

# 거미와 거미실크

김주필 · 신희관

## 1. 서론

거미는 동물계(Animalia), 절지동물문(Arthropoda), 거미강(Arachnida), 거미목(Araneae)에 속하는 동물이다. 지금까지의 연구에 의하면 세계적으로 약 6만 여종의 거미가 있는 것으로 알려져 있다. 거미는 곤충과 더불어 지구상에서 가장 번성한 생물종의 하나이다. 곤충이 비행능력과 단단한 외골격으로 번성할 수 있었다면 거미는 바로 거미줄이라는 놀라운 무기가 있었기 때문에 가능했다.

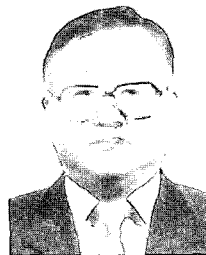
모든 거미는 육식성이다. 곤충들이 거미의 주요 먹이지만, 가끔 다른 절지동물이나 쥐, 새, 개구리 같은 동물들을 잡아먹기도 한다. 거미의 생활형은 일정한 장소 즉, 물 속, 땅 속, 또는 공중에 거미줄을 치고 먹이를 기다리는 정주성 거미(settling spider, web spider)와 지상을 돌아다니며 먹이를 사냥하는 배회성 거미(wandering spider, hunting spider)로 크게 나눌 수 있다. 대부분의 거미들은 상대적으로 작지만(몸 길이: 2~10 mm), 타란툴라(tarantula) 같이 큰 거미는 몸 길이가 80~90 mm 정도 되기도 한다.

거미 몸은 두흉부(머리가슴, prosoma)와 복부(배, opisthosoma)의 두 부분으로 구성되어 있는데, 두흉부에는 1쌍의 위턱(chelicera), 1쌍의 촉지(수염기관, pedipalp) 그리고 4쌍의 걷는 다리를 포함하는 6쌍의 부속지가 있다. 거미의 두흉부와 복부는 가느다란 배자루(pedicel)에 의해 연결되어 있다. 두흉부에서는 주로 운동, 섭식 그리고 신경의 통합과 같은 기능을 지니고 있으며, 복부는 소화, 순환, 호흡, 분비, 생식 및 거

미줄의 생산과 같은 기능을 가진다.

거미줄은 복부의 뒤쪽에 위치한 실젯(spinnerets)이라는 기관을 통해 생산되는데, 이는 거미강에서 오직 거미목만이 가지는 특징이다. 장님거미류는 실샘이나 실젯이 없으며 일부의 진드기류는 많은 양의 견사를 생산하지만 촉각(palp)에 위치한 실샘(glands)에서 생산하고 실젯은 없다.

본 논문에서는 먼저 거미의 분류체계 및 거미의 주요 특징을 기술하고, 거미실크와 관련된 거미줄의 특징과 거미줄을 생성함에 있어서 중요한 실샘 및 실젯



김주필

1967 서울대학교 동물학과(학사)  
1972 서울대학교, 동국대학교  
(이학석사, 이학박사)  
1984~ 동국대학교 생물학과 교수  
현재



신희관

1980 서울대학교 생물교육과(학사)  
1984 서울대학교 환경대학원(석사)  
2004~ 동국대학교 생물학과 박사과정  
현재 한성과학고 교사

### Spider and Spider Silk

동국대학교 이과대학 생물학과(Joo-Pil Kim, Department of Biology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea)  
한성과학고등학교(Hee-Kwan Shin, Hansung Science Highschool, San 5, Sudaemoon-gu, Seoul 120-080, Korea) e-mail: dotori14@empal.com

과 관련된 자료에 대해서 기술하였다.

## 2. 거미의 특징

### 2.1 분류체계 및 주요 특징

거미목(Araneae)은 곤충의 5개 목(딱정벌레목 Coleoptera, 벌목 Hymenoptera, 나비목 Lepidoptera, 파리목 Diptera, 노린재목 Hemiptera)과 거미강에 속해 있는 응애목(Acari) 다음으로 가장 많은 종수를 자랑하는 목이다. 하지만, 곤충류와 응애류의 종다양성이 대부분 초식성(phytophagy)과 기생성(parasitism)이라는 섭식전략(dietary strategy)에서 유래한 것과는<sup>1</sup> 달리, 거미류는 완전포식성이면서도 매우 높은 종다양성을 보여주고 있다.<sup>2</sup> 거미류에 대한 분류학적인 보고는 Linne의 “Systema naturae” 10권이 발간된 1758년 이전에 이미 Clerck(1757)의 “Aranei Svecici”에서 기술되었다. 특히 Clerck는 성숙한 개체에서 나타나는 암수의 생식기(epigynum, palpal organ)를 위주로 하여 종을 기재하였다. 이후 많은 거미학자들에 의해 생활 형태(Tubitelae, Orbitelae, Saltigradae와 Citigradae), 발톱의 수(Dionycha, Trionycha), 체판(cribellum)의 유무(Cribellatae, Ecribellatae), 위턱(paraxial, diaxial), 폐서(1 또는 2쌍) 그리고 실젖에 분포하는 실샘의 수 등에 의한 형질을 바탕으로 분류학적 재정리가 이루어지고 있다.

거미목의 전체 종 목록(species catalogue)은 다음과 같은 4시기로 나뉘어 정리되었다.

- 1) 1757~1939년 : Bonnet(1945~1961)과 Roe-wer(1939, 1942)
- 2) 1940~1980년 : Brignoli(1983)
- 3) 1981~1987, 1988~1991, 1992~1995, 1996~1999 : Platnick(1989, 1994, 1997, 2002)
- 4) 2000~2005년 : Platnick(2000~2005)

Platnick은 거미목 전체 종 목록을 인터넷에 올려놓아 전 세계의 학자들이 쉽게 이용할 수 있도록 하였다 (<http://research.amnh.org/entomology/spiders/catalog/INTRO3.html>).

Platnick에 의하면 2004년 현재까지 전 세계적으로 110과 3565속 38663종이 기재되어 있는 것으로 알려져 있으며, 그 중 종수가 많은 몇 개 과를 살펴보면 아래와 같다.

- 짙충거미과(Salticidae, 544속 5001종)
- 접시거미과(Linyphiidae, 562속, 4263종)

- 왕거미과(Araneidae, 163속, 2823종)
- 늑대거미과(Lycosidae, 102속, 2288종)
- 꼬마거미과(Theridiidae, 81속, 2212종)
- 계거미과(Thomisidae, 164속, 2031종)
- 수리거미과(Gnaphosidae, 113속, 1963종)

### 2.2 계통유연관계 및 생태학적 진화의 특징

거미목은 여러 가지의 복잡하고 독특한 공유파생형질들(실젖, 실샘, 독샘, 정자 전달 기관으로 변형된 수컷의 수염기관, 복부 체질의 소실 등)에 의해 단일계통 분류군으로 알려져 있다. 그리고 거미목은 크게 세 그룹들(Mesothelae, Mygalomorphae, Araneomorphae)로 구성되어 있다. 이들 가운데 여러 가지 특징들(말단 실젖의 위치, 융합된 신경절, 체복부 체질의 퇴화 등)에 근거하여 대부분 원실젖거미류(Mygalomorphae)와 새실젖거미류(Araneomorphae)를 뒷실젖거미아목(Opisthothelae)의 하목(infraorder)으로 인정하고 있다.<sup>2</sup> 약 90% 이상의 거미종들이 새실젖거미류에 속하는 것으로 알려져 있다.<sup>3</sup>

현재 한국에는 뒷실젖거미류만 보고되어 있고 이 중 원실젖거미류는 땅거미과(Atypidae) 4종뿐이며 나머지는 모두 새실젖거미류이다(그림 1). 때때로 후자의 경우 진정거미류로 부르기도 한다.

이들 거미류의 생태학적 진화의 특징은 다음과 같다.

1) 거미류는 약 4억년전에 출현하였으며 초기 형태는 두흉부의 6개와 복부의 12개 모두 18개의 체절로 구성되었으며, 제 8절에 생식기가 있었고 제 8, 9절에는 호흡기가 각각 한 쌍씩 있었고 제 10, 11절에는 실젖이 각 4개씩 있었다. 진화 과정 중 머리가슴 부분의 체절은 융합되어 1개의 배갑으로 덮였고 제8절은 변하여 배자루가 되었으며 복부의 체절은 소실되었으며, 현재 가운데실젖거미아목(Mesothelae)의 일부 거미류에 그 흔적이 남아 있다.

2) 생태학적으로는 다양한 서식처에 적응한 것을 보여주는데, 오랜 진화의 과정을 거쳐 물속, 낙엽층, 토양 틈, 땅속, 동굴, 배회성, 공중 등에 현재의 거미류들이 서식하고 있다.

3) 수중생활을 제외하고 대부분의 거미류들은 낙엽층(토양 틈 포함)에 서식하며, 현재에도 낙엽층 생활을 하는 거미류를 관찰하여 거미류의 진화과정을 추적해 볼 수가 있다.

4) 땅속에서 서식하던 거미류는 두 방향으로 진화를 하였는데 그 하나가 공주거미과(Segestriidae) 형태이고 다른 하나는 긴꼬리거미과(Dipluridae) 형태이다. 후자의 경우, 다시 가계거미과(Ageleneidae) 형태로

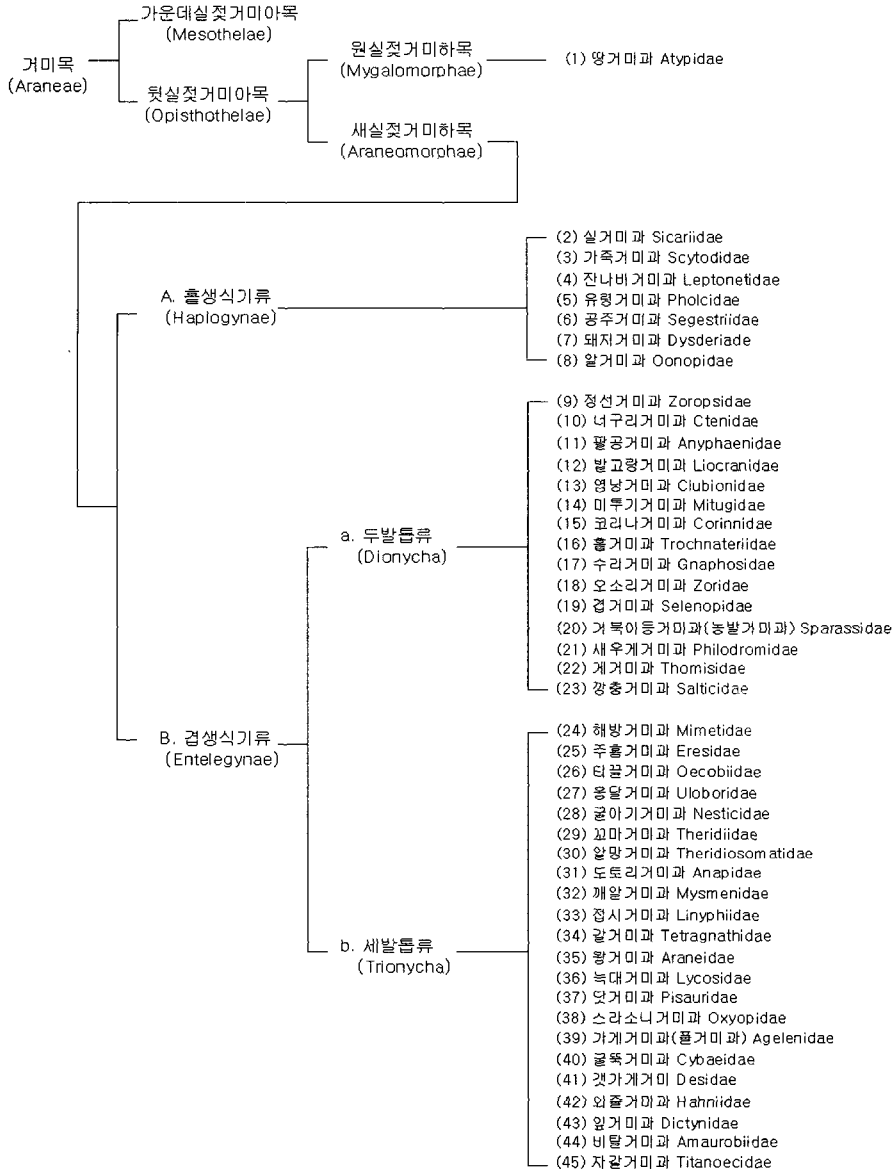


그림 1. 한국산 거미목의 분류체계.

진화하였다고 사료된다. 또 땅속에서 공중 생활로 이동하는데 역시 두 가지 경로가 있는데 그 첫 번째가 가 거미과처럼 진화한 것이고 다른 하나는 왕거미과 (Araneidae)처럼 진화한 것이다.

5) 거미줄은 처음에는 거처용이었기 때문에 끈끈한 점액성이 없었는데, 후에 진화하여 먹이포획용인 끈끈한 점액성이 되었다.

6) 상사적응진화 때문에 거미류의 계통적인 체계를 확정하는데 어려움이 많다(예: 거미 그물의 활용, 물거

미의 생활사, 잔나비거미류의 눈 등).

### 2.3 거미의 특징

흔히 사람들은 거미는 곤충에 속한다고 알고 있다. 그러나 거미는 곤충과 전혀 다르다. 곤충의 몸은 머리, 가슴, 배가 서로 잘 구분되어 있으며 3쌍의 다리와 더듬이를 가지고 있다. 그러나 거미는 머리와 가슴이 잘 분화되어 있지 않고 두흉부(prosoma), 복부(opisthosoma)의 두 부분으로 되어있고 그 사이는 가느다란 배자루(pedicel)에 의해 연결되어 있다. 또한 곤충

과는 달리 거미의 다리 수는 4쌍이며 곤충에 있는 더듬이 대신 수염기관(촉지, palps)이 있어서 외부자극을 인식한다. 거미 다리는 7마디로 되어 있으며 발끝 마디에는 2~3개의 발톱이 있다. 눈은 겹눈은 없고 홑눈만 8개(퇴화되어 0, 1, 2, 4, 6개가 있는 것도 있다)이며, 종에 따라 다양한 눈의 배열은 분류의 중요한 Key가 된다. 실크를 뽑아내는 기관인 실젖은 곤충은 없으나 거미 복부 다리가 변한 것으로 보통 3쌍이 있으며, 실샘에 연결되어 있는 관이다. 실젖은 진화과정 중 복부에서 항문쪽으로 이동해 갔다. 대부분의 거미는 먹이를 마취시키는 독을 보관하는 독샘을 가지고 있다(그림 2).

## 2.4 거미의 일생

### 2.4.1 거미의 생활공간

1) 땅속에 사는 거미: 땅거미, 문닫이거미 등 땅속에 사는 거미는 거미들 중에서도 원시적인 거미가 많으며, 원시적인 형태도 많이 남아있다.

2) 물속에 사는 거미: 물속에 사는 거미는 물거미 하나만 알려져 있다. 물풀을 거미줄로 엮어매어 종 모양의 집을 짓는다. 그 속에 공기를 채워 놓고 살며, 수서 곤충을 잡아먹는다. 연천군 은대리에 국내 유일의 물거미 서식지가 알려져 있다.

3) 땅 위에 사는 거미: 늑대거미, 유령거미, 꼬마거미, 수리거미 등이 있고, 맑은 곳을 좋아하는 거미는 왕거미, 강충거미, 계거미 등이 있다.

4) 낙엽 층과 동굴에 사는 거미: 잔나비거미, 두더지거미, 굴아기거미 등은 두터운 낙엽층과 동굴내부에서 관찰할 수 있는 거미들이다.

### 2.4.2 짝짓기 및 산란

거미는 모두 자웅이체이다. 다시 말해 그들은 성적으로 분리되어 있다. 또한 몇 가지(예: *Argyroneta*)를 제외하곤 대부분 암컷이 수컷보다 크다. 작은 수거미는 매우 민첩하고 실을 이용하여 어린 거미처럼 날 수도 있다. 또한 작은 체구 덕분에 수거미는 암컷보다 성체가 될 때까지 탈피도 적게 하고, 더 빨리 성체가 되며 수명도 짧다. 마지막 탈피 후 수컷은 뚜렷한 두터운 수염기관(palpal tarsi)을 갖게 되고 따라서 암컷(촉지)과 쉽게 구별이 된다(그림 2).

대부분의 거미들은 짝짓기에 앞서 구애행동을 한다. 구애(courtship)는 짝짓기를 위한 의식화된 행동이라고 할 수 있다. 암거미는 수거미와 첫 대면에서 좀 수동적이기 때문에 교미가 이루어지기 전에 충분히 자극시킬 필요가 있다. 거의 모든 거미종들은 그들 고유의 구애행동을 발전시켜 왔기 때문에 이들 행동에 대해 보편적인 정의를 내리기는 어렵지만 최소한 3개의 범주로 나누어 볼 수 있다. 먼저 수컷이 앞다리로 암컷과 간단한 상호작용을 교환하는 경우, 일부 계거미들은 짝짓기 전에 약간의 거미줄로 암컷을 묶는 경우도 있다. 둘째, 수컷의 구애행동을 자극하기 위한 암컷의 페로몬이 요구되는 경우, 이는 수컷으로 하여금 암컷의 거미집으로 들어오게 하거나 수컷의 신체접촉을 유발한다. 셋째, 거미줄과 화학적 자극이 요구된 복잡한 시각적 신호들에 의해 구애행동이 이루어지는 경우이다. 따라서 암컷 앞에서 구혼 춤을 추는 행위, 암컷의 그물에게 가서 거미줄을 다리로 뒹겨서 반응을 기다리거나, 암컷에게 먹이를 선물하는 행동을 하기도 한다(그림 3). 이

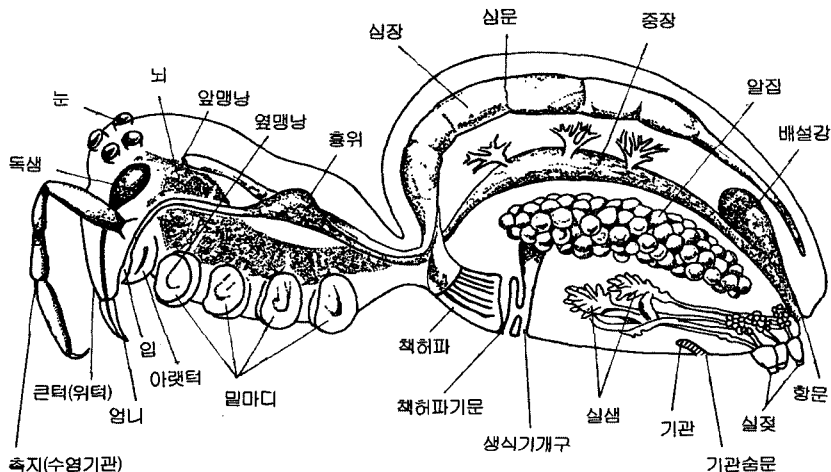


그림 2. 거미의 측면 구조.

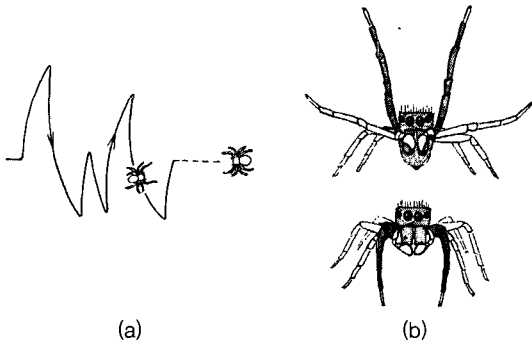


그림 3. (a) 암컷 앞에서 수컷 늑대거미의 지그재그 춤, (b) 암컷 늑대거미의 구애 춤 반응.

러한 구애행동 후에 짝짓기가 끝나면 수컷이 암컷에게 잡혀 먹히는 경우는 거의 없다.<sup>4</sup>

수거미들은 1차 교미기관이 없다. 대신에 거미만이 가지고 있는 수염기관(palps)이 정자를 옮기도록 변형되었고, 정액은 암컷의 정자 저장소에 놓여진다. 수정은 알을 낳기 바로 전에 이루어진다. 정자 저장소(seminal receptacles)에 있던 정액은 알이 자궁 외도를 지날 때 방출된다. 교미 후 암컷은 몇 주 안에 수십개에서 수 천개의 알을 낳는다. 산란 후 알을 실로 싸서 다양한 알주머니(cocoon)를 만든다. 알주머니는 주로 처마 밑, 나무 둥지, 나뭇잎, 바위 틈, 돌 밑 등 안전한 곳에 만든다. 늑대거미(wolf spider)는 어미의 등에서 새끼거미 돌보기를 한다. 특히 모성애가 강한 염낭거미는 알주머니 속에 들어가 앞에서 깨어난 새끼들의 먹이가 되기도 한다.

#### 2.4.3 부화 및 유사비행

갓 부화한 어린 거미들은 알주머니 속에서 1~2번의 허물을 벗은 후 스스로 알주머니를 찢고 밖으로 나오게 된다. 부화한 어린 거미들은 처음에는 어미 곁에서 잠시 동안 살다가 각각 흩어져 살게 된다. 거미는 유사비행(ballooning)이라는 특이한 분산법에 의해 지구상 도처에 퍼져있어 거미가 살지 않는 곳이 없을 정도로 광범위하게 서식처를 갖게 되었다(그림 4). 수 km 상공에서도 유사비행중인 새끼거미가 채집되기도 하며, 이는 서로간의 과도한 경쟁을 피하고 철저히 독립생활을 하는 거미의 생태적 특징으로 볼 수 있다.

#### 2.4.4 먹이 및 물질대사

거미는 거미줄에 걸린 먹이를 우선 자신의 엄니에 있는 독침으로 마취시킨 후 재빨리 싸개띠(swathing band)라는 거미줄로 꿰뚫어 묶어 둔다. 이렇게 하면 먹이는 살아있는 상태로 거미줄에 매달린다. 거미는 반드시 살아있는 생물만을 먹이로 하며 죽은 곤충을 거

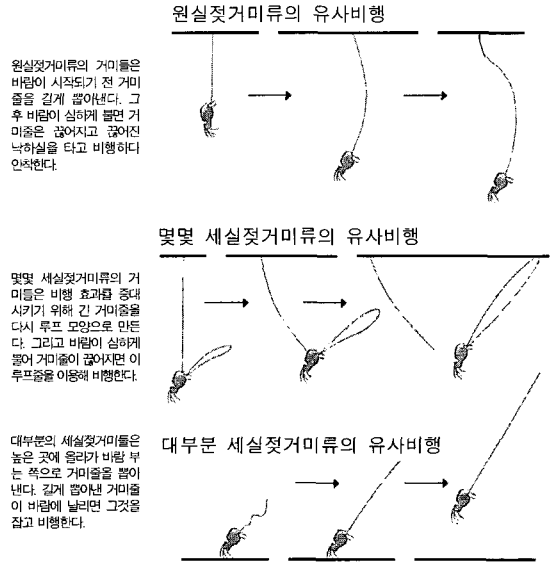
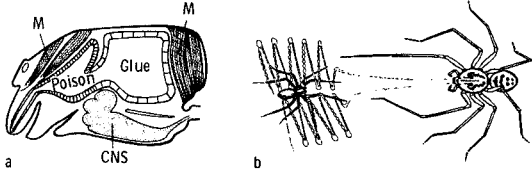


그림 4. 거미 유사비행(ballooning)의 3가지 형태.

미줄에 달아 놓으면 먹지 않는다. 또한 피식자인 먹이가 거미줄에 걸린 상태를 거미줄의 진동을 통해 정확히 구분하여 접근하며, 포식자나 사람이 줄을 흔들면 안전실(securing thread)을 내어 재빨리 도망간다. 이는 거미줄 가까이서 소리굽쇠를 이용한 실험으로 거미가 피식자에 대해 반응하는 거미줄의 진동수를 알아볼 수 있다.

거미는 먹이에 소화액을 넣은 후 소화된 액상 먹이는 인두와 흡위(sucking stomach)의 근육운동에 의해 열린 좁은 입을 통해 빨아들인다. 먹이의 여파는 개구부 주변의 많은 털과 평평한 인두에서 일어난다. 오직 1 μm보다 작은 입자만이 인두의 필터를 통과할 수 있으며 큰 것들은 걸리게 된다. 이러한 양분은 거미줄을 만드는데도 사용된다. 검은 과부거미를 대상으로 한 실험을 보면, 성체거미들에게 먹이를 전혀 주지 않고도 200일 동안 생존하였다.<sup>5</sup> 대사산물의 배설은 말피기세관(Malpighian tubules)을 통해서 이루어진다. 거미는 다른 무척추동물과 마찬가지로 개방혈관계를 가지고 있으며, 헤모림프는 헤모시아닌이라는 구리를 포함하는 호흡색소를 가지고 있기 때문에 청색을 띤다. 대부분의 거미들은 전혀 다른 두 종류의 호흡기관을 가지고 있다. 하나는 한 쌍의 책허파(book lung)이고 몸 전체에 분포된 한 쌍 또는 두 쌍의 기관(tubular tracheae)이다. 원시적인 거미(Mesothelae, Orthognatha, Hyphochilidae)는 책허파만 가지고 있으나, 진화된 거미(Labidognata)들은 책허파와 기관을 가지고 있다.<sup>6</sup>

#### 2.4.4 독거미(Poisonous Spider)



**그림 5.** (a) 가죽거미(*Scytodes*) 두흉부 단면, 앞부분의 큰 독샘과 끈끈액 물질을 합성하는 뒷부분으로 되어 있다. M (근육층), CNS(중추신경계) (b) 가죽거미가 침을 뱉어 먹이를 포획하는 모식도(1~2 cm거리, 속도 140 m/s).

응달거미과(Uloboridae)를 제외한 모든 거미들은 두흉부 안쪽에 한 쌍의 독샘을 가지고 있다. 발달된 근육층이 독샘 주변을 싸고 있으며 구동신경에 의한 근수축으로 독이 재빨리 방출된다. 거미독은 화학적인 혼합물로 여러 가지 서로 다른 물질들이 들어있다. 거기에는 대부분 신경단백질(분자량 5,000~13,000)들이 섞여있고 생합성 아민계열과 단백질 분해효소들도 들어있다.<sup>7</sup> 모든 거미들의 독은 먹이에 대해 최소한의 독성을 나타낸다. 하지만 4만여종의 거미들 중 인간에게 위험스런 독을 가지고 있는 것은 20~30종에 불과하다.<sup>8</sup> 가장 신기한 것은 침 뱉는 가죽거미(*Scytodes*)에서 발견된다(그림 5). 마루 아래나 재래식화장실 같은 후미진 곳에서 발견되는 가죽거미는 재빨리 점착성 침을 뱉어 먹이를 잡고 독살되기 전에 지면에 고정시킨다.

우리나라에는 독거미가 전혀 없다. 또한 자극을 받을 지라도 물려고 하는 거미는 거의 없다. 세계 대부분에서 발견되는 어리염낭거미속(*Chiracanthium*)에게 물리면 가벼운 열이 나고 물린 부위의 조직이 손상되지만 이런 증상은 2~3일 안에 사라진다. 위험한 독거미를 예시하면, 미국에는 꼬마거미과인 검은과부거미(*Latrodectus mactans*)와 실거미과인 갈색거미(*Loxosceles reclusa*), 남미의 브라질늑대거미(*Lycosa raptor*), 브라질거미(*Phoneutria fera*), 호주의 깔대기 그물을 치는 *Atrax robustus* 등은 위험스러울 정도로 독성은 있지만 생명에는 지장이 없다.<sup>9</sup>

### 3. 거미실크

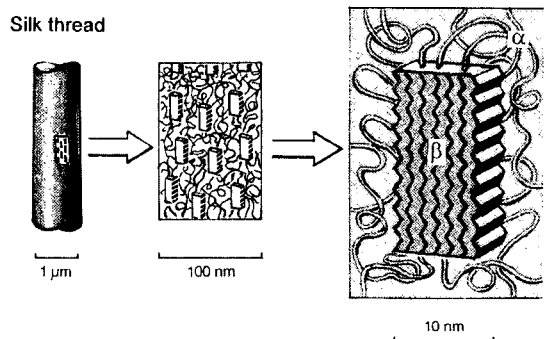
거미줄의 진화는 곤충이 날개를 가지게 된 것과 척추동물의 온혈성의 진화와 비견될만한 중요한 사건이다.<sup>10</sup> 거미의 가장 두드러진 특징 중 하나는 단백질 성분의 줄을 만들 수 있는 능력이다. 몇몇 곤충(예

를 들면 일부 나비류, 벌류와 풀잠자리류) 역시 줄을 만들 수 있는 능력이 있으나, 이 능력은 번데기가 되기 직전 고치를 만들 때와 같이 대개 전체 생활사의 일부분에 한정되어 나타난다. 반면에, 모든 거미들은 실젖을 가지고 있고, 이를 이용하여 알주머니를 만들 뿐만 아니라, 그물을 만들기도 한다.

#### 3.1 거미실크(Spider Silk)

거미줄은 실젖의 분비산물이다. 서로 다른 실젖은 다른 종류의 거미줄을 생산해내지만, 모든 거미줄은 단백질 성분이고, 피브로인(fibroin)이라는 단백질로 구성된다. 무당거미속(*Nephila*)에 속하는 거미가 만들어내는 피브로인의 분자량은 약 30,000정도이다.<sup>11</sup> 이 수치는 실젖내의 액상의 거미줄을 언급한 것이다; 고형화된 거미줄의 분자량은 200,000~300,000 정도로 액상에 비해 약 10여배 더 높다. 물에 녹아있는 액체상태에서 물에 녹지 않는 고체상태의 거미줄로 전환되는 과정은 정확히 알려지지 않고 있지만, 폴리펩티드 사슬의 분자가(분자내의 수소 결합으로 인해) 물에 잘 녹는 알파배열에서(분자 간 수소결합이 존재하는 베타 병풍구조로 인해) 물에 잘 녹지 않는 베타배열로 변하는 것은 명백하다. 누에고치로부터 액상의 알파-피브로인 단백질이 뽑혀져 나오면서 베타배열로 변형된다는 것은 잘 알려져 있다.

거미줄을 자세히 분석해보면 각각의 줄은 실제로는 알파사슬과 베타병풍구조가 혼합되었다(그림 6). 병풍구조는 아코디언과 같은 형태로 쌓여있어서 단백질 결정을 형성한다; 이것들은 느슨하게 배열된 아미노산의 기질 사이에 끼어들어가 있다.<sup>12</sup> 단백질 결정이 거미줄의 높은 강도를 결정하는 반면에 무정형의 기질은 고무와 같은 탄력성을 나타내게 한다.<sup>13</sup> 거미줄의 강도와 탄력성은 또한 수분함량에 의해서도 결정된다.<sup>14</sup> 수분이 빠진 거미줄은 딱딱한 성질을 가지며,



**그림 6.** 거미줄의 구조.

그 길이의 30%이상 신장이 되면 끊어져 버린다. 수분을 포함하는 거미줄은 매우 점성이 높고 탄력성이 있으며 잡아당기기 전의 길이보다 300%이상 늘어날 수 있다. 일반적으로 건조하고 딱딱한 거미줄은 기본 골격을 구성하는데 이용되며, 수분을 포함하는 탄력성 있는 거미줄은 먹이를 잡는데 이용된다.<sup>15</sup>

거미줄의 점성은 나일론에 약간 미치지 못하지만, 탄력성은 두 배 정도 높다(31% 대 16%). 다른 종류의 천연물 또는 합성물과는 구분되는 독특한 특징을 거미줄은 가지고 있다. 인장강도의 측면에서 거미줄은 뼈, 힘줄 또는 셀룰로오스보다 우수하며, 가장 좋은 강철의 약 절반 정도의 강도를 가지고 있다(그림 7). 좋은 실례로서 소위 절단길이(breaking length)를 계산하는 것이다: 거미줄 중 생명줄(dragline)은 약 80 km의 길이까지 끊어지지 않고 버틸 수 있다.<sup>16</sup>

거미줄은 아미노산의 조성면에서 매우 독특한 단백질이다(표 1). 매우 짧은 작용기를 가진 아미노산들(알라닌, 글리신, 세린)이 전체 피브로인 단백질의 50~60%를 구성하고 있다. 거미줄이 가지는 높은 탄력성은 알파나선구조를 형성하는 Alanine이 풍부한 부분의 형성과 분열과정에 기인한 것으로 여겨진다. 최근의 생화학적 조사에서 무당거미(*Nephila*)의 생명줄은 실체로 여러 종류의 단백질들로 구성되었다는 것이 알

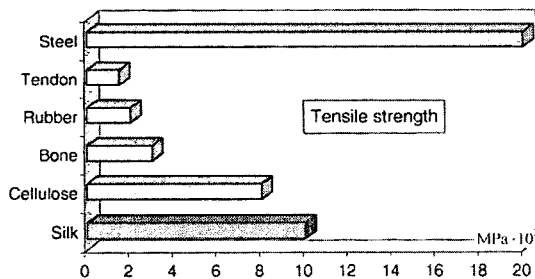


그림 7. 여러 물질의 인장강도.

표 1. 왕거미(*Araneus diadematus*)의 거미줄의 아미노산 조성

Amino Acid	Total Web	틀(frame) (병상샘)	알집 (cocoon) (관상샘)	부착판 (Attachment Disc) (배양상샘)
Alanine	27%	33%	25%	29%
Glycine	20%	24%	12%	25%
Serine	5%	6%	19%	5%
Glutamine	9%	18%	14%	15%
Proline	13%	2%	4%	5%

려졌으며, 이들의 유전자를 분석하는 최초의 시도가 진행 중에 있다.

거미줄의 단백질들이 일련의 거미그물 형성과정 동안 대체적으로 보존된다는 점은 매우 주목할 만하다. 새로운 거미그물을 만들기 전에 왕거미(*Araneus*) 속의 거미들은 오래된 거미줄을 먹는다. 오래된 거미줄을 알라닌에 [<sup>3</sup>H]로 방사선 표지를 시켜보았더니, 약 80~90%의 경우에서 새로운 거미줄에서 방사능이 검출되었다. 이러한 현상이 겨우 30분 후에 발생하였기 때문에, 오래된 거미그물의 거미줄이 소화효소에 의해 완벽하게 분해되지 않거나, 실샘 상피세포에 의해 너무 빨리 흡수되어 몸 단백질(body protein)을 형성하는데 거의 사용되지 않는 것으로 여겨진다. 어떠한 경우이든 오래된 거미줄은 신속히 재활용되고 있으며 다른 몸 단백질들은 거의 거미줄 합성에 요구되지 않는다는 것을 의미한다.

### 3.2 실샘(Silk Glands)

모든 실샘은 복부의 내부에 위치하고 있다. 각각의 실샘들은 특정한 실젯(spinneret)과 연결되어 외부와 통한다. 원시적인 거미류(Orthognatha)는 가장 단순한 형태의 실샘을 가지는데 오직 한 종류의 실샘만이 있다.<sup>17</sup> 하지만, 배회성 거미에서는 적어도 서로 다른 네 종류의 실샘이 관찰되었으며, 매우 발달된 원형그물을 치는 거미류(orb weaver)에는 7~8개 정도의 많은 종류의 실샘이 존재한다. 형태학적, 조직학적으로 실샘을 구분하면 다음과 같다: 병상샘(ampullate glands), 포도상샘(aciniform glands), 관상샘(tubuliform gland), 수상샘(aggregate glands), 양배상샘(piriform gland), 편상샘(flagelliform gland), 엽상샘(coronata gland) 등이다(그림 8). 각 형태의

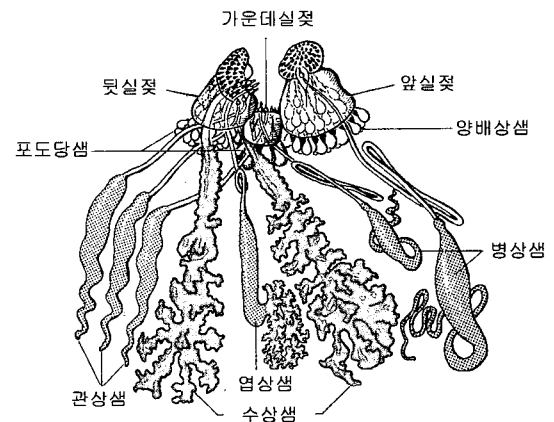


그림 8. 무당거미(*Nephila*)의 실샘과 실젯 기구.

실샘에서는 서로 다른 성질을 가지는 거미줄이 분비된다(그림 11).

### 3.2.1 구조

각각의 실샘은 독특한 샘(선)세포들과 가는 도관(duct)으로 구성된다. 대부분의 실샘은 배(pear)모양을 띠고 있으며, 한 층의 상피세포로 구성되어 있다. 액상의 거미줄은 실샘의 관강(glandular lumen)으로 단백질이 작은 방울형태로 분비가 되는 것이며, 실샘의 중간부분에 위치한 주머니에 저장된다. 관강을 통한 사출은 거미의 복부 체액의 압력이 증가하면서 야기되는데, 때로는 뒷다리에 위치한 실젖으로부터 분비가 되는 경우도 있다. 액상의 거미줄이 고체상의 거미줄로 변화하는 것은 비가역적 반응이다. 피브로인 단백질이 서로 평행을 이룰 수 있도록 약간의 장력을 가해 지지만 한다면, 예를 들어, 공기 중의 바람에 노출되는 것만으로 이러한 변화가 일어난다.

독샘과는 다르게 실샘은 분비를 위한 근육 구조를 가지고 있지 않다. 원형거미줄을 만드는 거미류에서는 실젖의 바로 앞쪽에 있는 조절판(valve)을 통해 분출되는 거미줄의 양이 결정된다(그림 9). 조절판의 지름은 근육의 움직임에 의해 조절이 가능하며, 이를 통해 거미줄의 굵기를 결정한다.<sup>18</sup> 대부분의 거미줄의 지름은 겨우 몇 마이크로미터인데, 많은 거미줄이 1 μm 미만이다. 원형거미줄을 생산하는 거미류의 생명줄(dragline)은 2 μm보다 가는 두께를 가지고 있다. 또한 거미줄의 직경은 거미의 무게에 따라 좌우된다. 예를 들어 체중이 많이 나가는 거미일수록 거미줄의 직경은 더욱 커진다. 매우 가는 거미줄로 가장 잘 알려진 예는 체판거미류(cribellate spiders)가 가지고 있는 먹이 포획용 거미줄이다. 이는 각각의 거미줄이 0.01~0.02 μm에 불과하다.

### 3.2.2 생리적 특성

가장 연구가 많이 된 실샘은 병상샘이다. 이들은 실

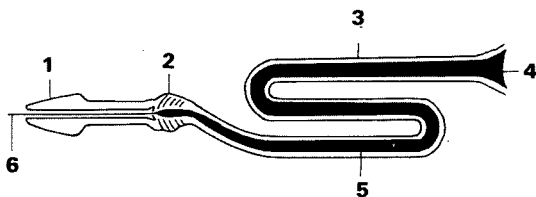


그림 9. 왕거미류(*Araneus*)의 견사 생성 과정의 모식도 실젖에서 거미줄로 전환되는 것은 조절판(valve)에서 일어난다. 실관 내강에 실액이 채워지면 실액은 실관의 끝에서야 겔(gel)상태로 변하여 거미줄로 된다. 1. 실관 2. 조절판 3. 배출관 4. 실샘 5. 실액 6. 거미줄.

샘의 전형적인 예로 많이 인용된다. 병상샘은 관모양의 꼬리부위, 주머니모양의 중간부분과 가느다란 꼬리모양의 도관으로 구성된다(그림 8). 방사선동위원소를 이용한 실험 결과 거미줄의 합성은 꼬리부위에서만 일어나고, 주머니모양의 중간부분은 합성된 액상 거미줄의 저장장소의 기능을 한다. 분비세포들은 전형적인 원주형의 상피세포인데 기저부위에 핵이 위치하고, 말단 부위에 분비과립(secretory granules)들이 밀집되어 있다. 분비과립들은 단백질로 구성되어 있고 세포내 소기관인 소포체에 의해 만들어진다; 이 분비세포들은 골지체를 가지지 않는다.<sup>19</sup> 분비과립은 말단부위의 세포막으로 이동하여 관강(glandular lumen)에 그 내용물을 배출한다. 수분의 재흡수는 아마도 긴 도관 내부에서 일어날 것으로 생각된다.

병상샘으로부터 뺀어 나온 거미줄은 생명줄로 이용된다. 많은 거미류에서 이러한 생명줄은 거미가 지나간 자리에 지속적으로 남아있다. 생명줄은 양배상샘이 분비하는 거미줄에 의해 그 중간 중간 바닥에 고정될 수 있다. 이것은 부착반(attachment disc)의 형태로 나타나는 데 이것은 매우 작은 흰색의 점으로 보인다. 병상선은 생명줄외에도 거미집의 축을 이루는 거미줄을 만들기도 하고, 어린 거미에서는 유사비행을 위한 거미줄을 생산하기도 한다.

실샘의 저장소가 비게 되면 몇 분 이내에 피브로인 단백질의 새로운 합성이 꼬리부위에서 발생하게 된다. 많은 실샘에서 화학적으로 서로 다른 물질을 분비하는 두 종류의 세포가 있는 것처럼 보인다.<sup>20</sup> 한 종류의 세포는 오직 피브로인만 합성하고, 다른 종류에서는 거미줄의 끈적끈적한 성질을 나타내게 해주는 점액질의 다당류를 만들어 낸다.

끈적끈적한 포획용 거미줄은 지난 몇 년 동안 면밀히 연구되었다(그림 10). 간단히 말해 점액성분의 코

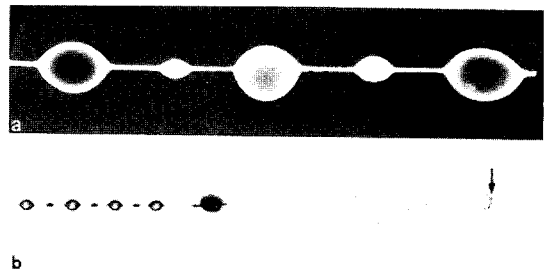


그림 10. (a) 왕거미(*Araneus diadematus*)의 점착성 가로실의 세부구조(점액질 코팅 형태의 방울이 5~10 μm 간격으로 배치됨). (b) 점착성 거미줄이 공중에 매달린 형태(왼쪽)와 유리표면에 접촉한 형태(오른쪽).



팅은 점착 기능뿐만 아니라 포획용 거미줄이 가지는 높은 탄력성을 유지시키기 위한 수분의 저장소로 이용된다. 포획용 거미줄이 만들어지게 될 때 두 개의 중심을 이루는 섬유가 병상샘과 연결된 실관(spigots)에서 분비되게 되는데 이것은 곧바로 이웃의 엽상샘에서 분비되는 점액질 성분으로 덮인다. 이 코팅은 대기 중의 수분을 흡수하게 되고 곧 작은 방울을 형성한다. 화학적 분석 결과 이 방울은 당단백질(대부분 아미노산)이 유기물과 무기염( $KNO_3$ ,  $KH_2PO_4$ )의 수용액에 의해 둘러 싸여 형성된 것이다. 당단백질은 점착에 이용되며, 무기염 성분은 수분을 흡수하는 기능을 한다. 물 분자가 중심부위의 섬유에 흡수되면 섬유성분은 유연하게 되어 엄청난 탄력성을 지니게 된다. 점착성의 방울은 작은 권양기로서 작용하여 중심을 형성하는 섬유를 당겨주어 포획용 거미줄을 팽팽하게 유지시켜주는 기능을 한다.<sup>21</sup>

오래되고, 버려진 거미그물이 곰팡이나 박테리아에 의해 공격받지 않는다는 사실은 놀랄만한 일이다. 초기의 화학적 조사를 통해 포획용 거미줄의 점액성분이 산성을 띠며(pH 4) 이로 인해 박테리아에 의한 부패에 저항할 수 있다는 것이 밝혀졌다. 거미그물의 축을 형성하는 거미줄은 인산의 분해로 생성되는 수소이온에 의해 박테리아로부터 보호된다. 하지만 수소이온에 의한 산성화는 단백질을 변성시키고 점성을 없애버린다. 하지만 이러한 일은 일어나지 않기 때문에 질산이온이 아마도 단백질의 변성을 막아줄 것이라고 추측된다.

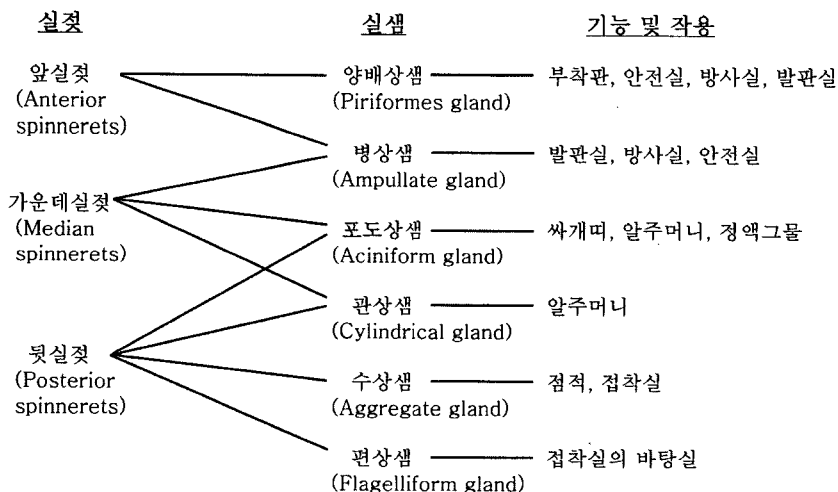
### 3.3 실젯(spinnerets)

실젯(spinneret)은 배다리(abdominal leg)가 변해서 된 것으로서 새끼손가락 모양을 하고 원실젯거미아목과 같은 원시적인 거미의 형태의 거미에서는 항문에서 멀리 떨어진 복부 아랫면에 위치하지만 차츰 진화함에 따라 뒤로 옮겨가서 보통거미에서는 복부 끝 항문 앞에 위치한다. 따라서 진화된 거미일수록 항문과 실젯 사이의 거리가 가깝다.

실젯은 보통 3쌍을 가지고 있으나 1쌍, 2쌍, 4쌍 또는 7개를 가지고 있는 것도 있다. 3쌍인 경우 그 위치에 따라 앞실젯, 가운데실젯, 뒷실젯이라 부르고 있다.

**그림 11**은 각 실젯의 분비와 관련된 실샘의 기능 및 작용을 나타낸 것이다. 이 자료에서 보는 바와 같이 각 거미줄의 쓰임새에 따라 분비하는 실샘과 방출되는 실젯이 서로 정교하게 연결되어 있음을 알 수 있다.

외줄거미과의 실젯은 가로 1줄로 늘어서 있다. 뒷실젯은 중에 따라 2~4개의 마디로 되고 앞실젯은 거의 모두가 2개의 마디로 이루어져 있다. 가운데 실젯은 대부분이 1개의 마디로 되어 가장 작고 보통 앞 뒤 실젯에 가려져 있어 이것을 비집지 않으면 잘 보이지 않는다. **그림 12**에서 앞실젯(A)은 세 부분, 뒷실젯(P)은 두 부분으로 나뉘어 있으며 가운데실젯(M)은 하나로 되어 있다. 실관의 모습이 다음을 통하여 4개의 서로 다른 실샘이 있음을 알 수 있다. 각 실젯의 방적면(spinning field)에는 몸속의 실샘과 연결하여 직접 실을 뽑아내는 다수의 작은 대롱이 늘어서 있다. 이 대롱이 실관(spinning tube)이며 보통 2마디로 되어 있다. 방적면에 늘어진 실관의 수는 종이나 암수에 따라 다르다. 보통 1개의 방적면에 100개 이상의 실관을 갖



**그림 11.** 실젯의 분비와 실샘의 기능 및 작용.

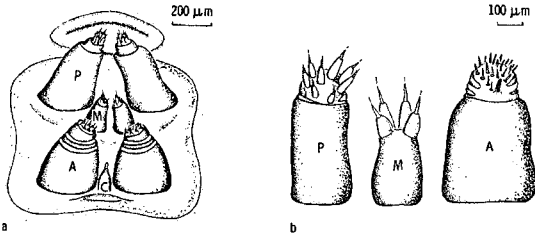


그림 12. 공주거미과 일종(*Segestria senoculata*)의 실젓 모식도.

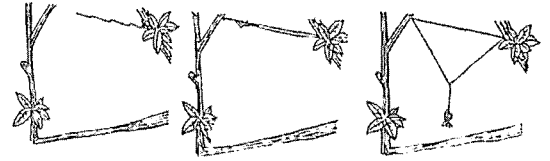
고 있으며 1마리의 거미가 갖는 실판의 수는 1,000~2,000개에 이른다. 실판은 그 형태에 따라 굵고 수가 적은 큰 실판(spigot)과 가늘고 수가 많은 작은 실판(spool)의 2 종류로 분류된다. 다시 큰 실판은 4가지로 작은 실판은 2가지의 형태적인 분화로 세분한다. 실판의 이와 같은 형태적인 분화는 그 기능과 깊은 관계가 있어 제각기 몸속의 다른 종류의 실샘과 연결하여 용도가 다른 거미실을 뿜어낸다. 그러나 실판의 종류와 거거서 뿜어내는 실의 종류와의 상관관계에 대해서는 아직 제대로 규명되어 있지 않다.<sup>22</sup>

### 3.4 거미그물 치기

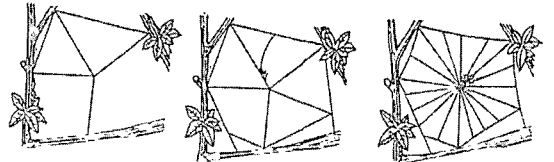
거미 모두는 거미줄을 만들 수 있다. 정주성 거미의 경우 거미줄의 궁극적인 목적은 먹이를 포획하기 위한 것이다. 그물의 기하학적 구조는 덫으로써 높은 경제성과 효율성을 갖는다. 거미는 자기 중량의 1/500 정도로 줄을 칠 수 있으며 원형그물의 경우 0.1~0.5 mg의 실크, 즉 최소한의 물량으로 20~30분 정도의 시간이 그물을 완성하는데 소요된다.

단독생활을 하는 거미는 다른 거미들이 거미줄을 치는 모습을 보지 않아도 오랫동안 발전시켜온 유전적 본능에 의해 거미 종별로 독특한 거미그물을 친다. 거미줄의 형태를 결정하는 요소는 몸체나 4쌍의 다리, 다리마디, 발톱, 실젓의 수와 길이, 위치, 또는 거미의 생태학적 특징, 주위 환경 등의 차이에 의해 다양한 형태의 그물을 만든다. 꼬리거미나 손짓거미는 점착성이 강한 단 몇 가닥의 거미줄을 간단하게 공간에 쳐놓고 먹이를 포획하며, 주변에서 흔히 관찰되는 왕거미류나 무당거미, 긴호랑거미 등이 치는 그물은 기하학적인 원형그물 형태이다.

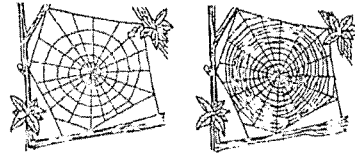
대표적인 원형그물은 2,000여종 이상이 있기 때문에 그 구조적 다양성을 모두 열거할 수는 없지만 원형그물 치기는 다음 세 단계로 나누어진다(그림 13). (1) 뼈대와 바퀴살 치기, (2) 부수적인 spiral 치기, (3) 점착성 또는 catching spiral 치기이다. 그물 중심부에서



기초실을 외중에 날려 보낸다. 다리실을 타고 별도의 거미줄을 만들어 건너편으로 가 기초실을 당긴다. 거미줄 중앙부에서 다리실 아래로 떨어져 Y자형을 거미줄을 만든다.



중앙부로 올라가 주변물질에 방사실을 쳐서 고정시킨다. 외곽부에 테두리 거미줄을 친다. 중심부와 외곽부의 테두리 거미줄을 연결시켜 방사실을 만든다.



중심부에서 외곽부로 돌면서 둥근 그물을 쳐서 완성시킨다. 중심부에 바퀴살이 있는 경우 바퀴살을 촘촘히 쳐서 완성한다.

그림 13. 왕거미과의 원형그물 치는 순서.

전환되어진 단단한 바퀴살의 실사는 거미에게 몇 가지 이점을 준다. 첫째는 거미가 주로 앉아있는 중심부에서 그물의 말단부까지 진동신호를 보내고 받을 수 있다. 둘째는 먹이가 포획되었을 때 직접적이고 빠른 접근루트를 제공한다. 또한 교미를 위한 의사소통 채널로서도 사용되어질 수 있다.

그 거미줄의 점액성 실사의 기계적 정량과 유연성은 매우 중요하다. 대부분 원형그물은 지표면에 수직적이며 약간 경사져 있다. 거미는 대부분 머리가 아래를 향한 상태로 허브 아래쪽에 앉아 있다(*Verucosa*, *Cyclosa*는 제외). 왜냐하면 위협이나 장애물이 있을 경우 거미는 생명줄(dragline)을 내어 재빨리 땅에 떨어질 수 있기 때문이다.

## 4. 결론 및 기대효과

최근 보고에 의하면 640여종의 거미류가 한국에서 기록되어 있으며 일본, 영국 등의 거미상과 비교할 때 이보다 훨씬 많은 1000여종 이상이 될 것으로 추정하고 있다. 하지만 전 세계적으로 1속 1종인 한국산 고유종인

광릉새염낭거미(*Alloclubionoides coreana*), 백운가게거미(*Coelotes paikwunensis*) 그리고 꼬마거미류 일부(*Dioplena keumunensis*, *Theridion taegense*)처럼 새롭게 정리되어야 할 종들도 많이 있다.<sup>23-26</sup> 최근 실젖의 특징 등에 의해 갈거미과(*Tetragnathidae*)로 전환된 *Nephila* 속도 rRNA와 MaSp1 gene sequences를 통한 검증에 의하면 다시 왕거미과(*Araneidae*)로 바뀌어야 한다는 주장<sup>27</sup> 등 여러 분류군에서 기존의 형태분류학적 접근에 분자계통학적 연구를 추가하여 보다 더 정확한 거미류의 다양성 및 계통진화적 연구가 이루어지고 있다.

특히 요즘 의학 분야에서 거미독에<sup>28</sup> 관한 연구가 활발하며 천적과<sup>29</sup> 생물지표종으로써<sup>30</sup> 거미류의 활용이 많은 각광을 받고 있으며, 무엇보다도 거미줄과 그의 고분자적인 가치에 대한 새로운 연구결과들이 활발하게 발표되고 있다. 거미의 특성을 연구하면 더 강하고 좋은 물질을 만드는 정보를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 일반적으로 우리는 매우 강한 물질을 만들 수 있지만 질기게 하지 못하고 매우 질긴 것을 만들 수 있지만 강도를 갖지 못한다. 그러나 거미가 만드는 줄은 강하고 질긴 특성을 조합한 희귀한 것이다. 또한 거미 줄은 잘 분해되지 않고 공기나 수중에서도 방적될 수 있으며 초미세(0.02 μm)의 특성을 지닌다. 따라서 재료공학이나 응용과학 측면에서 그의 이용가능성은 무궁무진하다고 할 수 있다. 향후 이런 분야의 연구를 위한 보다 체계적인 조사와 지원이 필수적이라고 할 수 있을 것이다.

## 참고문헌

1. C. Mitter, B. Farrell, and B. Wiegmann, *Am. Nat.*, **132**, 107 (1988).
2. J. A. Coddington and H. W. Levi, *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, **22**, 565 (1991).
3. R. Foelix, *Biology of spiders*, New York, USA. Oxford Univ. Press., p. 4 (1996).
4. R. Foelix, *Biology of spiders*, New York, USA. Oxford Univ. Press., p. 189 (1996).
5. B. J. Kaston, *Transact. San Diego Soc. Nat. Hist.*, **16**, 33 (1970).
6. R. Foelix, *Biology of spiders*, New York, USA. Oxford Univ. Press., p. 61 (1996).
7. E. Kaiser and W. Raab, *Toxicon*, **4**, 251 (1967).
8. R. Foelix, *Biology of spiders*, New York, USA. Oxford Univ. Press., p. 41 (1996).
9. J. P. Kim, *Research on Arachnology*, The Arachnological Institute of Korea, p. 101 (1995).
10. M. R. Gray, Getting to know funnel webs. *Austral. Nat. Hist.*, 265 (1981).
11. R. Foelix, *Biology of spiders*, New York, USA. Oxford Univ. Press., p. 110 (1996).
12. F. Vollrath, *Sci. Amer.*, **266**, 52 (1992).
13. M. Xu and R. V. Lewis, *Proc., Natl. Acad. Sci.*, **87** (1990).
14. R. W. Work, N. Morosoff, *Textile Res. J.*, **52**, 349 (1982).
15. E. K. Tillinghast and M. Townley, Chemistry, Physical properties and synthesis of Araneidae orb webs, *Ecophysiology of Spiders*, Springer Verlag, Berlin., 203 (1987).
16. R. Foelix, *Biology of spiders*, New York, USA. Oxford Univ. Press., p. 112 (1996).
17. J. M. Palmer and F. A. Coyle, *Antrodiaetus unicolor. J. Morph.*, **174**, 269 (1982).
18. R. S. Wilson, *Quart. J. microsc. Sci.*, p. 549 (1962).
19. A. L. Bell and D. B. Peakall, *Araneus sericatus. J. Cell Biol.*, **42**, 284 (1969).
20. J. Kovoov and L. Zylberberg, *Tissue Cell*, **12**, 547 (1980).
21. F. Vollrath and D. T. Edmonds, *Nature(lond.)*, **340**, 305 (1989).
22. J. P. Kim, *Research on the spider's web*, The Arachnological Institute of Korea, p. 41 (1996).
23. K. Y. Paik, *Illustrated flora and fauna of Korea*, Ministry of Education, Seoul, Korea, Vol. 21, 1978.
24. K. Y. Paik, *Korean J. Inst. nat. Sci.*, **4**, 87 (1985).
25. K. Y. Paik, J. P. Kim, *Korean Arachnol.*, **1**, 51 (1985).
26. K. Y. Paik and J. P. Kim, A list of Korean spiders, *Korean Arachnol.*, **10**, 107 (1994).
27. H. C. Pan, K. Y. Zhou, D. X. Song, and Y. Qui. *Zool. Sci.*, **21**, 343 (2004).
28. S. Pekar, *Pestic. Sci.*, **55**, 1077 (1999).
29. G. Corzo, P. Escoubas, M. Stankiewicz, M. Pelhate, C. P. Kristensen, and T. Nakajima. *Paracoelotes luctuosus (Amaurobiidae). Eur. J. Biochem.*, **267**, 5783 (2000).
30. P. Cardoso, I. Silva, N. G. de Oliveira, and A. R. M. Serrano, *Biol. Conserv.*, **120**, 517 (2004).