



대입 과학논술 07 — 세포막 · 소기관 · 물질 수송

인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다

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-07

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

세포막· 소기관· 물질 수송

07

MASTER



세포막·물질 수송 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 10문항 · 2008~2022학년도

이광조 지음

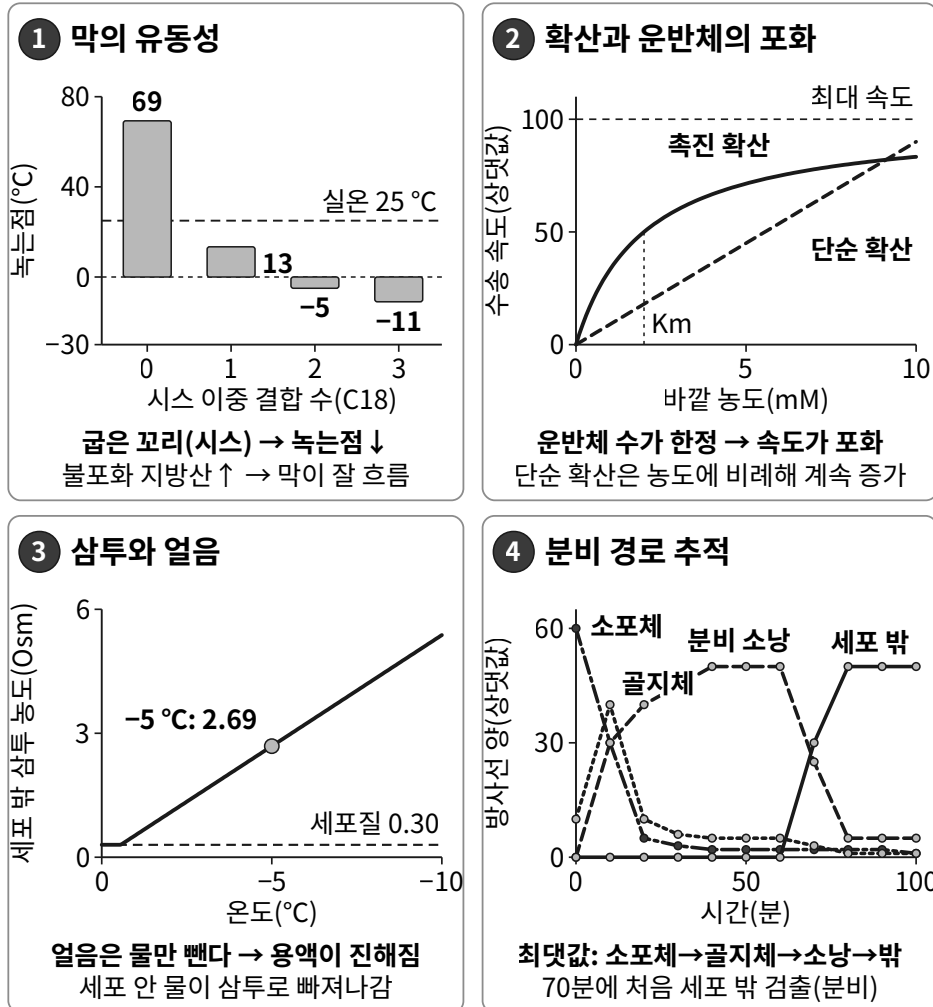
MASTER
논술 생물

세포막·소기관·물질 수송

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

세포막·물질 수송 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

핵심 = 막의 구조(인지질·단백질) × 농도 기울기 × 에너지(ATP·H⁺) | 10문항 · 5개 대학 (2008~2022)



한 줄 요약: 막 = 인지질의 벽 + 단백질의 문
물질은 기울기를 따라 흐르거나, ATP를 써서 거슬러 오른다

그림 1. 세포막·소기관·물질 수송 단원의 그림 요약. ① 시스 이중 결합 수와 지방산 녹는점(막 유동성), ② 단순·촉진 확산의 수송 속도(포화), ③ 결빙 때 세포 밖 용액의 삼투 농도, ④ 방사성 아미노산 추적으로 본 분비 경로. ①은 문헌값, ②·③은 계산값, ④는 2020학년도 경희대 의학계 [표 3]의 값이다.

한 줄 요약: 세포막 = 인지질의 벽 + 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐르거나 ATP로 거슬러 오른다

연결 단원 → 세포 호흡(화학 삼투) · 뉴런(막전위) · 효소 · 호르몬(인슐린)

차례

기본개념편	12
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	13
기본개념편을 열며	15
제 1장 왜 세포막인가.....	17
1.1 경계가 있어야 안과 밖이 다르다.....	19
1.2 세포는 왜 작은가 — 표면적과 부피의 비.....	21
1.3 막은 얼마나 얇은가 — 7~8 nm	23
1.4 선택적 투과성 — 무엇이 지나가고 무엇이 막히는가	24
제 2장 세포 속 지도: 원핵세포·진핵세포와 소기관	27
2.1 원핵세포와 진핵세포 — 핵막이 있는가.....	29
2.2 소기관 지도 — 정보·생산·포장·분해·에너지	31
2.3 동물세포와 식물세포 — 세포벽·액포·엽록체	33
2.4 소기관을 따로 모으는 법 — 세포 분획법 예고	35
제 3장 핵·리보솜·소포체: 단백질을 만드는 길	37
3.1 핵 — 두 겹 막과 핵공	40
3.2 인 — 리보솜을 조립하는 곳	40
3.3 자유 리보솜과 부착 리보솜 — 단백질의 행선지가 갈린다.....	41
3.4 거친면 소포체와 매끈면 소포체.....	43
3.5 방사성 표지 고르기 — ^{32}P 는 핵산, ^{35}S 는 단백질	44
제 4장 골지체와 분비 소낭: 포장하고 내보내기.....	47
4.1 골지체 — 받는 면과 내보내는 면.....	49
4.2 분비 소낭과 세포외 배출 — 막이 막과 합쳐진다.....	50
4.3 펄스-추적 실험 읽기 — 경희대 2020학년도 [표 3]	52
4.4 팔라드의 실험 — 이 방법이 처음 쓰인 곳.....	55
제 5장 리소좀과 세포내 섭취: 분해하고 재활용하기	57
5.1 리소좀 — 골지체에서 떨어져 나온 산성 주머니.....	59
5.2 리소좀이 터져도 세포가 안전한 까닭	60
5.3 효소마다 최적 pH가 다르다 — 중앙대 문제 4-1의 논리.....	62
5.4 세포내 섭취 — 막으로 감싸 안으로 들이기	62
제 6장 미토콘드리아와 엽록체: 두 겹 막의 에너지 소기관.....	66
6.1 미토콘드리아 — 외막, 막간 공간, 내막, 기질	68
6.2 엽록체 — 외막, 내막, 스트로마, 틸라코이드	70
6.3 구획마다 H^+ 농도가 다르다.....	72
6.4 두 소기관의 공통점 — 세포내 공생설	73
6.5 산소를 싫어하는 효소는 어디에 두나 — 생각 실험	74
제 7장 인지질 이중층: 막은 저절로 만들어진다.....	76
7.1 인지질 한 분자 — 머리 하나, 꼬리 둘	79
7.2 물속에서 왜 두 겹이 되나 — 소수성 효과.....	79
7.3 막이 두 겹이라는 증거 — 고터와 그렌델의 실험.....	81
7.4 무엇이 이중층을 그냥 지나가나.....	82
7.5 약을 잘 흡수시키는 두 가지 방법 — 연세대 2020학년도 문제 1.....	83
제 8장 흐르는 모자이크: 막의 유동성과 막단백질	86
8.1 유동 모자이크 모델 — 막은 흐르는 바다다	89

8.2 지방산 꼬리와 녹는점 — 곧은 꼬리와 굽은 꼬리	90
8.3 시스와 트랜스 — 같은 18:1이라도 다르다	93
8.4 온도 적응과 콜레스테롤 — 막의 완충 장치	93
8.5 막단백질과 당 사슬 — 문, 안테나, 이름표	94
제 9장 확산: 농도 기울기를 따라 퍼진다	97
9.1 무작위 운동이 만든 알짜 이동	99
9.2 확산 시간은 거리의 제곱에 비례한다	100
9.3 막을 지나는 단순 확산	102
9.4 그래서 큰 생물에는 순환계가 필요하다	104
제 10장 삼투: 물은 어디로 움직이는가	107
10.1 U자관 실험 — 물은 용질이 진한 쪽으로	109
10.2 삼투압 $\pi = iCRT$ — 세포는 7.6기압을 품고 있다	110
10.3 적혈구와 식물 세포 — 세포벽이 만드는 차이	111
10.4 얼음이 세포의 물을 빼앗는다 — 동결 탈수	113
10.5 많이 저장하되 삼투압은 올리지 않는 법	115
제 11장 촉진 확산: 통로 단백질과 운반체 단백질	117
11.1 통로 단백질과 운반체 단백질	119
11.2 포화 — 운반체의 수는 정해져 있다	121
11.3 특이성과 경쟁 — 문은 손님을 고른다	122
11.4 아쿠아포린 — 물에게도 문이 있었다	123
11.5 문의 수를 바꾸는 신호, 그리고 문을 설계하기	125
제 12장 능동 수송과 공동 수송: 기울기를 거슬러	127
12.1 펌프는 기울기를 거슬러 올린다	130
12.2 결합 부위 두 개 — 어디가 망가져도 멈춘다	131
12.3 공동 수송 — 한 기울기로 다른 물질을 끌어올린다	132
12.4 두 그래프가 함께 움직이면 — 능동 수송을 자료로 읽기	134
제 13장 막전위와 이온 통로: 막에 걸린 전압	137
13.1 이온 기울기와 선택적 통로가 전압을 만든다	139
13.2 휴지 전위는 왜 -70 mV인가	140
13.3 전압 개폐 Na^+ 통로 — 막의 스위치	141
13.4 펌프가 기울기를 되돌린다	143
13.5 인공세포의 스위치 — 막전위로 수송을 켜고 끄기	143
제 14장 화학 삼투와 몸·식물·기술 속의 막, 그리고 2부로	147
14.1 화학 삼투 — H^+ 의 댐	149
14.2 기울기만으로 충분한가 — 야겐도르프의 산 담금 실험	150
14.3 숫자로 보는 화학 삼투	152
14.4 응용 종합 — 막 하나로 읽는 네 가지 기술	153
14.5 기본개념편을 마치며 — 2부로	155
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	157
부록 B. 용어 풀이	160
기출문제와 기본개념	168
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	169
0. 이 장의 사용법	171
1. 출제 개념	172
1.1 세포와 소기관의 지도 — $\text{C1} \cdot \text{C2}$	172

1.2 내막계와 분비 경로 — C3 · C15 · A1	172
1.3 리소좀과 세포 내 소화 — C4	173
1.4 미토콘드리아와 엽록체 — C5	173
1.5 인지질 이중층과 막 유동성 — C6 · C7	174
1.6 막단백질과 당단백질 — C8 · A6	174
1.7 확산과 삼투 — C9 · C10 · A3	175
1.8 촉진 확산과 능동 수송 — C11 · C12 · C13 · A5	176
1.9 막전위와 화학 삼투 — C14 · C16 · A4	178
1.10 그래프 개념도 읽는 법	178
2. 출제 경향	180
2.1 반복되는 출제 패턴 여섯 가지	182
2.2 학교별 성향	182
논술답안작성 패턴분석	184
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	185
3. 답안 작성법	187
3.1 자료 해석형 답안의 4단 구조	187
3.2 서술형 답안의 4문장 틀	189
3.3 용어와 표기 규칙	189
3.4 시간 배분과 자기 점검	190
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	190
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	192
실전기출문제와 풀이과정	196
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	197
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념	199
5.1 한눈에 보는 기출 10문항	199
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론	199
5.3 기본 개념 한눈에	200
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다	201
6. 출제 문항 분석과 모범답안	203
〈기출문제 1 (연세대 2022년)〉	204
〈기출문제 2 (연세대 2020년)〉	214
〈기출문제 3 (연세대 2020년)〉	222
〈기출문제 4 (연세대 2020년)〉	230
〈기출문제 5 (경희대 2020년)〉	238
〈기출문제 6 (경희대 2020년)〉	246
〈기출문제 7 (중앙대 2015년)〉	254
〈기출문제 8 (성균관대 2012년)〉	263
〈기출문제 9 (서울대 2009년)〉	272
〈기출문제 10 (성균관대 2008년)〉	286
7. 변형·예상 문항	294
8. 강의 연결	299
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	299
8.2 강의 구성 시 유의점	300
9. 전체 문제 총평	301

9.1 숫자로 먼저 보기	301
9.2 다섯 가지 총평	301
9.3 대학별 한 줄 총평	302
9.4 이렇게 공부하자	303
10. 참고문헌	304
10.1 자료 출처와 확보 범위	306

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 세포막 논제의 네 장면	1
그림 2. 제 1장 개념도	17
그림 3. 생활 속 개념도 1	18
그림 4. 세포 안팎의 이온 농도	20
그림 5. 반지름과 S/V	22
그림 6. 막 두께의 축척	24
그림 7. 제 2장 개념도	27
그림 8. 생활 속 개념도 2	28
그림 9. 원핵세포와 진핵세포의 크기	31
그림 10. 동물세포의 소기관 지도	32
그림 11. 식물세포 단면	33
그림 12. 제 3장 개념도	37
그림 13. 생활 속 개념도 3	39
그림 14. 핵에서 소포체까지	41
그림 15. 자유·부착 리보솜의 행선지	42
그림 16. ^{32}P 와 ^{35}S 가 들어가는 자리	44
그림 17. 제 4장 개념도	47
그림 18. 생활 속 개념도 4	48
그림 19. 분비 경로	50
그림 20. 세포외 배출의 세 단계	51
그림 21. 분비 경로 추적 곡선	53
그림 22. 제 5장 개념도	57
그림 23. 생활 속 개념도 5	58
그림 24. 효소 활성과 pH	61
그림 25. 식세포 작용과 리소좀	63
그림 26. 세포 안 pH 지도	64
그림 27. 제 6장 개념도	66
그림 28. 생활 속 개념도 6	67
그림 29. 미토콘드리아 단면	69
그림 30. 엽록체 단면	71
그림 31. 구획별 pH와 $[\text{H}^+]$ 비	73
그림 32. 제 7장 개념도	76
그림 33. 생활 속 개념도 7	78
그림 34. 인지질과 이중층	79
그림 35. 미셀·이중층·리포솜	80
그림 36. 이중층을 지나는 순서	83
그림 37. 제 8장 개념도	86
그림 38. 생활 속 개념도 8	88
그림 39. 유동 모자이크 막 모형	89
그림 40. 지방산 꼬리 모양(계산 좌표)	91
그림 41. 지방산 녹는점 막대	92
그림 42. 제 9장 개념도	97
그림 43. 생활 속 개념도 9	98
그림 44. 확산 농도 분포 곡선	100
그림 45. 확산 거리-시간 그래프	101
그림 46. 단순 확산 수송 속도 직선	103
그림 47. 제 10장 개념도	107

그림 48. 생활 속 개념도 10	108
그림 49. U자관 삼투 실험.....	110
그림 50. 적혈구·식물 세포의 삼투 반응	111
그림 51. 동결 온도와 세포 탈수	114
그림 52. 제 11장 개념도	117
그림 53. 생활 속 개념도 11	118
그림 54. 통로 단백질과 운반체 단백질	120
그림 55. 포화 곡선과 단순 확산 직선.....	121
그림 56. 아쿠아포린 난모세포 실험.....	124
그림 57. 제 12장 개념도	127
그림 58. 생활 속 개념도 12	129
그림 59. Na^+ - K^+ 펌프의 순환	130
그림 60. 활성에 따른 수송 곡선	132
그림 61. 소장 상피의 포도당 흡수	133
그림 62. 제 13장 개념도	137
그림 63. 생활 속 개념도 13	138
그림 64. 이온 농도와 평형 전위	140
그림 65. 활동 전위(호지킨-헉슬리 계산)	142
그림 66. 인공세포 재구성 그림	144
그림 67. 제 14장 개념도	147
그림 68. 생활 속 개념도 14	148
그림 69. 미토콘드리아 내막의 화학 삼투	150
그림 70. 야겐도르프 산 담금 실험	151
그림 71. 물질 수송 종합 지도	154
그림 72. 동결 온도와 세포 탈수	176
그림 73. 수송 속도 곡선과 돌연변이.....	177
그림 74. 전체 개념 그래프.....	179
그림 75. 개념별 출제 횟수.....	179
그림 76. 연도별 출제 문항 수	180
그림 77. 대학별 출제 문항 수	181
그림 78. 자료 해석형 풀이 절차	187
그림 79. 인공세포의 Y 분리 장치(재구성)	205
그림 80. 〈연세대 2022〉 개념 그래프	206
그림 81. 〈연세대 2020〉 개념 그래프	215
그림 82. 약 흡수를 돕는 두 방법	216
그림 83. 〈연세대 2020〉 개념 그래프	223
그림 84. 내막의 H^+ 흐름.....	226
그림 85. 〈연세대 2020〉 개념 그래프	231
그림 86. 동결 탈수 모식도와 계산	235
그림 87. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	239
그림 88. [표 3]의 시간 변화.....	242
그림 89. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	247
그림 90. 돌연변이 수송 곡선(재구성)	248
그림 91. 〈중앙대 2015〉 개념 그래프	255
그림 92. 〈성균관대 2012〉 개념 그래프	264
그림 93. 시스·트랜스 지방산 사슬	265
그림 94. 막 구조와 인지질(재구성)	274
그림 95. 〈서울대 2009〉 개념 그래프	275
그림 96. 논제 3 그래프(재구성)	282

그림 97. 〈성균관대 2008〉 개념 그래프	287
---------------------------------	-----

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	13
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념.....	13
표 3. 세포 안팎의 이온 농도와 그 비.....	19
표 4. 막을 지나는 물질과 이 책에서 따라갈 세 질문(예고).....	24
표 5. 원핵세포·동물세포·식물세포 비교.....	29
표 6. 진핵세포 소기관의 일과 막.....	31
표 7. 세포 X~W의 구조(가상의 조사 결과).....	34
표 8. 제 3장의 개념이 쓰인 기출.....	37
표 9. 자유 리보솜과 부착 리보솜 비교.....	41
표 10. 방사성 동위 원소와 표지되는 분자.....	44
표 11. 제 4장의 개념이 쓰인 기출.....	47
표 12. 2020학년도 경희대 의학계 논술 논제 II-3의 [표 3].....	52
표 13. 분획별 최댓값 시점과 통과 순서.....	54
표 14. 제 5장의 개념이 쓰인 기출.....	57
표 15. 소화 효소와 리소좀 효소의 최적 pH와 작용 장소.....	62
표 16. 세포내 섭취의 세 종류.....	63
표 17. 제 6장의 개념이 쓰인 기출.....	66
표 18. 미토콘드리아와 엽록체 비교.....	72
표 19. 제 7장의 개념이 쓰인 기출.....	76
표 20. 고터-그렌델 실험의 재구성 값.....	81
표 21. 인지질 이중층(단백질이 없는 인공막)을 단순 확산으로 지나는 정도.....	82
표 22. 제 8장의 개념이 쓰인 기출.....	86
표 23. 탄소 18개 지방산의 구조와 녹는점.....	90
표 24. 막단백질의 기능 분류.....	94
표 25. 제 9장의 개념이 쓰인 기출.....	97
표 26. 분자별 확산 계수(25 °C 물)와 확산 시간 $t = x^2/(2D)$	101
표 27. 한천 조각 실험(가상의 값: 10분 동안 겔에서 0.....	104
표 28. 제 10장의 개념이 쓰인 기출.....	107
표 29. 용액별 삼투 농도와 적혈구의 반응(37 °C, 세포질 약 0.....	112
표 30. 감자 조각을 설탕 용액에 30분 담근 뒤의 질량 변화(가상의 값, 25.....	112
표 31. 제 11장의 개념이 쓰인 기출.....	117
표 32. 운반체 수송 속도(가상의 값: $J_{max} = 100$, $K_m = 2 \text{ mM}$)와.....	121
표 33. 포도당 흡수 속도에 다른 당이 주는 영향(가상의 값).....	123
표 34. 막을 지나는 방식 비교.....	123
표 35. 제 12장의 개념이 쓰인 기출.....	127
표 36. 이동 방식을 가르는 세 질문.....	134
표 37. 세계 보건 기구 권장 저삼투 경구 수액 1 L의 성분.....	134
표 38. 제 13장의 개념이 쓰인 기출.....	137
표 39. 포유류 신경 세포의 이온 농도와 평형 전위(37 °C, $E = 61$	140
표 40. 인공세포의 막전위 조작과 Y 이동(문제 2-2의 논리).....	145
표 41. 제 14장의 개념이 쓰인 기출.....	147
표 42. 미토콘드리아와 엽록체의 화학 삼투 비교.....	152
표 43. 응용 종합.....	153
표 44. 2부 목차와 내용.....	169
표 45. 원핵세포·동물세포·식물세포의 비교.....	172
표 46. 2020학년도 경희대 의학계 [표 3]을 읽는 법.....	173
표 47. 효소의 최적 pH와 작용 장소.....	173

표 48. 구획별 pH와 $[H^+]$ 비.....	173
표 49. 탄소 18개 지방산의 이중 결합과 녹는점(문헌값)	174
표 50. 막을 지나는 방식을 가르치는 세 질문	177
표 51. 화학 삼투에서 H^+ 의 두 방향.....	178
표 52. 이 책의 기출 문항 목록	180
표 53. 대학별 출제 문항	181
표 54. 문항별 요구 개념 수와 최대 층.....	181
표 55. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서)	182
표 56. 생물 논술의 다섯 패턴과 쓰는 순서	185
표 57. 논술답안작성 패턴분석(3부) 목차와 내용.....	185
표 58. 자료의 모양과 그 모양이 뜻하는 것.....	188
표 59. 서술형 답안의 문장 틀(원리 설명).....	189
표 60. 설계형 답안의 문장 틀	189
표 61. 시간 배분의 예	190
표 62. 논술 기본 패턴 5가지.....	190
표 63. 문항별 소문항에 적용한 패턴.....	191
표 64. 여섯 예시의 감점 원인과 고치는 한 줄.....	195
표 65. 문항 분석 한 개의 구성	197
표 66. 실전기출문제와 풀이과정(4부) 목차와 내용.....	197
표 67. 대학별 기출 문항 수·연도·소재(번호는 4부의 기출문제 번호).....	199
표 68. 학년도별 문항 수	199
표 69. 소문항에 적용한 답안 패턴의 분포(18개 소문항, 두 패턴을 결합한 소문.....	199
표 70. 기본 개념 한눈에(기출 빈도 순)	200
표 71. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적.....	201
표 72. 기출문제 1의 개념과 복습 위치.....	206
표 73. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	208
표 74. 기출문제 2의 개념과 복습 위치.....	215
표 75. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	217
표 76. 기출문제 3의 개념과 복습 위치.....	224
표 77. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	225
표 78. 기출문제 4의 개념과 복습 위치.....	231
표 79. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	233
표 80. 원문 [표 3]을 다시 조판	238
표 81. 기출문제 5의 개념과 복습 위치.....	239
표 82. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	240
표 83. 기출문제 6의 개념과 복습 위치.....	247
표 84. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	249
표 85. 원문 표를 다시 조판.....	254
표 86. 기출문제 7의 개념과 복습 위치.....	256
표 87. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	257
표 88. 기출문제 8의 개념과 복습 위치.....	264
표 89. 탄소 18개 지방산의 구조와 녹는점(시험지에 없는 보조 자료	265
표 90. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	266
표 91. 원문 [그림 2]의 지방산 표를 다시 조판(값은 원문 그대로).....	272
표 92. 기출문제 9의 개념과 복습 위치.....	275
표 93. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	277
표 94. 기출문제 10의 개념과 복습 위치.....	287
표 95. 소문항별 요구 사항과 난이도.....	288
표 96. 변형 11의 분획별 방사선 양(가상의 값)	297

표 97. 인강 회차 구성(제안)	299
표 98. 10개 문항의 규모	301
표 99. 대학별 출제 특징(자료를 구한 범위 안에서).....	302

제 1 부

기본개념편

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

세포막·소기관·물질 수송

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 세포의 지도 → 소기관이 단백질을 만들고 내보내는 길 → 막의 재료와 구조 → 물질이 막을 지나는 네 가지 방식(확산·삼투·촉진 확산·능동 수송) → 막전위와 화학 삼투의 순서로 이어집니다. 앞 장의 결과가 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠릅니다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장

구간	장	무엇을 하는가
A. 세포와 구획	1~2장	왜 세포에 경계가 필요한지에서 출발해, 원핵세포와 진핵세포의 차이와 소기관의 지도를 그린다. 이후 모든 장의 무대가 된다.
B. 단백질의 길	3~5장	핵에서 리보솜·소포체·골지체·분비 소낭을 거쳐 세포 밖으로 나가는 분비 경로와, 리소좀이 분해하고 재활용하는 길을 따라간다.
C. 막의 재료와 구조	6~8장	이중막 소기관(미토콘드리아·엽록체)을 보고, 인지질 이중층이 저절로 생기는 이유와 유동 모자이크 모델·막 유동성을 배운다.
D. 막을 지나는 네 가지 방식	9~12장	확산, 삼투, 촉진 확산(통로·운반체), 능동 수송과 공동 수송을 실험 자료와 곡선으로 구별한다.
E. 막에 걸린 전압과 에너지	13~14장	막전위와 전압 개폐 통로, 미토콘드리아·엽록체의 화학 삼투를 보고, 기출의 응용 장면을 모아 2부로 간다.

표 1의 다섯 구간은 2부의 출제 개념 절과 같은 순서다. 4부 문항 분석에서 “막히면 여기로 돌아가세요” 상자가 가리키는 장도 이 구간 안에 있다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 순서입니다. 장의 첫머리에는 이 장의 개념도와 그 개념이 쓰인 기출 표가 있어, 지금 배우는 개념이 나중에 어떤 문제로 나오는지 미리 볼 수 있습니다. 장마다 생활 속 개념도 한 쪽이 있어, 그 장의 개념이 부엌·운동장·냉장고 같은 일상에서 어떻게 보이는지 그림으로 확인합니다. 〈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.

생물 단원은 계산보다 “실험 → 자료 해석 → 결론”의 흐름이 중요합니다. 그래서 장마다 대조군과 변인을 먼저 확인하고, 표의 숫자를 비율로 바꾸고, 그래프의 기울기와 최댓값을 읽는 연습을 넣었습니다.

3. 장별 목차

표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념

장	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 1장 (17쪽)	왜 세포막인가	경계와 구획화 · 표면적과 부피의 비 · 선택적 투과성
기본개념편 제 2장 (27쪽)	세포 속 지도: 원핵세포·진핵세포와 소기관	원핵세포 · 진핵세포 · 세포 소기관의 분업 · 세포벽

장	제목	새로 배우는 개념
기본개념편 제 3장 (37쪽)	핵·리보솜·소포체: 단백질을 만드는 길	핵막과 핵공 · 인과 rRNA · 리보솜 · 거친면·매끈면 소포체
기본개념편 제 4장 (47쪽)	골지체와 분비 소낭: 포장하고 내보내기	골지체 · 분비 소낭 · 세포외 배출 · 방사성 표지 추적
기본개념편 제 5장 (57쪽)	리소좀과 세포내 섭취: 분해하고 재활용하기	리소좀 · 가수분해 효소의 최적 pH · 식세포 작용 · 자가포식
기본개념편 제 6장 (66쪽)	미토콘드리아와 엽록체: 두 겹 막의 에너지 소기관	외막·내막·크리스타 · 틸라코이드 · 막간 공간과 기질
기본개념편 제 7장 (76쪽)	인지질 이중층: 막은 저절로 만들어진다	양친매성 · 소수성 효과 · 미셀과 이중층 · 리포솜
기본개념편 제 8장 (86쪽)	흐르는 모자이크: 막의 유동성과 막단백질	유동 모자이크 모델 · 포화·불포화 지방산 · 시스 이중 결합 · 콜레스테롤 · 당단백질
기본개념편 제 9장 (97쪽)	확산: 농도 기울기를 따라 퍼진다	농도 기울기 · 단순 확산 · 투과도 · 확산 시간과 거리
기본개념편 제 10장 (107쪽)	삼투: 물은 어디로 움직이는가	반투과성 막 · 삼투압 · 등장·저장·고장 · 원형질 분리 · 동결 탈수
기본개념편 제 11장 (117쪽)	촉진 확산: 통로 단백질과 운반체 단백질	통로 단백질 · 운반체 단백질 · 수송 곡선의 포화 · 아쿠아포린
기본개념편 제 12장 (127쪽)	능동 수송과 공동 수송: 기울기를 거슬러	ATP와 펌프 · Na^+ - K^+ 펌프(3:2) · 공동 수송 · 수송 단백질의 결합 부위
기본개념편 제 13장 (137쪽)	막전위와 이온 통로: 막에 걸린 전압	휴지 전위 · 전압 개폐 Na^+ 통로 · 역치 · 인공세포의 수송 조절
기본개념편 제 14장 (147쪽)	화학 삼투와 몸·식물·기술 속의 막, 그리고 2부로	화학 삼투 · 전자 전달계와 H^+ 기울기 · ATP 합성효소 · 응용 종합

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 그림에 나온 숫자를 손으로 한 번 계산해 본다(비율·농도·시간).
- 장이 끝나면 〈스스로 풀어 보기〉를 먼저 풀고 부록 A로 확인한다.
- 헷갈리기 쉬운 곳은 9~12장(네 가지 수송 방식의 구별)과 4장(분비 경로 추적 표 읽기)이다. 이 두 구간은 두 번 읽는다.
- 기출 표에 나온 문제는 4부에서 만난다. 지금은 “이 개념이 이런 문제에 쓰이는구나” 정도로 훑는다.

기본개념편을 열며

세포막과 물질 수송은 중학교 과학에서 “세포막은 물질의 출입을 조절한다”는 한 줄로 처음 만나고, 대학 논술에서는 인공세포를 설계하거나 실험 표에서 소기관을 찾아내는 문제로 나온다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(세포의 모양, 농도의 뜻, 간단한 비율)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 이름을 먼저 주지 않고, 왜 그런 구조가 필요한지를 먼저 묻고 그다음에 이름을 붙인다.

등장인물

- 하린·태오 — 남매. 하린은 중학교 2학년, 태오는 논술을 준비하는 고등학교 2학년이다. 궁금한 것은 바로 묻는다.
- 미숙 이모 — 두부집 사장. 부엌과 시장의 눈으로 질문한다.
- 석 교수 — 충북 단양 ‘돌집 과학방’의 선생님. 은퇴한 화학·생물 교수로, 설명 대신 질문으로 길을 안내한다.

첫 토요일

토요일 아침, 돌집 과학방 탁자 위에는 날달걀 한 개, 식초 한 병, 투명한 컵 두 개, 그리고 소금 한 봉지가 놓여 있었다. 이모가 두부를 굳히고 남은 간수 통을 들고 들어왔다.

- 이모** 교수님, 오늘은 왜 부엌 재료만 잔뜩이에요? 화학 시간 같은데요.
- 석 교수** 오늘부터 배울 단원이 ‘세포막’이라서 그렇다. 세포 하나하나가 작은 부엌이거든. 들어올 재료와 나갈 쓰레기를 골라서 문을 여닫는 곳이 바로 막이다.
- 하린** 세포막은 그냥 세포를 감싼 껍질 아니에요? 비닐봉지처럼요.
- 석 교수** 비닐봉지라면 아무것도 못 지나가겠지. 그런데 세포는 산소는 받아들이고, 이산화 탄소는 내보내고, 포도당은 필요할 때만 들인다. 껍질이 아니라 문지기가 있는 벽이다.
- 태오** 논술에서도 그게 나와요? 저는 세포막 하면 ‘유동 모자이크 모델’ 한 줄만 외웠는데요.
- 석 교수** 그 한 줄로는 부족하다. 연세대는 인공세포 안으로 물질 Y만 골라 넣는 방법을 물었고, 경희대는 방사성 아미노산이 소포체·골지체·분비 소낭을 차례로 지나가는 표를 주고 소기관을 맞히라고 했다. 서울대는 지방산의 녹는점 표를 주고 막이 왜 흐르는지 설명하라고 했지.
- 하린** 와, 표랑 그래프가 다 나오네요. 그럼 외우는 것보다 읽는 게 중요하겠어요.
- 석 교수** 그렇다. 그래서 이 책은 세 가지 질문을 끝까지 들고 간다. 첫째, 막은 무엇으로 만들어졌나. 둘째, 물질은 막을 어떻게 지나가나. 셋째, 세포는 그 출입을 어떻게 조절하나.
- 이모** 그 달걀은 뭐에 쓰려고요?
- 석 교수** 식초에 하루 담가 두면 껍데기의 탄산 칼슘이 녹고 얇은 막만 남는다. 그 ‘맨 달걀’을 물에 넣으면 부풀고, 진한 소금물에 넣으면 쪼그라든다. 10장의 삼투를 미리 보여 주는 실험이다.
- 태오** 식물이 겨울에 얼어 죽는 것도 그거랑 관계있어요? 기출 목록에서 봤는데요.
- 석 교수** 있다. 세포벽 쪽에 얼음이 먼저 생기면 세포 밖 물이 줄어 용액이 진해지고, 세포 안의 물이 삼투로 빠져나간다. 2020학년도 연세대 문제다. 10장에서 어느점 내림 식으로 직접 숫자를 넣어 볼 거야.

하린 미토콘드리아도 나와요? 발전소라고만 배웠어요.

석 교수 발전소라는 말은 맞는데, 무엇으로 발전하는지가 핵심이다. 내막을 사이에 둔 수소 이온의 농도 차이가 물레방아를 돌리듯 ATP 합성효소를 돌린다. 그게 마지막 14장의 화학 삼투다.

이모 결국 막 하나로 세포의 일이 다 연결되네요.

석 교수 그래서 이 단원의 순서가 중요하다. 먼저 세포 안 지도를 그리고, 그 지도 위에서 단백질이 이동하는 길을 따라가고, 그다음 막의 재료와 수송 방식을 배운다. 장마다 생활 속 장면 하나를 그림으로 붙여 두었으니 부록에서 본 것과 이어서 읽으면 된다.

태오 그럼 1장은 뭐부터 해요?

석 교수 “왜 세포는 경계가 필요한가”부터다. 비눗방울 하나를 붙어 보자.

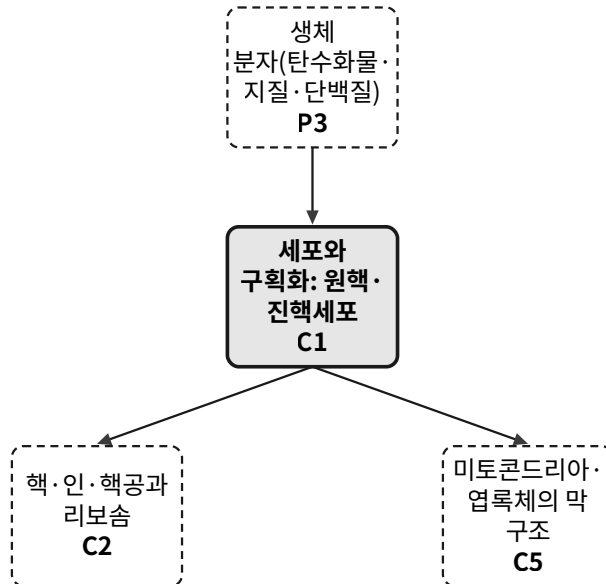
왜 세포막인가? **기본개념편 제 1장** (17쪽)은 경계가 있어야 안과 밖이 달라질 수 있다는 데서 출발한다. 세포는 막으로 안을 구획하고, 막 속 단백질로 필요한 것만 골라 들이며, 에너지를 써서 바깥과 다른 농도를 유지한다. 이 한 줄기를 끝까지 따라가는 것이 기본개념편의 줄거리다.

제 1장 왜 세포막인가

새 개념 경계와 구획화 · 표면적과 부피의 비 · 선택적 투과성

이어집 소기관 2장 · 인지질 이중층 7장 · 확산 9장 · 능동 수송 12장

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 세포와 구획화: 원핵·진핵세포)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.

비눗방울과 세포 — 막 하나가 안과 밖을 만든다

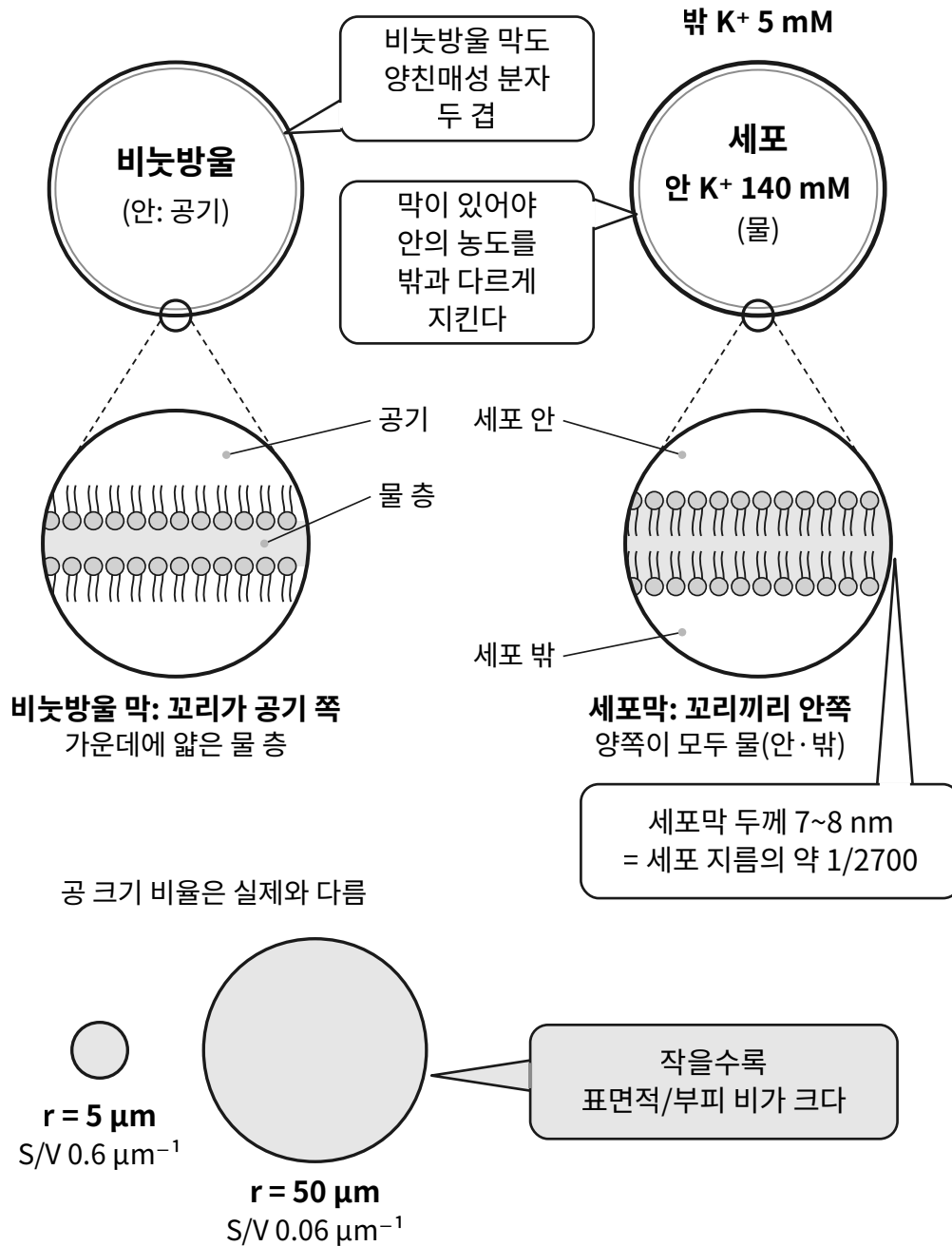


그림 3. 비눗방울과 세포 — 경계가 있어야 안과 밖이 생긴다. 비눗방울 막과 세포막은 둘 다 양친매성 분자가 두 겹으로 늘어선 얇은 막이지만, 꼬리가 향하는 쪽은 서로 반대다(모식도, 크기 비율은 실제와 다름)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 막은 안과 밖을 가르는 경계이고, 세포는 그 경계로 안의 농도를 밖과 다르게 지킨다
2. 세포 안 K⁺는 140 mM, 밖은 5 mM으로 안이 28배 진하다
3. 반지름이 10배 커지면 표면적/부피 비는 1/10로 줄어든다

이 장의 출발점

- 세포는 생물을 이루는 기본 단위다(중학교 과학).
- 농도는 일정한 부피에 녹아 있는 양이다. 이 책에서는 mM(밀리몰 농도, 1 L에 1/1000 mol)을 자주 쓴다.
- 구의 겹넓이 $4\pi r^2$, 부피 $(4/3)\pi r^3$ 과 간단한 비율 계산을 쓴다.

토요일 아침, 돌집 과학방 마당에서 하린이 비눗방울을 불고 있었다. 햇빛을 받은 막에 무지개색 무늬가 흘러 다녔다. 석 교수가 창문을 열고 내다보았다.

석 교수 하린아, 그 비눗방울 하나가 오늘 수업의 첫 장면이다. 안에 든 공기와 밖의 공기는 같은 공기인데, 막 하나 때문에 “안”과 “밖”이 생겼지?

하린 네. 터지면 안과 밖이 그냥 섞여 버리고요.

석 교수 바로 그거다. 세포도 마찬가지야. 세포막이라는 경계가 없으면 세포 안과 밖은 곧 섞여서 똑같아진다. 생명은 안과 밖이 다르다는 데서 시작한다.

이모 교수님, 우리 태오가 논술 문제집에서 “세포막의 역할을 서술하라”는 문제를 봤대요. 그게 이 얘기예요?

태오 네, 서울대 기출 제시문 첫 문단이 “모든 세포는 세포막으로 둘러싸여 있어 안과 밖이 구별된다”로 시작하더라고요.

하린 비눗방울 막하고 세포막은 같은 거예요?

석 교수 닳은 점과 다른 점이 하나씩 있다. 둘 다 물을 좋아하는 머리와 물을 싫어하는 꼬리를 가진 분자(세제 분자, 인지질)가 두 겹으로 늘어선 막이다. 그런데 비눗방울은 가운데에 얇은 물 층이 있고 꼬리가 바깥 공기 쪽을 향한다. 세포막은 양쪽이 모두 물이라서 꼬리끼리 안쪽으로 모이고 머리가 양쪽 물을 향하지. 생활 속 개념도에서 두 확대 원을 나란히 비교해 보렴.

태오 같은 재료로 반대 방향 샌드위치를 만든 거네요.

석 교수 좋은 표현이다. 왜 그렇게 늘어서는지는 **기본개념편 제 7장** (76쪽)에서 “물을 피하는 꼬리”로 설명한다.

석 교수 그래서 첫 장 제목이 “왜 세포막인가”다. 이름부터 외우지 말고, 왜 경계가 필요한지, 경계가 왜 얇은지, 세포가 왜 작은지를 차례로 물어보자.

1.1 경계가 있어야 안과 밖이 다르다

석 교수 세포 안과 밖의 액체를 비교한 측정값부터 보자. 사람 신경 세포 하나를 기준으로 한 대표값이다.

표 3. 세포 안팎의 이온 농도와 그 비 — 포유류 신경 세포의 대표값(mM)

이온	세포 밖	세포 안	진한 쪽	농도 비
Na ⁺ (나트륨 이온)	145	15	밖	$145 \div 15 = 9.7\text{배}$
K ⁺ (칼륨 이온)	5	140	안	$140 \div 5 = 28\text{배}$
Cl ⁻ (염화 이온)	110	10	밖	$110 \div 10 = 11\text{배}$

하린 K⁺는 안에 많고, Na⁺하고 Cl⁻는 밖에 많아요. 왜 반대예요?

석 교수 좋은 질문이다. 지금은 “반대로 유지되고 있다”는 사실만 보자. 그 차이를 만드는 장치는 **기본개념편 제 12장** (127쪽)에서 배우는 Na⁺-K⁺ 펌프다. 오늘 중요한 건, 막이 없으면 이런 차이가 한순간도 유지될 수 없다는 점이야.

태오 28배면 큰 차이네요. 이걸 그래프로 보면 더 확 와닿겠어요.

석 교수 **그림 4**가 그 막대그래프다. 안쪽 막대는 진하게, 바깥쪽 막대는 속을 비운 막대로 그렸다.

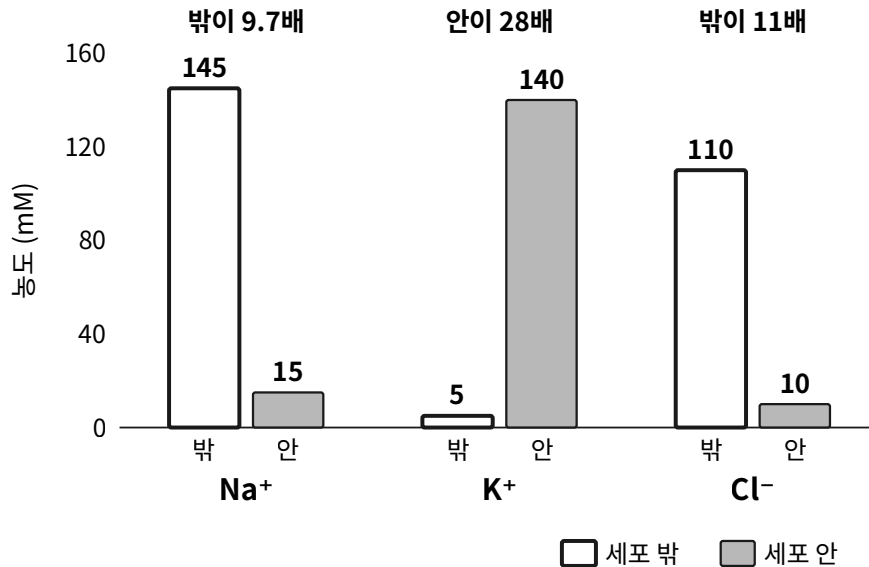


그림 4. 세포 안팎의 이온 농도 — 포유류 신경 세포의 대표값. 속이 찬 막대가 세포 안, 속이 빈 막대가 세포 밖이며 막대 위의 숫자는 농도(mM)와 진한 쪽 기준의 농도 비다

이모 그런데 교수님, 바닷물에 사는 생물이나 우리 몸속 세포나 다 물에 잠겨 있잖아요. 물에 잠겨 있는데 어떻게 안쪽만 다를 수 있어요?

석 교수 그래서 막이 필요한 겁니다. 분자는 가만히 있지 않고 늘 흔들리며 돌아다녀요. 막이 없으면 진한 곳의 분자가 묽은 곳으로 퍼져 나가서 결국 농도가 같아집니다. 이걸 확산이라고 부르는데, **기본개념편 제 9장** (97쪽)에서 자세히 봅니다. 막은 그 퍼짐을 골라서 막는 벽이에요.

하린 그럼 막은 그냥 벽이에요? 아무것도 못 지나가요?

석 교수 그렇다면 세포는 굵어 죽는다. 산소도 들어와야 하고 이산화 탄소도 나가야 하니까. 막은 “어떤 것은 지나가게, 어떤 것은 막히게” 고르는 벽이다. 이것을 **선택적 투과성**이라고 한다. 마지막 절에서 다시 다루자.

태오 막이 없으면 얼마나 묽어지는지 숫자로 볼 수도 있어요?

석 교수 해 보자. 반지름 10 μm 세포의 부피는 $(4/3)\pi \times 10^3 = 4189 \mu\text{m}^3$, 곧 약 4.2 pL(피코리터, 1조분의 1 L)다. 이 세포가 터져서 내용물이 물 1 mL에 퍼진다면, $1 \text{ mL} = 10^{12} \mu\text{m}^3$ 이니 부피가 $10^{12} \div 4189 = 2.4 \times 10^8$ 배로 늘어난다.

태오 그러면 세포 안에서 140 mM이던 K⁺가 $140 \div (2.4 \times 10^8) = 5.8 \times 10^{-7} \text{ mM}$ 이 돼요. 거의 없는 거나 마찬가지네요.

석 교수 효소와 그 재료도 똑같이 묶어진다. 효소 반응은 재료끼리 만나야 일어나는데, 2억 배 넘게 묶어지면 서로 만날 일이 거의 없어. 막은 생명에 필요한 분자들을 좁은 공간에 진하게 모아 두는 그릇이기도 하다.

정리하면, 막의 첫 번째 일은 **구획화**다. 구획화란 공간을 막으로 나누어 각 구획 안의 조건(농도, pH, 효소의 종류)을 따로 유지하는 것이다. 세포막은 세포 전체를 하나의 구획으로 만들고, **기본개념편 제2장** (27쪽)에서 볼 진핵세포는 그 안을 다시 여러 개의 막 주머니(소기관)로 나눈다.

1.2 세포는 왜 작은가 — 표면적과 부피의 비

태오 그런데 왜 세포는 다 그렇게 작아요? 세균은 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ (마이크로미터, 1 mm의 1/1000), 우리 몸 세포는 대개 $10\sim 30\ \mu\text{m}$ 라고 배웠어요. 큰 세포 하나로 사람을 만들면 안 되나요?

석 교수 그 질문에 답하는 열쇠가 **표면적과 부피의 비**, 줄여서 S/V 다. 세포가 쓰는 산소와 양분은 모두 겉면(막)을 통해 들어온다. 그런데 그것을 쓰는 곳은 세포 부피 전체다. 들어오는 문의 넓이를 S , 쓰는 공간의 크기를 V 라 하면, S/V 는 “부피 1만큼당 문의 얼마나 있나”를 뜻한다.

하린 구라면 겉넓이가 $4\pi r^2$, 부피가 $(4/3)\pi r^3$ 이니까…….

석 교수 나눠 보렴.

하린 $4\pi r^2 \div (4/3)\pi r^3 = 3/r$ 이네요! r 이 분모에 있네요.

$$\text{구의 표면적/부피 비: } S/V = 4\pi r^2 \div (4/3)\pi r^3 = 3/r$$

석 교수 맞다. 반지름이 커질수록 S/V 는 반지름에 반비례해서 줄어든다. 정육면체도 해 볼까? 한 변이 a 이면 겉넓이 $6a^2$, 부피 a^3 이다.

태오 $6a^2 \div a^3 = 6/a$ 요. 한 변이 $1\ \mu\text{m}$ 면 $6\ \mu\text{m}^{-1}$, $10\ \mu\text{m}$ 면 $0.6\ \mu\text{m}^{-1}$ 이네요. 모양이 달라도 크기가 10배면 비는 1/10이네요.

문제 1.1

반지름 $5\ \mu\text{m}$ 와 $50\ \mu\text{m}$ 인 두 구형 세포의 표면적/부피 비(S/V)를 구하고, 큰 세포의 S/V 가 작은 세포의 몇 배인지 비교하라. 각 세포의 겉넓이와 부피도 함께 쓰라.

태오 제가 할게요. 지름이 $10\ \mu\text{m}$ 니까 $3 \div 10 = 0.3\ \mu\text{m}^{-1}$ 이고…….

석 교수 잠깐, 식은 $3/r$ 이다. 반지름을 넣어야지.

태오 아, 반지름 $5\ \mu\text{m}$ 요. $3 \div 5 = 0.6\ \mu\text{m}^{-1}$ 이고, 큰 세포는 $3 \div 50 = 0.06\ \mu\text{m}^{-1}$ 이네요. 큰 세포가 1/10이네요.

하린 겉넓이와 부피도 해 볼게요. 작은 세포는 겉넓이 $4\pi \times 5^2 = 314\ \mu\text{m}^2$, 부피 $(4/3)\pi \times 5^3 = 524\ \mu\text{m}^3$ 이네요. $314 \div 524 = 0.60$ 이니까 맞아요. 큰 세포는 겉넓이 $4\pi \times 50^2 = 31\ 416\ \mu\text{m}^2$, 부피 $(4/3)\pi \times 50^3 = 523\ 599\ \mu\text{m}^3$ 이고요.

석 교수 잘했다. 계산까지 한 것이 좋다. 여기서 숫자를 하나 더 읽어 보자. 반지름이 10배가 되면 겉넓이는 몇 배, 부피는 몇 배지?

태오 겉넓이는 $31\ 416 \div 314 = 100$ 배, 부피는 $523\ 599 \div 524 = 1000$ 배요.

석 교수 그렇다. 문은 100배 늘었는데 먹을 입은 1000배 늘었다. 그래서 문 하나가 감당할 부피가 10배가 되는 거다. **정답: 작은 세포 $0.6 \mu\text{m}^{-1}$, 큰 세포 $0.06 \mu\text{m}^{-1}$, 큰 세포가 1/10.**

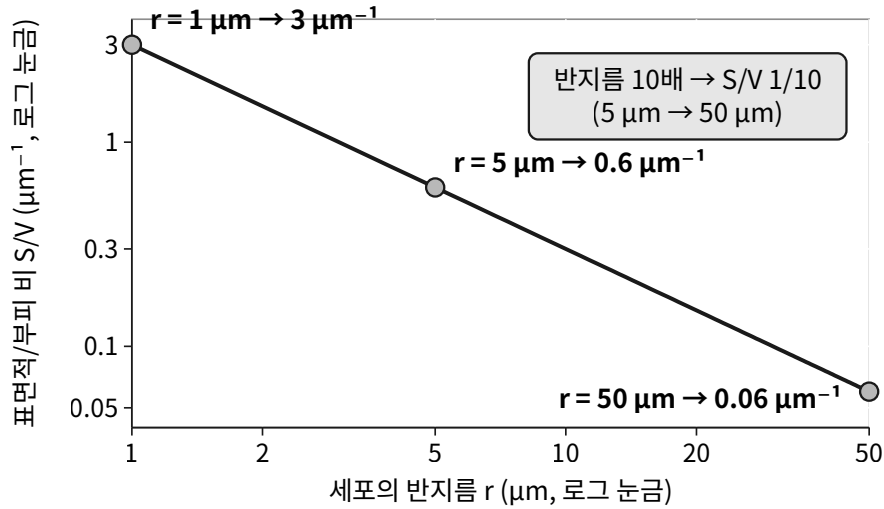


그림 5. 구형 세포의 반지름과 표면적/부피 비($S/V = 3/r$, 계산값). 두 축 모두 로그 눈금이어서 반비례 관계가 기울기 -1인 직선으로 보인다. 반지름 1~50 μm 의 값을 점으로 표시했다

석 교수 **그림 5**는 반지름 1 μm 부터 50 μm 까지 S/V 를 계산해 그린 그래프다. 가로축과 세로축이 모두 로그 눈금이라서, 반지름이 10배 갈 때마다 S/V 가 정확히 한 칸(1/10)씩 내려간다.

한천 덩어리로 해 보는 실험

석 교수 식은 이해했으니 실험으로 확인해 보자. 학교에서 자주 하는 한천 덩어리 실험이다. 붉은 지시약(페놀프탈레인)을 넣고 굳힌 한천을 한 번 1 cm, 2 cm, 3 cm 정육면체로 잘라 묶은 식초에 10분 담근다. 산이 스며든 부분은 색이 빠져 하얗게 된다.

하린 산이 들어가는 깊이는 덩어리 크기와 상관없이 같겠네요. 같은 시간 동안 담갔으니까요.

석 교수 그렇다. 10분 동안 겉에서 0.2 cm까지 스며들었다고 하자(가상의 값이다). 그러면 색이 그대로 남은 속은 한 번이 $a - 2 \times 0.2 \text{ cm}$ 인 작은 정육면체다. 산이 닿은 부피의 비율을 구해 보렴.

태오 1 cm 덩어리는 속이 한 번 0.6 cm라서 $0.6^3 = 0.216 \text{ cm}^3$ 가 남아요. 전체 1 cm^3 중 산이 닿은 비율은 $1 - 0.216 = 0.784$, 78 %예요.

하린 2 cm 덩어리는 속이 1.6 cm라서 $(1.6 \div 2)^3 = 0.512$ 가 남아요. 닿은 비율은 49 %예요.

태오 3 cm는 속이 2.6 cm, $(2.6 \div 3)^3 = 0.651$ 이 남으니까 35 %요. 덩어리가 클수록 속까지 닿는 비율이 78 % → 49 % → 35 %로 줄어요.

석 교수 이 실험에서 대조할 변인은 크기 하나다. 담근 시간, 용액 농도, 한천의 재료는 모두 같게 둔다. 그리고 S/V 를 같이 적어 보면 $6/a = 6, 3, 2 \text{ cm}^{-1}$ 이다. S/V 가 큰 덩어리일수록 같은 시간에 속까지 물질이 닿는 비율이 크다는 결론이 나온다. 세포가 작은 이유를 실험 자료로 보인 셈이야.

이모 김치 담글 때 배추를 잘게 썰면 금방 절여지는 것도 같은 이치네요.

석 교수 그렇습니다. 소금물이 닿는 겉면이 부피에 비해 넓어지니까요.

이모 그럼 큰 동물은 세포 수를 늘리는 거군요. 세포를 키우는 게 아니라.

석 교수 맞습니다. 코끼리 세포와 쥐 세포는 크기가 비슷합니다. 몸이 커지면 세포 수가 늘어나죠. 예외처럼 보이는 것도 있어요. 신경 세포는 1 m 가까이 길어지기도 하지만 굵기는 가늘어서, 단면에서 보면 반지름이 여전히 작아요. 알의 노른자처럼 큰 세포는 대부분이 저장 양분이라 활발히 일하는 부분은 얇습니다.

태오 그러면 세포가 클 때 S/V 를 늘리는 방법도 있겠네요. 겉면을 주름지게 한다든지.

석 교수 아주 좋은 생각이다. 소장 상피 세포의 미세 융털, 미토콘드리아 내막의 주름(크리스타)이 모두 같은 원리로 면적을 늘린다. 크리스타는 **기본개념편 제 6장** (66쪽)에서 다시 나온다.

1.3 막은 얼마나 얇은가 — 7~8 nm

석 교수 이번엔 경계의 두께다. 2020학년도 연세대 논술 제시문은 “세포막은 약 7~8 nm 두께의 매우 얇고 섬세한 구조”라고 썼다. nm(나노미터)는 1 m의 10억분의 1, 1 μm 의 1/1000이다.

하린 숫자가 너무 작아서 감이 안 와요.

석 교수 그럴 때는 확대해서 생각한다. 지름 20 μm 인 세포를 지름 20 cm짜리 공으로 키웠다고 하자. 막 두께는 7.5 nm로 잡자.

문제 1.2

막 두께가 7.5 nm이고 세포 지름이 20 μm 이다. 이 세포를 지름 20 cm로 확대하면 막 두께는 몇 mm가 되는가? 확대 배율과 함께 쓰고, 막 두께가 세포 지름의 몇 분의 1인지도 구하라.

태오 확대 배율은 $20\text{ cm} \div 20\text{ }\mu\text{m}$ 예요. 20 cm는 0.2 m, 20 μm 는 $2 \times 10^{-5}\text{ m}$ 니까 $0.2 \div (2 \times 10^{-5}) = 10\text{ 000}$ 배요.

석 교수 좋다. 그럼 막 두께는?

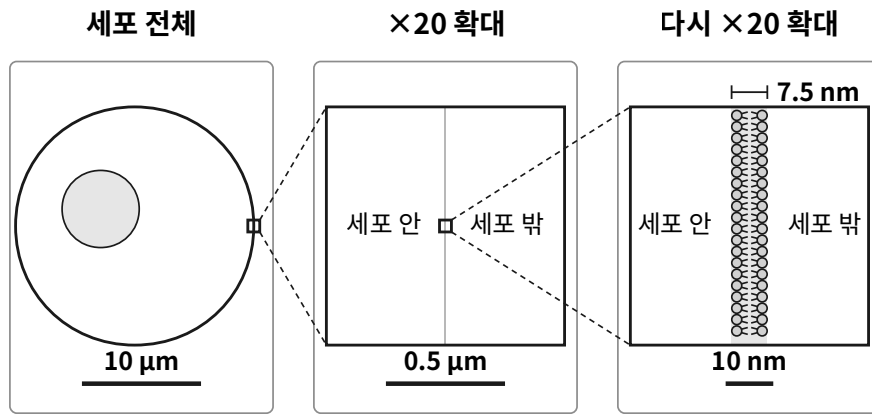
태오 $7.5\text{ nm} \times 10\text{ 000} = 75\text{ 000 nm}$ 예요. 1 mm가 10^6 nm 니까 $75\text{ 000} \div 10^6 = 0.075\text{ mm}$ 요.

하린 0.075 mm면 종이 한 장(약 0.1 mm)보다 얇아요! 지름 20 cm 공을 종이보다 얇은 껍질이 싸고 있는 거네요.

석 교수 그렇지. 비율로도 써 보자. $20\text{ }\mu\text{m} \div 7.5\text{ nm} = 20\text{ 000 nm} \div 7.5\text{ nm} = 2667$. 막 두께는 세포 지름의 약 1/2700이다. **정답: 확대 배율 10 000배, 막 두께 0.075 mm(0.0075 cm), 세포 지름의 약 1/2700.**

이모 그렇게 얇는데 안 터지는 게 신기하네요. 비눗방울은 금방 터지는데요.

석 교수 세포막은 양쪽이 모두 물이라 마르지 않고, 막을 이루는 분자들이 물을 피해 서로 모여 있으려는 성질 때문에 찢어져도 저절로 다시 붙어요. 그 성질이 **기본개념편 제 7장** (76쪽)의 주제입니다.



막 두께 : 세포 지름 = 7.5 nm : 20 μm = 1 : 2667

왼쪽 칸 축척이면 막의 굵기는 0.012 mm — 인쇄해도 보이지 않는다

그림 6. 세포막 두께를 축척대로 보는 세 단계 확대. 지름 20 μm 세포(왼쪽)의 막 한 부분을 20배씩 두 번 키우면(가운데, 오른쪽) 비로소 7.5 nm 두께의 인지질 이중층이 보인다. 각 칸 아래의 막대가 그 칸의 축척이다

석 교수 그림 6를 보렴. 왼쪽 세포 그림에서 막은 선 하나로밖에 그릴 수 없다. 축척대로라면 그 선조차 너무 굵어. 가운데 칸에서 20배, 오른쪽 칸에서 다시 20배, 모두 400배를 키우고 나서야 막이 두 겹 띠로 보인다.

태오 세포 지름이 400배면 8 mm, 그래야 막이 3 μm 두께로 보인다는 거네요. 0.0075 mm × 400 = 3 μm요. 아, 아니다. 7.5 nm × 400 = 3000 nm = 3 μm. 같은 답이에요.

석 교수 두 길로 같은 답이 나오면 계산을 믿어도 된다.

1.4 선택적 투과성 — 무엇을 지나가고 무엇을 막히는가

석 교수 이제 경계의 성격이다. 막은 아무것도 못 지나가는 벽도 아니고, 모든 것이 지나가는 체도 아니다. 실험으로 확인된 대략의 순서를 보자.

표 4. 막을 지나는 물질과 이 책에서 따라갈 세 질문(예고)

물질	막을 지나는 방식	기울기를 따르는가	단백질이 필요한가	에너지(ATP)를 쓰는가	자세히 배우는 장
O ₂ , CO ₂ (작고 무극성)	단순 확산	따른다	아니다	아니다	9장
물	삼투(일부는 단백질 통로)	따른다	일부	아니다	10·11장
포도당, 이온	촉진 확산	따른다	필요하다	아니다	11장
Na ⁺ , K ⁺ (거슬러)	능동 수송	거스른다	필요하다	쓴다	12장

하린 산소는 그냥 지나가는데 포도당은 단백질이 있어야 지나가요? 포도당이 더 몸에 필요한 거 아니에요?

석 교수 필요한지는 막이 모른다. 막이 따지는 건 분자의 크기와 전하(극성)다. 막의 가운데는 기름 같은 층이라서, 작고 기름에 잘 녹는 분자는 그냥 녹아 지나가고, 크거나 전하를 띤 분자는 막힌다. 그래서 세포는 그런 분자를 위해 단백질로 된 “문”을 따로 단다.

태오 표 4의 세 질문이 “기울기를 따르는가, 단백질이 필요한가, 에너지를 쓰는가”네요. 이 세 개로 수송 방식을 다 가릴 수 있어요?

석 교수 기본개념편의 9~12장이 그 세 질문에 하나씩 답하는 과정이다. 논술에서 수송 방식을 판별하라고 하면, 이 세 질문에 대한 답을 근거로 쓰면 된다.

비트 조각 실험 — 막이 망가지면 무엇이 새어 나오나

석 교수 막이 정말 고르고 있다는 증거를 부엌에서 볼 수 있다. 붉은 비트를 같은 크기로 썰어 물에 씻은 뒤, 20 °C, 40 °C, 60 °C, 80 °C 물에 10분씩 담가 두는 실험이다. 붉은 색소(베타레인)는 세포 안 액포에 들어 있고, 크고 극성이 큰 분자라서 멀쩡한 막은 지나가지 못한다.

이모 비트 삶으면 물이 새빨개지던데요.

석 교수 바로 그 장면입니다. 20 °C와 40 °C 물은 거의 맑고, 60 °C부터 붉어지기 시작해 80 °C 물은 진하게 물듭니다. 높은 온도에서 막의 지질 배열이 흐트러지고 막단백질이 변성되니, 막힌 문이 열려 버린 거예요.

태오 이 실험의 변인은 온도 하나고, 조각 크기·담근 시간·물의 양은 같게 뒤야겠네요. 결과는 “색이 새어 나오는 정도”로 재고요.

석 교수 그래. 결론은 “살아 있는 세포막은 색소 분자를 통과시키지 않는다, 막이 손상되면 통과시킨다”이다. 막이 단순한 겹질이 아니라 고르는 구조라는 증거다. 막의 지질이 온도에 따라 어떻게 달라지는지는 **기본개념편 제 8장** (86쪽)에서 녹는점으로 다시 본다.

이모 식물은 세포벽이 있잖아요. 세포벽도 이렇게 골라요?

석 교수 아닙니다. 세포벽은 섬유소(셀룰로스)로 된 그물이라 물과 작은 분자는 거의 다 통과해요. 모양을 잡아 주고 터지지 않게 버텨 주는 틀이지, 고르는 문이 아닙니다. 고르는 일은 그 안쪽의 세포막이 해요. 2020학년도 연세대 문제에서 “세포벽에 얼음이 먼저 생긴다”는 장면이 나오는데, 세포벽과 세포막을 구별하지 못하면 답이 꼬입니다.

하린 세포벽은 울타리, 세포막은 검문소네요.

석 교수 딱 맞는 비유다. 울타리는 모양을 지키고, 검문소는 누가 드나들지 정한다.

세포벽과 세포막을 섞어 쓰지 말 것

세포벽(식물·균류·세균)은 물과 작은 분자를 거의 다 통과시키는 단단한 틀이고, 선택적 투과성은 세포막의 성질이다. “세포벽이 물질 출입을 조절한다”는 문장은 틀린 문장이다.

핵심 세포막을 보는 네 단계

1. 막은 경계다. 경계가 있어야 안과 밖의 농도가 달라질 수 있다(K^+ 안 140 mM, 밖 5 mM, 28 배).
2. 세포가 작은 이유는 표면적/부피 비다. 구는 $S/V = 3/r$ 이라, 반지름이 10배면 S/V 는 1/10이다.
3. 막 두께는 7~8 nm로 세포 지름(20 μ m)의 약 1/2700이다. 계산할 때는 단위를 m나 nm 하나로 맞춘다.
4. 막은 선택적 투과성을 가진다. 수송 방식은 “기울기·단백질·에너지” 세 질문으로 가른다.

스스로 풀어 보기

1. 반지름 2 μm 인 구형 세균과 반지름 20 μm 인 구형 세포의 S/V를 구하고 비교하라.
2. 한 변이 10 μm 인 정육면체 세포를 같은 부피의 작은 정육면체 8개로 나누면 전체 겉넓이는 몇 배가 되는가?
3. 막 두께 8 nm, 세포 지름 16 μm 일 때 막 두께는 세포 지름의 몇 분의 1인가?
4. 세포벽과 세포막 중 선택적 투과성을 가진 것은 무엇인지 쓰고, 다른 하나의 역할을 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

세포막의 역할을 묻는 문장은 기출에서 제시문의 첫머리로 자주 나온다. 4부의 **기출문제 9**(서울대 2009) (272쪽)는 “세포는 세포막을 통해 필요한 물질을 받아들이고 노폐물을 내보낸다”는 이 장의 내용을 출발점으로 삼아 막의 구조와 수송을 묻는다. **기출문제 4**(연세대 2020) (230쪽)에서는 세포벽과 세포막을 구별해야 얼음이 생기는 위치와 물이 빠져나가는 막을 바르게 쓸 수 있고, **기출문제 2**(연세대 2020) (214쪽)의 제시문 [가]는 이 장에서 계산한 “7~8 nm 두께의 얇은 막”으로 시작한다.

이 장의 참고문헌

Alberts, B., Heald, R., Johnson, A., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2022). Molecular biology of the cell (7th ed.). W. W. Norton.

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

서울대학교 입학본부. (2009). 2009학년도 정시모집 논술고사 자연계열 문제지 [시험 자료].

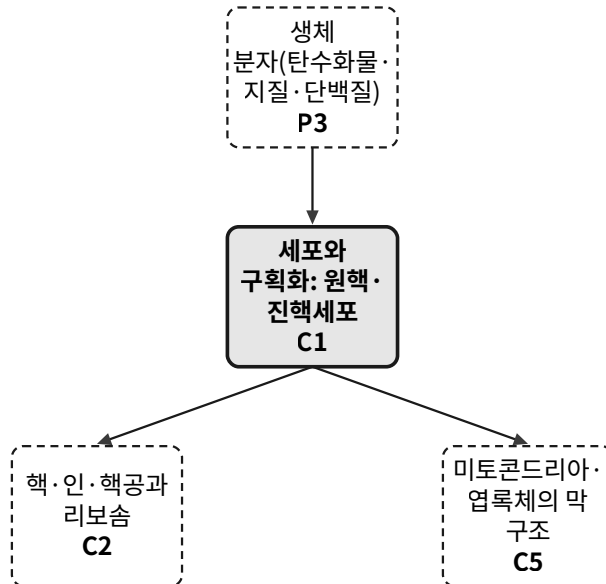
연세대학교 입학처. (2020). 2020학년도 수시모집 논술시험 자연계열 문제 및 문항카드 [시험 자료].

제 2장 세포 속 지도: 원핵세포·진핵세포와 소기관

새 개념 원핵세포 · 진핵세포 · 소기관의 분업 · 세포벽

이어짐 핵·리보솜 3장 · 골지체 4장 · 리소좀 5장 · 미토콘드리아 6장

이 장의 개념도



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

그림 7. 제 2장에서 배우는 개념(C1 세포와 구획화: 원핵·진핵세포)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.

도시 지도로 본 세포 — 막으로 나눈 구역마다 맡은 일

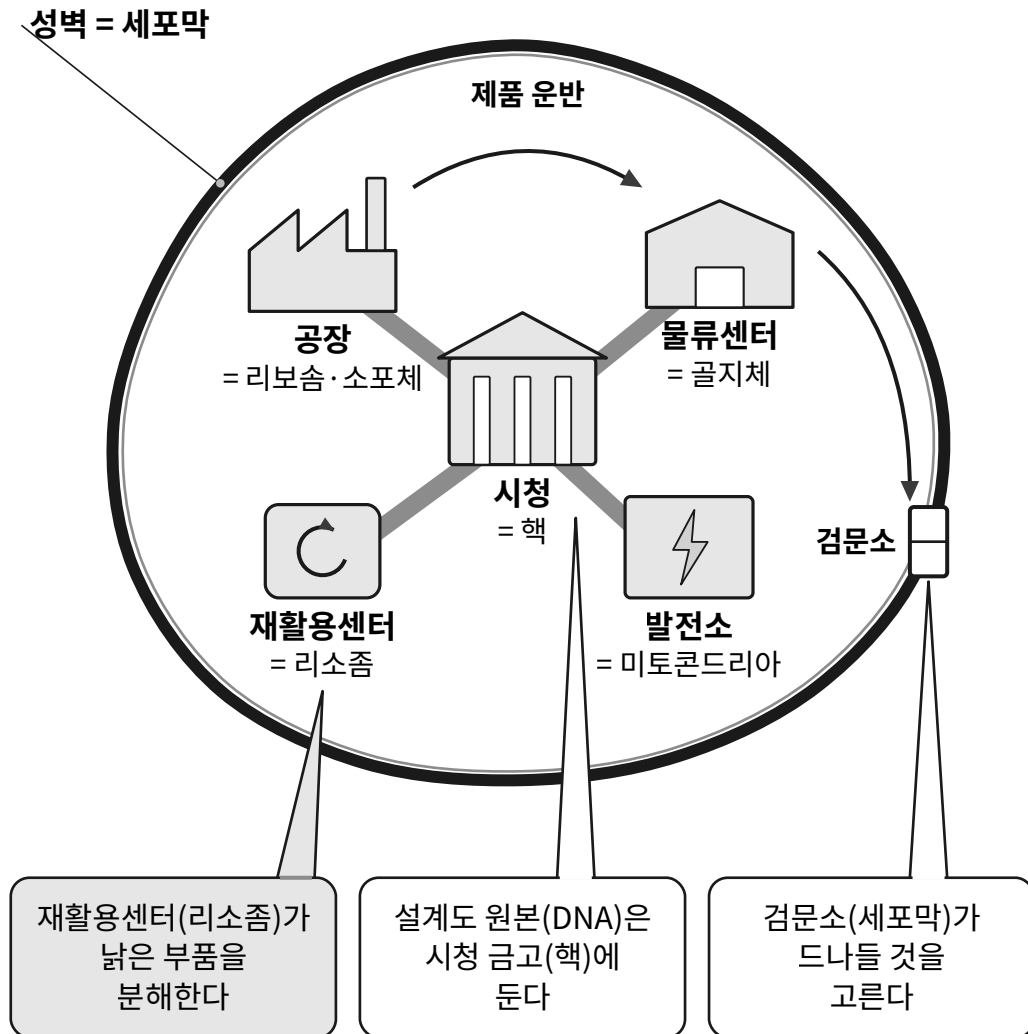


그림 8. 도시 지도로 본 세포 — 진핵세포의 소기관을 도시의 시설에 빗댄 모식도. 시청(핵), 공장(리보솜·소포체), 물류센터(골지체), 재활용센터(리소좀), 발전소(미토콘드리아), 성벽과 검문소(세포막)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 진핵세포는 막으로 안을 여러 구획으로 나눈다
2. 소기관마다 맡은 일이 달라서, 정보·생산·포장·분해·에너지가 따로 이루어진다
3. 성문(세포막)이 무엇이 드나들지 고른다

이 장의 출발점

- **기본개념편 제 1장** (17쪽)의 구획화: 막으로 공간을 나누면 그 안의 조건을 따로 유지할 수 있다.
- 단백질·핵산·지질 같은 생체 분자의 이름(중학교·고등학교 통합과학 수준).
- 구의 부피 $(4/3)\pi r^3$, 원기둥의 부피 $\pi r^2 h$.

둘째 토요일, 석 교수는 탁자에 커다란 종이 지도를 펼쳤다. 단양 읍내의 군청, 공장, 택배 물류센터, 재 활용센터, 발전소가 표시된 지도였다. 하린이 고개를 가웃했다.

하린 오늘은 생물 수업 아니에요? 왜 동네 지도를 펴셨어요?

석 교수 지난주에 막이 안과 밖을 가르다고 했지. 그런데 우리 몸 세포는 그 안을 다시 막으로 여러 방으로 나눈다. 그 방들이 각자 맡은 일을 하는 모습이 꼭 도시 같아서 지도를 가져왔다.

태오 소기관 이름은 외웠는데, 논술 문제에서 소기관을 “판별하라”고 하면 막혀요. 이름과 하는 일이 머릿속에서 따로 놀아요.

석 교수 그러니 오늘은 지도를 그리듯 배우자. 어디에 있고, 무엇을 받아서, 무엇을 내보내는지. 그러면 표나 그래프가 나와도 길을 찾을 수 있다.

이모 저는 원핵세포, 진핵세포라는 말부터 헷갈려요. 핵이 있고 없고의 차이 맞나요?

석 교수 맞습니다. 거기서 출발하죠.

2.1 원핵세포와 진핵세포 — 핵막이 있는가

석 교수 “핵(核)”은 씨앗이라는 뜻이고, “원(原)”은 처음, “진(眞)”은 참이라는 뜻이다. 원핵세포는 DNA를 감싸는 막(핵막)이 없는 세포, 진핵세포는 핵막으로 싸인 진짜 핵이 있는 세포다. 세균이 원핵세포이고, 동물·식물·균류(곰팡이·효모)·원생생물의 세포가 진핵세포다.

하린 핵막이 없으면 DNA는 어디에 있어요?

석 교수 세포질 한가운데 뭉쳐 있다. 그 자리를 핵양체라고 부른다. 막으로 싸인 방이 아니라 그냥 DNA가 모여 있는 구역이야. 원핵세포에는 미토콘드리아나 소포체 같은 막으로 된 소기관도 없다. 대신 리보솜은 원핵세포에도 있다.

태오 리보솜은 막이 없는 알갱이니까요. 단백질을 만드는 기계는 모든 세포에 있어야 하고요.

석 교수 정확하다. 다만 크기가 달라서, 원핵세포 리보솜은 70S, 진핵세포 세포질의 리보솜은 80S라고 부른다. S(스베드베리)는 원심 분리할 때 가라앉는 빠르기를 나타내는 단위인데, 지금은 “진핵세포 리보솜이 더 크다” 정도로 기억하면 된다.

표 5. 원핵세포·동물세포·식물세포 비교 — 고등학교 교과서 수준의 대표적 특징

특징	원핵세포(세균)	동물세포	식물세포
핵막	없다(핵양체)	있다	있다
리보솜	있다(70S)	있다(80S)	있다(80S)
막으로 된 소기관	없다	소포체·골지체·리소솜·미토콘드리아	소포체·골지체·미토콘드리아·엽록체·액포
세포벽	있다(펩티도글리칸)	없다	있다(셀룰로스)

특징	원핵세포(세균)	동물세포	식물세포
대표 크기	1~2 μm	10~30 μm	20~100 μm

이모 크기 차이가 엄청나네요. 1~2 μm 와 10~30 μm 면 열 배쯤이예요?

석 교수 길이로는 열 배쯤이지만 부피로 비교하면 훨씬 큼니다. 한번 계산해 보죠.

문제 2.1

지름 20 μm 인 구형 동물세포가 있다. 지름 1 μm , 길이 2 μm 인 원기둥 모양 세균의 부피를 구하고, 동물세포의 부피 안에 이 세균이 몇 개 들어가는지(부피만 비교) 구하라.

하린 동물세포는 반지름이 10 μm 니까 $(4/3)\pi \times 10^3 = 4189 \mu\text{m}^3$ 예요.

태오 세균은 원기둥이니까 $\pi \times r^2 \times h$ 인데, 반지름이 1 μm 니까 $\pi \times 1^2 \times 2 = 6.28 \mu\text{m}^3$

석 교수 지름이 1 μm 라고 했다. 반지름은?

태오 아, 0.5 μm 요. $\pi \times 0.5^2 \times 2 = \pi \times 0.25 \times 2 = 1.57 \mu\text{m}^3$ 예요. 반지름을 잘못 넣으면 네 배나 틀리네요.

하린 그럼 $4189 \div 1.57 = 2667$ 개예요.

석 교수 **정답: 세균 부피 $1.57 \mu\text{m}^3$, 동물세포 $4189 \mu\text{m}^3$, 약 2700개(2667개).** 동물세포 하나는 세균 2700마리쯤의 부피다. 이렇게 큰 공간을 한 덩어리로 운영하면 **기본개념편 제 1장** (17쪽)에서 본 문제, 곧 표면적/부피 비가 작아 물질이 구석까지 닿기 어려운 문제가 생긴다.

태오 그래서 안을 막으로 나눈 거군요. 막이 많아지면 그만큼 일하는 면적도 늘고요.

석 교수 그렇다. 진핵세포의 막을 모두 펼치면 세포막보다 훨씬 넓다. 간세포에서는 소포체 막만 해도 세포막 넓이의 수십 배에 이른다고 교과서에 나온다. 막은 경계이면서 동시에 효소가 들어서 일하는 작업대이기도 하다.

세포 크기는 어떻게 재나 — 마이크로미터 눈금 맞추기

하린 세포가 10~30 μm 라는 건 어떻게 재요? 자를 댈 수도 없잖아요.

석 교수 현미경 안에 눈금자를 넣는다. 접안렌즈에 들어 있는 눈금(접안 마이크로미터)은 칸의 실제 길이를 모르니까, 먼저 받침유리에 새겨진 진짜 눈금(대물 마이크로미터, 한 칸 10 μm)과 겹쳐서 맞춘다. 고배율(400배)에서 접안 눈금 25칸이 대물 눈금 10칸과 정확히 겹쳤다고 하자.

태오 대물 눈금 10칸은 $10 \times 10 = 100 \mu\text{m}$ 예요. 그게 접안 25칸이니까 접안 한 칸은 $100 \div 25 = 4 \mu\text{m}$ 요.

석 교수 이제 대물 마이크로미터를 빼고 입안 상피 세포를 올렸더니 지름이 접안 눈금 15칸이었다.

하린 $15 \times 4 = 60 \mu\text{m}$ 예요. 생각보다 크네요.

- 석 교수** 입안 상피 세포는 납작하게 퍼진 세포라서 동물세포 중에서는 큰 편이다. 여기서 주의할 점이 하나 있다. 배율을 바꾸면 접안 눈금 한 칸의 실제 길이도 바뀐다. 100배로 낮추면 같은 접안 한 칸이 4배 길어져 16 μm 가 되지. 그래서 배율을 바꿀 때마다 다시 맞춰야 한다.
- 태오** 접안 눈금은 렌즈에 붙어 있어서 상과 함께 커지지 않는 거고, 대물 눈금은 시료와 함께 커지는 거네요.
- 석 교수** 그 한 문장이 이 실험의 원리다. 시험에서 “배율을 높였더니 접안 눈금 몇 칸이 되었는가”를 물으면 그 원리로 푼다.

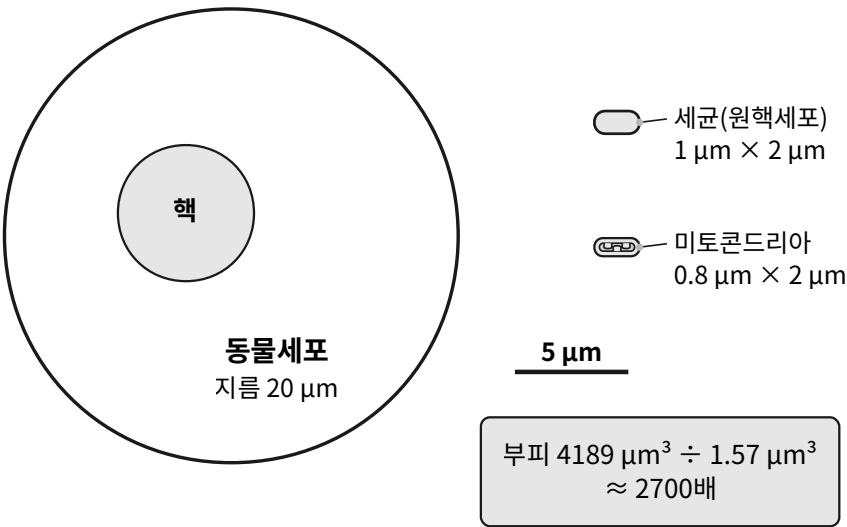


그림 9. 원핵세포와 진핵세포를 같은 축척으로 그린 크기 비교. 지름 20 μm 동물세포 옆에 지름 1 μm ·길이 2 μm 세균을 같은 비율로 놓았다. 부피 비는 $4189 \div 1.57 \approx 2700$ 이다(계산값)

- 석 교수** **그림 9**가 같은 축척으로 그린 그림이다. 세균이 점처럼 보이지? 그 옆에 미토콘드리아를 같은 축척으로 하나 그려 두었는데, 세균과 크기가 비슷하다. 이 닮음이 **기본개념편 제 6장** (66쪽)의 이야기로 이어진다.

2.2 소기관 지도 — 정보·생산·포장·분해·에너지

- 석 교수** 이제 진핵세포 안으로 들어가 보자. 이름을 늘어놓지 말고 일을 기준으로 다섯 묶음과 뼈대 하나로 나눈다.

표 6. 진핵세포 소기관의 일과 막 — 일의 묶음별로 정리

묶음	소기관	하는 일	둘러싼 막	자세히
정보	핵(인 포함)	DNA 보관, RNA 합성, 리보솜 소단위 조립	두 겹(핵막, 핵공이 뚫림)	3장
생산	리보솜, 거친면 소포체	단백질 합성과 접힘	리보솜은 막 없음, 소포체는 한 겹	3장
생산	매끈면 소포체	지질 합성, 해독, Ca^{2+} 저장	한 겹	3장
포장	골지체, 분비 소낭	단백질 가공·분류·포장, 세포 밖으로 내보냄	한 겹	4장
분해	리소좀	가수분해 효소로 분해·재활용	한 겹	5장

목록	소기관	하는 일	둘러싼 막	자세히
에너지	미토콘드리아	세포 호흡으로 ATP 생산	두 겹	6장
에너지	엽록체(식물)	광합성	두 겹(안에 틸라코이드 막)	6장
뼈대	세포골격	모양 유지, 소기관·소낭의 운반 길	막 없음	—

하린 두 겹 막이 세 개예요. 핵, 미토콘드리아, 엽록체.

석 교수 잘 봤다. 그 세 곳만 DNA를 가지고 있다는 것도 함께 기억해 두면 좋다. 미토콘드리아와 엽록체는 자기 DNA와 자기 리보솜이 있다.

태오 리보솜이 막이 없으면 소기관이라고 불러도 돼요?

석 교수 교과서에 따라 “막이 없는 세포 소기관”이라고 부른다. 판별 문제에서는 “막으로 둘러싸인 소기관이나”를 따로 묻는 경우가 있으니, 표의 넷째 칸을 같이 외워 뒀야 한다.

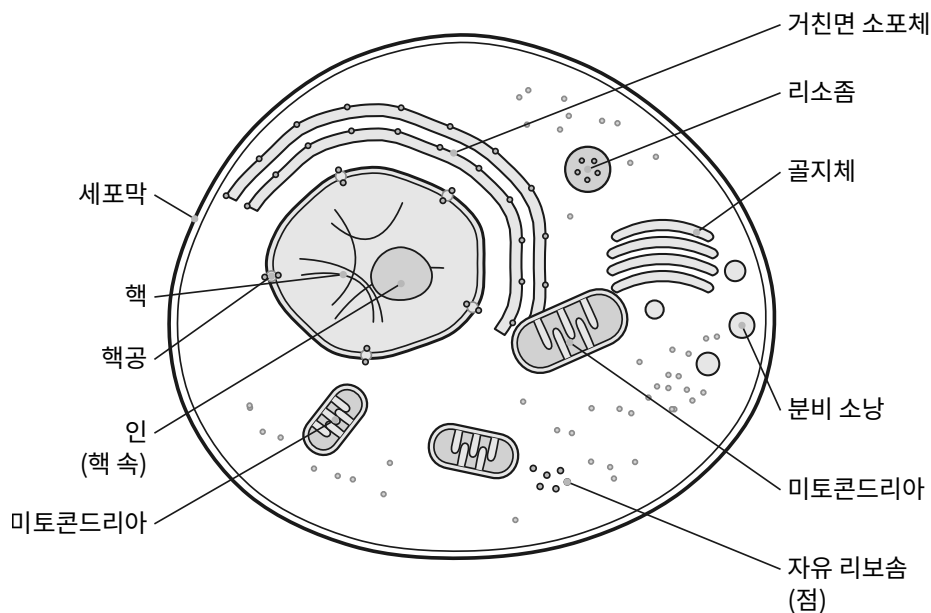


그림 10. 동물세포 단면의 소기관 지도(모식도). 핵(두 겹 막과 핵공), 핵을 둘러싼 거친면 소포체, 골지체, 분비 소낭, 리소좀, 미토콘드리아, 자유 리보솜을 세포막 안에 배치했다. 크기 비율은 실제와 다르다

석 교수 **그림 10**를 지도처럼 읽어 보자. 한가운데 핵이 있고, 핵막 바깥 막이 그대로 이어져 거친면 소포체가 된다. 소포체에서 나온 작은 주머니가 골지체로 가고, 골지체에서 분비 소낭이 떨어져 세포막 쪽으로 간다.

이모 정말 공장에서 물류센터로, 물류센터에서 트럭이 나가는 모양이네요.

석 교수 그 길이 **기본개념편 제 3장** (37쪽)과 **기본개념편 제 4장** (47쪽)에서 따라갈 분비 경로다. 시험에서 가장 자주 나오는 길이기도 해요. 경희대 2020학년도 의학계 문제는 방사성 아미노산이 이 길을 따라 이동하는 시간표를 주고 소기관을 맞추게 했고, 중앙대 2015학년도 모의논술도 같은 길에서 어디가 막혔는지를 물었어요.

태오 그런데 소낭은 어떻게 길을 찾아가요? 세포질 속을 그냥 떠다니면 엉뚱한 데로 갈 것 같은데요.

석 교수 도시에 도로가 있듯 세포에도 길이 있다. 세포골격이다. 단백질이 길게 이어진 섬유로, 굵은 것(미세 소관)은 소낭이 달리는 철길 노릇을 하고, 그 위를 운동 단백질이 ATP를 써서 소낭을 끌고 간다. 가는 섬유(미세 섬유)는 세포막 바로 아래에 그물처럼 깔려 모양을 잡는다.

이모 택배 트럭도 도로가 있어야 가는 거랑 같네요.

석 교수 그래서 지도에 도로를 빠뜨리면 안 됩니다. 다만 이 책의 기출에서는 세포골격이 직접 나오지 않으니, 소낭이 “세포막 쪽으로 이동한다”는 말 뒤에 이런 길이 있다는 정도만 알아두면 됩니다.

하린 리소좀은 어디서 나와요?

석 교수 골지체에서 떨어져 나온다. 소화 효소를 담은 주머니라서, 그 효소가 세포질로 새면 어떻게 되는지가 **기본개념편 제 5장** (57쪽)의 질문이다.

2.3 동물세포와 식물세포 — 세포벽·액포·엽록체

석 교수 이번엔 식물세포다. 동물세포와 다른 점이 세 가지 있다. 세포막 바깥의 세포벽, 세포 부피의 대부분을 차지하는 큰 액포, 그리고 엽록체다.

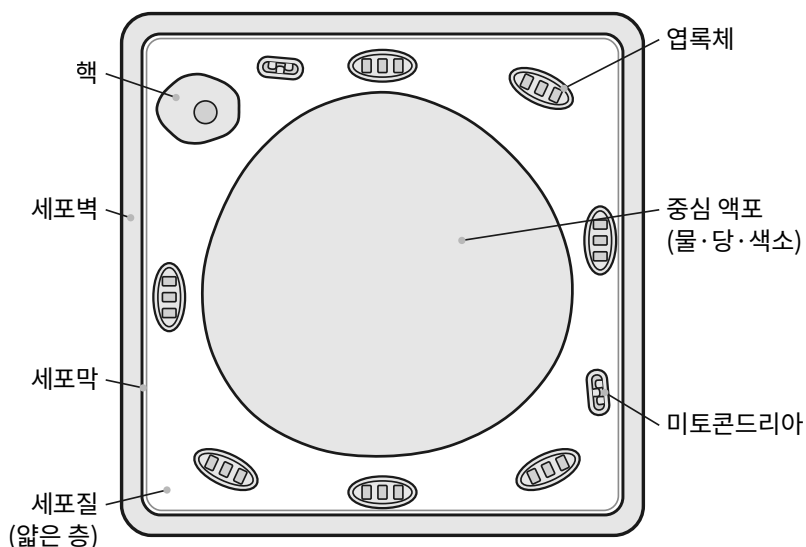


그림 11. 식물세포 단면(모식도). 세포막 바깥에 셀룰로스 세포벽이 있고, 중심 액포가 부피의 대부분을 차지해 세포질과 핵, 엽록체·미토콘드리아는 가장자리로 밀려 있다. 크기 비율은 실제와 다르다

태오 그림 11에서 세포질이 가장자리에 얇게 붙어 있네요. 액포가 가운데를 다 차지해서요.

석 교수 그래서 식물세포는 크기가 커도 세포질 층은 얇다. 큰 액포에 물을 채워 몸집을 키우면서, 실제로 일하는 세포질은 표면 가까이에 두는 거지. **기본개념편 제 1장** (17쪽)에서 말한 S/V 문제를 피하는 방법이다.

이모 액포에는 뭐가 들어있어요?

석 교수 물, 당, 무기 이온, 색소, 그리고 쓴맛 나는 방어 물질 같은 것들이 들어 있어요. 지난주 비트 실험의 붉은 색소도 액포에 있었습니니다. 액포에 물이 차서 세포벽을 안에서 밀어내는 압력을 팽압이라고 하는데, 시든 상추가 물에 담그면 살아나는 게 이 팽압 때문이에요. **기본개념편 제 10장** (107쪽)에서 계산해 봅시다.

하린 세포벽은 식물만 있어요?

석 교수 아니다. 세균에도, 균류에도 있다. 다만 재료가 다르다. 식물은 셀룰로스, 균류는 키틴, 세균은 펩티도글리칸이다. 세포벽이 있다고 식물이라고 단정하면 안 되는 이유다.

양파 표피와 입안 상피를 나란히 보기

석 교수 학교 실험실에서 가장 많이 하는 관찰이 양파 비늘잎 안쪽 표피와 입안 상피 세포를 나란히 보는 것이다. 둘 다 아세트산카민 같은 염색약으로 핵을 붉게 물들인다.

하린 양파 세포는 벽돌처럼 네모나게 줄 서 있고, 입안 세포는 둥글넓적하게 흩어져 있어요. 교과서 사진에서 봤어요.

석 교수 네모난 모양은 단단한 세포벽 때문이다. 그런데 양파 표피 세포에서 초록색 엽록체가 보이지니?

태오 아니요. 양파 비늘잎은 땅속에 있어서 흰색이잖아요. 식물세포인데 엽록체가 없어요.

석 교수 그렇다. 관찰 결과를 정리하면 “양파 표피: 세포벽 있음, 핵 있음, 엽록체 없음 / 입안 상피: 세포벽 없음, 핵 있음”이다. 식물세포라고 모두 엽록체가 있는 것은 아니라는 사실을, 바로 다음 문제에서 써먹게 된다.

문제 2.2

다음은 세포 X, Y, Z, W에 어떤 구조가 있는지(○) 없는지(×) 조사한 결과다. 각 세포가 원핵세포, 동물세포, 식물세포(잎 세포), 그 밖의 진핵세포 중 무엇인지 판별하고 근거를 쓰라.

표 7. 세포 X~W의 구조(가상의 조사 결과)

세포	핵막	세포벽	엽록체	미토콘드리아
X	×	○	×	×
Y	○	×	×	○
Z	○	○	○	○
W	○	○	×	○

태오 X는 핵막이 없으니까 원핵세포예요. 세포벽이 있는 건 세균이니까 당연하고요.

하린 Y는 핵막이 있고 세포벽이 없어요. 그럼 동물세포예요.

태오 Z는 핵막, 세포벽, 엽록체가 다 있으니 식물 잎 세포. 그런데 W가 이상해요. 세포벽이 있는데 엽록체가 없어요. 동물은 세포벽이 없으니 동물은 아니고…….

석 교수 세포벽이 있고 엽록체가 없는 진핵세포는 무엇이 있을까?

이모 버섯이나 효모요? 곰팡이는 광합성을 안 하잖아요.

석 교수 그렇다. 균류(효모·곰팡이)일 수 있다. 그리고 식물이라도 햇빛이 닿지 않는 뿌리 세포에는 엽록체가 없다. 그래서 W는 “균류 세포 또는 식물의 뿌리 세포처럼 엽록체가 없는 세포벽 있는 진핵세포”라고 써야 한다. **정답: X 원핵세포(핵막 없음), Y 동물세포(핵막 있음·세포벽 없음), Z 식물 잎 세포(핵막·세포벽·엽록체 있음), W 세포벽이 있으나 엽록체가 없는 진핵세포(균류 또는 식물 뿌리 세포).**

태오 “엽록체가 없으니 동물”이라고 쓰면 감점이겠네요. 판별은 하나의 특징으로 하지 말고, 핵막 → 세포벽 → 엽록체 순서로 걸러야 하겠어요.

석 교수 그 순서가 바로 판별형 문제를 푸는 틀이다. 핵막으로 원핵과 진핵을 먼저 나누고, 세포벽으로 동물을 빼고, 엽록체로 광합성하는 세포를 고른다.

2.4 소기관을 따로 모으는 법 — 세포 분획법 예고

이모 그런데 교수님, 그렇게 작은 소기관을 어떻게 따로 연구했어요? 현미경으로 보기만 해서 무슨 일을 하는지 모를 것 같은데요.

석 교수 좋은 질문입니다. 세포를 부드럽게 깨뜨린 뒤 원심 분리기로 돌려서 무거운 것부터 가라앉혀 모읍니다. 이걸 세포 분획법이라고 해요. 교과서의 대표 조건으로 보면, 중력의 1000배(1000 g)로 10분 돌리면 핵이 가라앉고, 그 위의 액체를 다시 20 000 g로 20분 돌리면 미토콘드리아(식물이면 엽록체도)가, 80 000 g로 60분 돌리면 소포체 조각이 둥글게 말린 작은 주머니가, 150 000 g로 3시간 돌리면 리보솜이 가라앉습니다.

태오 점점 세게, 오래 돌리면서 작은 것을 차례로 건져 내는 거네요.

석 교수 그렇다. 크고 무거운 것이 먼저, 작고 가벼운 것이 나중이다. 이렇게 모은 조각마다 어떤 효소가 있는지 재서 “미토콘드리아에는 호흡 효소가 있다”, “리소좀이라는 새 주머니가 있다”를 알아냈다. 리소좀은 실제로 이렇게 분획 실험을 하다가 발견됐다.

태오 분획마다 효소를 잴다는 게 어떤 자료로 나와요?

석 교수 보통 “전체 활성 가운데 몇 %가 어느 분획에 있었나”로 나온다. 예를 들어 산성에서 일하는 인산 분해 효소의 활성이 핵 분획 5 %, 미토콘드리아 분획 70 %, 소포체 조각 분획 15 %, 마지막 상층액 10 %로 나왔다면, 이 효소는 미토콘드리아와 함께 가라앉는 크기의 주머니에 들어 있다고 읽는다. 그런데 이 효소는 세포를 세게 갈면 상층액 쪽으로 옮겨 갔다. 주머니가 터져 효소가 새어 나온 것이다. 이렇게 “미토콘드리아와 비슷한 크기이면서, 막이 터지면 효소가 풀려나오는 주머니”라는 해석에서 리소좀이 발견됐다. 퍼센트는 설명을 위한 가상의 값이다.

하린 그럼 경희대 문제의 “세포를 파쇄하여 세포 소기관들을 분획한 다음”이 이 방법이에요?

석 교수 바로 그거다. 분획으로 소기관을 나누고, 각 분획에서 방사선이 얼마나 나오는지 시간마다 재면 단백질이 지나가는 길이 보인다. 그 실험을 **기본개념편 제 4장 (47쪽)**에서 직접 읽어 보자.

핵심 세포 판별과 소기관 지도의 네 단계

1. 핵막이 있으면 진핵세포, 없으면 원핵세포다. 리보솜은 둘 다 있다(원핵 70S, 진핵 80S).
2. 진핵세포의 소기관은 정보(핵)·생산(리보솜·소포체)·포장(골지체·소낭)·분해(리소좀)·에너지(미토콘드리아·엽록체)로 묶어 기억한다.
3. 두 겹 막: 핵·미토콘드리아·엽록체. 이 셋에만 DNA가 있다.
4. 판별은 핵막 → 세포벽 → 엽록체 순서로 거른다. 세포벽만으로 식물, 엽록체가 없다는 것만으로 동물이라고 단정하지 않는다.

스스로 풀어 보기

1. 지름 10 μm 인 구형 세포의 부피는 지름 1 μm ·길이 2 μm 원기둥 세균의 몇 배인가?
2. 핵막이 있고, 세포벽과 엽록체와 중심 액포가 있는 세포는 무엇인가? 근거를 한 문장으로 쓰라.

3. 원심 분리에서 핵이 미토콘드리아보다 먼저(낮은 g, 짧은 시간에) 가라앉는 이유를 쓰라.
4. 두 겹 막으로 둘러싸인 세포 구조 세 가지를 쓰고, 그 공통점을 하나 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 지도는 4부 문항에서 소기관을 “판별”할 때 그대로 쓰인다. **기출문제 7**(중앙대 2015) (254쪽)은 ^{32}P 와 ^{35}S 표지가 어느 소기관에서 검출되는지를 표로 주고 핵·소포체·골지체·소낭을 가려내게 하며, **기출문제 5**(경희대 2020) (238쪽)은 분획한 소기관에서 방사선이 나타나는 시간 순서로 거친면 소포체·골지체·분비 소낭을 맞게 한다. **기출문제 4**(연세대 2020) (230쪽)에서는 식물세포의 세포벽과 세포막을 구별하는 이 장의 내용이 답의 출발점이 된다.

이 장의 참고문헌

- Alberts, B., Heald, R., Johnson, A., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2022). Molecular biology of the cell (7th ed.). W. W. Norton.
- de Duve, C., Pressman, B. C., Gianetto, R., Wattiaux, R., & Appelmans, F. (1955). Tissue fractionation studies. 6. Intracellular distribution patterns of enzymes in rat-liver tissue. *Biochemical Journal*, 60(4), 604–617. <https://doi.org/10.1042/bj0600604>
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell biology* (12th ed.). Pearson.
- Woese, C. R., Kandler, O., & Wheelis, M. L. (1990). Towards a natural system of organisms: Proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 87(12), 4576–4579. <https://doi.org/10.1073/pnas.87.12.4576>

제 3장 핵·리보솜·소포체: 단백질을 만드는 길

새 개념 핵막과 핵공 · 인과 rRNA · 리보솜 · 거친면·매끈면 소포체

이어짐 골지체 4장 · 분비 경로 추적 4장 · 2부 C2·C3

이 장의 개념도

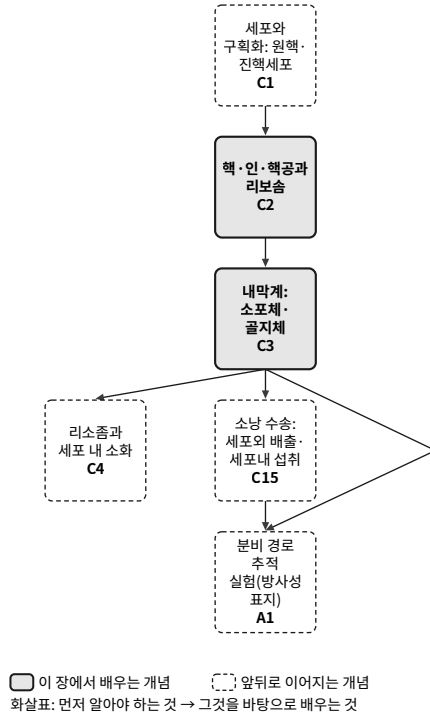


그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C2 핵·인·핵공과 리보솜, C3 내막계: 소포체·골지체)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 8. 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 5 (경희대 2020년) (238 쪽)	방사성 표지로 본 인슐린 분비 경로	(C2) 핵·인·핵공과 리보솜; (C3) 내막계: 소포체·골지체
기출 7 (중앙대 2015년) (254 쪽)	리소좀 효소와 분비 경로 판별	(C2) 핵·인·핵공과 리보솜; (C3) 내막계: 소포체·골지체

이 장의 출발점

- **기본개념편 제 2장** (27쪽)의 소기관 지도: 핵(정보) → 리보솜·소포체(생산) → 골지체(포장).
- DNA와 RNA는 뉴클레오타이드(당·인산·염기)로, 단백질은 아미노산으로 이루어진다.
- 유전 정보는 DNA → RNA → 단백질 순서로 전달된다(전사·번역의 이름만 알면 된다).

셋째 토요일, 이모가 돌집 과학방에 갓 구운 식빵을 들고 왔다. 동네 빵집 사장님이 할머니 때부터 내려온 레시피 노트를 금고에 넣어 두고, 주방에는 복사한 종이만 붙여 둔다는 이야기를 하며 빵을 잘랐다.

이모 사장님 말이 원본에 밀가루라도 묻으면 큰일이라서 절대 주방에 안 가져간대요.

- 석 교수** 오늘 수업 내용을 이모가 다 말씀하셨습니다. 세포도 원본 레시피인 DNA를 핵이라는 금고에 두고, 복사본인 mRNA만 밖으로 내보냅니다. 빵을 굽는 오븐이 리보솜이고요.
- 태오** 그 길이 중앙대 2015학년도 모의논술 제시문에 그대로 나와요. “인은 rRNA가 합성되는 장소이고, rRNA는 핵에서 단백질과 결합하여 리보솜으로 조립된 후 핵공을 통해 세포질로 빠져나간다.”
- 석 교수** 그 한 문장 안에 오늘 배울 것이 다 들어 있다. 핵막, 핵공, 인, rRNA, 리보솜. 하나씩 풀어보자.

빵집의 원본 레시피와 복사본 — 핵과 리보솜

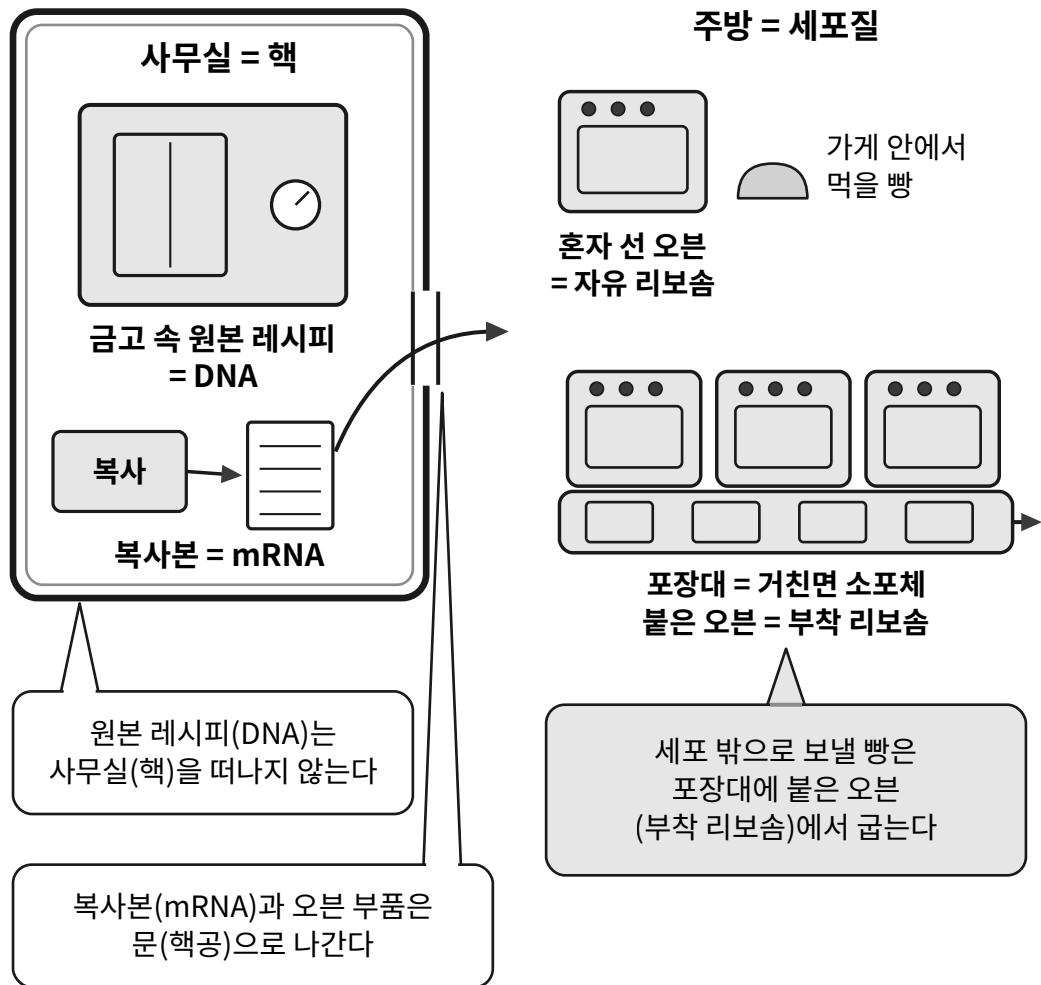


그림 13. 빵집의 원본 레시피와 복사본 — 핵과 리보솜. 금고 속 원본 레시피(DNA)는 그대로 두고 복사본(mRNA)만 주방으로 보내며, 내보낼 빵은 포장대에 붙은 오븐(부착 리보솜)에서 굽는다(모식도)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 원본 DNA는 핵을 떠나지 않는다
2. 복사본(mRNA)과 리보솜 부품은 핵공으로 나간다
3. 세포 밖으로 내보낼 단백질은 소포체에 붙은 리보솜이 만든다

3.1 핵 — 두 겹 막과 핵공

- 석 교수** 핵은 두 겹의 막, 곧 핵막으로 싸여 있다. 바깥 막은 **기본개념편 제 2장** (27쪽)에서 본 것처럼 거친면 소포체와 이어져 있다. 그리고 핵막에는 구멍이 수천 개 뚫려 있는데, 이것이 핵공이다.
- 하린** 금고에 구멍이 뚫려 있으면 금고가 아니잖아요.
- 석 교수** 아무나 드나드는 구멍이 아니다. 핵공은 단백질 여러 종류가 모여 만든 정교한 문이라서, 작은 분자는 그냥 지나가지만 큰 분자는 “통과증”이 있어야 지나간다. 나가는 것은 mRNA, tRNA, 리보솜 소단위이고, 들어오는 것은 핵 안에서 일할 단백질이다. DNA 원본은 너무 크고 통과증도 없으니 나가지 못한다.
- 태오** 들어오는 단백질도 있어요? 단백질은 세포질의 리보솜에서 만드는데, 핵 안에서 쓰는 단백질은 만들어진 다음 핵공으로 들어가야겠네요.
- 석 교수** 그렇다. DNA 복제 효소, RNA 합성 효소, 그리고 리보솜을 만들 리보솜 단백질도 세포질에서 만들어져 핵공으로 들어간다. 핵공은 양방향 문이다.

핵이 정말 레시피를 가졌나 — 우산말 접붙이기 실험

- 이모** 핵에 원본이 있다는 걸 어떻게 확인했어요? 눈으로 레시피를 읽을 수는 없잖아요.
- 석 교수** 1930년대 해멀링의 실험이 유명합니다. 바다에 사는 우산말(아세타볼라리아)은 길이가 수 cm나 되는 세포 하나짜리 녹조류예요. 아래 뿌리 부분에 핵이 하나 있고, 위로 줄기가 뻗고, 꼭대기에 우산 모양 갓이 생깁니다. 갓 모양이 종마다 달라서, 한 종은 매끈한 원반, 다른 종은 가장자리가 갈라진 모양이에요.
- 태오** 갓을 잘라 내면 다시 자라요?
- 석 교수** 자란다. 그래서 이렇게 했다. 매끈한 갓 종의 뿌리(핵 있음)에 갈라진 갓 종의 줄기(핵 없음)를 접붙이고 갓을 잘라 냈다. 처음 다시 난 갓은 두 모양이 섞인 중간형이었지만, 그 갓을 또 잘라 내자 다음 갓은 매끈한 모양, 곧 핵을 준 종의 모양으로 나왔다.
- 하린** 처음에 섞인 모양이 나온 건 왜예요?
- 석 교수** 줄기에 이미 나와 있던 “복사본”이 남아 있었기 때문이라고 해석한다. 복사본을 다 쓰고 나면 핵이 새로 보내는 복사본대로 갓이 만들어진다. 변인은 핵을 준 종 하나이고, 결론은 “형질을 결정하는 정보는 핵에서 나와 세포질로 전달된다”이다. 중앙대 제시문 (다)가 “핵은 유전형질을 결정한다”고 쓴 것이 바로 이 결론이다.

3.2 인 — 리보솜을 조립하는 곳

- 석 교수** 핵 안을 염색해서 보면 유난히 진하게 물드는 덩어리가 보인다. 이것이 인(핵소체)이다. 막으로 싸인 구조가 아니라 rRNA 유전자가 모여 있는 자리에 일감이 몰려 진하게 보이는 구역이다.
- 하린** rRNA는 리보솜 RNA죠? 리보솜이 RNA로 만들어져요?
- 석 교수** 리보솜은 rRNA와 단백질이 섞여 만든 알갱이다. 무게로 따지면 절반 이상이 rRNA다. 인에서 rRNA를 만들고, 세포질에서 들어온 리보솜 단백질과 결합시켜 큰 소단위와 작은 소단위를 조립한다. 두 소단위는 따로따로 핵공을 지나 세포질로 나가고, 거기서 mRNA를 만나면 하나로 합쳐 단백질을 만들기 시작한다.

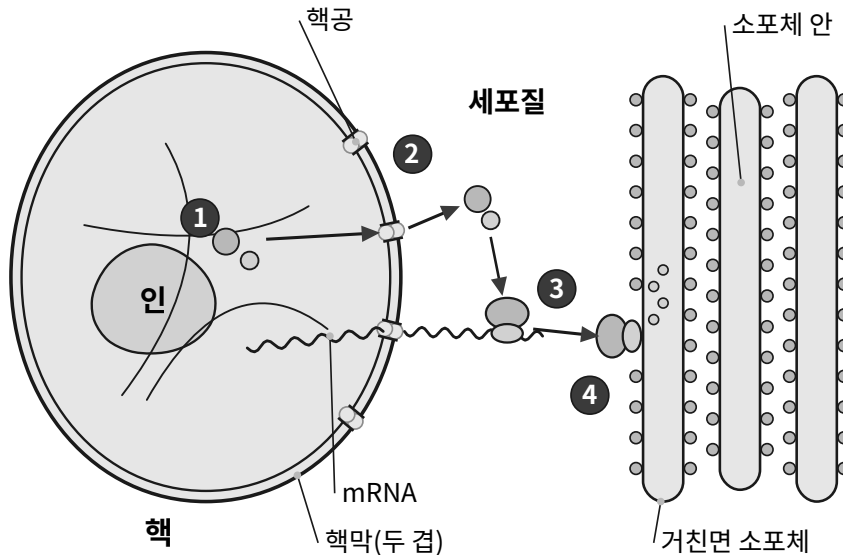


그림 14. 단백질을 만드는 길의 앞부분(모식도). ① 인에서 rRNA 합성과 리보솜 소단위 조립 ② 소단위와 mRNA가 핵공을 지나 세포질로 ③ 소단위가 mRNA에서 합쳐져 번역 시작 ④ 분비 단백질을 만드는 리보솜은 거친면 소포체에 붙어 단백질을 소포체 안으로 밀어 넣는다

태오 그림 14를 보니 화살표가 핵 안 → 핵공 → 세포질 → 소포체 순서예요. 이 순서대로 방사성 표지가 이동하겠네요.

석 교수 그 생각이 오늘 마지막 절의 문제로 이어진다. 그 전에 리보솜이 두 종류로 나뉘는 이야기부터 하자.

이모 교수님, 그러면 인이 크면 리보솜을 많이 만드는 세포겠네요?

석 교수 그렇습니다. 그런데 하나 짚어 둘 것이 있어요. 인은 리보솜을 “만드는” 곳이지 리보솜이 “일하는” 곳은 아닙니다. 완성된 리보솜이 단백질을 만드는 곳은 언제나 세포질이에요. 핵 안에서는 번역이 일어나지 않습니다. 시험에서 “인에서 단백질이 합성된다”고 쓰면 틀린 답이 되는 이유입니다. 단백질을 많이 만드는 세포, 예를 들어 소화 효소를 쏟아 내는 이자 세포나 빨리 자라는 세포는 인이 크고 뚜렷해요. 현미경 사진에서 인의 크기로 세포가 얼마나 바쁜지 짐작할 수 있습니다.

3.3 자유 리보솜과 부착 리보솜 — 단백질의 행선지가 갈린다

석 교수 세포질로 나온 리보솜은 두 무리로 나뉜다. 세포질에 떠서 일하는 자유 리보솜, 소포체 막에 붙어 일하는 부착 리보솜이다. 리보솜 자체는 똑같다. 차이는 무엇을 만들고 있느냐에 있다.

표 9. 자유 리보솜과 부착 리보솜 비교

구분	자유 리보솜	부착 리보솜
위치	세포질에 떠 있음	거친면 소포체 막의 세포질 쪽 면
만드는 단백질	세포질에서 쓰는 단백질(해당 과정 효소 등), 핵·미토콘드리아로 갈 단백질	세포 밖으로 분비할 단백질, 세포막 단백질, 리소솜 효소
완성된 단백질이 가는 곳	세포질(또는 핵·미토콘드리아)	소포체 안 → 골지체 → 분비 소낭·세포막·리소솜
예	해당 과정 효소, 액틴	인슐린, 소화 효소, 항체, 수용체

- 하린** 리보솜이 똑같은데 어떻게 자기가 어디에 붙을지知道吗?
- 석 교수** 리보솜이 아는 게 아니라 만들어지는 단백질이 알려 준다. 이 부분은 교과 밖 심화인데, 분비 단백질은 맨 앞쪽(아미노산 사슬의 시작 부분)에 소수성 아미노산이 줄지어 있는 짧은 꼬리표, 곧 신호 서열을 달고 나온다. 이 꼬리표가 나오는 순간 세포질의 안내 입자가 붙잡아 리보솜째 소포체 막으로 끌고 간다. 그러면 단백질은 만들어지는 대로 막의 통로를 지나 소포체 안으로 들어가고, 꼬리표는 잘려 나간다. 블로벨이 이 원리를 밝혀 1999년 노벨상을 받았다.
- 태오** 꼬리표가 잘려 나간다는 건 어떻게 알았어요?
- 석 교수** 실험이 깔끔하다. 시험관에 리보솜과 재료만 넣고 분비 단백질의 mRNA를 번역시키면, 세포에서 분비된 완성품보다 조금 긴 단백질이 나온다. 같은 시험관에 소포체 막 조각을 넣어 주면 완성품과 같은 길이의 단백질이 나오고, 그 단백질은 막 주머니 안에 들어가 있어서 바깥에 단백질 분해 효소를 넣어도 잘리지 않는다.
- 하린** 막이 없으면 꼬리표가 남아서 길고, 막이 있으면 꼬리표가 잘리고 주머니 안으로 숨는 거네요.
- 석 교수** 그렇다. 대조군은 “막 조각 없음”, 실험군은 “막 조각 있음”, 측정은 단백질의 길이와 분해 효소에 대한 보호 여부다. 결론은 “신호 서열은 번역 도중 소포체 막을 지나며 잘린다”이다.
- 태오** 그러면 인슐린 유전자를 읽은 리보솜은 꼭 소포체에 붙게 되겠네요. 처음엔 자유 리보솜이었다가요.
- 석 교수** 정확하다. 모든 번역은 세포질에서 시작하고, 꼬리표가 있는 단백질만 도중에 소포체로 옮겨 간다. **그림 15**가 그 갈림길이다.

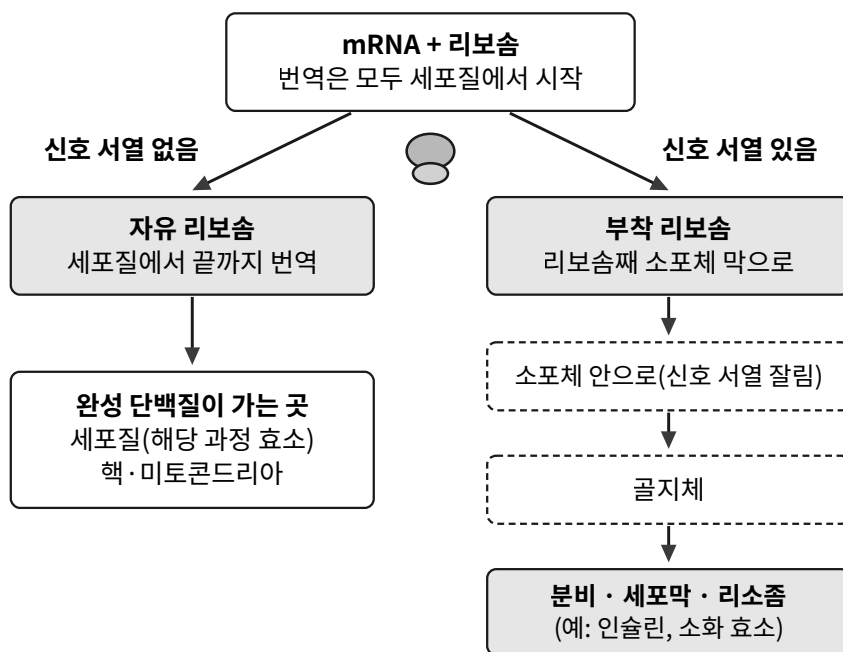


그림 15. 자유 리보솜과 부착 리보솜의 갈림길(모식도). 신호 서열이 없는 단백질은 세포질에서 완성되고(왼쪽 길), 신호 서열이 있는 단백질은 리보솜째 거친면 소포체 막으로 옮겨져 소포체 안으로 들어간 뒤 골지체로 간다(오른쪽 길)

숫자로 보는 인슐린의 변신

- 석 교수** 인슐린으로 숫자를 따라가 보자. 사람 인슐린 유전자를 번역하면 처음엔 아미노산 110개 짜리 사슬이 나온다. 이것을 프리프로인슐린이라고 한다. 앞의 24개가 신호 서열이다.
- 하린** 그럼 소포체 안에서 신호 서열을 자르면 $110 - 24 = 86$ 개가 남아요.
- 석 교수** 그것이 프로인슐린이다. 소포체 안에서 접히고, 황을 가진 시스테인끼리 다리(이황화 결합)를 놓아 모양이 고정된다. 그 뒤 골지체를 지나 분비 소낭에 들어가서 가운데 31개짜리 조각(C-펩타이드)과 그 양 끝의 아미노산 4개가 잘려 나간다.
- 태오** $86 - 31 - 4 = 51$ 개요. 교과서에서 인슐린이 A 사슬 21개, B 사슬 30개라고 했으니까 $21 + 30 = 51$ 개, 맞아요!
- 석 교수** 계산까지 잘했다. 이렇게 단백질은 “만들어진 곳”과 “완성되는 곳”이 다르다. 이 길을 따라가는 것이 **기본개념편 제 4장** (47쪽)의 추적 실험이다.

3.4 거친면 소포체와 매끈면 소포체

- 석 교수** 소포체는 납작한 주머니와 관이 그물처럼 이어진 한 겹 막 구조다. 겉에 리보솜이 오돌토돌 붙어 있으면 거친면, 없으면 매끈면이라고 부른다.
- 이모** 이름은 쉽네요. 하는 일은 달라요?
- 석 교수** 다릅니다. 거친면 소포체는 부착 리보솜이 밀어 넣은 단백질을 받아 접고, 당 사슬을 처음 붙이고, 잘못 접힌 것은 걸러 냅니다. 매끈면 소포체는 지질을 만들고, 간세포에서는 약물 같은 물질을 물에 잘 녹는 형태로 바꿔 내보내기 쉽게 하고, 근육 세포에서는 칼슘 이온(Ca^{2+})을 모아 두었다가 수축 신호가 오면 내놓습니다.
- 하린** 세포막의 인지질도 매끈면 소포체에서 만들어요?
- 석 교수** 그렇다. 막의 재료가 그곳에서 만들어져 소낭을 타고 다른 막으로 옮겨 간다. 막이 막을 낳는 셈이다. 그 막이 왜 두 겹으로 저절로 늘어서는지는 **기본개념편 제 7장** (76쪽)에서 본다.
- 태오** 그럼 인슐린을 많이 만드는 이자 β 세포는 거친면 소포체가 발달했고, 스테로이드 호르몬을 만드는 세포는 매끈면 소포체가 발달했겠네요.
- 석 교수** 맞다. 부신 겉질이나 정소처럼 스테로이드(지질 호르몬)를 만드는 세포는 매끈면 소포체가 넓게 퍼져 있다. 세포가 무엇을 만드느지를 보면 어떤 소기관이 발달했는지 예측할 수 있다. 이것도 판별 문제의 단서가 된다.
- 이모** 약을 오래 먹으면 내성이 생긴다는 말도 이것과 관계있어요?
- 석 교수** 관계가 있습니다. 쥐에게 수면제의 한 종류(페노바르비탈)를 며칠 계속 주고 간세포를 전자 현미경으로 보면, 매끈면 소포체가 눈에 띄게 늘어나 있어요. 그 막에 약을 바꾸는 효소도 함께 늘어서, 같은 양의 약이 더 빨리 분해되고 효과가 짧아집니다. 실험의 변인은 약물 투여 여부, 측정한 것은 매끈면 소포체의 양과 해독 효소의 활성, 결론은 “세포는 필요에 따라 소기관의 양을 늘린다”입니다.
- 태오** 소기관의 양이 고정된 게 아니네요. 일이 많으면 공장을 증축하는 것처럼요.

3.5 방사성 표지 고르기 — ^{32}P 는 핵산, ^{35}S 는 단백질

석 교수 이제 논술에 직접 나오는 도구다. 세포 안에서 분자가 어디로 가는지 보려면 그 분자에만 들어가는 원소를 방사성 동위 원소로 바꿔 넣는다. 그러면 그 분자가 있는 곳에서 방사선이 나온다.

표 10. 방사성 동위 원소와 표지되는 분자 — 무엇을 추적하고 싶을 때 무엇을 쓰나

동위 원소(넣는 형태)	들어가는 분자	들어가는 까닭	주의할 점
^{32}P (인산)	DNA·RNA(핵산)	뉴클레오타이드마다 인산기가 있다	인지질·ATP에도 들어간다
^{35}S (메싸이오닌·시스테인)	단백질	이 두 아미노산에 황이 있다	핵산에는 황이 없다
^3H -류신	단백질	류신은 단백질의 재료다	수소는 거의 모든 분자에 있으니 “류신”에 붙여 준다
^{14}C	거의 모든 유기물	탄소는 모든 생체 분자에 있다	특정 분자만 고르기 어렵다

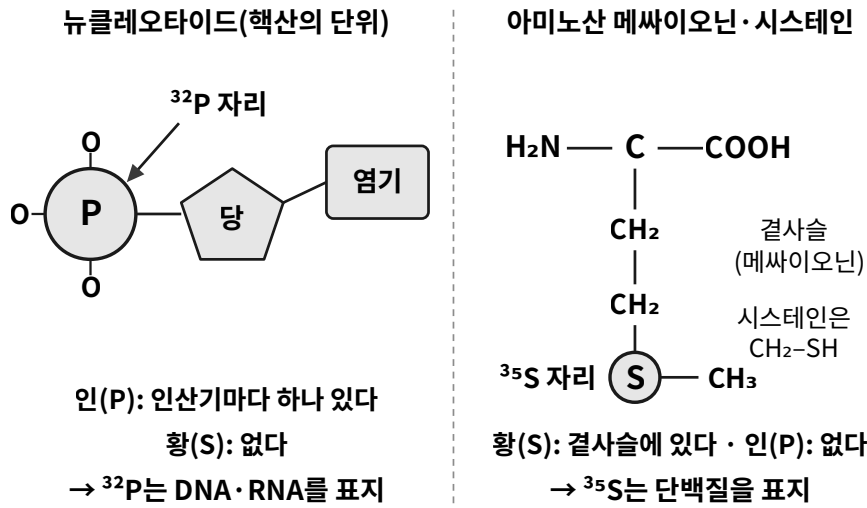


그림 16. 표지 원소가 들어가는 자리. 뉴클레오타이드에는 인산기(P)가 있고 황이 없으며, 메싸이오닌·시스테인에는 결사슬에 황(S)이 있고 인이 없다. 그래서 ^{32}P 는 핵산을, ^{35}S 는 단백질을 골라 표지한다(구조는 단순화한 모식도)

하린 그래서 핵산은 인(P), 단백질은 황(S)이군요. **그림 16**를 보니 확실히 구별돼요.

석 교수 이 짝은 허시와 체이스가 1952년에 바이러스의 유전 물질이 DNA임을 보일 때 쓴 것과 같은 짝이다. 이제 중앙대 문제와 같은 구조로 연습해 보자.

문제 3.1

정상 세포에 ^{32}P 로 표지한 핵산 재료와 ^{35}S 로 표지한 아미노산을 함께 일정 시간 공급하였다. 핵(인 포함)과 거친면 소포체에서 각각 어떤 표지가 많이 검출되었는가? 그 까닭을 쓰라. (기출 표처럼, 핵 안으로 들어가는 소량의 단백질은 무시한다.)

태오 핵에서는 rRNA와 mRNA를 만드니까 ^{32}P 가 나와요. 그리고 핵 안 단백질도 있으니까 ^{35}S 도…….

석 교수 문제에서 소량의 단백질은 무시하라고 했다. 시험 표는 “다량 검출”만 O로 적는다.

- 태오** 그러면 핵은 ^{32}P 만이에요. 거친면 소포체는 부착 리보솜이 있으니까 리보솜의 rRNA 때문에 ^{32}P 가 나오고, 리보솜이 새로 만든 단백질이 소포체 안에 들어가니까 ^{35}S 도 나와요.
- 하린** 거친면 소포체에서 ^{32}P 가 나오는 건 소포체 막 자체 때문이 아니라 붙어 있는 리보솜 때문이네요. 막의 인지질에도 인이 있긴 하지만요.
- 석 교수** 좋은 지적이다. 엄밀히는 인지질도 ^{32}P 를 받을 수 있지만, 문제에서 “ ^{32}P 로 표지한 핵산”이라고 했으니 핵산 기준으로 읽는다. **정답: 핵은 ^{32}P (새로 만든 rRNA·mRNA)가 다량, 거친면 소포체는 ^{32}P (부착 리보솜의 rRNA)와 ^{35}S (새로 만든 단백질)가 모두 다량 검출된다.**

문제 3.2

핵공을 통한 리보솜 소단위의 수송이 막힌 돌연변이 세포에 문제 3.1과 같은 표지를 주었다. 핵과 거친면 소포체에서 ^{32}P 와 ^{35}S 의 검출은 정상 세포와 어떻게 달라지겠는가?

- 하린** 리보솜이 핵에서 못 나오니까 ^{32}P 는 핵에 쌓여요. 핵에서는 그대로 다량이에요.
- 태오** 거친면 소포체에는 새 리보솜이 거의 못 오니까 ^{32}P 가 소량으로 줄어요. 리보솜이 모자라면 단백질도 덜 만드니까 ^{35}S 도 소량이에요.
- 석 교수** 왜 “없음”이 아니라 “소량”이지?
- 태오** 실험 전부터 이미 세포질에 나와 있던 리보솜이 있으니까요. 그 리보솜은 표지가 없지만 단백질은 계속 만들어서 ^{35}S 가 조금 들어가고, 일부 새 리보솜은 새어 나올 수도 있고요.
- 석 교수** 그렇게 써야 한다. **정답: ^{32}P 는 핵에 쌓여 다량 검출되고 거친면 소포체에서는 소량으로 줄며, 새 리보솜이 부족해 단백질 합성이 줄므로 거친면 소포체의 ^{35}S 도 소량으로 줄어든다.** 이 모양이 중앙대 2015학년도 모의논술 표의 “돌연변이 세포 I”이다.
- 이모** 반대로 리보솜은 잘 나오는데 인슐린의 꼬리표만 고장 난 세포라면요?
- 석 교수** 좋은 응용입니다. 하린이가 예측해 볼래?
- 하린** 꼬리표가 없으면 리보솜이 소포체에 안 붙으니까, 인슐린이 세포질에서 다 만들어져요. 그러면 ^{35}S 가 거친면 소포체 안이 아니라 세포질 분획에서 나와요. ^{32}P 는 리보솜이 정상 이니까 핵과 소포체 모두 정상이고요.
- 태오** 그리고 소포체로 못 들어갔으니 골지체, 분비 소낭으로도 못 가서 세포 밖으로 분비되지 않겠네요.
- 석 교수** 정확하다. 어느 문이 고장 났느냐에 따라 표지가 쌓이는 자리가 달라진다. “막힌 곳 앞에는 쌓이고, 뒤에서는 줄거나 사라진다.” 이 한 문장이 추적 실험 해석의 전부라고 해도 지나치지 않다.

핵심 단백질을 만드는 길 읽기 4단계

1. DNA 원본은 핵에 남고, mRNA와 리보솜 소단위가 핵공을 지나 세포질로 나간다. 리보솜은 인에서 rRNA와 단백질로 조립된다.
2. 번역은 모두 세포질에서 시작한다. 신호 서열이 있는 단백질만 리보솜째 거친면 소포체로 옮겨 가서 소포체 안으로 들어간다(분비·막·리소좀 단백질).
3. 거친면 소포체는 단백질을 접고 처음 가공하며, 매끈면 소포체는 지질 합성·해독·Ca²⁺ 저장을 맡는다.
4. 추적은 원소로 고른다. ³²P는 핵산(인산), ³⁵S는 단백질(메싸이오닌·시스테인). 어느 단계가 막히면 그 앞에는 쌓이고 뒤에서는 줄어든다.

스스로 풀어 보기

1. ³⁵S로 표지한 아미노산을 준 세포에서, 핵 안에는 거의 없고 거친면 소포체 안에 많이 검출되는 단백질은 어떤 종류의 단백질인가?
2. 프리프로인슐린(아미노산 110개)에서 신호 서열 24개가 잘리면 몇 개가 남는가? 거기서 C-펩타이드 31개와 아미노산 4개가 더 잘리면 몇 개인가?
3. 스테로이드 호르몬을 많이 만드는 세포에서 특히 발달한 소기관은 무엇인가?
4. 바이러스의 단백질 껍질만 표지하고 싶을 때 ³²P와 ³⁵S 중 무엇을 쓰는가? 이유를 한 문장으로 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 길은 4부에서 표를 읽는 열쇠가 된다. **기출문제 7**(중앙대 2015) (254쪽)의 문제 4-2는 ³²P와 ³⁵S가 소기관 A~D에서 검출되는지 O·△·X로 주고, 핵(³²P만)과 거친면 소포체(둘 다)를 가려낸 뒤 돌연변이 세포 I이 핵공을 통한 리보솜 이동에서 막혔음을 추론하게 한다. 이 장의 문제 3.1·3.2가 바로 그 앞부분이다. 답안에서는 “리보솜이 이동하지 못한다”로 끝내지 말고 “인에서 조립된 리보솜이 핵공을 통해 세포질로 나가지 못해 거친면 소포체의 부착 리보솜이 부족해진다”처럼 막힌 문의 이름과 그 결과를 함께 써야 한다. **기출문제 5**(경희대 2020) (238쪽)은 표지 아미노산이 거친면 소포체에서 시작해 골지체로 옮겨 가는 시간표를 주는데, 그 출발점이 이 장에서 본 부착 리보솜과 소포체다.

이 장의 참고문헌

Alberts, B., Heald, R., Johnson, A., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2022). Molecular biology of the cell (7th ed.). W. W. Norton.

Blobel, G., & Dobberstein, B. (1975). Transfer of proteins across membranes. I. Presence of proteolytically processed and unprocessed nascent immunoglobulin light chains on membrane-bound ribosomes of murine myeloma. The Journal of Cell Biology, 67(3), 835–851. <https://doi.org/10.1083/jcb.67.3.835>

Palade, G. (1975). Intracellular aspects of the process of protein synthesis. Science, 189(4200), 347–358. <https://doi.org/10.1126/science.1096303>

중앙대학교 입학처. (2015). 2015학년도 논술가이드북: 모의논술 자연계열 문제 및 예시 답안 [시험 자료].

제 4장 골지체와 분비 소낭: 포장하고 내보내기

새 개념 골지체 · 분비 소낭 · 세포외 배출 · 방사성 표지 추적

이어집 리소좀 5장 · 막의 융합 7장 · 2부 A1

이 장의 개념도

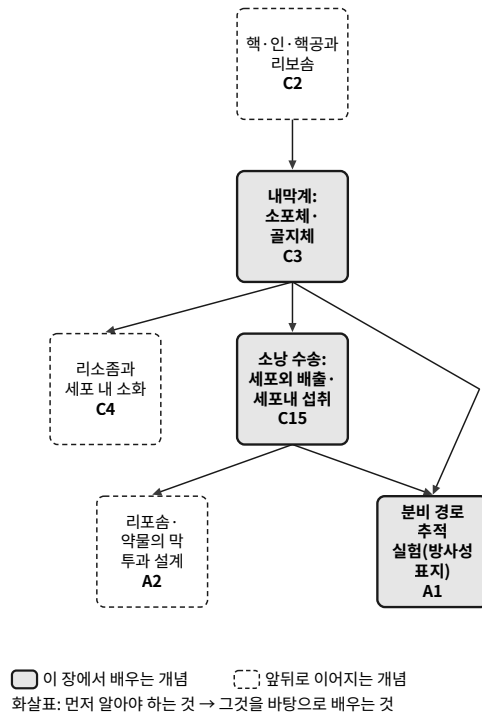


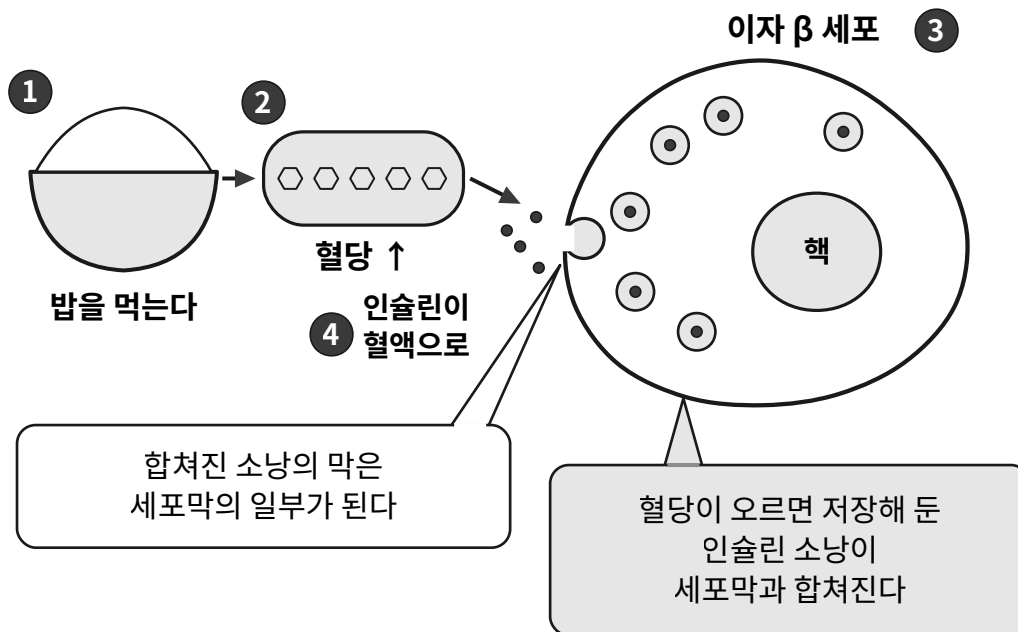
그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C3 내막계: 소포체·골지체, C15 소낭 수송: 세포외 배출·세포내 섭취, A1 분비 경로 추적 실험(방사성 표지))과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 11. 제 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 5 (경희대 2020년) (238쪽)	방사성 표지로 본 인슐린 분비 경로	C3 내막계: 소포체·골지체; C15 소낭 수송: 세포외 배출·세포내 섭취; A1 분비 경로 추적 실험(방사성 표지)
기출 7 (중앙대 2015년) (254쪽)	리소좀 효소와 분비 경로 판별	C3 내막계: 소포체·골지체; C15 소낭 수송: 세포외 배출·세포내 섭취; A1 분비 경로 추적 실험(방사성 표지)

택배 물류센터와 식사 후 인슐린 분비



세포 안의 물류센터 = 골지체

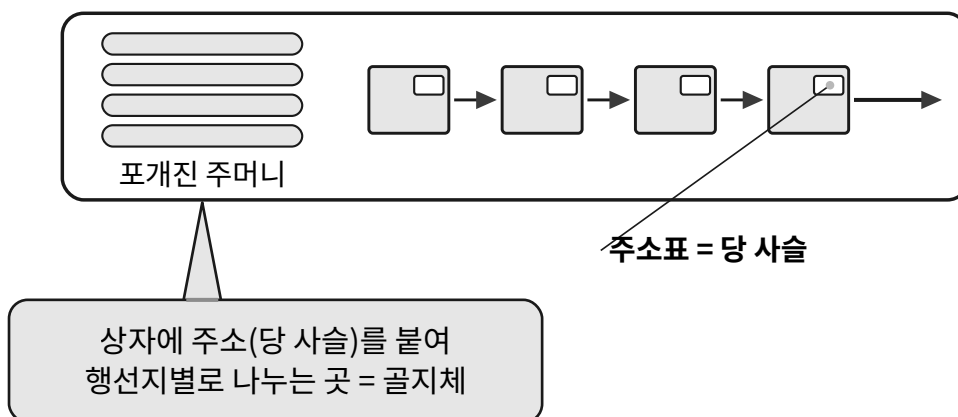


그림 18. 택배 물류센터와 식사 후 인슐린 분비 — 골지체는 상자에 주소(당 사슬)를 붙여 분류하고, 밥을 먹어 혈당이 오르면 이자 β 세포에 저장된 인슐린 분비 소낭이 세포막과 합쳐져 인슐린을 내보낸다(모식도, 번호는 일어나는 순서)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 골지체는 단백질에 당 사슬을 붙이고 행선지별로 나눠 담는다
2. 혈당이 오르면 저장해 둔 분비 소낭이 세포막과 합쳐진다
3. 합쳐진 소낭의 막은 세포막의 일부가 된다

이 장의 출발점

- **기본개념편 제 3장 (37쪽):** 분비 단백질은 부착 리보솜에서 만들어져 거친면 소포체 안으로 들어간다.
- ^{35}S · ^3H -류신 같은 표지 아미노산은 새로 만들어지는 단백질에 들어간다.
- 표에서 “최댓값이 나타나는 시점”을 읽고 비율(%)을 계산할 수 있으면 된다.

넷째 토요일, 돌집 과학방 앞에 택배 트럭이 섰다. 이모가 주문한 콩 자루였다. 상자에 붙은 송장을 보던 태오가 물류센터 이름을 읽었다.

태오 이 상자, 대전 물류센터를 거쳐서 왔네요. 송장에 지나온 곳이 시간 순서대로 찍혀 있어요.

석 교수 그 송장이 오늘 수업이다. 세포에서도 단백질이 어디를 언제 지나갔는지 기록할 수 있다. 방사성 표지를 붙이고 시간마다 각 소기관에서 표지가 얼마나 나오는지 재면 된다. 2020 학년도 경희대 의학계 논술이 바로 그 송장을 주고 길을 맞게 했다.

하린 송장은 글자로 적혀 있지만, 세포는 숫자 표잖아요. 표만 보고 어떻게 길을 알아요?

석 교수 규칙 하나면 된다. “표지가 가장 많이 나타나는 때가 그 소기관을 지나는 때다.” 오늘은 그 규칙을 연습하고, 그 전에 길의 후반부인 골지체와 분비 소낭을 먼저 보자.

이모 지난주에 배운 길이 핵 → 리보솜 → 거친면 소포체까지였죠? 오늘은 그다음부터네요.

석 교수 그렇습니다. 지난주 길의 끝인 소포체 안에서 출발해서, 골지체를 거쳐 세포 밖으로 나가는 데까지 갑니다. 두 주를 이으면 분비 단백질이 태어나서 세포를 떠날 때까지의 전체 여정이 됩니다.

4.1 골지체 — 받는 면과 내보내는 면

석 교수 골지체는 납작한 막 주머니가 여러 장 포개진 구조다. 한 겹 막이고, 앞과 뒤가 있다. 소포체에서 온 소낭이 도착하는 쪽을 받는 면(시스면), 다 가공된 단백질이 소낭에 담겨 떠나는 쪽을 내보내는 면(트랜스면)이라고 한다.

하린 주머니가 여러 장인 이유가 있어요?

석 교수 주머니마다 효소가 다르기 때문이다. 단백질은 받는 면에서 내보내는 면으로 가면서 차례로 당을 더 붙이거나 다듬는다. 공장의 조립 라인처럼 순서가 정해져 있는 거지. 그렇게 붙은 당 사슬이 일종의 주소 노릇을 해서, 내보내는 면에서 “세포 밖으로 갈 것”, “세포막에 박힐 것”, “리소좀으로 갈 것”을 나눠 담는다.

이모 택배 물류센터에서 지역별로 상자를 나누는 거랑 똑같네요.

석 교수 그렇습니다. 리소좀으로 갈 효소에는 특별한 당 표지(인산이 붙은 만노스)가 붙는데, 이건 교과 밖 심화예요. 표지를 붙이는 효소가 고장 나면 리소좀 효소가 엉뚱하게 세포 밖으로 나가 버리는 유전병도 있습니다. 주소가 틀리면 배송이 틀리는 거죠.

하린 골지체가 정말 소포체 다음 정거장인지는 어떻게 알아요?

석 교수 길을 일부러 끊어 보는 실험이 있다. 곰팡이에서 얻은 브레펠딘 A라는 물질을 세포에 주면 소포체에서 골지체로 가는 수송 소낭이 만들어지지 않는다. 그러면 분비 단백질이 소포체에 쌓이고 세포 밖으로 나가지 못한다. 약을 씻어 내면 쌓였던 단백질이 다시 골지체를 거쳐 분비된다.

태오 끊었더니 멈추고, 이었더니 다시 흐르니까 골지체를 거치는 게 확실하네요.

석 교수 그것이 실험 논리의 기본형이다. 없애 보고(억제), 되돌려 보는(회복) 것. 기출의 돌연변이 세포도 같은 논리로 읽는다.

태오 그럼 단백질 순서는 거친면 소포체 → 소낭 → 골지체 받는 면 → 내보내는 면 → 분비 소낭 → 세포막이네요.

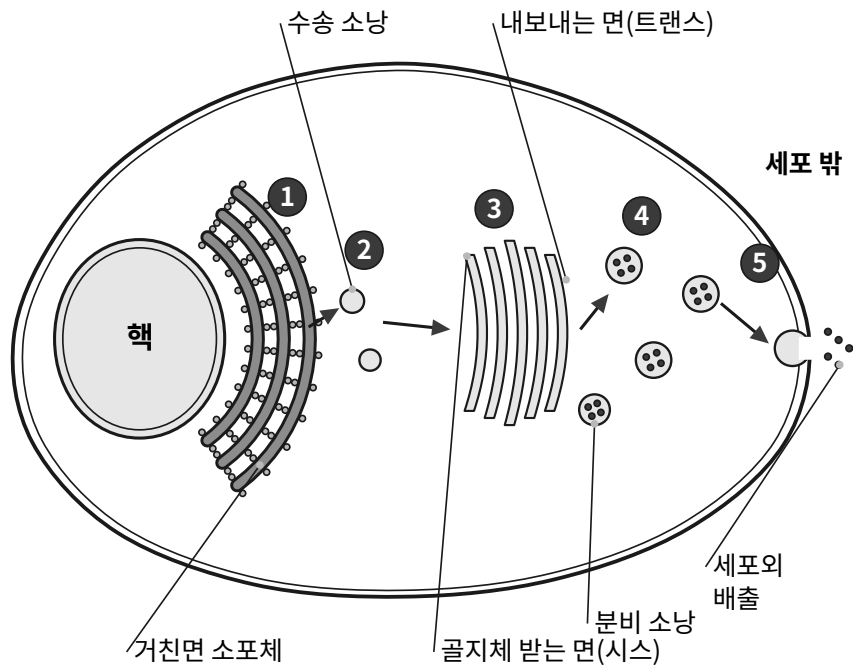


그림 19. 분비 경로 모식도. ① 거친면 소포체에서 만든 단백질이 수송 소낭에 담겨 ② 골지체 받는 면(시스면)으로 가고 ③ 주머니를 차례로 지나며 당 사슬이 붙은 뒤 ④ 내보내는 면(트랜스면)에서 분비 소낭으로 떨어져 나와 ⑤ 세포막과 합쳐져 내용물을 내보낸다

석 교수 그렇다. **그림 19**의 번호가 그 순서다. 경희대 제시문 [다]는 이것을 “인슐린은 β 세포의 거친면 소포체와 결합된 리보솜에서 합성되어 거친면 소포체, 골지체를 거쳐 분비 소낭에 저장된다”고 썼다.

4.2 분비 소낭과 세포외 배출 — 막이 막과 합쳐진다

석 교수 분비 소낭이 세포막에 닿으면 두 막이 합쳐진다. 소낭 막이 세포막의 일부가 되고, 소낭 안에 있던 내용물은 세포 밖으로 쏟아진다. 이것이 세포외 배출이다.

세포막·물질 수송 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

세포막 = 인지질의 벽 + 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐르거나 ATP로 거슬러 오른다

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 10문항(2008~2022학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

4부 실전기출문제와 풀이과정

대학 원문 그대로 + 모범답안(공식 해설 기반 8문항) · 변형 문항

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 세포막인가
2. 세포 속 지도: 원핵세포·진핵세포와 소기관
3. 핵·리보솜·소포체: 단백질을 만드는 길
4. 골지체와 분비 소낭: 포장하고 내보내기
5. 리소좀과 세포내 섭취: 분해하고 재활용하기
6. 미토콘드리아와 엽록체: 두 겹 막의 에너지 소기관
7. 인지질 이중층: 막은 저절로 만들어진다

8. 흐르는 모자이크: 막의 유동성과 막단백질
9. 확산: 농도 기울기를 따라 퍼진다
10. 삼투: 물은 어디로 움직이는가
11. 촉진 확산: 통로 단백질과 운반체 단백질
12. 능동 수송과 공동 수송: 기울기를 거슬러
13. 막전위와 이온 통로: 막에 걸린 전압
14. 화학 삼투와 몸·식물·기술 속의 막, 그리고 2부로

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

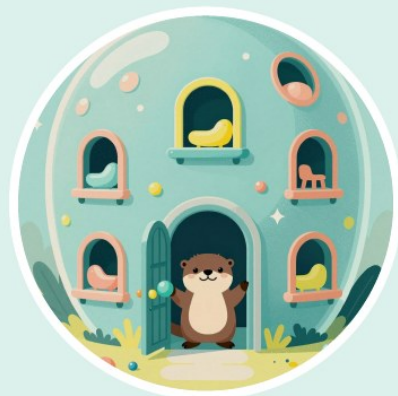
논술 마스터 시리즈 · 생물 12권 (01-12)



논술 매니아 시리즈 · 화학 13권 (13-25)



함께 보면 좋은 권: 세포 호흡(화학 삼투) · 뉴런(막전위) · 효소 · 호르몬(인슐린)



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 979-11-23065-06-9

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질 수송 — 전체 308쪽

ssbook.kr/book/nonsul-07

판매가 **14,400원** (POD 정가 24,000원)

- 전 페이지 컬러 PDF · 개인 영구 소장
- 카드 결제 즉시 내 서재에서 내려받기
- 공개 배포·재판매 금지

발간 도서 목록

다음 쪽부터 과학과영성출판사가 발간한 책 전체 목록(표지·가격·특징)을 안내합니다.

총 69종 · 판매가는 POD 정가의 60% · 컬러 PDF · 개인 영구 소장

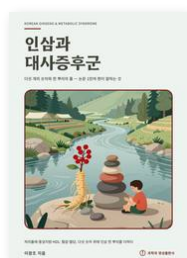
인삼 (6)



만병통치 인삼의 신경내분비시스템
하나의 인삼뿌리는 어떻게 온몸의 스위치를 건드리는가
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-neuroendo



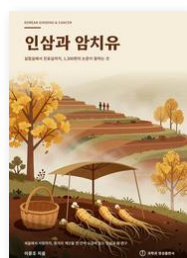
인삼과 당뇨
공복혈당·당화혈색소·합병증을 개선하는 인삼
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-diabetes



인삼과 대사증후군
허리둘레·중성지방·HDL·혈압·혈당을 개선하는 인삼치유의 과학적 원리
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-metabolic



인삼과 아토피
금산 아토피 마을에서 어린이 임상시험 설계까지
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/ginseng-atopy



인삼과 암치유
실험실에서 진료실까지, 1,300편의 논문이 말하는 것
18,500원 → **11,100원**
ssbook.kr/book/ginseng-cancer



인삼의 임상연구
최신연구와 방법론
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/ginseng-clinical

오토파지 (2)



스스로를 먹는 몸
오토파지, 자가포식, 세포가 자기를 고쳐 쓰는 법
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/eating-self



오토파지와 암
세포는 스스로를 먹는다
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/autophagy-cancer

식물성 저탄고지 (11)



뇌신경 4+2축과 성격유형 그리고 식물성 저탄고지
도파민 · 세로토닌 · 노르에피네프린 · 아세틸콜린 + 글루타메이트 · 가바
20,000원 → **12,000원**
ssbook.kr/book/brain-axes



당뇨를 개선하는 식물성 저탄고지
혈당·당화혈색소·체중을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-diabetes



고혈압을 개선하는 식물성 저탄고지
혈압·체중·혈관 건강을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-hypertension



비만을 개선하는 식물성 저탄고지
체중·허리둘레·체지방을 함께 관리하는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-obesity



뇌전증을 개선하는 식물성 저탄고지
뇌전증 환자와 보호자를 위한 논문 근거 기반 식물성 저탄고지 식단
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-epilepsy



우울증을 개선하는 식물성 저탄고지
소화관과 장·뇌 축, 에너지 대사를 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-depression



자폐를 개선하는 식물성 저탄고지
일곱 갈래 기전이 한 점에서 만난다
23,000원 → **13,800원**
ssbook.kr/book/pkd-autism



아토피를 개선하는 식물성 저탄고지
피부 장벽과 면역, 장 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
19,000원 → **11,400원**
ssbook.kr/book/pkd-atopy



치매를 개선하는 식물성 저탄고지
뇌 에너지 대사와 인슐린 신호, 혈관 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/pkd-dementia



암을 개선하는 식물성 저탄고지
치료 중 체중 유지와 근육 보존, 영양 상태를 함께 살피는 식물성 케톤식 가이드
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-cancer



관절염을 개선하는 식물성 저탄고지
염증 신호와 체중 부하, 대사 건강을 살피는 식물성 케톤식의 원리와 실천
17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/pkd-arthritis

단식 (1)



40일간 굶는 몸의 시간표
카힐의 40일 연구, 혈당과 케톤과 자가포식을 중심으로
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/fasting-40days

생물리학 (4)



발끝의 강

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

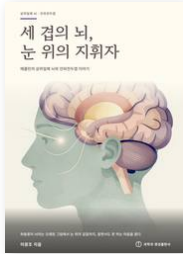
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



보이지 않는 99%, 부항 자국 아래에서 벌어지는 일

부항과 미세혈관에 대한 열다섯 번의 강의

17,000원 → **10,200원**
ssbook.kr/book/cupping99



세 겹의 뇌, 눈 위의 지휘자

매클린의 삼위일체 뇌와 안와전두엽 이야기

18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/triune-brain



광유전

빛으로 세포를 제어하는 기술 — 원리·실험·회로·치료

42,000원 → **25,200원**
ssbook.kr/book/optogenetics

독립영양인간 (2)



이암블리코스의 피타고라스적 삶에 관하여

그리스어 원전 완역 · 테일러 판 전면 수록

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



홍산문화의 수행상에서 한국 선도까지

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

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

중고등학교 교재 (30)



대입 과학논술 01 — 유전 암호·전사·번역

대학 기출로 완성하는 분자생물학의 중심원리

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-01



대입 과학논술 03 — 멘델 유전·감수분열·가계도

분리·독립 × 감수 분열 × 확률의 곱 — 기출 22문항으로 읽는 유전

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-03



대입 과학논술 05 — 재조합 DNA·생명공학

제한 효소의 인식·절단 × 조각 길이로 위치 추론 × 재조합·판별 실험 설계

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-05



대입 과학논술 07 — 세포막·소기관·물질수송

인지질의 벽과 단백질의 문 — 물질은 기울기를 따라 흐른다

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-07



대입 과학논술 08 — 호르몬·항상성·배설

감지하고, 신호를 보내고, 되돌린다 — 혈당에서 콩팥까지 항상성

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



대입 과학논술 09 — 면역·백신

몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-09



대입 과학논술 10 — 세포 호흡·광합성·에너지 대사

포도당 한 분자의 ATP 장부 — 미토콘드리아와 엽록체

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



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

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



대입 과학논술 12 — 생태·진화·생물 다양성

에너지는 흐르고 물질은 돈다 — 개체군에서 종 분화까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-12



대입 과학논술 13 — 원자 구조·주기성

전자 배치 × 유효 핵전하 × 이온화 에너지로 읽는 주기성

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-13



대입 과학논술 14 — 화학 결합·분자 구조·극성

원자가 전자 세기 × 전자쌍 반발 × 쌍극자 벡터 합

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



대입 과학논술 15 — 분자 간 힘·수소 결합·계면

극성 × 분자 간 힘의 서열 × 계면 에너지로 읽는 물질

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-15



대입 과학논술 16 — 유기 화학·생체 분자·고분자

유기 화학·생체 분자·고분자 논제 해설

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-16



대입 과학논술 17 — 화학양론·농도

몰 × 반응식 계수비 × 농도 환산으로 푸는 화학 계산

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-17



대입 과학논술 18 — 산화·환원과 산화수

산화·환원과 산화수 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-18



대입 과학논술 19 — 산·염기·pH·완충

평형(K) × 몰수 계산 × 부피 보정으로 푸는 산·염기

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-19



대입 과학논술 20 — 반응 속도

넘어야 할 언덕 — 반감기에서 촉매, 반응 메커니즘까지

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-20



대입 과학논술 21 — 화학 평형

평형 상수 K × 반응 지수 Q × 르샤틀리에로 읽는 화학 평형

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-21



대입 과학논술 22 — 열화학·엔탈피·자유 에너지

열화학 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

25,000원 → **15,000원**
ssbook.kr/book/nonsul-22



대입 과학논술 23 — 용액·총괄성·상평형

용액·총괄성·상평형 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**
ssbook.kr/book/nonsul-23



대입 과학논술 24 — 기체

기체 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/nonsul-24



대입 과학논술 25 — 화학 전지·전기 분해

화학 전지·전기 분해 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/nonsul-25



01 통합과학 화학 1 — 소금과 별

원자에서 원소의 기원·주기율표까지

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/tonghap-01



02 통합과학 화학 2 — 꽃은 왜 녹슬까

결합에서 반응·산과 염기까지

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/tonghap-02



03 통합과학 생명과학 1 — 배추는 왜 숨이 죽을까

분자에서 세포·효소·에너지까지

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/tonghap-03



04 통합과학 생명과학 2 — 늑대가 돌아오자

유전 정보에서 진화·생태계까지

18,500원 → **11,100원**

ssbook.kr/book/tonghap-04



05 통합과학 물리 1 — 미끄럼틀은 왜 따뜻해질까

원자에서 힘과 에너지까지

22,000원 → **13,200원**

ssbook.kr/book/tonghap-05



06 통합과학 물리 2 — 호박 구슬과 나뭇잎

원자에서 전자기파까지

24,000원 → **14,400원**

ssbook.kr/book/tonghap-06



07 통합과학 지구과학 1 — 구름은 왜 떨어지지 않을까

대기·기압·복사 에너지로 읽는 날씨

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/tonghap-07



08 통합과학 지구과학 2 — 단양의 돌은 바다였다

원자에서 암석·판·지구의 역사까지

20,000원 → **12,000원**

ssbook.kr/book/tonghap-08

채식 (5)



사상체질과 채식

이제마의 사상·권도원의 팔체질·황제내경을 영양학과 분자생물학으로 다시 읽다

21,000원 → **12,600원**

ssbook.kr/book/sasang-veg



체질과 심리신경내분비

사상·팔체질·황제내경과 Big5·MBTI를 몸의 언어로 다시 읽다

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/constitution-neuro

역사 속의 채식인

채식의 역사를 사람들의 이야기로 읽다

교보문고 판매

ssbook.kr/book/veg-history

채식이야기

채식에 관한 이야기

교보문고 판매

ssbook.kr/book/veg-story

우리 몸은 채식을 원한다

몸이 채식을 원하는 이유

교보문고 판매

ssbook.kr/book/body-wants-veg

라이프스타일 (3)



아주 쉬운 회춘의 원리

노화의 12가지 특징과 식이를 통한 회춘

18,000원 → **10,800원**

ssbook.kr/book/rejuvenation



피부는 안에서 만들어진다

콜라겐·아쿠아포린·자가포식과 식물성 케톤식

18,400원 → **11,000원**

ssbook.kr/book/skin-inside

과학과 초월의 길목에서

과학과 영성이 만나는 자리

교보문고 판매

ssbook.kr/book/science-transcend

고대사 (5)



동아시아 1만 년의 기후와 땅

한반도에서 본 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

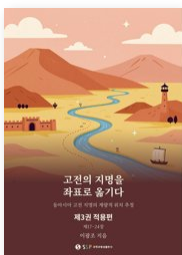


고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

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