

줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (잉어과)의 골격 발달

송 호 복* · 손 영 목¹

강원대학교 자연과학대학 생명과학부, ¹서원대학교 사범대학 과학교육과

Osteological Development of Korean Striped Bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae)

Ho-Bok Song* and Yeong-Mok Son¹

Division of Life Sciences, College of Natural Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

¹Department of Science Education, Seowon University, Cheongju 361-742, Korea

Osteological development of Korean striped bitterling, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae), were investigated using cartilage and bone staining. The parasphenoid, dentary, pterygoid, ceratohyal, branchial arch and parts of the caudal skeleton were formed first as cartilaginous elements at 6.82 ± 0.08 mm total length (TL). Formation of frontal, parietal, and maxillary were notable at 7.76 ± 0.09 mm TL, and the proximal radial, scapula, and coracoid in the pectoral girdle were developed at this stage. At the same time, the neural and hemal spine were present in the caudal vertebra. The opercle and branchiostegals were observed at 9.68 ± 0.14 mm, and the posttemporal was formed at 12.9 ± 0.64 mm TL, respectively. Ossification in the parasphenoid, pharyngeal bone, dentary, premaxillary, maxillary, and opercle began at about 9.68 ± 0.14 mm TL. The cleithrum, supracleithrum, urostyle, and caudal fin were calcified at this stage. The vertebral column was formed and ossified at 11.52 ± 0.13 mm TL, and the frontal, preopercle, subopercle, and hyomandibular were ossified at 15.30 ± 0.68 mm TL. This fish was late in developing the skeletal formation and ossification as compared with other fishes.

Key words : Bitterling, *Acheilognathus yamatsutae*, osteological development, cartilage, ossification

서 론

어류의 골격은 개체의 형태를 유지하고 내부기관을 보호하는, 개체의 생존에 필수적인 구조적 요소 중의 하나

이다. 골격의 형태와 형질, 개체발생학적 형질전환, 골의 상실과 융합, 골 성분의 분화 등은 여러 골격의 기원과 상동에 관한 귀중한 진화학적 자료 뿐만 아니라, 분류학적, 해부학적, 발생학적, 생태학적 특성 등을 잘 반영함으로써 생물학적 연구에 매우 요긴하게 이용되고 있다 (Gregory, 1933; Weisel, 1967).

줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae*는 하천의 중류

*Corresponding author: hoboksong@hanmail.net

에 주로 서식하는 소형의 잉어과(Cyprinidae) 어류이다. 암컷은 산란기에 발달하는 긴 산란관(ovipositor)을 이용하여 석패과(Unionidae) 패류의 아가미(demibranch) 안에 산란을 한다. 알은 아가미 안에서 부화하고 성장하며, 난황을 모두 흡수하고 부상기가 되면 이매패의 밖으로 빠져나와 유영생활과 함께 섭식 활동을 하는 초기생활사를 가지고 있다(송과 권, 1994).

본 종이 포함된 납자루아과(Acheilognathinae) 어류의 골학적 연구에는 골격 분석을 통한 형태 분석, 종간 비교와 유연관계 및 계통분류학적 연구 등의 보고가 있으나(김, 1991; 남, 1991; 김, 1997; 김과 김, 1998), 골격의 발달과 골화 과정에 관한 연구는 시행된 바 없었다. 한편 한국산 담수어류의 골격 발달과 골화 과정에 대한 연구는 연어, *Oncorhynchus keta* (명과 김, 1993), 쏘가리, *Siniperca scherzeri* (명 등, 2001) 등이 있으나, 모두 골의 경골화에 대하여 언급하였으며, 연골과 경골의 이중 염색에 의한 연골 및 경골성 골의 생성과 연골의 경골화 과정에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

본 연구는 *A. yamatsutae*의 분류 및 생태학적 연구의 일환으로, 패내 산란에 따른 미발달 상태의 부화 자어, 전기자어 시기의 유영 능력의 미비 등 일반적인 잉어과 어류와 다른 독특한 초기생활사를 가지는(송, 1994; Aldridge, 1999) 본 종을 대상으로, 자어(larva)와 치어(juvenile) 및 미성어(young)의 성장에 따른 연골 및 골의 생성과 경골화 과정의 양상을 연구하였다.

재료 및 방법

분석에 사용된 *A. yamatsutae*의 전기자어(숙주 이매패의 아가미 내에서 성장하는 단계)와 이매패로부터 탈출하여 자유유영생활을 하는 후기자어 및 치어는 인공 수정 후 수온 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 의 수조에서 계란 노른자와 관상 어용 사료(Tetra Min[®])를 공급하여 사육하면서 전장별로 선정하였으며, 일부 치어와 미성어는 강원도 춘천시에 위치한 의암호($127^\circ 41' \text{E}$, $37^\circ 52' \text{N}$)에서 뜰채로 채집하였다. 재료는 10% 중성포르말린에 고정한 후 전장별로 약 5~10개체씩을 임의 선정하여 실험에 사용하였다. 골격의 염색은 Balon(1985)의 방법을 약간 변형하여 alcian blue와 alizarin red S로 이중 염색한 후 투명화 시켰다. 완성된 표본은 소량의 thymol을 첨가한 100% glycerin에 보관하면서 해부현미경(ZEISS, STEMI SV8)을 이용하여 골격의 생성과 발달 및 골화 과정을 관찰, 스케치 및 촬영하였다. 골격의 국문 명칭은 김(1978), 이와 박(1989) 등을, 영문은 Paxton(1972),

Potthoff(1980) 등을 참조하였다.

결 과

1. 두개골 및 내장골

두부의 골격은 두개골(cranium)과 내장골(visceral skeleton)로 이루어져 있으며 성장에 따른 골격의 생성과 골화 과정은 다음과 같다.

전장 6.82 ± 0.08 (mean \pm SD) mm에 부설골(parasphenoid), 치골(dentary), 각설골(ceratohyal) 등이 연골성으로 형성되며, 4쌍의 새궁(branchial arch)이 나타나기 시작한다(Fig. 1A). 7.76 ± 0.09 mm에 전두골(frontal)이 막상으로 나타나며, 치골, 익상골(ptyergoid), 부설골, 두정골(parietal) 등이 현저하게 발달하지만 모두 연골성이며 경골성인 주상악골(maxillary)은 골화가 이루어지지 않아 흔적으로 나타난다(Fig. 1B). 9.68 ± 0.14 mm에 부설골과 인두골(pharyngeal bone)이 경골화되며 치골과 전상악골(premaxillary), 주상악골 등도 경골화되기 시작한다. 주새개골(opercle)이 형성되면서 경골화되기 시작하고, 새조골(branchiostegals)이 나타난다. 외후두골(exoccipital)의 일부가 경골화되며 전두골(frontal)은 막형으로 존재한다(Fig. 1C). 15.30 ± 0.68 mm에는 새조골과 주새개골, 전새개골(preopercle), 하새개골(subopercle)의 골화가 매우 현저하며, 설악골(hyomandibular)의 위쪽부터 경골화가 이루어진다. 새궁의 중간 부위가 경골화되며 각설골은 경골화가 매우 진척되어 있다. 전두골이 경골화되기 시작하며 익상골의 일부가 경골화된(Fig. 1D). 29.30 ± 0.78 mm에는 대부분의 두개골과 내장골이 경골화되나 기설골(basihyal)의 말단과 익상골의 일부, 사골(ethmoid), 상후두골(supraoccipital)의 일부 등이 연골성으로 남아 있다(Fig. 1E).

2. 척추 및 늑골, 신경극, 혈관극

척추(vertebral column)를 이루는 척추골(vertebra)은 체추(trunk vertebrae)와 미추(caudal vertebrae)로 구분되며, 체추에는 늑골(pleural rib)과 신경극(neural spine)이 연결되고, 미추에는 혈관극(hemal spine)과 신경극이 연결된다.

전장 7.76 ± 0.09 mm에 척추골은 생성되지 않고, 체추 전반부의 늑골 형성 부위에 연골성골이 나타나며, 미추의 후반부에 신경극과 혈관극이 연골성으로 나타난다(Fig. 2A). 9.68 ± 0.14 mm에도 척추골은 형성되지 않았으나 체추에 신경극과 늑골 그리고 미추에 신경극과 혈

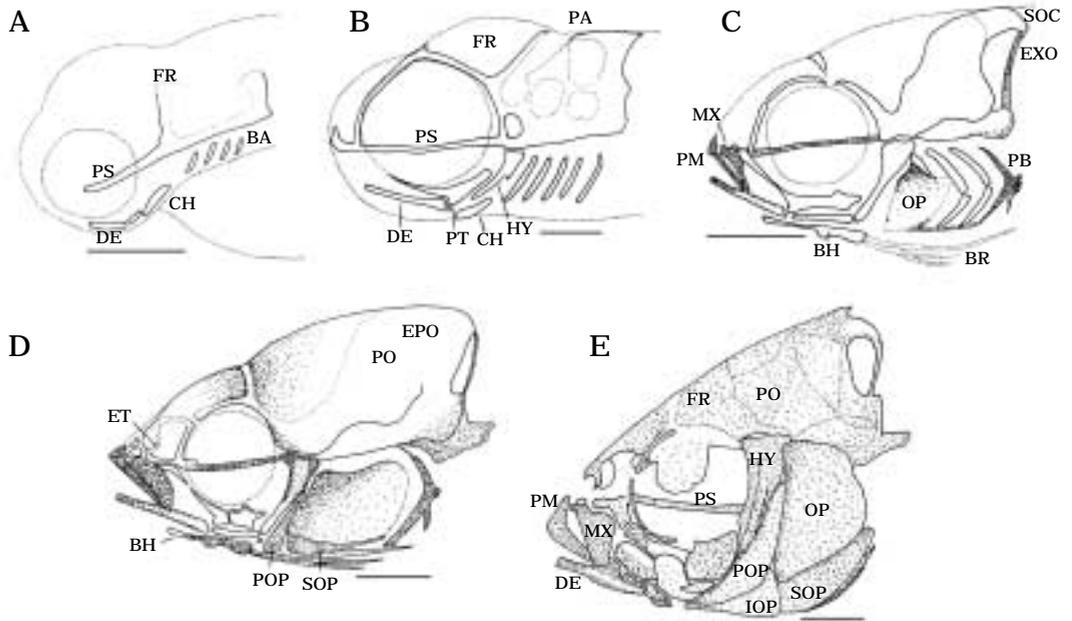


Fig. 1. Osteological development of the caranium and visceral skeleton in *Acheilognathus yamatsutae*. A, 6.82 ± 0.08 mm in total length (TL); B, 7.76 ± 0.09 mm in TL; C, 9.68 ± 0.14 mm in TL; D, 15.30 ± 0.68 mm in TL; E, 29.30 ± 0.78 mm in TL. Scale bars for A and B indicate 0.25 mm, C, D and E 0.5 mm. White indicates cartilage and stippled ossifying. Abbreviations: BA, branchial arch; BH, basihyal; BR, branchiostegals; CH, ceratohyal; DE, dentary; EPO, epiotic; ET, ethmoid; EXO, exoccipital; FR, frontal; HY, hyomandibular; IOP, interopercle; MX, maxillary; OP, opercle; PA, parietal; PB, pharyngeal bone; PM, premaxillary; PO, posttemporal; POP, preopercle; PS, parasphenoid; PT, pterygoid; SOC, supraoccipital; SOP, subopercle.

관극이 나타나며 모두 골화되어 있다 (Fig. 2B). 11.52 ± 0.13 mm에는 척추골이 형성되면서 골화가 이루어지기 시작하고 (Fig. 2C), 20.20 ± 1.33 mm에 척추와 늑골의 연결부, 미추 후방의 혈관극의 연결부를 제외하고 모든 골이 골화되었다 (Fig. 2D). 42.66 ± 1.72 mm에는 모든 척추골과 늑골 및 혈관극이 경골화 된 상태였다 (Fig. 2E).

3. 흉대 및 가슴지느러미

흉대 (pectoral girdle)는 가슴지느러미 (pectoral fin)와 아가미의 뒤쪽을 지지하며 후측두골 (posttemporal)에 의해 두개골과 연결된다.

전장 7.76 ± 0.09 mm, 자어의 가슴지느러미 기조는 생성되지 않아 지느러미는 막상으로 나타나지만 방사기골 (proximal radial), 견갑골 (scapula)과 오혜골 (coracoid)이 연골성으로 나타나고, 골성인 의쇄골 (cleithrum)은 골화되지 않아 형태만 희미하게 관찰할 수 있다. 9.68 ± 0.14 mm에는 의쇄골이 경골화되고 의쇄골과 연결되는 상의쇄골 (supracleithrum) 역시 경골화되나, 견갑골과 오혜골, 방사기골은 연골성이며, 일부 지느러미 기조가 생성되기 시작한다 (Fig. 3A). 12.94 ± 0.64 mm에는 의쇄골의

중상부와 하단부가 넓게 발달하고 상의쇄골의 위쪽으로 골성의 후측두골이 생성된다. 견갑골과 오혜골, 방사기골은 여전히 연골성으로 남아 있으나 형태가 매우 뚜렷해지고, 견갑골과 오혜골은 융합된 상태이며 견갑골에 견갑골공 (scapular foramen)이 형성된다. 기조는 11~12개가 나타나고 위쪽 기조부터 골화되기 시작한다 (Fig. 3B). 20.20 ± 1.33 mm에는 견갑골과 오혜골이 분리되기 시작하며, 견갑골공의 우측과 견갑골과 오혜골의 가장자리부터 경골화되기 시작한다. 방사기골도 견갑골쪽 가장자리부터 골화되며 기조는 모두 경골화된다 (Fig. 3C). 29.30 ± 0.78 mm에는 견갑골공 좌측 상, 하 일부분과 견갑골의 우측 하단 일부를 제외하고 모두 골화되며 오혜골 역시 골 중앙의 일부분을 제외하고 모두 골화된다. 방사기골은 기조쪽 외연을 제외하고 모두 골화된다 (Fig. 3D). 42.66 ± 1.72 mm에는 방사기골의 말단 일부를 제외하고, 흉대와 가슴지느러미의 모든 구성 골이 경골화된다 (Fig. 3E).

4. 요대 및 배지느러미

요대 (pelvic girdle)는 1쌍의 부속지로 배지느러미

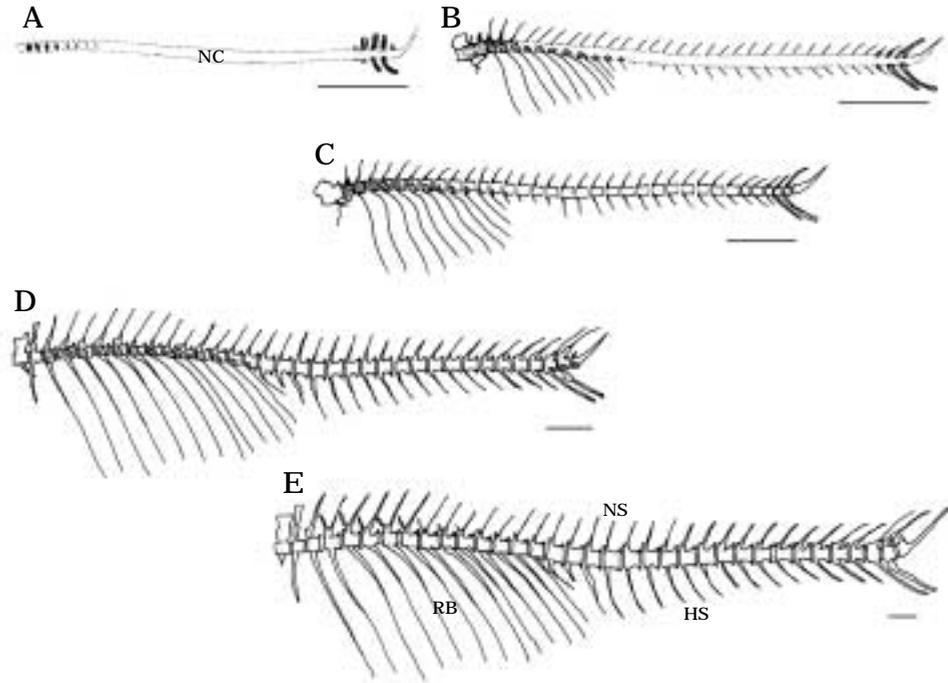


Fig. 2. Osteological development of vertebral column, pleural rib, neural spine and hemal spine in *Acheilognathus yamatsutae*. A, 7.76 ± 0.09 mm in total length (TL); B, 9.68 ± 0.14 mm in TL; C, 11.52 ± 0.13 mm in TL; D, 20.20 ± 1.33 mm in TL; E, 42.66 ± 1.72 mm in TL; Scales indicate 1 mm. Stippled indicates cartilage and white ossifying. Abbreviations: HS, hemal spine; NC, notochord; NS, neural spine; RB, pleural rib.

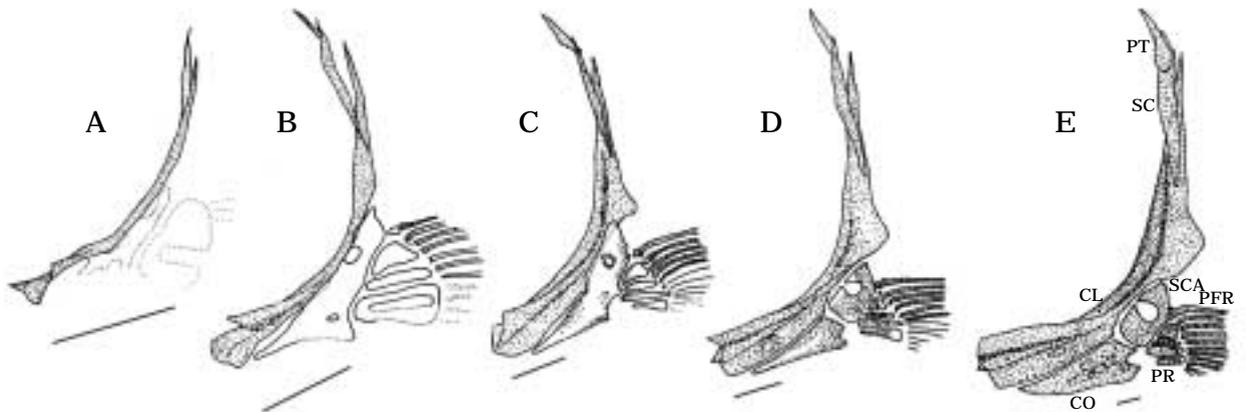


Fig. 3. Osteological development of pectoral girdle and pectoral fin in *Acheilognathus yamatsutae*. A, 9.68 ± 0.14 mm in total length (TL); B, 12.94 ± 0.64 mm in TL; C, 20.20 ± 1.33 mm in TL; D, 29.30 ± 0.78 mm in TL; E, 42.66 ± 1.72 mm in TL. Scales indicate 0.5 mm. White indicates cartilage and stippled ossifying. Fin rays are abbreviated. Abbreviations: CL, cleithrum; CO, coracoid; PFR, pectoral fin ray; PR, proximal radial; PT, posttemporal; SC, supracleithrum; SCA, scapula.

(pelvic fin)를 지지한다. 요대골 (pelvic bone)의 앞 끝이 각각 2분지 되어 있으며 앞쪽이 가늘고 뒤쪽으로 갈수록 넓어진다.

전장 11.52 ± 0.13 mm에 앞쪽 2분지된 전요대돌기 (anterior process)의 내측 돌기부터 골화되기 시작하며,

기조는 외측부터 안쪽으로 골화되기 시작한다 (Fig. 4A). 15.30 ± 0.68 mm에 전요대돌기의 내측 돌기가 골화되고 외측 돌기는 중앙 부분부터 골화되기 시작하였으며 기조는 모두 골화된다 (Fig. 4B). 20.20 ± 1.33 mm에는 전요대돌기 외측 돌기의 전단, 후요대돌기 (posterior process)

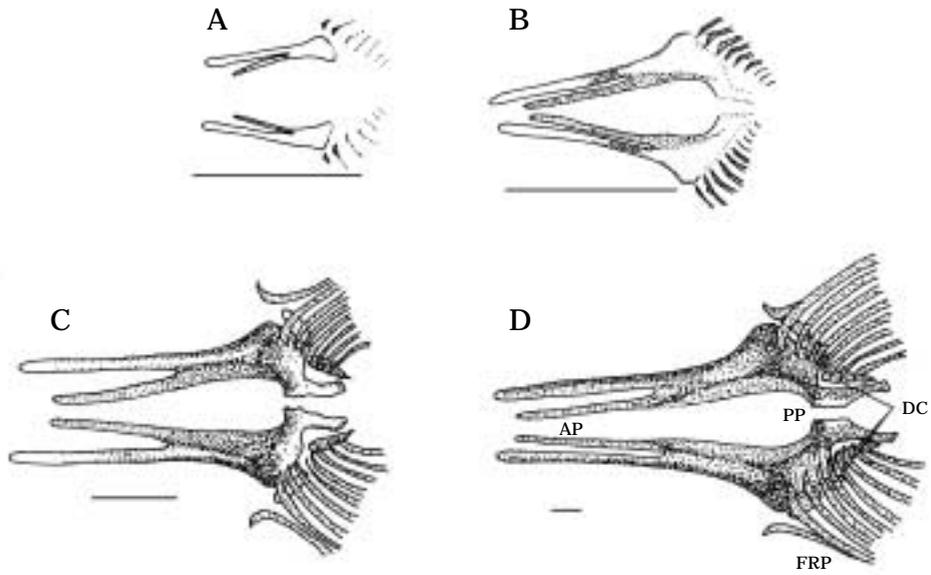


Fig. 4. Osteological development of pelvic girdle and pelvic fin in *Acheilognathus yamatsutae*. A, 11.52 ± 0.13 mm in total length (TL); B, 15.30 ± 0.68 mm in TL; C, 20.20 ± 1.33 mm in TL; D, 42.66 ± 1.72 mm in TL. Scales indicate 0.5 mm. White indicates cartilage and stippled ossifying. Fin rays are abbreviated. Abbreviations: AP, anterior process; DC, distal cartilage; FRP, pelvic fin ray; PP, posterior process.

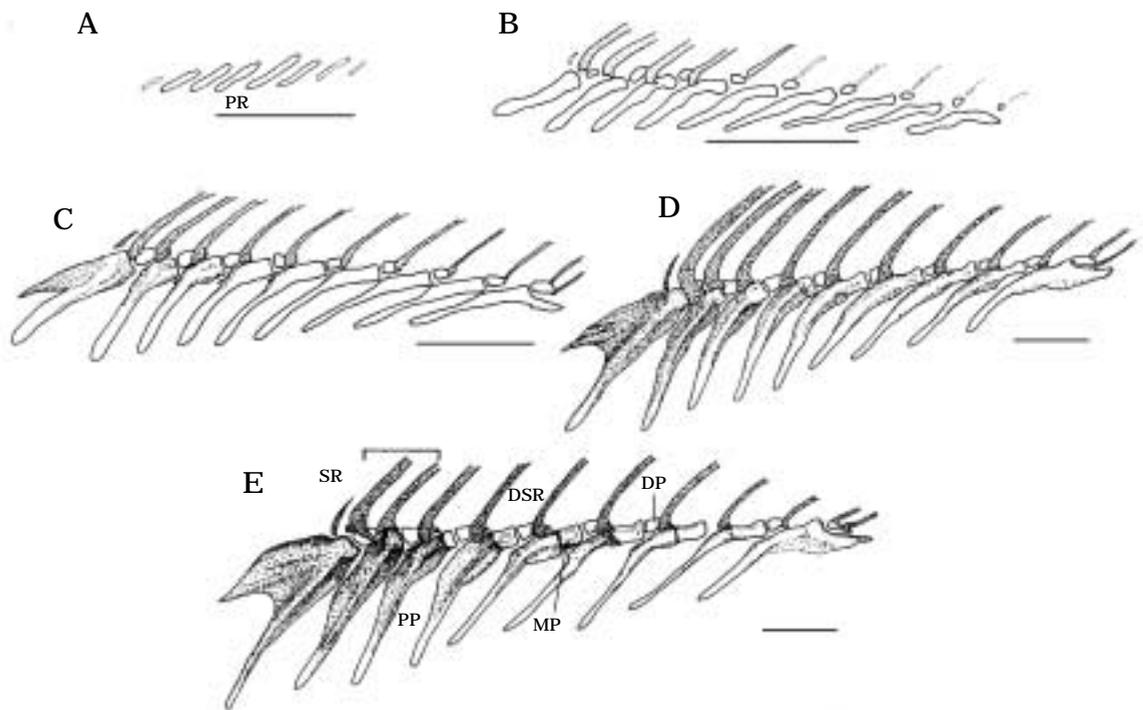


Fig. 5. Osteological development of dorsal fin and pterygiophore of *Acheilognathus yamatsutae*. A, 7.76 ± 0.09 mm in total length (TL); B, 9.68 ± 0.14 mm in TL; C, 12.94 ± 0.64 mm in TL; D, 20.20 ± 1.33 mm in TL; E, 29.30 ± 0.78 mm in TL. Scales indicate 0.5 mm. White indicates cartilage and stippled ossifying. Fin rays are abbreviated. Abbreviations: DP, distal pterygiophore; MP, median pterygiophore; PP, proximal pterygiophore; PR, proximal segment; DSR, dorsal soft fin ray; SR, spinous ray.

의 기저부와 외연을 따라 연골성으로 남아 있다. 모두 2쌍의 원담기골이 관찰되고 안쪽의 원담기골은 경골화되었으나 바깥쪽은 연골성이다 (Fig. 4C). 42.66 ± 1.72 mm에는 후요대돌기의 외연 일부를 제외한 모든 부분이 경골화되고 원담기골도 모두 경골화된다 (Fig. 4D).

5. 등지느러미 및 담기골

등지느러미 (dorsal fin)와 이를 지지하는 담기골 (pterygiophore)의 골화 시기 및 성장에 따른 변화는 다음과 같다.

전장 7.76 ± 0.09 mm에 7~8개의 연골성 담기골이 관찰된다 (Fig. 5A). 9.68 ± 0.14 mm에 등지느러미 가시 (dorsal fin spine)가 정수에 이르며 2, 3번째 가시가 경골화되기 시작하고, 1, 2, 3 연조 (soft ray) 역시 지느러미 마디가 생성되며 끝이 분지되기 시작하지만 나머지 연조는 윤곽만 나타난다. 근담기골 (proximal pterygiophore)과 원담기골 (distal pterygiophore)은 9개로서 정수에 이르나 모두 연골성이며 중담기골 (median ptery-

giophore)은 근담기골과 유합되어 있다 (Fig. 5B). 12.94 ± 0.64 mm에 이르면 3개의 가시가 모두 골화되고 연조 역시 끝부분을 제외하고 대부분 경골화되며, 1~5번째 근담기골이 골화되기 시작한다 (Fig. 5C). 20.20 ± 1.33 mm에는 연조가 모두 경골화된다. 1~4번째 근담기골은 대부분 경골화되며 5~9번째 근담기골도 골화되기 시작하지만, 중담기골과 원담기골은 여전히 연골성으로 남아 있다 (Fig. 5D). 29.30 ± 0.78 mm에는 근담기골과 중담기골이 분리되기 시작하며, 근담기골의 등쪽 외연은 대부분 경골화되어 있다 (Fig. 5E). 42.66 ± 1.72 mm에 근담기골과 중담기골의 관절부분과 원담기골을 제외한 모든 부분이 경골화된다.

6. 뒷지느러미 및 담기골

뒷지느러미 (anal fin) 및 담기골 (pterygiophore)도 등지느러미 및 담기골과 같이 유사한 발달 단계를 보였다. 전장 7.76 ± 0.09 mm에 6~7개의 담기골만이 관찰되지만 (Fig. 6A), 9.68 ± 0.14 mm에는 뒷지느러미의 2~3번

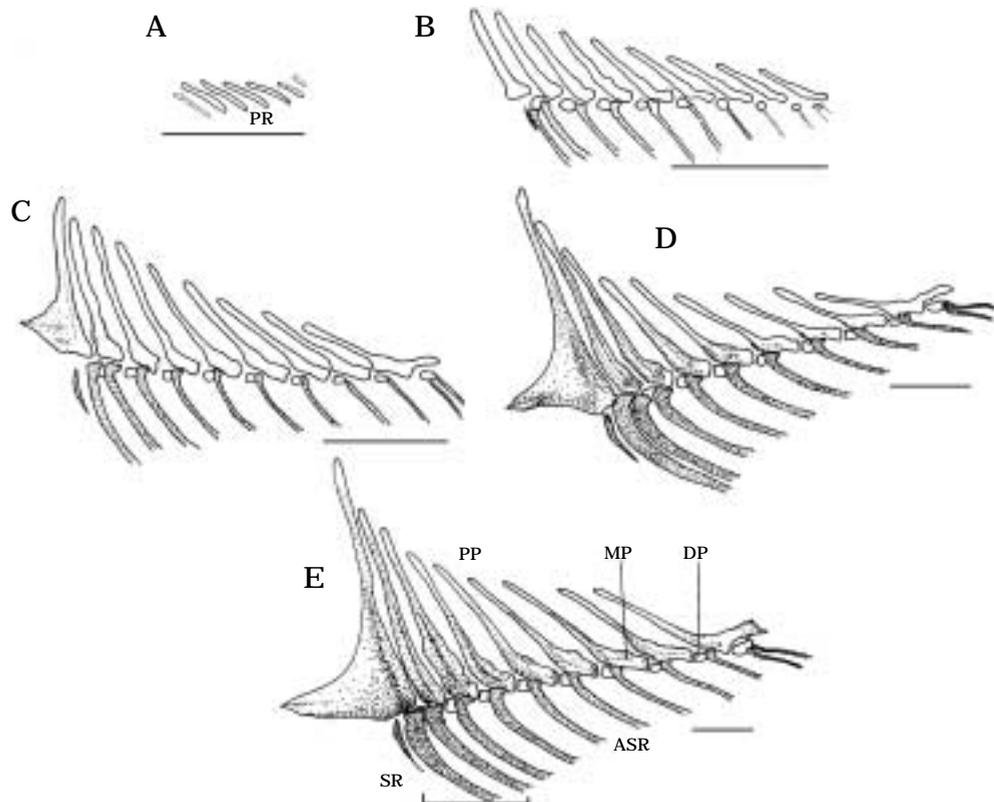


Fig. 6. Osteological development of anal fin and pterygiophore of *Acheilognathus yamatsutae*. A, 7.76 ± 0.09 mm in total length (TL); B, 9.68 ± 0.14 mm in TL; C, 12.94 ± 0.64 mm in TL; D, 20.20 ± 1.33 mm in TL; E, 29.30 ± 0.78 mm in TL. Scales indicate 0.5 mm. White indicates cartilage and stippled ossifying. Fin rays are abbreviated. Abbreviations: ASR, anal soft fin ray; DP, distal pterygiophore; MP, median pterygiophore; PP, proximal pterygiophore; PR, proximal segment; SR, spinous ray.

째 가시와 1~3번째 연조가 골화되기 시작한다. 중담기골과 유착된 근담기골과 원담기골은 연골성이다 (Fig. 6B). 12.94 ± 0.64 mm에 앞쪽 근담기골이 골화되기 시작하며, 지느러미 연조의 일부분만을 남기고 모두 경골화된다 (Fig. 6C). 20.20 ± 1.33 mm에 모든 지느러미는 골화되고 8, 9번째를 제외한 근담기골의 경골화가 현저하였으나 근담기골과 유합되어 있는 중담기골은 연골성이었다 (Fig. 6D). 29.30 ± 0.78 mm에는 중담기골의 경계부와 끝부분을 제외한 근담기골의 대부분이 골화되지만 중담기골과 원담기골은 연골성이다 (Fig. 6E). 42.66 ± 1.72 mm에 이르면 중담기골도 관절부를 제외하고 모두 경골화되지만 원담기골은 연골로 남아 있다.

7. 미부골격 및 꼬리지느러미

미부골격 (caudal skeleton)은 척추의 최 후단에 있는 몇 개의 골이 변형하여 꼬리지느러미 (caudal fin)를 지지하는 골격이며 미부봉상골 (urostyle), 상미측골 (epural), 하미측골 (hypural), 부하미골 (parhypural) 등으로 나누어진다.

전장 6.82 ± 0.08 mm에 척색의 윤곽이 관찰되고 미골이 연골성으로 나타나기 시작한다 (Fig. 7A). 7.76 ± 0.09 mm에 연골성의 일부 미측골과 부하미골이 나타나고 기초의 윤곽이 뚜렷해진다 (Fig. 7B). 9.68 ± 0.14 mm에 미부봉상골이 최초로 경골화되고 6개의 하미측골과 부하미골의 외연이 골화되기 시작한다. 상미측골은 연골성이

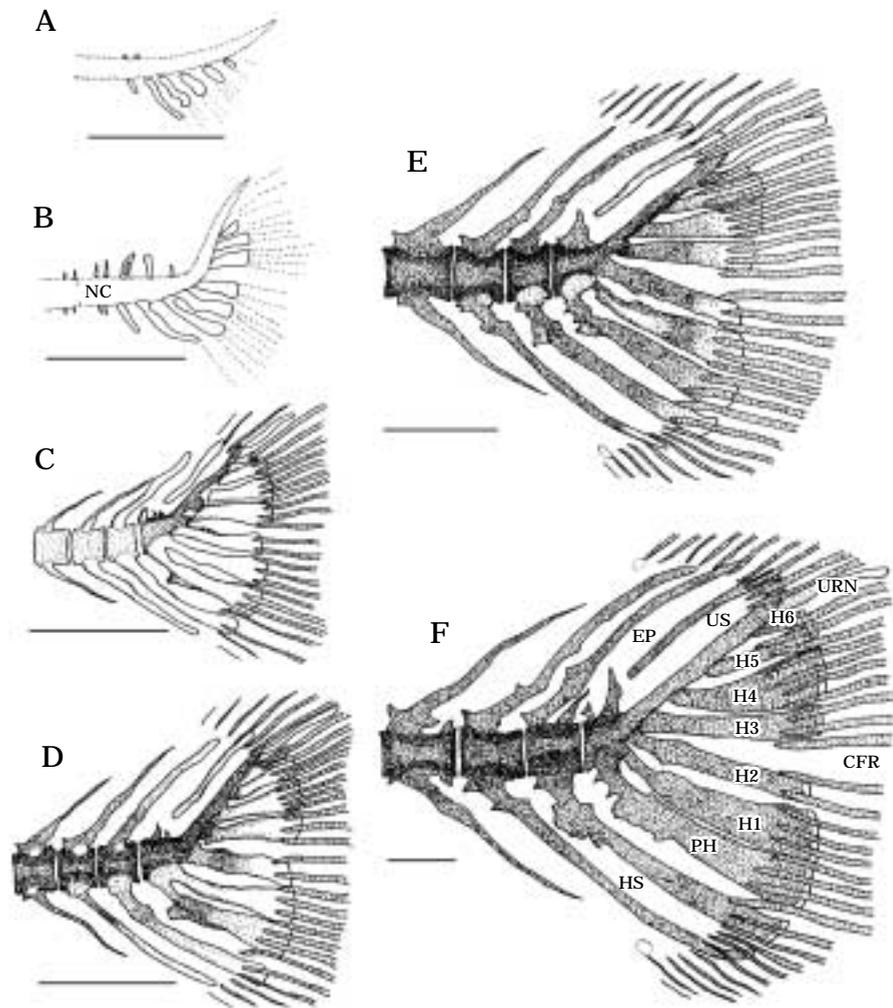


Fig. 7. Osteological development of caudal fin and caudal skeleton of *Acheilognathus yamatsutae*. A, 6.82 ± 0.084 mm in total length (TL); B, 7.76 ± 0.09 mm in TL; C, 9.68 ± 0.14 mm in TL; D, 12.94 ± 0.64 mm in TL; E, 20.20 ± 1.33 mm in TL; F, 51.60 ± 2.01 mm in TL. Scales indicate 0.5 mm. White indicates cartilage and stippled ossifying. Fin rays are abbreviated. Abbreviations: CFR, caudal fin ray; EP, epural; H, hypural; HS, hemal spine; NC, notochord; PH, parhypural; URN, uroneural; US, urostyle.

며, 꼬리지느러미의 기조는 모두 골화되어 있으나 마디는 생성되어 있지 않다 (Fig. 7C). 12.94 ± 0.64 mm에는 약 30개의 기조가 관찰되며 마디가 생성되고, 미부봉상골과 상, 하미축골의 지지를 받는 기조 수가 21~22개, 뚜렷한 지지기반이 없는 기조의 수는 8~9개였다. 상미축골이 골화되기 시작하며 하미축골과 부하미골의 중간부터 기부까지 골화가 진전된다 (Fig. 7D). 20.20 ± 1.33 mm에는 하미축골과 부하미골이 전체 길이의 3/4가량 골화되며 말단부분은 연골성으로 남아 있다. 제1 하미축골, 부하미골, 혈관극이 척추와 연결되는 부분은 연골성이다. 기조 수는 약 40개가 관찰되고 상, 하미축골의 지지를 받는 기조 수는 21~22개로 변화가 없었으나 그 외의 기조 수는 증가하였다 (Fig. 7E). 51.60 ± 2.01 mm에는 기조와 접하는 쪽의 상미축골, 하미축골, 부하미골 그리고 혈관극의 외연을 제외한 모든 부분이 골화되었다 (Fig. 7F).

8. 초기생활사에 따른 골격 발달

본 종은 발생 수온 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ 하에서 인공수정 후 48시간 만에 부화하였으며, 전장 3.43 mm의 부화자어는 체

절과 이포 외에는 전혀 기관이 형성되어 있지 않았다. 골격의 형성은 부화 후 약 4일 후인 전장 6.82 mm에 부설골, 치골, 각설골 등이 연골성으로 형성되었고, 새궁이 관찰되고, 연골성의 미골이 나타나기 시작하였다 (Figs. 1A, 7A). 부화 후 12일째인 전장 8.50 mm에도 골화는 일어나지 않았으나, 연골성의 골격분화가 현저하였다 (Fig. 8A). 후기자어기에 달해 이때때로부터 탈출하여 독립 유영생활과 먹이를 먹기 시작하는 부화 후 18일, 전장 9.60 mm를 전후하여, 먹이 섭취와 연관된 두부의 부설골과 인두골, 치골과 전상악골, 주상악골 등이 경골화되기 시작하였고, 유영 능력과 연관된 꼬리지느러미 기조와 미부봉상골 및 하미축골과 부하미골이 골화되기 시작하였다 (Fig. 8B). 이 후 척추골과 대부분의 지느러미가 골화되었으며 (Fig. 8C), 부화 후 40일 (전장 18 mm)에 모든 골격 구조가 정수에 이르면서 치어기에 달하였으나, 두부의 일부 구성골과 등, 뒷지느러미의 담기골, 하미축골과 부하미골의 말단 등은 연골성으로 남아 있었다 (Fig. 8D).

고 찰

어류의 골격 발달은 종에 따라 골격의 생성과 골화 시기에 차이가 있으며, 이는 다양한 생태적 특성이 반영되기 때문이기도 하다. 그러나 대부분의 어류에서 골격이 가장 먼저 생성되고 골화되는 부분은 부설골, 인두골, 치골과 전상악골, 주상악골 그리고 새개골 등이다. 이러한 현상은 먹이 섭취와 호흡을 위한 적응현상으로 보이는데, McElman and Balon (1979), 박과 김 (1987), 명등 (2001) 등의 골격 발달 연구 결과에서도 잘 나타나고 있다.

척추골은 늑골 신경극, 혈관극 등이 경골화가 이루어진 후에 형성되고 골화되기 시작하였다. 척추의 골화는 전체적으로 두부 쪽에서 미부쪽으로 골화가 이루어졌으며, Itazawa (1963), Potthoff *et al.* (1984), 한 등 (2001) 등도 이와 같은 척추의 골화 양상을 보고한 바 있다. 그러나 미부골격은 척추가 생성되기 이전의 발생 초기에 이미 연골성으로 나타나기 시작하였고 미추부분이 골화되기 전에 미부봉상골과 기조가 먼저 골화되었는데, 이는 어류의 초기 유영력의 획득과 연관이 있는 것으로 보인다. 그러나 김과 한 (1991)은 해산어인 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 경우 미부의 추체가 대부분 골화된 후 미부봉상골이 골화된다고 하였다.

홍대에서는 의쇄골과 상의쇄골, 이어서 후측두골이 경골화되며 두골에서 가장 먼저 경골화되는 인두골과 부

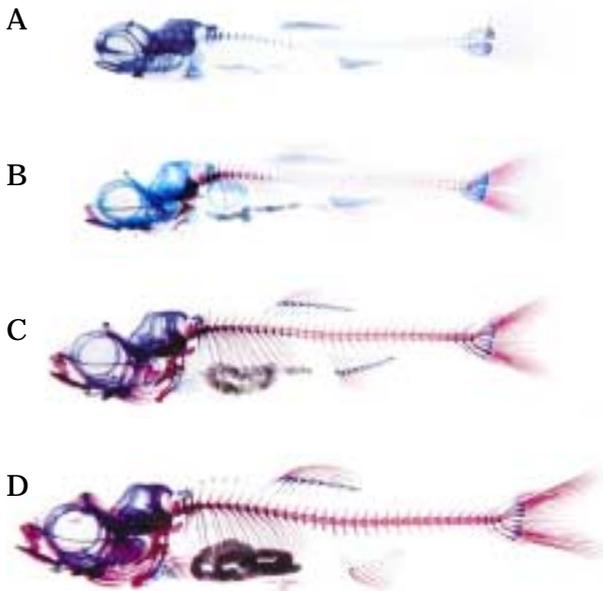


Fig. 8. Photographs showing the skeletal development of larvae (A, B, C) and juvenile (D) in *Acheilognathus yamatsutae*. A, 12 days after hatching, 8.50 mm in total length (TL); B, 18 days after hatching, 9.60 mm in TL; C, 25 days after hatching, 12.10 mm in TL; D, 40 days after hatching, 18.00 mm in TL. Blue areas indicate cartilage (retention of alcian blue stain) and red areas indicate calcified bone (retention of alizarin red S).

설골 새개골 등의 경골화 시기와 거의 일치하고 있는데 이것은 새개골의 지지 역할과 관련이 있는 것으로 보인다.

본 종의 요대와 배지느러미는 5개의 지느러미와 이를 지지하는 담기골 중에서 가장 늦게 분화하고 골화되었는데 이는 이와 박(1989)의 연구 결과와도 일치하였다.

한편 *A. yamatsutae*는 부화 후 약 4일이 경과한 전장 6.82 mm 경에 두부와 미부의 일부 구성골이 연골성으로 나타나기 시작하고, 후기자어에 이르는 부화 후 18일(전장 9.48~9.70 mm)을 전후하여 두부의 먹이 섭취와 호흡에 관련된 부위와 유영력과 연관된 미부봉상골과 꼬리지느러미 등이 경골화되기 시작한다. 한 등(1999)은 같은 잉어과인 버들치, *Rhynchocypris oxycephalus*의 경우 부화 후 6일째인 전장 6.32~6.56 mm에 부설골과 전상악골, 주상악골 및 치골 등이 골화된다고 하였다. 연어과의 *O. keta*(명과 김, 1993)의 경우에도 부화 직후에 부설골, 주상악골, 치골, 주새개골 등과 흉대 및 꼬리지느러미 기조 등이 골화된다고 하였고, 꺾지과의 *S. scherzeri*(명 등, 2001)도 부화 후 3일째인 전장 6.71 mm 경에 부설골과 쇄골, 새개골 및 위턱과 아래턱의 구성 골들이 골화함을 보고하였다. 본 종의 골격 형성 및 골화 시기와 비교하면 *R. oxycephalus*, *O. keta*, *S. scherzeri* 등이 매우 빠른 발달 양상을 보였는데, 이러한 골격 생성과 골화 시기의 차이는 Mook(1977)가 지적한 바와 같이 생활 양상에 따른 적응 현상으로 판단된다. 납자루아과 어류의 경우 폐내 산란에 이어 전기자어기를 이매패 내에서 보내게 된다. 따라서 전기자어기에는 천적의 위협이나 유영의 필요성이 없으므로 다른 신체 기관과 함께 골격 요소의 발달이 지연되다가, 후기자어기에 달하면서 조개의 밖으로 나와 생활하게 되므로 먹이 섭취 및 유영의 필요에 의해 골격의 발달이 진행되는 것으로 사료된다. 송(1994), Aldridge(1999), 백(2005) 등은 납자루아과 전기자어의 폐내 발생에 관하여 논하면서, 빠른 부화에 따른 미발달 상태의 자어, 천적의 인지와 도피에 필요한 시각의 발달과 체표면 색소발달(보호색)의 지연 그리고 유영 능력의 미비 등이 폐내 산란과 발생에 따른 적응 현상이라고 보고한 바 있다.

적 요

줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae)의 골격형성과 연골의 골화 과정에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

전장 6.82±0.08 mm에 부설골 (parasphenoid), 치골

(dentary), 익상골 (pterygoid), 각설골 (ceratohyal), 새궁 (branchial arch) 등과 미골 (caudal skeleton)의 일부 등이 생성되었다. 7.76±0.09 mm에는 전두골 (frontal)과 두정골 (parietal)의 발달이 현저하였고, 주상악골 (maxillary)이 나타났으며, 흉대 (pectoral girdle)의 방사기골 (proximal), 견갑골 (scapula), 오황골 (coracoid)이 형성되었다. 또한 신경극 (neural spine)과 혈관극 (hemal spine)이 미추 (caudal vertebrae)에 생성되기 시작하였다. 9.68±0.14 mm에 내장골 (visceral skeleton)의 주새개골 (opercle)과 새조골 (branchiostegals)이 나타났으며, 12.94 mm에는 흉대의 후측두골 (post temporal)이 생성되었다.

골격의 골화는 9.68±0.14 mm를 전후하여 일어났으며, 부설골, 인두골 (pharyngeal bone), 치골, 전상악골 (premaxillary), 주상악골, 주새개골 등과 늑골 (pleural rib), 신경극, 혈관극이 골화되었으며, 흉대의 의쇄골 (cleithrum)과 상의쇄골 (supracleithrum) 그리고 미골의 미부봉상골 (urostyle)과 꼬리지느러미 (caudal fin)가 골화되었다. 11.52±0.13 mm에는 척추골이 생성되면서 골화되었고, 15.30±0.68 mm에 두부의 전두골, 전새개골 (preopercle), 하새개골 (subopercle), 설악골 (hyomandibular) 등이 경골화되었다.

본 종의 골격 형성과 골화는 다른 어종에 비하여 비교적 늦게 발달하였다.

사 사

본 연구는 서원대학교 기초과학연구소의 지원에 의해 이루어졌습니다.

인 용 문 헌

- Aldridge, D.C. 1999. Development of European bitterling in the gills of freshwater mussels. *J. Fish Biol.*, 54 : 138~151.
- Balon, E.K. 1985. Early life histories of fishes: New developmental, ecological and evolutionary perspectives. DR W. Junk Pub., pp. 33~55.
- Gregory, W.K. 1933. Fish skulls: a study of the evolution of natural mechanisms. *Trans. Amer. Phil. Soc.*, 23 : 75~481.
- Itazawa, Y. 1963. The ossification sequence of the vertebral column in the carp and the snake-head fish. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 29 : 667~674.
- McElman, J.F. and E.K. Balon. 1979. Early ontogeny of

- walleye, *Stizostedion vitreum*, with steps of saltatory development. *Env. Biol. Fish.*, 4 : 309~348.
- Mook, D. 1977. Larval and osteological development of the sheephead, *Archosargus probatocephalus*. *Copeia*(1) : 126~133.
- Paxton, J.R. 1972. Osteology and relationships of the lantern fishes (family Myctophidae). *Bull. Nat. Hist. Los Angeles County Sci.*, 13 : 1~81.
- Potthoff, T. 1980. Development and structure of fins and fin supports in dolphin fishes, *Coryphaena hippurus* and *Coryphaena equiselis* (Coryphaenidae). *Fish. Bull.*, 78 : 277~312.
- Pottoff, T., S. Kelley, M. Moe and F. Young. 1984. Description of porkfish larvae (*Anisotremus virginicus*, Haemulidae) and their osteological development. *Bull. Mar. Sci.*, 34 : 21~59.
- Weisel, G.F. 1967. Early ossification in the skeleton of the sucker (*Catostomus macrocheilus*) and the guppy (*Poecilia reticulata*). *J. Morphol.*, 121 : 1-18.
- 김소영. 1997. 각시붕어 (*Rhodeus uyekii*)의 골격학적 연구. *한국어류학회지* 9 : 130~140.
- 김용억. 1978. 어류학 총론. 태화출판사, 부산, pp. 67~73.
- 김용억 · 한경호. 1991. 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 초기생 활사. *한국어류학회지* 3 : 67~83.
- 김익수 · 김소영. 1998. 가시납지리 (*Acanthorhodeus gracilis*)의 골격학적 연구. *한국어류학회지* 10 : 231~240.
- 김치홍. 1991. 한국산 납자루속 (잉어과) 어류의 계통분류학적 연구. 전북대학교 대학원 박사학위논문. 132 pp.
- 남명모. 1991. 한국산 잉어과 (Cyprinidae) 어류의 계통분류, - 외형과 골격계를 중심으로-. 경북대학교 대학원 박사학위 논문. 163 pp.
- 명정구 · 김용억. 1993. 한국산 연어속 어류의 형태학적 연구-II, 초기 발육단계에 있어서의 연어, *Oncorhynchus keta*의 골격 발달. *한국어류학회지*, 5 : 68~84.
- 명정구 · 문진희 · 김진구 · 박경동 · 강충배 · 김용억 · 박준달. 2001. 쏘가리 (*Siniperca scherzeri*) 자치어의 골격 발달. *한국어류학회지* 13 : 129~135.
- 박양성 · 김용억. 1987. 날치의 자치어에 관한 연구, II. 자치어의 골격발달. *한국수산학회지* 20 : 447~456.
- 백현민. 2005. 묵납자루, *Acheilognathus signifer* (잉어과)의 생태학적 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문. 186 pp.
- 송호복. 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (잉어과)의 생태학적 연구. 강원대학교 대학원 박사학위논문, 181 pp.
- 송호복 · 권오길. 1994. 줄납자루, *Acheilognathus yamatsutae* (Cyprinidae)의 폐류 체내 산란. *한국어류학회지* 6 : 39~50.
- 이승휘 · 박은호. 1989. 암수동체성 점박이송사리 *Rivulus ocellatus marmoratus* (진구아강 : 점박이송사리과)의 골격계. *한국동물학회지* 32 : 177~210.
- 한경호 · 노병을 · 이성훈 · 추은경 · 김두용. 1999. 버들치 (*Moroco oxycephalus*) 자치어의 성장에 따른 골격 발달. 1999년도 춘계 수산관련학회 공동학술대회 발표 요지집, pp. 506~507.
- 한경호 · 임상구 · 김광수 · 김철원 · 유동재. 2001. 한국산 붉은썸뱅이, *Sebasticus tertius* (Barsukov et Chen) 자치어의 골격발달. *한국어류학회지* 13 : 63~68.

Received: January 5, 2005
Accepted: March 2, 2005