

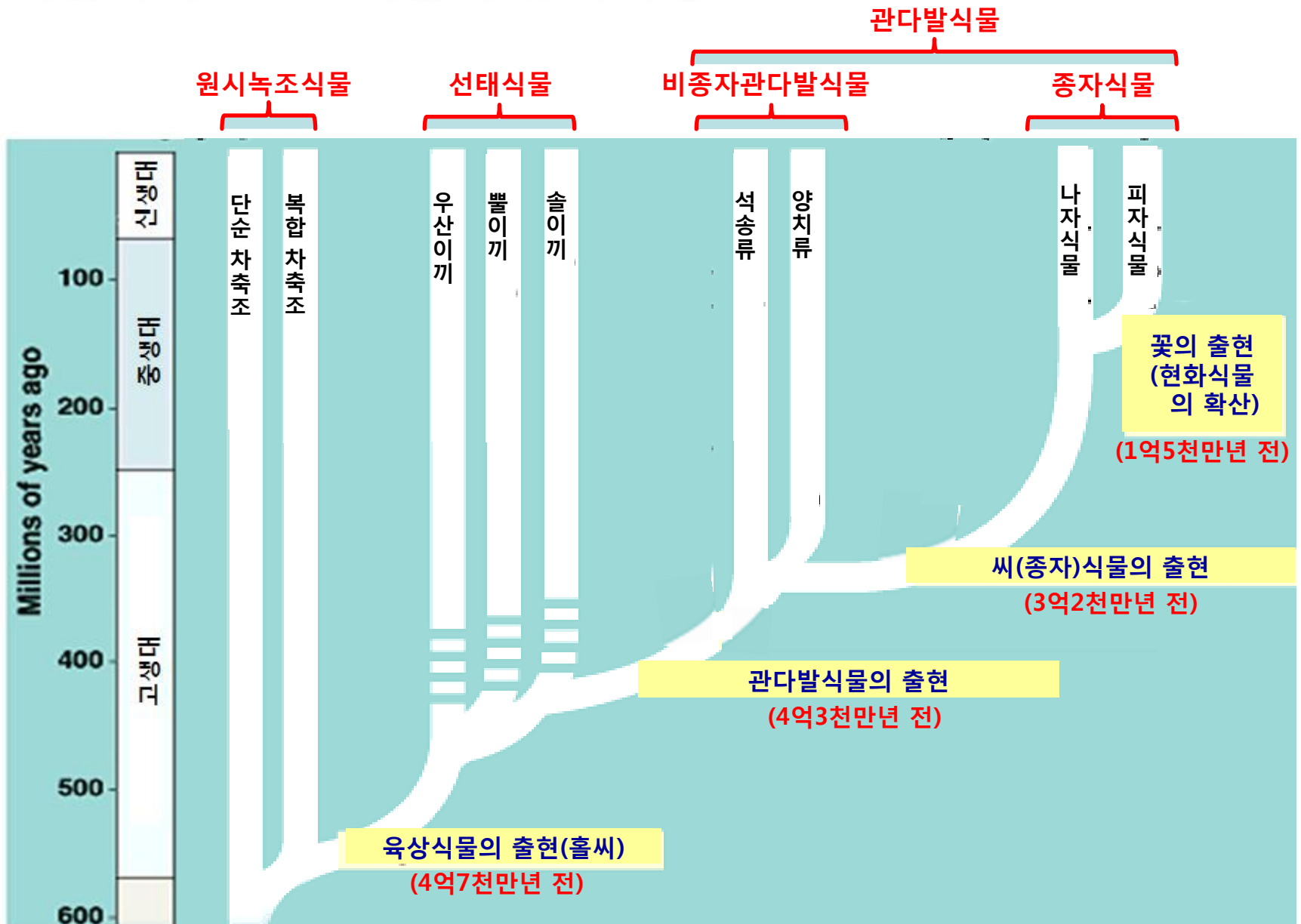
# 137억년 우주의 진화

## 제14강 식물의 진화



박문호 박사님의 <137억년 우주의 진화> 제14강 마지막 강의와 관련된 사진과 그림 자료를 정리하여 올립니다. 식물의 진화 과정과 지구환경 변화에 따른 생태계 변화, 그리고 식물의 생활사 (Life Cycle)에 관련된 내용입니다.

# 핵심기억-#29 : 식물의 진화과정



식물 진화의 전체 과정을 정리한 그림으로 지구상에 존재하는 수십만 종 식물을 Top down 으로 보면 위와 같이 9가지 종류로 구분할 수 있습니다. 위 그림과 함께 식물의 12가지 문 (phyla), 그리고 식물 진화의 과정에 발생한 중요한 이벤트와 연대를 기억하시면 식물을 이해하는데 많은 도움이 될 것입니다.

먼저 육지에 최초로 상륙했을 것 같은 식물은 차축조식물로 **단순 차축조식물**과 **복합 차축조 식물**이 있고, 선태류(蘚苔類)의 蘚類에 속하는 **솔이끼**와 苔類에 속하는 **우산이끼**와 **풀이끼**, 그리고 **석송류**, 고사리/솔잎란/쇠뜨기 등으로 대표되는 **양치류**, 마황/소철/은행/구과의 4개 문이 속하는 **나자식물**, 그리고 현재의 지구에 가장 많이 번성해 있는 약 25만종의 현화식물 로 대표되는 **피자식물**이 진화의 계통을 이루고 있습니다.

**식물의 12개 문 (phyla)**

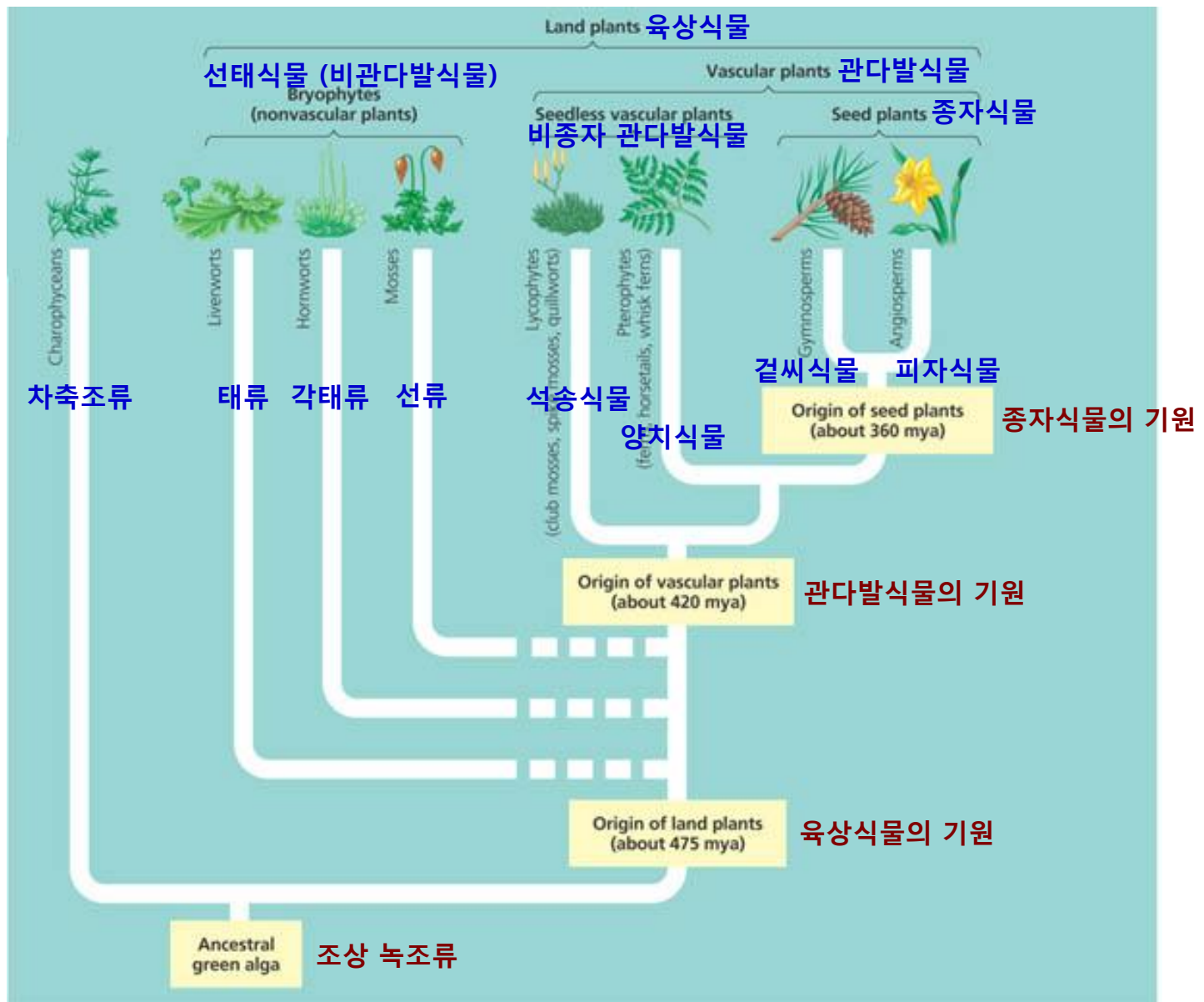
문(phylum) : 공통적인 모습을 가지고 있는 가장 큰 그룹

우산이끼문, 풀이끼문, 선태문, 솔잎란문, 속새문, 석송문, 양치류문, 마황문, 소철문, 은행문, 구과문, 피자문

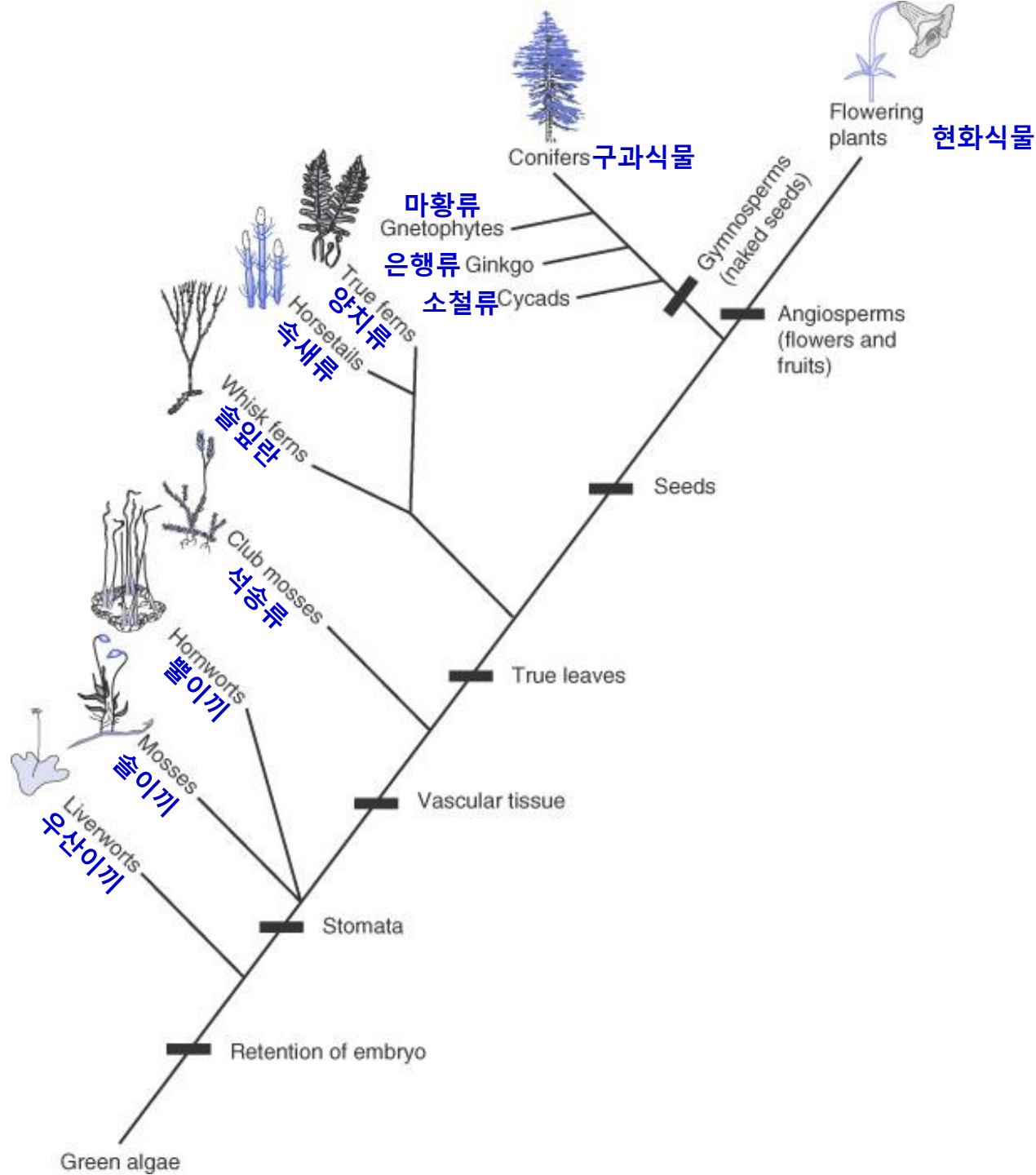
**식물 진화과정의 주요 발생 이벤트와 연대**

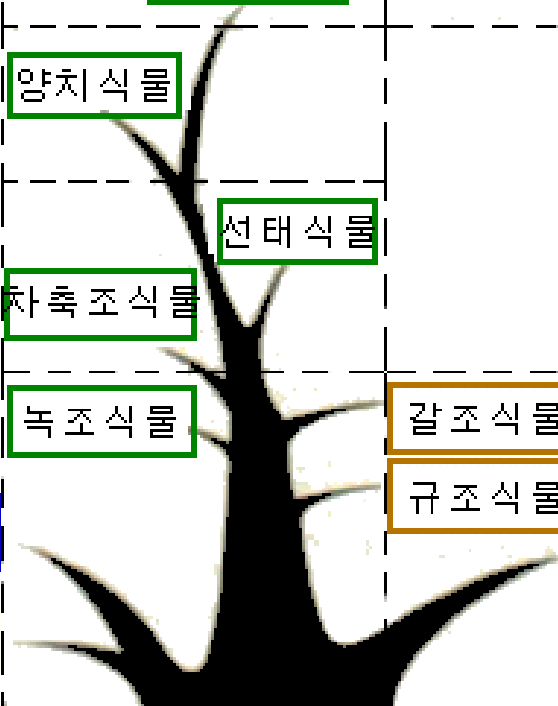
최초로 홀씨, 즉 포자가 출현한 시기 -----	약 4억7천만년 전
관다발(관속)식물의 출현 -----	약 4억3천만년 전
씨(종자)식물의 출현 -----	약 3억2천만년 전
꽃의 출현 -----	약 1억5천만년 전

전체적인 진화의 흐름은 결국 번식 방법과 관련된 F1에 관한 이야기로서 포자, 나자, 피자 의 세가지 문제를 잘 생각해 살펴 보아야 합니다.



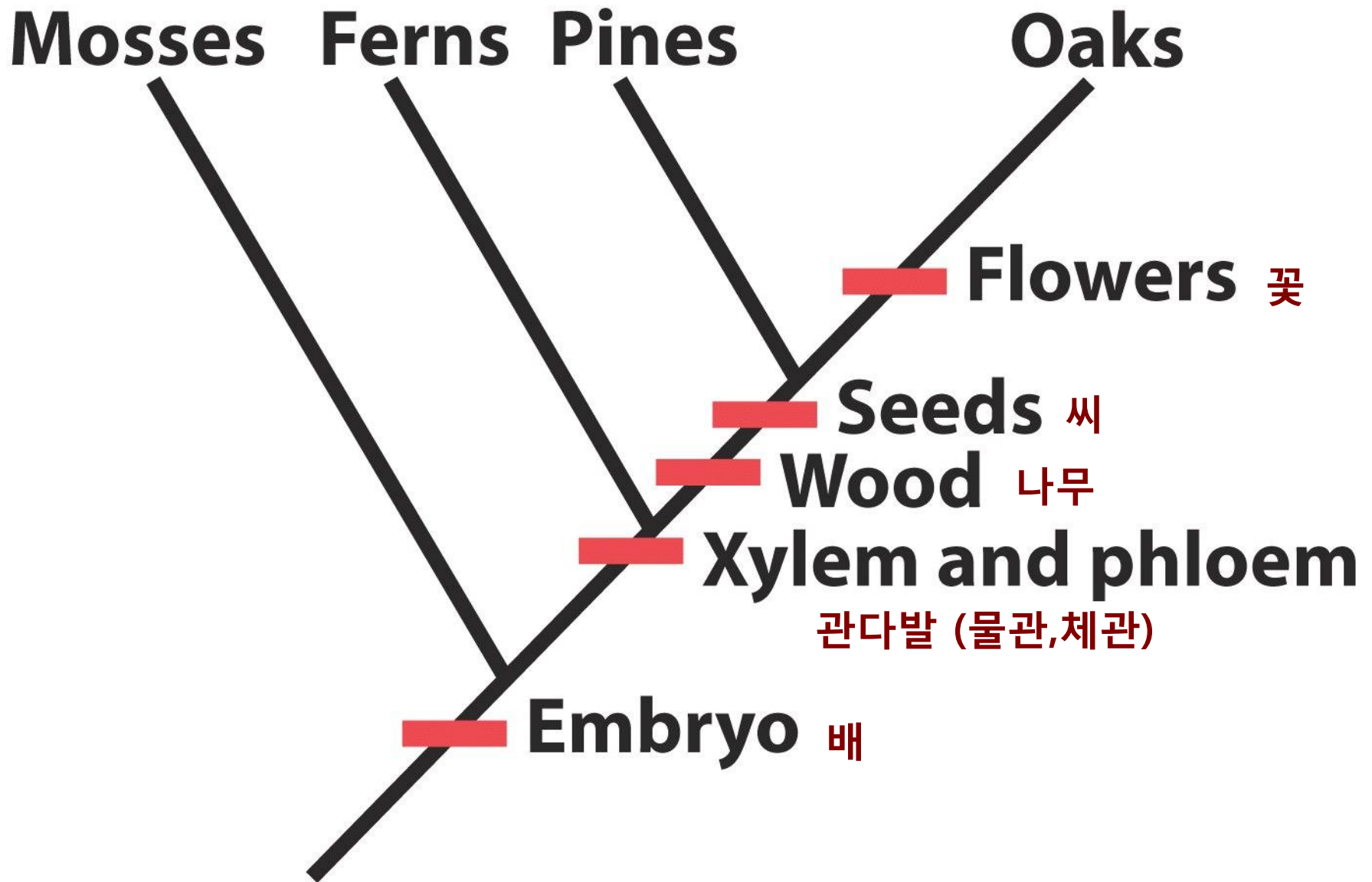
**Highlights of plant evolution (식물 진화의 하이라이트).** This diagram reflects a hypothesis about the general relationships between plant groups. The broken lines indicate that the phylogeny of bryophytes is uncertain.



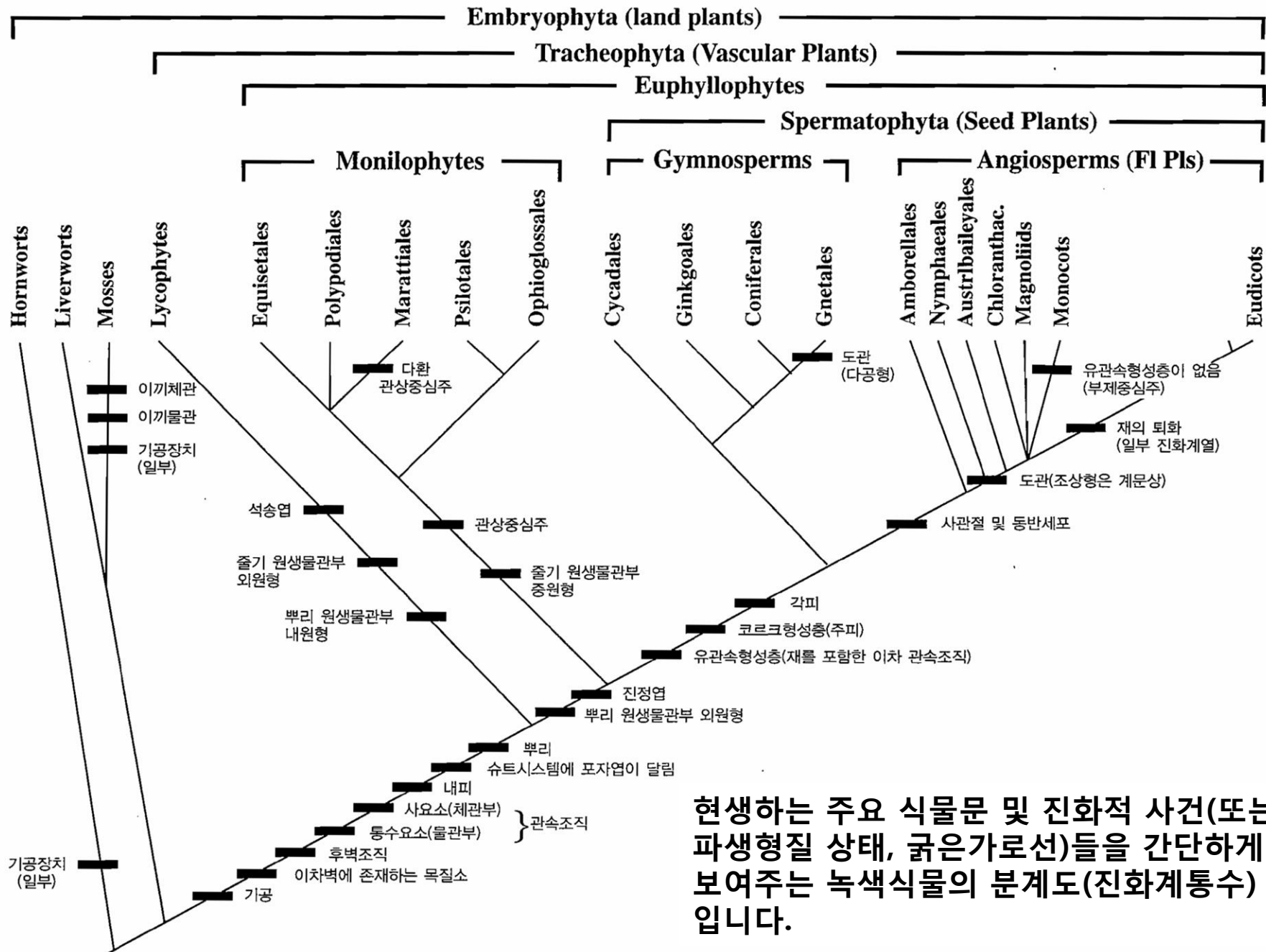
유연 계통	유연 계통	독립영양				중속영양	영양 계통
		엽록소a,b	엽록소a,c	엽록소a,d	엽록소없음		
포자식물	자낭균계						꽃식물
	자낭균계						포자식물
조류	자낭균계						조류
	자낭균계						조류

<식물의 계통수>

식물의 분류상 위치는 그 진화 과정과 밀접한 관계가 있는데 이러한 진화적 유연관계를 계통이라 하고, 나무의 형태로 나타낸 것을 系統樹라고 합니다. 식물은 관다발의 유무에 따라 선태 식물이나 조류에 해당하는 비관속식물과 양치식물을 포함하여 육상에서 살고 있는 대부분의 식물인 관속식물로 구분됩니다. 또한 균류를 제외한 모든 식물은 광합성을 하는 색소를 가지고 있는데 식물에 따라서 생산되는 동화 산물을 분류의 기준으로 삼기도 합니다.



**Figure 12-6b**  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
© 2005 W. H. Freeman and Company



현생하는 주요 식물문 및 진화적 사건(또는 파생형질 상태, 굵은가로선)들을 간단하게 보여주는 녹색식물의 분계도(진화계통수)입니다.

**그림 10.30** 주요 해부학적 파생형질상태가 표시된 육상식물 분계도.

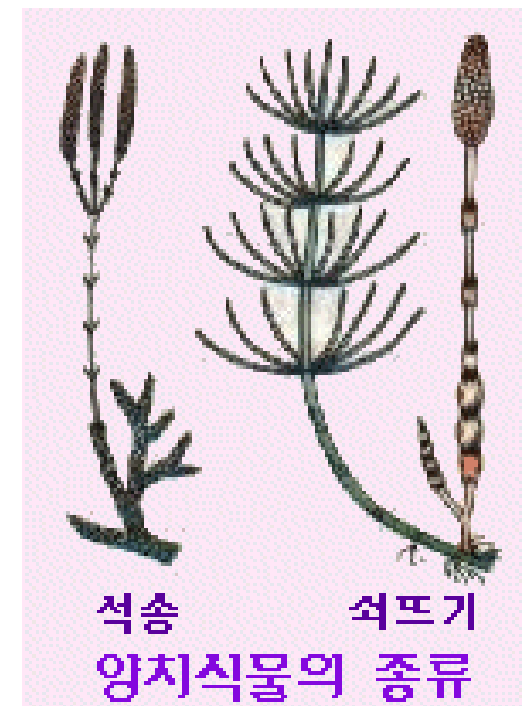
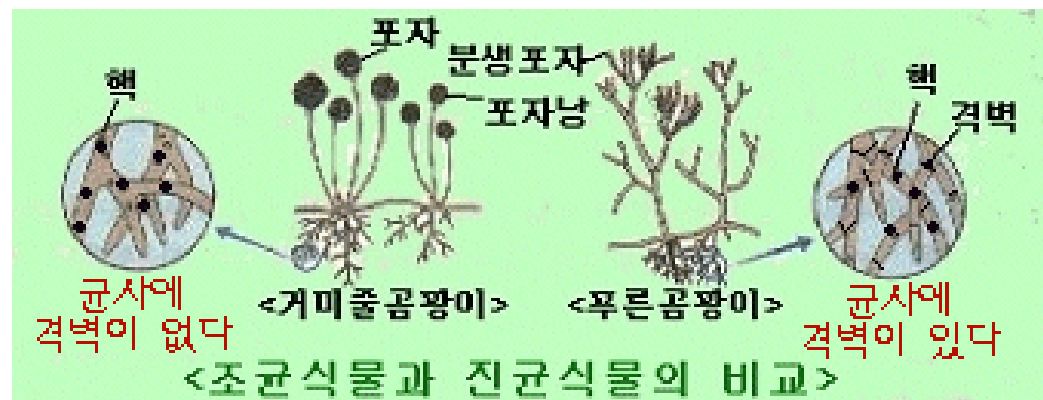
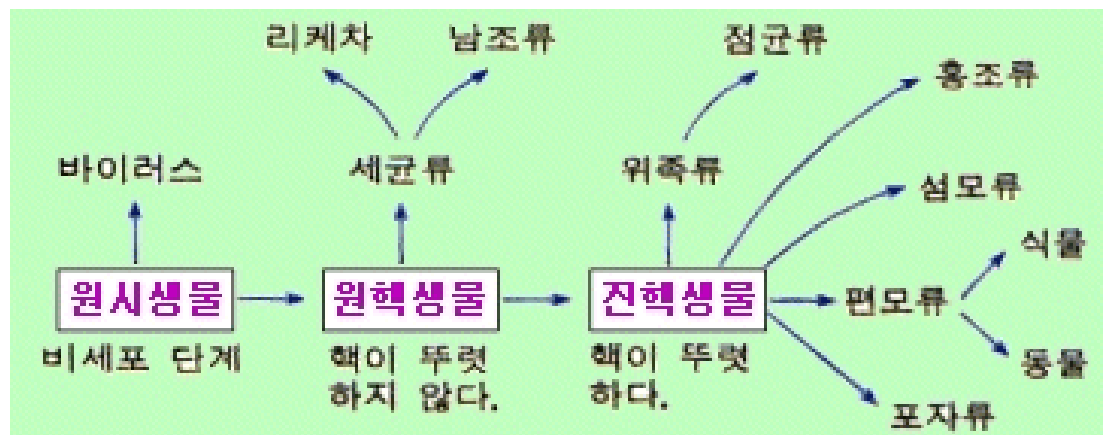
## 식물의 분류와 특징

식물	특징	종류
조균식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 엽록소가 없는 종속 영양</li> <li>- 격벽이 없는 균사체</li> <li>- 다핵세포체</li> <li>- 무성생식(포자-유주자) 및 유성생식(접합)을 겸함.</li> <li>- 세포벽은 셀룰로오스와 키틴질로 되어 있다</li> </ul>	털곰팡이, 물곰팡이, 거미줄곰팡이, 빵곰팡이
진균식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 엽록소가 없는 종속 영양</li> <li>- 격벽이 있는 균사체</li> <li>- 세포벽은 키틴질로 되어 있다.</li> <li>- 포자로 번식(효모는 출아법으로 번식)</li> </ul>	<p>효모, 누룩곰팡이, 푸른곰팡이, 각종 버섯, 갸부기균, 녹병균</p> <p>㉠ 자낭균류: 효모, 푸른곰팡이, 누룩곰팡이, 붉은빵곰팡이</p> <p>㉡ 담자균류: 버섯류, 갸부기균, 녹병균 (자실체 없음-갸부기 녹병균)</p> <p>-지의류 - 균류와 조류(녹조 또는 남조)의 공생체. 나무이끼, 꽃이끼, 석이, 리트머스 이끼</p>
홍조식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 대부분 다세포, 바다에 서식.</li> <li>- 엽록소 a, d와 홍조소, 남조류를 갖고 있어서 붉은색을 띠며 광합성을 함</li> <li>- 깊은 물 속에 서식</li> <li>- 포자에 편모가 없음.(부동 포자)</li> <li>- 세대교번을 한다.</li> <li>- 세포벽에 한천질을 함유</li> </ul>	우뭇가사리(한천의 재료), 김, 풀가사리, 해인초

식물	특징	종류
차축조 식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다세포이고 민물에 사는 조류 - 엽상체 식물</li> <li>- 어느 정도 잎과 줄기가 분화되어 있다.</li> <li>- 엽록소 a, b를 가지며 세포는 여러 개의 핵과 엽록체를 갖는다.</li> <li>- 줄기에는 마디가 있다.</li> <li>- 작은 잎이 수레바퀴처럼 돌려 나(윤생) 있어 쇠뜨기와 유사하다.</li> <li>- 장란기와 장정기를 형성하여 생식세포를 만들고 이것이 수정하여 새로운 개체를 만든다.</li> <li>- 수정란이 발아할 때 감수분열을 하므로 본체는 단상(n)이다.</li> </ul>	쇠뜨기말, 니텔라
선태 식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 그늘진 습지나 물가의 바위에서 서식</li> <li>- 주로 습지에 사는 이끼류로 엽록소 a, b를 가지고 광합성</li> <li>- 수중식물과 육상식물의 중간형태 - 경엽식물과 엽상식물의 중간</li> <li>- 외관상 체제가 분화(솔이끼)되어 보이나 관다발이 없어 온몸으로 물과 양분을 흡수.</li> <li>- 유성생식과 무성생식을 반복하는 세대교번이 잘 나타남</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-선류:솔이끼, 물이끼(뿌리,줄기, 잎의 구분이 됨)</li> <li>-태류:우산이끼, 빨이끼(줄기와 잎이 뚜렷치 않은 엽상체)</li> </ul>
양치 식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 민꽃 식물에서 가장 고등.</li> <li>- 엽록소 a, b를 가지고 광합성</li> <li>- 형성층(부름켜)과 반세포가 없고, 헛물관을 갖는다.</li> <li>- 줄기와 잎의 구분이 뚜렷한 경엽식물</li> <li>- 전형적인 세대교번을 한다.</li> <li>- 선태식물과 반대로 포자체(2n)가 배우체(n)보다 발달함.</li> <li>- 배우체와 포자체가 독립됨.</li> <li>- 본체는 포자체(2n)이고 전엽체가 배우체(n)이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-고사리류:고사리, 석송,고비,생이가래, 일엽초</li> <li>-속새류:속새,쇠뜨기</li> <li>-석송류:석송,부처손</li> </ul>

식물	특징	종류
종자식물	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 식물계에서 가장 고등</li> <li>- 체제 분화 뚜렷함</li> <li>- 뿌리, 줄기. 잎의 구별이 뚜렷하고 관다발이 발달</li> <li>- 꽃이 피고 종자를 맺어 번식 - 세대교번이 불확실함.</li> <li>- 엽록소 a, b를 가지고 광합성</li> </ul> <p>㉠ 겉씨식물 (나자식물)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 관다발에는 물관대신 헛물관이 있다. (반세포는 없다.)</li> <li>- 꽃은 양성화</li> <li>- 중복수정을 하지 않으므로 1차배젖(n)을 갖는다.</li> <li>- 정자를 만드는 종이있다(소철, 은행나무).</li> <li>- 양치식물과 유연관계가 깊다</li> <li>- 밑씨가 노출되어 있다.</li> </ul> <p>㉡ 피자식물 (피자식물)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 밑씨가 씨방속에 들어있다.</li> <li>- 중복수정을 통하여 2차배젖(3n)을 형성함.</li> <li>- 물관이 있고, 체관에 반세포가 있다.</li> </ul>	<p>㉠겉씨식물(나자식물) : 소나무,소철,은행 나무,잣나무,전나무</p> <p>㉡피자식물(피자식물) -외떡잎식물: 벼,보리, 옥수수.. -쌍떡잎식물: 무,민들레, 국화, 벚나무..</p>

	잎맥	떡잎	뿌리	부름켜	관다발	꽃잎, 꽃받침 수
외떡잎식물	나란히맥	1장	수염뿌리	없다	흩어짐	3또는 그의 배수
쌍떡잎식물	그물맥	2장	원뿌리와 곁뿌리	있다	둥글게 배열	4-5또는 그의 배수



## 차축조 식물

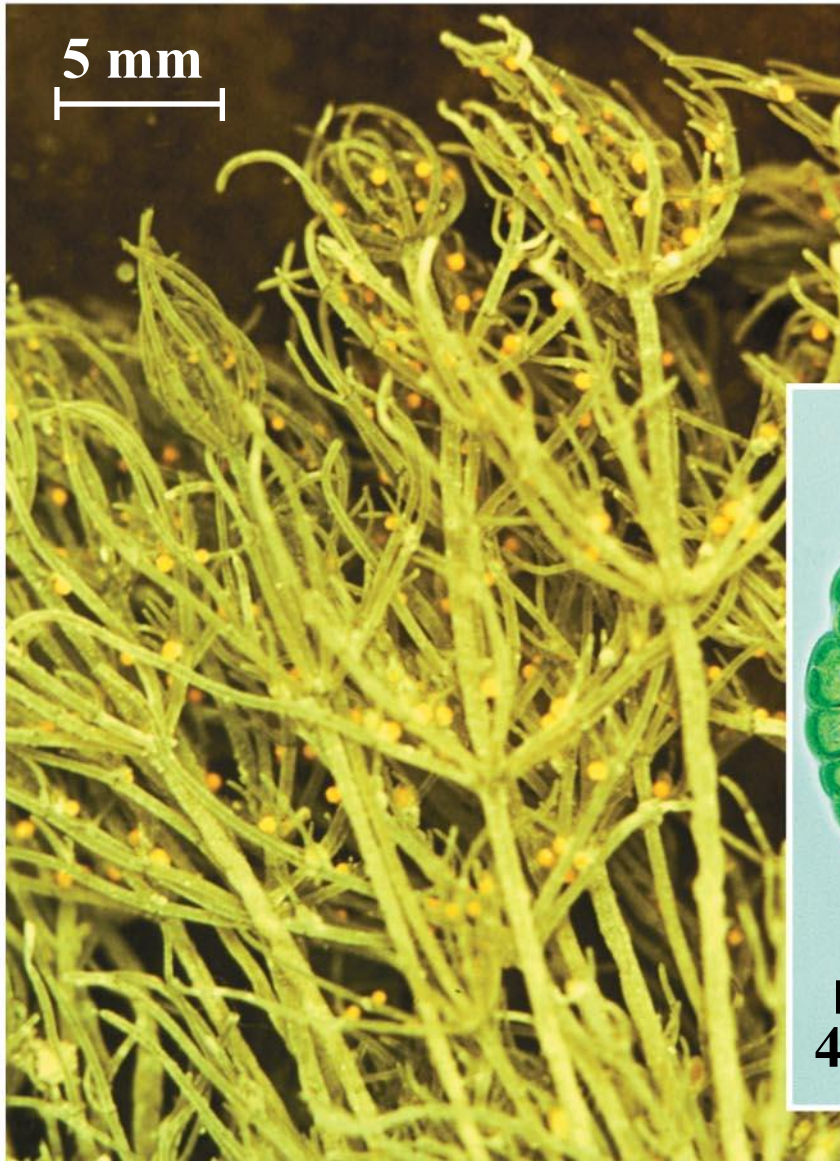


Dr. John Clayton, National Institute of Water and Atmospheric Research, New Zealand

식물계의 근원으로  
생각되는 녹조류 집단의  
차축조식물인  
쇠뜨기말속(Chara).

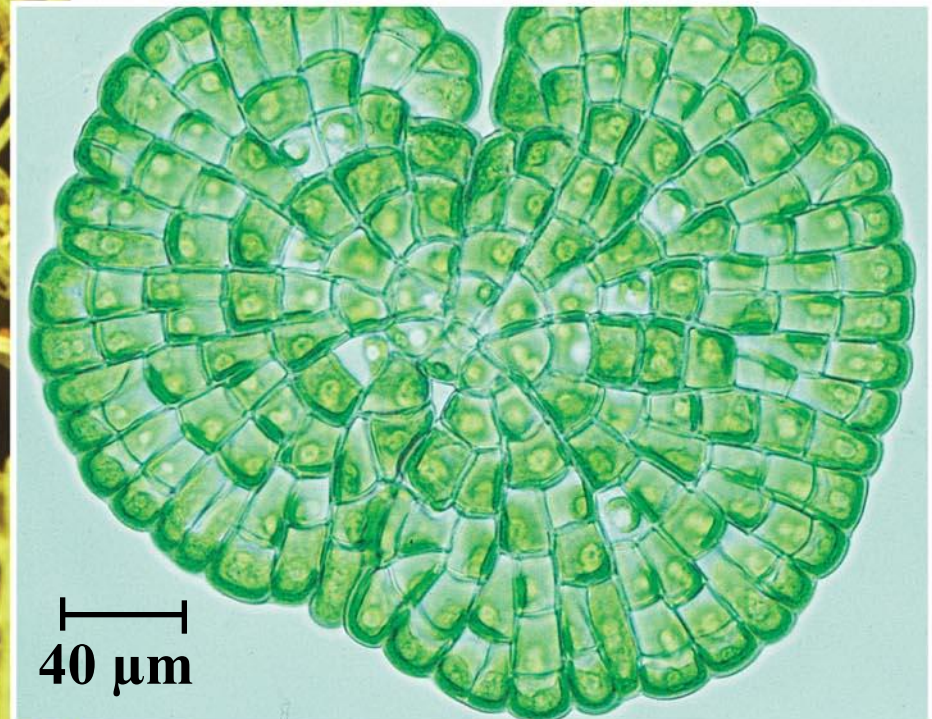


차축조 - 차축조 계통의  
대표적인 식물로서 냄새  
때문에 사향초라고  
부르기도 함

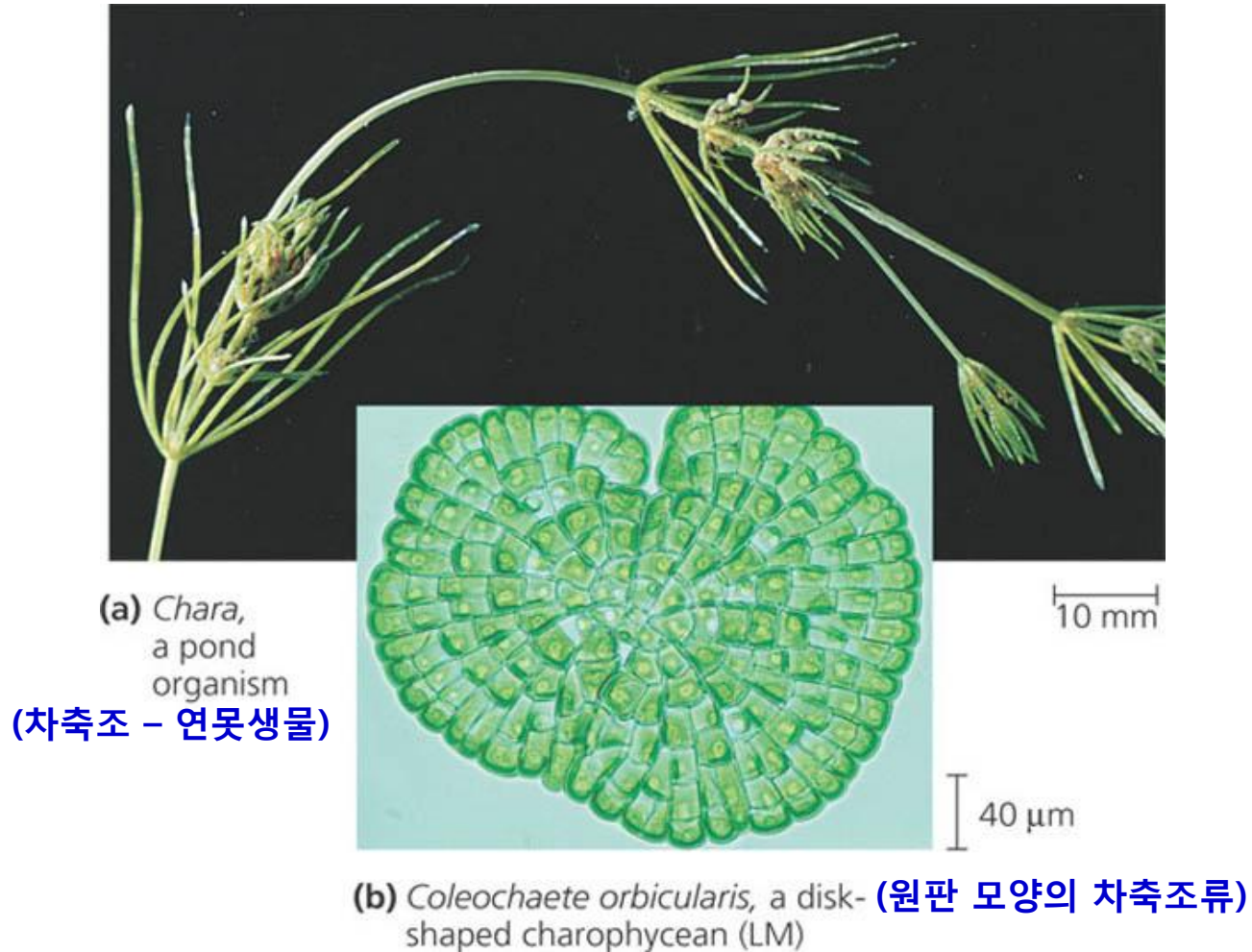


◀ ***Chara* species, a pond organism**

▼ ***Coleochaete orbicularis*, a disk-shaped charophyte that also lives in ponds (LM)**

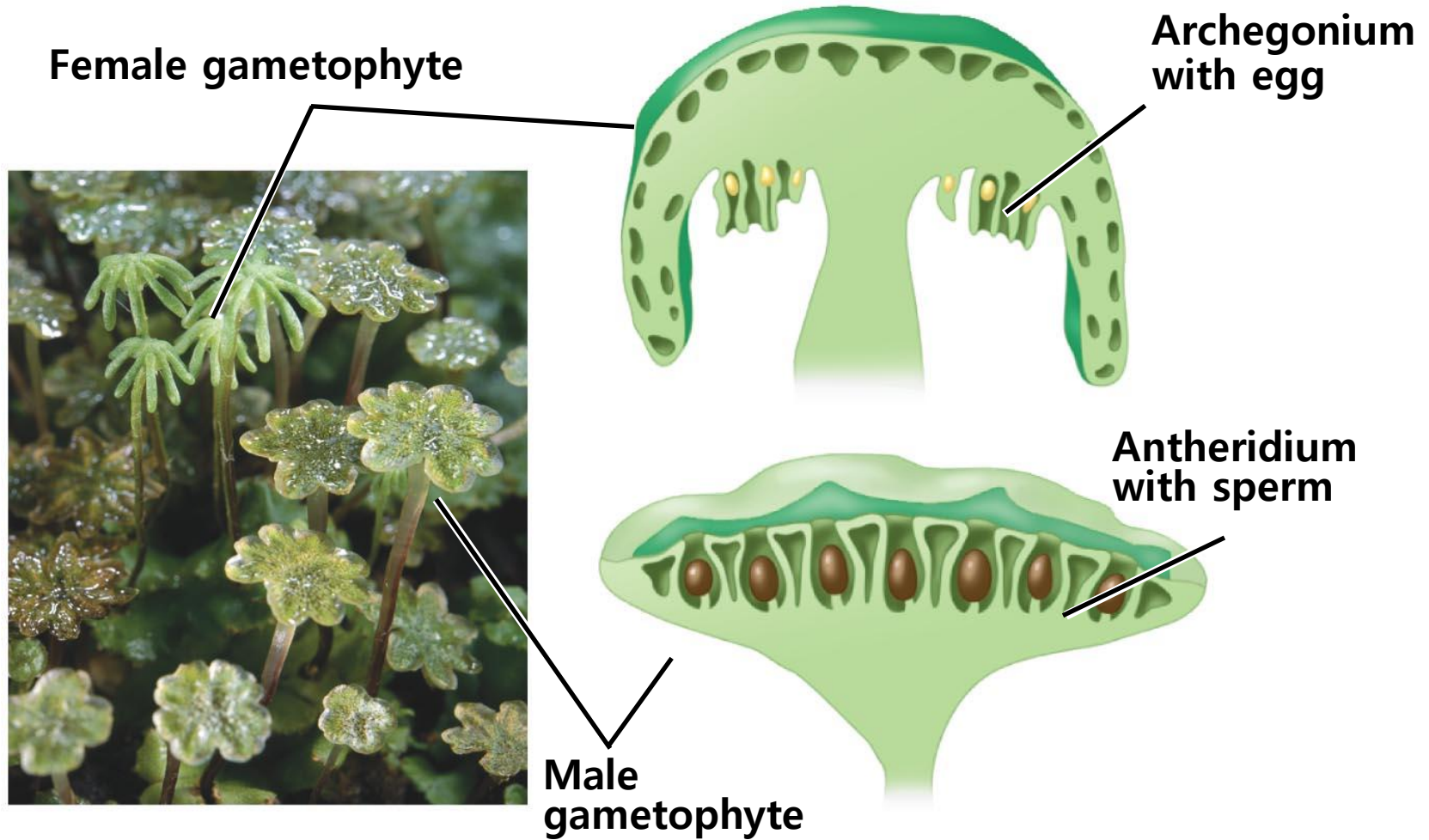


지난 10여년 동안의 “Deep Green”이라는 국제공동연구를 통해 nuclear and chloroplast 유전자 비교 결과, charophyceans(차축조류), 특히 Chara(차축조속)와 Coleochaete(콜레오카에테속)이 육상식물과 가장 가까운 living relatives라고 보여집니다.



Examples of charophyceans, the closest algal relatives of land plants.  
(육상식물에 가장 가까운 조류인 차축조류의 예)

## 우산이끼

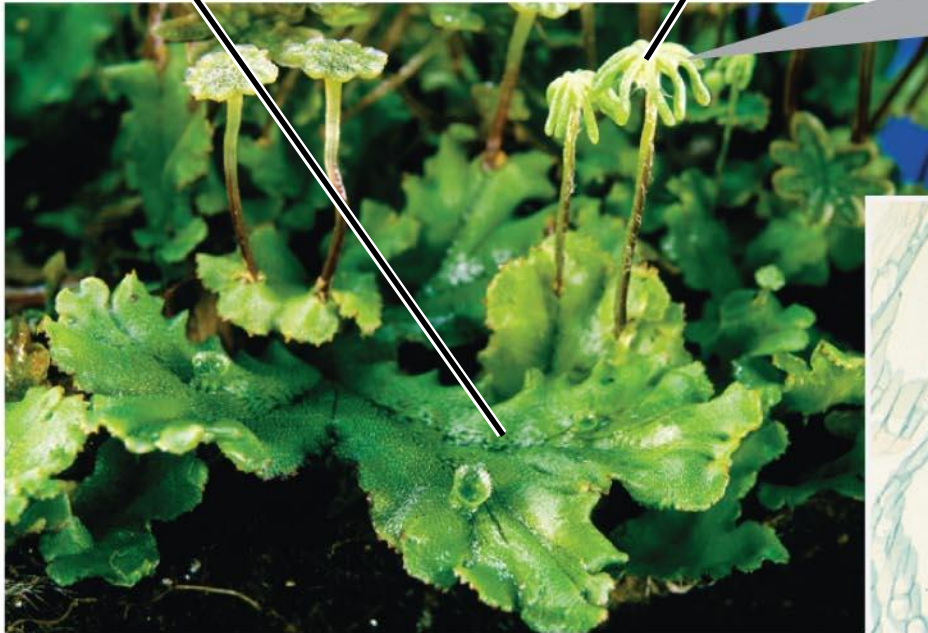


Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

Archegonia and antheridia of *Marchantia* (a liverwort)

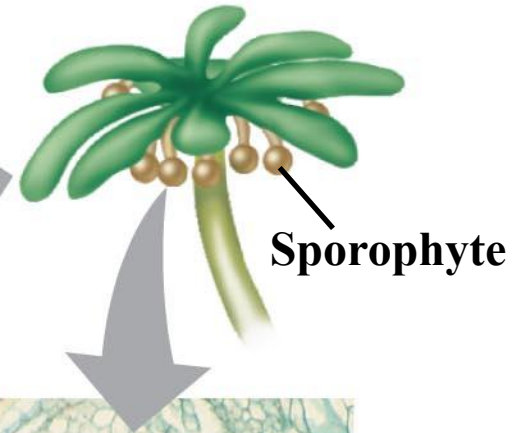
**Thallus**

**Gametophore of  
female gametophyte**



***Marchantia polymorpha*,  
a “thalloid” liverwort**

***Marchantia* sporophyte (LM)**



**Foot**

**Seta**

**Capsule  
(sporangium)**



**500 μm**



***Plagiochila  
deltoidea*,**  
a “leafy”  
liverwort

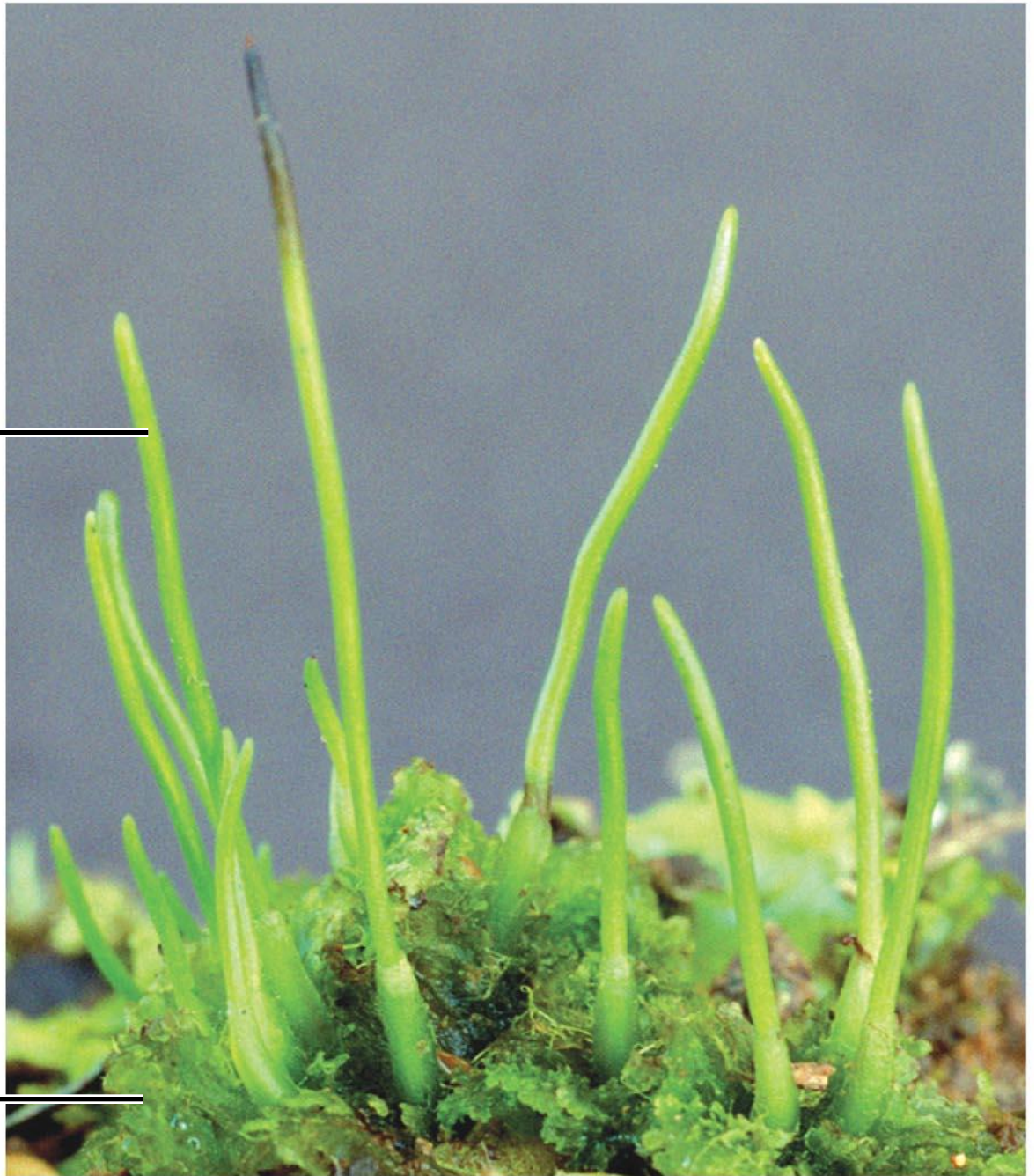
뿔이끼

An *Anthoceros*  
hornwort species

Sporophyte

가늘고 긴 포자체의  
기부가 평평한 엽상의  
배우체에 묻혀 있음.

Gametophyte



솔이끼

*Polytrichum commune*,  
hairy-cap moss

Sporophyte  
(a sturdy  
plant that  
takes months  
to grow)

Capsule

Seta

Gametophyte



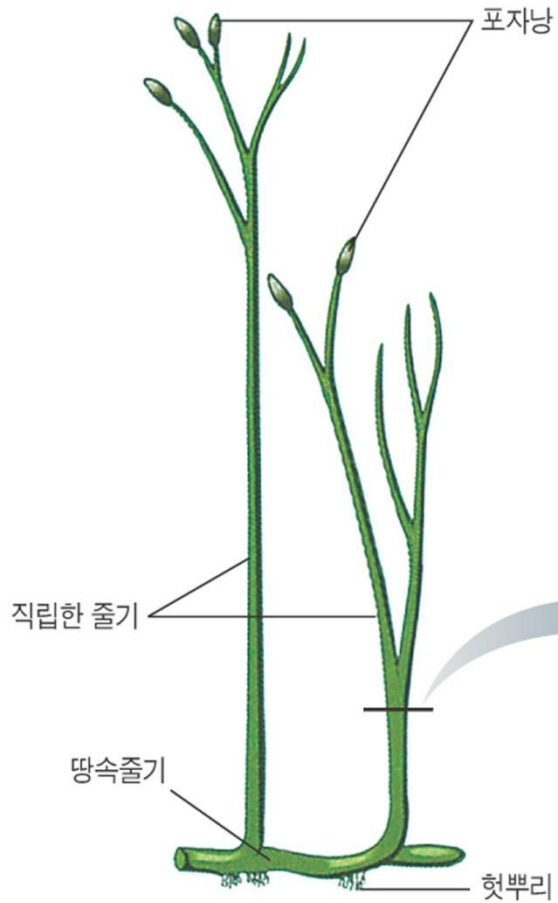
## 관다발식물



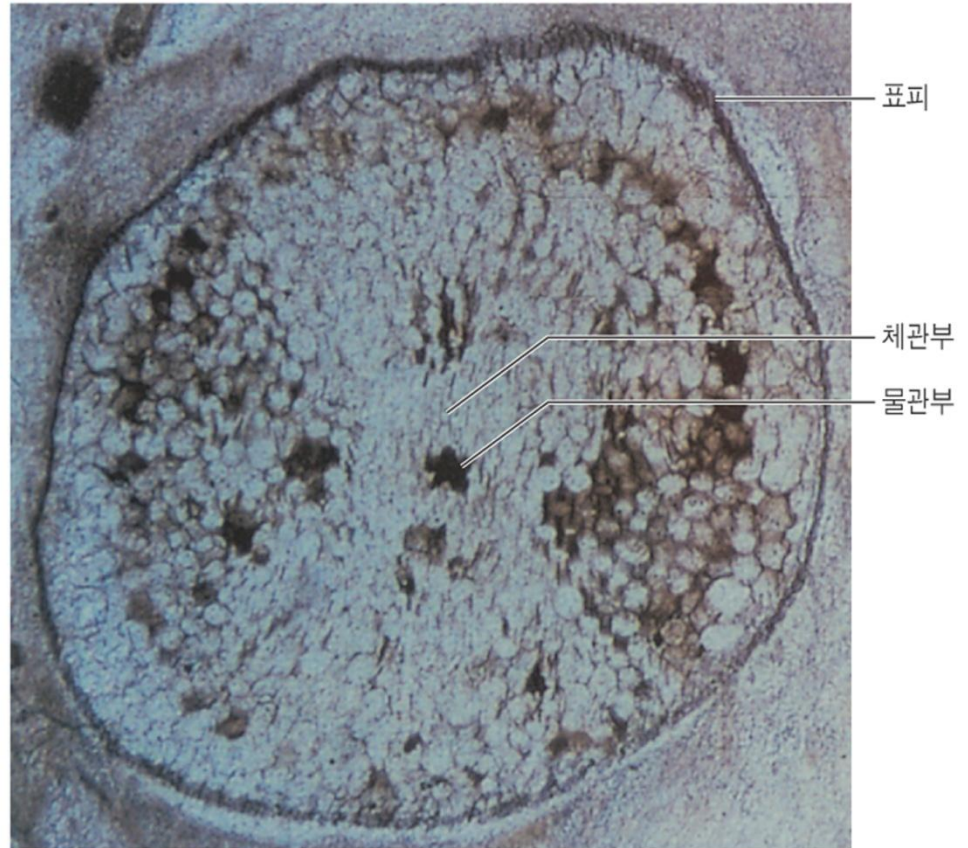
© Thomson Higher Education

최초의 관다발 식물의 하나인 쿡소니아의 약 4억 2,000만 년전의 화석. 줄기 끝의 컵 모양 구조는 생식포자를 만들었음.

a. 라이니아

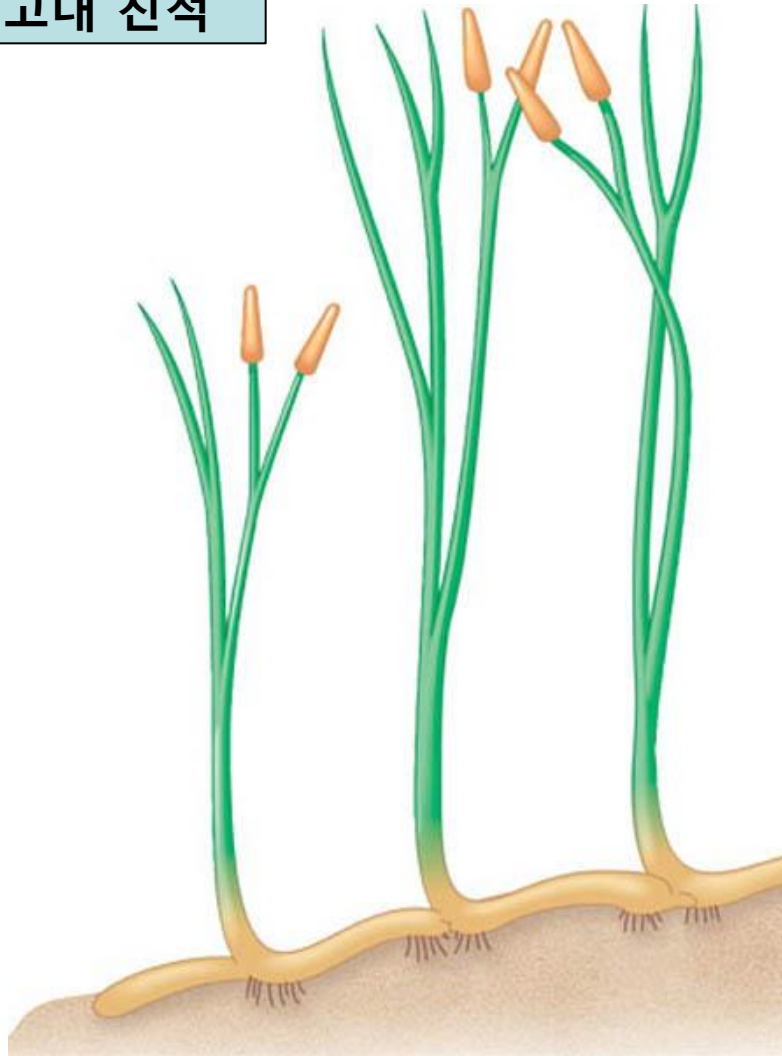


b. 라이니아 줄기의 횡단면



라이니아(Rhynia), 초기 무종자 관다발식물. (a) 화석에 근거한 식물체의 복원 그림. 약 30 cm 크기, (b) 줄기의 횡단면.

## 현대 관다발식물의 고대 친척



***Aglaophyton major*, an ancient relative of modern vascular plants.** This reconstruction from fossils dating to about 420 million years ago exhibits dichotomous (Y- shaped) branching and terminal sporangia. These traits characterize living vascular plants but are lacking in bryophytes (nonvascular plants).

## 석송류

a. 석송나무(인목)



거대한 석송줄기  
(인목)

b. 석탄기 숲에 대한 화가의 묘사



종자고사리(*Medullosa*);  
초기 종자식물의 하나인 원시 겉씨식  
물과 관련되어 있을 것이다.

거대한 속새의 줄기

중생대 석탄기에 번성했던 인목(*Lepidodendron*)과 석탄기의 숲 그림. 인목은 석송류로서 화석에 의하면 지름 1 m와 높이 약 35 m로 자랐을 것으로 추정

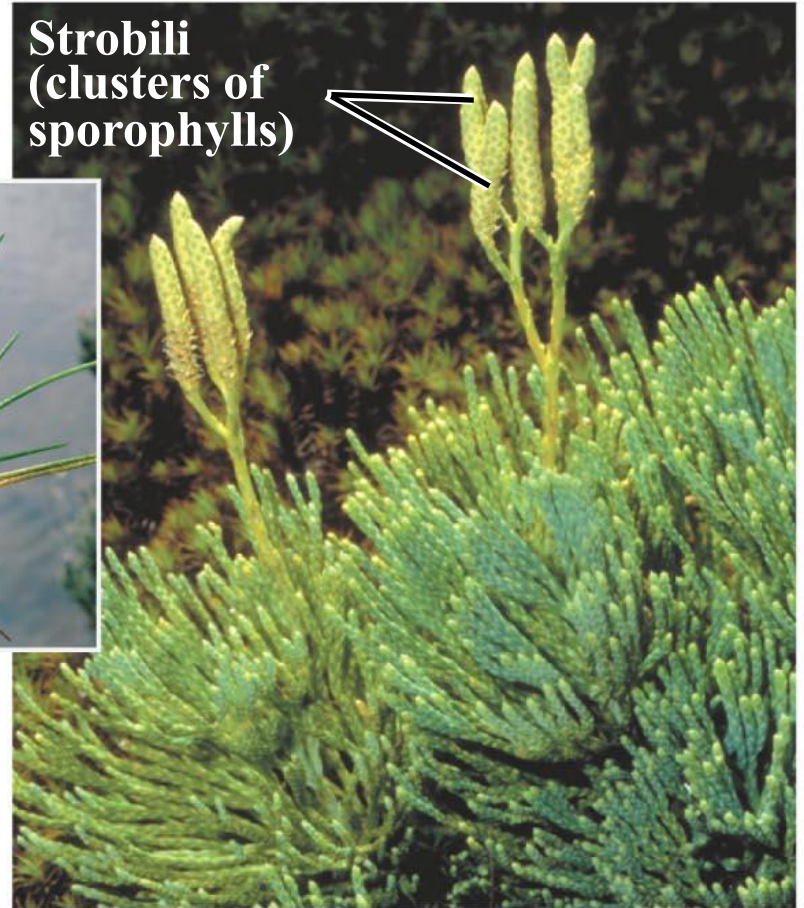
## Lycophytes (Phylum Lycophyta)

2.5 cm  
└───┘

*Isoetes  
gunnii*,  
a quillwort

Strobili  
(clusters of  
sporophylls)

*Selaginella apoda*,  
a spike moss



*Diphasiastrum tristachyum*, a club moss

1 cm  
└──┘

a. 석송의 포자체



b. 화석화된 석송류의 포자



삼각흔

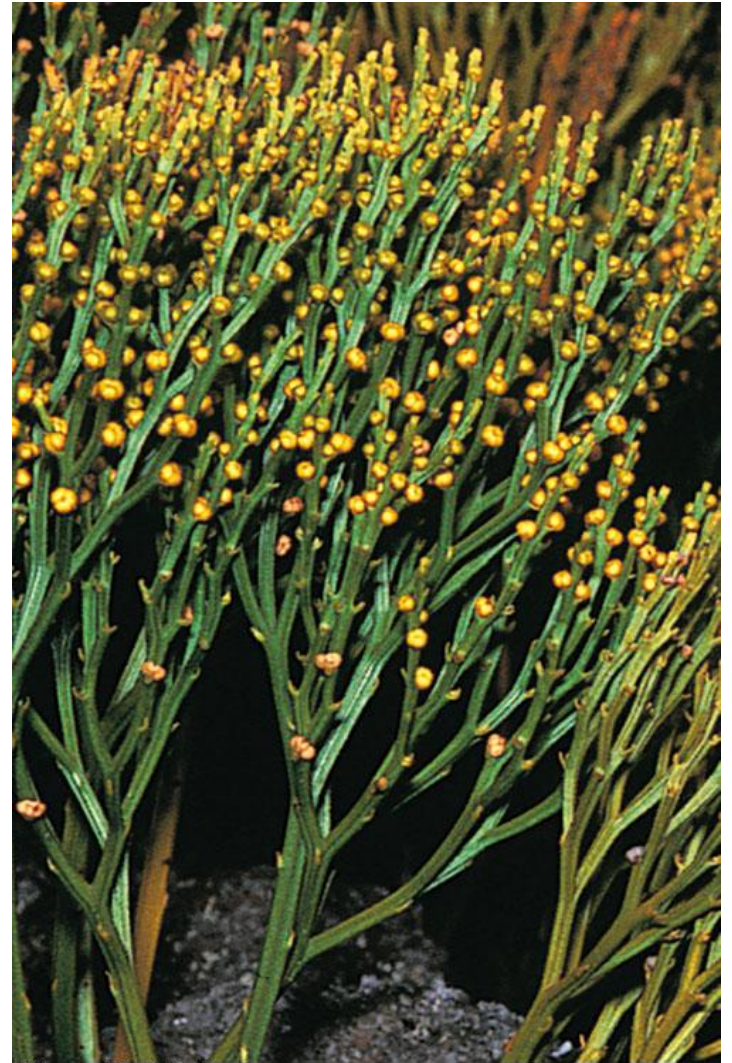
- (a) 포자가 만들어지는 원뿔형 구화를 갖는 석송(Lycopodium)의 포자체  
(b) 특징적인 Y 형태의 자국(화살표)을 갖고 있는 석송류 포자의 화석.

## 양치류 : 속새문, 솔잎란문

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission re



속새 (Horsetail)



© Thomson Higher Education

무종자 관다발식물인 솔잎란 (Psilotum)의 포자체.

a. 포자체의 줄기



b. 포자낭



속씨 포자체의 끝에  
집합된 구화



c. 감수분열에 의해 형성된 포자가  
들어 있는 화수의 포자낭으로 꽃  
잎 모양을 이루고 있다

속새류(Equisetum)의 한 종. (a) 영양줄기, (b) 포자낭을 지닌 생식줄기, (c) 생식줄기에 붙어 있는 포자낭의 근접 사진.



양치류와 속새류에 속하는 쇠뜨기와 솔잎란, 고사리 등의 사진

# Progymnosperm *Archaeopteris*



화석에 근거해 복원한 데본기의 커다란 원시겉씨식물인 *Archaeopteris*. 25 m까지 자랄 수 있었으며, 아마도 현대 종자식물의 조상이었을 것임.

## 나자식물 : 소철문



© Thomson Higher Education

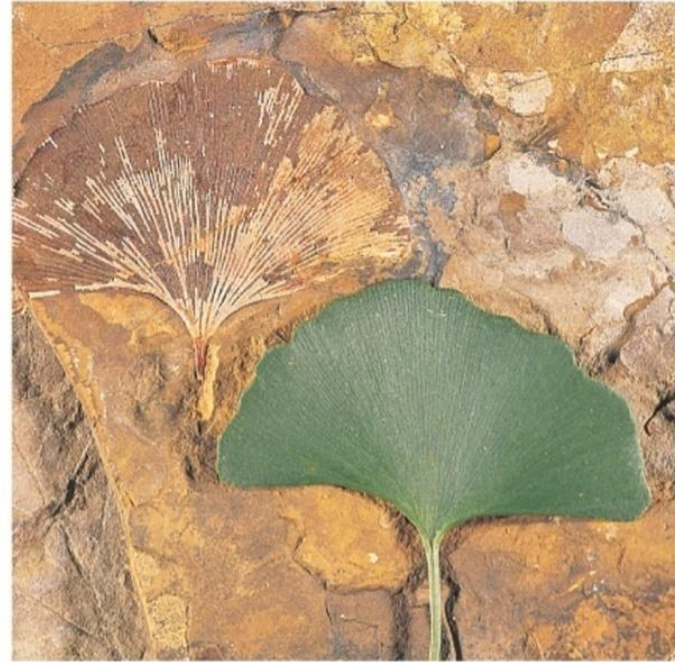
소철류인 *Zamia*. 끝 부분에 커다란 자성 구과와 고사리 모양의 잎이 특징.

# 나자식물 : 은행문

a. 은행나무



b. 은행잎 화석과 현대의 은행잎



c. 웅성 구과



d. 은행 종자



Phylum Ginkgophyta(은행나무문)

## 나자식물 : 마황문



© 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Benjamin Cummings.

a. *Ephedra*의 식물체



b. *Ephedra*의 웅성 구과



c. *Ephedra*의 자성 구과



d. *Welwitschia*의 자성 구과



마황류(Gnetophytes). (a) *Ephedra* 포자체의 근접사진, (b) 꽃가루를 형성하는 구과, (c) 종자를 형성하는 구과로서 별개의 식물체에서 발달, (d) 종자형성 구과를 갖는 포자체.

## 나자식물 : 구과문



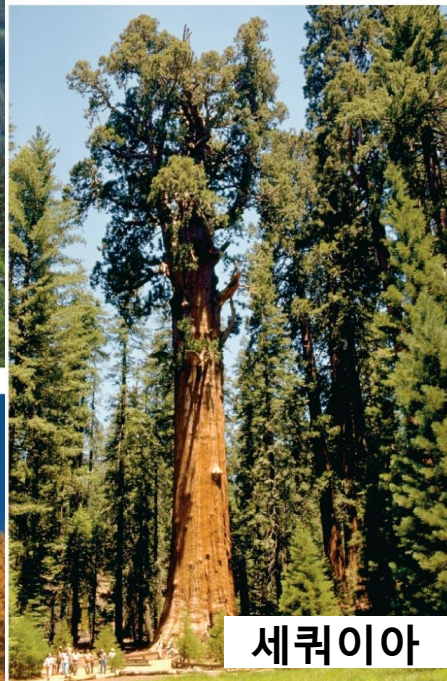
더글러스전나무



향나무



유럽낙엽송



세쿼이아



태평양주목

## 피자식물

*Archaeofructus sinensis*



*Archaeofructus sinensis*의 그림



초기 현화식물로 추정되는 *Archaeofructus sinensis*의 화석. 아마도 작은 수생식물이었을 것으로 추정됨

a. 사막의 현화식물



b. 높은 산의 속씨식물



c. 라이밀



d. 기생성 속씨식물



여러 종류의 현화식물들.

a.



b.



c.



d.



기본적인 피자식물 단일계통군의 예. (a) 태산목(*Magnolia grandium*), (b) 붓순나무의 일종(*Illicium floridanum*), (c) 연꽃(*Nelumbo nucifera*), (d) *Amborella trichopoda*.

a. 대표적인 외떡잎식물



밀(*Triticum*)



튤립(*Tulipa*)



난초의 일종(*Platanthera leucophaea*)

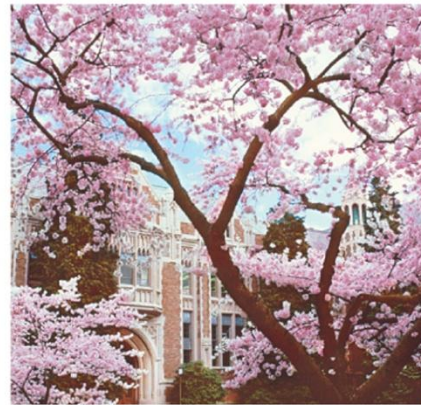
b. 대표적인 진정쌍떡잎식물



장미(*Rosa*)



노랑루핀(*Lupine arboreus*)



벚나무(*Prunus*)



선인장의 일종(*Echinocereus triglochidratus*)

## 외떡잎 식물과 진정쌍떡잎 식물의 예

a. 기둥선인장을 꽃가루받이시키는 박쥐



b. 난초를 꽃가루받이시키는 박각시나방



c. 허비스키스의 꽃을 찾는 벌새



d. 벌을 유혹하는 마리골드의 꽃패턴



가시광선

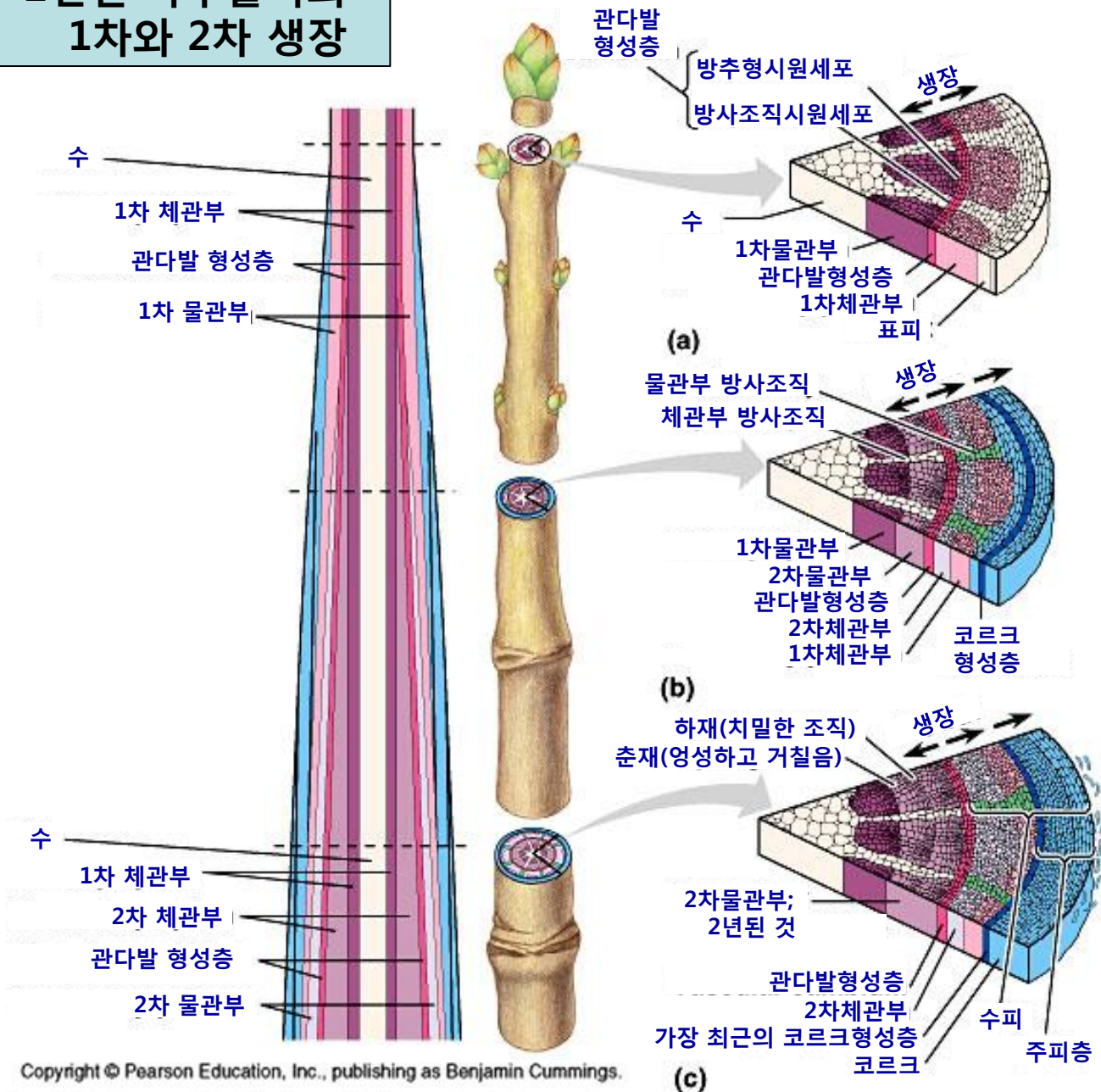
자외선

현화식물과 동물 수분매개자의 공진화(coevolution)



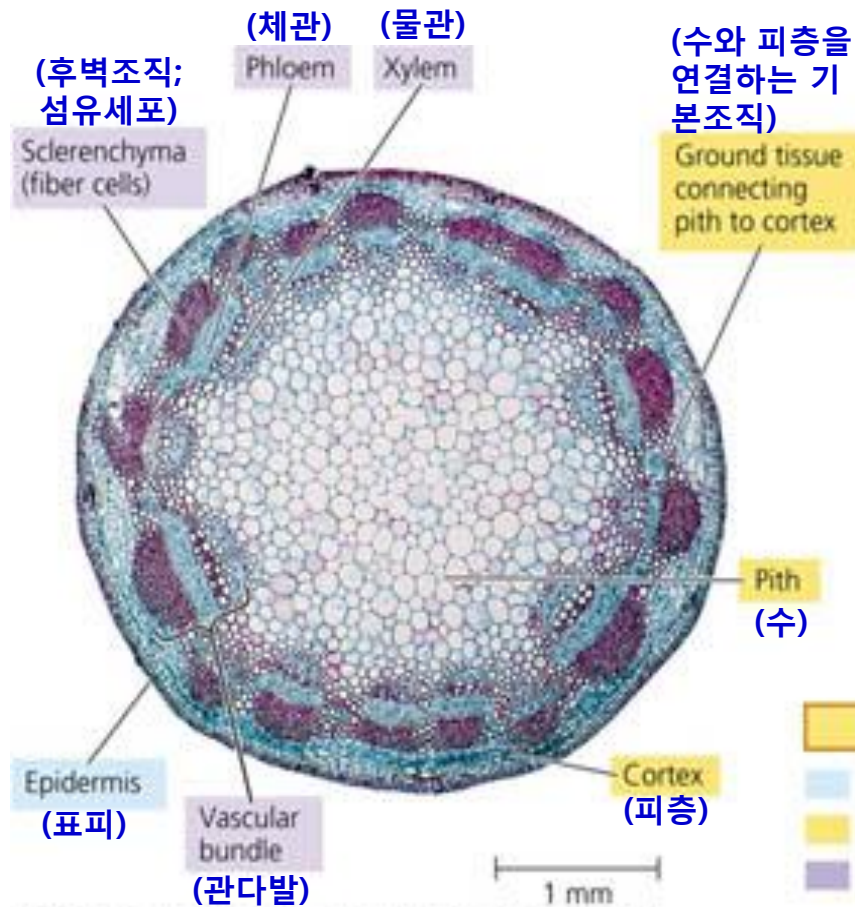
육상식물을 대표하는 세 종류의 주요 식물들 - 이끼류(선태류), 구과식물(나자식물),  
현화식물(피자식물) - 이 있는 온대수림.

## 2년된 나무줄기의 1차와 2차 성장



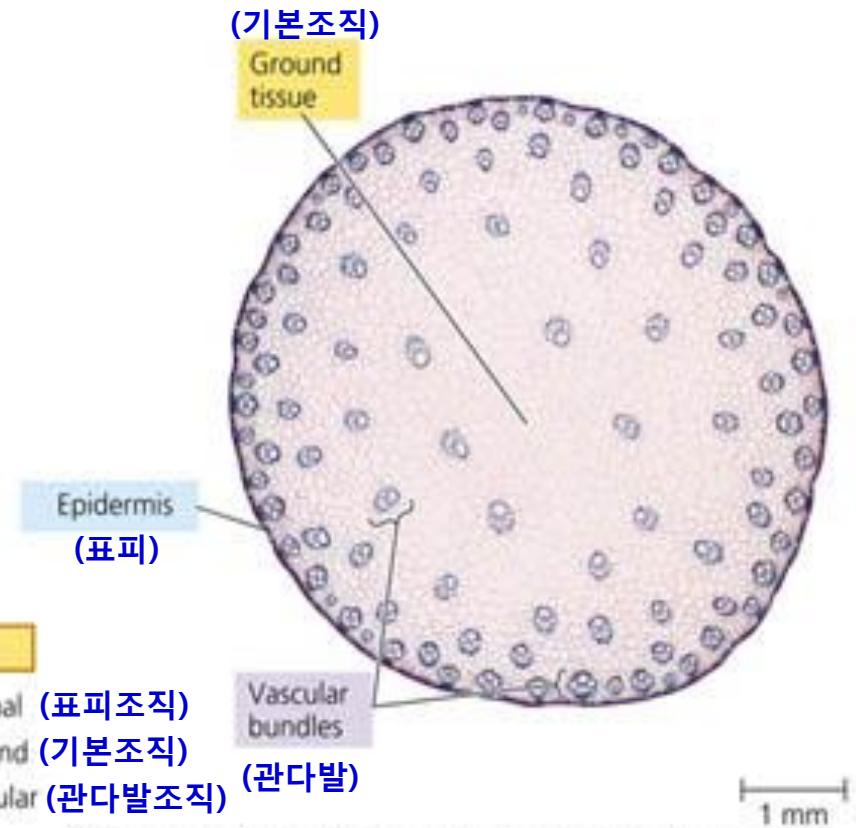
**Primary and secondary growth of a stem.** You can track the progress of secondary growth by examining the sections through sequentially older parts of the stem. (You would observe the same changes if you could follow the youngest region, near the apex, for the next three years.)

**(줄기의 1차와 2차 성장)**



**(a) A eudicot stem.** A eudicot stem (sunflower), with vascular bundles forming a ring. Ground tissue toward the inside is called pith, and ground tissue toward the outside is called cortex. (LM of transverse section)

(쌍떡잎식물의 줄기)

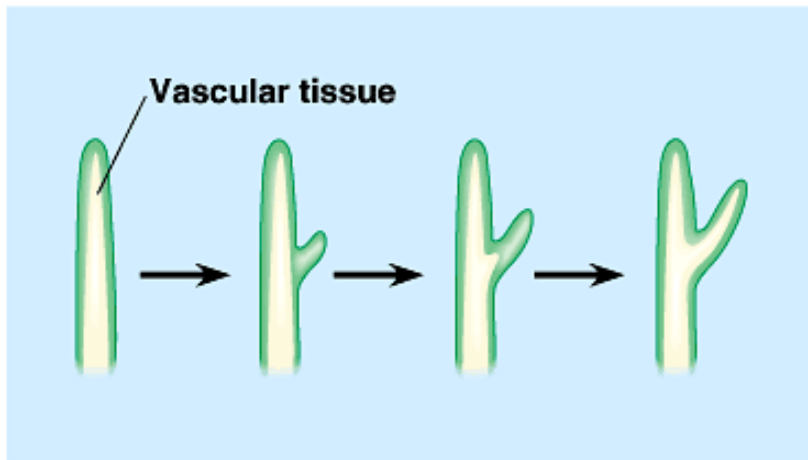


**(b) A monocot stem.** A monocot stem (maize) with vascular bundles scattered throughout the ground tissue. In such an arrangement, ground tissue is not partitioned into pith and cortex. (LM of transverse section)

(외떡잎식물의 줄기)

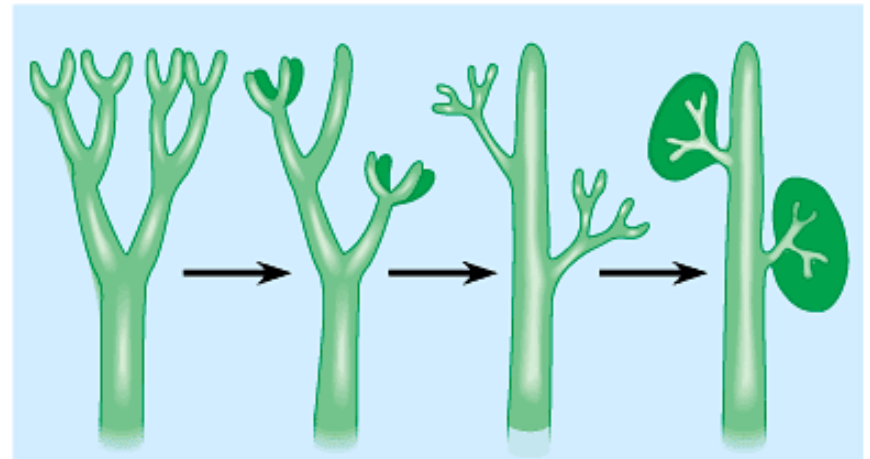
Organization of primary tissues in young stems. (어린 줄기에서의 1차조직 체계)

# Hypotheses for the evolution of leaves



**(a) Microphylls**

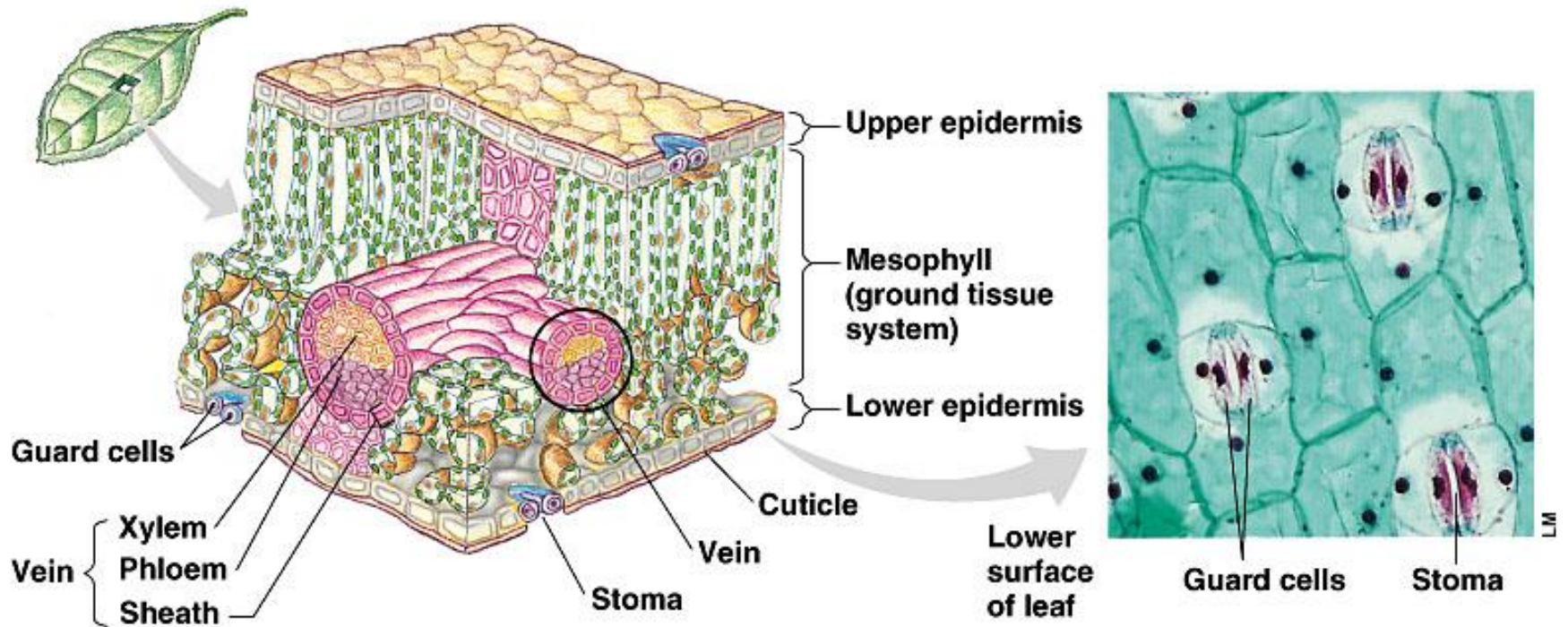
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



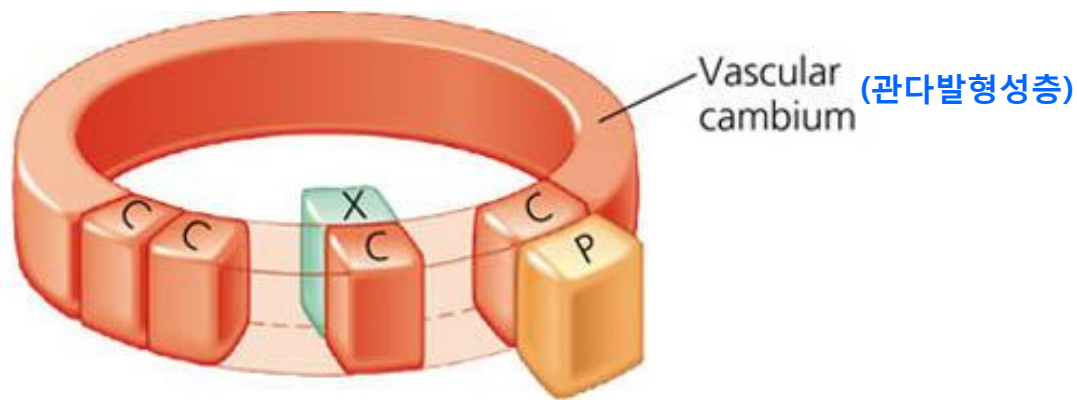
**(b) Megaphylls**

식물의 잎이 진화되어 발생하는 과정에 대한 가설을 나타낸 그림입니다.

- The three tissue systems in dicot leaves
  - The epidermis consist of pores called stomata (singular, stoma) flanked by regulatory guard cells



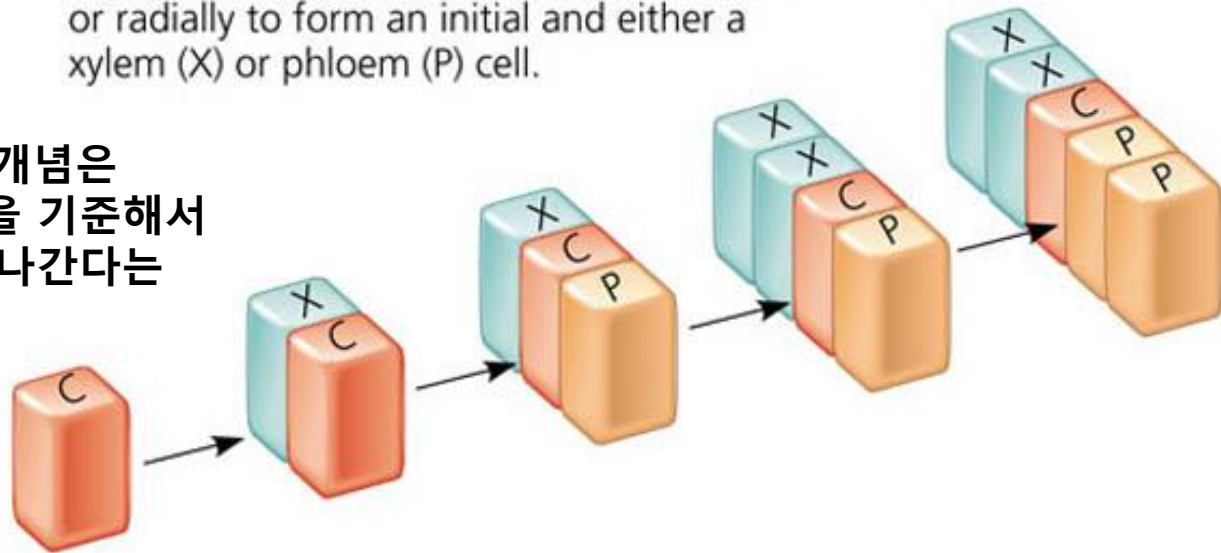
식물의 앞에 있는 잎맥은 그림과 같이 관다발로서, 곧 체관과 물관이 지나가는 길 입니다.



(세포분열의 유형; 형성층시원세포 (C), 물관부 (X), 체관부 (P))

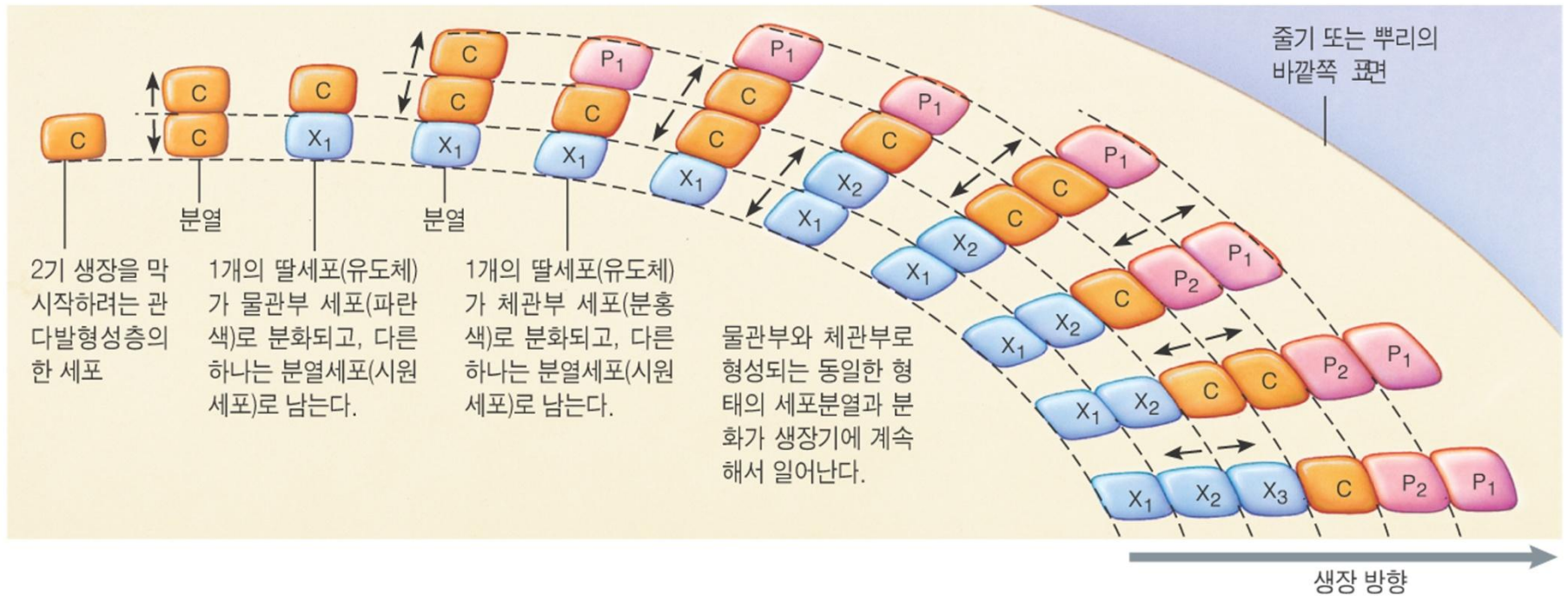
**(a) Types of cell division.** An initial can divide transversely to form two cambial initials (C) or radially to form an initial and either a xylem (X) or phloem (P) cell.

물관, 체관부에서 핵심개념은 관다발형성층(부름켜)을 기준해서 양쪽 방향으로 성장해 나간다는 것입니다.

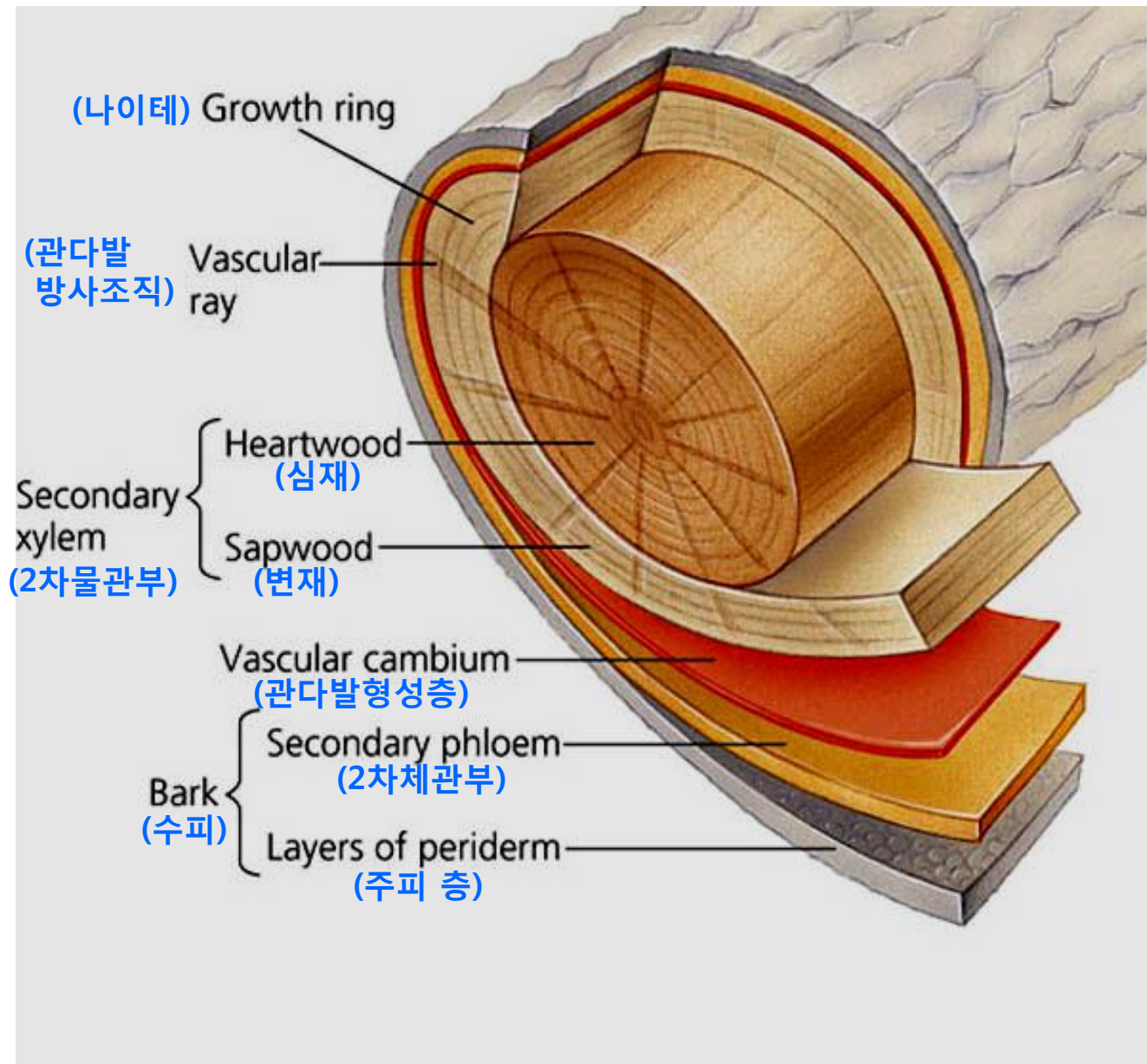


**(2차생장의 축적) (b) Accumulation of secondary growth.** Although shown here as alternately adding xylem and phloem, a cambial initial usually produces much more xylem.

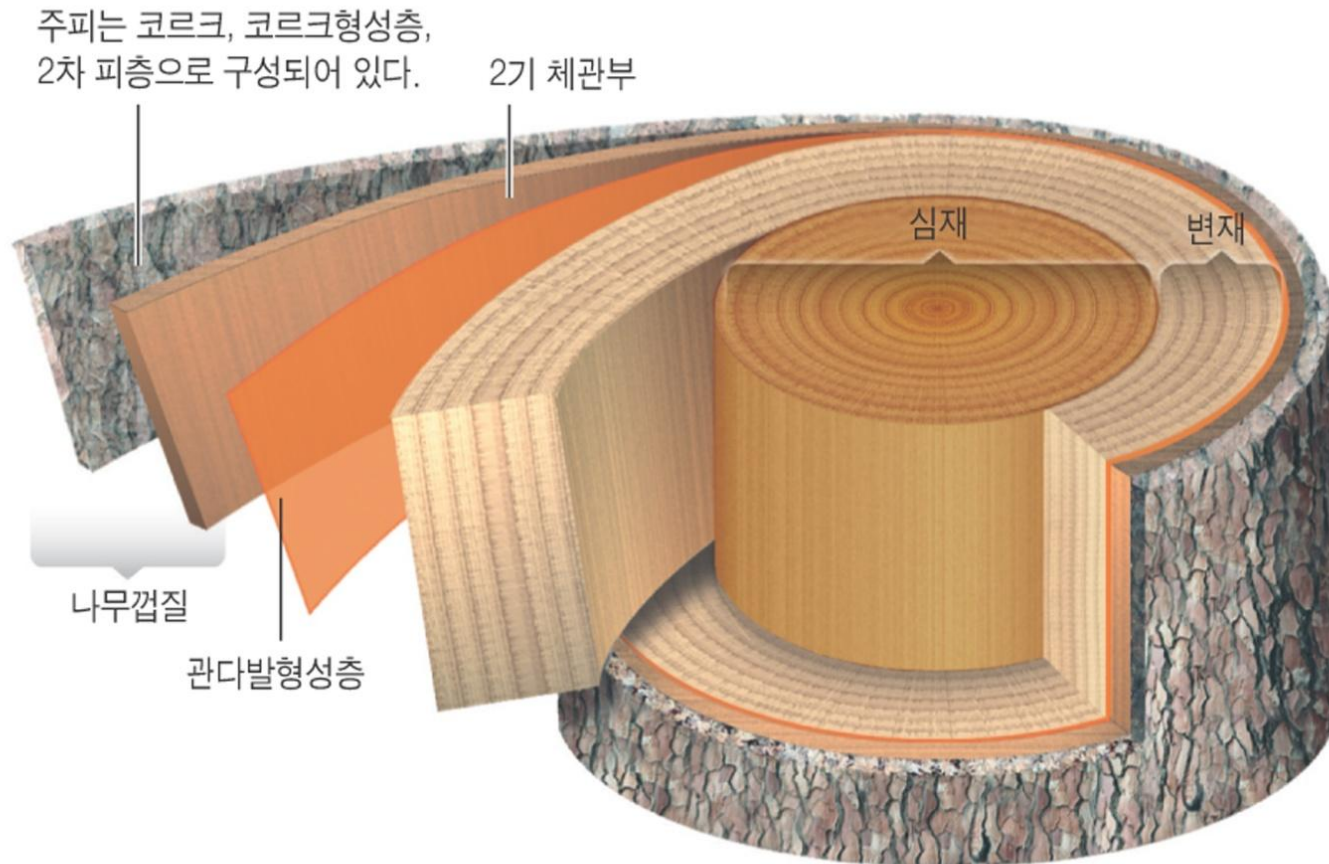
Cell division in the vascular cambium. (관다발형성층에서의 세포분열)



관다발형성층과 그 유도체(2기 물관부와 체관부) 간의 관계.



Anatomy of a tree trunk. (나무 줄기부의 해부)

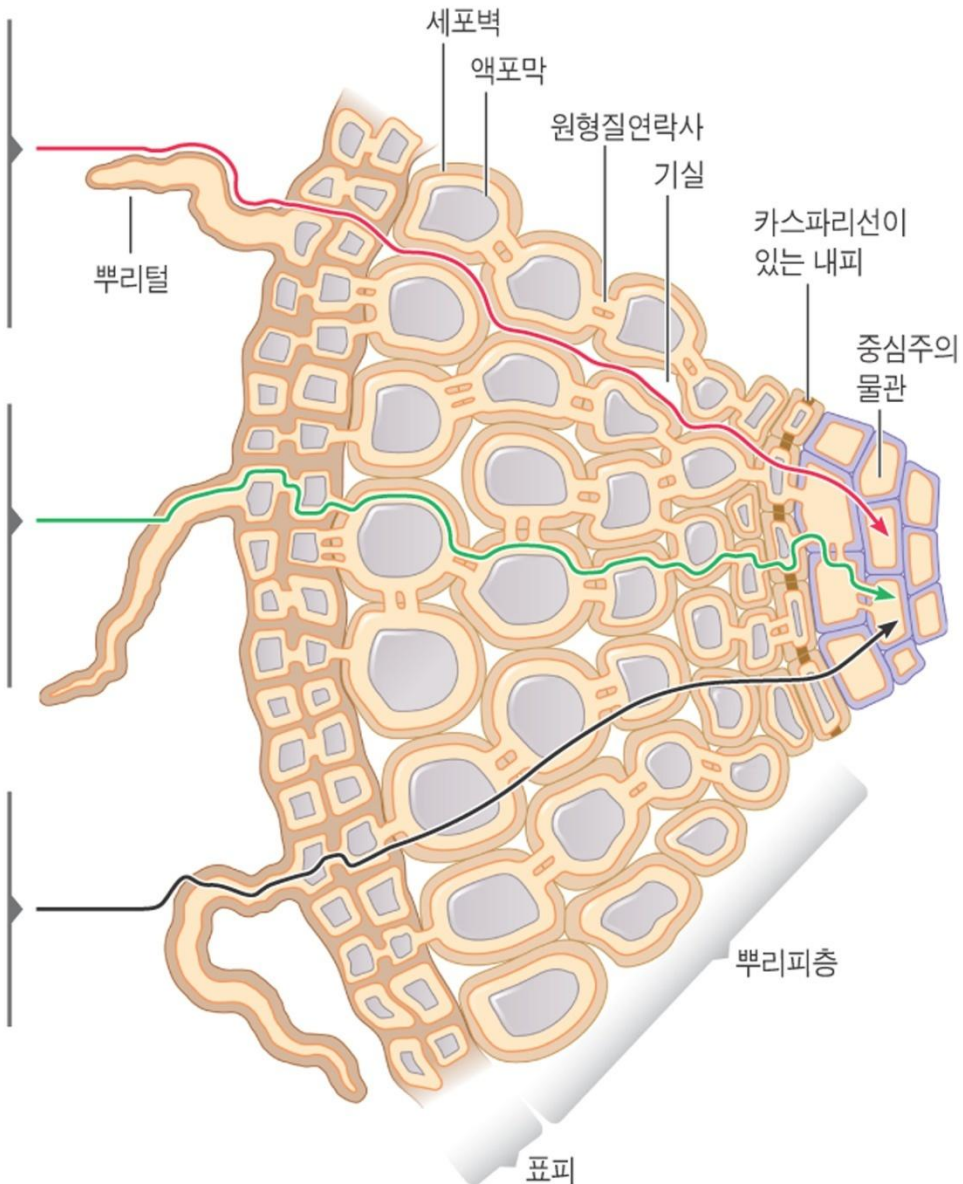


광범위한 2기 생장을 보이는 나무의 줄기 구조. 성숙한 나무의 중심부에 있는 심재에 있는 세포는 죽어있는 세포이며 심재와 관다발형성층 사이의 물관인 원통형 지대인 변재는 죽은 물관과 헛물관 사이에 살아있는 유조직 세포가 있습니다.

**아포플라스트 경로(빨간색)**의 경우, 물은 살아 있지 않은 부위인 인접하고 있는 세포벽과 조직 사이 공기층의 연속적인 네트워크를 통해 이동한다. 그러나 물이 내피세포에 도달하면 한 층의 살아 있는 세포를 통과한다.

**심플라스트 경로(초록색)**에서는, 물은 살아 있는 세포 안으로 들어가서 통과한다. 물은 뿌리털세포에서 흡수된 후 살아 있는 하나의 세포에서 다음에 위치한 세포의 세포질로 원형질연락사를 통해 확산으로 이동한다.

**막관통경로(검은색)**의 경우, 세포질에 들어간 물은 세포막(원형질막과 아마도 액포막을 포함)을 통해 확산으로 살아 있는 세포들 사이에서 이동한다.



**식물 뿌리 안으로 물이 이동하는 경로.**

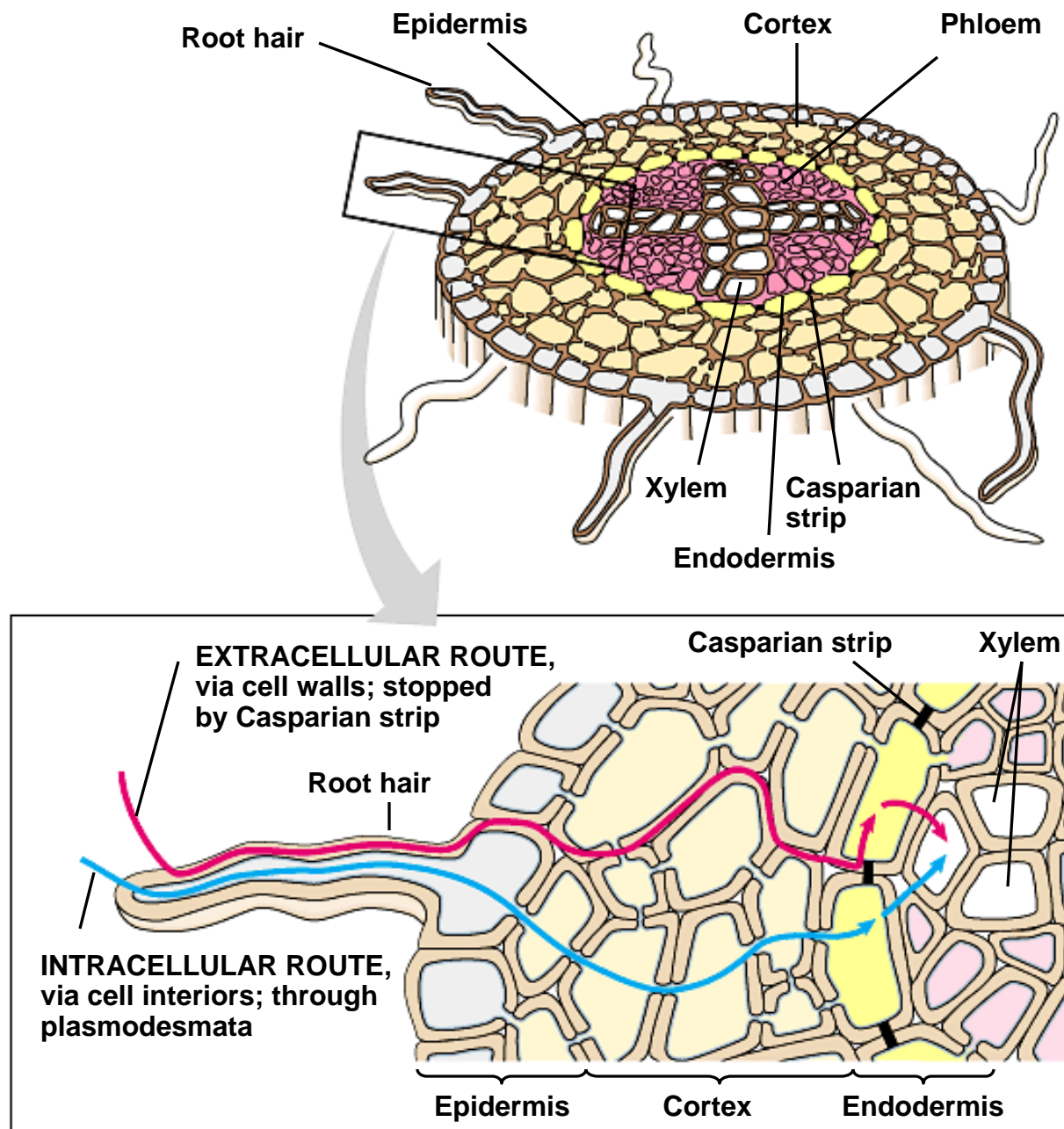
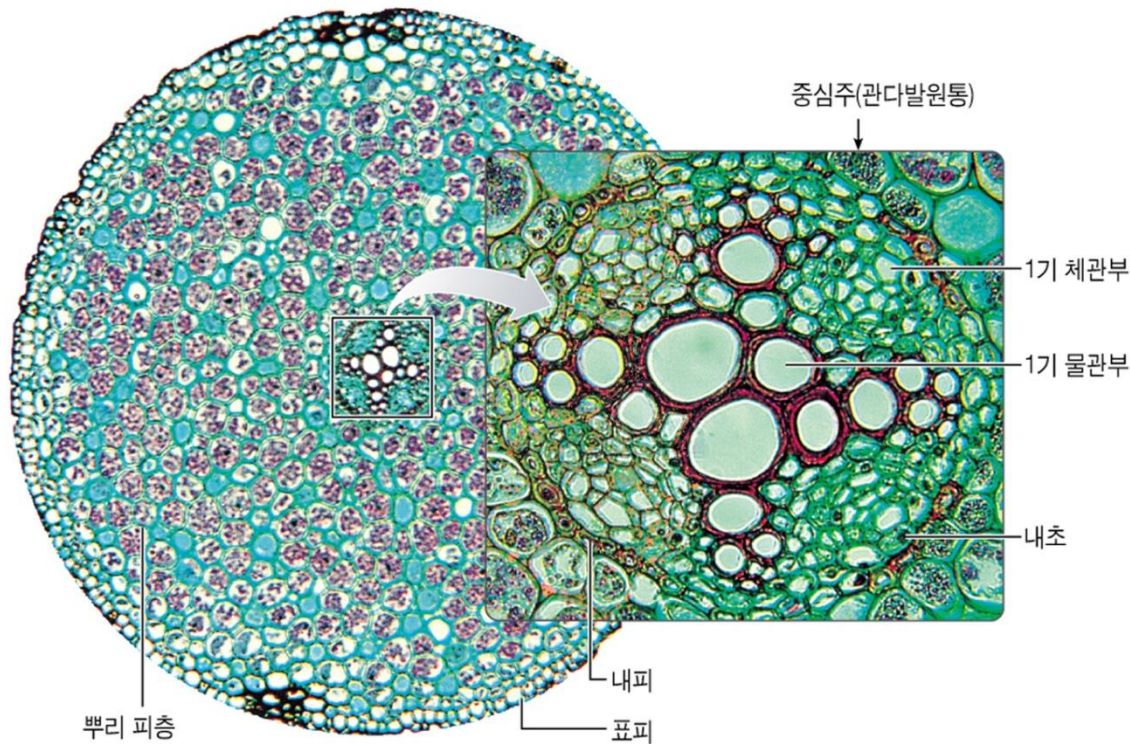
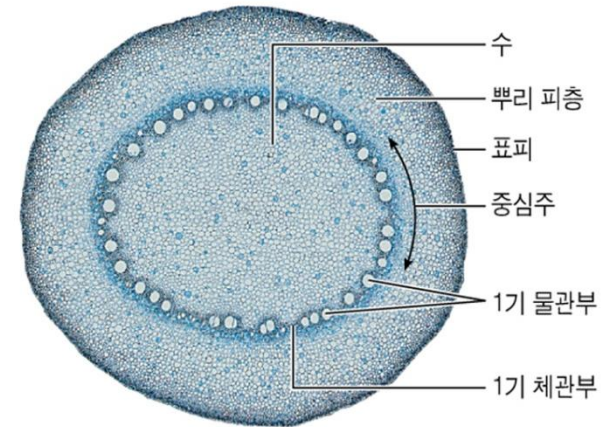


Figure 32.2B

a. 진정쌍떡잎식물의 뿌리



b. 외떡잎식물의 뿌리



## 진정쌍떡잎식물과 외떡잎식물의 중심주 구조 비교.

- (a) 진정쌍떡잎식물인 미나리아재비 (Ranunculus)의 어린뿌리. 중심주가 확대되어 상세하게 보임,
- (b) 외떡잎식물인 옥수수의 뿌리. 중심주가 기본조직을 피층(cortex)과 수(pith)로 나눔.

Outside air  $\Psi$   
= -100.0 MPa

Leaf  $\Psi$  (air spaces)  
= -7.0 MPa

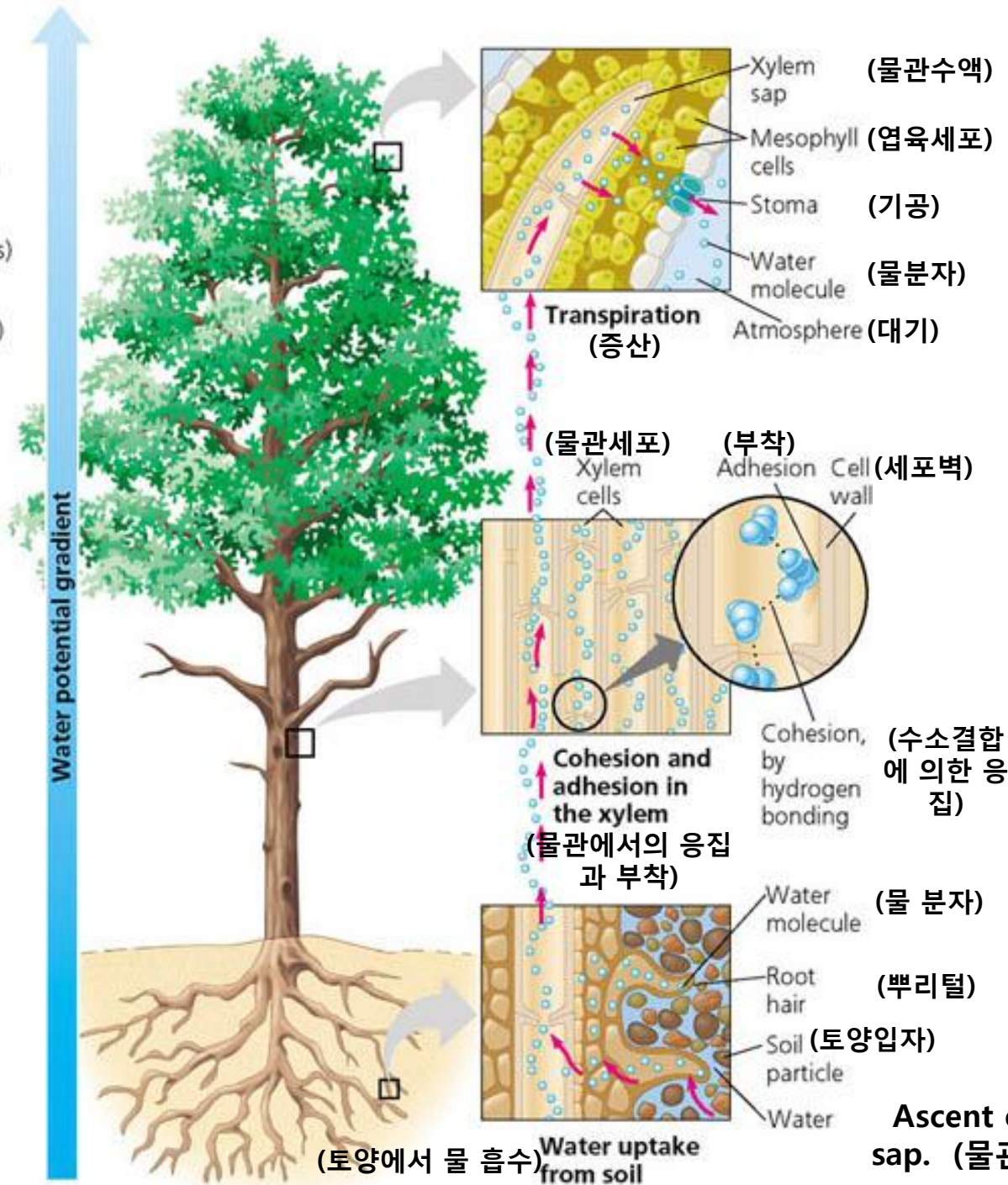
Leaf  $\Psi$  (cell walls)  
= -1.0 MPa

Trunk xylem  $\Psi$   
= -0.8 MPa

Root xylem  $\Psi$   
= -0.6 MPa

Soil  $\Psi$   
= -0.3 MPa

Water potential gradient



나무 뿌리로부터 줄기를 따라 물이 올라가는 경로를 나타낸 그림입니다.

물관에서의 물의 이동은 수소결합에 의해 이뤄지는 현상인 것입니다.

# 지질연대와 생물진화의 주요 사건

대	기	세	연대 (100만 년 전)	생물의 역사에 중요한 사건	
신생대	신제3기	현세		역사적 시대	
		홍적세	0.01	빙하기, 인간 출현	
		선신세	1.8	호모 속 기원	
		중신세	5.3	포유류와 속씨식물의 방산, 인원류와 유사한 인간조상 기원	
	고제3기	점신세	23	인원류를 포함한 영장류 기원	
		시신세	33.9	속씨식물 우점 증가, 대부분의 현대 포유류목의 방산이 계속됨	
		효신세	55.8	포유류, 조류, 꽃가루매개 곤충의 방산	
			65.5	현화식물(속씨식물) 출현, 공룡 등 많은 생물이 백악기 말에 멸종 (백악기 멸종)	
중생대	백악기			현화식물(속씨식물) 출현, 공룡 등 많은 생물이 백악기 말에 멸종 (백악기 멸종)	
	쥐라기		145.5	겉씨식물의 우점 지속, 많은 수의 다양한 공룡	
	트라이아스기		199.6	구과식물(겉씨식물)의 경관 우점, 공룡 방산, 포유류와 유사한 파충류 기원	

대	기	세	연대 (100만 년 전)	생물의 역사에 중요한 사건
고생대			251	파충류 번성, 대부분의 현생 곤충목 기원, 많은 해양생물과 육상생물이 페름기 말에 멸종
			299	관다발식물의 광범위한 숲, 최초의 종자식물, 파충류 기원, 양서류 유점
			359.2	경골어류의 다양화, 최초의 사지동물과 곤충
			416	초기 관다발식물의 다양화
			443.7	해양 조류 풍부, 절지동물과 식물이 육지를 점령
			488.3	많은 동물 문이 갑자기 나타남
원생이언			542	
			600	다양한 조류와 연체성 무척추동물
			2,200	가장 오래된 진핵생물 세포 화석
시생이언			2,500	
			2,700	대기산소 농도가 높아지기 시작함
			3,500	가장 오래된 세포의 화석(원핵생물)
			3,800	지표면에서 가장 오래된 암석
			약 4,600	지구 기원

식물과 함께 동물의 진화도 함께 살펴보면, 최초로 등뼈를 가진 척추동물이 나타난 시기는 대략 3억9천만년 전으로 '케이롤스피스'라는 물고기이고, 육지로 동물이 처음 상륙한 시기는 약 3억6천만년 전 '아칸소스테가'라는 물고기입니다.

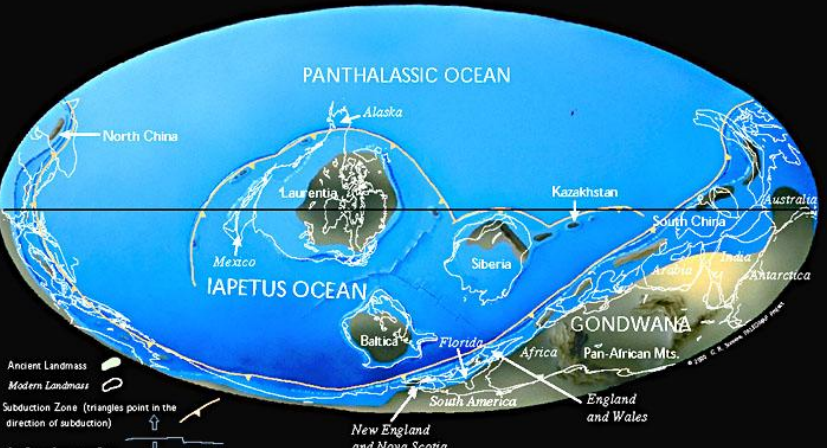
지구. 생명의 진화 역사에는 '기원이 있다'는 사실을 여러 번 강조했었는데, 이러한 현상들도 역시 그 기원을 찾아 흐름을 살펴 본다면 훨씬 재미있고 쉽게 기억할 수 있습니다.

쪼개져 있던 지구의 대륙들이 합쳐지면서 조산운동에 의해 산맥이 먼저 생기고, 골을 따라 빗물이 흘러내리면서 江이라는 현상이 최초로 생기게 되었습니다. 바다에 살던 아란다스피스라는 물고기가 앵무조개에 쫓겨서 강으로 올라오게 되는데, 이 때가 대략 3억7천만년 전입니다. 육상에는 숲이 먼저 형성되어 있었고 강가에 있는 나무의 가지들이 강바닥에 떨어져 엉켜있게 되는데, 강으로 올라온 물고기들이 포식자를 피해 이 장애물들을 헤쳐가는 과정에서 앞 지느러미가 발달하게 되었고, 약 3억6천만년 전에 드디어 아칸소스테가가 앞발을 이용하여 육지로 상륙하게 되는 것입니다.

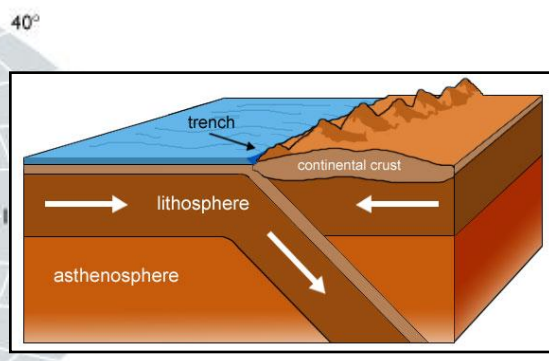
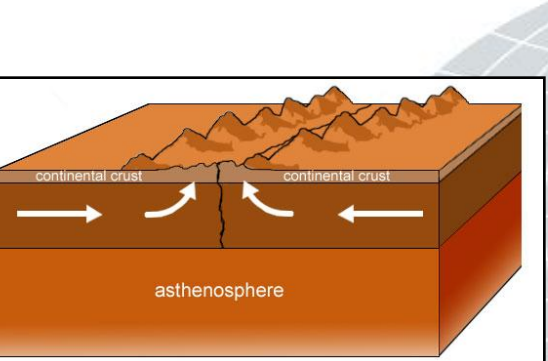
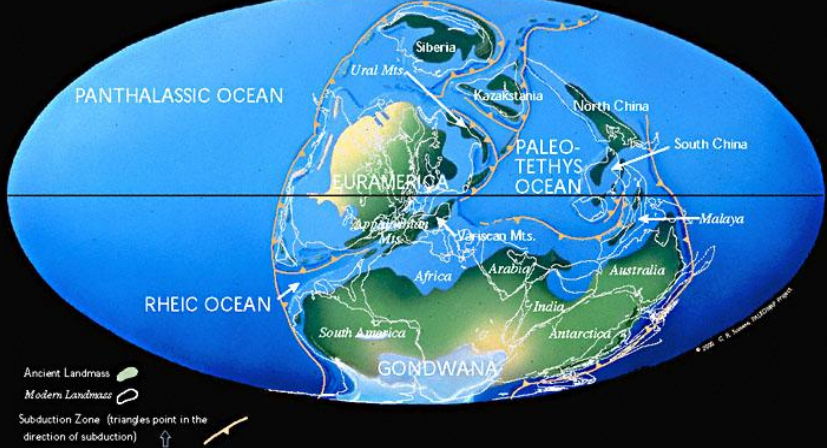
또한 2억3천만년 전 판게아(Pangea) 대륙의 분리가 시작되면서, 화산활동에 의해 지구상에 이산화탄소 농도가 4배나 높아지고 온도가 상승하게 되는데 그 영향으로 나자식물들이 급격하게 늘어나서 지구 전체를 뒤덮을 정도로 번성하게 되었고, 2억2천여만년 전 출현한 포유류와 공룡 중, 처음에는 1m 정도 아주 작던 공룡이 번성했던 침엽수를 먹이로 취하기 위해 5천만년에 걸쳐 약 15~20m의 거대한 몸집으로 커지게 됩니다.

이와 같이 지구 생명의 진화를 공부하는 데는 지각의 이동, 지구 환경의 변화 과정을 먼저 이해해야 하며, 동물과 식물의 진화를 함께 살펴보는 것이 중요합니다. 江의 출현, 동물의 육지상륙, 지구상에 여러 식물과 동물의 번성과 쇠퇴, 사막의 출현, 사바나와 초식동물의 번성, 인류 출현... 등 지구 생명시스템 진화의 흐름이 판구조론에서 이야기하는 대륙이동, 지구 대기 환경의 변화와 아주 밀접한 관련성을 가지고 있습니다.

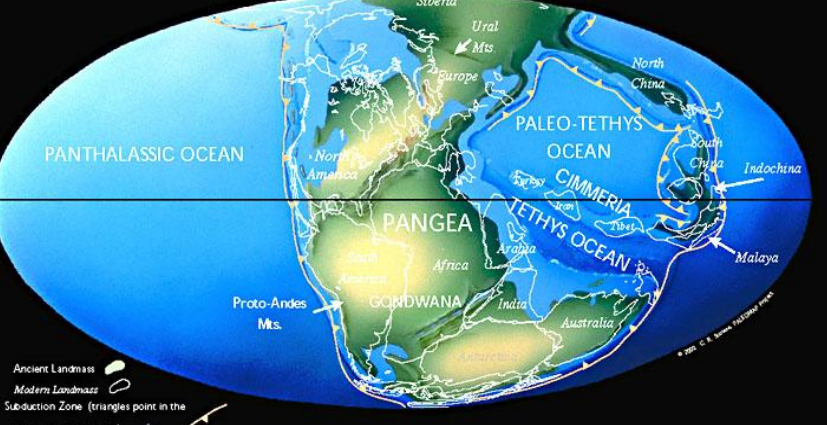
Late Cambrian 514 Ma



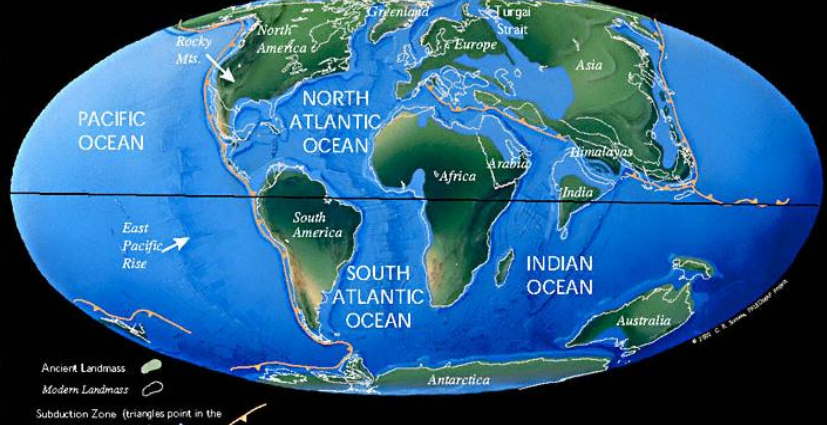
Early Carboniferous 356 Ma



Early Triassic 237 Ma



Middle Eocene 50.2 Ma

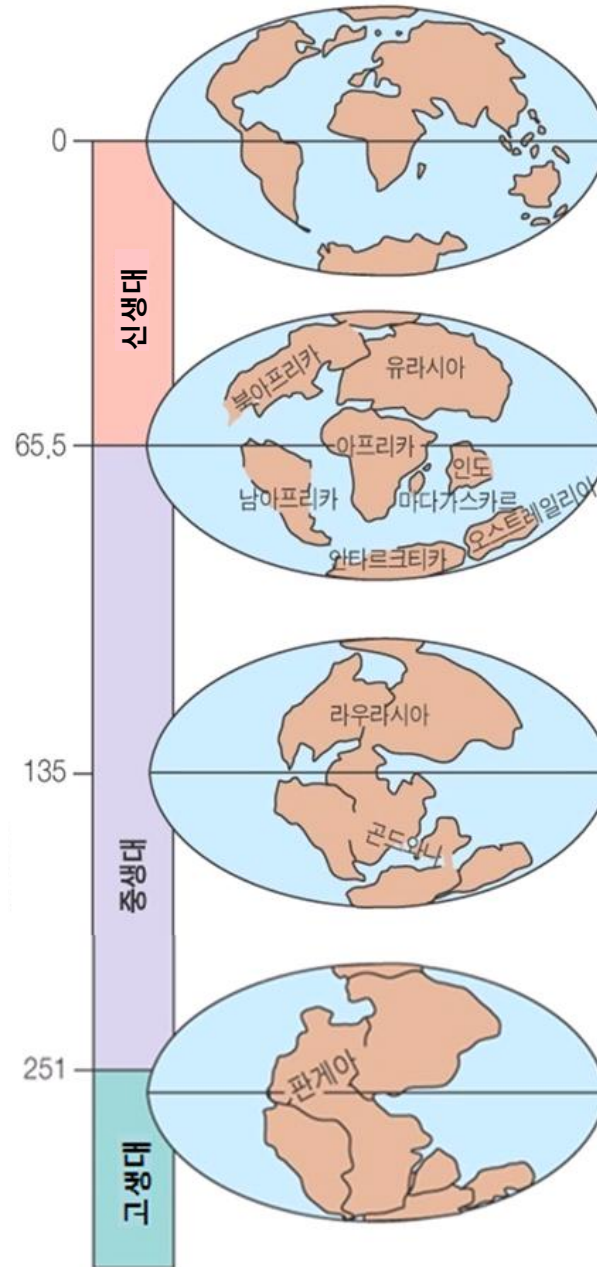


## 현생이언의 대륙이동과 그 영향

대략 5천만년 전에 대륙의 인도판이 유라시아판을 밀고 올라오면서 충돌에 의해 히말라야 산맥이 형성됩니다.

이 때문에 산맥 내륙지역의 바람이 뒤편(Föhn) 현상에 의해 고온 건조한 바람이 되어 남쪽 대륙으로 불어 오면서 열대 밀림으로 우거졌던 나일강 유역과 아프리카 대륙에 사막과 사바나라는 초지가 생기게 되는데, 이 현상이 동물 진화, 특히 영장류의 출현과 인간의 진화에 핵심적인 내용입니다.

삼천만년 전에 살았던 초기 영장류가 밀림이 점차 사라지면서 먹이경쟁에서 우위를 점하기 위해 열매를 빨리 찾아낼 수 있도록 붉은 색을 보고, 삼원색을 구분할 수 있는 색의 진화를 이루게 되었고, 약 천만년 전 초지의 확산에 따라 풀을 먹이로 하는 초식동물의 번성과 동물 먹이사슬의 형성, 그리고 그 과정에서 약 600만년 전 초기인류의 발생... 등 중요한 진화적 사건들이 발생하게 되는 것입니다.



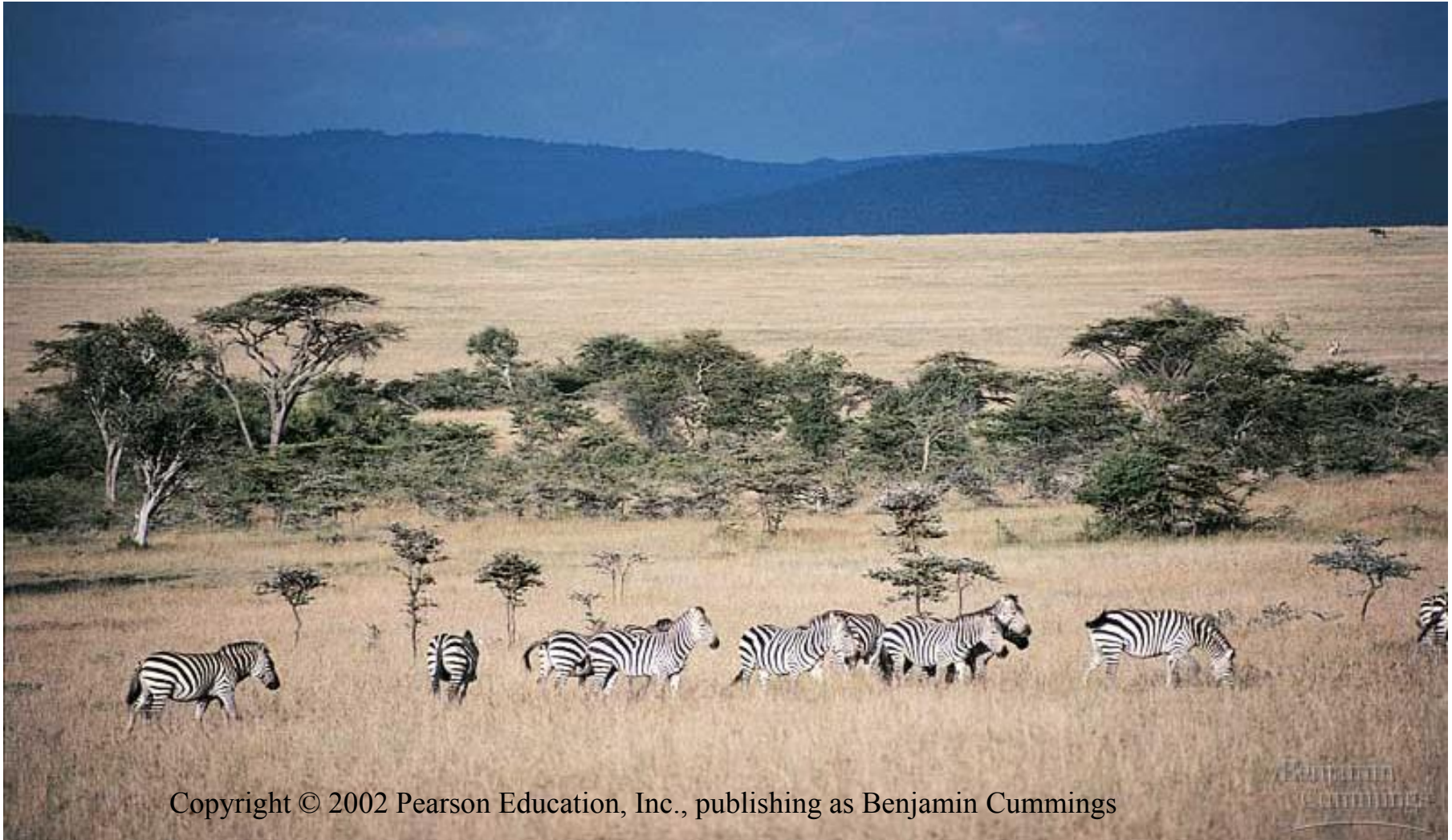
지구에서 가장 높고 젊은 산맥인 히말라야 산맥은 약 1,000만 년 전에 유라시아판과 인도판이 충돌한 결과로 형성되었다. 오늘날에도 대륙의 이동은 계속된다.

중생대 말에 라우라시아와 곤드와나가 현재의 대륙들로 분리되었다.

중생대 중엽에 판게아가 북쪽(라우라시아)과 남쪽(곤드와나) 땅덩어리로 분리되었다.

고생대 말에 지구의 모든 땅 덩어리는 판게아라는 초대륙으로 결합되었다.

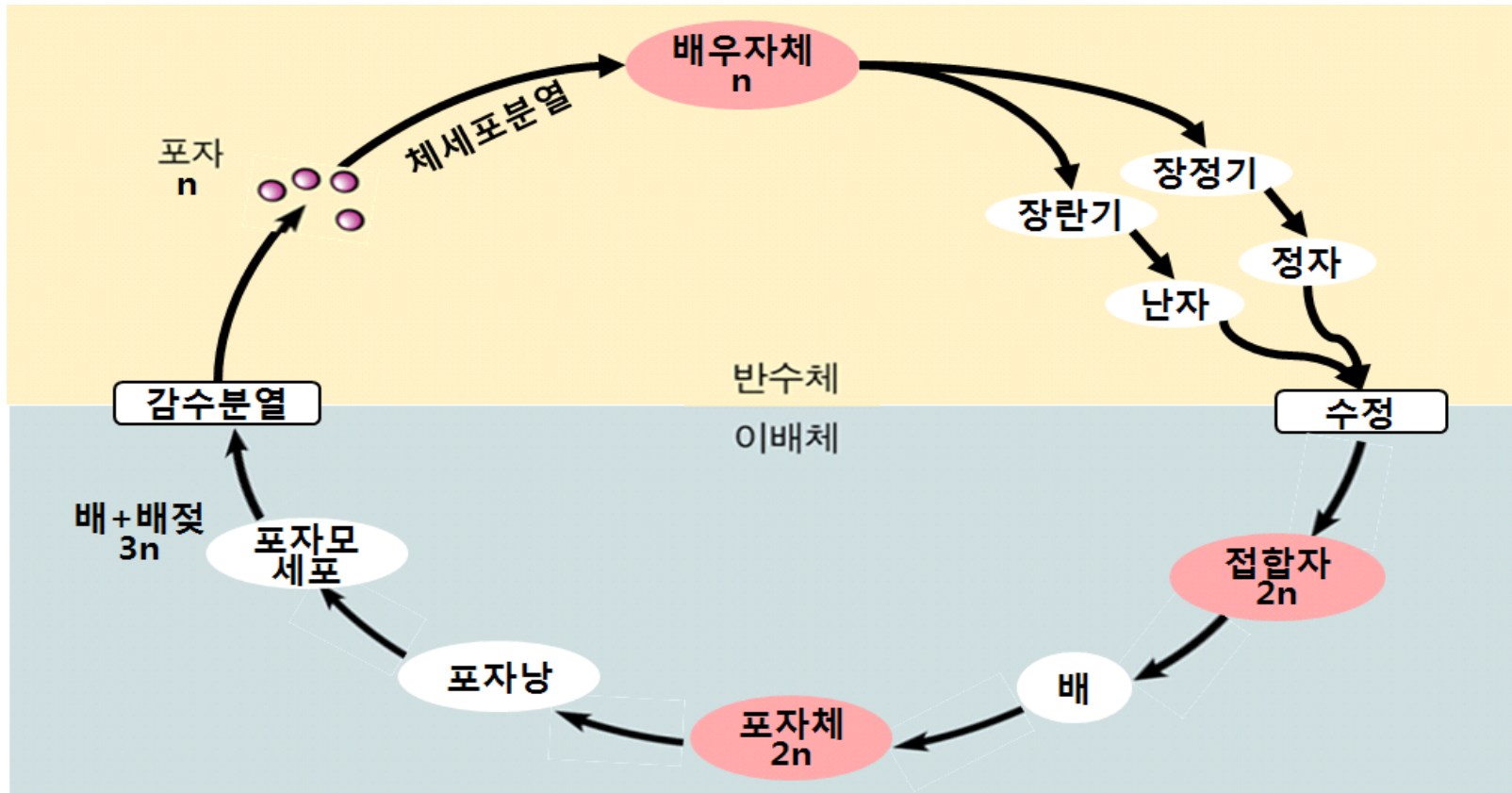
## 아프리카의 사바나 지역과 초식 동물들



Copyright © 2002 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings

지각의 이동, 지구 환경의 변화과정과 생명의 역사에 관해서는 2008년에 열렸었던 백북스 제13차 천문우주+뇌과학 모임 <생명 40억년의 역사> 현장스케치 Web 페이지에서 좀 더 자세한 내용을 학습하시기 바랍니다.(아래 Link)

# 핵심기억-#30\_1 : 식물의 생활사(Life Cycle)



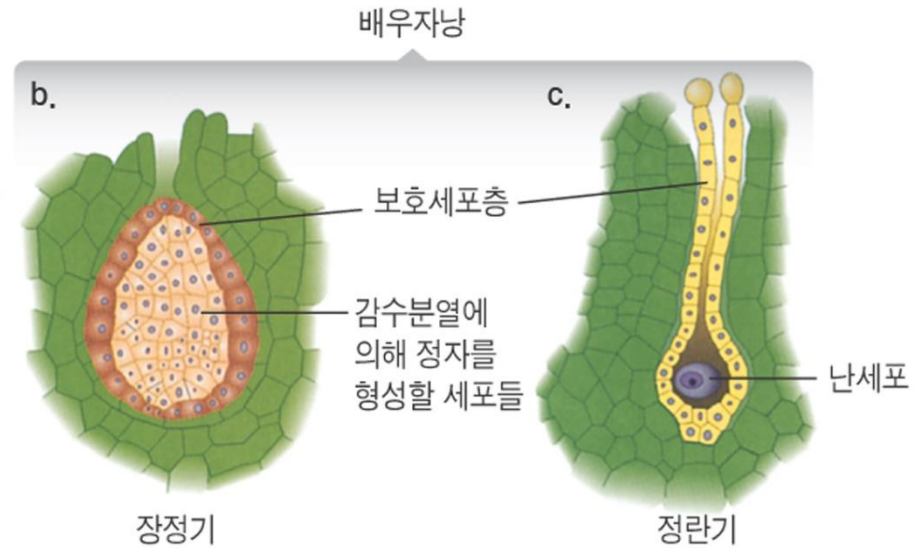
$n$ 배체인 배우자체로부터 장정기와 장란기를 통해 알세포인 난자와 꽃가루 등의 정자가 생성되면, 이 둘이 수분을 거쳐 수정이 되어  $2n$  배체인 접합자가 됩니다. 접합자는 배라는 단계를 거쳐 발아가 되어 포자체로 성장하게 되는데, 현화식물의 경우는 씨를 구성하는 배와 배젖이 생성과정이 다르며 이를 중복수정이라 합니다. 포자체는 포자낭을 만들고, 포자낭에서 포자모세포가 나와 감수분열을 통해 포자를 되고 그것이 다시 배우자체가 되는데, 이와 같이 반수체와 이배체 세대가 번갈아 나타나는 세대교번이 곧 모든 식물의 Life Cycle인 것입니다.



배우체(반수체) 세대가 우세한 식물로부터 포자체(2배체) 세대가 우세한 식물까지의 진화. 일반적으로 관다발식물의 포자체는 선태식물의 것보다는 크고 복잡하며 배우체는 크기가 작고 덜 복잡합니다.

## 선태식물에서 처음 나타난 배우자를 둘러싸는 다세포 구조.

a. 포자체를 지니는 이끼의 배우체

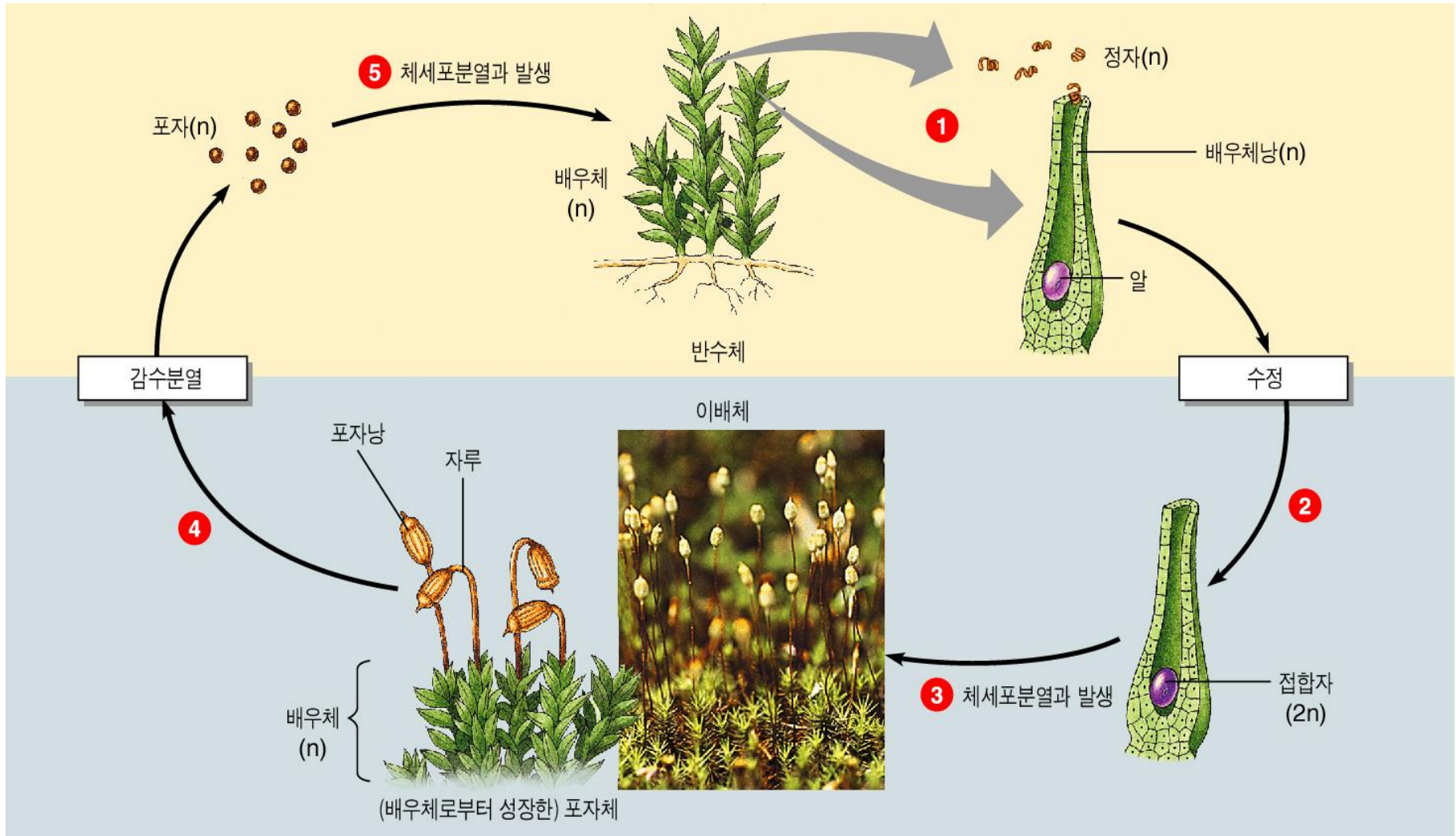


이끼류는 배우체가 우세, 배우자는 독립적인 암수 배우자 주머니에서 발생,

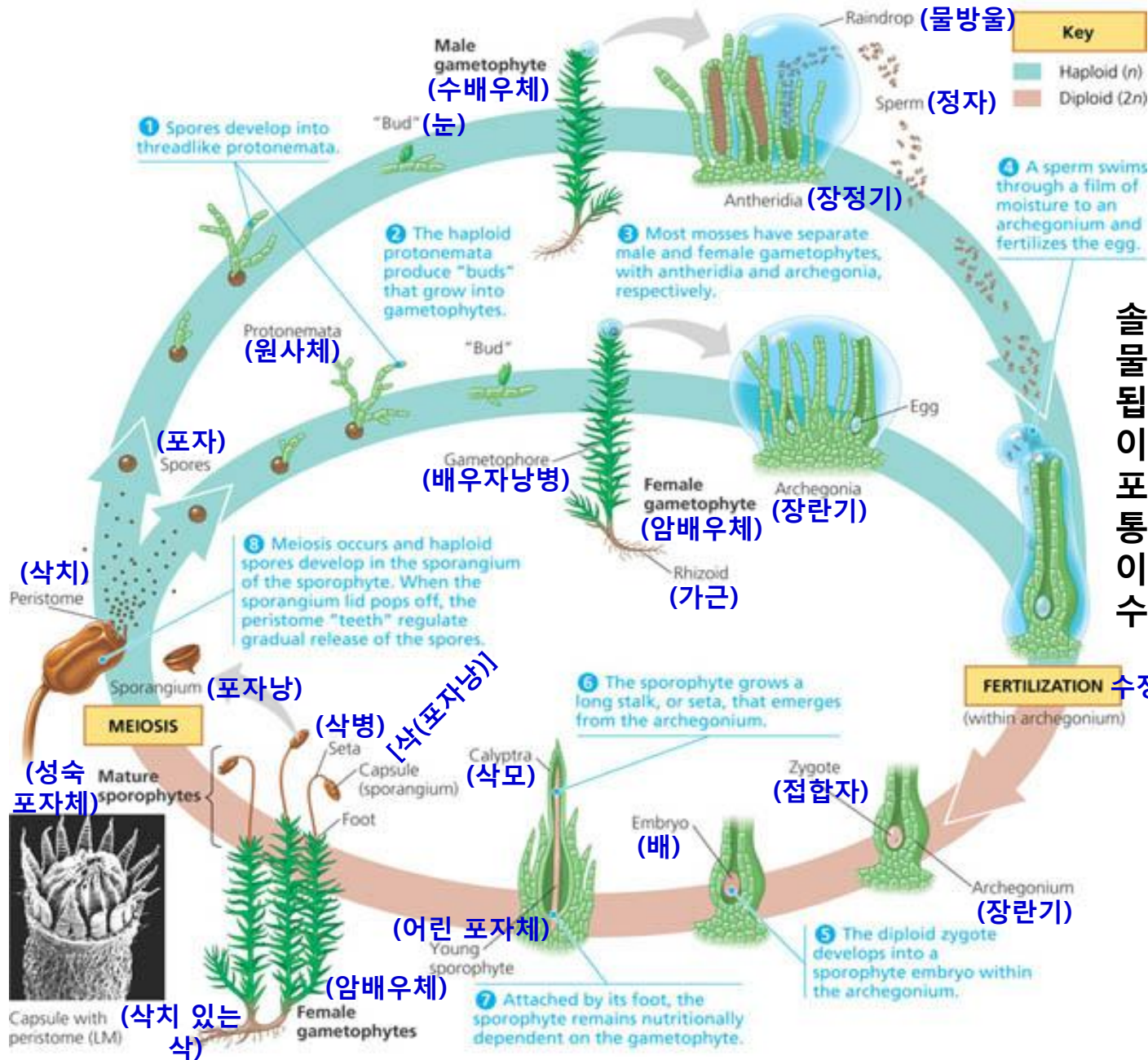
난자 : 암컷 배우자 주머니에 존재,

정자 : 편모가 달려 있어서 난자에 헤엄쳐 감(수막필요)

# 솔이끼(Polytrichum)의 생활사



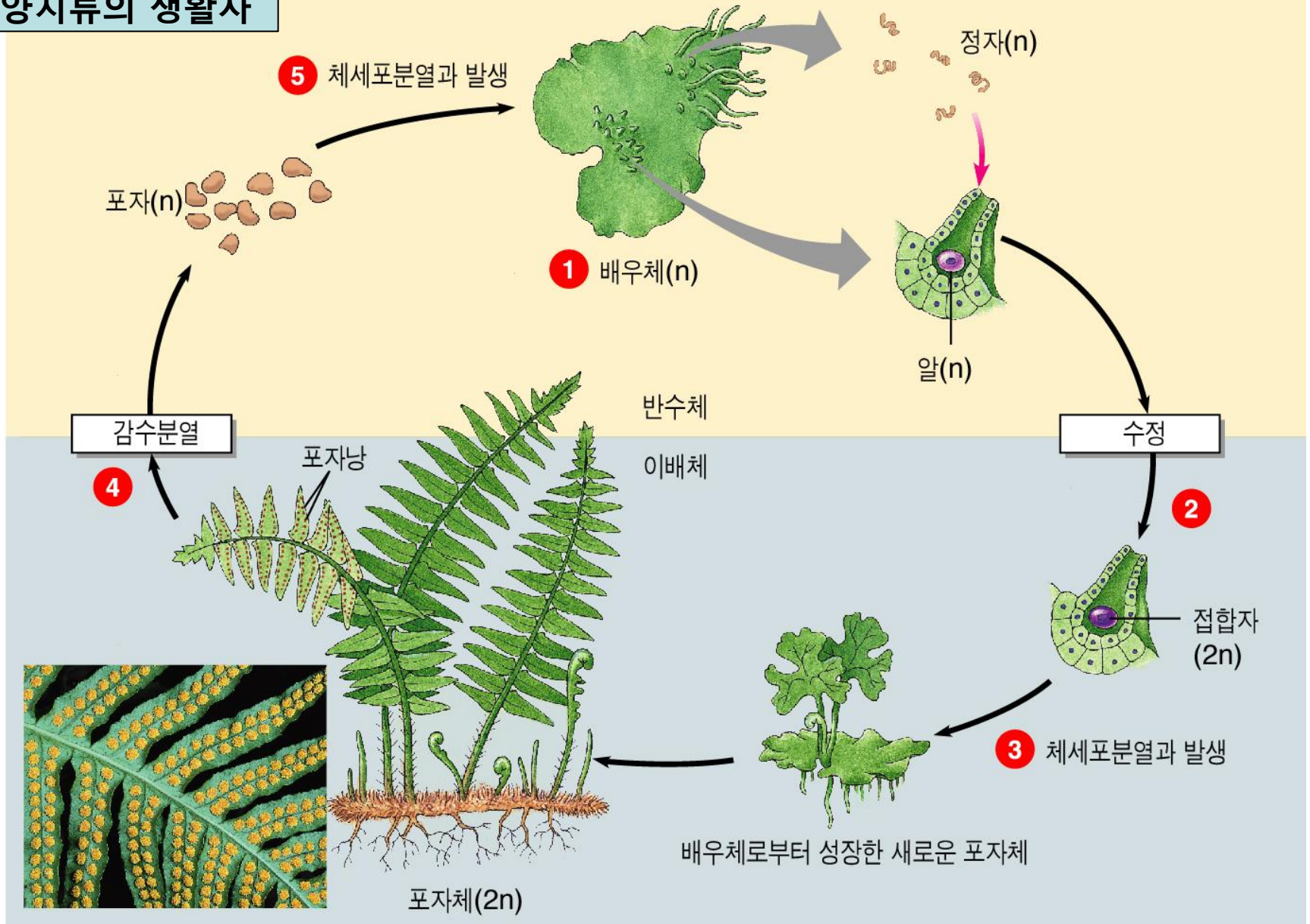
편모가 달려 있는 정자가 난자에 헤엄쳐 감 (수막필요) → 수정후 접합자는 배우자 주머니 안에 남아 체세포 분열을 통해 포자체로 발달 → 자체 끝 포자주머니에서 감수분열을 통해 포자생성 후 방출 → 체세포 분열을 통해 배우체 식물로 발달



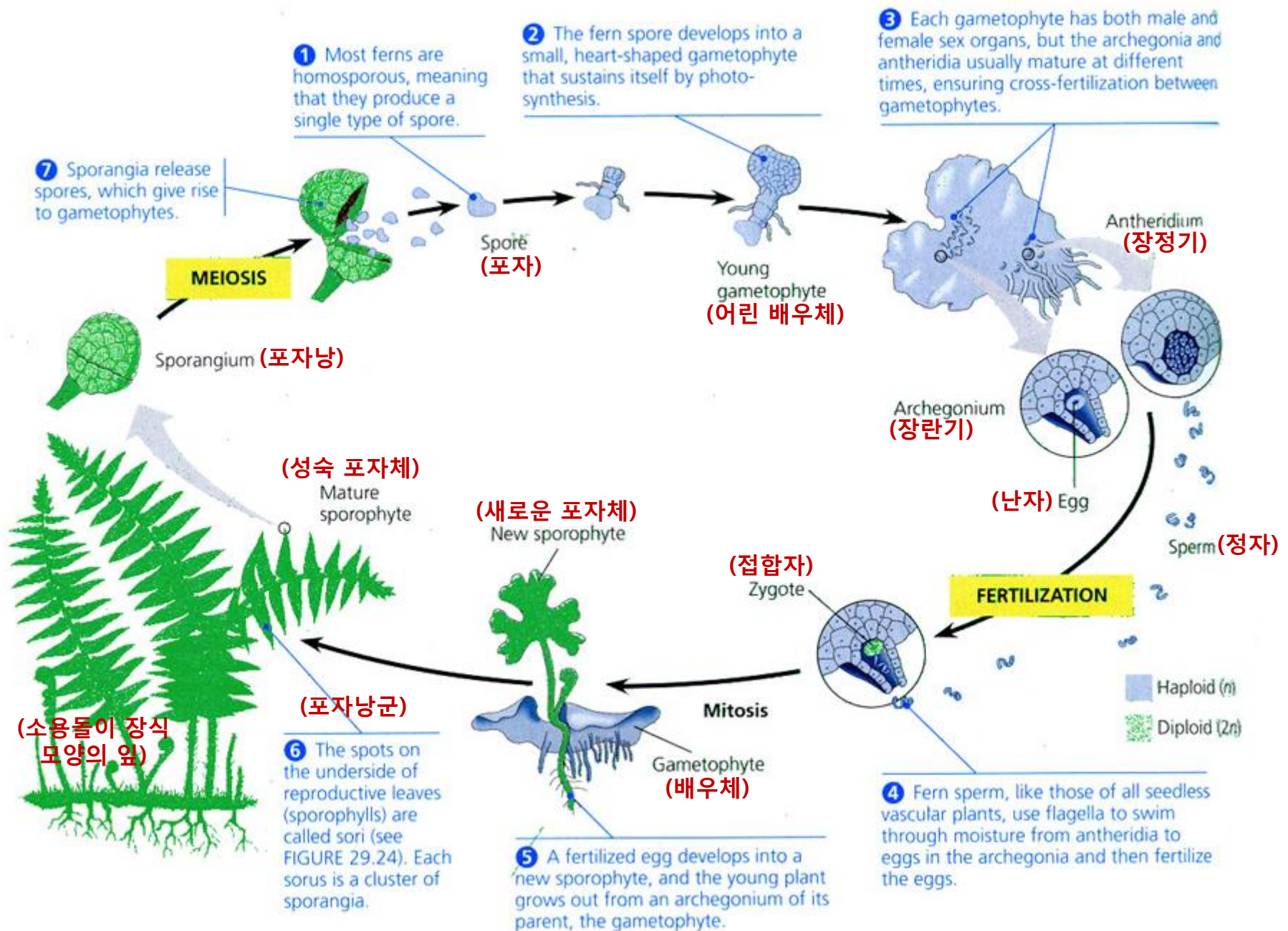
솔이끼의 수정은 물방울에 의해 매개됩니다. 앞에 물방울이 덮여 있어야만 포자들이 편모를 통해 헤엄을 쳐서 이동하게 되어 수정이 가능합니다.

수정 (장란기내)

# 양치류의 생활사



고사리(Woodwardia)의 생활주기 -고사리류는 포자체가 우세



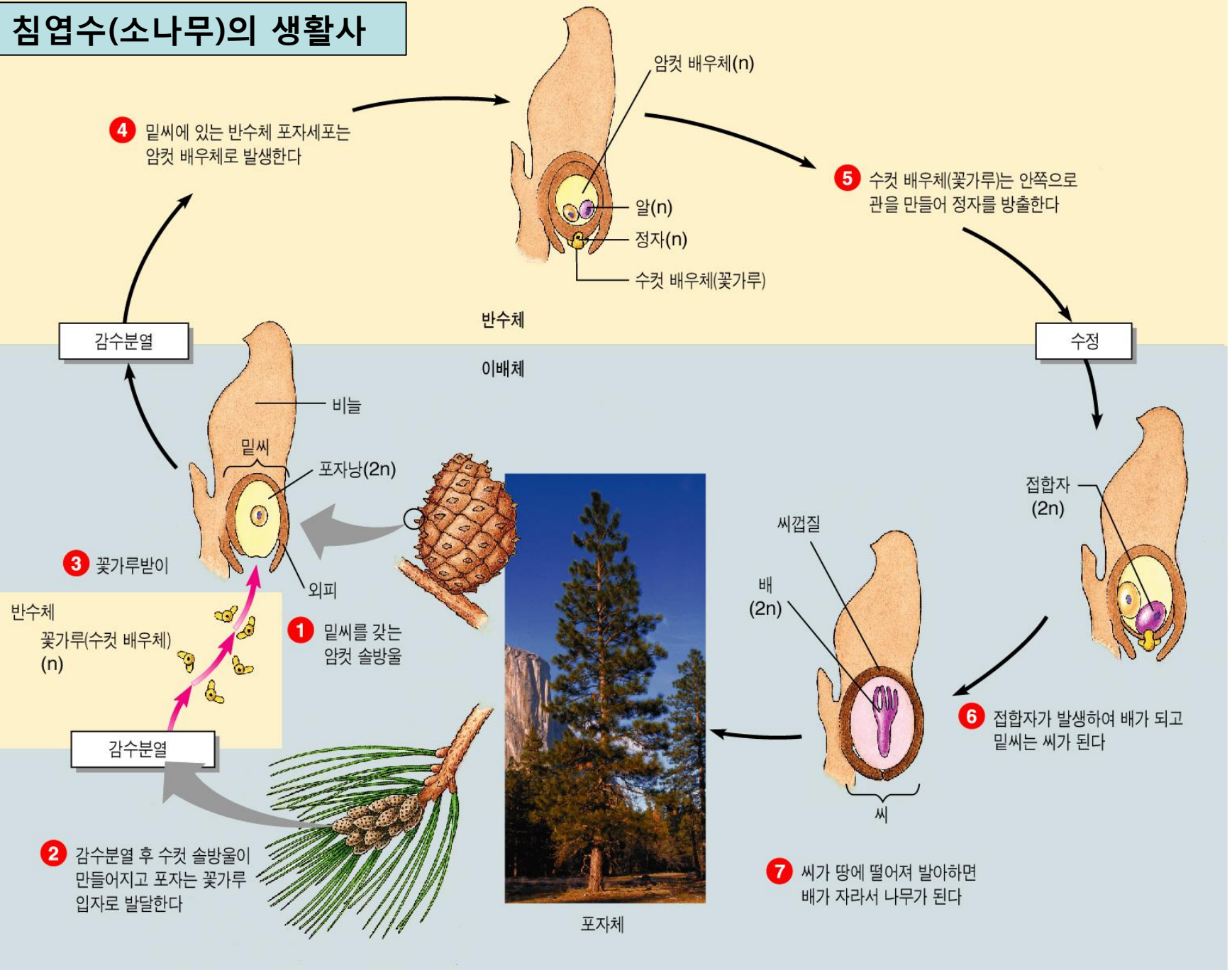
## Fern sporophyll, a leaf specialized for spore production

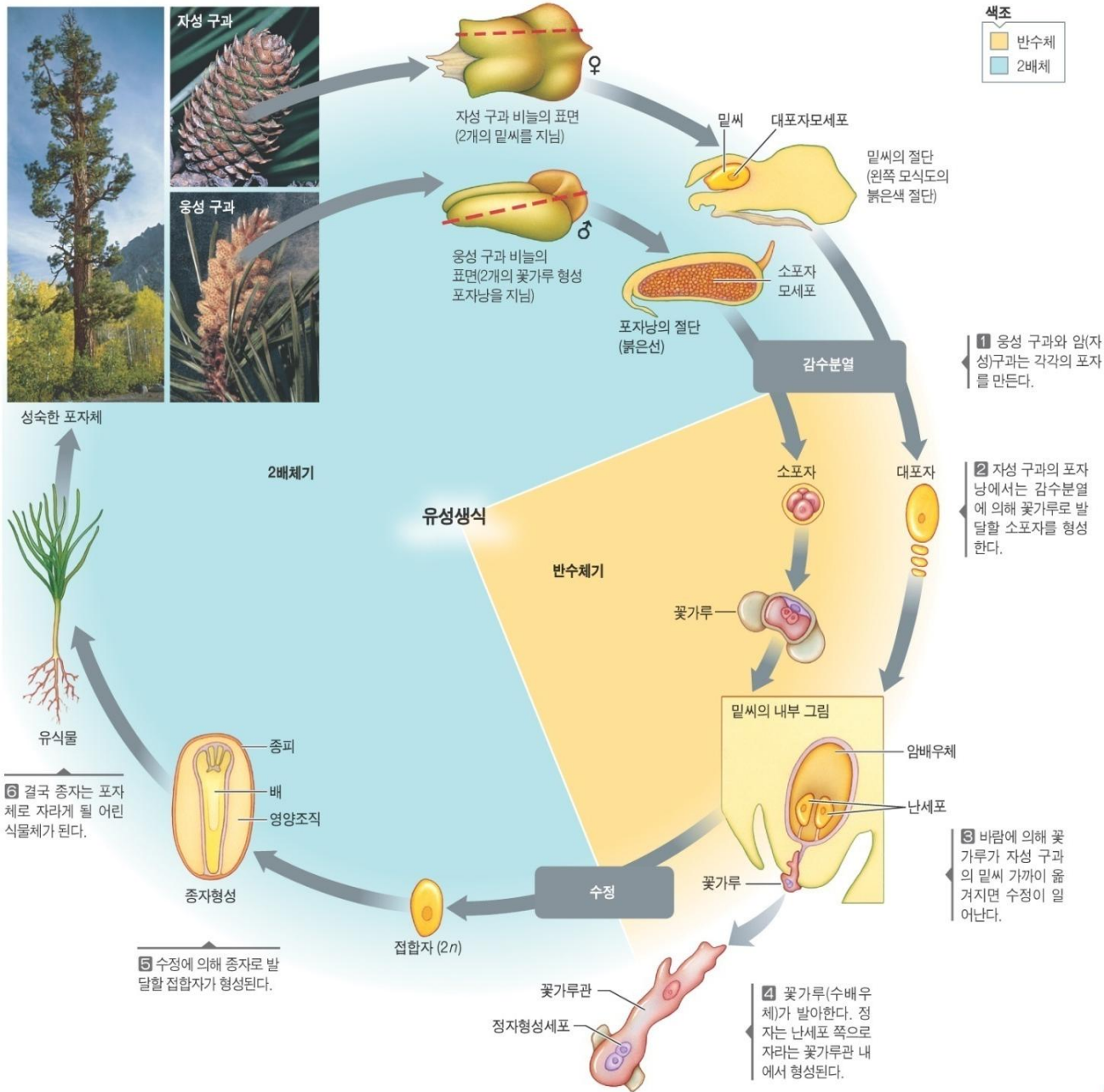


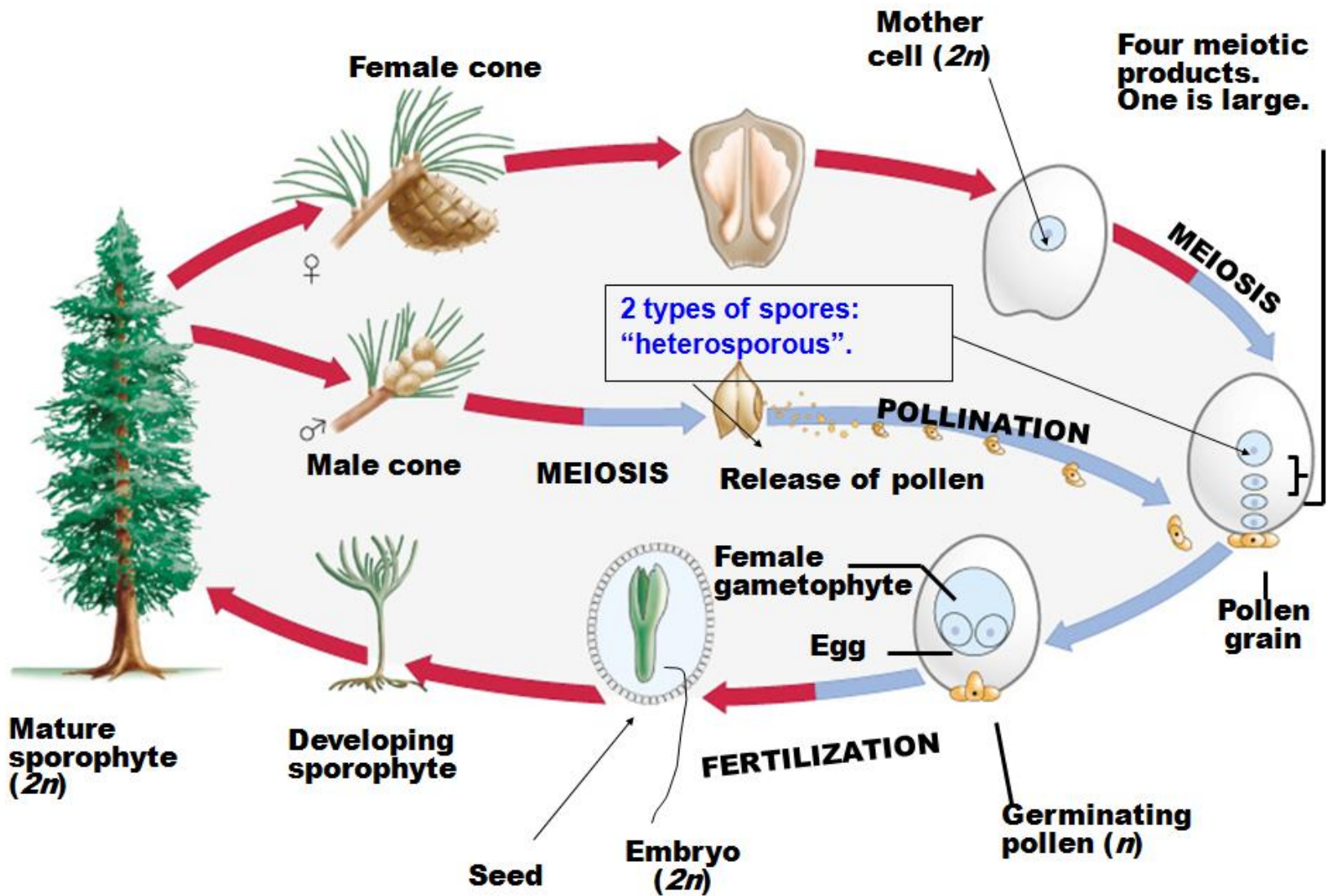
양치류인 고사리의 잎에 형성된 포자 덩어리와  
이의 확대 사진입니다. 고사리는 잎의 뒷면에  
포자를 형성하게 되며, 물방울을 맺어 수막에  
의해 포자를 흘려 보내는 방법으로 수분을 하게  
됩니다.

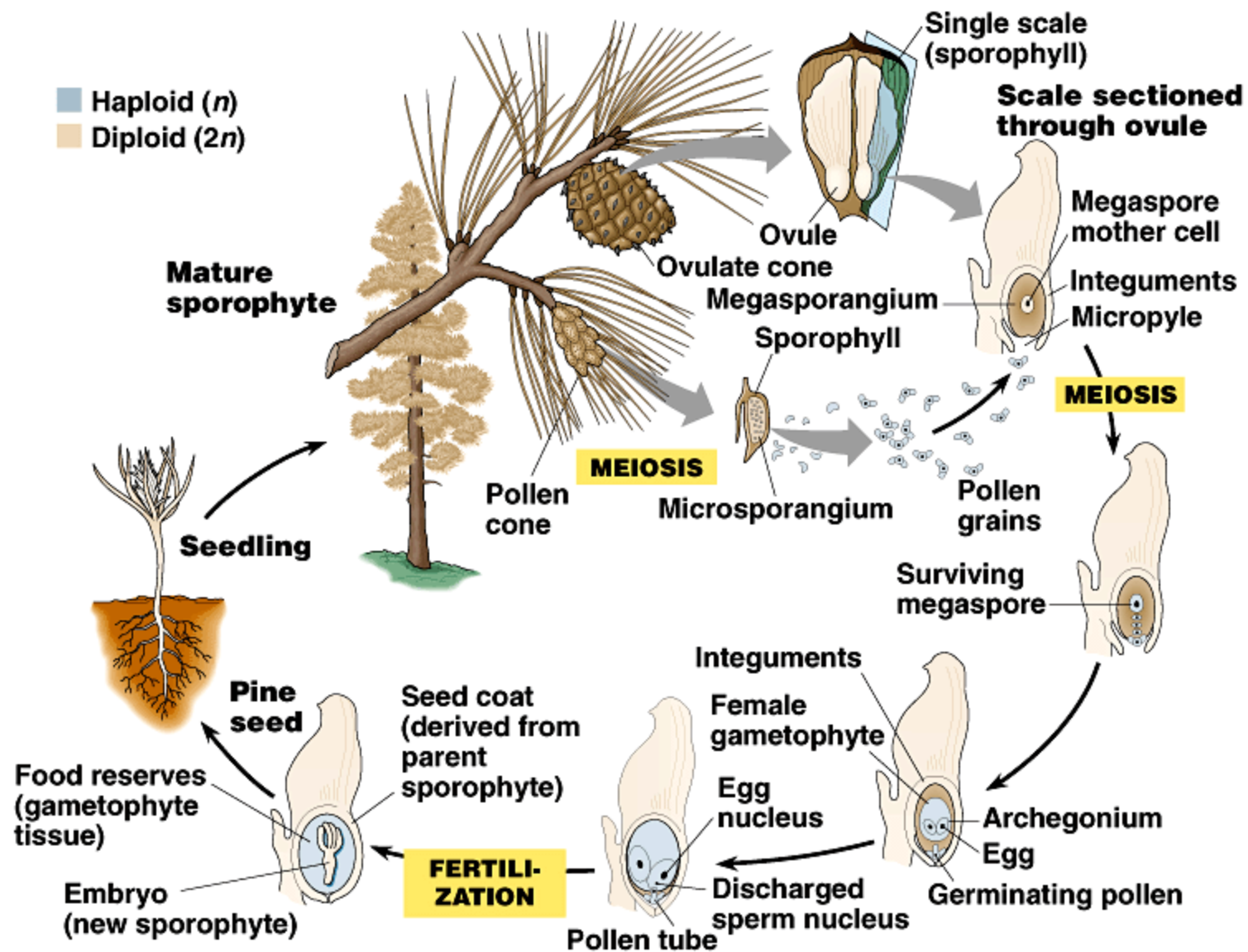


# 침엽수(소나무)의 생활사

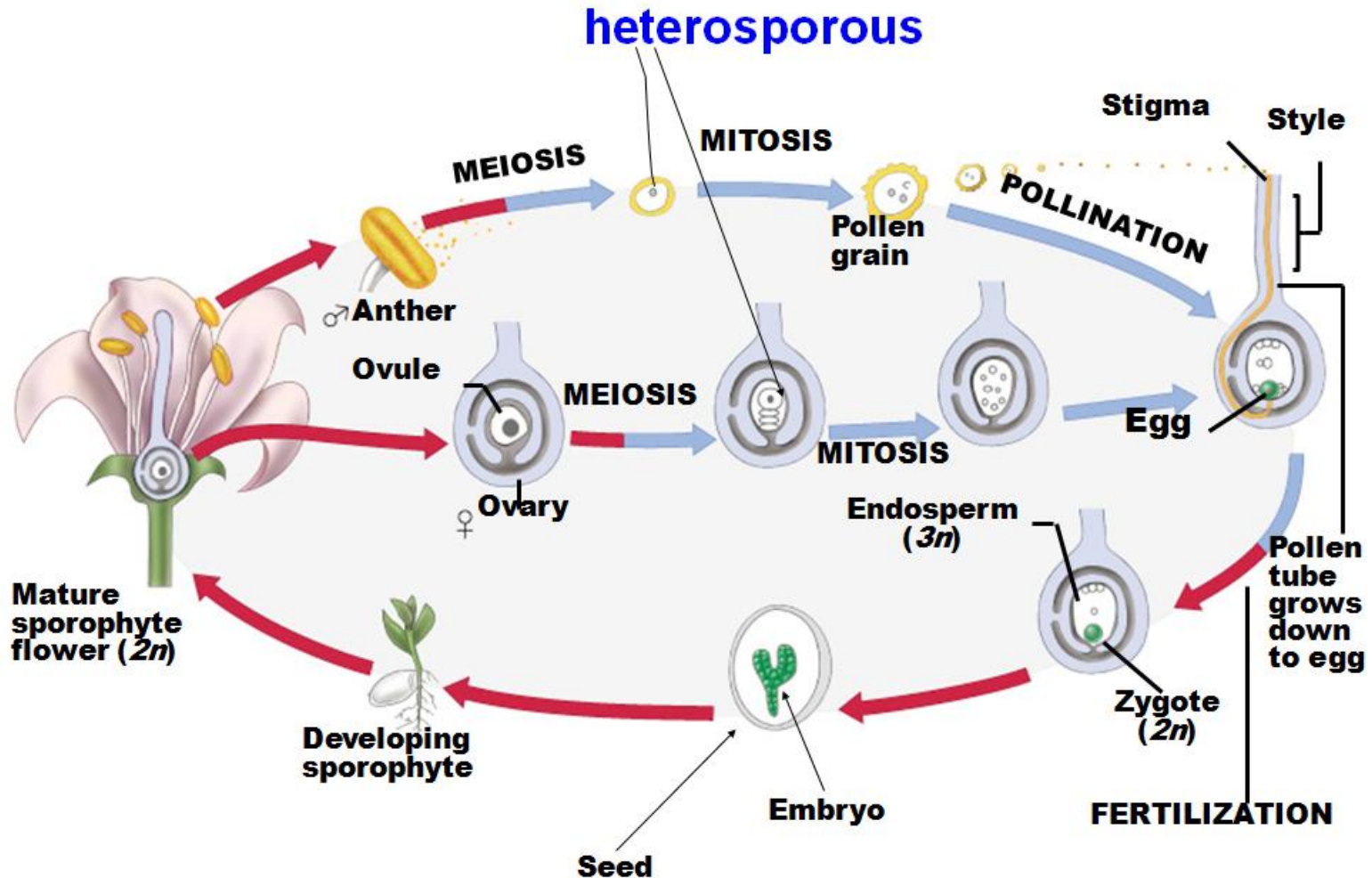






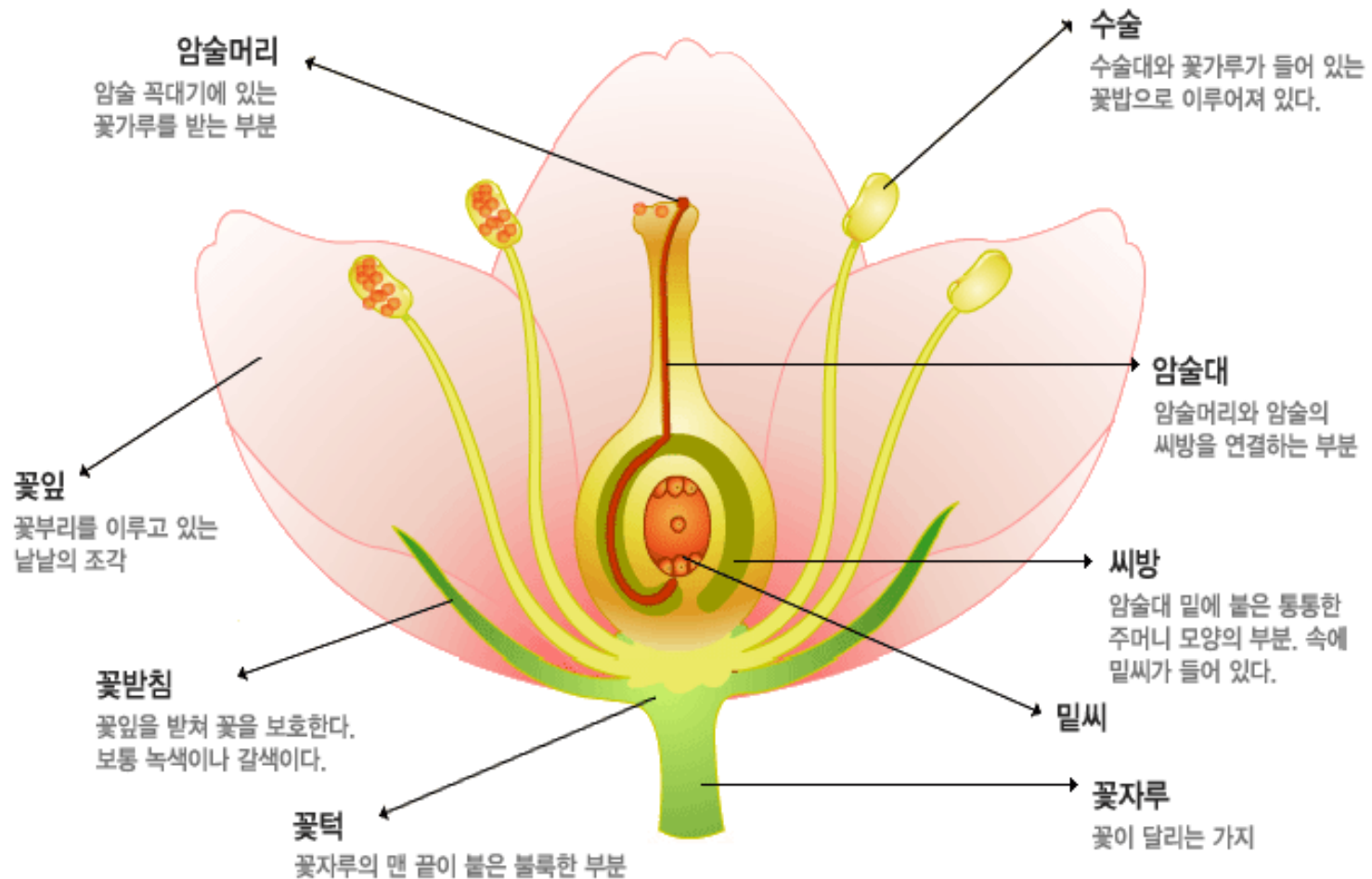


# 핵심기억-#30\_2 : 꽃 식물의 생활사(Life Cycle)



피자(꽃)식물의 Life Cycle을 나타낸 것입니다. 꽃 식물의 특징은 배와 배젖을 만드는 중복수정이 일어난다는 점인데, 그 과정에 관하여 자세히 살펴보도록 하겠습니다.

## 꽃의 구조



일반적인 꽃의 구조입니다. 수술 중에 긴 것이 암술인데 그 높이가 다른 것은 자가 수분을 방지하기 위한 것입니다.

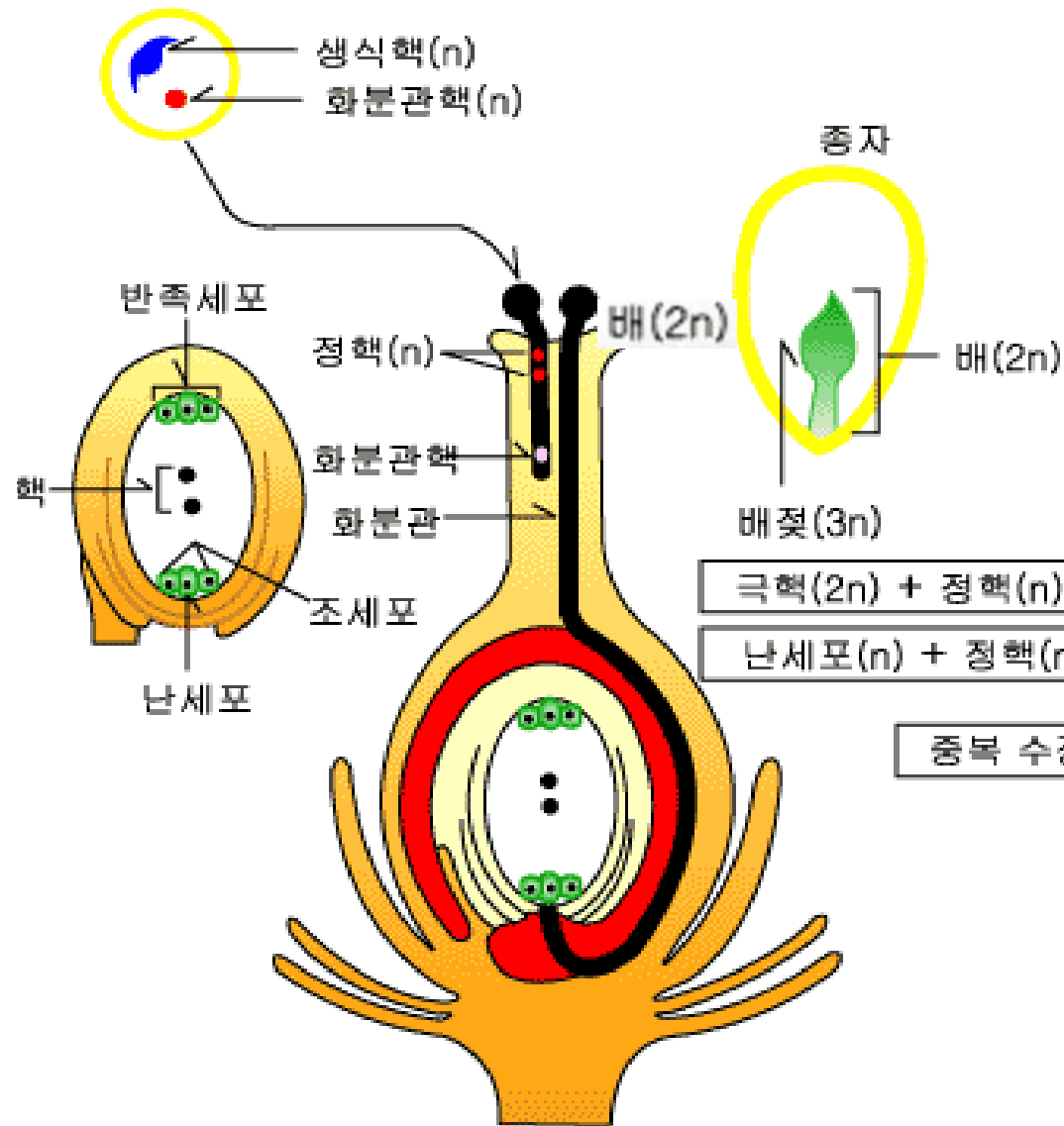
씨방의 구조는

아래쪽에 알세포 1개 와  
알세포를 도와주는  
조세포 2개,

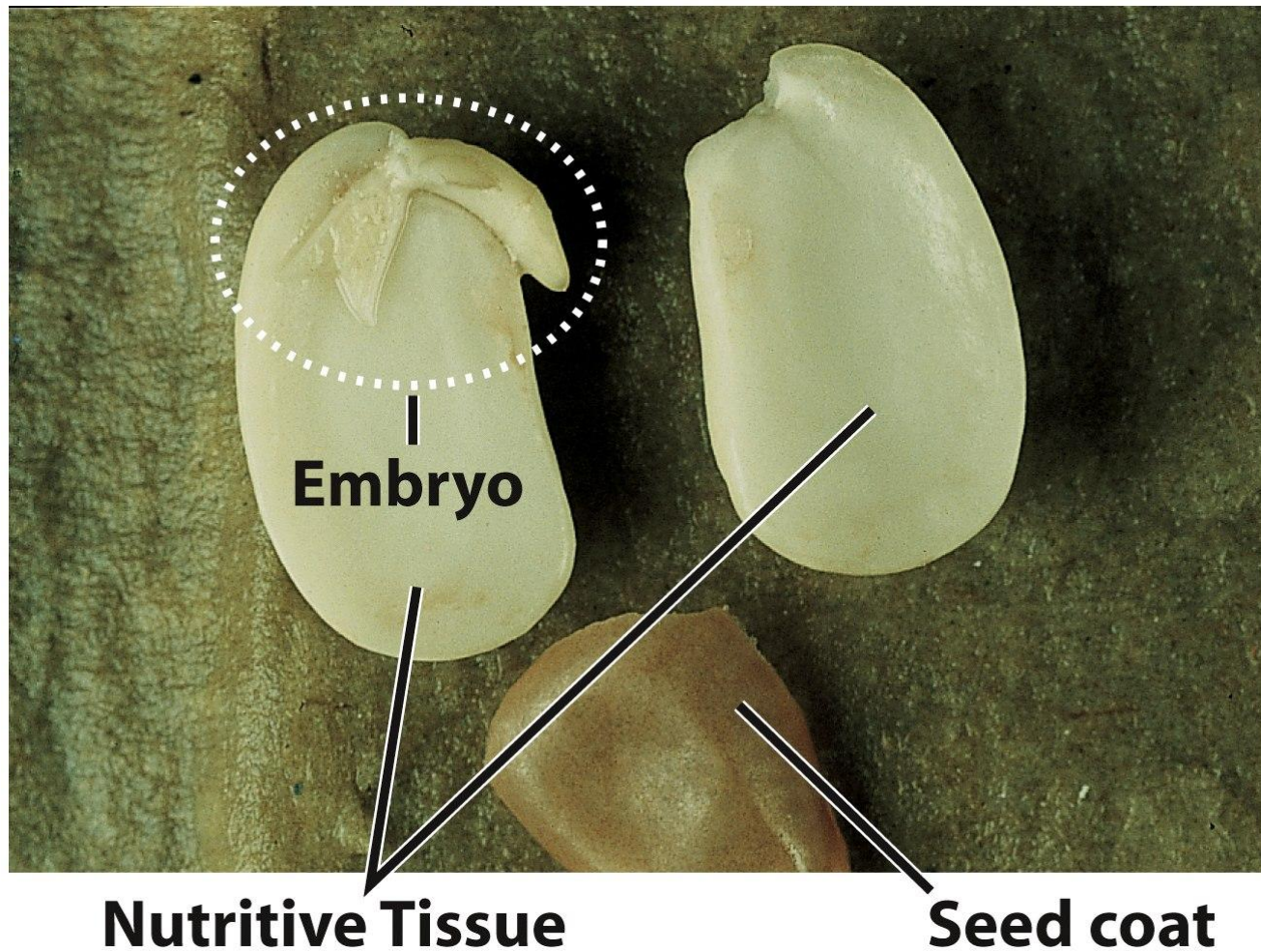
위쪽에 반쪽세포 3개,  
가운데 극핵 2개를  
가진 세포 1개

총 7개의 세포로 구성  
되는데,

암술에 정핵이 수분되어  
화분관 따라 내려와  
수정되는 과정에  
알세포와 수정을 통해  
배를 만들고, 극핵과  
수정을 통해 배젖을  
만드는 중복수정이  
일어나게 됩니다.

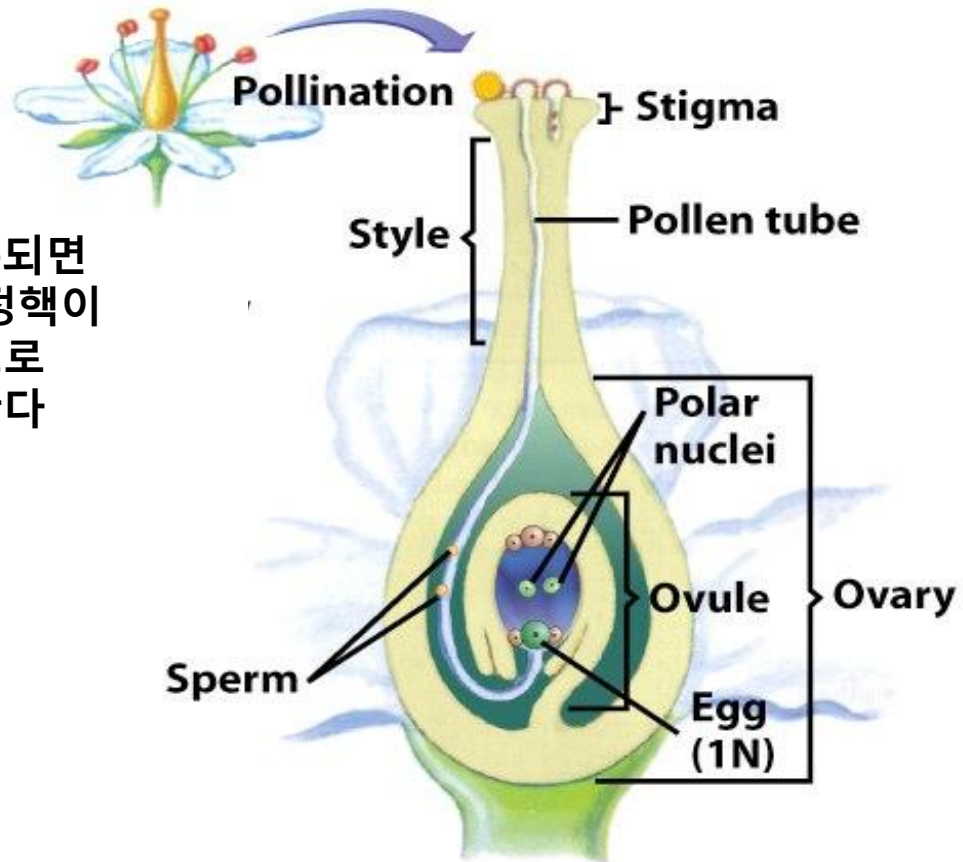


속씨식물의 중복 수정

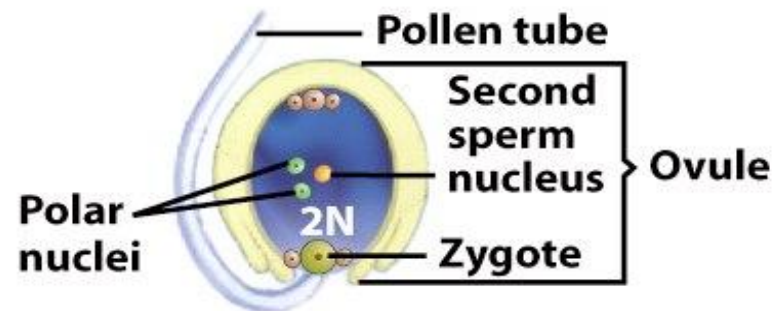


피자식물 씨의 절단면, 성장하여 식물의 몸체가 되는 배( $2n$ 배체)와 영양분을 공급하는 배젖( $3n$ 배체)로 구성되어 있음

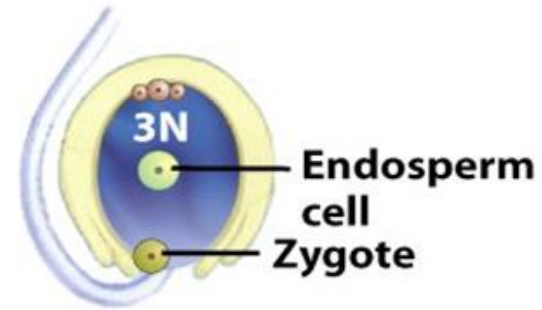
- 1** 꽃가루가 암술에 수분되면  
화분관 구멍을 뚫고 정핵이  
아래로 내려와 씨방으로  
들어가 수정이 일어난다



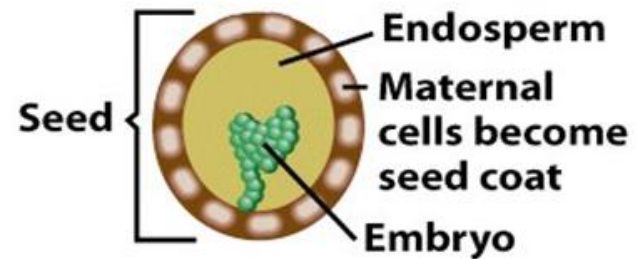
- 2** 두 개의 정핵 중 한 개가  
알세포(난자)와 수정을 하여  
접합자를 형성한다.  
(2n배체)



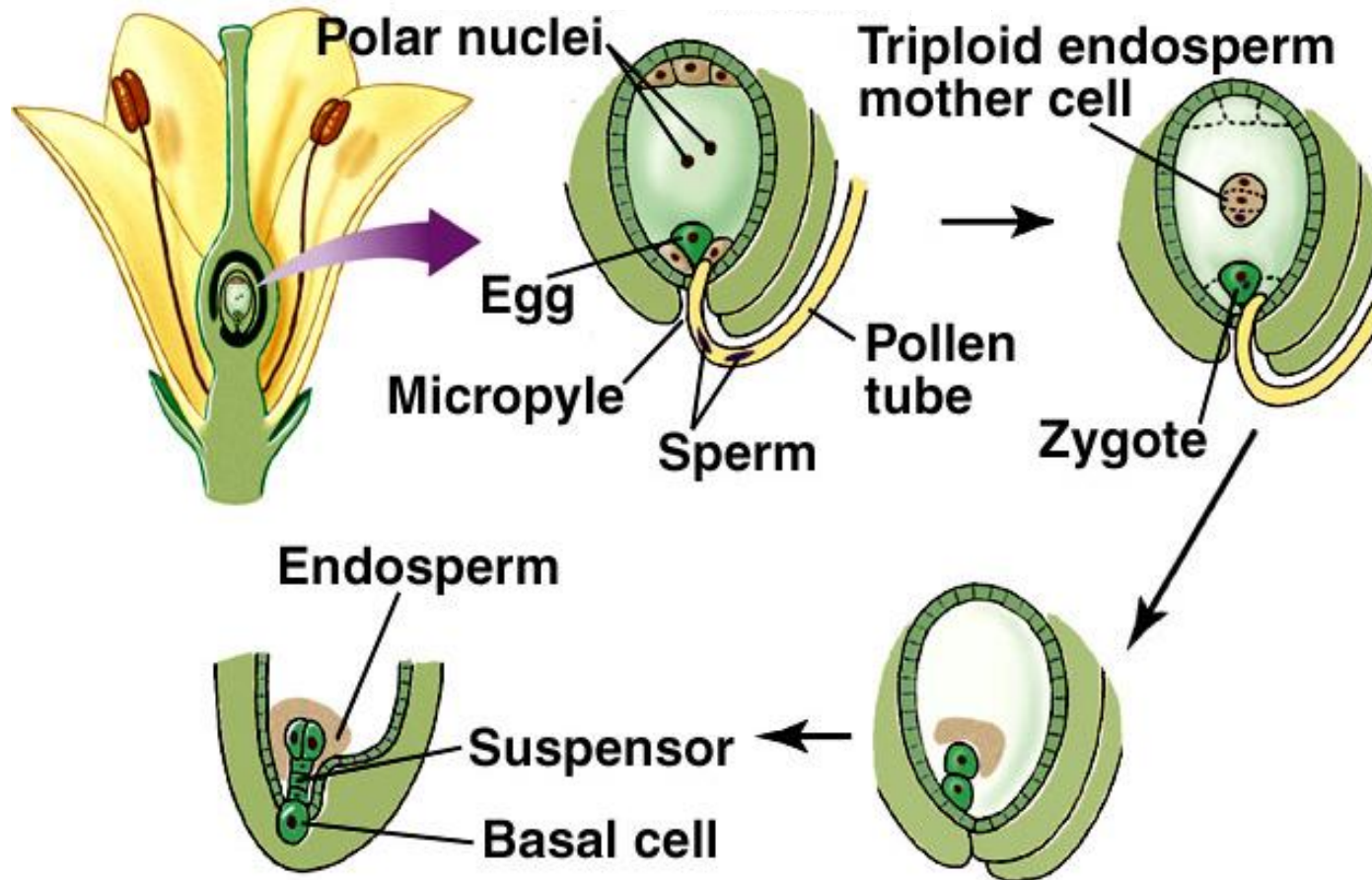
- 3 다른 1개의 정핵은 가운데 있는 2 개의 극핵과 수정을 하여 배젖을 형성 ( $3n$ 배체)



- 4 접합자는 감수분열에 의해 배를 형성하고  $3n$ 배체인 배젖은 배가 성장하는데 필요한 영양분을 공급하며, 껍질로 에워싼 씨를 형성

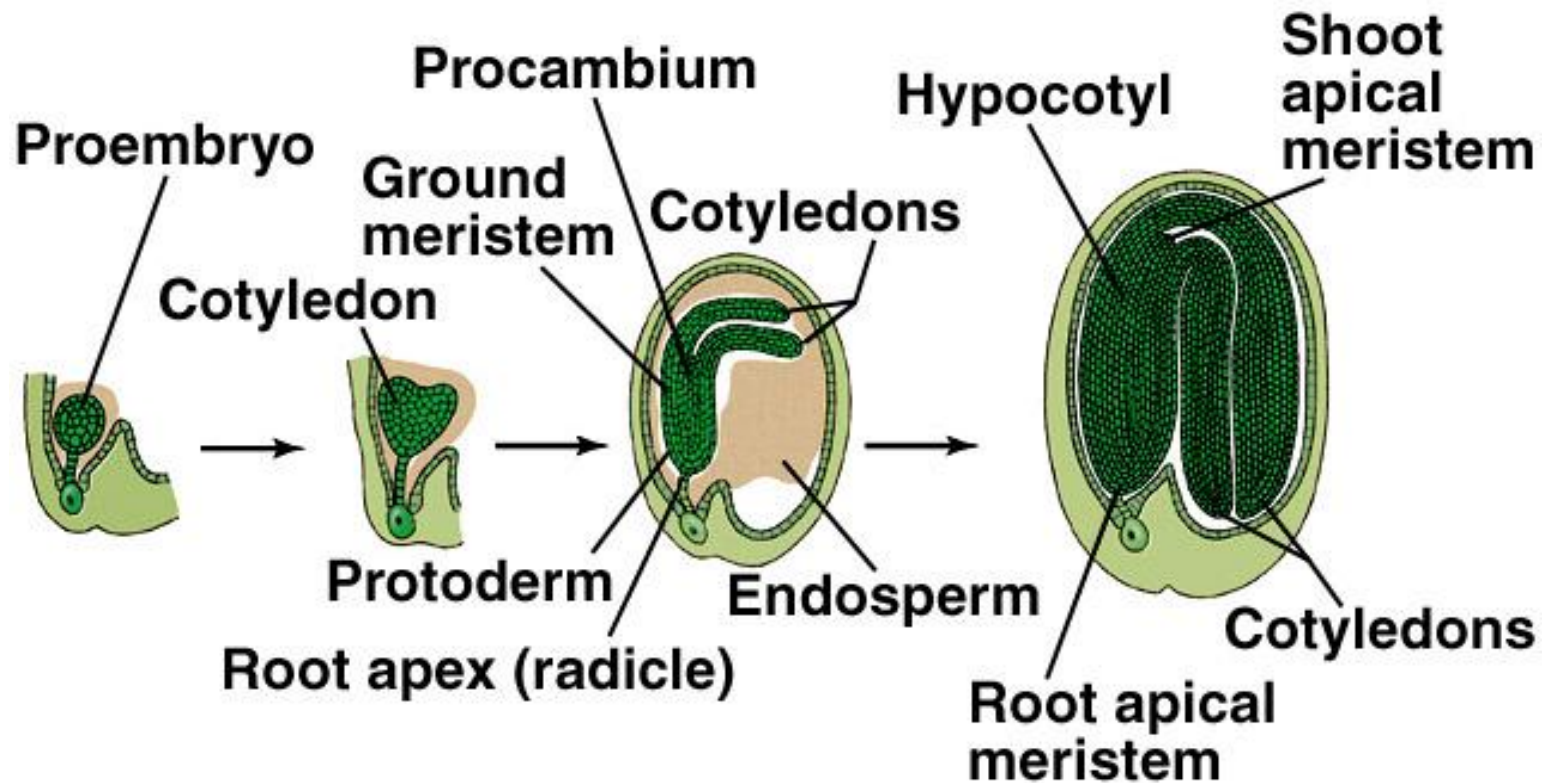


# Angiosperm Embryonic Development (1)



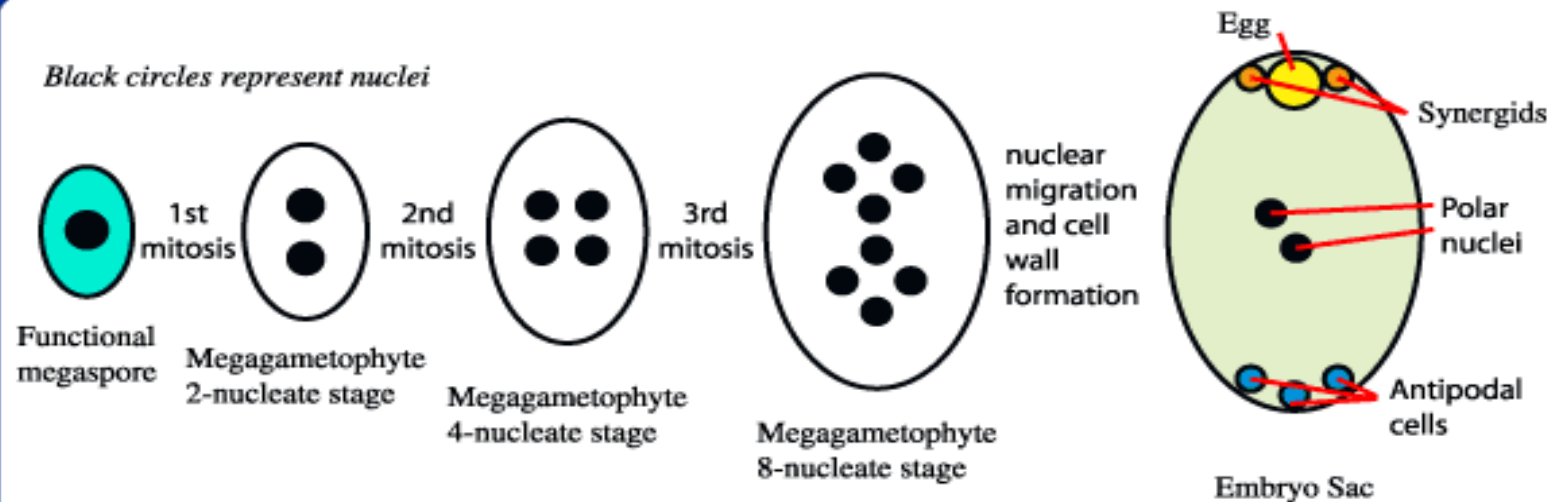
알세포, 조세포, 반쪽세포, 극핵으로 구성된 씨방에 정핵이 수정되어 접합자인 배와 3배체 배젖이 생성되는 과정을 설명한 그림입니다.

# Angiosperm Embryonic Development (2)

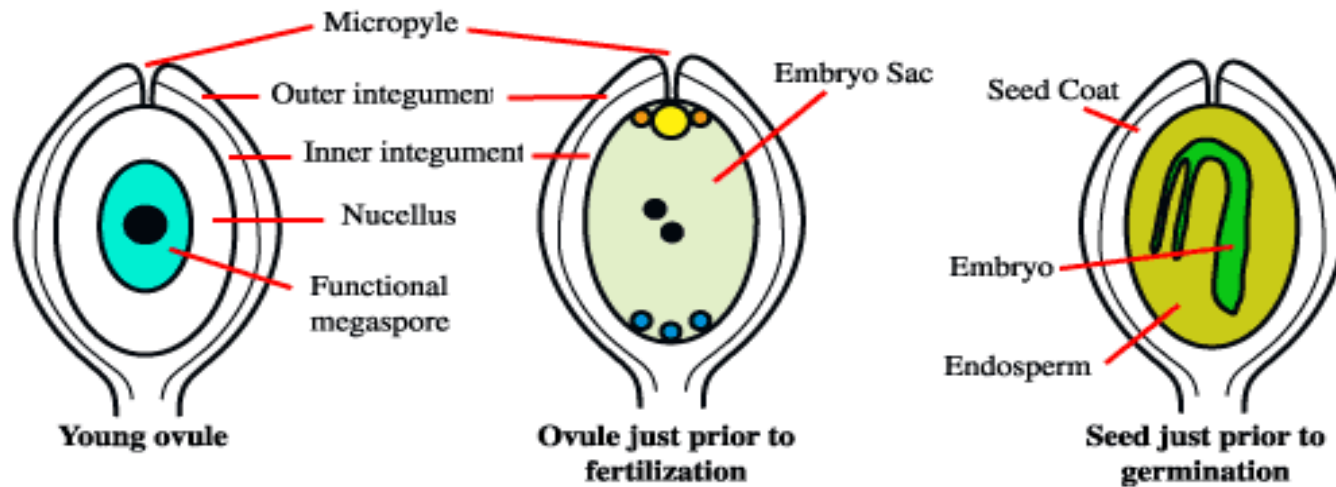


알세포와 수정된 배가 분화되어 성장하게 되면 떡잎이 되고, 뿌리쪽 종단 분열조직과 줄기쪽 분열조직으로 되어 양쪽으로 생장이 일어나 식물이 자라나게 되는 것입니다.

## Angiosperm Ovule/Seed Development



**Development of embryo sac from megaspore  
(nucellus and integuments not shown)**

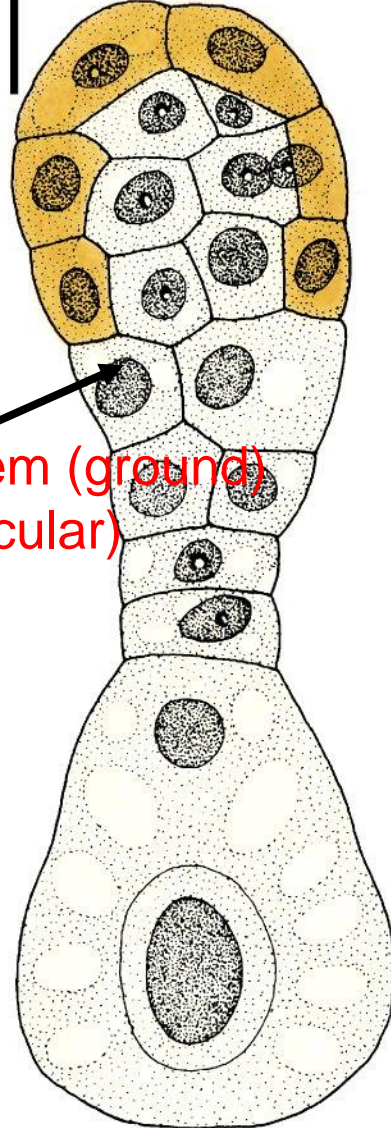


**Summary from first to last stage in ovule/seed development**

꽃의 씨방내 여러 세포와 씨의 발생 과정을 설명하는 그림입니다.

**Protoderm**

Future Epidermis



Future Ground meristem (ground)  
and Procambium (vascular)

**Embryo proper  
will become  
- meristemic tissue**

**Suspensor**

배가 성장하여 종단 분열조직을  
형성하여 생장점을 이루게  
됩니다.

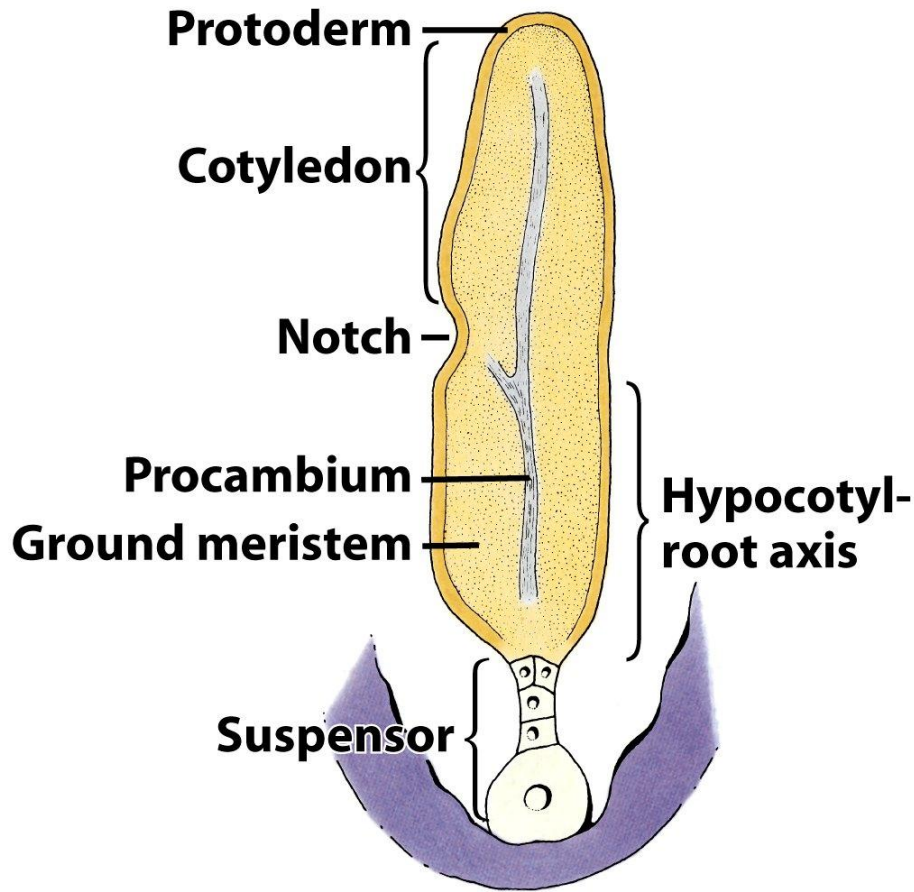


Figure 22-2e  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
 © 2005 W. H. Freeman and Company

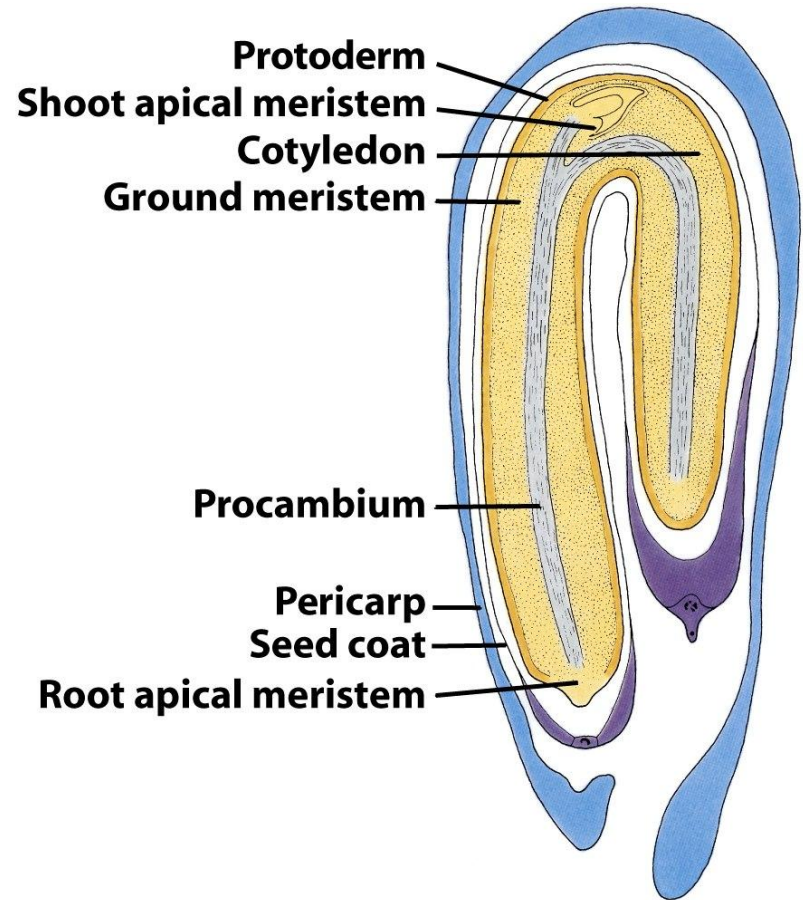
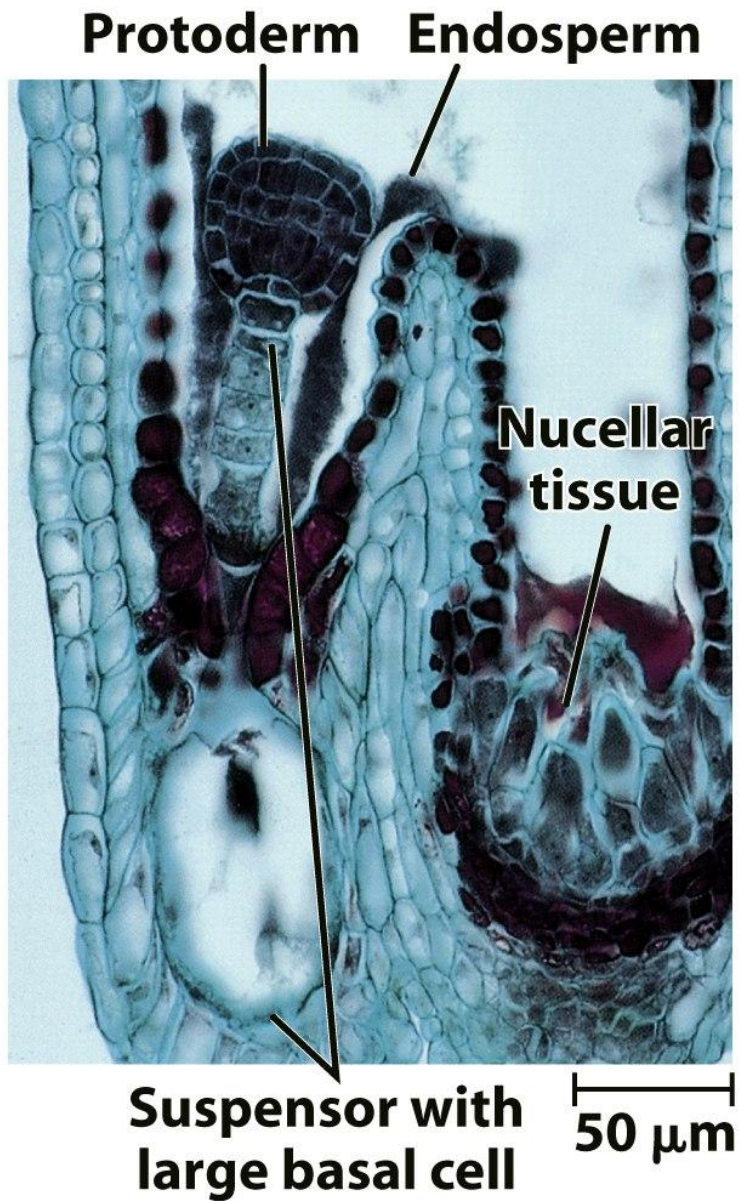
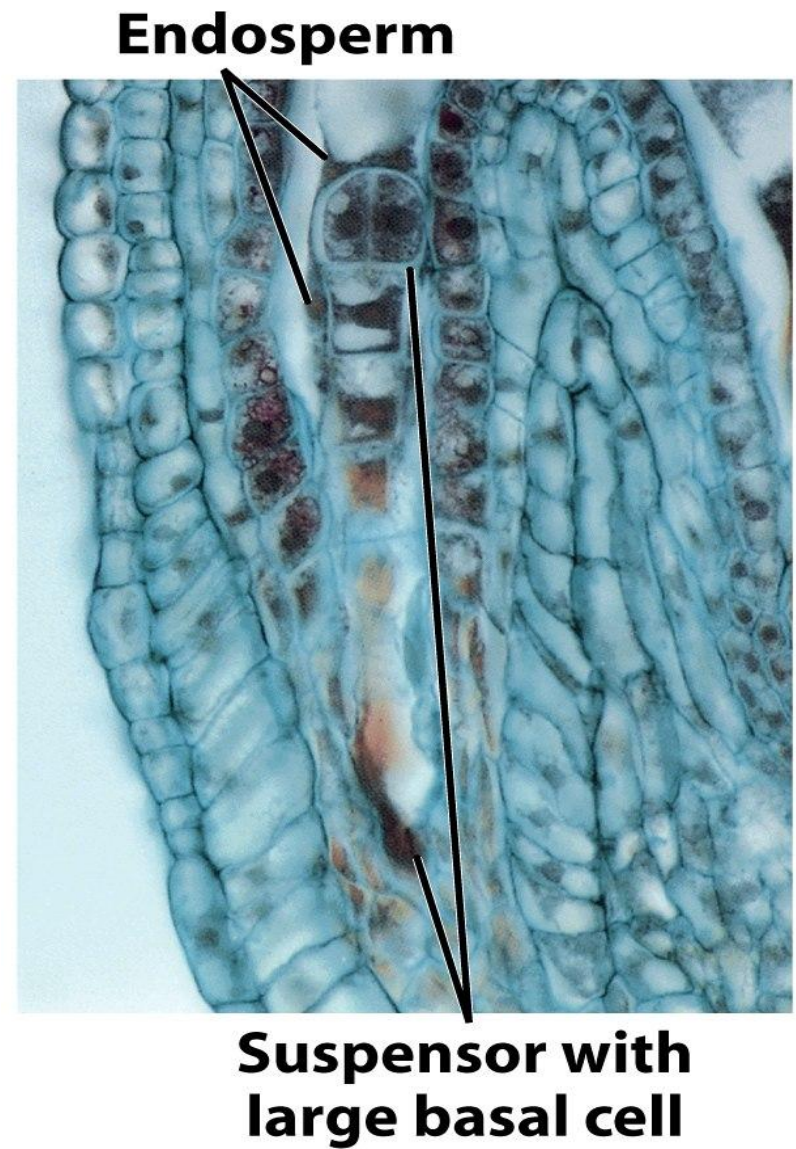


Figure 22-2f  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
 © 2005 W. H. Freeman and Company

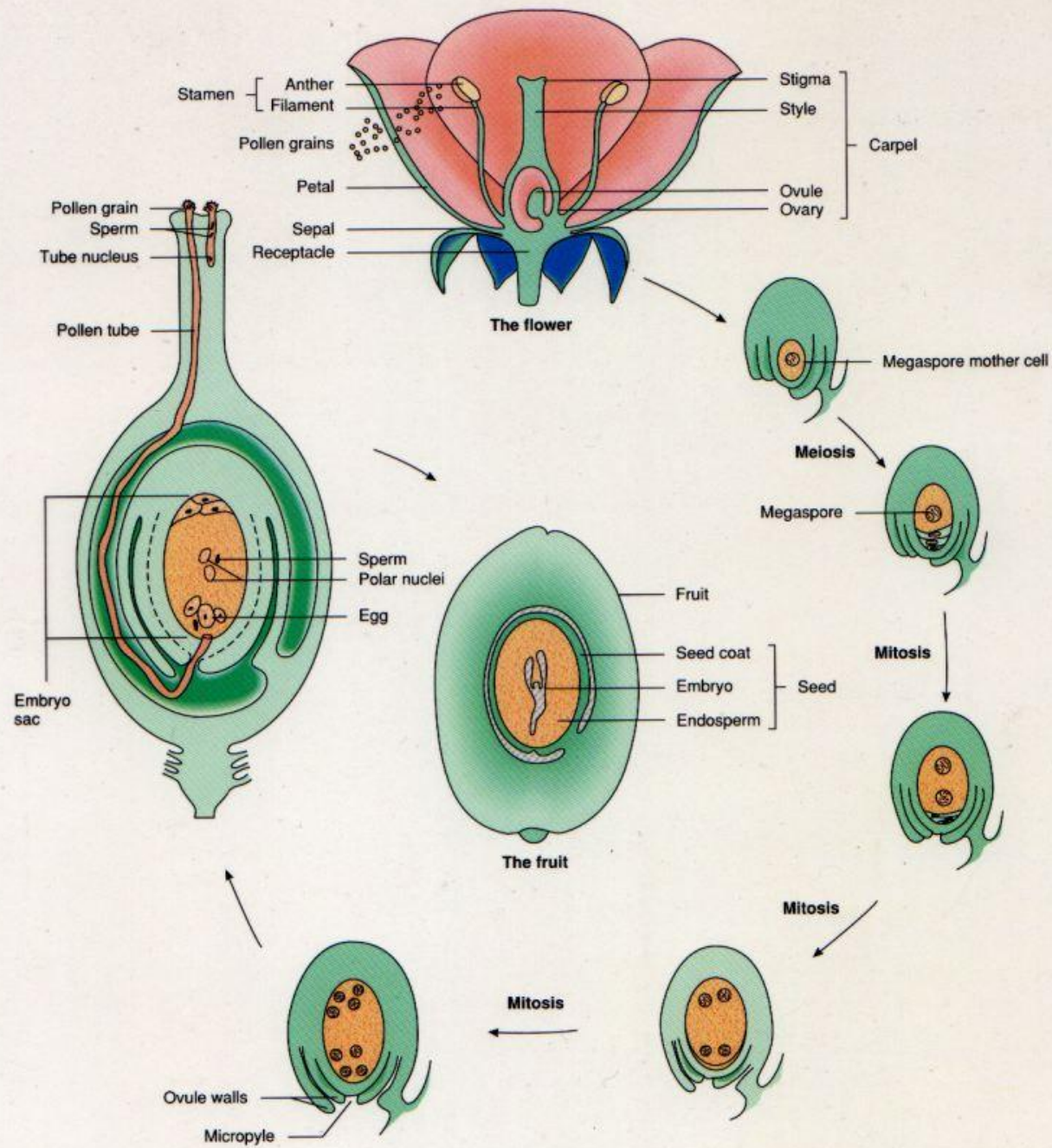
배의 성장과 뿌리쪽 종단 분열조직과 줄기쪽 분열조직



**Figure 22-3c**  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
 © 2005 W. H. Freeman and Company



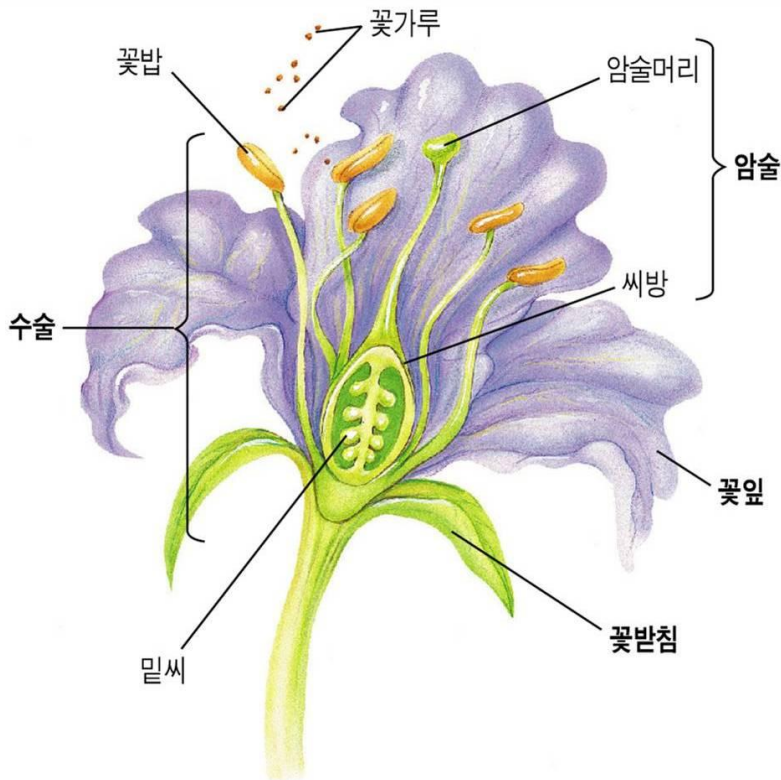
**Figure 22-3b**  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
 © 2005 W. H. Freeman and Company



## 피자식물의 특징

### 피자식물 – 꽃을 지님

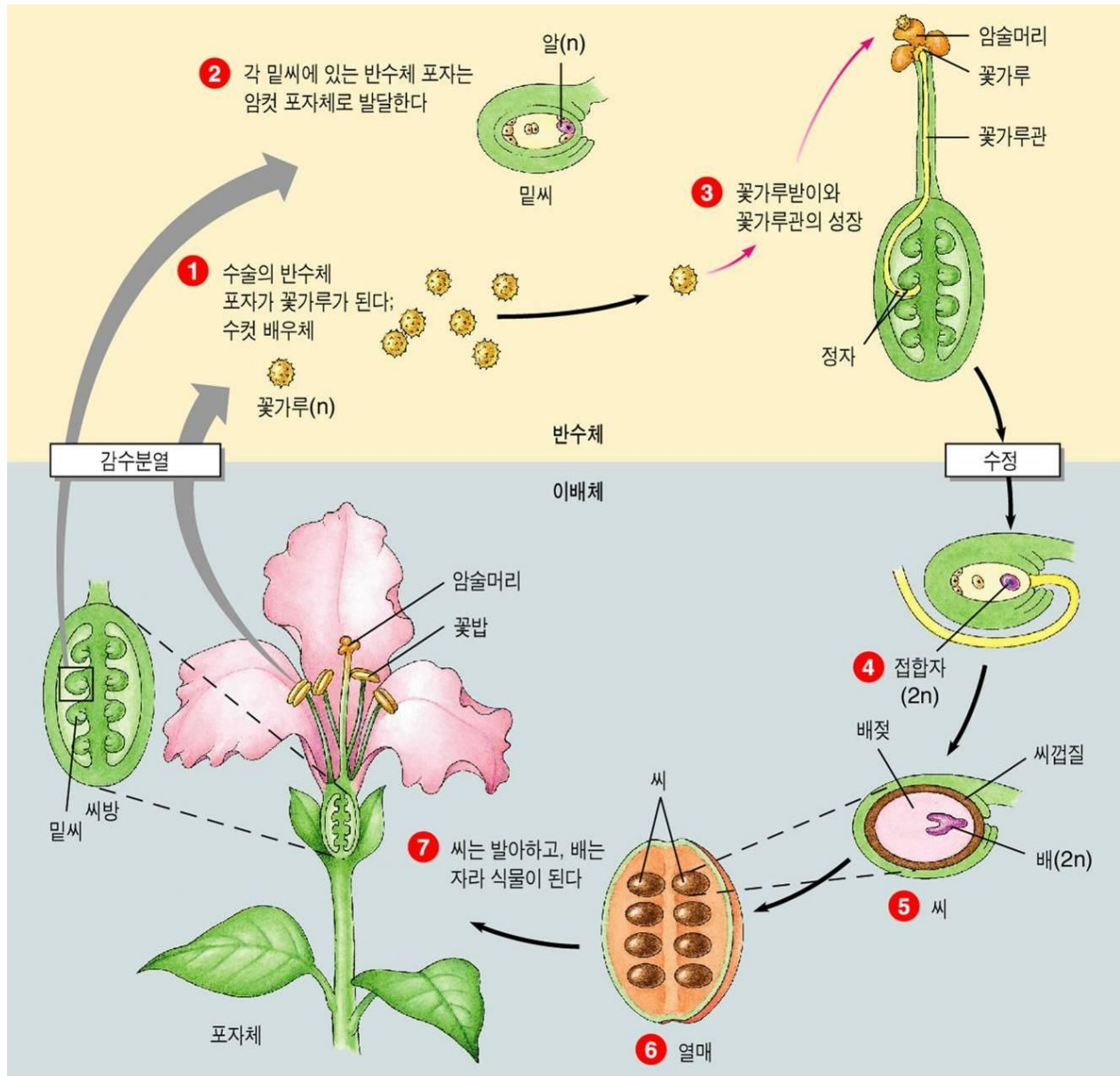
- 씨가 열매안에 들어있음
- 피자식물은 포자체이며 꽃 안에 배우체가 들어있음
- 꽃가루를 운반해주는 동물과 상호의존적 관계로 진화
- 생식과정이 매우 빠름
  - : 꽃가루 받이가 일어난 후 12시간이면 수정이 끝남
  - 따라서 며칠 안에도 씨를 만들수 있음



### 꽃의 구조

1. 꽃받침 : 주로 녹색, 꽃이 피기전에 감싸주는 역할
2. 꽃잎 : 가장 눈에 잘 띄며 동물에 의한 꽃가루받이 과정에서 중요한 역할
3. 수술 : 꽃밥이라는 기둥으로 이루어짐 (꽃가루가 발달하는 웅성 생식기관)
4. 암술 : 기둥끝에 끈적한 암술머리가 있고 아래에 씨방이 존재
  - 난자가 발생하게 되는 밑씨가 한 개 또는 여러 개가 들어있어서 보호를 받음
  - 밑씨로부터 씨가 만들어지고 씨방이 열매로 발달

# 피자식물의 생활사



1. 꽃밥에서 감수분열에 의해 수컷 배우체인 꽃가루를 생성
2. 밀씨에서 감수분열에 의해 암컷 배우체(난자) 생성
3. 꽃가루가 암술머리에 도착하면 꽃가루받이 발생
4. 꽃가루가 자라서 난자에 도착하면 수정 (접합자형성)
5. 씨는 밀씨에서 성장하여 영양분과 씨껍질로 둘러싸인 배를 지님 (새로운 포자체)
6. 밀씨의 벽이 두꺼워지고 씨를 에워싼 열매 형성
7. 발아조건이 맞으면 씨는 발아하고 배는 성숙한 포자체로 자라서 생활사를 완성

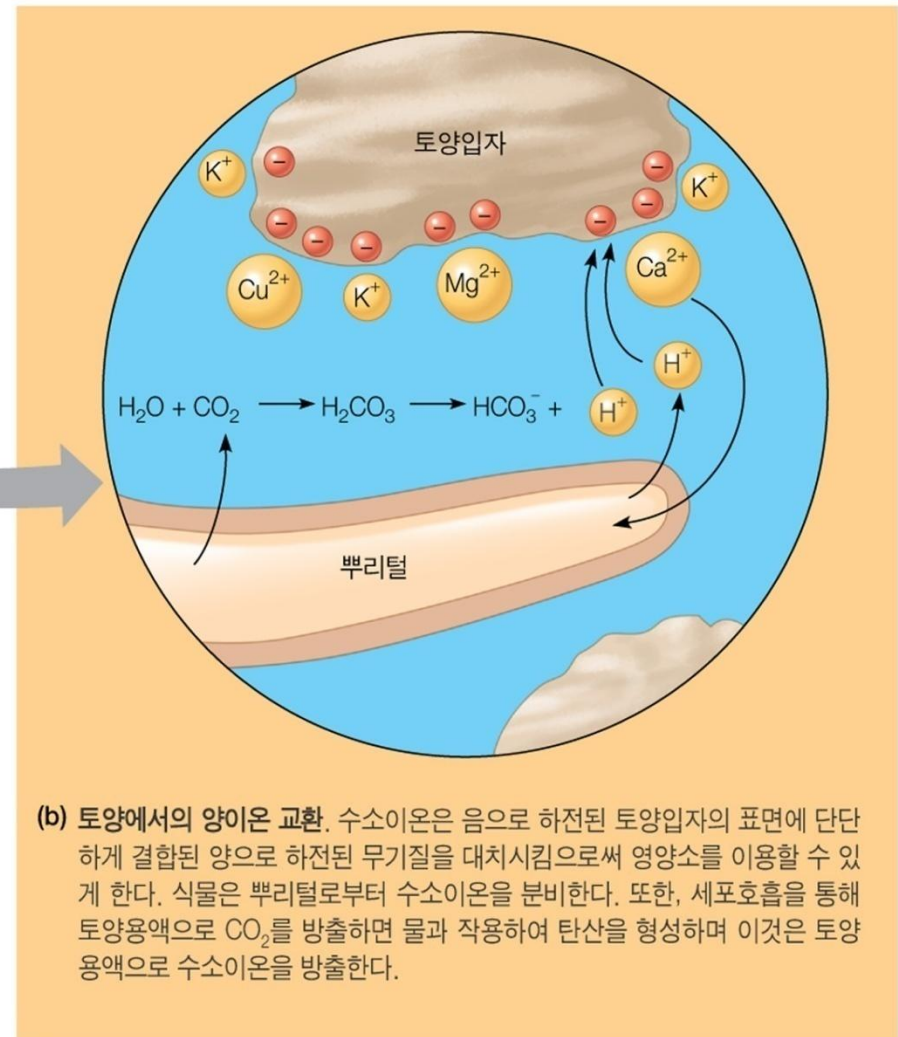
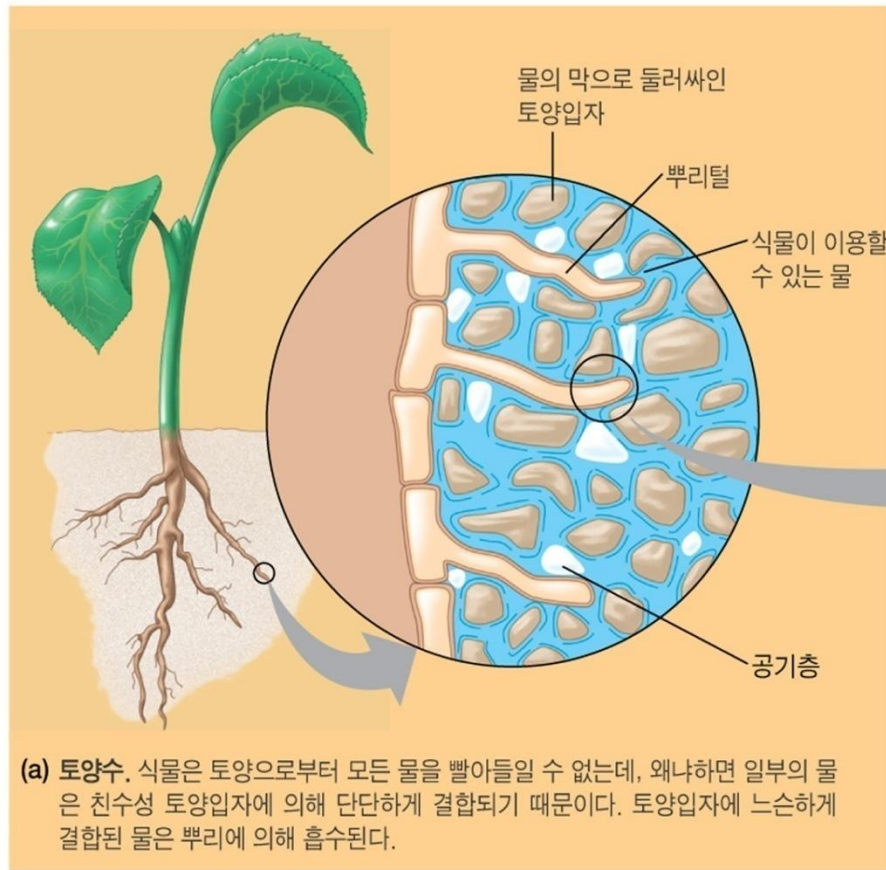
## 곰팡이와 뿌리의 공생적 연합인 균근

2.5 mm



**Mycorrhizae, symbiotic associations of fungi and roots.** The white mycelium of the fungus ensheathes these roots of a pine tree. The fungal hyphae provide an extensive surface area for the absorption of water and minerals.

# The availability of soil water and minerals. (토양수와 무기질의 이용)

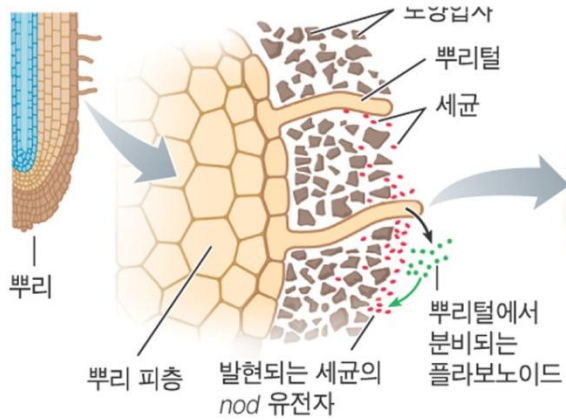


린 마굴로스의 이론에 의하면

지구상에 있는 식물뿌리의 약 80%는 균류와 공생관계를 이루어 만들어진다는 것입니다.

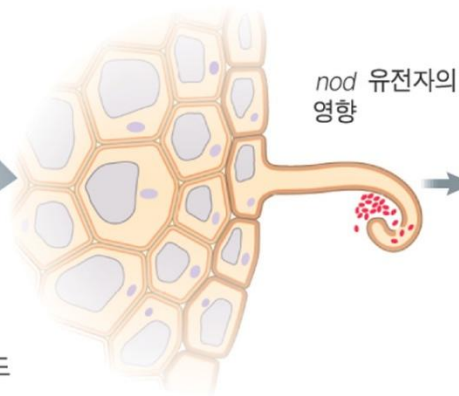
식물이 육지로 상륙하는데 있어 가장 중요한 것은 식물체 전체내의 물의 흐름이 형성되는 것입니다. 이를 위해서는 뿌리를 감싸고 있는 균류가 물과 인, 질소 등 영양분을 흡수하는데 매우 중요한 역할을 하는 것입니다.

a. 뿌리에서의 신호와 세균의 반응



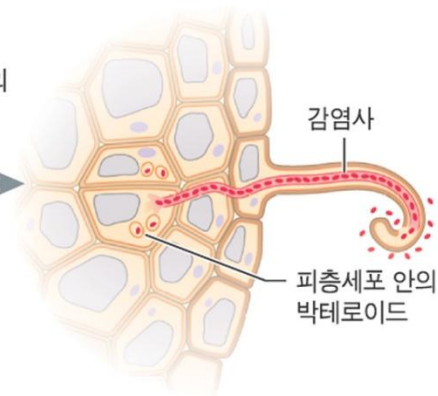
대두의 뿌리는 플라보노이드를 분비한다. 이에 반응하여 뿌리혹세균의 *nod* 유전자가 발현된다.

b. 세균에서의 신호와 뿌리의 반응



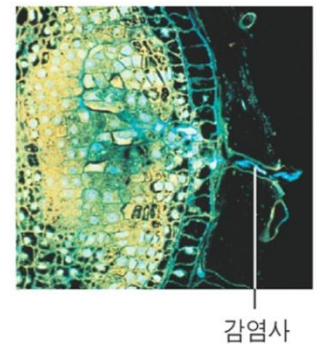
*nod* 유전자 산물이 뿌리털 정단부위가 굽어지게 한다. 세균의 효소가 세포벽을 분해한다.

c. 세균의 집적



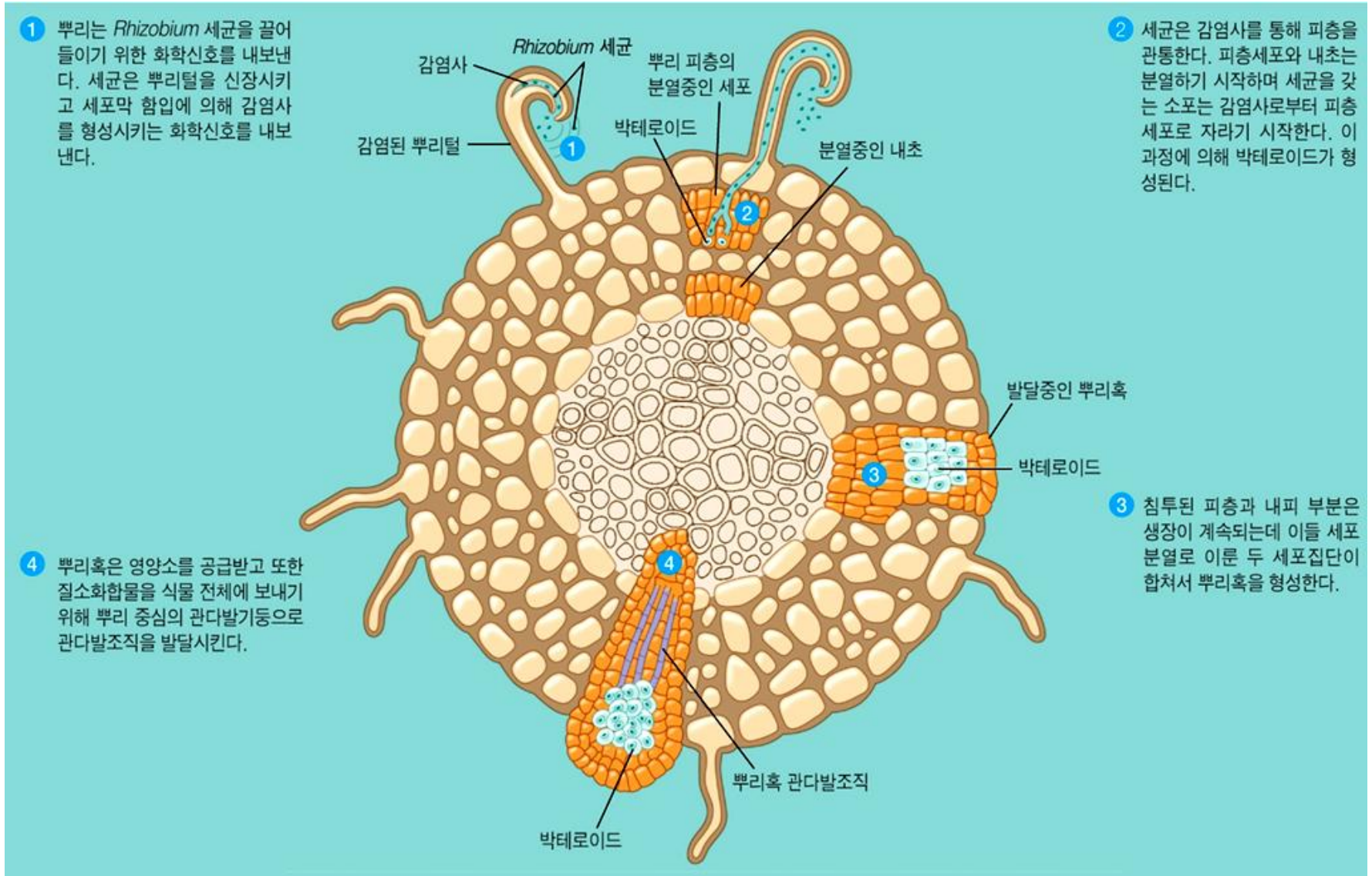
감염사가 발달하고 뿌리혹세균이 뿌리 피층세포에 둘러싸여 박테로이드가 형성된다.

d. 뿌리혹 형성 현미경 사진



콩과식물에서 질소고정세균인 뿌리혹세균(Rhizobium)과 근류균의 상호공생 관계를 이루는 뿌리혹를 형성하는 것에 대한 설명입니다.

## Development of a soybean root nodule. (강낭콩 뿌리혹의 발달)



뿌리에서 박테로이드와 공생관계에 의한 여러 시스템에 의해서 영양분을 흡수하는 과정을 자세하게 설명하는 그림입니다.



**Figure 14-25**  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
© 2005 W. H. Freeman and Company

지구상에서 가장 큰 생명체는 버섯 종류입니다. 균사로 연결되어 있는 무수한 세포인 버섯은 심지어 수 Km에 이르는 것도 있습니다.

## Crustose and foliose lichen

바위에 자생하는 지의류로서 조류와 균류가 공생관계를 이룬 것입니다.

지의류는 환경에 매우 민감하여 조금만 환경이 달라도 자생하기 어려워 환경을 모니터링하는 식물로 알려져 있습니다.

주로 툰드라 지역이나 깊은 몽고지역에 가면 볼 수 있습니다.



**Figure 14-34b**  
*Biology of Plants, Seventh Edition*  
© 2005 W. H. Freeman and Company