

# 흰수염강총거미 (*Menemerus fulvus*) (거미목, 강총거미과) 시각기의 미세구조

김 주 필 · 권 중 균

(동국대학교 이과대학 생물학과)

## Ultrastructure of the Eyes of *Menemerus fulvus* (Araneae: Salticidae)

Kim, Joo-Pil and Jung-Kyun Kwon

(Dept. of Biology, College of Natural Science, Dongguk University)

### ABSTRACT

Spiders usually have poor vision but not the jumping spiders. Their eight eyes are located on its distinctive box-shaped head and relatively well developed. The Spiders were fixated with 3% glutaraldehyde and thin section was performed with ultra-microtome. The specimens were observed with light microscopy, transmission and scanning electron microscopy. Eye area of jumping spider is composed of three rows. The first eye row comprise four eyes. Among them, two anterior median eyes are the largest and two anterior lateral eyes are relatively small. The former are main-eyes and have excellent vision. The second row, which has the two smallest eyes, is located about midway between the first and third rows. The third row is about half-way back on the thorax and eyes of which are middle size. To investigate ultrastructure of salticid spiders' eye, *Menemerus fulvus* was chosen. All of *Menemerus fulvus*'s eyes are composed of cornea, lens, vitreous body and retina in histologically. Cornea layer, linked to exocuticle of exoskeleton, is regular layer structure without any cell type. Lenses are biconvex type. Retinas comprise well developed microvilli-shape rhabdomeres, unpigmented supporting cells, and pigmented cell. Retinas of anterior median eyes are surrounded by circular cylinder-shaped vitreous body, photoreceptor, i.e. rhabdomeres, of it is irregularly arranged compared to the other eyes.

**Key words** : Araneae, Salticidae, *Menemerus fulvus*, eyes, ultrastructure.

### 서 론

거미류는 어떤 환경에서도 잘 적응하며 단독생활을 하는 생태적 특성에 따라 배회성 거미류와 정주성 거미류로 크게 분류되는 절지동물이며, 주로 곤충이나 다른 거미들을 포식하는 완전한 육식성이다. 거미류는 종에 따라 포식 행동에서 매우 발달된 시각기를 이용한다. 특히 먹이를 잡기 위하여 시각기가 발달된 배회성 거미들 중 강총거미들은 기능적으로 매우 발달되어 있다(William *et al.* 1980).

강총거미과(Salticidae)는 거미목 중 가장 큰 과(Platnick, 1997)로 체표면적에 비하여 시각기가 크고 고도로 발달한 전중안을 그 특징으로 삼는다.

보통의 거미들은 시각기가 빈약하다. 그러나 강총거미들은 놀랄만한 시력을 갖고있으며, 두흉부에 여덟개의 눈들은 크고 사각형(box-shape) 배열형태를 하고 있다. 그러므

로 분류적으로 다른 과와 쉽게 구별된다. 거미들에 대한 시각기 망막구조에서 감각체의 구조를 분석하였다(Blest 1984, Uehara 1994). 강총거미과(Salticidae)를 재료로한 시각기의 미세구조를 밝힌 것은 Land (1969), Homann (1951, 1971), Eakin and Brandenburger (1971), Williams (1980), Forster (1982), Blest (1985) 등이 있으나 생리학적, 동물행동학적 연구에 보다 접근하기 위해서는 해부학적 또는 세포학적 연구가 진행되어야 한다. 또 우리나라 강총거미들의 시각기 구조에 대한 세포학적 검토는 전무하며, 전자현미경으로 발달된 강총거미의 시각기 미세구조를 세밀하게 검토한 연구가 없는 실정이다. 또 주안(직접눈; main eye)과 부안(간접눈; secondary eye)에 대한 형태적 비교 연구도 부족한 형편이다.

따라서 본 연구는 한국산 강총거미에 대한 시각기 미세구조와 분류적 특징을 밝히고자 광학현미경과 전자현미경

으로 관찰하였으며, 시각기를 구성하는 기본구조별 세포학적 특징들을 비교 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

본 실험에서 사용한 재료는 1998년 8월 20일부터 1999년 8월 25일까지 경상남도 남해도에서 채집한 흰수염강충거미 (*Menemerus fulvus*) 성체를 사용하였다.

### 2. 방법

#### 1) 투과전자현미경 관찰

해부현미경하에서 흰수염강충거미 두흉부를 절취하고 위턱을 제거한 후 신속히 3% glutaraldehyde (0.1 M Millonig's phosphate buffer, pH 7.3) 고정액에서 4°C를 유지하며 3시간 전고정 하였다. 동일한 완충용액으로 세척시킨 다음, 1% osmium tetroxide (0.1 M Millonig's phosphate buffer, pH 7.3) 후고정 용액에서 다시 1시간 20분 동안 후 고정하였다. 동일한 완충용액으로 세척한 재료를 ethanol 농도 상승 순으로 탈수시키고, propylene oxide로 치환하였다. 평판 포매된 block을 다듬어 ultramicrotome으로 1 µm 두께의 절편을 제작 1% toluidine blue로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였다. 관찰된 부분중에서 시각기 등 필요한 부분을 제외하고 모두 제거한다. 초박절기 (ultramicrotome, MT2-B)로 50-70 nm 두께의 초박절편을 제작하여 copper grid (200 mesh)에 부착시켰다. 부착된 재료를 2% uranyl acetate와 lead citrate로 이중 염색하여 건조시키고 투과전자현미경 (H-600, 80 kV)으로 관찰하였다.

#### 2) 주사전자현미경 관찰

재료를 투과전자현미경과 동일한 방법으로 절취, 고정, 수세 및 탈수하였다. 치환은 iso amyl acetate로 3회 실시하고, 임계점 건조기 (critical point dryer, HCP-2)로 건조시킨다. 그 다음은 시료를 제물대 (stube)에 부착시켰다. 금속 증착은 ion sputter (E-1010)을 사용하여 약 20 nm 두께로 금 (Au)으로 도금한 후 주사전자현미경 (S-2380N)으로 가속전압 20 kV에서 관찰하였다.

## 결 과

광학현미경과 주사전자현미경으로 관찰한 결과 흰수염강충거미는 체장 6-10 mm 정도이며 두흉부는 편평한 사각형으로 흑갈색 바탕에 여러 가지 털이 나서 전체적으로 회색을 띠고 있다. 복부는 뒤쪽이 넓은 방패 모양이었다. 흰수염강충거미의 눈은 4쌍의 눈이 3열로 구성되어 있었다. 첫 번째 열에는 4개의 매우 큰 눈이 정면을 향하고 있는데, 주안인 전중안 (AME)이 가장 큰 520-560 µm의 외부

직경을 나타내었고, 전중안의 양 옆에 위치한 전측안 (ALE)은 310-350 µm였다. 두 번째 열에는 매우 작은 후중안 (PME)이 전측안과 후측안의 중간에 있고, 그 크기는 평균 직경이 110 µm였다. 세 번째 열에는 260 µm 크기의 후측안 (PLE)이 두흉부의 중간에 위치하고 있다. 눈을 싸고 있는 각막의 외부는 매끈하였다. 두 번째 열에 위치한 후중안은 왜소하고 세포들의 배열도 대단히 결핍되어 있다. 또 유리체의 존재도 빈약하다. 망막의 형태는 비슷하였으나 미세용모의 수와 비색소지지세포 그리고 색소세포의 수는 아주 적었다 (Figs. 1, 2).

흰수염강충거미의 시각기는 4쌍의 단안 (ocelli or simple eye)으로서 그 기본구조가 각막 (cornea), 수정체 (lens), 유리체 (vitreous body) 그리고 망막 (retina) 층으로 이루어져 있었다 (Figs. 2, 3, 4).

전중안 (AME)은 시각기의 주된 기관으로서 정면을 향하고 있고 각막의 외부는 매끈한 형태를 보이며, 내부의 각막에서 망막까지 항아리 모양으로 길게 늘여져 있다. 특히 각막에서 망막 시세포까지의 길이는 평균 590 µm로 매우 길었으며 내부직경도 매우 커 눈거리라 할 정도로 두흉부의 많은 부분을 차지하였다 (Fig. 3).

각막 (cornea)은 큐티클 (cuticle)로 이루어진 외피부와 연결된 형태로 존재하였으며, 단단하고 균일한 조직으로 120 nm 정도의 일정한 두께를 유지하였다.

수정체 (lens)는 양면이 볼록한 볼록렌즈 (biconvex lens) 형태로서 섬유질 층이 내부중심으로 더욱 비후된 층상구조를 나타내었다. 또 수정체를 이루는 섬유들의 섬유망이 일정한 소용돌이를 이루며 일정한 방향으로 정렬되어 있었다. 전중안의 가장 비후된 수정체의 두께는 380 µm였다.

유리체 (vitreous body)는 수정체와 망막사이로 크고 긴 원기둥 모양의 원주형세포 (cone cell)로 이루어져 있으며, 거대한 V자형방사상 (V-type radially)으로 이루어진 원주형세포의 핵은 망막에 치우쳐 있었고 세포질 내에는 대부분이 섬유질 (fibers)과 미세과립 (fine granule)이 존재하고 핵 주변에 소량의 미토콘드리아, 형질내세망 그리고 미세과립과 불규칙한 과립들이 나타났다 (Figs. 3, 4, 5).

망막 (retina)은 거대한 V자형 유리체의 말단부위인 정중와 부위를 에워싸고 있으며, 초점이 모이는 중심부위 뒤쪽으로 감간체가 있으며 감간체의 구조는 다른 3쌍의 시각기와 큰 구조적 차이를 보였다.

감간체의 가로 절단면에서는 타원형의 미세용모 (microvilli)가 층상구조를 나타내며 불규칙하게 뻗어 있었다 (Fig. 6). 망막을 이루고 있는 곳에는 감간체 (rhabdomers)와 많은 돌기 (process), 지지세포 (supporting cell), 색소세포 (pigmented cell), 그리고 신경교세포 (glial cell)로 이루어져 있었다. 전중안의 안배 (eye cup) 안쪽에 있는 망막부위에는 간혹 근육 (muscle) 형태의 filament로 이루어진 구조물이 나타나고, 가장자리에는 수많은 멜라닌 색소과립 (melanin

pigment granules)을 가진 색소세포와 전자밀도가 낮은 색소과립세포가 함께 나타났다(Figs. 3, 6, 7).

망막의 최원위 부위 또는 시세포 미부(intermediate segment)에는 신경교세포(glial cell)와 돌기들이 존재하였고, 많은 미토콘드리아가 있었다. 또 시신경(optic nerve)을 통하여 시각신호를 뇌(brain)로 전달하는 양상을 보였다(Fig. 8).

전측안은 전중안과 함께 정면을 향하고 있으며, 후측안은 두흉부 뒤쪽 제3열의 측방에 위치하여 전측안과 비슷한 기본 구조를 보였다. 측안의 유리체는 원형 또는 육각형을 이루는 원주형세포(cone cell)이며 세포질에는 세포질 기본구조물이 발견되지 않고 세포질 포함물에 해당하는 작은 과립(small granules)들이 존재하며, 핵은 기저부(basal portion)에 치우쳐 있었다. 다만 핵 주변에 소량의 미세소관이 존재하였다(Figs. 2, 4).

망막에는 잘 발달된 모습의 감간체(rhabdomeres)가 있으며, 감간체는 두 쪽으로 나누어진 미세융모(microvilli)가 50-60개의 층상구조로 나타나고, 가장 긴 미세융모는 중간 부위에 위치하며 그 길이는 1.5  $\mu\text{m}$ 이고 측면으로 갈수록 작아진다. 미세융모의 주변에는 비색소지지세포(unpigmented supporting cell: Sc)와 평균직경이 0.6  $\mu\text{m}$  크기의 색소과립으로 이루어진 색소세포(pigmented cell)가 시세포를 감싸고 있었다(Figs. 9, 10, 11). 또 측안의 원위부(distal portion)인 시세포 미부에는 미세융모와 돌기(process)가 뻗어있는 주변으로 색소과립과 많은 미토콘드리아(mitochondria)가 세포막을 따라서 존재하였다. 또 색소세포와 비색소지지세포가 망막의 원위부위에도 있으며, 시신경(optic nerves)세포도 보였다(Fig. 12).

## 고 찰

현재까지 명명된 거미류는 35,000여 종이며 106과 3100속이나 되는 거미류 중 깡충거미과는 약 490속 4500종으로 속과 종 수가 가장 많은 거미라고 1997년 통계결과를 발표하였다(Platnick 1997). 가장 많은 속과 종수를 가진 배회성 깡충거미는 시각적 신호로 자신의 배우자를 선택하고 구애하며, 먹이를 발견하면 우선 적당한지를 살펴보고 몰래 다가간 후 일정거리를 뛰어서 잡는데 이 모든 과정을 시각에 의존한다고 하였다(Forster 1982). 흰수염깡충거미의 눈은 삼열로 배열되며 이러한 눈의 배열은 어느 방향으로든 정보를 시각화할 수 있도록 진화한 것으로 여겨지며 또 발달된 시각기에 의존하는 생활양식으로 변화된 것으로 여겨진다.

Homann과 Land(1985)에 의하면 눈은 2개의 다른 형태의 주안(main eyes)과 부안(secondary eyes)이 있다고 하였다. 또 주안은 항상 전중안이라고 하였다. 그러나 배회성 거미들 중에서 늑대거미과는 후중안이 가장 크고 잘 발달

된 양상을 보이며 주안인 전중안은 발달되지 못하였다고(Jeong & Moon 1996)하였다. 흰수염깡충거미는 전중안이 대단히 크며 정면을 향하고, 전측안과 후측안은 그보다 약간 작은 크기이며 후중안은 상대적으로 너무나 왜소한 형태로 나타났다(Figs. 1, 2, 3, 4).

특히 전중안의 해부학적 구조와 망막세포들의 미세구조 그리고 감간체의 형태는 매우 특이한 형태를 가지고 있었다. 쌍안을 이루는 전중안(AME)은 크고 긴 항아리 모양의 안배(eye cup)와 각막에서 망막에 이르는 기본구조는 같지만 다른 3쌍의 시각기와 망막의 구조는 현격하게 다르다. 수정체도 크지만 유리체를 이루는 원주형 세포의 크기(500  $\mu\text{m}$ )는 초대형 세포로 관찰되었다. 척추동물의 시각기 구조에서 볼 수 있는 중심와 형태가 존재하며 중심와를 이루는 유리체 부위를 망막이 감싸고 있었다. 이러한 형태는 각막을 통과한 빛이 광축을 따라서 이 중심와에 이르며 망막에 있는 3쌍의 시각기에 비하여 불규칙한 배열을 가진 시세포가 중심와를 따라서 배열되어 있다. 전중안의 망막에는 감간체인 미세융모의 층상 구조물과 전자밀도가 낮은 과립들을 가진 색소지지세포와 멜라닌 과립을 가진 색소세포가 혼재되어 있었다. 또 이들 세포 사이에는 근육성 세포들이 나타났다(Fig. 6). 이것이 매우 특이한 양상으로 여겨진다. 눈의 초점을 조절하기 위하여 수정체의 두께를 조정하므로 초점을 맞추는 근육형태와는 사뭇 다른 양상으로 나타났다.

시각기를 이루고 있는 기본구조에서 바깥층에는 각막이 외피부 큐티클층과 연결되어 외피부 역할과 같이 내부를 잘 보호할 수 있도록 단단하고 균일한 두께를 이루고 있다. 또 안구 내부에는 안구보호층(eye cup)이 시각기의 내부를 보호하고 있었다. 중간층에는 수정체와 유리체 그리고 시각기 주변에는 색소층이 있었다. 내부층에는 망막이 빛 반응과 감각을 전달하는 감간체와 신경교세포, 색소세포가 존재하였다.

시각기의 기본구조별 특징으로 각막은 외피부층과 이어져 있으며 매끈한 섬유층은 고운입자성 물질로 무혈관 조직으로 이루어져 있었다. 또 굴절력을 갖도록 반구형이다. 이러한 형태로 볼 때 각막은 빛의 수용과 안구를 외부의 영향으로부터 보호하는 역할도 하고 있다(Fig. 3). 그러나 Eakim과 Brandenburger(1971)에 의하면 *Metaphidippus harfordi*와 *Phidippus johnsoni*에서 후중안 각막의 절단면이 층판(lamination) 구조를 보였다고 한다. 흰수염깡충거미에서는 어떤 세포배열과 형태도 보이지 않는 균질한 물질의 층상구조로 나타났다.

수정체(lens)는 블록렌즈로서 무혈관성 투명체이며 층상구조의 섬유성 물질이 일정한 모양으로 나타났다(Fig. 4). 유리체는 전중안에서 대형 원주세포가 자리하였으며 망막 쪽으로 v자형 중심와를 향하여 길게 뻗어 있었다. 단안의 구조를 가진 시각기는 가장 정확하게 망막에 상을 맺기

위해서는 초점거리가 적당해야 하고, 작은 동물이 정확하게 보기 위해서는 큰 상이 맺히도록 긴 초점거리가 필요하다고 하였다(Williams 1980). 긴 초점거리는 긴 축거리를 필요로 한다. 또 시각기는 망막을 구성하는 시세포가 많을수록 해상도가 높아진다고 하였다(Blest *et al.* 1985, Land 1969). 이러한 이유에는 작은 동물은 두홍부의 공간이 부족하여서 먼 거리를 정확히 보기 위해서는 문제가 있다고 하였다. 보통의 거미들은 수정체와 유리체는 작으며 초점을 맺을 수 있는 광학적 디자인이 발달되어 있지 않다. 또 망막의 세포들 중 시세포의 분포 양상이 단조롭고 세포의 수도 적다(Blest 1985).

그러나 흰수염강충거미의 시각기는 상을 수용할 수 있을 만큼 크고 긴 렌즈와 유리체를 가지며 망막에는 감간체의 미세용모가 빛을 수용하는 방향으로 층상구조가 일정하게 정렬해 있었다.

전중안은 상을 맺게하는 망막(감간체) 앞으로 깊은 고깔 모양으로 축의 길이가 880  $\mu\text{m}$ 이며 크고 긴 유리체가 자리하고 있다(Figs. 3, 5). 광의 경로기관인 유리체는 원주형세포의 핵은 망막쪽에 치우쳐 있고 섬유(fiber)와 과립(granules)이 가득 차 있다. 유리체와 망막사이 기저부(basal lamina layer)가 존재하나 전중안은 기저부가 매우 얇고 축안은 비교적 두꺼운 기저층을 나타냈다.

특히 전축안과 후축안의 망막에서 시세포(visual cell)인 감간체의 비중이 높고 비색소지지세포와 색소세포 그리고 신경교세포도 풍부한 것으로 나타났다. 망막에서 감간체의 미세용모를 이루는 횡단면은 타원형이고 4층을 이루는 수용체(receptors)가 있다고 하였으며, 또 이들 수용체의 수는 종에 따라서 다르다고 하였다. *Metaphidippus aeneolus*는 794개이며 *Phidippus johnsoni*는 907개로 나타났다고 하였다(Eakin & Brandenburger 1971, Land 1985). 또 Land는 118개로 나타내기도 하였다. 흰수염강충거미의 수용체 미세용모들도 주안과 부안에 따라서 다른 수적인 양상을 보였다(Figs. 9, 10, 11).

대부분 거미들의 부안에서 반사체(tapetum)가 있으며 그 형태는 투명체판(crystalline deposit)으로 축안과 후중안에서 나타난다고 하였으며, 이것으로 인하여 거미들의 분류에서 하나의 특징이 될 수도 있다고 하였다(Homann 1971). 흰수염강충거미의 4쌍의 시각기에는 반사체(tapetum)가 나타나지 않은 것으로 보아 주로 주간에만 활동하는 것으로 여겨지며 어두운 곳에서는 같은 종의 거미를 인식하거나 먹이를 포획할 수 없을 것으로 추정된다.

이상의 소견으로 볼 때 흰수염강충거미는 빛이 있는 주간엔 주로 활동하는 거미이며 시각기의 기능이 매우 발달된 것으로 여겨진다. 앞으로의 연구과제는 같은 강충거미의 시각기에서도 종에 따라 세부구조의 차이를 나타내주는 것을 감안하여 배회성이며 시각기가 발달된 다른 몇 종의 강충거미와 어두운 곳에서 생활하는 동굴성 거미 그

리고 정주성 거미 시각기의 미세구조를 함께 비교 검토해야 할 것으로 생각된다.

## 적 요

시각기가 발달되지 않은 대부분의 거미류와는 달리 잘 발달된 시각기를 갖는 배회성거미인 흰수염강충거미 시각기의 미세구조를 광학현미경과 전자현미경으로 기본구성 형태와 구조 분석을 목적으로 관찰 조사하였다. 관찰결과 흰수염강충거미 8개의 눈, 모두는 각막, 수정체, 유리체 그리고 망막으로 이루어져 있었다. 3열로 배열된 4쌍의 시각기 중 2열에 있는 후중안이 기본구성형태와 세포의 수 그리고 크기가 작고 빈약하였으나 다른 시각기는 발달되었다. 외피의 큐티클성 각막층은 렌즈와 붙어 있었다. 유리체는 원주형세포로 이루어져 있었으며, 망막은 잘 발달된 미세용모 형태의 감간체와 비색소지지세포 그리고 색소세포로 이루어져 있었다. 전중안은 원주형의 세포로 이루어진 유리체가 존재하였으며 유리체를 둘러싸고 있는 망막에는 빛을 감지하는 미세용모 형태의 감간체가 다른 눈들과는 달리 불규칙하게 배열되어 있었다.

부안들은 수용체세포의 횡단면절편(cross section)에서 미세용모와 비색소세포, 그리고 색소세포와 어우러져 별모양(starlike)을 나타냈다. 반사체는 볼 수 없었다.

## 인 용 문 헌

- Blest, A.D. and J. Maples. 1979. Exocytic shedding and gliassi uptake of photoreceptor membrane by a Salticid spider. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **204** : 105-112.
- Blest, A.D. and G.D. Price. 1984. Retinal mosaics of the principal eyes of some jumping spiders (Salticidae: Araneae): Adaptations for high visual acuity. *Protoplasma*, **120** : 172-184.
- Blest, A.D. and C. Sigmund. 1984. Retinal mosaics of the principal eyes of two primitive jumping spiders, *Yaginumanis* and *Lyssomanes*: clues to the evolution of Salticid vision. *Proc. R. Soc. Lond. B*, **221** : 111-125.
- Blest, A.D. and C. Sigmund. 1985a. Retinal mosaics of the primitive jumping spiders, *Spartaeus* (Salticidae: Araneae): A transition between principal retinæ serving low and high spatial acuities. *Protoplasma*, **125** : 129-139.
- Blest, A.D. and C. Sigmund. 1985b. The cytoskeletal architecture of interdigitated microvilli in the photoreceptors of some nocturnal spiders. *Protoplasma*, **125** : 153-161.
- Blest, A.D., D.S. David-Williams and L. Kao. 1980. The posterior median eyes of the di-opid *Menneus*. *Cell Tissue Res.*, **221** : 391-403.
- Blest, A.D., 1985. The fine structure of spider photoreceptors in relation to function. In: Barth, F.G., ed., *Neurobiology of Arachnids*. Springer Verlag, Berlin, p.89.
- Bozzola, J.J. and L.D. Rusell. 1992. Specimen preparation for scanning electron microscopy. *Electron Microscopy*, pp. 41-63.
- Eakin, R.M. and J.L. Brandenburger, 1971. Fine structure of the eyes of jumping spiders. *J. Ultrastruct. Res.*, **37** : 618.
- Forster, L., 1982. Vision and prey catching strategies in jumping spiders.

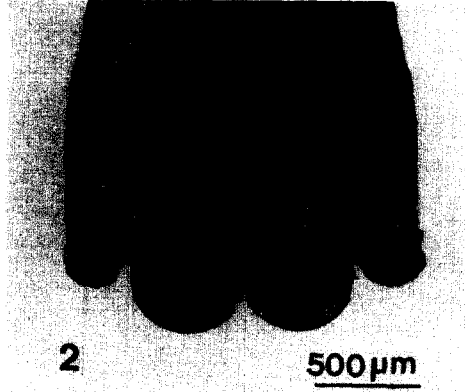
### Ultrastructure of the Eyes of *Menemerus fulvus* (Araneae: Salticidae)

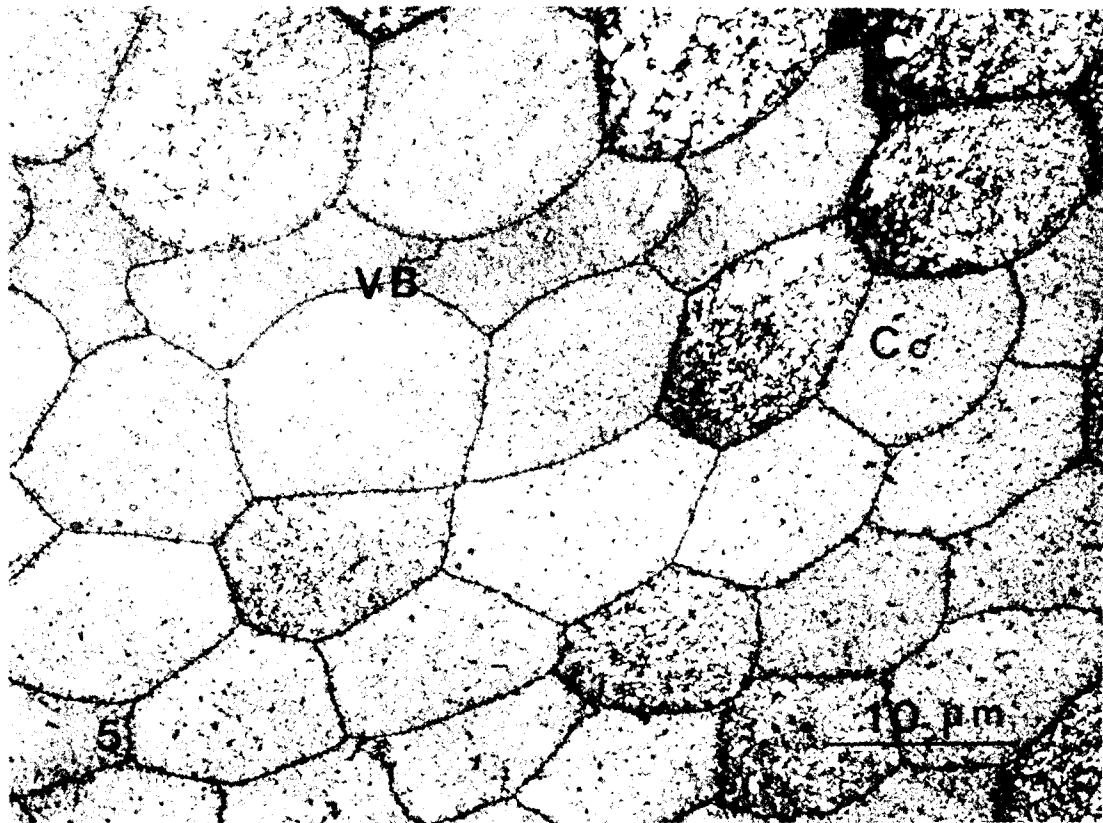
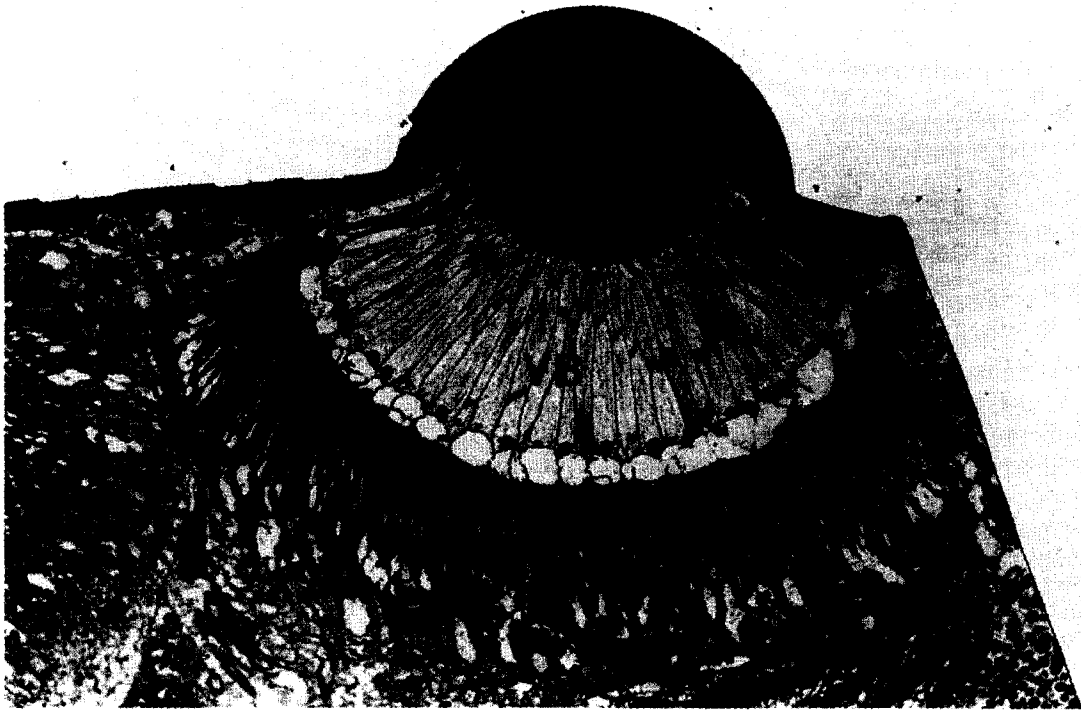
- Amer. Sci.*, **70** : 165-175.
- Homann, H., 1951. Die Nebenaugen der Araneen. *Zool. J. b., Anat.*, **71**: 56-144.
- Homann, H., 1971. Die Augen der Araneae. Anatomie, Ontogenie und Bedeutung für die Systematik (Chelicerata, Arachnida), *Z. Morph. Tiere*, **69** : 201-272.
- Jeong, M.J. and M.J. Moon, 1993. Fine structure of the retinal visual cells of the anterior median eyes in the wolf spider, *Pardosa astrigera* (L. Koch), *Korean J. Em*, **23**(3) : 84-93.
- Kim, J.P., 1995. A study of Arachnology. The Arachnology Institute of Korea, 218pp..
- Kim, J.P., 1998. A list of global spider's families, *Korean Arachnol.*, **14**(1) : 81-82.
- Land, M.F., 1969. Structure of the retinae of the principal eyes of jumping spiders (Salticidae: Dendryphantimae) in relation to visual optics. *J. exp. Biol.*, **51** : 471-493.
- Land, M.F., 1985. The morphology and optics of spider eyes. In Barth, F.G., ed., *Neurobiology of Arachnids*. Springer Verlag, Berlin, 1985 (p. 53).
- Platnick, N.I., 1997. *Advances in Spider Taxonomy 1992-1995*. Manchester Univ. Press, 976pp..
- Uehara, A.K. Uehara, and K. Ogawa, 1994. Fine structure of the antero-medial eye of the liphistiid spider, *Hepthela kimuri*, *Anal Rec.*, **240**(1) : 141-147.
- Williams, D.S., A.D. Blest and L. Kao, 1980. The posterior mesian eyes of the sinopid spider, *Nenneus*, *Cell Tiss.*, **211** : 391-403.
- Williams, D.S. and P. McIntyre, 1980. The principal eyes of a jumping spider have a telephoto component. *Nature (Lond)*, **288** : 578-580.

### Legends of figures

- Fig. 1.** A scanning electron micrograph of eyes of *Menemerus fulvus*. The jumping spider possessed eight eyes arranged in three rows of AME (anteromedial eyes), ALE (anterolateral eyes), PME (posteromedial eyes), PLE (posterolateral eyes). Bar = 500  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 2.** A light micrograph of thick frontal section through center of AME (anteromedial eyes), ALE (anterolateral eyes), PLE (posterolateral eyes). Toluidine blue stain. Bar = 500  $\mu\text{m}$ ,  $\times 40$ .
- Fig. 3.** A light micrograph of thick frontal section through of AME illustrates the inner structures vitreous body (VB), retina (arrow) and optic nerve (ON). Longitudinal section passing through the retina of main eye of the *Menemerus fulvus*. Toluidine blue stain. Bar = 200  $\mu\text{m}$ ,  $\times 200$ .
- Fig. 4.** A light micrograph of thick frontal section showing large PLE which are similar to that of ALE. ALE, PLE are similar in structure. Biconvex lens (L), vitreous body (VB) and retina are seen. The nuclei of vitreous body are peripherally situated. Toluidine blue stain. Bar = 200  $\mu\text{m}$ ,  $\times 200$ .
- Fig. 5.** Cross section of cone cells (or columnar cells) in anteromedian eye. The vitreous body (VB) consists of cone cell with a some polygonal and some irregular in outline. Most of cytoplasmic organelles are contained in the perinuclear region. The body of the cone cell (Cc) is filled with fibers and fine granules. Bar = 10  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 6.** An electron micrograph of retina in main eye showing rhabdomers. Under the vitreous body, there are twin microvilli (Mv), mitochondria (M), and glia process (Gp), in the rhabdome. Bar = 3  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 7.** An electron micrograph of retina in main eye. There are myofibrils (MF), and pigmented cell (P) filled with electron dense pigment granules. Bar = 2  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 8.** An electron micrograph of retina and optic nerve (On) in main eye. The optic nerve fibers extend toward the brain. Two glial cells are noted. Bar = 3  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 9.** Longitudinal section through an antero lateral (secondary) eye of *Menemerus fulvus* Salticidae). The retina is situated below the vitreous body. The retina composed of visual cells and rhabdome. The rhabdomeres (Rh) of the visual cell are surrounded by pigmented supportive cell (PSc) and non-pigmented supportive cells (NSc). Bar = 3  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 10.** Cross section of through on of *Menemerus fulvus*. Antero lateral eye fored by six triangular processes of pigmented supportive cells (PSc) which regularly enclose two arm of a non-pigmented supportive cells (NSc) and the latter bearing two rhabdomeres (Rh). Bar = 3  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 11.** Higher magnification of the rhabdome by transmission electron microscope. The rhabdomeres (Rh) of the visual cell are surrounded by non-pigmented supportive cell (NSc) and pigmented supportive cell (PSc) filled with pigmented granules. The larger rhabdomeres have 50-60 microvilli in a transverse section. Bar = 3  $\mu\text{m}$ .
- Fig. 12.** An electron micrograph of distal portion of retina in antero lateral eye. A glial cell is present. The rhabdomeres are gradually disappeared and many mitochondria and electron dense pigment granules are encountered at the distal portion of the retina. Bar = 2  $\mu\text{m}$ .

Ultrastructure of the Eyes of *Menemerus fulvus* (Araneae: Salticidae)







Ultrastructure of the Eyes of *Menemerus fulvus* (Araneae: Salticidae)

