

## 산민달팽이 (*Incilaria fruhstorferi*) 눈의 미세구조

장 남 섭 · 한 중 민 · 이 광 주  
목원대학교 이공대학 생물학과

### Ultrastructure of the Eye in the Snail, *Incilaria fruhstorferi*

Nam Sub Chang, Jong Min Han and Kwang Joo Lee  
Department of Biology, Mokwon University, Taejon 301-729, Korea  
(Received August 1, 1998; revised September 4, 1998)

#### ABSTRACT

After the investigation on the eye of *Incilaria fruhstorferi* with light and electron microscopes, the following results were obtained.

The eye of *Incilaria fruhstorferi* comprises cornea, lens, vitreous body, retina, and optic nerve inward from the outside.

Cornea is composed of squamous, cuboid, columnar and irregular cells, which appear to be light due to their low electron density. In their cytoplasm, glycogen granules, multivesicular body, and nucleus were observed.

Vitreous body, located behind non-cellular, transparent lens, is filled with long and short microvilli protruding from the retinal epithelia.

Retinal epithelium, the organ to perceive objects, is divided into four parts; microvillar layer, pigment layer, nuclear layer, and neutrophils layer, from the apical portion.

Microvillar layer consists of the type-I photoreceptor cells and pigmented granule cells. In the apical portion of their cytoplasm, long microvilli (length, 19  $\mu\text{m}$ ), short microvilli (length, 8  $\mu\text{m}$ ), and rolled microvilli grow thick in the irregular and mixed forms.

Photoreceptor cells are classified into type-I and type-II, according to their structures. The type-I cell has the apical portion rising roundly like a fan and the lower part which looks like the helve of a fan. In the cytoplasm of the apical portion, there are clear vesicles, cored vesicles, ovoid mitochondria, and microfilaments, and in the cytoplasm of the lower part, photic vesicles with their diameters about 60nm aggregate densely.

The type-II photoreceptor cell, located at the lower end of the type-I cells, has a very large ovoid nucleus and no microvilli. In the cytoplasm of the type-II cell, the photic vesicles with sizes 60nm aggregate more densely than in the cytoplasm of the type-I cell.

Pigmented cells are classified into type-A and type-B, according to their structures. The type-A is identified to be a large cell containing round granules (diameter, 0.5  $\mu\text{m}$ ) of

\* 이 논문은 1997년도 목원대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

very high electron density, while the type-B is identified as a small cell where the irregular granules (diameter, 0.6  $\mu\text{m}$ ) of a little lower electron density amalgamate.

Nuclear layer ranges from the bottom of pigment layer to the top of the capsule, and contains three kinds of nuclei (nuclei of the type-II photoreceptor cell, pigmented granule cell, and accessory neuron).

The capsules covering the outmost part of the eyeball are composed of collagenous fiber and three longitudinal muscle layers (the thickness of each longitudinal muscle layer, 0.4  $\mu\text{m}$ ) and thick circular muscle layer (thickness, 0.3  $\mu\text{m}$ ).

Around the capsules, there is a neurophile layer consisting of neurons and nerve fibers. Each neuron has a relatively large ovoid nucleus for its cytoplasm, and in the karyosome, large lumps of heterochromatin form a wheel nucleus.

**Key words** : Eye, Retina, Ultrastructure, *Incilaria*

## 서 론

병안목 달팽이류의 눈에 관한 연구중 가장 먼저 연구대상이 된 부위는 각막과 망막으로, 각막의 고전적 연구(Leydig, 1865)가 있는 이래, 각막을 구조상 3층(외층, 중층, 내층 등)으로 구분 연구한 논문(Eisenmann, 1920; Bäker, 1932)과 3층의 각막 중 내층각막(inner cornea)이 각막의 실체에 해당된다고 정의한 연구(Röhlich and Török, 1963; Schwalbach *et al.*, 1963; Newell and Newell, 1968; Huges, 1970)도 있었다.

망막에 관한 연구는 Hesse (1902)가 복측강에서 감각세포(sensory cell)의 집단을 일찍이 관찰한 이래, 민달팽이의 눈에 관한 광학현미경적 연구(Smith, 1906; Eisenman, 1920; Bäcker, 1932)가 있었고, 이어 부망막(accessory retina)에 관한 전자현미경적 연구가 그 뒤를 따랐다(Newell and Newell, 1968).

최근 눈에 관한 연구는 광학현미경과 전자현미경의 발달로 매우 심도있게 진행되어 왔는데, 국외연구로는 Eakin 등(1967), Eakin과 Brandenburger (1967a, b, c, 1968, 1970, 1975a, b), Jachlet (1976), Huges (1970, 1976), Kataoka (1975, 1977), Gillary와 Gillary (1979) 그리고 Gibson (1984a, b) 등 많은 연구가 있었다. 그러나 국내 연구에는 Jeong과

Lee (1994)의 물달팽이(*Nesiiohelix samarange*)를 대상으로 한 각막, 수정체, 망막 그리고 시신경에 관한 종합적 연구등 약간이 있을뿐 비교적 최소한 편이다.

또한 달팽이의 눈의 구조는 매우 복잡하고 다양해서 종에 따라 또는 같은 종간에도 많은 구조적 차이가 있는 것으로 이미 알려져 있다.

이에 본 실험에서는 그 동안 연구해온 민달팽이(*Incilaria fruhstorferi*)를 지속적인 연구의 일환으로 눈의 구조를 연구해 오던 중 많은 새로운 사실을 확인하고, 이를 다른 민달팽이의 눈의 구조와 비교 검토 하고자 본 연구를 시도하게 되었다.

## 재료 및 방법

충남 공주군 반포면 동학사 계곡에서 산민달팽이(*Incilaria fruhstorferi*)를 채집한 후 실험재료로 사용하였다.

산민달팽이의 전, 후 촉각 중 눈을 포함하고 있는 후촉각을 적출하여, 2.5% paraformaldehyde-3% glutaraldehyde로 1시간 30분 전고정을 하고, 1% OsO<sub>4</sub>로 2시간 후고정을 하였다. 고정후 0.2 M phosphate buffer (pH 7.3)로 3회 세척을 하고, 에탄올로 탈수시킨 다음 통상법에 의하여 epon 812에 포매하였다.

포매한 시료는 1  $\mu\text{m}$ 의 절편을 만들고 이를 methy-

lene blue-basic fuchsin으로 이중염색하여 광학현미경하에서 관찰 대상 부위를 확인한 다음 초박절편을 만들었다. 초박절편을 uranyl acetate와 lead citrate로 염색하여 JEM 100CX-II 투과전자현미경(80 KV)으로 관찰하였다.

## 결 과

### 1. 광학현미경 소견

산민달팽이의 눈은 전, 후 2쌍의 측각중 후측각(또는 시측각)의 상단, 원형돌기 함몰부위에 있다(Figs. 1, 2).

눈의 표면을 덮고 있는 상피는 입방 또는 편평상피세포로 되어 있었다(Fig. 3). 눈은 외측부 상단으로부터 편평 또는 불규칙한 형태의 투명 각막세포로 구성되어 있으며, 난원형의 핵이 관찰되기도 하였다(Fig. 4).

각막의 밑층에는 원형 또는 타원형체로 보이는 수정체가 유리체(vitrous body)속에 들어있고 유리체에 비해 밝게 보였다(Fig. 2).

눈은 직경이 약  $300 \times 170 \mu\text{m}$ 인 타원형으로, 두께 약  $50 \mu\text{m}$ 인 망막과, 길이가 약  $19 \mu\text{m}$ 인 미세용모(감간, rhabdome)층으로 이루어져 있고 감간은 투명체로서 망막의 상층부를 감싸고 있었다.

망막은  $50 \mu\text{m}$  두께 중,  $25 \mu\text{m}$  정도가 색소과립층(pigmented layer)이고 나머지  $25 \mu\text{m}$  정도는 밝은 세포층으로 이루어져 있는데, 이들은 주로 타원형의 핵과 원형의 핵 그리고 섬유들로 이루어졌다.

안구의 후방 최외층은 결합조직으로 된 피막(capsule)으로 밝은 띠 모습으로 보였고, 피막의 중심부로부터 시신경다발이 나와 있었다(Fig. 2).

### 2. 전자현미경 소견

산민달팽이 눈의 최외층인 각막(cornea)은 긴 원주형세포와 입방세포 그리고 불규칙한 형태의 세포로 구성되었다. 전자현미경 관찰에서 이들은 전자밀도가 낮아서 밝게 보였고, 세포질속에서 세포소기관은 전혀 발견되지 않았다(Figs. 5, 6). 그러나 고배율 관찰에서는 원형의 결정양구조물들이 얇은 원형질막 주위에서 간혹 발견되었으며, 글리코겐 입자들

도 세포질내에 고루 분산되어 있었다(Fig. 5).

물체를 감지하는 곳은 망막으로, 이들의 구조는 매우 다양하였다. 특히 망막의 구조는 달팽이의 종에 따라 다르고 세포의 종류도 다양하게 나타나서 일찍부터 많은 연구자들의 흥미의 대상이 되어왔다.

본 연구에서는 산민달팽이의 망막세포층을 조직구조에 적합한 Brandenburger (1975), Jachlet과 Colquhoun (1983)의 분류방식에 따라 미세용모층(microvillar layer), 색소층(pigmented layer), 핵층(nuclear layer) 그리고 신경망층(neurophile layer) 등 4층으로 나누었다.

미세용모층은 주로 제1형 광수용세포(photoreceptor cell)와 색소세포(pigmented cell)의 상단으로부터 긴 미세용모(길이,  $19 \mu\text{m}$ )와 짧은 미세용모(길이,  $8 \mu\text{m}$ )가 안구의 유리체(vitreous body)속으로 밀생되어 있었는데, 긴 미세용모인 경우에는 대부분 곧바로 뻗어있는 반면(Fig. 7), 짧은 미세용모는 옆으로 나 있거나, 둥글게 말려있는 경우가 많았다(Fig. 8). 또한 이들 사이에서 다양한 크기(직경,  $0.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ )의 소포(vesicle) 또는 액포(vacuole)들이 망막세포(광수용세포와 색소세포)의 세포질 상단으로부터 용기 된 후, 분리되어 형성되었는데 이들은 미세용모를 따라 줄지어 있거나 몇 개씩 모여 집단을 이루면서, 용모의 상단쪽을 향하고 있다(Fig. 13).

제1형 광수용체세포의 세포질 상단에는 직경이  $0.1 \mu\text{m}$  정도 크기의 투명소포(clear vesicle)와 전자밀도가 높은 소포(cored vesicle)들이 혼합되어 상당수 나타나 신경세포의 특징을 지니고 있었는데, 이들은 색소세포와 견고연접(tight junction) 등으로 연결되어 있는 경우가 많았다(Fig. 8).

특히 본 실험에서 제1형 광수용체세포는 크기와 형태가 일정하지 않아서 좁고 긴 원추형을 나타낸 반면, 큰것은 폭이 넓고 색소세포를 감싸 안을 정도의 것도 관찰되었다. 그러나 이들은 몇가지 공통점을 지니고 있었다. 즉, 세포질의 상단이 부채처럼 둥글게 용기되어 있거나(Fig. 7), 쟁반처럼 넓어져 있는 반면(Fig. 9), 색소세포와 접촉된 부위는 비교적 가늘어져 있어 부채의 손잡이와 같은 모습을 보이는 경우도 많았는데(Figs. 7, 15), 이들의 측면

원형질막은 여러개의 주름으로 이루어져 있거나, 신경섬유 등으로 이루어져 있었다. 신경섬유인 경우에는 기질 속에서 투명소포(직경,  $0.06\ \mu\text{m}$ )의 집단과 미세소관, 미세사 등이 관찰되었으며, 특히 이들 섬유는 색소과립과 접촉되어 있는 부분이 많았다(Fig. 17).

또한 제1형 광수용세포들은 색소층 밑에서는 세포질이 점점 넓어져 핵층 전체를 감싸 안았고, 제2형 광수용세포에까지 뻗어 있었다(Fig. 9).

색소층(pigment layer)은 색소세포(pigment cell)들로 이루어진 층으로 제1형 광수용세포와 더불어 망막을 구성하고 있었다. 이들은 망막두께의 거의 반을 점유할 만큼 두터웠지만 특이하게도 일정한 모양을 갖추고 있지는 않았다. 색소층은 안구의 후반부를 구성하고 망막을 감싸서 안구를 어둡게 해주는 색소세포들로 구성되어 있는데, 이들은 망막의 중심부에서는 약간 불규칙한 긴 원주형을 나타내었으나, 망막의 좌, 우측에서는 여러층의 불규칙한 색소세포층으로 이루어져 있었다(Fig. 14).

본 실험에서 색소과립들은 두 종류(A형과 B형)로 확인되었는데, A형은 대부분 둥근 형태로서 전자밀도가 높아서 검게 보이는 과립(직경,  $0.5\ \mu\text{m}$ )들을 소지한 비교적 큰 세포인데 비해 매우 드물게 나타나는 B형은 과립(직경,  $0.6\ \mu\text{m}$ )들의 형태가 타원형이거나 약간 불규칙하고 과립들이 융합현상을 나타내는 세포로서 세포의 크기가 A형보다 훨씬 작았다(Fig. 14). 또한 과립들은 한계막으로 싸여있지 않았으며, 발달된 Golgi 소포사이에서 성숙 농축과정을 거치고 있었다(Fig. 18).

핵층은 색소층의 바로 밑에 존재하면서 안구를 감싸는 결합조직층까지 연결되었다. 층내에는 제1형 광수용세포, 제2형 광수용세포, 색소과립형성세포 그리고 부신경세포의 핵 등 4종류의 핵들이 존재하는 층으로(Figs. 15, 16), 제1형 광수용세포의 핵과 제2형 광수용세포의 핵은 타원형으로 밝은 핵질속에 다양한 크기의 이질염색질들이 고르게 분산되어 있었다. 특히 제1형 광수용세포의 하단부와 제2형 광수용세포의 세포질은 저배율에서는 세포소기관들의 존재가 확인되지 않아서 거의 투명하게 보였으나(Fig. 9), 고배율 관찰결과  $60\ \mu\text{m}$  정도 크기의 원형

의 광소포(photic vesicle)들이 뽀뽀하게 밀집되어 나타나는 특징을 보였다(Fig. 10). 광소포 사이에서 직경  $0.8\ \mu\text{m}$  정도 크기의 둥근 액포(vacuole)도 드물게 관찰되었는데, 이들은 그 내면이 다시 타원형의 작은 소포들로 둘러싸여 있는 특이한 모습을 보였고(Fig. 11), 타원형 또는 막대형의 사립체들도 광소포사이에서 관찰되었다(Fig. 12).

핵층에서 관찰된 부신경세포는 세포질에 비해 핵(직경,  $6\ \mu\text{m}$ )이 크고 밝은 핵질속에 다양한 크기의 이질염색질들이 덩어리를 형성하고 있었으나, 광수용세포의 핵에 비해 작고 둥근편이었다. 핵을 둘러싼 세포질은 비교적 전자밀도가 높아서 어둡게 관찰되었는데, 이들은 불규칙한 형태의 신경돌기를 제2형 광수용세포 사이로 뻗고 있었다(Fig. 15).

색소과립형성세포는 대부분 색소과립 바로 밑에 위치하고 있어, 이들로부터 형성된 과립들이 긴 돌기를 통해 색소층으로 이동하는 모습들이 확인되었는데, 이들은 세포질에 비해 큰 핵을 소지하고 있었다. 이들의 핵질은 비교적 밝고, 이질염색질들이 망상구조를 하고 있었는데, 전자밀도가 높은 세포질속에는 형성중인 둥근 색소과립들이 보였다(Fig. 16).

안구의 피막을 구성하는 결합조직층은 교원섬유층 사이를 달리는 3층의 종주근층(한개의 종주근층의 두께는 약  $0.4\ \mu\text{m}$ )과 1개의 매우 두터운 환상근층(두께,  $3\ \mu\text{m}$  정도)으로 이루어져 있었다(Fig. 19). 특히 두터운 환상근층에서는 수축성 단백질인 미세사(myofibril)와 근소포체(sarcoplasmic reticulum)의 크고, 작은 단면들이 관찰되었다(Fig. 20).

안구의 피막 밑에는 복잡한 신경망층(neurophile layer)이 위치해 있는데, 많은 신경세포와 축삭들로 이루어져 있다. 특히 신경세포들은 망막의 핵층에서 관찰된 원형의 부신경세포와는 달리 타원형의 핵을 소지하고 있었는데, 핵질은 밝고 다양한 크기의 이질염색질들이 균일하게 분산되어 있어 핵층속의 신경세포와는 좋은 대조를 보였다. 이들 핵은 얇은 세포질로 둘러싸여 있었다(Fig. 19).

## 고 찰

병안목 달팽이류 안구의 최외층에는 빛이 통과할

수 있는 투명한 각막이 위치해 있는데, 이들 각막에 관한 연구는 육생 복족류를 대상으로 한 Leydig (1865)의 연구를 위시해서 Hesse (1902)의 고전적인 연구가 있었다.

그러나 최근의 연구로는 *Ilyanassa obsoleta*를 대상으로 한 Gibson (1984a)의 연구와 국내 연구로는 Jeong과 Lee (1994)이 있다. Gibson (1984a), Jeong과 Lee (1994)는 각막이 편평세포 또는 입방세포로 되어있고, 수정체는 무세포성의 구조물로 되어있다고 하였는데, *Incilaria fruhstorferi*도 거의 비슷한 구조이나 차이점은 각막의 일부분에서 긴 원주형세포를 관찰한 점이다. 이는 각막이 원주형세포나 결정양의 세포로 이루어져 있다는 Kataoka (1977)의 결과와 일치한다. 그러나 본 연구에서는 핵이 일부 각막을 이루는 세포에서 관찰되어, 핵이 관찰되지 않았다는 Kataoka (1977)의 주장이나 Röhlich와 Török (1963)의 보고와는 달랐다.

망막은 눈의 구조중 가장 복잡한 부분이다. 그러므로 지금까지 많은 연구자들의 호기심의 대상이었으며, 꾸준히 연구 되어왔다.

특히 망막을 여러학자들은 3~4층으로 나누어 연구한 바 있는데, Gillary와 Gillary (1979)는 해양복족류 (*Stombus luhuanus*)의 망막을 감간층(rhabdomeric layer), 핵층(nuclear layer) 그리고 신경망층(neurophile layer) 등 3층으로 나누었고, Brandenburger (1975), Jachlet와 Colquhoun (1983)은 *Helix aspersa*와 Gastropod *Bulla*에서 미세융모층(microvillar layer), 색소층(pigmented layer), 핵층(nuclear layer) 그리고 신경층(neural layer) 등 4층으로 각각 나눈 바 있다. 그러나 Kataoka (1975)와 Jeong과 Lee (1994)는 미세융모층을 광수용층(photoreceptor layer)으로, 신경층은 망상층(plexiform layer)으로 분류했는데 본 실험에서는 구조상 Brandenburger (1975), Jachlet와 Colquhoun (1983) 분류방식을 따랐다.

망막을 구성하고 있는 세포중 유리체(vitreous body)속으로 긴 미세융모 돌기를 내고 있는 중요한 세포로는 광수용세포(photoreceptor cell)가 있다. 광수용세포는 연구자에 따라 감각세포(sensory cell)와 시세포(visual cell)로 Brandenburger (1975)와

Kataoka (1975)에 의해 각각 호칭되어 왔는데, 이들은 동일한 세포로 판명되었다. 또한 Kataoka (1975)와 Gillary와 Gillary (1979) 등은 광수용세포를 type I과, type II로 나누어 관찰한 바 있다. 즉, type I은 세포의 상단이 둥글게 융기되어 있고, 그 위로 길고 가는 미세융모가(길이 6~7  $\mu\text{m}$ ) 수직방향으로 밀집되어 있으며, 세포질에는 60 nm 정도 직경의 광소포(photoc vesicle)로 가득차 있다고 하였다.

또한 type II형인 경우는 type I과는 달리 세포의 상단이 함몰되어 있고, 짧고 굵은 융모돌기가 대부분 둥글게 말려 있고 광소포도 전혀 관찰된 바 없다고 하였다.

망막세포에서 미세융모의 배열은 광흡수의 각도와 밀접한 관계가 있어, 미세융모가 세포의 상단을 축으로 수직으로 발생해 있는 경우와, 축에서 비스듬히 또는 둥글게 말려 발생한 경우에는 전자가 광흡수에 훨씬 유리하다는 연구결과(Eakin, 1965; Bullock, 1965)도 있었다.

본 연구에서는 망막상피의 상단에 밀집된 미세융모의 대부분이 길거나 짧은 것이 혼재되어 있어, 망막상피 중 광수용세포에는 긴 미세융모가, 지지세포에는 짧은 미세융모가 밀생되어 있다는 여러 학자들(Brandenburger, 1975; Kataoka, 1975, 1977; Jeong and Lee, 1994)의 내용과는 달랐으며, 특히 광수용세포에 미세융모 대신 섬모가 발생된 경우도 있다는 예를, 본 실험에서는 확인할 수 없었다. 또한 Gibson (1984a, b)은 해양 복족류 *Ilyanassa obsoleta*의 망막 상피의 상단에서 렌즈소포(lens vesicle)가 형성되어 미세융모 사이를 빠져나가면서 렌즈형성물질(lens material)을 분비한다고 했는데, 본 연구에서도 망막 상피로부터 원형의 세포질이 융기되면서 분리되어 미세융모사이로 줄지어 빠져나가 미세융모의 상단에 부착되는 현상이 관찰되었다. 이로 미루어 이들이 렌즈를 형성한다는 Gibson (1984a, b)의 견해와는 달리 미세융모의 형성에 관여하는 것으로 생각되었지만 앞으로 좀더 심도있는 연구를 통해서 꾸준히 확인되어야 할 것이다.

본 실험에서도 망막상피(두께, 50  $\mu\text{m}$  정도) 속에서 I형과 II형의 광수용세포가 관찰되어, Kataoka (1977), Gillary와 Gillary (1979) 그리고 Branden-

burger (1975)가 보고한 내용과 일부 같았지만 이들의 광수용세포는, 본 실험의 광수용세포와는 조금 다른 양상을 보였다. 즉, 전자인 type I형과 type II형은 세포의 상단이 유리체에 노출되어 있고, 두 세포 모두 섬모가 밀생되어 있는데 비해, 본 실험 (*Incilaria fruhstorferi*)에서는 II형인 경우, I형 세포나 색소세포의 하단에서만 관찰되어 미세융모의 발생은 없었다. 또한 전자인 경우, type I에서만 광소포(photoc vesicle)의 밀집이 관찰된 데 비해, 본 실험에서는 제I형의 하단부와 제II형 전체에서 광소포가 밀집되어 있어, 다른 양상을 보였는데, 이런 현상은 종의 차이에서 오는 것으로 사료되었다.

광수용세포속의 작은 소포(small vesicle)를 광소포(photoc vesicle)라 처음 명명한 사람은 Eakin과 Brandenburger (1970)으로, 이들은 광소포의 막이 단일막으로서 보통 원형질막 두께의 2/3~3/5 정도 밖에 안되고, 그 직경은 60 $\mu\text{m}$  정도가 된다고 하여 (Tonosaki, 1967), 본 실험의 결과와 같았다.

광소포는 Golgi체와 활면소포체의 수조에서 형성되고, 시색소(visual pigment) 대사에 관여하는 것으로 알려졌다(Eakin과 Brandenburger, 1967a, b, c, 1968), 본 실험에서는 그와 같은 일을 수행하는 세포소기관이 확인되지 않았다.

색소세포(pigment cell)를 Gillary와 Gillary (1979)는 type II 광수용세포라 불렀으며, Brandenburger (1975)와 Kataoka (1975)는 지주세포(supportive cell)라 불렀다. 그러나 Jacklet와 Colquhoun (1983)는 색소지주세포(Pigment support cell)라고 하여 지금까지 매우 다양하게 호칭되어왔다. Kataoka (1975)는 색소세포의 형태가 원주형으로, 세포질의 상단에는 단일막으로 둘러싸인 색소과립들이 밀집되어 있고, 그 밑으로 타원형의 핵이 관찰된다고 하였다(Newell, 1965; Brandenburger, 1975). 그러나 본 연구에서는 색소과립이 두 종류로 관찰되고, 색소세포도 그 형태가 불규칙하여 대부분 다층 구조를 하고 있었다. 또한 과립들도 단일막으로 싸여있지 않아서 그 결과는 전자와 일치하지 않았다. Gillary와 Gillary (1979)는 망막에서 관찰된 3종류 세포(type I 광수용세포, 지주세포, type II 광수용세포)에서 색소과립들이 모두 관찰된다고 하였고,

Jeong과 Lee (1994)도 광수용세포의 색소과립들은, 색소세포의 세포질이 광수용세포의 측면을 밀고 들어가서 생긴 현상이라는 견해를 보였는데, 이는 색소세포의 색소과립이 관찰된 바 없는 본 실험과는 달랐다.

본 실험에서 색소과립의 크기는 평균 0.5 $\mu\text{m}$  정도로 나타났으며, 과립들 사이 세포질에서 활면소포체와 더불어 글리코젠 입자들이 발견되어, Kataoka (1977)의 관찰 결과를 뒷받침 하였다.

Eakin과 Brandenburger (1967b)는 *Helix aspersa* 을 대상으로 한 실험에서 색소과립은 전색소과립(propigment granule)을 거쳐 골지체에서 형성되고 성숙한다고 하였고, Cohen (1973)과 Daw와 Pearlman (1974)는 두종류의 광수용세포가 빛의 영향에 따라 색소과립들이 움직일 수 있다는 보고를 한 바 있는데, 병안목 달팽이류에서도 그와 같은 기능이 가능한지의 여부는 지금까지 보고된 바 없어, 앞으로 그 분야에 심도 있는 연구가 더 이루어져야 할 것이다.

핵들이 위치한 핵층 바로 밑에는 교원섬유의 다발과 근육으로 이루어진 결합조직층이 있으며, 그 밑으로 신경망층(neurophile)이 존재한다. 본 연구에서 신경망층을 광학현미경을 통해 관찰 결과 밝은 둥근 띠를 형성하고 있었고, 전자 현미경 관찰에서는 신경섬유와 타원형의 핵을 지닌 신경세포층으로 싸여 있어, 매우 복잡한 형태를 하고 있었다.

Atwood와 Morin (1970) 그리고 Sherman과 Atwood (1972)는 무척추동물의 신경연구에서 연결소포(synaptic vesicle)의 크기와 모양, 소포내물질의 전자밀도 상태 등을 고려하여 소포내 신경전달물질(neurotransmitter)의 종류를 알 수 있을 것이라는 연구 보고가 있었는데, 본 실험에서는 확인하기 어려웠으며 앞으로 지속적인 관찰을 통해서 심도 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 결 론

산민달팽이(*Incilaria fruhstorferi*)의 눈을 광학현미경과 전자현미경으로 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 산민달팽이의 눈은 최외층으로부터 각

막, 수정체, 유리체, 망막 그리고 시신경 순으로 구성되어 있었다.

각막은 편평, 입방, 원주상 또는 불규칙한 세포로 구성되어 있으며, 전자밀도가 낮아 비교적 밝게 보였고, 세포질속에는 글리코겐 입자, 다형세포체 그리고 핵등이 관찰되었다. 유리체내에는 앞쪽으로 무세포성의 투명한 수정체가 위치해 있으며, 그 뒤로는 망막상피로부터 돌출된 긴 미세융모와 짧은 미세융모로 가득차 있었다.

망막상피는 물체를 감지하는 곳으로, 상피를 상단으로부터 미세융모층(microvillar layer), 색소층(pigment layer), 핵층(nuclear layer) 그리고 신경망층(neurophile layer) 등 4부분으로 분류하였다.

미세융모층은 제I형 광수용세포와 색소과립세포로 구성되어 있었는데, 제I형 광수용세포와 색소과립세포의 세포질상단에는 공히 긴미세융모(길이, 19 $\mu$ m)와 짧은 미세융모(길이, 8 $\mu$ m) 그리고 둥글게 말린 미세융모등이 불규칙하게 혼재되어 밀생되어 있었다.

광수용세포는 구조상 제I형과 제II형으로 나누었는데, 제I형은 세포의 상단부가 부채처럼 둥글게 융기되어 있으며, 중하위부는 부채의 넓은 자루처럼 보였다. 상단부 세포질속에는 투명소포, 전자밀도가 높은 소포, 타원형의 사립체 그리고 미세사 등이 들어 있었고, 하단부에는 60 nm 정도 직경의 광소포(photoc vesicle)가 밀집되어 있었다.

제II형 광수용세포는 제I형세포의 하단부에 위치해 있어 미세융모가 없고, 핵은 타원형으로 매우 크며, 세포질속에는 60 nm 크기의 광소포가 제I형에 비해, 더 많이 밀집되어 있었다.

색소세포는 구조상 A형과 B형으로 구분되었는데, A형은 전자밀도가 매우 높은 둥근 과립(직경, 0.5  $\mu$ m)을 치밀하게 소지하고 있는 큰 세포로 확인된 반면, B형은 A형에 비해 전자밀도가 조금 낮은 불규칙한 형태의 과립(직경, 0.6  $\mu$ m)들이 융합현상을 나타내는 작은 세포였다.

핵층은 색소층 밑으로부터 피막 위까지이며, 3종류의 세포핵들이 존재하였다(제II형 광수용세포, 색소과립성세포 그리고 부신경세포의 핵 등).

안구의 최외층은 피막으로 싸여 있었는데, 피막은

교원섬유와 3층의 종주근층(종주근층 1개의 두께, 0.4  $\mu$ m) 그리고 두터운 환상근층(두께, 0.3  $\mu$ m)으로 구성되어 있었다.

피막주위에는 신경망층이 존재하는데, 신경망층은 신경세포와 신경섬유로 구성되어 있었다. 신경세포는 세포질에 비해 타원형의 큰 핵을 소지하고 있었으며, 핵질속에는 큰 덩어리의 이질염색질들이 차륜핵을 형성하였다.

## 참 고 문 헌

- Atwood HL, Morin W, 1970. Neuromuscular and axo-axonal synapses of the crayfish opener muscle, J. Ultrastruct. Res. 32, 361-369
- Bäcker R, 1932. Die mikromorphologie von *Helix pomatia* und einigen anderen Stylommatophoren, Ergebn. Anat. EntwGesch. 29, 449-585
- Brandenburger JL, Eakin RM, 1970. Pathway of incorporation of vitamin A 3H2 into photoreceptors of a snail, *Helix aspersa*, Vision Res. 10, 639-653
- Brandenburger JL, 1975. Two new kinds of retinal cells in the eye of a snail, *Helix spersa*, J. Ultrastruct. Res. 50, 216-230
- Bullock TH, 1965. The mollusca. In: Structure and function in the nervous system of invertebrates, Vol. 2. TH Bullock and GA Horridge. eds. Freeman, San Francisco and London, pp. 1273-1513
- Cohen AI, 1973. An ultrastructural analysis of the photoreceptors of the squid and their synaptic connections. I. photoreceptive and non-synaptic regions of the retina, J. Comp. Neur. 147, 351-378
- Daw NW, Pearlman AL, 1974. Pigment migration and adaptation in the eye of the squid, *Loligo pealei*. J. Gen. Physiol. 63, 22-36
- Eakin RM, 1965. Evolution of photoreceptors. In Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, Vol. 30: Sensory Receptors (edited by Frisch L.). pp.363-370. Cold Spring Harbor. L.L. New York
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1967a. Differentia-

- tion in the eye of a pulmonate snail *Helix aspersa*, J. Ultrastruct. Res. 18, 391-421
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1967b. Functional significance of small vesicles in photoreceptor cells of a snail, *Helix aspersa*, J. Cell. Biol. 35, 36A
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1967c. Light-induced ultrastructural changes in eyes of pulmonate snail. *Helix aspersa*, J. Ultrastruct. Res. 21, 164 (Abstract)
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1968. Localization of vitamin A in the eye of a pulmonate snail, Proc. Natn. Acad. Sci. U.S.A. 60, 140-145
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1970. Osmic staining of amphibian and gastropod photoreceptors, J. Ultrastruct. Res. 30, 619-641
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1975a. Retinal differences between light-tolerant and light-avoiding slug (Mollusca: Pulmonata), J. Ultrastruct. Res. 53, 382-394
- Eakin RM, Brandenburger JL, 1975b. Understanding the snail's eye at a snail's pace, Am. Zool. 15, 851-863
- Eakin RM, Westfall JA, Dennis MJ, 1967. Fine structure of the eye of a nudibranch mollusc, *Hermisenda crassicornis*, J. Cell. Sci. 2, 349-358
- Eisenmann H, 1920. Untersuchungen am gastropodenauge, Zool. Anz. 51, 143-158
- Gibson B, 1984a. Cellular and ultrastructural features of the regenerating adult eye in the marine gastropod. *Ilyanassa obsoleta*, J. Morph. 180, 145-157
- Gibson B, 1984b. Cellular and ultrastructural features of the adult and the embryonic eye in the marine gastropod, *Ilyanassa obsoleta*. J. Morph. 181, 205-220
- Gillary HL, Gillary EW, 1979. Ultrastructural features of the retina and optic nerve of *Strombus luhuanus*, a marine gastropod, J. Morphol. 159, 89-116
- Hesse R, 1902. Über die retina des gastropodenauges, Verh. dt. zool. Ges. 12, 121-125
- Hughes HPI, 1970. A light and electron microscope study of some opisthobranch eyes, Z. Zellforsch. 106, 79-98
- Hughes HPI, 1976. Structure and regeneration of the eyes of strombid gastropods, Cell Tissue Res. 171, 259-271
- Jachlet JW, 1976. Dye marking in the eye of Aplysia. Comparative Biochemistry and Physiology, 55A, 373-377
- Jachlet JW, Colquhoun W, 1983. Ultrastructure of photoreceptors and circadian pacemaker neurons in the eye of a gastropod, Bulla. J. Neurocytol. 12, 673-696
- Jeong KH, Lee H, 1994. An anatomical and ultrastructural study on the eye of a land snail, *Nesiohelix samarangae*, Korean J. Malacol. 10, 1-8
- Kataoka S, 1975. Fine structure of the retina of a slug, *Limax flavus* L. Vision Res. 15, 681-686
- Kataoka S, 1977. Ultrastructure of the cornea and accessory retina in a slug, *Limax flavus* L., J. Ultrastruct. Res. 60, 296-305
- Leydig F, 1865. Zur Anatomie und Physiologie der Lungenschnecken, Arch. mikrosk. Anat. 1, 43-67
- Newell GE, 1965. The eye of *Littorina littorea*, Proc. zool. Soc. Lond. 144, 75-86
- Newell PF, Newell GE, 1968. The eye of the slug, *Agriolimax reticulatus* (Müll.). In Symposia of the Zoological Society of London, No. 23: Invertebrate Receptors (edited by Carthy JD and Newell GE). pp.97-111. Academic Press. London.
- Rhlich P, Trk LG, 1963. Die Feinstruktur des Auges der Weinbergschnecke (*Helix pomatia* L.). Z. Zellforsch. mikrosk. Anat. 60, 348-368
- Schwabach G, Lickfeld KG, Hahn M, 1963. Der micromorphologische Aufbau des Linsenauges der Weinbergschnecke (*Helix pomatia* L.), Protoplasma. 56, 242-273
- Sherman RG, Atwood HL, 1972. Correlated electrophysiological and ultrastructural studies of a crustacean motor unit, J. Gen. Physiol. 59, 586



-615

Smith G, 1906. The eyes of certain pulmonate gastropods with special reference to the neurofibrillae in *Limax maximus*, Bull. Mus. Comp.

Zool. Harv. 48, 231-283

Tonosaki A, 1967. Fine structure of the retina in *haliotis discus*, Z. Zellforsch. mikrosk. Anat. 79, 469-480

## FIGURE LEGENDS

- Fig. 1.** The eye (longitudinal section) in the optic tentacle. methylene blue-basic fuchsin double staining. scale bar=200  $\mu$ m
- Fig. 2.** Magnification of the eye in Fig. 1. methylene blue-basic fuchsin double staining. scale bar=100  $\mu$ m
- Fig. 3.** Higher magnification of Fig. 2. asterisk, superior epithelium of eye; two asterisk cornea cell. methylene blue-basic fuchsin double staining. scale bar=20  $\mu$ m
- Fig. 4.** Longitudinal section through the cornea and pigmented cell layer. arrow, nuclear of cornea cell; P, pigment granule. methylene blue-basic fuchsin double staining. scale bar=20  $\mu$ m
- Fig. 5.** Longitudinal section of the cornea cells and pigmented granules. arrow, multivesicular body. scale bar=3  $\mu$ m
- Fig. 6.** Higher magnification of the Fig. 5. arrow, multivesicular body, asterisk, glycogen granule; C, cornea cell. scale bar=1  $\mu$ m
- Fig. 7.** The type-I photoreceptor cell and pigmented cells in retinal epithelium are seen. opened asterisk, vitreous body; asterisk, lens; Mi, long microvilli; P, pigmented cell; S1, type-I of photoreceptor cell. scale bar=3  $\mu$ m
- Fig. 8.** Microvilli on the apical portion of the type I-photoreceptor cell and pigmented cells. arrow, tight junction; arrowhead, clear vesicles; opened arrow, cored vesicles; two arrow, glycogen particle; L, lens vesicle; Mi, microvilli. scale bar=1  $\mu$ m
- Fig. 9.** Electron micrograph showing the retinal epithelium. P, pigmented cell; S1, type-I of photoreceptor cell; S2, type-II of receptor cell; V, vacuole. scale bar= 3  $\mu$ m
- Fig. 10.** Higher magnification of the Fig. 9. The type-I and the type-II of receptor cells are seen. asterisk, photic vesicles; arrow, vacuole; M, mitochondria; N, nuclear; V, large vacuole. scale bar=2  $\mu$ m
- Fig. 11.** Higher magnification of the type-II of photoreceptor cell of Fig. 10. arrow, photic vesicle; asterisk, vacuole; opened arrow, glycogen particle. scale bar=3  $\mu$ m
- Fig. 12.** Electron micrograph showing the type-II photoreceptor cells and connective tissue of the capsule. arrow, mitochondria; asterisk, photic vesicle; opened arrow, basal lamina; C, connective tissue; Ne, neurophile. scale bar=3  $\mu$ m
- Fig. 13.** Longitudinal section through the retinal epithelium. open arrow, lens vesicle; arrow, budding lens vesicle; arrowhead, microtubule M, mitochondria. scale bar=3  $\mu$ m
- Fig. 14.** Electron micrograph showing the type-A of stratified pigmented cells and type-B of pigmented cells in the retinal epithelium. arrow, type-B of pigmented cell; Mi, microvilli. scale bar=3  $\mu$ m
- Figs. 15 and 16.** Electron micrograph showing the middle and inferior part of the retinal epithelium. arrow, microfilament; large arrow, pigment forming cell; asterisk, photic vesicle; AX, axon;

C, connective tissue of capsule; Ne, neuron. scale bars= $3\mu\text{m}$ ,  $4\mu\text{m}$

- Fig. 17.** Electron micrograph showing the axons are contacted with pigment granules in the pigmented cell. asterisk, clear vesicles; arrow, axons and pigment granules are contacted with together; arrowhead, neurofilament. scale bar= $1\mu\text{m}$
- Fig. 18.** Higher magnification of Fig. 17. arrow, SER; large arrow, glycogen particle. scale bar= $0.5\mu\text{m}$
- Fig. 19.** Longitudinal section of connective tissue in the capsule and neuron in the plexiform layer. AX, axon; C, connective tissue in capsule; N, nucleus of neuron. scale bar= $3\mu\text{m}$
- Fig. 20.** Electron micrograph showing the muscle fiber and collagenous fiber in the connective tissue. arrow, myofilament; opened arrow, sarcoplasmic reticulum; M, mitochondria. scale bar= $1\mu\text{m}$









