

한국산 피라미속과 모래무지속 어류의 수정체 특성에 관한 연구

이 무 삼, 임 재 원

전북대학교 의과대학 해부학교실, 의과학연구소

간추림 : 동물은 다양한 환경에 대해 적응하여 살아간다. 이 중 어류는 종류에 따라 계절, 기후, 수온, 염도의 차이로 인한 다양한 환경에서 생존하며, 이주에 따른 환경의 변화에 적응하면서 번식, 생존을 위한 먹이사냥, 포식자로 부터의 도피 등을 해야하기 때문에 눈은 처해 있는 환경에 맞도록 다양한 모양을 하고 있다.

본 연구에서는 지금까지 발표된바 없는 경골어류 중 피라미속 어류와 모래무지속 어류에서 수정체 모양과 수정체섬유의 맞물림 모양 (interlocking pattern)을 비교 관찰하였다. 수정체의 형태를 구분하기 위해서 미세측정기를 이용하여 지름과 주축 길이를 측정하였다. 수정체섬유의 맞물림 모양은 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

그 결과, 피라미속 갈겨니와 피라미의 수정체는 주축지름 대 적도지름의 비가 1이어서 모두 구형이었으나, 모래무지속 모래무지의 수정체는 주축지름 대 적도지름의 비가 0.87로 앞·뒷면이 약간 편평한 구형 (subspherical type)이었다. 갈겨니 수정체섬유의 맞물림 모양은 “닻-소켓” (anchor and socket) 모양이었고, 같은 속의 피라미는 사람과 유사한 “공-소켓” (ball and socket) 모양이었다. 모래무지 수정체섬유의 맞물림 모양은 “막대-소켓” (rod and socket) 모양으로, 3 종 모두 각각 다른 모양을 보였다.

이 연구의 결과는 어류의 분류학적 key로 이용 될 수 있으며, 앞으로 수정체섬유 맞물림 모양과 시각 기능과의 상관관계에 대한 연구가 시행되어야 필요 할 것으로 생각된다.

찾아보기 낱말 : 수정체모양, 수정체섬유, 맞물림모양, 갈겨니, 피라미, 모래무지

서 론

사람의 수정체는 홍채 뒤와 유리체액 사이에 위치하고 구형에 가까운 형태로, 물체와의 거리 변화에 따라 섬모체근의 이완과 수축으로 수정체 굴곡의 조절로 초점을 조절한다 (Hugh 1984). 어류의 수정체는 대부분 구형에 가깝고 동공 사이로 약간 나와 있으나, 종에 따라 앞·뒷면이 약간 편평한 구형인 수정체와 (Sivak 1990), 타원형의 원반 (disk)처럼 납작한 수정체 등 다양한 모양을 하고 있다 (Bauchot 등 1989, Nicol 1989, Carl 1996). 어류에서

초점 조절은 수정체 모양만큼 다양하여, 칠성장어류의 경우 각막과 수정체가 접촉하고 있어서 각막 앞에 연결된 바깥눈근육 (extraocular muscle)이 각막을 뒤로 밀어냄으로서 수정체의 위치를 조절하여 초점을 조절하고 (Nicol 1989), 연골어류의 경우 등쪽은 아교질소대에 연결되고, 배쪽은 섬모체부근 (ciliary zone)의 돌기물인 거짓종모양체 (pseudocampanule)에 연결되어 가까운 거리의 물체에 대해 수정체가 앞으로 움직이면서 초점을 조절한다 (Sivak 1980). 반면에, 대부분의 경골어류의 경우 등쪽은 걸이인대에 연결되고 배쪽은 멜라닌색소를 갖는 단일의 근육에 연결되어 가까운 물체에 대해 수정체가 뒤로 움직이면서 초점을 조절한다 (Nicol 1989).

사람의 수정체에 대한 연구는 수정체 섬유 맞물림 모양이 “공-소켓” (ball and socket) 모양으로 보

*이 논문은 2003년도 전북대학교의 지원 연구비에 의하여 연구되었음
교신저자: 임재원 (전북대학교 의과대학 해부학교실)
전자우편: ljw0909@chonbuk.ac.kr

고 된 (Richard와 Randy 1979) 이후에도 지속되어 초점을 조절하는 동안 수정체의 변화 정도와 변화 정도의 측정 방법에 대한 연구도 보고되었다 (Dubbelman 등 2005). 또한 근시안 환자들에서 수정체 조절 연구 (Ji 등 2004) 및 염증에 관한 연구 (Arne 2004)와 수정체 단백질의 구조와 안정성 및 기능에 관한 연구 (Hans 등 2004)가 수행되고 있다.

사람 외에 다른 동물의 수정체를 포함한 눈에 대한 것도 연구되었다. 즉, jellyfish라는 해파리 종에서 눈이 없는 개체와 수정체를 포함한 발달 된 눈을 갖는 개체들의 눈 발생에 관여하는 유전자에 관한 연구 (Stierwald 등 2004)와 북미산 양서류인 발톱 개구리의 멜라토닌 색소가 망막 및 수정체를 비롯한 안구 기관들에 미치는 영향 연구 (Wiechmann 등 2004)가 보고되었으며, 닭과 생쥐의 수정체섬유 발생에서 유사 기능을 갖는 유전자가 비교·연구 (Kurose 등 2004)되었다.

이에 본 연구자는 한국을 포함한 동북아시아에 서식하는 어류를 대상으로 연구가 미비하였던 수정체 모양 및 수정체섬유 맛물림 모양에 대한 관찰을 하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험동물

본 실험에 사용한 피라미속 어류인 갈겨니(104.5 ~ 116.0 mm, Total Length)와 피라미 (125.5 ~ 141.0 mm, TL)는 전북 전주시 전주천 상류에서 각각 7개체를 채집하여 14개의 수정체를 얻었으며, 모래무지속 모래무지 (137.5 ~ 180.0 mm, TL)는 남원시 요천에서 5개체를 채집하여 10개의 수정체를 얻었다.

2. 수정체 모양 관찰 방법

수정체의 전체 모양을 비교하기 위하여 수정체의 적도 (equatorial) 대 주축 (axis)의 비로 표시하였는데, 수정체의 적도 지름과 주축 지름을 미세측정기 (micrometer)로 측정하여 다음과 같은 식에 의하여 산출하였다.

$$\text{(Ratio = axis diameter / equatorial diameter)}$$

3. 수정체섬유 관찰 방법

수정체섬유의 층판 구조는 수정체 핵을 제외한 부분의 시상면, 관상면, 수평면으로 자른 다음 잘린 면을 주사전자현미경으로 관찰하였고, 수정체섬유 맛물림 모양은 수정체의 핵을 제외한 부분을 시상면, 관상면, 수평면으로 잘라서 만든 8 mm³ 정도의 조직을 수평면으로 자른 다음 잘린 면을 주사전자현미경으로 관찰하였다.

주사전자현미경을 이용하기 위하여 수정체 양 옆의 1/4을 제거한 후 (Nicol 1989), 2 mm × 2 mm × 2 mm (가로 × 세로 × 높이) 조직을 2.5% glutaraldehyde에 2시간 동안 전고정 하였다. 0.1M cacodylic acid-sodium salt trihydrate (CB)를 이용하여 두 번 세척한 후, 수정체섬유의 층판 구조를 관찰하기 위한 조직은 1% osmium tetroxide (OsO₄)로 90분간 후고정 하였으나, 수정체섬유 맛물림 모양을 관찰 하기 위한 조직은 1% osmium tetroxide (OsO₄)로 60분간 후고정한 다음 0.1M CB를 이용하여 두 번 세척한다. 세척한 약 8 mm³ 수정체 조직을 수평 방향으로 2~4의 조각으로 만들어 1% osmium tetroxide (OsO₄)에 30분간 한 번 더 후고정한 다음 0.1 M CB를 이용하여 두 번 세척하고 일련의 알콜 탈수과정을 거쳐 isomyl acetate와 hexamethyldisilazane (HMDS) 건조과정을 거친 후, 두 번의 순수 HMDS에서 한 번 더 건조과정을 거친다. 건조과정이 끝난 수정체 조직을 주사전자현미경용 제물대에 부착한 다음 gold coating하여 주사전자현미경 (Akashi SR-50)으로 관찰하였다.

한편 수정체섬유 측면의 맛물림 구조 중, 돌기(이후, 맛물림돌기로 표기)의 크기를 측정하여 비교하였다. 즉, 12개의 볼 길이와 볼 중 가장 넓은 부위를 측정하여 평균치를 산출하였으며, 수정체섬유에서 일정한 길이에 나타나는 맛물림돌기의 수를 계수하여 종간의 차이를 비교하였다. 또한 수정체섬유의 위·아래 면에는 작은 돌기(이후, 표면돌기로 표기)가 존재하는데, 3종의 수정체섬유 표면에서 넓이가 4 μm²인 정사각형 내에 있는 표면돌기의 수를 10번씩 세

어 평균치를 산출한 다음, 중간 차이를 알아보았다.

결 과

1. 수정체 모양 관찰 결과

본 실험에서 이용된 3종의 수정체 전체 모양을 비교해 보면, 피라미속 갈겨니와 피라미의 수정체는 모두 구형 (주축지름/적도지름=1)이었으나, 모래무지속 모래무지의 수정체는 앞·뒷면이 약간 편평한 구형 (주축지름/적도지름=0.87, subspherical type)이었다.

2. 수정체섬유 관찰 결과

본 실험에 이용된 어류의 수정체섬유는 판상구조이고, 수정체섬유 위·아래면에는 작은 표면돌기들이 각 종에 따라 다르게 나타났으며 섬유의 양 옆, 가장자리에는 그 옆의 수정체 섬유와 떨어지지 않게 손가락 마주끼기 모양의 맞물림 구조가 관찰되었는데 종에 따라 특이한 모양이었다. 각각의 맞물림 구조에는 맞물림돌기와 이 맞물림돌기가 끼워져 있는 소켓구조로 되어있었다. 각 종에 따라 수정체섬유의 구조들의 모양과 크기 등을 비교한 결과는 다음과 같다.

수정체섬유의 폭 (wide)은 피라미의 경우 4.7 μm , 모래무지에서는 4.8 μm , 갈겨니의 경우 6.5 μm 로 갈겨니에서 가장 넓게 나타났다.

갈겨니에서 수정체섬유의 맞물림 모양은 닳 모양인 맞물림돌기의 끝이 줄기에 의해 띠 모양의 수정체섬유에 연결된 “닳-소켓” (anchor and socket) 모양

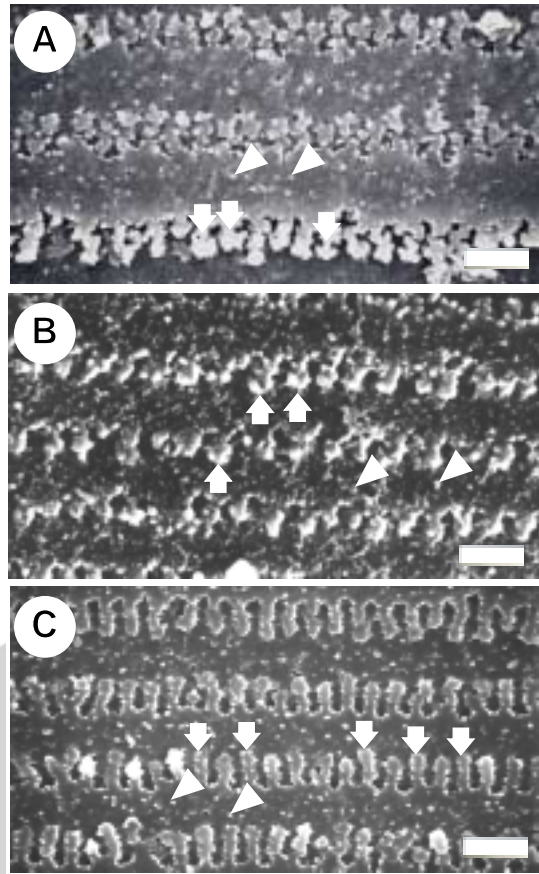


Fig. 1. Scanning micrograph of interlocking morphology (arrow) of lens fibers and the connective processes (arrow head) between the upper and lower lens fibers. “anchor-socket” connection of *Z. temmincki* (A), “ball-socket” connection of *Z. platypus* (B), “rod-socket” connection of *P. esocinus* (C) by SEM. scale bar = 5 μm

Table 1. Comparison of lens fibers in *Z. temmincki*, *Z. platypus* and *P. esocinus* (Unit: μm)

Species	It	Tlb	Max. wb	Socket No. (per 10 μm)	Wlf
<i>Z. temmincki</i>	Anchor and socket	2.5	2	3.85	6.5
<i>Z. platypus</i>	Ball and socket	2.5	1.8	4.15	4.7
<i>P. esocinus</i>	Rod and socket	2.5	1	5.25	4.8

It: Interlocking type, Tlb: Length of ball, Max. wb: Maximum width of ball, Wlf: width of lens fiber

으로 (Fig. 1A), 닳 모양의 맞물림돌기와 소켓으로 구성되어 있는데 닳 모양의 끝을 판 모양의 수정체섬유에 연결하는 부분이 있었다. 닳-소켓의 전체 길이는 2.5 μm 이고, 최대 폭은 2 μm 이고, 표면돌기는 4 μm^2 당 1.1개가 분포하였다 (Table 1).

갈겨니와 같은 속인 피라미의 수정체섬유의 맞물림 모양은 사람과 유사한 “공-소켓” (ball and socket), 공 모양의 맞물림돌기와 소켓으로 구성되어 있으며 공 모양의 끝을 판 모양의 수정체섬유에 연결하는

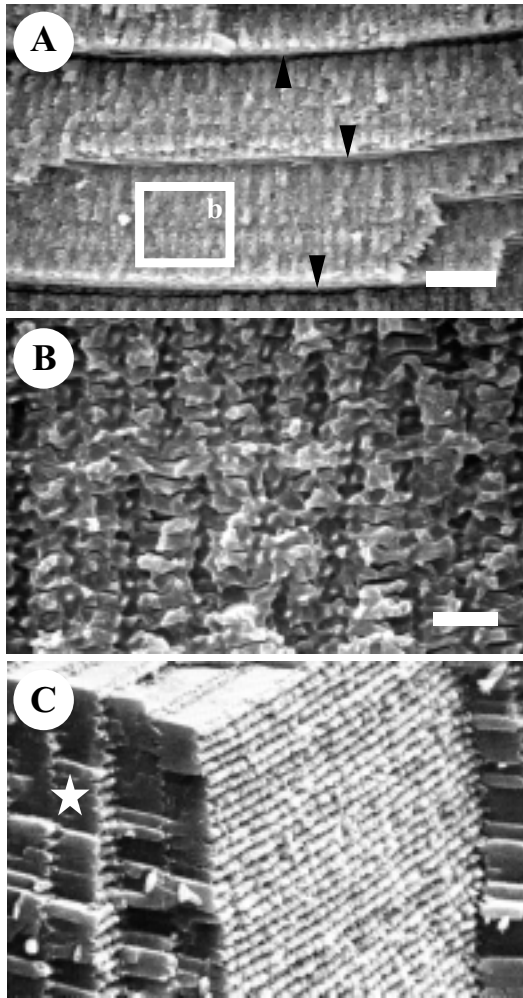


Fig. 2. (A) Lamellar structure and septa (arrow head) of *P. esocinus* lens fiber. (B) In high magnification of box b of figure A, irregular lamella of *P. esocinus* lens fiber. (C) Regular row (☆) of human lens fiber (from Richard and Randy, 1979). Scale bar in (A) 20 μm and (B) 5 μm .

부분이 있었다 (Fig. 1B). 공-소켓의 전체 길이는 2.5 μm 이고, 볼 부위의 지름은 1.8 μm 이며 표면돌기는 4 μm^2 당 0.1개가 분포하였다 (Table 1).

모래무지 수정체섬유의 맞물림 모양은 “막대-소켓” (rod and socket), 막대 모양의 맞물림돌기가 막대 모양의 소켓에 끼워져 있는 모양으로 (Fig. 1C), 이 막대-소켓의 전체 길이와 폭은 2.5 μm 와 1 μm 이

고 표면돌기는 4 μm^2 당 2.1개가 분포하여 (Fig. 1C, Table 1), 3종 모두 각각 다른 모양을 보였다. 특히 모래무지의 수정체에서는 불규칙한 간격으로 수정체섬유 사이막 (septum)이 관찰되었으며 (Fig. 2A), Richard and Randy (1979)의 연구에서 관찰된 사람의 수정체섬유는 정확하게 일직선상의 계단식 층 구조를 보였으나 (Fig. 2C), 모래무지의 수정체섬유 사이막 사이의 수정체섬유는 불규칙한 계단식 층 구조를 보였다 (Figs. 1C, 2B).

고 찰

동물의 수정체는 종에 따라 다양한 형태와 색을 띄는데, 강한 주행성 동물은 노란색의 수정체를 가지고서 짧은 파장의 빛을 잘 흡수하여 (Jacobs 1981) 회색 다람쥐의 경우 4~400 nm 파장의 빛에 잘 반응하였다 (Cooper와 Robson, 1969). 그러나 야행성 동물은 짧은 파장의 빛에 대해 매우 적은 선택적 흡수성을 보였고 (Yolton 1974, Jacobs 1981), 수정체에 의한 스펙트럼 여과현상은 spectrophometric measurement에 의해 측정되어 연구 된 것으로서 알려져 있다 (Carl 1996). 보통 비무색수차렌즈 (non-achromatic crystalline lens)에서는 긴 파장의 빛에는 정시인 반면에, 짧은 파장의 파란빛이 들어오면 망막과의 짧은 초점거리 때문에 색채착시 (chromatic aberration) 현상이 일어나지만, 어류의 비무색수차렌즈에서는 파란빛과 붉은빛에 의한 색채착시 현상에서 자율적으로 보정 할 수 있는 범위는 5~11 디오퍼터로 측정되었다 (Locket 1977, Nicol 1989).

맑은 날씨 때 수면에서 80% 이상의 빛이 반사되는 상황에서 어류의 수정체는 빛을 모으기 위해 홍채 앞으로 약간 나와 각막에 거의 접촉하는 상태이나 (Nicol 1989, Carl 1996), 어류의 종에 따라 물리학적 연구와 굴절률에 따른 연구가 1894년 Beer에 의해 수행되어 칠성장어는 심하지 않은 원시성 시력을 가지고 있으며, 연골어류의 경우에는 10~15 디오퍼터 정도의 원시성 시력을 가지고 있으나 경골어류의 눈은 근시성 시력을 가지고 있다 (Sivak 1980). 이처럼 종에 따른 수정체의 물리학적 연구

및 굴절률의 차이에 대한 연구와 최근에는 닭과 생쥐에서 수정체섬유 발생에 관한 연구를 보면 각기 수정체섬유를 형성하는 유전자는 다르나 수정체섬유를 형성하는 유사 기능을 갖는 유전자에 관한 비교·연구 (Kurose 등 2004) 등과 같이 수정체의 기능 및 유전학적 연구가 진행되고 있다

본 실험에서 이용된 어류들의 수정체섬유 폭은 피라미의 경우 $4.7\mu\text{m}$, 모래무지에서는 $4.8\mu\text{m}$, 갈겨니의 경우 $6.5\mu\text{m}$ 로 나타나 약 $7\mu\text{m}$ 인 사람 수정체섬유의 폭 (Richard와 Randy 1979)보다 좁게 나타났으나, 3종에서 수정체섬유의 폭은 각각 다르게 나타났다.

수정체섬유 맛물림 모양 또한 본 실험에 이용된 어류 중, 물살이 빠르고 하천의 중간층에서 유영 생활을 하는 갈겨니의 경우 “닻-소켓” (anchor and socket) 모양이었고, 갈겨니의 서식지보다 하류이면서 물의 흐름이 완만한 곳에서 유영 생활하는 피라미의 경우 “공-소켓” (ball and socket) 모양이었으며, 맑은 하천의 바닥에 숨어 생활하는 모래무지는 “막대-소켓” (rod and socket) 모양으로, 세 종 모두에서 각기 다른 형태를 보였다.

동물의 수정체 모양의 차이에 의한 조직학적 차이와 조직의 형태적 차이점에 대한 굴절률과 같은 기능적 차이에 대한 비교·연구가 미비하여 비교하기 어려우나, 본 실험에 이용된 실험동물의 생태 및 행동과 사람에서 수정체섬유 맛물림의 치밀도는 수정체의 투명성 및 투과율과 연관성이 있다 (Richard와 Randy 1979)는 점에서 보면 다음과 같으리라 생각된다.

유속이 빠르고 맑은 물에서 움직이는 수서곤충을 잡아먹는 갈겨니 (Kim 1997)의 수정체는 구형으로 가까운 거리의 먹이를 포착하는데 쉬우며, 수정체섬유 폭이 $6.5\mu\text{m}$ 로 본 실험에 이용된 어류 중 가장 넓고, 맛물림돌기의 폭이 넓어서 단위면적당 수정체섬유 맛물림의 횡수가 적으며, 수정체섬유 맛물림 모양 또한 “닻-소켓” 모양으로 가장 단단하여 투명성 및 투과율이 가장 좋으리라 생각된다.

하천의 하류에서 주로 부착조류 (algae)를 먹는 피라미 (Kim 1997)의 수정체 모양은 구형이고, 수정체섬유 맛물림 모양은 “닻-소켓” 모양보다 결합력이

떨어지는 “공-소켓” 모양으로, 사람 수정체섬유의 맛물림 모양과 유사하나 갈겨니의 서식지보다 하류에까지 서식하면서 생활폐수에 의해 탁한 하천에서 움직임이 없는 부착조류만을 먹는 참마자 (김 1997)의 수정체 모양과 수정체섬유 맛물림 모양이 동일하고 (Lim 등 2002), 맛물림돌기의 폭이 갈겨니보다 작아서 단위면적당 수정체섬유의 맛물림 횡수가 갈겨니보다 많기에 갈겨니의 수정체보다 투명성 및 투과율이 좋지 않을 것으로 생각된다.

모래무지는 본 실험에 이용된 3종의 어류 중, 가장 맑은 물에서 서식하지면서 하천의 모래바닥 속에 몸을 숨기고 주변을 감시하다가 수서곤충을 잡아먹는 종으로 (Kim 1997), 수정체는 다른 두 종보다 앞·뒷면이 평평한 구형이어서 갈겨니나 피라미보다 먼 거리를 관찰하여 포식자로부터 빠르게 회피할 수 있으며, 수정체섬유 맛물림 모양은 “막대-소켓” 모양으로 가장 약한 결합력을 갖을 것으로 생각되고, 모래무지의 맛물림돌기의 폭이 피라미보다 작아서 단위면적당 수정체섬유 맛물림 횡수가 피라미보다 많기에 피라미의 수정체보다 투명성 및 투과율이 좋지 않을 것으로 생각된다. 수정체섬유의 폭은 $4.8\mu\text{m}$ 로 피라미의 $4.7\mu\text{m}$ 와 비슷하여 모래무지와 피라미의 수정체섬유 폭은 수정체의 투명성 및 투과율의 차이에 큰 영향을 보이지 않을 것으로 사료된다. 그러나 모래무지에서 특이하게 관찰된 수정체섬유 사이막의 구조와 표면돌기의 기능에 대해서는 앞으로 더 연구가 필요하다.

본 연구 결과는 앞으로 동물의 종에 따른 수정체의 조직학적 차이에 대한 생리학적, 물리학적 기능의 차이를 구명하는데 필요한 기초 자료가 될 것이며, 동물분류학에서 분류 key로 사용하고, 동물생태학 및 행동학의 기초 자료로 사용 할 수 있을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Arne JL : Phakic intraocular lens implantation versus cataract extraction in highly myopic eyes of 30- to 50-year-old patients. J Cataract Refract Surg 30 : 2092-2096,

- 2004.
- Bauchot R, Thomot A, Bauchot ML : The eye muscles and their innervation in *Chaetodon trifasciatus* (Pisces, Teleostei, Chaetodontidae). *Env Biol Fishes* 25 : 221–233, 1989.
- Carl EB : *Biology of Fish*, 2nd ed. Oregon, Saunders College Publishing, pp. 128–335, 1996.
- Cooper GE, Robson JG : The yellow colour of the lens of the grey squirrel (*Sciurus Carolinensis Leucotis*). *J Physiology* 203 : 403–410, 1969.
- Dubbelman M, van der Heijde GL, Weeber HA : Change in shape of the aging human crystalline lens with accommodation. *Vision Research* 45 : 117–132, 2005.
- Jacobs GH : *Comparative color vision*, New York Academic Press, pp. 39–108, 1981.
- Ji CH, Jane G, Frank T, Richard H, Fuensanta AVD : The association of wavefront aberration and accommodative lag in myopes. *Vision Research* 1–6, 2004. available on-line at www.sciencedirect.com, 2004.
- Hans B, Wilfried J, Rainer J, Nicolette HL, Christine S, Annette T : Ageing and vision: structure, stability and function of lens crystallins. *Progress in Biophysics & Molecular Biology* 86 : 407–485, 2004.
- Hugh D : *The Eye*, 3rd ed. London, Academic Press, pp. 55–64, 1984.
- Kim IS : *Illustrated encyclopedia of fauna & flora of Korea*. No 1. 37. Freshwater fishes, Ministry of Education, pp 220–271, 1997. (In Korean)
- Kurose H, Bito T, Adachi T, Shimizu M, Noji S, Ohuchi H : Expression of Fibroblast growth factor 19 (*Fgf19*) during chicken embryogenesis and eye development, compared with *Fgf15* expression in the mouse. *Gene Expression Patterns* 4 : 687–693, 2004.
- Lim JW, Lee CL, Lee WK, Jye-Gal SJ : Comparative study of lens and retinal tissues in *Zacco temminckii* and *Hemibarbus longilostris* (Cyprinidae, Cypriniformes). *Korean J Ichthyol* 14 : 183–189, 2002.
- Locket NA : Adaptations to the deep-sea environment, In *Handbook of sensory physiology*, Vol.VII/5, The visible of system in vertebrates, Crescitelli F, Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 67–192, 1977.
- Richard GK, Randy HK : *Tissues and Organs; a text-atlas of scanning electron microscopy*, New York, W. H. Freeman and Company, pp. 95–100, 1979.
- Sivak JG : Accommodation in Vertebrate; a contemporary survey, In *Current Topics in Eye Research*, Vol. 3, ed. Zadunaisky JA and Davson H, New York, Academic Press, pp. 281–330, 1980.
- Sivak JG : Optical variability of the fish lens. In *The visual system of fish*, ed. Douglas RH and Djamgoz MBA, London, Chapman and Hall, pp. 63–80, 1990.
- Stierwald M, Yanze N, Bamert RP, Kammermeier L, Schmid V : The *Sine oculis/Six* class family of homeobox genes in jellyfish with and without eyes: development and eye regeneration. *Developmental Biology* 274 : 70–81, 2004.
- Wiechmann AF, Udin SB, Rada JAS : Localization of Mel1b melatonin receptor-like immunoreactivity in ocular tissues of *Xenopus laevis*. *Experimental Eye Research* 79 : 585–594, 2004.
- Yolton RL, Yolton DP, Renz J, Jacobs GH : Preretinal absorbance in sciurid eyes. *J Mammalogy* 55 : 14–20, 1974.

Abstract

Lens Characterization of Genus *Zacco* and *Pseudogobio* in Korean Fish

Moo Sam Lee, Jae Won Lim

Department of Anatomy and Institute for Medical Science, Chonbuk National University Medical School

There are many modifications of eye shape and structure among fish, the general plan is similar throughout.

This study was performed to comparative investigation for the lens shape and the interlocking pattern of lens fiber in genus *Zacco* (*Z. temmincki* and *Z. platypus*) and *Pseudogobio* (*P. esocinus*). The equatorial and axis diameter of lens for the classification of lens shape were measured by micrometer. And the interlocking patterns of lens fibers were observed by scanning electron microscopy (SEM).

The lens shapes of *Z. platypus* and *Z. temmincki* were spherical (axis /equatorial diameter = 1), but the lens shape of *P. esocinus* was subspherical type (axis / equatorial diameter = 0.87).

The interlocking patterns of lens fibers showed that *Z. temmincki* have an “anchor and socket” connection, *Z. platypus* have a “ball and socket” connection, and *P. esocinus* have a “rod and socket” connection.

The results of this study may be utilized in the taxonomic keys for the classification of fish.

Key words : Lens shape, Lens fiber, Interlocking pattern, *Zacco temmincki*, *Zacco platypus*, *Pseudogobio esocinus*