

## 제 14장. 종자(Seed)

진정종자(true seed)는 배 상태의 식물체, 저장양분 및 보호 기능의 종피(seed coat)를 가지는 수정된 성숙배주(mature ovule)라고 정의할 수 있다.

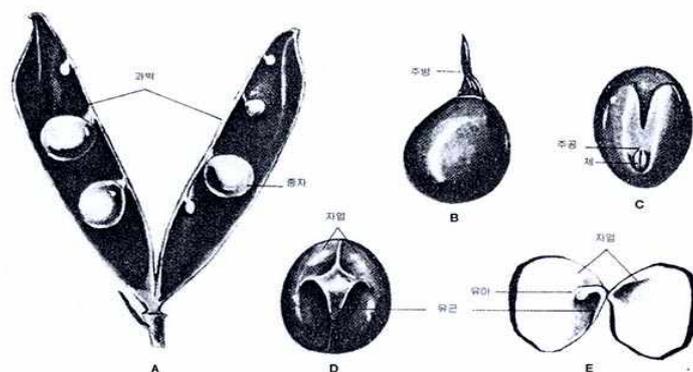
### 제 1절. 종자 발달

수정에 이어서 배주의 각 부분의 성장이 진행되어 종자가 발달된다. 즉 접합자는 배(embryo)로 발달하고 일차 배유핵은 배유(endosporm)로 되고 주피는 보호 기능이 있는 종피(seed coat)로 된다. 이와 같이 종자는 일부는 소실하고 일부는 발달하지만, 배주라는 기본 구조로 되어 있다. 자방 내의 모든 배주가 성숙 종자로 발생하는 경우는 드물다. 예를 들면 벚나무와 아몬드는 자방 1개당 2개의 배주가 있으나, 일반적으로 1개만 성숙하여 종자로 된다. 그러나 드물게는 2개 모두 발달할 수도 있다.

종자의 크기, 형태, 색깔 및 표면 구조 등에 있어서 변이가 무수하게 존재한다. 종자의 크기는 난 종류의 경우 아주 작은 먼지 입자 정도로 작은 것에서부터 double coconut(*Lodoicea maldivica*) 만큼 큰 것까지 매우 다양하다. 난의 종자는 생중량이 25  $\mu\text{g}$  정도이고 double-coconut의 경우는 6 kg 정도에 달한다. 종자 표면은 평활형, 주름형, 줄무늬형, 늑골형, 이랑형, 망상형, 결절형, 기포형, 모용형, 과육형 및 지문형 등 다양한 종류가 있다. 종자로 그 종이나 품종을 동정할 수 있을 정도로 특징적인 것도 있다.

완두에 있어서는 완속 꼬투리에 종자가 2줄로 정렬되어 있다(그림 16-1-1 A). 종자는 주병(珠柄, funiculus)에 의해 과벽에 부착되어 있다(그림 16-1-1 B). 성숙할 때 주병이 탈리하여 제(hillum)라고 하는 흔적을 남긴다(그림 16-1-1 C). 제의 아래에 작은 구멍, 즉 주공이 위치하고 있다(그림 16-1-1 C). 종자는 매끈하고 얇은 종피를 갖고 있다. 피마자에서는 종피가 (a) 바깥층의 외종피(外種皮, testa). (b) 안쪽층의 내종피(內種皮, tegmen) 등 2개의 명확한 층으로 구분된다. 완두에서는 이들 두 층을 명백하게 구별할 수 없다. 종피를 벗기면 커다란 2개의 녹색 자엽이 보인다(그림 16-1-1 D). 그들은 배축에 옆으로 붙어 있다. 배축에서 자엽 아래쪽으로 나온 한쪽 끝은 유근(radicle)이며 다른 한쪽 끝은 유아(幼芽, plumule)로서 2개의 자엽을 제거하면 보인다(그림 16-1-1 E). 유근과 자엽 사이의 배축 부위를 하배축(下胚軸, hypocotyl)이라고 한다. 완두에서 자엽은 저장기관의 기능을 한다. 이것은 박과와 콩과 식물에서도 저장기관의 역할을 하고 있다.

그러나 자엽이 얇은 식물에 있어서는 저장물질이 보다 영속성 있는 배유에 저장된다. 피마자(*Ricinus communis*), 야자(*Cocosnucifera*)와 곡류들은 후자에 속하는 예들이다.



<그림 16-1-1. 완두 종자의 각부분. A; 3개의 잘 발달된 종자가 달린 열개과, B; 주벽과 함께 과벽에서 떨어진 종자, C; 주벽을 제거한 종자, D; 종피가 벗겨진 종자 E; 자엽이 서로 떨어져서 배축 끝의 유아가 보인다>

## 제 2절. 종자의 중요성과 분류

### 1. 종자의 중요성

대부분의 1년생 식물에 있어서 종자는 식물체의 영속성을 유지하며 숫자를 늘려가는 유일한 방법이다. 이러한 식물들은 수개월 생존하고 나머지 기간은 이 식물체가 생존하기에 부적합한 기간이므로 결국 죽게 된다. 죽기 전에 이들은 수많은 종자를 생산하고 각각의 종자는 저장물질을 충분히 가지고 있게 된다. 이 종자는 휴면 상태에 들어가고 환경이 좋아지면 개체로 발달하게 된다. 작물 사이에서 매년 나타나는 잡초는 그 전해의 식물에서 땅 속으로 떨어진 종자가 발아해서 자라는 것이다. 곡류는 인류의 식량에 있어서 매우 중요하다. 그 이유는 그 종자가 식량으로서 중요하기 때문이다. 이 종자는 탄수화물, 단백질, 무기염류, 비타민, 지질 등이 배유 내에 저장되어 있고 종자의 대부분은 배유가 차지하고 있다. 곡류의 다른 이점은 단단하고 건조되어 있으므로 장기간 저장될 수 있다는 점이다. 종자는 섬유, 오일, 향료, 음료수 등과 같이 사람이 이용하는 몇가지 품목의 재료가 된다. 땅콩, 코코넛, 겨자 및 목화 종자로부터는 식용유를 얻는다. *Aleurites fordii*의 종자로부터 얻어지는 동유(유동의 씨에서 짠 기름으로 페인트, 니스, 인쇄 잉크 등의 원료)는 강력한 건조제이고 이것은 페인트나 광택제로 사용되며 우수한 방수성

을 나타낸다. 소두구(생강과)와 겨자의 종자 및 육두구 나무의 분지된 종자는 이름난 향신료이다. 목화의 종피로부터 유래한 목화 섬유는 어떤 다른 식물 섬유보다 많이 사용되어 왔다. 현대인이 즐겨 찾는 음료인 커피는 커피나무(*Coffea arabica*)의 종자에서 얻는다.

## 2. 종자의 분류

일반적으로 성숙 종자들은 배유의 유무에 따라서 2분류로 구분된다.

- (1) 유배유(albuminous) 혹은 배유(endospermous) 종자: 곡류와 피마자처럼 배유가 존재하는 것.
- (2) 무배유(ex-albuminous) 혹은 비배유(non-endospermous) 종자: 콩 종류나 박과와 같이 배유가 없는 것

Martin(1946)은 약 1,287속의 피자식물의 종자 내부 형태를(a) 배유와 관련한 배의 크기, (b) 종자에서 배의 크기 형태, 위치의 차이 등에 근거하여 종자의 분류 체계를 제안하였다. 배와 배유의 비율에 관하여 Martin은 1/4 단위씩 기준하여 5가지 유형으로 제시하였고(그림 16-2-1), 종자에서 배의 크기, 형태, 위치에 관하여는 주변군(peripheral) 혹은 주축군(axile)으로 기술하였다. 이것을 흔적형을 제외하고 12가지 유형으로 다시 세분하였다(그림 16-2-1).



<그림 16-2-1. Martin(1946)에 의한 종자 분류>

## 제 3절. 종자산포

종자 산포(種子散布, seed dispersal)는 모식물체로부터 멀리 떨어진 거리로

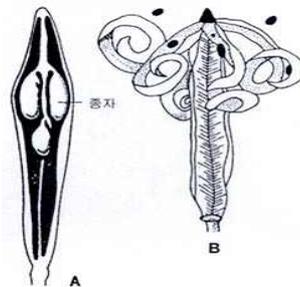
종자를 보내는 것을 뜻한다. 이러한 현상의 생물학적 의의는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- (1) 만약 식물의 수많은 종자를 만들어내고 이 종자들이 모두 모식물의 바로 아래쪽에 떨어져 발아하게 된다면 유식물들은 한정된 광, 수분 그리고 무기질에 대해 경쟁하고 결국 많은 유식물들이 죽게 된다.
- (2) 일정한 장소에 모여 있는 것은 동물에 의해서 쉽게 발견되고 먹힐 수 있다.
- (3) 한 종이 일정 지역에 집중하는 것은 곰팡이나 곤충의 공격에 많은 피해를 입을 수 있고, 또 다른 지역으로의 전염은 완전히 멸종될 수도 있다.

대부분의 식물들이 한 장소에 뿌리내리며 움직일 수 없는 것은 새로운 지역으로의 종의 확산에 매우 불리하다. 자연은 모식물로부터 떨어져 나와 오랜 기간 동안 그들의 생명력을 유지할 수 있고 광범위한 환경과 유해한 환경에 견뎌낼 수 있게 종자를 제공해 왔다. 몇몇 식물들은 먼거리까지 종자 산포시키기 위해 고유의 장치를 갖는 반면(자가산포, autochory), 대부분의 다른 식물들은 바람(풍매산포, anemochory), 물(수매산포, hydrochory) 또는 동물(동물 매개산포, zoochory)과 같은 외부 매개체에 의존하여 산포된다. 종자들은 과실과 함께 산포되거나 과실은 모식물에 남겨 두고 종자만 산포되기도 한다. 종자는 단일 또는 여러 외부 매개체들의 도움에 의해 여러 지역으로 운반된다.

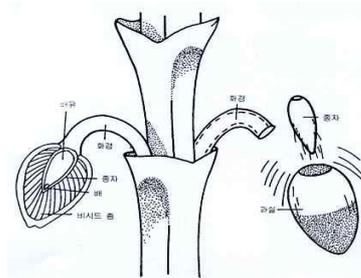
### 1. 자가 산포(autochory)

종자가 기계적으로 산포되는 식물에서는 과실이 오랜 기간 동안 모식물에 남아 있게 된다. 종자가 방출되는 것은 과벽세포의 건조나 팽창에 의해서 일어난다. 충분히 성숙하고 건조한 삭과에서 팽창조직의 세포들은 크게 신장한 상태에 있고, 가벼운 접촉이나 움직임이 있다고 하더라도 심피의 기저가 터져 버린다. 5개의 삭과는 순간적으로 속으로 비틀려서 종자를 2.5 m 거리까지 날려 보낸다(그림 16-3-1).

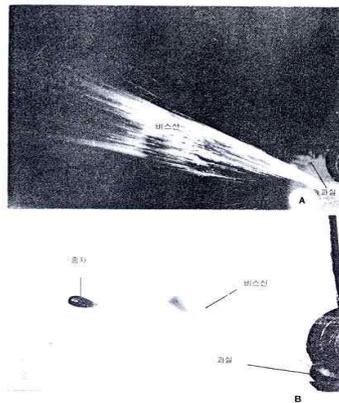


<그림 16-3-1. *Impatiens parviflora*의 종자. A; 폐과의 종단면, B; 열개과로서 5개의 심피는 안쪽으로 굽어져 있고 종자를 방출한다>

가장 효과적이라 할 수 있는 기계적 종자 산포는 *Arceuthobium*(그림 16-3-2와 16-3-3)에서 볼 수 있다. 과실은 1개 반방추형(semi-fusiform) 종자를 갖는 위과에서 종피가 없으므로 과피에 의해서 둘러 싸여 있다. 종과피는 비스신세포(viscin cell)로 형성되어 있다. 과실은 구부러지고 신장된 화경에 달린다. 어린 물총오이에서처럼 *Arceuthobium*의 성숙 과실에서는 화경의 끝에 있는 조직이 분해되어 과실은 화경에서 떨어져 버린다. 끈끈한 층의 세포들은 높은 수압을 나타내고 과피는 수축하여 큰 힘으로 종자를 던져 버린다.



<그림 16-3-2. *Arceuthobium*에서 파열성 종자 방출을 보여주는 모식도. 왼쪽은 종자 방출 전의 모습이고, 오른쪽은 종자 방출 직후의 모습>

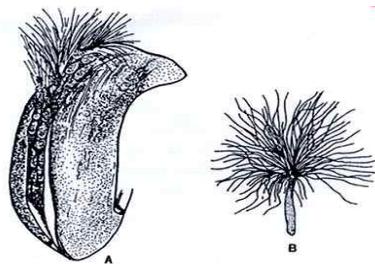


<그림 16-3-3. *Arceuthobium*에서 종자 파열. A; 종자의 뒤에서 맹렬하게 방출되는 비스신, B; 날아가는 종자로서 과실로부터 약 3 cm 정도 이동된 모습>

## 2. 풍매 산포(anemochory)

폭풍은 아주 무거운 씨조차도 날려 버릴 수 있다. 그러나 이것은 우연히 일

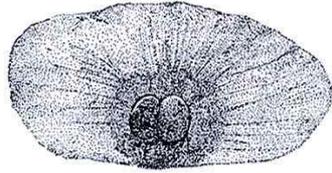
어나는 것이기 때문에 식물을 위한 자연적인 종자 산포 수단으로 간주될 수 없다. 바람을 주된 종자 산포 수단으로 하는 식물은 매우 가벼운 종자를 생산하거나 종자가 대기 중을 상당기간 떠다니는 데 도움이 될 만한 특별한 구조를 가진다. 대기 중을 떠다니는 종자는 발아에 불리한 장소에 도달할 수도 있기 때문에 많은 종자가 손실된다. 따라서 바람에 의해 종자를 운반하는 식물은 종자를 매우 많이 생산하는 것이 필수적이다. 바람에 의해 종자가 산포되는 난과 식물 중에 일부는 식물체당 약 7억 개의 종자를 생산하는 것도 있다. 한때 Darwin은 *Orchis maculata*의 모든 종자가 발아하여 성숙한다면 그것들로 지구 표면이 완전해 뒤덮힐 것이라고 주장한 바 있다. 난과 식물의 종자는 매우 작기 때문에 먼지 종자(dust seed)라고 불리는데 먼지 입자처럼 바람에 잘 날린다. 델리에서 4~6월 동안 사람들은 흔히 공기 중을 떠도는 털 같은 물체를 목격한다. 이들 중의 일부는 털을 가진 종자와 과실이다(그림 16-3-4). 이것들은 식물에서 떨어져 나온 후 바람과 함께 이동하여 지상으로 던져지게 된다. 이 과정 중에 종자들이 적절한 발안 조건을 제공하는 장소에 떨어지면 새로운 개체로 자라게 되지만 그렇지 않으며 썩어 버린다. 털을 가진 과실은 국화과 식물 주에 흔하며(그림 16-3-4 B). 털을 가진 종자는 목화, milkweed(그림 16-3-4 A), *Adenium*, *Epilobium*(바늘꽃속), *Polygala*(애기풀속)등에서 발견된다. Milkweed와 *Epilobium*의 종자는 한쪽 끝에만 털이 먼지털이처럼 달린 반면, *Adenium*(Apocynaceae, 협죽도과)의 종자들은 양 끝에 털을 가지고 있다. 목화, 애기풀속, 버드나무 및 사시나무는 전체의 종자표면 위에 털을 가지고 있다.



<그림 16-3-4. A; *Calotropis procera*의 열개과. 털 달린 종자가 보인다. B; *Launaea nudicaulis*의 털 달린 과실>

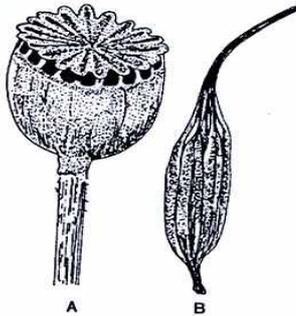
바람에 의한 종자 산포를 위한 다른 하나의 적응은 비록 털보다 비효율적이지만 날개 형태의 부속지를 발달시키는 것이다. 날개는 단풍나무에서처럼 과피가 팽대해지거나, *Cinchona*, *Nemesia*, *Oroxylon*, *Rhinanthus*, *Spergularia*, *Tecoma*(그림 16-3-5)에서처럼 종피가 확장된 것이다. 가장 큰 날개는 열대성 호박의 일종인 *Zanonia macrocarpa*의 종자에서 발견된

것으로 길이가 10cm에 이른다. 날개는 대기 중에서 글라이더와 같은 작용을 한다.



<그림 16-3-5. *Oroxylon indicum*의 날개 달린 종자>

삭과(capsular fruit)는 성숙시에 열 개되지만(그림 16-3-6 A, B) 모식물체에 붙어 있다. 이러한 과실의 열개는 너무 유연하여 종자를 산포하지 못한다. *Aristolochia*(그림 16-3-6 B)와 *Argemone*의 열린 삭과는 마치 종자가 가득 채워진 바구니처럼 보인다. 아주 약한 바람에도 이러한 삭과는 충분히 흔들릴 수 있고 이리저리 흔들림에 따라 종자가 떨어져나간다. 삭과로부터 종자가 물리를 지어 퍼지는데 이러한 현상을 censor mechanism이라고 한다.



<그림 16-3-6. 열개한 삭과. A; *Papaver rhoeas*, B; *Aristolochia*>

### 3. 수매산포(hydrochory)

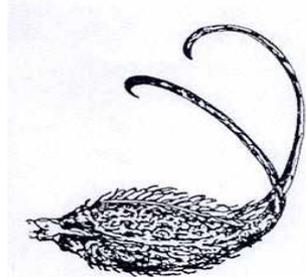
다양한 유형의 종자와 과실이 빗물에 씻겨 작은 내를 거쳐 장거리 여행을 통해 운하나 강으로 운반되며 때로는 독에 던져지게 된다. 대기중의 과실이나 종자도 마찬가지로 흐르는 물에 떨어질 수 있으며 그 물의 흐름에 따라 운반된다. 그러나 종자 산포를 위한 자연적인 힘으로서 물은 물 속에서 자라거나 종자나 과실이 쉽게 물에 떨어질 수 있을 정도의 물가에서 자라는 식물에 대해서만 효과적이다. 물에 의해서 산포되는 종자와 과실은 종자 속으로 물이 침투되는 것을 방지할 수 있는 장치와 장기간 부력을 유지시킬 수 있는 장치를 갖고 있다. 그러므로 물에 떨어진 종자가 우연히 물을 흡수하게 되면 곧 바닥에 가라앉게 되어 썩게 된다. 물에 의해 운반되는 종자의 예로서 흔히 인용되는 코코넛을 매끄럽고 방수성인 외과피와 그 내부에 섬유와

공기로 채워진 부력성의 종과피를 갖는다. 코코넛의 배는 과실이 바닷물에 110일 동안 떠 있는 후에도 발아할 수 있다는 것이 실험적으로 입증되었다. 이 기간동안 여행한 거리를 계산하면 4,800 km에 이른다. 코코넛의 원산지는 말레이시아로 알려지고 있다. 이것이 상업적으로 확대되기 이전에 모든 열대섬의 해안가를 따라 광범위하게 분포하게 된 것은 바닷물의 흐름에 의해 종자가 운반된 결과일 것이다. 텍사속(*Alisma*), *Butomus*, 벼풀속(*Sagittaria*)의 열매는 두껍고 공기로 채워진 피층조직을 갖는다. 연꽃속(*Nymphaea*)의 종자는 공기층을 갖는 여분의 세포층으로 둘러싸여 있다.

#### 4. 동물매개 산포(zoochory)

동물들은 주로 2가지 방식에 의해 종자를 퍼뜨린다. 일부 과실들은 동물에게 먹히게 되지만 종자는 손상되지 않은 채 배설물과 함께 배출된다(endozoochory). 또 다른 방법으로 과실이나 종자가 동물의 외부, 즉 신체나 주둥이에 부착되어 운반된다(exozoochory). 동물 가운데 새는 열매를 먹는 습관과 장거리를 여행하기 때문에 가장 효과적인 운반자라고 할 수 있다. 어떤 새의 비행률은 시간당 180 km로 매우 높다. 그러므로 아무리 새의 소화 과정이 빠르다고 해도 종자가 배설되기 전에 먼 거리까지 운반될 수 있다. 서양오이, 포도, 무화과, 번석류와 같은 과실은 종자와 함께 새에게 먹힌다. 열매의 육질 부분은 소화관에서 소화되고 종자는 소화액에 의해 손상되지 않은 채 배설물과 함께 배출된다. 그러한 종자는 동물의 배설물을 비료로 이용한다. 그리고 발아하여 양친과 같은 종류의 식물로 자라게 된다. 새는 바다와 같은 자연적인 장애물을 넘어서 종자를 수송하는 훨씬 더 개연성이 있는 운반으로 간주된다. 과실의 색상에 의해 이끌리는 새와는 달리 박쥐는 향기에 의해 유인된다. 박쥐에 의해 종자가 산포되는 방법을 박쥐산포라고 한다. 과실박쥐는 불쾌한 냄새와 곰팡이 냄새를 발산하는데 비슷한 냄새를 갖는 과실에 의해 유인된다. 박쥐들은 부드럽고 향기로운 옷나무과(*Anacardiaceae*), 멀구슬나무과(*Meliaceae*), 적철과(*Sapotaceae*)의 열매를 좋아한다. 박쥐들은 보통 씨를 삼키지 않는다. 과피나 육질만 씹고 씨는 눌러 짜낸다. 또 다른 경우는 과실의 육질 부분만 삼키고 딱딱한 부분은 버린다. 이것은 과실박쥐의 식도가 매우 좁고 소화관이 지극히 짧기 때문이다. 한 식물학자가 수년 동안 박쥐의 배설물을 조사했지만 그 속에서 단 하나의 씨도 발견하지 못하였다고 한다. 다람쥐는 종자와 과실을 수집하고 그것들을 저장 목적으로 장거리까지 운반하는 습관을 갖고 있다. 흔히 다람쥐들은 열

매를 숨긴 장소를 곧잘 잊어 버려서 결과적으로 종자를 산포하게 된다. 인간의 옷이나 외부에 털이 있는 동물의 몸에 달라붙을 수 있고 고리나 다른 장치를 갖는 종자나 과실이 있다. *Martynia louisiana*의 열매는 unicorn plant, elephant trunk, proboscis flower이라 불리는데, 이러한 식물의 종자 산포 기작은 경탄할 만하다(그림 16-3-7), 성숙한 과실은 낚시바늘 같은 목질성 가시로 덮여 있다. 이 열매는 끝에 2개의 구부러진 가시를 가지고 있다. 주된 과실의 평균 크기는 7.6 cm이며 빨의 크기는 12.7 cm이다. 삭과는 정단부에서 시작하여 중앙을 향해 종열로 갈라진다. 성숙한 과실이 지면에 수평으로 놓이면 빨은 위 또는 아래를 향하게 된다. 빨은 탄력성이 있다. 만일 동물이 이 과실을 밟게 되면 털에 빨이 걸리게 된다. 동물이 흔들어 이 열매를 떨어뜨리는 것은 불가능하며 걸어다님에 따라 빨이 삭과를 뒤로 튕겨 털에 가시가 닿게 된다. 과실은 아래쪽으로 열린채 털에 매달려 있게 된다. 동물이 움직임에 따라 씨가 산포된다. 이와 같은 종자 산포의 독특한 방식 때문에 남아프리카에서는 노새-움켜쥐기(mule-grab)라고 불린다.



<그림 16-3-7. *Martynia louisiana*의 성숙 과실. 갈고리 모양 돌기와 2개의 빨이 위쪽과 뒤쪽을 향하여 굽어져 있다>

고대 이래로 인간은 종자 산포의 중요한 매개체였다. 인간이 한 곳에서 다른 장소로 이동할 때마다 일부 식물과 매일 이용하는 과실을 함께 가져갔다. 그러나 당시 인간의 이동 속도는 매우 느렸다. 현대의 운동수단의 발달은 인간의 이주를 매우 신속하게 했으며 인간에 의한 종자 산포는 어떤 자연적 수단보다 훨씬 효율적이다.

#### 제 4절. 종자휴면

*Rhizophora*와 같은 식물에서 접합자로부터 배 및 유식물로의 생장은 연속적으로 일어난다. 이 종자는 모식물체에 달려 있는 과실내에 들어있는 동안 발아가 된다. 이러한 현상은 드물게 일어나는데 태생적(vivipary) 현상으로 불

린다. 팔속, 완두속, 옥수수과 같은 많은 종의 종자는 식물로부터 떨어진 후 수분, 온도, 통기 등의 조건이 적절하면 즉시 발아한다. 그러나 발아의 이상적인 조건 하에서도 발아가 되지 않는 일부 식물도 있다. 이 기간을 휴면기간이라 하며 종에 따라 다르다. 종자의 휴면은 식물에게 상당히 유리하다. 그것은 배가 그 해의 불리한 기간을 안전하게 보내고 유식물이 성장하기에 적절할 때 발아하도록 하기 때문이다. 자연에서 휴면기간은 유식물의 성장에 적합하지 않은 기간이 일치한다. 종자 휴면은 2가지 유형, 즉 종피휴면(種皮休眠, seed-coat dormancy)과 배휴면(胚休眠, embryo dormancy)이 있다.

### 1. 종피 휴면(seed-coat dormancy)

많은 식물에서 휴면의 원인은 딱딱한 종피가 배의 성장을 기계적으로 저해하거나(아욱과, 콩과), 또는 물(*Melilotus*, 전동싸리속, *Trionella*)이나, 산소(*Xanthium*, 도꼬마리속)에 대한 불투과성을 갖기 때문이다. 페놀 화합물의 존재도 역시 물의 불투과성을 야기한다. 자연에서 그러한 종자는 미생물의 공격, 기계적 마모, 동물의 소화관 통과 및 고온과 저온에 반복하여 노출됨으로써 종피가 약화되거나 분해됨으로써 발아된다. 인공적으로 종피휴면을 타파하는 방법으로는 (a) 연마제로 종자에 물리적 자극을 가하는 방법(차풀속, *Melilotus*, 전동싸리속) (b) 약 15분 동안 진한 황산에 종자를 담그는 방법(*Cercocarpus*, 목화속, *Pistacia*), (c) 알코올로 종자를 씻는 방법(차풀속, *Parkinsonia*) 등이 있다.

### 2. 배휴면(embryo dormancy)

종자휴면의 가장 흔한 유형은 수확 후 배가 발아할 수 있게 될 때까지 일정 기간을 필요로 하는 것이다. 후숙기간(後熟期間, after-ripening period)이라 불리는 이 기간 동안 배는 구조적 또는 생리적 성숙을 하게 된다. 종자가 모체로부터 방출될 때 미나리아재비과의 어떤 식물의 종자는 분화되지 않는 배를 가진다. 후숙기간 동안 배는 더욱 발달되어 성숙한 구조를 갖추게 된다. *Fraxinus excelsior*의 성숙 종자는 완전히 분화된 배를 가지지만 발아 전에 상당한 정도로 커지게 된다. 장미과 식물에서 배는 후숙기간 동안 눈에 띄는 어떤 형태적, 조직학적 변화도 나타내지 않는다. 종자는 이 기간 동안 생리적 성숙을 하게 된다. 생리적 변화는 성장 저해제의 손실 성장 촉진제의 출현 등이 있다.