



대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자

유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설

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-16

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



유기 화학· 생체 분자· 고분자

1부 기본개념

2부 기술 개념

3부 답안 패턴

4부 실전 풀이

유기 화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 11문항 · 2009~2013학년도 · 이광조 지음

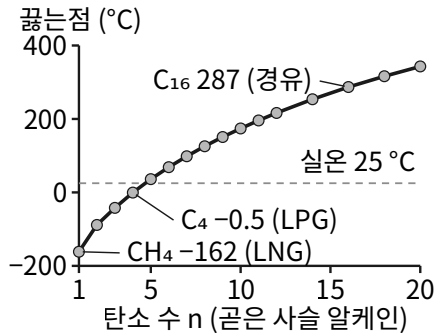
유기 화학·생체 분자·고분자

1부 기본개념편 · 2부 기술문제와 기본개념 · 3부 논술답안작성 패턴분석 · 4부 실전기술문제와 풀이과정

유기 화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

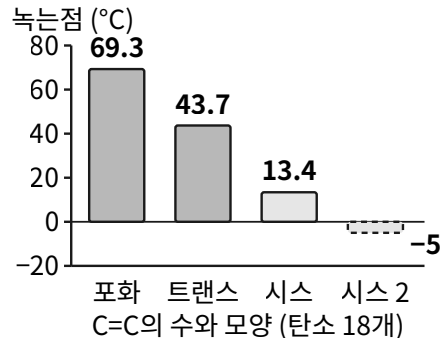
핵심 = 탄소 골격 × 작용기 × 결합의 생성·분해(첨가·축합·가수분해) | 11문항 · 5개 대학 (2009~2013)

① 탄소 수와 끓는점



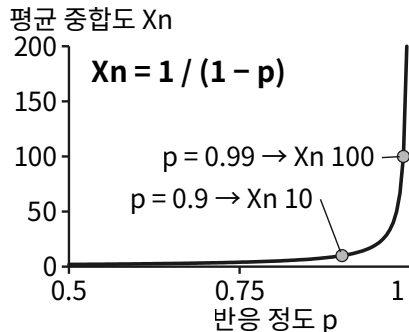
탄소 수 ↑ → 분산력 ↑ → 끓는점 ↑
분별 증류·LNG·LPG를 가르는 원리

② 지방산의 모양과 녹는점



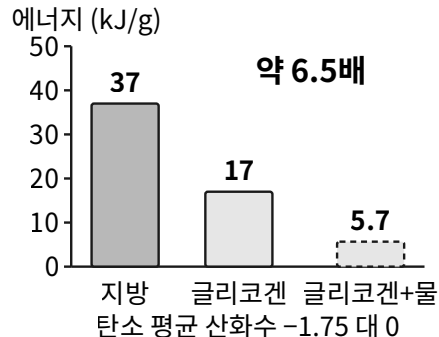
시스는 굽어 덜 쌓이고 녹는점 ↓
트랜스는 곧아 포화 지방처럼 쌓인다

③ 축합 중합의 사슬 길이



아마이드·에스터 결합 + 작은 분자
거의 다 반응해야 긴 사슬(나일론)

④ 1 g에 담긴 에너지



지방은 더 환원되고 물 없이 저장
같은 무게에 약 6.5배의 에너지

한 줄 요약: 골격을 보고 → 작용기로 읽고 → 결합의 생성·분해를 몰로 센다

그림 1. 유기 화학·생체 분자·고분자 단원의 그림 요약. ① 탄소 수가 늘면 분자 사이의 힘이 커져 끓는점이 오르고(곧은 사슬 알케인 실측 끓는점), 이 차이로 원유를 분별 증류한다. ② 탄소 18개 지방산은 이중 결합의 수와 시스·트랜스 모양에 따라 녹는점이 달라진다(스테아르산 69.3 °C, 엘라이드산 43.7 °C, 올레산 13.4 °C, 리놀레산 -5 °C). ③ 축합 중합은 반응 정도 p가 1에 가까워야 사슬이 길어진다(카로더스 식 $X_n = 1 / (1 - p)$ 계산). ④ 지방은 탄소의 평균 산화수가 낮고(팔미트산 -1.75, 포도당 0) 물 없이 저장되어, 같은 무게의 물 머금은 글리코겐보다 약 6.5배 많은 에너지를 담는다(37 kJ/g 대 17 kJ/g ÷ 3).

한 줄 요약: 유기 화학 = 탄소 골격의 모양을 보고, 작용기로 성질을 읽고, 결합이 생기고 끊기는 반응(첨가·축합·가수분해)을 몰로 센다

연결 단원 → 화학 결합과 분자 사이의 힘 · 산·염기·pH·완충 · 세포 호흡과 물질대사 · 효소

차례

기본개념편	11
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	12
기본개념편을 열며	14
제 1장 왜 유기 화학인가	16
1.1 생명과 부엌은 탄소로 만들어졌다	18
1.2 탄소는 왜 네 팔인가	20
1.3 탄소-탄소 결합은 왜 오래 버티나	21
1.4 골격 그리기: 분자식·구조식·골격 구조식	23
1.5 이 단원의 길	24
제 2장 탄화수소: 사슬과 고리, 포화와 불포화	26
2.1 포화와 불포화	28
2.2 결합의 모양과 세기: 단일·이중·삼중	29
2.3 이름 붙이기	31
2.4 탄화수소의 완전 연소와 연소열	32
제 3장 원유에서 휘발유까지: 끓는점과 분별 증류	36
3.1 왜 큰 분자일수록 늦게 끓나	38
3.2 분별 증류탑	40
3.3 증기에는 왜 휘발성 성분이 많은가	41
3.4 LNG와 LPG	43
3.5 크래킹과 리포밍	44
제 4장 같은 분자식, 다른 분자: 구조·기하 이성질체	46
4.1 이성질체란: 같은 분자식, 다른 연결	48
4.2 구조 이성질체의 세 종류	50
4.3 이중 결합은 돌지 않는다: 시스·트랜스 이성질체	51
4.4 지방산의 꺾임: 식탁으로 돌아가기	54
제 5장 거울에 비친 분자: 거울상 이성질체	56
5.1 손과 장갑: 카이랄 탄소 찾기	58
5.2 성질이 같은데 다른 것	60
5.3 몸은 왼손과 오른손을 구별한다	62
5.4 카이랄 중심이 여러 개면, 그리고 섞여 있으면	63
제 6장 작용기: 분자의 얼굴	66
6.1 작용기란: 빼대 R과 얼굴	68
6.2 여덟 가지 작용기 지도	68
6.3 수소 결합이 끓는점을 바꾼다	70
6.4 물에 녹는가: 극성 머리와 소수성 꼬리	71
6.5 한 분자에 여러 작용기	73
제 7장 작용기의 산·염기: 무엇이 산을 세게 만드나	76
7.1 산이 세다는 것은 짝염기가 편하다는 것	78
7.2 전기음성 원자가 전자를 끌어간다: 유발 효과	79
7.3 음전하를 나눠 가지면 편하다: 공명	80
7.4 염기인 작용기: 아민과 아마이드	82
7.5 시험이 묻는 방식	83
제 8장 에스터와 향기: 축합과 가수분해	85

8.1 산과 알코올이 물을 내놓고 잇는다	87
8.2 평형이니 물로 따진다	89
8.3 거꾸로 가는 길: 가수분해와 비누화	90
8.4 에스터는 왜 향기가 나나.....	91
8.5 향과 약: 같은 문법, 다른 쓰임	92
제 9장 벤젠: 특별한 고리와 치환 반응	94
9.1 케쿨레의 고리와 수수께끼	96
9.2 공명은 숫자로 보인다: 안정화 에너지	97
9.3 왜 첨가가 아니라 치환인가	99
9.4 나이트로화와 술폰화: 시험에 나오는 두 반응	99
9.5 벤젠 유도체 가계도: 산·염기·중성.....	101
제 10장 이중 결합에 더하기: 첨가 반응과 첨가 중합	105
10.1 약한 π 결합이 반응 자리다	107
10.2 기름을 굳히는 반응: 수소 첨가와 아이오딘값	108
10.3 부분 수소화의 부작용: 시스가 트랜스로.....	110
10.4 첨가 중합: 에텐 수천 개를 잇다.....	111
10.5 중합도와 물질량, 그리고 수소의 몰수	112
제 11장 축합 중합과 고분자의 성질	115
11.1 두 작용기가 손을 잡고 작은 분자를 버린다	117
11.2 비커 속 나일론 줄: 계면 중합	119
11.3 왜 거의 다 반응해야 하나: 카로더스 식	121
11.4 사슬 모양이 성질을 정한다: 열가소성과 열경화성	122
제 12장 지방과 탄수화물: 몸의 연료 창고	126
12.1 지방은 에스터다	128
12.2 포화와 불포화: 왜 버터는 굳고 올리브유는 흐르나	129
12.3 포도당에서 글리코겐까지: 글리코사이드 결합.....	129
12.4 왜 지방이 더 많은 에너지를 담나.....	131
12.5 물까지 따지면: 6.5배	133
제 13장 아미노산과 펩타이드 결합: 단백질의 문법	136
13.1 아미노산의 공통 뼈대.....	138
13.2 양쪽성 이온과 등전점	138
13.3 펩타이드 결합: 나일론과 같은 결합	140
13.4 서열이 모양을 정한다: 1~4차 구조와 변성	142
13.5 효소의 활성 부위와 pH: 펩신	143
제 14장 몸속·지구·기술 속의 유기 분자, 그리고 2부로	146
14.1 트랜스지방은 어디서 오나	148
14.2 영양 표시 읽기: “0 g”의 뜻.....	150
14.3 연료와 탄소: 한 그림으로.....	151
14.4 고분자의 끝: 플라스틱은 어디로 가나	152
14.5 기본개념편을 마치며: 2부로 가는 길	153
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	156
부록 B. 용어 풀이	159
기출문제와 기본개념.....	167
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	168
0. 이 장의 사용법	169

1. 출제 개념	170
1.1 탄소 골격과 탄화수소 — C1 · C2	170
1.2 끓는점·분별 증류와 연료 — C3 · A1	170
1.3 이성질체: 구조·기하·거울상 — C4 · C5	171
1.4 작용기와 물리적 성질 — C6	172
1.5 작용기의 산·염기 세기 — C7	173
1.6 에스터화·가수분해와 향기 — C8 · A4	173
1.7 벤젠과 치환 반응 — C9	174
1.8 첨가 반응과 첨가 중합 — C10 · C11 · A2	174
1.9 축합 중합과 고분자의 구조 — C12 · C13 · A6	175
1.10 생체 분자: 지방·탄수화물·단백질 — C14 · C15 · C16 · A3 · A5	177
1.11 그래프 개념도 읽는 법	177
2. 출제 경향	180
2.1 문항 하나에 담긴 개념의 수	181
2.2 반복되는 출제 패턴 여섯 가지	182
2.3 학교별 성향	183
논술답안작성 패턴분석	185
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	186
3. 답안 작성법	187
3.1 계산형 답안의 틀	187
3.2 서술형 답안의 네 문장 틀	187
3.3 표기와 수치 규칙	188
3.4 시간 배분과 자기 점검	188
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	189
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	191
실전기출문제와 풀이과정	197
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	198
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념	199
5.1 한눈에 보는 기출 11문항	199
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진단 — 개론	200
5.3 기본 개념 한눈에	201
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다	202
6. 출제 문항 분석과 모범답안	204
〈기출문제 1 (연세대 2013년)〉	205
〈기출문제 2 (성균관대 2013년)〉	217
〈기출문제 3 (성균관대 2012년)〉	227
〈기출문제 4 (서울시립대 2012년)〉	236
〈기출문제 5 (서울시립대 2012년)〉	246
〈기출문제 6 (성균관대 2011년)〉	256
〈기출문제 7 (서울시립대 2011년)〉	265
〈기출문제 8 (고려대 2010년)〉	277
〈기출문제 9 (연세대 2009년)〉	287
〈기출문제 10 (성균관대 2009년)〉	297
〈기출문제 11 (경희대 2009년)〉	306
7. 변형·예상 문항	315

8. 강의 연결.....	322
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	323
8.2 강의 구성 시 유의점	323
9. 전체 문제 총평	325
9.1 숫자로 먼저 보기	325
9.2 다섯 가지 총평.....	325
9.3 대학별 한 줄 총평	326
9.4 이렇게 공부하자	327
10. 참고문헌.....	328

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 유기 화학 논제의 네 장면.....	1
그림 2. 제 1장 개념도	16
그림 3. 생활 속 개념도 1.....	17
그림 4. 사람 몸의 원소 질량비	18
그림 5. 메테인의 정사면체 구조.....	21
그림 6. 분자식·구조식·골격 구조식.....	23
그림 7. 제 2장 개념도	26
그림 8. 생활 속 개념도 2.....	27
그림 9. 에테인·에텐·에타인의 모양.....	29
그림 10. 결합 차수에 따른 결합 길이와 에너지	30
그림 11. 알케인의 연소열과 탄소 수.....	33
그림 12. 제 3장 개념도	36
그림 13. 생활 속 개념도 3.....	37
그림 14. 알케인의 끓는점과 탄소 수.....	39
그림 15. 원유의 분별 증류탑	40
그림 16. 헥세인-헵테인 끓는점 도표.....	42
그림 17. 제 4장 개념도	46
그림 18. 생활 속 개념도 4.....	47
그림 19. 펜테인 이성질체와 끓는점.....	49
그림 20. 알케인 이성질체 수와 탄소 수	50
그림 21. 다이클로로에텐의 시스·트랜스와 쌍극자.....	52
그림 22. 제 5장 개념도	56
그림 23. 생활 속 개념도 5.....	57
그림 24. 카이랄 탄소의 두 거울상.....	59
그림 25. 카이랄 탄소 찾기.....	60
그림 26. 거울상 과잉률과 회전각.....	63
그림 27. 제 6장 개념도	66
그림 28. 생활 속 개념도 6.....	67
그림 29. 물질량이 비슷한 화합물의 끓는점.....	70
그림 30. 1-알코올의 물 용해도와 탄소 수.....	72
그림 31. 아스피린과 알라닌의 작용기	73
그림 32. 제 7장 개념도	76
그림 33. 생활 속 개념도 7.....	77
그림 34. 할로젠 치환 아세트산의 pKa	79
그림 35. 짝염기의 음전하 분포와 공명	80
그림 36. pKa 사다리.....	81
그림 37. 제 8장 개념도	85
그림 38. 생활 속 개념도 8.....	86
그림 39. 에스터화와 가수분해	88
그림 40. 에스터화 수득률과 몰비.....	89
그림 41. 제 9장 개념도	94
그림 42. 생활 속 개념도 9.....	95
그림 43. 벤젠의 수소화 엔탈피와 공명 안정화	98
그림 44. 나이트로화와 술폰화	100
그림 45. 벤젠 유도체와 액성	102
그림 46. 제 10장 개념도	105
그림 47. 생활 속 개념도 10.....	106

그림 48. C18 지방산의 아이오딘값과 녹는점	109
그림 49. 부분 수소화와 트랜스화	110
그림 50. 첨가 중합	111
그림 51. 제 11장 개념도	115
그림 52. 생활 속 개념도 11	116
그림 53. 나일론 6,6의 축합 중합	118
그림 54. 계면 중합 장치	119
그림 55. 카로더스 곡선	121
그림 56. 열가소성과 열경화성	123
그림 57. 제 12장 개념도	126
그림 58. 생활 속 개념도 12	127
그림 59. 녹말·글리코겐·셀룰로스	130
그림 60. 탄소의 평균 산화수와 에너지	132
그림 61. 1 g당 저장 에너지	133
그림 62. 제 13장 개념도	136
그림 63. 생활 속 개념도 13	137
그림 64. 글리신의 화학종 분율	139
그림 65. 다이펩타이드의 생성	141
그림 66. 펩신 활성의 모형 곡선	144
그림 67. 제 14장 개념도	146
그림 68. 생활 속 개념도 14	147
그림 69. C18 지방산의 사슬 모양과 녹는점	149
그림 70. 연료 1 g의 에너지와 CO ₂	151
그림 71. 축합에서 빠지는 질량	176
그림 72. 전체 개념 그래프	178
그림 73. 개념별 출제 횟수	179
그림 74. 연도별 출제 문항 수	180
그림 75. 대학별 출제 문항 수	180
그림 76. 〈연세대 2013〉 개념 그래프	207
그림 77. q007 MOF 기체 포집 곡선(원문 다시 그림)	210
그림 78. q007 α·β-아미노산과 결가지 간격	213
그림 79. 〈성균관대 2013〉 개념 그래프	218
그림 80. 톨루엔의 네 종류 수소	219
그림 81. 다이클로로아닐린과 수소 환경	224
그림 82. 〈성균관대 2012〉 개념 그래프	228
그림 83. q004 C18 지방산 사슬 모양	231
그림 84. 〈서울시립대 2012〉 개념 그래프	237
그림 85. 나이트로화·술폰화 생성물	243
그림 86. q302 계면 중합 비커(원문 다시 그림)	247
그림 87. 〈서울시립대 2012〉 개념 그래프	248
그림 88. 〈성균관대 2011〉 개념 그래프	257
그림 89. q010 클로로프렌 첨가 중합	260
그림 90. q010 나일론 사슬 사이 수소 결합	262
그림 91. 〈서울시립대 2011〉 개념 그래프	266
그림 92. 분별 증류탑과 여섯 분획	269
그림 93. 나일론 6,6 축합 중합	273
그림 94. q009 화합물 A·B·C·D(원문 다시 그림)	278
그림 95. 〈고려대 2010〉 개념 그래프	278
그림 96. q009 거울상 이성질체의 분리	283

그림 97. q008 향기 유발 분자(원문 다시 그림).....	288
그림 98. 〈연세대 2009〉 개념 그래프	289
그림 99. 〈성균관대 2009〉 개념 그래프	298
그림 100. 아미노산과 아스파르트산.....	300
그림 101. 펩신 활성화와 두 Asp 모형	302
그림 102. 〈경희대 2009〉 개념 그래프	307
그림 103. 포도당과 지방산의 구조.....	310

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	12
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념.....	12
표 3. 탄소와 규소가 만드는 결합의 평균 결합 에너지.....	22
표 4. 사슬 탄화수소 세 가족의 비교.....	30
표 5. 탄소 수를 나타내는 어근과 알케인·알켄의 이름.....	31
표 6. 제 3장의 개념이 쓰인 기출.....	36
표 7. 원유의 분획과 끓는점 범위·탄소 수·용도.....	41
표 8. LNG와 LPG의 비교.....	43
표 9. 제 4장의 개념이 쓰인 기출.....	46
표 10. 이성질체의 종류.....	53
표 11. 제 5장의 개념이 쓰인 기출.....	56
표 12. 거울상 이성질체 쌍의 성질 비교.....	61
표 13. 제 6장의 개념이 쓰인 기출.....	66
표 14. 주요 작용기.....	68
표 15. 제 7장의 개념이 쓰인 기출.....	76
표 16. 주요 산·염기 작용기의 pK_a · pK_b 와 0.....	82
표 17. 제 8장의 개념이 쓰인 기출.....	85
표 18. 아세트산 1 mol에 에탄올 r mol을 넣었을 때의 평형 수득률($K =$	90
표 19. 향기가 나는 에스터.....	92
표 20. 제 9장의 개념이 쓰인 기출.....	94
표 21. 벤젠 유도체의 작용기와 액성(25 °C 수용액 기준값).....	102
표 22. 제 10장의 개념이 쓰인 기출.....	105
표 23. 첨가 중합 고분자.....	112
표 24. 제 11장의 개념이 쓰인 기출.....	115
표 25. 고분자의 분류.....	123
표 26. 제 12장의 개념이 쓰인 기출.....	126
표 27. 생체 고분자 비교.....	134
표 28. 제 13장의 개념이 쓰인 기출.....	136
표 29. 단백질 구조의 네 단계.....	142
표 30. 제 14장의 개념이 쓰인 기출.....	146
표 31. 유기 화학 기출이 묻는 다섯 질문과 이 책의 장.....	153
표 32. 제 2 부의 구성.....	168
표 33. 탄화수소의 세 갈래(사슬 모양 기준).....	170
표 34. 분별 증류탑에서 나오는 여섯 분획(위에서 아래 순, 교과서마다 범위가 조.....	171
표 35. 이성질체의 종류와 판정 기준.....	172
표 36. 자주 나오는 작용기(이 책 전체가 쓰는 기준 표).....	172
표 37. 작용기에 따른 산의 세기(25 °C, $pK_a = -\log K_a$, 작을수록.....	173
표 38. 생체 고분자 비교.....	177
표 39. 이 책의 기출 문항 목록.....	181
표 40. 대학별 출제 문항.....	181
표 41. 문항별 개념 수와 개념도 최대 층(층이 깊을수록 선수 사슬이 길다).....	182
표 42. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서).....	183
표 43. 제 3 부의 구성.....	186
표 44. 서술형 답안의 문장 틀(구조로 성질 설명하기).....	187
표 45. 논술 기본 패턴 5가지(유기 화학 답안).....	189
표 46. 문항별 소문항에 적용한 패턴(4부 모범답안의 “논술 패턴” 상자와 같은.....	189
표 47. 제 4 부의 구성.....	198

표 48. 대학별 기출 문항 수·연도·소재(문항 번호는 6장의 기출문제 번호)	199
표 49. 학년도별 문항 수와 답안 근거.....	199
표 50. 11문항의 소문항 31개에 적용한 주 답안 패턴(결합 패턴은 앞의 것을)	200
표 51. 이 책의 개념과 기출에서 쓰인 횟수(많이 쓰인 순).....	201
표 52. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적.....	202
표 53. 원문 그림 3을 표로 옮김: 20가지 α -아미노산의 곁가지 R.....	206
표 54. 기출문제 1의 개념과 복습 위치.....	207
표 55. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	208
표 56. 기출문제 2의 개념과 복습 위치.....	218
표 57. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	220
표 58. 기출문제 3의 개념과 복습 위치.....	228
표 59. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	229
표 60. 기출문제 4의 개념과 복습 위치.....	237
표 61. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	238
표 62. 기출문제 5의 개념과 복습 위치.....	248
표 63. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	249
표 64. 기출문제 6의 개념과 복습 위치.....	257
표 65. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	258
표 66. 기출문제 7의 개념과 복습 위치.....	266
표 67. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	267
표 68. 기출문제 8의 개념과 복습 위치.....	279
표 69. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	280
표 70. 기출문제 9의 개념과 복습 위치.....	289
표 71. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	290
표 72. 기출문제 10의 개념과 복습 위치.....	299
표 73. 소문항별 요구 사항과 난이도(예시답안 점수)	300
표 74. 기출문제 11의 개념과 복습 위치.....	307
표 75. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	309
표 76. 인강 회차 구성(제안)	322
표 77. 11개 문항의 규모	325
표 78. 대학별 한 줄 총평(이 책의 자료 범위 안에서).....	326

제 1 부

기본개념편

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

유기 화학·생체 분자·고분자

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 탄소의 결합 → 탄화수소와 끓는점 → 분자의 모양(이성질체) → 작용기와 산의 세기 → 결합이 생기고 끊기는 반응(에스터화·치환·첨가·축합) → 몸속의 큰 분자(지방·탄수화물·단백질) → 종합의 순서로 이어진다. 앞 장에서 만든 도구가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠르다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

유기 화학은 외울 것이 많아 보이지만, 실제로 묻는 질문은 다섯 가지뿐이다. 뼈대가 어떻게 생겼나, 모양이 어떻게 다른가, 어떤 작용기가 붙었나, 어떤 결합이 생기고 끊기나, 몇 물이 반응하나. 표 1은 이 다섯 질문을 열네 장에 나눈 지도다.

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장 — 구간마다 하나의 질문을 붙들고 간다

구간	장	무엇을 하는가
A. 탄소와 탄화수소	1~3장	탄소가 네 개의 결합으로 사슬과 고리를 만드는 까닭에서 출발해, 탄화수소의 이름과 모양, 탄소 수에 따른 끓는점과 원유의 분별 증류를 다룬다.
B. 분자의 모양	4~5장	분자식이 같아도 원자 배열, 이중 결합 양쪽의 배치, 거울상이 다르면 성질이 달라지는 이성질체를 본다.
C. 작용기	6~7장	분자의 성질을 정하는 작용기를 익히고, 무엇이 산을 세게 만드는지(유발 효과·공명)를 pKa로 비교한다.
D. 결합이 생기고 끊기는 반응	8~11장	에스터화와 가수분해, 벤젠의 치환, 이중 결합의 첨가와 첨가 중합, 축합 중합과 고분자의 성질을 차례로 다룬다.
E. 생체 분자와 종합	12~14장	지방·탄수화물·단백질을 같은 반응 문법으로 읽고, 트랜스지방·연료·플라스틱을 묶은 뒤 2부로 간다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈생활 속 개념도〉 → 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 → 기출 연결 → 이 장의 참고문헌 순서다. 장의 첫머리에는 이 장의 개념도와 그 개념이 쓰인 기출 표가 있어, 지금 배우는 개념이 나중에 어떤 문제로 나오는지 미리 볼 수 있다. 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 A에 모아 두었다. 막히면 해설을 먼저 보지 말고, 장 안의 그림과 식으로 돌아가 한 번 더 시도한다.

3. 장별 목차

표 2는 장마다 새로 배우는 개념이다. 굵은 줄기는 “골격 → 모양 → 작용기 → 반응 → 생체 분자”이고, 계산은 3장(분별 증류), 7장(pKa와 pH), 8장(에스터화 평형), 11장(고분자 질량), 12장(저장 에너지)에 몰려 있다.

표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념

장	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 1장 (16쪽)	왜 유기 화학인가	탄소의 네 결합 · 정사면체 109.5° · 탄소 골격
기본개념편 제 2장 (26쪽)	탄화수소: 사슬과 고리, 포화와 불포화	알케인·알켄·알카인 · 불포화도 · 이름 붙이기 · 연소열

장	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 3장 (36쪽)	원유에서 휘발유까지: 끓는점과 분별 증류	분산력과 탄소 수 · 분별 증류탑 · 라울 법칙 · LNG와 LPG
기본개념편 제 4장 (46쪽)	같은 분자식, 다른 분자: 구조·기하 이성질체	구조 이성질체 · 시스-트랜스 · 분자 모양과 녹는점
기본개념편 제 5장 (56쪽)	거울에 비친 분자: 거울상 이성질체	카이랄 탄소 · 광학 활성 · 라세미 혼합물 · 거울상 과잉물
기본개념편 제 6장 (66쪽)	작용기: 분자의 얼굴	여덟 가지 작용기 · 수소 결합과 끓는점 · 친수성과 소수성
기본개념편 제 7장 (76쪽)	작용기의 산·염기: 무엇이 산을 세계 만드나	짝염기의 안정성 · 유발 효과 · 공명 · pKa 사다리
기본개념편 제 8장 (85쪽)	에스터와 향기: 축합과 가수분해	에스터화 평형 · 가수분해와 비누화 · 휘발성과 향기
기본개념편 제 9장 (94쪽)	벤젠: 특별한 고리와 치환 반응	공명 안정화 에너지 · 나이트로화 · 술폰화 · 벤젠 유도체
기본개념편 제 10장 (105쪽)	이중 결합에 더하기: 첨가 반응과 첨가 중합	수소 첨가 · 아이오딘값 · 첨가 중합 · 중합도
기본개념편 제 11장 (115쪽)	축합 중합과 고분자의 성질	아마이드·에스터 결합 · 계면 중합 · 카로더스 식 · 열가소성과 열경화성
기본개념편 제 12장 (126쪽)	지방과 탄수화물: 몸의 연료 창고	트라이글리세라이드 · 글리코사이드 결합 · 탄소의 산화 상태와 저장 에너지
기본개념편 제 13장 (136쪽)	아미노산과 펩타이드 결합: 단백질의 문법	양쪽성 이온과 등전점 · 펩타이드 결합 · 단백질 구조 · 효소와 pH
기본개념편 제 14장 (146쪽)	몸속·지구·기술 속의 유기 분자, 그리고 2부로	트랜스지방 · 영양 표시 · 연료와 탄소 · 플라스틱의 수명

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 구조식은 손으로 한 번 그려 본다. 유기 화학은 그려 본 만큼 보인다.
- 장이 끝나면 〈스스로 풀어 보기〉를 먼저 풀고 부록 A로 확인한다.
- 막히기 쉬운 곳은 4~5장(이성질체 세기와 카이랄 탄소 찾기)과 7장(산의 세기 비교), 11장(고분자 질량 계산)이다. 이 구간은 두 번 읽는다.
- 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

유기 화학은 고등학교 화학 I 의 탄소 화합물 단원에서 처음 만나고, 대학 논술에서는 구조식 그리기, 성질 비교 서술, 몰 계산이 한 문제에 함께 나오는 단원이다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(원자와 분자, 공유 결합의 뜻, 간단한 비율 계산)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 것을 먼저 주지 않고, 왜 그런가를 먼저 묻고 그다음에 구조와 식을 만든다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 충북 단양 ‘돌집 과학방’에서 토요일마다 과학을 배운다. 하린은 중학교 2학년, 태오는 논술을 준비하는 고등학교 2학년이다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 장 보고 요리하는 사람의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 과학방의 선생님. 은퇴한 화학·생물 교수로, 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

첫 토요일

장마가 걷힌 토요일 오후, 미숙 이모가 장바구니를 들고 과학방 문을 열었다. 식탁 위에 식용유 한 병, 마가린 한 통, 바나나 우유, 돌돌 만 비닐봉지, 그리고 파스 한 갑이 차례로 놓였다.

이모 교수님, 오늘은 장 본 것 정리하다가 왔어요. 그런데 마가린 뒷면에 ‘트랜스지방 0 g’이라고 쓰여 있더라고요. 트랜스지방이 뭐길래 굳이 0이라고 써 놓는 거예요?

석 교수 좋은 질문으로 시작하네. 그 질문 하나에 이 단원 전체가 들어 있다. 식탁 위에 있는 걸 하나씩 보자. 식용유, 마가린, 바나나 우유, 비닐봉지, 파스. 이것들의 공통점이 뭘까?

하린 다 마트에서 파는 거요?

석 교수 하하, 맞다. 그런데 화학자의 눈으로 보면 다섯 가지 모두 탄소 원자가 줄줄이 이어진 뼈대를 가지고 있다. 이런 물질을 탄소 화합물, 또는 유기 화합물이라고 부른다.

태오 유기라는 말은 ‘살아 있는 것에서 나온’이라는 뜻 아니예요? 비닐봉지는 공장에서 만든 거잖아요.

석 교수 옛날에는 그렇게 생각했지. 생물만 유기물을 만든다고. 그런데 1828년에 뵐러라는 화학자가 실험실에서 무기물로 요소를 만들어 버렸다. 그 뒤로 ‘유기’는 탄소 화합물을 가리키는 이름으로 남았다. 비닐봉지는 에텐이라는 작은 탄소 분자 수천 개를 이어 붙인 것이고.

이모 그럼 식용유랑 마가린은 뭐가 달라요? 둘 다 기름인데 하나는 흐르고 하나는 굳어 있잖아요.

석 교수 거기에 ‘모양’ 이야기가 숨어 있다. 식용유의 긴 탄소 사슬에는 이중 결합이 있고, 그 자리에서 사슬이 꺾여 있다. 꺾인 사슬은 차곡차곡 쌓이지 못해서 실온에서 액체야. 식용유에 수소를 더해 이중 결합을 없애면 사슬이 곧아지고 단단해진다. 그게 마가린 같은 경화유고.

태오 그럼 트랜스지방은 그 과정에서 생기는 거예요?

석 교수 그렇다. 수소를 덜 더하다 보면 이중 결합 일부가 꺾인 모양(시스)에서 곧은 모양(트랜스)으로 바뀐다. 원자는 똑같은데 모양만 다른 분자, 이걸 이성질체라고 해. 4장과 14장에서 자세히 본다.

하린 바나나 우유는요? 바나나는 하나도 안 들어갔다고 적혀 있던데요.

석 교수 바나나 냄새를 내는 분자는 아세트산아이스아밀이라는 에스터다. 식초의 산과 알코올이 물 한 분자를 내놓고 손을 잡으면 생기지. 8장에서 직접 몇 물이 생기는지 계산해 볼 거다.

이모 파스 냄새도 그런 건가요?

석 교수 파스 냄새는 살리실산 메틸, 역시 에스터인데 벤젠 고리가 붙어 있다. 벤젠은 육각형 고리가 유난히 안정해서 다른 반응을 한다. 그건 9장 이야기다.

태오 논술에서는 이런 게 어떻게 나와요? 생활 이야기만 하면 점수가 안 나올 것 같은데요.

석 교수 기출을 보면 질문은 거의 정해져 있다. 나일론을 만드는 반응식을 구조식으로 쓰라, 두 단위체를 10몰씩 넣으면 나일론이 몇 그램 생기나, 열가소성 수지는 왜 재활용되나, 지방이 글리코겐보다 에너지 저장에 유리한 이유를 분자 구조로 설명하라. 결국 뼈대, 모양, 작용기, 결합, 물. 이 다섯 단어를 붙들고 가면 된다.

하린 다섯 단어요. 뼈대, 모양, 작용기, 결합, 물.

석 교수 그래. 오늘은 그 첫 단어, 뼈대부터 시작하자. 탄소는 왜 네 개의 팔을 가졌을까?

이 기본개념편의 줄거리

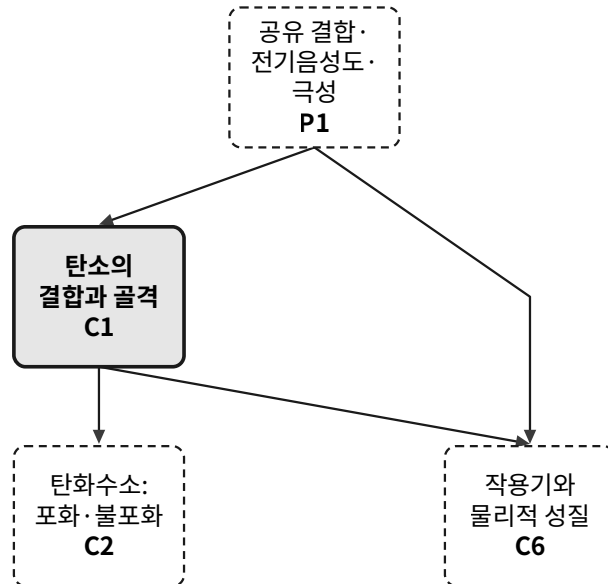
왜 유기 화학인가? 1장은 탄소가 네 개의 공유 결합을 안정하게 만들어 사슬과 고리를 자유롭게 짓는다는 데서 출발한다. 탄화수소의 끓는점은 탄소 수와 분자 모양이 정하고(2~3장), 같은 원자로 된 분자도 배열이 다르면 성질이 달라진다(4~5장). 작용기는 분자의 성질과 산·염기 세기를 정하고(6~7장), 결합이 생기고 끊기는 네 가지 반응 — 에스터화, 치환, 첨가, 축합 — 이 향기와 의약품, 플라스틱과 나일론을 만든다(8~11장). 몸속의 지방·탄수화물·단백질도 같은 반응 문법으로 만들어지고 풀린다(12~13장). 이 한 줄기를 끝까지 따라가는 것이 기본개념편의 줄거리다.

제 1장 왜 유기 화학인가

새 개념 탄소의 네 결합 · 정사면체 109.5° · 탄소 골격(사슬·가지·고리) · 유기물과 무기물

이어짐 탄화수소 2장 · 작용기 6장 · 고분자 10~11장 · 생체 분자 12~13장

이 장의 개념도



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

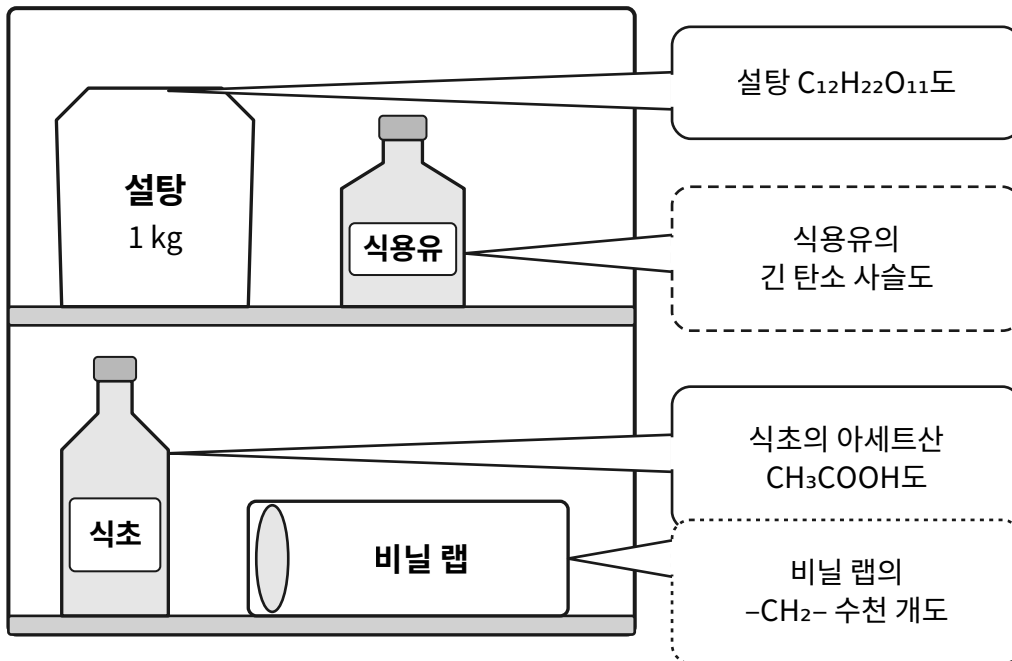
그림 2. 제 1장에서 배우는 개념(C1 탄소의 결합과 골격)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

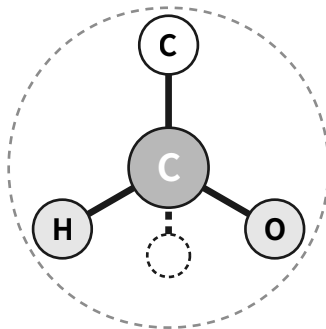
이 장의 개념은 기출에서 직접 묻기보다 다른 장의 개념을 받치는 바탕으로 쓰였다.

부엌 찬장 속 탄소 화합물

설탕·식용유·비닐 랩·식초 — 모두 탄소 뼈대를 가진다



모두 탄소 뼈대 위에 서 있다



탄소 원자 하나 = 팔 네 개
(공유 결합 4개)

이웃 탄소를 잡으면 → 사슬
사슬 끝이 만나면 → 고리
 $O \cdot N$ 이 붙으면 → 작용기

실선: 평면 위의 팔 점선: 종이 뒤로 향한 팔

그림 3. 부엌 찬장의 설탕·식용유·비닐 랩·식초 — 모두 탄소 원자가 네 개의 팔로 이어 만든 뼈대 위에 서 있다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 부엌 찬장의 설탕·식용유·비닐 랩·식초는 모두 탄소 골격을 가진 물질이다.
2. 탄소 원자 하나는 네 개의 공유 결합을 만들어 사슬과 고리를 짓는다.
3. 같은 탄소 뼈대라도 붙은 원자(작용기)에 따라 맛·냄새·성질이 달라진다.

이 장의 출발점

공유 결합(두 원자가 전자쌍을 함께 쓰는 결합), 원자가 전자와 옥텟 규칙(바깥 껍질 전자 8개가 안정), 전기음성도(결합한 전자쌍을 끌어당기는 정도), 그리고 물질량으로 몰수를 구하는 계산(몰수 = 질량 ÷ 물질량)을 쓴다. 결합 에너지는 “결합 1몰을 끊는 데 드는 에너지”라는 뜻만 알면 된다.

봄비가 그친 토요일 오후, 단양 돌집 과학방의 부엌 찬장 문이 열려 있었다. 이모가 장을 봐 온 설탕 봉지와 식용유 병을 넣다가 석 교수에게 물었다. 식탁 위에는 비닐 랩 한 통과 식초병이 놓여 있었다.

이모 교수님, 오늘부터 유기 화학이라면서요. 유기농 채소 할 때 그 ‘유기’예요? 이 찬장 물건들 하고도 상관이 있나요?

석 교수 이름은 같은 뿌리인데 뜻은 조금 달라요. 화학에서 유기 화합물은 “탄소를 뼈대로 하는 화합물”입니다. 그런데 바로 이 찬장이 유기 화합물 창고예요. 설탕, 식용유, 비닐 랩, 식초가 모두 탄소 화합물이거든요.

하린 비닐 랩도요? 그건 공장에서 만든 거잖아요. 설탕은 사탕수수에서 나오고요.

석 교수 좋은 질문이다. 옛날 사람들도 똑같이 생각했어. 생물에서 나온 물질과 광물에서 나온 물질은 근본이 다르다고 말이야. 오늘은 그 생각이 어떻게 바뀌었는지, 그리고 탄소가 왜 이렇게 많은 물질의 뼈대가 되는지를 보자.

1.1 생명과 부엌은 탄소로 만들어졌다

석 교수 먼저 우리 몸부터 보자. 몸무게를 원소별로 나누면 산소가 65 %, 탄소가 18 %, 수소가 10 %, 질소가 3 %쯤 된다. **그림 4**에 막대로 그렸다.

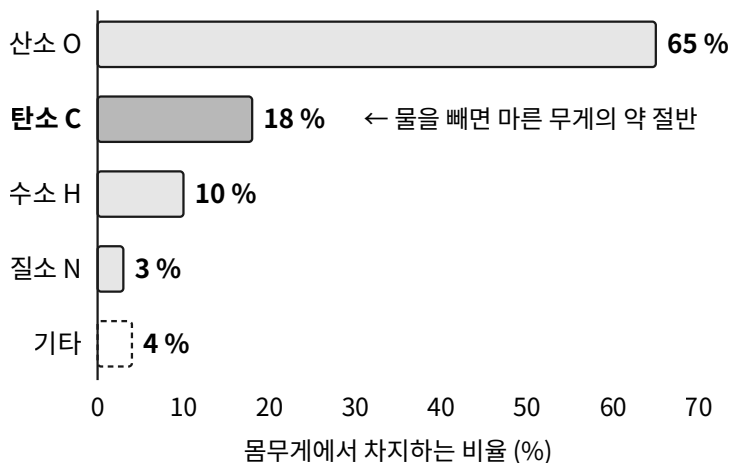


그림 4. 사람 몸을 이루는 원소의 질량 비율 — 산소 65 %, 탄소 18 %, 수소 10 %, 질소 3 %로 네 원소가 96 %를 차지하고, 나머지 4 %가 칼슘·인·칼륨·황 등이다. 산소와 수소의 대부분은 물에 들어 있다.

태오 산소가 제일 많네요? 탄소가 주인공이라더니 2등이에요.

석 교수 몸의 60 % 정도가 물이라서 그렇다. 물 H_2O 는 질량의 89 %가 산소야. 물을 빼고 단백질·지방·탄수화물·핵산만 보면 이야기가 달라진다. 이 분자들은 모두 탄소 사슬이나 탄소 고리를 뼈대로 삼고, 그 마른 무게의 절반가량이 탄소다.

하린 그럼 탄소는 물을 뺀 나머지의 뼈대인 거네요.

석 교수 그렇다. 그러면 몸속에 탄소가 얼마나 있는지 직접 세어 보자.

문제 1.1

몸무게 70 kg인 사람의 질량 중 18 %가 탄소라고 할 때, 몸속 탄소의 질량과 몰수를 구하라(C 12.01 g/mol).

태오 $70 \times 0.18 = 12.6$ kg이에요. 몰수는 $12.6 \div 12.01$ 하면…… 1.05몰?

석 교수 단위를 다시 보라. 12.6은 킬로그램이다.

태오 아, 그램으로 바꿔야죠. $12\,600\text{ g} \div 12.01\text{ g/mol} = 1049\text{ mol}$, 곧 1.05×10^3 mol이에요.

석 교수 맞다. 정답은 탄소 12.6 kg, 1.05×10^3 mol이다. 물질량이 g/mol이니 질량도 g로 맞춰야 한다. 단위를 끝까지 써 두면 이런 실수가 바로 보인다.

이모 1000몰이 넘는 탄소가 제 몸에 있다니 실감이 안 나네요.

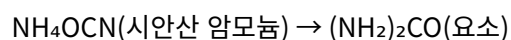
석 교수 12.6 kg이면 캠핑용 숯 한 포대쯤의 무게예요. 이 탄소가 모두 공유 결합으로 서로 이어지거나 수소·산소·질소와 이어져 있습니다.

생기론이 흔들린 날

석 교수 19세기 초까지 많은 화학자는 생물의 몸에서 나온 물질에는 ‘생명력’이 깃들어 있어서 실험실에서는 만들 수 없다고 믿었다. 이것을 생기론이라고 한다. 그래서 ‘유기물(organic)’이라는 말도 원래는 “생물(organism)에서 온 물질”이라는 뜻이었어.

태오 그게 언제 깨졌어요?

석 교수 1828년 독일의 빌러가 광물에서 얻을 수 있는 물질인 시안산 암모늄(NH_4OCN)을 가열했더니, 오줌 속에 있는 요소($(\text{NH}_2)_2\text{CO}$)가 생겼다고 보고했다. 분자식이 같은 두 물질 중 하나를 다른 하나로 바꾼 셈인데, 생물 없이 생물의 물질을 만든 거지.



하린 그 한 번으로 생각이 다 바뀌었어요?

석 교수 실제로는 그 뒤 수십 년 동안 아세트산 같은 물질이 차례로 합성되면서 서서히 바뀌었다. 과학사에서는 빌러의 실험을 “생기론이 흔들리기 시작한 상징적 사건”으로 본다. 오늘날 유기 화합물의 정의는 출처와 상관없이 “탄소 화합물”이다. 다만 일산화 탄소, 이산화 탄소, 탄산염(CaCO_3 등), 시안화물처럼 구조가 단순한 탄소 화합물은 관례로 무기물에 넣는다.

이모 그러니까 비닐 랩은 공장에서 만들었어도 유기 화합물이고, 달걀 껍데기의 탄산 칼슘은 탄소가 있어도 무기물이군요.

석 교수 정확히 정리하셨어요.

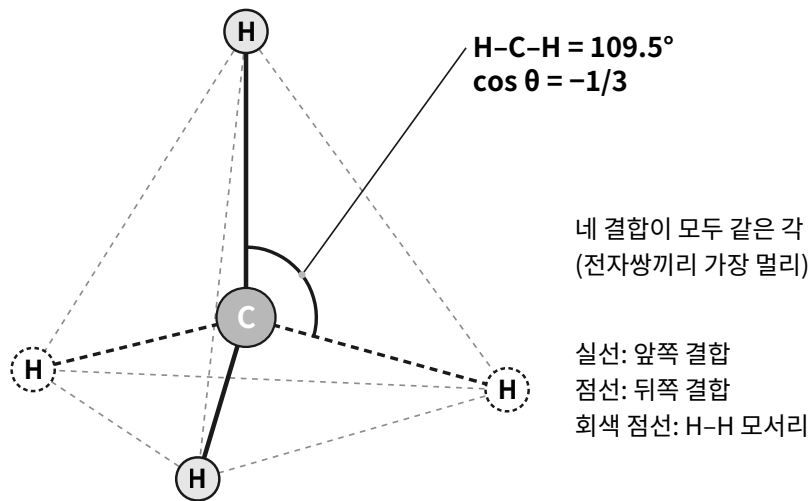
부엌에서 탄소를 확인하는 법

이모 그런데 어떤 물질에 탄소가 들어 있는지 집에서도 알 수 있어요?

- 석 교수** 프라이팬에 설탕을 오래 가열해 보신 적 있으시죠? 처음엔 녹아서 갈색 캐러멜이 되다가, 더 가열하면 까맣게 타입니다. 그 검은 덩어리가 탄소예요. 설탕 $C_{12}H_{22}O_{11}$ 에서 수소와 산소가 물로 빠져나가고 탄소만 남은 거지요.
- 태오** 그럼 식용유를 태워도 그을음이 생기니까 그것도 탄소고요.
- 석 교수** 맞다. 산소가 넉넉하면 탄소는 이산화 탄소로, 수소는 물로 완전히 타서 그을음이 남지 않는다. 산소가 모자라면 탄소 일부가 그을음으로 남는다. 실험실에서는 시료를 태워 생긴 기체를 석회수에 통과시켜 뿌영게 흐려지면 이산화 탄소, 곧 시료에 탄소가 있었다고 판정하고, 푸른 염화 코발트 종이가 붉게 변하면 물, 곧 수소가 있었다고 판정한다.
- 하린** 소금은 아무리 가열해도 까맣게 안 타잖아요. 그건 탄소가 없어서고요.
- 석 교수** 그렇다. 소금 NaCl은 이온 결정이라 801 °C에서 녹을 뿐 타지 않는다. “타서 이산화 탄소와 물이 나온다”는 것은 유기 화합물의 가장 쉬운 표지다.

1.2 탄소는 왜 네 팔인가

- 하린** 그런데 왜 하필 탄소예요? 다른 원소도 많잖아요.
- 석 교수** 탄소의 원자가 전자부터 보자. 탄소는 원자 번호 6이고 전자 배치가 2, 4다. 바깥 껍질에 전자가 4개 있어. 옥텟을 채우려면 4개를 얻거나 4개를 잃어야 하는데, 둘 다 에너지가 너무 많이 든다.
- 태오** 그래서 이온이 되는 대신 전자를 나눠 쓰는 거네요. 하나씩 내놓고 하나씩 받아서 전자쌍 네 개를 만들면 8개가 되니까요.
- 석 교수** 그렇다. 탄소는 공유 결합 네 개를 만들고, 이것을 “탄소의 원자가는 4”라고 한다. 가장 단순한 예가 메테인 CH_4 (옛 이름 메탄)다. 탄소 하나에 수소 넷이 붙어 있지.
- 하린** 종이에 그리면 십자 모양이 되잖아요. 위·아래·왼쪽·오른쪽 90°로요.
- 석 교수** 종이에서는 그렇게 그리지만 실제 분자는 입체다. 네 결합의 전자쌍은 모두 음전하라 서로 밀어내니, 공간에서 가장 멀리 떨어지는 배치를 고른다. 그게 정사면체다. **그림 5**를 보자.



H 위치 $(1,1,1) \cdot (1,-1,-1) \cdot (-1,1,-1) \cdot (-1,-1,1)$

그림 5. 메테인의 정사면체 구조 — 정육면체의 한 꼭짓점씩 건너뛴 네 점 $(1, 1, 1)$, $(1, -1, -1)$, $(-1, 1, -1)$, $(-1, -1, 1)$ 에 수소를 두고 가운데 탄소와 이었다. 두 결합 벡터의 사이각은 $\cos \theta = -1/3$ 에서 109.47° 로, 네 결합이 모두 같은 각을 이룬다.

태오 109.5°는 어떻게 나온 숫자예요?

석 교수 정육면체의 꼭짓점 네 개를 하나씩 건너뛰어 고르면 정사면체가 된다. 그림의 좌표 $(1, 1, 1)$ 과 $(1, -1, -1)$ 을 두 결합의 방향이라고 하면, 내적은 $1 \times 1 + 1 \times (-1) + 1 \times (-1) = -1$ 이고 두 벡터의 길이는 각각 $\sqrt{3}$ 이다. $\cos \theta = -1 \div (\sqrt{3} \times \sqrt{3}) = -1/3$, 그래서 $\theta = 109.47^\circ$ 다.

하린 90°보다 넓어요. 평면에서 십자로 그리는 것보다 더 멀리 떨어져 있는 거네요.

석 교수 맞다. 이렇게 단일 결합만 가진 탄소는 언제나 정사면체 모양이다. 그래서 탄소 사슬은 곧은 막대가 아니라 지그재그로 꺾여 있어. 2장에서 이중 결합 탄소는 120° , 삼중 결합 탄소는 180° 라는 것도 본다.

이모 네 팔이 있으니 다른 탄소와도 손을 잡겠네요.

태오 물 분자는 굽어 있다고 배웠어요. 그것도 같은 이유예요?

석 교수 같은 원리다. 산소 둘레에도 전자쌍이 네 개 있는데, 둘은 수소와의 결합이고 둘은 결합하지 않은 비공유 전자쌍이야. 네 쌍이 정사면체 쪽으로 퍼지니 H-O-H는 104.5° 로 굽는다. 암모니아는 결합 셋과 비공유 전자쌍 하나라 107° 다. 메테인은 넷 다 결합이라 정확히 109.5° 고. 이렇게 전자쌍 사이의 반발로 모양을 예측하는 방법을 전자쌍 반발 이론이라고 한다.

석 교수 그게 핵심이에요. 팔 하나로 이웃 탄소를 잡고 남은 팔로 또 다른 탄소를 잡으면 사슬이 되고, 사슬 끝이 처음 탄소와 만나면 고리가 됩니다. 팔 둘로 같은 탄소를 잡으면 이중 결합이고요. 네 팔로 만들 수 있는 조합이 거의 끝이 없어서 지금까지 알려진 탄소 화합물이 수천만 가지에 이릅니다.

1.3 탄소-탄소 결합은 왜 오래 버티나

태오 주기율표에서 탄소 바로 아래 규소도 원자가 전자가 4개잖아요. 규소로 된 생물은 왜 없어요?

석 교수 결합 에너지를 비교하면 답이 보인다. 표 3에 모았다.

표 3. 탄소와 규소가 만드는 결합의 평균 결합 에너지 — 기체 상태에서 결합 1몰을 끊는 데 드는 에너지(Brown 외, 2018의 표값)

결합	결합 에너지 (kJ/mol)	뜻
C-C	348	탄소 사슬의 뼈대
C-H	413	탄화수소의 바깥
C-O	358	산소와의 결합
Si-Si	226	규소 사슬의 뼈대
Si-H	323	규소 수소화물의 바깥
Si-O	368	모래·유리(규산염)의 결합

문제 1.2

표 3를 써서 (1) C-C와 Si-Si 결합 에너지의 비, (2) Si-O와 Si-Si의 차, C-O와 C-C의 차를 구하라. (3) 이 숫자로 탄소 사슬이 산소가 많은 지구 환경에서 버티는 까닭을 설명하라.

하린 (1)은 $348 \div 226 = 1.54$ 예요. 탄소끼리의 결합이 1.5배쯤 세요.

태오 (2)는 $368 - 226 = 142$ kJ/mol, $358 - 348 = 10$ kJ/mol이에요. 규소는 산소와 결합하면 142만큼 훨씬 안정해지는데 탄소는 10밖에 차이가 안 나요.

석 교수 정답이다. (1) 1.54, (2) Si-O - Si-Si = 142 kJ/mol, C-O - C-C = 10 kJ/mol. 이제 (3)을 말로 해 보라.

태오 규소 사슬은 산소를 만나면 Si-Si를 끊고 Si-O를 만드는 쪽이 훨씬 유리하니까 금방 산소와 결합해 버려요. 탄소 사슬은 C-C를 C-O로 바꿔도 이득이 작으니 사슬을 유지하기 쉽고요.

석 교수 좋다. 덧붙이면 규소가 산소와 결합한 결과가 바로 모래와 바위를 이루는 규산염 광물이다. 지각에 규소가 탄소보다 훨씬 많은데도 규소는 산소와 묶인 광물로 있고, 긴 사슬은 탄소가 맡는다. 물론 탄소 화합물도 불을 붙이면 산소와 반응해 이산화 탄소가 된다. 그 반응은 2장의 연소열에서 계산한다. 중요한 것은 상온에서 탄소 사슬이 오래 버틴다는 점이야.

이모 숫자 두 개를 빼 보는 것만으로 설명이 되네요.

석 교수 논술에서는 이렇게 표의 값으로 차이를 만들어 근거로 쓰는 것이 힘이 셉니다. “규소는 산소와 잘 결합한다”만 쓰는 것보다 “Si-O(368)가 Si-Si(226)보다 142 kJ/mol 크다”라고 쓰는 쪽이 점수가 낫습니다.

탄소는 누구와도 손을 잡는다

하린 탄소가 수소, 산소, 질소, 염소 같은 여러 원소와 다 결합하는 것도 특별한 거예요?

석 교수 그렇다. 전기음성도를 보자. 탄소는 2.5(폴링 값)로 수소 2.1과 산소 3.5의 한가운데쯤에 있다. 너무 세게 끌지도, 너무 쉽게 내주지도 않으니 전자를 완전히 주고받는 이온 결합 대신 공유 결합을 고르게 만든다. C-H는 차이가 0.4로 거의 무극성이고, C-O는 1.0, C-Cl은 0.5라서 조금씩 극성을 띤다.

태오 그 극성 차이가 나중에 끓는점이나 산성 차이로 이어지는 거죠?

석 교수 바로 그거다. 탄화수소 부분은 극성이 거의 없어 물과 섞이지 않고, 산소·질소가 붙은 부분은 극성을 띠어 물과 수소 결합을 한다. 식용유가 물에 뜨고 식초가 물에 섞이는 차이가 여기서 나온다. 이 이야기는 6장에서 작용기의 성질로 정리한다.

이모 결국 탄소는 사슬도 잘 만들고, 이중·삼중 결합도 만들고, 여러 원소와 다 어울리는 거네요.

석 교수 네, 탄소 화합물이 이렇게 많은 이유를 세 가지로 정리하면 그렇습니다. 첫째, 탄소끼리 강하게 이어져 긴 사슬과 고리를 만든다. 둘째, 단일·이중·삼중 결합을 모두 만든다. 셋째, 수소·산소·질소·할로젠과 고르게 공유 결합한다. 여기에 같은 원자로 배열을 바꾼 이성질체까지 더해지니 가짓수가 폭발하는 거예요.

1.4 골격 그리기: 분자식·구조식·골격 구조식

석 교수 이제 탄소 화합물을 종이에 그리는 법을 익히자. 같은 분자를 세 가지로 쓸 수 있다. **그림 6**를 보라.

분자식	구조식(모든 원자)	골격 구조식
C_4H_{10} 뷰테인		
C_4H_{10} 아이소뷰테인 (2-메틸프로페인)		
C_6H_{12} 사이클로헥세인		

골격 구조식: 선 끝·꺾인 점 = 탄소, 팔 4개가 되도록 H를 채워 읽는다

그림 6. 같은 분자를 나타내는 세 가지 방법 — 뷰테인·아이소뷰테인(2-메틸프로페인)·사이클로헥세인을 분자식, 모든 원자와 결합을 그린 구조식, 탄소와 탄소에 붙은 수소를 생략한 골격 구조식으로 나타냈다. 골격 구조식에서는 선의 끝과 꺾인 점마다 탄소가 있고, 수소는 탄소의 팔이 네 개가 되도록 채워 읽는다.

하린 뷰테인과 아이소뷰테인은 분자식이 둘 다 C_4H_{10} 이네요. 그런데 구조식은 달라요. 하나는 일렬, 하나는 가운데 탄소에 셋이 붙었어요.

- 석 교수** 그렇다. 분자식은 원자 수만 알려 주고 연결 순서는 알려 주지 않는다. 그래서 같은 분자식에 다른 분자가 생길 수 있어. 이것이 4장의 이성질체다.
- 태오** 골격 구조식은 선만 있어서 처음엔 낯설어요. 수소는 어떻게 읽어요?
- 석 교수** 규칙은 두 가지다. 첫째, 선의 끝과 꺾인 점마다 탄소가 하나 있다. 둘째, 탄소의 팔은 네 개이니 그려진 선이 모자라는 만큼 수소가 붙어 있다. 뷰테인 골격을 읽어 보라.
- 태오** 꺾인 선이 점 4개니까 탄소 4개. 양 끝 탄소는 선이 하나라 수소 3개, 가운데 둘은 선이 둘이라 수소 2개씩. $3 + 2 + 2 + 3 = 10$ 이니까 C_4H_{10} 이예요.
- 하린** 사이클로헥세인은 육각형이니 꼭짓점 6개에 선이 둘씩, 수소도 둘씩이예요. 그럼 C_6H_{12} 이예요.
- 석 교수** 둘 다 맞다. 이 장의 그림은 원자 좌표를 계산해 그리면서 모든 탄소의 팔이 네 개인지, 분자식이 C_4H_{10} · C_6H_{12} 와 맞는지 하나하나 검산했다. 여러분도 골격 구조식을 볼 때마다 이 셈을 해 보면 실수가 없다.
- 이모** 같은 분자식인데 모양이 다르면 정말 다른 물질이예요? 시험에서 분자식만 주면 어떡해요?
- 석 교수** 정말 다른 물질이예요. 예를 하나 들면 C_2H_6O 라는 분자식에는 술의 성분인 에탄올(CH_3CH_2OH)과 스프레이 분사제로 쓰는 다이메틸 에터(CH_3OCH_3)가 있습니다. 에탄올은 $78^\circ C$ 에서 끓는 액체이고 다이메틸 에터는 $-24^\circ C$ 에서 끓어 실온에서 기체예요. 원자 아홉 개가 똑같은데 산소가 끝에 붙었느냐 가운데 끼었느냐만 다릅니다. 그래서 논술 답안에서는 분자식만 쓰지 말고 반드시 구조식을 그려야 합니다. 이 차이가 왜 생기는지는 4장과 6장에서 따집니다.

사슬·가지·고리

- 이모** 결국 탄소 뼈대 모양이 몇 가지로 나뉘는 거죠?
- 석 교수** 세 가지로 보면 됩니다. 탄소가 한 줄로 이어진 곧은 사슬(뷰테인), 사슬 중간에서 곁가지가 난 가지 사슬(아이소뷰테인), 사슬의 양 끝이 이어진 고리(사이클로헥세인)예요. 식용유의 지방산은 탄소 16~18개의 긴 곧은 사슬이고, 설탕은 산소가 낀 고리 두 개가 이어진 모양이고, 비닐 랩의 폴리에틸렌은 탄소 수천 개가 이어진 아주 긴 사슬이예요.
- 태오** 식초는요?
- 석 교수** 식초의 아세트산 CH_3COOH 는 탄소 두 개짜리 짧은 사슬 끝에 $-COOH$ 라는 원자 묶음이 붙어 있다. 이 묶음이 시큼한 맛과 산성을 만든다. 이렇게 뼈대에 붙어 성질을 정하는 원자 묶음을 작용기라고 하는데, 6장의 주제다.

1.5 이 단원의 길

- 석 교수** 이제 이 단원의 지도를 그려 보자. 네 단계다. 첫째, 골격을 본다. 사슬인지 고리인지, 단일 결합만 있는지 이중 결합이 있는지(2~3장). 둘째, 같은 원자로 다른 배열이 생기는 이성질체를 구별한다(4~5장). 셋째, 작용기를 읽어 끓는점·용해도·산성을 예측한다(6~7장). 넷째, 결합이 생기고 끊기는 반응(에스터화·치환·첨가·축합)을 배우고, 그 문법으로 고분자와 우리 몸의 지방·탄수화물·단백질을 읽는다(8~14장).
- 하린** 결국 “뼈대 → 얼굴 → 반응” 순서네요.
- 석 교수** 그렇다. 기출도 거의 이 순서로 묻는다. 구조를 그리게 하고, 성질을 설명하게 하고, 반응식과 몰 계산을 시킨다.

태오 그럼 답안에서도 그 순서로 쓰면 되겠네요. 구조식 먼저, 그다음 성질, 마지막에 계산.

석 교수 그렇다. 예를 들어 “왜 이 물질은 끓는점이 높은가”를 물으면 ① 구조식을 그리고 ② 어느 작용기가 어떤 분자 사이 힘을 만드는지 짚고 ③ 실측값이나 계산으로 크기를 보인다. 이 세 칸을 채우면 설명이 빈틈없어진다. 이 장에서 결합 에너지의 차이를 계산해 근거로 쓴 것이 바로 ③의 연습이었다.

이모 찬장 정리하다가 공부가 됐네요. 설탕, 식용유, 랩, 식초가 다 같은 탄소 이야기라니요.

석 교수 다음 시간에는 그중 가장 단순한 탄소 화합물, 탄소와 수소만으로 된 탄화수소부터 시작합니다. 가스레인의 불꽃이 그 이야기예요.

핵심 탄소 화합물을 읽는 4단계

1. 탄소는 원자가 전자 4개로 공유 결합 4개를 만든다. 단일 결합만 가진 탄소는 정사면체(결합 각 109.5°)다.
2. C-C 결합(348 kJ/mol)은 Si-Si(226)보다 1.54배 강하고, C-O로 바뀔 때 이득(10)이 Si-O의 경우(142)보다 훨씬 작아 탄소 사슬은 산소 속에서도 오래 버틴다.
3. 분자식은 원자 수만, 구조식은 연결 순서까지 보여 준다. 골격 구조식은 선의 끝·꺾인 점이 탄소이고, 팔 네 개를 채우는 수소를 숨겨 둔 것이다.
4. 탄소 뼈대는 곧은 사슬·가지 사슬·고리로 나뉘고, 뼈대에 붙은 작용기가 성질을 정한다.

스스로 풀어 보기

1. 메테인의 두 C-H 결합 방향을 (1, 1, 1)과 (-1, -1, 1)로 놓고 사잇각의 cos 값을 구하라.
2. 골격 구조식에서 꼭짓점 5개가 오각형으로 이어진 고리 탄화수소(사이클로펜테인)의 분자식을 구하라.
3. 설탕($C_{12}H_{22}O_{11}$) 34.2 g에 든 탄소의 몰수와 질량을 구하라(설탕 342.3 g/mol, C 12.01 g/mol).
4. 일산화 탄소와 탄산 칼슘이 탄소를 가졌는데도 무기물로 분류되는 까닭을 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 **기출문제 8**(고려대 2010) (277쪽)는 이 장의 “탄소 뼈대 그리기”에서 출발한다. 이 논제는 C_4H_8 의 시스·트랜스 쌍(2-뷰텐)과 C_7H_{16} 의 거울상 쌍(3-메틸헥세인)을 놓고 포화 탄화수소의 구조, 기하 이성질체, 거울상 이성질체, 연소열, 혼합물 분리를 한데 묶어 묻는다. 다섯 요소 모두 이 장에서 익힌 “탄소의 네 팔과 골격 구조식”을 그릴 수 있어야 풀 수 있다.

이 장의 참고문헌

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.

McMurry, J. (2016). Organic chemistry (9th ed.). Cengage Learning.

Wöhler, F. (1828). Ueber künstliche Bildung des Harnstoffs. Annalen der Physik, 88(2), 253–256.

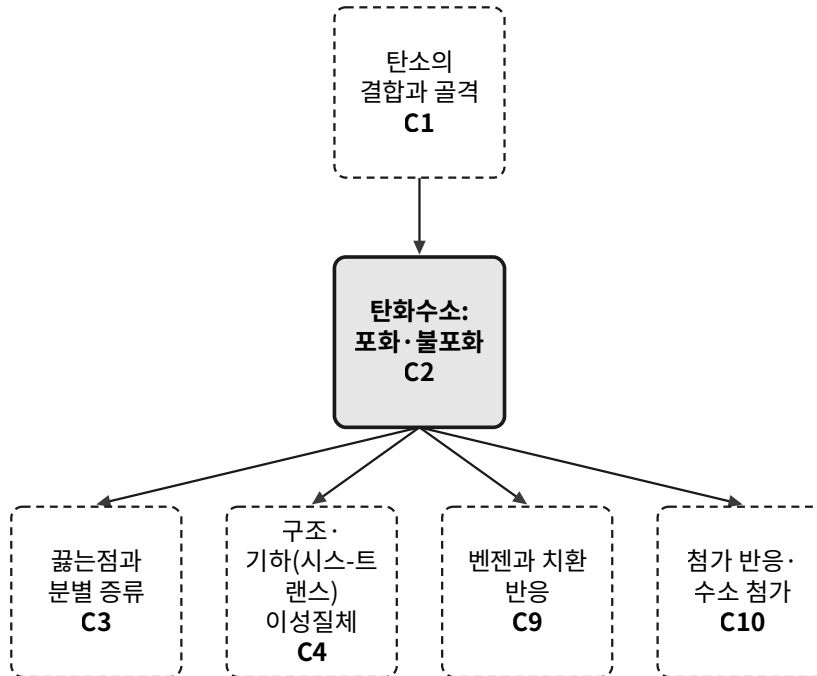
<https://doi.org/10.1002/andp.18280880206>

제 2장 탄화수소: 사슬과 고리, 포화와 불포화

새 개념 알케인 · 알켄 · 알카인 · 고리 탄화수소 · 일반식과 불포화도 · 명명법 기초 · 완전 연소

이어짐 끓는점 3장 · 이성질체 4장 · 벤젠 9장 · 첨가 반응 10장

이 장의 개념도



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

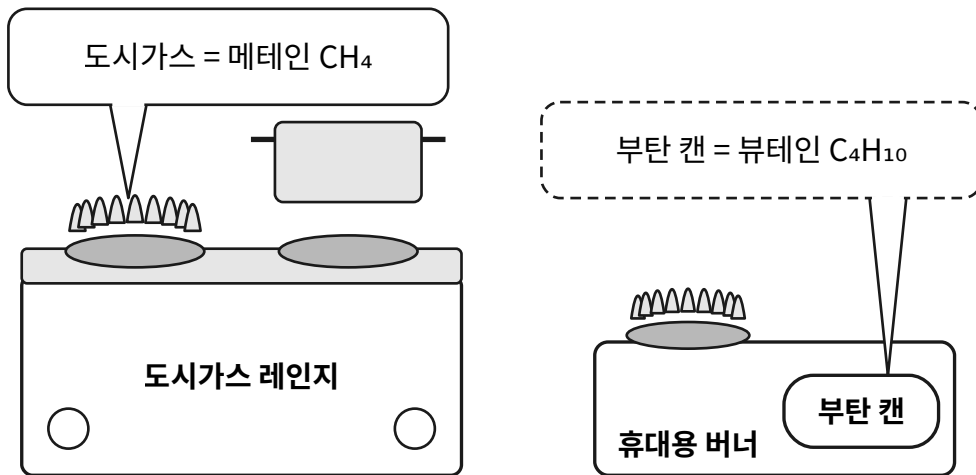
그림 7. 제 2장에서 배우는 개념(C2 탄화수소: 포화·불포화)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

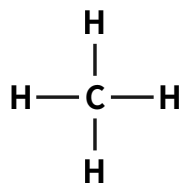
이 장의 개념은 기출에서 직접 묻기보다 다른 장의 개념을 받치는 바탕으로 쓰였다.

가스레인지와 휴대용 버너

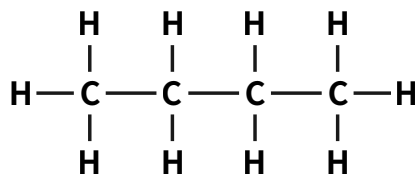
도시가스(메테인)과 부탄 캔(뷰테인) — 둘 다 포화 탄화수소



둘 다 단일 결합만 — 포화 탄화수소



메테인 CH₄



뷰테인 C₄H₁₀

타면 CO₂와 H₂O만 생긴다(완전 연소)

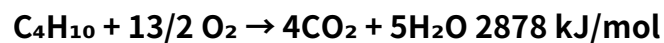
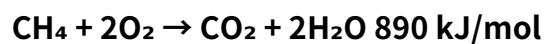


그림 8. 가스레인지의 도시가스(LNG, 주성분 메테인)와 휴대용 버너의 부탄 캔(뷰테인) — 둘 다 단일 결합만 가진 포화 탄화수소이고, 완전히 타면 이산화 탄소와 물이 된다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 도시가스의 메테인과 부탄 캔의 뷰테인은 단일 결합만 가진 포화 탄화수소다.
2. 탄소 수가 많은 탄화수소일수록 한 물이 탈 때 내는 열(연소열)이 크다.
3. 탄화수소가 완전히 타면 이산화 탄소와 물만 생긴다.

이 장의 출발점

1장의 탄소의 네 팔(공유 결합 4개)과 골격 구조식 읽기, 결합 에너지의 뜻, 그리고 화학 반응식의 계수 맞추기와 몰 계산(질량 → 몰 → 질량)을 쓴다. 반응열은 “1몰이 반응할 때 나오는 열”이라는 뜻만 알면 된다.

저녁 무렵 이모가 가스레인지에 찌개를 올리고, 태오는 마당 캠핑 의자 옆에서 휴대용 버너에 부탄 캔을 끼우고 있었다. 하린이 두 불꽃을 번갈아 보다가 석 교수에게 물었다.

하린 교수님, 가스레인지 가스랑 부탄 캔 가스는 같은 거예요? 둘 다 파란 불이 나는데요.

석 교수 둘 다 탄소와 수소만으로 된 분자, 곧 탄화수소다. 가스레인지의 도시가스는 주성분이 메테인 CH_4 이고, 부탄 캔은 뷰테인 C_4H_{10} (옛 이름 부탄)이 주성분이야. 탄소 수가 하나나 넷이냐의 차이지.

태오 탄화수소가 제일 단순한 유기 화합물이라고 하셨죠. 그럼 오늘은 그 가족을 다 정리하는 날이네요.

석 교수 그렇다. 탄화수소를 결합의 종류로 나누고, 이름 붙이는 법을 익히고, 마지막에 불꽃의 열을 계산하자.

2.1 포화와 불포화

석 교수 탄소끼리 단일 결합으로만 이어진 사슬 탄화수소를 알케인(옛 알칸)이라고 한다. 메테인, 에테인, 프로페인, 뷰테인이 모두 알케인이다. 탄소의 팔이 모두 수소로 꽉 차 있어서 “포화” 탄화수소라고도 해.

하린 꽉 찼다는 게 무슨 뜻이에요?

석 교수 더 이상 수소를 받아들일 팔이 없다는 뜻이다. 그럼 탄소가 n 개인 알케인에 수소가 몇 개인지 세어 보자. 탄소 n 개의 팔은 모두 $4n$ 개다. 탄소 n 개를 한 줄로 이으려면 C-C 결합이 $n-1$ 개 필요하고, 결합 하나에 팔이 두 개씩 드니 $2(n-1)$ 개의 팔이 쓰인다.

태오 남은 팔은 $4n - 2(n-1) = 2n + 2$ 개. 그게 다 수소니까 알케인은 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ 예요.

석 교수 맞다. 메테인 $n = 1$ 이면 CH_4 , 뷰테인 $n = 4$ 이면 C_4H_{10} . 가지가 있어도 C-C 결합 수는 $n-1$ 개라서 공식은 같다. 이제 이중 결합이 하나 있으면 어떻게 될까?

하린 이중 결합은 팔을 두 개씩 쓰니까…… 수소 자리가 두 개 줄어요. C_nH_{2n} 이요!

석 교수 그렇다. 탄소-탄소 이중 결합을 하나 가진 사슬 탄화수소를 알켄이라고 하고 일반식이 C_nH_{2n} 이다. 에텐 C_2H_4 (옛 에틸렌)이 가장 단순하다. 삼중 결합이 하나 있는 알카인(옛 알킨)은 수소 자리가 넷 줄어 $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$ 이고, 에타인 C_2H_2 (옛 아세틸렌)이 대표다. 알켄과 알카인처럼 다중 결합이 있어 수소를 더 받아들일 수 있는 것을 “불포화” 탄화수소라고 한다.

이모 그런데 1장에서 본 사이클로헥세인은 C_6H_{12} 였잖아요. $2n$ 이면 알켄 공식인데, 그건 이중 결합이 없었어요.

석 교수 날카로우세요. 고리를 하나 만들면 사슬 양 끝을 잇는 C-C 결합이 하나 더 생겨서, 이중 결합 하나를 만든 것과 똑같이 수소 자리가 두 개 줄어요. 그래서 사이클로알케인도 C_nH_{2n} 입니다. 분자식만으로는 고리인지 이중 결합인지 구별할 수 없다는 뜻이에요. 이 둘을 한꺼번에 세는 수가 불포화도입니다.

$$\text{불포화도} = (2C + 2 - H) \div 2 \quad (C, H \text{는 탄소·수소 원자 수})$$

하린 고리는 몇 개짜리든 만들 수 있어요? 탄소 세 개로 삼각형도요?

석 교수 사이클로프로페인 C_3H_6 이 실제로 있다. 그런데 삼각형의 내각은 60° 라서 탄소가 좋아하
는 109.5° 에서 한참 벗어나. 억지로 구부린 결합이라 에너지가 높고 쉽게 고리가 열린다.
이것을 고리 무리(고리 변형)라고 한다. 오각형·육각형 고리는 탄소가 평면에서 살짝 비틀
어 앉으면 109.5° 에 가까운 각을 낼 수 있어서 안정하다. 자연의 고리 화합물에 5원자·6
원자 고리가 많은 이유다.

석 교수 알케인에서 수소가 두 개 모자랄 때마다 1씩 늘어난다. 이중 결합 하나 또는 고리 하나가
1, 삼중 결합 하나가 2다.

태오 벤젠 C_6H_6 이면 $(12 + 2 - 6) \div 2 = 4$ 예요. 고리 하나에 이중 결합 셋이라 $1 + 3 = 4$, 딱
맞네요.

석 교수 벤젠이 왜 그렇게 특별한지는 9장에서 다룬다. 분자식에서 불포화도를 먼저 구하는 습관
이 구조를 추리하는 첫걸음이다.

문제 2.1

물질량이 72 g/mol인 알케인의 분자식을 구하고, 불포화도가 0임을 확인하라(시험값 C 12, H
1).

태오 알케인은 C_nH_{2n+2} 니까 물질량은 $12n + (2n + 2) = 14n + 2$ 예요. $14n + 2 = 72$, $14n =$
 70 , $n = 5$. C_5H_{12} 예요.

하린 불포화도는 $(2 \times 5 + 2 - 12) \div 2 = 0$ 이에요.

석 교수 정답이다. C_5H_{12} , 불포화도 0. 이 분자식의 실제 물질은 펜테인인데, 탄소 다섯 개를 있
는 방법이 세 가지라서 이성질체가 셋 있다. 4장에서 직접 그려 볼 거야.

2.2 결합의 모양과 세기: 단일·이중·삼중

석 교수 이제 결합 자체를 비교하자. 그림 9에 에테인·에텐·에타인을 나란히 그렸다.

결합 차수가 커질수록: $109.5^\circ \rightarrow 120^\circ \rightarrow 180^\circ$

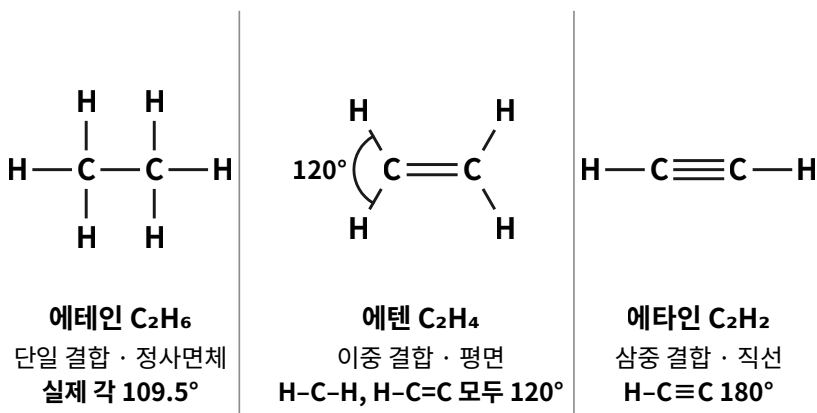


그림 9. 탄소 두 개짜리 탄화수소의 결합과 모양 — 에테인(단일 결합, 탄소 둘레 정사면체 109.5°), 에텐(이중 결합, 평
면 120°), 에타인(삼중 결합, 직선 180°). 모든 탄소의 결합 차수 합이 4가 되도록 원자 좌표를 계산해 그렸다(에테인
은 평면에 펼쳐 그렸다).

하린 결합이 많아질수록 모양이 납작해지다가 일자가 되네요.

석 교수 탄소 둘레의 전자 구역 수가 줄어서 그렇다. 단일 결합만 있으면 결합 네 개가 정사면체로 퍼지고(109.5°), 이중 결합이 있으면 이중 결합을 한 덩어리로 보아 세 방향으로 퍼지니 평면 삼각형(120°), 삼중 결합이면 두 방향뿐이라 직선(180°)이 된다. 결합 길이와 결합 에너지도 함께 보자.

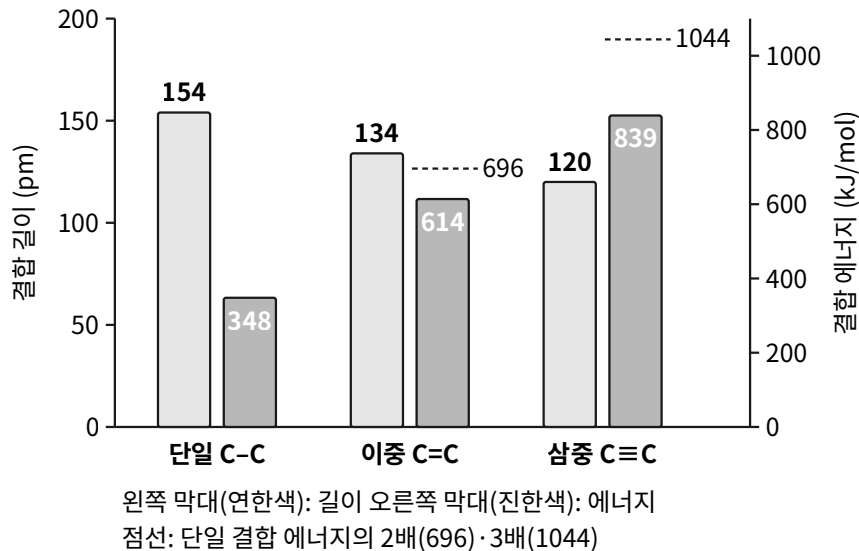


그림 10. 탄소-탄소 결합의 결합 차수에 따른 결합 길이(왼쪽 막대, pm)와 결합 에너지(오른쪽 막대, kJ/mol) — 단일 154 pm · 348, 이중 134 pm · 614, 삼중 120 pm · 839. 점선은 단일 결합 에너지의 2배(696)와 3배(1044)로, 실제 이중·삼중 결합은 그보다 약하다.

태오 결합이 많을수록 짧고 세지네요. 그런데 이중 결합 614가 단일 결합 348의 두 배 696보다 작아요.

석 교수 그 차이가 이 단원 전체에서 아주 중요하다. 이중 결합은 똑같은 결합 둘이 아니다. 하나는 단일 결합과 같은 강한 결합이고, 다른 하나는 두 탄소 위아래로 전자 구름이 겹친 약한 결합이야. 이것을 각각 σ (시그마) 결합, π (파이) 결합이라고 부른다(교과 밖 심화). $614 - 348 = 266 \text{ kJ/mol}$ 이 π 결합 몫이니 단일 결합보다 82 kJ/mol 약하다.

하린 약한 쪽이 먼저 끊어지겠네요.

석 교수 그래서 알켄은 알케인보다 반응을 잘한다. π 결합 하나를 끊고 그 자리에 원자를 더 붙이는 반응을 첨가 반응이라고 하는데, 10장에서 기름을 굳히고 비닐을 만드는 반응으로 다시 만난다. 지금은 “이중 결합 = 반응하는 자리”라고 기억해 두면 된다. 표 4에 세 가족을 정리했다.

표 4. 사슬 탄화수소 세 가족의 비교 — 결합 각·길이·에너지는 탄소-탄소 결합 기준(Brown 외, 2018의 표값)

구분	알케인	알켄	알카인
탄소-탄소 결합	단일 C-C	이중 C=C 하나	삼중 C≡C 하나
일반식(사슬)	C_nH_{2n+2}	C_nH_{2n}	C_nH_{2n-2}
결합 각과 모양	109.5° , 정사면체	120° , 평면	180° , 직선
결합 길이·에너지	154 pm, 348 kJ/mol	134 pm, 614 kJ/mol	120 pm, 839 kJ/mol
대표 물질	메테인 CH_4 (도시가스)	에텐 C_2H_4 (과일 숙성)	에타인 C_2H_2 (용접 불꽃)

구분	알케인	알켄	알카인
반응성	낮음(치환·연소)	첨가 반응을 잘 함	첨가 반응을 잘 함

태오 모양 말고 또 다른 점은 없어요?

석 교수 하나 더 있다. 단일 결합은 축을 중심으로 자유롭게 돈다. 에테인의 두 CH_3 는 실온에서 1초에 수십억 번씩 빙글빙글 돌아. 그런데 이중 결합은 돌지 않는다. 돌리려면 위아래로 겹친 π 결합을 끊어야 하는데 266 kJ/mol이나 들거든. 그래서 이중 결합 양쪽에 붙은 원자들의 배치가 고정되고, 이것이 4장의 시스·트랜스 이성질체를 만든다. 올리브유와 버터의 차이, 트랜지지방 이야기의 출발점이 바로 이 “돌지 않는 결합”이야.

하린 삼중 결합은 어디에 써요?

석 교수 에타인을 산소와 함께 태우면 3000 °C가 넘는 불꽃이 나온다. 그래서 쇠를 자르고 붙이는 산소-아세틸렌 용접에 쓴다. 에타인은 원소(탄소와 수소)에서 만들어질 때 에너지를 227 kJ/mol이나 품는 분자라 탈 때 그만큼 더 내놓고, 데워야 할 생성물 기체는 적어서 불꽃 온도가 높게 올라간다.

이모 같은 탄소 두 개인데 결합 하나 차이로 과일을 익히는 기체도 되고 쇠를 자르는 불꽃도 되네요.

석 교수 그게 유기 화학의 재미예요. 원자 몇 개, 결합 하나의 차이가 성질을 크게 바꿉니다. 이 권내내 “무엇이 달라졌기에 성질이 달라졌나”를 묻게 될 거예요.

이모 에텐이 과일을 익게 한다는 건 들은 적 있어요. 사과랑 바나나를 같이 두면 빨리 익는다고요.

석 교수 네, 사과가 내뿜는 에텐이 식물 호르몬으로 작용해서 바나나의 숙성을 앞당겨요. 탄소 두 개짜리 작은 분자가 그런 일을 한다니 재미있지요.

2.3 이름 붙이기

석 교수 이름 붙이는 규칙을 알면 이름만 보고 구조를 그릴 수 있다. 국제 순수·응용 화학 연맹(IUPAC, International Union of Pure and Applied Chemistry)이 정한 체계를 쓰는 데, 고등학교에서는 기초만 알면 된다. 표 5가 빠대다.

표 5. 탄소 수를 나타내는 어근과 알케인·알켄의 이름 — 2015 개정 교과 용어(괄호는 옛 용어)

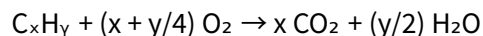
탄소 수	어근	알케인(-에인)	분자식	알켄(-엔)
1	메트-	메테인(메탄)	CH_4	없음
2	에트-	에테인(에탄)	C_2H_6	에텐(에틸렌)
3	프로프-	프로페인(프로판)	C_3H_8	프로펜(프로필렌)
4	뷰트-	뷰테인(부탄)	C_4H_{10}	뷰텐(부텐)
5	펜트-	펜테인(펜탄)	C_5H_{12}	펜텐
6	헥스-	헥세인(헥산)	C_6H_{14}	헥센
7	헵트-	헵테인(헵탄)	C_7H_{16}	헵텐
8	옥트-	옥테인(옥탄)	C_8H_{18}	옥텐

태오 다섯부터는 그리스 숫자네요. 펜타곤이 오각형인 것처럼요.

- 석 교수** 그렇다. 규칙은 세 가지만 기억하자. 첫째, 가장 긴 탄소 사슬을 찾아 어근을 정한다. 둘째, 단일 결합만이면 -에인, 이중 결합이 있으면 -엔, 삼중 결합이면 -아인을 붙인다. 셋째, 이중 결합이나 가지의 위치를 사슬 끝에서 번호를 매겨 앞에 붙이되, 번호가 작아지는 쪽 끝에서 센다.
- 하린** 그럼 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ 는요? 탄소 넷에 이중 결합이니까 뷰텐인데, 이중 결합이 1번과 2번 탄소 사이에 있으니까 1-뷰텐이네요.
- 석 교수** 맞다. 반대쪽 끝에서 세면 3-뷰텐이 되지만 작은 번호를 쓰니 1-뷰텐이다. $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$ 는 2-뷰텐이고. 가지가 있으면 가지 이름(탄소 하나 가지는 메틸, 둘은 에틸)과 위치를 앞에 쓴다. 1장의 아이소뷰테인은 가장 긴 사슬이 탄소 셋(프로페인)이고 2번 탄소에 메틸이 붙었으니 2-메틸프로페인이다.
- 태오** 그럼 이건요? $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}_3$. 탄소가 다섯이니까 펜테인 아니에요?
- 석 교수** 탄소 수는 맞지만 펜테인은 다섯이 한 줄로 이어진 것만 가리킨다. 괄호 속 CH_3 는 2번 탄소에 매달린 가지야. 가장 긴 사슬을 다시 세어 보라.
- 태오** 어느 끝에서 출발해도 한 줄로 이어지는 탄소는 넷이네요. 그럼 뷰테인 사슬의 2번에 메틸이 붙었으니 2-메틸뷰테인이요.
- 석 교수** 맞다. 2-메틸뷰테인, 옛 이름으로 아이소펜테인이다. 분자식은 C_5H_{12} 로 문제 2.1의 펜테인과 같지. 반대로 “1-메틸뷰테인”처럼 끝 탄소에 메틸을 붙인 이름이 나오면 사슬을 잘못 고른 것이다. 끝에 붙은 메틸은 가지가 아니라 사슬의 연장이라서, 실제로는 펜테인이거든. 5장에서 쓸 3-메틸헥세인도 같은 방법으로 읽는다. 탄소 여섯 개 사슬의 3번 탄소에 메틸이 하나 붙은 C_7H_{16} 이다.
- 하린** 삼중 결합도 똑같이 하면 되죠? $\text{CH}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$ 는 탄소 셋에 삼중 결합이니까 프로파인이요.
- 석 교수** 맞다. 삼중 결합이 1번 자리에 있지만 탄소가 셋뿐이라 어느 끝에서 세도 1번이니 번호를 생략하고 프로파인이라고 해도 된다.
- 태오** 고리는 앞에 사이클로를 붙이고요. 사이클로헥세인처럼.
- 석 교수** 그렇다. 이 정도면 이 권의 기출에 나오는 이름은 모두 읽을 수 있다.

2.4 탄화수소의 완전 연소와 연소열

- 석 교수** 이제 불꽃 이야기다. 탄화수소가 산소와 충분히 반응해 이산화 탄소와 물만 남기는 것을 완전 연소라고 한다. 탄소 x 개, 수소 y 개인 탄화수소의 반응식은 이렇게 쓴다.



- 하린** 메테인이면 $x = 1, y = 4$ 니까 $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 예요.
- 석 교수** 맞다. 이때 1몰이 타면서 내놓는 열을 연소열이라고 한다. 메테인은 890 kJ/mol, 에테인 1560, 프로페인 2220, 뷰테인 2878이다. **그림 11**에 탄소 수에 대해 짚었다.

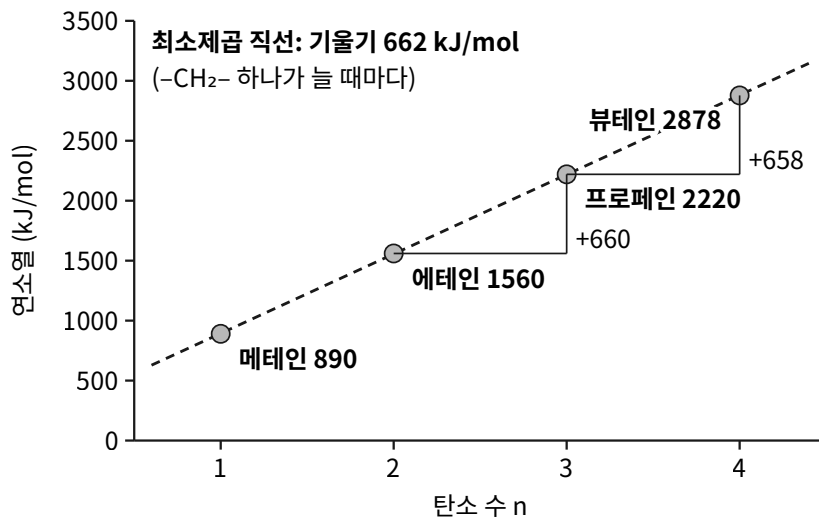


그림 11. 곧은 사슬 알케인 네 가지의 연소열(25 °C, kJ/mol)과 탄소 수의 관계 — 점은 실측값(메테인 890, 에테인 1560, 프로페인 2220, 뷰테인 2878)이고, 직선은 네 점의 최소제곱 직선(기울기 662 kJ/mol). 탄소 하나(-CH₂-)가 늘 때마다 연소열이 약 650~660 kJ/mol씩 커진다.

태오 거의 직선이네요. 기울기가 662면 탄소 하나 늘 때마다 662씩 늘어나는 거네요.

석 교수 탄소 하나가 늘면 분자에 -CH₂- 단위 하나가 끼어든다. 이 단위가 타면서 CO₂ 하나와 H₂O 하나를 새로 만드니, 늘어나는 열이 거의 일정한 거야. 교과서에서는 보통 “CH₂ 하나에 약 650 kJ/mol”이라고 쓴다.

이모 그럼 부탄 캔이 도시가스보다 더 뜨거운 불이네요?

석 교수 1몰을 비교하면 뷰테인이 메테인의 3배가 넘는 열을 내요. 하지만 1그램으로 비교하면 달라집니다. 메테인은 $890 \div 16.04 = 55.5$ kJ/g, 뷰테인은 $2878 \div 58.12 = 49.5$ kJ/g 이에요. 같은 무게면 오히려 메테인이 조금 더 많은 열을 냅니다. 수소의 비율이 높기 때문인데, 이 이야기는 3장의 연료 비교와 12장의 지방 에너지에서 다시 나와요.

연소열을 결합 에너지로 어렵하기

태오 메테인 890이라는 숫자는 결합 에너지로 계산할 수도 있어요? 1장에서 결합 에너지를 배웠으니까요.

석 교수 어렵할 수 있다. 반응은 결합을 끊고(에너지를 넣고) 새 결합을 만드는(에너지가 나오는) 과정이다. 메테인이 탈 때 끊는 결합은 C-H 4개와 O=O 2개, 새로 만드는 결합은 CO₂의 C=O 2개와 물의 O-H 4개야. 표값(kJ/mol)은 C-H 413, O=O 495, CO₂의 C=O 799, O-H 463이다.

태오 끊는 데 $4 \times 413 + 2 \times 495 = 1652 + 990 = 2642$, 만들 때 나오는 게 $2 \times 799 + 4 \times 463 = 1598 + 1852 = 3450$. 나오는 쪽이 $3450 - 2642 = 808$ kJ 더 커요.

석 교수 그렇다. 약 808 kJ/mol이 방출된다는 어렵이다. 이 계산은 물이 기체로 생길 때의 값이고, 물이 액체로 응축하는 열(2몰에 약 88 kJ)까지 더하면 약 896 kJ/mol로 실측 890에 가까워진다. 평균 결합 에너지로 한 어렵치고는 잘 맞지. 연소가 큰 열을 내는 이유는 결국 C=O와 O-H라는 강한 결합이 새로 생기기 때문이다.

문제 2.2

프로페인 22 g이 완전 연소할 때의 반응식을 쓰고, 생기는 이산화 탄소의 질량과 나오는 열을 구하라(시험값 C 12, H 1, O 16; 프로페인 연소열 2220 kJ/mol).

태오 반응식은 $x = 3, y = 8$ 이니까 $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$ 예요. 프로페인 물질량은 $36 + 8 = 44 \text{ g/mol}$ 이니까 22 g은 0.50 mol이에요.

하린 CO_2 는 프로페인의 3배니까 1.5 mol, 44 g/mol을 곱하면 66 g이에요.

태오 열은 $0.50 \times 2220 = 1110 \text{ kJ}$ 이요.

석 교수 셋 다 정답이다. 반응식 $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$, CO_2 66 g, 열 1110 kJ. 정밀한 원자량(C 12.01, H 1.008)으로 하면 $22 \div 44.09 = 0.499 \text{ mol}$ 이라 CO_2 65.9 g, 열 1108 kJ로 거의 같다. 문제에서 원자량을 주면 그 값을 쓰는 것이 원칙이다.

이모 산소는 얼마나 필요해요? 캠핑할 때 텐트 안에서 버너를 쓰면 위험하다던데요.

석 교수 프로페인 0.50 mol에 산소가 5배인 2.5 mol, 80 g이 필요해요. 산소가 모자라면 탄소가 이산화 탄소까지 가지 못하고 일산화 탄소 CO로 남는 불완전 연소가 일어나요. 일산화 탄소는 혈액의 헤모글로빈에 산소보다 훨씬 강하게 붙어서 아주 위험합니다. 닫힌 텐트 안에서 버너를 켜면 안 되는 이유예요.

핵심 탄화수소를 분류하고 계산하는 4단계

1. 분자식에서 불포화도 $(2C + 2 - H) \div 2$ 를 구한다. 0이면 사슬 알케인, 1이면 이중 결합 하나 또는 고리 하나, 2이면 삼중 결합 하나 등.
2. 일반식: 알케인 C_nH_{2n+2} , 알켄·사이클로알케인 C_nH_{2n} , 알카인 C_nH_{2n-2} . 물질량이 주어지면 $14n + 2$ 같은 식으로 n 을 구한다.
3. 결합 차수가 커지면 짧고 강해지지만 이중 결합(614)은 단일 결합의 2배(696)보다 약하다. 약한 π 결합이 첨가 반응의 자리다.
4. 완전 연소 $C_xH_y + (x + y/4)O_2 \rightarrow xCO_2 + (y/2)H_2O$. 연소열은 탄소 하나에 약 650 kJ/mol씩 커진다.

스스로 풀어 보기

1. 분자식 C_7H_{12} 의 불포화도를 구하고, 가능한 구조의 예를 두 가지 말로 쓰라.
2. $CH_3-CH_2-CH=CH-CH_3$ 의 이름을 쓰라.
3. 뷰테인 5.8 g(0.10 mol)이 완전 연소할 때 필요한 산소의 몰수와 생기는 물의 질량을 구하라(H_2O 18 g/mol).
4. 알케인의 연소열이 탄소 하나에 약 650 kJ/mol씩 커진다고 할 때, 펜테인(C_5H_{12})의 연소열을 뷰테인 값(2878)에서 어림하라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 **기출문제 7**(서울시립대 2011) (265쪽)은 원유에서 얻는 연료(LNG·LPG)를 묻는데, 그 출발점이 이 장의 메테인·프로페인·뷰테인의 구조와 완전 연소다. **기출문제 8**(고려대 2010) (277쪽)의 연소열 비교 요소도 이 장의 “탄소 하나에 약 650 kJ/mol”과 반응식 계수 맞추기로 푼다.

이 장의 참고문헌

- 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.
- Favre, H. A., & Powell, W. H. (2013). Nomenclature of organic chemistry: IUPAC recommendations and preferred names 2013. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849733069>
- McMurry, J. (2016). Organic chemistry (9th ed.). Cengage Learning.

제 3장 원유에서 휘발유까지: 끓는점과 분별 증류

새 개념 분산력과 탄소 수 · 가지와 끓는점 · 분별 증류탑 · 라울 법칙 기초 · LNG와 LPG · 크래킹과 리포밍
이어짐 분자 사이의 힘(선수) · 고분자 11장 · 연료와 환경 14장

이 장의 개념도

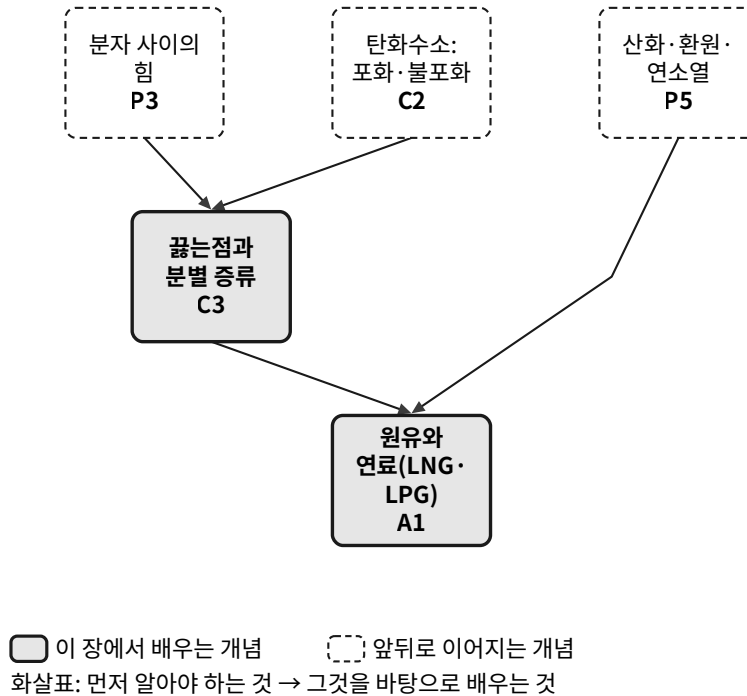


그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C3 끓는점과 분별 증류, A1 원유와 연료(LNG·LPG))과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

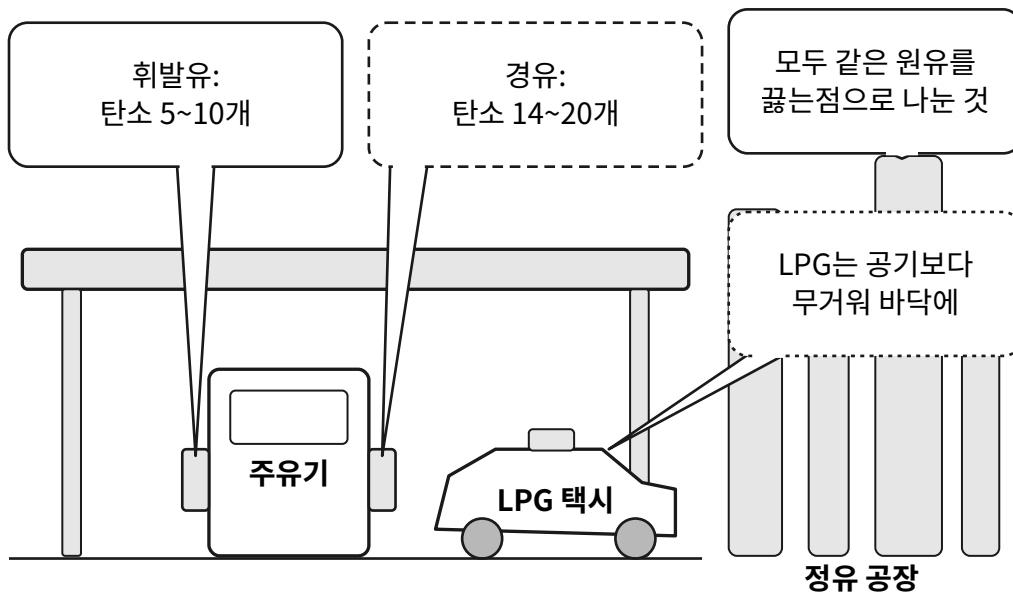
이 장의 개념이 쓰인 기출

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

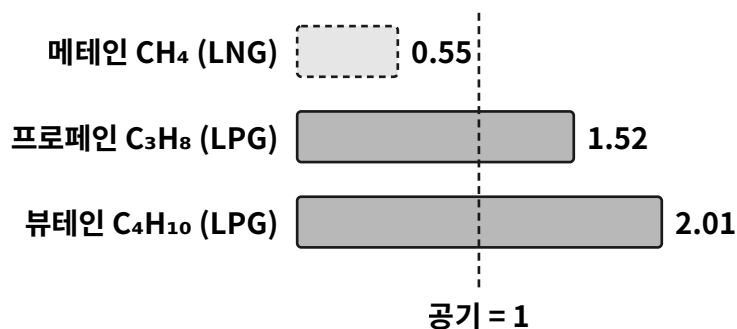
기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 7 (서울시립대 2011년) (265쪽)	원유에서 나일론까지 — 분별 증류·연료·고분자	C3 끓는점과 분별 증류; A1 원유와 연료 (LNG·LPG)
기출 8 (고려대 2010년) (277 쪽)	기하·거울상 이성질체의 연소열과 분리	C3 끓는점과 분별 증류

주유소와 정유 공장

휘발유·경유·LPG — 같은 원유를 끓는점으로 나눈 것



공기 대비 상대 밀도 = 물질량 ÷ 28.97



LNG → 천장 쪽 경보기 LPG → 바닥 쪽 경보기

그림 13. 주유소의 휘발유·경유 노즐과 LPG 택시, 지붕 너머 정유 공장의 증류탑 — 같은 원유를 끓는점 차이로 나눈 탄화수소들이다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

- 탄소 수가 많은 탄화수소일수록 끓는점이 높다(휘발유 탄소 5~10개, 경유 14~20개).
- 분별 증류탑은 끓는점 차이로 원유를 여러 분획으로 나눈다.
- LNG(메테인)는 공기보다 가볍고 LPG(프로페인·뷰테인)는 공기보다 무거워 바닥에 고인다.

이 장의 출발점

2장의 알케인 일반식과 이름, 분자 사이의 힘(분산력·쌍극자 힘·수소 결합) 중 분산력의 뜻, 그리고 기체의 물질량과 밀도가 비례한다는 사실(같은 온도·압력에서 기체 1몰의 부피는 같다)을 쓴다. 증기압은 “액체 위에서 증기가 내는 압력, 온도가 오르면 커진다”까지만 알면 된다.

토요일 아침, 석 교수의 낡은 승용차에 기름을 넣으러 읍내 주유소에 들렀다. 주유기에는 휘발유와 경유 노즐이 나란히 걸려 있고, 옆 충전소에서는 LPG 택시가 가스를 넣고 있었다. 멀리 고속도로 표지판에는 정유 공장 방향이 적혀 있었다.

태오 교수님, 휘발유랑 경유는 둘 다 원유에서 나온다면데요. 그럼 원유를 어떻게 둘로 나눠요?

석 교수 끓는점으로 나눈다. 원유는 탄소 1개짜리부터 수십 개짜리까지 수백 가지 탄화수소가 섞인 혼합물이야. 크기가 다르면 끓는점이 다르니, 온도를 단계적으로 바꿔 가며 끓여 나오는 성분을 따로 모으면 된다.

이모 왜 크기가 다르면 끓는점이 달라져요? 다 탄소와 수소인데요.

석 교수 그게 오늘의 첫 질문이에요. 끓는다는 것은 분자들이 서로 붙잡는 힘을 끊고 기체로 날아가는 것이니, 분자 사이의 힘이 클수록 늦게 끓습니다.

3.1 왜 큰 분자일수록 늦게 끓나

석 교수 탄화수소는 C-H 결합의 극성이 아주 작아 분자 전체가 거의 무극성이다. 그런데 무극성 분자끼리도 약하게 끌어당긴다. 분자 안의 전자 구름은 늘 출렁이고 있어서, 어느 순간 한 쪽에 전자가 몰리면 잠깐 쌍극자가 생기고, 그것이 옆 분자의 전자 구름을 밀고 당겨 또 쌍극자를 만든다. 이 순간 쌍극자끼리의 인력을 분산력(런던 분산력)이라고 한다.

하린 순간적이라면 아주 약하겠네요.

석 교수 분자 하나하나의 접촉에서는 약하다. 그런데 분자가 길어지면 전자가 많아져 더 크게 출렁이고, 옆 분자와 맞닿는 면도 넓어진다. 접촉점이 많을수록 힘을 다 더하면 커지지. 그림 14를 보자.

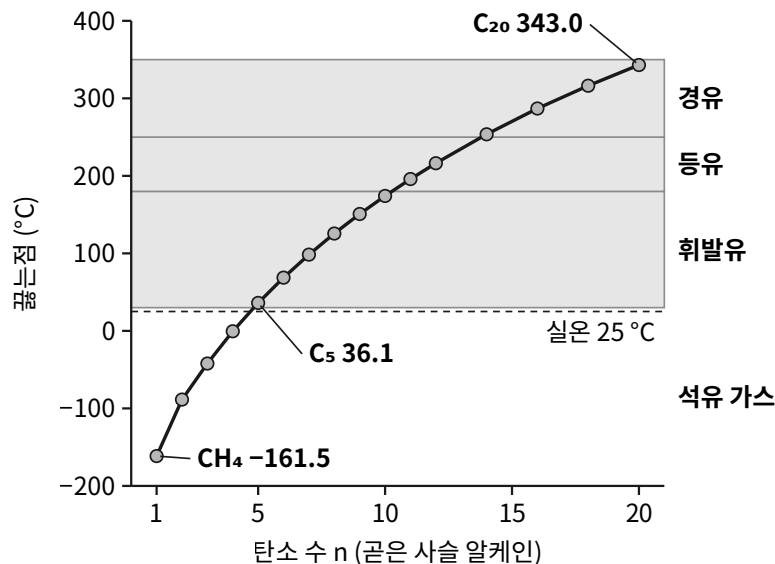


그림 14. 곧은 사슬 알케인의 끓는점(1 atm 실측값)과 탄소 수 — 메테인 -161.5°C 에서 C_{20} 343.0°C 까지 탄소 수가 늘수록 끓는점이 오른다. 가로 점선은 실온 25°C , 배경 띠는 분별 증류탑의 분획(석유 가스·휘발유·등유·경유) 범위다. 탄소가 하나 늘 때 오르는 폭은 작은 분자에서 크고($\text{C}_1 \rightarrow \text{C}_2$ 73°C) 긴 사슬에서 작아진다($\text{C}_{18} \rightarrow \text{C}_{20}$ 27°C).

태오 탄소 넷까지는 실온 점선 아래라 기체고, 다섯부터는 액체네요. 펜테인이 36.1°C 니까요.

석 교수 그렇다. 그래서 도시가스(C_1)와 부탄 캔(C_4)은 기체 연료, 휘발유($\text{C}_5 \sim \text{C}_{10}$)는 액체 연료다. 곡선이 위로 갈수록 완만해지는 것도 보라. 메테인에서 에테인으로 탄소 하나가 늘면 73°C 가 오르지만, C_{18} 에서 C_{20} 으로 둘이 늘어도 27°C 오른다. 분자가 클수록 탄소 하나가 보태는 몫의 비율이 작아지기 때문이다.

이모 그런데 휘발유는 끓는점이 실온보다 높은데도 뚜껑을 열어 두면 금방 날아가고 냄새도 나잖아요. 끓지 않는데 어떻게 날아가요?

석 교수 끓는 것과 증발하는 것은 달라요. 증발은 끓는점보다 낮은 온도에서도 액체 표면에서 일어납니다. 분자들의 에너지는 제각각이라 그중 힘센 분자가 표면에서 빠져나가거든요. 그 증발하려는 경향이 증기압이고, 끓는다는 것은 증기압이 바깥 압력(1 atm)과 같아져 액체 속에서도 기포가 생기는 상태예요. 휘발유의 가벼운 성분인 펜테인·헥세인은 실온에서도 증기압이 커서 빨리 날아가고, 경유의 긴 사슬은 증기압이 작아 잘 날아가지 않습니다. 그래서 휘발유 쪽이 불이 붙기 쉬워 다루기가 더 위험해요.

같은 탄소 수라도 가지가 많으면

이모 그럼 탄소 수가 같으면 끓는점도 같아요?

석 교수 아니요, 모양이 달라집니다. C_5H_{12} 에는 세 이성질체가 있는데 펜테인은 36.1°C , 2-메틸뷰테인(아이소펜테인)은 27.7°C , 2,2-다이메틸프로페인(네오펜테인)은 9.5°C 에서 끓어요. 가지가 많을수록 낮아집니다.

하린 분자량은 똑같은데요?

석 교수 모양을 떠올려 보라. 곧은 사슬은 연필처럼 길쭉해서 옆 분자와 길게 맞닿는다. 가지가 많으면 공처럼 둥글어져 맞닿는 면이 줄어든다. 연필 다발과 구슬 무더기를 생각하면 된다. 접촉 면적이 줄면 분산력이 약해지니 끓는점이 낮아진다. 이 세 분자는 4장에서 그림으로 다시 본다.

이모 연필 다발은 꼭 붙잡혀 잘 안 흩어지고, 구슬은 굴러다니며 쉽게 흩어지는 거네요.

태오 그럼 끓는점 비교 문제는 두 단계네요. 먼저 탄소 수(분자 크기), 같으면 가지(모양).

석 교수 비극성 탄화수소끼리는 그렇다. 작용기가 붙어 수소 결합이 생기면 이야기가 크게 달라지는데, 그건 6장에서 한다.

3.2 분별 증류탑

석 교수 이제 정유 공장으로 가 보자. 원유를 약 350~400 °C로 가열해 대부분을 증기로 만든 뒤 높은 탑의 아래쪽으로 들여보낸다. 탑은 아래가 뜨겁고 위로 갈수록 식는다. **그림 15**를 보라.

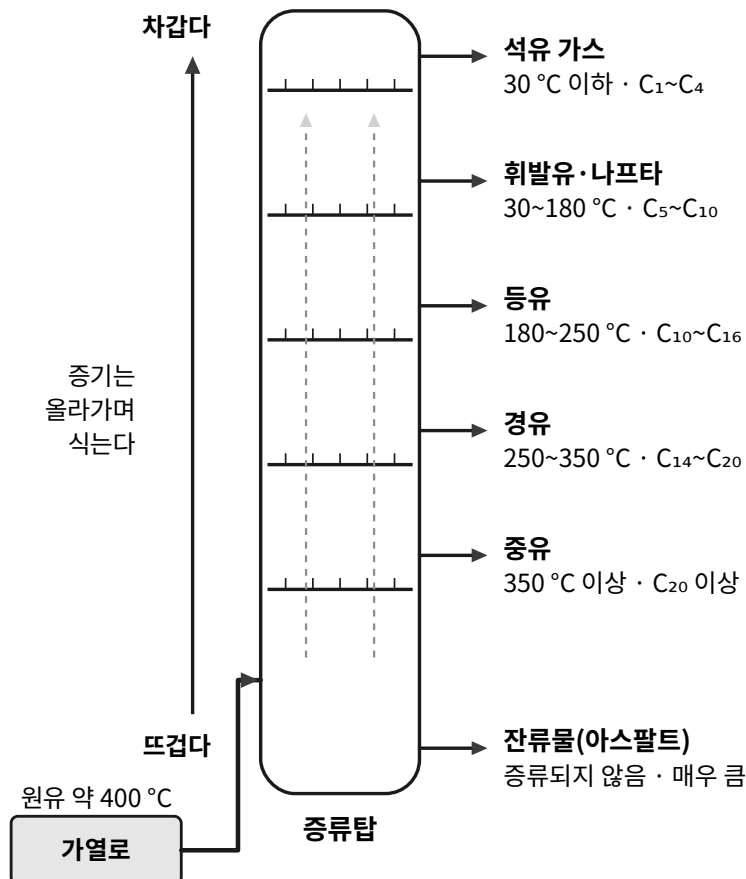


그림 15. 원유의 분별 증류탑 단면 — 가열로에서 데운 원유 증기가 탑 아래로 들어가 올라가면서 식고, 끓는점이 높은 성분부터 아래 칸에서 응축해 빠져나간다. 칸마다 대략의 온도 범위와 분획 이름, 탄소 수를 적었다(교과서마다 범위가 조금씩 다르다).

하린 증기가 올라가다가 자기 끓는점보다 차가운 칸에 오면 액체가 되는 거예요?

석 교수 그렇다. 탑 안에는 구멍 뚫린 선반(트레이)이 층층이 있어서 증기가 위로 지나가며 식는다. 끓는점이 350 °C인 성분은 탑 아래쪽 뜨거운 칸에서 이미 액체가 되어 선반에 고이고, 끓는점이 100 °C인 성분은 위쪽 칸까지 올라가서야 액체가 된다. 칸마다 관을 달아 고인 액체를 빼내면 끓는점 범위가 다른 여러 분획이 나온다. **표 7**에 정리했다.

표 7. 원유의 분획과 끓는점 범위·탄소 수·용도 — 범위는 대표값이며 교과서와 정유 공정마다 조금씩 다르다 (McMurry, 2016; Speight, 2014)

분획(위 → 아래)	끓는점 범위(°C)	탄소 수	주요 용도
석유 가스	30 이하	C ₁ ~C ₄	연료 가스, LPG
휘발유·나프타	30~180	C ₅ ~C ₁₀	자동차 연료, 석유화학 원료
등유	180~250	C ₁₀ ~C ₁₆	항공 연료, 난방
경유	250~350	C ₁₄ ~C ₂₀	디젤 엔진 연료
중유	350 이상	C ₂₀ 이상	선박·발전 연료, 윤활유
잔류물	종류되지 않음	매우 큼	아스팔트, 피치

태오 범위가 서로 겹치네요. 등유가 C₁₀~C₁₆이고 경유가 C₁₄~C₂₀이니 C₁₄~C₁₆은 둘 다에 들어가요.

석 교수 잘 봤다. 분별 증류는 한 성분씩 깔끔히 자르는 게 아니라 끓는점 “범위”로 나누는 거라 경계가 겹친다. 그리고 교과서마다 온도 범위가 조금씩 다르다. 시험에서는 “위로 갈수록 끓는점이 낮고 탄소 수가 적은 분획”이라는 순서만 정확히 쓰면 된다.

이모 옛날에 할머니가 소줏고리로 술을 내리시던 것도 같은 원리예요?

석 교수 네, 단식 증류지요. 막걸리를 끓이면 끓는점이 78 °C인 에탄올이 물(100 °C)보다 증기 쪽에 많이 섞여 올라오고, 위의 찬물 속에 닿아 식으며 방울로 떨어집니다. 한 번 내린 술을 다시 내리면 도수가 더 올라가고요. 정유 공장의 증류탑은 그 “다시 내리기”를 탑 하나 안에서 수십 번 되풀이하는 장치라고 보면 됩니다.

이모 맨 아래에 남는 아스팔트가 도로 포장하는 그거예요?

석 교수 네, 탄소 수가 너무 많아 끓기 전에 분해되어 버리는 성분이 탑 바닥에 남은 거예요. 중유 일부는 압력을 낮춰 다시 증류해 윤활유를 얻기도 합니다. 압력을 낮추면 끓는점이 내려가니까요.

3.3 증기에는 왜 휘발성 성분이 많은가

태오 그런데 한 번 끓이면 정말 성분이 나뉘어요? 헥세인과 헵테인을 섞어서 끓이면 둘 다 조금씩 증발할 텐데요.

석 교수 좋은 질문이다. 둘 다 증발하지만 비율이 다르다. 분자 크기와 모양이 비슷한 두 액체가 섞이면 각 성분의 증기압이 자기 물분율에 비례한다. 이것을 라울 법칙이라고 한다.

$$P = x_A P_A^* + x_B P_B^*, y_A = x_A P_A^* \div P$$

석 교수 P*는 순수한 성분의 증기압, x는 액체 속 물분율, y는 증기 속 물분율이다. 혼합물은 전체 증기압 P가 바깥 압력 760 mmHg(1 atm)와 같아질 때 끓는다.

문제 3.1

80 °C에서 헥세인과 헵테인의 증기압은 각각 1068 mmHg, 428 mmHg이다. 이상 용액(라울 법칙)이라고 할 때, 1 atm에서 80 °C에 끓는 혼합물의 헥세인 물분율과 그때 나오는 증기의 헥세인 물분율을 구하라.

태오 끓으려면 $x \times 1068 + (1 - x) \times 428 = 760$ 이예요. $428 + 640x = 760$, $640x = 332$, $x = 0.519$.

하린 증기는 $y = 0.519 \times 1068 \div 760 = 554 \div 760 = 0.729$ 예요.

석 교수 정답이다. 끓는 액체의 헥세인 물분율 0.519, 증기의 헥세인 물분율 0.729. 액체에는 헥세인이 절반쯤인데 증기에는 73 %나 된다. 끓는점이 낮은(68.7 °C) 헥세인이 증기 쪽으로 몰린 거야.

태오 처음에 저는 y 를 $0.519 \times 1068 \div (1068 + 428)$ 로 나눌 뻔했어요. 두 증기압을 더해서요.

석 교수 흔한 실수다. 분모는 실제 전체 압력이어야 한다. 끓고 있으니 전체 압력은 760 mmHg야. 검산도 해 보자. 헥세인 부분 압력은 $0.519 \times 1068 = 554$, 헵테인은 $0.481 \times 428 = 206$, 합이 760이니 맞다. 그리고 휘발성이 큰 쪽의 물분율은 언제나 증기에서 더 커야 한다($0.729 > 0.519$). 답이 반대로 나오면 어딘가 틀린 거다. 이 두 가지 검산을 습관으로 삼아라.

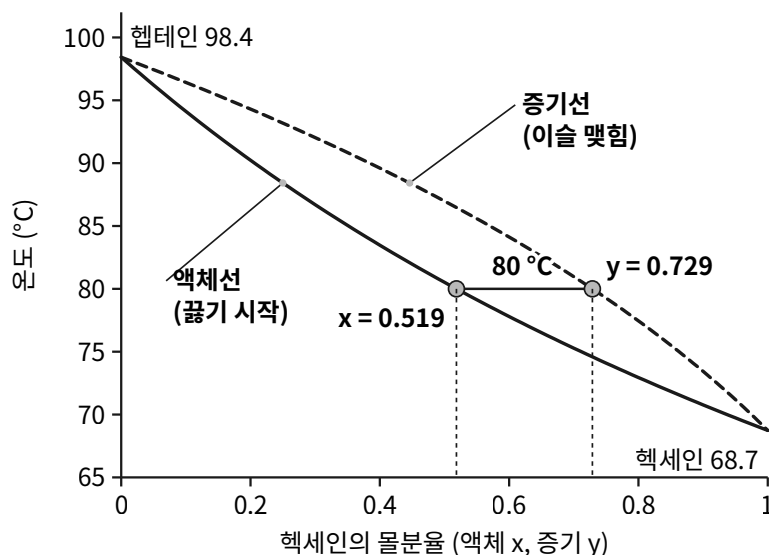


그림 16. 헥세인-헵테인 혼합물의 끓는점 도표(1 atm, 이상 용액) — 안토인 식으로 두 성분의 증기압을 계산하고, 액체 조성마다 끓는점을 이분법으로 구해 아래 곡선(액체선)을, 그때의 증기 조성으로 위 곡선(증기선)을 그렸다. 80 °C에서 액체 $x = 0.519$ 와 증기 $y = 0.729$ 를 잇는 수평선이 한 번의 증발·응축으로 헥세인이 늘어나는 정도를 보여 준다.

이모 그럼 그 증기를 식혀서 다시 끓이면 헥세인이 더 많아지겠네요.

석 교수 바로 그게 증류탑 선반이 하는 일이에요. 선반 하나를 지날 때마다 증기가 응축했다가 다시 증발하면서 한 번씩 휘발성 성분이 진해집니다. 그림에서 수평선을 긋고 수직선으로 내려오는 계단을 여러 번 밟는 셈이죠. 선반 수십 개를 지나면 끓는점이 비슷한 성분도 꽤 잘 나뉩니다.

태오 헥세인 끓는점 68.7 °C, 헵테인 98.4 °C니까 두 곡선이 양 끝에서 그 온도에 닿는 거고요.

석 교수 그렇다. 그림의 두 곡선은 손으로 그린 게 아니라 안토인 식(증기압을 온도로 나타내는 실험식)으로 계산했다. 양 끝 끓는점이 실측과 0.1 °C 안에서 맞는지도 확인했어.

3.4 LNG와 LPG

석 교수 이제 주유소 옆 LPG 충전소로 가 보자. LPG(Liquefied Petroleum Gas, 액화 석유 가스)는 석유 가스 분획의 프로페인과 뷰테인을 압력을 가해 액체로 만든 것이다. LNG(Liquefied Natural Gas, 액화 천연가스)는 천연가스의 주성분인 메테인을 -162°C 까지 냉각해 액체로 만든 것이고, 표 8에 비교했다.

표 8. LNG와 LPG의 비교 — 상대 밀도는 물질량을 공기의 평균 물질량 28.97 g/mol 로 나눈 값

구분	LNG	LPG
주성분	메테인 CH_4	프로페인 C_3H_8 , 뷰테인 C_4H_{10}
끓는점(1 atm)	-162°C	-42°C , -0.5°C
액화 방법	냉각(-162°C)	상온에서 압축(수 기압)
공기 대비 상대 밀도	0.55(가볍다)	1.52, 2.01(무겁다)
쓰임	도시가스, 천연가스 버스	택시, 가스통, 부탄 캔

하린 LPG는 눌러서 액체로 만드는데 LNG는 왜 꼭 얼려야 해요?

석 교수 메테인은 -82°C 보다 따뜻하면 아무리 압력을 가해도 액체가 되지 않는다. 그 온도를 임계 온도라고 하는데(교과 밖 심화), 프로페인·뷰테인은 임계 온도가 실온보다 높아서 압력만으로 액화된다. 그래서 LPG는 두꺼운 통에 담아 다니고, LNG는 거대한 보온 탱크에 -162°C 로 담아 배로 실어 온다.

이모 그렇게까지 차갑게 해서 액체로 만드는 이유가 뭐예요? 기체 그대로 관으로 보내면 안 되나요?

석 교수 육지에서는 관으로 보내기도 해요. 그런데 바다 건너 실어 오려면 부피를 줄여야 합니다. 메테인을 액체로 만들면 부피가 기체(0°C , 1 atm)의 약 600분의 1로 줄어요. 같은 배에 600배를 실을 수 있는 셈이지요. 우리나라는 천연가스를 거의 다 수입하니 LNG선과 저장 탱크가 꼭 필요합니다.

문제 3.2

메테인·프로페인·뷰테인의 공기 대비 상대 밀도를 계산하고(공기 28.97 g/mol , C 12.01, H 1.008), 도시가스(LNG)와 LPG를 쓰는 집의 가스 누출 경보기를 각각 어디에 달아야 하는지 판단하라.

태오 같은 온도·압력에서 기체 밀도는 물질량에 비례하니까 물질량끼리 나누면 돼요. 메테인 $16.04 \div 28.97 = 0.554$, 프로페인 $44.09 \div 28.97 = 1.52$, 뷰테인 $58.12 \div 28.97 = 2.01$ 이에요.

하린 메테인은 공기보다 가벼우니 새면 위로 올라가고, 프로페인·뷰테인은 무거우니 바닥에 깔려요. 그럼 도시가스 경보기는 천장 가까이, LPG 경보기는 바닥 가까이요.

석 교수 정답이다. 상대 밀도 0.55, 1.52, 2.01. 경보기는 LNG(도시가스)는 천장 쪽, LPG는 바닥 쪽이다. 실제로 국내 가스 안전 기준도 그렇게 정하고 있다. LPG가 바닥에 고이면 환기가 잘 안 되어 더 위험하니 창문을 열고 바닥 쪽 공기를 쓸어 내듯 환기해야 해.

천연가스는 왜 깨끗한 연료라 불리나

이모 천연가스 버스가 경유 버스보다 공기를 덜 더럽힌다던데, 그것도 분자 때문이에요?

- 석 교수** 두 가지 이유가 있어요. 첫째, 같은 에너지를 낼 때 나오는 이산화 탄소가 적습니다. 메테인 1몰은 CO_2 1몰을 내며 890 kJ를 냅니다. 휘발유의 대표 성분 옥테인 C_8H_{18} 1몰은 CO_2 8몰을 내며 5470 kJ를 내고요. 1 MJ(1000 kJ)를 얻을 때를 비교해 보세요.
- 태오** 메테인은 $1000 \div 890 = 1.12$ mol의 CO_2 , 옥테인은 $5470 \div 8 = 684$ kJ가 CO_2 1몰당 이니까 $1000 \div 684 = 1.46$ mol이에요. $1.12 \div 1.46 = 0.77$ 이니 메테인이 약 23 % 적어요.
- 석 교수** 맞다. 수소의 비율이 높은 연료일수록 같은 에너지당 이산화 탄소가 적다. 둘째, 천연가스에는 황이 거의 없고 분자가 작아 완전히 잘 타서, 황산화물과 그을음(미세먼지)이 거의 나오지 않는다. 경유는 긴 사슬이라 불완전 연소로 그을음이 생기기 쉽고, 원유에 섞여 있던 황을 정제로 줄여야 하지. 다만 메테인 자체가 새어 나가면 이산화 탄소보다 강한 온실 기체라는 점도 함께 기억해 두자.

3.5 크래킹과 리포밍

- 하린** 원유에서 휘발유가 딱 그만큼만 나오면 모자라지 않아요? 차가 엄청 많잖아요.
- 석 교수** 그래서 정유 공장은 분획을 그대로 쓰지 않고 분자를 고쳐 만든다. 수요가 적은 무거운 분획의 긴 사슬을 촉매와 열로 잘라 짧은 사슬로 만드는 것을 크래킹(열분해)이라고 한다. 예를 들면 $\text{C}_{10}\text{H}_{22} \rightarrow \text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_2\text{H}_4$ 처럼 알케인 하나가 짧은 알케인과 알켄으로 쪼개진다.
- 태오** 원자 수를 세어 보면 탄소 $10 = 8 + 2$, 수소 $22 = 18 + 4$. 맞아요. 그런데 알켄이 나오네요.
- 석 교수** 그렇다. 수소가 모자라니 한쪽은 이중 결합을 가진 알켄이 된다. 그 에텐이 오히려 귀한 원료야. 10장에서 에텐을 수천 개 이어 폴리에틸렌을 만든다. 반대로 곧은 사슬을 가지 사슬이나 고리로 바꾸는 것을 리포밍(개질)이라고 한다. 예를 들어 헵테인 C_7H_{16} 을 톨루엔 C_7H_8 과 수소 4분자로 바꾼다. 가지·고리 성분은 엔진 속에서 너무 일찍 폭발하는 노킹을 덜 일으켜서 휘발유의 품질 지표인 옥테인가가 높아진다.
- 이모** 옥테인가 높은 고급 휘발유가 그 뜻이었군요.
- 석 교수** 네, 가지가 많은 2,2,4-트라이메틸펜테인을 100, 곧은 사슬 헵테인을 0으로 정한 눈금이에요. 가지 하나가 끓는점도 낮추고 엔진 속 타는 방식도 바꾸는 셈입니다.
- 태오** 결국 정유 공장은 분자를 “끓는점으로 나누고(증류), 자르고(크래킹), 모양을 바꾸는(리포밍)” 곳이에요.
- 석 교수** 잘 요약했다. 이렇게 얻은 나프타와 에텐·프로펜이 석유화학 공장으로 가서 플라스틱·합성 섬유·의약품의 원료가 된다. 11장의 나일론과 PET도 거슬러 올라가면 이 탑에서 출발한다.

핵심 끓는점과 분별 증류를 설명하는 4단계

1. 탄화수소는 무극성이라 분자 사이 힘은 분산력이다. 탄소 수(전자 수·접촉 면적)가 클수록 끓는점이 높고, 같은 탄소 수면 가지가 적은(길쭉한) 쪽이 높다.
2. 분별 증류탑은 아래가 뜨겁고 위가 차갑다. 끓는점이 높은 성분은 아래 칸에서, 낮은 성분은 위 칸에서 응축해 나온다(위 → 아래: 석유 가스, 휘발유·나프타, 등유, 경유, 중유, 잔류물).
3. 라울 법칙 $P = x_A P_A^* + x_B P_B^*$ 로 끓는 조성을, $y_A = x_A P_A^* / P$ 로 증기 조성을 구한다. 증기에는 휘발성 성분이 더 많다.
4. 기체 상대 밀도 = 물질량 ÷ 28.97. LNG(0.55)는 위로, LPG(1.52·2.01)는 바닥으로 간다.

스스로 풀어 보기

1. 헥세인(68.7 °C)과 2,2-다이메틸뷰테인(49.7 °C)은 분자식이 C_6H_{14} 로 같다. 끓는점이 다른 까닭을 분자 모양으로 쓰라.
2. 분별 증류탑에서 등유와 경유 중 탑의 더 높은 곳에서 나오는 분획을 고르고 이유를 쓰라.
3. 문제 3.1의 혼합물에서 헥세인 몰분율이 0.30인 액체가 80 °C에서 내는 전체 증기압을 구하고, 이 액체가 80 °C에서 끓는지 판단하라.
4. 뷰테인 1몰과 옥테인 1몰을 완전 연소할 때, 1 MJ당 나오는 CO_2 의 몰수를 각각 구하라(연소 열 2878, 5470 kJ/mol).

정답과 해설은 부록 A에 있다.

4부의 **기출문제 7**(서울시립대 2011) (265쪽)은 이 장의 내용을 거의 그대로 묻는다. (a)는 분별 증류의 원리와 탑의 위치별 분획을, (b)는 LNG와 LPG의 성분·끓는점·공기 대비 무게와 천연가스 자동차의 장점을 쓰게 한다. 문제 3.2의 상대 밀도와 “같은 에너지당 CO_2 약 23 % 적음” 계산이 답의 근거가 된다. **기출문제 8**(고려대 2010) (277쪽)의 혼합물 분리 요소도 끓는점 차이로 나누는 분별 증류에서 출발한다.

이 장의 참고문헌

- 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.
- McMurry, J. (2016). Organic chemistry (9th ed.). Cengage Learning.
- Rumble, J. R. (Ed.). (2019). CRC handbook of chemistry and physics (100th ed.). CRC Press.
- Speight, J. G. (2014). The chemistry and technology of petroleum (5th ed.). CRC Press.

제 4장 같은 분자식, 다른 분자: 구조·기하 이성질체

새 개념 이성질체 · 사슬·위치·작용기 이성질체 · 시스-트랜스(기하) 이성질체 · 이중 결합의 회전 제한 · 분자 모양과 녹는점

이어짐 거울상 이성질체 5장 · 지방산 12장 · 트랜스지방 14장

이 장의 개념도

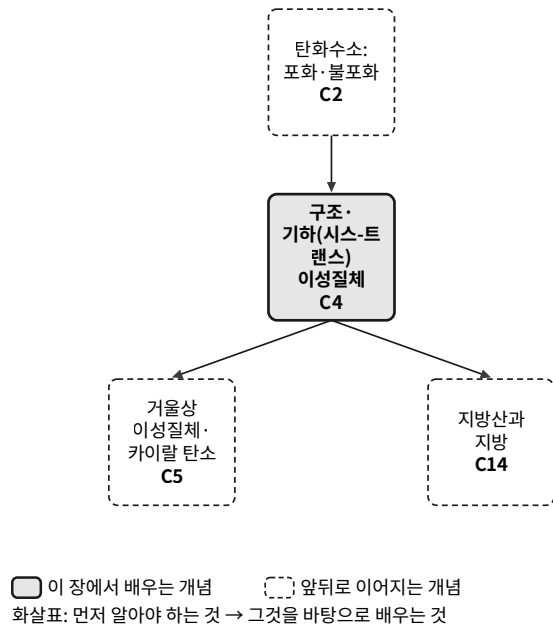


그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C4 구조·기하(시스-트랜스) 이성질체)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

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 2 (성균관대 2013년) (217쪽)	벤젠 고리의 작용기 — 아닐린의 용해·환원·이성질체	C4 구조·기하(시스-트랜스) 이성질체
기출 3 (성균관대 2012년) (227쪽)	트랜스지방의 구조와 녹는점	C4 구조·기하(시스-트랜스) 이성질체
기출 8 (고려대 2010년) (277쪽)	기하·거울상 이성질체의 연소열과 분리	C4 구조·기하(시스-트랜스) 이성질체

올리브유와 버터

분자식이 비슷한데 하나는 흐르고 하나는 굳어 있다

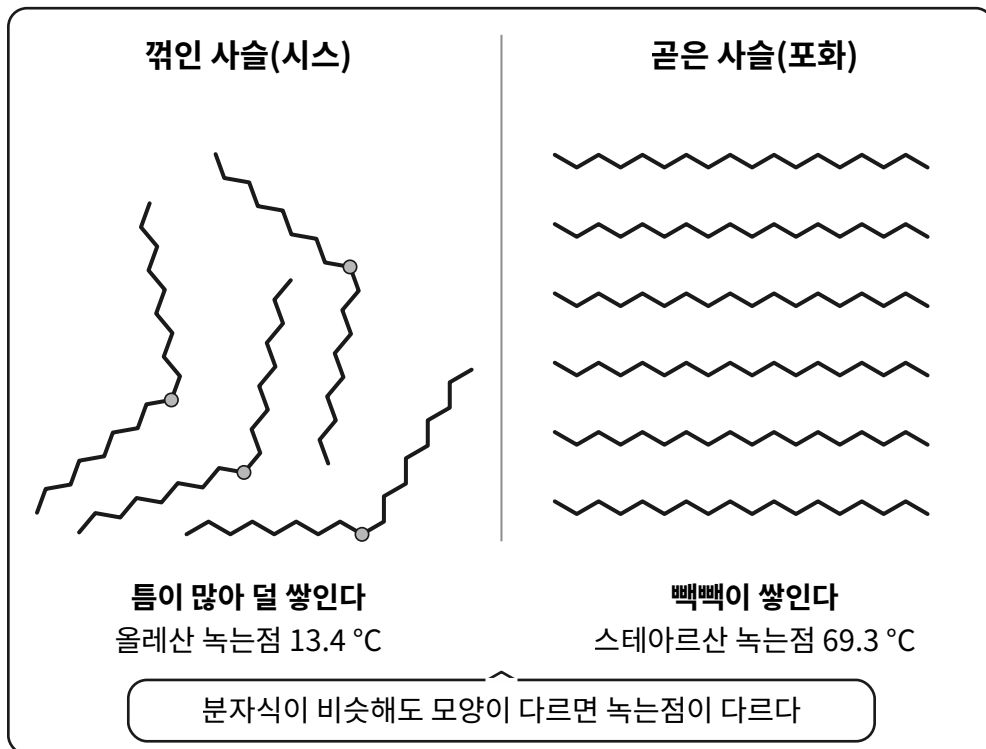
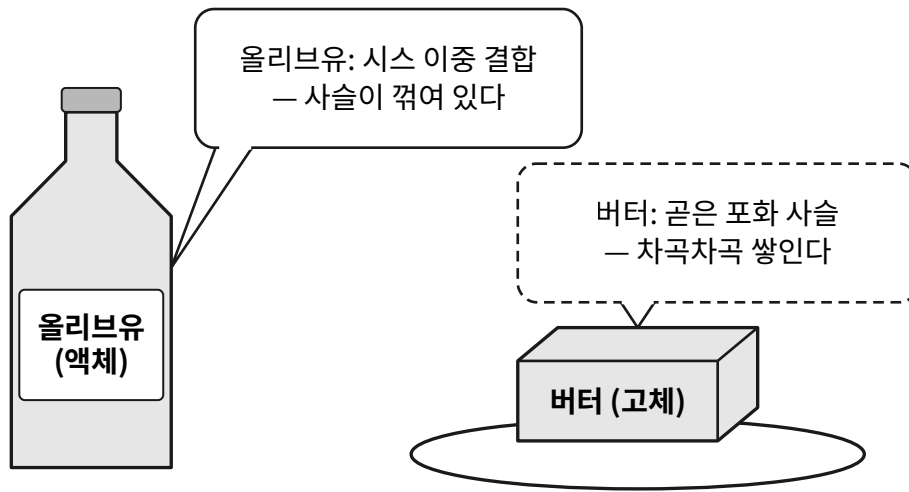


그림 18. 식탁 위의 올리브유(액체)와 버터(고체) — 올리브유의 지방산은 시스 이중 결합에서 사슬이 꺾여 덜 쌓이고, 버터의 포화 지방산은 곧은 사슬이라 차곡차곡 쌓인다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 이중 결합은 회전하지 않아 시스·트랜스 이성질체가 생긴다.
2. 시스 이중 결합이 있는 사슬은 꺾여 있어 서로 덜 쌓인다.
3. 그래서 시스 지방이 많은 올리브유는 실온에서 액체, 곧은 사슬이 많은 버터는 고체다.

이 장의 출발점

1장의 골격 구조식 읽기, 2장의 알케인·알켄 이름(가지 위치 번호)과 “이중 결합은 돌지 않는다”, 3장의 “가지가 많을수록 접촉 면적이 줄어 끓는점이 낮다”를 쓴다. 결합의 극성과 쌍극자(전기음성도가 큰 쪽이 부분 음전하)를 화살표로 나타낼 줄 알면 된다.

일요일 아침, 이모가 빵을 구우며 식탁에 올리브유 병과 버터 접시를 나란히 놓았다. 냉장고에서 막 꺼낸 버터는 단단했고, 올리브유는 병 안에서 찰랑거렸다. 하린이 빵에 버터를 바르다가 고개를 갸웃했다.

하린 이모, 둘 다 기름인데 왜 하나는 딱딱하고 하나는 물처럼 흘러요?

이모 글썄, 버터는 동물성이고 올리브유는 식물성이라서? 교수님, 맞아요?

석 교수 출처도 관계가 있지만, 진짜 이유는 분자의 모양이에요. 두 기름을 이루는 지방산은 탄소 수가 거의 같은데, 이중 결합의 유무와 그 모양이 다릅니다. 오늘은 “원자는 같은데 배열이 다른 분자”, 곧 이성질체를 보고 마지막에 이 식탁으로 돌아오지요.

4.1 이성질체란: 같은 분자식, 다른 연결

석 교수 분자식이 같지만 구조가 달라 성질이 다른 화합물을 이성질체라고 한다. 1장에서 C_4H_{10} 에 뷰테인과 아이소뷰테인 두 가지가 있다고 했지. 탄소 다섯 개 C_5H_{12} 는 몇 가지일까? 직접 그려 보자.

태오 곧은 사슬 펜테인 하나. 탄소 넷 사슬에 메틸 가지 하나, 2-메틸뷰테인. 그리고 가운데 탄소에 메틸이 넷 붙은 것…… 2,2-다이메틸프로페인이요.

하린 3-메틸뷰테인도 있지 않아요? 메틸을 오른쪽 끝에서 두 번째 탄소에 붙이면요.

석 교수 그러서 반대쪽 끝부터 번호를 매겨 봐라.

하린 아…… 반대로 세면 2번이네요. 2-메틸뷰테인을 뒤집은 거예요. 같은 분자예요.

석 교수 그렇다. 종이 위에서 다르게 보여도 돌리거나 뒤집어서 겹치면 같은 분자다. 그래서 C_5H_{12} 는 세 가지다. **그림 19**에 세 골격과 끓는점을 함께 그렸다.

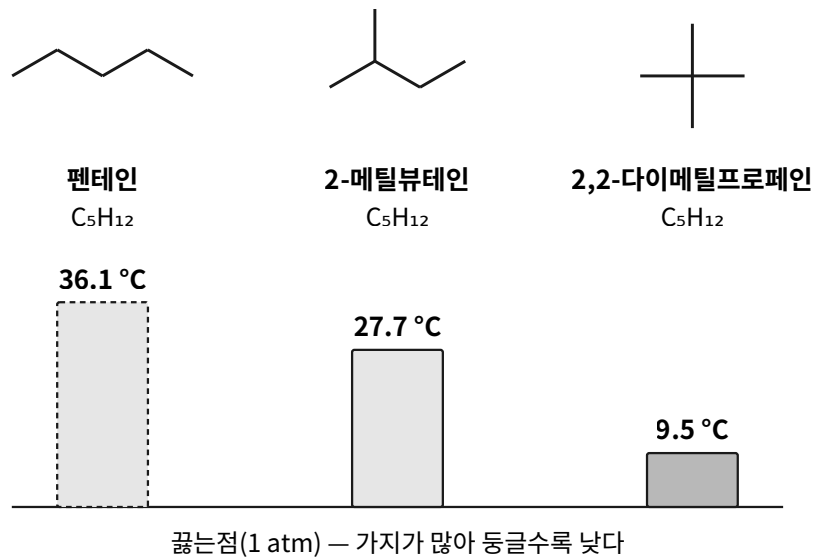


그림 19. C_5H_{12} 의 세 구조 이성질체와 끓는점(1 atm) — 펜테인 36.1 °C, 2-메틸뷰테인 27.7 °C, 2,2-다이메틸프로페인 9.5 °C. 골격 구조식의 좌표를 계산해 그리고 세 분자 모두 탄소 5개·수소 12개인지 검산했다. 가지가 많아 둥글수록 끓는점이 낮다.

이모 분자량이 다 72인데 끓는점이 36 °C에서 9.5 °C까지 차이가 나네요.

석 교수 3장에서 본 대로 모양이 둥글수록 이웃과 맞닿는 면이 줄어 분산력이 약해집니다. 2,2-다이메틸프로페인은 거의 공 모양이에요. 겨울 실외에서는 액체, 실내에서는 기체가 되는 물질이지요.

태오 빠뜨리거나 같은 걸 두 번 세지 않으려면 어떻게 그러요?

석 교수 순서를 정해 두면 된다. 첫째, 탄소 전부를 한 줄로 이은 곧은 사슬을 그린다. 둘째, 사슬을 하나 줄이고 남은 탄소 하나를 메틸 가지로 붙이되, 끝에서 두 번째 탄소부터 가운데까지만 옮겨 본다. 가운데를 넘으면 반대쪽에서 센 것과 같아지니까. 셋째, 사슬을 또 하나 줄이고 가지 둘(메틸 둘 또는 에틸 하나)을 붙인다. 이때 에틸을 2번 탄소에 붙이면 가장 긴 사슬이 바뀌니 그런 구조는 버린다. 매번 이름을 붙여 보고 같은 이름이 나오면 지우면 된다.

하린 이름이 같은지 비교하는 게 검산이네요.

석 교수 그렇다. 이름 붙이는 규칙이 하나의 구조에 하나의 이름만 주도록 정해져 있으니, 이름은 분자의 신분증 역할을 한다. 문제 4.2에서 이 순서를 그대로 써 보자.

탄소 수가 늘면 이성질체는 폭발한다

태오 C_6H_{14} 는 다섯 개라고 들었어요. 탄소 하나 늘 때마다 하나둘씩 느는 거예요?

석 교수 처음엔 그렇게 보이지만 금방 폭발한다. **그림 20**를 보라. 탄소 10개 데케인 $C_{10}H_{22}$ 만 해도 75가지다.

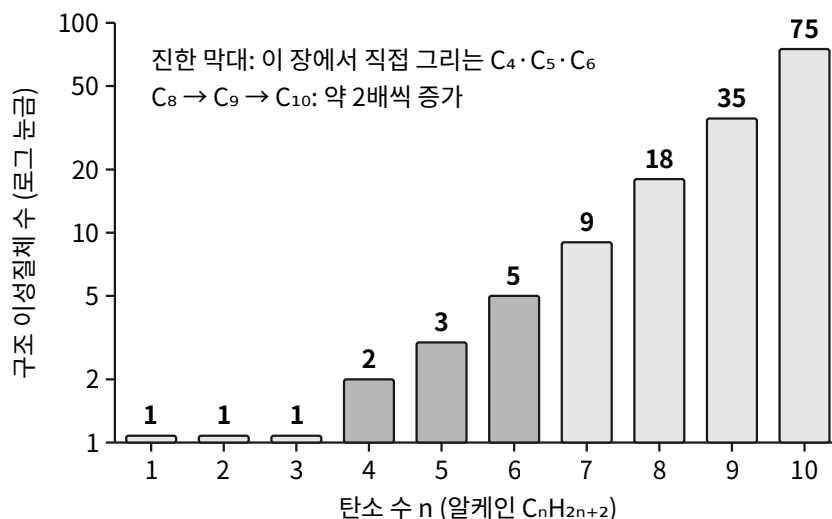


그림 20. 곧은 사슬과 가지 사슬을 모두 센 알케인 C_nH_{2n+2} 의 구조 이성질체 수($n=1\sim10$) — 1, 1, 1, 2, 3, 5, 9, 18, 35, 75. 세로축은 로그 눈금이라 막대 끝이 거의 직선으로 오른다는 것은 이성질체 수가 탄소 하나마다 약 2배씩 늘어난다는 뜻이다.

하린 막대가 로그 눈금에서 거의 직선이면 일정한 배수로 늘는 거죠? 18 → 35 → 75면 대략 2배씩이요.

석 교수 맞다. 1931년 헨즈와 블레어는 이 수를 손으로 그리지 않고 수학적인 점화식으로 세어 탄소 40개까지 계산했다. 탄소 20개면 36만 개가 넘는다. 이것이 1장에서 말한 “탄소 화합물이 수천만 가지”인 이유 중 하나다. 이성질체 수가 이렇게 많으니 기출에서는 분자식만 주고 “가능한 구조를 모두 그리라”는 문제가 단골로 나온다.

4.2 구조 이성질체의 세 종류

석 교수 원자의 연결 순서가 다른 것을 구조 이성질체라고 한다. 세 종류로 나누면 정리가 쉽다. 첫째, 탄소 골격이 다른 사슬 이성질체. 방금 본 C_5H_{12} 세 개다. 둘째, 골격은 같은데 이중 결합이나 작용기가 붙은 위치가 다른 위치 이성질체. 1-뷰텐과 2-뷰텐, 1-프로판올과 2-프로판올이 예다. 셋째, 원자는 같지만 아예 다른 작용기를 가진 작용기 이성질체다.

이모 작용기가 달라질 수도 있어요? 같은 원자로요?

석 교수 네, 1장에서 잠깐 본 C_2H_6O 가 그 예입니다. 산소가 끝에 붙어 -OH를 이루면 에탄올이고, 탄소 둘 사이에 끼면 다이메틸 에터예요. 에탄올은 78 °C에서 끓고 다이메틸 에터는 -24 °C에서 끓어요. 분자량 46으로 같은데 100 °C 넘게 차이가 납니다.

하린 원자 아홉 개가 똑같은데 하나는 술이고 하나는 스프레이 가스라니 신기해요.

태오 그건 가지 차이로는 설명이 안 되는 크기네요.

석 교수 그렇다. 에탄올의 -OH는 이웃 분자의 산소와 수소 결합을 하고, 다이메틸 에터는 산소에 붙은 수소가 없어서 수소 결합을 주지 못한다. 수소 결합은 분산력보다 훨씬 세니 끓는점 차이가 크다. 같은 예가 $C_4H_8O_2$ 다. 뷰탄산(카복실산)은 163.5 °C, 아세트산에틸(에스터)은 77.1 °C에서 끓는다. 뷰탄산은 시큼한 버터 썩은 냄새, 아세트산에틸은 매니큐어 리무버 같은 달콤한 냄새가 난다. 작용기가 성질을 얼마나 바꾸는지는 6장에서 자세히 본다.

유기 화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

유기 화학 = 탄소 골격의 모양을 보고, 작용기로 성질을 읽고, 결합이 생기고 끊기는 반응(첨가·축합·가수분해)을 몰로 센다

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 11문항(2009~2013학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안(공식 해설 기반 7문항) · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 유기 화학인가
2. 탄화수소: 사슬과 고리, 포화과 불포화
3. 원유에서 휘발유까지: 끓는점과 분별 증류
4. 같은 분자식, 다른 분자: 구조·기하 이성질체
5. 거울에 비친 분자: 거울상 이성질체
6. 작용기: 분자의 얼굴
7. 작용기의 산·염기: 무엇이 산을 세계 만드나

8. 에스터와 향기: 축합과 가수분해
9. 벤젠: 특별한 고리와 치환 반응
10. 이중 결합에 더하기: 첨가 반응과 첨가 중합
11. 축합 중합과 고분자의 성질
12. 지방과 탄수화물: 몸의 연료 창고
13. 아미노산과 펩타이드 결합: 단백질의 문법
14. 몸속·지구·기술 속의 유기 분자, 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: 화학 결합과 분자 사이의 힘 · 산·염기·pH·완충 · 세포 호흡과 물질대사 · 효소



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 979-11-23065-15-1

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자 — 전체 330쪽

ssbook.kr/book/nonsul-16

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

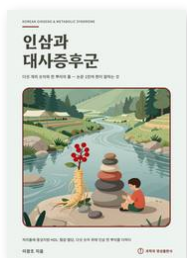
인삼 (6)



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

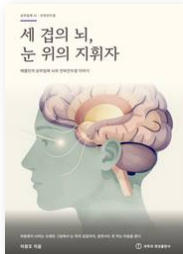
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



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 전자·전기 분해

화학 전자·전기 분해 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별

원자에서 원소의 기원·주기율표까지

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 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

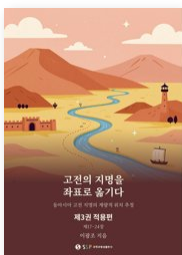


고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

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