

황복, *Takifugu obscurus*의 초기성장과 이석의 미세구조

김동우^{1,*} · 한경남¹ · 임양재²
¹인하대학교 해양과학과, ²국립수산과학원

Microstructure of Otoliths and Early Growth of River Puffer, *Takifugu Obscurus*

DONG-WOO KIM^{1,*}, KYUNG-NAM HAN¹ AND YANG-JAE LIM²
¹Department of Ocean Sciences, Inha University, Incheon 402-751, Korea
²National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-920, Korea

실험실에서 황복을 부화 후 1일에서 63일까지 사육하면서 표본을 추출하여 황복의 초기성장과 이석의 미세구조 관찰하였다. 부화 당시 황복의 전장은 3.09 ± 0.02 mm였으며, 부화 후 10일에 전장 4.96 ± 0.24 mm, 20일에는 5.39 ± 0.42 mm, 30일에는 9.13 ± 0.59 mm로 성장하였고, 부화 후 34일에는 평균 10.78 ± 0.96 mm로 성장하였으며, 부화 후 43일에는 16.40 ± 2.31 mm, 부화 후 63일에는 30.49 ± 1.53 mm로 성장하였다. 부화한 황복 이석의 평균 장반경은 14.20 ± 1.21 μ m였고, 부화 후 10일째는 31.06 ± 2.31 μ m, 20일째는 57.19 ± 6.19 μ m, 34일째는 127.13 ± 13.13 μ m, 43일째는 190.79 ± 17.08 μ m, 63일째는 281.85 ± 23.81 μ m로 부화 후 20일 이후의 이석의 크기변화는 체장의 성장경향과 유사하였다. 황복의 이석에는 다른 성장선들과 구별되는 부화정지선이 형성되어있으며, 부화정지선 형성이전에 2~3개의 미세성장선이 관찰되었다. 부화 후 20일부터 63일까지, 황복의 이석에 형성된 일일성장선의 수와 경과한 일수는 1차 비례관계를 보였으며, 하루에 한 개씩 형성되어지는 것이 확인되었다.

Microstructure of otoliths and early growth in total length of laboratory-reared river puffer, *Takifugu obscurus* were observed from 1 to 63 days after hatching. The total length of *Takifugu obscurus* was 3.09 ± 0.02 mm, 4.96 ± 0.24 mm, 5.39 ± 0.42 mm, 9.13 ± 0.59 mm, 10.78 ± 0.96 , 16.40 ± 2.31 mm, 30.49 ± 1.53 mm in 1, 10, 20, 30, 34, 43, 63 days respectively. The mean radius of otoliths was 14.20 ± 1.21 μ m in 1 day, 31.06 ± 2.31 μ m in 10 days, 57.19 ± 6.19 μ m in 20 days, 127.13 ± 13.13 μ m in 34 days, 190.79 ± 17.08 μ m in 43 days and 281.85 ± 23.81 μ m in 63 days after hatching. Growth of otoliths were similar to the growth pattern in total length during 20~63 days after hatching. Hatch mark was distinguished with other growth increments and within a hatch mark two or three increments were observed. The number of growth increments was correlated with the days after hatching between 20 and 63 days after hatching.

Key words: River Puffer, *Takifugu Obscurus*, Otoliths, Growth Increments, Growth in Length

서 론

경골어류의 연령사정에는 비늘, 이석, 척추골, 아가미덮개 등이 널리 사용되어져 왔다. 이 중에서도 이석은 연령사정에 있어 가장 많이 사용되어 수산자원 평가 및 어류생태학 분야에 활용되고 있다.

이석의 미세성장선은 어류의 일일성장률, 산란시기, 회유시기, 변태시기 등을 추정하는데 이용된다(Steinmetz, 1974). 이석의 미세성장선을 어류 초기생태에 이용하기 위해서는 최초의 성장선 형성시기와 성장선 생성주기가 구명되어야한다(Itoh et al., 2000). 이석의 첫 번째 성장선은 번식방식이나 어종에 따라 다른데, 체외수정 어류는 부화 후 하루주기로 형성되지만(Tsuji and Aoyama,

1982; Umezawa et al., 1989), 어종에 따라 또는 동일종이라도 개체에 따라 그 양상이 다른 것으로 알려져 있다(Campana and Neilson, 1982). 일부 난생어류 중에는 난황 흡수 전까지 일일성장선이 형성되지 않고(Jones and Brothers, 1987), 태생어류인 조피볼락(*Sebastes schlegeli*)의 경우에는 부화 후 모체내에서 상당기간을 보낸 후 출산하기 때문에 출산이전에 여러개의 미세성장선이 형성되지만 산출시 형성되는 성장선을 연령사정의 기준점으로 이용한다(김, 1999). 따라서, 이석의 미세구조를 어류의 초기 생태 연구 이용하기 위해서는 일련의 최초 형성시기와 미세성장선의 주기성이 먼저 증명되어야한다.

황복은 복어목(Tetraodontiformes), 참복아목(Tetraodontoidei), 참복과(Tetraodontidae), 참복속(Takifugu)에 속하는 어종으로 우리나라 서남 연안해역과 인근 하천의 하류, 중국 양쯔 강 이북, 연

*Corresponding author: knhan@inha.ac.kr

해 등의 하천에 분포하고 있다(정, 1997). 대부분의 복어류가 바다에서 산란하여 일생을 보내는 반면, 황복은 하천의 중류까지 거슬러 올라와 산란하며 부화한 자치어는 일정시간을 하천에서 성장한 후 바다로 내려가는 독특한 생태를 가지고 있어 초기단계의 성장과 더불어 서식환경의 염분변화에 따른 체내의 생리적 변화가 있을 것으로 예측된다. 지금까지 황복에 대해서는 난 발생과 자치어 발육(장 등, 1996; 박, 1999), 호흡생리(Kim *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1997), 수서 독성평가(박 등, 1999), 소화효소의 변화(손 등, 2001) 등이 연구되었으나, 초기성장 및 이석의 성장에 대해서는 연구되지 않았다. 황복과 같이 하천과 바다를 회유하는 뱀장어의 경우 이석의 미세성장선들과 원소분석을 통하여 변태시기나 가입연령, 부화일 등이 연구되어 졌다(Kawakami *et al.*, 1998; Arai *et al.*, 1999). 본 연구에서는 실험실에서 부화시킨 황복을 사육하면서 주기적으로 채집하여 이석의 미세구조를 관찰하여 연령사정의 기준점이 되는 최초 성장선의 형성시기를 밝히고, 황복의 성장과 이석 성장과의 관계를 추정하였다.

재료 및 방법

실험에 사용된 황복 친어는 1999년 5월 16일과 2001년 5월 7일 한강 하구에 위치한 김포 전류리 지역에서 자망으로 채포하였다(Fig. 1). 성숙한 개체($n=5$; TL 250 ± 35 mm, BW 700 ± 100 g)를 골라 성선자극호르몬(HCG)을 1,000 IU/kg 주사한 뒤, 24시간

후에 채란하여 수정시켰다. 수정란은 즉시 인하대학교 태안배양장에 옮겨 수온 19.0 ± 1.0 °C, 염분 3 psu, DO 7.8~9.0 mg/l, pH 7.8~8.0의 사육조건하에서 관리하였다.

부화된 황복 자어는 자외선 살균기로 살균·여과된 담수와 해수를 사용하여 수온 20~25 °C, DO 8.0~8.2 mg/l, pH 7.8~7.9의 환경조건에서 사육하였다. 사육수의 염분은 부화 후 0 psu에서 시작하여 매일 1~2 psu씩 증가시켜 부화 후 23일 이후부터는 일반해수에서 사육하였다. 부화 후 23일 이전까지는 1 ton F.R.P 수조를 사용하여 지수식 조건하에서 하루 1/2 회전씩 환수하였으며, 부화 후 23일 부터는 원형의 3 ton F.R.P 수조로 옮겨 유수식 조건하에서 하루 2 회전씩 환수하여 사육하였다. 먹이는 부화 후 3~10일까지는 *Nannochloropsis* sp.로 배양한 Rotifer *Brachionus retundiformis*를 1일 4회, 부화 후 11~20일까지는 *Brachionus rotundiformis*와 *Artemia nauplii*를 1일 3회, 부화 후 21일부터는 200~300 μ m 크기의 배합사료를 1일 3회 급이 하였으며 성장에 따라 입자의 크기를 조절하여 급이 하였다.

이석 분석을 위한 표본은 부화후 10일까지 매일, 부화 후 11~65일까지는 3~5일 간격으로 채집하여 75% 알콜로 고정하여 분석에 사용하였다.

자치어의 전장(TL)은 부화 후 1~35일까지는 해부현미경하에서 대안측미계를 사용하여 0.01 mm 범위까지, 그 이후의 크기는 버어니어 캘리퍼스를 이용하여 측정하였고, 습중량은 전자저울로 0.01 mg까지 측정하였으며, 일일성장률을 알아보기 위하여 다음과 같은 식을 사용하였다.

$$SGR=100 \times [(\ln \text{ final total length} - \ln \text{ initial total length}) / \text{days of the experiment}]$$

이석은 부화 후 20일에서 63일까지 3~5일 간격으로 5~10개 체씩에서 추출하였으며 Lee and Lee(1989)와 Lee and Byun(1996)의 방법에 따라 처리·관찰하였다. 추출된 이석의 미세구조 관찰을 위해 해부현미경 하에서 표면에 붙어있는 유기물들을 제거한 뒤 취급을 용이하게 하기 위하여 slide glass 위에 이석을 올려놓고 epoxy resin으로 고정하였다. 800, 1200, 2400 목의 sand paper를 이용하여 이석의 한쪽면을 연마한 후, 0.05 μ m의 alumina powder로 광택을 내었다. 연마 과정 중 스시로 현미경하에서 관찰하였으며, 미세성장선이 잘 관찰될 때까지 연마하였다. 이석의 미세구조와 미세성장선의 관찰은 암시야 광학현미경의 반사광과 투사광, 그리고 주사전자현미경을 이용하였다. 이석의 장반경은 광학현미경에 부착된 CCD를 이용하여 이석의 영상을 PC에 저장한 후 영상분석프로그램을 이용하여 0.01 μ m 단위까지 측정하였다. 이석의 정확한 미세성장선의 관찰을 위하여 이석의 연마면을 0.1%의 염산으로 5~6초간 부식시킨 후 증류수로 세척하여 건조시킨 다음 광학현미경하에서 관찰하였다. 광학현미경하에서 관찰이 용이하지 않은 부분은 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였다.

부화 후 20일부터 63일까지 경과한 일수와 형성된 미세성장선 수와의 상관관계를 알아보기 위하여 SAS 통계패키지를 이용하여, F-test를 통하여 P=0.05의 유의수준에서 검정하였다.

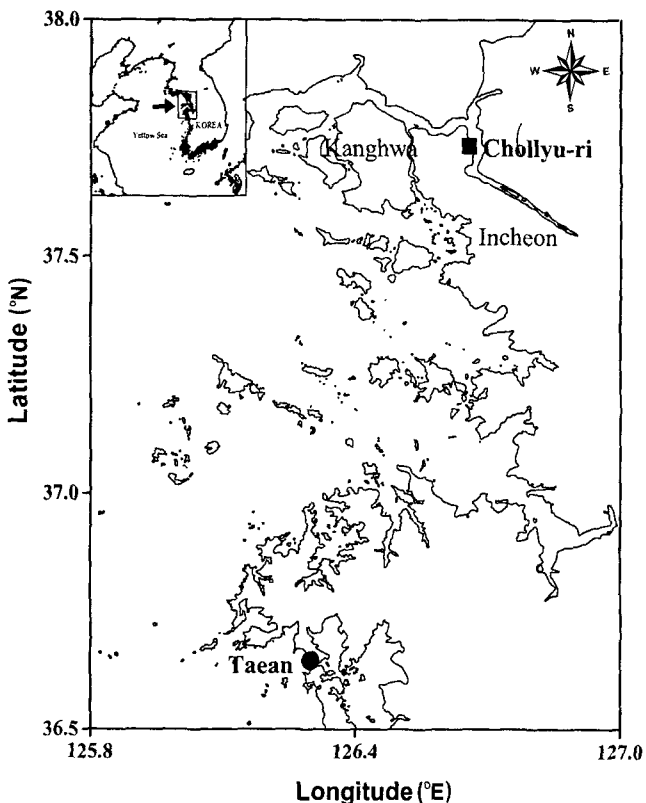


Fig. 1. Map showing the sampling and rearing sites of the river puffer, *Takifugu obscurus*.

결과 및 고찰

체장 및 체중의 성장

부화 후 1일부터 63일까지의 전장과 일일성장율의 변화를 Fig. 2에 각각 나타내었으며, 박(1999)의 연구결과에 근거하여 발육단계를 구분하였다. 부화직후의 자어는 평균 전장 3.09±0.02 mm이고, 부화 후 9~10일에 평균 전장 4.98±0.24 mm로 후기 자어기로 되고, 부화 후 20일에는 5.39±0.42 mm, 30일에는 9.13±0.59 mm로 성장하였고, 부화 후 34~35일에는 평균 10.78±0.96 mm 전후로 치어기에 도달하였으며, 부화 후 53일에는 23.58±2.85 mm, 부화 후 63일에는 30.49±1.53 mm로 성장하였다. 황복 자치어의 일일성장율은 부화 후 40일에는 약 7%로 이 시기까지는 빠른 성장을 보이다가, 부화 후 40일 이후부터 차츰 감소하여 부화 후 63일에는 3%로 둔화하였다.

한편, 부화 후 1~63일 까지 황복 자치어의 전장(L) 변화를 다음과 같이 Gompertz 성장식으로 나타낼 수 있었다.

$$L=2.73e^{7.57(1-e(0.0062t))} \quad (r^2= 0.99)$$

또한, 황복 자치어의 전장(L) 변화에 대하여 체중(W)은 지수 함수로 유의하게 표현되었으며(Fig. 3), 그 식은 다음과 같다.

$$W=0.0032L^{3.7315} \quad (r^2=0.99)$$

위의 관계식에서 나타난 기울기(3.7315)값은 어류의 상태를 파악할 수 있는 지표로서 체고나 체폭에 비해 길이의 성장이 빠른 어류는 지수값이 3.0보다 작고, 길이보다 체고나 체폭이 빠르게 성장하거나 비만인 어류는 지수값이 3.0보다 커진다(Oikawa and Itazawa, 1985; Wootton, 1992). 자연상태에서 자치어의 경우 종종 3.0보다 작은 지수값을 갖지만, 본 연구에서는 지수값이 3.73으로 3보다 큰 값을 나타내고 있는데, 이는 인위적인 환경조건에서 사육하였기 때문에 많은 섭이와 적은 활동을 한 결과로 사료되고, 비슷한 조건에서 사육한 황복 발육단계에 대한 박(1999)의 연구에서 측정된 지수값인 3.72와 유사한 값을 보였다.

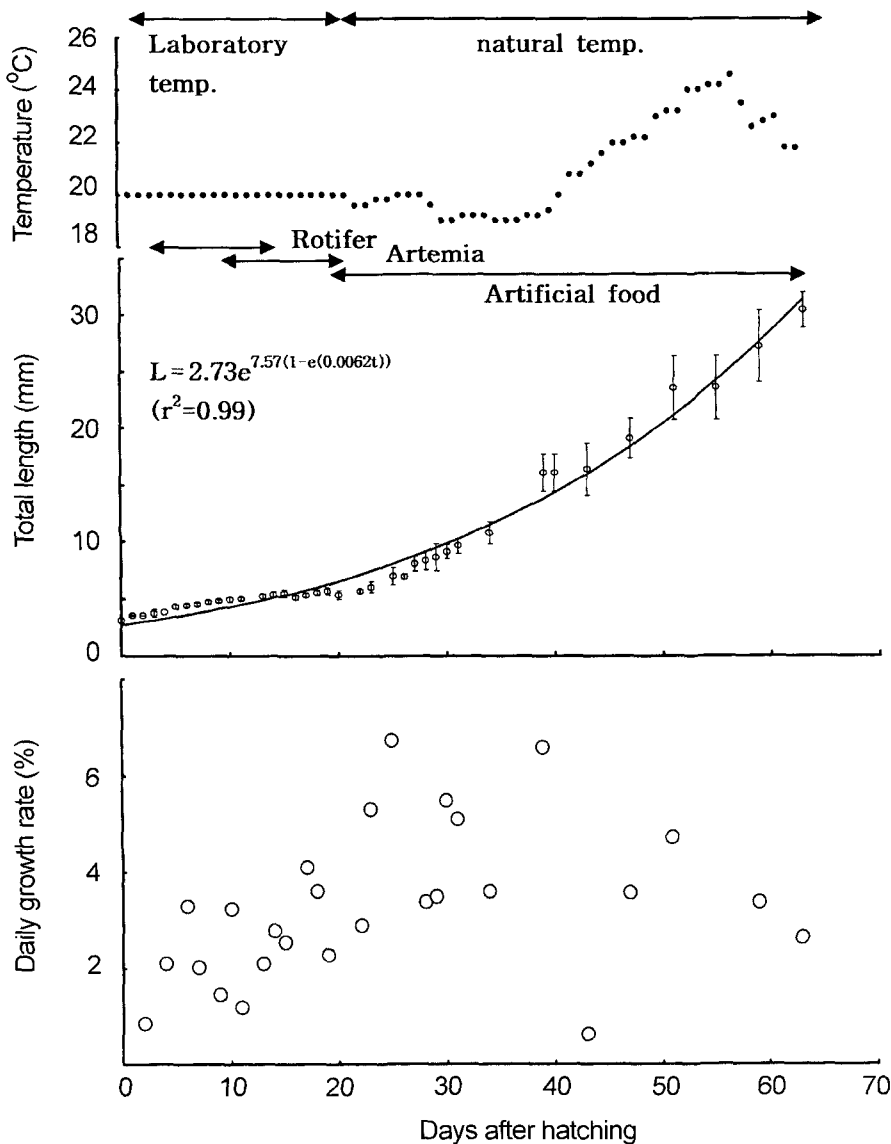


Fig. 2. Changes in water temperature and feed (upper), mean total length (SD) (middle) and daily growth rate in total length (lower) during the rearing experiment of river puffer, *Takifugu obscurus*.

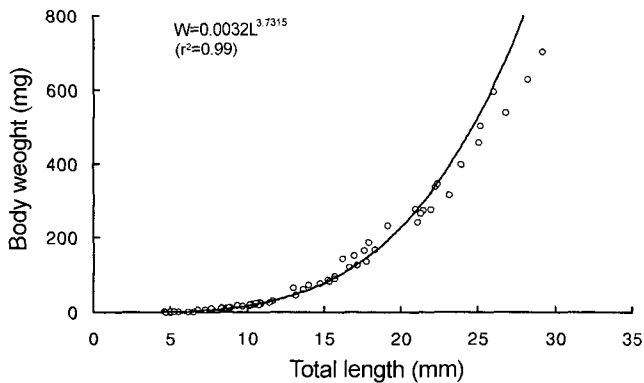


Fig. 3. Relationship between total length and body weight of river puffer, *Takifugu obscurus*.

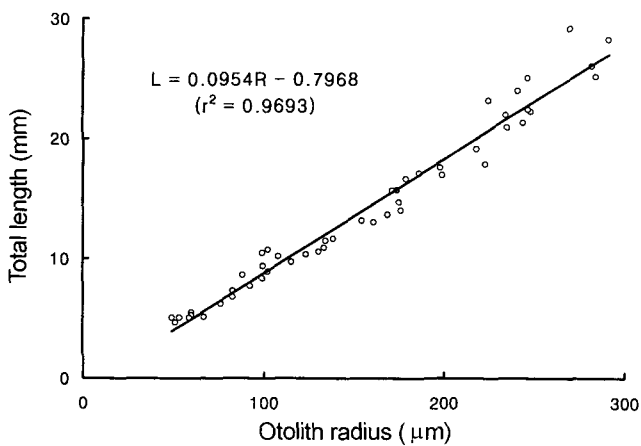


Fig. 4. Relationship between otolith radius and total length of river puffer, *Takifugu obscurus*.

이석과 체장의 상대성장

부화 후 20일 이후의 이석의 장반경(R)에 대한 전장(L)은 선형 비례관계를 나타내었으며(Fig. 4), 그 식은 다음과 같다.

$$L = 0.0954R - 0.7968 \quad (r^2 = 0.97)$$

부화한 황복 이석의 평균 장반경은 $14.20 \pm 1.21 \mu\text{m}$ 였고, 부화 후 10일째는 $31.06 \pm 2.31 \mu\text{m}$, 20일째는 $57.19 \pm 6.19 \mu\text{m}$, 34일째는 $127.13 \pm 13.13 \mu\text{m}$, 43일째는 $190.79 \pm 17.08 \mu\text{m}$, 63일째는 $281.85 \pm 23.81 \mu\text{m}$ 로 성장하였으며(Table 1), 부화 후 20일째 이후의 이석의 크기변화는 체장의 성장 경향과 유사하였다.

한편, 전장에 대한 이석의 평균 장반경간에는 선형 비례관계를 보이고 있으나 조피볼락의 경우 자어기에서 전기 치어기인 전장 13 mm까지는 지수함수적으로 유의하게 표현되는 반면, 후기 치어기에 접어드는 전장 13 mm 이상에서는 선형비례 관계를 보이는 것으로 알려져 있다(김, 1999). 또한, 초기 단계에 대해서는 연구되지 않았지만 nototheniid fish, *Trematomus bernacchii*는 미성숙어 단계인 140 mm 이상에서 선형비례 관계를 보였으며(La Mesa *et al.*, 1996), 뱀장어(*Anguilla japonica*)는 58.8 mm 이상에서 선형비례관계를 보이는 것으로 보고되었다(이, 1985). 이와 같이, 많은 어류의 경우에는 이석 크기와 체장은 선형 비례하지만, 일부 종들

Table 1. *Takifugu obscurus*. Total length, otolith radius and number of increments of river puffer from 20 to 63 days after hatching.

Age (day)	n	Total length (mm)	Otolith radius (μm)	No. of increments
20	7	5.39 ± 0.42	57.19 ± 6.19	19.00 ± 1.00
25	8	6.98 ± 0.73	90.38 ± 10.22	24.25 ± 0.96
27	4	8.05 ± 0.62	104.03 ± 7.77	26.33 ± 0.58
34	6	10.78 ± 0.96	127.13 ± 13.13	32.50 ± 0.58
39	5	16.08 ± 1.64	165.86 ± 8.17	38.67 ± 0.58
43	6	16.40 ± 2.31	190.79 ± 17.08	42.33 ± 1.15
47	5	19.13 ± 1.74	215.33 ± 25.45	46.00 ± 1.00
51	5	23.58 ± 2.85	231.91 ± 12.88	49.67 ± 0.58
55	5	23.59 ± 2.84	248.96 ± 12.86	53.75 ± 0.96
59	4	27.27 ± 3.17	274.16 ± 23.86	59.00 ± 1.00
63	5	30.49 ± 1.53	281.85 ± 23.81	61.00 ± 1.00

n: number of fish examined

의 경우에는 골화, 변태 등 체내, 외 생리적인 변화로 인해 이석의 크기와 체장간의 비례관계에 변동이 있어 성장단계별로 구획된 모델을 사용하기도 한다(Nishimura and Yamada, 1984).

본 연구에서는 부화 후 20일 이전의 이석에 대해서는 처리과정의 어려움으로 인해 이석의 크기와 체장간의 관계에 대하여는 알 수 없지만, 부화 후 20일(TL $5.39 \pm 0.42 \text{ mm}$) 이후에서는 이석의 크기와 체장간에 비례관계를 가지기 때문에 이 시기에는 성장단계별로 구획된 모델을 사용하지 않아도 될 것으로 사료된다.

이석의 미세구조

부화한 황복 이석의 반경은 $14.20 \pm 1.21 \mu\text{m}$ 로, Pacific saury, *Cololabis saira*의 $36.9 \pm 5.24 \mu\text{m}$ (Oozeki and Watanabe, 2000), 조피볼락의 $34 \mu\text{m}$ (김, 1999)에 비해 크기가 작았다. 황복 이석은 핵을 중심으로 동심원으로 성장하다가 부화 후 10일 경부터는 이석의 한쪽 부분은 성장이 멈춰 마치 떨어져 나간 것 같이 홈이 패여 있어 전체적으로 보면 나비모양을 이룬다. 핵 부분은 작은 알갱이들이 여러 개 모인 형태로 되어 있었다(Fig. 5a).

부화시 황복 이석의 평균 장반경은 $14.20 \pm 1.21 \mu\text{m}$ 로 3~4번째 성장선까지의 장반경과 일치하였다. 따라서 핵으로부터 형성된 3~4번째 성장선은 황복의 부화시 형성되는 성장정지선으로 판단되며 부화 이전에 2~3개의 미세성장선이 형성되는 것으로 판단된다(Fig. 5b). 이와 같이 부화 이전에 미세성장선이 형성되는 것은 다른어류에서도 확인되었다(Itoh *et al.*, 2000).

박(1999)에 의하면 수정된 황복 난은 수정 후 73 시간이 경과한 후에 심장 박동이 시작되었으며, 수정 후 150 시간이 경과한 후에는 모든 수정난에서 부화하였다고 보고하였다. 본 실험 역시 난 발생 과정 중 심장 박동이 시작된 것은 부화 3일 전이었고, 부화 이전에 형성된 미세성장선 수는 심장박동이 시작된 시점과 거의 일치하였다. 따라서 부화 이전에 형성되는 미세성장선은 심장박동의 시작과 연관이 있을 것으로 사료된다. 부화 정지선은 전자현미경 상에서 염산에 깊게 부식되어 다른 성장선들과 구별할 수 있었다. 이 시기에 형성되는 성장선의 폭은 $4.33 \pm 1.34 \mu\text{m}$ 였고 부화마크 이후 형성된 첫 번째 성장선의 폭은 $5.01 \pm 0.82 \mu\text{m}$ 였으며 이후 형성되는 성장선의 폭은 $3.02 \pm 0.58 \mu\text{m}$ 였다. 부화마크 이후

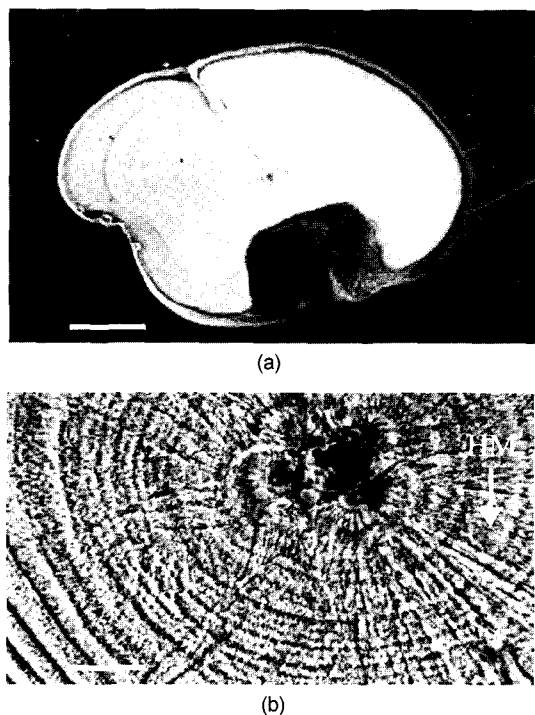


Fig. 5. SEM photographs of otolith of river puffer, *Takifugu obscurus*. (A) Sagittal plane. Scalebar 60 μm. (b) High magnification of the core region. Hatch mark was composed of a prominent check. Scale bar 10 μm.

에 형성된 성장선의 폭은 부화 후 16일까지는 넓게 형성되다가 부화 후 16~23일까지는 좁게 그 이후에는 다시 넓게 형성되었다.

이석 미세성장선의 주기성

부화 후 20일부터 63일 까지 이석의 일일성장선 수(N)와 경과한 날수(t)는 유의한 1차 비례관계를 보였으며(Fig. 6), 그 관계식은 다음과 같다.

$$N=0.9919t-0.6336 \quad (r^2=0.99)$$

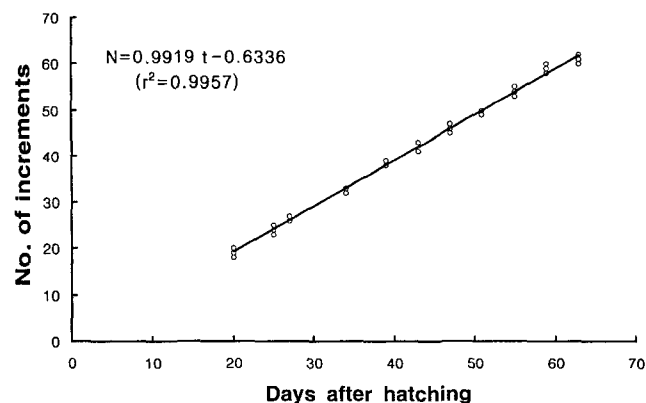


Fig. 6. Relationship between number of growth increments and days after hatching. Regression slope is not significantly different from 1.0 which confirms daily deposition of growth increments in otoliths after hatching.

이 직선은 거의 원점을 지났으며, 기울기도 1.0과 유의한 차이를 보이지 않아 ($P>0.05$, F-test), 황복의 미세성장선은 부화 후 하루에 하나씩 형성됨이 확인되었다. 이때 미세성장선의 계수시 subdaily increments를 제외한 일일성장선만을 계수한 것이다.

황복 이석의 경우 부화 후 9~10일까지는 일일성장선 사이에 1~2개의 미세성장선이 형성되었고, 그 후 23일까지는 미세성장선이 잘 나타나지 않다가 23일 이후 1~2개의 미세성장선이 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 현미경에 의한 관찰 결과, 각각의 일일성장선은 다른 미세성장선에 비해 깊게 부식되어 있어 구별이 가능하였다. 체외수정 어류에서 미세성장선은 주로 부화 후 하루 주기로 형성되며(이, 1985; Oozeki and Watanabe, 2000; Umezawa et al., 1989), 태생어류의 경우에는 모체 내에서 상당기간을 보내기 때문에 산출 이전에 여러개의 미세성장선이 형성된다(김, 1999; Sakurai and Mochioka, 1995). 하지만, 황복의 경우 체외수정 어류임에도 불구하고 하루주기의 성장선이 형성되지 않고 subdaily increments가 형성되었다. 황복과 같이 subdaily increments로 형성되는 어류는 열대산호초 어류(Wilson and McCormick, 1999)와 곱사연어, *Oncorhynchus gorboscha*(Volk et al., 1995)등에서 보고되었으며, tropical fishes에서는 bimonthly와 monthly pattern도 나타나는 것으로 보고되었다(Pannella, 1974).

어류 이석의 성장선 폭의 변화는 환경변화의 영향이나 생활사의 변화 등이 어류의 성장에 미치는 영향을 연구하기 위해 수 십년간 사용되어왔다. Wilson and McCormick(1999)은 열대산호초 어류가 착저할 때 성장선의 폭이나 개수 등의 변화가 나타남을 보고하였고, Volk et al.(1995)은 성장이 느린 곱사연어의 이석에서는 하루에 한 개 혹은 그 이하의 미세성장선이 형성되며, 성장이 빠른 곱사연어의 이석에서는 하루에 한 개 이상의 미세성장선이 형성되는 것을 보고하였다. 성장이 느린 곱사연어의 이석에서 하루에 한 개 이하의 미세성장선이 형성되는 것은 느린 이석의 성장 혹은 불연속적인 이석의 성장 때문이라고 추측하였다. 즉, 성장선 사이의 폭이 좁아지면서 미세성장선이 겹쳐지거나 확인할 수 없었을 것이라는 가정을 하였다. 황복의 이석에서는 부화 후 17~23일 사이에는 다른 시기의 성장선의 폭에 비해 좁았으며, 이 기간에는 subdaily increments를 관찰할 수 없었다. 따라서 이 기간에 황복 이석에 형성되지 않는 subdaily increments는 다음과 같은 요인에 의한 것으로 예상해 볼 수 있다. 첫 번째는 부화 후 17~23일은 전장 5.37~6.04 mm로 발육 단계상 후기 자어기에 해당하는 시기이고 형태적으로는 두부에 골격의 발달이 진행되고 특히 이빨의 발달이 두드러져 자연에서는 이 시기에 부유성 소형 생물먹이에서 저서성 먹이로 전환하는 것으로 알려져 있다(한, 1995). 본 실험에 사용한 자치어는 부화 후 20일까지는 Rotifer나 Artemia와 같은 생물이료로 사육하였고 그 이후에는 인공배합사료로 전환하여 사육하였기 때문에 이 시기에 먹이 종류나 성분의 차이에 따른 섭이 저하로 인해 성장의 저하가 일어났다면, 이로 인한 황복의 성장이 느려지고 비례관계를 갖는 이석의 성장도 느려져 subdaily increments를 관찰 할 수 없었을 것으로 사료되며 두 번째는 사육과정 중 매일 1-2 psu씩 염분농도의 증가가 초기단계의 성장에 민감하게 영향을 미칠 수 있다는 점도 고려할 수 있을 것이다. 하지만, 아직까지 성장선 형성 기작에 대해서는 정확하게 연구되어진 것이 없고, 생물 체내·외적인 요인들에 의해 영향을 받

는 것으로 알려져 있으므로 앞으로 이 부분에 대한 연구가 좀더 이루어져야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 과학기술부 · 한국과학재단 지정 인하대학교 서해연안환경연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- 김광천, 1999. 이석의 미세구조에 나타난 조피볼락, *Sebastes schlegeli* Hilgendorf의 나이와 초기성장. 충남대학교 대학원 석사학위 청구논문, 40 pp.
- 박미애, 1999. 황복의 초기 발육단계의 형태발달 및 비중변화 연구. 인하대학교 대학원 석사학위 청구논문, 64 pp.
- 박 훈, 한경남, 김형선, 1999. 황복, *Takifugu obscurus* 자치어를 이용한 침출수 단기독성 연구. 한국해양학회지, **4**: 298-304.
- 손규희, 한경남, 장정순, 2001. 황복, *Takifugu obscurus* 초기단계의 소화효소 변화. 한국수산학회지, **34**: 577-583.
- 이관순, 1985. 뱀장어, *Anguilla japonica* 이석에 나타나는 하루 주기 성장선과 초기성장. 충남대학교 대학원 석사학위 청구논문, 31 pp.
- 장선일, 강희웅, 한형균, 1996. 황복의 난발생과 자치어 발달. 한국양식학회지, **9**: 11-18.
- 정문기, 1997. 한국어도보. 일지사, 서울, 569 pp.
- 한경남, 1995. 제주복의 양식생물학적 연구. 일본 구주대학교 대학원 박사학위 청구논문, 158 pp.(in Japanese)
- Arai, T., Otake, T., Jellyman, D.J. and Tsukamoto, K., 1999. Differences in the early life history of the Australasian shortfinned eel *Anguilla australis* from Australia and New Zealand, as revealed by otolith microstructure and microchemistry. *Mar. Biol.* **135**: 381-389.
- Campana, S.E. and Neilson, J.D., 1982. Daily growth increments in otoliths from larval and adult fishes. *Fish. Bull.* **74**: 1-8.
- Itoh, T., Shina, Y., Tsuji, S., Endo, F. and Tezuka, N., 2000. Otolith daily increment formation in laboratory reared larval and juvenile bluefin tuna, *Thunnus thynnus*. *Fish. Sci.* **66**: 834-839.
- Jones, C.M. and Brothers, E.B., 1987. Validation of the otolith increment aging technique for striped bass, *Morone saxatilis* larvae reared under suboptimal feeding condition. *Fish. Bull.*, **85**: 171-178.
- Kawakami, Y., Mochioka, N., Morishita, K., Toh, H. and Nakazono, A., 1998. Determination of the freshwater mark in otolith of Japanese eel elvers using microstructure and Sr/Ca ratio. *Env. Biol. Fish.* **53**: 421-427.
- Kim, W.S., Jeon, J.K., Lee, S.H. and Huh, H.T., 1996. Effect of pentachlorophenol (PCP) on the oxygen consumption rate of the river puffer fish, *Takifugu obscurus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **143**: 9-14.
- Kim, W.S., Kim, J.M., Yi, S.K. and Huh, H.T., 1997. Endogenous circadian rhythm in the river puffer fish, *Takifugu obscurus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **153**: 293-298.
- La Mesa, M., Arneri, E., Giannetti, G., Greco, S. and Vacchi, M., 1996. Age and growth of the nototheniid fish, *Trematomus bernacchii* Boulenger from Terra Nova Bay, Antarctica. *Polar Biol.* **16**: 139-145.
- Lee, T.W. and Byun, J.S., 1996. Microstructural growth in otoliths of conger eel (*Conger myriaster*) leptocephali during the metamorphic stage. *Mar. Biol.* **125**: 259-268.
- Lee, T.W. and Lee, K.S., 1989. Daily growth increments and lunar pattern in otolith of the eel, *Anguilla japonica* in the freshwater. *Bull. Korean Fish. Soc.* **22**: 36-40.
- Nishimura, A. and Yamada, J., 1984. Age and growth of larval and juvenile walleye pollock, *Theragra chalcogramma* (Pallas), as determined by otolith growth increments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **82**: 191-205.
- Oikawa, S. and Itazawa, Y., 1985. Gill and body surface areas of the carp in relation to body mass, with special reference to the metabolism-size relationship. *J. exp. Biol.* **117**: 1-14.
- Oozeki, Y. and Watanabe, Y., 2000. Comparison of somatic growth and otolith increment growth in laboratory-reared larvae of Pacific saury, *Cololabis saira*, under different temperature conditions. *Mar. Biol.* **136**: 349-359.
- Pannella, G., 1974. Otolith growth pattern: an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In: The Proceedings of an International Symposium on the Ageing of Fish, Eagenal, T. B.(ed.), The Gresham Press, Old Working, Surrey, England, pp. 28-39.
- Sakurai, M. and Mochioka, N., 1995. Otolith microstructure of the embryo of the viviparous Japanese surfperch *Ditrema temmincki* (Embiotocidae). *Fish. Sci.* **61**: 351-352.
- Steinmetz, B., 1974. Scale reading and back-calculation of bream *Abramis brama* (L.) and rudd *Scardinius erythrophthalmus* (L.). In: The Proceedings of an International Symposium on the Ageing of Fish, Bagenal, T. B.(ed.), The Gresham Press, Old Working, Surrey, England, pp. 148-157.
- Tsuji, S. and Aoyama, T., 1982. Daily growth increments observed in otoliths of the larvae of Japanese red sea bream, *Pagrus major* (Temminck et Schlegel). *Nippon Suisan Gakkaishi* **48**: 1,559-1,562.
- Umezawa, A., Tsukamoto, K., Tabeta, O. and Yamakawa, H., 1989. Daily growth increments in the larval otolith of the Japanese eel, *Anguilla japonica*. *Japan J. Ichthyol.* **35**: 440-444.
- Volk, E.C., Mortensen, D.G. and Wertheimer, A.C., 1995. Nondaily otolith increments and seasonal changes in growth of a pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) population in Auke Bay, Alaska. In: Recent Developments in Fish otolith Research, Secor, D. H., Dean, J. M. and Campana, S. E.(eds.), University of South Carolina Press, pp. 211-225.
- Wilson, D.T. and McCormick, M.I., 1999. Microstructure of settlement-marks in the otoliths of tropical reef fishes. *Mar. Biol.* **134**: 29-41.
- Wootton, R. J., 1992. Fish Ecology. Blackie Academic & Professional, Chapman & Hall, New York, 212 pp.

2003년 2월 25일 원고접수

2003년 6월 20일 수정본 채택

담당편집위원: 김수암