

Article

한국 동해산 도루묵의 이석횡단절단법에 의한 연령사정 및 성장

이해원* · 강용주

부경대학교 수산과학대학 자원생물학과
(608-737) 부산시 남구 대연3동 599-1Age Determination and Growth Using the Transverse Section Method of Otoliths Sandfish, *Arctoscopus japonicus*, in the Eastern Sea of Korea

Hae Won Lee* and Yong Joo Kang

Department of Marine Biology, College of Fisheries Sciences
Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

Abstract : The ages of sandfish, *Arctoscopus japonicus* sampled from the eastern sea of Korea, were determined by the transverse section method of otoliths. Ages were assigned to every individual according to the number of opaque zones, and then fitted to the von Bertalanffy growth equation. Estimated equations were $L_t = 25.90(1 - e^{-0.2976(t+0.4447)})$ for females and $L_t = 21.38(1 - e^{-0.2917(t+1.2087)})$ for males, where t is age (year) and L_t is body length (mm) at age t . These two equations were significantly different and the body length of females calculated from the equation was larger than that of males except at 1 year old.

Key words : *Arctoscopus japonicus*, age, growth, transverse section, otoliths

1. 서 론

도루묵, *Arctoscopus japonicus*(Steindachner)은 농어목(Perciformes) 도루묵과(Trichodontidae)에 속하는 종으로, 근연종은 알려져 있지 않다. 비늘은 없으며, 몸은 약간 가늘고 길며 측편되었고, 하악은 상악보다 돌출해 있다. 수심 2~3 m의 얇은 곳에 산란한 뒤, 수심 200~300 m에서 성장하는 냉수성 저서어류이다(Chyung 1977; Otsuai 1986; Nakabo 2002). 산란장을 중심으로 일본 북해도의 태평양측과 동해측의 2계군, 일본의 혼슈의 아키타현과 대한해협을 중심으로 한 한국의 동해안의 2계군으로 4계군이 존재하는 것으로 알려져 있으며(Okiyama 1970; Yanagimoto 2004), 동해구기선저인망어업의 주요 어획물의 하나로 상업적 가치가 높은 종이다.

도루묵 자원을 이용하고 있는 나라는 우리나라와 일본

으로 알려져 있다(FAO 1950-2001). 우리나라에서의 연간 어획량은 1971년에 24,809톤으로 최고를 기록하고 있지만, 1979년에 1,367톤까지 감소했다. 그 후 어획량은 1987년에 12,169톤으로 증가경향을 보였지만, 1990년대 이후 급격히 감소하여 2003년은 1,928톤에 머무르고 있다(MOMAF 1971-2003).

도루묵에 관한 연구가 일본에서는 도루묵의 자원생물학적 연구로 연령·성장 및 성숙(Mio 1967), 형태학적 특성에 따른 계군에 관한 연구(Okiyama 1970; Kobayashi *et al.* 1981)가 있으며, 수온의 변화와 어획량간의 관계(Sakuramoto *et al.* 1997), 3년간의 금어기 효과를 통한 어획량의 예보 모델(Sakuramoto *et al.* 2001)과 자원의 추정 및 예보(Watanabe *et al.* 2005)에 이르기까지 다양한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 우리나라에서는 생태학적 접근으로 연령·성장과 성숙(Choi *et al.* 1983), 난발생 및 자치어의 형태(Myoung *et al.* 1989) 및 인공종묘의 초기사육(Baik *et al.* 1989)에 관한 연구가 이루어져

*Corresponding author. E-mail : roundsea@hanmail.net

다. 1990년대 이후 자원이 감소하고 있음에도 불구하고 본종에 대한 지속적인 연구는 이루어지지 않고 있다. 최근 일본과의 어업협정에 있어 도루묵의 어획할당량이 매년 줄어들고 있고, 또한 동해의 자원관리 대상어종으로 높은 관심이 되고 있다.

본 연구는 강원도 삼척연안에서 기선저인망으로 어획되고 있는 도루묵의 이석을 이용해 연령과 성장을 연구하여 도루묵 자원의 자원관리 및 자원회복에 대한 기초정보를 마련하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

사용된 시료는 2003년 4월부터 2004년 3월까지 매월 삼척 연근해에서 기선저인망(한성호, 79.34 ton)으로 어획한 도루묵을 사용했다(Fig. 1). 산란기가 되면 연안으로 회유하여 기선저인망에서 어획되지 않아, 남해항에서 자망으로 어획한 시료를 사용했다. 기선저인망에서 어획된 도루묵은 중·소 크기로 구분하여 매월 각각 100미씩 구입하여, 체장 및 체중을 0.1 g까지 측정하고, 생식소 중량을 측정하였으며, 이석을 적출하여 연령사정에 사용하였다.

연령사정에는 왼쪽 이석을 사용하였다(Fig. 2a). 이석의 상부는 부채모양을 하고 있고 왼쪽은 약간 돌출되면서 앞으로 휘어져 있다. 돌출한 휨부분이 아래로 향하도록 10 개체씩 아크릴바에 심은 후 실리콘 탱크에 넣어 Resin (Buehler castolite No. 20-8120-002)과 Hardener(Buehler castolite hardener No. 20-8122-002)를 섞어 포매한 후 건조시켰다. 건조하여 굳어진 합성수지 앵글은 포매된 이석이 부서지지 않는 간격인 1 mm로 횡단면을 3회 박편하였고(Minitom, Struers Co.), 캐나다발삼 용액으로 봉하였다. 총 6면을 관찰하여 그 중 초점을 지나는 것을 택하고

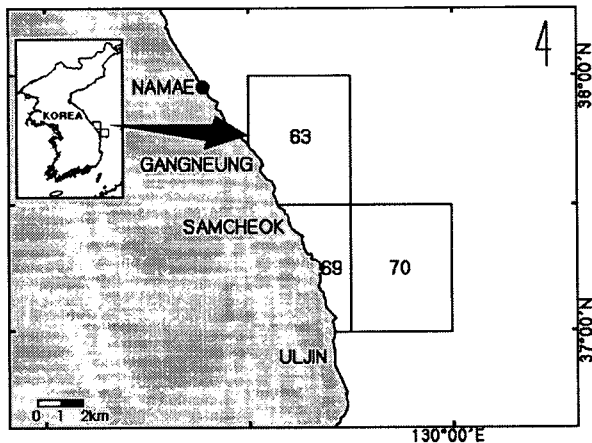


Fig. 1. Sampling area of the sandfish, *Arctoscopus japonicus*.

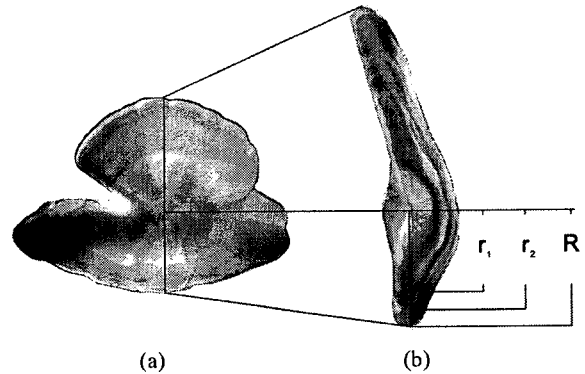


Fig. 2. Photographs of surface (a) and the transverse section (b) of otolith of the sandfish, *A. japonicus*.

이석경을 읽었으며, Image Analyzer Package(Image-Pro Plus 2.0)로 PC 모니터상에서 측정하였다. 이석경은 장방향과 단방향을 모두 측정하였다. 장방향은 이석의 성장축적이 뚜렷하나 위륜이 많아 윤문판독이 어려웠고, 이석상부와 초점간의 굴절률이 높아 개체마다 차이가 있었다. 따라서 장방향과 단방향을 윤의 개수가 같은 지를 확인하고, 단방향을 각 윤을 $r_1, r_2, r_3 \dots$ 로 정했으며, 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 윤문으로 간주하였다. 이석 중심부의 초점에서 연변까지 최장축을 측정 기준선으로 하여, 이석경(R)과 각 윤문까지의 거리(r_n)를 측정하였다(Fig. 2b).

먼저, 윤문의 형성시기와 주기성을 확인하기 위해 연변부 성장지수(Marginal Index)의 월별변화를 추정하였고, 연역지수(MI)는 다음의 식을 사용하여 구하였다.

$$MI = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}}$$

여기서 R 은 이석의 중심부 초점에서 연변까지의 거리이고, r_n 은 초점에서 n 번째 윤문까지의 거리이다.

본 연구에서는 5륜군 이상의 개체수가 적어 참고자료에서 유보시켰으며, 윤문판독에 신빙성이 없는 자료도 제외시켰다.

다음으로, 초점과 제1윤문형성까지의 시간간격을 확인하기 위해 생식주기를 추정하였다. 생식주기는 생식소 속도지수(Gonadosomatic index)의 경월변화를 추적하여 확인하였다. 생식소 속도지수는 다음과 같이 구하였다.

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^2$$

여기서 GW 는 생식소 중량(Gonad Weight, g), BW 는 체중(Body Weight, g)이다.

도루묵의 이석에 나타나는 윤문을 연륜으로 인정하여

체장과 윤경의 관계식을 통해 연령별 역계산 체장을 구하고, 체중과 체장간의 관계식에서 각 연령별 역계산 체중을 구하였다. 연륜으로부터 계산된 연령별 체장을 이용하여, Walford 정착도법으로 구한 매개변수를 사용하여 von Bertalaffy 성장식을 추정하였다. 즉,

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)})$$

여기서, L_t 는 t 세의 체장, L_∞ 는 이론적 최대체장, k 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령을 나타낸다. 암수간의 체장-체중에 따른 상대성장의 차이 유무는 공분산 분석을 하여 검정하였다.

3. 결 과

횡단절단한 이석에 나타나는 윤문이 연령형질로 사용될 수 있는지를 확인하고, 판독한 윤문 중에 위륜 또는 외부 환경조건이나 어류자체의 내부 생리조건의 일시적 변화에 따라 생기는 이상형성륜을 가려내기 위해, 이석경과 윤경간의 관계를 검토하였다(Fig. 3). 동일 윤문수를 가지는 이석에 있어서 이석경이 클수록 윤경이 컸다. 각 윤문은 인접한 윤문과 뚜렷이 구분되었고, 불투명대에서 투명대로

이행하는 경계에서 읽은 윤문에 위륜 또는 이상형성륜은 없었다.

윤문형성시기 및 주기성을 확인하기 위해 월별 연역지수를 살펴보았다(Fig. 4) 암컷은 12월까지 연변부 성장지수가 높은 값을 보이다가, 1월에 최저값을 보였다. 2월부터 6월까지의 투명대가 형성되다가, 7월부터 12월까지의 불투명대가 형성되어 불투명대에서 투명대로 이행되는 시기는 1월이고, 이때 윤문이 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 반면 수컷은 10월에 최저값을 보이고, 12월에 낮은 값을 보였다. 1월부터 5월까지의 투명대가 형성되다가, 6월부터 10월까지의 불투명대가 형성되어 불투명대에서 투명대로 이행하는 시기는 11~12월에 걸쳐 나타나고, 윤문의 주형성시기는 12월로 확인되었다.

이석의 초륜이 형성되는 시기를 확인하기 위해 GSI의 월별변화를 분석한 결과(Fig. 5), 암컷은 11월에 GSI가 가장 높게 나타난 후, 12월에 급격히 떨어져 12월에 산란하

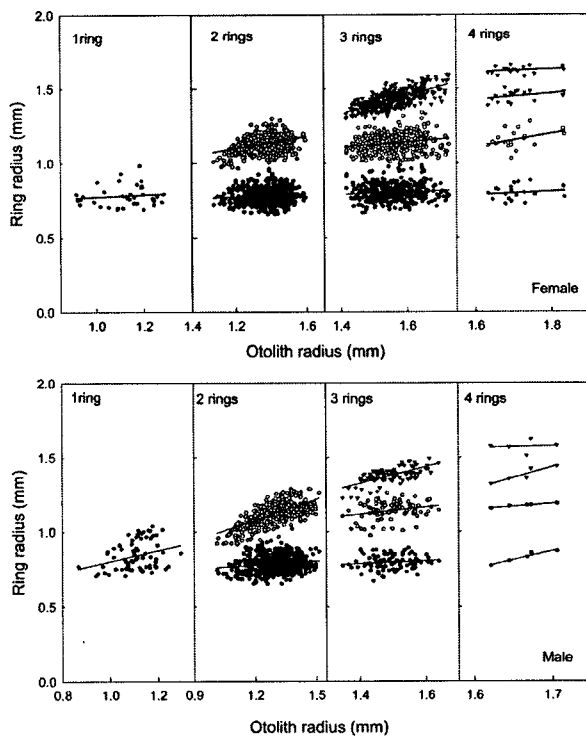


Fig. 3. Relationship between otolith radius and ring radius of the sandfish, *A. japonicus*.

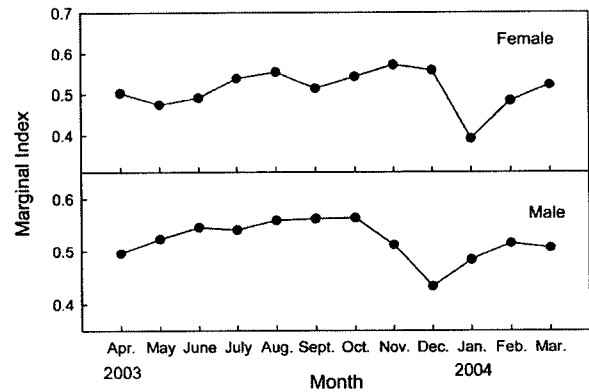


Fig. 4. Monthly change in the otolith marginal index (MI) of the sandfish, *A. japonicus*.

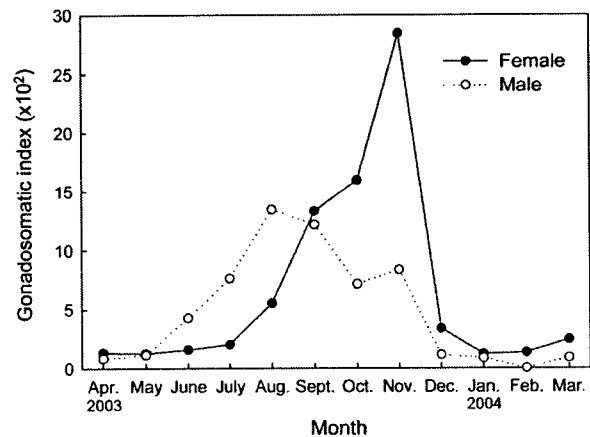


Fig. 5. Monthly variation of gonadosomatic index of the sandfish, *A. japonicus*.

Table 1. Average ring radius on the otolith of the sandfish, *A. japonicus*.

Female						
Ring group	Number of specimen	Ring radius (mm)				
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄
1	37	1.120	0.783			
2	527	1.370	0.783	1.134		
3	385	1.568	0.804	1.137	1.429	
4	19	1.710	0.800	1.158	1.449	1.621
Total	968	Mean	0.793	1.143	1.438	1.621

Male						
Ring group	Number of specimen	Ring radius (mm)				
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄
1	72	1.109	0.842			
2	546	1.295	0.785	1.122		
3	92	1.495	0.795	1.142	1.388	
4	5	1.663	0.826	1.176	1.379	1.572
Total	715	Mean	0.812	1.147	1.379	1.572

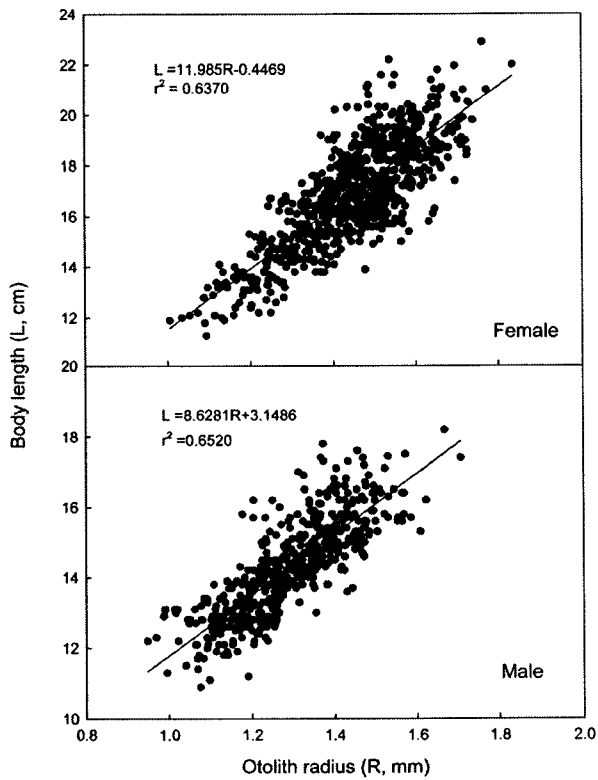


Fig. 6. Relationship between otolith radius and body length of the sandfish, *A. japonicus*.

는 것을 알 수 있었으며, 반면 수컷은 6월부터 서서히 증가하여 8월에 가장 높은 값을 나타내 11월까지 서서히 감소한 뒤 12월에 급격히 떨어짐을 알 수 있다. 이로부터 이석의 초점은 12월에 형성되는 것으로 추정되어, 초륜 생성까지 걸리는 시간은 암수가 약 1년이 경과함을 알 수 있었다.

따라서, 이석의 윤문 형성시기가 연 1회 나타나는 것을 확인하고, 이 윤문을 연륜으로 간주하여, 이석에 나타난 각 윤문형성시의 평균윤경을 연륜별로 구하였다(Table 1). 제 1륜은 수컷의 윤경이 컸으나, 2륜부터는 암컷의 윤경이 크게 나타났다.

평균윤경 측정치(Table 1)로부터 윤문형성시의 체장을 역계산하기 위해 이석경(R)과 체장(L)간의 관계식을 추정

Table 2. Back-calculated body length and body weight at the formation of the otolith ring of the sandfish, *A. japonicus*.

Female					
Ring group	Body length (cm)	Ring radius (mm)			
		l ₁	l ₂	l ₃	l ₄
1	8.93				
2	8.94	13.15			
3	9.19	13.18	16.68		
4	9.14	13.43	16.92	18.98	
Mean	9.05	13.25	16.80	18.98	
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
1	8.78				
2	8.79	27.86			
3	9.55	28.10	56.72		
4	9.39	29.67	59.24	83.54	
Mean	9.12	28.54	57.97	85.54	

Male					
Ring group	Body length (cm)	Ring radius (mm)			
		l ₁	l ₂	l ₃	l ₄
1	10.41				
2	9.92	12.83			
3	10.00	13.00	15.03		
4	10.28	13.29	15.05	16.71	
Mean	10.16	13.04	15.04	16.71	
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄
1	15.11				
2	13.16	27.59			
3	13.49	28.64	43.49		
4	14.56	30.52	43.63	58.00	
Mean	14.07	28.90	43.56	58.00	

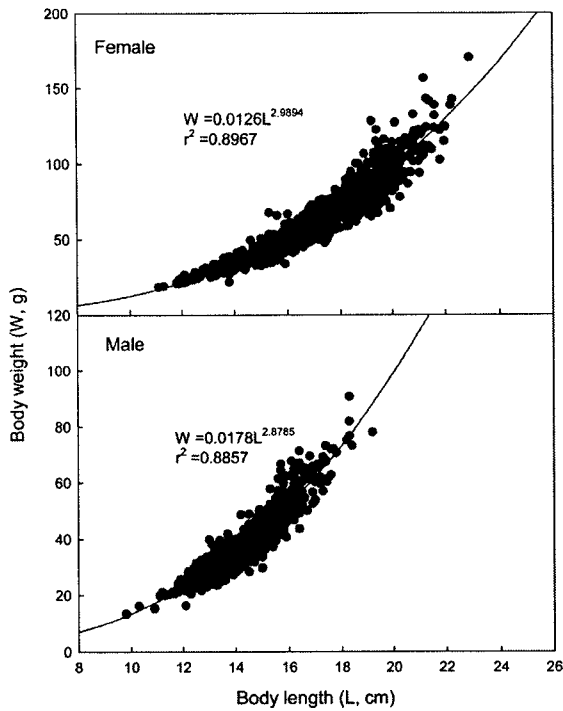


Fig. 7. Relationship between body length and body weight of the sandfish, *A. japonicus*.

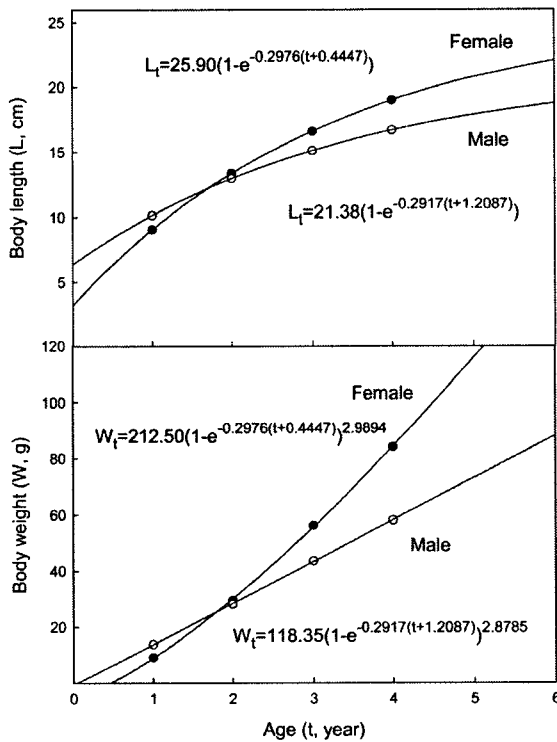


Fig. 8. Theoretical von Bertalanffy length growth curves and weight growth curves of the sandfish, *A. japonicus*.

하였다(Fig. 6). 체장과 이석경간에는 직선회귀가 근사적으로 확인되었다. 그리고 윤문형성시의 체중을 추정하기 위해, 체장(L)과 체중(W)간의 상대성장식을 구하였다(Fig. 7). 체장에 대한 체중간의 상대성장에서 암수간의 유의한 차이가 있어(P<0.01), 암수를 분리하여 윤문형성시의 평균체장과 평균체중을 구하였다(Table 2).

윤문형성시의 체장평균치와 체중평균치를 사용하여, Walford 정착도법에 의해 구한 성장 파라미터로부터, von Bertalanffy의 체장과 체중 성장식을 나타내면(Fig. 8), 암컷은 $L_t = 25.90(1 - e^{-0.2976(t+0.4447)})$, $W_t = 212.50(1 - e^{-0.2976(t+0.4447)})^{2.9894}$, 수컷은 $L_t = 21.38(1 - e^{-0.2917(t+1.2087)})$, $W_t = 118.35(1 - e^{-0.2917(t+1.2087)})^{2.8785}$ 이었다.

연중 성장패턴을 살펴보기 위해, 어획된 도루묵의 전체 자료를 윤문판독이 가능하였던 연령별로 나누어 구분하였다(Fig. 9). von Bertalanffy 성장식을 통해 구한 연령별 체장을 보면, 암컷은 $L_1 = 9.05$ cm, $L_2 = 13.39$ cm, $L_3 = 16.60$ cm, $L_4 = 19.00$ cm, $L_5 = 20.77$ cm, $L_6 = 22.07$ cm이고 수컷은 $L_1 = 10.15$ cm, $L_2 = 13.00$ cm, $L_3 = 15.12$ cm, $L_4 = 16.70$ cm, $L_5 = 17.87$ cm, $L_6 = 18.77$ cm이었다.

도루묵의 성장과 어구가입 연령을 살펴보면, 암컷의 0세군(0~1년생)은 어체 크기가 작아 어구를 통한 어획이 불가능했으며, 1세군(1~2년생)은 출생 후 다음해 7월에 어획되어 처음으로 나타났다. 11월과 12월에 나타난 암컷의 체장 22.0~23.0 cm 범위의 개체는 성장식을 통해 만 6세 어로 추정되었다. 수컷의 경우, 암컷과 마찬가지로 0세군은 어획에 가입되지 않았다. 1세군의 최소 체장이 보이는 7월에는 윤문이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 8월과 9월에 어획된 수컷의 체장범위 18.0~19.cm를 성장식으로 추정하면 만 6세어로 파악되었다.

4. 고 찰

본 연구에 사용된 도루묵의 이석은 어체에 비해 이석이 큰 반면에 두께가 얇고 흰모양을 가지고 있었다. 많은 개체를 손쉽게 취급하기 위해 일반적인 표면 연마법보다는 합성수지에 포매하여 횡단면을 절편하는 방법을 사용하였다. 이석의 특성상 장방향보다는 단방향이 판독에 용이하였고, 많은 개체를 읽기 위해 박편된 것은 연마하지 않았다. 성장식을 통해 구한 암수별 체장과 실측된 체장의 모드가 근사함을 볼 때, 실험방법에 큰 무리가 없다고 생각된다.

연령사정을 위해 이석의 표면 또는 횡단면을 판독하게 되는데, 4년간 채집된 쏨뱅이(*Sebastes marmoratus*)의 이석횡단면을 관찰한 결과, 표면법보다 불투명대의 수가 많이 관찰되어, 종래의 표면법이 연령을 낮게 사정하게 되었다고 고찰하였으며, 횡단면의 불투명대의 연주기성으로

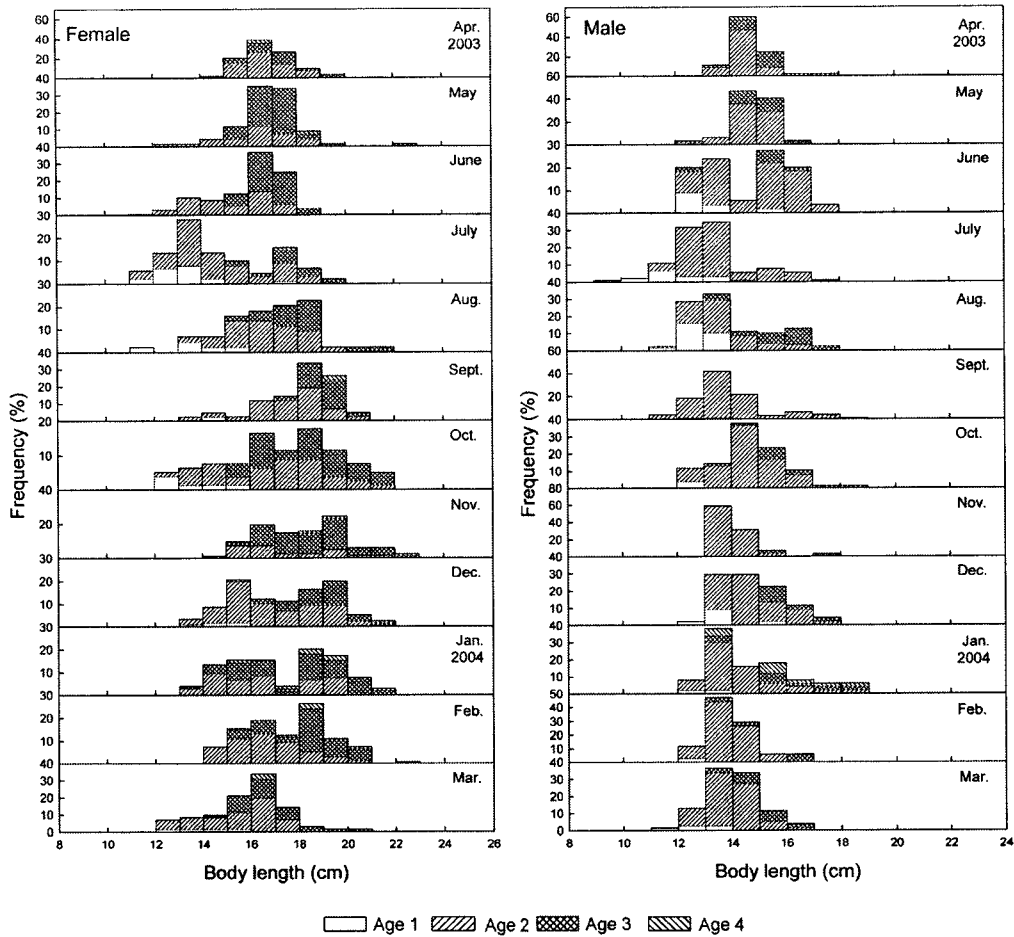


Fig. 9. Monthly change of the length frequency of the sandfish, *A. japonicus*.

탁월연급군의 식별이 가능하다고 밝혔다(Hayashi *et al.* 1995). 일본의 가고시마현에서 채집된 넘치(*Paralichthys olivaceus*)의 경우(Atsychi *et al.* 2004), 이석 표면상의 운문으로 연령사정한 것이 고펅어의 횡단면을 통해 연령판독 한 것보다 연령을 과소평가하는 것을 확인하였으며, 횡단면의 장축은 운문폭이 좁아 단축방향을 이용하는 것이 연령사정에 편리하다고 고찰하였다. 도루묵의 경우 표면법을 통한 연령사정과 비교하지 않았으나, 계속된 연구가 필요할 것으로 생각된다.

이석의 운문 형성시기가 수컷은 11~12월에 걸쳐서 형성되고, 암컷은 1월에 형성되어 암수가 다르게 형성됨을 확인할 수 있었다. 이석의 연변부 성장은 먹이와 수온에 영향을 받는 것으로 밝혀져 있다(Gray and Setna 1931). 수온보다는 먹이의 영향을 많이 받으며, 일반적으로 어류는 생식이 활성화되기 시작하는 시기에는 먹이를 취하지 않는다. 암수의 생식소 속도지수의 최고점의 차이가 불투명대에서 투명대로 이행하는 시기로 연결된 것으로 보

인다.

Choi *et al.*(1983)의 연구에 따르면 암수를 구별하지 않고 최대체장(Fork length)이 33.5 cm라고 추정된 반면, 일본의 추전현에서 채집된 도루묵을 사용하여(Mio 1967) 연구된 암수의 최대체장(BL)은 각각 27.4 cm와 26 cm로 나타났으며, 본 연구에서는 암수 각각 25.9 cm와 21.4 cm (BL)로 암수간에 차이가 나타났다.

암수 모두에서 0세군(0~1년생)의 채집이 어려웠던 것은, 도루묵이 만 1세가 되기까지의 회유경로가 기선저인 망의 채집지역에서 벗어나, 어구에 가입되지 않는 시기로 추정할 수 있다. Kuranaga(1992)의 연구에 따르면, 한국에서 산란된 미성숙어가 일본의 돗토리현으로 회유하여 온다고 밝히고 있어, 미성숙인 0세군과 1세군이 본 연구해역에서 관찰되지 않은 것으로 유추하여 볼 수 있다.

따라서, 도루묵에 대한 보다 많은 자원생태학적 분석을 위해서는, 다양한 분야에 대한 지속적인 연구가 추가로 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문의 향상을 위해 적극적인 조언과 세심한 검토를 해주신 심사위원님들께 고개 숙여 깊은 감사를 드리며, 부경대학교 수산자원학 연구실원들에게도 감사드립니다.

참고문헌

- Atsuchi, S., Y. Masuda, H. Akamo, and K. Iori. 2004. Age and growth of Japanese flounder *Parlichthys olivaceus* from the coastal waters around Kagoshima Prefecture, Japan, using transverse sections of otoliths. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 70(5), 714-721.
- Baik, K.K., Y.I. Rho, Y.S. Chung, Y.T. Hwang, and G.E. Hong. 1989. The artificial seed production of sandfish, *Arctoscopus japonicus* (Steindachner). *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 43, 145-156.
- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). *Hum. Biol.*, 10(2), 181-213.
- Choi, S.H., Y.Y. Chun, S.J. Son, and H.K. Suh. 1983. Age, growth and maturity of sandfish, *Arctoscopus japonicus* (Steindachner) in the eastern Sea of Korea. *Bull. Nat. Fish. Res. Dev. Agency*, 31, 7-19.
- Chyung, M.K. 1977. The Fishes of Korea. Ilji-sa, Seoul. 727 p.
- Gray, J. and S.B. Setna. 1931. The growth of fish. IV. The effect of food supply on the scales of *Salmo irrideus*. *J. Exp. Biol.*, 8, 55-62.
- FAO. 1950-2001. FAO Yearbook of Fishery Statistics, Capture Production. <http://www.fishbase.org/report/FAO/FAOsearchMenu.cfm>
- Hayashi, A., K. Dotsu, and M. Ohta. 1995. Reliability of surface reading methods to count otolith opaque zones on aging in marbled rockfish, *Sebastes marmoratus* compared with the cutway reading method. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 61(1), 1-5.
- Kuranaga, R. 1992. Expectation of a catch of sandfish, *Arctoscopus japonicus*, in Tottori prefecture. *Jpn. Sea Nat. Fish. Res. Inst.*, 33, 1-8.
- Mio, S. 1967. Studies on the population biology of the sandfish *Arctoscopus japonicus* (STEINDACHNER) I. Age, growth and maturity. *Bull. Jpn. Sea Reg. Fish. Res. Lab.*, 18, 23-37.
- MOMAF (Ministry of Maritime Affairs & Fisheries). 1971-2003. Statistical Year Book of Agriculture and Fisheries.
- Myoung, J.G., J.M. Kim, and Y.U. Kim. 1989. Egg development and morphology of sand fish, *Arctoscopus japonicus* (Steindachner) larvae and juveniles reared in the laboratory. *J. Kor. Fish. Soc.*, 22(3), 129-137.
- Nakabo, T. 2002. Fishes of Japan with Pictorial Keys to the Species, English edition II. Tokai Univ. Press, Tokyo. 1749 p.
- Okiyama, M. 1970. Studies on the population biology of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* (STEINDACHNER) II. Population analysis (Preliminary report). *Bull. Jpn. Sea Reg. Fish. Res. Lab.*, 22, 59-69.
- Otsuai, A. and M. Tanaka. 1986. Ichthyology. Koseisha-Koseikaku Press, Tokyo. 1140 p.
- Sakuramoto, K., K. Sugiyama, and N. Suzuki. 2001. Models for forecasting sandfish catch in the coastal waters off Akita Prefecture and the evaluation of the effect of a 3-year fishery. *Fish. Sci.*, 67, 203-213.
- Sakuramoto, K., T. Kitahara, and H. Sugiyama. 1997. Relationship between temperature and fluctuations in sandfish catch (*Arctoscopus japonicus*) in the coastal waters off Akita Prefecture. *ICES J. Mar. Sci.*, 54, 1-12.
- Watanabe, K., H. Sygiyama, S. Sugishita, N. Suzuki, and K. Sakuramoto. 2005. Estimating and monitoring the stock size of sandfish *Arctoscopus japonicus* in the northern Sea of Japan. *Fish. Sci.*, 71, 776-783.
- Yanagimoto, K. 2004. Geographic population subdivision of the Japanese sandfish, *Arctoscopus japonicus*, inferred from PCR-RFLP analysis on mtDNA. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 70(4), 583-591.

Received Aug. 1, 2006

Accepted Sep. 12, 2006