



# 식물 병의 원인 / 식물 병의 발생

충남대 응용생물학과  
유승헌 명예교수

교재 : 3장

식물 병의 원인

1

식물 병이란?

2

식물 병의 중요성

3

식물 병의 원인

4

발병의 3요인 (병 삼각형)

5

병원성, 감수성과 저항성

6

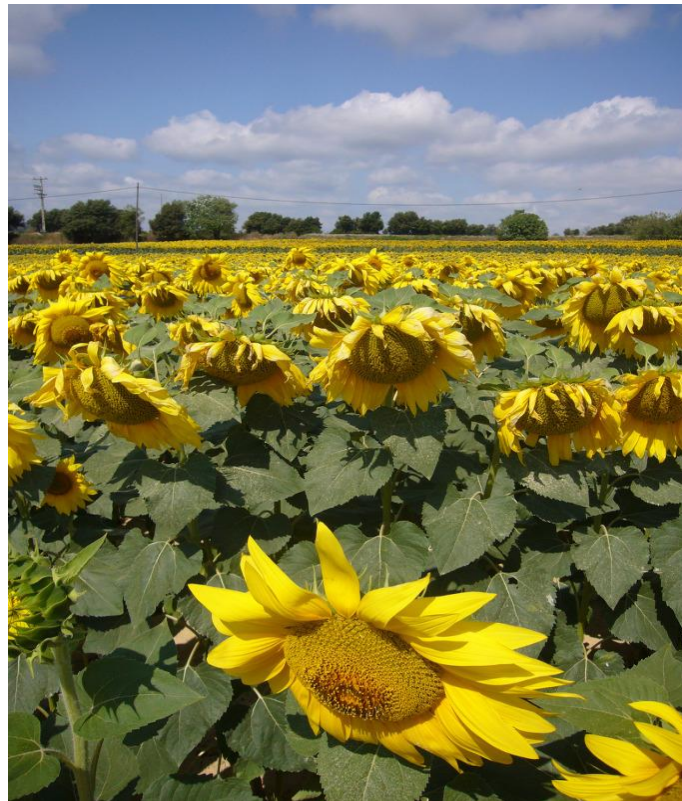
병원체의 영양흡수 양식

# 1 식물 병이란?

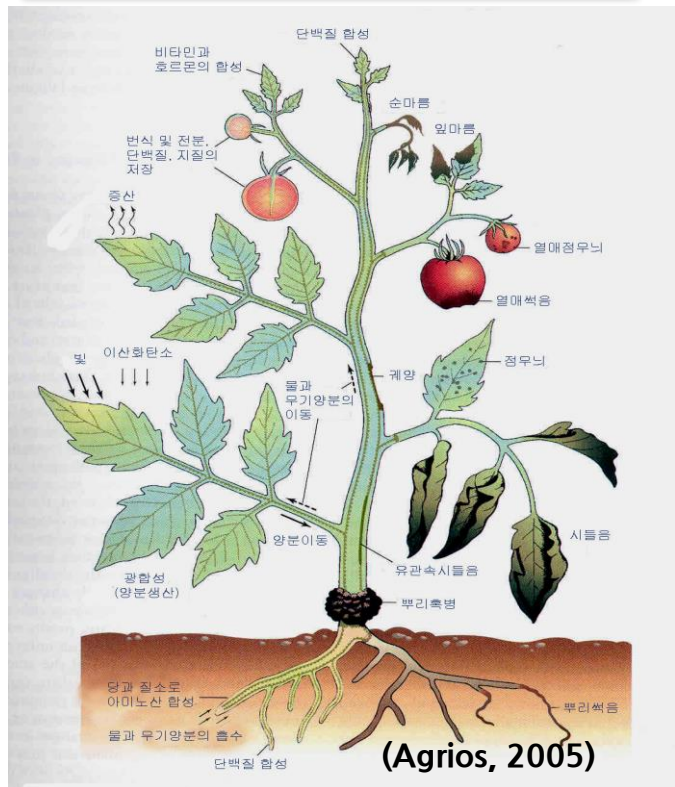
---

## 1. 식물의 기능

- 식량, 사료
- 섬유, 목재, 의약품, 향료 등
- 화석식물: 지구의 연료 축적
- 쾌적한 환경 및 휴식처
- 건강한 생태계 (ecosystem)



## 2. 식물 병의 정의



## 식물 병이란?

- 병원체나 환경요인의 **연속적인 자극**에 의해 식물의 세포나 조직이 가지고 있는 **대사의 흐름이 교란되는 과정**. 그 결과로서 식물은 형태나 생리기능의 이상 (異常)을 나타낸다 (**객관적 개념**)

- 식물이 왕성한 발육을 할 수 없다든지, 또는 식물 흉작의 원인이 되어 재배자에게 피해를 줄 경우 (**주관적 개념**) (예: 대나무 개화병)

건강한 식물 / 병든 식물

# 1 식물 병이란?

## 2. 식물 병의 정의

### 병과 상해

- 병 (diseases): 연속적인 자극에 의하여
- 병해: 병의 결과로 생긴 피해
- 상해 (injuries): (곤충 등) 일시적인 작용으로 인한 이상(異常)



〈파밤나방 유충 잎 가해〉

**현대농업**: 집약적 관리와 많은 에너지를 투입하는 소모적인 농업

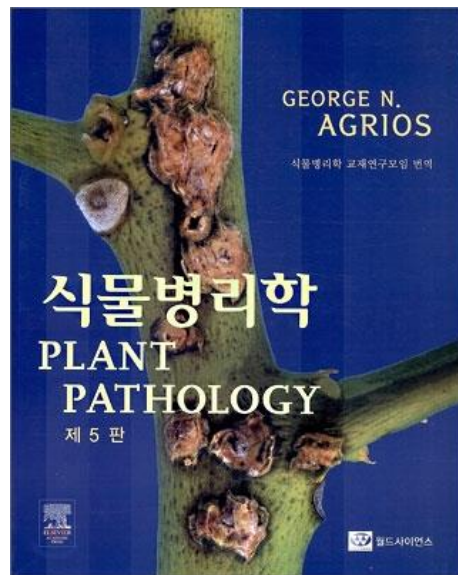
균일한 재배 환경, 대규모 집단 재배 = 병의 발생과 유행에 좋은 조건

식물 병의 발생과 유행은 **농업**이라고 하는 인간활동의 필연적 결과의 하나

# 1 식물 병이란?

## 3. 식물병리학 (plant pathology)이란?

- 식물에 병을 일으키는 병원체 및 환경 요인 (병의 원인)
- 이들 요인이 식물에 병을 일으키는 기작 (발병기작)
- 식물 병의 예방 및 방제법 (병의 관리) 을 연구하는 학문



## 2 식물 병의 중요성

---

- 식물 병이 인류의 역사와 문화에 미친 영향-

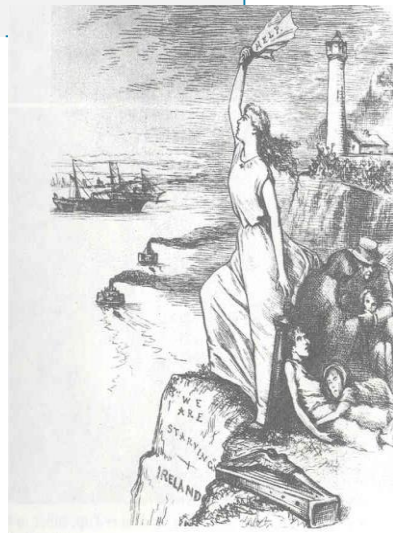


## 1. 고대 식물 병에 관한 기록

- 고대 바빌로니아 (기원 전 1900년경): 밀 감부기병에 관한 기록
- 구약성경: 밀, 포도의 병에 관한 기록
- 고대 로마시대 (기원 전 715년경): 밀 녹병 피해—신에게 제사

## 2. 아일랜드 감자대흉년 (1845)

- 아일랜드 및 유럽의 **감자대흉년** (1845)
- 아일랜드 100만명이 병과 기아로 사망, 200만명이 북미, 호주로 이주  
(감자대흉년으로 **아일랜드 인구의 1/3 감소**)



아일랜드 감자 대흉년  
(Schumann, 1991)

## 2. 아일랜드 감자대흉년 (1845)



아일랜드 감자 대흉년  
(Schumann, 1991)

## 감자 대흉년의 원인에 대한 논쟁

- 신의 노여움, 악마의 저주
- 기관차(기차)에서 나오는 정전기
- 저온 다습한 기후

일부 식물학자들 병든 감자조직에서 자라는  
곰팡이(균류) 확인

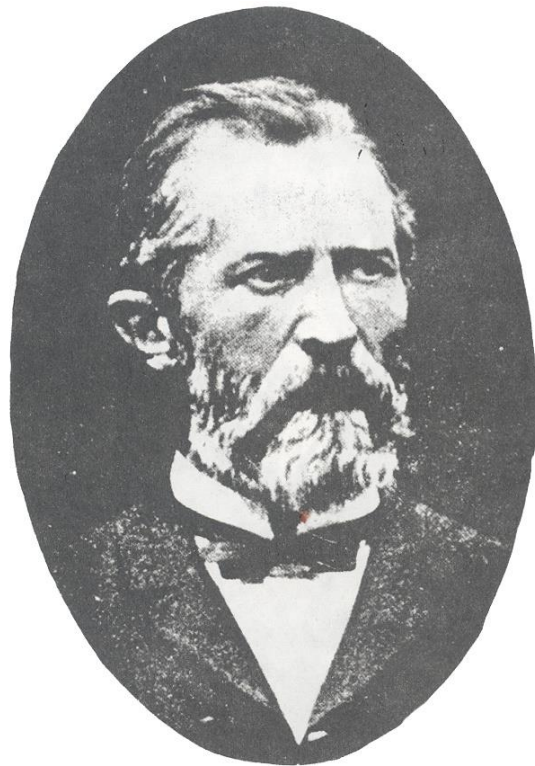
- 병의 원인?
- 병의 결과? **대 논쟁**



## 2. 아일랜드 감자대흉년 (1845)

독일 식물학자 **안톤 드바리 (Anton de Bary)**

- **균류 (*Phytophthora infestans*)**가 감자 역병의 **원인**임을 과학적으로 증명 (1862년)
- **현대 식물병리학의 탄생**



Anton de Bary (Agrios, 2005)

## 2. 아일랜드 감자대흉년 (1845)

감자 역병의 대 발생은 단지 과거의 역사만이 아니다

### 감자 역병 대 발생의 예

- 1980년대 후반 ~ 1990년대 초: 유럽, 중동, 북미에 대발생  
(1992년 미국에서 감자 역병으로 인한 손실: \$1billion)
- 2009년: 미국 북동부 유기농 재배농가에 대 발생
- 2009 ~ 2010년: 방글라데시, 인도 서부에서 35% 손실
- 개발도상국의 감자 역병으로 인한 연간 손실액: 약 \$3 billion

## 3. 인도 벼 깨씨무늬병 대발생 (1942)

## 인도 북동부 벵갈 (Bengal) 지역

- 1942년 벼 깨씨무늬병 대 발생으로 대 흉년
- 1943년 벼 대 흉년으로 2백만명 기아로 사망



벼 깨씨무늬병



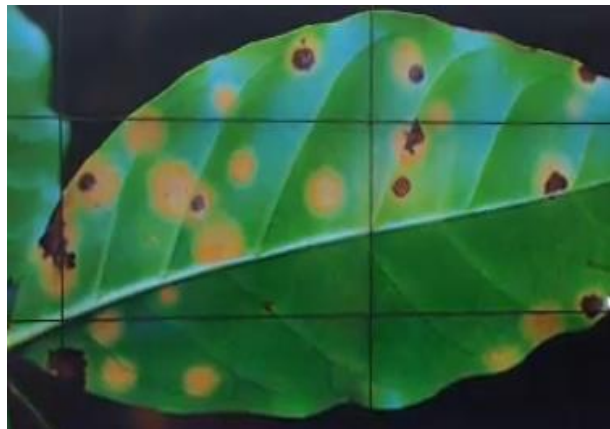
## 4. 실론 (스리랑카)의 커피 녹병 대 발생 (1875)

## 왜 영국인들은 홍차를 마실까?

- 1600년대 커피는 영국 및 유럽의 인기있는 음료
- 1825년 실론 (영국 식민지) 커피 재배 시작
- 1870년 실론, 세계 최대 커피 생산국 (160,000 ha)
- 1875년 실론 **커피 녹병** 대 발생
- 실론 커피 재배 중단, **차나무**로 대체
- 홍차: 영국인들의 주요 음료가 됨 (**기호가 바뀜**)

커피 재배지가 중남미 (브라질, 콜롬비아 등)로 이동

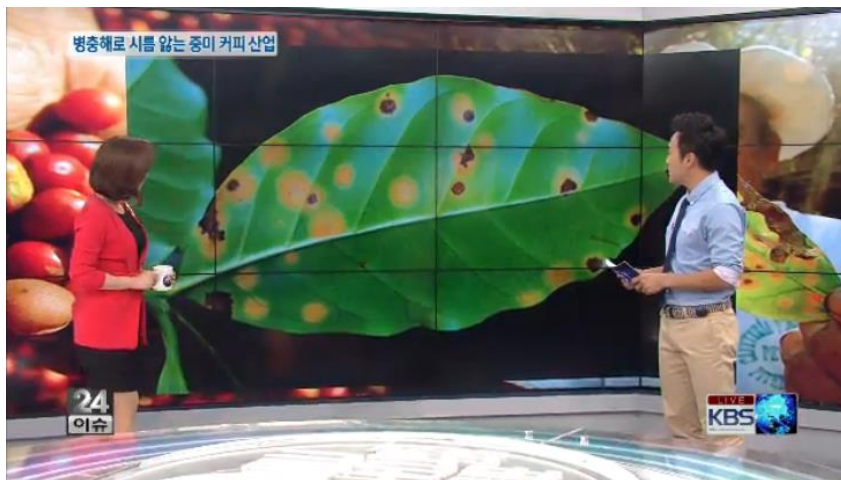
커피 녹병



## 4. 실론 (스리랑카)의 커피 녹병 대발생 (1875)

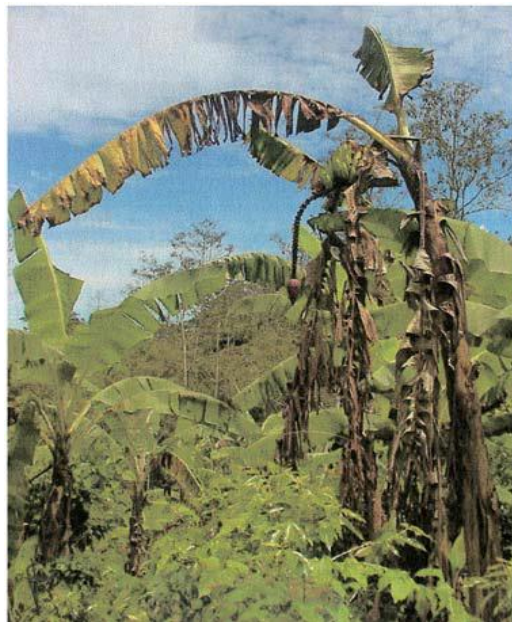
2012 ~ 2013 중미(Central America)에 커피 녹병 대 발생

- 과타멜라 70% 감수, 엘살바드로 74% 감수, 코스타리카 64% 감수



## 5. 바나나 시들음병 (Panama disease)(1960년대, 2014 - 2016)

- 1950년대 파나마에서 대발생  
최초로 진단: Panama disease로 명명
- 1960년대: 이 병으로 인해  
그로 미셸 (Gros Michel) 품종 사라지다
- 병에 저항성인 신품종 카벤디쉬 (Cavendish)  
등장, 보급
- 2010년대 병원균의 새로운 레이스 (TR-4)  
발생으로 카벤디쉬도 발병
- 2014-16년: 전세계적인 바나나 재배의 위기



바나나 시들음병



그로미셸 바나나



카벤디쉬 바나나



## 2 식물 병의 중요성

### 6. 식물 병의 피해

- 농산물의 생산량 감소 (흉작)
- 농산물의 품질 저하
- 독성물질에 의한 인축 중독
- 자연의 경관미, 생태계 파괴
- 막대한 경제적 손실 초래  
(수량 감소, 방제비용)

### 전 세계의 예상 연간 작물 손실

가능한 작물생산 (2002년 기준)	\$1.5 trillion
실질적 작물생산 (-36.5%)	\$950 billion
연간 작물 손실 (36.5%)	\$550 billion
- 병으로 인한 손실 (14.1%)	\$220 billion
- 해충으로 인한 손실 (10.2%)	\$150 billion
- 잡초로 인한 손실 (12.2%)	\$180 billion

(Agrios, 2005)

+ 병해충으로 인한 수확후 손실(6-12%)

### 3 식물 병의 원인

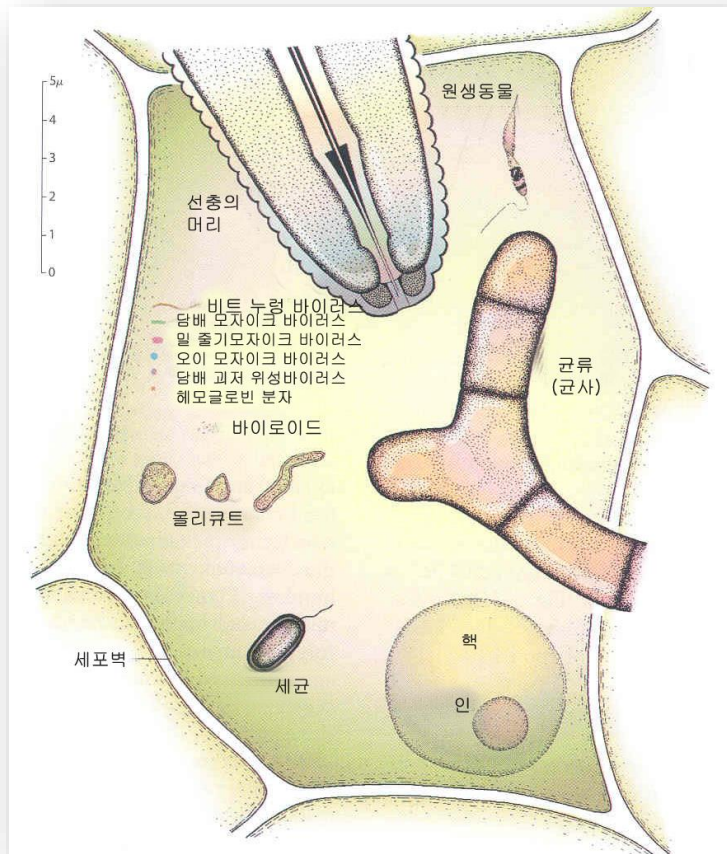
---

### 3 식물 병의 원인 (병원, 病原)

#### 1. 전염성 원인 (생물성 원인)

- 균류 (진균, 유사균류)
- 원핵생물 (세균, 파이트플라스마)
- 바이러스, 바이로이드
- 선충
- 기생식물
- 기타: 응애, 원생동물 등

병원체  
병원균



식물병원체의 형태와 크기 모식도 (Agrios, 2005)

## 2. 비전염성 원인 (비생물성 원인)

- 부적당한 토양조건: -부적당한 토양수분  
-부적당한 토양 pH  
-양분 결핍
- 부적당한 기상조건: -과도한 고온, 저온  
-건조 및 과습
- 기타: -농약 약해  
-대기오염  
-수질오염

## 4 발병의 3요인 (병 삼각형)

---

## 고추 탄저병 발병의 요인

- 병원균 (탄저병균 *Colletotrichum acutatum*)
- 감수성인 고추
- 고온 다습한 환경 (장마철)



고추탄저병

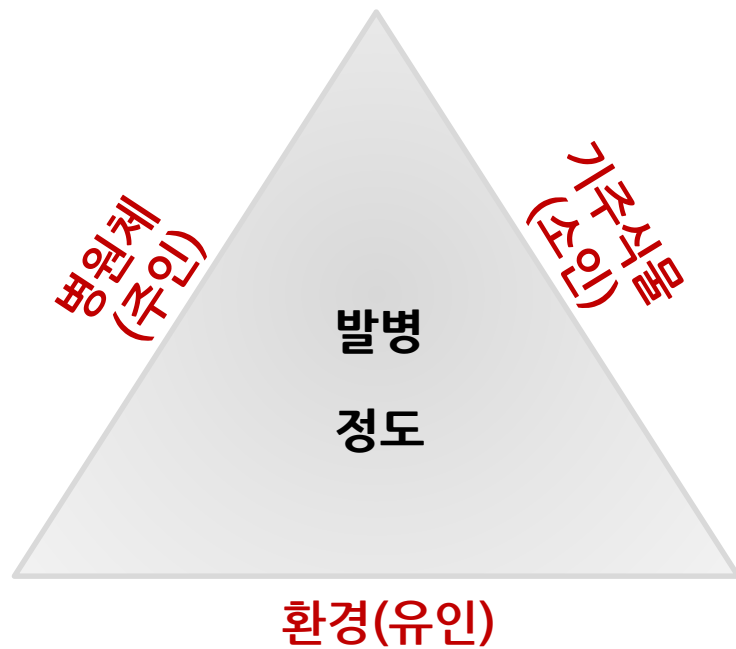
## 감자 역병 발병의 요인

- 병원균 (역병균 *Phytophthora infestans*)
- 감수성인 감자
- 저온 다습한 환경



감자역병

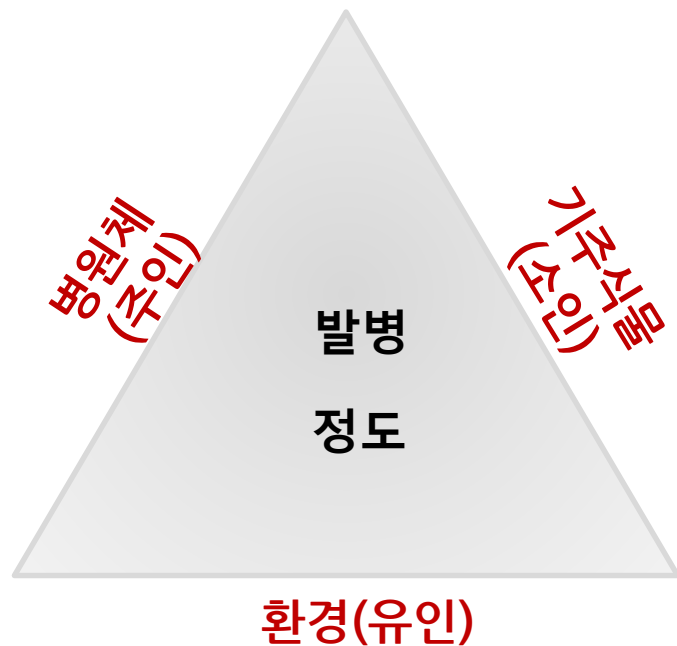
## 식물 병 삼각형 (disease triangle)



- 식물의 발병에는 **병원체**, **기주식물**, 발병에 좋은 **환경** 등 3요인이 필요하다
- 이 3요인의 상호작용을 삼각형으로 표시한 것을 **병 삼각형**이라 한다.
- 삼각형의 각 변은 3요인을 표시, 각 변의 길이는 각 요인의 양에 비례.

- **소인**: 식물체가 어떤 병원체에 감염될 수 있는 **소질**

## 식물 병 삼각형 (disease triangle)



- 식물의 발병정도는 세 요인의 조합에 의하여 다르다.
- 세 요인을 정확히 파악하는 것은 병의 방제를 위하여도 필요하다.
- 세 요인중에서 한 요인을 불완전하게 하면 발병이 성립되지 않음으로 병을 방제할 수 있다.
  - 농약 살포 : 병원체(주인) 배제
  - 저항성품종 이용 : 기주(소인) 배제
  - 환경조절 : 발병환경(유인) 배제



## 5 병원성, 감수성과 저항성

---

병원성 (pathogenicity): 병원체가 기주에 감염하여 병을 일으키는 능력

감수성 (susceptibility): 식물이 어떤 병에 걸리기 쉬운 성질.

감수체 (susceptibility): 감수성을 가지고 있는 식물

저항성 (resistance): 식물이 어떤 병에 잘 걸리지 않는 성질

면역성 (immunity): 병원체를 접촉하여도 식물이 전혀 병에 걸리지 않는 성질

내병성 (tolerance): 식물이 감염되어도 수량 등 실질적 피해가 적은 성질

기주 (host): 기생체의 침입을 받아 병에 걸린 식물 (기주가 될 수 있는 식물을 포함)

6

## 병원체의 영양획득양식

- 기생체 (parasite): 전적으로 또는 부분적으로 다른 **살아있는 생물조직**에서 양분을 흡수하는 균류나 세균.
- 부생체 (saprotroph): 생명이 없는 물질, 죽은 유기물에서 양분을 흡수하는 균류, 세균.

**생물성 병원체는 모두 기생체이다.**  
**기주식물로부터 영양을 얻는다 →**

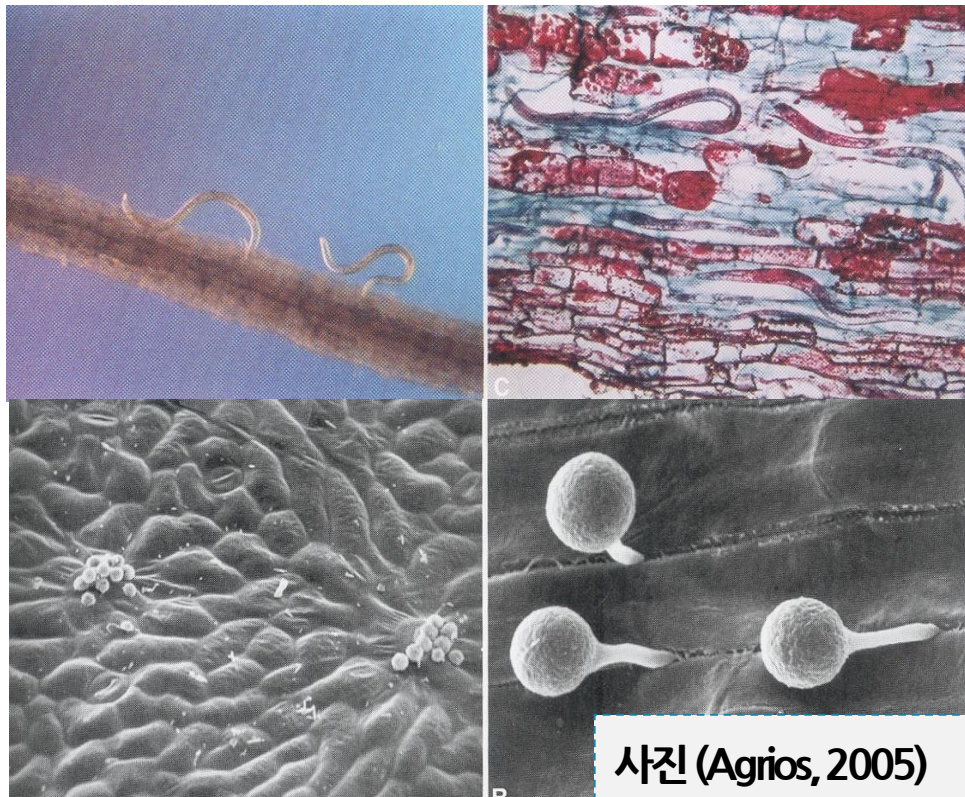


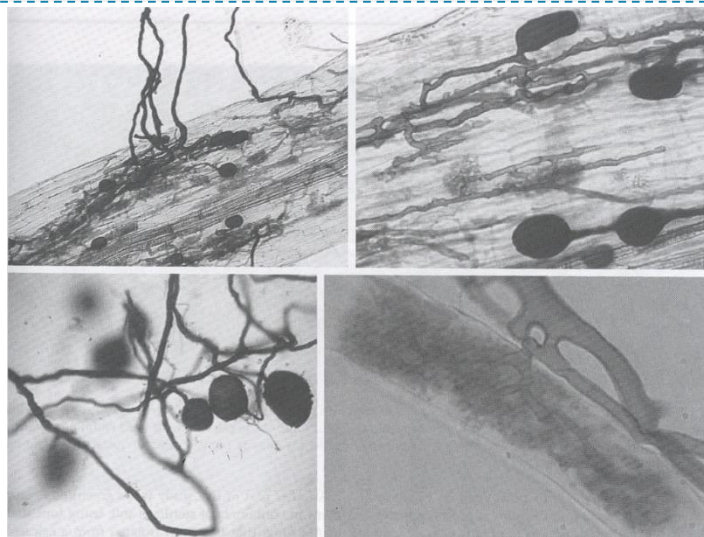
사진 (Agrios, 2005)

- 그러나 모든 기생체가 병원체는 아니다!

- 공생체 (symbiont): 기생체중 병을 일으키지 않고 식물과 공생하면서 생활하는 것



뿌리혹 세균



균근균 (사진 Agrios, 2005)

병원체를 영양획득 양식에 의하여 분류하면:

### 1. 활물기생체 (biotrophic parasite)

- 살아 있는 식물세포에서만 영양을 흡수할 수 있다 (활물영양체, 절대기생체).
- 극히 일부를 제외하고는 실험실에서 인공배양되지 않는다.

(예) 노균병균, 흰가루병균, 녹병균, 배추뿌리혹병균과 파이토플라스마

### 2. 사물기생체 (necrotrophic parasite)

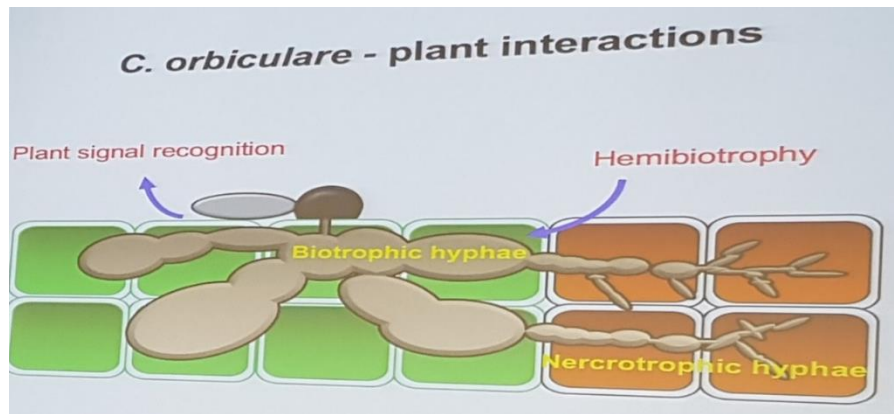
- 살아 있는 식물세포와 조직을 공격적으로 침입하여 죽이고, 죽은 조직에서 양분을 흡수한다 (사물영양체, 비절대기생체).
- 침입과정에서 독소나 분해효소를 분비하여 기주조직을 파괴.

(예) 균류중 잣빛곰팡이병균, 푸사리움시들음병균, 균핵병균, 피시움모잘록병균, 맥류붉은곰팡이병균, 옥수수깨씨무늬병균, 감자겉둥근무늬병균 등. 세균중 채소류무름병균

## 3. 반활물기생체 (hemibiotrophic parasite)

- 처음에는 활물기생(활물영양체) 단계를 거치고, 나중에는 사물기생 (사물영양체) 단계로 이어지는 병원체 (반활물영양체)

(예) 벼도열병균, 사과나무검은별무늬병균, 보리구름무늬병균, 토마토잎곰팡이병균, 감자역병균, 수박탄저병균 등



수박탄저병균 *Colletotrichum orbiculare*

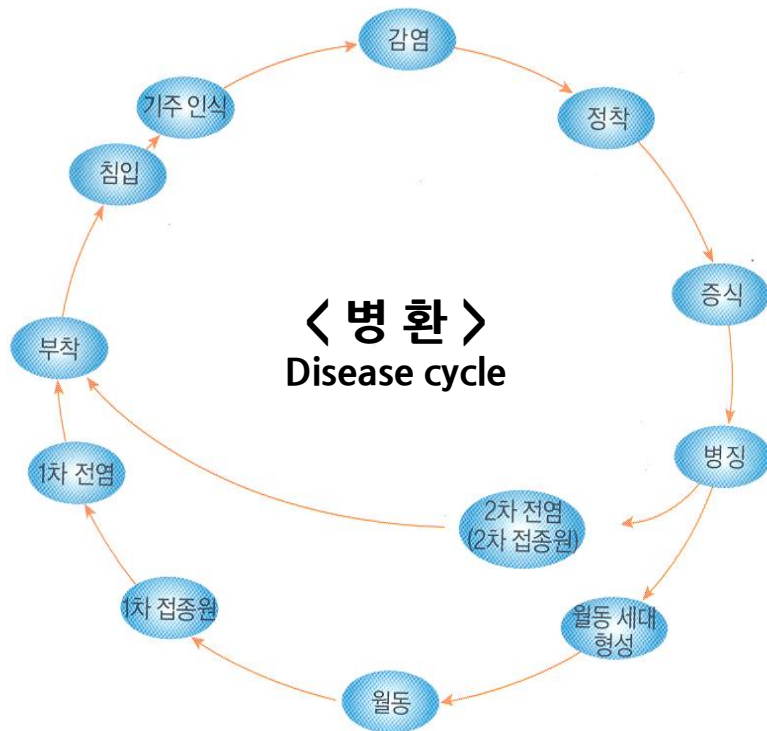
**교재 : 4장****식물 병의 발생****1****병의 발생과정 : 병환****2****접종원 및 전염원****3****전반****4****감염 및 발병****5****기주교대**



1

# 병의 발생과정 : 병환

- 식물의 전염성병에 있어서 균류, 세균과 같은 병원체는 기주식물에 병을 일으키고 계속해서 다음 기주로 전염되어 병의 발생이 연속적으로 이어진다.
- 이와 같이 식물과 식물집단 내에서 어떤 병이 되풀이하여 발생하는 단계별 과정을 **병환(disease cycle)** 이라고 한다.

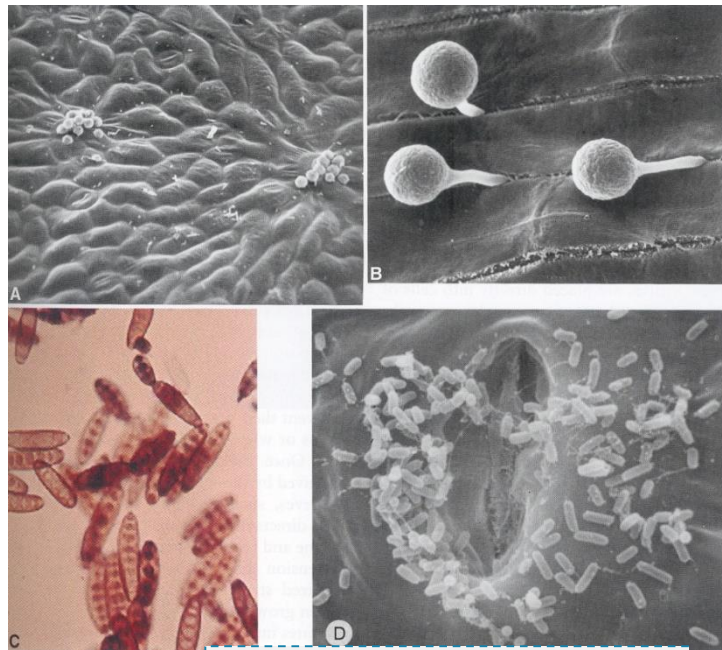


## 2 접촉원 및 전염원

---

## 1. 접종원

**접종원 (inoculum):** 식물체에 도달하거나 접촉하여 **감염을 시작하는 병원체의 모든 부분**을 총칭. 균류는 포자, 균사체의 조각, 균핵 등이, 세균, 파이토플라스마, 바이러스 등은 각각의 세포나 개체가 모두 접종원이 된다.



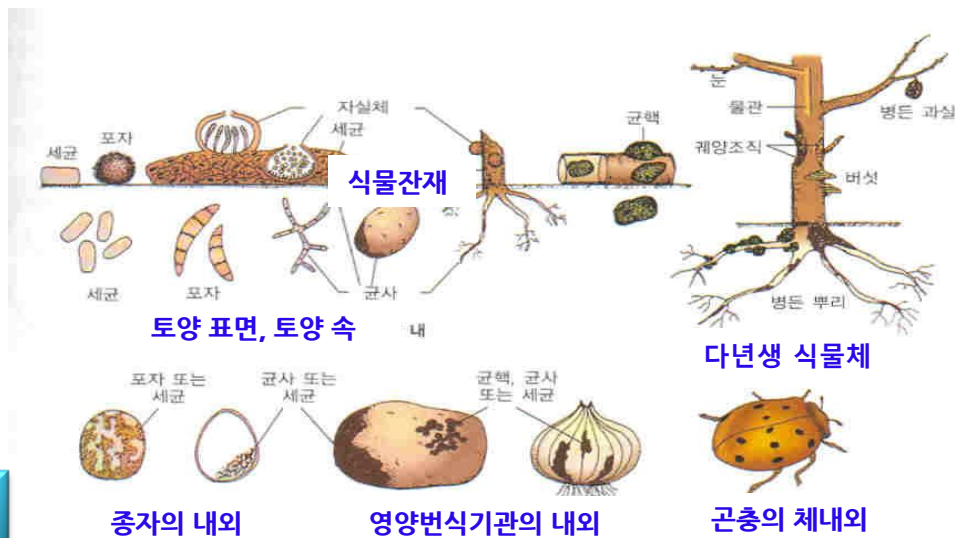
각종 접종원 (Agrios, 2005)

## 2 접종원 및 전염원

### 2. 전염원

**전염원 (inoculum source):** **접종원 (inoculum)**의 소재, 즉 병원체가 존재하거나 잠복되어 있는 장소.

1차 전염원의 제거는 월동병원체를 박멸할 수 있어 식물 병의 예방법으로 중요.



### 전염원의 종류

그림 2-21 재배기간 사이에 균류와 세균이 생존하는 양식 및 장소.

## 2. 전염원

## ① 병든 식물의 조직 및 잔재

병든 벚짚: 벼도열병균, 벼깨씨무늬병균 등

병든 과수의 가지나 열매 : 사과탄저병균, 감귤궂양병균 등

병든 잎, 줄기, 열매 : 오이노균병균, 토마토겉둥근무늬병균, 딸기잣빛곰팡이병균 등

**병든 식물의 잔재 제거는 병의 예방법으로 중요**

## ② 병원체에 오염된 종자 및 영양번식기관

종자 : 벼키다리병균, 벼도열병균, 보리겉깜부기병균, 토마토시들음병균 등

덩이줄기 : 감자역병균, 감자둘레썩음병균, 감자Y바이러스 등

묘목 : 과수뿌리혹병균, 자주날개무늬병균 등

## 2. 전염원

## ③ 병원체로 오염된 토양

채소류균핵병균의 균핵, 모잘록병균(*Pythium*균)의 난포자, *Fusarium*시들음병균의 후벽포자, 가지과꽃마름병균, 맥류오갈바이러스 등

## ④ 잡초 및 곤충

잡초 : 벼흰잎마름병균 (겨풀, 독새풀)

벼누른오갈병균 (독새풀, 갈풀, 개밀)

오이모자이크바이러스 (별꽃, 물레나물, 개겨자)

곤충 : 벼줄무늬잎마름병바이러스(애멸구)

### 3 병원체의 전반

---



### 3 병원체의 전반

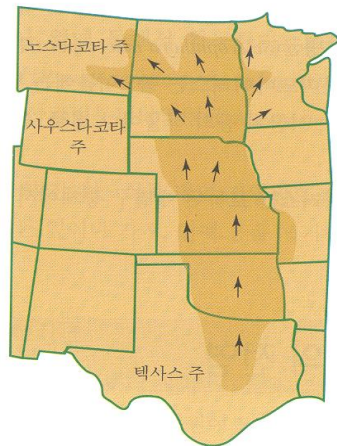
**전반 (전염, dissemination)** : 병원체가 전염원 으로부터 기주식물로 이동하는 과정.  
식물 병원체의 전반은 대체로 **수동적**이다.



## 1. 바람에 의한 전반 (풍매전반)

포자를 형성하는 **균류**의 가장 중요한 전반방법 (공기전염병)

- 벼도열병균: 미풍에 의해 분생포자경으로부터 이탈하여 기류를 타고 전염
- 밀줄기녹병균: 5,000m 상공에서도 여름포자 발견, 수백km까지 운반
- 배나무붉은별무늬병균: 향나무에서 소생자가 배나무로 이동 (약 2km)



밀줄기녹병균의  
장거리 비산 (미국)

## 2. 물에 의한 전반 (수매전반)

빗물이나 관개수에 의하여 전염되는 병 (물전염병)

- **유주포자**를 형성하는 균류 : 배추무사마귀병균, 벼모썩음병균, 모잘록병균  
고추역병균, 오이역병균 등
- **균핵**을 형성하는 균류 : 벼잎집무늬마름병균
- **세균** : 벼흰잎마름병균, 토마토꽃마름병균 등
- **식물기생선충**
- 포자를 형성하는 **균류중** 고추탄저병균, 사과나무부란병균 등 (분생포자는  
끈끈한 점질물에 싸여 있어 빗물에 희석되어 비산)

## 3. 종자 및 묘목에 의한 전반 (종묘전반)

## 종자가 병원체를 매개하여 발생하는 병 (종자전염병)

보균 양식	주요 병원체
감염	벼도열병균( <i>Pyricularia oryzae</i> ), 벼키다리병균( <i>Gibberella fujikuroi</i> ), 보리겉깜부기병균( <i>Ustilago nuda</i> ), 콩자주무늬병균( <i>Cercospora kikuchi</i> ), 토마토시들음병균( <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> ), 콩모자이크바이러스( <i>Soybean mosaic virus</i> ), 땅콩반문바이러스( <i>Peanut mottle virus</i> )
오염	보리속깜부기병균( <i>Ustilago hordei</i> ), 밀비린깜부기병균( <i>Tilletia caries</i> ), 무검은무늬병균( <i>Alternaria japonica</i> ), 벼도열병균, 세균성벼알마름병균( <i>Burkholderia glumae</i> ), 오이녹반모자이크바이러스( <i>Cucumber green mottle mosaic virus</i> ), 토마토모자이크바이러스( <i>Tomato mosaic virus</i> )
혼입	맥류맥각병균( <i>Claviceps purpurea</i> var. <i>purpurea</i> ) 채소류균핵병균( <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> )

## 4. 토양전반

병원체가 토양 중에 생존하면서 식물을 침입하거나, 토양에 묻어서 타지역으로 이동 전염하는 병 (토양전염병)

**토양서식균류** : 모잘록병균(*Pythium debaryanum*, *Rhizoctonia solani*)

토마토시들음병균(*Fusarium oxysporum*)

**토양침입균류** : 맥류마름병균 (*Gaeumannomyces graminis*),

과수자주날개무늬병균 (*Helicobasidium mompa*)

**바이러스**: 토마토모자이크바이러스(ToMV), 오이녹반모자이크바이러스 (CGMMV)

등 20여종 바이러스, 선충매개바이러스, *Olpidium*매개 바이러스

### 3 병원체의 전반

#### 5. 곤충에 의한 전반 (충매전반)

곤충에 의해 전반되는 병 (곤충전염병), 이 때 매개하는 곤충을 **매개충 (insect vector)**.

바이러스 매개충: 대부분 흡수구를 가진 진딧물류, 멸구류.

#### 바이러스의 곤충전염양식

전염양식	전염형태	바이러스 획득시간	충체 내 잠복기간	전염능력 보유기간	주요 바이러스 형태	주요 매개충
비영속전염	구침형	짧다(초~분)	없다	분~시	사상·소구형	진딧물
영속전염	순환형 증식형	길다(시) 길다(시)	시~일 일~주	일~주 평생	소구형·대 소구형·간 상	매미충·멸구

## 6. 기타 전반방법

- **접목전반:** 과수바이러스병의 중요한 전염경로
- **접촉전반:** 담배모자이크바이러스(TMV), 토마토모자이크바이러스(ToMV), 오이녹반모자이크바이러스(CGMMV)  
(식물간의 접촉이나 결순제거와 같은 농작업에 의해 전염)



## 4 감염 및 발병

---

## 1. 부착 및 인식

**감염 (infection):** 병원체가 감수성 식물과 접촉하여 제각기 기생자와 기주가 되는 과정. 감염의 과정은 병원체의 감수체 부착으로부터 시작하여 여러 단계를 거친다.

**부착 (attachment):** 전반에 의하여 기주식물에 도달한 병원체가 식물체의 표면에 접촉하는 것.

**인식 (recognition):** 병원체가 식물체와 접촉하면 식물체에서 병원체의 생장과 침입을 허락할 것인지 또는 저지할 것인지를 결정하는 단계.

## 2. 침입 (invasion)

균류, 세균, 바이러스의 기주체 침입 방법

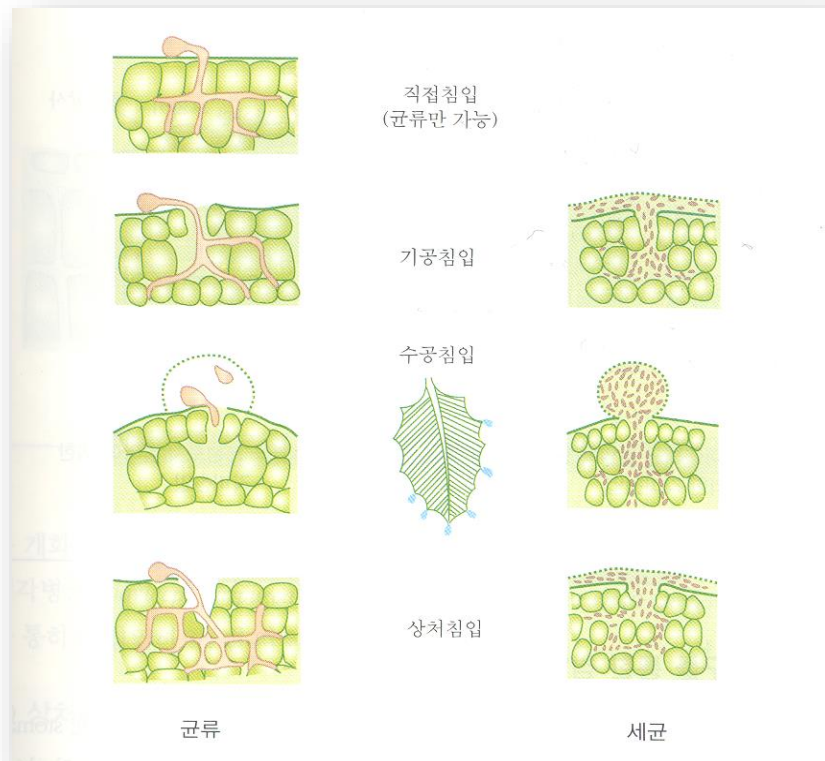
(1) 표피를 통한 직접침입 (각피침입): **균류**

(2) 자연개구(기공, 수공, 피목)를 통한 침입:

**균류, 세균**

(3) 상처를 통한 침입 (상처침입):

**균류, 세균, 바이러스**



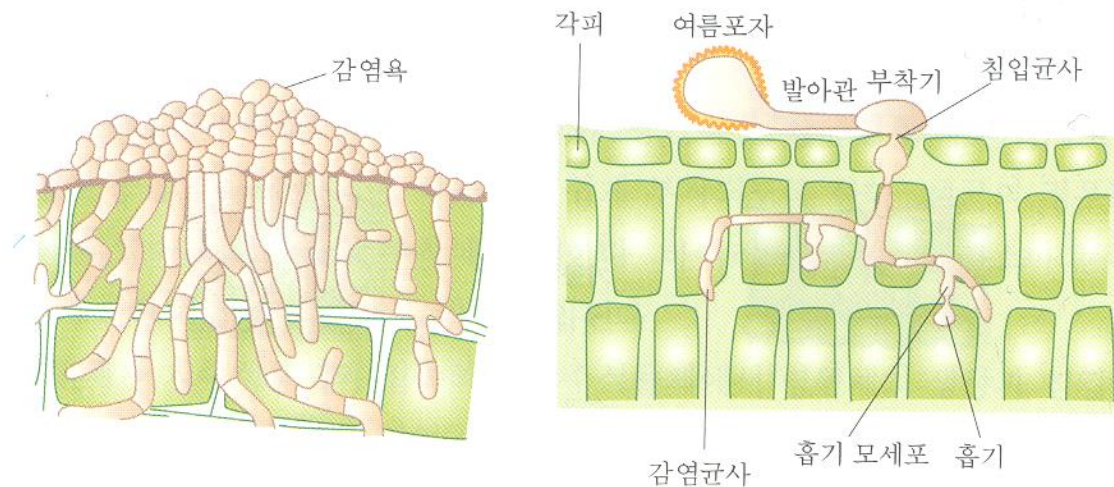
**균류와 세균의 기주체 침입방법 (Schumann)**

## 4 감염 및 발병

### 2. 침입

#### (1) 직접침입 (각피침입):

**각종 균류**(벼도열병균, 각종 흰가루병균, 각종 탄저병균, 벼잎집무늬마름병균 등)



벼잎집무늬마름병균: 감염육  
형성에 의한 각피침입

콩녹병균 여름포자 발아에 의한  
각피침입

## 4 감염 및 발병

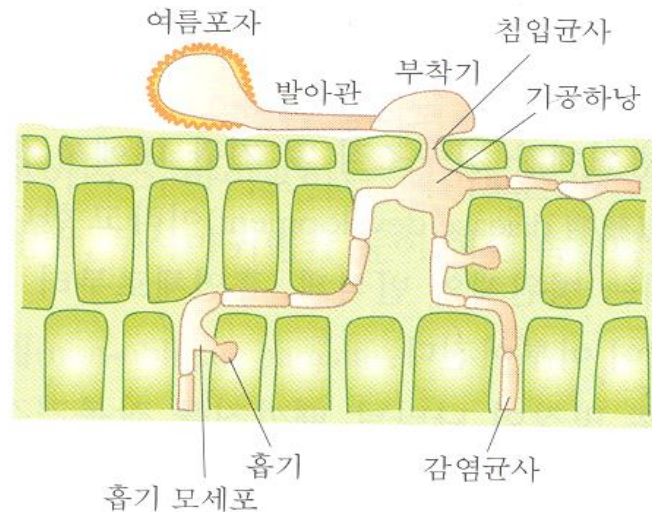
### 2. 침입

#### (2) 자연개구를 통한 침입 :

- **기공침입**: 벼도열병균, 흰가루병균 등 **균류**
- **수공침입**: 벼흰잎마름병균, 양배추검은썩음병균 등 **세균**
- **피목침입**: 뽕나무줄기마름병균 등 **균류**, 감자더덩이병균 등 **세균**

#### (3) 상처침입

- **균류**: 고구마무름병균, 감귤푸른곰팡이병균 등
- **세균**: 채소류무름병균, 과수뿌리혹병균 등
- **바이러스**: 모든 바이러스



귀리관녹병균 여름포자의 기공을 통한 침입 모식도 (Sato, 1983)

### 3. 감염의 성립

병원체가 감수성식물에 부착하여 침입한 후 기주 식물로부터 영양을 획득하면서 정착할 때까지, 즉 **영양 수수(授受)관계가 성립될 때** 까지의 과정.

### 4. 발병

**감염**이 성립된 후 병원체가 기주 조직내에서 증식, 만연하여 **병징**이 나타나는 단계.  
**잠복기간 (incubation period):** 감염으로부터 최초의 병징이 나타나는 기간  
(벼 도열병: 4 - 10일, 잣나무 털녹병: 2 - 4년)

## 5 기주교대

---

**이종기생균:** 두 종의 기주식물위에서 다른 번식체를 만들어 생활사를 완성하는 균.

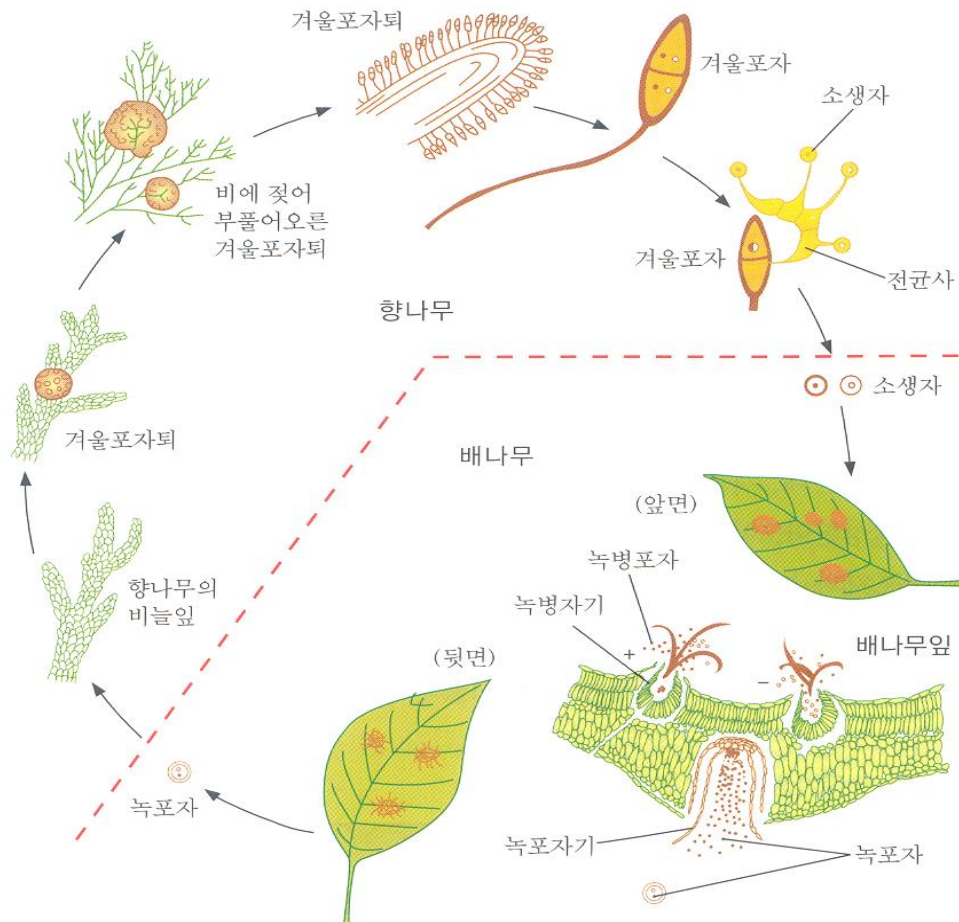
**기주교대:** 두 종의 기주식물에서 이종기생을 하는 현상. 이때 경제적 가치가 적은 기주를 중간기주라고 한다.

이종기생을 하는 녹병균의 생활환에는 **5종의 포자세대**가 있다. 이들은 ①**녹병포자** (정자), ②**녹포자**, ③**여름포자**, ④**겨울포자**, ⑤**담자포자(소생자)** 등이다.

녹병균중에는 5종의 포자를 전부 형성한 것도 있지만 (예: **밀줄기녹병균**), 그중에서 몇 종만을 형성하여 (예: **배나무붉은별무늬병균**, **사과나무붉은별무늬병균**은 **여름포자 세대**가 없다) 생활환을 되풀이하는 것도 있다.



배나무붉은별무늬병균의  
기주교대



## 이종기생하는 녹병균과 기주식물

녹병균	병이름	기주식물	
		기주	중간기주
<i>Cronartium quercuum</i>	소나무혹병	소나무속	줄참나무, 신갈나무
<i>C. ribicola</i>	잣나무털녹병	잣나무	까치밥나무, 송이풀
<i>Gymnosporangium asiaticum</i>	배나무붉은병무늬병	배나무, 모과나무	향나무
<i>G. yamadae</i>	사과나무붉은별무늬병	사과나무	향나무
<i>Puccinia striiformis</i>	맥류줄녹병	맥류	불명
<i>P. graminis</i>	맥류줄기녹병	맥류	매자나무
<i>P. recondita</i>	밀붉은녹병	밀	좀팽의 다리
<i>Coleosporium asterum</i>	소나무잎녹병	소나무속	참취
<i>Melampsora larci-populina</i>	포플러잎녹병	포플러	낙엽송



다음시간에는

## 3강

‘병원의 종류와 특성 (균류)’

입니다.