



생태

(1) 동물 행동학

- 01 동물의 행동
 - 01-1. 행동에 영향을 미치는 유전적 및 환경적 요인
 - 01-2. 선천적 행동의 종류
 - 01-3. 후천적 행동(학습)의 종류
- 02 행동의 시간적 조절 : 생체리듬, 일주기성
 - 02-1. 생체리듬, 일주기성
 - 02-2. 시계 유전자
- 03 의사소통
 - 03-1. 시각적 통신
 - 03-2. 음성학적 통신
 - 03-3. 화학적 통신
- 04 번식행동과 교미체계
 - 04-1. 수컷과 암컷의 번식전략
 - 04-2. 성선택
 - 04-3. 교미체계, 짝짓기 체계
- 05 사회행동
 - 05-1. 이타주의
 - 05-2. 해밀턴의 법칙

(2) 생태계

- 01 생태학의 범주와 생태계의 구성
 - 01-1. 생태학적 연구의 범위
 - 01-2. 생태계의 구성
- 02 지구의 기후 양상
 - 02-1. 태양복사에 기인하는 기후 양상
 - 02-2. 지구 지형에 따른 기후 양상
- 03 생물군계
 - 03-1. 육상생물군계
 - 03-2. 수생물군계
- 04 생태계 에너지론
 - 04-1. 생태계를 통한 에너지의 흐름
 - 04-2. 생태계 에너지론
 - 04-3. 생태 피라미드
 - 04-4. 살버스프링 생태계에서의 에너지 흐름

05 생태계의 영양소 순환

- 05-1. 영양소의 순환
- 05-2. 질소의 순환
- 05-3. 물의 순환
- 05-4. 탄소의 순환
- 05-5. 인의 순환
- 05-6. 황의 순환

06 생물다양성과 보존생물학

- 06-1. 생물다양성
- 06-2. 생물다양성의 감소 원인
- 06-3. 보존생물학 필요성의 대두
- 06-4. 생물다양성 요충지
- 06-5. 종다양성에 영향을 미치는 요인
- 06-6. 서식지 단편화와 가장자리 효과

(3) 개체군 생태학

- 01 개체군의 밀도
 - 01-1. 특징
 - 01-2. 개체군의 밀도
 - 01-3. 밀도 조사법
 - 01-4. 분산유형
- 02 개체군의 성장속도에 영향을 주는 요인
 - 02-1. 연령구조
 - 02-2. 세대기간
 - 02-3. 성비
- 03 개체군 통계학
 - 03-1. 생명표
 - 03-2. 생존곡선
- 04 개체군의 성장 모형
 - 04-1. 개체군의 크기 변화
 - 04-2. 지수적, 기하학적, J형 성장
 - 04-3. 로지스틱형, S형 성장
 - 04-4. 개체군 조절

(4) 군집 생태학

- 01 사회적 행동
 - 01-1. 공생
 - 01-2. 포식자-피식자 또는 기생자-숙주관계
 - 01-3. 종간 경쟁
- 02 종 다양성
 - 02-1. 종 다양성
 - 02-2. 순위풍부도 곡선
 - 02-3. 사는 지수
- 03 군집의 영양구조
 - 03-1. 먹이사슬
 - 03-2. 먹이그물
 - 03-3. 상항식 조절과 하항식 조절
- 04 생태교란과 군집구조 및 천이
 - 04-1. 교란
 - 04-2. 천이

(5) 환경오염

- 01 수질오염
 - 01-1. 수질 오염의 측정
 - 01-2. 수질오염과 관련된 용어
- 02 생물 농축
 - 02-1. 정의
 - 02-2. 생물 농축을 일으키는 물질
 - 02-3. 생물 농축의 예
- 03 대기오염
 - 03-1. 스모그
 - 03-2. 온실효과
 - 03-3. 오존층 파괴
 - 03-4. 산성비

01 동물의 행동

01-1. 행동에 영향을 미치는 유전적 및 환경적 요인

① 행동이 유전적인가 아닌가를 검증하는

박탈 및 잡종 형성 실험

㉠ 박탈실험(deprivation experiment)

예 액상먹이를 먹고 토양이 없는 우리에서 키운 다람쥐에게 땅콩(자극유발원, releaser)을 줄 경우 흙이 없음에도 흙 파는 행동과 상상의 구멍에 땅콩을 넣고 흙으로 덮는 시늉을 보였다.

➔ 땅콩을 묻는 다람쥐의 고정행동양식은 유전적인 것이다.

㉡ 잡종형성실험(hybridization experiment)

예 벚꽃모랑잉고는 동지의 재료를 깃털 사이에 넣어 운반하며 붉은모랑잉고는 동지 재료를 부리로 운반한다. 두 종 사이의 잡종은 부모의 중간형태 행동을 보였다.

➔ 동지 재료를 운반하는 방식은 유전영향을 받는다.

② 대부분의 행동은 본능적인 요소와 학습적인 요소를 모두 갖고 있다.

㉠ 새소리를 내기 위해서는 유전과 학습이 상호작용한다.

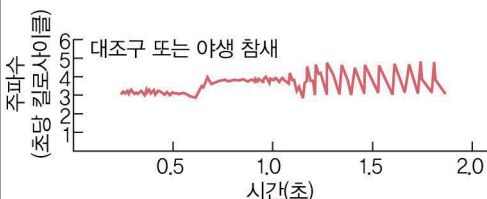
예 흰머리 참새는 알에서 깨어나 50일의 임계기에 울음소리를 들으며 이때는 비록 스스로 울지는 못하지만 종의 노래를 각인해둔다. 성장한 후 자신의 노랫소리를 듣고 임계기에 기억해둔 노래와 비교해 보면서 점차 소리를 점차 완성해간다. 따라서 흰머리 참새에서 새끼 때와 성숙한 시기 두 단계의 학습기간은 종 특이적인 새소리를 내는 데 필수적이다.

실험 1

의문 : 흰머리 참새가 성체와 같은 울음소리를 내기 위해서 학습은 필수적인가?

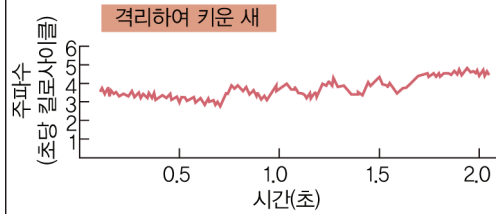
방법 : 울음소리를 내는 수컷 성체 참새가 있는 곳에서 어린 참새를 기른다. 이를 대조구 참새가 성숙하면, 그 새의 소리를 녹음하고 음향기록장치(sonogram)에 기록을 남긴다.

결과 :



방법 : 부화기에서 알을 부화시키고 이 새를 격리시켜 키운다. 이들 성체의 소리를 녹음하여 음향기록장치에 기록하고 이를 대조구 새의 소리와 비교한다.

결과 :



결론 : 어릴 때 성체의 소리를 듣지 못하고 자란 흰머리참새는 성숙하였을 때 종 특이적인 정확한 소리를 표현하지 못한다. 따라서 어린 새는 소리 형태나 구조를 학습한다.

실험 2

의문 : 계속 자라는 흰머리참새는 정확한 소리를 표현하기 위해 청각적인 되먹임(feedback)을 필요로 하는가?

방법 : 새끼일 때 아비 새의 소리를 들어 왔던 이 새의 미숙조(未熟鳥, 성체가 되기 전의 새)일 때 그의 청각기관을 제거한다.

결과 :



결론 : 새가 정확한 소리 형태를 가진다 하더라도 이 새는 정확한 새소리에 맞는 것을 학습하기 위해 청각 되먹임이 필요하다.

➔ 호르몬 역시 동물 행동에 영향을 주는 요인이다.

01-2. 선천적 행동(innate behavior)의 종류

▶ 고정행동양식, 주성은 개체군 내의 거의 모든 개체들이 전 생애에 걸쳐 그리고 발달기간 동안 내적으로 환경적으로 차이가 있음에도 불구하고 실제 같은 행동을 보인다. 이러한 방식으로 발달측면에서 고정된 행동을 선천적 행동이라 부른다.
다른 행동들은 변하기 쉽고, 경험에 의존한다. 환경조건이 행동에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 방법은 바로 특정한 경험을 통해 행동의 수정이 일어나는 학습을 통해서이다.

① 본능, 고정행동양식(fixed action pattern)

➔ 신호자극(sign stimuli) : 본능을 유발시키는 환경요인



② 주성(taxis) : 빛, 소리, 냄새 등의 자극에 대하여 일정한 방향으로 이동하는 반응을 말하며, 이때 자극 쪽으로 이동하면 양성, 반대쪽으로 이동하면 음성이라고 한다.

예 양성 주류성 : 송어, 송사리. 물이 흐르는 방향으로 이동. 양성 주류성은 물고기가 떠내려가는 것을 방지하며 먹이가 오는 방향으로 항상 몸을 유지시켜준다.

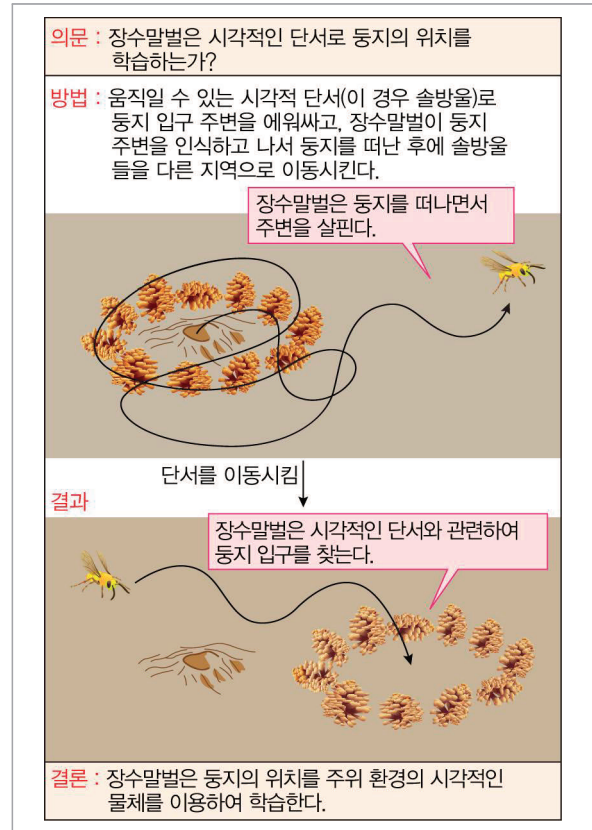
01-3. 후천적 행동(학습)의 종류

① 각인(imprinting) : 짧은 임계기(critical period) 동안에 일어나며 선천적 요소와 학습된 요소를 모두 가지고 있다. 일단 각인이 되면 오랫동안 지속된다.

예 로렌츠(Lorenz)의 거위 실험 : 거위 새끼들은 부화할 때 처음 본 물체를 엄마로 생각하고 따라다녀야 한다는 것은 선천적인 것이다. 그러나 어떤 어미(거위, 로렌츠, 신발 등)를 인식하는 것은 학습에 기인한다.

② 습관화(habituation) : 자극에 반응하지 않는 학습

③ 공간학습(spatial learning) : 장수말벌과 같이 솔방울과 같은 환경의 공간구조를 경험한 후 행동을 수정하는 능력. 지형표식(landmark)을 사용하여 동지의 위치를 파악한다.



④ 연합학습(associative learning)

㉠ 정의 : 환경의 한 특징(색과 같은 자극)과 다른 특징(맛 없음)을 연합하는 능력

㉡ 종류

㉠ 고전적 조건화(Classical conditioning)

예 파블로프형 실험 : 개에게 음식을 주기 전에 빛을 주었더니, 빛만 주었을 때에도 침을 흘렸다.

㉡ 작동적 조건화(Operant conditioning),

시행착오학습

: 자신의 행동 중 하나를 보상이나 처벌과 연합하여 학습한 다음 그 행동을 반복하거나 피하게 된다.

예 스키너(Skinner)의 작동 조건 지우기 : 스키너 상자 안의 쥐가 우연히 빗장을 누르게 되면 음식이 제공된다. 행동을 하자 보상이 주어지므로 쥐가 같은 행동을 나타내는 빈도가 증가했다.

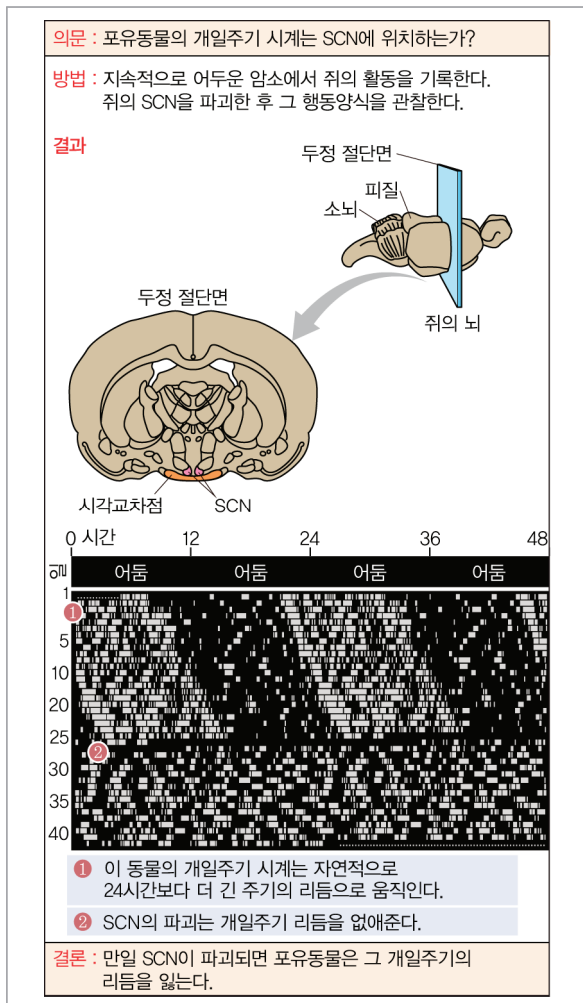
⑤ 통찰학습(insight learning) : 시행착오와 유사한 과정을 통해 경험 없이 문제를 해결

예 침팬지에게 손이 닿지 않는 높은 곳에 있는 바나나를 보여주자, 잠시 생각하더니 상자를 쌓고 올라가 막대기로 바나나를 쳐서는 땅에 떨어뜨렸다.

02 행동의 시간적 조절 : 생체리듬, 일주기성

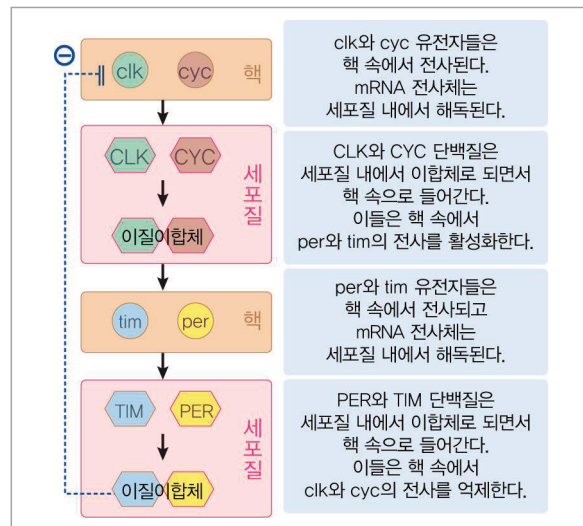
02-1. 생체리듬, 일주기성(circadian cycle)

- ① 만약 동물들이 먹이와 물은 충분한 상태로 그리고 일정 온도의 지속적인 어둠 속에 있게 된다 할지라도 이 동물들에게서 행동, 수면, 섭식 등의 일주기성은 여전히 일어난다. 따라서 동물 내부에 생체시계를 가지고 있음을 알 수 있다.
 - ➔ 포유동물의 경우 개일주기(=일주기성)의 중추는 두 개의 시각신경이 교차하는 시각교차점의 위의 시상교차상핵(SCN, suprachiasmatic nucleus)이다.
- ② **생물 시계의 변동**: 주기성은 23시간 또는 25시간으로 약간씩 변형될 수 있으며, 종에 따라 태양빛 같은 환경요인에 맞춰 주기성의 시간대를 재조정할 수도 있다.
 - ➔ **동조화(entrainment)**: 환경적인 원인에 의해 일주기성을 재설정하는 과정



02-2. 시계 유전자(clock gene)

- ① 초파리에서 발견된 시계 유전자는 약 24시간 주기로 유전자 발현 순환이 이루어진다.
- ② **과정**
 - ㉠ *cyc*(cycle)과 *clk*(clock) 유전자 산물 단백질은 이합체를 형성하고, 전사인자로 작용하여 *tim*(timeless)와 *per*(period) 유전자의 전사를 촉진한다.
 - ㉡ 발현된 TIM과 PER은 세포질 내에서 이합체화되어 핵으로 이동하여 *cyc*와 *clk*의 발현을 억제한다.
 - ㉢ 가시광선은 TIM과 PER을 분해한다. 따라서 낮에 TIM과 PER의 농도가 낮고 CYC와 CLK의 농도는 높다. 반대로 밤에는 반대로 TIM과 PER의 농도가 높고 CYC와 CLK의 농도가 낮다.
 - ➔ 일종의 음성 피드백 과정과 유사하며, TIM과 PER의 양이 서서히 분해되면서 감소할 경우 CYC와 CLK의 발현이 다시 증가하게 된다.



03 의사소통(communication)

03-1. 시각적 통신

03-2. 음성학적 통신

03-3. 화학적 통신

예 페로몬(pheromone)

- ① 정의 : 동물의 조직에서 생성되는 물질로써 동종 타 개체의 특유한 행동이나 발육, 분화를 야기 시키는 활성물질을 말한다.
→ 호르몬은 한 개체내의 특정 세포에 작용하는 내분비물질인데 반해, 페로몬은 동종의 타 개체에 작용하는 외부 비물질이다.
- ② 대부분의 경우 동물들의 페로몬 생성과 이에 대한 반응은 유전적으로 조절된다.
- ③ 종류
 - 성페로몬 : 이성을 유인할 때 방출
 - 경보페로몬 : 위험이 닥쳤을 경우 방출
 - 길잡이페로몬 : 개미의 경우 앞에서 무리를 이끄는 개미가 길잡이 페로몬을 방출
 - 계급분화 페로몬 : 꿀벌군집에서 여왕벌과 일벌에서 분비되는 페로몬은 벌집 내의 복잡한 사회질서를 유지한다.
- ④ 서로 다른 페로몬은 휘발성과 확산성에서 차이를 보인다. 경고음으로 작용하는 페로몬의 경우 휘발성과 확산성이 높아 빠르게 퍼지지만 빨리 사라진다. 반면 길잡이페로몬은 휘발성이나 확산성이 낮은 편이고 효과가 오랫동안 지속된다. 성페로몬의 경우 중간 특성을 지닌다.

04 번식행동과 교미체계

04-1. 수컷과 암컷의 번식전략

- ① 수컷은 단순히 여러 암컷과 교미함으로써 자신의 유전자를 갖고 있는 자손을 늘릴 수 있다. 특히, 자손을 양육하는 데 시간과 에너지를 투자하지 않는다면 이 전략은 더욱 효과적이다. 따라서 수컷의 매력이나 경쟁우위를 증가시키는 형질은 수컷의 번식 성공에 큰 도움이 된다.
- ② 암컷의 경우 자신의 난자는 제한되어 있으므로 수컷과 달리 여러 수컷과 교미하는 것은 도움이 되지 않는다. 따라서 새끼를 배불리 먹일 수 있는 자원이 풍부한 수컷 또는 새끼에게 좋은 유전자를 물려줄 수 있는 수컷과 교미한다.

04-2. 성선택(sexual selection)

- ① 정의 : 암컷에 대한 수컷의 경쟁 그리고 이와 관련된 암컷의 선택을 성선택이라고 한다. 이는 자연선택의 한 형태이다.
- ② 성선택의 결과 많은 종에서 수컷은 암컷보다 크며, 수컷은 다른 경쟁상대와 싸워 이길 수 있는 뿔과 화려한 장식구 등을 지니고 있다.
→ 수컷의 큰 몸집, 화려한 깃털, 큰 뿔은 그가 건강하며 먹이를 잘 구할 수 있다는 것을 증명한다. 또한 그 화려함으로 포식자의 눈에 쉽게 띄게 됨에도 불구하고 여전히 살아있다는 것은 강한 대립유전자를 지니고 있음을 의미하게 된다.

04-3. 교미체계, 짝짓기 체계(mating system)

① 종류

- ㉠ 난교(promiscuousity)
- ㉡ 일부일처(monogamy)
- ㉢ 일부다처(polygyny)
- ㉣ 일처다부(polyandry)

- ② 자손양육에 들어가는 양육노력이 교미체계의 진화를 제한하는 중요한 요소이다.

예 대부분 갓 부화한 어린 새끼는 자기 자신을 돌볼 수 없으며 적어도 한쪽 부모 혼자서는 공급할 수 없는 많은 양의 먹이를 꾸준히 먹어야 한다. 이러한 경우 수컷은 또 다른 배우자를 찾는 대신 자신의 배우자를 도와 새끼들을 잘 키우는 것이 더 많은 수컷의 유전자를 남길 수 있는 방법이다. 따라서 명금류(song bird)들은 일부일처제이다.

예 만약 갓 부화한 새끼들이 알을 깨고 나오자마자 스스로 먹이를 찾아서 먹는 꿩이나 메추라기와 같은 새들의 경우 수컷은 다른 배우자를 찾아 또 다른 번식을 하는 것이 번식 성공률을 극대화할 수 있는 방법이다. 따라서 이들은 일부다처제가 일반적이다.

예 포유류의 경우 흔히 암컷의 젖이 새끼의 유일한 먹이이고 수컷은 새끼를 키우는데 큰 역할을 수행하지 않는다. 따라서 사자와 같은 수컷이 암컷과 새끼를 보호하는 포유류의 경우 일부다처제가 일반적이다.

예 일부 조류와 몇몇 포유류의 경우 수컷이 새끼 양육에서의 주된 역할을 지니며 어미 혼자서는 새끼를 키우는 것이 불가능하다. 이 경우 일처다부제가 나타난다.

- ③ 부성(paternity)의 확실성이 높을수록 일부일처제가 일반적이다.

㉠ 짝짓기와 새끼들이 태어나는 시간(알을 낳는 시간)의 차이 때문에 체내 수정을 하는 종들에서는 부성의 확실성이 매우 낮게 나타난다. 바로 이런 이유로 해서 매우 적은 종의 조류와 포유류에서만 수컷이 새끼를 돌보는 것을 볼 수 있다. 따라서 체내수정을 하는 많은 종에서 다른 수컷의 정자를 제거하는 등의 부성 확실성을 높이기 위한 행동들이 일어난다.

㉡ 체외수정의 경우처럼 짝짓기와 산란이 동시에 일어날 경우 부성의 확실성이 훨씬 높아진다.

㉢ 따라서 어류와 양서류에서 수컷이 새끼를 돌보는 경우는, 체내수정을 하는 과(family)에서는 단지 7%만이, 체외수정하는 과에서는 69%를 나타낸다.

- ④ 교미 체계와 수컷과 암컷의 형태와의 관계

㉠ 트럼펫고니와 같이 일부일처제인 종에서는 외형적 특징만을 가지고는 수컷과 암컷을 구분하기 힘들다.

㉡ 붉은사슴(elk)과 같이 일부다처제인 종에서는 수컷들이 종종 매우 화려하다.

㉢ 큰지느러미발도요(Wilson's phalaropes)와 같은 일처다부제의 종들에서는 암컷들은 수컷보다 화려하다.

05 사회행동

05-1. 이타주의

- ① **이타주의(altruism)** : 한 개체군 내에서 어떤 동물들은 때로, 자신의 적응도(fitness)를 떨어뜨리지만 다른 개체의 적응도를 높이는 방향으로 행동하는 것을 의미한다.

예 **벨딩땅다람쥐** : 포식자가 다가오는 것을 발견하면 흔히 경고음을 내어 적의 출현을 모르고 있는 다른 개체들이 굴로 피신하도록 한다. 그러나 경고음을 냄으로써 자신은 포식자의 주의를 끌게 되므로 죽음을 당할 확률이 높아진다.

예 **일벌** : 일벌은 스스로 번식하지 않으며 알을 낳는 여왕벌의 번식만을 위해 일한다. 또한 침입자가 올 경우 침으로 쏘아 벌집을 지키지만 자신은 목숨을 잃는다.

- ② **포괄적 적응도, 간접적 적응도(inclusive fitness)** : 자신의 새끼뿐만 아니라 혈연관계가 가까운 개체를 도와주는 이타적 행동이 다음세대에 자신의 유전자를 더욱 많이 확산시킬 수 있다. 즉, 많은 유전자를 공유하고 있는 가까운 친척들이 새끼를 낳도록 도움으로써 자신의 유전자를 증식시킨다. 자신의 적응도를 간접적으로 높인다.

▶ **혈연선택(kin selection)** : 포괄적 적응도를 높이는 방향의 자연선택, 즉 혈연관계가 있는 개체의 번식성공율을 높이는 이타행동을 선호하는 자연선택

05-2. 해밀턴(Hamilton)의 법칙

- ① **정의** : 자연선택이 혈연관계에 있는 다른 개체를 도와주는 이타적 행위를 선호하는 경우를 예측하기 위해 정량적으로 측정하는 법칙

$B \times r$ vs C

- B (benefit) : 수혜자가 얻는 이득
즉, 수혜자가 생존할 때 예상되는 평균 자손 수
 - r (relatedness) : 관련된 개체들 간 혈연계수
 - C (cost) : 이타행위를 함으로써 개체가 지불하는 비용
즉, 이타행위자가 죽음으로 감소하는 평균 자손 수
- $B \times r > C$ 라면 이타행동이 선택된다.

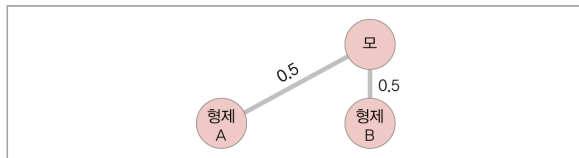
- ② **혈연계수, 근친도(relatedness)** : 두 개체가 같은 부모나 조상을 공유하고 있을 때 한 개체가 갖고 있는 특정 유전자를 다른 개체도 갖고 있을 확률.
즉, 친족이 공유하는 대립유전자의 평균비율을 의미한다.

① 이복형제/자매/남매 : 0.25

부모 중 한쪽이 같은 이복형제(자매, 남매)의 경우 대립유전자의 반은 엄마로부터 받는다. 따라서 A가 특정 대립유전자를 엄마에게서 받을 확률은 0.5(50%)이다. 또한 B가 같은 대립유전자를 받을 확률도 역시 0.5(50%)이다. 이 경우 A가 엄마에게서 대립유전자를 받고, B가 엄마에게서 동일한 대립유전자를 받는 사건이 동시에 일어

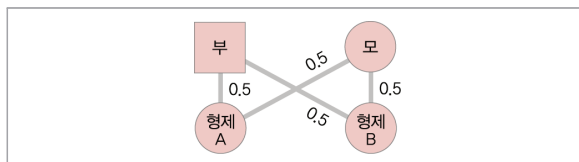
날 확률은 두 확률을 곱한 것과 같다.

따라서 두 이복형제(자매, 남매)가 엄마에게서 같은 대립유전자를 받을 확률은 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ (25%)가 된다.

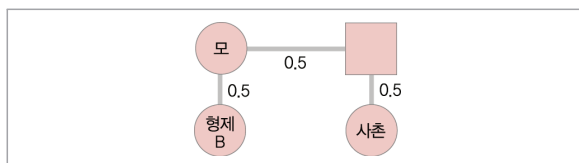


② 형제/자매/남매 : 0.5

A와 B는 엄마와 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ (25%)의 유전자를 공유하고, 아빠와도 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ (25%)의 유전자를 공유한다. 따라서 총 A와 B는 50%(0.5)의 대립유전자를 공유한다.



③ 사촌 : 0.125



▶ 유전학자인 할데인(J.B.S Haldane)은 포괄적 적응과 혈연선택의 개념에 대해 다음과 같이 말하였다. “자신의 2명의 형제 또는 8명의 사촌을 구할 수만 있다면 자신의 목숨을 기꺼이 던질 것이다.” 즉, 할데인은 2명의 형제나 8명의 사촌이 자신의 자녀 2명과 같은 정도의 그의 유전자를 지니고 있으므로 결국 그들을 위해 죽는다 할지라도 살아서 자식을 2명 가진 것만큼이나 자신의 유전자가 퍼질 것이라고 생각하였다.

③ 진사회성(eusocial) 곤충

- ① 개미, 벌 등은 3,000~5,000마리의 친족으로 구성되며, 이중 번식력이 있는 것은 여왕벌 또는 여왕개미뿐이다. 따라서 모든 일벌은 여왕의 딸이 된다. 이들 군락에서 여왕의 역할은 번식하는 것이며, 일벌들은 어미의 번식을 돕고 침입자가 오면 침을 쏘아 자신을 희생하기도 한다.

② 일벌간의 혈연계수

‘일벌 A와 B가 있다’ 라고 가정할 때, 이들은 반수체인 수컷으로부터 똑같은 대립유전자를 물려받는다. 따라서 아빠를 통한 일벌간의 혈연계수는 0.5(50%)이다. 또한 엄마를 통해서는 $0.5 \times 0.5 = 0.25$ (25%)의 혈연계수를 지닌다. 결과적으로 이들은 부모 모두가 이배체여서 그들의 대립유전자를 50% 공유하는 것보다 오히려 더 많은 평균적으로 75%를 공유하게 된다. 따라서 일벌들은 그들 자신이 생식하는 것보다 그들의 누이들을 돕는 것이 그들의 적응도를 증가시킬 수 있다. 왜냐하면 유전적으로 그들의 자식보다 그들의 누이들과 더 유사하기 때문이다.