

점박이송사리 *Rivulus ocellatus marmoratus* (진구아강 : 점박이송사리과)의 부속지골격 발생에 관하여

이승휘 · 복완근* · 박은호**

호남대학 생물학과, *서울대학교 사범대학부속 여자중학교, **한양대학교 자연과학대학 생물학과

점박이송사리에 관한 해부학적 자료축적의 일환으로 부속지골격의 형태 발생 및 골화 진전양상을 조사하였다. 각 부속지의 구성골은 전피성골이 연골성골보다 먼저 골화되었다. 부속지의 기초는 가슴지느러미, 꼬리지느러미, 등 및 뒷지느러미, 그리고 배지느러미의 순으로 골화되었다. 골화 진전에 따라 초기 자어시 유합되어 있던 수직지느러미의 기골은 방사기골과 중담기골로, 가슴지느러미의 오혜-견갑골은 오혜골과 견갑골로 분리, 분화되었다. 그러나 골화진전에 따른 구성골간의 유합은 나타나지 않았다. 5가지 부속지의 골화 완성은 가슴지느러미, 꼬리지느러미, 등지느러미, 뒷지느러미 그리고 배지느러미의 순으로 이루어졌다.

KEY WORDS: Appendicular development, *Rivulus ocellatus marmoratus*

어류의 부속지는 개체의 유형, 방향조정 및 평형유지 등을 담당하는 운동기관으로서 개체의 행동, 나아가서 생존에 필수적인 기관이다. 이와 같은 부속지를 구성하는 부속지골격의 발생은 구성골의 형태적 분화에 따른 숫적 증감과 아울러 골질속적 및 골질변화에 의해 완성되며 그 양상이 분류군에 따라 특이하다. 따라서 어류의 부속지골격 발생에 관한 자료는 종의 해부학적 이해 뿐만 아니라 어류의 발생 및 계통 연구상 매우 중요하다. 최근 어류의 부속지골격발생에 관한 국외의 연구는 남새과과(Futch *et al.*, 1972), 고등어과(Potthoff, 1974; Kramer, 1980; Potthoff *et al.*, 1986), 감성돔과(Mook, 1977), 철갑상어과(Jollie, 1980), 말새기과(Potthoff, 1980), Centropomidae(Lau and Shaffland, 1982), 황새치과(Potthoff and Kelley, 1982), 자리돔과(Potthoff *et al.*, 1987), 붕돔과(Potthoff *et al.*, 1988) 등을 대상으로 수행되었다. 국내에서의 연구는 해산어종인 주둥치과(Myung and Kim, 1984), 장갱이과(Yoo and Kim, 1985) 및 날치과(Park and Kim, 1987)에 속하는 몇 종을 대상으로 수행되었으

며 기수 내지 담수어에 관한 보고는 아직 없다.

점박이송사리 (*Rivulus ocellatus marmoratus* Poey)는 대안틸제도와 소안틸 제도 및 카리브해 연안에 분포하는(Seegers, 1984) 점박이송사리과(Aplocheilidae)의 기수성 소형 물고기이다. 본 종에 관한 생물학적 연구는 본 종이 척추동물 중 자연상태에서는 유일한 기능적 암수동체성임(Harrington, 1961)이 밝혀진 이래 1970년대 중반까지 성결정 및 성분화에 관한 발생생물학적 연구가 Harrington group에 의하여 수행되었다(Kallman and Harrington, 1964; Harrington, 1971; Harrington and Crossman, 1976). 1980년대 이후에는 본 종이 발암원검출 및 발암연구에도 적합하다고 보고되어 (Park and Kim, 1984a; Thiyagarajah and Grizzle, 1986; Grizzle and Thiyagarajah, 1988), 이 분야의 연구용 동물로서 뿐만 아니라 어류학 교육용 실험동물로서 관심의 대상이 되고 있다.(Park and Kim, 1984a; Park and Park, 1987; Park and Yi, 1989). 최근의 본 종에 관한 기초 생물학적 연구로는 자연발생적 좌우비대칭성 조사(Park *et al.*, 1987), 피부호흡 기능성(Grizzle and Thiyagarajah, 1987) 그리고 망막의 미세구조 분석을 통한 망막의 색소상피 및 송과체와 망막의 광수용체 조사(Ali *et al.*, 1988a;

이 연구는 박은호 교수에 지원된 1986년도 한국과학재단 연구비로 수행되었음.

1988b; 1989)가 있다. 본 종의 해부학적 연구로는 성장에 따른 비늘발생 및 도포양상(Park and Lee, 1988)과 골격계의 구조(Lee and Park, 1989)가 보고된 바 있다. 그러나 본 종을 교육 및 연구용 실험동물로 개발, 이용하기 위하여는 본 종에 관한 보다 많은 기초 생물학적 연구가 요구된다. 이에 따라 본 연구는 점박이송사리의 부화 이후의 성장에 따른 부속지골격의 발생과성숙을 관찰함으로써 본 종의 기초 해부학적 자료를 축적하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 재료

분석에 사용된 점박이송사리는 한양대학교 생물학과에서 사육된 것으로서 1987년 2월 18일부터 14개의 나이군에 따라 각 군당 10개체 이상으로 총 186개체를 선정하였다. 이들의 체장(body length, BL)은 Table 1과 같다.

2. 방법

신정된 개체를 서온충격으로 마취시킨 후 10% 중성 포르말린에 24시간 이상 고정하였다. 고정된 개체는 수세한 다음 Park과 Kim(1984b)의 방법에 따라 멜라닌색소를 완전히 제거한 후 통째로 연골과 경골을 각각 alcian blue와 alizarin red S로 대비염색하였으며, 염색된 개체는 100% 알리세린에 담가 보관하면서 해부현미경으로 관찰하

Table 1. Specimens used for the analysis of development of appendicular skeleton.

Age(days)*	Body length(mm \pm S. D.)	No. of fish
0	4.1 \pm 0.3	14
1	4.4 \pm 0.2	11
2	4.8 \pm 0.2	11
3	5.3 \pm 0.2	15
7	5.9 \pm 0.3	11
10	6.6 \pm 0.3	10
14	6.9 \pm 0.4	15
21	8.3 \pm 0.3	13
28	8.7 \pm 0.3	13
35	10.0 \pm 0.5	14
42	11.2 \pm 0.7	17
60	13.4 \pm 0.9	15
90	15.8 \pm 0.7	12
180	22.3 \pm 2.2	15

*posthatching

였다.

부속지골격 중 가슴지느러미와 배지느러미는 좌우대칭성이 일반적이므로 왼쪽의 것만 관찰함을 원칙으로 하였으며, 관찰이 곤란하게 된 경우에만 오른쪽의 것을 관찰하였고 짝짓지 않은 지느러미인 등지느러미, 뒷지느러미 그리고 꼬리지느러미는 좌측면을 관찰하였다. 구성단위골수는 각 지느러미별로 계수하여 연령별 평균치를 구하였다. 아울러 단위골의 발생과정 중 골질의 변화가 나타나는지 여부를 관찰하였고, 특히 연골성골(cartilaginous bone)과 진피성골(dermal bone)은 이들의 경골화정도와 골화개시 부위도 조사하였다.

본 연구에 사용된 부속지골격의 구성단위골의

Abbreviations for tables and figures

ACR	accessory caudal ray	FRD	dorsal fin ray	PR	proximal radial
AF	anal fin	FRP	pectoral fin ray	PT	posttemporal
BFR	bifurcated fin ray	FRV	pelvic fin ray	PTG	pterygiophore
CCF	coraco-cleithral fenestra	HP	hypural	PVF	pelvic fin
CF	caudal fin	HS	hemal spine	SCA	scapula
CL	cleithrum	MR	median radial	SCAF	scapular foramen
CO	coracoid	NS	neural spine	SCL	supracleithrum
DF	dorsal fin	PCF	pectoral fin	UN	uroneural
DR	distal radial	PCL	postcleithrum	UV1	ultimate vertebra
EP	epural	PHP	parhypural	UV2	penultimate vertebra
FRA	anal fin ray	PIR	principal fin ray	UV3	antipenultimate vertebra
FRC	caudal fin ray				

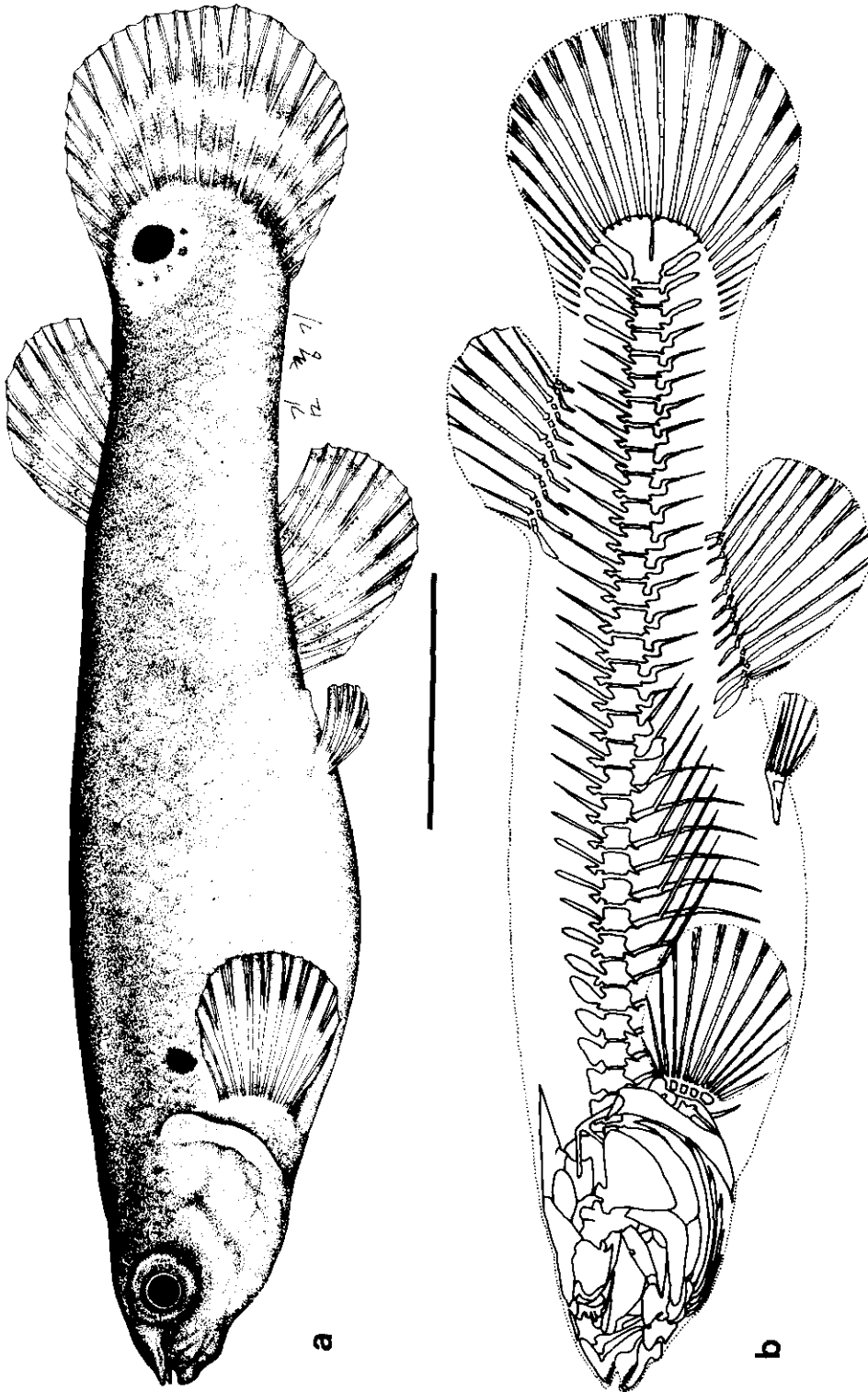


Fig. 1. Lateral view of external morphology (a) and skeletal system (b) of an adult *Rivulus ocellatus marmoratus*. Bar, 5 mm. From Korean J. Zool. 32: 177-210 (1989) with permission.

명칭은 Lee와 Park (1989)의 보고에 따랐고, Fig. 1은 이들의 논문에서 인용하였다. 개체의 성장에 따른 단계(stage)별 명칭은 Balon(1985)의 기준을 참고하였다. 표와 그림에 활용된 약어의 설명은 앞에서 표시한 바와 같다.

결과 및 논의

1. 부속지 골격의 위치 및 크기

성체 점박이송사리의 골격계 중 부속지골격의 위치 및 크기는 Fig. 1과 같았다. 가슴지느러미는 외새공의 바로 뒤에 위치하였으나 다른 송사리류 보다는 복측 중심선 가까이 위치하였고, 배지느러미는 총배설강 바로 앞에 위치하였다. 등지느러미는 뒷지느러미보다 뒷쪽에 위치하였으며 등지느러미와 꼬리지느러미 및 뒷지느러미 사이는 지느러미막(fin membrane)으로 연결되지 않았다. 이들 지느러미 중 가슴지느러미와 배지느러

미는 짝지느러미(paired fin)였고, 나머지 지느러미들은 짝짓지 않은 수직지느러미(unpaired fin)였다. 각 지느러미의 기초(지느러미줄기, fin ray)는 모두 마디가 있는 연조(soft ray)였으며, 그 구성골의 골질은 성장에 따른 골격염색상태와 골격염색의 변화 정도에 따라 연골(cartilage), 연골성골(cartilaginous bone), 그리고 진피성골(dermal bone)로 구분할 수 있었다.

각 지느러미의 성장에 따른 구성골별 골화(ossification)와 형태분화 및 구성골수의 증감은 다음과 같았다.

2. 가슴지느러미

가슴지느러미(pectoral fin)의 구조는 5가지 부속지 중 가장 복잡하였다(Fig. 2). 성장에 따른 이들의 형태분화 및 골화과정은 아래와 같이 현저한 차이를 나타냈다.

연골인 원담기골(distal radial)은 1일자 자어(BL = 4.4 ± 0.2 mm)에서부터 해부현미경으로

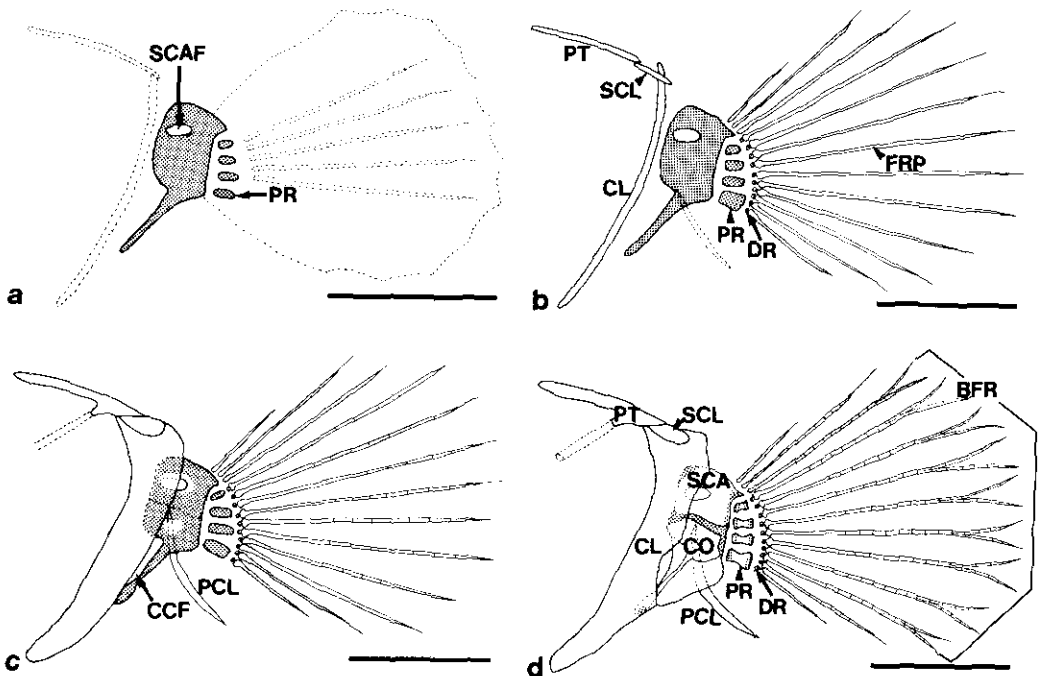


Fig. 2. Developmental sequence of pectoral fin and pectoral girdle of *Rivulus ocellatus marmoratus*. Stippled area indicates cartilage and unstippled region represents ossified bone. a) Just-hatched larva. Bar, 0.2 mm. b) 1-day old larva. Bar, 0.2 mm. c) 14-day old larva. Bar, 0.4 mm. d) 6-month old adult. Bar, 1.2 mm.

확인할 수 있었으며 (Fig. 2b), 그 갯수는 6개월된 성어 (BL = 22.3 ± 2.2 mm)에 이르기까지 평균 10개 (8~11개)로서 개체에 따라 약간의 차이는 있었으나 성장과정 중 숫적 변화는 크지 않았고, 성체가 되어도 계속 연골상태로 남아 있었다.

연골성골로서는 견갑골 (scapula), 오혜골 (coracoid) 및 방사기골 (근담기골, proximal radial)이 있었다. 견갑골과 오혜골은 부화 직후 (BL = 4.1 ± 0.3 mm)에는 두 단위골이 하나로 융합된 상태의 골편으로 보이던 것이 (Fig. 2a), 14일자 자어 (BL = 6.9 ± 0.5 mm) 부터는 견갑골과 오혜골의 중심부위로부터 경골화되기 시작하였고, 거의 동시에 융합 부위가 뚜렷이 식별되어 이 시기부터 두 가지 단위골을 구분할 수 있었다 (Fig. 2c). 35일자 유어 (BL = 10.0 ± 0.5 mm)에서는 구성골 면적의 절반 정도까지 경골화가 진전되었으며, 60일자 유어 (BL = 13.4 ± 0.9 mm)에서는 이들 간의 연결부 및 방사기골과의 연결부와 외쇄골에 의하여 덜힌 부위의 전방부를 제외한 다른 부분은 경골화되었다. 방사기골은 4개로 성장과정 중 숫적 변화는 나타나지 않았으며, 부화 이후 자어기 중에는 계속 연골상태였으나, 35일자 유어에 이르러 중심부로부터 경골화가 시작되었다. 60일자 유어에서는 방사기골의 절반 정도가 경골화되었고 6개월된 성어에서는 견갑골 및 오혜골과 흉기조 (pectoral fin ray)와의 연결부만 연골상태로 남고 나머지 부위는 모두 경골화되었다 (Fig. 2d).

진피성골에는 상의쇄골 (supracleithrum), 외쇄골 (cleithrum), 후의쇄골 (postcleithrum) 및 후측두골 (posttemporal)과 흉기조가 있었다. 이들 중 상의쇄골, 외쇄골, 후의쇄골 및 후측두골은 골화 진전 정도가 유사하여 3일자 자어 (BL = 5.3 ± 0.2 mm)에서 각 단위골의 중심부로부터 경골화가 시작되어 2주 후에는 각 단위골 전체가 경골화된 상태로 나타났다. 그러나 후측두골의 선방으로 향한 두간래의 관상구조물 중 흉대와 외이골간에 연결된 북측관은 골질이 축적되지 않아 거의 투명한 상태로 남아 있었다. 흉기조는 10일자 자어 (BL = 6.6 ± 0.3 mm)에서 중심기조부터 경골화되었으며 35일자 유어에서는 모든 기조가 전

체적으로 경골화되었다. 성어의 기조수는 평균 13개 (12~14개)로서 성장기간 중 숫적 변화는 별로 없었고 (Table 2), 90일된 유어 (BL = 15.8 ± 0.7 mm) 시기로부터 중심기조 (principal fin ray)가 한 두개 분리되었으며, 6개월 후에는 7~9개의 중심기조가 분리되었으나 (Table 3), 외측기조는 분리되지 않은 상태로 나타났다 (Fig. 2d). 원담기골에 의해 흉대의 구성골에 관절된 기조는 윗쪽의 3~4개가 견갑골에 접해 있었고 아랫쪽의 9~10개는 방사기골에 접해 있었다.

가슴지느러미는 꼬리지느러미와 함께 어류에서 가장 중요한 역할을 맡는 부속지로서 부속지 중 가장 복잡한 형태의 골격복합체이다. 가슴지느러미의 기조 발생은 본 종에서 5가지 부속지 중 제일 먼저 완료되어, 만새기과 어류의 경우 (Potthoff, 1980)와 유사하였다. 이는 흉기조의 발생이 가장 늦게 시작되어 가장 늦게 완료되는 퉁돔과 어류 (Potthoff et al., 1988)와 비교하면 좋은 대조를 이루는 양상이었다.

3. 배지느러미

담기골과 기조로 구성된 배지느러미 (pelvic fin)의 성장 (Fig. 3)은 5가지 지느러미 중 가장 늦었다. 연골성골인 담기골 (기골, pterygiophore)은 부화 직후에는 존재하지 않았으나 21일된 자어 (BL = 8.3 ± 0.3 mm)의 항문 바로 앞에서 1쌍의 “L”사형으로 된 담기골 원기가 연골 상태로 나타났다 (Fig. 3a). 60일된 유어에서부터 점차 긴 관상의 삼각형으로 변하였고 6개월된 성어에서 늑 앞끝과 기조와의 연결부 중 일부를 제외한 다른 부분이 모두 경골화되었다 (Fig. 3d).

진피성골인 배지느러미의 기조 (pelvic fin ray)는 원담기골 없이 담기골에 직접 관절되었다. 배지느러미의 기조 역시 21일자 자어에서 지느러미 원기가 외부로 돌출하기 시작하였으며 35일자 유어에서부터 경골화되기 시작하여 (Fig. 3b) 60일자 유어에서는 대체로 경골화가 완료되었다 (Fig. 3c). 기조수는 배지느러미의 출현 초기에는 정확히 계수할 수 없었고 35일경부터 좌우에 각각 6개씩 있음을 관찰할 수 있었으며 기조의 분지는 6개

Table 2. Number of element bones in each appendiculum of *Rivulus ocellatus marmoratus*.

Element bone		No. of element bones in different age group					
		0-day	1-day	3-day	7-day	42-day	180-day
PCF	DR	+	9.9 ± 0.5 (8 ~ 11)	10.2 ± 0.2 (9 ~ 11)	10.0 ± 0.0 (10)	10.2 ± 0.4 (10 ~ 11)	9.6 ± 0.7 (9 ~ 11)
	FRP	+	12.9 ± 0.2 (12 ~ 13)	13.2 ± 0.7 (12 ~ 14)	13.1 ± 0.3 (13 ~ 14)	13.6 ± 0.5 (13 ~ 14)	13.3 ± 0.5 (13 ~ 14)
PVF	FRV	-	-	-	-	6.0 ± 0.0 (6 ~ 6)	6.0 ± 0.0 (6 ~ 6)
DF	DR		6.4 ± 0.5 (6 ~ 7)	6.4 ± 0.5 (6 ~ 7)	6.5 ± 0.5 (6 ~ 7)	7.0 ± 0.4 (7 ~ 8)	7.1 ± 0.3 (7 ~ 8)
	FRD	+	7.9 ± 0.4 (7 ~ 8)	8.0 ± 0.0 (8)	8.3 ± 0.4 (8 ~ 9)	8.4 ± 0.5 (8 ~ 9)	9.0 ± 0.0 (9)
	MR		6.9 ± 0.3 (6 ~ 7)	6.8 ± 0.4 (6 ~ 7)	6.9 ± 0.4 (6 ~ 7)	7.2 ± 0.4 (6 ~ 8)	7.1 ± 0.3 (7 ~ 8)
	PR		7.8 ± 0.4 (7 ~ 8)	7.6 ± 0.5 (7 ~ 8)	8.1 ± 0.3 (8 ~ 9)	8.3 ± 0.4 (8 ~ 9)	8.3 ± 0.5 (8 ~ 9)
AF	DR		8.5 ± 0.5 (8 ~ 9)	9.1 ± 0.5 (8 ~ 10)	9.5 ± 0.5 (9 ~ 10)	9.6 ± 0.5 (90 ~ 10)	10.0 ± 0.0 (10)
	FRA	+	10.9 ± 0.3 (10 ~ 11)	10.6 ± 0.5 (10 ~ 11)	11.4 ± 0.5 (11 ~ 12)	11.8 ± 0.4 (11 ~ 12)	12.0 ± 0.0 (12)
	MR		9.1 ± 0.3 (9 ~ 10)	9.2 ± 0.4 (9 ~ 10)	9.5 ± 0.5 (9 ~ 10)	9.8 ± 0.4 (9 ~ 10)	10.0 ± 0.0 (10)
	PR		10.4 ± 0.5 (10 ~ 11)	10.6 ± 0.5 (10 ~ 11)	10.7 ± 0.5 (10 ~ 11)	11.3 ± 0.4 (11 ~ 12)	11.4 ± 0.7 (11 ~ 12)
CF	FRC	+	30.0 ± 0.0 (30)	30.1 ± 0.3 (30 ~ 31)	30.3 ± 0.5 (30 ~ 31)	30.4 ± 0.5 (30 ~ 31)	30.0 ± 0.0 (30)

+; present but uncountable, -; absent, (); range.

Table 3. Number of bifurcated fin rays of *Rivulus ocellatus marmoratus*.

Fin rays	No. of bifurcated fin rays in different age groups			
	42-day	60-day	90-day	180-day
FRP	0 (13 ~ 14)	0 (13 ~ 14)	0 ~ 1 (13 ~ 14)	7 ~ 9 (13 ~ 14)
FRV	0 (6)	0 (6)	0 (6)	0 ~ 2 (6)
FRD	0 (8 ~ 9)	0 (8 ~ 9)	0 (8 ~ 9)	4 ~ 5 (9)
FRA	0 (11 ~ 12)	0 (11 ~ 12)	0 (12)	6 ~ 8 (12)
FRC	0 (30 ~ 31)	4 ~ 8 (30 ~ 31)	8 ~ 12 (30 ~ 31)	12 ~ 14 (30)

(); range of total fin ray numbers.

림이 되어야 확인할 수 있었다(Table 3).

배지느러미의 발생에 관한 연구는 만새기과 (Potthoff, 1980), 큰가시고기과 (Bell and Harris, 1985), 장갱이과 (Yoo and Kim, 1985), 자리돔과 (Potthoff *et al.*, 1987), 및 통돚과 (Potthoff *et al.*, 1988)의 어류 몇 종을 대상으로 수행되었다. 이들 중 큰가시고기과의 배지느러미가 가장 잘 분화된 양상이었으며 점박이송사리의 배지느러미 기골은 비교적 덜 분화된 단순한 양상이었다. 한편 성어에서 분지가 나타난 기조는 다른 지느러미의 기조와 유사한 기능을 갖는 것으로 보인다. 점박이송사리의 배지느러미 발생은 지느러미 중 가장 늦게 일어났으며 이는 통돚과의 일종에서 배지느러미의 기조 출현이 가장 빨랐던 경우 (Potthoff *et al.*, 1988)와 대조적이었다. 또한

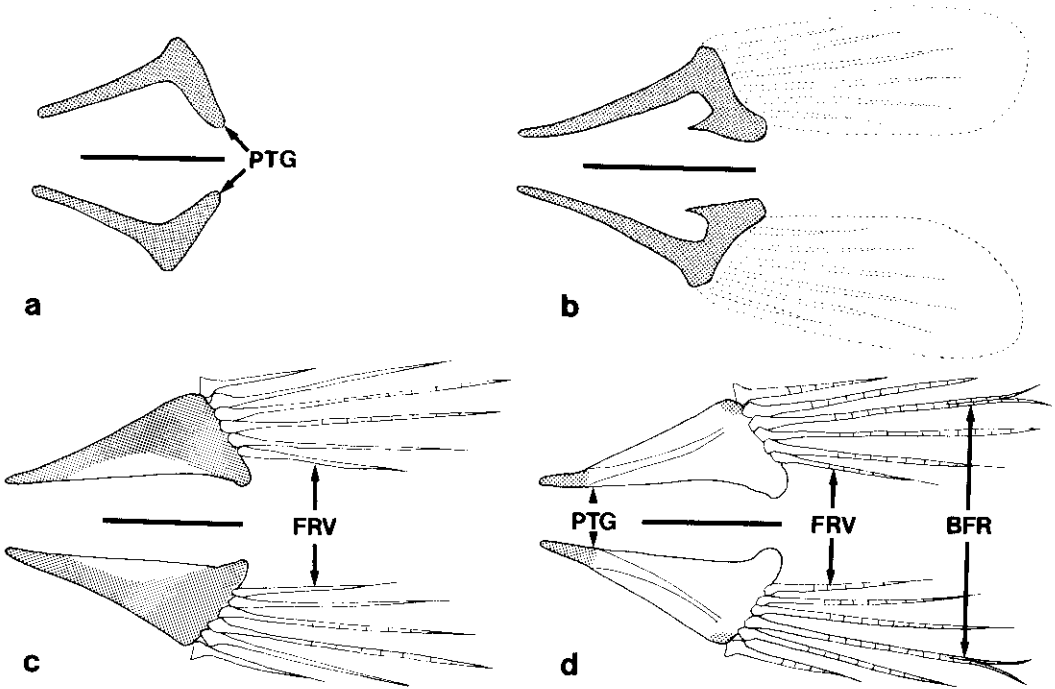


Fig. 3. Developmental sequence of pelvic fin and pelvic girdle of *Rivulus ocellatus marmoratus*. Stippled area indicates cartilage and unstippled region represents ossified bone. a) 21-day old larva. Bar, 0.1 mm. b) 35-day old juvenile. Bar, 0.2 mm. c) 60-day old juvenile. Bar, 0.2 mm. d) 6-month old adult. Bar, 0.5 mm.

집박이송사리의 배지느러미에서는 셋비늘치과 어류에서 나타나는 치판(pubic plate)이나 (Paxton, 1972), 복측 중심선에서의 봉합(suture) 등을 전혀 관찰할 수 없었으며 다만 12개월 이상된 성어에서 좌우기골의 후측돌기(posterior process)간 근접을 볼 수 있었다. 아울러 배지느러미에 속한 원담기골은 전혀 관찰되지 않았다.

4. 등지느러미와 뒷지느러미

원담기골, 중담기골(median radial), 방사기골 및 기조로 구성되어 있는 등지느러미(dorsal fin)와 뒷지느러미(anal fin)는 구성골의 형태 및 숫자에서 약간의 차이는 있었으나 구성골의 종류와 골격 발달양상은 유사하였다. 또한 경골화된 상태는 아니었으나 두가서 지느러미의 형태는 부화직후에 이미 갖추어져 있었다.

연골인 원담기골의 경우 등지느러미에서는 부화직후에 평균 6개(6~7개)에서 7일 자 자어에서부터 평균 7개(6~8개)로 증가되었으며 뒷지느러미에서는 부화직후에 평균 9개(8~9개)에서 3일 자 자어에서부터 평균 10개(9~10개)로 역시 증가하였으며 골질은 계속 연골상태로 있었다.

연골성골인 방사기골과 중담기골은 부화후 10일 이전까지는 융합된 상태로 존재하다가(Fig. 4a, Fig. 5a), 부화후 10일경부터 골화되기 시작하여 21일 자 자어에 이르면 방사기골과 중담기골간의 경계가 뚜렷이 식별되었다(Fig. 4c, Fig. 5c). 방사기골의 수는 등지느러미의 경우 자어기에 평균 8개(7~8개)에서 성어가 되면 평균 9개(8~9개)로 증가하였고 뒷지느러미에서는 자어기에 평균 10개(10~11개)에서 7일 자 자어에서부터 평균 11개(11~12개)로 나타나 역시 증가하였다. 중담기골의 수는 등지느러미에서는 평균 7개(6~8개)로서 성어가 되어도 큰 변화는 나타나지 않았

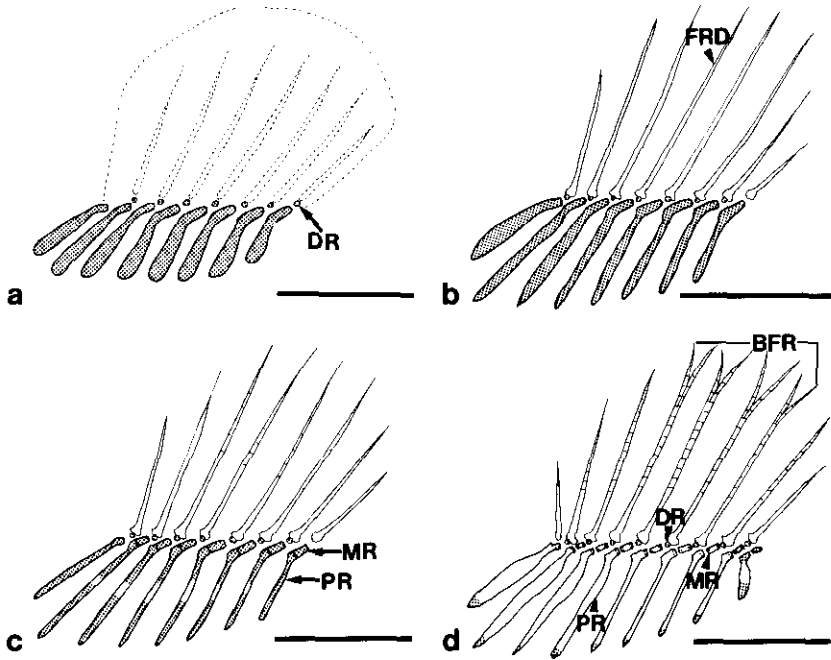


Fig. 4. Developmental sequence of dorsal fin of *Rivulus ocellatus marmoratus*. Stippled area indicates cartilage and unstippled region represents ossified bone. a) Just-hatched larva. Bar, 0.2 mm. b) 7-day old larva. Bar, 0.5 mm. c) 21-day old larva. Bar, 0.6 mm. d) 6-month old adult. Bar, 1.5 mm.

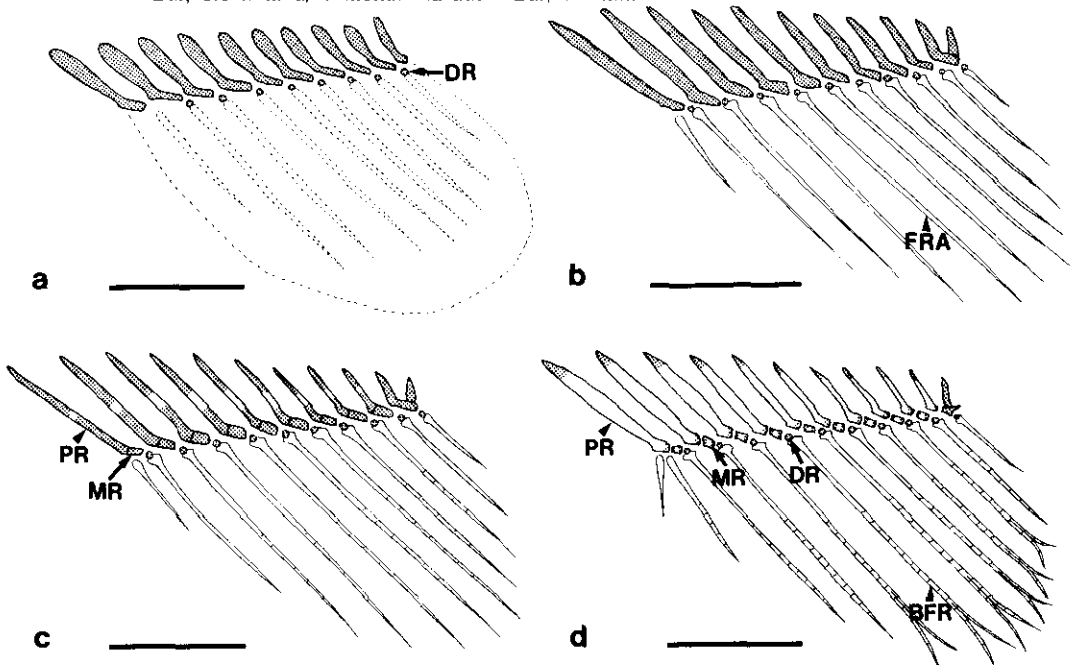


Fig. 5. Development sequence of anal fin of *Rivulus ocellatus marmoratus*. Stippled area indicates cartilage and unstippled region represents ossified bone. a) Just-hatched larva. Bar, 0.2 mm. b) 7-day old larva. Bar, 0.5 mm. c) 21-day old larva. Bar, 0.6 mm. d) 6-month old adult. Bar, 1.5 mm.

으나, 뒷지느러미에서는 자어기에 평균 9개(9~10개)에서 성어가 되면 평균 10개(10~11개)로 증가하였다(Table 2).

기조의 경골화 양상은 등지느러미와 뒷지느러미에서 거의 같았는데 부화 후 10일경부터 골절축적이 현저하였으며 5주경에는 경골화가 거의 완성되었다. 부화 직후에 두 지느러미의 기조는 모두 식별이 곤란한 정도였으나, 등지느러미의 경우 1일자 자어에서 평균 8개(7~8개)로 관찰되던 것이 60일자 유어에서는 평균 9개(8~9개)로 증가하는 추세를 나타냈으며, 뒷지느러미에서는 1일자 자어에서 평균 11개(10~11개)이던 것이 28자 자어에서는 평균 12개(11~12개)로 증가하는 경향을 나타냈다. 부화 후 3개월경부터는 등지느러미의 중심기조 4~5개가(Fig. 4d), 같은 시기에 뒷지느러미에서는 중심기조 6~8개가 분지되었다(Fig. 5d).

수직지느러미(median fin)라 칭하는 등지느러미와 뒷지느러미 구성골의 경골화 진전방향은 종에 따라 차이가 있어, 기조 및 담기골의 경우 크게 2가지 즉, 골화개시 부위가 부속지 앞에 위치하여 뒤쪽으로 골화진전이 나타나는 유형과 골화개시 부위가 부속지 중앙에 위치하여 앞뒤 양쪽으로 골화진전이 나타나는 유형으로 구분된다. 신자와 같은 양상은 주둥치과(Myung and Kim, 1984), 고둥어과(Potthoff et al., 1986), 날치과(Park and Kim, 1987), 그리고 통돚과(Potthoff et al., 1988)의 일부 종에서 확인되었으며, 후자와 같은 양상은 만새기과(Potthoff, 1980), 황새치과(Potthoff and Kelley, 1982) 그리고 장갱이과(Yoo and Kim, 1985)의 일부 종에서 보고되었다. 점박이송사리의 골화진전방향은 후자의 경우와 유사하여, 등지느러미의 기조는 제 4~제 6 기조로부터, 담기골도 제 4~제 6 방사기골의 중앙부로부터 경골화되었고, 뒷지느러미의 기조는 등지느러미와 유사하게 제 5~제 9 기조로부터, 담기골은 제 6~제 8 방사기골의 중심부로부터 경골화가 시작되어 전후 양방향으로 경골화가 진전되는 경향을 보였으며, 기조의 분지는 먼저 경골화된 기조에서부터 이루어짐을 확인할 수 있었다.

5. 꼬리지느러미

꼬리지느러미(caudal fin)는 부화직후에 이미 형태를 갖추었으나(Fig. 6a), 구성골들은 경골화되지 않은 상태였다. 꼬리지느러미의 구성골에는 연골성골과 진피성골이 있었다.

연골성골에는 미축골(hypural), 상미축골(epural) 및 하미축골(parhypural)이 있었다. 미축골은 2엽으로 분리된 상태였으며, 이들은 부화직후에 모두 연골상태로 나타났으나(Fig. 6a), 10일자 자어로부터 세 1 종미축골(ultimate vertebra)과 접한 부위에서 경골화되기 시작하였고(Fig. 6b), 21일자 자어에서는 경골화가 절반 정도 진전되었다. 35일자 유어에서는 미기조와 관접된 뒤쪽 끝부분을 제외한 모든 부위가 경골화되었다. 상미축골과 하미축골의 골화진전양상도 미축골의 경우와 유사하였으나 대체로 미축골보다는 조금씩 먼저 골화되는 경향을 나타냈다.

진피성골에는 미신경골(uroneural)과 미기조(caudal fin ray)가 있었다. 미신경골은 부화직후에는 형태식별이 곤란하였으나 2일자 자어(BL = 4.8 ± 0.2 mm)에서 삼각형의 돌기체 모양으로 관찰되었고, 28일자 자어에서는 미추 배측에 위치한 척수를 겨우 감쌀 정도의 크기가 되며, 경골화는 3일자 자어로부터 시작되어, 부화후 10일 후면 전체적으로 경골화된 양상을 나타냈다. 미기조는 부화직후에 윤곽이 나타나지만 기조수를 정확히 계수하기엔 곤란할 정도였으며, 경골화는 부화후 3일 후에 중심기조의 기저부로부터 시작되어 10일경에는 절반 정도 진전되었고 5주경에는 전체적으로 경골화되었다. 미기조수는 평균 30개(30~31개)로서 성장과정 중 숫적 증감은 별로 나타나지 않았다. 미기조 중 미축골의 지지를 받는 기조는 10개였다. 기조 말단 부위의 분지(bifurcation)는 부화후 2개월경에 중심기조 중 평균 4개에서 나타났고(Fig. 6c) 부화후 3개월경에는 미축골의 지지를 받는 10개의 중심기조가 전부 분지되었으며, 그 후 중심기조에 인접한 2~4개의 기조가 더 분지되어 6개월된 성어가 되면 평균 13개(12~14개)의 기조가 분지된 양상을 나타냈다(Fig. 6d).

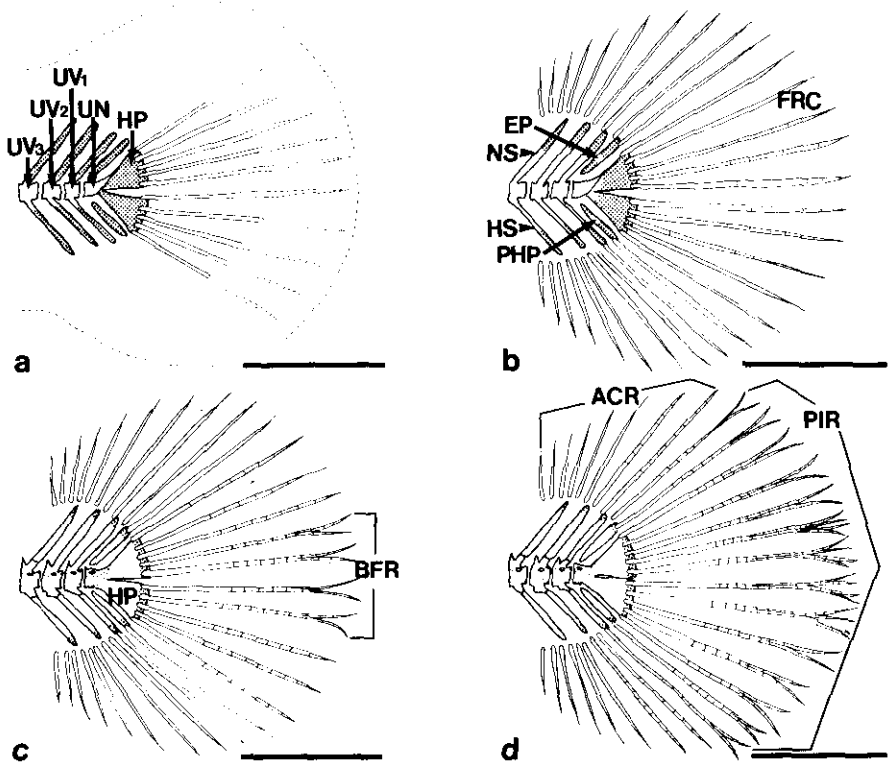


Fig. 6. Developmental sequence of caudal fin and hypural complex of *Rivulus ocellatus marmoratus*. Stippled area indicates cartilage and unstippled region represents ossified bone. a) Just-hatched larva. Bar, 0.7 mm. b) 10-day old larva. Bar, 1.0 mm. c) 60-day old juvenile. Bar, 2.2 mm. d) 6-month old adult. Bar, 1.5 mm.

꼬리지느러미는 가슴지느러미와 유사한 시기에 발생이 완료되었다. 기조는 가슴지느러미의 것보다 일찍 경골화가 완료되나 미추골 등의 기조는 지지골들은 경골화가 늦으므로 전체적으로는 꼬리지느러미의 골격완성이 가슴지느러미보다 약간 늦은 편이다. 점박이송사리의 꼬리지느러미 기조들은 미추골을 포함하여 5개의 추체에 의하여 골격의 지지를 받는다. 부화 직후에는 미추골에 의해 중심기조만 지지를 받다가 10일자 자어로부터 5개의 추체에 의해 30개의 기조가 지지를 받으며 아울러 이때에는 모두 경골화된 상태로 나타난다. 본 종의 미추골은 2개였고 숫적변화는 볼 수 없었다. 이는 소형어류 특히 송사리목에서 미추골의 숫적 감소 추세가 나타난다는 Greenwood 등 (1966)의 보고와 일치한다.

이상에 정리한 내용은 부화이후의 개체를 대상

으로 분석한 것으로서, 점박이 송사리의 생물학적 특성을 이해하고 본 종을 실험동물로 활용하는데 기본적인 자료가 될 것이다. 그러나 부화 당시 일부 부속지가 이미 발생한 것으로 미루어 부속지구성골의 원기는 부화이전에 형성되었을 것이므로, 본 종의 골격분화를 더욱 상세히 파악하기 위하여는 부화이전의 배아를 대상으로 보다 세밀한 조사가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

인용문헌

- Ali, M. A., M. A. Klyne, E.-H. Park, and S.-H. Lee, 1988a. Structural changes in retinal pigmented epithelium of *Rivulus marmoratus* Poey embryos during development. *Anat. Embryol.* 177: 451-457.
 Ali, M. A., M. A. Klyne, E.-H. Park, and S.-H. Lee,

- 1988b. Pineal and retinal photoreceptors in embryonic *Rivulus marmoratus* Poey. *Anat. Anz.* **167**: 359-369.
- Ali, M. A., M. A. Klyne, E.-H. Park, and S.-H. Lee, 1989. Structure of the external retina of the oviparous hermaphroditic fish *Rivulus marmoratus* Poey. *Anat. Anz.* **168**: 7-15.
- Balon, E. K., 1985. Early Life Histories of Fishes: New Developmental, Ecological and Evolutionary Perspectives. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht.
- Bell, M. A. and E. I. Harris, 1985. Developmental osteology of the pelvic complex of *Gasterosteus aculeatus*. *Copeia* **1985**: 789-792.
- Futch, C. R., R. W. Topp, and E. D. Houde, 1972. Developmental osteology of the lined sole, *Achirus lineatus* (Pisces: Soleidae). *Bull. Mar. Sci.* **16**: 33-58.
- Greenwood, P. H., D. E. Rosen, S. H. Weitzman, and G. W. Myers, 1966. Phyletic studies of teleostean fishes, with a provisional classification of living forms. *Bull. Amer. Mus. Nat. His.* **131**: 341-455.
- Grizzle, J. M. and A. Thiyagarajah, 1987. Skin histology of *Rivulus ocellatus marmoratus*: apparent adaptation for aerial respiration. *Copeia* **1987**: 237-240.
- Grizzle, J. M. and A. Thiyagarajah, 1988. Diethylnitrosamine-induced hepatic neoplasms in the fish *Rivulus ocellatus marmoratus*. *Dis. Aquat. Org.* **5**: 39-50.
- Harrington, R. W. Jr., 1961. Oviparous hermaphroditic fish with internal self-fertilization. *Science* **134**: 1749-1750.
- Harrington, R. W. Jr., 1971. How ecological and genetic factors interact to determine when self-fertilizing hermaphrodites of *Rivulus marmoratus* change into functional secondary males, with a reappraisal of the modes of intersexuality among fishes. *Copeia* **1971**: 389-432.
- Harrington, R. W. Jr. and R. A. Crossman, Jr., 1976. Temperature-induced meristic variation among three homozygous genotypes (clones) of the self-fertilizing fish *Rivulus marmoratus*. *Can. J. Zool.* **54**: 1143-1155.
- Jollie, M., 1980. Development of head and pectoral girdle skeleton and scales in *Acipenser*. *Copeia* **1980**: 226-249.
- Kallman, K. D. and R. W. Harrington, Jr., 1964. Evidence of the existence of homozygous clones in the self-fertilizing hermaphroditic fish, *Rivulus marmoratus* Poey. *Biol. Bull.* **126**: 101-114.
- Kramer, D., 1980. Development of eggs and larvae of Pacific mackerel and distribution and abundance of larvae. *Fish. Bull.* **60**: 393-438.
- Lau, S. R. and P. L. Shaffland, 1982. Larval development of snook, *Centropomus undecimalis* (Pisces: Centropomidae). *Copeia* **1982**: 618-627.
- Lee, S.-H. and E.-H. Park, 1989. Skeletal system of the hermaphroditic rivulus *Rivulus ocellatus marmoratus* (Teleostomi: Aplocheilidae). *Korean J. Zool.* **32**: 177-210.
- Mook, D., 1977. Larval and osteological development of the sheepshead, *Archosargus probatocephalus* (Pisces: Sparidae). *Copeia* **1977**: 126-133.
- Myung, J. K. and Y. U. Kim, 1984. Morphology of larvae and juveniles of *Leioganthus nuchalis*. *Bull. Natl. Fish. Univ. Pusan* **24**: 1-22.
- Park, E.-H. and D. S. Kim, 1984a. Hepatocarcinogenicity of diethylnitrosamine to the self-fertilizing hermaphroditic fish *Rivulus marmoratus* (Teleostomi: Cyprinodontidae). *J. Natl. Cancer Inst.* **73**: 871-876.
- Park, E.-H. and D. S. Kim, 1984b. A procedure for staining cartilage and bone of whole vertebrate larvae while rendering all other tissues transparent. *Stain Technol.* **59**: 269-272.
- Park, E.-H. and S.-H. Lee, 1988. Scale growth and squamation chronology for the laboratory-reared hermaphroditic fish *Rivulus marmoratus* Poey (Cyprinodontidae). *Japan. J. Ichthyol.* **34**: 476-482.
- Park, E.-H. and A.-K. Yi, 1989. Photoreactivation rescue and dark repair demonstrated in UV-irradiated embryos of the self-fertilizing fish *Rivulus ocellatus marmoratus* (Teleostei; Cyprinodontidae). *Mutat. Res.* **217**: 19-24.
- Park, E.-H., S. K. Kang, and S.-H. Lee, 1987. Spontaneous bilateral asymmetry in the hermaphroditic fish *Rivulus marmoratus* (Teleostomi: Cyprinodontidae). *Korean J. Zool.* **30**: 44-52.
- Park, I.-S. and E.-H. Park, 1987. Acute toxicity of several chemical carcinogens to the hermaphroditic fish *Rivulus ocellatus marmoratus* larvae. *Bull. Environ. Sci., Res. Inst. Environ. Sci., Hanyang Univ., Seoul*, **8**: 179-185.
- Park, Y. S. and Y. U. Kim, 1987. Studies on the larvae and juveniles of flying fishes, *Prognichthys agoo* (Temminck and Schlegel) (Pisces, Exocoetidae). II. Osteological development of larvae and juveniles. *Bull. Korean Fish. Soc.* **20**: 447-456.
- 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., 1974. Osteological development and variation in young tunas, genus *Thunnus* (Pisces, Scombridae), from the Atlantic Ocean. *Fish. Bull.* **72**: 563-588.
- 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.
- Potthoff, T. and S. Kelley, 1982. Development of the vertebral column, fins and fin supports, branchiostegal

- rays and squamation in the swordfish, *Xiphias gladius*. *Fish. Bull.* **80**: 161-186.
- Potthoff, T., S. Kelley, and J. C. Javech, 1986. Cartilage and bone development in scombroid fishes. *Fish. Bull.* **84**: 647-678.
- Potthoff, T., S. Kelley, V. Saksena, M. Moe, and F. Young, 1987. Description of larval and juvenile yellowtail damselfish, *Micropathodon chrysurus*, Pomacentridae, and their osteological development. *Bull. Mar. Sci.* **40**: 330-375.
- Potthoff, T., S. Kelley, and L. A. Collins, 1988. Osteological development of the red snapper, *Lutjanus campechanus* (Lutjanidae). *Bull. Mar. Sci.* **43**: 1-40.
- Seegers, L., 1984. Zur Revision der *Rivulus*-Arten Südost-Brasiliens, mit einer Neubeschreibung von *Rivulus luelingi* n. sp. und *Rivulus caudomarginatus* n. sp. (Pisces: Cyprinodontidae: Rivulinae). *Zool. Beitr.* **28**: 271-320.
- Thiyagarajah, A. and J. M. Grizzle, 1986. Diethylnitrosamine induced pancreatic neoplasms in the fish *Rivulus ocellatus marmoratus*. *J. Natl. Cancer Inst.* **77**: 141-147.
- Yoo, J. M. and Y. U. Kim, 1985. A study on the morphological and skeletal development of larvae and juveniles of *Enedrias fangi*. *Bull. Natl. Fish. Univ. Pusan* **25**: 29-48.

(Accepted September 22, 1990)

**Development of Appendicular Skeleton
in *Rivulus ocellatus marmoratus* (Teleostomi: Aplocheilidae)**

Seung-Hwi Lee, Whan Kun Bock*, and Eun-Ho Park**

(Department of Biology, Honam College, Kwangju 506-090; *The Attached Girls Middle School, College of Education, Seoul National University, Seoul 110 - 510; **Department of Biology, College of Natural Sciences, Hanyang University, Seoul 133-791)

The morphological characteristics and the ossifying process of developing appendicular skeleton in *Rivulus ocellatus marmoratus* were investigated to accumulate anatomical details of this fish. The ossification of elementary dermal bones except fin ray proceeded calcification of cartilaginous bones. The developmental sequence of fin rays was as follows: pectoral, caudal, dorsal and anal, and pelvic fin rays. As ossification proceeded, the median fin pterygium which was a single cartilaginous element in the early stage of larval development individualized into proximal and median radials, and pectoral coraco-scapular complex also divided into coracoid and scapula. On the other hand, there was no fusion of elementary bones with the process of ossification. The ossification of appendicular skeletons was proceeded as following order: pectoral, caudal, dorsal, anal, and pelvic fin.