



대입 과학논술 08 — 호르몬 · 항상성 · 배설

감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩팥까지
항상성

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-08

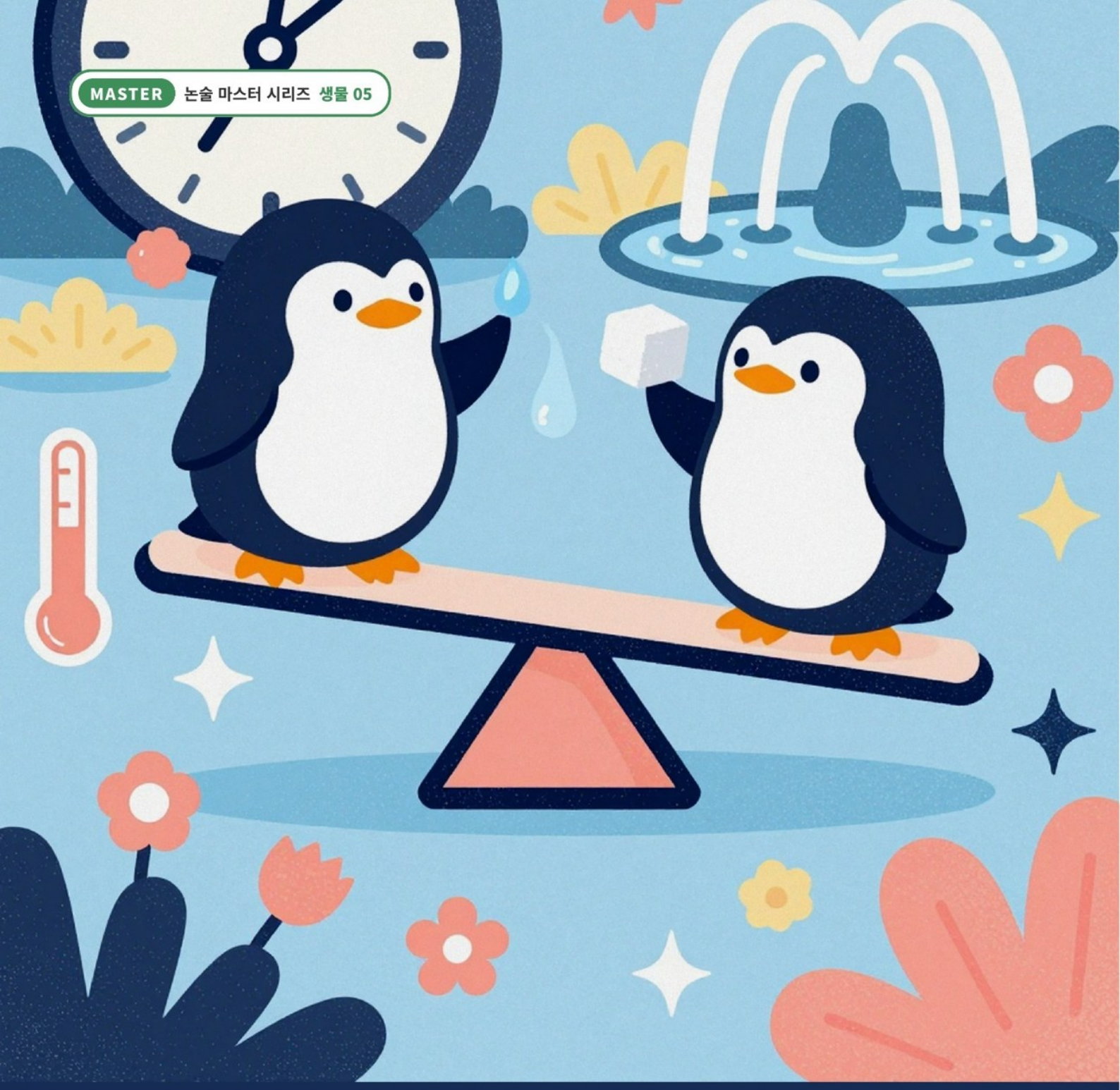
POD 정가 24,000원 → **14,400원** (60%)

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

MASTER

논술 마스터 시리즈 생물 05



호르몬· 항상성· 배설

1부 기본개념

2부 기출 개념

3부 답안 패턴

4부 실전 풀이

호르몬·항상성·배설 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 14문항 · 2008~2025학년도 · 이광조 지음

 SSP 과학과영성출판사

MASTER

논술 생물

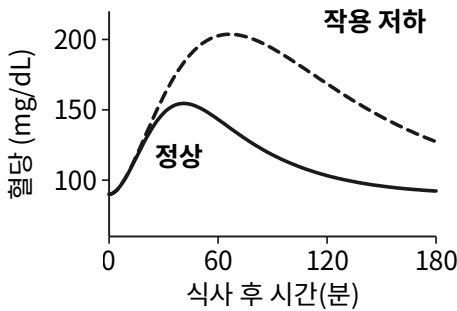
호르몬·항상성·배설

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

호르몬·항상성·배설 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

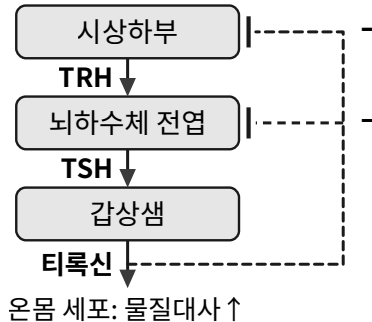
핵심 = 감지 → 신호(신경·호르몬) → 표적 반응 × 음성 되먹임 × 콩팥의 여과·재흡수 | 14문항 · 8개 대학 (2008~2025)

1 혈당 조절



혈당 ↑ → 인슐린 → 간·근육이 흡수
작용이 약하면 높게, 오래 간다

2 되먹임 축



티록신이 많으면 TRH·TSH ↓
요오드 결핍 → TSH ↑ → 갑상샘 비대

3 콩팥의 여과·재흡수

하루 여과 **180 L**

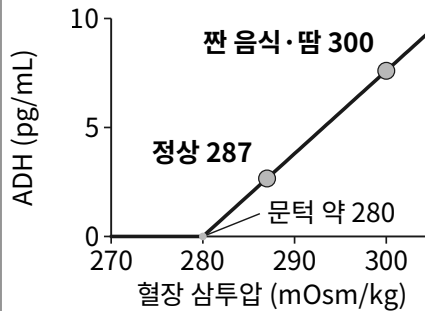
하루 오줌 **1.5 L (0.8 %)**

재흡수율(여과된 양 중 되돌린 몫)

포도당	100 %
Na ⁺	99.4 %
물	99.2 %
요소	50.0 %

여과는 크기로, 재흡수는 필요로
물·포도당은 되돌리고 요소는 버린다

4 삼투압과 ADH



삼투압 ↑ → 시상하부 감지 → ADH ↑
콩팥 물 재흡수 ↑ → 오줌량 ↓

한 줄 요약: 감지 → 신호(신경·호르몬) → 표적 반응 → 음성 되먹임

그림 1. 호르몬·항상성·배설 단원의 그림 요약. ① 혈당 조절(식후 혈당·인슐린 곡선, 정상과 인슐린 작용 저하 비교), ② 시상하부-뇌하수체-갑상샘 축의 음성 되먹임, ③ 콩팥의 하루 여과량과 물질별 재흡수율, ④ 혈장 삼투압과 항이뇨 호르몬(ADH) 분비. ①은 단순 혈당-인슐린 모형을 수치로 풀었고, ③·④는 생리학 교재의 대표값(사구체 여과 125 mL/min, ADH 분비 문턱 약 280 mOsm/kg)으로 계산했다.

한 줄 요약: 항상성 = 감지하고, 신호를 보내고, 표적이 반응하고, 결과가 신호를 끈다(음성 되먹임)

연결 단원 → 세포호흡 · 신경과 활동 전위 · 세포막 수송 · 유전자 발현 조절

차례

기본개념편	12
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	13
기본개념편을 열며	15
제 1장 왜 항상성인가.....	17
1.1 세포는 작은 바다에 산다.....	19
1.2 몸이 지키는 숫자들	20
1.3 조절 회로의 네 칸	21
1.4 음성 되먹임과 양성 되먹임	24
1.5 신경과 호르몬, 두 가지 신호선	25
제 2장 먹은 것은 어디로 가나: 물질대사와 노폐물	27
2.1 영양소 셋의 운명	29
2.2 노폐물은 어디로 나가나.....	31
2.3 기관계의 분업과 협동	32
2.4 시험 제시문을 미리 읽는 눈	35
제 3장 혈액은 어떻게 도나: 혈압과 혈류	37
3.1 동맥·모세혈관·정맥	39
3.2 혈압 120/80 읽기	40
3.3 유량 보존: 닫힌 관에서 Av는 같다	42
3.4 압력을 높이로 바꿔 읽기.....	43
3.5 심장을 펌프로 보면	44
제 4장 물은 진한 쪽으로: 삼투와 삼투압	47
4.1 물은 왜 진한 쪽으로 가나.....	49
4.2 적혈구를 세 용액에 넣으면	50
4.3 식물 세포: 세포벽과 팽압.....	52
4.4 삼투압을 숫자로: $\pi = CRT$	53
4.5 소금이 못 지나가면 물이 움직인다	55
제 5장 콩팥의 일: 여과·재흡수·분비.....	57
5.1 네프론: 콩팥의 작은 일꾼.....	59
5.2 여과: 혈압으로 작은 것만 거른다.....	61
5.3 재흡수: 쓸 것은 되찾는다.....	62
5.4 분비: 혈액에서 세뇨관으로 더 버린다	65
제 6장 암모니아에서 요소로: 간과 질소 노폐물.....	68
6.1 아미노기는 떼어지면 암모니아.....	70
6.2 암모니아는 왜 위험한가.....	70
6.3 간이 요소로 바꾼다	71
6.4 동물마다 다른 질소 노폐물	72
6.5 간이 멈추면, 콩팥이 멈추면	73
제 7장 호르몬이란 무엇인가	78
7.1 침샘과 갑상샘 — 관으로 내보내나, 피로 내보내나	80
7.2 호르몬의 세 가지 성질	81
7.3 사람의 주요 내분비샘	82
7.4 신경과 호르몬: 빠르고 좁게, 느리고 넓게.....	85
7.5 같은 목표, 두 신호선	86

제 8장 호르몬은 세포에 어떻게 말하나: 수용체와 신호 전달	89
8.1 기름에 녹느냐 물에 녹느냐	91
8.2 막 수용체: 문밖에서 초인종을 누르면	92
8.3 세포 내 수용체: 서재까지 들어간 편지	93
8.4 실험으로 가리기: 미세 주사와 수용체 결손	94
8.5 혈관을 이은 두 생쥐	96
제 9장 인슐린이 세포를 나가는 길: 분비 단백질의 경로	99
9.1 인슐린은 단백질이다	101
9.2 만들어지는 곳과 지나가는 곳	103
9.3 길을 눈으로 보는 법: 펄스-추적 실험	104
9.4 언제 내보내나	106
9.5 길이 막히면	107
제 10장 되먹임 조절: 시상하부-뇌하수체-갑상샘 축	109
10.1 세 칸 사다리	111
10.2 위로 되돌아오는 화살표	113
10.3 요오드가 없으면: 갑상샘종	114
10.4 고장 난 곳 찾기	115
10.5 주사 실험으로 확인하기	116
제 11장 혈당 조절: 인슐린과 글루카곤	119
11.1 혈당 100 mg/dL의 무게	121
11.2 식후: 인슐린이 거둬들인다	122
11.3 공복과 운동: 글루카곤이 꺼낸다	124
11.4 1형과 2형: 없는가, 안 듣는가	125
11.5 곡선 읽기: 당부하 검사와 돌연변이 생쥐	126
제 12장 혈당과 세포의 에너지: 당뇨병·운동·세포호흡	129
12.1 피 속 포도당은 세포 안으로 들어가야 연료가 된다	131
12.2 세포호흡 세 단계와 ATP	132
12.3 자료 표 읽기: 누가 당뇨, 누가 TCA 결손인가	134
12.4 운동과 당뇨: 근육은 무엇으로 ATP를 얻나	136
제 13장 물과 소금의 균형: 항이뇨 호르몬과 알도스테론	139
13.1 짠 음식 뒤에 일어나는 일	141
13.2 물을 많이 마시면 반대로	143
13.3 알도스테론: Na ⁺ 를 되찾는 호르몬	144
13.4 알도스테론이 없으면: 신경과 근육으로 이어지는 사슬	145
13.5 ADH가 없으면: 요붕증의 오줌량	146
제 14장 신경과 호르몬의 협동, 그리고 2부로	148
14.1 말초 신경의 두 갈래	150
14.2 같은 아세틸콜린, 다른 수용체	152
14.3 추운 날의 통합: 신경은 빠르게, 호르몬은 오래	152
14.4 민물과 바다의 물고기	153
14.5 기본개념편을 묶으며: 간부전·신부전, 그리고 2부로	155
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	158
부록 B. 용어 풀이	161
기출문제와 기본개념	170
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	171

0. 이 장의 사용법	172
1. 출제 개념	173
1.1 항상성과 음성 되먹임 — C1	173
1.2 물질대사·노폐물과 혈액 순환 — C2 · C3 · P5	174
1.3 삼투와 삼투압 — C4 · P1	175
1.4 콩팥의 여과·재흡수·분비 — C5	175
1.5 간의 요소 합성과 장기 부전 — C6 · A2	176
1.6 호르몬과 수용체 — C7 · C8 · A5 · P3	176
1.7 분비 경로와 시상하부-뇌하수체 축 — C9 · C10 · A4	177
1.8 혈당 조절과 세포의 에너지 — C11 · C12 · A1 · A6 · P2	178
1.9 물과 소금의 조절, 신경과의 협동 — C13 · C14 · C15 · A3 · P4	179
1.10 그래프 개념도 읽는 법	180
2. 출제 경향	183
2.1 반복되는 출제 패턴 여섯 가지	185
2.2 학교별 성향	186
논술답안작성 패턴분석	188
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	189
3. 답안 작성법	191
3.1 자료 해석형 답안의 4단 구조	191
3.2 서술형 답안의 4문장 틀	192
3.3 표기와 수치 규칙	192
3.4 시간 배분과 자기 점검	193
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	193
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	196
실전기출문제와 풀이과정	202
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	203
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념	205
5.1 한눈에 보는 기출 14문항	205
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론	206
5.3 기본 개념 한눈에	206
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다	208
6. 출제 문항 분석과 모범답안	209
〈기출문제 1 (경북대 2025년)〉	210
〈기출문제 2 (연세대 2023년)〉	220
〈기출문제 3 (경희대 2023년)〉	229
〈기출문제 4 (연세대 2022년)〉	238
〈기출문제 5 (경희대 2020년)〉	247
〈기출문제 6 (경희대 2020년)〉	255
〈기출문제 7 (경희대 2020년)〉	265
〈기출문제 8 (성균관대 2016년)〉	273
〈기출문제 9 (건국대 2015년)〉	282
〈기출문제 10 (성균관대 2011년)〉	291
〈기출문제 11 (고려대 2010년)〉	303
〈기출문제 12 (경북대 2009년)〉	313
〈기출문제 13 (숭실대 2009년)〉	321

〈기출문제 14 (서울대 2008년)〉	332
7. 변형·예상 문항	342
8. 강의 연결	349
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	349
8.2 강의 구성 시 유의점	350
9. 전체 문제 총평	351
9.1 숫자로 먼저 보기	351
9.2 다섯 가지 총평	351
9.3 대학별 한 줄 총평	352
9.4 이렇게 공부하자	353
10. 참고문헌	354

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 호르몬·항상성·배설 논제의 네 장면	1
그림 2. 제 1장 개념도	17
그림 3. 생활 속 개념도 1	18
그림 4. 체중 60 kg인 성인의 체수분 구획	20
그림 5. 체온 조절 회로	22
그림 6. 음성 되먹임과 양성 되먹임의 시간 변화	23
그림 7. 제 2장 개념도	27
그림 8. 생활 속 개념도 2	28
그림 9. 세 영양소의 운명	30
그림 10. 기관계의 분업	33
그림 11. 단백질 100 g의 질소 수치	34
그림 12. 제 3장 개념도	37
그림 13. 생활 속 개념도 3	38
그림 14. 혈관 부위별 혈압	41
그림 15. 혈관 부위별 총 단면적과 혈류 속도	43
그림 16. 압력을 높이로	44
그림 17. 제 4장 개념도	47
그림 18. 생활 속 개념도 4	48
그림 19. U자관 삼투 실험	50
그림 20. 저장액·등장액·고장액에 넣은 세포	51
그림 21. 저장액 속 식물 세포의 시간 변화(모형 계산)	52
그림 22. 제 5장 개념도	57
그림 23. 생활 속 개념도 5	58
그림 24. 네프론 모식도	60
그림 25. 물질별 하루 여과량과 배설량	62
그림 26. 혈당과 포도당의 여과·재흡수·배설	65
그림 27. 제 6장 개념도	68
그림 28. 생활 속 개념도 6	69
그림 29. 질소 노폐물과 물의 거래	73
그림 30. 질소의 길과 끊기는 두 곳	74
그림 31. 간부전과 신부전의 혈액 수치(설명용 가상 자료)	75
그림 32. 제 7장 개념도	78
그림 33. 생활 속 개념도 7	79
그림 34. 표적 세포만 반응하는 원리	82
그림 35. 사람의 주요 내분비샘	83
그림 36. 신경과 호르몬의 시간 규모	86
그림 37. 제 8장 개념도	89
그림 38. 생활 속 개념도 8	90
그림 39. 막 수용체와 세포 내 수용체의 두 경로	92
그림 40. 막 수용체와 전사 경유 반응의 시간	94
그림 41. 병체 결합 실험의 해석	96
그림 42. 제 9장 개념도	99
그림 43. 생활 속 개념도 9	100
그림 44. 인슐린 전구체의 절단	102
그림 45. β 세포의 분비 경로	103
그림 46. 펄스-추적 실험의 모형 곡선	105
그림 47. 제 10장 개념도	109

그림 48. 생활 속 개념도 10	110
그림 49. 시상하부-뇌하수체-갑상샘 축	112
그림 50. 요오드 결핍 때 되먹임 모형.....	113
그림 51. 이상 위치별 호르몬 무늬	115
그림 52. 제 11장 개념도	119
그림 53. 생활 속 개념도 11	120
그림 54. 혈당 조절 회로	122
그림 55. 식후 혈당·인슐린·글루카곤.....	123
그림 56. 경구 당부하 검사의 모형 곡선	126
그림 57. 제 12장 개념도	129
그림 58. 생활 속 개념도 12	130
그림 59. 세포호흡의 지도	132
그림 60. 포도당 1 mol당 ATP 비교	133
그림 61. 2023 연세대 자료의 그래프	135
그림 62. 제 13장 개념도	139
그림 63. 생활 속 개념도 13	140
그림 64. ADH 되먹임 회로	142
그림 65. 혈장 삼투압·ADH·오줌 농도.....	143
그림 66. 세포 밖 Na^+ 와 Na^+ 평형 전위	145
그림 67. 제 14장 개념도	148
그림 68. 생활 속 개념도 14	149
그림 69. 체성 신경과 자율 신경의 경로	151
그림 70. 담수어와 해수어의 물·염분 수지	154
그림 71. 담수어 오줌의 염분 농도 계산	155
그림 72. 항상성 문항의 여섯 칸 회로.....	173
그림 73. 전체 개념 그래프.....	181
그림 74. 개념별 출제 횟수.....	182
그림 75. 연도별 출제 문항 수	184
그림 76. 대학별 출제 문항 수	184
그림 77. 자료 해석형 풀이 절차	191
그림 78. 노폐물의 배설 과정(원문 그림 재작도).....	211
그림 79. 〈경북대 2025〉 개념 그래프	212
그림 80. 간부전·신부전의 두 사슬.....	214
그림 81. 〈연세대 2023〉 개념 그래프	221
그림 82. 문제 2의 경로와 막힌 지점.....	223
그림 83. 〈경희대 2023〉 개념 그래프	230
그림 84. 저장액 속 식물 세포의 부피·팽압·삼투압	233
그림 85. 〈연세대 2022〉 개념 그래프	239
그림 86. 신경 전달 물질과 티록신의 작용 경로	241
그림 87. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	248
그림 88. [표 3]의 꺾은선 그래프	249
그림 89. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	256
그림 90. 근수축과 ATP 공급원.....	259
그림 91. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	266
그림 92. 당뇨병 간세포의 포도당 흐름	268
그림 93. 〈성균관대 2016〉 개념 그래프	274
그림 94. 2-iii 혈당·인슐린 예측 곡선	279
그림 95. 〈건국대 2015〉 개념 그래프	283
그림 96. 큐라레와 아트로핀의 작용 위치	285

그림 97. 원문 그림 1 네프론의 물·요소 상대량.....	292
그림 98. 〈성균관대 2011〉 개념 그래프	293
그림 99. 2010 고려대 그림 3(혈관 연결 실험)	303
그림 100. 〈고려대 2010〉 개념 그래프	305
그림 101. 〈경북대 2009〉 개념 그래프	314
그림 102. 이상 위치별 호르몬 패턴(모형).....	315
그림 103. 원문 그림 1 삼투에 의한 세포 변화	322
그림 104. 〈송실대 2009〉 개념 그래프	323
그림 105. 담수어·해수어의 물·염분 수지	327
그림 106. 2008 서울대 [그림 1] 혈관의 구조	332
그림 107. 2008 서울대 [그림 3]과 연속식.....	333
그림 108. 〈서울대 2008〉 개념 그래프	334

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	13
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념.....	13
표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출.....	17
표 4. 몸의 주요 조절값.....	20
표 5. 제 2장의 개념이 쓰인 기출.....	27
표 6. 노폐물별 생성 영양소·배출 기관·배출 형태.....	31
표 7. 제 3장의 개념이 쓰인 기출.....	37
표 8. 혈관 세 종류 비교.....	39
표 9. 제 4장의 개념이 쓰인 기출.....	47
표 10. 등장·고장·저장액에서 동물 세포와 식물 세포의 변화.....	55
표 11. 제 5장의 개념이 쓰인 기출.....	57
표 12. 혈장·원뇨·오줌의 성분 비교.....	63
표 13. 제 6장의 개념이 쓰인 기출.....	68
표 14. 간부전과 신부전.....	74
표 15. 제 7장의 개념이 쓰인 기출.....	78
표 16. 사람의 주요 호르몬.....	83
표 17. 신경계와 내분비계의 비교.....	86
표 18. 제 8장의 개념이 쓰인 기출.....	89
표 19. 결손 위치별 예측.....	95
표 20. 제 9장의 개념이 쓰인 기출.....	99
표 21. 분획별 방사능 자료를 읽는 법.....	105
표 22. 제 10장의 개념이 쓰인 기출.....	109
표 23. 이상 위치 판별표.....	116
표 24. 제 11장의 개념이 쓰인 기출.....	119
표 25. 1형과 2형 당뇨병의 비교.....	125
표 26. 제 12장의 개념이 쓰인 기출.....	129
표 27. 정상·당뇨·TCA 결손 세포의 예측.....	134
표 28. 제 13장의 개념이 쓰인 기출.....	139
표 29. ADH와 알도스테론의 비교.....	145
표 30. 제 14장의 개념이 쓰인 기출.....	148
표 31. 추위에 대한 신경과 호르몬의 대응.....	153
표 32. 기본개념편의 다섯 사슬.....	156
표 33. 2부 목차와 내용.....	171
표 34. 몸의 주요 조절값.....	174
표 35. 혈류 계산의 고정값과 결과(2008 서울대 제시문 값, 1 mmHg = ...)	174
표 36. 세 용액에서 동물 세포와 식물 세포의 변화.....	175
표 37. 물질별 여과·배설·재흡수(하루, GFR 180 L/일 기준 대표값).....	176
표 38. 간부전과 신부전의 사슬.....	176
표 39. 수용체 위치에 따른 판정.....	177
표 40. 이상 위치별 호르몬 패턴(티록신이 부족한 경우).....	178
표 41. 1형·2형 당뇨병과 간세포의 포도당 대사.....	178
표 42. 항이뇨 호르몬과 알도스테론 비교.....	179
표 43. 이 책의 기출 문항 목록.....	183
표 44. 대학별 출제 문항.....	184
표 45. 문항별 요구 개념 수와 최대 층.....	186
표 46. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서).....	186
표 47. 논술 기본 패턴 다섯 가지.....	189

표 48. 논술답안작성 패턴분석(3부) 목차와 내용.....	189
표 49. 서술형 답안의 문장 틀(변화 → 감지 → 신호와 표적 → 결과·되먹임).....	192
표 50. 논술 기본 패턴 5가지.....	193
표 51. 문항별 소문항에 적용한 패턴(기호는 위 표, 둘을 쓴 소문항은 앞의 기호).....	194
표 52. 판별형의 후보 지우기.....	194
표 53. 실전기출문제와 풀이과정 전체 문항 목차(학교·연도, 출제 내용, 쓰이는.....)	203
표 54. 실전기출문제와 풀이과정(4부) 장별 내용.....	204
표 55. 대학별 기출 문항 수·연도·소재(문항 번호는 6장의 기출문제 번호).....	205
표 56. 학년도별 문항 수.....	205
표 57. 소문항에 적용한 답안 패턴의 분포(33개 소문항, 둘이 결합된 소문항은.....)	206
표 58. 기본 개념 한눈에(기출 빈도 순, 기출 = 그 개념을 쓴 문항 수).....	206
표 59. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적.....	208
표 60. 기출문제 1의 개념과 복습 위치.....	212
표 61. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	214
표 62. 제시문 [나]의 표.....	220
표 63. 기출문제 2의 개념과 복습 위치.....	221
표 64. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	224
표 65. 기출문제 3의 개념과 복습 위치.....	230
표 66. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	231
표 67. 짠 음식·땀 뒤의 혈장 삼투압 조절.....	234
표 68. 기출문제 4의 개념과 복습 위치.....	239
표 69. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	241
표 70. [표 3].....	247
표 71. 기출문제 5의 개념과 복습 위치.....	248
표 72. [표 3]을 시간 구간별로 읽은 해석(이 책이 정리).....	249
표 73. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	250
표 74. 기출문제 6의 개념과 복습 위치.....	256
표 75. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	257
표 76. 운동 중 혈당을 조절하는 신경과 호르몬.....	261
표 77. 기출문제 7의 개념과 복습 위치.....	266
표 78. 간세포가 포도당을 다루는 세 길.....	268
표 79. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	269
표 80. 문제 2-ii의 실험 표.....	273
표 81. 기출문제 8의 개념과 복습 위치.....	274
표 82. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	276
표 83. 기출문제 9의 개념과 복습 위치.....	283
표 84. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	285
표 85. [표 1] 혈장, 원뇨 및 오줌의 성분과 농도(단위: g/100 mL).....	291
표 86. 기출문제 10의 개념과 복습 위치.....	293
표 87. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	294
표 88. 다섯 보기의 ADH·알도스테론·오줌량 정리(대학 예시답안 기준, 빈칸은.....)	295
표 89. 표 1 실험한 내용과 관찰한 결과.....	304
표 90. 기출문제 11의 개념과 복습 위치.....	305
표 91. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	306
표 92. 기출문제 12의 개념과 복습 위치.....	314
표 93. 티록신이 부족한 네 가지 경우의 판별표.....	316
표 94. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	316
표 95. 기출문제 13의 개념과 복습 위치.....	323
표 96. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	324

표 97. 담수어와 해수어의 물·염분 조절 비교.....	325
표 98. 기출문제 14의 개념과 복습 위치.....	334
표 99. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	335
표 100. 인강 회차 구성(제안)	349
표 101. 14개 문항의 규모	351
표 102. 대학별 출제 특징(자료를 구한 범위 안에서).....	352

제 1 부

기본개념편

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

호르몬·항상성·배설

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 항상성의 기본 회로 → 노폐물과 그 길(순환·삼투·콩팥·간) → 호르몬과 수용체 → 되먹임 축 → 혈당 → 물과 소금 → 신경과 호르몬의 협동 순서로 이어집니다. 앞 장의 결과가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠릅니다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장 — 앞 구간이 뒤 구간의 바탕이 된다

구간	장	무엇을 하는가
A. 항상성의 뼈대	1~2장	감지 → 신호 → 반응 → 음성 되먹임의 회로를 세우고, 먹은 영양소가 어떤 노폐물이 되는지 따라간다.
B. 운반과 배설	3~6장	혈압과 혈류를 계산하고, 삼투로 물이 움직이는 원리를 익힌 뒤, 콩팥의 여과·재흡수·분비와 간의 요소 합성을 본다.
C. 호르몬의 언어	7~9장	호르몬의 성질과 신경과의 차이, 수용체의 위치에 따른 작용 방식, 인슐린이 세포 밖으로 나가는 길을 다룬다.
D. 되먹임과 혈당	10~12장	시상하부-뇌하수체-갑상샘 축의 음성 되먹임, 인슐린과 글루카곤, 혈당과 세포호흡·운동의 관계를 자료로 읽는다.
E. 물·소금과 협동	13~14장	항이뇨 호르몬과 알도스테론, 자율 신경과 체성 신경, 물고기의 염분 조절로 앞 장을 묶고 2부로 간다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈생활 속 개념도〉 → 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 → 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 표로 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 (17쪽)	왜 항상성인가	항상성 · 내부 환경 · 음성 되먹임 · 양성 되먹임
기본개념편 제 2장 (27쪽)	먹은 것은 어디로 가나: 물질대사와 노폐물	물질대사 · 노폐물 $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{NH}_3$ · 기관계의 분업
기본개념편 제 3장 (37쪽)	혈액은 어떻게 도나: 혈압과 혈류	혈압 · 유량 보존 $Q = Av$ · 압력과 높이 · 심장의 일률
기본개념편 제 4장 (47쪽)	물은 진한 쪽으로: 삼투와 삼투압	삼투 · 등장·고장·저장액 · 삼투압 $\pi = CRT$ · 팽압
기본개념편 제 5장 (57쪽)	콩팥의 일: 여과·재흡수·분비	네프론 · 여과 · 재흡수 · 분비 · 재흡수율
기본개념편 제 6장 (68쪽)	암모니아에서 요소로: 간과 질소 노폐물	암모니아 · 요소 합성 · 간부전과 간성뇌증 · 신부전과 요독증

장(쪽)	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 7장 (78쪽)	호르몬이란 무엇인가	내분비샘 · 호르몬의 특성 · 표적 세포 · 신경계와 비교
기본개념편 제 8장 (89쪽)	호르몬은 세포에 어떻게 말하나: 수용체와 신호 전달	막 수용체 · 세포 내 수용체 · 2차 전령 · 전사 조절 · 수용체 결손
기본개념편 제 9장 (99쪽)	인슐린이 세포를 나가는 길: 분비 단백질의 경로	거친면 소포체 · 골지체 · 분비 소낭 · 펄스-추적 실험
기본개념편 제 10장 (109쪽)	되먹임 조절: 시상하부-뇌하수체-갑상 샘 축	TRH · TSH · 티록신 · 음성 되먹임 · 이상 부위 판별
기본개념편 제 11장 (119쪽)	혈당 조절: 인슐린과 글루카곤	인슐린 · 글루카곤 · 간 글리코젠 · 당뇨병 1형·2형
기본개념편 제 12장 (129쪽)	혈당과 세포의 에너지: 당뇨병·운동·세 포 호흡	포도당 흡수 · 세포호흡과 ATP · 젖산 발효 · 운동
기본개념편 제 13장 (139쪽)	물과 소금의 균형: 항이뇨 호르몬과 알도스테론	혈장 삼투압 · 항이뇨 호르몬 · 알도스테론 · 혈액량
기본개념편 제 14장 (148쪽)	신경과 호르몬의 협동, 그리고 2부로	자율·체성 신경 · 큐라레와 아트로핀 · 체온 조절 · 물고기의 염분 조절

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 그림에 나온 숫자(혈류 속도, 재흡수율, 오줌 염분 농도)를 손으로 한 번 계산해 본다.
- 화살표가 나오면 방향을 말로 바꿔 본다. “삼투압이 오르면 → 시상하부가 감지하고 → 뇌하수체 후엽이 ADH를 내고 → 콩팥이 물을 되찾는다.” 기출 답안의 절반은 이 화살표 문장이다.
- 장이 끝나면 〈스스로 풀어 보기〉를 먼저 풀고 부록 A로 확인한다.
- 막히기 쉬운 곳은 5장(재흡수율 계산)과 8장(수용체의 위치), 10장(이상 부위 판별)이다. 이 세 장은 두 번 읽는다.
- 장 첫머리 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

호르몬·항상성·배설은 중학교 과학의 “자극과 반응”, “소화·순환·호흡·배설”에서 처음 만나고, 대학 논술에서는 실험 자료를 읽고 몸속 사슬을 화살표로 이어 쓰는 문제로 나오는 단원이다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(세포, 혈액, 농도의 뜻, 간단한 비율 계산)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 호르몬 이름을 먼저 주지 않고, 몸이 무엇을 일정하게 지키려 하는지 먼저 묻고 그다음에 장치를 하나씩 붙인다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 돌집 과학방에서 과학을 배운다. 하린은 중2, 태오는 고2 논술 준비생이다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 일상의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 은퇴한 화학·생물 교수. 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

첫 토요일

충북 단양의 겨울 아침, 돌집 과학방의 보일러가 “딸깍” 하고 꺼졌다. 이모는 두부를 담은 보온 통을 들고 들어오며 코트를 벗었고, 태오는 지난밤 라면을 먹고 부은 얼굴을 손바닥으로 문지르고 있었다.

하린 교수님, 보일러가 저절로 꺼졌어요. 고장 난 거예요?

석 교수 고장이 아니라 일을 잘한 거다. 벽에 붙은 온도조절기를 봐라. 22 °C에 맞춰져 있지?

하린 네. 지금 방이 22 °C가 됐으니까 꺼진 거군요.

석 교수 그렇지. 온도가 내려가면 다시 켜지고, 올라가면 꺼진다. 결과가 원인을 끄는 이 고리를 음성 되먹임이라고 한다. 오늘부터 석 달 동안 우리 몸이 이 고리를 몇 개나 돌리고 있는지 세어 볼 거다.

태오 몸에도 보일러가 있어요?

석 교수 체온 37 °C, 혈당 100 mg/dL 안팎, 혈장 삼투압 290 mOsm/kg 안팎. 몸은 이런 숫자를 좁은 범위에 붙잡아 둔다. 이것을 항상성이라고 한다.

이모 저는 어제 짬 김치찌개를 먹고 밤새 물을 들이켰어요. 그것도 그 고리인가요?

석 교수 아주 좋은 예입니다. 피가 짜지면 뇌의 시상하부가 알아채고, 목마름을 느끼게 하고, 콩팥에 “물을 버리지 말라”는 호르몬을 보냅니다. 그 호르몬 이름이 항이뇨 호르몬이에요. 13장에서 만납니다.

태오 그럼 저 얼굴 부은 것도요?

석 교수 라면 국물의 나트륨 탓에 몸이 물을 붙잡아 둔 거다. 오늘 아침 소변이 진하고 양이 적었을 거다.

태오 ...맞아요. 그런데 논술에는 이런 게 어떻게 나와요?

석 교수 2023년 경희대는 “짬 음식을 먹은 뒤 혈장 삼투압의 변화와 조절 과정을 논술하라”고 물었고, 2025년 경북대는 간과 콩팥이 망가졌을 때 몸에 무엇이 쌓이는지 물었다. 연세대는 염색질을 문치게 하는 약을 주고 티록신이 왜 안 듣는지 추론하라고 했지.

하린 염색질은 처음 들어요.

석 교수 걱정 마라. 8장까지 가면 저절로 알게 된다. 순서는 이렇다. 먼저 몸이 무엇을 버려야 하는지(노폐물), 그것을 어떻게 나르고 거르는지(혈액·콩팥·간)를 본다. 그다음 몸이 신호를 보내는 방법, 곧 신경과 호르몬을 배우고, 마지막에 혈당과 물·소금을 조절하는 실제 회로를 그린다.

이모 숫자 계산도 있나요? 저는 장부 계산은 자신 있어요.

석 교수 있습니다. 콩팥은 하루에 피 속 액체 180 L를 거르는데 오줌은 1.5 L만 내보냅니다. 몇 퍼센트를 되찾은 걸까요?

이모 1.5를 180으로 나누면 0.0083이니까... 버린 게 0.83 %, 되찾은 게 99.2 %네요!

석 교수 바로 그 계산이 5장의 시작입니다. 그리고 그 99.2 %를 조절하는 손잡이가 호르몬이군요.

태오 생각보다 재밌겠는데요. 근데 외울 게 많지 않아요?

석 교수 호르몬 이름은 많지만 회로는 하나다. 감지기, 조절 중추, 효과기, 그리고 결과가 다시 감지기로 돌아오는 길. 어떤 문제를 만나도 이 네 칸에 이름만 바꿔 넣으면 된다. 오늘은 그 네 칸부터 그려 보자.

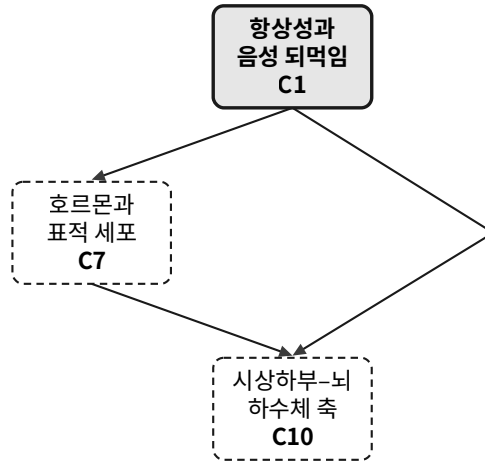
왜 항상성인가? 1장은 보일러 온도조절기에서 출발해 몸의 조절 회로 네 칸을 세운다. 2장부터 6장까지는 그 회로가 지켜야 할 대상, 곧 혈액과 그 안의 물·소금·노폐물을 따라가고, 7장부터 13장까지는 그 회로를 움직이는 신호인 호르몬을 하나씩 붙인다. 14장에서 신경과 호르몬이 함께 일하는 장면으로 전체를 묶는다. 이 한 줄기를 끝까지 따라가는 것이 기본개념편의 줄거리다.

제 1장 왜 항상성인가

새 개념 항상성 · 내부 환경(세포외액) · 감지기-조절 중추-효과기 · 음성 되먹임 · 양성 되먹임

이어집 호르몬 7장 · 되먹임 축 10장 · 혈당 11장 · 삼투압 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 항상성과 음성 되먹임)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 4 (연세대 2022년) (238쪽)	신경계와 내분비계, 티록신은 핵에서 일한다	C1 항상성과 음성 되먹임
기출 11 (고려대 2010년) (303쪽)	비만 유전자와 혈관 연결 실험·호르몬 작용 원리	C1 항상성과 음성 되먹임
기출 12 (경북대 2009년) (313쪽)	해산물과 TRH 주사로 고장 난 곳 찾기	C1 항상성과 음성 되먹임

겨울 아침, 보일러와 몸은 같은 회로로 움직인다

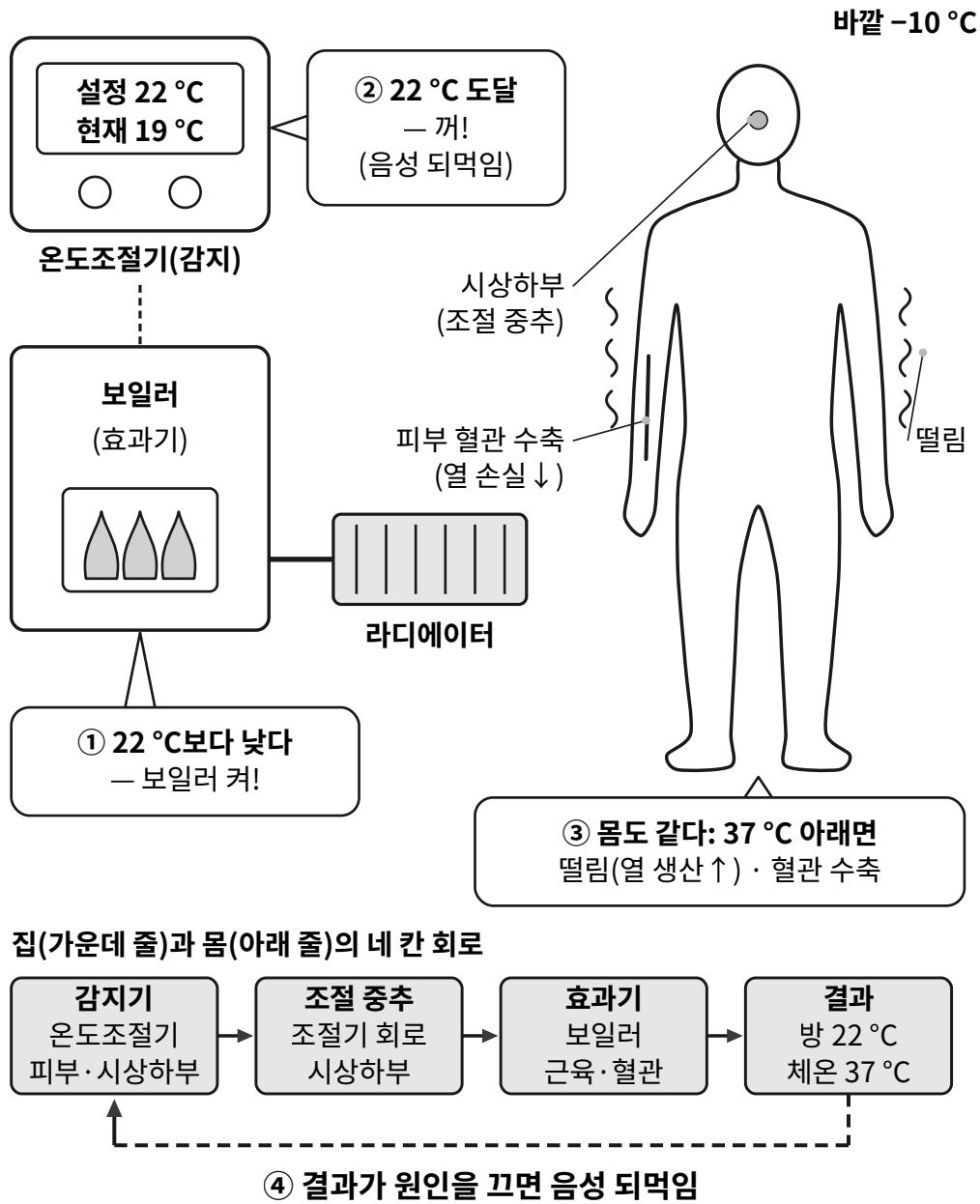


그림 3. 겨울 아침 보일러 온도조절기와 사람 — 집의 온도조절기와 몸의 체온 조절이 같은 네 칸 회로(감지 → 중추 → 효과기 → 결과)로 움직이는 장면(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 감지 → 조절 중추 → 효과기 → 결과의 고리가 항상성의 기본 회로다.
2. 결과가 처음의 변화를 줄이는 쪽으로 되돌아가면 음성 되먹임이다.
3. 몸은 체온·혈당·혈장 삼투압을 같은 모양의 회로로 조절한다.

이 장의 출발점

- 세포가 생명의 기본 단위이고, 세포막이 세포 안과 밖을 나눈다는 것(중학교 과학).
- 혈액이 혈장과 혈구로 이루어지고, 혈장이 온몸을 돌며 물질을 나른다는 것.
- 체온계로 잰 체온이 보통 36.5~37.5 °C라는 생활 속 상식.
- 비율과 백분율 계산: 60 kg의 60 %는 36 kg이다.

1월 첫 토요일, 단양 돌집 과학방의 창문에 성애가 하얗게 끼었다. 미숙 이모가 들어오며 현관 옆 보일러 온도조절기를 가리켰다. 화면에는 ‘설정 22 °C, 현재 19 °C’가 깜박이고 있었다.

이모 교수님, 이 보일러가 밤새 켜다 켜다 하더라고요. 그런데 사람 몸은 보일러도 없는데 어떻게 늘 37 °C 근처에 머물러요? 바깥은 영하 10 °C인데요.

석 교수 오늘 공부를 그 질문으로 시작하자. 이 권 전체가 그 질문의 답이다. 몸은 체온만이 아니라 혈당, 물과 소금의 농도, 혈액의 pH까지 좁은 범위에 붙잡아 둔다. 그 일을 **항상성**이라고 해.

하린 항상성은 ‘늘 같은 상태’라는 뜻이에요?

석 교수 뜻은 그렇다. 다만 ‘가만히 있어서 같은’ 게 아니라 ‘끊임없이 고쳐서 같은’ 것이다. 보일러도 가만히 있으면 방이 식는다. 감지하고, 켜고, 끄기를 되풀이해서 22 °C 근처를 지키는 거지.

태오 논술에 “항상성의 정의를 쓰라”는 문제도 나와요?

석 교수 나온다. 정의를 한 줄로 외우는 것보다, 무엇을 감지해서 누가 어떻게 되돌리는지를 회로로 쓰는 게 점수가 된다. 오늘은 그 회로를 손에 익히는 날이다.

1.1 세포는 작은 바다에 산다

석 교수 먼저 몸이 ‘무엇을’ 일정하게 지키는지부터 보자. 19세기 프랑스 생리학자 클로드 베르나르는 이렇게 말했다. 우리 몸의 세포는 바깥 공기에 직접 닿아 사는 게 아니라 세포를 둘러싼 액체 속에 산다. 그는 그것을 **내부 환경**이라고 불렀어.

하린 세포를 둘러싼 액체가 뭐예요? 피요?

석 교수 피의 액체 부분인 혈장, 그리고 혈관 밖으로 스며 나와 세포 사이를 채우는 조직액이다. 둘을 합쳐 **세포외액**이라고 한다. 세포 안의 액체는 세포내액이고. 세포외액은 바닷물을 닮은 짠 액체라서 ‘몸속의 작은 바다’라고 부르기도 해.

이모 바깥 날씨가 바뀌어도 그 작은 바다만 일정하면 세포는 편하겠네요.

석 교수 바로 그 생각이다. 20세기 미국의 생리학자 월터 캐넌은 이 생각을 이어받아, 내부 환경을 일정하게 지키는 일을 그리스어로 ‘비슷한(homeo)’과 ‘머무름(stasis)’을 붙여 **항상성(homeostasis)**이라고 이름 붙였다. ‘완전히 같다’가 아니라 ‘비슷한 범위에 머문다’는 뜻이 이름에 들어 있어.

태오 그 작은 바다가 몸에 얼마나 있는데요?

석 교수 계산해 보자. 어른 몸무게의 약 60 %가 물이다. 그 물의 3분의 2가 세포 안에, 3분의 1이 세포 밖에 있고, 세포 밖 물의 4분의 1이 혈장, 나머지 4분의 3이 조직액이다. **그림 4**가 그 비율을 막대로 그린 것이다.

체중 60 kg · 체수분 60 %

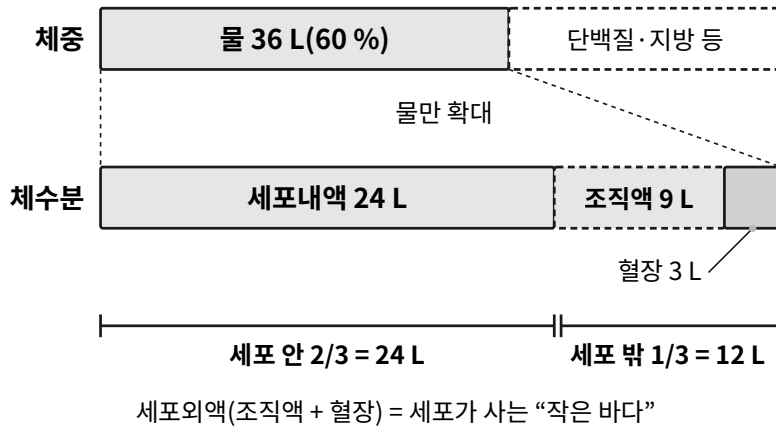


그림 4. 체중 60 kg인 성인의 체수분 구획 — 체수분 36 L 가운데 세포내액 24 L, 세포외액 12 L(조직액 9 L + 혈장 3 L)이다(체수분 60 %, 2/3·1/3·1/4 비율로 계산)

문제 1.1

체중 60 kg인 사람의 체수분이 체중의 60 %이고, 체수분의 2/3가 세포내액, 1/3이 세포외액이며, 세포외액의 1/4이 혈장이다. 물 1 kg을 1 L로 볼 때 체수분, 세포내액, 세포외액, 혈장의 부피를 구하라.

하린 체수분은 $60 \times 0.60 = 36$ kg, 그러니까 36 L예요.

태오 세포내액은 $36 \times 2/3 = 24$ L, 세포외액은 $36 \times 1/3 = 12$ L. 혈장은 $12 \times 1/4 = 3$ L예요.

석 교수 맞다. 하나 더 확인하자. 조직액은 얼마지?

태오 $12 - 3 = 9$ L예요. 세 칸을 다 더하면 $24 + 9 + 3 = 36$ L로 체수분과 맞아요.

석 교수 정답은 체수분 36 L, 세포내액 24 L, 세포외액 12 L, 혈장 3 L(조직액 9 L)이다. 계산까지 깔끔하다. 혈액 전체는 혈구까지 합쳐 약 5 L인데, 그중 액체 부분이 3 L라고 보면 된다.

이모 혈장 3 L가 몸 전체 세포 수십조 개의 바다라니, 생각보다 작네요.

석 교수 작아서 더 조심스럽다. 짠 라면 한 그릇의 소금이 그 3 L에, 다시 세포외액 12 L에 퍼진다고 생각해 봐. 그 변화를 감지하고 되돌리는 장치가 없으면 세포가 금세 쪼그라들거나 부풀겠지. 그 장치는 13장에서 자세히 본다.

1.2 몸이 지키는 숫자들

석 교수 몸이 지키는 숫자를 표로 모아 두자. 표 4에 대표값과 그 값을 감지하는 곳, 주로 조절하는 신호를 적었다.

표 4. 몸의 주요 조절값 — 정상 범위와 그것을 감지하는 곳, 주로 조절하는 신호(대표값)

조절 항목	정상 범위	감지하는 곳	주로 조절하는 신호
체온	36.5~37.5 °C	시상하부 온도 중추	자율 신경, 티록신
혈당(공복)	70~99 mg/dL	이자 섬의 α · β 세포	인슐린, 글루카곤
혈장 삼투압	280~295 mOsm/kg	시상하부 삼투 수용기	항이뇨 호르몬(ADH)

조절 항목	정상 범위	감지하는 곳	주로 조절하는 신호
혈장 Na ⁺	약 135~145 mM	콩팥·부신 겉질	알도스테론
혈액 pH	7.35~7.45	연수·동맥의 화학 수용기	호흡 중추(CO ₂ 배출)

하린 체온은 1 °C 폭인데, 혈당은 70에서 99까지라서 폭이 커 보여요.

석 교수 숫자의 폭이 아니라 비율로 봐야 한다. 체온 37 °C에서 1 °C는 약 3 %이고, 혈당 85 mg/dL 근처에서 29 mg/dL은 약 34 %다. 혈당은 밥을 먹으면 실제로 크게 출렁이고, 몸은 그것을 몇 시간 안에 되돌린다. 반대로 혈액 pH는 7.35에서 7.45, 폭이 0.1밖에 안 된다. pH는 로그 값이라 0.1은 수소 이온 농도로 약 26 % 차이이다.

태오 표의 오른쪽 칸을 보니 신호가 두 종류네요. 신경 쪽이 있고, 호르몬 쪽이 있어요.

석 교수 잘 봤다. 그 두 신호선이 이 장 끝의 예고편이다. 지금은 감지하는 곳이 따로 있고, 신호가 따로 있다는 점만 기억해 두자.

이모 그런데 범위를 조금 벗어나면 정말 그렇게 큰일이 나요? 열이 39 °C까지 올라도 사람은 버티잖아요.

석 교수 잠깐은 버틴다. 문제는 얼마나 멀리, 얼마나 오래 벗어나느냐다. 체온이 41~42 °C를 넘어 오래가면 세포 속 단백질의 입체 구조가 풀리기 시작하고, 효소가 제 일을 못 한다. 반대로 35 °C 아래로 내려가면 효소 반응이 느려지고 의식이 흐려진다.

하린 혈당은요?

석 교수 뇌는 평소 거의 포도당만 연료로 쓴다. 그래서 혈당이 50 mg/dL 아래로 떨어지면 식은 땀, 손 떨림, 어지럼이 오고 더 내려가면 의식을 잃을 수 있다. 반대로 혈당이 늘 높으면 당장은 아프지 않아도 혈관과 콩팥, 눈의 망막이 몇 년에 걸쳐 상한다. 낮은 쪽은 몇 분짜리 위험이고, 높은 쪽은 몇 년짜리 위험인 셈이다.

태오 그러니까 범위의 양쪽 끝이 둘 다 위험하고, 위험해지는 속도가 다르네요. 그래서 혈당을 올리는 호르몬이 여럿이고 내리는 호르몬은 인슐린 하나인가요?

석 교수 좋은 질문인데, 그 답은 11장에서 실험 자료와 함께 보자. 지금은 ‘범위를 지키는 것’이 세포를 지키는 일이라는 것만 붙잡아 두면 된다.

1.3 조절 회로의 네 칸

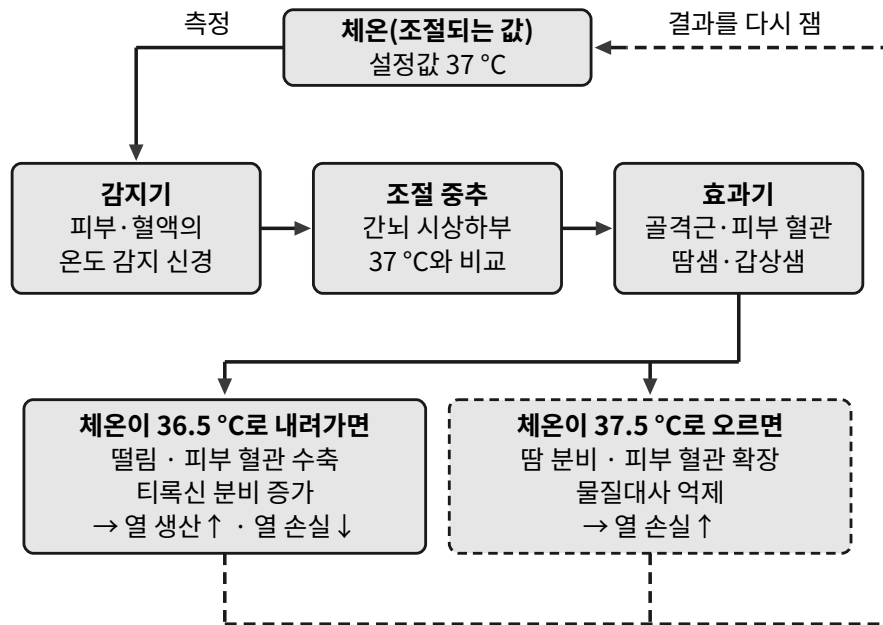
석 교수 이제 회로를 그리자. 보일러부터 하자. 온도조절기는 무엇을 하지?

하린 방 온도를 재요.

석 교수 그게 감지기다. 감지한 값을 설정값 22 °C와 비교해서 ‘켜라, 꺼라’를 정하는 판단부가 **조절 중추**, 실제로 열을 내는 보일러가 **효과기**다. 효과기가 방을 데우면 그 결과를 다시 감지기가 켜다. 이렇게 네 칸이 고리로 이어진다.

이모 사람 몸에선 그 네 칸이 뭐예요?

석 교수 체온으로 보자. 피부와 혈액의 온도를 감지하는 신경 말단과 시상하부의 온도 감지 세포가 감지기다. 간뇌의 시상하부가 조절 중추로서 설정값 37 °C와 비교한다. 효과기는 여럿이야. 골격근의 떨림, 피부 혈관의 수축과 확장, 땀샘, 그리고 물질대사를 높이는 갑상샘이다. **그림 5**에 그 회로를 그렸다.



결과가 처음 변화를 줄이는 쪽으로 체온을 되돌린다 = 음성 되먹임

(실선: 명령의 흐름, 초록 점선: 결과가 다시 감지되는 길)

그림 5. 체온 조절 회로 — 감지기가 체온을 재고 시상하부가 설정값 37 °C와 비교해 효과기에 명령한다. 체온이 내려가면 떨림·피부 혈관 수축, 올라가면 땀·피부 혈관 확장이 일어나 체온을 되돌린다(모식도)

태오 체온이 37.5 °C로 오르면 땀이 나고 피부 혈관이 넓어져서 열을 내보내고, 36.5 °C로 내려가면 떨고 피부 혈관이 좁아져서 열을 붙잡는 거네요.

석 교수 그렇다. 여기서 가장 중요한 낱말은 ‘되돌린다’이다. 체온이 올라서 생긴 반응이 체온을 내리고, 내려서 생긴 반응이 체온을 올린다. 결과가 원래의 변화를 줄이는 쪽으로 돌아오는 것, 그것이 **음성 되먹임**이다.

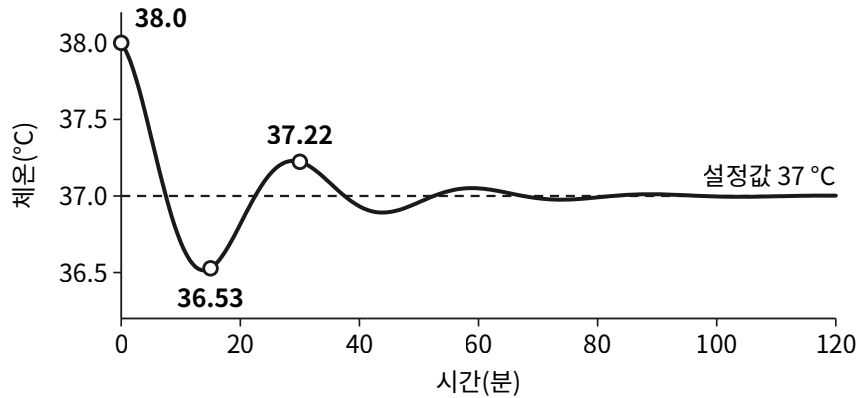
하린 ‘음성’이 ‘나쁘다’는 뜻은 아니죠?

석 교수 아니다. 부호가 반대라는 뜻이다. 변화가 +면 반응은 -, 변화가 -면 반응은 +. 그래서 값이 설정값 주위에 머문다.

이모 그런데 보일러를 보면 22 °C에 딱 멈추지 않고 23 °C까지 갔다가 21 °C까지 내려왔다가 하더라고요.

석 교수 좋은 관찰이다. 감지하고 반응하는 데 시간이 걸리니 조금씩 지나쳤다 돌아온다. 몸도 같아. 하지만 고리가 제대로 일하면 출렁임이 점점 줄어든다. 그것을 계산한 곡선이 **그림 6**의 위쪽이다. 체온이 갑자기 38 °C가 됐을 때 $T(t) = 37 + 1.0 \times e^{(-t/20)} \times \cos(2\pi t/30)$ 라는 간단한 식으로 출렁임을 그렸다. t는 분이다.

음성 되먹임 — 설정값 주위에서 가라앉는다



양성 되먹임 — 끝내는 사건까지 커진다

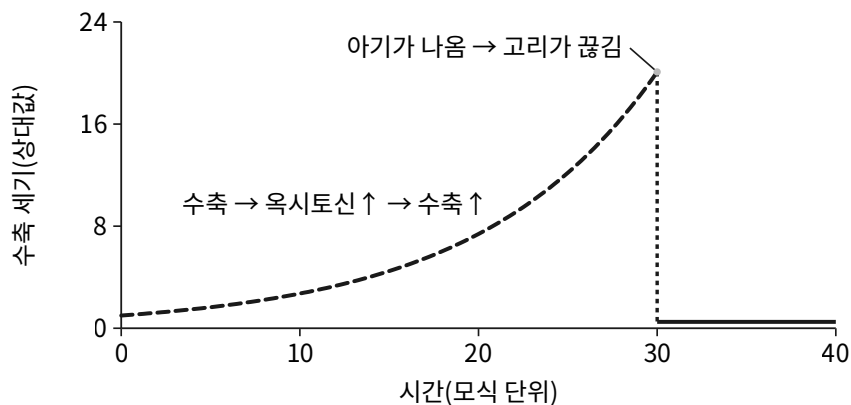


그림 6. 음성 되먹임과 양성 되먹임의 시간 변화 — 위: 체온이 38 °C로 흔들린 뒤 설정값 37 °C 주위에서 출렁임이 줄어드는 감쇠 곡선 $T(t) = 37 + e^{-(t/20)} \cdot \cos(2\pi t/30)$ (t 는 분, 모형 계산). 아래: 결과가 원인을 더 키우는 양성 되먹임은 분만처럼 끝나는 사건이 고리를 끊을 때까지 커진다(모식 곡선)

태오 $t = 15$ 분이면 $\cos(\pi) = -1$ 이니까 $37 + e^{-(0.75)} \times (-1) = 37 - 0.472 = 36.53$ °C. 지나쳐서 내려가요. $t = 30$ 분이면 $37 + e^{-(1.5)} = 37 + 0.223 = 37.22$ °C. 출렁임이 1 °C에서 0.47, 0.22로 줄어요.

석 교수 계산이 맞다. 반 주기마다 출렁임이 $e^{(-15/20)} = 0.47$ 배씩 줄어드는 셈이다. 실제 체온이 꼭 이 식을 따르는 건 아니고, 음성 되먹임이 ‘지나쳤다 돌아오며 가라앉는다’는 모양을 보이려는 모형이다.

조절 중추가 시상하부라는 것은 어떻게 알았나

하린 그런데 체온의 중추가 시상하부라는 건 누가 어떻게 알아냈어요? 뇌를 열어 볼 수도 없잖아요.

석 교수 동물 실험으로 알아냈다. 마취한 동물의 시상하부에 가는 관을 넣고, 그 관에 찬물이나 따뜻한 물을 흘려 시상하부만 식히거나 데웠어. 몸 전체의 온도는 그대로 두고 말이다.

태오 그럼 변인은 시상하부의 온도 하나네요. 대조군은 관만 넣고 물은 체온과 같은 온도로 흘린 동물이겠고요.

석 교수 그렇다. 결과는 이랬다. 시상하부만 식히면 몸은 따뜻한데도 동물이 떨고 피부 혈관이 좁아졌다. 시상하부만 데우면 혈떡이고 피부 혈관이 넓어졌다. 몸의 다른 곳을 같은 정도로 식히거나 데워도 반응은 훨씬 약했다.

하린 그러니까 시상하부가 ‘지금 춥다’고 느끼면 몸 전체가 추울 때처럼 반응한다는 거네요.

석 교수 그래서 결론은 “시상하부는 온도를 감지하고, 효과기에 명령을 내리는 조절 중추다”가 된다. 자료 해석에서 중요한 건 결론의 범위다. 이 실험은 시상하부가 중추라는 것을 보이지만, 피부의 감지기가 쓸모없다는 뜻은 아니다. 실제로 피부 감지기는 바깥 추위를 미리 알려 체온이 떨어지기 전에 반응하게 한다.

이모 감기에 걸려 열이 날 때도 이 회로가 고장 난 거예요?

석 교수 고장이라기보다 설정값이 바뀐 것이다. 염증 물질이 시상하부의 설정값을 37 °C에서 예컨대 39 °C로 올린다. 그러면 실제 체온 37 °C가 ‘너무 낮다’고 판단돼서, 몸이 떨고 피부 혈관을 좁힌다. 열이 오르기 전에 오한이 드는 까닭이 그것이다. 해열제가 설정값을 다시 내리면 이번에는 37 °C보다 높은 체온이 ‘너무 높다’고 판단돼 땀이 난다.

태오 회로는 그대로인데 비교하는 기준만 바뀐 거네요. 음성 되먹임은 계속 일하고요.

석 교수 정확하다. 회로의 네 칸에 설정값 하나를 더해 다섯 요소로 생각하면 발열도 같은 그림으로 설명된다.

1.4 음성 되먹임과 양성 되먹임

하린 음성이 있으면 양성 되먹임도 있어요?

석 교수 있다. 결과가 원인을 더 키우는 고리다. 대표 예가 분만이다. 아기 머리가 자궁 입구를 누르면 그 자극이 뇌하수체 후엽에서 옥시토신 분비를 늘리고, 옥시토신은 자궁 근육을 더 세게 수축시킨다. 수축이 세지면 아기가 더 내려와 더 누르고, 옥시토신이 또 는다.

이모 그럼 끝없이 세지면 위험하지 않아요?

석 교수 그래서 양성 되먹임에는 반드시 ‘끝내는 사건’이 있다. 분만에서는 아기가 나오는 순간 누르는 자극이 사라지면서 고리가 끊긴다. 혈액 응고도 같다. 혈관이 다치면 혈소판과 응고 인자가 서로를 불러 모아 응고가 빨라지고, 상처가 막히면 멈춘다. **그림 6**의 아래쪽이 그 모양이다.

태오 그러니까 음성 되먹임은 ‘지키는’ 고리, 양성 되먹임은 ‘끝내는’ 고리네요.

석 교수 좋은 요약이다. 항상성은 음성 되먹임으로 지켜지고, 양성 되먹임은 짧고 굵게 일을 마쳐야 할 때만 쓰인다.

문제 1.2

다음 다섯 사례를 음성 되먹임과 양성 되먹임으로 분류하고 근거를 쓰라. (가) 식사 후 혈당이 오르면 인슐린이 분비되어 혈당이 내려간다. (나) 체온이 내려가면 골격근이 떨려 열을 낸다. (다) 분만 중 자궁 수축이 옥시토신 분비를 늘리고, 옥시토신이 수축을 더 세게 한다. (라) 상처 부위에서 응고 인자가 활성화되면 더 많은 응고 인자가 활성화된다. (마) 땀을 많이 흘려 혈장 삼투압이 오르면 항이뇨 호르몬이 늘어 오줌량이 줄고 삼투압이 내려간다.

하린 (가)는 혈당이 올라서 생긴 반응이 혈당을 내리니까 음성이네요.

- 태오** (나)도 체온이 내려가서 생긴 반응이 체온을 올리니까 음성. (마)도 삼투압이 올라서 생긴 반응이 삼투압을 내리니까 음성이예요.
- 이모** (다)는 수축이 옥시토신을 늘리고 옥시토신이 수축을 늘리니까, 결과가 원인을 키워요. 양성이에요. (라)도 응고가 응고를 부르니까 양성이고요.
- 석 교수** 정답은 음성 되먹임 셋 (가)·(나)·(마), 양성 되먹임 둘 (다)·(라)다. 근거를 쓸 때는 “변화 → 반응 → 그 반응이 변화를 줄인다(음성) 또는 키운다(양성)”의 세 마디를 꼭 넣어라. “호르몬이 나오니까 음성”처럼 반응 이름만 쓰면 판정의 근거가 빠진다.
- 태오** (마)에서 반응이 ‘오줌량이 줄어든다’라서 줄어드니까 음성이라고 쓰면 틀려요?
- 석 교수** 틀린다. 줄어드는 것은 오줌량이고, 판정은 ‘처음 변한 값’, 곧 혈장 삼투압이 어떻게 되느냐로 한다. 삼투압이 올랐다가 내려가니 음성이다. 판정 기준이 되는 변수를 먼저 정하고 시작하는 습관이 중요하다.

1.5 신경과 호르몬, 두 가지 신호선

- 이모** 아까 표에서 신호가 두 종류라고 하셨잖아요. 신경이랑 호르몬은 뭐가 달라요?
- 석 교수** 회로의 화살표를 무엇으로 그리느냐의 차이다. 신경은 뉴런이라는 전선을 따라 전기 신호가 가서 정해진 근육이나 샘에만 닿는다. 빠르고, 좁고, 짧다. 호르몬은 내분비샘이 혈액에 내놓은 화학 물질이 온몸을 돌다가 그 호르몬의 수용체를 가진 세포만 반응시킨다. 느리고, 넓고, 오래 간다.
- 하린** 체온 조절에는 둘 다 쓰이죠? 떨림은 신경이고, 갑상샘은 호르몬이고요.
- 석 교수** 그렇다. 추운 날 몸은 먼저 신경으로 피부 혈관을 좁히고 근육을 떨게 해서 몇 초 안에 반응하고, 그다음 갑상샘의 티록신을 늘려 몇 시간에서 며칠에 걸쳐 물질대사를 높인다. 같은 목표를 두 신호선이 나눠 맡는 거야. 자세한 비교는 7장에서, 두 신호선이 함께 일하는 장면은 14장에서 다시 본다.
- 태오** 시험에서는 그 차이를 표로 쓰라고 하겠네요.
- 석 교수** 실제로 그런 문제가 있다. 지금 정리해 둘 것은 하나다. 어느 신호선이든 회로의 네 칸, 곧 감지기 → 조절 중추 → 효과기 → 결과가 감지기로, 이 모양은 같다. 회로를 먼저 그리고 화살표에 이름을 붙이면 된다.
- 이모** 그럼 병이란 건 그 고리 어딘가가 끊어진 거네요?
- 석 교수** 아주 좋은 말이다. 감지기가 고장 나면 변화를 모르고, 중추가 고장 나면 명령이 안 나가고, 효과기가 고장 나면 명령을 받아도 반응을 못 한다. 기출은 바로 이것, 곧 ‘어디가 끊어졌는지’를 자료로 찾게 한다. 그 판별은 10장의 갑상샘 축과 11장의 당뇨병에서 본격적으로 한다.

핵심 항상성 회로를 쓰는 4단계

1. 조절되는 변수(체온·혈당·삼투압 등)와 설정값을 먼저 정한다.
2. 감지기 → 조절 중추 → 효과기 → 결과의 네 칸을 채운다. 신호가 신경인지 호르몬인지 화살표에 적는다.
3. 결과가 처음 변화를 줄이면 음성 되먹임(항상성 유지), 키우면 양성 되먹임(분만·혈액 응고처럼 끝내는 사건이 있음)이다. 판정은 처음 변한 변수로 한다.
4. 이상이 생기면 네 칸 가운데 어디가 끊어졌는지를 자료(높고 낮음)로 찾는다.

스스로 풀어 보기

1. 체중 50 kg인 사람의 체수분이 체중의 60 %일 때, 문제 1.1과 같은 비율로 세포내액·세포외액·혈장의 부피를 구하라.
2. 다음을 음성·양성 되먹임으로 분류하라. (가) 혈당이 내려가면 글루카곤이 분비되어 혈당이 오른다 (나) 젖을 빨면 옥시토신이 늘어 젖이 더 나오고, 아기가 젖을 떼면 멈춘다 (다) 체온이 오르면 땀이 나서 체온이 내려간다
3. 체온 조절 회로에서 감지기, 조절 중추, 효과기를 하나씩 쓰라.
4. 감쇠 곡선 $T(t) = 37 + 1.0 \times e^{-(t/20)} \times \cos(2\pi t/30)$ 에서 $t = 60$ 분일 때 체온을 구하라. ($e^{-3} = 0.0498$)

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 회로는 4부의 거의 모든 문항이 출발점으로 삼는다. **기출문제 13**(숭실대 2009) (321쪽)은 베르나르와 캐넌의 항상성 개념을 제시문으로 주고 물고기의 염분 조절로 이어 가고, **기출문제 4**(연세대 2022) (238쪽)는 추운 날 신경과 호르몬이 함께 체온을 지키는 장면에서 두 신호선의 차이를 묻는다. **기출문제 12**(경북대 2009) (313쪽)은 갑상샘 축의 음성 되먹임으로 고장 난 곳을 판별하게 하고, **기출문제 11**(고려대 2010) (303쪽)는 생쥐의 체중 조절 실험을 되먹임이 없는 기계 장치와 견주게 한다. 이 네 문항 모두에서 첫 문장은 “감지 → 중추 → 효과기 → 결과가 원인을 줄인다”로 시작하면 된다.

이 장의 참고문헌

Bernard, C. (1957). An introduction to the study of experimental medicine (H. C. Greene, Trans.).

Dover. (Original work published 1865)

Cannon, W. B. (1929). Organization for physiological homeostasis. *Physiological Reviews*, 9(3), 399–431. <https://doi.org/10.1152/physrev.1929.9.3.399>

Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). *Guyton and Hall textbook of medical physiology* (14th ed.). Elsevier.

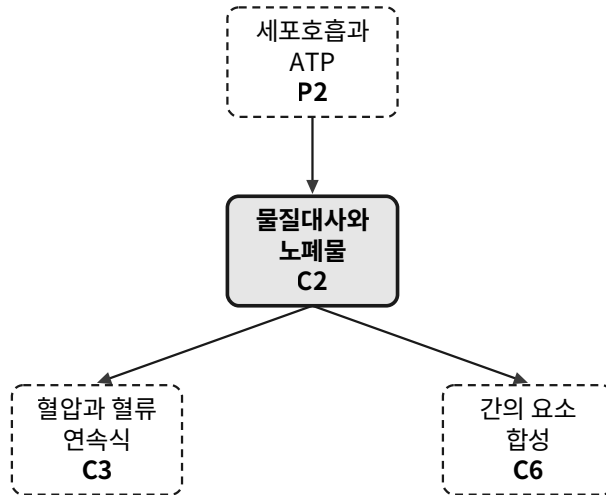
숭실대학교 입학처. (2009). 2009학년도 수시모집 논술고사 문제 [시험 자료].

제 2장 먹은 것은 어디로 가나: 물질대사와 노폐물

새 개념 물질대사(동화·이화) · 노폐물 $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{NH}_3$ · 기관계의 분업(소화·순환·호흡·배설)

이어짐 혈압과 혈류 3장 · 콩팥 5장 · 요소 합성 6장 · 세포호흡 12장

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 물질대사와 노폐물)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 1 (경북대 2025년) (210쪽)	간부전·신부전과 쌓이는 노폐물	C2 물질대사와 노폐물
기출 14 (서울대 2008년) (332쪽)	심장의 일률·혈압의 높이·모세혈관 혈류 속도	C2 물질대사와 노폐물

밥 한 끼가 지나가는 길

들어온 것은 쓰이고, 남은 것은 나간다

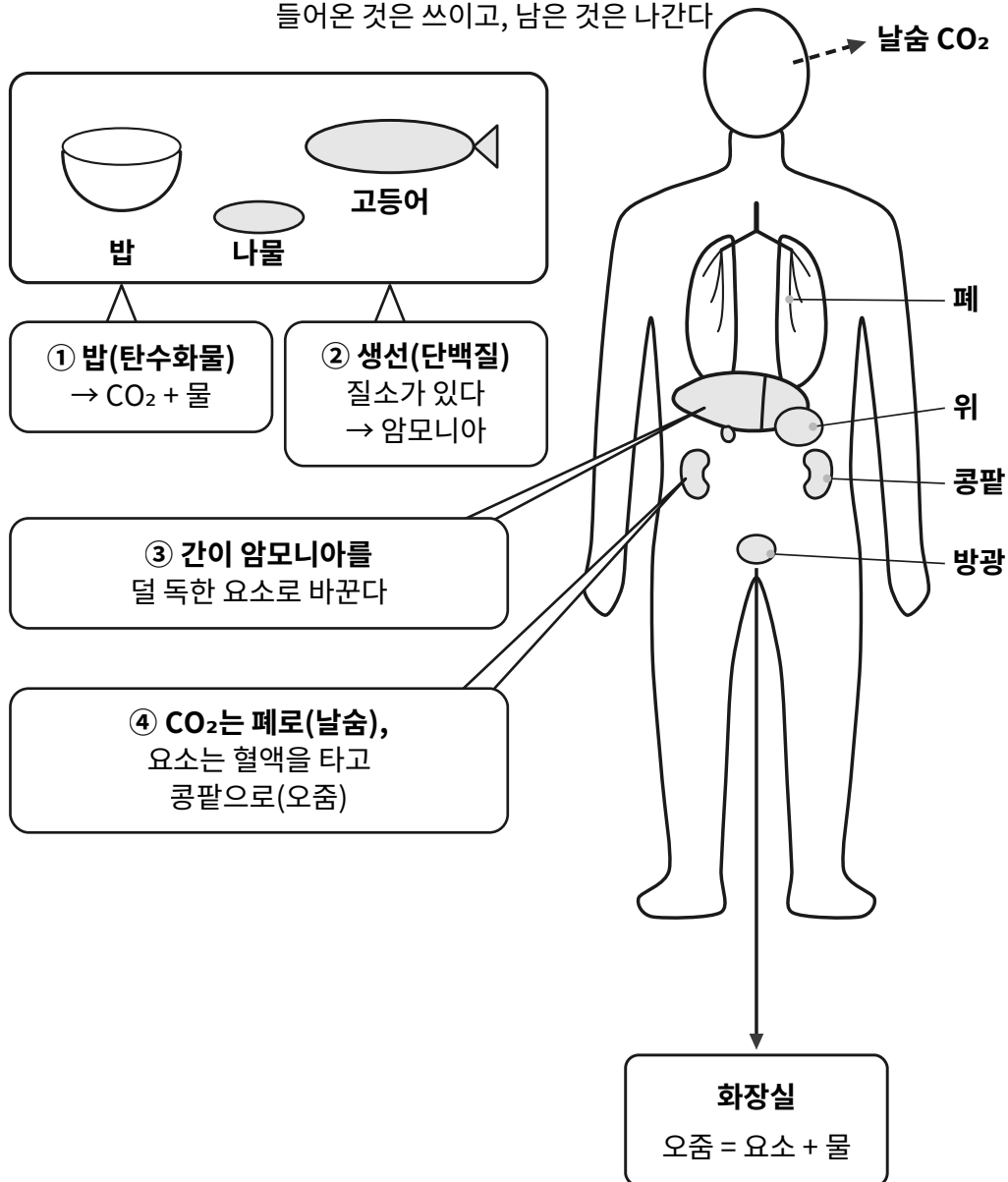


그림 8. 밥 한 끼가 지나가는 길 — 밥·생선·나물이 소화되어 세포에서 쓰이고, 남은 CO₂·물·질소 노폐물이 폐와 콩팥으로 나가는 장면(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 세 영양소는 모두 CO₂와 물이 되고, 단백질만 질소 노폐물을 더 남긴다.
2. 질소 노폐물은 간에서 요소가 되어 혈액을 타고 콩팥으로 가 오줌으로 나간다.
3. 소화·순환·호흡·배설 기관계가 한 줄로 이어져 있다.

이 장의 출발점

- 1장의 항상성: 세포는 세포외액이라는 작은 바다에 살고, 몸은 그 바다를 일정하게 지킨다.
- 탄수화물·지방·단백질이 3대 영양소이고, 소화되면 포도당·지방산과 글리세롤·아미노산이 된다는 것.
- 물과 분자량: 포도당 $C_6H_{12}O_6$ 1 mol은 180 g, CO_2 1 mol은 44.0 g, H_2O 1 mol은 18.0 g 이다.
- 아미노산에는 아미노기($-NH_2$)가 있어 질소(N)가 들어 있다는 것.

토요일 점심, 돌집 과학방의 탁자에 쟁반이 놓였다. 흰밥, 고등어구이, 시금치나물. 하린이 젓가락을 들었다가 멈췄다.

하린 교수님, 지난주에 몸속 바다를 일정하게 지킨다고 하셨잖아요. 그런데 밥을 먹으면 그 바다에 뭔가가 잔뜩 들어오는 거 아니에요?

석 교수 들어오고, 쓰이고, 남은 것은 나간다. 오늘은 이 쟁반이 몸을 지나가는 길을 끝까지 따라가 보자. 그 길의 끝에서 무엇이 남는지 알아야 5장의 콩팥과 6장의 간이 왜 필요한지 보인다.

태오 결국 똥이랑 오줌이랑 숨이 되는 거 아니에요?

석 교수 크게 보면 그렇다. 그런데 셋이 같은 것이 아니다. 똥은 소화되지 않고 지나간 찌꺼기라서 엄밀히는 몸 안에 들어온 적이 없는 물질이다. 오늘 말하는 **노폐물**은 세포 안에서 물질 대사를 하고 생긴 것, 그러니까 한 번 몸 안으로 들어왔다가 쓰이고 남은 것이다.

이모 똥이 노폐물이 아니라니, 처음 들어요.

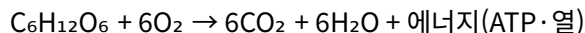
석 교수 그래서 ‘배설’과 ‘배출’을 구별한다. 세포에서 생긴 노폐물을 몸 밖으로 내보내는 것이 배설이고, 소화되지 않은 찌꺼기를 내보내는 것은 그냥 배출이다. 오줌은 배설, 대변은 배출이다. 논술에서 이 둘을 섞어 쓰면 감점된다.

2.1 영양소 셋의 운명

석 교수 몸속에서 일어나는 모든 화학 반응을 **물질대사**라고 한다. 방향이 두 가지야. 작은 분자로 큰 분자를 만드는 **동화 작용**과 큰 분자를 작게 쪼개는 **이화 작용**. 동화는 에너지를 흡수하고, 이화는 에너지를 내놓는다.

하린 밥이 포도당이 되는 건 쪼개는 거니까 이화예요.

석 교수 그렇다. 세포 안에서 포도당을 끝까지 쪼개 에너지를 꺼내는 이화가 **세포호흡**이다. 반응식을 써 보자.



석 교수 포도당 1 mol, 곧 180 g이 산소 6 mol(192 g)과 반응하면 이산화 탄소 6 mol(264 g)과 물 6 mol(108 g)이 나온다.

태오 질량 보존 확인해 볼게요. 왼쪽 $180 + 192 = 372$ g, 오른쪽 $264 + 108 = 372$ g. 맞아요.

석 교수 이제 지방을 보자. 지방은 글리세롤과 지방산으로 나뉘고, 지방산은 탄소와 수소, 약간의 산소로만 이루어져 있다. 그러니 끝까지 산화하면 역시 CO_2 와 물만 남는다.

이모 그럼 단백질은요? 고등어는 단백질이잖아요.

석 교수 단백질은 아미노산으로 쪼개지고, 아미노산은 탄소·수소·산소에 질소가 더 들어 있다. 아미노산을 에너지로 쓰려면 먼저 질소가 붙은 아미노기를 떼어 내야 하는데, 떼어진 아미노기가 바로 **암모니아(NH₃)**가 된다. 나머지 탄소 뼈대는 포도당이나 지방산처럼 세포호흡으로 들어가 CO₂와 물이 되고.

태오 그러니까 세 영양소 모두 CO₂와 물이 남는데, 단백질만 암모니아가 하나 더 남는 거네요.

석 교수 그게 이 장의 첫째 결론이다. **그림 9**에 그 흐름을 그렸다. 세 갈래가 세포호흡이라는 한 길로 모이고, 단백질에서만 질소 갈래가 따로 빠져나온다.

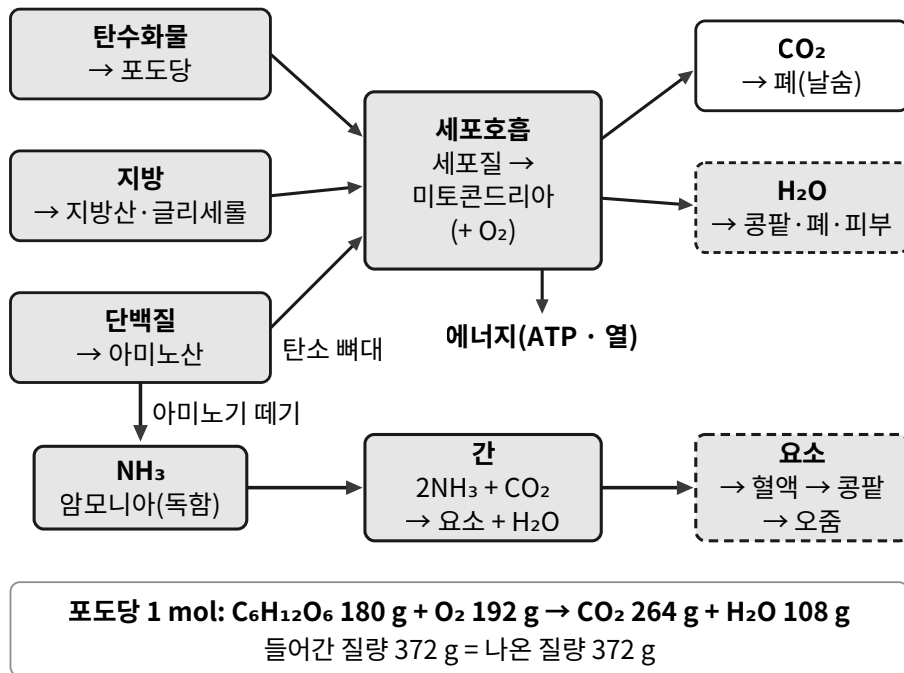


그림 9. 세 영양소의 운명 — 탄수화물·지방·단백질은 세포호흡을 거쳐 CO₂와 H₂O가 되고, 단백질만 아미노기에서 NH₃가 더 생겨 간에서 요소가 된다. 아래 줄은 포도당 1 mol(180 g)의 질량 수치(모식도)

이모 그런데 먹은 걸 전부 바로 태우지는 않잖아요. 남는 건 살로 가던데요.

석 교수 그게 동화 쪽 이야기다. 당장 쓰고 남은 포도당은 간과 근육에서 수천 개씩 이어 붙여 **글리코젠**으로 저장하고, 그래도 남으면 지방으로 바뀌 지방 조직에 쌓인다. 아미노산은 주로 몸의 단백질을 새로 만드는 재료로 쓰이고. 이렇게 큰 분자를 만드는 일에는 에너지가 드는데, 그 에너지는 세포호흡이라는 이화에서 나온 ATP가 땀다.

하린 그럼 아미노산이 남으면 그것도 저장해요?

석 교수 여기가 중요한 차이다. 몸에는 아미노산을 따로 쌓아 두는 창고가 없다. 단백질 합성에 쓰고 남은 아미노산은 아미노기를 떼어 내고 탄소 뼈대를 에너지로 쓰거나 포도당·지방으로 바꾼다. 그러니 단백질을 많이 먹을수록 떼어 낸 아미노기, 곧 암모니아가 그만큼 늘어난다. 이 점이 뒤에 나올 요소 계산의 출발점이다.

태오 탄수화물과 지방은 저장할 수 있으니 노폐물이 바로 안 나오고, 단백질은 남으면 바로 질소 노폐물이 나오는 거네요.

석 교수 그렇게 정리하면 된다. 굶을 때는 거꾸로 저장해 둔 글리코젠과 지방을 꺼내 쓰고, 오래 굶으면 근육 단백질까지 헐어 쓰니 그때도 질소 노폐물이 나온다.

문제 2.1

포도당 90 g이 세포호흡으로 완전히 산화될 때 생기는 CO₂와 H₂O의 질량을 구하라. (C₆H₁₂O₆ 180 g/mol, CO₂ 44.0 g/mol, H₂O 18.0 g/mol)

하린 90 ÷ 180 = 0.50 mol이에요.

태오 반응식에서 포도당 1 mol에 CO₂ 6 mol이니까, CO₂는 0.50 × 6 = 3.0 mol, 질량은 3.0 × 44.0 = 132 g. 물도 3.0 mol이니까 3.0 × 18.0 = 54.0 g이에요.

석 교수 정답은 CO₂ 132 g, H₂O 54.0 g이다. 하나 더 생각해 보자. 쓰인 산소는 몇 g이지?

이모 산소도 3.0 mol이니까 3.0 × 32.0 = 96.0 g이요. 그럼 90 + 96 = 186 g이 들어가서 132 + 54 = 186 g이 나왔네요.

석 교수 계산까지 맞다. 여기서 물 54 g은 마신 물이 아니라 세포 안에서 새로 만들어진 물이다. 이것을 대사수라고 부른다. 사막의 낙타나 캥거루쥐는 이 대사수 덕분에 물을 거의 마시지 않고도 버틴다.

2.2 노폐물은 어디로 나가나

이모 이제 세 가지 노폐물이 생겼으니, 각각 어디로 나가요?

석 교수 이산화 탄소부터. CO₂는 기체이고 혈액에 녹아 폐까지 가서 날숨으로 나간다. 물은 세 곳으로 나간다. 콩팥에서 오줌으로, 폐에서 날숨의 수증기로, 피부에서 땀과 증발로. 마지막으로 암모니아는 사정이 다르다.

태오 암모니아는 왜요? 그냥 오줌으로 내보내면 되잖아요.

석 교수 암모니아는 독하다. 혈액 속 농도가 조금만 올라가도 뇌와 신경이 상한다. 그래서 사람은 암모니아를 혈액에 오래 띄워 두지 않고, 간에서 곧바로 독성이 훨씬 약한 **요소**로 바꾼다. 요소는 혈액을 타고 콩팥에 가서 오줌으로 나간다. 그 자세한 과정은 6장의 몫이다.

하린 그럼 간은 배설 기관이에요?

석 교수 좋은 질문이다. 간은 노폐물을 몸 밖으로 직접 내보내지는 않으니 교과서는 간을 배설 기관으로 분류하지 않는다. 대신 독한 것을 덜 독한 것으로 바꿔 주는 해독 기관이다. 배설 기관은 콩팥이고, 넓게는 CO₂를 내보내는 폐와 땀을 내는 피부도 노폐물을 내보낸다. 표 6에 정리했다.

표 6. 노폐물별 생성 영양소·배출 기관·배출 형태 — 세포호흡에서 생긴 노폐물의 행방

노폐물	생기는 영양소	거치는 곳·배출 기관	배출 형태
이산화 탄소(CO ₂)	탄수화물·지방·단백질	혈액 → 폐	날숨
물(H ₂ O)	탄수화물·지방·단백질	콩팥, 폐, 피부	오줌, 날숨의 수증기, 땀
암모니아(NH ₃)	단백질(아미노산)	간에서 요소로 바뀜 → 혈액 → 콩팥	오줌(일부는 땀)

태오 물은 마시기도 하고 만들어지기도 하니까 나가는 길이 여럿이네요. 그럼 하루에 들어오고 나가는 물이 맞아야겠죠?

석 교수 맞아야 한다. 생리학 교재의 대표값으로는 하루에 마시는 물과 음식 속 물이 약 2.1 L, 대사수가 약 0.2 L로 합쳐 약 2.3 L가 들어온다. 나가는 쪽은 피부 증발 0.35 L, 폐의 수증기 0.35 L, 땀 0.1 L, 대변 0.1 L, 오줌 1.4 L로 역시 2.3 L다.

하린 오줌이 1.4 L로 가장 많네요. 그럼 몸이 물을 조절하는 손잡이도 오줌이겠어요.

석 교수 정확히 짚었다. 피부와 폐로 나가는 물은 마음대로 줄이기 어렵지만, 오줌의 양은 콩팥이 호르몬의 명령을 받아 늘리고 줄인다. 그 손잡이가 13장의 항이뇨 호르몬이다.

실험으로 노폐물을 확인하기

하린 날숨에 CO₂가 있고 오줌에 요소가 있다는 건 눈으로 볼 수 있어요?

석 교수 학교 실험실에서도 볼 수 있다. 먼저 CO₂. 석회수(수산화 칼슘 수용액)는 CO₂를 만나면 물에 녹지 않는 탄산 칼슘이 생겨 뿌옇게 흐려진다. 시험관 두 개에 석회수를 같은 양 넣고, 하나에는 빨대로 날숨을 30초 불어 넣고, 다른 하나에는 펌프로 교실 공기를 같은 시간 불어 넣는다.

태오 변인은 넣어 준 기체가 날숨이나 들숨이나 하나고, 공기를 넣은 쪽이 대조군이네요. 시간과 석회수 양은 같게 하고요.

석 교수 그렇다. 결과는 날숨 쪽이 훨씬 빨리, 진하게 흐려진다. 교실 공기에도 CO₂가 약 0.04 % 있어서 오래 불면 조금 흐려지지만, 날숨에는 CO₂가 약 4 %로 백 배쯤 많다. 결론은 “몸에서 CO₂가 만들어져 날숨으로 나간다”이다.

이모 요소는요? 요소는 냄새도 없잖아요.

석 교수 요소는 그대로는 잘 안 보이니 한 번 바꿔서 본다. 콩에 들어 있는 효소 유레이스는 요소를 암모니아와 CO₂로 분해한다. 암모니아는 물에 녹으면 염기성이니까, 지시약을 넣어 두면 색이 바뀐다. 시험관 A에는 요소 용액과 콩 추출액, B에는 증류수와 콩 추출액, C에는 요소 용액과 끓여서 식힌 콩 추출액을 넣고 페놀프탈레인을 한 방울씩 떨어뜨린다.

하린 A만 붉게 변하겠네요. B는 요소가 없고, C는 끓여서 효소가 망가졌으니까요.

석 교수 잘 예측했다. 실제로 A만 붉어진다. 여기서 B는 ‘요소가 있어야 색이 변한다’를, C는 ‘효소가 일해야 색이 변한다’를 보여 주는 대조군이다. 이 방법으로 오줌을 시험하면 오줌에 요소가 들어 있다는 것을 확인할 수 있다.

이모 그래서 화장실에서 오래된 오줌이 지린내가 나는 거군요. 세균이 요소를 암모니아로 바꾸니까요.

석 교수 그렇다. 몸은 암모니아를 요소로 바꿔 냄새도 독성도 줄여서 내보냈는데, 밖에서 세균이 그것을 다시 암모니아로 되돌린 셈이다.

2.3 기관계의 분업과 협동

석 교수 이제 한 장의 그림으로 뭉자. 쟁반의 음식이 세포에 닿고 노폐물이 몸 밖으로 나가려면 기관계 네 개가 이어져야 한다. **소화계**가 음식을 작은 분자로 쪼개 흡수하고, **호흡계**가 산소를 들이고 CO₂를 내보내고, **순환계**가 그 모든 것을 세포까지 실어 나르고, **배설계**가 요소와 남은 물을 걸러 내보낸다. **그림 10**를 보자.

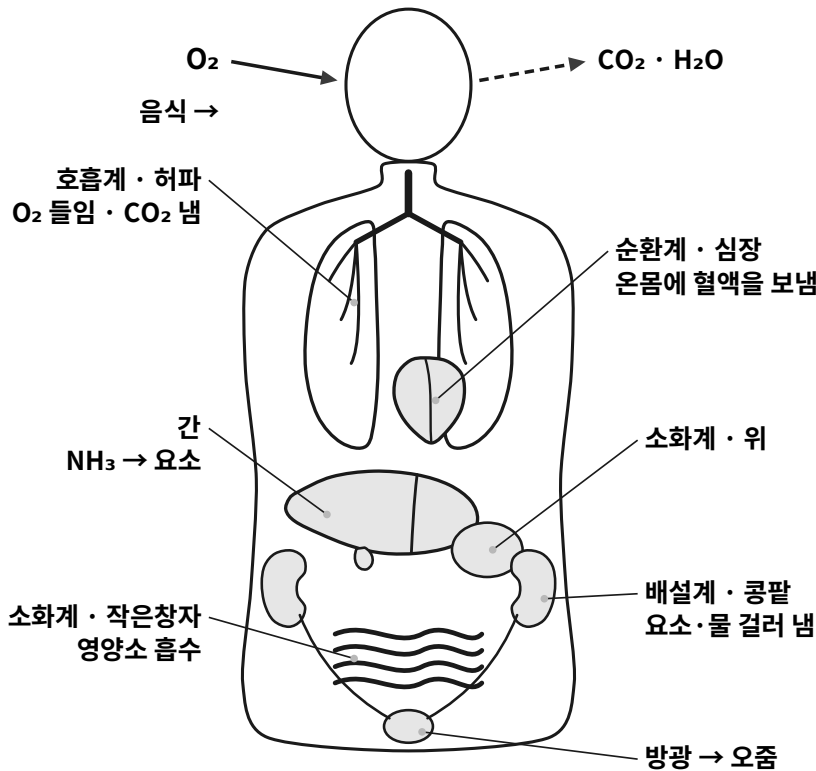


그림 10. 기관계의 분업 — 소화계(위·작은창자)가 흡수한 영양소와 호흡계(폐)가 들인 O_2 를 순환계(심장·혈관)가 세포로 나르고, 세포에서 생긴 CO_2 는 폐로, 요소는 간에서 만들어져 배설계(콩팥·방광)로 나간다(모식도, 장기 위치는 앞에서 본 모습)

태오 순환계가 가운데서 모든 걸 이어 주는 고속도로네요.

석 교수 그래서 다음 장이 혈압과 혈류다. 고속도로에 차가 얼마나 빨리, 얼마나 세게 다니는지 알아야 콩팥이 어떻게 거르는지도 이해된다.

하린 그런데 혈관 속 피가 세포에 직접 닿지는 않잖아요. 세포는 혈관 밖에 있으니까요.

석 교수 좋은 지적이다. 실제 주고받기는 가장 가는 혈관인 모세혈관에서 일어난다. 모세혈관 벽은 세포 한 층이라 얇아서, 혈장 속 포도당과 산소가 벽을 지나 조직액으로 나오고 조직액에서 세포로 들어간다. 세포가 내놓은 CO_2 와 요소는 거꾸로 조직액을 거쳐 모세혈관으로 들어가고. 1장에서 본 조직액 9 L가 바로 이 주고받기의 마당이다.

태오 그럼 물질이 움직이는 힘은 농도 차예요?

석 교수 대부분은 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 퍼지는 확산이다. 세포는 산소를 계속 쓰니 세포 쪽 산소가 낮고, CO_2 는 계속 만드니 세포 쪽 CO_2 가 높다. 그래서 산소는 혈액 → 세포, CO_2 는 세포 → 혈액으로 저절로 움직인다. 폐에서는 방향이 반대가 되고. 같은 확산이 장소에 따라 반대 방향으로 일어나는 거지.

이모 혈관이 고속도로면 모세혈관은 집 앞 골목길이네요.

석 교수 그 비유가 딱 맞다. 골목에서는 차가 천천히 다녀야 집을 내리고 실을 수 있다. 실제로 모세혈관에서 피가 가장 느리게 흐르는데, 그 까닭을 3장에서 계산으로 보인다.

이모 그럼 한 기관계가 멈추면 다른 데도 탈이 나겠네요.

석 교수 그렇다. 폐가 약해지면 CO₂가 쌓여 혈액이 산성으로 기운다. 간이 멈추면 암모니아가 쌓인다. 콩팥이 멈추면 요소와 물이 쌓인다. 어느 경우든 1장의 ‘작은 바다’가 흐트러진다. 기관계 하나하나의 일이 결국 세포외액을 지키는 일로 모인다는 것, 그게 항상성과 물질대사가 만나는 지점이다.

단백질을 먹으면 요소는 얼마나 나올까

석 교수 숫자로 확인해 보자. 단백질은 평균적으로 질량의 약 16 %가 질소다. 단백질을 먹고 그 질소가 모두 요소로 나간다면 요소가 얼마나 될까?

문제 2.2

단백질 100 g(질소 함량 16 %)의 질소가 모두 요소 CO(NH₂)₂로 배설된다면 요소의 질량은 얼마인가? (요소 60.06 g/mol, N 14.007 g/mol)

하린 질소는 $100 \times 0.16 = 16$ g이에요.

태오 요소 한 분자에 질소 원자가 2개니까 요소 속 질소의 질량 비는 $2 \times 14.007 \div 60.06 = 28.01 \div 60.06 = 0.4664$, 46.6 %예요. 그럼 요소는 $16 \times 0.466 = 7.46$ g?

석 교수 잠깐. 질소 16 g이 요소의 46.7 %라면 요소 전체는 질소보다 커야 하나 작아야 하나?

태오 아, 커야죠. 곱하면 안 되고 나눠야 해요. $16 \div 0.4664 = 34.3$ g이에요.

석 교수 그렇다. 정답은 요소 34.3 g이다. 비율 문제에서는 ‘부분 ÷ 비율 = 전체’인지 늘 확인해라. 답이 부분보다 작게 나오면 곱셈과 나눗셈이 뒤바뀐 것이다. **그림 11**에 이 질소 수치를 막대로 그렸다. 두 막대에서 질소 16 g 칸의 길이가 똑같다는 점을 보면 질소가 보존된다는 것이 한눈에 보인다.

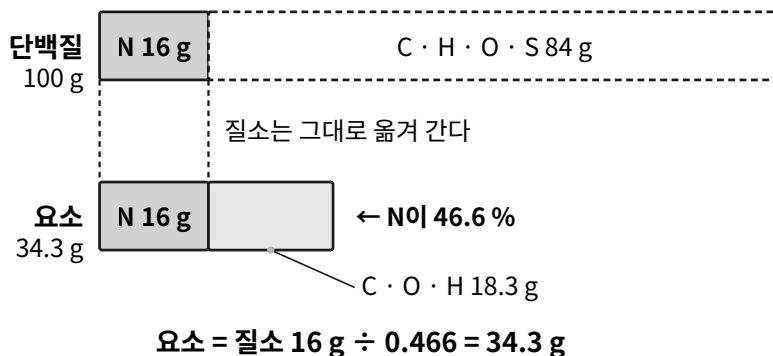


그림 11. 단백질 100 g의 질소 수치 — 단백질 속 질소 16 g(16 %)이 모두 요소로 나가면 요소 34.3 g이 되고, 그 46.6 %가 질소다(질소 칸 길이가 같도록 그림)

이모 하루에 단백질 70 g쯤 먹는다면 요소가 24 g쯤 나오겠네요. $70 \times 0.16 \div 0.4664 = 24.0$ g.

석 교수 맞다. 실제로 건강한 어른의 하루 오줌 속 요소는 대략 그 정도다. 고기를 많이 먹은 날에는 요소가 늘고, 그만큼 콩팥이 할 일도 늘다. 콩팥이 약한 사람에게 단백질 섭취를 조절 하라고 하는 까닭이 여기 있다.

2.4 시험 제시문을 미리 읽는 눈

- 석 교수** 이 장의 내용이 실제 시험에서 어떻게 나오는지 미리 보자. 2025학년도 경북대 의학 계열 모의 논술의 한 문제는 우리 몸이 물질대사로 만든 노폐물을 어떻게 내보내는지 설명한 글과 그 과정의 모식도를 주고, 간과 콩팥이 망가지면 무슨 일이 생기는지를 과정으로 쓰게 했다.
- 태오** 오늘 배운 표가 그대로 쓰이겠네요. 간은 암모니아를 요소로, 콩팥은 요소와 물을 오줌으로, 폐는 CO₂를 날숨으로.
- 석 교수** 그렇다. 그런 제시문을 읽을 때는 세 가지를 표시하며 읽어라. 첫째, 어떤 노폐물이 어떤 영양소에서 생기는가. 둘째, 그 노폐물이 어디를 거쳐 어디로 나가는가. 셋째, 그 길의 한 곳이 막히면 무엇이 쌓이는가. 셋째 질문이 바로 6장의 간부전·신부전이다.
- 하린** 2008년 서울대 문제도 혈액이 물질을 나른다는 이야기로 시작한다고 하셨죠?
- 석 교수** 그 문제는 혈액이 영양소와 산소를 세포에 나르고 노폐물을 실어 오는 기능을 제시문으로 주고, 심장이 하는 일과 혈류 속도를 계산하게 한다. 3장에서 그 계산을 직접 해 볼 거다.
- 이모** 제시문이 길면 어디부터 봐야 할지 모르겠어요.
- 석 교수** 노폐물이 나오는 글이면 먼저 물질 이름에 동그라미를 치고, 그 물질이 지나가는 장기를 화살표로 이어 보면 된다. 그 화살표 한 줄이 곧 답안의 뼈대다. 그 위에 ‘어디가 막히면 무엇이 쌓이나’를 덧붙이면 과정 설명형 문제의 절반은 끝난다.

핵심 노폐물 문제를 푸는 4단계

1. 영양소를 셋으로 나눈다: 탄수화물·지방은 C·H·O만, 단백질은 N이 더 있다.
2. 세포호흡의 생성물을 쓴다: 셋 모두 CO₂ + H₂O, 단백질만 NH₃가 더 생긴다. 질량은 반응식의 몰 비로 계산하고 질량 보존으로 검산한다.
3. 노폐물마다 길을 쓴다: CO₂ → 폐(날숨), H₂O → 콩팥·폐·피부, NH₃ → 간(요소) → 콩팥(오줌).
4. 대변은 소화되지 않은 찌꺼기의 배출이고, 오줌·날숨은 물질대사 노폐물의 배설이다.

스스로 풀어 보기

1. 포도당 36 g이 완전히 산화될 때 쓰이는 O₂와 생기는 CO₂의 질량을 구하라. (O₂ 32.0 g/mol, CO₂ 44.0 g/mol)
2. 단백질 50 g(질소 16 %)의 질소가 모두 요소로 나간다면 요소는 몇 g인가? (요소 속 질소 46.6 %)
3. 다음 중 배설에 해당하는 것을 모두 고르라. (가) 날숨으로 CO₂를 내보낸다 (나) 소화되지 않은 섬유질을 대변으로 내보낸다 (다) 요소를 오줌으로 내보낸다 (라) 땀으로 물과 요소 일부를 내보낸다
4. 간은 질소 노폐물 처리에서 어떤 일을 하는가? 간을 배설 기관이라 하지 않는 까닭과 함께 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 노폐물 지도는 4부의 **기출문제 1**(경북대 2025) (210쪽)에서 곧바로 쓰인다. 그 문제는 노폐물 배출 과정을 설명한 제시문과 모식도를 주고, 간 기능이 떨어질 때와 콩팥 기능이 떨어질 때 각각 몸에 무엇이 쌓이고 어떤 증상이 생기는지를 과정으로 쓰게 한다. 또 **기출문제 14**(서울대 2008) (332쪽)은 혈액이 영양소·산소·노폐물을 나르는 기능을 제시문으로 깔고 심장과 혈관의 계산으로 넘어간다. 노폐물의 길이 머리에 있으면 두 문제의 첫 문단을 막힘없이 쓸 수 있다. 다음 장 **기본개념편 제 3장** (37쪽)에서는 그 길을 달리는 혈액의 속도와 압력을 계산한다.

이 장의 참고문헌

Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). Guyton and Hall textbook of medical physiology (14th ed.). Elsevier.

Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). Campbell biology (12th ed.). Pearson.

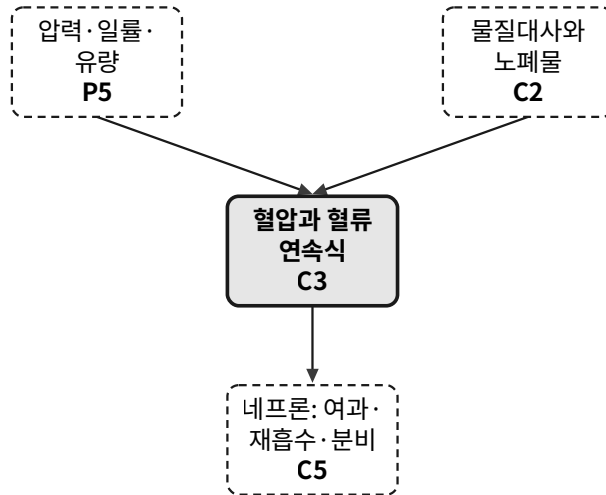
Wright, P. A. (1995). Nitrogen excretion: Three end products, many physiological roles. Journal of Experimental Biology, 198(2), 273–281. <https://doi.org/10.1242/jeb.198.2.273>

경북대학교 입학처. (2024). 2025학년도 논술(AAT) 모의고사 문제 및 해설(자연계열 II) [시험 자료].

제 3장 혈액은 어떻게 도나: 혈압과 혈류

새 개념 혈관의 세 종류 · 혈압(수축기·이완기) · 유량 보존 $Q = Av$ · 압력과 높이 $P = \rho gh$ · 심장의 일률
 이어짐 콩팥 여과 5장 · 혈압과 알도스테론 13장 · 신부전과 고혈압 14장

이 장의 개념도



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

그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C3 혈압과 혈류 연속식)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 (경북대 2025년) (210쪽)	간부전·신부전과 쌓이는 노폐물	C3 혈압과 혈류 연속식
기출 14 (서울대 2008년) (332쪽)	심장의 일률·혈압의 높이·모세혈관 혈류 속도	C3 혈압과 혈류 연속식

정원 호스와 분수로 보는 혈류와 혈압

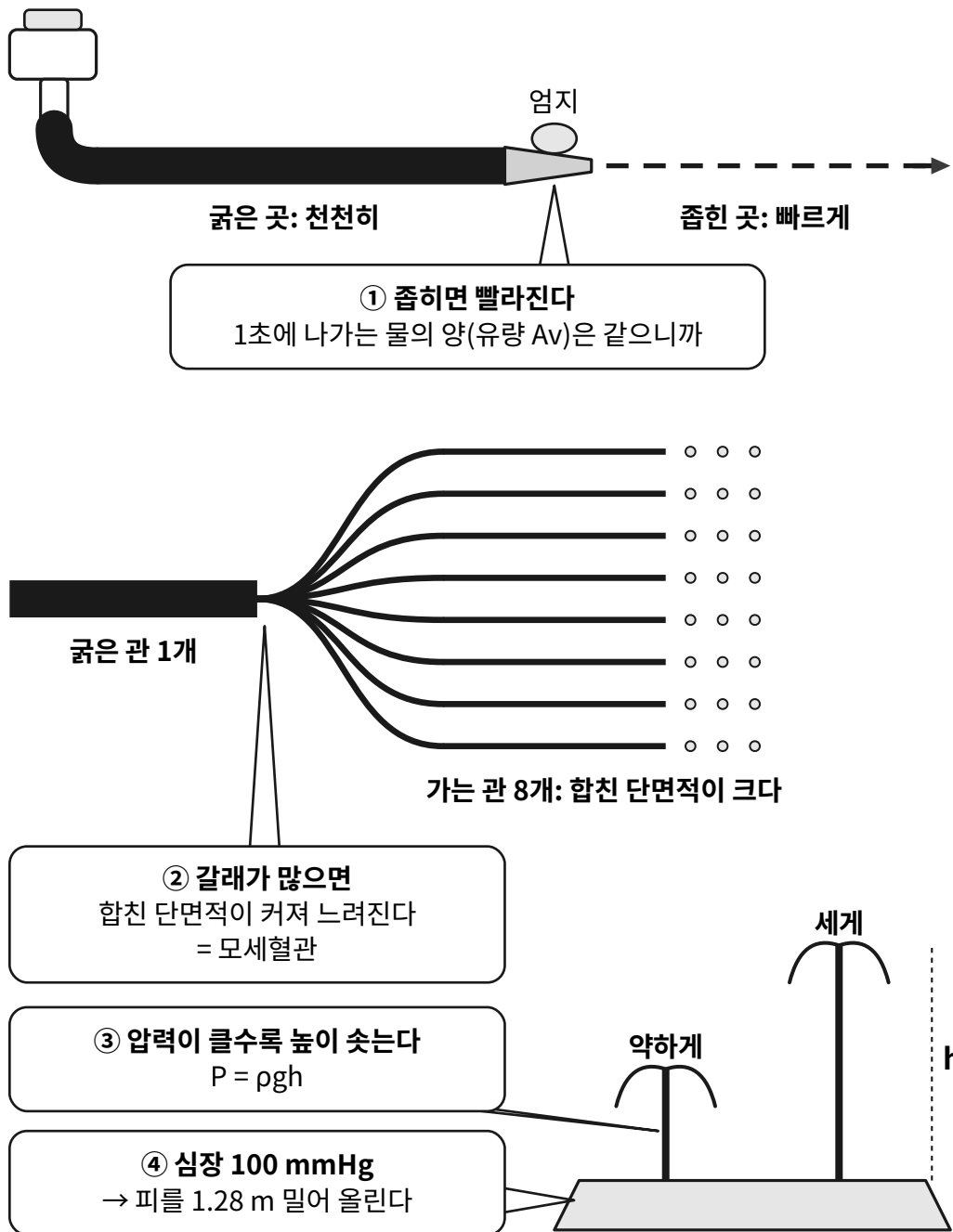


그림 13. 정원 호스와 분수 — 호스 끝을 좁히면 물이 빨라지고, 갈래가 많으면 느려지며, 압력이 클수록 물줄기가 높이 솟는 장면으로 본 혈류와 혈압(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 닫힌 관에서는 단면적 $\times$ 속도, 곧 유량이 어디서나 같다.
2. 모세혈관은 하나하나의 가늘어도 합친 단면적이 커서 피가 가장 느리게 흐른다.
3. 압력은 액체 기둥의 높이로 바꿔 읽을 수 있다($P = \rho gh$).

이 장의 출발점

- 2장의 순환계: 혈액이 영양소·산소·노폐물을 세포까지 실어 나르고, 실제 주고받기는 모세혈관에서 일어난다.
- 압력 = 힘 ÷ 넓이, 단위 Pa(파스칼) = N/m². 1 atm = 760 mmHg = 1.013 × 10⁵ Pa이고 1 mmHg = 133.3 Pa이다.
- 일 = 힘 × 거리, 일률 = 일 ÷ 시간(단위 W = J/s), 1 kcal = 4.184 kJ.
- 단위 바꾸기: 1 L = 1000 cm³ = 1 × 10⁻³ m³, 1 cm² = 1 × 10⁻⁴ m².

토요일 오후, 석 교수가 마당의 수돗가에서 정원 호스를 끌어왔다. 태오가 호스 끝을 엄지로 반쯤 막자 물줄기가 마당 저편까지 쭉 뻗었다. 이모는 혈압계를 들고 마루에 앉아 있었다.

이모 교수님, 아침에 잤더니 128에 82가 나왔어요. 위 숫자, 아래 숫자가 정확히 뭘 말하는 건지 늘 헛갈려요.

석 교수 오늘은 그 두 숫자와 태오가 지금 하고 있는 장난을 한 줄로 잇는 날이다. 심장은 펌프고, 혈관은 호스고, 혈액은 물이다. 물리의 식 두 개면 순환계의 기출 계산 문제는 거의 다 풀린다.

하린 생물 시간에 물리 식이 나와요?

석 교수 2008학년도 서울대 논술이 그랬다. 심장이 하는 일의 일률, 혈압이 피를 밀어 올리는 높이, 모세혈관에서의 혈류 속도를 계산하게 했지. 생리를 숫자로 확인하는 문제라서, 숫자를 보이며 풀어야 점수가 난다.

3.1 동맥·모세혈관·정맥

석 교수 먼저 호스의 종류부터 보자. 심장에서 나가는 피가 지나는 혈관이 **동맥**, 심장으로 돌아오는 피가 지나는 혈관이 **정맥**, 그 둘을 잇는 아주 가는 혈관이 **모세혈관**이다.

태오 동맥은 산소가 많은 피, 정맥은 산소가 적은 피 아니에요?

석 교수 많이들 그렇게 외우는데 틀린 정의다. 기준은 피의 방향이다. 폐동맥은 심장에서 폐로 가니까 동맥인데 산소가 적은 피가 흐르고, 폐정맥은 폐에서 심장으로 오니까 정맥인데 산소가 많은 피가 흐른다.

하린 그럼 구조도 달라요?

석 교수 다르다. 동맥은 심장이 밀어내는 높은 압력을 견뎌야 하니 벽이 두껍고 탄력 섬유와 근육이 많다. 정맥은 압력이 낮아서 벽이 얇고, 피가 거꾸로 흐르지 않도록 군데군데 판막이 있다. 모세혈관은 벽이 세포 한 층뿐이라 물질이 그 벽을 지나 조직액과 주고받는다. 표 8에 정리했다.

표 8. 혈관 세 종류 비교 — 구조와 압력·속도·기능

구분	동맥	모세혈관	정맥
피의 방향	심장 → 온몸	동맥과 정맥을 이음	온몸 → 심장
벽	두껍고 탄력·근육 많음	세포 한 층(내피)	얇고 탄력 적음
판막	없음(심장 출구에만)	없음	있음(역류 방지)
혈압	가장 높고 맥박 따라 출렁	중간(약 35 → 15 mmHg)	가장 낮음(약 5 mmHg 이하)

구분	동맥	모세혈관	정맥
혈류 속도	빠름	가장 느림	동맥보다 느림
주된 일	피를 멀리 보냄	물질 교환(확산)	피를 모아 되돌림

이모 다리 정맥이 튀어나오는 하지 정맥류는 판막이 고장 난 거죠?

석 교수 그렇다. 정맥은 압력이 낮아서 다리에서 심장까지 피를 올리려면 판막과 주변 근육의 도움이 필요하다. 판막이 약해지면 피가 고여 정맥이 늘어난다. 오래 서 있는 직업에서 흔한 까닭이 그것이다.

피가 돈다는 것은 어떻게 알았나

하린 피가 몸을 ‘돈다’는 건 언제 알았어요? 옛날 사람들은 몰랐을 것 같은데요.

석 교수 17세기 영국의 의사 윌리엄 하비가 숫자로 보았다. 그 전에는 간이 음식으로 피를 계속 만들고, 몸이 그 피를 써서 없앤다고 믿었어. 하비는 이렇게 계산했다. 심장이 한 번 뿜 때 내보내는 피를 아주 적게 잡아도, 맥박 수를 곱하면 한 시간에 내보내는 피가 사람 몸무게보다 훨씬 많다.

태오 우리 숫자로 해 볼게요. 한 번에 90 mL, 1분에 60번이면 1시간에 $90 \times 60 \times 60 = 324,000 \text{ mL}$, 324 L예요. 혈액 밀도가 1.06이니까 343 kg이네요. 몸무게의 다섯 배가 넘어요.

석 교수 그만한 피를 한 시간마다 새로 만들고 없앨 수는 없다. 그러니 같은 피가 다시 돌아와 또 나간다고 결론지을 수밖에 없지. 하비는 실험도 했다. 팔 윗부분을 끈으로 적당히 묶어 정맥이 불룩하게 드러나게 한 뒤, 손가락으로 정맥의 한 마디를 눌러 피를 심장 쪽으로 밀어 비우면 그 마디는 비어 있고, 손 쪽으로 밀어 비우려 하면 판막에 막혀 비지 않았어.

하린 그러니까 정맥의 피는 손에서 심장 쪽으로만 흐른다는 증거네요.

석 교수 그렇다. 계산이 ‘돌아야 한다’를 보이고, 판막 실험이 ‘정맥은 심장 쪽으로 흐른다’를 보였다. 다만 하비는 동맥과 정맥을 잇는 통로를 눈으로 보지 못했다. 그 통로, 곧 모세혈관은 몇십 년 뒤 현미경으로 개구리 폐를 들여다본 말피기가 찾아냈다. 추론이 먼저 있고 관찰이 그것을 확인한 좋은 예다.

3.2 혈압 120/80 읽기

석 교수 이모 혈압의 128은 심장이 수축해서 피를 밀어낼 때 동맥 벽이 받는 가장 높은 압력, **수축기 혈압**이다. 82는 심장이 이완해서 다음 피를 받는 동안 동맥에 남아 있는 가장 낮은 압력, **이완기 혈압**이고. 단위는 mmHg, 곧 수는 기둥을 몇 mm 밀어 올리는 압력이나로 잰다.

이모 혈압계는 팔을 꼭 조였다가 풀던데, 그건 왜 그래요?

석 교수 팔에 감은 띠의 압력을 동맥압보다 높여 피를 완전히 막았다가 천천히 풀면, 띠의 압력이 수축기 혈압 아래로 내려가는 순간 피가 처음 뚫고 지나간다. 그때 값이 위 숫자다. 계속 풀어 띠의 압력이 이완기 혈압보다 낮아지면 피가 내내 막힘없이 흐르는데, 그때 값이 아래 숫자다.

하린 이완기에도 압력이 0이 아닌 게 신기해요. 심장이 쉬고 있는데요.

석 교수 동맥 벽이 고무처럼 탄력이 있어서 그렇다. 수축기에 늘어났던 동맥 벽이 이완기에 다시 오므라들며 피를 계속 밀어 준다. 그래서 심장은 끊어서 뿜어도 모세혈관 쪽 흐름은 거의 끊기지 않아.

태오 혈압은 왜 생기는 거예요? 그냥 심장이 세게 짜서요?

석 교수 세게 짜는 것만이 아니다. 혈압은 혈관이라는 그릇에 혈액이 얼마나 꽉 차 있느냐로도 정해진다. 그릇의 크기는 같은데 혈액의 양이 늘면 혈관 벽을 미는 압력이 커지고, 혈관이 좁아져도 커진다. 이 점이 중요하다. 콩팥이 물을 제대로 내보내지 못해 몸속 물이 늘면 혈액량이 늘어 혈압이 오른다. 14장에서 신부전과 고혈압을 이룰 때 이 문장을 다시 쓴다.

이모 짜게 먹으면 혈압이 오른다는 것도 그래서예요?

석 교수 같은 사슬이다. 소금이 많이 들어오면 몸은 삼투압을 맞추려고 물을 붙잡고, 그 물이 혈액량을 늘린다. 4장과 13장을 거치면 이 사슬이 한 줄로 보인다.

석 교수 혈압이 혈관 어디서나 같은 건 아니다. **그림 14**는 대동맥에서 정맥까지 혈압이 어떻게 변하는지를 그린 것이다. 대동맥에서는 120과 80 사이를 출렁이며 평균 약 100 mmHg이고, 가는 소동맥을 지나며 크게 떨어진다. 모세혈관 입구에서 약 35, 출구에서 약 15 mmHg이고 정맥에서는 5 mmHg 아래로 내려간다.

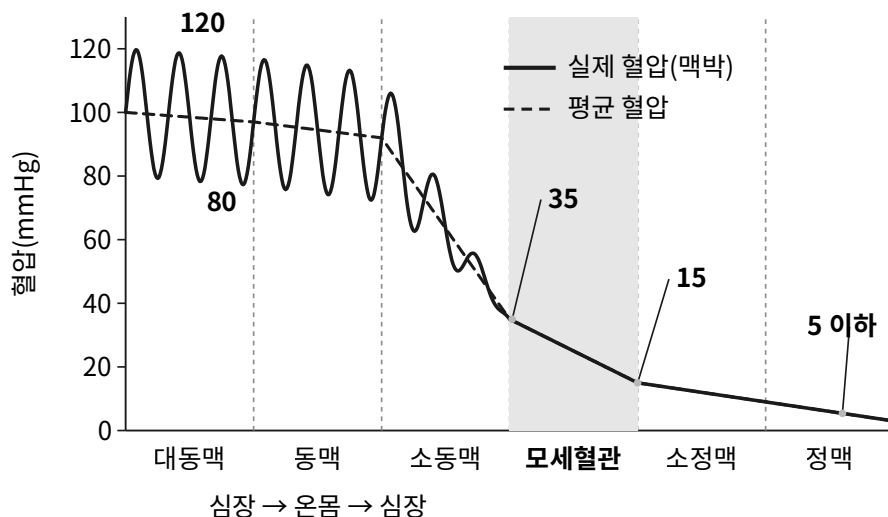


그림 14. 혈관 부위별 혈압 — 대동맥에서는 120/80 mmHg 사이를 맥박에 따라 출렁이고(평균 약 100), 소동맥에서 크게 떨어져 모세혈관에서 35 → 15 mmHg, 정맥에서 5 mmHg 아래가 된다(대표값을 이은 모식 곡선)

태오 소동맥에서 가장 많이 떨어지네요.

석 교수 소동맥은 가늘고 근육이 많아서, 근육을 조이고 푸는 것으로 그 뒤로 가는 피의 양을 조절하는 수도꼭지 노릇을 한다. 그래서 저항이 가장 크고 압력도 거기서 가장 많이 떨어진다. 그리고 모세혈관 입구의 35 mmHg가 5장에서 콩팥의 사구체가 혈액을 거르는 힘의 출발점이 된다.

이모 모세혈관 안의 압력이 35나 되면 물이 혈관 밖으로 다 새어 나가지 않아요?

석 교수 실제로 일부는 새어 나간다. 그게 조직액이 생기는 길이다. 대신 혈장에는 혈관 벽을 잘 못 지나는 단백질이 녹아 있어서 물을 혈관 안으로 끌어당기는 힘이 있다. 그 힘이 약 25 mmHg라고 하면, 모세혈관 입구에서는 미는 압력 35가 커서 물이 밖으로 나가고, 출구에서는 미는 압력이 15로 줄어 끌어당기는 힘 25가 이기니 물이 다시 혈관 안으로 들어온다. 이 균형을 처음 설명한 사람이 영국의 생리학자 스탈링이다.

하린 끌어당기는 힘은 4장에서 배운다는 삼투예요?

석 교수 맞다. 단백질 때문에 생기는 삼투압이다. 이 균형이 깨져 나간 물이 다 돌아오지 못하면 조직에 물이 고이는데, 그것이 부종이다. 자세한 수치 계산은 교과 밖 심화이니, 지금은 ‘압력은 물을 밀어내고 삼투는 끌어당긴다’는 두 힘만 기억하자.

3.3 유량 보존: 닫힌 관에서 Av는 같다

석 교수 이제 태오의 호스 장난을 설명해 보자. 엄지로 끝을 막으니 왜 물이 빨라졌지?

태오 구멍이 작아졌으니까요. 그런데 왜 작아지면 빨라지는지는 설명을 못 하겠어요.

석 교수 호스로 1초에 들어오는 물의 부피와 나가는 물의 부피는 같아야 한다. 물은 거의 압축되지 않고 중간에 새지도 않으니까. 1초에 지나가는 부피를 **유량 Q**라 하면, 단면적 A인 곳을 속도 v로 지나가는 물의 유량은 $Q = A \times v$ 다. 어디서나 Q가 같으니 A가 작아지면 v가 커진다.

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \text{ (닫힌 관, 새는 곳 없음)}$$

하린 그럼 혈관에서는 모세혈관이 제일 가느니까 피가 제일 빠르겠네요?

석 교수 거기가 함정이다. 모세혈관 하나는 가장 가늘지만 그 수가 수십억 개다. 피는 그 모든 모세혈관으로 나뉘어 동시에 흐르니, 식에 넣을 A는 모세혈관 하나의 단면적이 아니라 **모든 모세혈관의 단면적을 더한 총 단면적**이다.

문제 3.1

대동맥의 단면적이 3 cm^2 이고 혈류 속도가 30 cm/s 이다. 온몸의 모세혈관을 모두 합친 단면적이 900 cm^2 일 때 모세혈관에서의 혈류 속도를 구하라. 이 계산에서 보존되는 양은 무엇이며, 그 값은 얼마인가?

태오 대동맥과 모세혈관에서 Q가 같으니까 $3 \times 30 = 900 \times v$. $v = 90 \div 900 = 0.1$. 답은 0.1이요.

석 교수 숫자는 맞는데 답이 아니다. 단위가 없잖아.

태오 아, 0.10 cm/s 예요. 1초에 1 mm. 그리고 보존되는 건... 속도요?

석 교수 속도는 30에서 0.10으로 300분의 1이 됐으니 보존되지 않았다. 무엇이 같았지?

하린 $A \times v$ 요. $3 \text{ cm}^2 \times 30 \text{ cm/s} = 90 \text{ cm}^3/\text{s}$. 1초에 지나가는 피의 부피가 90 cm^3 로 대동맥에서나 모세혈관에서나 같아요.

석 교수 정답은 모세혈관 혈류 속도 0.10 cm/s (1 mm/s)이고, 보존되는 양은 단위 시간에 흐르는 혈액의 부피, 곧 유량 $90 \text{ cm}^3/\text{s}$ 다. 1분이면 $90 \times 60 = 5,400 \text{ cm}^3 = 5.4 \text{ L}$ 로 심장이 1분에 내보내는 피의 양과 같다. 실제 생리값으로는 모세혈관 총 단면적이 이보다 훨씬 커서 속도가 1초에 0.3 mm 안팎이라는 자료도 있지만, 시험은 제시된 수치로 푼다. **그림 15**가 그 대비를 로그 눈금으로 그린 것이다.

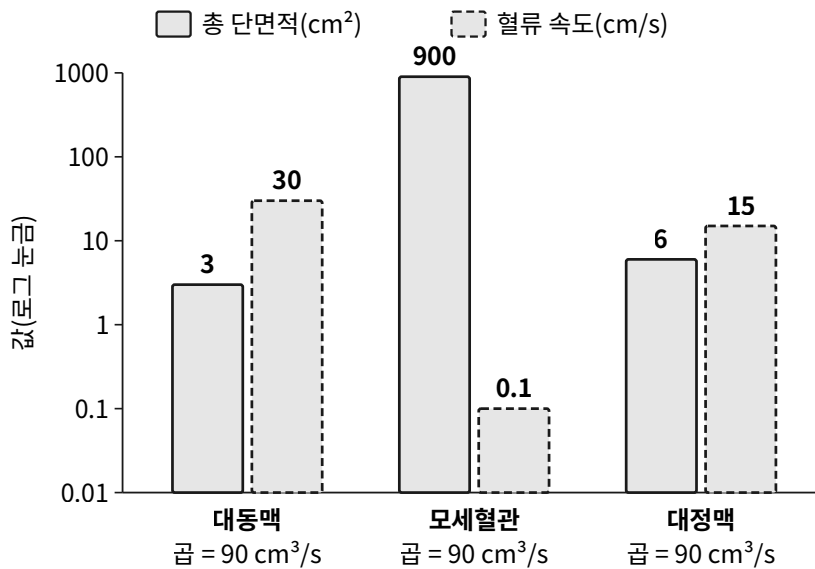


그림 15. 혈관 부위별 총 단면적과 혈류 속도 — 대동맥 $3\text{ cm}^2 \cdot 30\text{ cm/s}$, 모세혈관 $900\text{ cm}^2 \cdot 0.10\text{ cm/s}$ 로 단면적은 300배, 속도는 $1/300$ 이고 공급(유량 $90\text{ cm}^3/\text{s}$)은 같다. 대정맥 값은 같은 유량으로 계산한 모형 값이다(로그 눈금)

이모 피가 모세혈관에서 그렇게 느려지는 게 좋은 거예요?

석 교수 아주 좋은 거다. 2장에서 골목길 이야기를 했지. 모세혈관에서 물질 교환은 확산으로 일어나는데, 확산은 시간이 걸린다. 피가 천천히 지나가야 산소와 포도당이 조직액으로 나가고 CO_2 와 요소가 들어올 시간이 생긴다. 느낌은 설계다.

3.4 압력을 높이로 바꿔 읽기

석 교수 이번엔 분수다. 수도꼭지를 더 열면 물줄기가 더 높이 솟지. 압력과 높이 사이에는 간단한 관계가 있다. 밀도 ρ 인 액체 기둥 높이 h 의 바닥이 받는 압력은

$$P = \rho gh \rightarrow h = P \div (\rho g)$$

하린 그럼 혈압 100 mmHg가 피를 얼마나 높이 올릴 수 있는지 계산할 수 있겠네요.

문제 3.2

평균 동맥압 100 mmHg가 혈액(밀도 1.06 g/cm^3)을 밀어 올릴 수 있는 높이를 구하라($g = 9.8\text{ m/s}^2$, $1\text{ mmHg} = 133.3\text{ Pa}$). 전투기 조종사가 급선회해 겉보기 중력이 5g가 되면 이 높이는 얼마가 되는가?

태오 먼저 단위를 SI로요. $100\text{ mmHg} = 100 \times 133.3 = 13,330\text{ Pa}$, 정확히는 $1.333 \times 10^4\text{ Pa}$. 밀도는 $1.06\text{ g/cm}^3 = 1,060\text{ kg/m}^3$.

하린 $h = 13,330 \div (1,060 \times 9.8) = 13,330 \div 10,388 = 1.28\text{ m}$ 예요.

석 교수 맞다. 심장에서 정수리까지는 서 있을 때 약 0.3 m니까 넉넉하지. 그럼 5g에서는?

태오 g가 다섯 배가 되니까 h는 5분의 1. $1.28 \div 5 = 0.257$, 약 0.26 m예요.

석 교수 정답은 1.28 m, 5g에서 0.26 m다. 0.26 m는 심장에서 뇌까지의 높이 0.3 m보다 낮다. 그래서 급선회하는 조종사는 뇌로 가는 피가 모자라 시야가 회색으로 바래다가 의식을 잃을 수 있다. 피가 다리 쪽으로 쏠리는 것을 막으려고 다리와 배를 조이는 특수 바지를 입는 까닭이 이것이다.

이모 수축기 혈압 120으로 계산하면요?

태오 $120 \times 133.3 \div 10,388 = 1.54 \text{ m}$ 요.

석 교수 맞다. 시험에서는 어떤 압력을 쓸지 문제에 정해져 있지 않으면 “평균 동맥압 100 mmHg를 썼다”처럼 가정을 밝히는 게 채점 포인트다. 같은 높이를 수은으로 바꿔 보면 감이 더 잘 온다. **그림 16**를 보자.

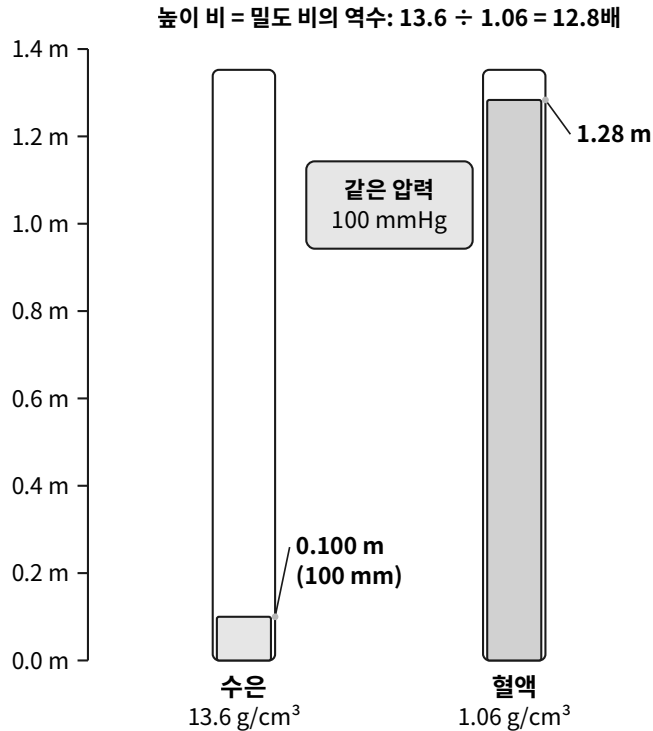


그림 16. 압력을 높이로 — 같은 100 mmHg가 수은(13.6 g/cm^3)은 0.100 m, 혈액(1.06 g/cm^3)은 1.28 m 밀어 올린다. 높이 비는 밀도 비의 역수 $13.6/1.06 = 12.8$ 배다(같은 축척으로 그림)

하린 수은이 혈액보다 12.8배 무거우니까 기둥 높이는 12.8분의 1이네요. $100 \text{ mm} \times 12.8 = 1,280 \text{ mm} = 1.28 \text{ m}$. 아까 값과 똑같아요!

석 교수 두 길로 계산해 같은 답이 나오면 검산이 된 거다. 이런 확인을 답안에 한 줄 덧붙이면 좋다.

3.5 심장을 펌프로 보면

석 교수 마지막으로 심장이 하는 일을 계산하자. 펌프가 압력 P 를 이기며 부피 ΔV 를 밀어내면 그 일은 $W = P \times \Delta V$ 다. 심장이 한 번 뿜 때 내보내는 피는 약 90 mL, 1분에 60번 뿜다고 하자.

태오 $P = 1.333 \times 10^4 \text{ Pa}$, $\Delta V = 90 \text{ mL} = 90 \times 10^{-6} \text{ m}^3$. $W = 1.333 \times 10^4 \times 9.0 \times 10^{-5} = 1.20 \text{ J}$. 1초에 한 번이니깐 일률은 1.20 W예요.

- 석 교수** 맞다. 꼬마전구 하나도 안 되는 일률로 하루 종일 온몸에 피를 돌린다. 그런데 심장에 공급되는 에너지는 그보다 훨씬 많다. 하루 섭취 2,000 kcal 가운데 10 %가 심장에 쓰인다면?
- 하린** $200 \text{ kcal} \times 4,184 \text{ J} = 836,800 \text{ J}$ 이 하루, 곧 86,400초 동안 쓰이니깐 $836,800 \div 86,400 = 9.69 \text{ W}$ 예요.
- 태오** 효율은 $1.20 \div 9.69 = 0.124$, 12.4 %요. 나머지 87.6 %는요?
- 석 교수** 대부분 열이 된다. 근육이 일할 때는 늘 그렇다. 그 열도 버려지는 것만은 아니고 체온을 유지하는 데 보탬이 된다. 1장의 체온 회로와 다시 만나는 지점이다. 수축기 혈압 120 mmHg를 쓰면 일률 1.44 W, 효율 14.9 %가 되니, 여기서도 어떤 압력을 썼는지 밝혀야 한다.
- 하린** 운동할 때는 심장이 더 빨리 뛰잖아요. 그럼 일률도 커지겠네요.
- 석 교수** 계산해 보렴. 달리기를 하면 심박수가 1분에 120번, 한 번에 내보내는 피가 110 mL로 는다고 하자. 평균 동맥압은 100 mmHg 그대로 두고.
- 하린** 한 번의 일은 $1.333 \times 10^4 \times 110 \times 10^{-6} = 1.47 \text{ J}$ 이고, 1초에 두 번이니깐 2.93 W예요. 쉴 때 1.20 W의 2.4배쯤이네요.
- 태오** 1분 유량은 $110 \times 120 = 13,200 \text{ mL}$, 13.2 L/min이에요. 쉴 때 5.4 L/min의 2.4배요. 그럼 모세혈관에서 피도 그만큼 빨라지겠네요.
- 석 교수** 단면적이 같다면 그렇다. 실제로는 운동하는 근육의 모세혈관이 새로 많이 열려서 총 단면적도 커진다. 그래서 피가 너무 빨라지지 않고, 근육에 산소를 넘겨줄 시간이 남는다. 유량 보존의 식 하나로 운동하는 몸의 사정까지 설명할 수 있는 거다.

핵심 순환계 계산의 4단계

1. 단위를 SI로 바꾼다: $1 \text{ mmHg} = 133.3 \text{ Pa}$, $1 \text{ mL} = 10^{-6} \text{ m}^3$, $1 \text{ cm}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$, $1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ J}$.
2. 유량 보존 $Q = A_1 v_1 = A_2 v_2$ 에서 A 는 그 부위 혈관을 모두 합친 총 단면적이다. 보존되는 것은 속도가 아니라 유량(부피/시간)이다.
3. 압력 ↔ 높이는 $h = P/(\rho g)$. g 가 커지면(급선회) h 가 줄어든다. 수은과 혈액의 높이 비는 밀도 비의 역수로 계산한다.
4. 심장의 일 $W = P\Delta V$, 일률 = $W \times$ 박동 수/초, 효율 = 한 일 ÷ 공급 에너지. 평균압·수축기 압 중 무엇을 썼는지 밝힌다.

스스로 풀어 보기

1. 대동맥 단면적 4 cm^2 , 혈류 속도 25 cm/s 이고 모세혈관 총 단면적이 $4,500 \text{ cm}^2$ 이다. 모세혈관의 혈류 속도와 1분 유량(L/min)을 구하라.
2. 혈압 90 mmHg가 혈액($1,060 \text{ kg/m}^3$)을 밀어 올리는 높이를 구하라. ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$, $1 \text{ mmHg} = 133.3 \text{ Pa}$)
3. 1회 박출량 70 mL, 평균 동맥압 100 mmHg, 심박수 72회/분일 때 심장의 일률을 구하라.
4. 동맥과 정맥을 ‘산소가 많은 피’와 ‘산소가 적은 피’로 정의하면 왜 틀리는지 폐동맥을 예로 들어 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 세 식은 4부의 **기출문제 14**(서울대 2008) (332쪽)에서 그대로 쓰인다. 그 문제의 논제 1은 심장이 하는 일의 일률과 효율, 논제 2는 혈압이 피를 밀어 올리는 높이와 급선회하는 조종사, 논제 3은 대동맥과 모세혈관의 혈류 속도와 보존되는 양을 묻는다. 또 **기출문제 1**(경북대 2025) (210쪽)의 마지막 소문항은 콩팥 기능이 떨어져 몸속 물이 늘면 혈액량이 늘어 혈압이 오른다는 사슬을 요구하는데, 그 출발점이 이 장의 “혈압은 혈관에 혈액이 얼마나 차 있느냐로 정해진다”는 문장이다. 다음 장 **기본개념편 제 4장** (47쪽)에서는 혈관 밖으로 나온 물이 어느 쪽으로 움직이는지를 삼투로 본다.

이 장의 참고문헌

- Hall, J. E., & Hall, M. E. (2021). Guyton and Hall textbook of medical physiology (14th ed.). Elsevier.
- Starling, E. H. (1896). On the absorption of fluids from the connective tissue spaces. The Journal of Physiology, 19(4), 312–326. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1896.sp000596>
- Silverthorn, D. U. (2019). Human physiology: An integrated approach (8th ed.). Pearson.
- 서울대학교 입학처. (2008). 2008학년도 정시모집 논술고사 문제(자연계) [시험 자료].

제 4장 물은 진한 쪽으로: 삼투와 삼투압

새 개념 반투과성 막과 삼투 · 등장액·고장액·저장액 · 삼투압 $\pi = CRT$ · 팽압과 원형질 분리

이어짐 콩팥의 물 재흡수 5장 · ADH 13장 · 물고기의 염분 조절 14장

이 장의 개념도

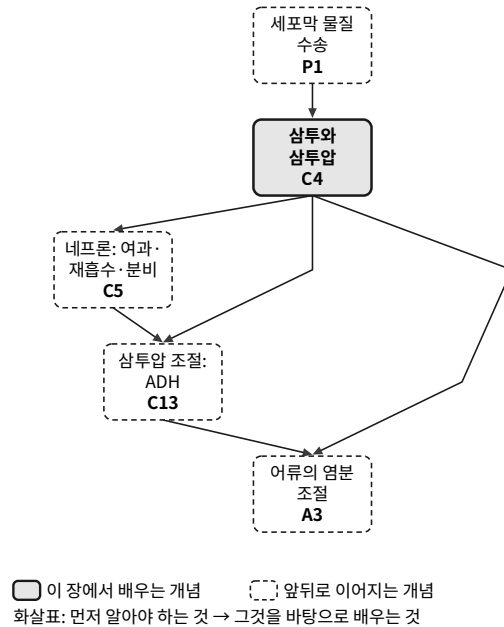


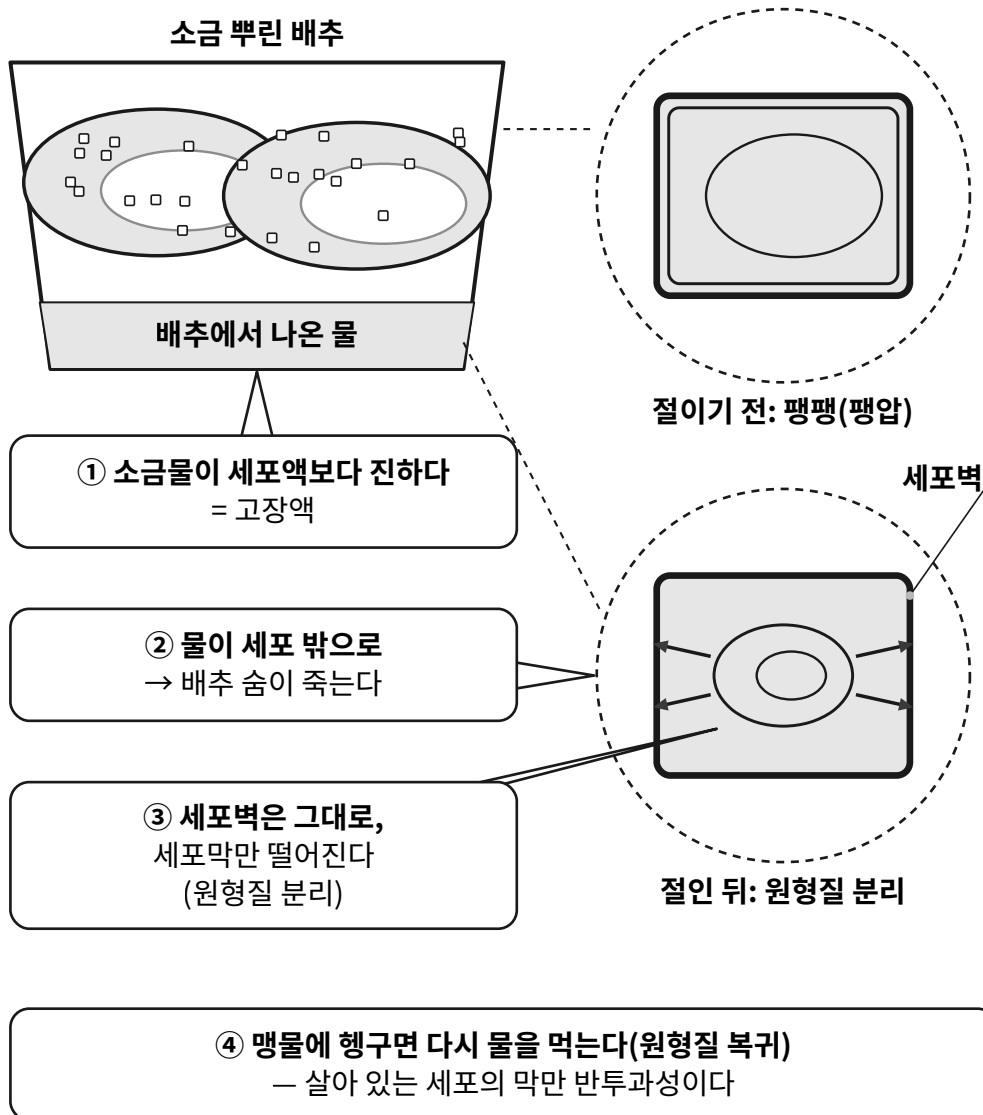
그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C4 삼투와 삼투압)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

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 3 (경희대 2023년) (229쪽)	저장액 속 식물 세포와 혈장 삼투압 조절	C4 삼투와 삼투압
기출 10 (성균관대 2011년) (291쪽)	출혈·췌관 음식·음주와 오줌의 양, 집합관의 요소 재흡수	C4 삼투와 삼투압
기출 13 (숭실대 2009년) (321쪽)	담수어·해수어의 염분 항상성	C4 삼투와 삼투압

배추 절이기 — 소금물 속 세포에서 물이 빠진다



물은 반투과성 막을 지나 용질이 진한 쪽으로 간다

그림 18. 배추 절이기 — 소금물에 담긴 배추의 세포에서 물이 빠져나가 숨이 죽고, 확대해 보면 세포벽은 그대로인 채 세포막이 떨어지는 장면(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 물은 반투과성 막을 지나 용질이 진한 쪽으로 간다.
2. 고장액에서 식물 세포는 원형질 분리가, 저장액에서는 팽압이 커진다.
3. 삼투압은 녹아 있는 입자 수에 비례한다($\pi = CRT$).

이 장의 출발점

- 1장의 세포외액과 세포내액: 세포막 하나가 두 액체를 나눈다.
- 확산: 입자는 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 퍼진다(2장, 모세혈관의 물질 교환).
- 몰 농도($M = \text{mol/L}$)와 화학식량: NaCl 58.44 g/mol, 설탕 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ 342 g/mol.
- 절대 온도 $K = ^\circ\text{C} + 273$, 기체 상수 $R = 0.082 \text{ atm} \cdot \text{L}/(\text{mol} \cdot \text{K})$.

11월의 토요일, 돌집 마당에 배추 스무 포기나 쌓였다. 이모가 반으로 가른 배추에 굵은 소금을 켜켜이 뿌리고 있었다. 저녁이 되자 뻗뻗하던 배추가 축 늘어지고 대야 바닥에 물이 고였다.

하린 이모, 배추에 물을 안 부었는데 대야에 물이 생겼어요.

이모 그게 배추에서 나온 물이야. 할머니는 소금이 배추의 물을 뺀다고만 하셨는데, 어떻게 빼는 건지는 나도 몰라. 교수님, 소금이 물을 끌어당기는 거예요?

석 교수 끌어당긴다고 말해도 틀리지는 않지만, 정확히는 물이 스스로 이동하는 거다. 오늘은 그 이동, 곧 **삼투**를 배우자. 콩팥이 물을 되찾는 것도, 짠 음식을 먹고 목이 마른 것도, 바닷물 고기가 바닷물을 마시는 것도 모두 삼투로 설명된다.

태오 삼투는 확산이랑 다른 거예요?

석 교수 확산의 특별한 경우다. 막이 용질은 막고 물만 통과시킬 때 물이 확산하는 것을 삼투라고 한다.

4.1 물은 왜 진한 쪽으로 가나

석 교수 용질은 지나가지 못하고 물만 지나가는 막을 **반투과성 막**이라고 한다. 셀로판 막이나 세포막이 대략 그런 성질을 가진다. U자관 가운데를 이 막으로 막고 왼쪽에 맹물, 오른쪽에 설탕물을 같은 높이로 넣어 보자. **그림 19**가 그 실험이다.

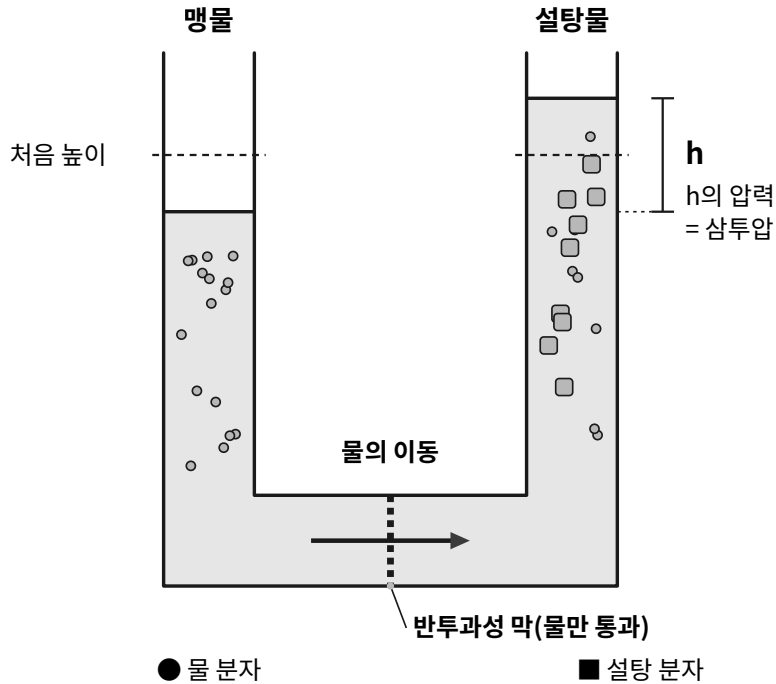


그림 19. U자관 삼투 실험 — 반투과성 막을 사이에 두고 맹물(왼쪽)과 설탕물(오른쪽)을 같은 높이로 넣으면 물이 설탕물 쪽으로 이동해 오른쪽 수면이 올라간다. 올라간 높이 h 만큼의 압력이 삼투를 멈추게 하는 압력, 곧 삼투압의 크기다(모식도)

하린 설탕물 쪽 수면이 올라가요. 설탕이 물을 끌어당긴 거 같은데요.

석 교수 이렇게 보자. 막의 양쪽에서 물 분자는 쉬지 않고 막에 부딪히며 넘나든다. 맹물 쪽은 1 L 안이 거의 다 물 분자고, 설탕물 쪽은 그 자리 일부를 설탕 분자가 차지하고 있다. 그러니 물의 농도는 맹물 쪽이 더 높아. 물도 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 확산하니, 맹물 → 설탕물로 넘어가는 물이 반대 방향보다 많다.

태오 아, ‘용질이 진한 쪽으로’라는 건 ‘물이 묽은 쪽으로’와 같은 말이네요. 물의 입장에서는 그냥 확산이구요.

석 교수 바로 그거다. 2023학년도 경희대 모의 논술의 제시문도 삼투를 ‘물의 농도 차에 따른 물의 이동’으로 정의한다. 그 정의를 써야 고장액·저장액 문제에서 방향을 틀리지 않는다.

이모 그럼 설탕물 쪽 물이 계속 올라가요? 끝이 없어요?

석 교수 오른쪽 수면이 높아지면 그 물기둥의 무게가 막을 왼쪽으로 민다. 3장의 $P = \rho gh$ 기억나지? 이 미는 압력이 물이 넘어오려는 경향과 같아지면 이동이 멈춘다. 그때 높이 차 h 에 해당하는 압력을 그 용액의 **삼투압**이라고 한다. 거꾸로, 처음부터 설탕물 쪽에 그만큼의 압력을 걸면 물이 하나도 넘어오지 않는다.

4.2 적혈구를 세 용액에 넣으면

석 교수 세포는 반투과성 막으로 둘러싸인 주머니니, 바깥 용액에 따라 물이 드나든다. 세포 안과 삼투압이 같은 용액을 **등장액**, 더 높은 용액을 **고장액**, 더 낮은 용액을 **저장액**이라고 한다. ‘세포 안과 비교해서’라는 기준을 꼭 붙여야 한다.

하린 적혈구를 맹물에 넣으면 어떻게 돼요?

호르몬·항상성·배설 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

항상성 = 감지하고, 신호를 보내고, 표적이 반응하고, 결과가 신호를 끈다(음성 되먹임)

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 14문항(2008~2025학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안(공식 해설 기반 9문항) · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 항상성인가
2. 먹은 것은 어디로 가나: 물질대사와 노폐물
3. 혈액은 어떻게 도나: 혈압과 혈류
4. 물은 진한 쪽으로: 삼투와 삼투압
5. 콩팥의 일: 여과·재흡수·분비
6. 암모니아에서 요소로: 간과 질소 노폐물
7. 호르몬이란 무엇인가

8. 호르몬은 세포에 어떻게 말하나: 수용체와 신호 전달
9. 인슐린이 세포를 나가는 길: 분비 단백질의 경로
10. 되먹임 조절: 시상하부-뇌하수체-갑상선 축
11. 혈당 조절: 인슐린과 글루카곤
12. 혈당과 세포의 에너지: 당뇨병·운동·세포호흡
13. 물과 소금의 균형: 항이뇨 호르몬과 알도스테론
14. 신경과 호르몬의 협동, 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: 세포호흡 · 신경과 활동 전위 · 세포막 수송 · 유전자 발현 조절



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

53470



ISBN 979-11-23065-07-6

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설 — 전체 358쪽

ssbook.kr/book/nonsul-08

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

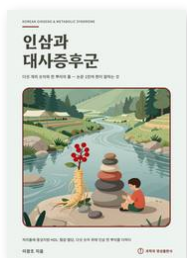
인삼 (6)



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

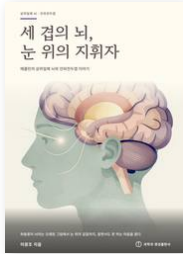
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



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 — 뭇은 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