

# 참갈겨니 *Zacco koreanus*와 눈동자개 *Pseudobagrus koreanus*의 생태학적 차이에 의한 망막 조직의 비교 연구

유민정 · 박종영\*

전북대학교 자연과학대학 생물과학부 · 생물다양성연구소

**Comparative Study of the Retinal Structure in Two Korean Endemic Freshwater Fishes, *Zacco koreanus* (Cyprinidae) and *Pseudobagrus koreanus* (Bagridae) Based on Their Habitats by Min-Jeong You and Jong-Young Park\*** (Faculty of Biological Science, College of Natural Science and Institute for Biodiversity Research, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea)

**ABSTRACT** Comparative study of retinal structure in two Korean endemic freshwater fishes, *Zacco koreanus* and *Pseudobagrus koreanus*, was carried out by light and scanning electron microscopy. In the visual cell layer comprised of cone cells and rod cells, the cone cells showed a distinct difference between both species. *Z. koreanus* had two types of cone cells, single cone cells including a long single and short single cone cells, and double cone cells, whereas *P. koreanus* had only one type of single cone cells having no its short single and long single cones. Meanwhile, the cone cells of *Z. koreanus* were arranged in more compact-rowed pattern, but it was more loose and irregular in *P. koreanus*. Based on field observation, *Z. koreanus* is mainly a epipelagic or sometimes benthopelagic and a diurnal fish with a round and large eye, while *P. koreanus* is a demersal and nocturnal fish with an oval and small eye. Therefore, the difference in the retinal structure of two species seems to be closely related to their ecological habitats.

**Key words :** Cone cell, habitats, *Pseudobagrus koreanus*, retina, *Zacco koreanus*

## 서 론

어류의 기본 안구구조는 다른 척추동물과 마찬가지로 바깥막(각막, 공막), 중간막(홍채, 맥락막), 속막(망막)으로 구성되어 있으나(Polyak, 1957) 대부분 눈꺼풀이 결여되어 있다는 점과 수정체가 모양이 고정된 둥근 형태로 전진·후진으로 이동하여 초점을 맞춘다는 점에서 큰 차이점을 갖고 있다(Nicol, 1989). 한편 어류에 있어서 그들의 안구는 기본적으로 비슷하지만 생활양식, 서식지 그리고 생활상에 따라 구조가 매우 다양하게 적응해 온 것으로 알려져 왔다(Lagler *et al.*, 1977).

경골어류의 안구에 관한 연구는 주로 시각세포의 배열과 구성세포에 관하여 알려져 있는데 이들 세포의 특성은 어류의 생태, 식성 등의 차이에 따라 기능적인 차이를 갖는

것으로 보고된 바 있다(Lyall, 1957; Fernald, 1982; Van der Meer, 1992; Narayanan and Khan, 1995; Frank *et al.*, 2001; Rodríguez and Gisbert, 2001). 이러한 안구의 구조적 차이는 특수한 생태적 지위를 갖는 일부 심해어에서 더욱 뚜렷하게 나타나는데 이들의 시각세포층은 원뿔세포(cone cell) 없이 오직 막대세포(rod cell)로만 구성되는 특징을 보였다(Wagner *et al.*, 1998). 또한 *Anableps microlepis*는 수면을 기준으로 하여 위·아래가 전혀 다른 2개의 안구 내부구조를 갖는다고 알려져 있다(Grigg, 1995).

한편 국내에서 알려진 어류의 안구구조에 관한 연구는 Lim *et al.* (2002)과 Lim and Lee (2005)에 의해 수행된 갈겨니 *Zacco temminckii*, 참마자 *Hemibarbus longirostris*, 모래무지 *Pseudogobio esocinus* 등 3종에 불과하다. 본 연구의 대상종 중 참갈겨니 *Zacco koreanus*는 주행성 어류로서 주로 수서곤충을 먹고 사는 대표적인 계류성 어종으로 알려져 있으며(Kim *et al.*, 2005), 눈동자개 *Pseudobagrus kore-*

\*교신저자: 박종영 Tel: 82-63-270-3344, Fax: 82-63-270-3362, E-mail: park7877@chonbuk.ac.kr

anus는 우리나라의 고유종으로 낮에는 주로 돌 밑에 숨고 밤에 활동하여 수서곤충이나 작은 물고기를 먹고 사는 저서성 어류로 알려져 있어 (김, 1997; Kang, 1998; 김과 박, 2002) 야행성 어류의 대표종으로 선정하였다.

따라서 본 연구에서는 만경강 일대에 서식하는 참갈겨니와 눈동자게의 안구 외부형태와 망막 시각세포층의 구조를 비교 연구함으로써 생태학적 차이에 의한 두 종간의 생물학적 특징을 규명하는 데 기본자료를 얻고자 한다.

### 재료 및 방법

본 실험대상 어류는 만경강 일대에서 서식하고 있는 참갈겨니와 눈동자게 2종으로 각 10개체씩 족대 (망목 5×5 mm), 투망 (망목 7×7 mm)과 낚시를 이용하여 채집하였다 (Fig. 1).

#### 1. 안구의 외부형태 조사

채집한 개체는 실험실로 운반하여 일부는 10% 포르말린 용액에 고정하고 체장 (standard length), 두장 (head length)을 측정하고 안구를 적출하여 안경 (eyeball diameter)을 수평안경 (horizontal diameter of eyeball)과 수직안경 (vertical diameter of eyeball)으로 구분하여 digital calipers로 측정하였

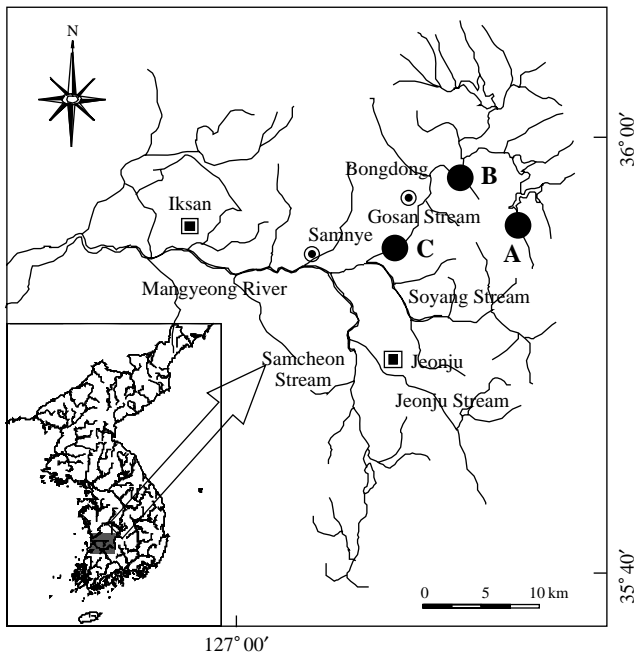


Fig. 1. Map showing the collection sites of *Zacco koreanus* and *Pseudobagrus koreanus* in the Mangyeong river, Wanju-gun, Jeollabuk-do, Korea. A, Suman-ri, Dongsang-myeon, Wanju-gun; B, Eumnae-ri, Gosan-myeon, Wanju-gun; C, Sinseong-ri, Bongdong-eup, Wanju-gun.

다 (Hubbs and Laglar, 2004). 내부구조는 각막을 절개한 후 수정체를 적출하여 수정체직경 (lens diameter)을 측정하였고 (Hubbs and Laglar, 2004), 일부는 전자현미경적 관찰을 위해 살아있는 상태에서 계측 후 안구를 적출하여 0.2 M cacodylate buffer (pH 7.3)에 희석시킨 2.5% glutaraldehyde에 전고정시켰다.

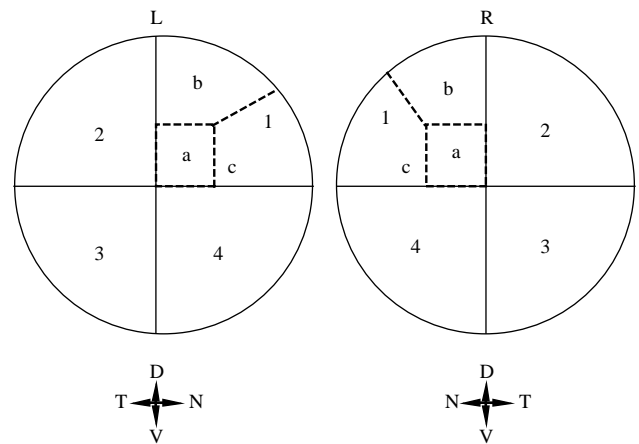
#### 2. 조직학적 실험

##### 1) 광학 현미경적 조사

망막의 수직절단면을 관찰하기 위해 망막조직을 2×4 mm 크기로 절취한 뒤 ethanol로 탈수한 후 일반적인 paraffin으로 포매하고 radial section으로 5 μm 두께로 잘랐다. 망막의 시각세포층을 수평으로 관찰하기 위해 망막을 사등분하여 transverse section으로 관찰하였다. 특히 사등분한 망막을 좀 더 세밀하게 부분별로 나누어 (Fig. 2) 2×2 mm 크기로 작게 절취하고 동일한 방법으로 탈수, 포매 후 박절하였다. 박절한 표본은 Ehrlich's haematoxylin과 alcoholic eosin (H & E)으로 이중염색하고 염색된 표본은 광학현미경 (Nikon Microphoto-Fax, Japan)으로 관찰하였고, Carl Zeiss Vision (Axio Vision LE Rel. 4.4, Germany)으로 촬영하였다.

##### 2) 주사 전자현미경적 조사

망막의 방사상절단면을 관찰하기 위해 1×2 mm 크기로 절취한 뒤 1% osmium tetroxide에 후고정한 후 ethanol 농도상승순으로 탈수하였다. 탈수한 조직편들은 tertiary butyl alcohol (TBA) 과정을 거쳐 동결건조기로 건조하여 증착 (coating)한 후 주사 전자현미경 (HITACHI SN-3000, Japan)



- 1. Dorsal nasal region
- 2. Dorsal temporal region
- 3. Ventral temporal region
- 4. Ventral nasal region

Fig. 2. Diagram of transverse section for observing the structure of the retinal surface in *Zacco koreanus* and *Pseudobagrus koreanus*: D, dorsal; L, left eyeball; N, nasal; R, right eyeball; T, temporal; V, ventral; a: central part; b: dorsal median part; c: nasal median part.

으로 관찰·촬영하여 비교하였다.

## 결 과

### 1. 안구의 일반적인 형태

#### 참갈겨니 *Z. koreanus*

실험에 사용된 10개체는 64.0~81.6 mm의 체장범위를 보였으며 이들의 두장은 16.5~21.6 mm이었다. 적출된 안구의 수평안경은 6.0~7.1 mm, 수직안경은 5.5~6.9 mm로 수직안경/수평안경 0.93으로 나타나 안구의 전체적인 형태는 비교적 구형에 가까운 타원형임을 알 수 있었다. 수평안경/체장(%)은 8.73, 수평안경/두장(%)은 32.95로 나타났으며, 수정체는 완전한 구형의 형태로 2.5~2.9 mm, 수정체직경/수평안경(%)은 42.13으로 나타났다(Table 1).

#### 눈동자개 *P. koreanus*

실험에 사용된 10개체는 78.5~97.6 mm의 체장범위를 보였고, 두장은 17.8~22.3 mm이었다. 적출된 안구의 수평안경은 3.6~4.6 mm, 수직안경은 3.1~3.9 mm이었으며, 수

직안경/수평안경 0.87로 나타나 안구의 전체적인 형태는 가로로 긴 타원형임을 알 수 있었다. 수평안경/체장(%)은 4.51, 수평안경/두장(%)은 18.97로 안구크기가 현저하게 작았다. 수정체는 완전한 구형의 형태로 1.7~2.3 mm, 수정체직경/수평안경(%)은 48.59로 크게 나타났다(Table 1).

### 2. 망막의 기본 구조

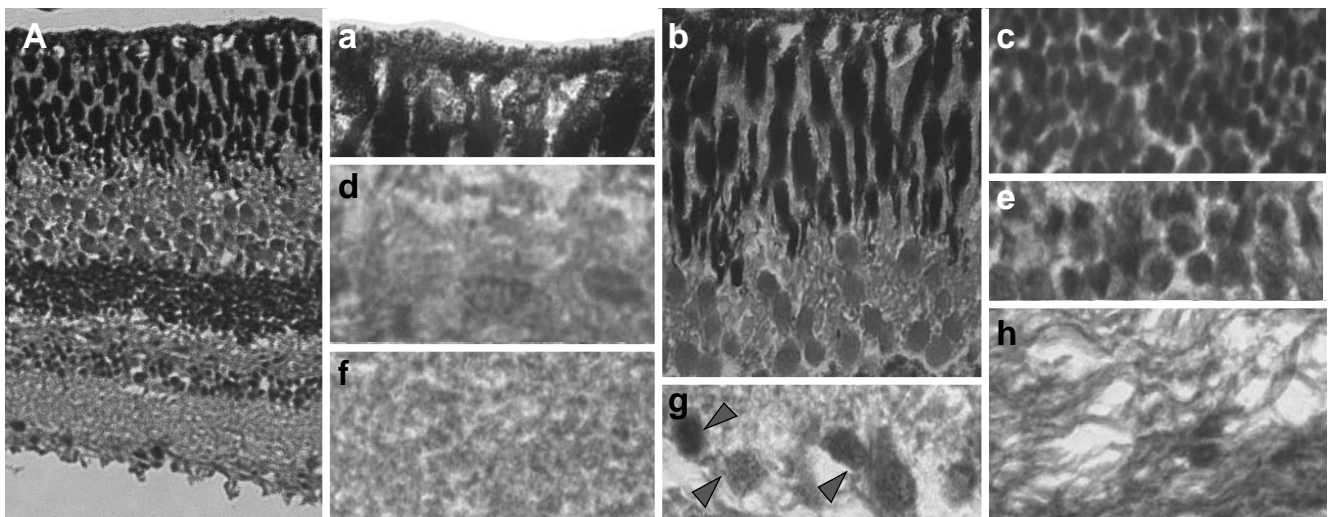
참갈겨니와 눈동자개의 망막구조를 조사한 결과 두 종 모두 색소상피층(retina pigment epithelium), 시각세포층(visual cell layer), 바깥핵층(outer nuclear layer), 바깥plexiform layer, 속핵층(inner nuclear layer), 속plexiform layer, 신경절세포층(ganglion cell layer), 신경섬유층(nerve fiber layer)으로 구분할 수 있었다(Fig. 3A).

망막의 바깥층에 해당하는 색소상피층은 육각형의 단층상피로서 맥락막과 연결되어 있었으며 세포내에 멜라닌과립이 많아 H & E염색에서 검게 보였다(Fig. 3a). 시각세포층은 원뿔세포와 막대세포의 외절(outer segment)과 내절(inner segment)로 구성되어 있으며 외절은 편평한 막성분의 원판(disc)이 마치 동전을 겹겹이 쌓아둔 형태로 존재하나 H & E염색에서는 구분되지 않고 전체가 긴 형태로 검게 보였다(Fig. 3b). 바깥핵층은 시각세포의 핵으로 구성되어 있으며 haematoxylin에 염색되는 과립상을 보였다(Fig. 3c). 바깥plexiform layer는 eosin으로 염색되며(Fig. 3d) 시각세포의 축삭, 양극세포(bipolar cell), 수평세포(horizontal cell)의 수상돌기, 뮐러세포(muller cell) 등이 망상으로 형성되어 있었다. 속핵층은 양극세포, 수평세포, 뮐러세포의 핵으로 구성되어 있으며 이들은 haematoxylin으로 염색되는 basophilic

**Table 1.** Comparison of the proportional measurements between *Zacco koreanus* and *Pseudobagrus koreanus*

	EDh*/SL** (%)	EDh*/HL*** (%)	LD*/EDh* (%)
<i>Z. koreanus</i>	8.73	32.95	42.15
<i>P. koreanus</i>	4.51	18.97	48.59

\*horizontal diameter of eyeball, \*\*standard length, \*\*\*head length, \*lens diameter



**Fig. 3.** A radial section showing general structures of the retina with Ehrlich's haematoxylin and eosin in *Zacco koreanus*. (A) shows whole retinal layer ( $\times 200$ ) and (a-h) are magnification of (A) by layer ( $\times 1,000$ ). a, retina pigment epithelium; b, visual cell layer; c, outer nuclear layer; d, outer plexiform layer; e, inner nuclear layer; f, inner plexiform layer; g, ganglion cell layer (arrow head, each ganglion cell); h, nerve fiber layer.

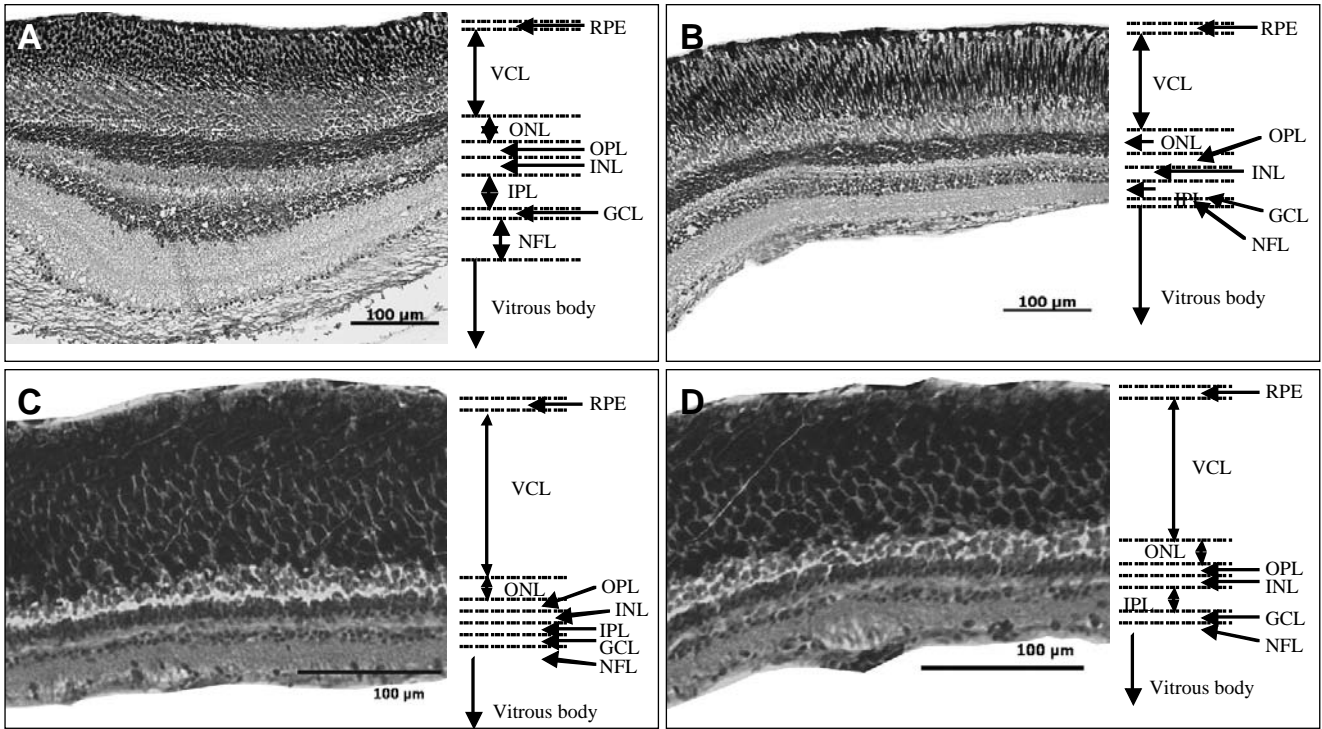


Fig. 4. Light micrographs of the retina with Ehrlich's haematoxylin and eosin of *Zacco koreanus* (A, B) and *Pseudobagrus koreanus* (C, D). A and C are central portion, B and D are peripheral portion. GCL, ganglion cell layer; INL, inner nuclear layer; IPL, inner plexiform layer; NFL, nerve fiber layer; ONL, outer nuclear layer; OPL, outer plexiform layer; RPE, retina pigment epithelium; VCL, visual cell layer.

임을 알 수 있었다(Fig. 3e). 속열기층은 양극세포의 축삭과 신경절세포의 수상돌기, 필러세포의 섬유 등으로 구성되며 역시 eosin으로 염색된 망상구조를 보였다(Fig. 3f). 신경절 세포층은 신경절세포(ganglion cell)의 핵으로 이루어져 있으며, 이러한 핵들은 haematoxylin으로 염색된 과립상을 보였다(Fig. 3g). 신경섬유층은 신경절세포의 축삭과 신경교세포들로 이루어져 있고 eosin염색을 보였다(Fig. 3h).

1) 방사상절단면 (radial section) 관찰

참갈겨니 *Z. koreanus*

광학현미경으로 관찰해 보면 망막의 전체 층이 모두 잘 관찰되었으며 전체망막의 두께는 주변부에서 중심부로 진행 할수록 두꺼워지는데 중심부에서는 전체망막의 두께가 377.64 μm (Fig. 4A)로 측정된 반면 주변부에서는 두께 228.13 μm로 측정되었다(Fig. 4B). 주사전자현미경으로 관찰한 결과 망막의 각 층이 뚜렷이 구분되었다(Fig. 5A). 특히 시각세포의 내절층은 치밀한 2~3층으로 구성되어 있었으며 1개의 내절로 이루어진 단일원뿔세포와, 2개의 내절로 이루어진 이중원뿔세포가 관찰되었다(Fig. 5B).

눈동자개 *P. koreanus*

광학현미경으로 관찰하면 주변부에서 중심부로 갈수록

망막이 두꺼워지는 형태를 보였지만 그 차이는 참갈겨니 만큼 명확하지 않아서 중심부에서 측정된 전체망막의 두께는 150.13 μm (Fig. 4C)이고 주변부에서 측정된 두께는 126.84 μm (Fig. 4D)로 큰 차이를 보이지 않았다. 전체 망막층을 참갈겨니와 비교해보면 각 층은 참갈겨니보다 얇고 전반적으로 느슨한 조직구조를 보이고 있었다. 주사전자현미경으로 관찰한 망막의 구조를 비교한 결과 역시 모든 층에서 그 두께가 얇았으며 층간의 경계도 명확하지 않았다(Fig. 5C). 시각세포의 내절층은 단일원뿔세포로만 구성되어 있으며 1~1.5층으로 얇게 나타나고 신경절세포층과 신경 섬유층은 매우 얇아서 구분하기 어려웠다(Fig. 5D).

2) 수평절단면 (transverse section) 관찰

망막조직을 수평으로 절단하여 광학현미경으로 관찰한 결과 시각세포의 내절은 둥근 형태로 eosin에 염색되는 acidophilic이며, 염색된 농도의 차이를 비교하여 각각의 원뿔세포종류를 알 수 있었다. 둥근 내절 1개로 구성되어 있는 단일원뿔세포 중 긴단일원뿔세포(long single cone cell)는 짧은단일원뿔세포(short single cone cell)보다 eosin에 강한 염색성을 보였고, 둥근내절 2개를 가지는 이중원뿔세포(double cone cell)의 경우에도 두 개의 내절 중 한쪽은 염색농도가 진하고 다른 한쪽은 염색농도가 약해 이중원뿔세

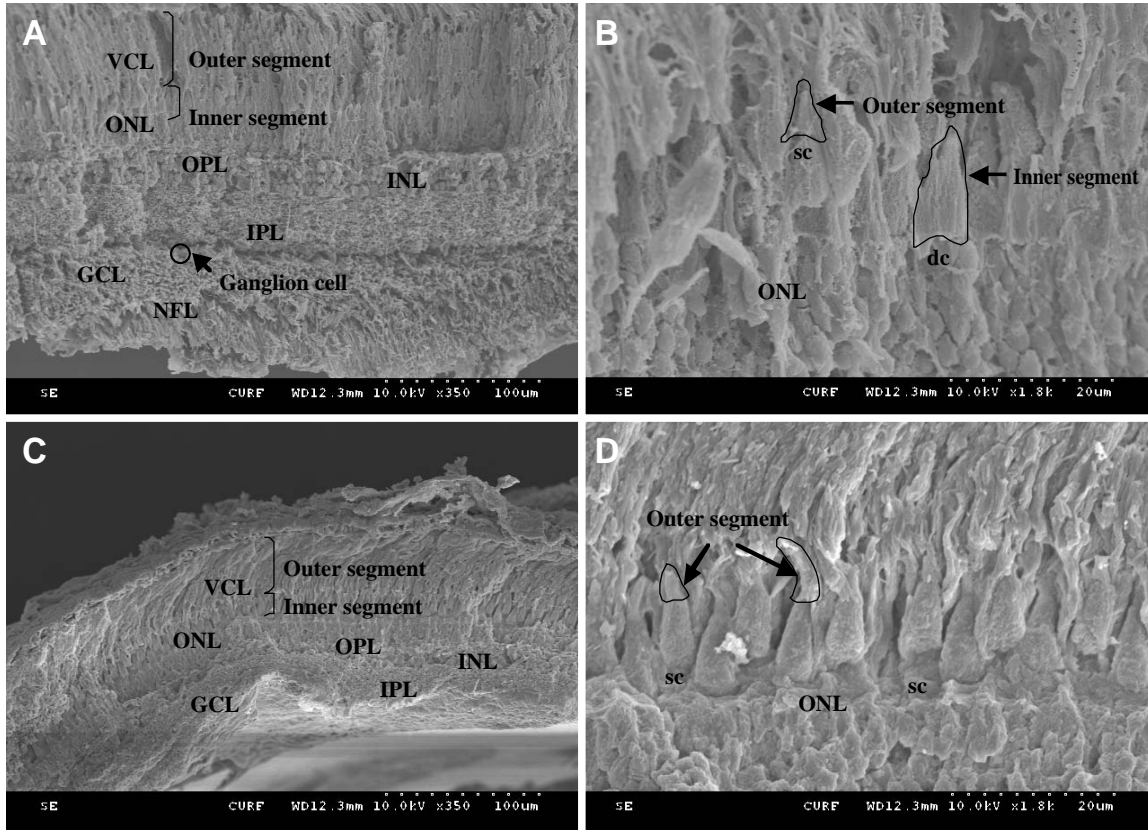


Fig. 5. Scanning electron micrographs of the retina of *Zacco koreanus* (A, B) and *Pseudobagrus koreanus* (C, D). dc, double cones; GCL, ganglion cell layer; INL, inner nuclear layer; IPL, inner plexiform layer; NFL, nerve fiber layer; ONL, outer nuclear layer; OPL, outer plexiform layer; sc, single cones; VCL, visual cell layer.

포의 종류가 동종이중원뿔세포 (identical double cone cell)임을 알 수 있었다.

참갈겨니 *Z. koreanus*

망막의 주변부에서 중심부로 갈수록 세포의 크기는 작아지고 밀도는 증가하는 양상을 보였다. 또한 전체망막에서 세포들이 열을 지어 배열하고 등쪽 (dorsal region)과 배쪽 (ventral region)에서는 주로 단일원뿔세포들과 이중원뿔세포들이 관찰되었다. 코쪽 (nasal region)과 바깥쪽 (temporal region)에서는 좀 더 작은 크기의 단일원뿔세포와 이중원뿔세포가 교대로 배열하고 있는데 이중원뿔세포끼리는 서로 평행하게 존재하고 그 사이에 단일원뿔세포가 배열하였다. 망막의 가장 중심부에서는 이중원뿔세포끼리 서로 평행한 상태로 배열하며 그 사이로 긴단일원뿔세포들과 짧은단일원뿔세포들이 교대로 배열하고 있었다 (Fig. 6A, B, C).

눈동자개 *P. koreanus*

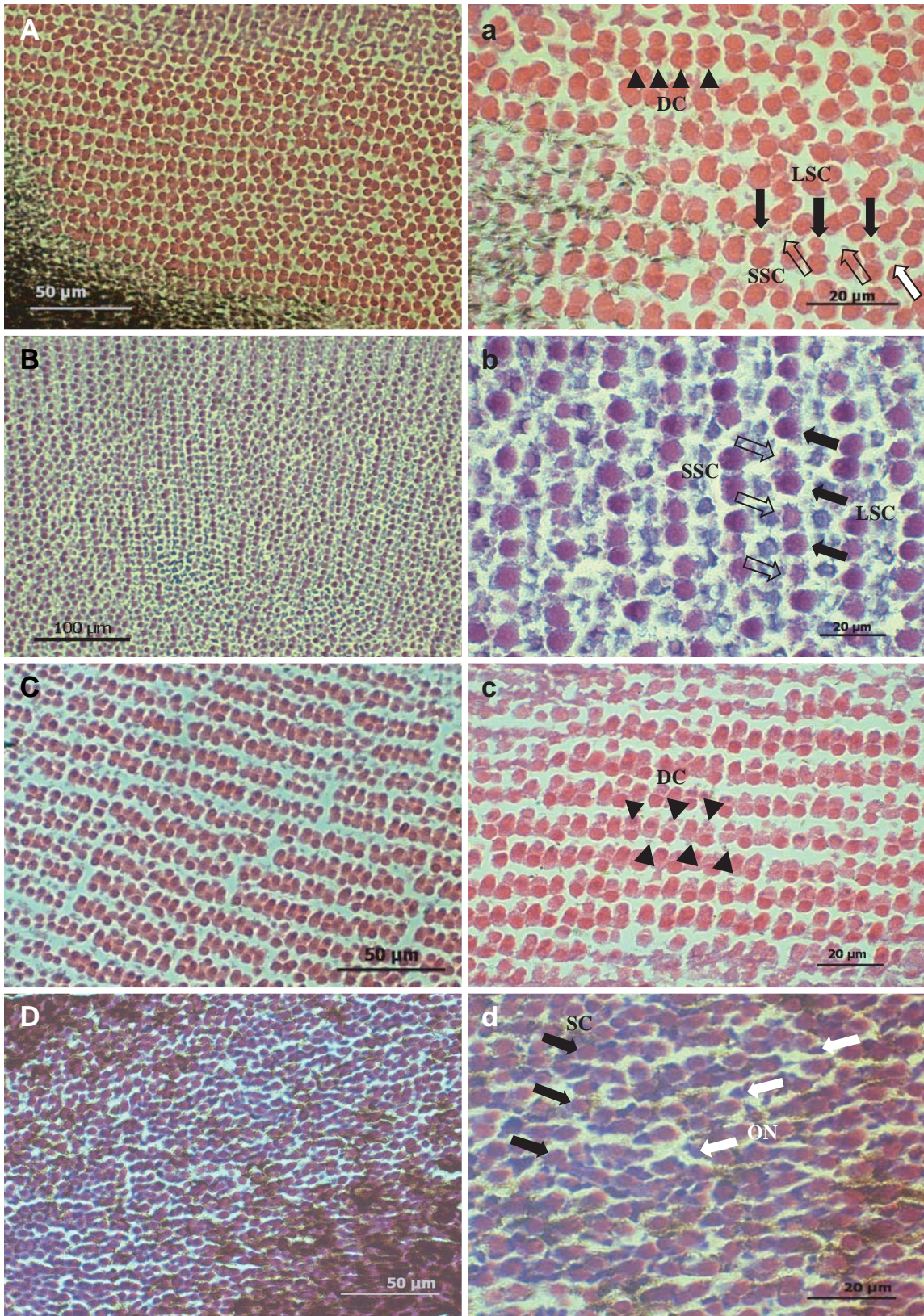
시각세포층의 외절층은 잘 발달해 있지만 내절층은 두께가 얇아 수평절단면에서 eosin에 염색되는 원뿔세포의 내절뿐 아니라 아래쪽으로 haematoxylin에 염색되는 바깥핵

층의 과립상이 동시에 관찰되었다. 원뿔세포의 내절 크기와 배열이 일정한 규칙성이 없이 흩어져 있고 망막을 구성하고 있는 시각세포의 세포밀도 역시 참갈겨니보다 현저히 낮게 분포하고 있었다 (Fig. 6D).

고 찰

참갈겨니와 눈동자개의 안구를 형태적으로 관찰하고 망막 시각세포층의 구조를 비교 연구한 결과, 외형적으로 볼 수 있듯이 조사된 모든 개체에서 참갈겨니의 안구크기가 눈동자개보다 더 발달한 것을 확인할 수 있었다. 어류에서 수정체는 높은 굴절률을 가지고 있어 안구내의 유일한 굴절기관으로 알려져 있으며 동공을 통해 입사하는 빛을 굴절시켜 망막에 상을 맺게 해주는 역할을 하는데 (Sivak, 1990) 안구 내에서 수정체가 차지하는 비율은 눈동자개가 참갈겨니보다 크게 나타나 눈동자개의 작은 안구 내에서 보다 큰 세기의 수정체굴절력이 요구됨을 알 수 있다.

참갈겨니와 눈동자개의 망막은 안구의 내면에 있는 감각



**Fig. 6.** Cone cells in the visual cell layer of the retina with Ehrlich's haematoxylin and eosin of *Zacco koreanus* (A, B and C) and *Pseudobagrus koreanus* (D) by tangential section. Pictures of a-d are magnification of A-D. DC, double cone cell; LSC, long single cone cell; ON, outer nucleus; SC, single cone cell; SSC, short single cone cell.

층으로서 그 구조는 다른 어류에서와 마찬가지로 바깥망막층(색소상피층)과 속망막층 혹은 신경망막층(시각세포층, 바깥핵층, 바깥얼기층, 속핵층, 속얼기층, 신경절세포층, 신경섬유층)으로 구분되어 있다(Polyak, 1957; 日比谷, 1982). 조직학적으로 관찰한 결과 망막의 두께는 두 종 모두 중심부가 주변부보다 더 두꺼운 형태를 가지고 있어 중심시기능이 주변부 시기능보다 발달된 것으로 생각할 수 있으며, 전체적으로는 참갈겨니가 눈동자개보다 더 두꺼운 형태로 발달된 모습을 보이고 있어 참갈겨니의 시기능이 눈동자개보다 발달했을 것으로 생각된다(Moyle and Joseph, 2000).

척추동물에서 일반적으로 망막을 구성하고 있는 세포에는 시각세포, 양극세포, 수평세포, 신경절세포 등이 있으며 이 중 시각세포층은 빛을 흡수하는 역할을 하며 그 외의 것들은 신경연접을 통해 자극을 전달하는 역할을 한다(김, 2002; 조 등, 2002). 시각세포 중 원뿔세포는 주로 밝은 곳에서 작용하고 주시기능과 색깔을 감지하며 높은 해상력을 갖는데 반하여 막대세포는 어두운 곳에서 명암을 구분하거나 움직임 감지하고 주변시와 같은 기능에 관여한다(Ryan, 2001). 따라서 주행성 종에서는 원뿔세포의 밀도가 높으며 야행성 종에서는 막대세포의 밀도가 높다고 알려져 있으며 일부 심해어류의 경우에는 원뿔세포는 완전히 결여되어 있는 막대세포로만 구성되어 있는 것으로 보고된 바 있다(Hirt and Wagner, 2005). Lagler *et al.* (1977)에 따르면 시각세포의 발달과 구성은 환경, 먹이, 생활상 등에 따라 다르게 적응되어 왔으며 이로 인해 종에 따라 매우 다른 시각세포의 구성과 배열을 갖는다고 한다. 또한 일반적인 척추동물에서 시각세포는 원뿔세포와 막대세포로 나뉘며 이들을 구별하는 방법으로는 쉽게 조직학적 소견으로 원뿔세포가 직경이 더 크고 길이가 짧으며 내절직경도 더 큰 점들에 의하여 특별한 지표 없이도 원뿔세포를 쉽게 감별할 수 있게 해준다(Curcio *et al.*, 1987). 그러나 어류의 경우 안구크기가 큰 일부 상어류, 홍어류, 장어류 등에서는 원뿔세포와 함께 막대세포가 관찰된다고 보고되었지만(Shand *et al.*, 1999; Frank *et al.*, 2001; Welch and Pankhurst, 2001), 대부분의 경골어류 특히, 담수어류에서 막대세포의 구분이 어려우며, 본 연구의 대상종인 참갈겨니와 눈동자개에서도 막대세포는 관찰되지 않았다.

어류에서 빛이 공기중에서 수중으로 입사할 때 생기는 빛의 분산으로 인해 다양한 파장의 빛을 흡수하는 여러 종류의 원뿔세포가 요구되며 이 중 단일원뿔세포는 주로 빛의 단파장(short wavelength)에서 최대 흡수력을 보이고 이중원뿔세포는 중파장과 장파장(middle and long wavelength)에서 최대 흡수력을 갖는다고 알려져 있다(Van der Meer, 1992). 따라서 본 연구결과 참갈겨니의 시각세포층은 간단일원뿔세포, 짧은단일원뿔세포, 이중원뿔세포 등 다양한 종류의 원뿔세포로 구성되어 있는데 이러한 구조적인

특징은 참갈겨니가 중·상류 하천의 수면이나 중층에서 유영하는 특징을 반영하는 것으로 사료된다(Kim *et al.*, 2005). 그러나 눈동자개는 참갈겨니와 달리 주간에는 돌 밑이나 바닥에 숨어 있다가 주로 야간에 활동하는 생태적 특징을 가지고 있어 단파장에 최대 흡수력을 보이는 단일원뿔세포가 더 발달한 것으로 생각된다(김, 1997; Kang, 1998; 김과 박, 2002). 즉, 참갈겨니는 빛이 공기에서 물로 진행할 때 일어나는 산란현상에 의한 다양한 종류의 빛파장을 흡수하여 낮 동안 흐르는 물에서 움직이는 수서곤충을 포식하기에 용이하게 높은 해상력을 가진 것으로 생각된다(Van der Meer, 1992). 그러나 눈동자개의 경우 전체망막에서 원뿔세포가 불균칙적으로 흩어져 있고 세포밀도도 매우 낮으며 주로 단파장에서 최대흡수력을 보이는 단일원뿔세포로 이루어져 있어 야간에 활동하기에 용이하게 시각세포가 발달하였으나 참갈겨니에 비해서는 전반적으로 시기능이 약할 것으로 생각된다(Van der Meer, 1992).

이러한 연구결과, 어류에서 안구의 형태와 망막의 구조 특히, 시각세포의 종류의 그 배열은 종의 생태학적 특성과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료되며 앞으로 다양한 분류군에서 비교 검토가 요구된다.

## 요 약

한국산 고유 담수 어종인 참갈겨니와 눈동자개의 안구 외부형태와 망막구조를 광학현미경과 전자현미경으로 비교 조사하였다. 참갈겨니는 안구의 크기뿐만 아니라 수평안경/체장, 수정체직경/수평안경은 눈동자개보다 크게 나타났다. 망막의 시각세포층에서 참갈겨니는 크게 단일원뿔세포와 이중원뿔세포, 두 종류의 원뿔세포를 가지며 단일원뿔세포는 간단일원뿔세포와 짧은단일원뿔세포로 나뉜다. 반면 눈동자개는 간단일원뿔세포와 짧은단일원뿔세포로 구분할 수 없는 단지 단일원뿔세포로만 구성되어 있었다. 또한 원뿔세포의 배열구조에 있어서도 참갈겨니는 보다 치밀한 열구조로 배열되어 있는 반면 눈동자개는 성긴 불규칙한 구조로 배열되어 있었다. 이상과 같이 참갈겨니와 눈동자개의 안구 및 망막의 구조적 차이는 2종 간의 생태학적 특성과 밀접한 관련이 있는 것으로 생각된다.

## 인 용 문 헌

- 김덕훈. 2002. 시기해부학. 정문각, pp. 130-140.  
 김익수. 1997. 한국동식물도감, 제37권 동물편(담수어류). 교육부, pp. 268-271.  
 김익수·박종영. 2002. 한국의 민물고기. 교학사, 465pp.

- 조남천 · 권의용 · 송창호. 2002. 당뇨병성 망막증 환자에서의 필러세포의 형태학적 변화. *대한안과학회지*, 43: 775-780.
- Curcio, C.A., K.R. Sloan Jr., O. Packer, A.E. Hendrickson and R.E. Kalina. 1987. Distribution of cones in human and monkey retina: individual variability and radial asymmetry. *Science*, 236: 579-582.
- Fernald, R.D. 1982. Cone mosaic in a teleost retina: No difference between light and dark adapted states. *Cell. Mol. Life Sci.*, 38: 1337-1339.
- Frank, R., R.M. Roland and S. Ulrich. 2001. Outer retinal fine structure of the garfish *Belone belone* (L.) (Belonidae, Teleostei) during light and dark adaptation-photoreceptors, cone patterns and densities. *Acta Zool.*, 82: 89-105.
- Grigg, R. 1995. The fish with 'four eyes'. *Creation Archive*, 18: 52.
- Hirt, B. and H.J. Wagner. 2005. The organization of the inner retina in a pure-rod deep-sea fish. *Brain Behav. Evolut.*, 65: 157-167.
- Hubbs, C.L. and K.F. Laglar. 2004. *Fishes of the Great Lakes region* (Revised ed). University of Michigan Press, pp. 29-39.
- Kang, E.J. 1998. Early life history of black bullhead, *Pseudobagrus koreanus* (Pisces, Bagridae), from Kum river, Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 10: 184-190.
- Kim, I.S., M.K. Oh and K. Hosoya. 2005. A new species of cyprinid fish, *Zacco koreanus* with redescription of *Z. temminckii* (Cyprinidae) from Korea. *Korean J. Ichthyol.*, 17: 1-7.
- Lagler, K.F., J.E. Bardach, R.R. Miller and D.R.M. Passono. 1977. Reproduction. In: *Ichthyology* (2nd ed.). John Wiley and Sons, pp. 97-100.
- Lim, J.W. and M.S. Lee. 2005. Comparative study of retinal tissues of Genus *Zacco* and Genus *Pseudogobio* in Korean fish: Possible relationship with prey and habitat. *The Korean J. Anat.*, 38: 103-110.
- Lim, J.W., C.L. Lee, W.K. Lee and S.J. Jye-Gal. 2002. Comparative study of lens and retinal tissues in *Zacco temminckii* and *Hemibarbus longirostris* (Cyprinidae, Cypriniformes). *Korean J. Ichthyol.*, 14: 183-189.
- Lyll, A.H. 1957. Cone arrangements in teleost retinae. *Q. J. Microsc. Sci.*, 98: 189-201.
- Moyle, B.P. and J.C. Joseph. 2000. *Fishes: An introduction to ichthyology* (4th ed.). Prentice Hall, 612pp.
- Narayanan, K. and A.A. Khan. 1995. The visual cells of the *corsula mullet*. *J. Fish Biol.*, 47: 367-376.
- Nicol, J.A.C. 1989. *The eyes of fishes*. Clarendon Press, pp. 82-142.
- Polyak, S. 1957. *The vertebrate visual system*. University of Chicago Press, pp. 1-278.
- Rodríguez, A. and E. Gisbert. 2001. Morphogenesis of the eye of *Siberian sturgeon*. *J. Fish Biol.*, 59: 1427-1429.
- Ryan, S.J. 2001. *Retina* (3rd ed.). Mosby, pp. 32-53.
- Shand, J., A.A. Michael and P.S. Collin. 1999. Ontogenetic changes in the retinal photoreceptor mosaic in a fish, the black bream, *Acanthopagrus butcheri*. *J. Comp. Neurol.*, 412: 203-217.
- Sivak, J.G. 1990. Optical variability of the fish lens. In: *The visual system of fish* (1st ed.). Chapman and Hall, pp. 63-77.
- Van der Meer, H.J. 1992. Constructional morphology of photoreceptor patterns in percomorph fish. *Acta Biotheor.*, 40: 51-85.
- Wagner, H.J., E. Fröhlich, K. Negishi and S.P. Collin. 1998. The eyes of deep-sea fish II. Functional morphology of the retina. *Pro. Retin. Eye Res.*, 17: 637-685.
- Welch, D.W. and P.M. Pankhurst. 2001. Visual morphology and feeding behaviour of the daggertooth. *J. Fish Biol.*, 58: 1427-1437.
- 日比谷. 1982. *魚類組織圖說-正常組織と病理組織*. 講談社, pp. 42-46.