 어떻게 생겼나요?

석 교수 혼한 비누인 스테아르산 나트륨을 예로 들면, 탄소 열여덟 개가 길게 이어진 꼬리 끝에 $\text{COO}^- \text{Na}^+$ 라는 이온 머리가 붙어 있어요. 머리는 물을 좋아하고 꼬리는 기름을 좋아합니다. 기름때를 만나면 꼬리들이 기름 속으로 파고들고 머리들은 바깥 물 쪽을 향해, 기름 방울을 공처럼 감싼 덩어리가 됩니다. 이것을 **마이셀**이라고 해요. 바깥이 온통 이온 머리라서 기름 방울째로 물에 실려 떠내려가지요.

하린 그럼 비누로 씻은 물을 하수구에 버리면 기름이 그 공 속에 갇힌 채로 흘러가는 거예요?

석 교수 그렇다. 기름이 사라지는 게 아니라 물에 실려 갈 수 있는 모양으로 포장되는 거다. 그래서 기름 묻은 그릇을 찬물보다 따뜻한 물로 씻으면 더 잘 닦인다. 굳은 기름이 녹아 꼬리가 파고들기 쉬워지니까.

태오 손 씻을 때 비누를 문질러야 하는 것도 그 공을 만들 시간을 주는 거네요.

녹는 속도와 녹는 양은 다르다

이모 설탕을 물에 넣고 저으면 빨리 녹잖아요. 저으면 더 많이 녹는 건가요?

석 교수 많이들 헛갈리는 부분이에요. 젓기, 가루로 뿜기, 데우기는 모두 녹는 속도를 빠르게 합니다. 젓기는 결정 바로 옆의 진해진 물을 치워 새 물을 대 주고, 가루로 뿜으면 물과 닿는 표면이 넓어지지요. 하지만 젓기와 뿜기는 결국 녹을 수 있는 최대량을 바꾸지 못합니다. 아무리 저어도 그 온도에서 정해진 양 이상은 녹지 않아요.

하린 데우기는요?

석 교수 데우기는 속도와 함께 최대량도 바꾼다. 대부분의 고체는 뜨거운 물에 더 많이 녹는다. 그 “최대량”이 용해도이고, 4장에서 온도에 따른 곡선으로 그린다. 오늘은 “빨리 녹는 것”과 “많이 녹는 것”은 다른 질문이라는 것만 기억하자.

석 교수 이 관계를 표로 정리하면 표 6과 같다.

표 6. 용매와 용질의 조합과 녹는 정도 — “비슷한 것끼리 녹는다”

용매	용질	용질의 성질	녹는 정도	까닭
물(극성)	염화 나트륨	이온 결정	잘 녹는다	이온-쌍극자 인력(수화)
물(극성)	설탕·에탄올	극성 분자	잘 녹는다	물과 수소 결합
헥세인(무극성)	식용유·아이오딘	무극성 분자	잘 녹는다	분산력끼리 비슷
물(극성)	식용유·아이오딘	무극성 분자	거의 녹지 않는다	물의 수소 결합을 대신할 인력이 없음
헥세인(무극성)	염화 나트륨	이온 결정	녹지 않는다	이온을 떼어 낼 인력이 없음

2.3 수화: 이온을 둘러싼 물 분자

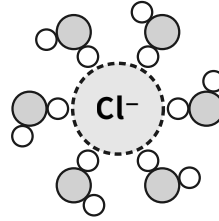
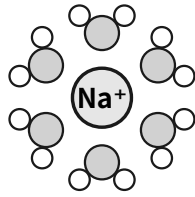
석 교수 이제 소금이 녹는 순간을 확대해 보자. 소금 결정 표면의 Na^+ 하나를 물 분자들이 둘러싼다. 이때 물 분자는 어느 쪽을 Na^+ 에 향할까?

하린 양이온이니깐... 반대 전하인 산소 쪽이요!

석 교수 맞다. Cl^- 에는 반대로 수소 쪽을 향한다. 이렇게 이온이나 분자가 물 분자에 둘러싸이는 것을 **수화**라고 한다. 그림 10를 보렴.

양이온 Na^+

음이온 Cl^-



물의 $\text{O}(\delta^-)$ 가 안쪽

물의 $\text{H}(\delta^+)$ 가 안쪽



이온마다 물 분자 6개를 그린 모식도

그림 10. 염화 나트륨의 수화. 결정에서 떨어져 나온 Na^+ 는 물 분자의 산소(δ^-) 쪽에, Cl^- 은 물 분자의 수소(δ^+) 쪽에 둘러싸인다. 각 이온 주위에 물 분자 여섯 개를 그렸다(모식도, 실제 수화수는 평균값이며 계속 바뀐다).

태오 그림에서 Na^+ 쪽 물 분자는 빨간 산소가 안쪽이고, Cl^- 쪽은 수소 두 개가 안쪽을 향하네요.

석 교수 시험에서 이 방향을 거꾸로 그리는 학생이 의외로 많다. 전하끼리의 인력으로 판단하면 틀릴 일이 없다. 수화된 이온은 물 분자 옷을 입은 채 돌아다니기 때문에 다시 결정으로 돌아가 불기 어렵다. 그래서 소금이 계속 녹아 들어간다.

수화 그림에서 자주 틀리는 방향

양이온(Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) 쪽에는 물의 산소(δ^-)가, 음이온(Cl^- , NO_3^-) 쪽에는 물의 수소(δ^+)가 향한다. 수소 두 개를 모두 음이온 쪽으로 그리지 말고 하나만 향하게 그리는 것이 실제에 가깝다. 이온의 전하가 클수록, 크기가 작을수록 물 분자를 세게 끌어 수화 껍질이 단단하다.

이모 설탕도 수화가 되나요? 설탕은 이온이 아니잖아요.

석 교수 설탕 분자에는 $-\text{OH}$ 가 여덟 개나 있어서 물 분자와 수소 결합을 여러 개 만들어요. 그것도 넓은 뜻의 수화입니다. 다만 설탕은 이온으로 쪼개지지 않고 분자 그대로 흩어지지요. 그래서 설탕물은 전기가 통하지 않고, 소금물은 이온이 전하를 날라서 전기가 통합니다. 앞의 것을 비전해질, 뒤의 것을 전해질이라고 하고, 총괄성에서 입자 수가 달라지는 이유가 바로 이 차이예요. 13장에서 다시 만납니다.

2.4 녹을 때 드나드는 열

석 교수 녹는 데에도 에너지 계산이 있다. 세 단계로 나누어 생각하자. ① 용질 입자끼리 붙어 있던 것을 떼어 낸다(에너지가 든다). ② 용매 분자 사이에 자리를 만든다(에너지가 든다). ③ 용질과 용매가 새로 끌어당긴다(에너지가 나온다). ①과 ②의 합보다 ③이 크면 열이 나오고, 작으면 열을 흡수한다.

$$\Delta H_{\text{용해}} = (\text{용질-용질 떼기}) + (\text{용매-용매 떼기}) - (\text{용질-용매 끌림})$$

석 교수 실제 값을 그림 11에 모았다.

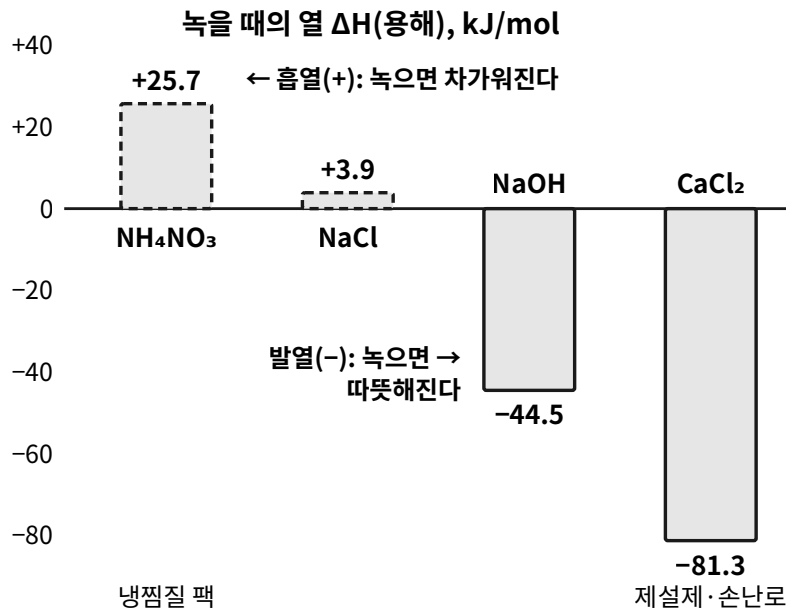


그림 11. 몇 가지 이온 화합물의 용해 엔탈피(25 °C, 묽은 수용액, kJ/mol). 질산 암모늄과 염화 나트륨은 녹을 때 열을 흡수하고(+, 점선 테두리), 수산화 나트륨과 염화 칼슘은 열을 낸다(-, 실선).

하린 질산 암모늄은 녹을 때 차가워지고, 염화 칼슘은 뜨거워지는 거네요.

석 교수 그래서 질산 암모늄은 냉찜질 팩에 들어간다. 팩을 꺾으면 안쪽 물주머니가 터지면서 녹고, 주변의 열을 빼앗아 차가워진다. 염화 칼슘은 녹을 때 열을 내서 손난로나 제설제로 쓴다. 소금은 +3.9 kJ/mol로 거의 0이라 녹여도 온도가 별로 안 변한다.

큰 두 수의 작은 차이

태오 소금은 왜 거의 0이예요? 결정을 떼어 내는 데 에너지가 엄청 들 것 같은데요.

석 교수 실제로 엄청 든다. 염화 나트륨 1 mol의 결정을 기체 이온으로 완전히 떼어 내는 데 약 788 kJ가 필요하다. 이걸 격자 에너지라고 부른다. 그런데 그 이온들이 물에 둘러싸일 때 내놓는 에너지, 곧 수화 에너지도 Na^+ 와 Cl^- 을 합쳐 약 784 kJ나 된다.

하린 788에서 784를 빼면 4 kJ. 그래서 +3.9에 가깝게 나오는 거군요!

석 교수 그렇다. 용해열은 두 개의 큰 수가 서로 거의 상쇄하고 남은 작은 차이이다. 그래서 물질마다 부호가 이리저리 바뀐다. 이온의 전하가 크고 크기가 작을수록 물 분자를 세게 끌어 수화 에너지가 커지는데, 격자 에너지도 함께 커지니 어느 쪽이 이길지는 실제로 재 봐야 한다. 염화 칼슘은 Ca^{2+} 의 수화가 워낙 강해서 81 kJ나 남는 발열이 된다.

이모 큰 돈이 들어오고 나가서 통장에 조금 남는 것과 같네요.

석 교수 딱 그 비유예요. 들어오고 나가는 액수가 크니 조금만 달라도 남는 돈의 부호가 바뀌지요.

태오 그런데 이상해요. 열을 흡수하는 쪽은 에너지가 오르는 거잖아요. 그런데도 왜 저절로 녹아요?

석 교수 날카로운 질문이다. 녹으면 질서 있게 쌓여 있던 이온들이 물속에 마구 흩어진다. 자연은 흩어지는 쪽으로 가려는 경향(엔트로피)이 있어서, 열을 조금 흡수하더라도 흩어지는 이득이 더 크면 녹는다. 교과 밖 심화이니 “흡열이어도 녹을 수 있다, 흩어지는 경향 때문이다” 정도만 기억하자.

문제 2.1

질산 암모늄(NH_4NO_3 , 화학식량 80) 8.0 g을 25 °C 물 100 g에 녹였다. 용해 엔탈피는 +25.7 kJ/mol이다. 용액이 흡수한 열을 구하고, 용액 108 g의 비열을 4.18 J/(g·°C)로 보고 열이 밖으로 빠져나가지 않는다고 할 때 용액의 온도를 구하라.

태오 $8.0 \div 80 = 0.10$ mol이요. $0.10 \times 25.7 = 2.57$ kJ를 흡수해요.

하린 그 열을 용액에서 빼앗으니까, $2570 \text{ J} = 108 \times 4.18 \times \Delta T$. $108 \times 4.18 = 451.4$ 라서 $\Delta T = 2570 \div 451.4 = 5.7$ °C예요.

태오 그럼 $25 + 5.7 = 30.7$ °C.

석 교수 태오야, 흡열이면 용액은 데워지나 식나?

태오 아, 열을 빼앗기니까 식어요. $25 - 5.7 = 19.3$ °C예요.

석 교수 정답은 흡수한 열 2.57 kJ, 온도는 약 5.7 °C 내려가 19.3 °C다. 열량 식 $q = m \times c \times \Delta T$ 는 크기만 주니, 올라가는지 내려가는지는 흡열·발열로 따로 판단해야 한다. 냉찜질 팩은 이보다 훨씬 진하게 녹여서 0 °C 근처까지 내려간다.

이모 반대로 염화 칼슘을 같은 몰수만큼 녹이면 얼마나 뜨거워지나요?

석 교수 0.10 mol이면 $0.10 \times 81.3 = 8.13$ kJ가 나와요. 물 100 g에 녹였다면 용액이 약 111 g이니 $8130 \div (111 \times 4.18) =$ 약 17.5 °C 올라갑니다. 같은 몰수인데 질산 암모늄보다 세 배 넘게 큰 변화예요. 눈 위에 뿌린 염화 칼슘이 빨리 녹이는 이유 가운데 하나가 이 열입니다.

2.5 극성 기체와 무극성 기체

석 교수 마지막으로 기체. 기체도 물에 녹는데, 여기에도 “비슷한 것끼리”가 그대로 적용된다. 이산화 탄소와 암모니아를 비교해 보자.

이모 둘 다 물에 녹는다고 들었어요. 탄산수랑 암모니아수가 있으니까요.

석 교수 녹기는 둘 다 녹는데 정도가 크게 달라요. 25 °C에서 각각 1기압으로 접촉시키면 물 1 L에 이산화 탄소는 0.034 mol, 암모니아는 수십 mol이 녹습니다. 천 배가 넘게 차이 나지요. 이유를 분자 모양에서 찾아볼까요?

문제 2.2

CO_2 , NH_3 , H_2O 의 분자 모양과 극성을 쓰고, CO_2 와 NH_3 가운데 물에 더 잘 녹는 기체를 고른 뒤 그 까닭을 분자 간 힘으로 설명하라.

하린 H_2O 는 굽은형이고 극성이예요. 오늘 계속 나왔으니까요.

태오 CO_2 는 $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ 로 일직선이예요. $\text{C}=\text{O}$ 결합 하나 하나는 극성인데, 양쪽으로 똑같이 당기니까 상쇄돼서 분자 전체는 무극성이예요.

하린 NH_3 는 질소에 비공유 전자쌍이 하나 있어서 삼각뿔 모양이고, 치우침이 상쇄되지 않으니까 극성이예요.

석 교수 그럼 물에 더 잘 녹는 것은?

태오 NH_3 요. 극성끼리라서 물과 잘 어울리고, 무엇보다 N-H가 있어서 물과 수소 결합을 해요. 물의 H는 NH_3 의 질소에, NH_3 의 H는 물의 산소에 끌리고요.

석 교수 정답은 NH_3 다. 무극성인 CO_2 는 물과 약한 인력만 만드니 조금만 녹는다. 덧붙이면 암모니아는 물과 반응해 NH_4^+ 와 OH^- 를 조금 만들고, 이산화 탄소도 일부는 탄산이 된다. 그래서 정확히는 “녹는 것 + 반응하는 것”이 섞여 있지만, 녹는 정도의 큰 차이는 극성과 수소 결합으로 설명하는 것이 기본이다. 기체가 녹는 양이 압력에 비례한다는 헨리 법칙은 5장에서 이 두 기체로 다시 계산한다.

하린 암모니아가 그렇게 잘 녹는다는 걸 눈으로 볼 수 있어요?

석 교수 유명한 “암모니아 분수” 실험이 있다. 마른 둥근 플라스크에 암모니아 기체를 채우고 거꾸로 세워, 가는 유리관 끝을 페놀프탈레인을 떨어뜨린 물에 담근다. 스포이트로 물 몇 방울만 넣어 주면 그 물에 암모니아가 순식간에 녹아 플라스크 안 압력이 뚝 떨어진다. 그러면 바깥 대기압이 아래 물을 밀어 올려 분수처럼 솟구치고, 녹은 암모니아가 염기성이라 물이 분홍색으로 변한다.

태오 이산화 탄소를 같은 실험을 하면요?

석 교수 거의 아무 일도 일어나지 않는다. 물 몇 방울에 녹는 이산화 탄소가 너무 적어서 압력이 별로 안 떨어지거든. 같은 장치로 두 기체의 차이를 극적으로 보여 주는 실험이다. 탄산음료가 거품을 내려면 이산화 탄소를 높은 압력으로 눌러 넣어야 하는 것도 같은 이유고.

핵심 “녹을까?”를 판단하는 4단계

1. 용매와 용질이 각각 이온·극성·무극성 가운데 무엇인지 분자 모양으로 정한다.
2. 비슷한 것끼리(극성-극성, 이온-극성, 무극성-무극성)이면 잘 녹고, 다르면 잘 녹지 않는다.
3. 이온이 녹을 때는 수화의 방향을 확인한다(양이온에는 물의 O, 음이온에는 물의 H가 향한다).
4. 용해열의 부호로 온도 변화를 판단한다(흡열 +이면 용액이 식고, 발열 -이면 데워진다).

스스로 풀어 보기

1. 아이오딘(I_2)은 물과 헥세인 가운데 어디에 더 잘 녹는지 쓰고 그 까닭을 설명하라.
2. Mg^{2+} 이온이 물에 수화될 때 물 분자는 어느 원자를 Mg^{2+} 쪽으로 향하는가?
3. 수산화 나트륨(NaOH , 화학식량 40) 4.0 g을 물에 녹이면 몇 kJ의 열이 나오는가? (용해 엔탈피 -44.5 kJ/mol)
4. 설탕물은 전기가 통하지 않고 소금물은 통하는 까닭을 녹아 있는 입자로 설명하라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 입자 그림은 4부 기출의 첫 단추가 된다. **기출문제 6**(고려대 2012) (247쪽)은 이산화 탄소와 암모니아를 물이 든 두 용기에 넣고, 먼저 세 분자의 구조와 극성을 쓰게 한 뒤 두 기체의 헨리 상수가 크게 다른 까닭을 묻는다. 문제 2.2가 바로 그 첫 소문항이다. **기출문제 7**(고려대 2012) (259쪽)은 같은 시험의 다른 논제로, 황사에 섞인 $\text{SO}_2 \cdot \text{NO}_2$ 가 물방울에 녹아 산을 만들고 그 산성이 철 화합물의 용해도를 바꾸는 과정을 묻는데, 그 바탕에는 극성 기체가 물에 잘 녹는다는 오늘의 입자 그림이 있다. **기출문제 2**(연세대 미래캠퍼스 2023) (211쪽)의 첫 소문항은 메테인·사불화 탄소·클로로폼의 끓는점을 비교하게 하는데, 분자 모양에서 극성을 판단하는 오늘의 방법을 그대로 쓴다.

이 장의 참고문헌

- Marcus, Y. (1988). Ionic radii in aqueous solutions. *Chemical Reviews*, 88(8), 1475–1498. <https://doi.org/10.1021/cr00090a003>
- Wagman, D. D., Evans, W. H., Parker, V. B., Schumm, R. H., Halow, I., Bailey, S. M., Churney, K. L., & Nuttall, R. L. (1982). The NBS tables of chemical thermodynamic properties. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 11(Suppl. 2).
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2018). *Chemistry: The central science* (14th ed.). Pearson.
- Hildebrand, J. H., & Scott, R. L. (1950). *The solubility of nonelectrolytes* (3rd ed.). Reinhold.

제 3장 농도를 재는 다섯 가지 자

새 개념 퍼센트 농도·ppm · 몰농도 · 몰랄 농도 · 몰 분율 · 농도 바꾸기

이어짐 라울 법칙 10장 · 끓는점 오름·어는점 내림 11장 · 삼투압 12장

이 장의 개념도

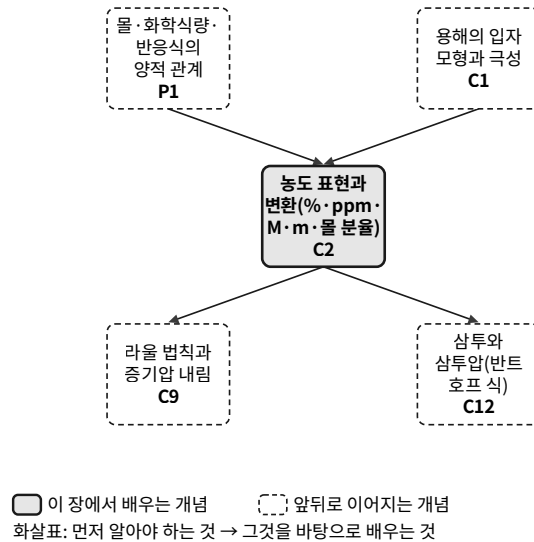


그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C2 농도 표현과 변환(%·ppm·M·m·몰 분율))과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 7. 제 3장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 1 (연세대 미래캠퍼스 2025년) (202쪽)	어느점 하나로 끓는점·삼투압까지	C2 농도 표현과 변환(%·ppm·M·m·몰 분율)
기출 2 (연세대 미래캠퍼스 2023년) (211쪽)	증기압 곡선·드라이아이스 풍선·암모니아수	C2 농도 표현과 변환(%·ppm·M·m·몰 분율)
기출 3 (경희대 2023년) (223쪽)	포도당 수용액과 에탄올 용액의 총괄성	C2 농도 표현과 변환(%·ppm·M·m·몰 분율)
기출 5 (성균관대 2016년) (239쪽)	원소 분석과 삼투압으로 정한 분자식	C2 농도 표현과 변환(%·ppm·M·m·몰 분율)

수액 걸이의 두 팩 — 같은 “입자 농도”

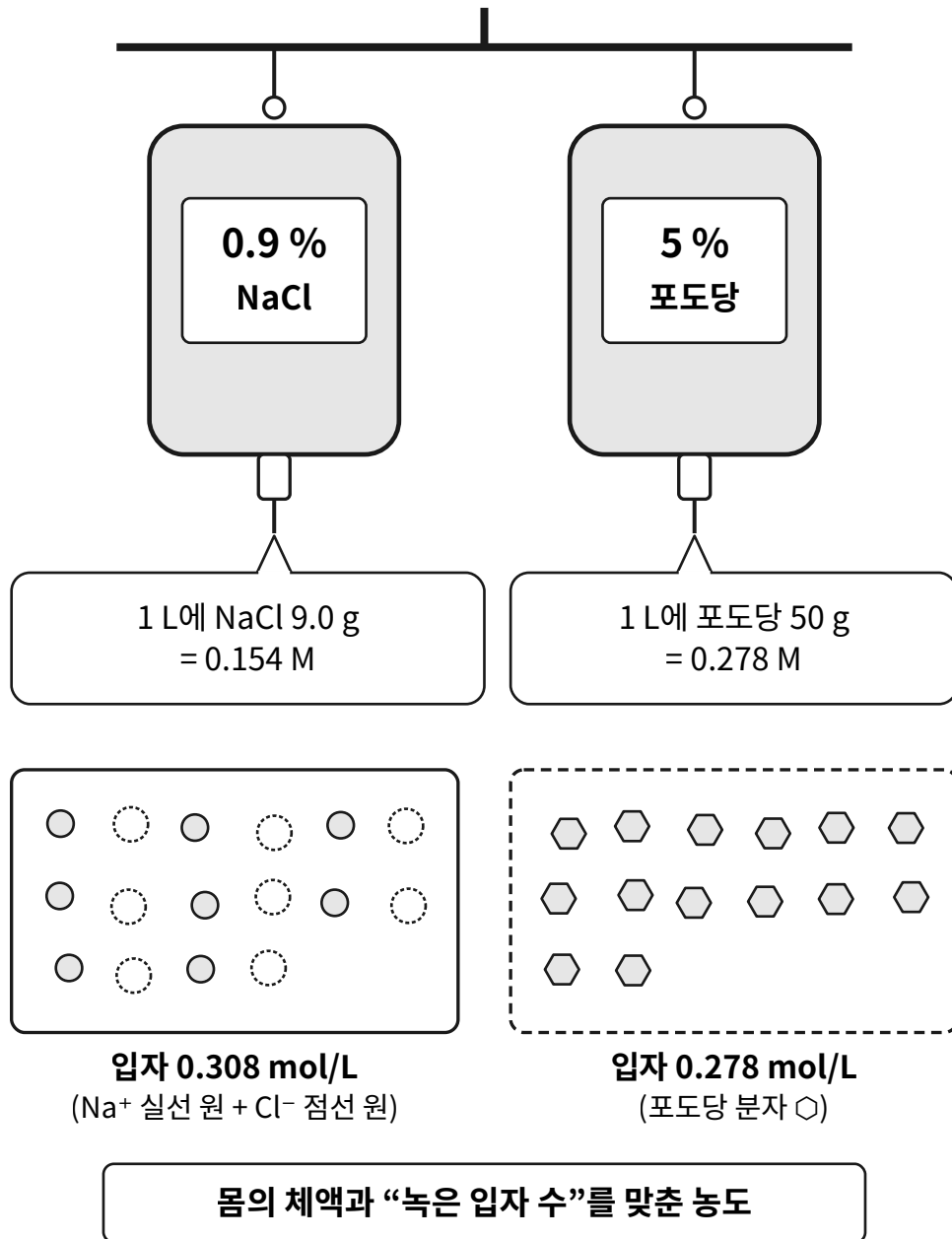


그림 13. 병원 수액 걸이의 두 팩 — “0.9 % 염화 나트륨”과 “5 % 포도당”. 같은 소금물을 퍼센트로 0.9, 몰농도로는 0.154, 입자 농도로는 0.308로 적을 수 있다. 숫자는 다르지만 모두 같은 용액을 다른 자로 잰 값이다(모식도, 0.9 %는 100 mL에 0.9 g)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 같은 용액도 어떤 자로 재느냐에 따라 숫자가 다르다.
2. 몰랄 농도는 용매의 질량으로 나누므로 온도가 바뀌어도 변하지 않는다.
3. 수액은 녹은 입자의 농도를 체액과 맞춘다(0.9 % NaCl = 입자 약 0.308 mol/L).

이 장의 출발점

기본개념편 제 2장 (25쪽)에서 무엇이 무엇에 녹는지를 보았다. 이제 “얼마나” 녹아 있는지를 숫자로 적는다. $\text{몰수} = \text{질량} \div \text{화학식량}$, $\text{밀도} = \text{질량} \div \text{부피}$, $1 \text{ L} = 1000 \text{ mL}$, $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$ 네 가지만 자유롭게 쓸 수 있으면 된다.

셋째 토요일, 이모가 병원에서 얻어 온 빈 수액 팩 두 개를 들고 왔다. 하나에는 “0.9 % 염화 나트륨 주사액”, 다른 하나에는 “5 % 포도당 주사액”이라고 적혀 있었다. 석 교수는 칠판 한쪽에 “같은 용액, 다섯 개의 숫자”라고 썼다.

이모 간호사 선생님이 이 둘이 “몸과 같은 농도”라고 하던데요. 0.9랑 5는 전혀 다른 숫자잖아요. 어떻게 둘 다 몸과 같을 수 있나요?

석 교수 오늘 수업이 그 질문에 답하는 수업이에요. 퍼센트라는 자로 재면 0.9와 5로 다르지만, 녹은 입자의 개수를 세는 자로 재면 두 팩이 거의 같은 숫자가 됩니다. 어떤 자로 재느냐가 중요해요.

태오 농도는 그냥 퍼센트 하나만 있으면 안 돼요? 왜 이렇게 여러 개예요?

석 교수 쓰는 곳마다 편한 자가 다르기 때문이다. 요리할 때는 무게가 편하고, 실험실에서 반응시킬 때는 부피로 덜어 쓰니 몰농도가 편하고, 총괄성을 계산할 때는 온도에 흔들리지 않는 몰랄 농도가 편하다. 하나씩 보자.

3.1 같은 용액, 다섯 가지 자

석 교수 예를 하나 정하자. 물 500 g에 포도당 18.0 g을 녹였다. 포도당은 0.100 mol이고, 용액은 518 g, 밀도를 재 보니 1.013 g/mL였다. 이 한 병을 다섯 자로 재 보자. **그림 14**에 무엇을 무엇으로 나누는지 칸으로 그렸다.

물 500 g + 포도당 18.0 g(0.100 mol), 밀도 1.013 g/mL

분자(위) ÷ 분모(아래)

퍼센트 농도	용질 18.0 g	× 100	= 3.47 %
	용액 518 g		
ppm	용질 18.0 g	× 10 ⁶	= 3.47 × 10 ⁴ ppm
	용액 518 g		
몰농도	용질 0.100 mol		= 0.196 M
	용액 0.511 L		
몰랄 농도	용질 0.100 mol		= 0.200 m
	용매 0.500 kg		
몰 분율	용질 0.100 mol		= 0.00359
	전체 27.9 mol		

분모가 용액 질량 · 용액 부피 · 용매 질량 · 전체 몰수로 서로 다르다

그림 14. 한 병의 포도당 수용액(물 500 g + 포도당 18.0 g = 0.100 mol, 밀도 1.013 g/mL)을 다섯 가지 자로 잰 값. 분자(위 칸)는 모두 “용질의 양”이지만, 분모(아래 칸)가 용액의 질량·용액의 부피·용매의 질량·전체 몰수로 서로 다르다.

석 교수 첫째, **퍼센트 농도**. 용액 100 g에 용질이 몇 g 들었나. $18.0 \div 518 \times 100 = 3.47 \%$ 다.

하린 18 ÷ 500이 아니라 518로 나눠요?

석 교수 그렇다. 분모는 “용액” 전체의 질량이니 물과 포도당을 더한 518 g이다. 여기서 가장 많이 틀린다. 둘째, **ppm**(parts per million, 백만분율)은 같은 생각을 백만 배로 키운 것이다. 용액 1 kg에 용질이 몇 mg 들었나를 센다. 아주 묽은 것, 예를 들어 수돗물의 잔류 염소 0.5 ppm이나 바닷물 속 금 같은 것을 적을 때 쓴다.

이모 수돗물 검사표에서 본 단위예요. 1 ppm이 물 1 L에 1 mg 정도라고 생각하면 되나요?

석 교수 묽은 수용액은 밀도가 거의 1 g/mL라서 그렇게 봐도 됩니다. 정확히는 1 kg에 1 mg이예요.

석 교수 셋째, **몰농도(M)**. 용액 1 L에 용질이 몇 mol 들었나. 용액 부피는 $518 \div 1.013 = 511 \text{ mL} = 0.511 \text{ L}$ 이니 $0.100 \div 0.511 = 0.196 \text{ M}$ 이다. 넷째, **몰랄 농도(m)**. 용매 1 kg에 용질이 몇 mol 들었나. $0.100 \div 0.500 = 0.200 \text{ m}$. 다섯째, **몰 분율(x)**. 전체 입자 가운데 용질 입자의 비율이다. 물은 $500 \div 18 = 27.8 \text{ mol}$ 이니 $0.100 \div (0.100 + 27.8) = 0.00359$.

하린 몰 분율에는 단위가 없어요?

석 교수 mol을 mol로 나누니 단위가 지워진다. 물의 몰 분율은 $27.8 \div 27.9 = 0.99641$ 이고, 포도당의 0.00359와 더하면 정확히 1이 된다. 모든 성분의 몰 분율을 더하면 1이라는 것이 검산 도구다. 공기에서 질소의 몰 분율이 0.78이라고 말하는 것도 같은 자다.

태오 0.196 M이랑 0.200 m은 거의 비슷하네요.

석 교수 묽은 수용액에서는 용액 1 L와 물 1 kg이 비슷하기 때문이다. 하지만 진해지거나 용매가 물이 아니면 크게 벌어진다. 오늘 문제 3.1에서 그 차이를 직접 볼 거다.

퍼센트에도 종류가 있다

이모 소주병에 “17 %”라고 적혀 있잖아요. 그것도 같은 퍼센트 농도인가요?

석 교수 아니에요. 술의 도수는 **부피 퍼센트**예요. 소주 100 mL에 에탄올이 17 mL 들어 있다는 뜻이지요. 에탄올 밀도가 0.79 g/mL라 질량으로는 13 g 남짓이고, 질량 퍼센트로 바꾸면 14 % 정도로 내려갑니다. 수액의 0.9 %는 또 달라서, 용액 100 mL에 염화 나트륨 0.9 g이 들었다는 “**질량/부피**” 퍼센트예요.

태오 같은 % 기호인데 세 가지라니, 시험에서는 어떻게 구별해요?

석 교수 이 책과 대부분의 기출에서 그냥 “%”라고 하면 질량 퍼센트다. 다른 뜻이면 문제가 따로 밝혀 준다. 다만 생활 속 표시를 계산에 쓸 때는 무엇을 무엇으로 나눈 것인지 한 번 확인하는 버릇이 필요하다. 묽은 수용액에서는 세 값이 거의 같아지니 큰 차이가 없지만, 술처럼 밀도가 다른 액체가 많이 섞이면 달라진다.

표 8. 농도를 나타내는 다섯 가지 방법 — 분모가 무엇인지가 핵심이다

이름	정의	단위	온도가 바뀌면	주로 쓰는 곳
퍼센트 농도	$\text{용질 질량} \div \text{용액 질량} \times 100$	%	변하지 않음	식품·약품 표시
ppm	$\text{용질 질량} \div \text{용액 질량} \times 10^6$	ppm(mg/kg)	변하지 않음	수질·대기 오염물
몰농도	$\text{용질 몰수} \div \text{용액 부피(L)}$	M(mol/L)	변함(부피가 변하므로)	실험실 용액 만들기·삼투압
몰랄 농도	$\text{용질 몰수} \div \text{용매 질량(kg)}$	m(mol/kg)	변하지 않음	끓는점 오름·어는점 내림
몰 분율	$\text{한 성분 몰수} \div \text{전체 몰수}$	단위 없음	변하지 않음	증기압(라울 법칙)·분압

3.2 몰농도와 몰랄 농도: 분모가 다르다

하린 M이랑 m이 너무 헷갈려요. 이름도 비슷하고 기호도 대문자 소문자만 달라요.

석 교수 이렇게 기억하렴. **몰농도**는 “용액의 부피”로 나누고, **몰랄** 농도는 “용매의 질량”으로 나눈다. 부피는 L, 질량은 kg. 문제를 읽을 때 분모에 들어갈 것이 “용액 몇 L”로 주어졌는지 “물 몇 g”으로 주어졌는지 먼저 표시해 두면 섞이지 않는다.

태오 표에서 몰농도만 온도가 바뀌면 변한다고 쓰신 건 왜예요?

석 교수 물을 데우면 부피가 늘기 때문이다. 25 °C 물의 밀도는 0.997 g/mL, 60 °C에서는 0.983 g/mL다. 같은 물이 1.4 % 정도 부풀어 오르는 셈이지. 녹은 몰수는 그대로인데 부피가 늘면 몰농도는 1.4 % 줄어든다. 반면 질량은 데워도 그대로라서 몰랄 농도는 변하지 않는다.

이모 1.4 %면 별것 아닌 것 같은데요.

석 교수 보통 실험에서는 그래요. 그런데 끓는점 오름이나 어는점 내림은 온도를 바꾸면서 재는 실험이예요. 0 °C 근처에서 재고 100 °C 근처에서 재는데, 그때마다 농도가 바뀌면 곤란하지요. 그래서 온도에 흔들리지 않는 몰랄 농도를 씁니다. 또 몰랄 농도는 저울로만 만들 수 있어서 부피 플라스크 눈금 오차도 없어요.

1 M 용액을 만드는 법

하린 1 M 소금물을 만들려면 소금 58.5 g을 물 1 L에 넣으면 돼요?

석 교수 많이들 그렇게 하는데 틀린 방법이다. 몰농도의 분모는 “용액” 1 L다. 소금 58.5 g을 물 1 L에 넣으면 용액은 1 L보다 조금 많아져서 1 M보다 묽어진다. 올바른 방법은 이렇다. 소금 58.5 g을 비커에서 물 700 mL쯤에 다 녹인 뒤, 목이 가늘고 눈금이 하나 있는 1 L 부피 플라스크에 옮기고, 비커를 행군 물까지 넣은 다음, 눈금선까지 물을 채워 흔들어 섞는다.

태오 그럼 1 m 소금물은요?

석 교수 그건 오히려 쉽다. 저울로 물 1000 g을 달고, 거기에 소금 58.5 g을 넣어 녹이면 끝이다. 분모가 “용매” 1 kg이니까. 부피 플라스크가 필요 없다는 것도 몰랄 농도의 장점이다.

분모에서 가장 많이 틀리는 세 가지

① 퍼센트 농도의 분모를 용매 질량으로 쓴다(용액 질량이 맞다). ② 몰농도를 “물 1 L에 녹였다”로 만든다(용액 1 L가 맞다). ③ 몰랄 농도를 용액 질량으로 나눈다(용매 질량이 맞다). 답을 쓰기 전에 분모에 적은 것이 “용액”인지 “용매”인지 한 번 소리 내어 읽자.

태오 그럼 삼투압은 왜 몰농도를 써요? 표에 그렇게 있던데요.

석 교수 삼투압은 한 온도에서 재고, 식 $\Pi = CRT$ 가 기체의 $PV = nRT$ 와 같은 꼴이라 “부피당 몰수”가 자연스럽게 들어가기 때문이다. 12장에서 다시 보자. 묽은 수용액에서는 어차피 M과 m이 거의 같아서, 기출 문제도 종종 둘을 같다고 놓으라고 조건을 준다.

3.3 밀도를 다리로: 농도 바꾸기

석 교수 이제 다섯 자 사이를 오가 보자. 비결은 하나다. **용액 한 덩어리를 정해 놓고**, 그 안에 용질이 몇 g·몇 mol, 용매가 몇 g 있는지를 표로 적는 것. 부피와 질량 사이는 밀도가 다리를 놓는다.

문제 3.1

질량 퍼센트 34 %인 암모니아수 100 mL가 있다. 밀도는 0.90 g/mL이고 NH_3 의 화학식량은 17이다. 이 암모니아수의 몰랄 농도와 몰농도를 구하라.

석 교수 덩어리는 “암모니아수 100 mL”로 정하자. 먼저 질량.

태오 $100 \text{ mL} \times 0.90 \text{ g/mL} = 90 \text{ g}$ 이요. 그중 34 %가 NH_3 니까 $90 \times 0.34 = 30.6 \text{ g}$, 몰수는 $30.6 \div 17 = 1.80 \text{ mol}$.

하린 몰랄 농도는 용매로 나누니까 물의 질량이 필요해요. $90 - 30.6 = 59.4 \text{ g} = 0.0594 \text{ kg}$. $1.80 \div 0.0594 = 30.3 \text{ m}$ 이에요.

태오 몰농도는 $1.80 \div 100 = 0.018 \text{ M}$.

석 교수 태오야, 부피 단위를 봐라.

태오 아, L로 바꿔야죠. $100 \text{ mL} = 0.100 \text{ L}$ 니까 $1.80 \div 0.100 = 18.0 \text{ M}$ 이에요.

석 교수 정답은 30.3 m, 18.0 M이다. 같은 용액인데 몰랄 농도가 몰농도의 1.7배쯤 된다. 이렇게 진한 용액에서는 용매가 전체 질량의 3분의 2밖에 안 되고, 밀도도 1이 아니라서 두 자가 크게 어긋난다. mL를 L로 안 바꾸는 실수는 채점에서 바로 0점이 되니, 답을 쓰기 전에 “농도가 현실적인가”를 한 번 보렴. 0.018 M 암모니아수라면 냄새도 거의 안 날 거다.

이모 덩어리를 정한다는 게 뭔지 알겠어요. 장 보러 갈 때 “한 봉지에 뭐가 얼마나 들었나”부터 적는 것과 같네요.

석 교수 그거예요. 퍼센트에서 출발하면 100 g을, 몰농도에서 출발하면 1 L를, 몰랄 농도에서 출발하면 용매 1 kg을 덩어리로 정하면 계산이 가장 짧아집니다.

3.4 묽히기: 몰수는 그대로

석 교수 진한 용액에 물을 부어 묽히면 무엇이 변하지 않을까?

하린 녹아 있는 포도당 알갱이 수요. 물만 더 넣었으니까요.

석 교수 맞다. 그래서 묽히기 전 몰수 = 묽힌 뒤 몰수, 곧 다음 식이 성립한다.

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \text{ (몰수 = 몰농도} \times \text{부피)}$$

석 교수 그림 15의 예를 보자. 0.125 M 용액 10 mL를 덜어 물을 부어 1 L로 만든다.

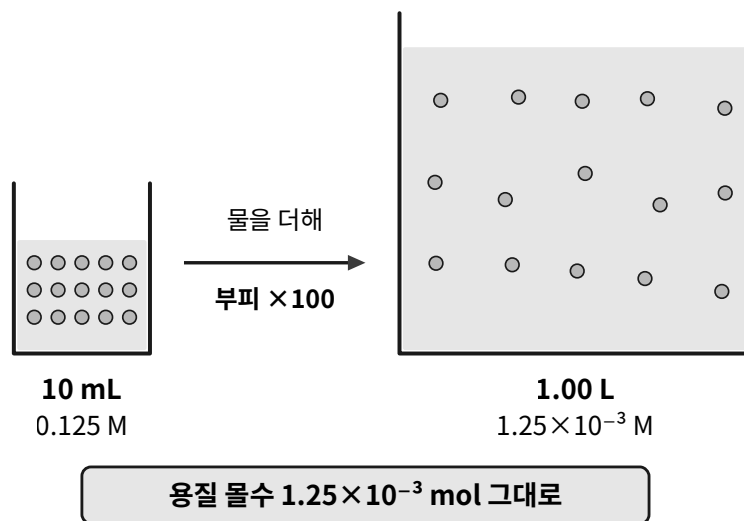


그림 15. 묽히기 전과 후. 0.125 M 용액 10 mL에 물을 더해 1.00 L로 만들면 부피는 100배, 몰농도는 100분의 1(1.25×10^{-3} M)이 되지만, 들어 있는 용질은 1.25×10^{-3} mol로 그대로다.

태오 $0.125 \times 0.010 = 1.25 \times 10^{-3}$ mol이고, 그걸 1.00 L에 나누면 1.25×10^{-3} M이네요.

석 교수 부피를 100배로 늘렸으니 농도는 100분의 1. 몰수는 그림의 막대처럼 그대로다. 이 계산은 4부 기출에서 삼투압을 구하기 직전 단계로 그대로 나온다. 묽히는 비율이 크면 0을 하나 빠뜨리기 쉬우니, 몰수가 그대로인지 막대 두 개로 확인하는 습관을 들이자.

하린 10 mL를 1 L로 한 번에 묽히는 건 쉬운데, 1 mL를 1 L로 묽히라고 하면 1 mL를 정확히 재기가 어렵겠어요.

석 교수 그래서 실험실에서는 단계 묽힘을 한다. 10 mL를 100 mL로 묽히고(10분의 1), 거기서 다시 10 mL를 덜어 100 mL로 묽히면(또 10분의 1) 합쳐서 100분의 1이다. 각 단계에서 큰 부피를 다루니 오차가 줄어든다. 묽힘 배수는 곱하면 된다.

이모 집에서 락스를 물에 타는 것도 같은 계산이겠네요. 병에 “물 1 L에 10 mL”라고 적혀 있던데요.

석 교수 맞아요. 원액이 4 % 정도라면 10 mL를 1 L 남짓으로 묽혀 100배쯤 묽힌 0.04 %, 곧 400 ppm 언저리가 됩니다. 몰수 대신 질량으로 생각해도 “용질 양은 그대로, 부피만 늘어난다”는 원리는 같아요.

3.5 총괄성은 왜 몰랄 농도와 몰 분율을 쓰나

석 교수 1장에서 본 총괄성 식을 떠올려 보자. 증기압 내림은 몰 분율, 끓는점 오름·어는점 내림은 몰랄 농도를 썼다. 두 자는 사실 아주 가까운 친척이다. 물 1 kg은 $1000 \div 18.0 = 55.5$ mol이니, 몰랄 농도가 m인 수용액의 용질 몰 분율은 이렇게 된다.

$$x_{\text{용질}} = m \div (m + 55.5) \approx m \times 0.018 \text{ (묽을 때)}$$

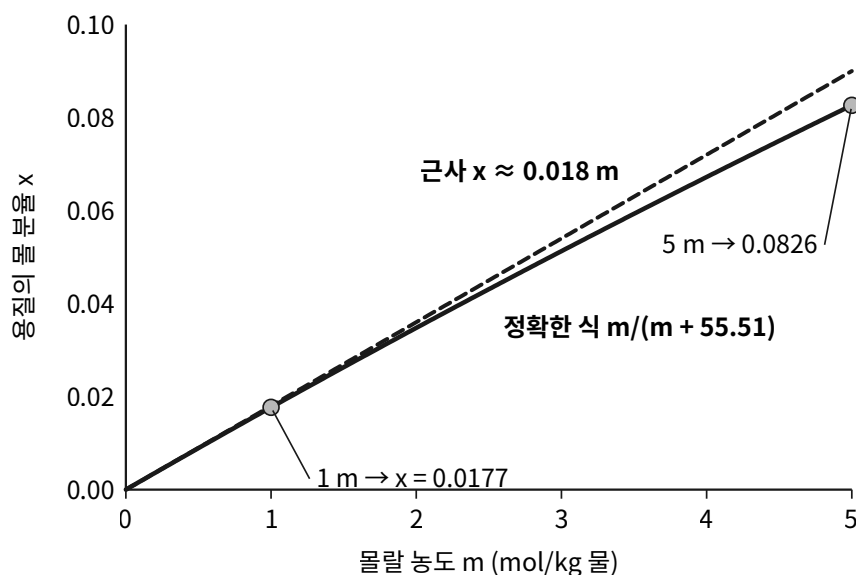


그림 16. 물이 용매일 때 몰랄 농도와 용질의 몰 분율의 관계. 실선은 정확한 식 $x = m / (m + 55.51)$, 점선은 묽은 용액 근사 $x \approx 0.018 m$ 이다. 1 m에서 $x = 0.0177$ 로 거의 같고, 5 m에서는 0.083과 0.090으로 9 % 벌어진다.

하린 1 m이면 0.0177, 거의 0.018이네요.

석 교수 묽은 용액에서는 몰 분율이 몰랄 농도에 비례한다. 그래서 몰 분율에 비례하는 증기압 내림과, 몰랄 농도에 비례하는 끓는점 오름·어는점 내림이 결국 같은 이야기가 된다. 11장에서 이걸 그래프로 이어 붙인다. 다만 **그림 16**처럼 진해지면 근사가 벗어나니, 2 m을 넘는 문제는 정확한 식으로 계산하는 게 안전하다.

문제 3.2

물 460 g에 포도당(화학식량 180) 200 g을 녹였다. 이 용액에서 포도당의 몰 분율과 몰랄 농도를 구하라. (물의 화학식량 18)

태오 포도당 $200 \div 180 = 1.111$ mol, 물 $460 \div 18 = 25.56$ mol. 몰 분율은 $1.111 \div (1.111 + 25.56) = 1.111 \div 26.67 = 0.0417$ 이네요.

하린 몰랄 농도는 $1.111 \div 0.460 = 2.42$ m.

- 석 교수** 둘 다 정답이다. 근사식으로 확인해 볼까? $2.42 \times 0.018 = 0.0436$. 정확한 값 0.0417보다 5 % 크다. 2 m이 넘으니 정확한 식을 써야 하는 이유가 보이지?
- 하린** 이 용액의 몰농도도 구할 수 있어요?
- 석 교수** 지금 주어진 것만으로는 안 된다. 몰농도는 용액의 부피가 필요한데, 물 460 g과 포도당 200 g을 섞은 660 g이 몇 mL인지는 밀도를 재야 한다. 앞에서 본 것처럼 부피는 그냥 더 해지지 않으니까. 문제에 밀도가 없으면 몰농도를 묻지 않았다는 신호다. 거꾸로, 밀도가 주어졌다면 “어딘가에서 질량과 부피를 오가라”는 신호이고.
- 태오** 주어진 조건을 보고 무엇을 구하라는지 짐작하는 거네요.
- 석 교수** 논술 문제를 읽는 좋은 습관이다. 쓸모없는 조건은 거의 주지 않는다. 쓰지 않은 조건이 남아 있으면 무언가를 빠뜨렸는지 의심해 보렴.
- 태오** 문제 3.2의 물 분율은 10장에서 증기압을 구할 때 그대로 쓰겠네요.
- 석 교수** 맞다. 그리고 수액 이야기를 마무리하자. 0.9 % 생리식염수는 100 mL에 0.9 g, 곧 1 L에 9.0 g이다. $9.0 \div 58.5 = 0.154$ M. 염화 나트륨은 이온 두 개로 나뉘니 녹은 입자는 0.308 mol/L. 5 % 포도당은 1 L에 50 g, $50 \div 180 = 0.278$ M이고 포도당은 나뉘지 않으니 입자도 0.278 mol/L다.
- 이모** 0.308과 0.278, 정말 비슷하네요! 퍼센트로는 0.9와 5였는데요.
- 석 교수** 몸이 느끼는 건 무게가 아니라 녹은 입자의 개수예요. 그래서 두 팩이 모두 혈액과 비슷한 “입자 농도”를 갖도록 만든 겁니다. 왜 입자 수를 맞춰야 하는지는 12장 삼투압에서 적절히 확인해요.

핵심 농도 바꾸기 4단계

1. 덩어리를 정한다(퍼센트이면 용액 100 g, 몰농도이면 용액 1 L, 몰랄 농도이면 용매 1 kg).
2. 그 덩어리 안의 용질 질량·몰수와 용매 질량을 표로 적는다. 부피 ↔ 질량은 밀도로 바꾼다.
3. 구하려는 자의 분모를 확인한다(용액 질량, 용액 부피 L, 용매 질량 kg, 전체 몰수).
4. 단위(mL → L, g → kg)를 바꾸고, 뭉칠 때는 몰수가 그대로인지 $C_1V_1 = C_2V_2$ 로 계산한다.

스스로 풀어 보기

1. 물 200 g에 설탕(화학식량 342) 34.2 g을 녹인 용액의 몰랄 농도를 구하라.
2. 0 M 염산 50 mL를 물로 묽혀 0.30 M로 만들려면 최종 부피는 몇 mL가 되어야 하는가?
3. 물 1 kg에 요소(화학식량 60) 60 g을 녹였다. 요소의 물 분율을 정확한 식과 근사식으로 각각 구하라.
4. 5 % 포도당 수액(1 L에 50 g)과 같은 입자 농도를 갖는 NaCl 용액은 1 L에 NaCl을 몇 g 녹여야 하는가? (완전 해리 가정)

정답과 해설은 부록 A에 있다.

농도 바꾸기는 4부 기출에서 거의 모든 계산의 첫 줄이다. **기출문제 2**(연세대 미래캠퍼스 2023) (211쪽)의 마지막 소문항은 34 % 암모니아수 100 mL(밀도 0.90 g/mL)의 몰랄 농도를 묻는데, 문제 3.1과 같은 덩어리 표로 30.3 m을 얻는다. **기출문제 1**(연세대 미래캠퍼스 2025) (202쪽)에서는 어느점으로 구한 몰랄 농도를 용액의 부피로 바꿔 몰농도를 만들고, 10 mL를 1 L로 묽혀 삼투압을 구한다 — 오늘 의 두 기술이 연달아 쓰인다. **기출문제 3**(경희대 2023) (223쪽)은 물 460 g과 포도당 200 g으로 증기압·

어는점·끓는점을 차례로 묻는데, 그 시작이 문제 3.2의 물 분율과 몰랄 농도다. **기출문제 5**(성균관대 2016) (239쪽)은 시료 0.150 g을 10.0 mL에 녹인 용액의 삼투압에서 몰농도를 거꾸로 구해 분자량을 정한다. 네 문항 모두 “덩어리 하나를 정하고 용질·용매의 양을 표로 적는” 한 줄에서 시작하니, 답안 첫머리에 그 표를 써 두면 채점자도 계산을 따라오기 쉽다.

이 장의 참고문헌

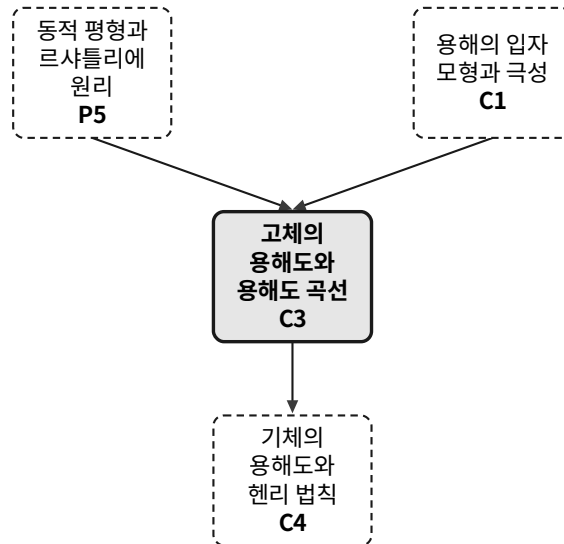
- Cohen, E. R., Cvitaš, T., Frey, J. G., Holmström, B., Kuchitsu, K., Marquardt, R., Mills, I., Pavese, F., Quack, M., Stohner, J., Strauss, H. L., Takami, M., & Thor, A. J. (2007). Quantities, units and symbols in physical chemistry (IUPAC Green Book, 3rd ed.). RSC Publishing. <https://doi.org/10.1039/9781847557889>
- Wagner, W., & Pruß, A. (2002). The IAPWS formulation 1995 for the thermodynamic properties of ordinary water substance for general and scientific use. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 31(2), 387–535. <https://doi.org/10.1063/1.1461829>
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Jr., Bursten, B. E., Murphy, C. J., Woodward, P. M., & Stoltzfus, M. W. (2018). *Chemistry: The central science* (14th ed.). Pearson.

제 4장 얼마나 녹을까: 고체의 용해도와 용해도 곡선

새 개념 포화·용해 평형 · 용해도 곡선 · 재결정

이어짐 기체 용해도 5장 · 어는점 내림 11장 · 동적 평형(평형 권)

이 장의 개념도



 이 장에서 배우는 개념
 앞뒤로 이어지는 개념
 화살표: 먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것

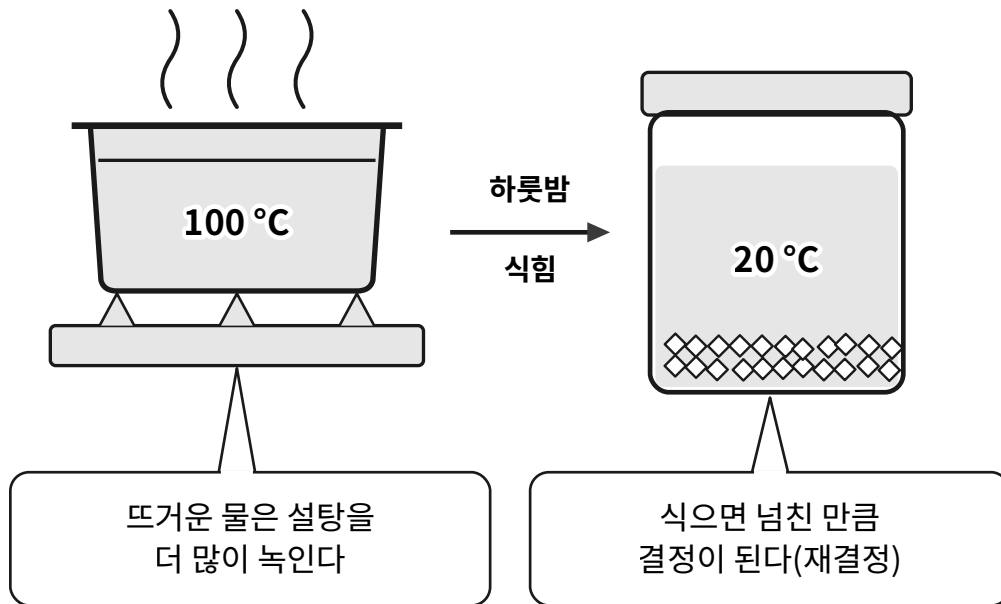
그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C3 고체의 용해도와 용해도 곡선)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 9. 제 4장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 7 (고려대 2012년) (259쪽)	황사 속 철의 용해도와 기후	C3 고체의 용해도와 용해도 곡선
기출 9 (성균관대 2010년) (278쪽)	KBr 수용액의 끓는점 오름과 용해도	C3 고체의 용해도와 용해도 곡선

설탕 시럽을 끓였다가 식히면



물 100 g에 녹는 설탕(g)



이모의 시럽 300 g

→ 20 °C에서 $300 - 204 = 96$ g이 넘친다

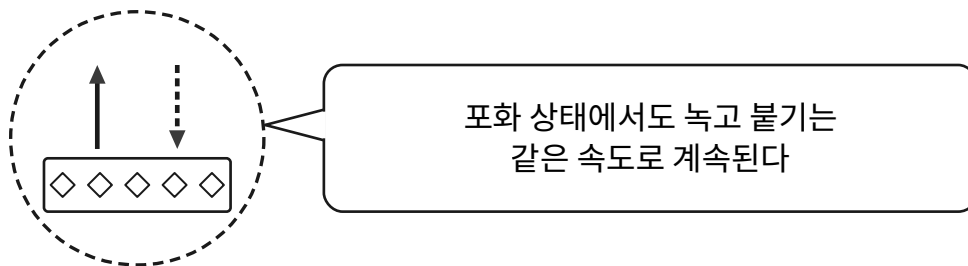


그림 18. 설탕 시럽을 끓였다가 식힌 병 — 뜨거운 때는 설탕이 모두 녹아 맑았지만, 하룻밤 식힌 병 바닥에는 설탕 결정이 자랐다. 설탕은 물 100 g에 20 °C에서 약 204 g, 100 °C에서 약 487 g 녹으므로, 식으면서 넘친 만큼 결정으로 나온다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 뜨거운 물은 설탕을 훨씬 많이 녹인다(100 °C에서 약 487 g/물 100 g).
2. 식으면 그 온도의 용해도를 넘친 만큼 결정이 된다(재결정).
3. 포화 상태에서도 결정 표면에서는 녹는 것과 붙는 것이 같은 속도로 계속된다.

이 장의 출발점

기본개념편 제 2장 (25쪽)에서 “비슷한 것끼리 녹는다”를, 기본개념편 제 3장 (35쪽)에서 녹은 양을 재는 자를 배웠다. 이 장에서는 “최대 얼마까지 녹는가”를 묻는다. 정반응과 역반응의 속도가 같아지면 겉보기 변화가 멈춘다는 동적 평형의 생각, 그리고 용해열의 부호(흡열 +, 발열 -)를 기억하고 오면 된다.

넷째 토요일, 이모는 지난주 명절에 쓰고 남은 설탕 시럽 병을 들고 왔다. 끓일 때는 투명했던 시럽이 냉장고에서 하룻밤을 보내고 나니 병 바닥에 반짝이는 설탕 결정이 한 켠 쌓여 있었다.

이모 분명히 다 녹여서 넣었거든요. 설탕이 다시 생겨난 건가요?

석 교수 생겨난 게 아니라 “넘친” 거예요. 물이 녹여 둘 수 있는 설탕의 양에는 온도마다 정해진 한계가 있어요. 뜨거울 때는 한계가 높아서 다 녹았는데, 식으면서 한계가 낮아지니 넘친 만큼이 결정으로 나온 겁니다. 오늘은 그 한계, 곧 용해도를 공부해요.

하린 그 한계를 넘기면 아무리 저어도 더는 안 녹아요?

석 교수 그렇다. 2장에서 말했듯이 젓기는 빨리 녹게 할 뿐이고, 한계를 바꾸는 것은 온도다. 고체가 녹는 양에는 압력이 거의 영향을 주지 않는다는 점도 기억해 두렴. 압력이 크게 영향을 주는 것은 다음 장의 기체다. 그 한계에 닿은 상태부터 보자.

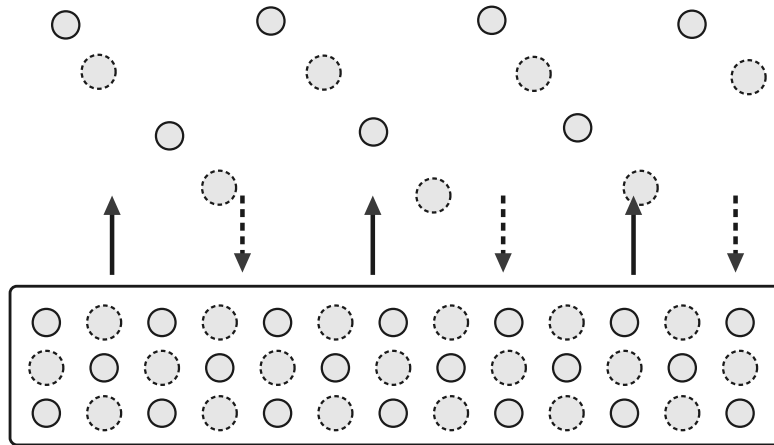
4.1 포화 용액: 멈춘 것이 아니라 같아진 것

석 교수 20 °C 물 100 g에 질산 칼륨을 조금씩 넣으며 저어 보자. 처음에는 다 녹다가, 31.6 g쯤 넣으면 더 넣은 가루가 바닥에 그대로 남는다. 이렇게 더는 녹지 않는 상태의 용액을 **포화 용액**이라고 한다. 그보다 덜 녹아 더 녹일 수 있는 용액은 **불포화 용액**이다.

태오 포화되면 녹는 게 멈춘 거죠?

석 교수 겉으로는 그렇게 보이지만, 확대하면 전혀 다르다. **그림 19**를 보렴. 결정 표면에서 이온이 떨어져 나가 물속으로 녹아 들어가는 일은 계속 일어난다. 동시에 물속을 떠돌던 이온이 결정 표면에 부딪혀 다시 붙는 일도 일어난다. 두 속도가 같아지면 녹는 양과 붙는 양이 같으니 겉보기 양이 변하지 않는다.

포화 용액: 녹는 수 = 붙는 수



실선 ↑ 녹아 나감 3 · 점선 ↓ 다시 붙음 3
 KNO_3 결정: K^+ 실선 원 · NO_3^- 점선 원

그림 19. 포화 용액에서 결정 표면의 모습. 위로 향한 실선 화살표(녹아 나가는 이온)와 아래로 향한 점선 화살표(다시 붙는 이온)의 수가 같다. 녹는 속도와 석출 속도가 같아진 용해 평형이므로 결정의 질량도, 용액의 농도도 변하지 않는다(모식도).

하린 줄다리기에서 양쪽 힘이 같아서 줄이 안 움직이는 거랑 비슷해요.

태오 그럼 포화 용액에 물을 조금 더 부으면요?

석 교수 녹는 속도는 결정 표면의 넓이로 정해져 그대로인데, 물이 늘어 이온 농도가 낮아지니 붙는 속도가 줄어든다. 그래서 녹는 쪽이 잠시 이기고, 바닥의 결정이 조금 더 녹아 다시 같은 농도의 포화 용액이 된다. 결정이 남아 있는 한 포화 용액의 농도는 그 온도에서 늘 같은 값으로 돌아온다.

석 교수 줄다리기 비유를 조금 고치자. 줄다리기는 둘 다 멈춰 있는 거고, 용해 평형은 둘 다 열심히 움직이는데 속도가 같은 거다. 이것을 **용해 평형**이라고 하고, 평형 권에서 배우는 동적 평형의 한 예다.

이모 그걸 어떻게 확인하나요? 눈으로는 안 보일 텐데요.

석 교수 재미있는 실험이 있어요. 포화 소금물에 모서리가 깨진 소금 결정을 넣어 두면, 며칠 뒤 결정의 질량은 그대로인데 깨진 모서리가 매끈한 정육면체로 다시 다듬어져 있어요. 질량이 그대로라는 건 녹은 양과 붙은 양이 같다는 뜻이고, 모양이 바뀌었다는 건 그 사이에 이온들이 실제로 떨어지고 붙었다는 뜻입니다. 방사성 동위 원소로 표시한 이온을 넣어 보면, 결정 속에 있던 표시 원자가 용액으로, 용액 속 표시 원자가 결정으로 옮겨 간 것도 확인할 수 있어요.

4.2 용해도와 용해도 곡선

석 교수 포화 용액에 녹아 있는 양을 **용해도**라고 한다. 고체의 용해도는 보통 “물 100 g에 최대 몇 g 녹는가”로 적는다. 용매 100 g 기준이라는 걸 꼭 기억하렴. 용액 100 g이 아니다. 질산 칼륨과 염화 나트륨의 값을 **표 10**에 모았다.

표 10. 질산 칼륨과 염화 나트륨의 용해도(g/물 100 g) — 온도가 오르면 KNO_3 는 크게 늘고 NaCl 은 거의 그대로 다

온도(°C)	0	20	40	60	80	100
KNO_3	13.3	31.6	63.9	110	169	246
NaCl	35.7	35.9	36.4	37.1	38.0	39.2

하린 소금이 35.9 g이면 많이 녹는 편이에요, 적게 녹는 편이에요?

석 교수 많이 녹는 편이다. 화학에서는 대략 물 100 g에 1 g 넘게 녹으면 “잘 녹는다”, 0.1 g에서 1 g 사이면 “조금 녹는다”, 0.1 g도 안 녹으면 “거의 녹지 않는다”고 말한다. 석회석의 주 성분인 탄산 칼슘은 20 °C 물 100 g에 0.001 g 정도밖에 안 녹고, 사진 필름에 쓰던 염화 은은 그보다도 훨씬 적다. 그래서 두 용액을 섞었을 때 이런 물질이 생기면 뿌연게 앙금으로 가라앉는다.

태오 거의 안 녹는다는 건 아예 0은 아니라는 거죠?

석 교수 그렇다. 아무리 적게 녹는 물질도 표면에서는 녹고 불기를 되풀이하는 용해 평형에 있다. 그 아주 작은 녹는 양을 평형 상수로 다루는 것이 평형 권의 용해도곱이다. 이 책에서는 잘 녹는 물질의 용해도 곡선만 다룬다.

석 교수 이 값을 온도에 따라 이어 그린 것이 **용해도 곡선**이다. **그림 20**에서 두 곡선의 모양을 비교해 보자.

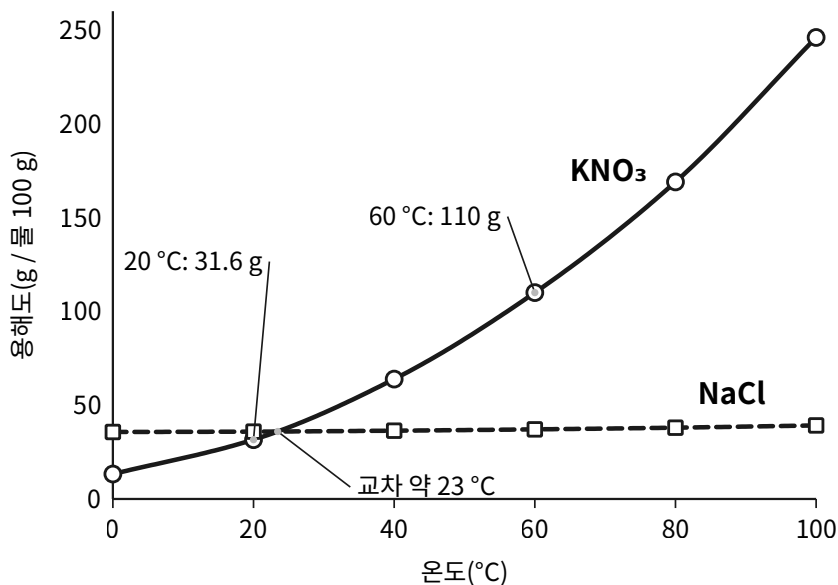


그림 20. 질산 칼륨(실선)과 염화 나트륨(점선)의 용해도 곡선. 점은 측정값이고 곡선은 점 사이를 매끄럽게 이은 것이다. 질산 칼륨은 0 °C에서 100 °C 사이에 용해도가 18배 넘게 커지고, 염화 나트륨은 1.1배 남짓에 그친다. 두 곡선은 약 23 °C에서 만난다.

태오 질산 칼륨은 엄청 가파르고 소금은 거의 수평이네요. 둘이 23 °C쯤에서 교차하고요.

석 교수 곡선 위의 점은 포화 용액, 곡선 아래는 불포화 용액, 곡선 위쪽은 녹을 수 있는 것보다 많이 넣은 상태다. 곡선 위쪽 영역의 용액은 보통 넘친 양이 바닥에 결정으로 가라앉아 있다. 이 그림 하나로 여러 가지를 읽을 수 있다. 예를 들어 60 °C 물 100 g에 질산 칼륨 80 g을 녹이면?

- 하린** 60 °C에서 110 g까지 녹으니까 80 g은 다 녹아요. 불포화예요.
- 석 교수** 그 용액을 식히면 몇 °C에서 결정이 나오기 시작할까?
- 태오** 곡선에서 80 g이 되는 온도를 찾으면 되니까... 40 °C가 63.9, 60 °C가 110이니 그 사이, 대략 48 °C쯤이요.
- 석 교수** 맞다. 곡선을 매끄럽게 이어 읽으면 약 48 °C다. 그 온도에서 용액이 막 포화되고, 더 식히면 결정이 생긴다. 이 온도를 읽는 것이 용해도 곡선 문제의 기본이다.

소금은 증발로, 질산 칼륨은 냉각으로

- 이모** 그럼 바닷물에서 소금을 얻을 때도 식혀서 얻나요? 염전은 햇볕에 말리던데요.
- 석 교수** 좋은 질문이에요. 소금의 곡선은 거의 평평하잖아요. 100 °C 포화 소금물을 0 °C까지 식혀도 $39.2 - 35.7 = 3.5$ g밖에 안 나와요. 물 100 g당 3.5 g이면 남는 게 거의 없지요. 그래서 소금은 식히는 대신 물을 날려 보냅니다. 물이 줄면 녹아 있을 수 있는 소금의 양도 같은 비율로 줄어드니, 넘친 만큼 결정이 나와요. 염전이 넓고 얇은 것도 물을 빨리 증발 시키기 위해서입니다.
- 태오** 질산 칼륨은 거꾸로 식히기만 해도 많이 나오고요. 60 °C에서 20 °C로만 식혀도 물 100 g당 78.4 g이니깐요.
- 석 교수** 그렇다. 곡선이 가파르면 냉각, 평평하면 증발. 용해도 곡선의 기울기를 보면 결정을 얻는 방법이 정해진다. 실제 공장에서는 돌을 섞어 쓰기도 한다. 물을 어느 정도 날려 진하게 만든 뒤 식히는 식이다.

용해도는 “용매 100 g당”이다

용해도 31.6 g은 물 100 g에 31.6 g이 녹는다는 뜻이며, 이 포화 용액은 131.6 g이다. 문제에 “포화 용액 263.2 g”처럼 용액의 질량이 나오면 먼저 물 200 g과 용질 63.2 g으로 나눈다. 용액 100 g에 31.6 g이 녹아 있다고 읽으면 모든 계산이 어긋난다.

포화 용액의 농도로 바꾸기

- 석 교수** 용해도를 3장의 퍼센트 농도로 바꿔 보자. 60 °C 질산 칼륨 포화 용액의 퍼센트 농도는?
- 하린** $110 \div 100 \times 100 = 110 \%$... 100 %가 넘으면 이상하잖아요.
- 석 교수** 분모를 다시 보렴. 퍼센트 농도의 분모는 용액이다.
- 하린** 아, 용액은 물 100 g + 질산 칼륨 110 g = 210 g이에요. $110 \div 210 \times 100 = 52.4 \%$.
- 석 교수** 맞다. 용해도는 “용매 100 g당”, 퍼센트 농도는 “용액 100 g당”. 이 차이를 놓치면 재결정 계산이 통째로 틀어진다.

4.3 재결정: 식혀서 순수한 결정 얻기

- 석 교수** 이제 오늘의 꽃, 재결정이다. 뜨거운 물에 잔뜩 녹인 뒤 식히면 넘친 만큼 결정이 나온다. 얼마나 나오는지 계산해 보자.

문제 4.1

60 °C에서 질산 칼륨 포화 용액 210 g을 20 °C로 식혔다. 석출되는 질산 칼륨은 몇 g인가? (용해도: 60 °C 110 g, 20 °C 31.6 g/물 100 g)

용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

녹은 입자의 몰 수를 세고(몰랄·몰농도), 증기압이 얼마나 내려가는지로 끓는점·어는점·삼투압을 읽는다

1부 기본개념편

14개 장 · 장마다 생활 속 개념도 한 쪽과 개념 지도

2부 기출문제와 기본개념

기출 11문항(2009~2025학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

3부 논술답안작성 패턴분석

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

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안(공식 해설 기반 6문항) · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 용액·총괄성·상평형인가
2. 녹는다는 것: 용매·용질과 극성
3. 농도를 재는 다섯 가지 자
4. 얼마나 녹을까: 고체의 용해도와 용해도 곡선
5. 기체의 용해도와 헨리 법칙
6. 증발과 응축의 줄다리기: 증기압
7. 증기압 곡선과 끓는점
8. 상평형 그림 읽기: 삼중점과 승화
9. 임계점과 초임계 유체
10. 용액의 증기압 내림: 라울 법칙
11. 끓는점 오름과 어는점 내림
12. 삼투와 삼투압
13. 입자 수를 세는 법: 전해질과 분자량 결정
14. 몸속·지구·기술 속의 용액, 그리고 2부로

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)



함께 보면 좋은 권: 분자 간 힘(16권) · 기체(24권) · 화학 평형(21권) · 산·염기(18권) · 화학양론(25권) · 세포막과 물질 수송(7권)



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 979-11-23065-22-9

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형 — 전체 326쪽

ssbook.kr/book/nonsul-23

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

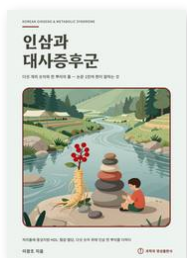
인삼 (6)



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

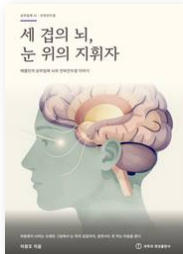
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



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 — 세포 호흡·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 홀로세 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