

한국 서해 대구, *Gadus macrocephalus* (Tilesius)의 성장특성

김희용 · 김상화* · 임양재¹ · 황학진² · 허선정³

국립수산과학원 남서해수산연구소 자원환경과, ¹국립수산과학원 서해수산연구소 자원환경과,
²한국수산자원관리공단 자원관리본부 전략사업실, ³한국수산자원관리공단 남해지사 생태환경실

Growth characteristic of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* in the West Sea of Korea

Heeyong KIM, Sanghwa KIM*, Yangjae IM¹, Hak Jin HWANG² and Sunjung HUH³

Fisheries Resources and Environment Division, Southwest Sea Fisheries Research Institute,
NFRDI, Yeosu 556-823, Korea

¹Fisheries Resources and Environment Division, West Sea Fisheries Research Institute,
NFRDI, Incheon 400-420, Korea

²Resources Management Headquarters, Korea Fisheries Resources Agency, Busan 612-020, Korea

³Ecology & Environment Division, South Sea Branch, Korea Fisheries Resources Agency,
Yeosu 612-020, Korea

The age and growth of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus* were investigated using left sagittal otoliths of 682 individuals collected in the West Sea of Korea from January to December 2007. The seasonal changes in the ratio of an opaque zone to interval between annular rings revealed that the narrow translucent parts of the otolith were annual growth rings formed between February and March once a year. The spawning period was December to January and therefore the duration from fertilization to the complete formation of the opaque zone became thirteen months. From the parameters calculated using the average length when the year ring was formed, the estimated von Bertalanffy growth equations were $L_t = 100.0 (1 - e^{-0.1640(t + 0.5247)})$ for females and $L_t = 64.6 (1 - e^{-0.3335(t + 0.3342)})$ for males when is total length in age t .

Keywords: *Gadus macrocephalus*, Pacific cod, Otolith, Age, Growth

*Corresponding author: onlyslv@nfrdi.re.kr, Tel: 82-61-690-8946, Fax: 82-61-686-1588

서론

대구 (*Gadus macrocephalus*)는 대구목 (Gadiformes), 대구과 (Gadidae), 대구속 (*Gadus*)에 속하는 어종으로 (Yoon, 2002), 우리나라 서해와 동해, 북쪽으로는 오호츠크해, 베링해, 북동 태평양쪽의 알래스카만에서 캘리포니아 연안까지 광범위한 해역에 분포하며, 대륙붕과 대륙사면 상부에 분포하는 대표적인 냉수성 저서어류로 (Bakkala, 1984) 우리나라를 포함한 태평양 연안국의 중요한 상업어종이다 (Westrheim, 1996).

대구는 동해와 서해계군으로 나뉘어져 있으며, 동해계군은 시베리아 연해주방면에서 경상남도 서쪽 끝까지 분포하며 (Chyung, 1988), 서해계군은 전라남도 대흑산도 부근에서 북쪽으로 서해안 일대에 분포하는 것으로 알려져 있지만 (Uchida, 1936), 최근에 한반도 주변해역에서 서식 및 분포하는 태평양대구는 유전학적으로 동해, 서해, 남해의 세 개의 계군으로 구분할 수 있다고 보고되어 (Gwak and Nakayama, 2011), 해역별 대구의 생리, 생태연구가 구분되어 수행되어야 할 필요가 있다.

우리나라 연안에 서식하는 대구관련 연구로는 Uchida (1936)가 분포, 어획시기 및 어장, 생활사 그리고 난 발생과 자치어 성장과정에 대해서 보고 하였으며, Lee et al. (2005)이 한국 동해안 대구의 성숙과 산란, Kim et al. (2007)이 진해만에서 산란하는 대구의 난 발생 및 자어 형태 발달 그리고 Seo et al. (2007)와 Lee et al. (2007)이 태평양대구의 난발생과 자·치어 성장에 미치는 수온의 영향에 대하여 보고하였다.

대구의 연령과 성장에 관해서는 Kennedy (1970)에 의해 비늘에 의한 대구의 연령사정법이 개발되어 널리 이용되었지만, 비늘에 의한 연령사정법이 대구치어에게는 적당하지 않다고 보고되기도 하였다 (Beamish et al., 1978). 이후, 대구의 연령사정에는 지느러미의 연조 및 지느러미와 비늘의 혼합에 의한 연령사정법 등 여러 가지 방법이 시도되었으며 (Beamish, 1981;

Westrheim and Shaw, 1982; Chilton and Beamish, 1982), 그밖에도 이석, 척추골, 아가미덮개 등의 많은 연령형질들이 이용되었지만, 대부분이 대구의 연령사정에는 적절하지 않았다 (Mosher, 1954; Ketchen, 1970; Lai, 1987). 이석을 본격적으로 이용한 태평양대구의 연령사정은 Sakurai and Hukuda (1984)에 의해 적용되었고, Hattori et al. (1992)은 이석이 대구의 연령사정에 가장 적합한 연령형질이라고 보고하였다. 우리나라에서는 동해계군 대구의 자어 성장에 대한 연구가 보고되었으며 (Seo et al. 2007), 산란기간 동안 채집된 진해만 대구의 이석을 이용하여 치어 및 성어의 성장특성에 대해 연구된 바가 있지만 (Choi, 2012), 서해 대구의 연령과 성장에 대한 연구는 아직까지 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구는 서해대구의 연령과 성장매개변수를 추정하여 독립계군으로 구분되는 서해 대구계군의 성장특성을 이해하고 다른 해역 대구의 성장특성과 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 대구 시료는 2007년 1월부

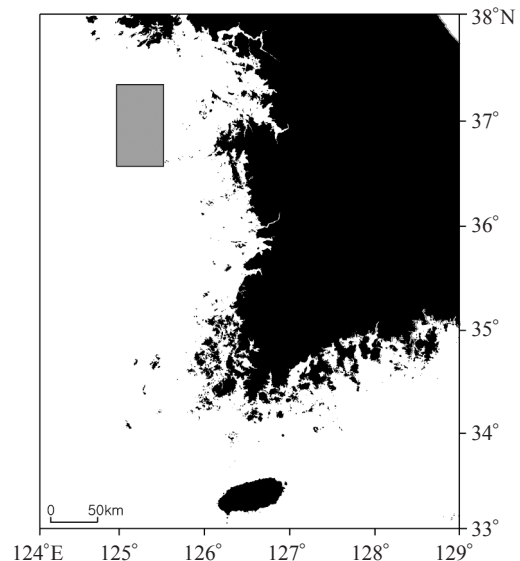


Fig. 1. Sampling site of *Gadus macrocephalus* in the West Sea of Korea.

터 12월까지 우리나라 서해안 중부해역에서 (Fig. 1), 매월 1회 근해자망어선에 의해 어획된 시료를 구입하여 확보하였다.

채집된 시료는 실험실에서 암·수 구분하여 전장 (TL)을 기준체장으로 0.1cm까지 체중 (BW)은 0.1g까지, 생식소 중량 (GW)은 0.01g까지 전자저울 (AND HL-100, Max. 100g, d=0.01g)을 이용하여 측정하였다.

이석은 아가미의 부착부위를 떼어내고 두개골을 절개하여 좌·우로 보이는 이석 한 쌍을 추출하였고, 표면의 이석나광과 이물질을 제거한 후 30% 알코올에 세척하여 실리콘 틀에 레진을 이용하여 몰딩시킨 후 핵을 중심으로 1mm 정도의 두께로 횡단으로 절편하였다. 연령사정에는 윤문판독의 통일성을 위해 좌측 이석만을 이용하였으며, 불투명대에서 투명대로 이행되는 경계를 윤문으로 간주하였고, 실체현미경 (Olympus SZ40 with SZ-PT)과 영상분석시스템 (Image analyzer, Image-Pro Plus 4.5)을 이용하여 이석경과 각 윤문까지의 거리 (m)를 mm단위로 측정하였다 (Fig. 2). 또한, 윤문판독에 있어서 주관적인 판단에 따른 개인적인 오차를 줄이고 신뢰도를 높이기 위해 판독된 이석 중에서 20%를 무작위로 선택하여 재 삼자에 의한 재 판독을 실시하였다.

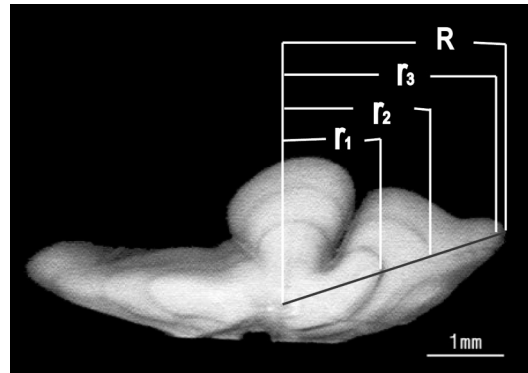


Fig. 2. The transverse section of *Gadus macrocephalus* otolith. R and rn indicate otolith radius and ring radius, respectively.

윤문이 형성되는 시기와 그 계절적인 주기성을 파악하여 연령을 판단하기 위해 연역지수 (Marginal Index, MI)의 월 변화를 조사하였고 (식 1), 초점과 제1윤문까지의 형성기간을 추정하기 위해 생식소속도지수 (Gonadosomatic Index, GSI)의 월 변화 (식 2)를 확인하여 연역지수의 월 변화와 비교하였다.

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

$$GSI = \frac{GW}{BW} \times 10^3 \quad (2)$$

Table 1. Number of individuals and size range of *Gadus macrocephalus* collected monthly in the study area in 2007

Month	Female			Male		
	Num. of individuals	Size range (cm)	Mean	Num. of individuals	Size range (cm)	Mean
Jan.	22	27.4~56.2	39.6	6	27.0~63.0	45.9
eMar.	39	19.7~72.2	28.6	36	20.9~29.7	25.7
mMar.	45	29.5~77.0	43.7	30	22.9~66.5	38.4
Apr.	29	32.7~70.0	47.1	9	32.4~69.2	41.9
May	14	33.8~72.5	49.9	16	34.2~57.3	43.4
Jun.	29	32.4~89.3	42.6	45	32.3~72.5	42.1
Jul.	28	37.2~79.1	49.8	27	34.8~76.5	44.8
Sep.	27	36.1~83.8	49.8	44	35.0~70.0	43.6
Oct.	61	34.0~83.3	48.8	66	35.6~59.2	43.4
Nov.	23	39.2~87.8	54.5	28	37.2~67.4	45.8
Dec.	40	38.8~73.3	48.6	18	38.1~59.3	45.5
Num. total & mean size	357	19.7~89.3	45.2	325	20.9~76.5	41.2

*eMar. and mMar : early and middle March, respectively

여기서 R은 이석의 중심부 초점에서 연변까지의 거리이고, r_n 은 초점에서 n번째 윤경까지의 거리이며, GW는 생식소 중량 (Gonad weight, g), BW는 체중 (Body weight, g)이다.

대구이석에 나타나는 윤문을 연륜으로 인정하여 체장과 윤경의 관계식을 통해 연령별 역계산 체장을 구하였다. 연륜으로부터 계산된 연령별 체장을 이용하여 Walford 방법으로 추정된 각각의 매개변수 값들을 사용하여 von Bertalanffy 성장식 (식 3)을 추정하였다.

$$L_t = L_{\infty}(1 - e^{-k(t-t_0)}) \quad (3)$$

여기서, L_t 는 연령 t의 체장, L_{∞} 는 이론적 최대체장, K는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다.

결 과

본 연구에서는 총 960개체의 이석 중에서 연마과정 중 파손된 것 및 불투명대와 투명대의 경계가 불분명한 것을 제외한 후 최종적으로 암컷 357개, 수컷 325개 총 682개의 판독결과를 사용

하였으며 (Table 1), 암컷의 전장 범위는 19.7~89.3cm, 수컷은 20.9~76.5cm로 암컷이 수컷보다 전장이 큰 개체들이 많았다 (Fig. 3).

대구의 각 윤경은 암·수 모두 일정한 간격으로 분포하고, 이석경이 증가함에 따라 윤경이 직선적으로 증가하는 비례관계를 가지고 있었으

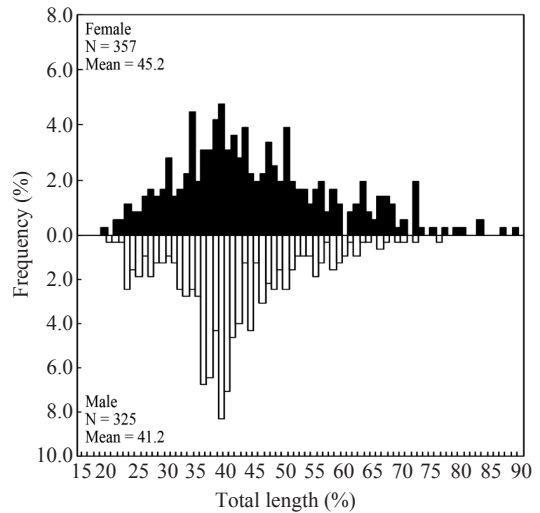


Fig. 3. Length-frequency distribution of *Gadus macrocephalus*.

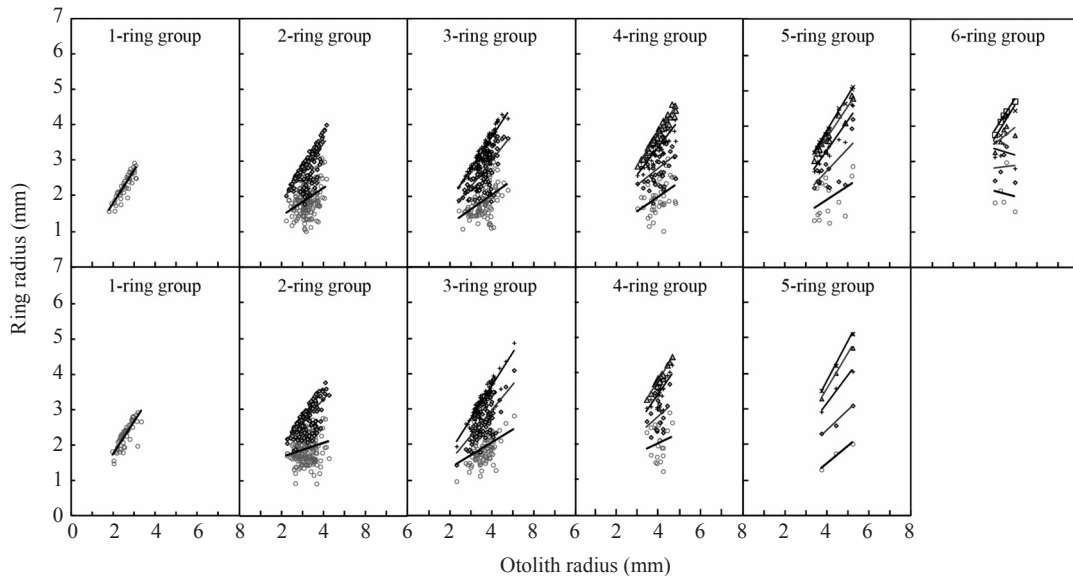


Fig. 4. Relationship between otolith radius and ring radius of *Gadus macrocephalus* by each ring group. Upper and lower panels are for female and male, respectively.

며, 각 윤문은 인접한 윤문과 뚜렷이 구분되었으며 (Fig. 4.), 또한, 20% 무작위 추출 표본에 의한 재판독에 의해 판독한 윤문수는 1차 판독자의 결과와 약 70% 일치하였으며, 유의한 상관성을 가지고 있어 (상관계수 0.88, $t=23.125$, $df=149$, $P<0.01$), 대구 이석의 윤문이 연륜으로 적합하다고 판단되었다.

윤문의 형성시기 및 연간 형성횟수를 파악하기 위해 연역지수 (MI)의 월 변화를 보면 (Fig. 5), 암·수 모두 3월 중순이후부터 증가하기 시작하

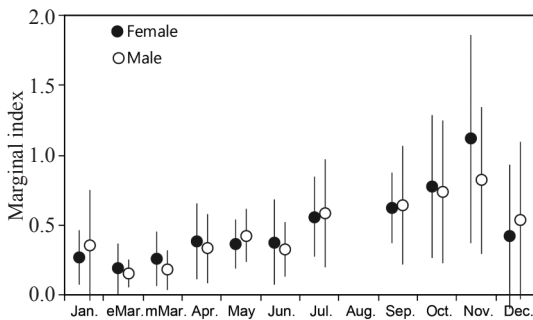


Fig. 5. Monthly changes in marginal index of *Gadus macrocephalus*.

여 11월에 각각 1.12, 0.82로 최대값이 나타난 후, 12월에 급격히 감소하기 시작하여 3월 초순에 각각 0.19, 0.15로 최소값을 보였다. 하지만 3월 초순의 MI값이 0에 가깝지 않기 때문에 2월에 최소값이 형성될 것으로 예상되며, 따라서, 불투명대에서 투명대로 이행하는 시기는 연역지수가 최소값이 형성되는 2월과 3월 사이로 볼 수 있고, 이 때, 윤문이 형성된다고 판단할 수 있다.

이석중심으로부터 각 윤문까지의 평균윤경은 Table 2와 같고, 암컷의 윤문별 평균윤경은 $r_1=1.99\text{mm}$ 에서 $r_7=4.95\text{mm}$ 였고, 수컷은 $r_1=1.94\text{mm}$ 에서 $r_6=4.32\text{mm}$ 로 나타났으며, 암컷은 7세, 수컷은 6세까지 나타났다.

이석의 초륜이 형성되는 시기와 기간을 확인하기 위해 생식소숙도지수 (GSI)의 월별 변화를 조사한 결과, 암·수 모두 12월에 최고값이 나타난 후, 1월 이후 급격히 떨어져 10월 초순까지 비슷한 경향을 보이고 있어 산란기는 12~2월간이며, 주산란기는 12~1월간으로 추정된다 (Fig. 6).

윤문형성시기와 주산란기를 바탕으로 서해계 대구의 초륜이 형성되는 시기는 2월이며 그

Table 2. Mean ring radius on the otolith of *Gadus macrocephalus* in the West Sea of Korea. Estimated age indicates an age inferred from the number of annular ring

Sex	Estimated age	No. of samples	Mean otolith ring radius (mm)							
			R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇
Female	1	45	2.56	2.28						
	2	159	3.19	1.91	2.81					
	3	91	3.56	1.85	2.68	3.26				
	4	40	3.97	1.96	2.77	3.37	3.77			
	5	15	4.03	1.88	2.68	3.26	3.67	3.92		
	6	5	4.40	2.09	2.84	3.27	3.69	4.05	4.26	
	7	1	5.03	1.94	2.54	3.65	4.15	4.55	4.74	4.95
	Total	357	Mean	1.99	2.72	3.36	3.82	4.18	4.50	4.95
			SD	0.15	0.11	0.17	0.22	0.33	0.34	
Male	1	51	2.58	2.30						
	2	166	3.17	1.88	2.74					
	3	85	3.55	1.88	2.65	3.24				
	4	19	4.03	2.03	2.86	3.43	3.83			
	5	3	4.44	1.69	2.66	3.35	3.94	4.29		
	6	1	4.42	1.86	2.67	3.53	3.88	4.16	4.32	
	Total	325	Mean	1.94	2.72	3.39	3.88	4.22	4.32	
			SD	0.21	0.09	0.12	0.05	0.09		

형성기간은 1월부터 이듬해 2월까지 약 1.08 년 (13개월)으로 추정할 수 있으며,

윤문형성시의 전장을 역계산하기 위해 이석 반경 (R)과 전장 (TL)간의 관계식을 추정한 결과, 암컷은 $TL = 16.40R - 9.839$ ($r^2 = 0.571$, $P < 0.001$), 수컷은 $TL = 14.24R - 5.262$ ($r^2 = 0.642$, $P < 0.001$)로 나타났다 (Fig. 7).

공분산분석을 통해 암수간 성장의 차이를 알

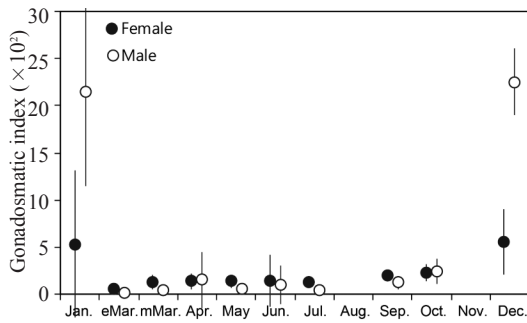


Fig. 6. Monthly variation of gonadosomatic indices of *Gadus macrocephalus*. Circles and vertical bars denote mean and standard deviation range, respectively.

아본 결과, 기울기차 (intercept)의 검정에서는 매우 유의한 차 ($t = 6.582$, $df = 699$, $P < 0.001$)가 있

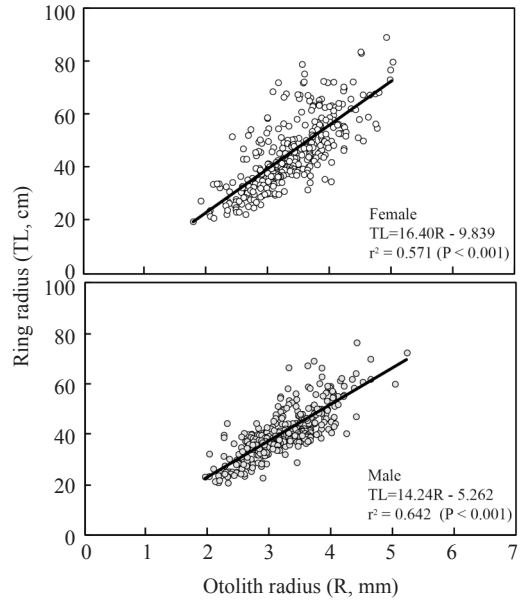


Fig. 7. Relationship between total length (TL) and otolith radius (R) of *Gadus macrocephalus*.

Table 3. Back-calculated total length at the formation of annuli in otolith of *Gadus macrocephalus*

Female								
	Ring group	L _{1.08}	L _{2.08}	L _{3.08}	L _{4.08}	L _{5.08}	L _{6.08}	L _{7.08}
Total length (cm)	1	27.60						
	2	21.46	36.17					
	3	20.42	34.11	43.70				
	4	22.33	35.52	45.43	51.95			
	5	20.93	34.09	43.66	50.38	54.51		
	6	24.39	36.73	43.87	50.65	56.63	60.00	
	7	21.98	31.89	50.05	58.16	64.81	67.93	71.41
	Mean	22.73	34.75	45.34	52.78	58.65	63.97	71.41
	S.D.	2.50	1.76	2.73	3.65	5.44	5.61	
Male								
	Ring group	L _{1.08}	L _{2.08}	L _{3.08}	L _{4.08}	L _{5.08}	L _{6.08}	L _{7.08}
Total length (cm)	1	27.47						
	2	21.50	33.75					
	3	21.51	32.45	40.94				
	4	23.63	35.40	43.54	49.32			
	5	18.84	32.66	42.44	50.82	55.84		
	6	21.19	32.77	45.00	50.02	53.93	56.19	
		Mean	22.36	33.41	42.98	50.05	54.88	56.19
	S.D.	2.93	1.22	1.72	0.75	1.34		

었으나 위치차 (elevation)의 검정에서는 차이 ($t = 0.298$, $df = 700$, $P > 0.05$)가 있는 것으로 나타나 암수를 각각 분리하여 성장식을 구하였다.

윤문형성시의 평균윤경을 사용하여 이석반경과 전장간의 관계식으로부터 역계산된 평균전장은 암컷의 경우 $L_{1.08} = 22.73\text{cm}$ 에서 $L_{7.08} = 71.41\text{cm}$ 로 나타났고, 수컷은 $L_{1.08} = 22.36\text{cm}$ 에서 $L_{6.08} = 56.19\text{cm}$ 로 나타났으며 (Table 3), 역계산된 연령별 전장으로부터 Walford 방법을 사용하여 추정된 대구의 암·수 각각에 대한 von Bertalanffy 성장식은 Fig. 8과 같다. 따라서 대구의 성장 매개변수는 암컷의 경우 이론적 최대체장 (L_{∞})은 100.0cm , 성장계수 (K)는 $0.1640/\text{년}$, 체장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0)은 -0.5247세

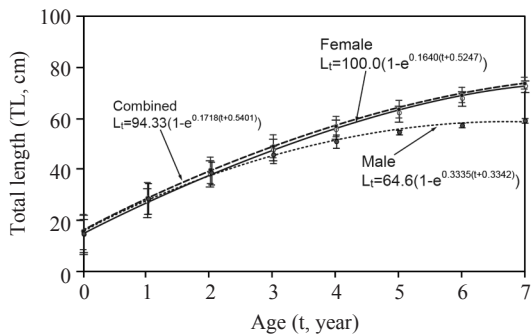


Fig. 8. Von Bertalanffy growth curves for the total length of *Gadus macrocephalus*.

로 추정되었고, 수컷은 각각 64.6cm , $0.3335/\text{년}$, -0.3342세 로 추정되었다.

고찰

대구 of 연령사정은 상당히 오랫동안 수행되어 왔다. Ketchen (1970)은 비늘을 연령사정의 기준으로 이용하였으나 고령어에 대한 정도가 떨어진다라는 것이 밝혀지게 되었다 (Westrheim and Shaw, 1982). Beamish (1981)는 등지느러미의 연조를 얇게 박편하여 연령을 추정하는 방법을 보고하였지만, Kimura and Lyons (1990)은 연조의 최적 절단부위를 찾는 것이 어렵고, 생활사 초기에 형성되는 윤문이 명확하지 않은 개체가 많았고, 특히, 고연령어에 대해서는 이석에 의한 연령추정이 적당하다고 보고하였다. 본 연구에서는 서해에 서식하는 대구의 연령을 추정하기 위해 렌즈형인 이석 (otolith, 편평석)의 횡단면 (transverse section)을 이용하였다. Hattori et al. (1992)는 북해도해역의 대구이석을 관독한 결과, 투명대는 10~12월, 불투명대는 3~5월에 형성되는 특징을 이용해, 투명대를 연령결정의 기준으로 삼았으며, 본 연구에서 조사된 대구이석의 경우에도 유사한 시기에 좁은 폭의 투명대가 형성되어 불투명대와 투명대의 경계를 연륜으로 결정하여 연령을 추정하였다.

Table 4. Comparison of the growth characteristics of *Gadus macrocephalus* in the West Sea and around the waters of Japan

Survey area	Body length at full age (cm)									Parameter			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	L_{∞} (cm)	K	t_0	Age
off Southern Coast of Hokkaido		40.34	53.18	63.09	70.74	76.28				96.6	0.259	-0.087	6
Musashi-Tai Regin		25.91	47.77	62.53	72.51	79.25	83.81	86.89		93.3	0.392	1.172	8
off Kinkasan	20.76	37.84	51.59	62.64	71.52	78.67				108.0	0.218	0.021	6
Matsumae-Kojima-Tai Region		45.38	55.45	64.36	72.23	79.20				132.4	0.123	-0.912	6
off Kamchatka Peninsula			38.25	47.99	55.37	60.96	65.19	68.40	70.83	78.4	0.278	0.593	9
Present study	22.46	33.87	44.30	51.57	57.19	61.92	68.94			94.33	0.172	-0.540	7

생식소숙도지수를 통한 대구의 산란시기는 1월과 3월 초순사이였으며, 연역지수가 최저값을 나타내는 시기는 2월에서 3월 초순으로 초류의 형성기간은 1.08년 (약 13개월)이 소요되는 것으로 추정되었다. 일본 북해도 태평양측의 대구를 이용한 Hattori et al (1992)의 연구결과, 윤문형성시기를 10~12월경으로 추정하여, 본연구결과와 윤문형성시기보다 8개월 정도 빠르게 나타났고, 윤문형성횟수는 연 1회로 일치하는 결과를 보여, 두 해역 윤문형성시기에 차이가 있음을 보였다.

Hattori et al. (1992)의 경우, 암수구별 없이 연령사정이 수행되어졌으며, 또한, Hattori (1994)는 성장과 수명에 암수간 차가 거의 없으며, 50% 성숙체장은 2~5cm 정도 수컷이 작다고 보고하였다. 하지만, 서해대구 성장속도는 1세군 암컷의 평균전장 (Total length)이 25.48cm, 수컷의 평균전장이 22.37cm로 나타났고, 암컷 6세군의 평균전장이 70.19cm, 수컷 6세군의 전장이 56.20cm로 나타나 암컷이 수컷에 비해 성장속도가 빠름을 알 수 있다. 특히, 대구의 암·수간 연령별 성장은 1세부터 큰 차이를 보였으며 ($P>0.05$), 암컷이 수컷보다 성장률이 높아 4세 이후부터는 점차 성장의 차이가 커지는 것으로 나타났다 ($P<0.01$). 그러므로 서해대구 성장속도를 암수구별 없이 성장특성을 이해하기에는 어려운 것으로 판단되었다.

일본 북해도 태평양해역의 6세군의 평균체장 (Body length)이 76.28cm, 무사시-타이해역 (북해도 북동해역)의 6세군의 평균체장이 79.25cm, 킨카잔 해역 (일본 동부 센다이만)의 6세군의 평균체장이 78.67cm, 마즈마에 코지마-타이해역 (쓰가루해협)의 6세군의 평균체장이 79.20cm, 캄차카해역의 6세군의 평균체장이 60.96cm로 보고되었고 (Hattori et al., 1992), 서해대구 6세군의 평균전장이 61.92cm로 캄차카해역보다 조금 더 크게 나타났지만, 기준체장 (Body length)이 본 연구에서 이용된 전장 (Total length)에 비해 크게 작은 점을 고려해볼 때, 일본 북해도 및 동

부해역에서의 대구의 평균전장은 서해대구 평균전장보다 큰 것으로 나타났다 (Table 4).

게다가, 각 비교해역들의 위도상의 위치를 보면, 서해 대구가 채집된 우리나라 서해중부해역보다 모두 고위도에 위치해 있다. 동해 대구의 경우, 3℃ 이상일 때, 고수온보다는 저수온에서 부화소요시간이 짧아지며, 부화율도 높게 나타났으며, 상대적으로 저수온일 때, 초기발생에 유리하고 (Kim et al., 2007; Seo et al., 2007), 자어의 성장에 있어서 7℃와 10℃에서 성장의 차이는 없었지만 생존율은 낮은 수온에서 높게 나타나 (Seo et al., 2007), 상대적으로 저수온 해역인 고위도에서 냉수성 저어류인 대구의 발생 및 성장에 유리한 해양환경특성을 가질 수 있다고 볼 수 있다. 그러므로 일본 북해도 주변해역의 대구의 성장이 서해대구 성장에 비해 빠를 수 있는 환경조건을 가지고 있다고 볼 수가 있다.

결론

2007년 1월부터 12월까지 우리나라 서해안 중부해역에서 채집된 대구의 이석을 이용하여 연령 및 성장특성을 조사하였다. 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계는 1년에 한번 2월에 형성되고 있으며, 이를 윤문으로 간주하였다. 주 산란기는 12월에서 1월로 추정되어 대구의 초류이 형성되는 시기는 1월부터 이듬해 2월까지 약 1.08년으로 추정되었다. 윤문형성 시 전장평균치를 이용하여 추정된 매개변수로부터 계산된 von Bertalanffy 성장식은 암컷이, 수컷이 였다. 이들 식으로부터 구한 이론적 최대전장은 암수 각각 100.0cm와 64.6cm였으며, 성장계수는 암수 각각 0.1640/yr과 0.3335/yr로 우리나라 서해안 대구는 수컷에 비해 암컷이 성장이 더 빠르다는 것이 밝혀졌다.

사사

본 연구는 국립수산물과학원 (서해 연안어업 및 환경생태 조사, RP-2013-FR-062)의 지원에

의해 수행된 연구결과입니다.

REFERENCES

- Bakkala RG. 1984. Pacific cod of the eastern Bering Sea. Int North Pac Fish Comm Bull 42, 157–179.
- Beamish RJ. 1981. Use of fin-ray sections to age walleye pollock, Pacific cod, and albacore, and importance of this method. Trans Amer Fish Soc 110, 287–299.
- Beamish RJ, Weir KR, Scarsbrook JR and Smith MS 1978. Growth of young Pacific hake, walleye pollock, Pacific cod and lingcod in Stuart Channel in 1976. Fish Mar Serv MS Rep 1518, 111.
- Chilton DE and Beamish RJ. 1982. Age determination methods for fishes studied by the ground fish program at the Pacific Biological Station. Can Spec Pub Fish Aquat Sci 60, 102.
- Choi BY. 2012. Ecological Study on Pacific Cod's (*Gadus macrocephalus*) Resources in Jinhae Bay, Korea. M.S. Thesis, Gyeongsang Natl. Univ. Tongyeong, Korea, 16–24.
- Gwak WS and Nakayama. 2011. Genetic variation and population structure of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* in Korean waters revealed by mtDNA and msDNA markers. Fish Sci 77, 945–952.
- Chyung MK. 1988. The fishes of Korea. IL – Ji Sa Seoul Korea, 1–257.
- Hattori T, Sakurai Y and Shimazaki K. 1992. Maturation and reproductive cycle of female Pacific cod in waters adjacent to the southern coast of Hokkaido, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi 58, 2245–2252.
- Hattori T. 1994. Study on the growth, maturity and breeding ecology of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). Ph.D. Thesis Hokkaido Univ Japan, 1–150.
- Ketchen KS. 1970. An examination of criteria for determining the age of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from otoliths. Fish Res Bd Can Tech Rep 171, 1–42.
- Kennedy WA. 1970. Reading scales to age Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from Hecate Strait. J Fish Res Bd Can 27, 915–922.
- Kim TJ, Kim BG, Park CY, Choi BY, Joo HU,, Ji HS,, Shin SY, Lee SG and Gwak WS. 2007. Characteristics of Pacific cod, *Gadus macrocephalus* during the spawning period in the Jinhae Bay. Korea Fish market survey Abstract Ahn Meet Kor Fish Soc, 146.
- Kim TJ, Park CY, Lee SG and Gwak WS. 2007. Morphological development of eggs of the Pacific cod, *Gadus macrocephalus* on for estimating age composition using age-length key. Fish Bull 85, 179–185.
- Lee CS, Hur YH, Lee KY, kim WK, Hong SH, Hwang SJ and Choi SH. 2005. Maturity and spawning of pacific Cod (*Gadus macrocephalus*) in the East Sea. J Kor Fish Soc 38, 245–250.
- Lee JY. Lee CS, Lee WK, Park SU and Min BH. 2007. Effects of water temperature on egg development, hatching and larval growth rearing of the Pacific cod *Gadus macrocephalus*. J Aquaculture 20, 260–264.
- Mosher KH. 1954. Use of otoliths for determining the age of several fishes from the Bering Sea. J Cons Perm Int Expl Mer 19, 337–344.
- Seo YS, Park ME, Kim JY and Lee SU. 2007. Egg development and juvenile growth of the Pacific cod *Gadus macrocephalus* (Korean East Sea Population). J Kor Fish Sci 40, 380–386.
- Uchida K. 1936. On the Pacific cod of adjacent waters to Korea. Chousen no Suisan 130, 24–39.
- Westrheim SJ and shaw W. 1982. Progress report on validating age determination methods for Pacific cod (*Gadus macrocephalus*). Can S Rep Fish Aquat Sci 1670, 41.
- Westrheim SJ. 1996. On the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in British Columbia waters, and a comparison with Pacific cod elsewhere, and Atlantic cod (*G. morhua*). Can Tech Rep Fish Aquat Sci 2092, 390.
- Yoon CH. 2002. Fishes of Korea with pictorial key and systematic list. Academybook Seoul Korea, 1–447.

2013년 4월 15일 접수

2013년 7월 3일 1차 수정

2013년 7월 26일 2차 수정

2013년 7월 27일 수리