J. Kor. Soc. Fish. Tech., 44(4), 312 - 322, 2008
DOI:10.3796/KSFT.2008.44.4.312

FISHERIES TECHNOLOGY
www.fishtech.or.kr

동해안 도루묵, *Arctoscopus japonicus*의 연령과 성장

양재형 · 이성일* · 차형기 · 윤상철 · 장대수[1] · 전영열

국립수산과학원 동해수산연구소 어업자원과, [1]국립수산과학원 자원연구과

Age and growth of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Jae Hyeong YANG, Sung Il LEE*, Hyung Kee CHA, Sang Chul YOON, Dae Soo CHANG[1] and Young Yull CHUN

Fisheries Resources Division, East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Gangneung 210-861, Korea

[1]*Fisheries Resources Research Division, National Fisheries Research & Development Institute, Busan 619-705, Korea*

The age and growth of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* were investigated from samples of the eastern sea danish seine and gill net fishery in the East Sea of Korea from February, 2004 to December, 2007. Ages were determined from annuli in otoliths and annuli were formed between December and February once a year. Also, the main spawning period was estimated to be between December and January, thus rings were considered to be annual marks. For the relationship between fork length and total weight, a multiplicative error structure was assumed because variability in growth increased as a function of the length. The relationship between fork length and total weight were $TW = 0.0083FL^{3.01}$ ($R^2 = 0.966$) for female and $TW = 0.0079FL^{3.04}$ ($R^2 = 0.969$) for male. The variability in growth was constant as a function of age, revealing an additive error structure. The von Bertalanffy growth parameters estimated by a non-linear method were $L_\infty = 31.6$cm, $K = 0.266$/year, $t_0 = -0.835$ years for female and $L_\infty = 27.7$cm, $K = 0.273$/year, $t_0 = -0.806$ years for male. Growth at age between male and female had a significant difference($P<0.001$).

Key words : *Arctoscopus japonicus*, Sandfish, Age, Growth, Otolith

서 론

도루묵(*Arctoscopus japonicus*)은 농어목(Perciformes) 도루묵과(Trichodontidae)에 속하는 어종으로 우리나라 동해, 일본 중부 이북, 캄차카

*Corresponding author: silee@nfrdi.go.kr, Tel: 82-33-660-8524, Fax: 82-33-661-8513

반도, 사할린, 알라스카에 분포하며(NFRDI, 2004), 등지느러미는 두개로 앞쪽 것은 삼각형이고 옆줄과 비늘이 없는 것이 특징이다(Myoung et al., 2002). 수심 100 – 200m의 대륙붕의 모래 또는 펄 지역에 주로 서식하며(Kim et al., 2005), 겨울철이면 수심 2 – 10m의 얕은 연안으로 몰려와 산란을 위하여 해조류 줄기에 둥근 알덩어리를 부착시킨다(NFRDI, 2004; Myoung et al., 2002).

도루묵의 어획량은 1971년 2만 5천톤으로 최고치를 기록하였지만, 1970년대 후반에 접어들면서 어획량이 급격히 감소하여 최근 2000년대에는 4천톤 미만의 낮은 어획수준을 보이고 있다. 도루묵은 주로 동해구기선저인망, 동해구트롤 및 연안자망 등에 의해 어획되는데, 동해구기선저인망 및 트롤에 의해서는 연중 조업이 이루어지고, 연안자망에서는 산란기에 연안으로 몰려온 도루묵을 대상으로 주 조업이 이루어지고 있다. 이러한 과도한 어획노력과 해조장 파괴에 의한서식장 훼손 등으로 인해 최근 도루묵자원은 과거 1970년대에 비해 크게 감소하여 현재정부에서는 자원회복 대상종으로 선정하는 등 다각적인 노력이 행해지고 있다. 따라서 도루묵 자원을 회복시켜 합리적으로 이용하기 위해서는 적절한 자원관리가 필요한 실정이다.

도루묵은 우리나라와 일본에서 그 자원의 이용도가 높아 일본에서는 과거부터 많은 연구가 진행되어 있다. 일본의 경우 도루묵에 대한자원생태학적 연구로 연령과 성장 및 성숙에 관한연구(Mio, 1967), 도루묵 개체군 분석 연구(Okiyama, 1970), 도루묵 이석미세구조를 통한 초기성장 추정(Tsukamoto et al., 1991), 일본산 도루묵의 개체군 구조(Shirai et al., 2006), 일본 나나오만과 토야마만에서 부화 방류된 도루묵의 성장, 성숙과 회유에 관한 연구(Tomoda et al., 2006) 등 일본은 지역별로 도루묵의 생태에서 역학적 연구에 이르기까지 많은 연구가 꾸준히 진행되어 왔다. 우리나라에서는 도루묵의 연령, 성장과 성숙(Choi et al., 1983), 난발생 및 자치어의 형태(Myoung et al., 1989), 인공종묘의 초기사육(Baik et al., 1989), 도루묵의 성성숙과 산란(Lee et al., 2006), 이석횡단절단법에 의한 연령사정 및 성장(Lee et al., 2006) 등 초기생활사와 생태에 관한 연구가 수행되어 왔다. 그 중 도루묵 성장에 관한 Choi et al.(1983)과 Lee et al.(2006)에 의한 연구는 방법적인 면에서 몇 가지 문제점을 내포하고 있다. 즉, Choi et al.(1983)은 암·수간 성장차이를 고려하지 않았으며, Lee et al.(2006)은 소형어에 대한 성장을 제대로 반영하지 못한 것으로 생각되어 본 연구에서는 이러한 점들을 보완하여 도루묵의 연령과 성장을 밝히고자 한다.

따라서, 본 연구에서는 도루묵의 연령 및 성장과 관련한 생태학적 특성을 밝혀 감소된 자원을 회복시키고 지속적으로 이용할 수 있는 합리적인 자원관리 방안을 마련하기 위하여 이석표본에 의한 연령 및 성장을 검토하였고, 매개변수 추정에 대한 정확성을 높이기 위해 오차구조를 확인하였다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용한 도루묵은 2004년 2월부터 2007년 12월까지 강원도 연안에서 동해구기선

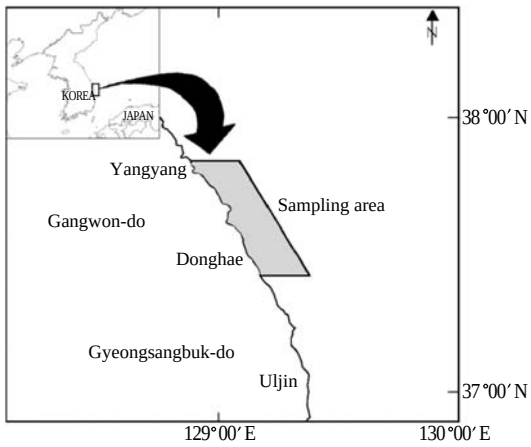

Fig. 1. Map showing the sampling area of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* caught by the eastern sea danish seine and gill net in the East Sea of Korea.

저인망어업과 연안자망어업으로 어획한 무작위 표본을 이용하였다(Fig. 1). 그리고 10cm 이하의 개체들은 어업의 특성상 채집이 불가하여 동해수산연구소에서 수행한 강원도 연안의 EEZ 어업자원조사와 난자치어 조사시 채집된 표본을 사용하였다.

채집된 표본은 실험실에서 체장(FL, Fork Length)은 0.1cm까지, 체중(TW, Total Weight)은 0.1g까지 측정하였고, 복부를 절개하여 육안으로 암·수를 분리하였다. 연령사정을 위해 이석을 추출하였고, 오른쪽 이석을 실리콘탱크에 넣어 Resin과 Hardener를 섞어 포매·건조한 후 절단기(Bueheler, Isomet 2000; Low speed saw)를 사용하여 절단하였으며, 연마기(R&B, Topmet-Mepol-1)로 연마한 후 0.3μm의 Alumina powder로 광택을 내어 관찰이 용이하게 처리하였다. 이석은 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 윤문으로 간주하고, 실체현미경(Zeiss, 2000c)에 연결된 영상분석장치(iSolution Lite)로 PC 모니터상에서 측정하였다.

이석반경(R)은 이석중심으로부터 후단부 끝까지의 직선거리로 장축반경과 단축반경을 모두 측정하였고, 장축과 단축의 윤의 수가 일치하는지 확인한 후 단축반경의 윤경(r_n)은 이석중심으로부터 윤문까지의 직선거리로 μm 단위까지 측정하였다(Fig. 2).

윤문의 형성시기와 연간 형성횟수를 알아보기 위해 연역지수(Marginal Index, MI)의 월 변화를 식(1)을 사용하여 구하였다.

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

여기서, R은 이석반경, r_n은 윤경으로 이석중심부에서 n번째 윤문까지의 거리이다.

제1윤문의 형성시기를 확인하기 위해 생식소숙도지수(Gonadosomatic Index, GSI)의 월 변화를 구하였다.

$$GSI = \frac{GW}{TW} \times 10^2 \quad (2)$$

여기서, GW는 생식소 중량(Gonad Weight, g), TW는 체중(Total Weight, g)이다.

암·수간의 체장·체중에 대한 적절한 상대성장 모델식의 매개변수를 추정하기 위해서 오차구조를 확인하였으며, 오차구조는 함수의 독립변수에 대해 오차의 크기가 일정한 합의 오차(additive error structure)와 독립변수에 따라 오차가 증가하는 곱의 오차구조(multiplicative error structure)로 나누어 식(3) 및 (4)와 같이 계산하였다(Quinn and Deriso, 1999).

$$W = \alpha L^{\beta} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$$W = \alpha L^{\beta} \cdot e^{\varepsilon_i} \quad (4)$$

여기서, α와 β는 매개변수이고, e_i는 평균이 0이고 분산이 σ^2인 임의 오차항이다. 오차구조의 설정은 전체 표본을 체장과 체중에 대한 그래프로 나타내어 확인하였다. 매개변수 α와 β의 추정은 오차구조가 합의 오차구조일 때는 비선형최소자승법(nonlinear least squares)을 사용하고, 곱의 오차구조일 때는 선형최소자승법(linear least squares)을 사용하는데, 식(5)와 같이 대수선형화시킨 후 직선회귀하여 매개변수를 추정하였다.

$$\ln W = \ln\alpha + \beta \ln L_i + \varepsilon_i \quad (5)$$

윤문형성시의 연령별 평균체장은 계측된 표

Fig. 2. Photograph of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* otolith by cutting dimension(F: focus, D: dorsal, V: ventral, IF: internal face, EF: external face).

본의 평균윤경에서 이석반경과 체장간의 관계식을 사용하여 역계산하였다.

도루묵의 성장에 대한 모델은 von Bertalanffy (1938) 성장식을 사용하였고, 성장 매개변수를 추정하기 위해 먼저 연령별 체장 측정치의 오차구조를 확인하였다. 오차구조를 고려한 성장식은 식(6) 및 (7)과 같다.

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) + e_i \quad (6)$$

$$L_t = L_\infty(1 - e^{-k(t-t_0)}) \cdot e^{e_i} \quad (7)$$

여기서, L_t는 연령 t시의 체장, L_∞는 이론적 최대체장, K는 성장계수, t는 연령, t_0는 체장이 0일 때의 이론적 연령, e_i는 평균이 0이고 분산이 σ^2인 임의 오차항이다. 오차구조를 확인한 후 Walford 방법으로 성장 매개변수를 구하였고, 그 결과를 초기값으로 사용하여 비선형 회귀방법에 의해 von Bertalanffy 성장계수를 추정하였다. 암·수간 연령별 성장차이에 대한 유무를 파악하기 위해 기울기차와 위치차(elevation)검정을 분석하였다.

결 과

조사기간 동안 분석한 총 33,671 개체 중에서 암컷이 54.8%, 수컷이 45.2%로 암컷의 비율이 높았다. 도루묵 암컷의 체장범위는 체장 2.2 – 28.2cm이었고, 수컷은 체장 2.2 – 23.5cm의 범위를 보였다. 평균체장은 암컷이 18.0cm, 수컷은 15.4cm로 암컷이 더 컸으며, 24cm 이상에는 암컷만 분포하였다(Fig. 3).

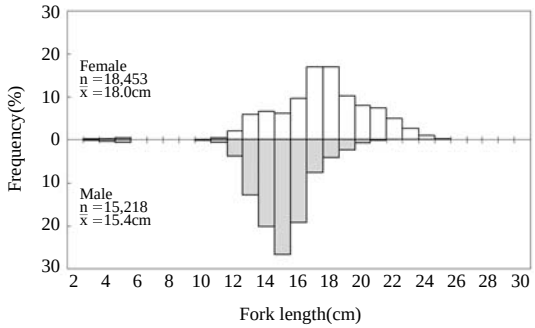

Fig. 3. Length-frequency distribution of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

이석이 도루묵의 연령형질로서 적합한가를 확인하고 윤문판독의 정확성을 검토하기 위하여 각 윤문별 이석반경과 윤경간의 관계를 검토하였다(Fig. 4). 각 윤문은 일정한 폭을 두고 구분되어 인접한 윤문과 중복됨이 없이 분리가 잘 되었으며, 이석반경과 윤경간에는 이석반경이 커질수록 윤경이 커지는 직선관계를 이루었다. 따라서 이석이 도루묵의 연령형질로서 이용가능하며, 이석의 윤문을 연륜으로 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

윤문의 형성시기 및 연간 형성횟수를 파악하기 위해 연역지수의 월변화를 분석하였다. 연역지수(MI)의 월 변화를 보면(Fig. 5), 암·수 모두 MI 값이 11월에 최고치를 보인 후 12월부터 감소하기 시작하여 2월에 가장 낮은 값을 보였다. 따라서 윤문은 12 – 2월에, 연 1회 형성됨을 알 수 있다.

제1윤문의 형성시기를 확인하기 위해 분석한 결과, 도루묵 암컷에 대한 생식소숙도지수(GSI)의 월 변화는 8월부터 GSI 값이 점차 증가하여 11월에 최고치를 나타내었고, 이후 감소하여 2월부터는 3 이하의 낮은 값을 나타내었다(Fig. 6). 따라서 도루묵의 산란기는 11 – 1월, 주 산란기는 12 – 1월로 추정되어 윤문형성시기와 일치하였다.

따라서 도루묵 이석의 윤문은 연 1회 형성되므로 이 윤문을 연륜으로 보고, 이석에 나타난 각 윤문의 평균윤경을 구하였다(Table 1). 암컷의 윤문별 평균윤경은 r_1 = 0.953mm, r_2 = 1.302mm, r_3 = 1.487mm, r_4 = 1.662mm, r_5 = 1.836mm이었고, 수컷은 r_1 = 0.903mm, r_2 = 1.178mm, r_3 = 1.441mm, r_4 = 1.585mm로 나타났다.

윤문형성시의 체장을 역계산하기 위해 이석반경(R)과 체장(FL)간의 관계식을 추정한 결과, 암컷은 FL = 14.86R – 2.13(R^2 = 0.833)로, 수컷은

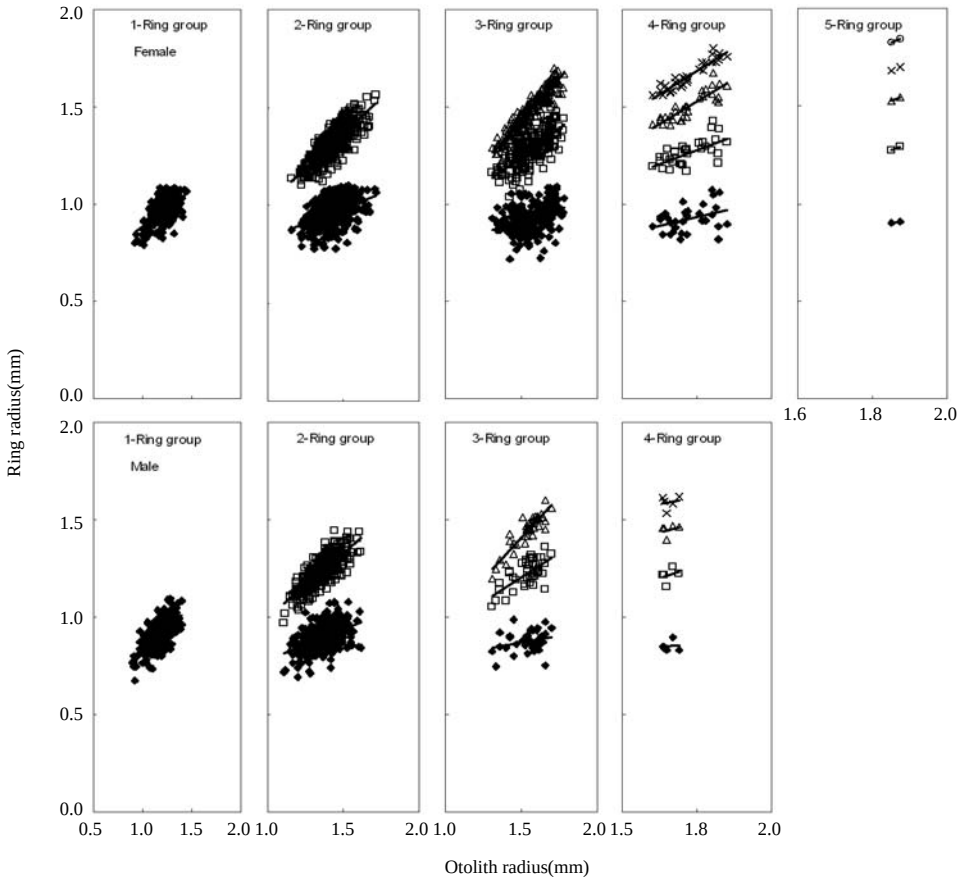

Fig. 4. Relationship between otolith radius and ring radius of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

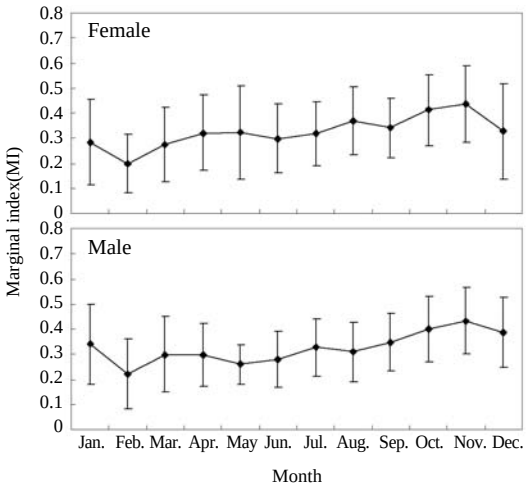

Fig. 5. Monthly changes in marginal index of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

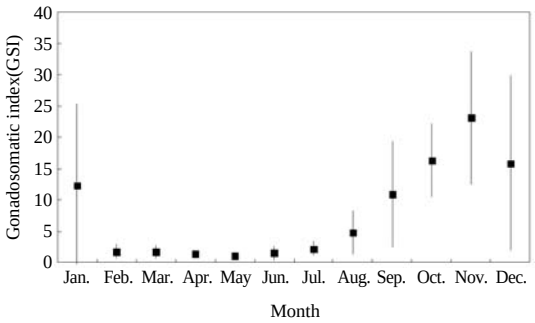

Fig. 6. Monthly changes in gonadosomatic index of the female sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

FL =13.65R −1.47(R^2 =0.848)로 나타났다(Fig. 7).

도루묵의 체장에 대한 체중의 오차구조를 알아보기 위해 체장(FL)과 체중(TW)간의 관계를

Table 1. Mean ring radius on the otolith of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Sex	Estimated age	No. of samples	Mean otolith ring radius(mm)					
			R	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5
Female	0	75	0.622					
	1	258	1.219	0.966				
	2	528	1.427	0.959	1.313			
	3	228	1.564	0.929	1.282	1.485		
	4	31	1.723	0.924	1.265	1.500	1.661	
	5	2	1.863	0.904	1.284	1.533	1.690	1.836
	Weighted mean			0.953	1.302	1.487	1.662	1.836
	SD			0.067	0.084	0.097	0.070	0.013
Male	0	69	0.596					
	1	357	1.172	0.915				
	2	449	1.366	0.897	1.172			
	3	40	1.538	0.877	1.243	1.441		
	4	4	1.662	0.851	1.224	1.447	1.585	
	Weighted mean			0.903	1.178	1.441	1.585	
	SD			0.063	0.074	0.084	0.047	

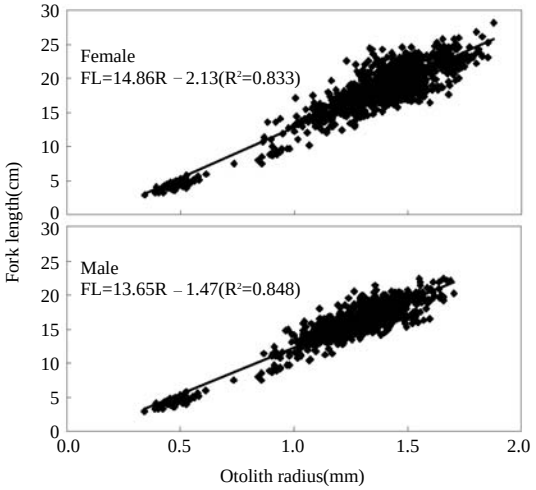

Fig. 7. Relationship between otolith radius and fork length of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

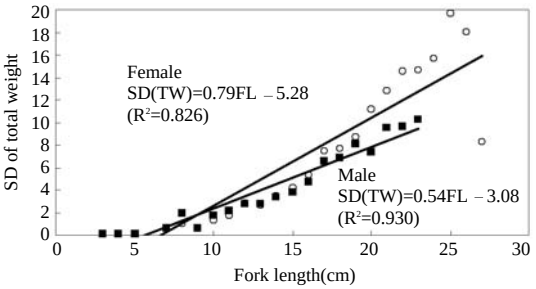

Fig. 8. Relationship between fork length and standard deviation(SD) of total weight of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

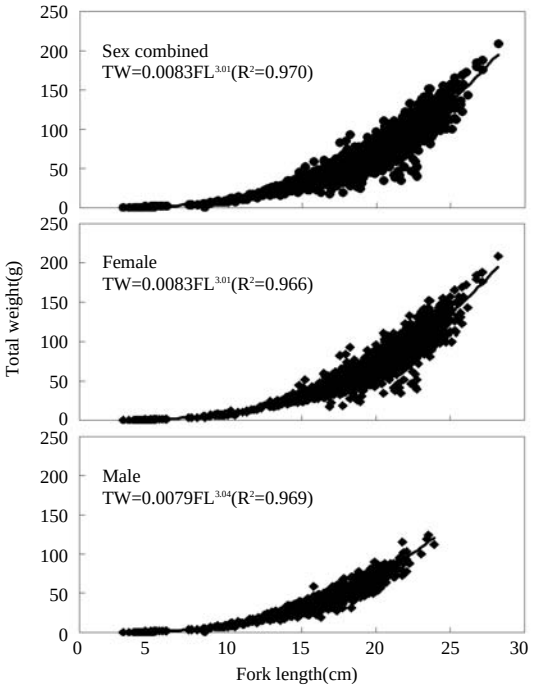

Fig. 9. Relationship between fork length and total weight of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

알아본 결과, 체장이 커짐에 따라 체중 변이가 점차 증가하는 곱의 오차구조를 가짐을 알 수 있었다(Fig. 8). 보다 정확한 오차구조확인을 위해서 체장계급을 1cm 단위로 나누어 체장계급간

에 대한 체중의 표준편차(SD)의 변이를 살펴본 결과, 암·수 모두 체장이 커질수록 표준편차가 커지는 경향을 나타내어 곱의 오차구조임을 확인 할 수 있었다. 곱의 오차구조를 고려하여 선형최소자승법으로 추정한 상대성장식은 암컷이 $TW = 0.0083FL^{3.01}$ ($R^2 = 0.966$), 수컷은 $TW = 0.0079FL^{3.04}$ ($R^2 = 0.969$)이었고, 암·수 전체에 대한 관계식은 $TW = 0.0083FL^{3.01}$ ($R^2 = 0.970$)이었다(Fig. 9, Table 2).

윤문형성시의 평균윤경을 사용하여 이석반경과 체장간의 관계식으로부터 역계산된 평균체장은 암컷의 경우 $L_1 = 12.0$cm에서 $L_5 = 25.2$cm로 나타났고, 수컷은 $L_1 = 10.9$cm에서 $L_4 = 20.2$cm로 나타났으며, 평균체중은 암컷의 경우 $W_1 = 15.6$g에서 $W_5 = 134.5$g로 나타났고, 수컷은 $W_1 = 11.6$g에서 $W_4 = 69.5$g으로 나타났다(Table 3). 암·수간의 연령별 성장차이 유무를 알아보기 위해 기울기차와 위치차를 검정한 결과(Table 4), 기울기차 및 위치차 모두 유의한 차이가 있었다($P < 0.001$). 따라서 암·수간 연령별 성장차이가 있는 것으로 나타나 암·수를 각각 분리하여 성장식을 추정하였다.

역계산된 연령별 체장과 체중으로부터 비선형회귀분석을 사용하여 추정된 도루묵의 암·수 각각에 대한 von Bertalanffy 성장식은 Fig. 10과 같다. 따라서 도루묵의 성장매개변수는 암컷의 경우 이론적 최대체장(L_∞)은 31.6cm, 이론적 최대체중(W_∞)은 263.9g, 성장계수(K)는 0.266/

Table 2. Regression statistics for the relationship between fork length and total weight of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Statistics	Sex		
	Sex combined	Female	Male
ln $\alpha \pm$SE	-4.7912 ± 0.0209	-4.7951 ± 0.0302	-4.8430 ± 0.0313
95% CI for ln	(−4.8321, −4.7503)	(−4.8543, −4.7360)	(−4.9044, −4.7816)
$\beta \pm$SE	3.0148 ± 0.0073	3.0141 ± 0.0104	3.0365 ± 0.0114
95% CI for b	(3.0004, 3.0292)	(2.9938, 3.0344)	(3.0142, 3.0588)
α=exp(ln α)	0.0083	0.0083	0.0079
95% CI for α	(0.0080, 0.0086)	(0.0078, 0.0088)	(0.0074, 0.0083)
n	5,236	2,947	2,289
R^2	0.970	0.966	0.969

Table 3. Back-calculated fork length and total weight at the formation of annuli in otolith of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Sex	Estimated age	No. of samples	Fork length(cm)					Total weight(g)				
			L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5
Female	0	75										
	1	258	12.2					16.3				
	2	528	12.1	17.4				15.9	45.6			
	3	228	11.7	16.9	19.9			14.3	42.2	68.0		
	4	31	11.6	16.7	20.2	22.5		14.0	40.3	70.3	97.4	
	5	2	11.3	17.0	20.7	23.0	25.2	13.0	42.4	75.4	103.0	134.0
Weighted mean			12.0	17.2	20.0	22.6	25.2	15.6	44.4	68.4	97.7	134.0
SD			0.991	1.241	1.438	1.039	0.189	3.721	9.456	14.340	13.326	2.906
Male	0	69										
	1	357	11.0					12.0				
	2	449	10.8	14.5				11.3	26.9			
	3	40	10.5	15.5	18.2			10.5	32.5	51.6		
	4	4	10.1	15.2	18.3	20.2		9.5	30.9	52.3	69.5	
Weighted mean			10.9	14.6	18.2	20.2		11.6	27.4	51.7	69.5	
SD			0.865	1.015	1.149	0.636		2.686	6.098	8.956	6.425	

Table 4. Test for the difference of regression coefficients and elevations between the female and male sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Test	Statistics	Values
Regression coefficients	b_1	0.109
	b_2	0.101
	$S_{b_1-b_2}$	0.001
	t	5.538
	υ	2,037
	$t_{0.05(2),2,037}$	1.96
	P	< 0.001
Elevation	Ac	619,449
	Bc	65,637
	Cc	7,545
	SSc	590
	DFc	2,038
	t	4.458
	$t_{0.05(2),2,038}$	1.96
	P	< 0.001

b_1: Slope of i equation, $S_{b_1-b_2}$: Standard error of the difference between regression coefficients, Ac: Sum of squares of X, Bc: Sum of crossproducts, Cc: Sum of squares of Y, SSc: Residual SS, υ: Degrees of freedom, t: Test statistic value.

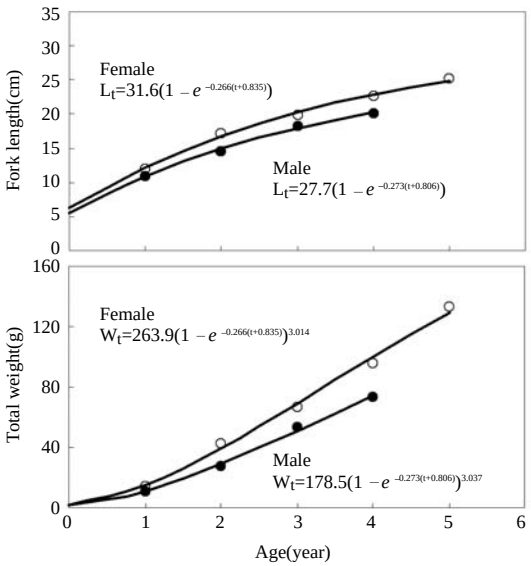

Fig. 10. The von Bertalanffy growth curves in fork length and total weight estimated by a non-linear regression method of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

년, 체장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 −0.835세로 추정되었고, 수컷은 이론적 최대체장(L_∞)이

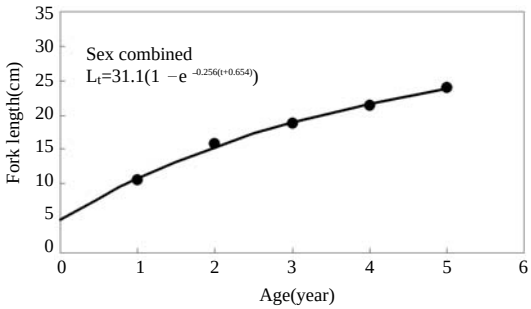

Fig. 11. The von Bertalanffy growth curve of sex combined of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea.

27.7cm, 이론적 최대체중(W_∞)은 178.5g, 성장계수(K)는 0.273/년, 체장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 −0.806세로 추정되었다. 그리고 암·수 전체에 대한 von Bertalanffy 성장식은 Fig. 11과 같다.

고 찰

본 연구에서는 수산자원의 연령을 측정하기 위해 일반적으로 사용되고 있는 여러 방법들 중에서 가장 유효한 연령사정법으로 알려져 있는 연륜법을 이용하여 연령사정을 하였다. 보편적으로 사용되는 연령형질은 비늘과 이석이며 (Zhang, 1991), 도루묵의 경우 비늘이 없어 어류의 일반적인 이석(Otolith)이라 알려져 있는 편평석을 연령형질로 이용하였다. 그리고 윤문별 이석반경과 윤경과의 관계를 검토한 결과에서도 이석이 도루묵의 연령형질로서 이용가능하며, 이석의 윤문을 연륜으로 사용할 수 있는 것으로 판단되었다.

도루묵 이석의 윤문형성시기는 암·수 모두 12 −2월로 연 1회 형성되고, 산란시기와 일치하였다. Choi et al.(1983)은 도루묵의 윤문형성시기가 1월, Mio(1967)는 11 −1월로 연 1회 형성된다고 하여 본 연구결과와 그 시기가 거의 일치하였으나, Lee et al.(2006)은 윤문형성시기를 수컷은 11 −12월, 암컷은 1월로 제시하여 수컷의 경우 본 연구결과와 1 −2개월 정도의 차이가 있었다.

지금까지의 연령과 성장에 관한 연구에서는 자료의 오차구조가 불명확하게 정의되어 추정된 매개변수에 대한 정확성이 낮은 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2000). 본 연구에서는 매개변수 추정에 대한 정확성을 높이기 위해 오차구조를 확인하였고, 그 결과 도루묵은 체장이 증가할수록 체중의 변화가 커지는 곱의 오차구조를 가지고 있어 선형최소자승법을 이용하여 매개변수를 추정하였다. 추정된 β의 95% 신뢰구간이 3.00 – 3.02로 거의 $\beta=3$(isometric model)을 따르고 있었다.

도루묵의 성장식에 대한 오차구조를 확인한 결과, 합의 오차구조임을 확인할 수 있었고, Lee et al.(2000)과 Kim et al.(2006)에 의한 참조기의 성장식에서도 오차구조가 합의 오차구조임이 제시되었다. 오차구조를 확인한 후 비선형회귀분석으로 추정한 도루묵의 성장 매개변수는 암컷의 이론적 최대체장(L_∞)이 31.6cm, 성장계수(K)는 0.266/년, 체장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 –0.835세이었고, 수컷은 이론적 최대체장(L_∞)이 27.7cm, 성장계수(K)는 0.273/년, 체장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 –0.806세로 추정되었다. 그리고 도루묵의 암 · 수간 연령별 성장차이에 대한 검정에서는 서로간에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다($P < 0.001$).

도루묵 성장에 관한 기존 연구결과들과 비교해 보면(Table 5), 암컷의 체장이 수컷보다 크다는 것은 모든 연구결과에서 동일하였다. Choi et al.(1983)에 의한 연구결과는 암 · 수 구분없이 성장식을 추정하여 직접적으로 비교하기가 어려웠고, Mio(1967)에 의한 연구결과와는 이론적 최대체장이 0.6 – 1.7cm 정도의 차이로 본 연구결과와 큰 차이가 없었다. 그러나 Lee et al.(2006)에 의한 연구결과와는 다소 차이가 있었는데, 본 연구결과가 암컷의 경우는 이론적 최대체장이 약 2cm, 수컷은 약 3cm 정도 크게 추정되었다. Lee et al.(2006)에 의한 결과는 소형개체에 대한 표본 채집이 불가하여 성장식 추정시 0 – 1세군에 대한 성장을 제대로 반영하지 못한 것으로 생각되는데, 실제 본 연구를 조사하는 과정에서 당해연도주 산란기인 12월 –1월에 산란된 것으로 추정되는 9cm 이하의 0세군들이 4월(2 –5cm), 8월(6 –8cm), 11월(8 –9cm)에 채집되었고(Fig. 3), 본 연구에서는 이러한 개체 자료를 적용하여 분석하였다. Myoung et al.(1989)에 의하면, 도루묵은 부화(수정 후 65 –85일) 후 32일이 되면 2.4cm(TL), 56일이 되면 3.0cm(TL)가 된다고 하여 이러한 근거를 뒷받침해 준다.

연령과 성장에 관한 연구에 있어서 채집된 표본의 체장범위 및 개체수는 연령별 성장 매개변

Table 5. Comparison of growth parameters of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* in the East Sea of Korea

Results	Sex	Growth parameters			Size	Remark
		L_∞(cm)	K(/year)	t_o(year)		
Mio(1967)	F	27.4			BL	Otolith
	M	26.0				
Choi et al.(1983)	Sex combined	33.5	0.170	–0.840	FL	Otolith
Lee et al.(2006)	F	25.9	0.298	–0.445	BL	Otolith
	M	21.4	0.292	–1.209		
Present study	F	31.6 (28.0)	0.266	–0.835	FL (BL)	Otolith
	M	27.7 (24.3)	0.273	–0.806		
	Sex combined	31.1	0.256	–0.654		

* Figure in ( ) represents a value calculated by the relationship between FL(Fork Length) and BL(Body Length) of the sandfish, *Arctoscopus japonicus* estimated from present study(BL=0.88FL+0.13(R^2=0.986) for female, BL=0.86FL+0.44(R^2=0.951) for male).

수를 결정짓는데 중요한 영향을 미치는 것으로 생각된다. 생태학적 연구를 수행함에 있어 소형개체나 대형개체에 대한 표본 수집에 어려움이 많아 이들에 대한 정보가 누락되는 경우가 있는데, 이 경우 그 결과를 분석함에 있어 신중한 검토가 필요한 것으로 생각된다.

암·수 전체에 대한 이론적 최대체장을 Choi et al.(1983)에서는 33.5cm로 제시하였고, 본 연구에서는 31.1cm로 추정되었는데, 이러한 차이는 채집시기와 지역적 차이에 따른 환경적인 요인에서 기인한 것으로 보인다. 하지만 여기서 주목할 만한 사항은 과거에 비해 최대체장은 감소하고 성장계수는 0.170/년에서 0.256/년으로 증가한 것으로 나타나(Table 5), 도루묵 자원이 감소함에 따라 개체크기는 소형화되고 성장은 빨라졌음을 간접적으로 암시한다.

한편, Kim(1993)에 의하면, 종에 따라서는 성(sex)에 의해서 성장상태나 극한체장이 달라진다고 한다. 예를 들면, 참다랑어나 쏨뱅이류는 수컷이 크지만, 가자미류나 새치류는 암컷이 크다. 성별에 따른 이러한 성장의 차이는 성숙연령의 높고 낮음에 관계가 있는 것 같고, 빨리 성숙하는 종류의 성(sex)이 일반적으로 어체크기가 소형이라 한다. 그리고 이러한 성장능력은 여러 가지 생리적 및 환경적 요인에 따라 좌우된다고 한다. 따라서, 도루묵도 암컷이 크고 수컷이 작아 성별에 따른 성장차이를 보여, 암컷이 수컷보다 늦게 성숙하고 수명이 더 긴 것으로 추정된다.

이상의 연구결과를 종합해 보면, 도루묵은 암컷이 수컷에 비해 성장상태가 좋고, 과거에 비해 개체크기가 소형화되고 성장은 빨라진 것으로 판단되는데, 이러한 개체군 내 생태적 특성 차이 및 변화에 대해서는 보다 심도 깊은 연구가 필요한 것으로 생각된다. 또한 감소된 도루묵 자원을 효과적으로 회복시키기 위해서는 이러한 생태특성 및 해양환경 변화를 고려하여 자원의 변동을 예측·관리할 수 있는 종합적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

결 론

본 연구에서는 2004년 2월부터 2007년 12월까지 우리나라 동해안 강원연안에서 어획된 도루묵의 연령과 성장에 관하여 조사하였다. 연령형질로서는 이석을 사용하였고, 윤문형성시기는 12 – 2월로 산란시기와 일치하였으며, 연간 1회 형성되었다. 체장 – 체중 관계식과 성장식의 추정에서는 오차구조를 밝혀 매개변수의 추정에 정확성을 기하였다. 체장 – 체중 관계에서는 체장이 증가함에 따라 오차도 증가하는 곱의 오차구조를 가지며, 관계식은 암컷이 $TW = 0.0083FL^{3.01}$ ($R^2 = 0.966$), 수컷이 $TW = 0.0079FL^{3.04}$ ($R^2 = 0.969$)으로 나타났다. 도루묵의 성장식에 대한 오차구조는 합의 오차구조를 가지고 있었으며, 비선형회귀방법에 의한 암컷의 von Bertalanffy 성장식은 $L_t = 31.6(1 - e^{-0.266(t+0.835)})$로 추정되었고, 수컷은 $L_t = 27.7(1 - e^{-0.273(t+0.806)})$로 추정되었다. 도루묵은 암·수간 연령별 성장차이가 유의한 것으로 나타났다($P < 0.001$).

사 사

이 연구는 국립수산과학원(동해연안어업자원조사, RP – 2008 – FR – 028)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

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.

Kim, I.S., Y. Choi, C.Y. Lee, Y.J. Lee, B.J. Kim and J.H. Kim, 2005. Illustrated book of Korean fishes.

Kyohak Press, Seoul, pp. 615.

Kim, Y.H., S.K. Lee., D.W. Lee and Y.S. Kim, 2006. Age and growth of small yellow croaker, *Larimichthys polyactis* in the South Sea of Korea. Korean J. Ichthyol., 18(1), 45 – 54.

Kim, Y.S., 1993. Fisheries Resource. Sinheung press, Busan, pp. 291.

Lee, H.W. and Y.J. Kang, 2006. Age determination and growth using the transverse section method of otoliths sandfish, *Arctoscopus japonicus*, in the eastern sea of Korea. Ocean and Polar Research, Vol. 28(3), 237 – 243.

Lee, H.W., J.H. Lim and Y.J. Kang, 2006. Sexual maturation and spawning in the sandfish *Arctoscopus japonicus* in the east sea of Korea. J. Kor. Fish. Soc., 39(4), 349 – 356.

Lee, M.W., C.I. Zhang and J.U. Lee, 2000. Age determination and estimation of growth parameters using otoliths of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean Waters. Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 36(3), 535 – 546.

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.

Myoung, J.G., J.M. Kim and Y.U. Kim, 1989. Egg development and morphology of sandfish, *Arctoscopus japonicus* larvae and juveniles reared in the laboratory. J. Kor. Fish. Soc., 22(3), 129 – 137.

Myoung, J.G., B.I. Kim, S.M. Lee and G.B. Jeon, 2002. The sea fishes of Korea. Darakwon Press, Seoul, pp. 287.

NFRDI(National Fisheries Research and Development Institute), 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 2nd ed. Hangul Press, Busan, pp. 333.

Okiyama, M., 1970. Studies on the population biology of the sandfish, *Arctoscopus japonicus*(STEINDACHNER) Ⅱ. Population analysis (preliminary report). Bull. Jap. Sea Reg. Fish. Lab., No. 22, 59 – 69.

Quinn T.J. and R.B. Deriso, 1999. Quantitative fish dynamics. Oxford Univ. Press, New York, pp. 542.

Shirai, S.M., R. Kuranaga, H. Sugiyama and M. Higuchi, 2006. Population structure of the sailfin sandfish, *Arctoscopus japonicus*(Trichodontiae), in the Sea of Japan. Ichthyol Res., 53, 357 – 368.

Tomoda, T., K. Hotta and T. Morioka, 2006. Growth, spawning and migration of hatchery-reared Japanese sandfish *Arctoscopus japonicus* released in Nanao Bay and Toyama Bay. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 72(6), 1039 – 1045.

Tsukamoto, K., Y. Shima and J. Hirokawa, 1991. Estimation of early growth history in the Japanese sandfish with otolith microstructure. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., 57(4), 585 – 589.

Zhang, C.I., 1991. Fisheries resource ecology. Woosung Publ. co., Seoul, pp. 399.

2008년 10월 24일 접수
2008년 11월 15일 1차 수정
2008년 11월 18일 수리