세균(細菌, Bacteria)의 모든 것

구조·분류·생태·감염·진단·항생제 내성·산업 활용 종합 가이드

작성자: 코리아베스트 https://koreabest.org

작성자: The American Newspaper https://americannewspaper.org

2026 년 8 월 · 교육·연구용

문서의 목적 세균을 질병의 원인으로만 보지 않고, 생태계·인체 마이크로바이옴·공중보건·산업·생명공학을 연결하여 이해하도록 구성했다. 치료 내용은 일반 교육 정보이며 개인의 진단이나 처방을 대체하지 않는다.

목차

1. 1. 세균의 정의와 다른 미생물과의 차이
2. 2. 세균 세포의 구조와 기능
3. 3. 형태·배열·생리·그람염색에 따른 분류
4. 4. 증식·성장곡선·집락·생물막·포자
5. 5. 세균 유전학과 수평적 유전자 이동
6. 6. 자연생태계와 인간 생활에서의 역할
7. 7. 인간 마이크로바이옴과 장내세균
8. 8. 병원성과 독소
9. 9. 대표적 병원성 세균 10 종
10. 10. 항생제의 역사와 작용 원리
11. 11. 항생제 내성과 공중보건 위험
12. 12. 세균 감염의 진단법
13. 13. 멸균·소독·위생·백신·감염관리
14. 14. 유익한 세균의 산업적 활용
15. 15. 대표적 오해 바로잡기
16. 16. 핵심 용어 해설
17. 17. 참고문헌 및 출처

핵심 메시지

- 세균은 대개 독립적으로 대사하고 이분법으로 증식하는 단세포 원핵생물이다. 다만 세포벽이 없는 마이코플라스마, 세포 내에서만 증식하는 일부 균처럼 예외가 있다.
- 질병을 일으키는 세균은 전체 세균 다양성의 일부다. 다수는 분해, 물질순환, 공생, 발효, 환경 정화와 생명공학에 필수적이다.
- 그람염색은 세포외피 구조의 차이를 반영하는 빠른 분류법이지만, 병원체 동정과 치료 결정에는 배양·분자검사·감수성검사가 함께 필요하다.
- 항생제 내성은 세균이 약물에 적응한 진화 결과이며, 오남용뿐 아니라 감염관리 실패, 국제 이동, 식품·환경·동물 분야의 압력이 함께 작용한다.
- 감기는 대부분 바이러스성이다. 항생제는 바이러스에 듣지 않으며, 불필요한 사용은 부작용과 내성 선택압을 증가시킨다.

1. 세균의 정의와 다른 미생물과의 차이

1.1 정의와 어원

세균(bacteria)은 일반적으로 핵막으로 둘러싸인 핵과 막성 세포소기관이 없고, 세포막·세포질·리보솜·유전체를 갖추며 대개 이분법으로 증식하는 단세포 원핵생물이다. “bacterium”은 그리스어 "bakterion"(작은 막대기)에서 유래했으며, 초기 현미경 관찰에서 막대 모양 미생물이 두드러졌던 역사와 연결된다. 한국어 “세균(細菌)”은 글자 그대로 “작은 균”을 뜻하지만, 현대 생물학에서는 세균 도메인(Bacteria)에 속하는 생명체를 가리킨다.

> **중요한 예외** 모든 세균이 세포벽을 갖는 것은 아니다(예: Mycoplasma). 모든 세균이 자유생활을 하는 것도 아니다(예: Chlamydia, Rickettsia 는 숙주 세포 의존성이 높다). 따라서 “전형적 특징”과 “절대적 정의”를 구분해야 한다.

1.2 세균과 다른 감염·미생물 범주의 비교

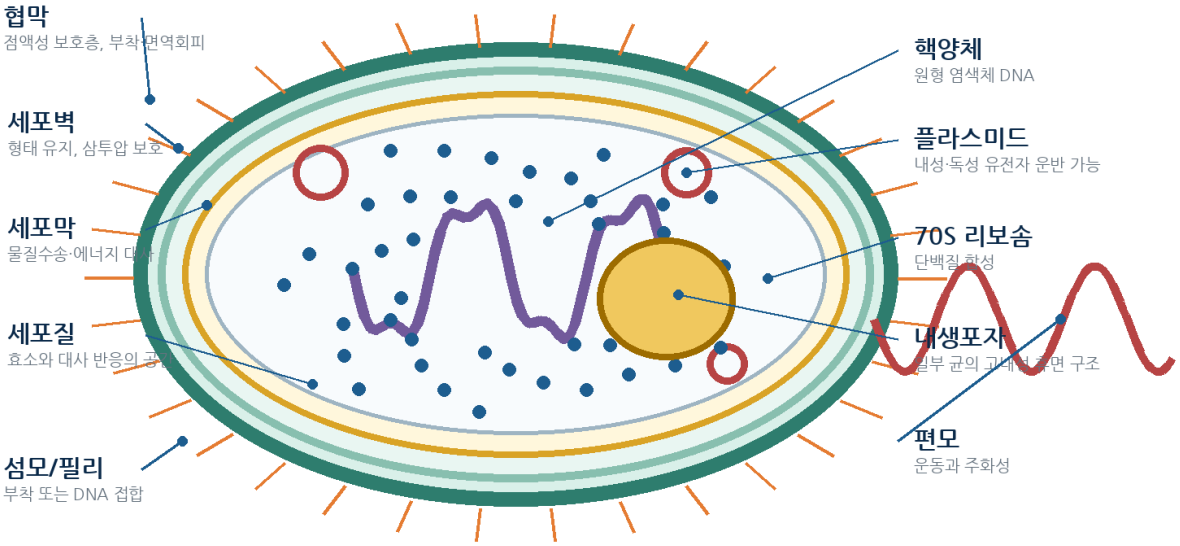
구분	세포성 여부	핵심 구조	증식/대사	주요 치료 접근	예
세균	세포성 생명체	원핵세포, 핵막 없음	대개 독립 대사·이분법	항생제가 일부에 효과	대장균, 결핵균
바이러스	비세포성 입자	핵산+단백질 껍질, 때로 외피	숙주 세포에서만 복제	항바이러스제·백신	인플루엔자, 코로나바이러스
고세균	세포성 생명체	원핵세포이나 막지질·유전자 발현이 세균과 다름	다양한 극한/일반 환경	임상 항생제 표적과 반응이 다름	메탄생성 고세균
진균	진핵세포	핵·소기관, 키틴/글루칸 세포벽	출아·포자·균사 성장	항진균제	칸디다, 아스페르길루스
원생생물	대부분 진핵 단세포	핵·소기관, 형태 다양	분열·생활사 다양	항원충제 등	아메바, 말라리아 원충
기생충	원충 또는 다세포 동물 포함	진핵세포, 복잡한 생활사	숙주 의존	구충제·항원충제	회충, 촌충, 주혈흡충

2. 세균 세포의 구조와 기능

세균의 작은 크기는 높은 표면적/부피 비율을 만들어 물질 교환과 빠른 성장에 유리하다. 그러나 세균은 단순한 “주머니”가 아니라, 세포외피·유전체·리보솜·세포골격 단백질·감각 및 운동 장치를 정교하게 조직한 생명체다.

세균 세포의 기본 구조

원핵세포: 핵막이 없고 70S 리보솜을 가짐



※ 모든 세균이 협막·편모·내생포자를 갖는 것은 아니다.

그림 1. 전형적인 세균 세포의 구조. 실제 구성은 균종과 성장 조건에 따라 달라진다.

구조	핵심 기능과 의미
세포벽	주로 펩티도글리칸으로 구성. 형태 유지, 삼투압에 의한 파열 방지, 그람반응 결정. 마이코박테리아는 지질이 풍부한 특수 외피를 갖고, 마이코플라스마는 세포벽이 없다.
세포막	인지질 이중층. 선택적 투과, 수송, 전자전달, ATP 생성, 세포벽 합

구조	핵심 기능과 의미
	성 효소의 작업 공간. 진핵 미토콘드리아의 일부 기능을 세포막이 수행한다.
세포질	물·이온·대사산물·효소가 존재하는 반응 공간. 막성 소기관은 없지만 단백질 복합체와 미세구획이 기능을 조직한다.
70S 리보솜	30S+50S 소단위체로 구성되어 mRNA 를 번역한다. 진핵 80S 리보솜과 차이가 있어 여러 항생제의 선택적 표적이 된다.
핵양체	핵막 없이 응축된 염색체 영역. 대개 하나의 원형 이중가닥 DNA 이지만 선형 염색체나 다중 염색체를 가진 종도 있다.
플라스미드	염색체와 독립적으로 복제되는 DNA. 항생제 내성, 독소, 대사 기능, 접합 관련 유전자를 운반할 수 있다.
편모	회전 모터와 필라멘트로 운동·주화성을 수행한다. 배열은 단모성·총모성·주모성 등 다양하다.
섬모/필리	짧고 다수인 부착 구조. 일부 성필리는 접합 과정에서 DNA 전달 통로를 만든다.
협막/점액층	다당류 또는 폴리펩타이드성 외층. 건조 방지, 표면 부착, 식균작용 회피, 생물막 형성에 기여한다.
내생포자	Bacillus·Clostridium 계열 일부가 형성하는 고내성 휴면 구조. 증식 구조가 아니라 생존 구조이며, 조건이 좋아지면 발아한다.

3. 형태·배열·생리·그람염색에 따른 분류

3.1 형태와 배열

형태	모양	전형적 배열	대표 예
구균(coccus)	구형	쌍구균, 연쇄상구균, 포도상구균, 사련구균	폐렴구균, 황색포도상구균
간균(bacillus)	막대형	단간균, 연쇄간균, 짧은 구간균	대장균, 탄저균
나선균/스피릴룸	단단한 나선·곡선	단독 또는 소수 배열	Spirillum
스피로헤타	가늘고 유연한 나선	축사에 의한 코르크마개 운동	매독균, 렙토스피라
비브리오	쉼표 모양 곡선 간균	단독	콜레라균
다형성	조건에 따라 모양 변화	불규칙	Mycoplasma, Corynebacterium

3.2 운동성·산소·영양·환경 조건

분류 축	설명
산소 요구도	절대호기성: 산소 필요 / 절대혐기성: 산소가 독성 / 통성혐기성: 산소 유무 모두 성장 / 미호기성: 낮은 산소 선호 / 내기성혐기성: 산소를 쓰지 않지만 견딤
영양·에너지	광영양·화학영양, 유기영양·무기영양의 조합. 의학 세균 다수는 유기물을 탄소·에너지원으로 사용한다.
온도	저온성, 중온성, 고온성. 인간 병원균 다수는 체온 부근에서 잘 자라는 중온성이다.

분류 축	설명
pH	산성·중성·알칼리성 선호군. 위의 H. pylori 는 우레아제로 국소 산도를 완충한다.
염도	비호염성, 내염성, 호염성. Staphylococcus 는 상대적으로 염에 강해 선택배지에서 이용된다.
운동성	편모 운동, 활주 운동, 스피로헤타 축사 운동. 운동성이 없는 세균도 많다.

3.3 그람염색의 원리와 임상적 의미

그람염색은 결정자색 → 요오드 → 알코올/아세톤 탈색 → 사프라닌 대조염색의 순서로 진행된다. 두꺼운 펩티도글리칸층은 결정자색-요오드 복합체를 유지하여 보라색으로 보이고, 그람음성균은 탈색 과정에서 외막이 손상되고 얇은 펩티도글리칸이 색소를 유지하지 못해 대조염색의 분홍색을 띤다.

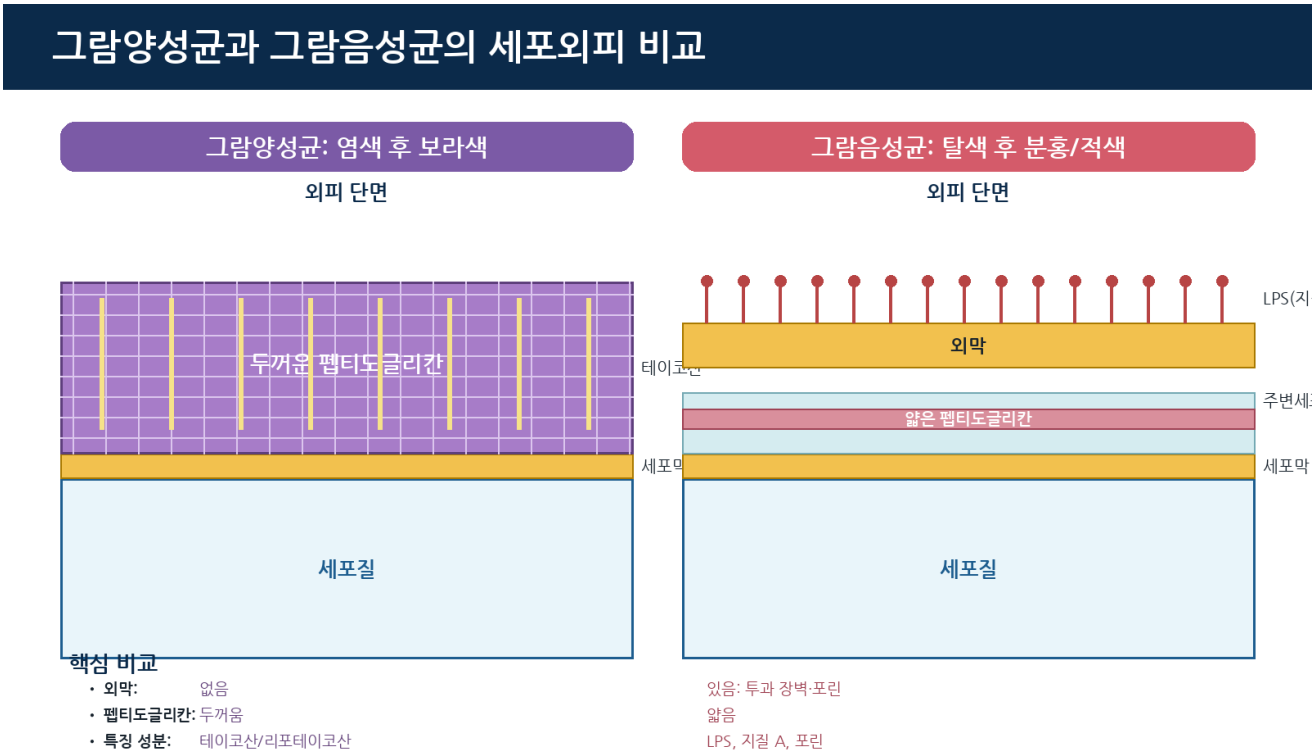


그림 2. 그람양성균과 그람음성균 외피의 전형적 차이. 실제 항생제 감수성은 균종·내성유전자·감염 부위에 따라 달라진다.

그람염색의 한계 결핵균은 지질이 많은 세포벽 때문에 항산성 염색을 사용하고, Mycoplasma 는 세포벽이 없어 그람염색이 적합하지 않다. 오래된 배양균이나 항생제 노출 균은 그람반응이 불안정할 수 있다.

4. 증식·성장곡선·집락·생물막·포자

4.1 이분법과 성장곡선

세균은 DNA 를 복제한 뒤 세포 중앙에 분열 고리와 격벽을 형성하여 두 딸세포로 나뉜다. 이상적 조건에서는 세포수가 지수적으로 증가하지만, 실제 배양에서는 지연기-대수기-정지기-사멸기의 성장곡선을 보인다. 대수기에는 세포벽 합성·단백질 합성이 활발하여 많은 항생제가 잘 작용한다. 정지기에는 영양 고갈과 노폐물 축적으로 성장과 사멸이 균형을 이루며 스트레스 반응이 증가한다.

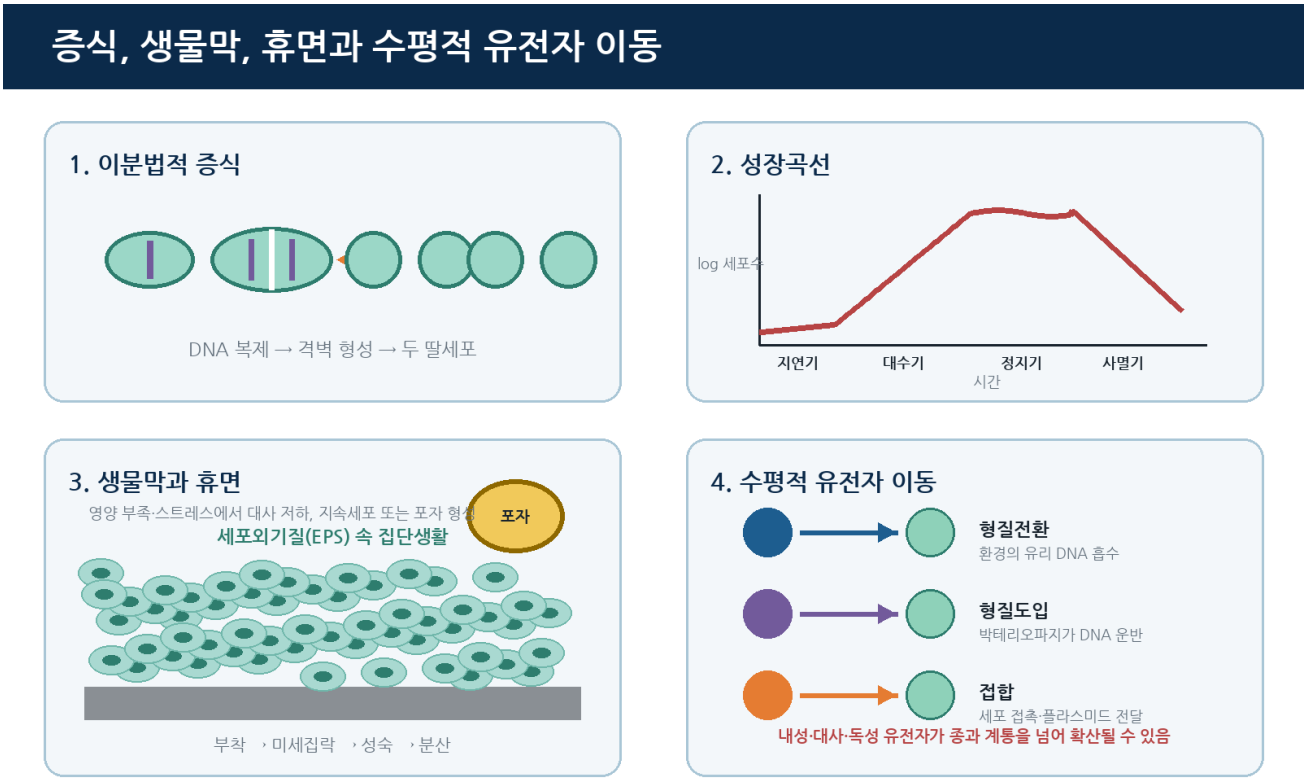


그림 3. 이분법, 성장곡선, 생물막·휴면, 수평적 유전자 이동의 개요.

4.2 집락과 생물막

고체배지에서 한 세포 또는 세포 집단이 증식하면 육안으로 보이는 집락(colony)이 형성된다. 집락의 크기·색·윤기·용혈·냄새·가장자리 모양은 동정 단서가 된다. 생물막(biofilm)은 표면에 부착한 세균이 다당류·단백질·세포외 DNA 로 이루어진 기질을 만들고 공동체를 형성한 상태다. 치태, 만성 상처, 도뇨관·인공관절 감염, 산업 배관 오염에서 중요하다. 생물막은 약물 침투 저하, 느린 성장, 스트레스 반응, 지속세포, 유전자 교환 때문에 치료가 어렵다.

4.3 휴면, 지속세포, 포자 형성과 발아

일부 세균은 영양 부족이나 독성 스트레스에서 대사를 낮춰 휴면 상태로 들어간다. 지속세포(persister)는 유전적 내성이 아니라 일시적 생리 상태 때문에 항생제에 살아남으며, 약물이 사라진 뒤 다시 성장할 수 있다. 내생포자는 DNA·효소를 보호하는 핵(core), cortex, coat 를 단계적으로 만들고 모세포가 붕괴하면서 방출된다. 열·건조·방사선·화학물질에 강하지만 모든 소독법에 절대적으로 견디는 것은 아니다. 적절한 영양·온도 신호를 받으면 활성화-발아-성장으로 영양세포가 된다.

5. 세균 유전학과 수평적 유전자 이동

5.1 돌연변이와 선택

DNA 복제 오류, 산화 스트레스, 자외선·화학물질, 이동성 유전요소에 의해 돌연변이가 생긴다. 항생제가 “필요한 돌연변이”를 만들어내는 것이 아니라, 이미 존재하거나 새로 발생한 변이 중 생존에 유리한 개체를 선택한다. 집단 규모가 크고 세대 시간이 짧아 희귀 변이도 빠르게 축적될 수 있다.

5.2 수평적 유전자 이동의 세 경로

기전	원리	의학적 의미
형질전환	환경에 존재하는 자유 DNA 를 수용해 염색체에 재조합하거나 플라스미드로 유지	폐렴구균의 캡슐형질 전환, 내성 유전자 획득

기전	원리	의학적 의미
형질도입	박테리오파지가 한 세균의 DNA 를 다른 세균으로 운반	독소 유전자·염색체 조각 이동
접합	공여균과 수용균이 접촉하고 플라스미드 또는 염색체 DNA 가 전달	R 플라스미드, 카바페넴분해효소 유전자 확산
이동성 요소	트랜스포존·인테그론·삽입서열이 유전자 카세트를 이동·재배열	다제내성 유전자 군집 형성
핵심 해석 수평적 유전자 이동은 세균 진화를 “가계도”만으로 설명하기 어렵게 한다. 항생제 내성, 새로운 대사능, 숙주 적응, 독소 생산이 종 경계를 넘어 확산될 수 있다.		

6. 자연생태계와 인간 생활에서의 역할

세균은 토양·담수·해양·대기 입자·빙하·열수구·동식물 표면과 내부 등 거의 모든 환경에 존재한다. 미생물 군집은 개별 종의 목록이 아니라, 물질·에너지·신호를 주고받는 네트워크다.

기능	설명
분해	식물·동물 잔해, 배설물, 복합 유기물을 작은 분자로 분해하여 영양소를 재순환
질소순환	질소고정, 암모니아화, 질산화, 탈질을 통해 생물 이용 가능한 질소와 대기 질소를 연결
탄소·황·철 순환	유기탄소 발효·호흡, 메탄 생성 고세균과의 공생, 황·철의 산화환원 반응 수행
발효	산소가 제한된 조건에서 젖산·아세트산·에탄올·가스·향미 물질 생산
식물 공생	뿌리혹 질소고정, 뿌리권 영양소 가용화, 병원균 억제, 식물호르몬 조절
동물 공생	초식동물의 섬유소 분해, 곤충 영양 공급, 피부·점막의 병원체 정착 저항성
공기 중 역할	세포·포자·DNA 가 에어로졸로 이동하며 구름 핵 형성이나 장거리 분산에 일부 기여

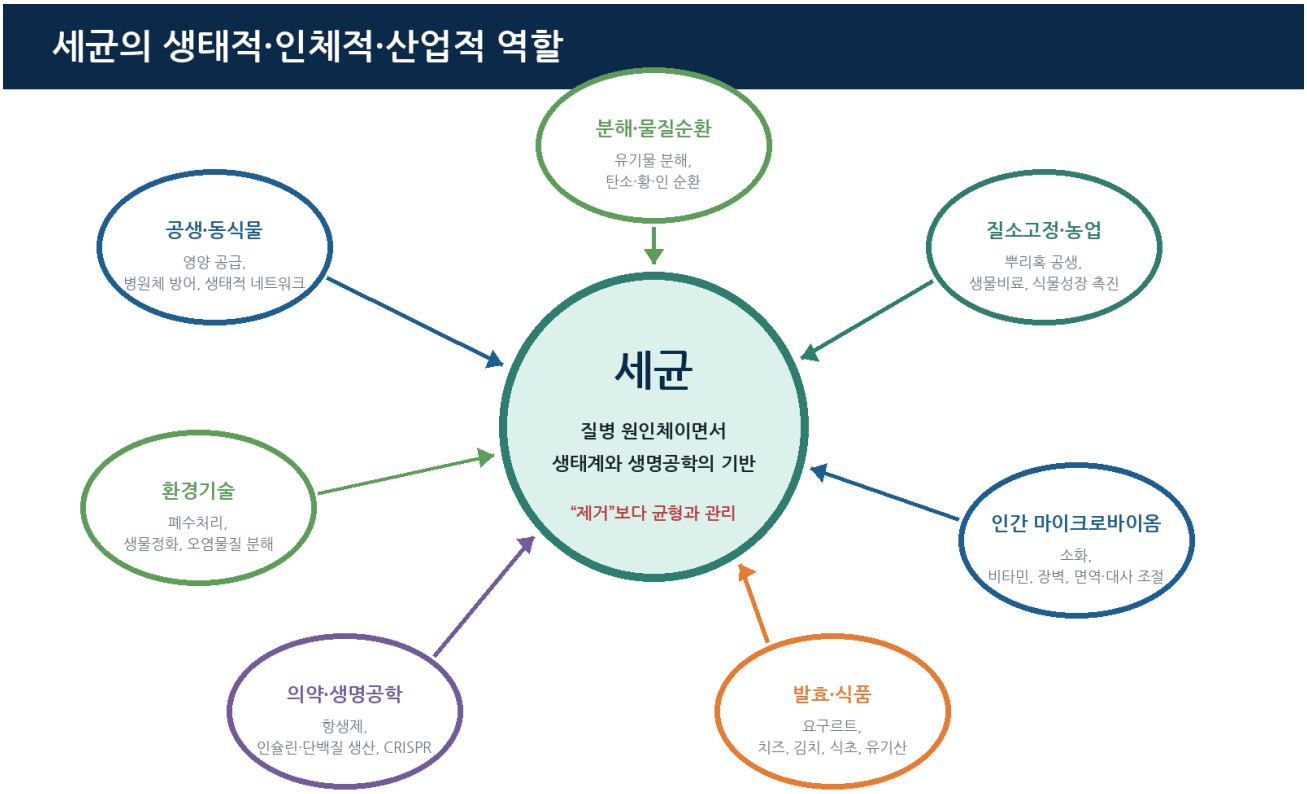


그림 4. 세균의 생태적·인체적·산업적 역할은 서로 연결되어 있다.

7. 인간 마이크로바이옴과 장내세균

7.1 미생물총과 마이크로바이옴

미생물총(microbiota)은 특정 환경에 사는 미생물 집단을, 마이크로바이옴(microbiome)은 그 미생물과 유전자·대사산물·환경 상호작용을 포괄하는 개념으로 쓰인다. 인체의 피부, 구강, 장, 호흡기, 비뇨생식기에는 부위별로 다른 군집이 존재한다. "정상균"은 고정된 단일 목록이 아니라 연령·식사·약물·환경·질병에 따라 변화하는 생태계다.

기능	주요 기전과 해석
소화·에너지	사람 효소가 분해하기 어려운 식이섬유를 발효하여 단쇄지방산(SCFA)을 생산하고 장세포 에너지와 대사 신호에 기여
비타민·대사	비타민 K 와 일부 비타민 B, 담즙산 변환, 약물·식이 성분 대사에 관여
장벽 보호	점액층·상피 연결·항균물질을 조절하고 영양소·공간 경쟁으로 병원체의 정착을 억제
면역 교육	선천·적응면역의 발달과 관용, 염증 반응의 강도 조절에 기여
전신 영향	미생물 대사산물이 간·면역·신경·내분비 신호와 상호작용. 다만 많은 연관성은 인과관계가 아직 확정되지 않음
"좋은 균/나쁜 균"의 함정 같은 종도 균주에 따라 기능이 다르고, 같은 균이 장에서는 공생하지만 혈액이나 복강으로 이동하면 감염을 일으킬 수 있다. 건강은 특정 균 하나보다 군집의 기능·다양성·숙주 상태·환경의 균형으로 이해하는 편이 정확하다.	

7.2 항생제와 마이크로바이옴

항생제는 표적 병원체뿐 아니라 감수성 있는 공생균도 감소시킬 수 있다. 그 결과 설사, Candida 과증식, Clostridioides difficile 감염 위험, 내성 유전자 저장고 확대가 나타날 수 있다. 그러나 필요한 세균 감염에서 항생제를 피하는 것도 위험하다. 핵심은 정확한 진단, 가능한 좁은 범위의 약제, 적절한 용량·기간, 감수성 결과에 따른 조정이다.

8. 병원성과 독소

8.1 병원성 세균과 기회감염균

병원성(pathogenicity)은 감염을 일으켜 질병을 유발할 수 있는 능력이고, 독력(virulence)은 그 정도다. 일차 병원체는 건강한 숙주에서도 질병을 일으킬 수 있지만, 기회감염균은 면역저하·장벽 손상·의료기기·미생물총 교란 등의 조건에서 문제를 일으킨다. “비병원성”도 절대적 속성이 아니라 숙주와 감염 부위에 따라 달라진다.

병원성 단계	대표 기전
부착	필리·표면단백질·다당류가 숙주 수용체나 의료기기에 결합하여 제거를 피함
침입·확산	조직 분해 효소, 세포골격 조작, 세포 내 생존으로 장벽을 통과하거나 퍼짐
영양 획득	철 결합물질(siderophore), 헤모글로빈 이용 등으로 숙주의 제한된 영양을 확보
독소 생산	세포 신호·단백질 합성·신경전달·수분 이동을 교란하여 증상을 유발
면역 회피	협막, 항원 변화, 보체 억제, 식세포 내 생존, IgA 분해, 생물막 등
조직 손상	세균 직접 작용과 숙주의 과도한 염증·응고·면역반응이 함께 손상 유발

8.2 외독소와 내독소

비교	외독소	내독소
본질	대개 단백질	그람음성균 외막 LPS 의 지질 A
생산/방출	살아 있는 세균이 분비하거나 용해 시 방출	외막 소포 또는 세포 용해 등으로 노출
표적	특정 수용체·효소·세포 기능을 정밀하게 표적	선천면역 수용체를 활성화해 전신 염증 유발
효과	신경독성, 장독성, 단백질 합성 억제 등 매우 다양	발열, 혈관확장, 저혈압, 파종성 응고, 쇼크 가능
열 안정성	대개 열에 약하지만 예외 있음	상대적으로 열에 안정
백신 활용	불활성화 톡소이드 가능(파상풍·디프테리아)	일반적 톡소이드 방식은 어려움
예	보툴리눔독소, 콜레라독소	Enterobacterales 등의 LPS

9. 대표적 병원성 세균 10 종

아래 치료 내용은 원칙과 대표적 접근을 요약한 것이다. 실제 치료는 감염 부위, 중증도, 임신·연령·신장기능, 지역 내성률, 배양·감수성 결과와 최신 지침에 따라 달라져야 한다.

9.1 결핵균 (Mycobacterium tuberculosis)

항목	내용
핵심 특징	항산성 간균. 지질이 풍부한 세포외피와 느린 성장, 대식세포 내 생존 능력이 특징.
전파·질환	폐 또는 후두 결핵 환자가 내보낸 공기 중 미세 비말핵을 통해 전파. 잠복감염과 활동성 결핵을 구분.
진단	병력·흉부영상, 객담 항산균 도말, 핵산증폭검사(NAAT), 배양과 약제감수성검사. 잠복감염은 IGRA 또는 피부반응검사와 활동성 배제.
치료	여러 약제를 동시에 사용하는 장기 치료가 원칙. 약제내성 여부와 치료 반응에 따라 조합·기간을 조정하며, 복약 순응도와 공중보건 추적이 중요.
예방	조기 발견·격리·환기·호흡기 보호, 잠복결핵 치료. BCG 는 결핵 고부담 국가에서 소아 중증 결핵 예방에 사용되며 미국에서는 일반적으로 정규 접종하지 않음.

9.2 대장균 (Escherichia coli)

항목	내용
핵심 특징	장내 공생균이지만 균주에 따라 설사, 요로감염, 패혈증, 신생아 수막염을 유발. 장병원성 유형은 독소·부착·침입 기전이 다름.
전파·질환	분변-경구, 오염 식품·물, 사람·동물 접촉. 요로감염은 대개 자신의 장내 균이 요도로 이동.
진단	소변·혈액·대변 배양, 독소 또는 병원성 유전자 PCR, 임상 맥락에 따른 감수성검사.
치료	감염 부위와 내성에 따라 결정. 수분 보충이 중심인 설사도 많다. Shiga 독소 생성 대장균(STEC) 의심 시 항생제와 지사제가 용혈성 요독증후군 위험을 높일 수 있어 전문 판단이 필요.
예방	육류 충분히 가열, 교차오염 방지, 비살균 우유·주스 피하기, 손 씻기, 안전한 물. 요로감염은 해부학적·행동 요인 평가.

9.3 황색포도상구균 (Staphylococcus aureus)

항목	내용
핵심 특징	그람양성 포도송이상 구균. 피부·코에 흔히 집락하며, 독소·효소·응고효소·단백 A·생물막 등 다양한 병원성 인자를 보유.
전파·질환	직접 접촉, 상처, 오염된 손·물품. 피부농양, 폐렴, 균혈증, 심내막염, 골관절감염, 독소성 식중독·독성쇼크.
진단	농·혈액·조직 배양, MALDI-TOF 또는 분자검사, 감수성검사. MRSA 여부 확인.
치료	농양은 적절한 절개·배농이 핵심일 수 있음. 항생제는 감염 부위·중증도·MSSA/MRSA 감수성에 맞춤.
예방	손 위생, 상처 덮기, 개인용품 공유 금지, 의료기기 관리. 집락제거는 특정 고위험 상황에서만 지침에 따라 시행.

9.4 폐렴구균 (Streptococcus pneumoniae)

항목	내용
핵심 특징	협막을 가진 그람양성 쌍구균. 협막 혈청형이 다양하고 비인두에 집락.
전파·질환	호흡기 비말과 밀접 접촉. 중이염, 부비동염, 폐렴, 균혈증, 수막염.
진단	혈액·뇌척수액·호흡기 검체 배양, 그람염색, 소변 항원, PCR. 침습성 감염은 감수성검사가 중요.
치료	감염 부위와 중증도, 지역 내성률, 감수성에 따라 β-락탐 등 선택. 수막염은 경험적 광범위 치료 후 결과에 따라 축소.
예방	연령·위험군에 따른 폐렴구균 결합백신/다당질백신, 호흡기 위생, 금연, 기저질환 관리.

9.5 살모넬라균 (Salmonella enterica 등)

항목	내용
핵심 특징	그람음성 장내세균. 비장티푸스 살모넬라와 장티푸스/파라티푸스가 임상적으로 구분됨.
전파·질환	오염된 달걀·가금류·육류·채소, 파충류·가금류 접촉, 오염수. 위장염, 균혈증, 국소 감염; 장티푸스는 전신성 질환.
진단	대변 배양 또는 다중 PCR. 중증·전신 감염은 혈액배양과 감수성검사.
치료	대부분 비장티푸스 위장염은 수분 보충. 영아·고령·면역저하·중증·균혈증 또는 장티푸스는 항생제 고려, 내성 정보가 중요.
예방	식품 가열·냉장·교차오염 방지, 동물 접촉 후 손 씻기, 장티푸스 유행 지역 여행 시 백신·안전한 식수.

9.6 콜레라균 (Vibrio cholerae O1/O139)

항목	내용
핵심 특징	곡선형 그람음성 간균. 콜레라독소가 장세포의 염소·수분 분비를 증가시켜 대량 수양성 설사를 유발.
전파·질환	오염된 물과 식품, 위생·상하수도 인프라가 취약한 곳에서 확산. 심한 탈수와 쇼크 가능.
진단	임상·역학적 판단, 대변 배양·신속검사·PCR. 공중보건 확인과 혈청형/독소 확인.
치료	경구수분보충액이 최우선이며 중증은 정맥수액. 항생제는 중증에서 설사 기간·균 배출을 줄일 수 있고 지역 감수성에 맞춤. 소아는 아연 보충이 도움이 될 수 있음.
예방	안전한 식수, 하수 처리, 손 위생, 음식 가열, 유행·여행 위험에 따른 경구 콜레라 백신.

9.7 헬리코박터 파일로리 (Helicobacter pylori)

항목	내용
핵심 특징	나선형·미호기성 그람음성균. 우레아제로 위산 주변을 완충하고 위

항목	내용
	점막에 만성 염증을 일으킴.
전파·질환	가족·지역사회 내 구강-구강 또는 분변-경구 전파가 추정. 만성 위염, 소화성 궤양, 위선암·MALT 림프종 위험 증가.
진단	요소호기검사, 대변 항원검사, 내시경 생검의 신속요소분해·조직·배양/PCR. 검사 전 산분비억제제·항생제 영향 고려.
치료	위산 억제제와 여러 항생제를 조합. 클라리스로마이신·메트로니다졸 등 지역 내성 때문에 경험적 요법 선택이 중요하며, 치료 후 제균 확인이 권장됨.
예방	개인·식수 위생, 감염자 진단·치료. 현재 널리 사용되는 상용 백신은 없음.

9.8 매독균 (Treponema pallidum)

항목	내용
핵심 특징	매우 가는 스피로헤타로 일반 광학현미경·인공배양이 어렵다.
전파·질환	성접촉, 태반을 통한 수직전파. 1 기 궤양, 2 기 전신 발진, 잠복기, 신경·심혈관·고무종성 후기 질환; 선천매독.
진단	비트레포네마 검사(RPR/VDRL)와 트레포네마 특이검사를 조합. 병변 직접검사·PCR 은 상황에 따라 사용. 신경매독은 뇌척수액 평가.
치료	페니실린이 표준이며 병기·신경계 침범·임신 여부에 따라 제형·기간이 달라짐. 치료 후 혈청 역가 추적.
예방	콘돔이 위험을 낮추지만 병변 위치에 따라 완전하지 않음. 정기검사, 임신 조기 선별, 파트너 통보·치료, 치료 완료 전 성접촉 회피.

9.9 탄저균 (Bacillus anthracis)

항목	내용
핵심 특징	큰 그람양성 포자형성 간균. 협막과 세 성분 독소가 부종·조직 손상을 유발.
전파·질환	토양의 포자, 감염 동물·동물제품. 피부, 흡입, 위장관, 주사 관련 탄저. 일반적으로 사람 간 전파는 매우 드묾.
진단	노출력과 임상 의심이 중요. 혈액·병변·호흡기 검체의 배양·PCR·독소검사, 영상. 공중보건기관과 즉시 협력.
치료	노출 후 예방은 항생제와 상황에 따라 백신. 전신성·흡입 탄저는 여러 항생제와 항독소, 집중치료가 필요.
예방	직업 고위험군 백신, 동물 방역, 의심 동물제품 회피, 실험실·우편물 사건 대응 절차.

9.10 보툴리누스균 (Clostridium botulinum)

항목	내용
핵심 특징	혐기성 포자형성 그람양성 간균. 보툴리눔 신경독소가 아세틸콜린 방출을 차단해 하행성 이완성 마비를 일으킴.
전파·질환	가정식 통조림 등에서 생성된 독소 섭취, 상처 내 증식, 영아 장내

항목	내용
	증식. 사람 간 전파는 없음.
진단	임상적 응급 판단이 우선. 혈청·대변·식품·상처 검체의 독소 또는 균 검사. 검사 결과를 기다리지 않고 항독소 투여를 고려.
치료	항독소를 가능한 빨리 투여하고 호흡부전 감시·기계환기 등 집중 지지치료. 상처형은 변연절제와 항생제. 영아용 면역글로불린 사용.
예방	저산성 식품의 안전한 압력 통조림, 부풀거나 누출된 통조림 폐기, 1 세 미만 영아에게 꿀 금지, 주사약물 상처 예방.

10. 항생제의 역사와 작용 원리

10.1 발견과 발전

- 1910 년대: 에를리히의 살바르산은 선택독성 개념을 제시했고 매독 치료에 사용됐다.
- 1930 년대: 설폰아마이드가 전신 세균 감염 치료 시대를 열었다.
- 1928 년 페니실린 관찰, 1940 년대 정제·대량생산으로 β-락탐 시대가 시작됐다.
- 1940~1960 년대 토양 미생물 탐색을 통해 스트렙토마이신, 테트라사이클린, 마크롤라이드, 글리코펩타이드 등이 발견됐다.
- 이후 반합성·완전합성 약물, 약동학 개선, 내성 회피 설계가 발전했지만 새로운 계열의 등장 속도는 둔화됐다.

10.2 작용 원리별 분류

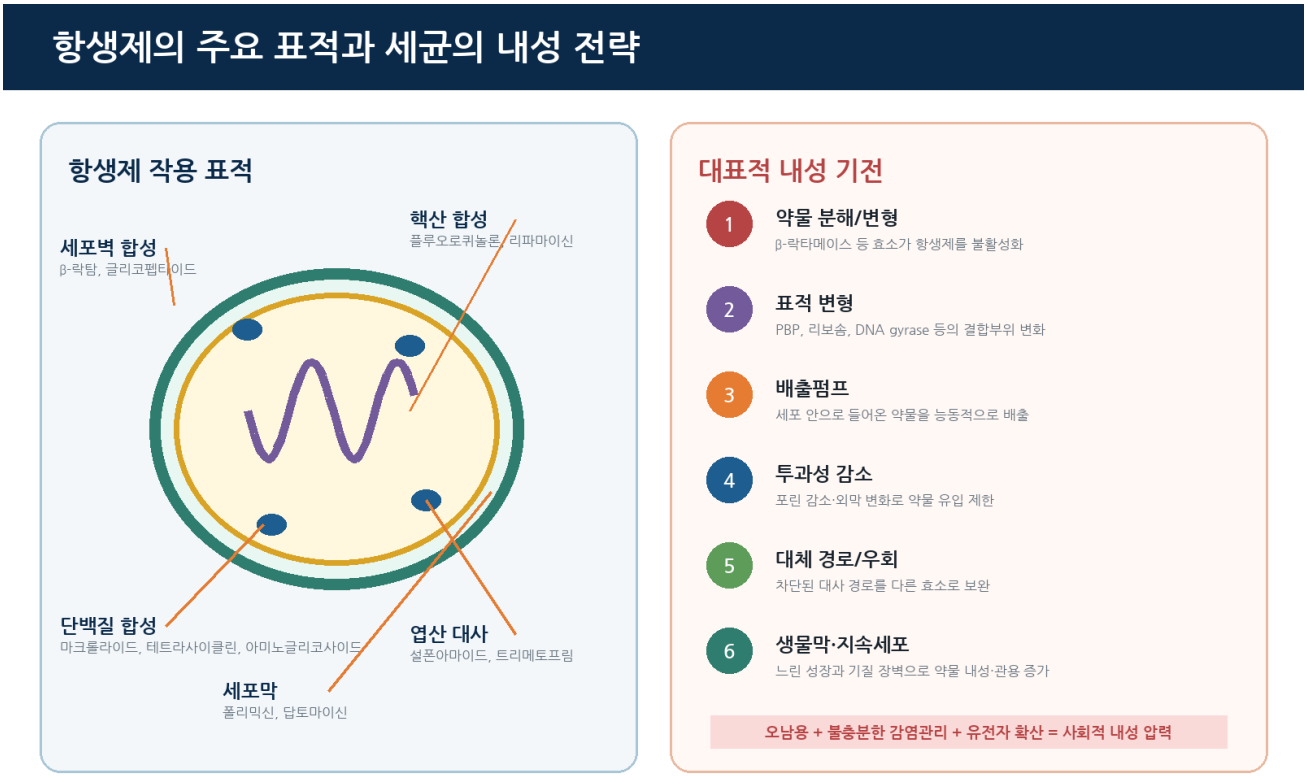


그림 5. 항생제의 주요 표적과 세균이 사용하는 대표적 내성 기전.

표적	대표 계열	원리
세포벽 합성 억제	β-락탐(페니실린·세팔로스포린·카바페넴), 글리코펩타이드	PBP 또는 펩티도글리칸 전구체를 표적. 성장 중인 세균에서 효과가 큼.

표적	대표 계열	원리
단백질 합성 억제	아미노글리코사이드, 테트라사이클린, 마크롤라이드, 클린다마이신, 옥사졸리디논	30S 또는 50S 리보솜에 결합하여 번역의 정확도·개시·전위를 방해.
핵산 합성/기능 억제	플루오로퀴놀론, 리파마이신, 니트로이미다졸	DNA gyrase/토포이소머레이스, RNA 중합효소 또는 DNA 손상을 표적.
대사 경로 차단	설폰아마이드, 트리메토프림	세균의 엽산 합성 경로를 연속적으로 차단. 사람은 엽산을 식이로 얻어 선택성이 생김.
세포막 손상	폴리믹신, 답토마이신	막 투과성 또는 막전위를 교란. 독성과 선택성이 중요한 제한 요인.
항산균 특이 표적	이소니아지드, 에탐부톨, 피라진아미드 등	미콜산·아라비노갈락탄·에너지 대사 등 결핵균의 독특한 구조·생리를 표적.

살균성 vs 정균성 살균성 약물은 세균을 직접 죽이고 정균성 약물은 증식을 억제한다고 분류하지만, 실제 효과는 균종·농도·감염 부위·면역상태에 따라 달라진다. 이 구분만으로 우열을 판단할 수 없다.

11. 항생제 내성과 공중보건 위험

11.1 내성은 어떻게 생기는가

내성은 자연선택과 유전자 이동의 결과다. 항생제 사용은 감수성 균을 제거하여 내성 균의 상대적 비율을 높인다. 처방 오남용뿐 아니라 불충분한 감염관리, 가축·농업 사용, 제약 오염, 위조·불량 약, 치료 중단, 진단 지연, 국제 이동이 내성의 발생과 확산에 관여한다.

기전	설명
β-락타메이스	β-락탐 고리를 절단. ESBL, AmpC, KPC, NDM, OXA 계열 등 스펙트럼이 다양.
표적 변형	mecA 의 PBP2a(MRSA), van 유전자군의 세포벽 말단 변경(VRE), 리보솜·DNA gyrase 변이.
배출펌프	여러 계열 약물을 외부로 배출해 세포 내 농도를 낮춤. 다제내성에 기여 가능.
투과성 변화	그람음성균의 포린 감소·변형, 외막 조성 변화로 약물 유입을 제한.
약물 우회·대체	저해된 대사 효소를 대체하거나 표적을 과생산.
생물막·지속세포	유전적 내성과 별개인 관용(tolerance)을 높이고 재발·만성화를 촉진.
유전자 획득	플라스미드·트랜스포존·인테그론·파지를 통해 내성 유전자가 빠르게 확산.

11.2 대표적 내성균

사례	핵심 위험
MRSA	mecA/mecC 등으로 변형 PBP 를 만들어 대부분의 전통적 β-락탐에 내성. 지역사회 피부감염부터 병원 균혈증·폐렴까지 범위가 넓음.
VRE	Enterococcus 가 van 유전자군으로 vancomycin 결합 표적을 변경. 면역저하·장기입원·항생제 노출 환자에서 중요.

사례	핵심 위험
다제내성 결핵(MDR/RR-TB)	적어도 rifampicin 내성 또는 주요 1 차약 복합 내성. 치료가 더 길고 독성이 크며 성공률이 낮아질 수 있음.
카바페넴 내성 장내세균목(CRE)	카바페넴분해효소(KPC, NDM, OXA-48-like 등), 포린 변화 +ESBL/AmpC 조합. 혈류·요로·복강 감염에서 선택지가 제한.
다제내성 녹농균/아시네토박터	외막 장벽, 펌프, 효소, 생물막, 환경 생존이 결합하여 의료관련 감염을 어렵게 함.

11.3 개인과 사회에 미치는 영향

- 개인: 초기 경험적 치료 실패, 입원·격리·독성 높은 약물·수술 필요, 사망 위험 증가.
- 의료체계: 검사와 치료 비용 증가, 병상 회전 저하, 수술·암치료·이식·신생아 치료의 안전성 위협.
- 경제·사회: 노동손실, 돌봄 부담, 국가 간 불평등 확대, 식품·축산·여행·무역에 파급.
- 정책: 항생제 스튜어드십, 신속진단, 감염예방, 감시, 백신, 신약·대체치료 연구를 One Health 관점에서 통합해야 함.

현재의 국제적 우선순위 WHO 의 2024 세균 우선순위 병원체 목록은 24 개 병원체를 15 개 계열로 묶어 critical·high·medium priority 로 구분했다. 최후수단 항생제에 내성인 그람음성균, 약제내성 결핵균, 내성 포도상구균·장내세균 등이 핵심 대상이다.

12. 세균 감염의 진단법

12.1 검체가 진단의 출발점

좋은 검사는 좋은 검체를 대체할 수 없다. 감염 부위에서 적절한 양을, 가능한 항생제 투여 전에, 오염을 최소화해 채취하고 신속히 운송해야 한다. 혈액배양은 충분한 혈액량과 여러 세트가 중요하고, 객담은 침이 아닌 하기도 분비물이어야 한다.

방법	속도	장점	한계
현미경·염색	수분~수시간	빠르고 저렴, 형태·그람반응·염증세포 확인	민감도가 낮을 수 있고 종 수준 동정 제한
배양검사	수시간~수주	살아 있는 균 분리, 동정·감수성검사·역학 분석 가능	느린 균/항생제 사전노출/배양 불가 균에서 한계
생화학·MALDI-TOF	수분~하루	대사반응 또는 단백질 지문으로 빠른 종 동정	기본적으로 분리 균이 필요, 데이터베이스 의존
항원검사	수분	신속·간편, 특정 병원체 성분 검출	민감도·특이도와 지속 양성 문제, 표적 제한
PCR/NAAT	수시간	매우 빠르고 민감, 배양이 어렵거나 항생제 후에도 검출 가능	죽은 균 DNA 검출, 제한된 표적, 내성 표현형을 완전히 대체 못함
16S rRNA/유전체 분석	하루~수일	배양음성 난치 감염, 전파 추적, 내성·독력 유전자 분석	비용·해석·오염·임상적 의미 판단이 복잡
항생제 감수성검사(AST)	하루 이상	MIC 또는 감수성 범주로 치료 최적화	실험실 결과와 체내 효과가 완전히 일치하지 않으며 표준 해석 필요

12.2 감수성검사의 원리

- 디스크 확산법: 항생제 디스크 주위 억제환의 지름을 표준 기준과 비교.
- 액체 희석법: 여러 농도에서 성장을 관찰해 최소억제농도(MIC)를 측정.

- 구배 확산법: 농도 구배 스트립과 억제 타원의 교점으로 MIC 추정.
- 자동화 시스템: 성장 신호와 데이터베이스를 이용해 빠르게 동정·감수성 결과 제공.
- 분자 내성검사: mecA, vanA, carbapenemase 등 유전자를 빠르게 찾지만, 유전자가 없다고 모든 표현형 내성을 배제할 수는 없음.

해석의 핵심 검사 결과는 "균이 검출되었다"에서 끝나지 않는다. 감염인지 집락인지, 오염 가능성, 검체의 질, 숙주 면역, 감염 부위의 약물 도달, MIC 와 임상 breakpoint 를 함께 해석해야 한다.

13. 멸균·소독·위생·백신·감염관리

수단	역할과 주의점
세척(cleaning)	비누·세제·물리적 마찰로 오염과 유기물을 제거. 소독·멸균 전 필수 단계.
소독(disinfection)	무생물 표면의 많은 병원성 미생물을 비활성화하지만 모든 포자를 제거하지는 못할 수 있음. 농도·접촉시간·표면 청결이 중요.
방부(antisepsis)	피부·조직에 적용하는 항미생물 처리. 독성 때문에 소독제와 용도가 다름.
멸균(sterilization)	세균 포자를 포함한 모든 생존 가능한 미생물을 제거·파괴. 고압증기, 건열, 가스, 과산화수소 플라스마, 여과 등.
손 씻기	비누와 물로 물리적으로 제거. 손이 눈에 보이게 더럽거나 포자성 병원체 상황에서는 특히 중요. 알코올 손소독제는 편리하지만 모든 상황을 대체하지 않음.
백신	감염 자체·침습성 질환·독소 효과를 예방해 항생제 사용과 내성 선택압을 줄일 수 있음.
식품위생	가열, 냉장, 교차오염 방지, 안전한 원료·물, 식품 종사자 위생, 감시와 리콜.
상하수도	정수, 염소·오존·자외선, 하수 수집·처리로 콜레라·장티푸스 등 분변-경구 감염을 크게 감소.
의료 감염관리	표준주의, 전파경로별 주의, 기구 관리, 환경청소, 환기, 격리, 감시, 항생제 스튜어드십.

13.1 일상생활의 실용 원칙

- 손을 씻어야 할 때: 음식 준비 전후, 화장실 사용 후, 기저귀·동물·쓰레기 접촉 후, 기침·코풀기 후, 상처 처치 전후.
- 비누와 흐르는 물로 충분히 문지르고 완전히 헹군다. 비누·물이 없을 때는 알코올 60% 이상 손소독제를 사용할 수 있다.
- 가정에서 무조건 강한 소독제를 자주 뿌리기보다 먼저 세척하고, 필요한 표면에 제품 라벨의 희석·접촉시간·환기 지침을 따른다.
- 남은 항생제를 임의로 복용하거나 타인과 공유하지 않는다. 처방을 받았다면 의료진 지시와 부작용·검사 결과에 따라 복용한다.
- 예방접종, 안전한 음식·물, 기침 예절, 환기, 상처 관리가 항생제보다 앞선 감염예방 수단인 경우가 많다.

14. 유익한 세균의 산업적 활용

분야	활용과 핵심 쟁점
발효식품	Lactobacillus·Lactococcus·Acetobacter 등으로 김치·요구르트·

분야	활용과 핵심 쟁점
	치즈·식초·발효채소의 산미·향미·보존성 형성
의약품	세균 또는 방선균 유래 항생제, 비타민, 아미노산, 백신 성분, 면역 조절 분자 생산
재조합 단백질	E. coli 등을 세포공장으로 이용해 인슐린, 효소, 연구용 단백질, 항원 생산
산업 효소	아밀레이스·프로테아제·리파아제·셀룰레이스 등 세제·식품·섬유·제지 공정에 활용
농업	Rhizobium 질소고정, Bacillus 생물농약, 인산 용해·식물성장 촉진 세균, 사일리지 발효
생물정화	석유계 탄화수소, 용매, 농약, 중금속의 변환·고정·분해. 환경 조건과 부산물 평가가 필수
폐수처리	활성슬러지의 유기물 분해, 질산화·탈질, 인 제거, 혐기성 소화 네트워크
합성생물학	유전자 회로, 바이오센서, 대사공학, 생물소재, 미생물 기반 치료제. 생물안전·유출·유전자 이동 관리 필요
CRISPR 기술	세균의 파지 방어 체계에서 유래한 유전자 편집 도구. 기초연구·진단·치료·산업 균주 개발에 활용
산업화의 균형 유익한 세균이라도 생산시설 밖으로 유출되거나 유전자 회로가 예상과 다르게 작동할 수 있다. 균주 동정, 오염관리, 유전자 안정성, 독소·내성 유전자 검토, 폐기·봉쇄가 상업화의 핵심이다.	

15. 대표적 오해 바로잡기

주장	판정	바른 이해
“세균은 대부분 해롭다”	오류	병원성 세균은 전체 다양성의 일부다. 분해·질소순환·공생·발효·환경정화가 없으면 생태계와 인간 사회가 유지되기 어렵다.
“항생제는 감기에 효과가 있다”	오류	감기의 대부분은 바이러스성이다. 세균성 합병증이 확인되거나 강하게 의심될 때만 항생제가 필요할 수 있다.
“모든 세균은 제거해야 한다”	오류	무차별 제거는 피부·장 미생물총을 교란하고 내성 선택압을 높인다. 목표는 유해 노출을 줄이고 균형을 관리하는 것이다.
“강한 항생제가 항상 더 좋다”	오류	가장 광범위한 약보다 감염 부위와 균에 맞는 가장 좁고 안전한 약이 더 적절할 수 있다.
“내성이 생긴 것은 환자의 몸이다”	오류	내성은 주로 세균의 유전적·생리적 특성이다. 사람은 내성균에 감염·집락될 수 있다.
“증상이 좋아지면 치료를 임의로 중단해도 된다”	위험	질환·약제별 최적 기간이 다르다. 임의 중단이나 불필요한 연장은 모두 문제이므로 처방자와 상의해야 한다.
“소독제를 많이 쓸수록 안전하다”	오류	오염 제거 없이 소독제를 뿌리면 효과가 떨어지고, 혼합·과량 사용은 독성 위험을 높인다. 목적·농도·접촉시간이 중요하다.

주장	판정	바른 이해
“PCR 양성은 살아 있는 균과 활동성 감염을 뜻한다”	오류	PCR 은 죽은 균의 DNA 도 검출할 수 있다. 임상 증상, 검체, 배양·염증 소견과 함께 해석해야 한다.

16. 핵심 용어 해설

용어	뜻
원핵생물	핵막으로 둘러싸인 핵이 없는 세포성 생명체. 세균과 고세균이 포함.
균주(strain)	같은 종 안에서도 유전·기능이 구별되는 계통.
집락(colony)	고체배지에서 증식해 육안으로 보이는 세포 집단.
병원성	질병을 일으킬 수 있는 능력.
독력	병원성의 강도 또는 중증도를 유발하는 정도.
집락화	질병 없이 피부·점막 등에 정착한 상태.
감염	미생물이 숙주에 들어와 증식하거나 조직 반응을 일으키는 상태.
기회감염	면역저하·장벽 손상 등 조건에서 발생하는 감염.
펩티도글리칸	당 사슬과 펩타이드 가교로 이루어진 세균 세포벽 핵심 물질.
LPS	그람음성균 외막의 지질다당류. 지질 A 가 내독소 작용을 함.
협막	세균 표면의 조직화된 외층. 부착·건조 방지·면역회피에 기여.
생물막	표면에 부착한 미생물 공동체와 세포외기질.
MIC	미생물의 눈에 보이는 성장을 억제하는 최소 항생제 농도.
breakpoint	MIC 또는 억제환을 감수성 범주로 해석하는 임상 기준.
수평적 유전자 이동	부모-자식 계통이 아닌 세균 사이의 DNA 이동.
플라스미드	염색체와 별도로 복제되는 유전요소.
파지	세균을 감염하는 바이러스.
내성(resistance)	표준 농도의 항생제 효과를 피하는 유전적/안정적 능력.
관용(tolerance)	MIC 변화 없이 살균 속도가 느려지는 생리적 생존 능력.
지속세포(persister)	집단 중 일시적 휴면 상태로 약물에 살아남는 소수 세포.
공생	두 생물 사이의 지속적 관계. 상리·편리·기생 관계를 포괄.
미생물총	특정 환경의 미생물 집단.
마이크로바이옴	미생물 집단, 유전자, 대사산물과 환경 상호작용의 총체.
One Health	사람·동물·환경 건강을 하나의 연결된 체계로 보는 접근.

17. 참고문헌 및 주요 출처

접속일: 2026 년 8 월 3 일. 아래 자료는 개념·공중보건·임상 개요를 확인하기 위한 대표 출처다. 개인 치료는 현지 최신 임상지침과 의료진 판단을 따른다.

1. NCBI Bookshelf, Introduction to Bacteriology. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8120/

2. NCBI Bookshelf, Structure - Medical Microbiology. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8477/
3. NCBI Bookshelf, Genetics - Medical Microbiology. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7908/
4. NCBI Bookshelf, Bacterial Pathogenesis - Medical Microbiology. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8526/
5. NCBI Bookshelf, Principles of Diagnosis - Medical Microbiology. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK8014/
6. NCBI Bookshelf, Antimicrobial Chemotherapy - Medical Microbiology. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK7986/
7. NCBI Bookshelf, Bacterial Spores. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK556071/
8. CDC, About Antimicrobial Resistance. https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance/about/index.html
9. CDC, Antimicrobial Resistance Facts and Stats. https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance/data-research/facts-stats/index.html
10. CDC, Antimicrobial Resistance Threats in the United States: 2022 Update. https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance/data-research/threats/update-2022.html
11. WHO, Antimicrobial resistance fact sheet. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance
12. WHO, Bacterial Priority Pathogens List 2024. https://www.who.int/publications/i/item/9789240093461
13. NIH/NCBI, FAQ: Human Microbiome. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562894/
14. Thursby & Juge, Introduction to the human gut microbiota. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5433529/
15. CDC, About Handwashing. https://www.cdc.gov/clean-hands/about/index.html
16. CDC, Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. https://www.cdc.gov/infection-control/media/pdfs/guideline-disinfection-h.pdf
17. CDC, Clinical Overview of Tuberculosis. https://www.cdc.gov/tb/hcp/clinical-overview/index.html
18. CDC, Clinical and Laboratory Diagnosis for Tuberculosis. https://www.cdc.gov/tb/hcp/testing-diagnosis/clinical-and-laboratory-diagnosis.html
19. CDC, MRSA Basics. https://www.cdc.gov/mrsa/about/index.html
20. CDC, About Salmonella Infection. https://www.cdc.gov/salmonella/about/
21. CDC, Cholera. https://www.cdc.gov/cholera/about/index.html
22. CDC, About Anthrax. https://www.cdc.gov/anthrax/about/index.html
23. CDC, AR Laboratory Network Testing. https://www.cdc.gov/antimicrobial-resistance-laboratory-networks/php/about/testing-services.html
24. CDC, Core Infection Prevention and Control Practices. https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/core-practices/index.html
25. CDC, Recommendations for Disinfection and Sterilization. https://www.cdc.gov/infection-control/hcp/disinfection-sterilization/summary-recommendations.html
26. NCBI Bookshelf, FAQ: E. coli - Good, Bad, & Deadly. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK562895/
27. CDC, Treatment of Salmonella Infection. https://www.cdc.gov/salmonella/treatment/index.html
28. CDC, Treating Cholera. https://www.cdc.gov/cholera/treatment/index.html
29. CDC, Tuberculosis Risk Factors and BCG Vaccine. https://www.cdc.gov/tb/risk-factors/index.html
30. CDC, 16S rRNA PCR and Sequencing for Difficult Bacterial Infections. https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/31/13/24-1101_article

종합 평가

세균은 지구 생명권의 화학 반응을 움직이는 핵심 행위자다. 일부 세균은 감염과 독소로 심각한 질병을 일으키지만, 훨씬 넓은 세균 세계는 토양을 비옥하게 하고 물질을 순환시키며, 인간과 동물의 소화·면역·대사를 돕고, 식품·의약품·환경기술·합성생물학의 생산 기반을 제공한다. 따라서 공중보건의 목표는 "세균을 전부 없애는 것"이 아니라 병원성 세균의 전파와 피해를 줄이고, 유익한 미생물 생태계를 보존하며, 항생제를 미래에도 쓸 수 있도록 책임 있게 관리하는 것이다.