



대입 과학논술 09 — 면역·백신

몸은 기억한다 — 염증 반응에서 백신과 집단 면역까지

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-09

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

면역·백신



면역·백신 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

대학 기출 10문항 · 2013~2026학년도

이광조 지음

MASTER

논술 생물

면역·백신

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

면역·백신 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

핵심 = 염증(비특이적 방어) × 항원-항체 특이성 × 기억 세포(1·2차 면역) | 10문항 · 5개 대학 (2013-2026)

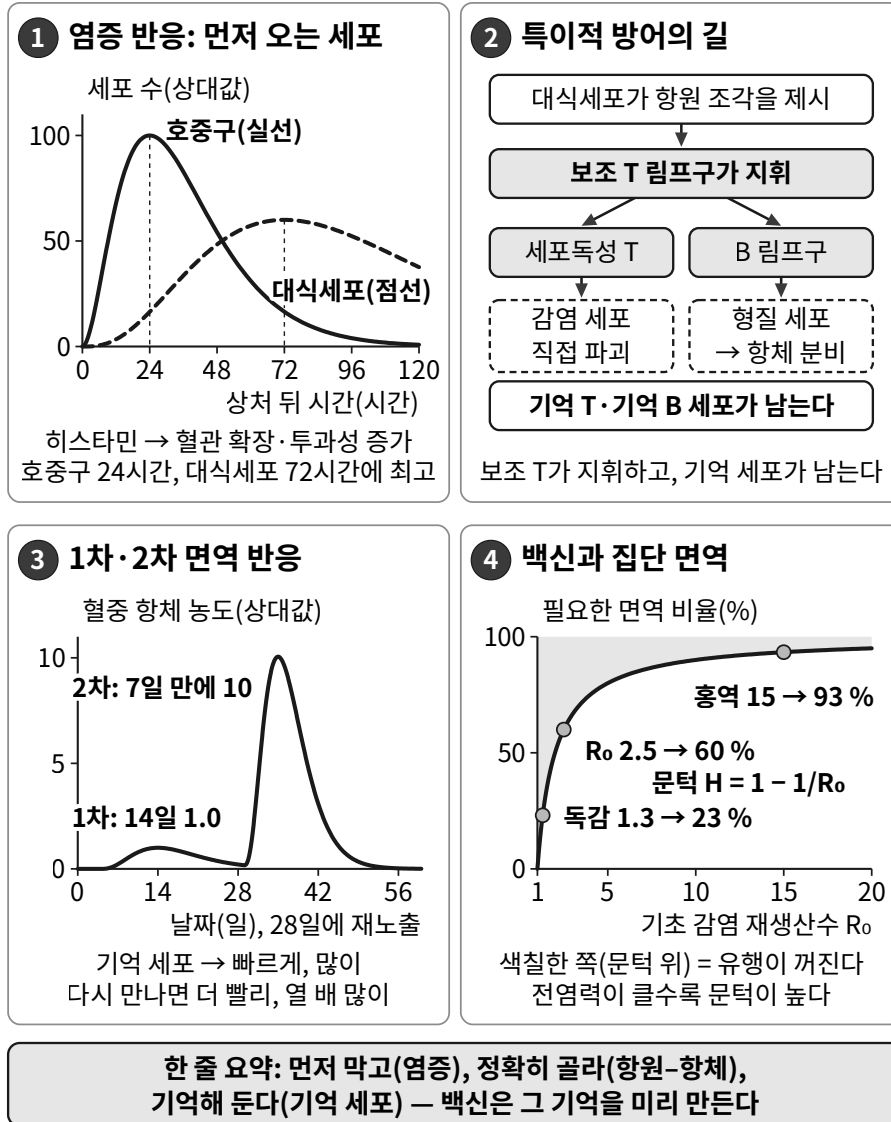


그림 1. 면역·백신 단원의 그림 요약. ① 염증 반응 — 상처 부위에 먼저 도착하는 호중구와 뒤이어 늘어나는 대식세포, ② 특이적 방어 — 항원 제시에서 보조 T 림프구의 지휘를 거쳐 세포독성 T 림프구와 B 림프구(형질 세포·기억 세포)로 나뉘는 길, ③ 1차·2차 면역 반응의 혈중 항체 농도, ④ 백신과 집단 면역의 문턱($1 - 1/R_0$). 곡선은 모양을 보이기 위한 모식 모델식으로 계산했다(세포 수 최고점: 호중구 24시간·대식세포 72시간, 항체 농도 최고점: 1차 14일째 1.0·재노출 7일째 10, 문턱: $R_0 = 1.3, 2.5, 15$ 에서 23 %, 60 %, 93 %).

한 줄 요약: 면역 = 먼저 막고(염증), 정확히 골라(항원-항체), 기억해 둔다(기억 세포) — 백신은 그 기억을 미리 만든다

연결 단원 → 유전 정보의 흐름(전사·번역) · 진화(변이와 선택) · 신경(막전위) · 생명공학(세포 융합)

기본개념편	11
제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가	12
기본개념편을 열며	14
제 1장 왜 면역인가	16
1.1 감염성 질병과 비감염성 질병	18
1.2 몸은 매일 침입자를 만난다 — 방어에 세 겹	19
1.3 면역학은 어떻게 시작되었나	22
1.4 오늘의 눈으로 다시 보는 제너의 실험	23
1.5 이 책의 길 — 네 장면	24
제 2장 병원체의 얼굴: 세균·바이러스·그 밖의 것들	26
2.1 세균: 혼자 사는 원핵세포	28
2.2 바이러스: 세포가 아닌 병원체	30
2.3 원생생물·균류·프라이온	33
2.4 항생제는 왜 바이러스에 듣지 않나	33
제 3장 바이러스는 어떻게 세포에 들어가나	36
3.1 열쇠와 자물쇠: 표면 단백질과 수용체	38
3.2 세포 안에서 일어나는 일	39
3.3 증식을 숫자로	40
3.4 수용체를 지우면? — 결손 세포 감염 실험	41
3.5 RNA 바이러스는 왜 잘 변하나	43
제 4장 첫 번째 방어선: 피부·점막·식세포	45
4.1 피부와 점막: 들어오지 못하게	47
4.2 백혈구 가족	48
4.3 식세포 작용의 단계	50
4.4 비특이적 방어의 성격 — 빠르지만 기억하지 않는다	51
4.5 실험 읽기: 대식세포는 정말 삼키는가	52
제 5장 염증 반응: 붓고 붓고 뜨거운 이유	54
5.1 네 징후의 뿌리	56
5.2 히스타민이 하는 두 가지 일	57
5.3 백혈구의 행진: 호중구가 먼저, 대식세포가 뒤이어	59
5.4 고름은 무엇인가	61
5.5 급성 염증과 만성 염증, 그리고 약	62
제 6장 림프구의 탄생과 클론 선택	64
6.1 골수에서 태어나 어디서 자라나	66
6.2 한 림프구 = 한 가지 수용체	68
6.3 클론 선택: 맞는 림프구만 늘어난다	69
6.4 자기와 남을 구별하는 훈련	71
6.5 림프절과 비장: 림프구가 항원을 만나는 곳	71
제 7장 항원 제시와 T 림프구: 세포성 면역	74
7.1 대식세포가 보여 주는 조각: 항원 제시	76
7.2 보조 T 림프구: 지휘자	77
7.3 세포독성 T 림프구: 감염 세포를 직접 없앤다	78
7.4 MHC 제한: 같은 조각이라도 누구의 접시인가	80

7.5 HIV는 왜 무서운가	81
제 8장 B 림프구와 항체: 체액성 면역	84
8.1 B 림프구가 항원을 만나면.....	86
8.2 형질 세포: 항체 공장	87
8.3 기억 세포: 다음을 위한 저장	88
8.4 체액이 나르는 면역 — 능동 면역과 수동 면역	89
8.5 실험 읽기: 세포를 옮겨 넣는 실험.....	90
제 9장 항체의 모양과 항원-항체 반응, 그리고 혈액형.....	94
9.1 Y자 단백질 — 네 가닥 사슬과 두 개의 결합 부위	96
9.2 열쇠와 자물쇠 — 특이성.....	98
9.3 항체가 항원을 처리하는 세 가지 길	98
9.4 눈으로 보는 항원-항체 반응 — ABO식 혈액형.....	100
9.5 수혈 규칙과 Rh식 혈액형	102
제 10장 1차·2차 면역 반응: 기억하는 몸	105
10.1 처음 만날 때 — 느리고 적다	107
10.2 다시 만날 때 — 빠르고 많고 오래.....	108
10.3 그래프 고르기 네 단계.....	110
10.4 같은 항원, 다른 항원	111
10.5 2차 반응이 약하게 나올 때.....	113
제 11장 백신: 미리 보여 주는 연습.....	115
11.1 백신 = 병 없이 보여 주는 항원	117
11.2 언제 맞아야 하나 — 잠복기와 추가 접종.....	119
11.3 R_0 와 유행 곡선.....	120
11.4 집단 면역의 문턱 $1 - 1/R_0$	121
11.5 백신 효과는 어떻게 재나.....	122
제 12장 변하는 적: 항원 변이와 백신 회피	125
12.1 변이는 무작위, 선택은 방향이 있다	127
12.2 백신과 항체가 만든 선택압	128
12.3 선택을 숫자로	129
12.4 독감 백신을 해마다 바꾸는 이유.....	131
12.5 감염자 수 곡선 읽기 — 줄었다가 다시 느는 그래프	132
제 13장 면역이 어긋날 때: 알레르기·자가 면역·이식 거부.....	134
13.1 알레르기 — 해롭지 않은 것에 지나치게	136
13.2 자가 면역 — 자기를 공격할 때	138
13.3 면역 결핍 — 모자랄 때.....	139
13.4 장기 이식과 조직 적합성.....	139
13.5 면역을 누르는 약, 증상을 막는 약.....	141
제 14장 단일 클론 항체와 면역 치료, 그리고 2부로	143
14.1 한 가지 항원만 붙잡는 항체를 대량으로.....	145
14.2 만드는 과정 여섯 단계	146
14.3 진단 — 임신 진단 키트의 두 줄	148
14.4 치료 — 표적 항암제와 면역 관문 억제제.....	149
14.5 기본개념편을 마치며 — 2부로 가는 길	150
부록 A. 스스로 풀어 보기: 정답과 해설	153
부록 B. 용어 풀이	157

기출문제와 기본개념.....	166
제 2 부 안내: 기출문제와 기본개념의 목차와 순서	167
0. 이 장의 사용법	169
1. 출제 개념.....	170
1.1 질병과 병원체 — C1 · C2	170
1.2 비특이적 방어와 염증 — C3 · C4	171
1.3 림프구·항원 제시·세포성 면역 — C5 · C6 · C7 · A3.....	172
1.4 체액성 면역·항체·혈액형 — C8 · C9 · C12	173
1.5 1차·2차 면역 반응 — C10	173
1.6 백신·집단 면역·항원 변이 — C11 · A4 · A2	174
1.7 면역 이상과 단일 클론 항체 — C13 · A1.....	175
1.8 그래프 개념도 읽는 법	176
2. 출제 경향.....	179
2.1 반복되는 출제 패턴 여섯 가지	181
2.2 학교별 성향	182
논술답안작성 패턴분석	183
제 3 부 안내: 논술답안작성 패턴분석의 목차와 순서	184
3. 답안 작성법	186
3.1 자료 해석형 답안의 4단 구조	186
3.2 서술형 답안의 4문장 틀	188
3.3 용어와 표기 규칙	188
3.4 시간 배분과 자기 점검	189
3.5 논술 기본 패턴 5가지와 문항별 적용	189
4. 감점 답안과 우수 답안 비교	191
실전기출문제와 풀이과정	196
제 4 부 안내: 실전기출문제와 풀이과정의 목차와 순서	197
5. 기출문제 전반: 경향·개론·기본 개념.....	198
5.1 한눈에 보는 기출 10문항	198
5.2 기출 문제는 이렇게 만들어진다 — 개론.....	198
5.3 기본 개념 한눈에	199
5.4 이 책의 기출 분석, 이렇게 읽는다.....	200
6. 출제 문항 분석과 모범답안	201
〈기출문제 1 (경희대 2026년)〉	202
〈기출문제 2 (경북대 2025년)〉	212
〈기출문제 3 (경북대 2025년)〉	220
〈기출문제 4 (경북대 2024년)〉	229
〈기출문제 5 (연세대 2023년)〉	238
〈기출문제 6 (연세대 2023년)〉	247
〈기출문제 7 (연세대 2021년)〉	258
〈기출문제 8 (경희대 2020년)〉	266
〈기출문제 9 (성균관대 2015년)〉	274
〈기출문제 10 (고려대 2013년)〉	285
7. 변형·예상 문항	294

8. 강의 연결.....	300
8.1 회차별 학습 확인 체크리스트	300
8.2 강의 구성 시 유의점	301
9. 전체 문제 총평	302
9.1 숫자로 먼저 보기	302
9.2 다섯 가지 총평.....	302
9.3 대학별 한 줄 총평	304
9.4 이렇게 공부하자	304
10. 참고문헌.....	305

그림 목록

그림 1. 그림 요약: 면역·백신 논제의 네 장면.....	1
그림 2. 제 1장 개념도	16
그림 3. 생활 속 개념도 1.....	17
그림 4. 방어의 세 겹	20
그림 5. 감기 일주일의 체온	21
그림 6. 면역학 연표	22
그림 7. 제 2장 개념도	26
그림 8. 생활 속 개념도 2.....	27
그림 9. 세균 증식 곡선	29
그림 10. 세균과 바이러스의 구조.....	31
그림 11. 생물의 특성 판정표	32
그림 12. 제 3장 개념도	36
그림 13. 생활 속 개념도 3.....	37
그림 14. 바이러스 생활사.....	39
그림 15. 바이러스와 세균의 증식 비교	41
그림 16. 수용체 결손 실험(가상 자료)	42
그림 17. 제 4장 개념도	45
그림 18. 생활 속 개념도 4.....	46
그림 19. 백혈구 백분율	49
그림 20. 식세포 작용 네 단계	50
그림 21. 방어의 시간표	51
그림 22. 제 5장 개념도	54
그림 23. 생활 속 개념도 5.....	55
그림 24. 염증 반응의 단계.....	57
그림 25. 혈관 반지름과 혈류량	59
그림 26. 염증 세포의 시간 변화	60
그림 27. 제 6장 개념도	64
그림 28. 생활 속 개념도 6.....	65
그림 29. 림프 기관.....	67
그림 30. 클론 선택.....	69
그림 31. 클론 증식 계산	70
그림 32. 제 7장 개념도	74
그림 33. 생활 속 개념도 7.....	75
그림 34. 항원 제시와 보조 T 림프구	77
그림 35. 세포독성 T 림프구의 공격.....	79
그림 36. MHC 제한 실험(가상 자료)	81
그림 37. 제 8장 개념도	84
그림 38. 생활 속 개념도 8.....	85
그림 39. 체액성 면역 흐름도	87
그림 40. 신생아 IgG 농도 모델	90
그림 41. 세포 옮기기 실험(가상 자료)	91
그림 42. 제 9장 개념도	94
그림 43. 생활 속 개념도 9.....	95
그림 44. 항체의 구조	97
그림 45. 항체의 세 가지 작용	99
그림 46. 혈액형 판정판	101
그림 47. 제 10장 개념도	105

그림 48. 생활 속 개념도 10	106
그림 49. 1차·2차 항체 농도 곡선	108
그림 50. 그래프 판정 순서도	110
그림 51. 같은 항원과 다른 항원	112
그림 52. 제 11장 개념도	115
그림 53. 생활 속 개념도 11	116
그림 54. 백신의 다섯 가지 방식	118
그림 55. 접종률에 따른 유행 곡선	121
그림 56. 집단 면역 문턱 곡선	122
그림 57. 제 12장 개념도	125
그림 58. 생활 속 개념도 12	126
그림 59. 부위별 변이 수(가상 자료)	128
그림 60. 선택 계산 곡선	130
그림 61. 접종 뒤 감염자 수의 재증가(모식 계산)	132
그림 62. 제 13장 개념도	134
그림 63. 생활 속 개념도 13	135
그림 64. 면역 과소·적정·과다	136
그림 65. 알레르기의 두 단계	137
그림 66. HLA 일치 퍼넷 표	140
그림 67. 제 14장 개념도	143
그림 68. 생활 속 개념도 14	144
그림 69. 다클론 항체와 단일 클론 항체	145
그림 70. 단일 클론 항체 제작 과정	146
그림 71. 임신 진단 키트의 구조	148
그림 72. 방어가 오는 순서	170
그림 73. 집단 면역의 문턱	175
그림 74. 전체 개념 그래프	177
그림 75. 개념별 출제 횟수	178
그림 76. 연도별 출제 문항 수	180
그림 77. 대학별 출제 문항 수	180
그림 78. 자료 해석형 풀이 절차	186
그림 79. 〈경희대 2026〉 개념 그래프	203
그림 80. 〈그림 1〉 항체 곡선 재구성(기출 261)	206
그림 81. 〈표 2〉 막전위와 K^+ 평형 전위(기출 261)	208
그림 82. 〈경북대 2025〉 개념 그래프	213
그림 83. (나) 항원 A·B 항체 농도(재구성)	214
그림 84. 〈경북대 2025〉 개념 그래프	221
그림 85. 단일 클론 항체 제작 과정	223
그림 86. 〈경북대 2024〉 개념 그래프	230
그림 87. 염증 반응 네 단계(기출 192)	233
그림 88. 〈연세대 2023〉 개념 그래프	239
그림 89. 그림 1 신규 감염자 추이(재구성)	240
그림 90. 실험 I~IV(재구성)	241
그림 91. 〈연세대 2023〉 개념 그래프	249
그림 92. 〈그림1-1〉 다섯 곡선 재구성(기출 177)	252
그림 93. 〈연세대 2021〉 개념 그래프	259
그림 94. [나]·[다]의 공통 구조(기출 138)	262
그림 95. 〈경희대 2020〉 개념 그래프	266
그림 96. 히스타민의 두 갈래	268

그림 97. 〈성균관대 2015〉 개념 그래프	275
그림 98. 항체 아래에서의 변이 선택(기출 294).....	278
그림 99. MHC 제한(기출 294).....	280
그림 100. 〈고려대 2013〉 개념 그래프	286
그림 101. 파지 디스플레이와 클론 선택	287

표 목록

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장.....	12
표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념.....	12
표 3. 제 1장의 개념이 쓰인 기출.....	16
표 4. 질병의 구분.....	19
표 5. 방어의 세 겹 비교.....	20
표 6. 제 2장의 개념이 쓰인 기출.....	26
표 7. 병원체 비교.....	33
표 8. 제 3장의 개념이 쓰인 기출.....	36
표 9. 수용체 결손 실험의 해석.....	42
표 10. 제 4장의 개념이 쓰인 기출.....	45
표 11. 백혈구의 종류와 비율(성인 정상 범위), 주된 역할.....	48
표 12. 제 5장의 개념이 쓰인 기출.....	54
표 13. 염증의 네 징후와 원인.....	57
표 14. 제 6장의 개념이 쓰인 기출.....	64
표 15. B 림프구와 T 림프구.....	68
표 16. 제 7장의 개념이 쓰인 기출.....	74
표 17. 세포성 면역와 체액성 면역의 비교.....	78
표 18. 제 8장의 개념이 쓰인 기출.....	84
표 19. 면역의 네 갈래.....	89
표 20. 제 9장의 개념이 쓰인 기출.....	94
표 21. ABO식 혈액형의 응집원·응집소와 판정 결과(+는 응집, -는 응집 없음.....	100
표 22. 제 10장의 개념이 쓰인 기출.....	105
표 23. 1차 면역 반응과 2차 면역 반응의 비교(수치는 이 책의 모식 모델 기준.....	109
표 24. 제 11장의 개념이 쓰인 기출.....	115
표 25. 백신 종류의 비교.....	118
표 26. 제 12장의 개념이 쓰인 기출.....	125
표 27. 항원 소변이와 항원 대변이의 비교.....	131
표 28. 제 13장의 개념이 쓰인 기출.....	134
표 29. 면역 이상의 비교.....	141
표 30. 제 14장의 개념이 쓰인 기출.....	143
표 31. 단일 클론 항체의 쓰임.....	150
표 32. 면역·백신 논제의 네 장면과 기본개념편의 장.....	150
표 33. 2부 목차와 내용.....	167
표 34. 세균과 바이러스의 비교.....	171
표 35. 히스타민의 두 작용과 염증 징후.....	171
표 36. 세포성 면역와 체액성 면역.....	172
표 37. 항체 농도 그래프를 고르는 네 질문.....	173
표 38. 단일 클론 항체를 만드는 다섯 단계와 각 단계가 가져오는 성질.....	176
표 39. 이 책의 기출 문항 목록.....	179
표 40. 대학별 출제 문항.....	180
표 41. 문항별 요구 개념 수와 최대 층.....	180
표 42. 학교별 성향(이 책의 자료 범위 안에서).....	182
표 43. 논술 기본 패턴 다섯 가지.....	184
표 44. 논술답안작성 패턴분석(3부) 목차와 내용.....	184
표 45. 자료의 모양과 그 모양이 뜻하는 것.....	187
표 46. 서술형 답안의 문장 틀(원리 설명).....	188
표 47. 설계형 답안의 문장 틀.....	188

표 48. 시간 배분의 예	189
표 49. 논술 기본 패턴 5가지	190
표 50. 문항별 소문항에 적용한 패턴	190
표 51. 여섯 예시의 감점 원인과 고치는 한 줄	195
표 52. 실전기출문제와 풀이과정(4부) 목차와 내용	197
표 53. 대학별 기출 문항 수·연도·소재(번호는 4부의 기출문제 번호)	198
표 54. 학년도별 문항 수	198
표 55. 소문항에 적용한 답안 패턴의 분포(17개 소문항, 두 패턴을 결합한 소문	198
표 56. 기본 개념 한눈에(기출 빈도 순)	199
표 57. 문항 한 개의 구성과 읽는 목적	200
표 58. 〈표 2〉 실험 조건에 따른 막전위 변화(원문 표를 다시 조판)	202
표 59. 기출문제 1의 개념과 복습 위치	203
표 60. 소문항별 요구 사항과 난이도	205
표 61. 기출문제 2의 개념과 복습 위치	213
표 62. 소문항별 요구 사항과 난이도	215
표 63. 기출문제 3의 개념과 복습 위치	221
표 64. 소문항의 요구 사항과 난이도	223
표 65. 기출문제 4의 개념과 복습 위치	230
표 66. 소문항별 요구 사항과 난이도	231
표 67. 【3-5】 후보 백혈구 판별표	234
표 68. 기출문제 5의 개념과 복습 위치	239
표 69. 문제 3의 요구 사항과 난이도	242
표 70. 〈표1-1〉 바이러스 X와 Y의 전사 주형 가닥 유전 정보(원문 표를 다	247
표 71. 〈표1-2〉 유전부호(코돈표)	248
표 72. 기출문제 6의 개념과 복습 위치	249
표 73. 소문항별 요구 사항과 난이도	250
표 74. X·Y 유전 정보의 전사와 번역	253
표 75. 기출문제 7의 개념과 복습 위치	259
표 76. 소문항별 요구 사항과 난이도	260
표 77. 생물의 특성 × 제시문 대응표	262
표 78. 기출문제 8의 개념과 복습 위치	267
표 79. 논제 II-2의 요구 사항과 난이도	269
표 80. 가시에 찢린 장면을 묻는 두 기출의 비교	272
표 81. 기출문제 9의 개념과 복습 위치	275
표 82. 소문항별 요구 사항과 난이도	276
표 83. 생쥐 X·Y·Z의 T 림프구와 대식세포 조합별 예상 증식	280
표 84. 기출문제 10의 개념과 복습 위치	286
표 85. 소문항별 요구 사항과 난이도	288
표 86. 세 사람의 혈중 항 V 항체(상댓값, 가상 자료)	294
표 87. 인강 회차 구성(제안)	300
표 88. 10개 문항의 규모	302
표 89. 대학별 출제 특징(자료를 구한 범위 안에서)	304

제 1 부

기본개념편

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

면역·백신

제 1 부 안내: 기본개념편을 어떻게 읽는가

기본개념편은 병원체 → 첫 번째 방어선과 염증 → 림프구와 특이적 방어 → 항체와 기억 → 백신과 변이 → 면역의 이상과 기술의 순서로 이어진다. 앞 장에서 만든 그림이 다음 장의 재료가 되므로, 처음 읽을 때는 순서대로 읽는 것이 가장 빠르다. 생물 권이라 계산보다 실험과 자료 해석이 많지만, 숫자가 나오는 곳(세균의 증식, 백혈구 백분율, 항체의 감소, 집단 면역의 문턱, 변이의 선택)에서는 숫자를 끝까지 따라간다.

1. 전체 길 — 다섯 구간

표 1. 기본개념편의 다섯 구간과 장

구간	장	무엇을 하는가
A. 질병과 병원체	1~3장	감염성 질병과 비감염성 질병을 나누고, 세균과 바이러스가 어떻게 생겼고 어떻게 늘어나는지, 바이러스가 표면 단백질로 세포의 수용체에 붙어 들어가는 과정을 본다.
B. 비특이적 방어	4~5장	피부·점막·식세포가 가리지 않고 막는 방식과, 히스타민이 혈관을 넓히고 새게 만들어 백혈구를 부르는 염증 반응을 단계별로 쓴다.
C. 특이적 방어	6~9장	골수에서 태어난 림프구의 클론 선택, 항원 제시와 T 림프구의 세포성 면역, B 림프구와 항체의 체액성 면역, 항원-항체 반응과 혈액형을 다룬다.
D. 기억과 백신	10~12장	1차·2차 면역 반응의 항체 그래프를 읽고, 백신과 집단 면역의 문턱을 계산하며, 백신이 만든 선택압 속에서 바이러스가 어떻게 변하는지 본다.
E. 어긋남과 기술	13~14장	알레르기·자가 면역·면역 결핍·이식 거부를 보고, 단일 클론 항체로 면역을 진단·치료에 쓰는 법을 익힌 뒤 2부로 간다.

2. 장마다 같은 순서

모든 장은 〈이 장의 출발점〉 → 본문 대화 → 〈문제〉와 풀이 대화 → 〈핵심〉 → 〈스스로 풀어 보기〉 → 참고문헌의 순서다. 장의 첫머리에는 그 장에서 배우는 개념의 개념도와, 그 개념이 쓰인 기출 표가 있어 지금 배우는 개념이 나중에 어떤 문제로 나오는지 미리 볼 수 있다. 장마다 한 쪽씩 〈생활 속 개념도〉를 두어 감기·가시·예방 접종 수첩·임신 진단 키트처럼 손에 잡히는 장면에서 개념을 다시 확인한다. 〈스스로 풀어 보기〉의 정답과 해설은 부록 A에 모았다.

3. 장별 목차

표 2. 기본개념편 장별 목차와 새로 배우는 개념

장	새로 배우는 개념
기본개념편 제 1장 (16쪽)	감염성·비감염성 질병, 병원체, 방어 작용의 세 겹
기본개념편 제 2장 (26쪽)	세균, 바이러스, 원생생물·균류·프라이온, 항생제
기본개념편 제 3장 (36쪽)	표면 단백질과 수용체, 숙주 세포 안의 복제, 결손 실험, RNA 바이러스의 변이
기본개념편 제 4장 (45쪽)	피부·점막·라이소자임, 백혈구의 종류, 식세포 작용
기본개념편 제 5장 (54쪽)	비만세포와 히스타민, 혈관 확장과 투과성, 호중구의 이동, 고름
기본개념편 제 6장 (64쪽)	골수와 가슴샘, B·T 림프구, 클론 선택, 자기 관용
기본개념편 제 7장 (74쪽)	항원 제시, MHC, 보조 T·세포독성 T 림프구, 세포성 면역
기본개념편 제 8장 (84쪽)	형질 세포와 기억 세포, 체액성 면역, 능동·수동 면역

장	새로 배우는 개념
기본개념편 제 9장 (94쪽)	Y자 항체, 특이성, 중화·응집, ABO식·Rh식 혈액형
기본개념편 제 10장 (105쪽)	1차·2차 면역 반응, 잠복기, 항체 농도 그래프 판정
기본개념편 제 11장 (115쪽)	백신의 종류와 접종 시기, R_0 , 집단 면역 문턱, 백신 효능
기본개념편 제 12장 (125쪽)	항원 소변이·대변이, 선택압, 백신 회피
기본개념편 제 13장 (134쪽)	알레르기, 자가 면역, 면역 결핍, 조직 적합성과 이식 거부
기본개념편 제 14장 (143쪽)	단일 클론 항체, 진단 키트, 표적 치료, 2부로 가는 길

4. 이렇게 공부하자

- 처음에는 대화를 소리 내어 읽듯 따라가고, 그림의 곡선이 어디서 올라가고 어디서 꺾이는지 손가락으로 짚어 본다.
- 장이 끝나면 〈스스로 풀어 보기〉를 먼저 풀고 부록 A로 확인한다.
- 기출에 가장 많이 나오는 곳은 5장(염증 반응), 10장(1차·2차 면역 반응), 11~12장(백신과 변이)이다. 이 세 구간은 두 번 읽는다.
- 용어가 많은 단원이다. 형질 세포·기억 세포·보조 T 림프구처럼 이름이 비슷한 세포는 “어디서 태어나 무엇을 하는가”를 한 줄로 말할 수 있을 때까지 부록 B 용어 풀이를 곁에 둔다.

기본개념편을 열며

면역은 중학교 과학에서 “우리 몸을 지키는 백혈구” 정도로 처음 만나고, 고등학교 생명과학 I의 방어 작용 단원에서 본격적으로 배우며, 대학 논술에서는 항체 그래프와 실험 자료를 해석해 서술하는 문제로 나온다. 이 기본개념편은 중학교 2학년 수준의 지식(세포와 세포막, 혈액의 구성, 간단한 비율과 거듭제곱)만 있으면 끝까지 따라올 수 있도록 쓴 이야기책이다. 외울 것을 먼저 주지 않고, 몸이 왜 그렇게 반응하는지를 먼저 묻고 그다음에 이름을 붙인다.

등장인물

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

첫 토요일

늦가을 토요일 아침, 돌집 과학방 난로 위에서 보리차가 끓고 있었다. 미숙 이모가 마스크를 쓴 채 들어와 휴지 상자를 탁자에 내려놓았다.

- 이모** 교수님, 저 오늘은 콜록거리서 뒷자리에 앉을게요. 지난주부터 가게 손님들이 줄줄이 감기라더니 결국 저까지 걸렸네요.
- 석 교수** 잘 오셨어요. 마침 오늘부터 할 이야기가 바로 그 감기 속에서 일어나는 일입니다. 이모님 몸은 지금 아주 바쁩니다.
- 하린** 몸이 바쁘다고요? 이모는 그냥 콧물 나고 열나는 것 같은데요.
- 석 교수** 그 콧물과 열이 바쁘다는 증거야. 코 점막은 끈적한 액체로 침입자를 씻어 내고 있고, 열은 몸속에서 경보가 울렸다는 신호지. 증상의 상당 부분은 병원체가 아니라 우리 몸의 방어 작용이 만든 거다.
- 태오** 그럼 감기약은 뭘 하는 거예요? 바이러스를 죽이나요?
- 석 교수** 흔히 먹는 감기약은 대부분 열이나 콧물 같은 증상을 줄여 주는 약이야. 바이러스를 없애는 일은 결국 몸이 한다. 땀새름 지나면 낫는 것도 그때쯤 몸이 그 바이러스에 맞는 무기를 다 만들었기 때문이고.
- 이모** 맞는 무기요? 바이러스마다 무기가 다르다는 말씀이세요?
- 석 교수** 그렇습니다. 우리 몸의 방어는 두 종류예요. 무엇이 들어오든 가리지 않고 막는 방어가 있고, 상대를 정확히 알아보고 그 상대만 공격하는 방어가 있어요. 앞의 것은 빠르지만 대충이고, 뒤의 것은 느리지만 정확합니다.
- 태오** 논술 기출에서 본 ‘비특이적 방어 작용’, ‘특이적 방어 작용’이 그거군요.
- 석 교수** 그래. 그리고 뒤의 방어에는 놀라운 성질이 하나 더 있어. 한 번 만난 상대를 기억한다.
- 하린** 기억이요? 세포가 기억을 해요?
- 석 교수** 수두를 앓은 사람은 수두에 다시 잘 걸리지 않지. 처음 싸울 때 만들어진 기억 세포가 몸에 남아 있다가, 같은 상대가 다시 오면 훨씬 빨리, 훨씬 많이 무기를 만들어 내기 때문이야. 기출이 가장 자주 묻는 그래프가 바로 이 ‘처음’과 ‘다시’의 차이다.

이모 그럼 예방 주사는 그 기억을 미리 만들어 두는 거고요?

석 교수 정확합니다. 병에 걸리지 않고도 기억만 남기는 방법, 그게 백신이에요. 다만 상대도 가만 있지 않아요. 바이러스는 복제할 때마다 조금씩 틀리고, 그 가운데 우리 항체를 피하는 것이 살아남지요. 그래서 독감 백신은 해마다 새로 맞습니다.

태오 2023년 연세대 문제에 백신을 맞았는데 감염자가 다시 늘어나는 그래프가 나왔어요. 그것도 그 이야기예요?

석 교수 그렇다. 그 문제를 풀려면 바이러스가 세포에 어떻게 들어가는지, 항체가 어디에 붙는지, 변이가 왜 하필 그 자리에 모이는지를 차례로 알아야 해. 오늘부터 열네 번의 이야기로 그 길을 하나씩 밟아 갈 거다.

하린 열네 번이나요? 어디서부터 시작해요?

석 교수 적을 아는 것부터. 첫 장은 “왜 면역인가”, 둘째 장은 병원체의 얼굴이다. 이모님은 오늘 살아 있는 교재가 되어 주시고요.

이모 아이고, 쿨룩. 그럼 오늘 수업료는 제가 받아야겠네요.

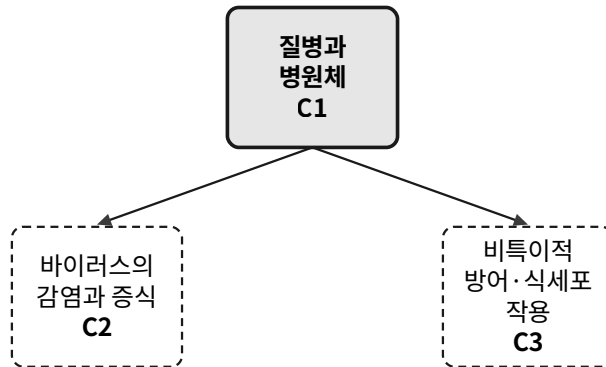
모두가 웃는 사이 석 교수는 칠판에 세 겹의 동그라미를 그렸다. 바깥 동그라미에는 “피부·점막”, 가운데에는 “식세포·염증”, 가장 안쪽에는 “림프구·항체·기억”이라고 적혀 있었다. 이 세 겹을 바깥에서 안으로 따라 들어가는 것이 이 기본개념편의 줄거리다. 1~3장에서 침입자를 알고, 4~5장에서 바깥 두 겹을, 6~10장에서 가장 안쪽 겹을, 11~14장에서 그 기억을 기술로 쓰는 법을 배운다. 첫 장은 **기본개념편 제 1장** (16쪽)이다.

제 1장 왜 면역인가

새 개념 감염성 질병 · 비감염성 질병 · 병원체 · 방어 작용의 세 겹

이어짐 병원체 2장 · 염증 5장 · 특이적 방어 7~8장 · 백신 11장

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 질병과 병원체)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 1 (경희대 2026년) (202쪽)	항체 그래프 고르기와 휴지 전위	C1 질병과 병원체

감기에 걸린 이모의 일주일 — 증상은 방어 작용의 흔적

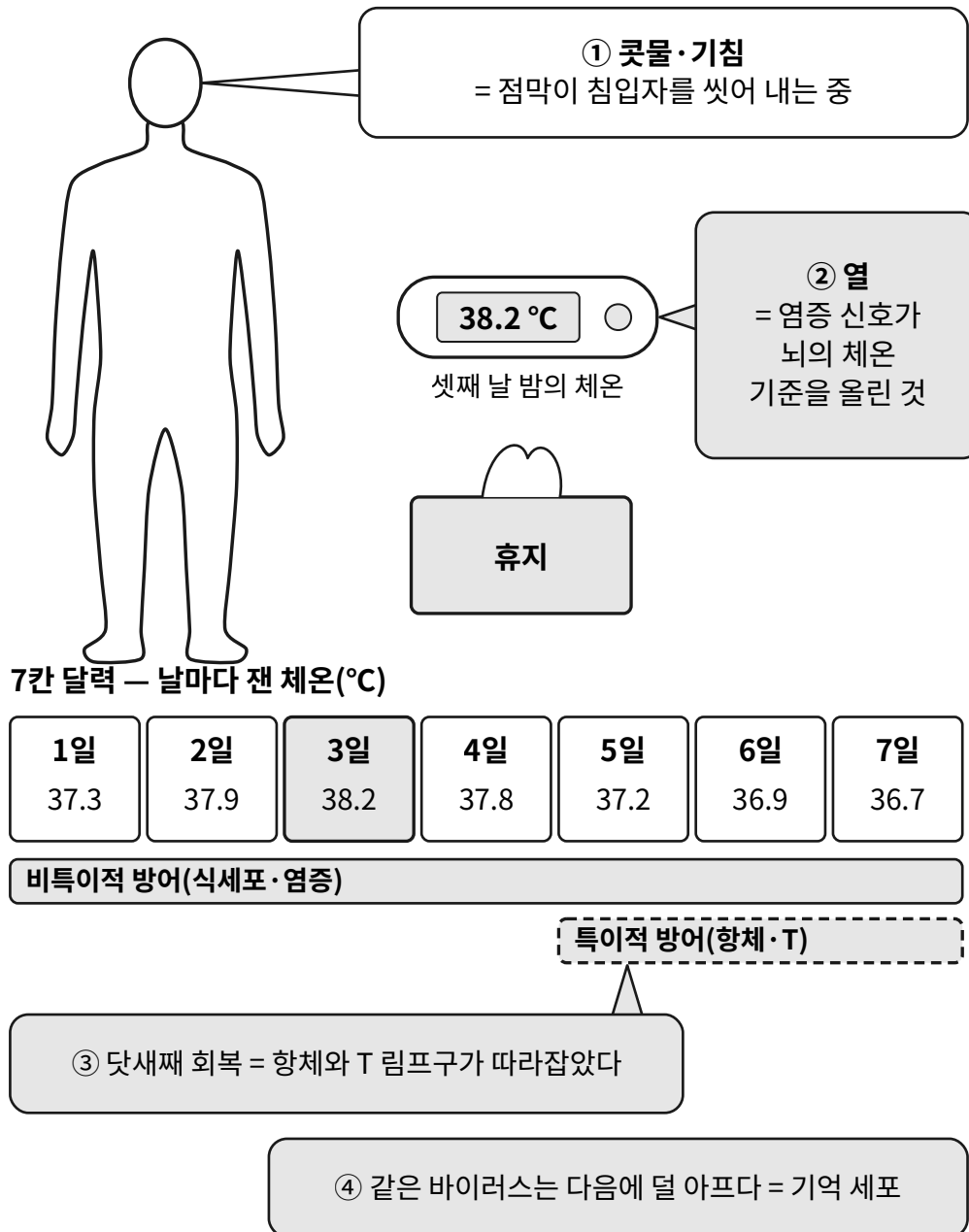


그림 3. 감기에 걸린 이모의 일주일 — 체온과 증상, 그리고 그 뒤에서 일하는 방어 작용(모식도, 날짜별 체온은 흔한 경과를 보이기 위한 예시값)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 감기의 콧물·기침·열은 대부분 몸의 방어 작용이 만든 것이다
2. 처음 며칠은 비특이적 방어가, 닳새 무렵부터는 항체와 T 림프구가 주역이다
3. 회복 뒤 남은 기억 세포가 같은 바이러스의 재감염을 막는다

이 장의 출발점

- 생물은 세포로 이루어져 있고, 자극에 반응하며, 물질대사를 한다(중학교 과학, 생명과학 I “생물의 특성”).
- 실험에는 비교 기준이 되는 대조군이 있어야 하고, 알아보려는 조건(조작 변인) 하나만 다르게 두어야 한다.
- 혈액에는 적혈구·백혈구·혈소판이 있고, 백혈구가 몸을 지키는 일을 한다는 정도만 알면 된다.

10월의 첫 토요일, 돌집 과학방 문이 열리자 마스크를 쓴 이모가 휴지 상자를 안고 들어왔다. 목소리가 잠겨 있었다. 태오와 하린이 의자를 당겨 주었고, 석 교수는 난로 위 주전자를 내려 따뜻한 보리차를 따랐다.

이모 교수님, 죄송해요. 화요일부터 감기가 와서요. 그저께 밤엔 체온계가 38.2 °C까지 올라갔어요. 오늘은 37 °C 조금 넘는 정도예요.

석 교수 오늘 수업 자료를 직접 들고 오셨군요. 이번 단원이 면역입니다. 이모님 몸속에서 지금 일어나는 일이 바로 이 책의 내용이에요.

하린 감기에 걸리면 왜 열이 나요? 열이 나쁜 거면 몸이 안 내면 되잖아요.

석 교수 좋은 출발이다. 열, 콧물, 기침은 병원체가 직접 만든 것도 있지만, 대부분은 몸이 싸우면서 만든 흔적이다. 콧물은 점막이 침입자를 씻어 내는 물이고, 열은 염증 때 나온 신호 물질이 뇌의 체온 기준점을 올린 결과다. 그러니 증상은 “몸이 일하고 있다”는 표시이기도 해.

태오 그럼 감기가 일주일쯤 지나면 낫는 것도 몸이 이긴 거네요. 약이 고친 게 아니고요.

석 교수 대부분의 감기에는 바이러스를 직접 죽이는 약이 없다. 해열제나 콧물약은 증상을 덜어줄 뿐이고, 바이러스를 없애는 일은 면역이 한다. 생활 속 개념도를 보면 이모님의 일주일 이 날짜별로 그려져 있다. 처음 사흘과 닷새째 이후에 일하는 세포가 달라.

이모 그럼 오늘이 닷새째니까 항체가 나오기 시작했겠네요.

석 교수 그렇습니다. 오늘은 그 큰 그림을 먼저 그리고, 다음 장부터 한 칸씩 확대해 들어갑니다.

1.1 감염성 질병과 비감염성 질병

석 교수 먼저 질병을 두 가지로 나누자. 병원체가 몸에 들어와서 생기는 병을 **감염성 질병**이라 하고, 병원체 없이 생기는 병을 **비감염성 질병**이라 한다. 병원체(病原體)는 “병의 근원이 되는 생물이나 입자”라는 뜻이다. 세균, 바이러스, 균류(곰팡이 무리), 원생생물이 대표적이다.

하린 감염성은 옮고, 비감염성은 안 옮는 거예요?

석 교수 대체로 그렇다. 감염성 질병은 병원체가 사람에서 사람으로, 또는 모기·물·음식을 거쳐 옮겨 갈 수 있다. 비감염성 질병은 유전, 생활 습관, 나이, 환경이 원인이라 남에게 옮지 않지. 표 4에 예를 모았다.

표 4. 질병의 구분 — 감염성 질병과 비감염성 질병의 예와 원인

구분	질병	원인	웁는가
감염성	결핵	세균(결핵균)	웁는다(기침의 비밀)
감염성	독감(인플루엔자)	바이러스	웁는다(비말·접촉)
감염성	무좀	균류(곰팡이)	웁는다(접촉)
감염성	말라리아	원생생물(말라리아 원충)	모기를 거쳐 웁는다
비감염성	고혈압	생활 습관·유전·나이	웁지 않는다
비감염성	당뇨병	인슐린 분비·작용 이상	웁지 않는다
비감염성	혈우병	유전(혈액 응고 인자 유전자)	웁지 않는다
비감염성	암	유전자 변이의 누적	웁지 않는다

태오 그런데 교수님, 암 중에도 바이러스 때문에 생기는 게 있다고 들었어요. 자궁경부암 백신도 있잖아요.

석 교수 잘 짚었다. 사람 유두종 바이러스(HPV) 감염이 자궁경부암 위험을 크게 높인다. 그래서 그 백신은 바이러스 감염을 막아서 암을 줄이는 것이다. 다만 암 자체가 사람끼리 웁는 것은 아니라서 교과서는 암을 비감염성 질병으로 분류한다. 이렇게 경계에 있는 예가 나오면 “원인 중 무엇이 병원체이고, 무엇이 웁는가”를 나누어 쓰면 된다.

문제 1.1

다음 질병을 감염성 질병과 비감염성 질병으로 나누고, 각각의 원인을 한 단어로 쓰라. 결핵, 당뇨병, 독감, 혈우병, 무좀, 고혈압

하린 제가 할게요. 결핵은 세균, 독감은 바이러스, 무좀은 곰팡이니까 감염성이예요. 당뇨병, 혈우병, 고혈압은 비감염성이고요.

석 교수 비감염성 쪽의 원인도 써야지.

하린 혈우병은 유전이에요. 당뇨병은… 단 걸 많이 먹어서요?

석 교수 그건 원인 하나일 뿐이다. 당뇨병은 혈당을 낮추는 호르몬인 인슐린이 덜 나오거나 잘 듣지 않아서 생긴다. 한 단어로는 “대사(호르몬) 이상”이라고 쓰자. 고혈압은 생활 습관과 유전이 함께 작용한다.

태오 무좀을 “곰팡이”라고 써도 돼요? 교과서에는 “균류”라고 돼 있던데요.

석 교수 답안에서는 교과서 용어인 균류를 쓰는 것이 안전하다. 괄호에 곰팡이를 덧붙여도 좋다.
정답: 감염성 = 결핵(세균), 독감(바이러스), 무좀(균류) / 비감염성 = 당뇨병(대사·호르몬 이상), 혈우병(유전), 고혈압(생활 습관·유전).

1.2 몸은 매일 침입자를 만난다 — 방어의 세 겹

석 교수 우리는 숨 쉴 때마다, 밥 먹을 때마다 세균과 바이러스를 만난다. 그런데 병에 걸리는 날은 드물지. 몸이 여러 겹으로 막고 있기 때문이다. 그림 4를 보자.

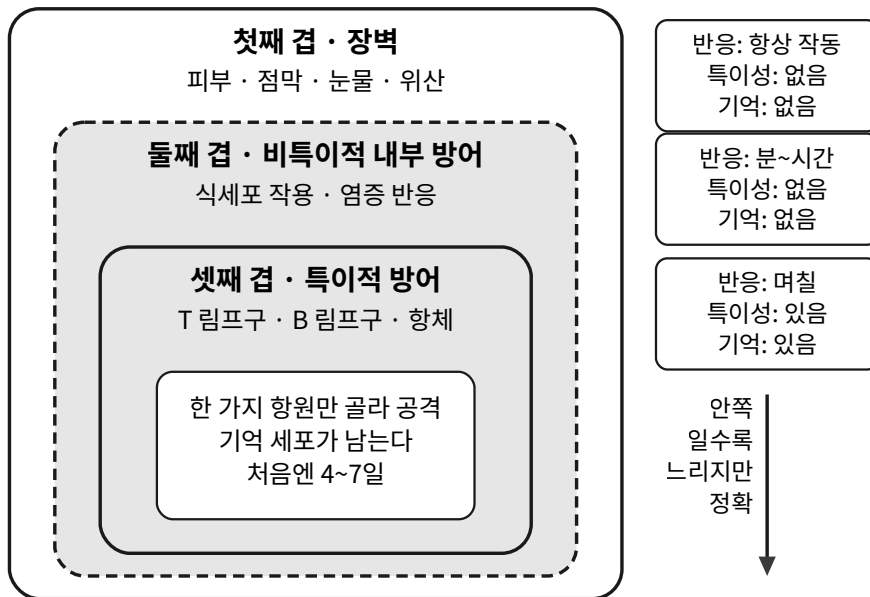


그림 4. 방어 작용의 세 겹 — 바깥에서 안쪽으로 갈수록 반응은 느려지지만 특정 병원체를 골라 공격하고, 가장 안쪽 겹만 기억을 남긴다. 고교 교과서는 첫째·둘째 겹을 묶어 비특이적 방어 작용, 셋째 겹을 특이적 방어 작용이라 부른다

석 교수 첫째 겹은 **장벽**이다. 피부, 코와 기관의 점막, 눈물, 침, 위산이 병원체가 몸속으로 들어오는 것을 막는다. 들어오기 전에 막으니 반응 시간이 따로 없다고 해도 된다. 둘째 겹은 **비특이적 내부 방어**다. 장벽이 뚫려 병원체가 들어오면 식세포가 몰려와 삼키고, 그 자리에 염증이 생긴다. 이 일은 몇 분에서 몇 시간 안에 시작된다. 셋째 겹은 **특이적 방어**다. 림프구가 특정 병원체만 골라 알아보고, 항체를 만들거나 감염된 세포를 없앤다.

태오 셋째 겹이 제일 세 보이는데요, 왜 처음부터 그게 안 나서요?

석 교수 준비에 시간이 걸리기 때문이다. 수많은 림프구 가운데 이번 병원체에 딱 맞는 몇 개를 찾아서 늘려야 한다. 처음 만나는 병원체라면 며칠이 걸린다. 그동안은 첫째·둘째 겹이 버텨 주어야 해.

하린 그러면 둘째 겹은 빠르지만 아무나 공격하고, 셋째 겹은 느리지만 정확한 거네요.

석 교수 그 말에 하나만 보태자. 셋째 겹은 **기억**을 남긴다. 한 번 싸운 병원체를 기억하는 세포가 남아서, 다음에는 훨씬 빨리 대응한다. 첫째·둘째 겹에는 이런 기억이 없다.

이모 그래서 홍역 같은 건 한 번 걸리면 다시 안 걸린다고 하는 거군요.

석 교수 그렇습니다. 그 기억을 병 없이 미리 만들어 두는 것이 백신이에요. **기본개념편 제 11장 (115쪽)**에서 자세히 봅니다.

표 5. 방어의 세 겹 비교 — 속도·특이성·기억

겹	무엇이 막나	반응 시작	고르는가(특이성)	기억
첫째: 장벽	피부·점막·눈물·위산	항상 작동	가리지 않는다	없다
둘째: 비특이적 내부 방어	식세포·염증 반응	분~시간	가리지 않는다	없다
셋째: 특이적 방어	T 림프구·B 림프구·항체	처음엔 4~7일	한 항원만 고른다	있다

태오 표 5를 보니 셋째 겹이 “처음엔 4~7일”이에요. 두 번째로 만나면 더 짧아지는 거죠?

석 교수 그렇다. 그 차이가 **기본개념편 제 10장** (105쪽)의 1차·2차 면역 반응 그래프이고, 기출에서 가장 자주 나오는 장면이다. 지금은 “처음엔 느리고, 기억이 있으면 빠르다”만 잡아 두자.

하린 감기 걸린 이모 몸에서는 지금 세 겹이 다 일하고 있는 거예요?

석 교수 그렇다. 콧물은 첫째 겹, 열과 목의 붓기는 둘째 겹, 닳새째부터 늘어나는 항체는 셋째 겹이다. 한 사람 몸에서 세 겹이 시간차를 두고 차례로 나서는 거지.

태오 이모 체온을 날짜별로 적어 보면 그 시간차가 보이겠네요.

이모 적어 뒀어요. 첫날 37.3 °C, 둘째 날 37.9 °C, 셋째 날 밤 38.2 °C, 넷째 날 37.8 °C, 오늘 아침이 37.2 °C예요.

석 교수 그 숫자를 그대로 그래프에 올려 보자. **그림 5**에서 옛새째와 이레째는 흔한 경과를 따라 36.9 °C, 36.7 °C로 이어 그렸다. 아래 떠는 그날그날 주로 일하는 방어의 겹이다.

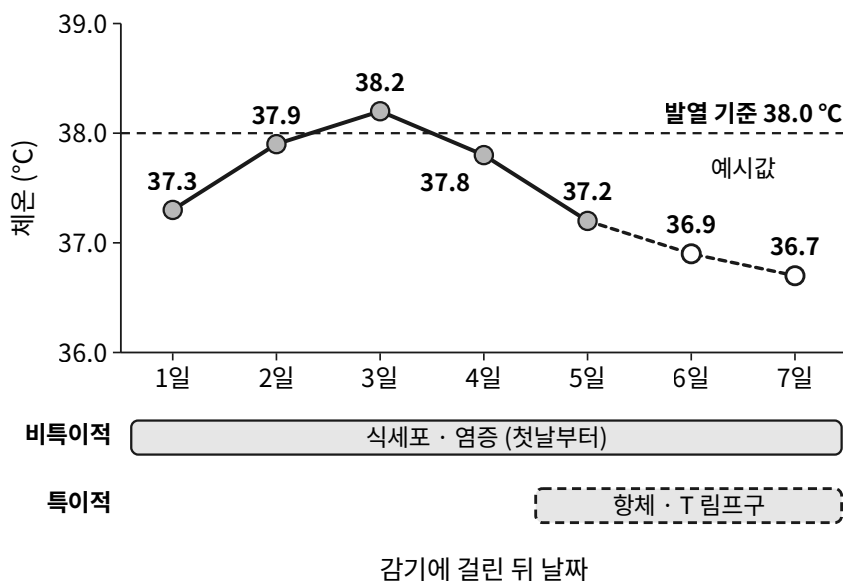


그림 5. 감기 일주일의 체온과 방어의 시간표 — 1~5일째 체온은 이모가 낸 값, 6~7일째는 흔한 경과를 따른 예시값이다. 점선은 발열 기준 38.0 °C. 아래 떠는 비특이적 방어(첫날부터)와 특이적 방어(닷새 무렵부터)가 주역인 기간을 나타낸 모식이다

하린 열이 셋째 날에 제일 높고, 닳새째부터 확 내려가요. 특이적 방어 떠가 시작되는 때랑 맞아요.

석 교수 체온 하나로 면역의 시간표를 다 읽을 수는 없지만, 모양은 그렇다. 처음 사흘은 바이러스가 늘어나는 속도를 비특이적 방어가 겨우 따라가고, 닳새 무렵 항체와 T 림프구가 충분히 늘어나면 바이러스가 줄면서 염증 신호도 잦아든다. 열이 38.0 °C를 넘은 날은 셋째 날 하루뿐이었다는 것도 그래프에서 바로 읽힌다.

태오 그럼 이 그래프로 논술 답을 쓴다면 “체온이 5일째부터 정상 범위로 내려온 것은 특이적 방어 작용이 시작되었기 때문이다”라고 쓰면 돼요?

석 교수 “때문이다”는 너무 세다. 체온만 잰지 항체는 재지 않았으니까. “특이적 방어가 주역이 되는 시기와 맞물린다” 정도로 쓰고, 확인하려면 혈액의 항체 농도를 날짜별로 재야 한다고 덧붙이는 것이 정확한 답안이다. 자료가 보여 주는 것과 추론한 것을 구분하는 습관이 생물 논술에서 가장 중요하다.

1.3 면역학은 어떻게 시작되었나

석 교수 이제 역사를 잠깐 보자. 면역이라는 말은 “세금이나 의무를 면제받는다”는 라틴어 immunitas에서 왔다. 한 번 앓고 나면 같은 병을 면제받는다든가 관찰이 아주 오래전부터 있었어. 그 관찰을 실험으로 바꾼 사람들이 **그림 6**의 연표에 있다.

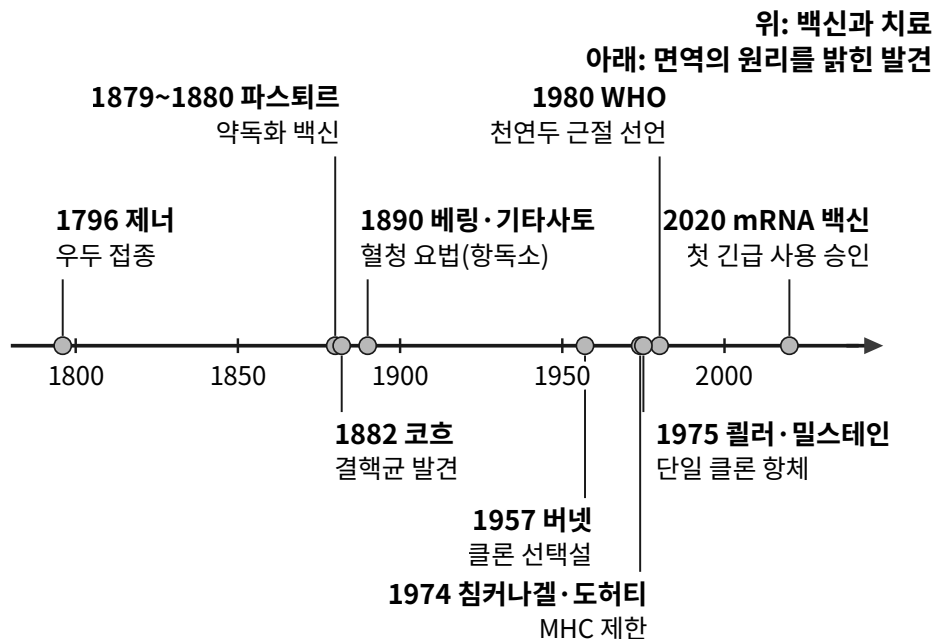


그림 6. 면역학 연표 — 가로축의 위치는 연도에 비례하게 계산해 놓았다. 위쪽은 백신과 치료의 발전, 아래쪽은 면역의 원리를 밝힌 발견이다

석 교수 1796년 영국의 시골 의사 에드워드 제너는 소젖 짜는 사람들이 소의 가벼운 병인 우두(牛痘)를 앓고 나면 천연두에 걸리지 않는다는 이야기를 들었다. 그는 우두에 걸린 사람의 물집에서 고름을 떼서 여덟 살 소년의 팔에 접종했고, 몇 주 뒤 천연두 고름을 접종했다. 소년은 천연두에 걸리지 않았다.

태오 그게 최초의 백신이네요. 백신(vaccine)이라는 말도 그때 생겼어요?

석 교수 라틴어로 소가 vacca다. 우두 접종을 vaccination이라 불렀고, 나중에 파스퇴르가 제너를 기리는 뜻으로 모든 예방 접종에 이 이름을 넓혀 썼다. 그 파스퇴르가 1879~1880년에 닭 콜레라균을 오래 묵혀 독성을 약하게 만든 뒤 닭에 접종하면 병을 막는다는 것을 보였다. 이것이 **약독화 백신**의 시작이다.

하린 코흐는요? 연표에 1882년이 있어요.

석 교수 로베르트 코흐는 1882년에 결핵의 원인이 결핵균이라는 것을 밝혔다. “특정한 병에는 특정한 병원체가 있다”는 생각이 실험으로 굳어진 것이다. 그리고 1890년 베링과 기타사토는 디프테리아·파상풍 독소를 맞은 동물의 혈청(피에서 혈구를 뺀 액체)을 다른 동물에게 넣으면 그 독소를 막는다는 것을 보였다. 혈청 속에 독소를 무력화하는 물질, 오늘날 말로 **항체**가 있었던 거다.

태오 1957년 버넷의 클론 선택설은 **기본개념편 제 6장** (64쪽)에서 배우는 거죠?

석 교수 맞다. 1974년의 MHC 제한은 **기본개념편 제 7장** (74쪽), 1975년의 단일 클론 항체는 **기본개념편 제 14장** (143쪽)의 주제다. 연표 아래쪽 줄이 이 책의 장 순서와 거의 같다. 그리고 1980년, 세계 보건 기구(WHO)가 천연두 근절을 선언했다. 제너의 접종에서 184년 만이다.

이모 사람이 병 하나를 지구에서 없앤 거네요.

석 교수 사람에게 생기는 병 가운데 처음이자 지금까지 유일합니다. 사람에게만 감염되는 바이러스였고, 백신 효과가 좋았고, 앓은 사람이 눈에 잘 띄어서 가능했어요. 2020년에는 mRNA 백신이 처음으로 긴급 사용 승인을 받았습니다. 2백여 년 동안 “병원체를 약하게 만들어 보여 준다”에서 “병원체의 설계도 일부만 보여 준다”로 바뀐 거죠.

1.4 오늘의 눈으로 다시 보는 제너의 실험

석 교수 이제 제너의 실험을 논술 채점자의 눈으로 보자. 결론이 맞았다고 실험이 완벽했던 것은 아니다.

문제 1.2

제너는 소년에게 우두를 접종한 뒤 천연두 고름을 접종했고, 소년은 천연두에 걸리지 않았다. 이 실험 하나만으로 “우두 접종이 천연두를 막는다”고 결론 내릴 때의 약점을 쓰고, 이를 보완할 대조 실험을 설계하라.

태오 약점은… 한 명밖에 안 했다는 거요. 표본이 너무 적어요.

석 교수 그것도 약점이다. 그런데 더 근본적인 것이 있다. 한 명이 아니라 백 명에게 했어도 남은 문제야.

하린 우두를 안 맞은 사람과 비교를 안 했어요! 그 소년은 원래 천연두에 안 걸리는 몸이었을 수도 있잖아요.

석 교수 바로 그거다. 비교 기준이 되는 **대조군**이 없다. 천연두 고름을 접종해도 모든 사람이 병에 걸리는 것은 아니었으니, 이 소년이 우두 덕분에 안 걸렸는지 원래 걸리지 않을 사람이었는지 가를 수 없다. 보완하려면?

태오 비슷한 아이들을 두 집단으로 나눠서, 한 집단에만 우두를 접종하고, 다른 집단은 접종하지 않거나 우두가 아닌 무해한 것을 접종해요. 그리고 같은 조건에서 천연두에 노출시켜서 발병한 비율을 비교해요.

석 교수 실험 설계로는 정확하다. 조작 변인은 우두 접종 여부 하나, 나이·건강·노출 조건 같은 통제 변인은 같게, 종속 변인은 발병 비율이다. 그런데 하나 더 생각해야 할 게 있다. 사람에게 천연두를 일부러 넣는 실험을 지금 할 수 있을까?

이모 안 되죠. 아이가 죽을 수도 있는 병인데요.

석 교수 그렇습니다. 그래서 오늘날은 병원체를 일부러 넣지 않습니다. 많은 사람을 제비뽑기처럼 무작위로 두 집단에 나누어 한쪽에는 백신, 다른 쪽에는 겉모양만 같은 가짜 주사(위약)를 놓고, 일상에서 자연스럽게 병에 걸리는 비율을 비교하지요. 누가 무엇을 맞았는지 참가자도 의사도 모르게 하는 것을 이중 맹검이라고 합니다.

태오 위약을 쓰는 건 “주사를 맞았다”는 사실 자체가 결과에 영향을 줄 수 있어서죠?

석 교수 그렇다. 맞았다는 생각 때문에 조심해서 행동하거나 증상을 다르게 보고할 수 있으니, 두 집단이 다른 점을 백신 성분 하나로 줄이는 것이다. **정답: 대조군이 없어 소년이 본래 천연두에 걸리지 않는 사람이었을 가능성을 배제할 수 없고, 표본이 한 명뿐이다. 조건이 비슷한 여러 사람을 무작위로 두 집단에 나눠 한 집단만 우두를 접종하고, 나머지 조건은 같게 한 뒤 발병 비율을 비교해야 한다. 현대에는 병원체를 일부러 넣지 않고 위약 대조 시험으로 자연 감염 비율을 비교한다.**

하린 백신이 얼마나 잘 듣는지도 그 비율로 계산해요?

석 교수 위약군에서 1 %가 걸리고 백신군에서 0.05 %가 걸렸다면, 백신이 발병을 95 % 줄였다고 말한다. 그 계산은 **기본개념편 제 11장** (115쪽)에서 한다.

“결과가 맞았으니 실험도 맞다”는 오류

결론이 옳다는 것과 그 결론을 실험이 뒷받침한다는 것은 다르다. 생물 논술에서 실험을 평가하라는 문제가 나오면 ① 대조군이 있는가 ② 조작 변인이 하나인가 ③ 표본이 충분한가 ④ 윤리적으로 가능한가를 차례로 점검한다.

1.5 이 책의 길 — 네 장면

석 교수 마지막으로 이 책 전체를 네 장면으로 미리 보자. 표지 그림의 네 칸이 바로 그것이다.

태오 첫째가 염증이죠? 상처에 호중구가 먼저 오고 대식세포가 뒤따르는 거요.

석 교수 그렇다. **기본개념편 제 4장** (45쪽)와 **기본개념편 제 5장** (54쪽)에서 다룬다. 둘째는 특이적 방어의 길이다. 대식세포가 병원체 조각을 보여 주면 보조 T 림프구가 지휘해서 세포독성 T 림프구와 B 림프구가 각자 일을 시작한다. **기본개념편 제 6장** (64쪽)부터 **기본개념편 제 9장** (94쪽)까지가 이 길이다.

하린 셋째는 1차·2차 면역 반응 그래프, 넷째는 백신과 집단 면역이고요.

석 교수 그 둘이 **기본개념편 제 10장** (105쪽)과 **기본개념편 제 11장** (115쪽)이다. 그 뒤에 바이러스가 변해서 백신을 피하는 이야기, 면역이 지나치거나 모자랄 때의 병, 그리고 항체를 기술로 쓰는 이야기가 이어진다. 한 줄로 줄이면 “먼저 막고, 정확히 골라, 기억해 둔다”이다.

이모 그 한 줄이면 제 감기 일주일도 설명되네요. 콧물로 막고, 항체로 골라서, 기억해 두는 거요.

석 교수 그렇습니다. 다음 주에는 그 침입자의 얼굴부터 봅시다. 세균과 바이러스가 어떻게 다른지 알아야 몸이 왜 다른 무기를 쓰는지 이해할 수 있어요.

핵심 면역 단원을 여는 네 가지

1. 질병은 병원체가 원인인 감염성 질병(결핵·독감·무좀·말라리아)과 병원체 없이 생기는 비감염성 질병(고혈압·당뇨병·혈우병)으로 나눈다.
2. 몸의 방어는 장벽 → 비특이적 내부 방어(식세포·염증) → 특이적 방어(림프구·항체)의 세 겹이다.
3. 바깥 겹일수록 빠르지만 가리지 않고, 가장 안쪽 겹은 느리지만 한 항원만 골라 공격하며 기억을 남긴다.
4. 실험을 평가할 때는 대조군·조작 변인·표본 수·윤리를 차례로 점검한다. 제너의 실험에는 대조군이 없었다.

스스로 풀어 보기

1. 말라리아와 혈우병을 감염성·비감염성으로 구분하고, 그렇게 판단한 근거를 원인으로 쓰라.
2. 방어의 세 겹 가운데 기억을 남기는 것은 무엇이며, 그 결과 같은 병원체를 다시 만나면 무엇이 달라지는가?
3. 감기에 걸렸을 때 나는 열과 콧물이 각각 방어의 몇째 겹과 관계있는지 쓰라.
4. 어떤 약을 먹은 환자 20명 가운데 18명이 나았다는 자료만으로 약의 효과를 결론 내릴 수 없는 이유와 보완 방법을 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 질병 구분과 방어의 세 겹은 기출 제시문의 첫 문단으로 거의 그대로 나온다. 4부의 **기출문제 1**(경희대 2026) (202쪽)은 “감기와 코로나19는 바이러스가 병원체로 작용해 발생하는 감염성 질병이다”라는 문장과 “염증 반응과 림프구에 의한 면역 반응”이라는 두 갈래의 방어로 시작하고, **기출문제 6**(연세대 2023) (247쪽)의 제시문 (가)·(나)도 감염성·비감염성 질병의 구분과 같은 두 갈래의 방어로 문을 연다. **기출문제 7**(연세대 2021) (258쪽)은 1차·2차 면역 반응과 백신을 “생물의 특성”이라는 큰 틀에서 묻는데, 이 장의 출발점에서 짚은 생물의 특성(자극과 반응, 물질대사)이 답의 뼈대가 된다.

이 장의 참고문헌

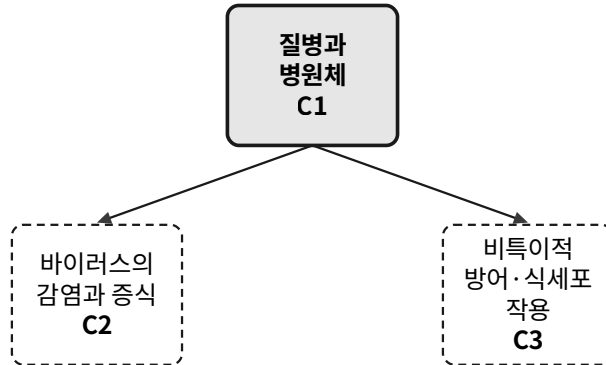
- Riedel, S. (2005). Edward Jenner and the history of smallpox and vaccination. Baylor University Medical Center Proceedings, 18(1), 21–25. <https://doi.org/10.1080/08998280.2005.11928028>
- Murphy, K., & Weaver, C. (2016). Janeway's immunobiology (9th ed.). Garland Science.
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). Campbell biology (12th ed.). Pearson.
- 경희대학교 입학처. (2025). 2026학년도 모의논술 의·약학계 문제 및 해설 [시험 자료].
- 연세대학교 미래캠퍼스 입학처. (2023). 2023학년도 논술고사 창의인재·의예과 문제 및 예시답안 [시험 자료].

제 2장 병원체의 얼굴: 세균·바이러스·그 밖의 것들

새 개념 세균 · 바이러스 · 원생생물 · 균류 · 프라이온 · 항생제

이어짐 바이러스 감염 3장 · 식세포 4장 · 항원 변이 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(C1 질병과 병원체)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 6. 제 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 (경희대 2026년) (202쪽)	항체 그래프 고르기와 휴지 전위	C1 질병과 병원체

냉장고 밖에 둔 김밥 — 20분마다 두 배

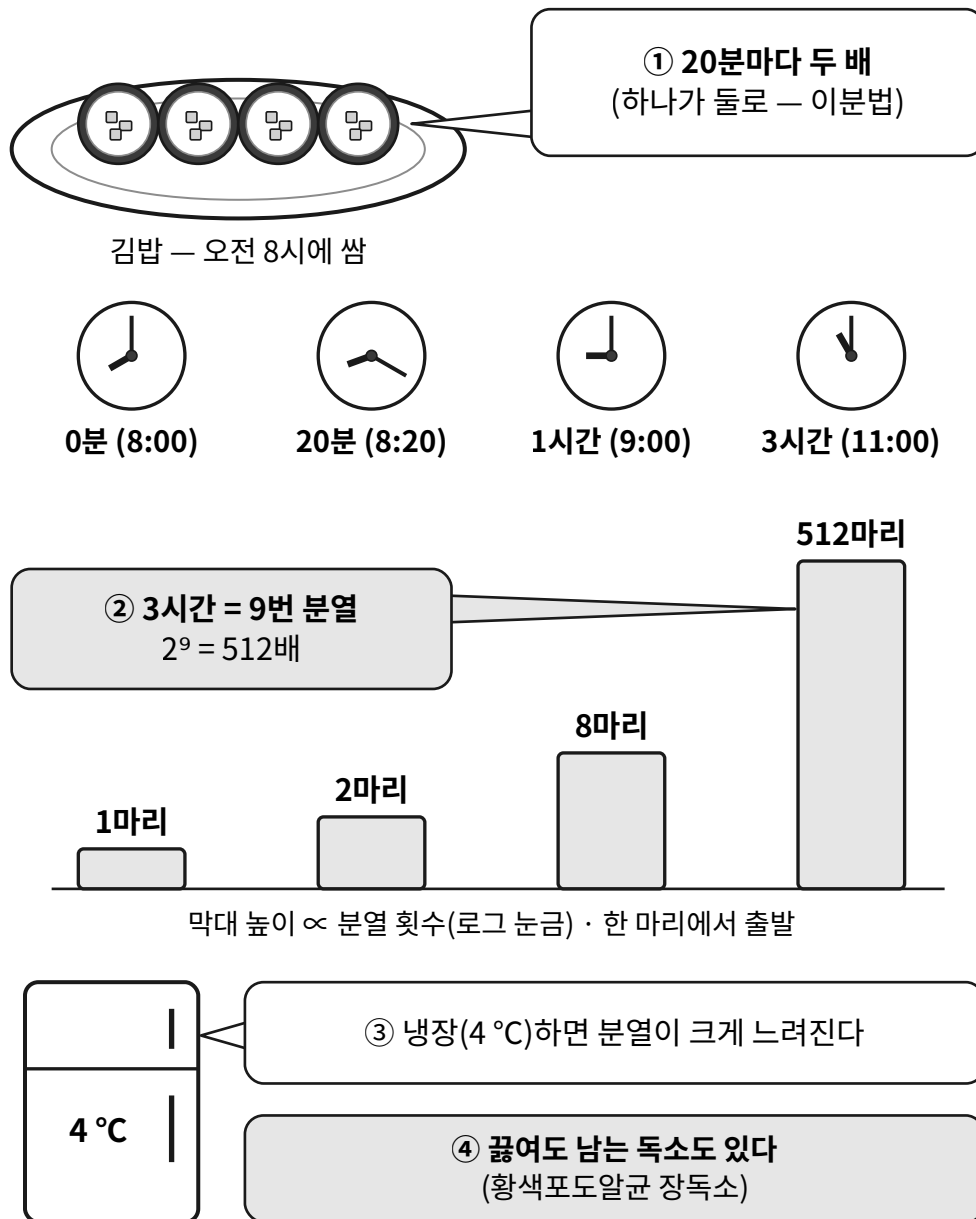


그림 8. 냉장고 밖에 둔 김밥 — 20분마다 두 배가 되는 세균(모식도, 세균 수는 한 마리에서 출발한 계산값이며 최적 조건을 가정했다)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 세균은 하나가 둘로 나뉘는 이분법으로 기하급수적으로 늘어난다
2. 20분마다 한 번씩 3시간에 9번 분열하면 $2^9 = 512$ 배가 된다
3. 온도를 4 °C로 낮추면 분열이 크게 느려진다

이 장의 출발점

- **기본개념편 제 1장** (16쪽)의 감염성 질병과 병원체의 뜻.
- 원핵세포는 핵막이 없고, 진핵세포는 핵막으로 싸인 핵이 있다(생명과학 I “세포의 구조”).
- 2의 거듭제곱과 지수: $2^{10} = 1,024$, $2^{24} = 16,777,216$. 로그 눈금 그래프는 한 칸이 10배다.

일주일 뒤 토요일, 이모는 감기가 다 나아 목소리가 맑았다. 대신 이모의 손에는 랩에 쓴 김밥 한 줄이 들려 있었다. 아침에 싸서 차 안에 두었다가 깜박 잊었다고 했다.

이모 교수님, 이거 아침 8시에 쓴 건데 지금이 11시예요. 차 안이 꽤 따뜻했거든요. 먹어도 될까요?

석 교수 오늘 수업의 첫 문제를 가져오셨네요. 세 시간 동안 따뜻한 곳에 있었다면 세균이 몇 배로 늘었는지 계산해 보고 판단합시다.

태오 세균이 20분마다 두 배가 된다고 들었어요. 그럼 세 시간이면….

석 교수 서두르지 말고, 먼저 세균이 어떤 생물인지부터 보자. 오늘은 병원체의 얼굴을 하나씩 본다. 세균, 바이러스, 그리고 원생생물·균류·프라이온이다. 얼굴을 알아야 몸이 왜 서로 다른 무기를 쓰는지, 약이 왜 어떤 병원체에는 들고 어떤 병원체에는 안 듣는지 알 수 있다.

2.1 세균: 혼자 사는 원핵세포

석 교수 세균은 세포 하나가 한 개체인 생물이다. 핵막이 없는 **원핵세포**라서 DNA가 세포질에 그대로 놓여 있다. 바깥에서부터 보면 세포벽, 세포막, 세포질이 있고, 세포질 안에 단백질을 만드는 리보솜과 DNA가 있다. 편모로 헤엄치는 세균도 있다.

하린 세포벽은 식물에만 있는 거 아니예요?

석 교수 세균도 세포벽이 있다. 다만 재료가 다르다. 식물의 세포벽은 셀룰로스, 세균의 세포벽은 펩티도글리칸이라는 당과 아미노산이 그물처럼 엮인 물질이다. 이 차이가 마지막 절의 항생제 이야기에서 중요해진다.

하린 세균은 다 막대 모양이에요?

석 교수 모양으로 세 무리를 나눈다. 공 모양의 구균(포도알균, 폐렴알균), 막대 모양의 간균(대장균, 결핵균), 나선 모양의 나선균(매독균)이다. 이름에 “알균”이 붙으면 공 모양이라고 생각하면 된다. 크기는 대개 $1\sim5\ \mu\text{m}$ 로, 사람 세포($10\sim30\ \mu\text{m}$)보다 열 배쯤 작다.

태오 세균은 어떻게 늘어나요?

석 교수 하나가 자라서 둘로 갈라진다. 이것을 **이분법**이라 한다. 대장균은 영양이 넉넉하고 온도가 알맞으면 약 20분마다 한 번씩 분열한다. 한 번 나뉘면 2마리, 두 번이면 4마리, n번이면 2^n 마리다.

처음 수가 N_0 이고 n번 분열하면 $N = N_0 \times 2^n$, 분열 간격이 20분이면 $n = (\text{시간} \div 20\text{분})$

문제 2.1

대장균 100마리가 20분마다 한 번씩 분열한다. 3시간 뒤에는 몇 마리가 되는가? 8시간 뒤에는 처음의 몇 배가 되는가?

- 태오** 3시간은 180분이니까 $180 \div 20 = 9$ 번 분열해요. $2^9 = 512$ 니까 $100 \times 512 = 51,200$ 마리요.
- 석 교수** 맞다. 8시간은?
- 태오** $480 \div 20 = 24$ 번이니까 2^{24} 배예요. 2^{10} 이 1,024니까 2^{20} 은 약 100만이고, 거기에 $2^4 = 16$ 을 곱하면... 약 1,600만 배요.
- 석 교수** 어렵은 좋다. 정확히는 $2^{24} = 16,777,216$ 배다. 2^{10} 을 1,000으로 어렵하면 1,600만, 1,024로 정확히 계산하면 1,678만이 나온다. 어렵과 정확값이 약 5 % 차이 나니, 논술 답안에서는 정확한 값을 쓰고 어렵은 계산에 쓰자. **정답: 3시간 뒤 51,200마리(512배), 8시간 뒤 16,777,216배(약 1.68×10^7 배).**
- 하린** 그럼 하루가 지나면 2^{72} 배예요? 지구가 세균으로 덮이겠어요.
- 석 교수** 그런 일은 없지. **그림 9**를 보자. 실선은 20분마다 두 배가 계속되는 계산이고, 점선은 양분과 공간이 한정되어 일정한 수(여기서는 10^9 마리)에서 멈추는 경우를 계산한 것이다.

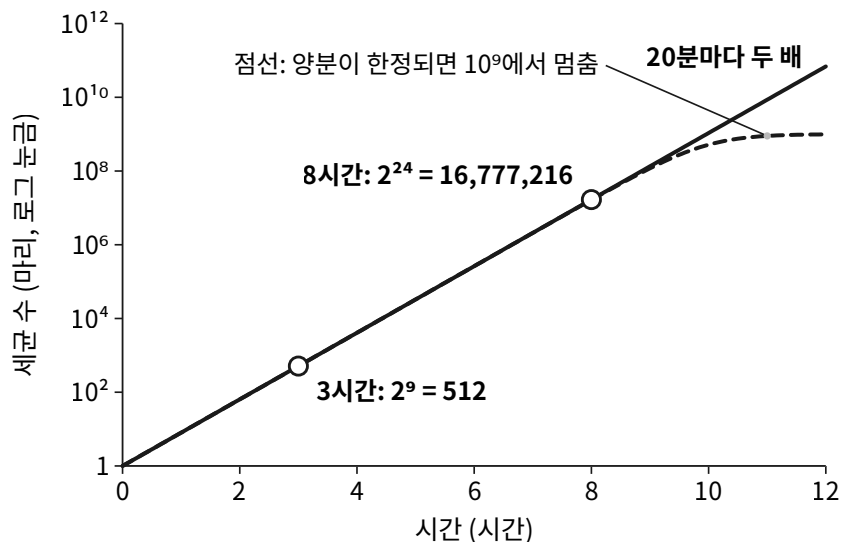


그림 9. 세균 증식의 계산 곡선 — 한 마리에서 출발해 20분마다 분열할 때의 수 $N = 2^{(t/20)}$ (실선)과, 양분·공간이 한정되어 10^9 마리에서 멈추는 로지스틱 증식(점선). 세로축은 로그 눈금이어서 한 칸이 100배이며, 지수 증식은 직선으로 보인다

- 태오** 세로축이 로그 눈금이라서 실선이 곧게 올라가네요. 8시간까지는 두 선이 거의 겹치고, 10시간쯤부터 점선이 꺾여서 평평해져요.
- 석 교수** 그렇다. 세균이 적을 때는 양분이 넘치니 두 배씩 늘지만, 많아지면 양분이 떨어지고 노폐물이 쌓여 분열이 멈춘다. 몸속 감염도 마찬가지다. 다만 몸속에서는 양분보다 면역이 먼저 세균 수를 누른다. 처음 몇 시간 동안 세균 수가 기하급수적으로 늘기 때문에, 방어의 첫째·둘째 겹이 빨리 움직여야 하는 거다.
- 이모** 그럼 제 김밥은 세균이 512배가 된 거네요.
- 석 교수** 따뜻한 차 안이 최적 조건이었다면요. 실제로는 처음 묻은 세균 수와 종류, 온도에 따라 다릅니다. 그래도 계산이 말해 주는 것은 분명해요. 세 시간이면 아홉 번 두 배가 될 수 있다는 것. 여름철에 김밥을 실온에 오래 두지 말라는 이유입니다.
- 이모** 그래도 다시 데우면 세균이 다 죽으니까 괜찮지 않아요?

석 교수 세균은 대부분 죽습니다. 문제는 세균이 이미 만들어 놓은 독소예요. 손에 상처가 있는 사람이 만든 음식에 잘 묻는 황색포도알균은 늘어나면서 장독소라는 단백질을 내는데, 이 독소는 열에 강해서 끓여도 잘 파괴되지 않습니다. 그래서 이 식중독은 먹고 몇 시간 안에 구토가 시작돼요. 세균이 몸에서 늘어날 시간도 없이 이미 만들어진 독소가 작용하는 거죠.

태오 그럼 냉장고에 넣는 건 세균을 죽이는 게 아니라 분열을 늦추는 거예요?

석 교수 그렇다. 4 °C쯤에서는 대부분의 식중독 세균이 분열을 거의 멈춘다. 죽이는 것이 아니라 2ⁿ의 n이 늘어나는 속도를 늦추는 거야. 냉장고에서 꺼내 다시 따뜻해지면 분열이 다시 시작된다.

하린 그런데 세균은 다 나쁜 거예요? 요구르트에도 세균이 있잖아요.

석 교수 병을 일으키는 세균은 일부다. 우리 장 속에는 사람 세포 수와 맞먹는 수의 세균이 살고, 대부분은 해가 없거나 오히려 이롭다. 이 세균들이 장 점막의 자리와 양분을 먼저 차지하고 있으면 병원균이 끼어들 틈이 줄어든다. 항생제를 오래 먹은 뒤 설사를 하는 것은 이 이로운 세균까지 줄어들어서이기도 하다.

2.2 바이러스: 세포가 아닌 병원체

석 교수 이제 바이러스다. 바이러스는 세포가 아니다. 유전 물질인 핵산(DNA 또는 RNA)과 그것을 싸는 단백질 껍질, 곧 **캡시드**만으로 되어 있다. 인플루엔자 바이러스나 코로나바이러스처럼 캡시드 바깥에 숙주 세포의 막에서 얻은 지질 막, 곧 **외피**를 한 겹 더 두른 바이러스도 있다.

하린 크기는 얼마나 돼요?

석 교수 인플루엔자 바이러스와 코로나바이러스는 지름이 약 0.1 μm(100 nm)다. 대장균이 약 2 μm이니 $2 \div 0.1 = 20$, 바이러스는 대장균 길이의 1/20 정도다. 일반 광학 현미경으로는 보이지 않고 전자 현미경으로 봐야 한다. **그림 10**에 두 병원체의 구조를 나란히 그렸다. 축척은 서로 다르다.

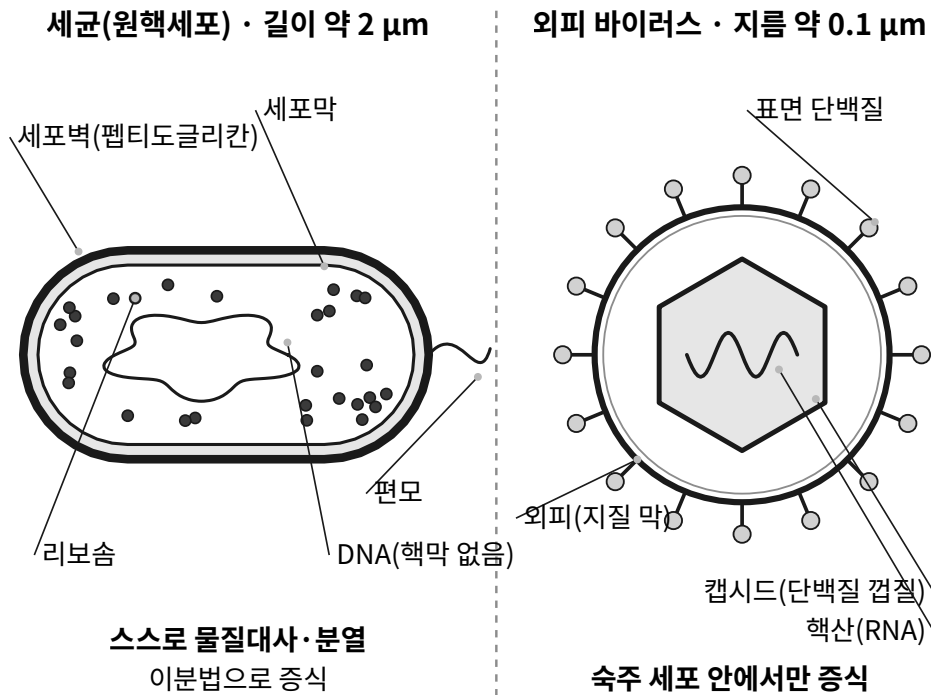


그림 10. 세균과 바이러스의 구조 비교 — 왼쪽 세균(원핵세포)은 세포벽·세포막·리보솜·DNA를 모두 가지고, 오른쪽 외피 바이러스는 핵산과 캡시드, 외피와 표면 단백질만 가진다. 두 그림의 축척은 다르며 실제로 바이러스는 세균 길이의 약 1/20이다

이모 그렇게 작은 걸 처음에 어떻게 알아냈어요?

석 교수 거름 실험으로요. 1892년 러시아의 이바놉스키는 담배 모자이크병에 걸린 잎의 즙을 세균이 빠져나가지 못하는 아주 고운 자기(도자기) 거름 장치에 걸렸습니다. 거름 즙에는 세균이 없는데도 건강한 담배잎에 바르자 병이 생겼어요. “세균보다 작은, 거름 장치를 지나가는 병원체가 있다”는 결론이 나온 거죠. 대조군은 병들지 않은 잎의 즙을 같은 장치에 거른 것, 조작 변인은 즙을 얻은 잎이 병들었는가였습니다.

태오 바이러스에는 리보솜이 없네요. 그럼 단백질을 어떻게 만들어요?

석 교수 스스로는 못 만든다. 숙주 세포에 들어가서 숙주의 리보솜, 숙주의 ATP, 숙주의 아미노산을 빌려 쓴다. 그래서 바이러스는 숙주 세포 밖에서는 증식하지 못한다. 세포 밖의 바이러스는 그저 핵산을 담은 단백질 알갱이일 뿐이야. 1935년 스탠리는 담배 모자이크 바이러스를 소금처럼 결정으로 만들기도 했다. 결정이 된 바이러스를 다시 담배잎에 문지르면 병이 생겼다.

태오 바이러스는 아무 세포에나 들어가요?

석 교수 아니다. 바이러스마다 들어갈 수 있는 숙주와 세포가 정해져 있다. 세균만 감염시키는 바이러스(박테리오파지)는 사람 세포에 들어가지 못하고, 인플루엔자 바이러스는 주로 기도의 상피 세포를 감염시킨다. 이것을 정하는 것이 바이러스 표면 단백질과 세포 표면 수용체의 짝이다. **기본개념편 제 3장 (36쪽)**의 주제다.

하린 유전 물질이 DNA인 바이러스도 있고 RNA인 바이러스도 있다고 하셨죠?

석 교수 천연두 바이러스나 B형 간염 바이러스는 DNA, 인플루엔자·코로나·홍역 바이러스는 RNA를 유전 물질로 가진다. RNA를 복제하는 효소는 실수를 고치는 기능이 약해서 RNA 바이러스는 변이가 잦다. 이 점도 **기본개념편 제 3장 (36쪽)**과 **기본개념편 제 12장 (125쪽)**에서 다시 쓴다.

하린 결정이 되는데 살아 있다고 할 수 있어요?

석 교수 그 질문이 바로 다음 문제다.

문제 2.2

바이러스를 생물로 볼 수 있는지를 생물의 특성 네 가지 — ① 세포로 되어 있다 ② 스스로 물질 대사를 한다 ③ 증식하고 유전 물질을 자손에게 전한다 ④ 변이가 생기고 진화한다 — 에 비추어 판정하라.

하린 ①은 아니에요. 세포가 아니니까요. ②도 아니에요. 리보솜도 없고 에너지도 숙주 걸 쓰니까요.

태오 ③은 맞아요. 숙주 세포 안에서 자기 핵산을 복제해서 똑같은 바이러스를 많이 만들잖아요. ④도 맞아요. 독감 백신을 해마다 바꾸는 게 바이러스가 변해서라고 들었어요.

석 교수 둘 다 정확하다. 그럼 결론은?

태오 반은 생물, 반은 무생물이요.

석 교수 교과서 표현으로는 “생물과 무생물의 중간적 존재”다. 답안에서는 판정 근거를 두 묶음으로 나누어 쓰자. 세포 구조가 없고 스스로 물질대사를 하지 못한다는 점은 무생물적 특성, 숙주 세포 안에서 증식하고 유전 물질을 전하며 변이가 생긴다는 점은 생물적 특성이다. **정답: ①·②를 갖지 않으므로 무생물적이고, ③·④를 가지므로 생물적이다. 따라서 바이러스는 생물과 무생물의 중간적 존재로 본다.**

석 교수 그림 11에 판정 결과를 한눈에 보이게 정리했다. 세균과 비교하면 바이러스에 무엇이 빠져 있는지가 분명해진다.

	세균	바이러스
① 세포로 되어 있다	○	×
② 스스로 물질대사를 한다	○	×
③ 증식하고 유전 물질을 전한다	○	△
④ 변이가 생기고 진화한다	○	○

○ 가짐 × 가지지 않음 △ 숙주 세포 안에서만

그림 11. 생물의 특성으로 판정한 세균과 바이러스 — 네 가지 특성 가운데 세균은 모두 가지고, 바이러스는 숙주 세포 안에서의 증식·유전과 변이만 가진다. 동그라미는 가짐, 가위표는 가지지 않음, 세모는 숙주 세포 안에서만 가짐을 뜻한다

태오 증식 칸이 세모인 게 핵심이네요. “숙주 세포 안에서만”이라는 조건을 빼먹으면 틀린 답이 되겠어요.

석 교수 그렇다. 조건이 붙은 판정은 조건까지 써야 점수가 된다.

이모 그럼 바이러스는 “죽인다”는 말을 쓰면 안 되겠네요.

석 교수 정확히는 “불활성화한다”고 씁니다. 알코올 소독제가 외피를 녹이면 바이러스는 세포에 붙지 못하게 되지요. **기본개념편 제 3장** (36쪽)에서 바이러스가 세포에 들어가는 과정을 단계별로 보겠습니다.

2.3 원생생물·균류·프라이온

석 교수 나머지 병원체도 간단히 보자. **원생생물**은 핵이 있는 진핵생물 가운데 단세포인 것이 많다. 말라리아 원충은 모기가 사람을 물 때 들어와서 간과 적혈구 안에서 늘어난다. 적혈구 안에서 늘어난 원충이 적혈구를 한꺼번에 터뜨리고 나와 새 적혈구로 들어가는데, 그때마다 높은 열이 난다. 우리나라에서 볼 수 있는 삼일열 말라리아는 이 주기가 약 48시간이라 열이 이를 간격으로 오르내린다. 모기가 옮기므로 모기를 줄이는 것이 중요한 예방법이다.

태오 균류는 곰팡이랑 효모쥬? 무좀이 그거고요.

석 교수 그렇다. 무좀은 피부의 각질을 먹고 사는 백선균 때문에 생긴다. 균류도 진핵생물이라 사람 세포와 닮은 점이 많아서, 사람 세포는 덜 다치게 하면서 균류만 골라 죽이는 약을 만들기가 세균의 경우보다 어렵다.

하린 프라이온은 처음 들어요.

석 교수 **프라이온**은 핵산 없이 단백질만으로 된 감염성 입자다. 정상 프라이온 단백질이 잘못 접히면, 그 잘못 접힌 단백질이 옆의 정상 단백질까지 잘못 접히게 만든다. 잘못 접힌 단백질이 뇌에 쌓이면 뇌 조직이 스펀지처럼 구멍이 숭숭 뚫린다. 크로이츠펔트-야코프병과 소의 광우병이 그 예다.

태오 유전 물질이 없는데 늘어난다는 게 신기해요.

석 교수 늘어나는 것은 “잘못 접힌 모양”이다. 새 단백질을 만드는 것이 아니라 이미 있는 단백질의 모양을 바꾸는 거지. 끓여도 잘 파괴되지 않아 소독도 어렵다. 치료법이 없으니 감염 경로를 끊는 것이 유일한 대책이다. 광우병이 퍼졌을 때 소의 뇌와 척수 같은 부위를 사료로 쓰지 못하게 금지한 것이 그 예다. 면역도 프라이온을 잘 막지 못한다. 잘못 접힌 단백질이 우리 몸의 단백질과 아미노산 서열이 같아서 면역계가 “남”으로 알아보지 못하기 때문이다. 지금까지 본 병원체를 표 7에 정리하자.

표 7. 병원체 비교 — 세포 구조, 스스로 증식하는가, 대표 질병과 치료

병원체	세포 구조	스스로 증식	대표 질병	치료·예방
세균	원핵세포	한다(이분법)	결핵, 콜레라, 세균성 식중독	항생제, 백신
바이러스	세포 아님(핵산 + 캡시드)	숙주 세포 안에서만	독감, 코로나19, 홍역	항바이러스제, 백신
원생생물	진핵세포(대개 단세포)	한다	말라리아, 수면병	항원충제, 모기 방제
균류	진핵세포	한다	무좀, 칸디다증	항진균제
프라이온	세포 아님(단백질만)	정상 단백질을 변형	크로이츠펔트-야코프병, 광우병	치료법 없음, 감염 경로 차단

2.4 항생제는 왜 바이러스에 듣지 않나

이모 교수님, 감기 걸렸을 때 병원에서 항생제를 달라고 했더니 의사 선생님이 감기엔 소용없다고 하셨어요. 왜 그래요?

- 석 교수** 항생제가 어디를 겨냥하는지 보면 답이 나옵니다. 1928년 플레밍이 발견한 페니실린은 세균의 세포벽, 정확히는 펩티도글리칸을 만드는 효소를 막아요. 세포벽 없이 자라던 세균은 물을 빨아들이다 터져 버립니다. 스트렙토마이신이나 테트라사이클린 같은 항생제는 세균의 리보솜에 붙어 단백질 합성을 막고요.
- 태오** 사람 세포에는 펩티도글리칸 세포벽이 없고, 리보솜도 세균 것과 모양이 조금 다르니까 사람은 덜 다치는 거네요.
- 석 교수** 그렇다. 그런데 바이러스는?
- 하린** 세포벽도 없고 자기 리보솜도 없어요. 항생제가 겨냥할 데가 없네요!
- 석 교수** 그래서 항생제는 바이러스에 듣지 않는다. 바이러스를 막으려면 바이러스만 가진 단백질, 예를 들어 바이러스의 복제 효소나 세포 밖으로 빠져나오는 데 쓰는 효소를 막는 항바이러스제를 쓰거나, 백신으로 미리 면역을 만들어야 한다. 항바이러스제의 구체적인 작용은 교과 밖 심화다.
- 이모** 그럼 감기에 항생제를 먹으면 손해만 보는 거예요?
- 석 교수** 손해가 하나 있습니다. **항생제 내성균**이에요. 세균 10^9 마리 가운데 우연히 항생제를 건디는 돌연변이가 1,000만 마리에 하나꼴, 곧 10^{-7} 의 비율로 있다고 해 봅시다. $10^9 \times 10^{-7} = 100$ 마리가 내성균이에요. 항생제가 나머지를 다 죽이면 그 100마리만 남아 다시 2^n 으로 늘어납니다.
- 태오** 그 100마리가 다시 10^9 마리가 되려면 얼마나 걸려요? $10^9 \div 100 = 10^7$ 배가 되어야 하니까... 2^{23} 이 약 838만, 2^{24} 가 약 1,678만이니깐 24번 분열이 필요해요. 20분씩이면 480분, 8시간이요.
- 석 교수** 계산이 정확하다. 내성균만으로 이루어진 집단이 하룻밤 사이에 다시 자란다는 뜻이다. 이번에는 같은 항생제가 듣지 않지.
- 태오** 항생제가 내성균을 만든 게 아니라, 원래 있던 내성균을 골라 남긴 거네요.
- 석 교수** 그 구분이 핵심이다. 변이는 항생제와 상관없이 무작위로 생기고, 항생제는 그중 건디는 것을 남기는 **선택**을 한다. 같은 논리가 **기본개념편 제 12장** (125쪽)에서 바이러스가 백신을 피하는 이야기로 다시 나온다. “세균이 항생제를 이기려고 변했다”라고 쓰면 감점이다.
- 이모** 그래서 항생제는 의사가 처방한 기간 동안 끝까지 먹으라고 하는 거군요. 좀 나왔다고 중간에 끊으면 덜 죽은 세균이 남으니까요.
- 석 교수** 그렇습니다. 남은 세균 가운데 항생제를 조금이라도 더 잘 건디는 것이 살아남을 가능성이 크니까요. 반대로 필요 없는 항생제, 예를 들어 감기에 먹는 항생제는 장 속의 세균들에게 괜히 선택압만 걸어 주는 셈입니다.

목적에 있는 변이처럼 쓰지 말 것

“세균이 항생제를 피하기 위해 돌연변이를 일으켰다”는 목적론적 서술이다. 변이는 무작위로 먼저 있고, 항생제(환경)가 그중 내성을 가진 개체를 선택해 그 빈도가 높아진다고 써야 한다.

핵심 병원체를 가르는 네 가지 질문

1. 세포인가? 세균·원생생물·균류는 세포, 바이러스·프라이온은 세포가 아니다.
2. 스스로 증식하는가? 세균은 이분법으로 $N = N_0 \times 2^n$, 바이러스는 숙주 세포 안에서만 증식한다.
3. 무엇을 겨냥해 치료하나? 항생제는 세균의 세포벽(펩티도글리칸)·리보솜을 겨냥하므로 바이러스에는 듣지 않는다.
4. 내성은 어떻게 생기나? 무작위로 생긴 내성 변이를 항생제가 선택한 결과다.

스스로 풀어 보기

1. 대장균 50마리가 20분마다 분열할 때 2시간 뒤의 수를 구하라.
2. 세균 수가 처음의 1,024배가 되는 데 걸리는 시간을 구하라(분열 간격 20분).
3. 바이러스가 숙주 세포 밖에서 증식하지 못하는 이유를 바이러스의 구조로 설명하라.
4. 페니실린이 사람 세포는 거의 해치지 않으면서 세균을 죽이는 이유를 쓰라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

병원체의 구조는 기출 제시문이 가장 먼저 꺼내는 재료다. 4부의 **기출문제 1**(경희대 2026) (202쪽) 제시문 [라]는 “바이러스는 유전 물질과 이를 둘러싸 보호하는 껍질로 이루어져 있으며, 이러한 구조는 숙주 세포에 침입하여 증식하는 데 중요한 요인이 된다”고 이 장의 바이러스 구조를 그대로 쓰고, **기출문제 6**(연세대 2023) (247쪽)의 제시문 (가)도 바이러스를 “유전 물질과 유전 물질을 둘러싼 껍질”로 소개한다. **기출문제 5**(연세대 2023) (238쪽)에서는 표면 단백질을 가진 바이러스가 숙주 세포 안에서 핵산을 복제해 증식한다는 이 장의 내용 위에 백신과 변이의 이야기가 얹힌다.

이 장의 참고문헌

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

Murphy, K., & Weaver, C. (2016). Janeway's immunobiology (9th ed.). Garland Science.

Sanjuán, R., Nebot, M. R., Chirico, N., Mansky, L. M., & Belshaw, R. (2010). Viral mutation rates. *Journal of Virology*, 84(19), 9733–9748. <https://doi.org/10.1128/JVI.00694-10>

연세대학교 입학처. (2023). 2023학년도 수시모집 논술시험 자연계열 문제 및 문항카드 [시험 자료].

제 3장 바이러스는 어떻게 세포에 들어가나

새 개념 표면 단백질 · 수용체 결합 · 숙주 세포 안의 복제 · 수용체 결손 실험 · RNA 바이러스의 변이
 이어짐 항체의 중화 9장 · 백신 11장 · 항원 변이 12장

이 장의 개념도

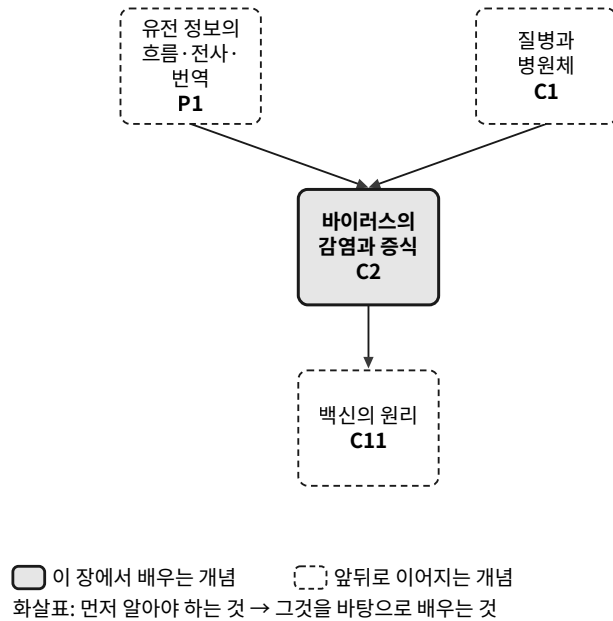


그림 12. 제 3장에서 배우는 개념(C2 바이러스의 감염과 증식)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

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 1 (경희대 2026년) (202쪽)	항체 그래프 고르기와 휴지 전위	C2 바이러스의 감염과 증식
기출 5 (연세대 2023년) (238쪽)	백신 회피 변이와 수용체 실험 해석	C2 바이러스의 감염과 증식
기출 6 (연세대 2023년) (247쪽)	다섯 곡선 고르기·코돈 번역·백신 시기	C2 바이러스의 감염과 증식

마스크와 비말 — 세포·세균·바이러스의 크기 자

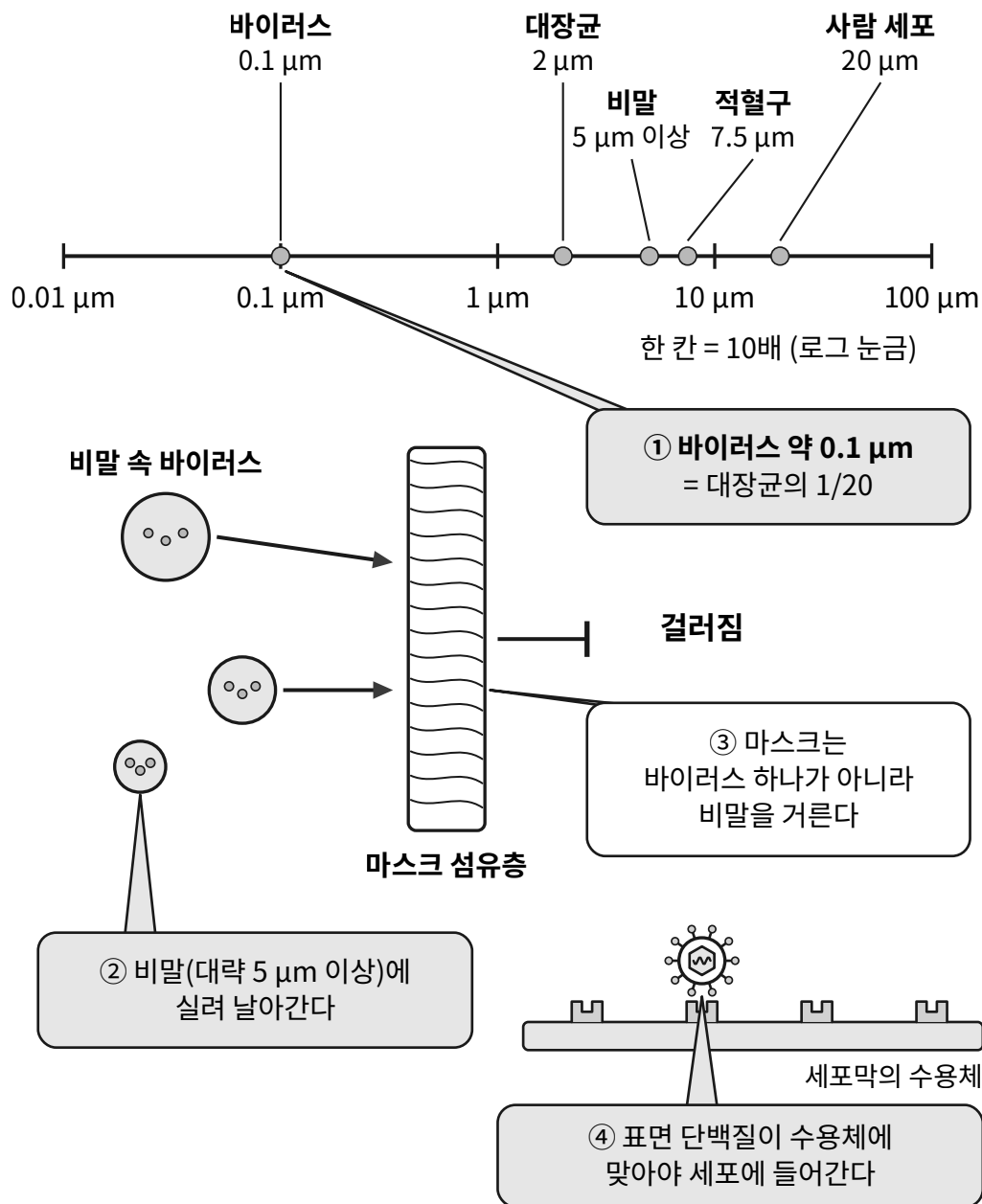


그림 13. 마스크와 비말 — 세포·세균·바이러스의 크기 자. 크기 자는 로그 눈금이어서 한 칸이 10배이고, 비말과 마스크 섬유는 크기를 보이기 위한 모식이다

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 바이러스(약 0.1 μm)는 대장균(약 2 μm)의 1/20 크기다
2. 감염은 바이러스 표면 단백질이 세포의 수용체에 맞물리는 데서 시작한다
3. 마스크는 바이러스 하나가 아니라 바이러스를 실은 비말을 거른다

이 장의 출발점

- **기본개념편 제 2장** (26쪽)의 바이러스 구조: 핵산 + 캡시드(+ 외피), 숙주 세포 밖에서는 증식하지 못한다.
- 유전 정보의 흐름: DNA → (전사) → RNA → (번역) → 단백질, 번역은 리보솜에서 일어난다 (생명과학 I · II).
- 대조군과 실험군을 비교해 결론을 내는 방법(**기본개념편 제 1장** (16쪽)).

토요일 아침, 하린이 학교에서 받은 마스크 한 장을 들고 왔다. 상자에 “0.3 μm 입자 차단”이라고 적혀 있었다. 하린은 지난주에 배운 숫자를 떠올리며 고개를 갸웃했다.

하린 교수님, 바이러스는 0.1 μm 라고 하셨잖아요. 그런데 마스크는 0.3 μm 를 막는대요. 그럼 바이러스는 그냥 빠져나가는 거 아니에요?

석 교수 아주 좋은 의심이다. 답은 바이러스가 혼자 날아다니지 않는다는 데 있다. 기침이나 말할 때 나오는 침방울, 곧 비말은 대개 5 μm 보다 크고, 바이러스는 그 안에 실려 다닌다. 마스크는 바이러스 하나를 거르는 게 아니라 비말을 거르는 거다. 게다가 고운 섬유는 체처럼 구멍 크기만 거르지 않고, 작은 입자가 이리저리 흔들리다 섬유에 달라붙게 해서 잡기도 한다.

태오 생활 속 개념도의 크기 자를 보니 한 칸이 10배예요. 사람 세포 20 μm , 적혈구 7.5 μm , 대장균 2 μm , 바이러스 0.1 μm .

이모 그럼 거리를 두라는 것도 비말 때문이에요?

석 교수 그렇습니다. 큰 비말은 무거워서 1~2 m 안에 바닥으로 떨어져요. 그래서 마주 보고 가까이 이야기할 때 가장 많이 옮습니다. 다만 아주 작은 비말은 말라 가면서 공기 중에 오래 떠 있을 수 있어서, 환기가 안 되는 좁은 방에서는 거리만으로 충분하지 않아요. 창문을 여는 것이 도움이 되는 이유죠.

석 교수 크기 이야기로 돌아가면, 대장균과 바이러스 사이가 20배, 사람 세포와 바이러스 사이는 200배다. 이 작은 알갱이가 어떻게 200배나 큰 세포 안으로 들어가는지가 오늘의 질문이다.

3.1 열쇠와 자물쇠: 표면 단백질과 수용체

석 교수 바이러스는 아무 세포에나 들어가지 못한다. 세포막 표면에는 여러 단백질이 박혀 있는데, 바이러스 표면 단백질이 그중 특정한 단백질에 꼭 맞게 결합해야 들어갈 수 있다. 바이러스가 붙는 세포 쪽 단백질을 **수용체**라고 한다. 열쇠와 자물쇠에 비유하지.

하린 코로나바이러스의 열쇠는 뭐예요?

석 교수 코로나19를 일으키는 바이러스는 표면에 왕관처럼 돋은 **스파이크 단백질**이 있다. 이 단백질이 사람 세포 표면의 ACE2라는 효소 단백질에 결합한다. ACE2는 원래 혈압 조절에 관여하는 물질을 분해하는 효소다. 세포가 바이러스를 위해 문을 달아 둔 것이 아니라, 바이러스가 세포에 원래 있던 단백질을 문으로 이용하는 셈이다. 2020년 연구에서, ACE2를 만들지 않는 세포에는 바이러스가 거의 들어가지 못하고 ACE2 유전자를 넣어 준 세포에는 들어간다는 것이 실험으로 확인되었다. 인플루엔자 바이러스는 헤마글루티닌(HA)이라는 표면 단백질로 세포막의 시알산이라는 당 사슬에 붙는다.

태오 그럼 ACE2가 있는 세포만 코로나바이러스에 감염되겠네요.

석 교수 그렇다. ACE2는 기도와 폐의 상피 세포, 장 상피 세포 등에 많다. 바이러스가 어떤 기관을 주로 공격하는지는 그 기관의 세포가 어떤 수용체를 가지고 있는지와 깊이 관계있다. 사람에게에는 감염되지 않고 새에게만 감염되는 바이러스가 있는 것도 수용체 모양이 조금씩 달라서다.

이모 그럼 바이러스가 열쇠 모양을 조금 바꾸면 다른 자물쇠도 열 수 있겠네요?

석 교수 실제로 그런 일이 일어납니다. 표면 단백질 유전자에 변이가 생겨 수용체에 더 잘 붙게 되거나, 다른 동물의 수용체에 맞게 되면 감염 범위가 바뀌어요. 이 이야기는 **기본개념편 제12장 (125쪽)**에서 다시 합니다. 그리고 하나 기억해 둘 것이 있어요. 표면 단백질은 바이러스 바깥에 드러나 있어서, 우리 몸의 항체가 가장 먼저 만나는 부분이기도 합니다.

3.2 세포 안에서 일어나는 일

석 교수 열쇠가 맞으면 무슨 일이 벌어지는지 단계별로 보자. **그림 14**에 외피를 가진 RNA 바이러스의 생활사를 여섯 단계로 그렸다.

① 부착 → ② 침투 → ③ 껍질 벗기 → ④ 복제·합성 → ⑤ 조립 → ⑥ 방출

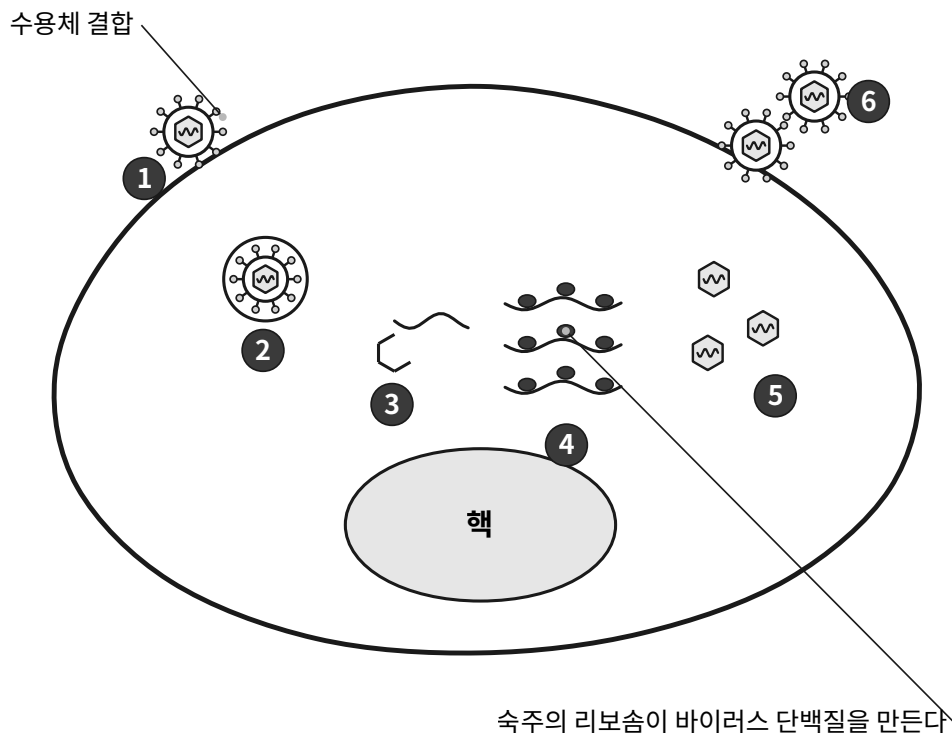


그림 14. 외피 바이러스의 생활사 여섯 단계 — ① 부착(표면 단백질-수용체 결합) ② 침투(세포막과 융합하거나 막에 싸여 들어감) ③ 껍질 벗기(핵산 방출) ④ 핵산 복제와 단백질 합성(숙주 리보솜 사용) ⑤ 조립 ⑥ 방출(세포막을 외피로 두르고 나감). 세포와 바이러스의 크기 비율은 실제와 다르다

석 교수 ① **부착**: 표면 단백질이 수용체에 결합한다. ② **침투**: 외피가 세포막과 합쳐지거나, 세포막이 바이러스를 감싸 안으로 끌어들인다. ③ **껍질 벗기**: 캡시드가 열려 핵산이 세포질로 나온다. ④ **복제와 합성**: 바이러스 핵산이 복제되고, 그 정보로 바이러스 단백질이 숙주의 리보솜에서 만들어진다. ⑤ **조립**: 새 핵산과 단백질이 모여 새 바이러스가 된다. ⑥ **방출**: 새 바이러스가 세포막을 뚫고 나가거나, 세포막 일부를 외피로 두르고 빠져나간다.

태오 ④에서 숙주의 리보솜을 쓴다는 게 중요하네요. 바이러스 RNA가 mRNA처럼 번역되는 거죠?

- 석 교수** 그렇다. 리보솜은 자기 세포의 mRNA인지 바이러스의 RNA인지 가리지 않고 번역한다. 그래서 감염된 세포는 자기 단백질 대신 바이러스 단백질을 찍어 내는 공장이 된다. 세포는 결국 지치거나 터져서 죽는다.
- 태오** ⑥에서 세포막을 두르고 나간다는 건, 외피가 원래 숙주 세포의 막이라는 거죠? 2장에서 외피를 숙주 세포 막에서 얻는다고 하셨어요.
- 석 교수** 그렇다. 외피 바이러스는 세포막에 자기 표면 단백질을 박아 넣은 뒤, 그 부분을 둘러싸고 싹이 트듯 빠져나간다. 이것을 출아라고 한다. 이 경우 세포가 곧바로 터지지는 않아서 한동안 바이러스를 계속 내보낸다. 반대로 외피가 없는 바이러스는 세포 안에 가득 찬 뒤 세포를 터뜨리고 한꺼번에 나오는 경우가 많다. 사람 면역 결핍 바이러스(HIV)처럼 자기 유전 정보를 DNA로 바꿔 숙주의 염색체 속에 끼워 넣고 오래 숨어 있는 바이러스도 있다. 이런 차이는 교과 밖 심화지만, 바이러스가 숙주 세포의 장치에 기대어 증식한다는 원리는 같다.
- 하린** 바이러스는 열쇠만 가지고 들어가서 공장을 통째로 빼앗는 거네요.
- 석 교수** 좋은 비유다. 이 비유에서 방어의 실마리도 찾을 수 있다. 열쇠가 자물쇠에 꽂히지 못하게 막으면 ①에서 끝난다. 항체가 하는 일 가운데 하나가 바로 이것이고, 이를 **중화**라고 한다. **기본개념편 제 9장** (94쪽)에서 자세히 본다. 이미 공장이 된 세포는? 공장째 없애야 한다. 그것이 **기본개념편 제 7장** (74쪽)의 세포독성 T 림프구다.

3.3 증식을 숫자로

- 석 교수** 감염된 세포 하나에서 바이러스가 몇 개나 나올까? 바이러스와 세포의 종류에 따라 수십 개에서 수천 개까지 다르다. 계산하기 쉽게 하나의 감염 주기가 8시간이고 세포 하나에서 100개가 나온다고 하자.

문제 3.1

바이러스에 감염된 세포 하나가 8시간 뒤 새 바이러스 100개를 내보내고, 나온 바이러스가 모두 새 세포를 하나씩 감염시킨다고 하자. 24시간 뒤 방출되는 바이러스는 몇 개인가? 같은 24시간 동안 대장균(20분마다 분열)은 몇 배가 되는지와 비교하라.

- 태오** $24 \div 8 = 3$ 주기에요. 첫 주기에 100개, 둘째 주기에 $100 \times 100 = 10,000$ 개, 셋째 주기에 $100^3 = 1,000,000$ 개요.
- 석 교수** 정확하다. 1.0×10^6 개다. 대장균은?
- 태오** 24시간이면 72번 분열하니까 2^{72} 배예요. 어... 2^{10} 을 10^3 으로 보면 2^{70} 이 10^{21} 이고, 거기에 4를 곱해서 약 4×10^{21} 배요. 대장균이 훨씬 많아요.
- 석 교수** 어림은 맞다. $2^{10} = 1,024$ 를 그대로 쓰면 $2^{72} = 4.7 \times 10^{21}$ 이다. 그런데 그 결론에는 조건을 붙여야 한다. 대장균의 2^{72} 은 양분이 끝없이 있다고 가정한 값이다. **기본개념편 제 2장** (26쪽)의 그래프에서 봤듯이 실제로는 10^9 근처에서 멈춘다. 또 바이러스는 한 주기에 100배씩 뛰니, 처음 몇 주기만 보면 바이러스가 더 빠르다. 8시간이면 바이러스는 100배, 대장균은 $2^{24} =$ 약 1.7×10^7 배지만, 바이러스는 늘어날 세포가 있는 한 매 주기 100배씩이다.
- 하린** 처음 하루 사이에 100만 개면, 몸이 빨리 막아야겠어요.

석 교수 그래서 첫날부터 일하는 비특이적 방어가 중요하다. 감염된 세포는 인터페론이라는 신호 물질을 내서 이웃 세포들이 바이러스 복제를 억제하는 상태로 바뀌게 한다. 이웃에 “문단속”을 알리는 셈이다. **기본개념편 제 4장 (45쪽)**에서 짧게 다룬다. **정답: 3주기 뒤 $100^3 = 1.0 \times 10^6$ 개. 대장균은 계산상 $2^{72} \approx 4.7 \times 10^{21}$ 배이지만 이는 양분이 무한하다는 가정에서만 성립한다.**

이모 숫자로만 들으니 감이 잘 안 와요. 그림으로 볼 수 있을까요?

석 교수 **그림 15**에 두 가지를 같은 로그 눈금 위에 올렸습니다. 막대는 바이러스가 주기마다 100배씩 뛰는 계단이고, 선은 대장균이 20분마다 두 배가 되는 매끈한 직선이에요.

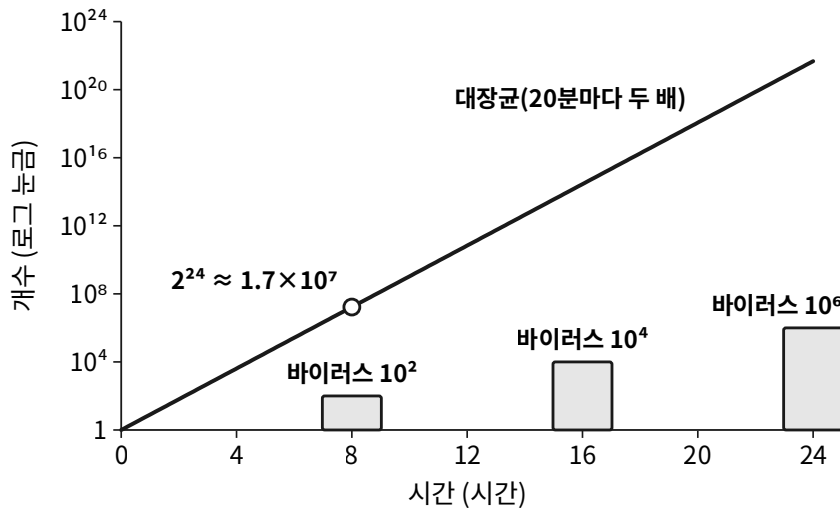


그림 15. 바이러스와 세균의 증식 비교(계산값) — 바이러스는 8시간 주기마다 100배씩 계단처럼 늘고(막대: $1 \rightarrow 10^2 \rightarrow 10^4 \rightarrow 10^6$), 대장균은 20분마다 두 배로 매끈하게 늘다(선). 세로축은 로그 눈금이며, 대장균 선은 양분이 한정되는 효과를 넣지 않은 값이다

태오 바이러스는 8시간 동안 아무 일도 없다가 한꺼번에 100배가 되네요. 세균은 그 사이에도 꾸준히 늘고요.

석 교수 세포 하나 안에서 조립이 끝나야 한꺼번에 나오니까 계단이 된다. 실제 몸속에서는 감염된 세포마다 시작 시각이 달라서 계단이 뭉개지고 매끈한 곡선처럼 보인다. 그래도 “주기마다 몇 배”라는 생각은 그대로 쓸 수 있다.

하린 8시간째에는 세균이 바이러스보다 훨씬 많아요. 그런데 몸속에서 세균은 10^9 근처에서 멈추니까, 결국 어느 쪽이 무서운지는 숫자 하나로 정할 수 없겠네요.

석 교수 그렇다. 어떤 세포를 공격하는지, 독소를 내는지, 면역이 얼마나 빨리 따라잡는지가 더 중요하다.

3.4 수용체를 지우면? — 결손 세포 감염 실험

석 교수 이제 오늘의 중심 실험이다. 어떤 바이러스가 어느 수용체를 쓰는지 어떻게 알아낼까?

태오 그 수용체를 없앤 세포를 만들어서 감염시켜 보면 되지 않아요? 안 들어가면 그게 수용체 고요.

석 교수 바로 그것이 **수용체 결손 실험**이다. 유전자 편집으로 세포 표면 단백질 Y나 Z를 만들지 못하게 한 세포를 준비하고, 정상 세포와 똑같이 바이러스를 넣은 뒤 시간에 따라 바이러스 핵산의 양을 잰다. 대조로 정상 세포에 바이러스와 함께 그 바이러스의 표면 단백질에 붙는 항체를 넣은 조건도 둔다. **그림 16**은 이 실험 형식을 연습하려고 계산으로 만든 가상 자료다.

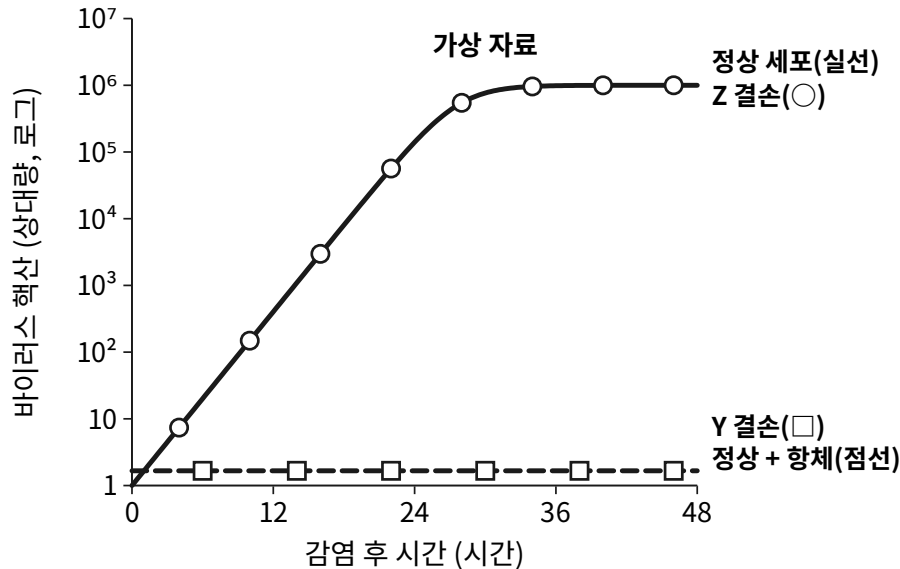


그림 16. 수용체 결손 실험의 가상 자료 — 바이러스 핵산의 상대량(로그 눈금)을 시간에 따라 나타냈다. 증식하는 조건은 로지스틱 모형 $N(t) = K / (1 + (K/N_0 - 1)e^{(-rt)})$ ($N_0 = 1$, $K = 10^6$, $r = 0.5/\text{시간}$)으로 계산했고, 증식하지 못하는 조건은 처음 값 1에 머문다. 실제 측정값이 아닌 연습용 가상 자료다

하린 정상 세포랑 Z 결손 세포는 똑같이 올라가요. 24시간에 약 10^5 , 48시간에 10^6 까지요. Y 결손 세포랑 항체를 넣은 정상 세포는 바닥에 그대로예요.

석 교수 그 결과를 한 줄씩 해석해 보자.

표 9. 수용체 결손 실험의 해석 — 조건별 증식 여부와 결론(가상 자료)

조건	48시간 뒤 핵산 상대량	증식	결론
정상 세포	약 10^6	한다	대조군 — 실험 조건에서 바이러스가 정상적으로 증식한다
Y 결손 세포	1	하지 않는다	Y가 없으면 들어가지 못한다 → Y가 수용체
Z 결손 세포	약 10^6	한다	Z는 감염에 필요하지 않다
정상 세포 + 중화 항체	1	하지 않는다	항체가 표면 단백질에 붙어 수용체 결합을 막았다

문제 3.2

표 9의 자료에서 이 바이러스가 세포에 들어갈 때 쓰는 수용체는 Y와 Z 가운데 무엇인가? 근거를 대조군과 비교해 쓰고, Y 결손 세포에서 증식하지 않은 결과가 “Y가 수용체이다” 말고 다른 이유로 생겼을 가능성과 그것을 배제하는 방법을 쓰라.

- 태오** 수용체는 Y예요. 정상 세포에서는 증식하는데 Y만 없앤 세포에서는 증식하지 않으니까요. Z를 없앤 세포는 정상 세포와 똑같이 증식하니까 Z는 필요 없어요.
- 석 교수** 대조군과 비교한 근거가 정확하다. 둘째 질문은?
- 태오** 다른 이유요? 음... Y를 없애는 과정에서 세포가 아파서 바이러스를 만들 힘이 없었을 수도 있어요.
- 석 교수** 좋은 생각이다. Y 유전자를 없애다가 세포의 다른 기능이 망가졌을 가능성이지. 그러면 Y가 수용체여서가 아니라 공장이 고장 나서 증식하지 못한 것일 수 있다. 어떻게 가을까?
- 하린** Y 결손 세포에 Y 유전자를 다시 넣어 주면 돼요. 그래서 다시 증식하면 Y 때문인 게 확실하잖아요.
- 석 교수** 훌륭하다. 이것을 되돌림 실험이라고 한다. 또 하나, 바이러스 핵산을 직접 Y 결손 세포 안에 넣어 주는 방법도 있다. 문을 건너뛰고 바로 안에 넣었을 때 증식한다면, Y 결손 세포의 공장은 멀쩡하고 문(수용체)만 없었다는 뜻이 된다. 덧붙여, 같은 실험을 여러 번 되풀이해 결과가 같게 나오는지도 확인해야 한다. **정답: 수용체는 Y이다. 정상 세포(대조군)에서는 증식하지만 Y 결손 세포에서는 증식하지 않고, Z 결손 세포는 대조군과 같기 때문이다. 다만 Y 결손이 세포의 다른 기능을 손상시켰을 가능성이 있으므로, Y 유전자를 다시 넣어 증식이 회복되는지 확인하거나 바이러스 핵산을 세포 안에 직접 넣어 증식하는지 확인해 배제한다.**
- 이모** 항체를 넣은 조건은 왜 넣은 거예요?
- 석 교수** 항체가 표면 단백질의 열쇠 구멍을 막으면 Y 결손 세포와 같은 결과가 나온다는 것을 보여 줍니다. 수용체를 없애든 열쇠를 막든 ①에서 멈추는 거예요. 이 형식의 실험이 2023 학년도 연세대 기출에 그대로 나옵니다. 거기서는 백신을 맞기 전과 맞은 뒤의 혈청에서 얻은 항체를 각각 넣어 비교했어요.

3.5 RNA 바이러스는 왜 잘 변하나

- 석 교수** 마지막으로 변이다. DNA를 복제하는 효소는 잘못 넣은 염기를 스스로 찾아 고치는 교정 기능이 있다. 그런데 많은 RNA 바이러스의 복제 효소는 이 기능이 약하다. 그래서 복제할 때 염기 하나당 대략 $10^{-5} \sim 10^{-4}$ 의 비율로 틀린다. 사람 세포의 DNA 복제 오류율보다 수만 배 이상 높다.
- 태오** 인플루엔자 바이러스의 유전체가 약 13,000염기라고 하셨죠? 그럼 $13,000 \times 10^{-5} = 0.13$, $13,000 \times 10^{-4} = 1.3$ 이에요. 한 번 복제할 때마다 0.13~1.3개씩 틀린다는 거네요.
- 석 교수** 대략 그렇다. 바이러스마다 차이도 있다. 코로나바이러스는 RNA 바이러스 가운데 유전체가 약 3만 염기로 큰 편인데, 실수를 일부 고치는 효소를 함께 가지고 있어서 염기당 변이율은 인플루엔자보다 낮은 편이다. 열 번 복제하면 한 개에서 열세 개 꼴로 바뀐 자리가 생긴다는 뜻이야. 감염된 세포 하나에서 수백 개씩 나오고 사람 몸속에서 수십억 개가 만들어지니, 한 사람 몸에서만도 온갖 변이체가 생긴다.
- 하린** 그럼 변이가 생긴 바이러스는 다 살아남아요?
- 석 교수** 대부분은 오히려 손해다. 복제 효소처럼 중요한 단백질이 바뀌면 증식하지 못하고 사라진다. 그런데 표면 단백질의 일부가 바뀌어 수용체에는 여전히 붙으면서 항체는 덜 붙게 된 변이체가 있다면? 항체가 많은 사람 몸속에서는 그 변이체만 살아남아 늘어난다.

태오 2장의 항생제 내성균과 같은 논리네요. 변이는 무작위로 생기고, 항체가 그중 하나를 고른다.

석 교수 그렇다. 그래서 변이는 항체가 붙는 표면 단백질 쪽에 모여서 발견된다. **기본개념편 제 12장** (125쪽)에서 계산과 함께 다시 본다. 오늘은 “RNA 바이러스는 복제 오류가 많아 변이가 잦다”와 “변이가 살아남는지는 선택이 정한다”를 나누어 기억하자.

핵심 바이러스 감염을 읽는 네 단계

1. 감염은 바이러스 표면 단백질이 세포의 수용체에 결합하는 데서 시작한다(코로나바이러스 스파이크-ACE2, 인플루엔자 HA-시알산).
2. 생활사는 부착 → 침투 → 껍질 벗기 → 복제·합성(숙주 리보솜) → 조립 → 방출의 여섯 단계다.
3. 결손 실험은 정상 세포(대조군)와 비교해 “없었더니 증식하지 않는다”로 수용체를 찾고, 돌림 실험으로 다른 이유를 배제한다.
4. RNA 바이러스는 교정 기능이 약해 변이가 잦고, 살아남는 변이는 선택이 정한다.

스스로 풀어 보기

1. 감염 세포 하나가 6시간마다 바이러스 50개를 내고 모두 새 세포를 감염시킬 때 18시간 뒤 방출되는 바이러스 수를 구하라.
2. 어떤 바이러스가 간세포에는 감염되고 신경 세포에는 감염되지 않는 까닭을 수용체로 설명하라.
3. 수용체 결손 실험에서 결손 세포에 그 유전자를 다시 넣어 주는 실험을 하는 목적을 쓰라.
4. 유전체가 10,000염기인 RNA 바이러스의 복제 오류율이 염기당 10^{-4} 일 때, 한 번 복제에 생기는 변이 수의 기댓값을 구하라.

정답과 해설은 부록 A에 있다.

이 장의 수용체 결합과 결손 실험은 4부의 **기출문제 5**(연세대 2023) (238쪽)에서 그대로 쓰인다. 그 제시문은 “단백질 X가 사람의 세포 표면의 특정한 수용체 단백질에 결합한 후 세포 안으로 유입되어 세포를 감염시킨다”고 말하고, 표면 수용체 Y·Z를 결손시킨 세포와 백신 접종 전·후 혈청의 항체를 처리한 세포에서 감염 실험을 한다. **기출문제 9**(성균관대 2015) (274쪽)의 [1-i]은 이 장 마지막 절의 논리 — 항체가 있는 조건에서 캡시드 단백질에만 변이가 모이고 RNA 중합효소에는 변이가 없다 — 를 가설로 쓰게 한다. **기출문제 6**(연세대 2023) (247쪽)과 **기출문제 1**(경희대 2026) (202쪽)의 제시문은 바이러스를 “유전 물질과 이를 둘러싼 껍질”로 소개하며 숙주 세포 안의 증식을 전제로 한다.

이 장의 참고문헌

- Hoffmann, M., Kleine-Weber, H., Schroeder, S., Krüger, N., Herrler, T., Erichsen, S., Schiergens, T. S., Herrler, G., Wu, N.-H., Nitsche, A., Müller, M. A., Drosten, C., & Pöhlmann, S. (2020). SARS-CoV-2 cell entry depends on ACE2 and TMPRSS2 and is blocked by a clinically proven protease inhibitor. *Cell*, 181(2), 271–280.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.052>
- Sanjuán, R., Nebot, M. R., Chirico, N., Mansky, L. M., & Belshaw, R. (2010). Viral mutation rates. *Journal of Virology*, 84(19), 9733–9748. <https://doi.org/10.1128/JVI.00694-10>
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2020). *Campbell biology* (12th ed.). Pearson.
- 연세대학교 입학처. (2023). 2023학년도 수시모집 논술시험 자연계열 문제 및 문항카드 [시험 자료].

제 4장 첫 번째 방어선: 피부·점막·식세포

새 개념 물리적·화학적 장벽 · 라이소자임 · 백혈구의 종류 · 식세포 작용 · 대식세포와 호중구
 이어짐 염증 5장 · 항원 제시 7장

이 장의 개념도

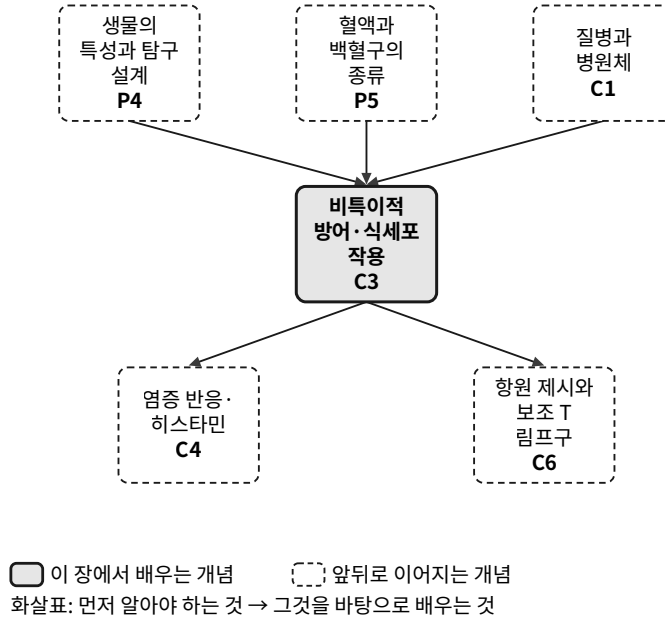


그림 17. 제 4장에서 배우는 개념(C3 비특이적 방어·식세포 작용)과 그 앞뒤 연결. 진한 칸이 이 장에서 배우는 개념이고, 점선 칸은 먼저 알아야 하는 개념이나 이어서 배우는 개념이다. 화살표는 “먼저 알아야 하는 것 → 그것을 바탕으로 배우는 것” 방향이다.

이 장의 개념이 쓰인 기출

표 10. 제 4장의 개념이 쓰인 기출 — 학교·연도, 출제 내용, 이 장에서 알아야 할 개념

기출(학교·연도, 쪽)	어떤 문제였나	이 장에서 알아야 할 개념
기출 2 (경북대 2025년) (212쪽)	항원 A·B의 2차 감염과 기억 세포	C3 비특이적 방어·식세포 작용
기출 4 (경북대 2024년) (229쪽)	가시에 찔린 뒤 염증과 고름	C3 비특이적 방어·식세포 작용
기출 8 (경희대 2020년) (266쪽)	히스타민으로 설명하는 열·붉음·부종	C3 비특이적 방어·식세포 작용

무릎이 까진 날 — 피부·눈물·침·위산이 막는 길

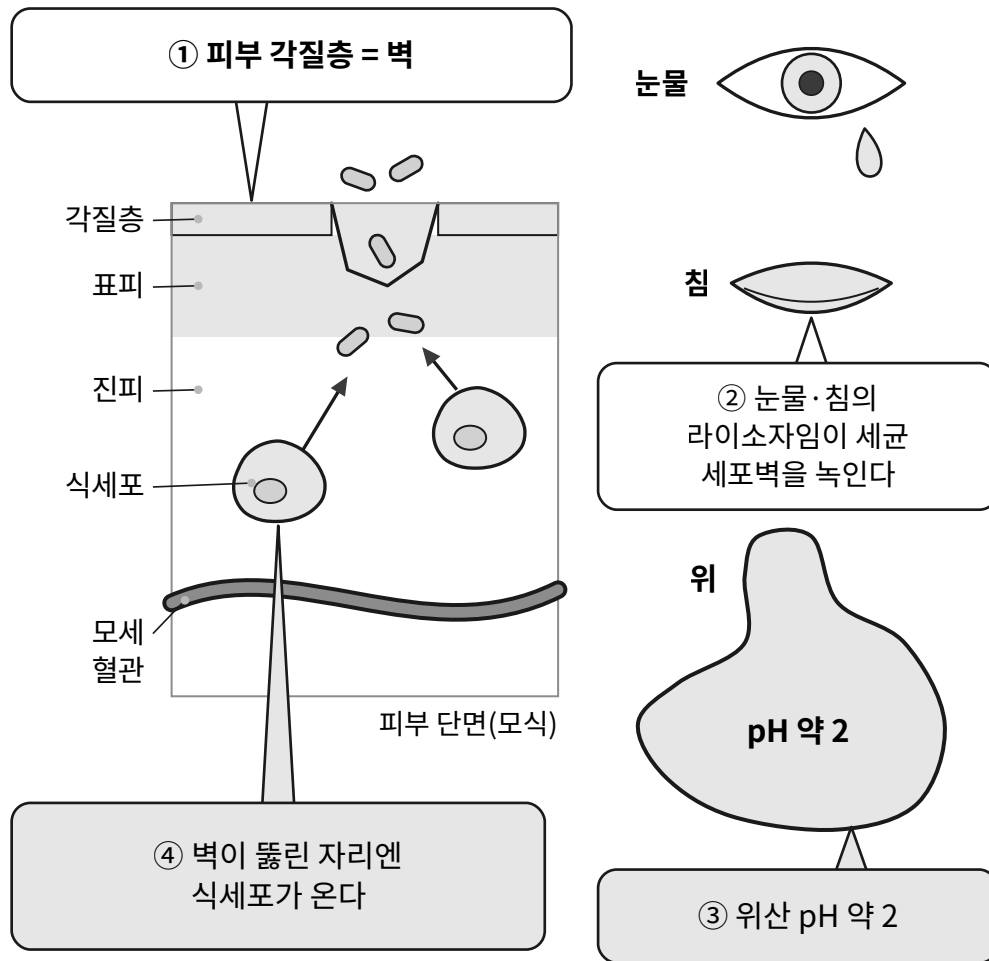


그림 18. 무릎이 까진 날 — 피부·눈물·침·위산이 막는 길과, 벽이 뚫린 자리로 오는 식세포(모식도, 피부 층과 세포의 크기 비율은 실제와 다름)

이 그림에서 꼭 볼 것

1. 피부의 각질층은 병원체가 들어오지 못하게 막는 벽이다
2. 눈물과 침의 라이소자임은 세균 세포벽을 녹이고, 위산(pH 약 2)은 삼킨 세균을 죽인다
3. 벽이 뚫린 자리엔 식세포가 모여 침입한 세균을 삼킨다

이 장의 출발점

- **기본개념편 제 1장** (16쪽)의 방어외 세 겹 가운데 첫째(장벽)와 둘째(비특이적 내부 방어).
- **기본개념편 제 2장** (26쪽)의 세균 세포벽(펩티도글리칸)과 이분법 증식.
- $\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$. pH가 1 작으면 $[\text{H}^+]$ 는 10배다.
- 혈액의 백혈구는 몸을 지키는 세포라는 것(중학교 과학).

토요일 오후, 하린이 무릎에 밴드를 붙이고 절뚝거리며 들어왔다. 학교 운동장에서 넘어져 무릎이 까졌다고 했다. 석 교수는 구급상자를 열어 밴드를 새로 갈아 주며 상처를 들여다보았다.

석 교수 피가 살짝 났다가 멈췄고, 가장자리가 조금 붉구나. 오늘은 이 무릎이 교재다.

하린 운동장 흙에 세균이 많을 텐데, 다 몸으로 들어왔으면 어떡해요?

석 교수 들어온 놈도 있겠지. 그런데 대부분은 아직 피부 밖에 있다. 상처가 없는 피부는 거의 완벽한 벽이야. 오늘은 그 벽이 무엇으로 되어 있는지, 벽이 뚫리면 누가 먼저 달려오는지를 보자. **기본개념편 제 1장** (16쪽)에서 말한 첫째 겹과 둘째 겹이다.

태오 그 둘을 합쳐서 비특이적 방어라고 하는 거죠? 어떤 병원체든 가리지 않으니깐요.

석 교수 그렇다. 가리지 않는다는 것이 약점처럼 들리지만, 처음 만나는 병원체도 바로 막을 수 있다는 뜻이니 큰 장점이기도 하다.

4.1 피부와 점막: 들어오지 못하게

석 교수 피부 맨 바깥에는 죽은 세포가 납작하게 겹겹이 쌓인 **각질층**이 있다. 죽은 세포라서 바이러스가 들어가 증식할 수도 없고, 단단한 단백질(케라틴)로 채워져 있어 세균이 뚫기도 어렵다. 게다가 계속 떨어져 나가니 붙어 있던 세균도 함께 떨어진다. 땀과 피지는 피부를 약한 산성으로 만들어 많은 세균이 살기 어렵게 한다.

하린 그럼 코나 입 안처럼 피부가 없는 곳은요?

석 교수 그곳은 **점막**이 막는다. 점막은 끈끈한 점액을 내서 먼지와 병원체를 붙잡는다. 기관의 점막 세포에는 작은 털, 곧 섬모가 있어서 점액을 목 쪽으로 쓸어 올린다. 그렇게 올라온 점액을 우리는 삼키거나 가래로 뱉는다. 감기 때 콧물이 나는 것도 이 장치가 크게 일하는 것이다.

태오 담배를 피우면 기관지염에 잘 걸린다는 것도 이거랑 관계있어요?

석 교수 있다. 담배 연기는 섬모의 움직임을 둔하게 하고 섬모 세포를 손상시킨다. 점액은 계속만 들어지는데 쓸어 올리는 장치가 약해지니 가래가 기관지에 고이고, 거기서 세균이 자라기 쉬워진다. 벽 하나가 약해지면 그 뒤의 방어선이 더 많은 일을 떠맡게 된다.

이모 눈물이나 침도 막아 준다면서요?

석 교수 눈물과 침에는 **라이소자임**이라는 효소가 들어 있습니다. **기본개념편 제 2장** (26쪽)에서 세균 세포벽이 펩티도글리칸이라고 했지요? 라이소자임은 그 펩티도글리칸의 사슬을 끊어요. 세포벽이 약해진 세균은 물을 빨아들이다 터집니다. 1922년 플레밍이 콧물을 세균 배양 접시에 떨어뜨렸다가 그 둘레의 세균이 녹는 것을 보고 발견했어요. 페니실린을 발견하기 6년 전입니다.

태오 라이소자임과 페니실린은 둘 다 세균 세포벽을 겨냥하네요. 하나는 이미 만든 벽을 끊고, 하나는 벽을 만드는 효소를 막고요.

하린 제 무릎처럼 벽이 이미 뚫린 데는 어떻게 해요?

석 교수 먼저 피가 굳어서 구멍을 임시로 막는다. 혈소판이 상처에 모여 엉기고, 혈액 속 단백질이 그물을 짜서 딱지가 된다. 딱지는 임시 벽이고, 그 아래에서 피부 세포가 새로 자라 진짜 벽을 다시 만든다. 그 사이에 이미 들어온 세균은 다음 절의 백혈구가 맡는다.

석 교수 그리고 먹은 음식과 함께 들어온 세균은 위에서 위산을 만난다. 위액은 pH가 약 2인 강한 산이다.

문제 4.1

위액의 pH는 약 2, 혈액의 pH는 7.4이다. 위액의 수소 이온 농도 $[H^+]$ 는 혈액의 몇 배인가? 위산이 화학적 장벽이 되는 이유를 이 값과 관련지어 한 문장으로 쓰라.

태오 pH 차이가 $7.4 - 2 = 5.4$ 니까 $[H^+]$ 는 $10^{5.4}$ 배예요. $10^{5.4}$ 는... $10^5 \times 10^{0.4}$ 이고 $10^{0.4}$ 가 약 2.5니까 2.5×10^5 배요.

석 교수 정확하다. 계산기로 하면 $10^{5.4} = 251,189$, 약 2.5×10^5 배다. 확인하는 방법도 있다. 위액 $[H^+] = 10^{-2} \text{ M} = 0.01 \text{ M}$, 혈액 $[H^+] = 10^{-7.4} = 4.0 \times 10^{-8} \text{ M}$. $0.01 \div (4.0 \times 10^{-8}) = 2.5 \times 10^5$. 같은 답이다.

하린 25만 배나 진한 산이면 세균의 단백질이 다 망가지겠어요. 그런데 위는 왜 자기 위산에 안 녹아요?

석 교수 위벽 세포가 두꺼운 점액층을 내서 표면을 덮고, 그 점액 속에 산을 중화하는 탄산수소 이온을 섞어 내기 때문이다. 위벽 바로 앞은 거의 중성에 가깝게 유지된다. 이 보호막이 약해지면 위벽이 상처를 입는데, 그것이 위궤양이다.

석 교수 대부분의 세균은 그 안에서 단백질과 막이 손상되어 죽는다. 그래서 답안 문장은 이렇게 쓰면 된다. **정답: 약 2.5×10^5 배($10^{5.4} = 251,189$). 위액은 혈액보다 수소 이온 농도가 약 25만 배 높은 강한 산성이어서, 음식과 함께 들어온 세균의 단백질과 막을 손상시켜 죽이므로 화학적 장벽이 된다.** 다만 위산을 건디는 세균도 있다. 위궤양과 관계있는 헬리코박터는 주변의 산을 중화하는 물질을 만들어 위벽에 산다.

이모 그럼 장에 사는 세균들도 장벽 역할을 하나요?

석 교수 **기본개념편 제 2장 (26쪽)**에서 말한 것처럼 장의 정상 세균이 자리와 양분을 먼저 차지해 병원균이 자리 잡기 어렵게 합니다. 이렇게 물리적 장벽(피부·점막·섬모), 화학적 장벽(라 이소자임·위산·약산성 피부), 그리고 정상 세균까지 모두 첫째 겹에 속해요.

4.2 백혈구 가족

석 교수 벽이 뚫리면 둘째 겹이 나선다. 주인공은 백혈구다. 혈액 1 μL (마이크로리터, 1 mm^3)에 백혈구가 성인 기준 4,000~10,000개 있다. 백혈구는 모양과 하는 일에 따라 여러 종류로 나뉜다. **표 11**와 **그림 19**를 함께 보자.

표 11. 백혈구의 종류와 비율(성인 정상 범위), 주된 역할

종류	비율(정상 범위)	대표값	주된 역할
호중구	50~70 %	60 %	가장 먼저 도착하는 식세포, 세균을 삼킨다
림프구	20~40 %	30 %	특이적 방어(B 림프구·T 림프구), 자연 살해 세포
단핵구	2~8 %	6 %	조직으로 나가 대식세포가 된다, 식세포 작용·항원 제시

종류	비율(정상 범위)	대표값	주된 역할
호산구	1~4 %	3 %	기생충 방어, 알레르기 반응
호염기구	0.5~1 %	1 %	히스타민 분비, 염증·알레르기 반응

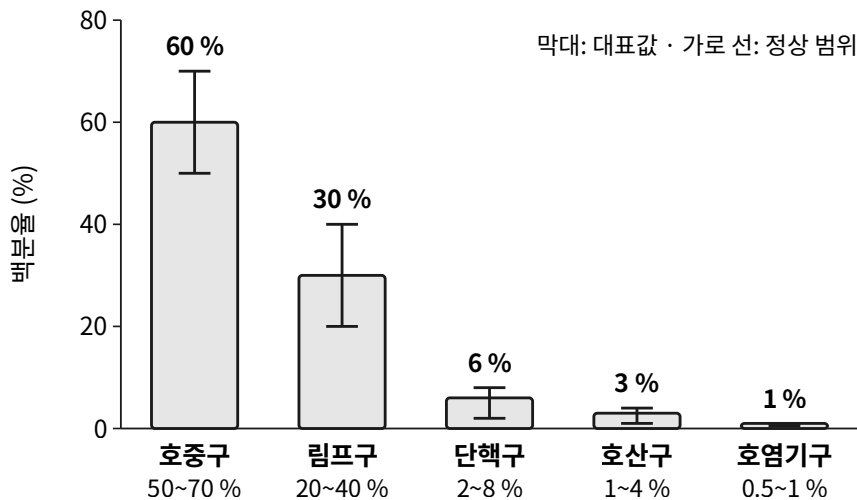


그림 19. 백혈구 백분율 — 막대는 이 책의 대표값(합 100 %), 가로 선 막대는 성인 정상 범위다. 호중구와 림프구가 백혈구의 약 90 %를 차지한다

하린 호중구가 제일 많네요. 60 %나 돼요.

석 교수 그래서 세균 감염 때 가장 먼저, 가장 많이 몰려오는 세포가 호중구다. 수명은 짧아서 혈액에서는 하루도 안 돼 교체된다. 반대로 단핵구는 수가 적지만 혈관 밖 조직으로 나가면 크게 자라 **대식세포**가 되고, 몇 주에서 몇 달 동안 조직에 머문다. “큰 식세포”라는 이름 그대로 호중구보다 훨씬 크고 많이 삼킨다.

태오 백혈구는 다 어디서 만들어져요?

석 교수 모두 뱃속 골수에서 만들어진다. 골수의 조혈 줄기세포가 나뉘어 적혈구, 혈소판, 여러 백혈구가 된다. 세균에 감염되면 골수가 호중구를 더 많이 내보내서 혈액 속 호중구의 수와 비율이 올라가는 경우가 많고, 바이러스 감염 때는 림프구 쪽이 늘어나는 경향이 있다. 의사가 백혈구 검사를 보고 세균 감염인지 바이러스 감염인지 짐작하는 근거 가운데 하나다. 다만 경향일 뿐이라 그것만으로 진단하지는 않는다.

문제 4.2

어떤 사람의 혈액 검사에서 백혈구 수가 7,000개/ μ L이고, 호중구가 60 %, 림프구가 30 %였다. 혈액 1 μ L 속 호중구와 림프구의 수를 각각 구하고, 이 사람의 백혈구 수가 정상 범위에 드는지 판정하라.

하린 $7,000 \times 0.60 = 4,200$ 개, $7,000 \times 0.30 = 2,100$ 개예요.

석 교수 맞다. 정상 범위는?

하린 4,000~10,000개 사이니까 정상이에요.

태오 남은 10 %는 단핵구·호산구·호염기구고요. 대표값으로 하면 6 %, 3 %, 1 %니까 420개, 210개, 70개예요. 다 더하면 $4,200 + 2,100 + 420 + 210 + 70 = 7,000$. 맞네요.

석 교수 검산까지 좋다. 백분율 문제는 이렇게 합이 원래 수가 되는지 확인하는 습관을 들이자. 정답: 호중구 4,200개/ μL , 림프구 2,100개/ μL . 백혈구 7,000개/ μL 는 정상 범위 (4,000~10,000개/ μL) 안이다.

이모 그런데 검사지에서 백분율만 보면 안 되는 거예요?

석 교수 안 됩니다. 백분율은 상대값이라서 다른 종류가 줄어도 올라가요. 예를 들어 림프구 비율이 40 %로 올랐어도 백혈구 수가 3,000개로 줄었다면 림프구는 1,200개로 오히려 적어진 겁니다. 그래서 실제 개수는 항상 “전체 수 $\times$ 비율”로 다시 구해서 봐야 해요. **기본개념편 제 6장** (64쪽)의 생활 속 개념도에서 검사지를 직접 읽어 봅니다.

4.3 식세포 작용의 단계

석 교수 이제 식세포가 세균을 어떻게 먹는지 보자. **식세포 작용**은 세포가 큰 입자를 통째로 삼켜 분해하는 일이다. **그림 20**처럼 네 단계로 나눈다.

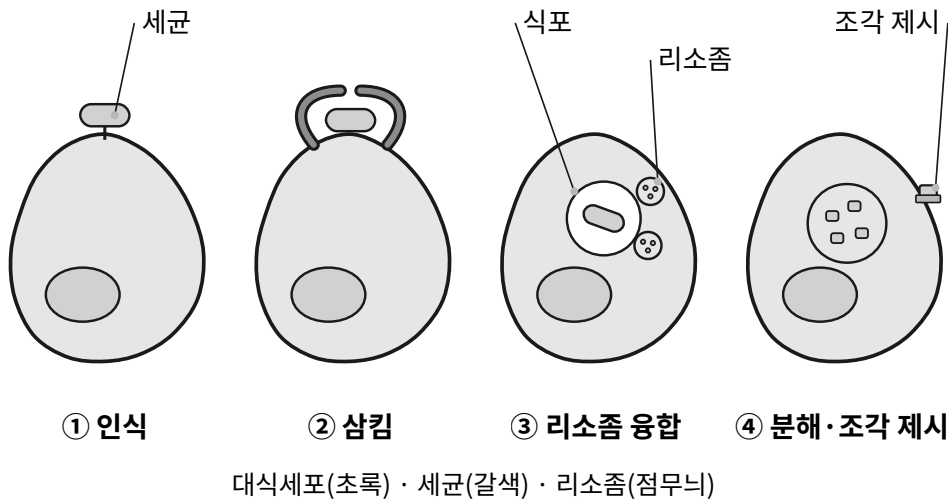


그림 20. 식세포 작용의 네 단계 — ① 인식: 대식세포가 세균 표면의 분자를 알아보고 붙는다 ② 삼킴: 세포막이 위쪽처럼 뺀어 세균을 감싸다 ③ 융합: 세균이 든 세포에 리소좀이 합쳐진다 ④ 분해: 리소좀의 효소가 세균을 분해하고, 남은 조각 일부를 세포 표면에 내놓는다

석 교수 ① **인식**: 식세포 표면의 수용체가 세균 표면에 흔히 있는 분자, 예를 들어 세균 세포벽 성분이나 편모 단백질을 알아보고 붙는다. 사람 세포에는 없는 분자들이라 “남”이라는 표시가 된다. ② **삼킴**: 세포막이 위쪽처럼 뺀어 나가 세균을 감싸고, 안으로 끌어들여 막주머니, 곧 **세포**를 만든다. ③ **융합**: 분해 효소가 든 주머니인 **리소좀**이 세포와 합쳐진다. ④ **분해**: 리소좀의 효소와 활성 산소가 세균을 부순다.

태오 그럼 ①에서 “가리지 않는다”는 말이 좀 이상해요. 세균 표면 분자를 알아보잖아요.

석 교수 날카로운 지적이다. 정확히는 “세균이라면 흔히 가진 공통 무늬”를 알아본다. 대장균이든 포도알균이든 세포벽 성분은 비슷하니 같은 수용체로 알아보지. 반면 림프구는 한 림프구가 한 가지 항원의 아주 좁은 부분만 알아본다. 그래서 식세포는 비특이적, 림프구는 특이적이라고 부르는 거다. 수용체의 이름과 종류는 교과 밖 심화다.

하린 ④에서 남은 조각을 표면에 내놓는다는 건 무슨 뜻이에요?

면역·백신 논제는 무엇을 묻고, 어떻게 답하는가?

면역 = 먼저 막고(염증), 정확히 골라(항원-항체), 기억해 둔다(기억 세포) — 백신은 그 기억을 미리 만든다

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(2013~2026학년도)이 쓰는 개념을 그래프로

4부 실전기출문제와 풀이과정

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

이 책의 차례 — 1부 기본개념편

1. 왜 면역인가
2. 병원체의 얼굴: 세균·바이러스·그 밖의 것들
3. 바이러스는 어떻게 세포에 들어가나
4. 첫 번째 방어선: 피부·점막·식세포
5. 염증 반응: 붉고 붓고 뜨거운 이유
6. 림프구의 탄생과 클론 선택
7. 항원 제시와 T 림프구: 세포성 면역

8. B 림프구와 항체: 체액성 면역
9. 항체의 모양과 항원-항체 반응, 그리고 혈액형
10. 1차·2차 면역 반응: 기억하는 몸
11. 백신: 미리 보여 주는 연습
12. 변하는 적: 항원 변이와 백신 회피
13. 면역이 어긋날 때: 알레르기·자가 면역·이식 거부
14. 단일 클론 항체와 면역 치료, 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: 유전 정보의 흐름(전사·번역) · 진화(변이와 선택) · 신경(막전위) · 생명공학(세포 융합)



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



9 791123 065083
ISBN 979-11-23065-08-3

이어서 읽으시려면

대입 과학논술 09 — 면역·백신 — 전체 308쪽

ssbook.kr/book/nonsul-09

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

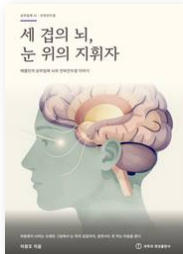
18,000원 → **10,800원**
ssbook.kr/book/river-toes



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

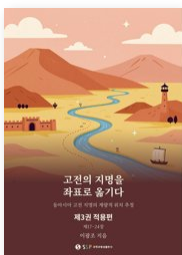


고전의 지명을 좌표로 옮기다 제2권 기법편

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