

## 동해 포항 연안 문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*)의 연령과 성장

양재형 · 이해원<sup>1</sup> · 이재봉<sup>2</sup> · 차형기<sup>3</sup> · 김성태<sup>4</sup> · 윤병선\*

동해수산연구소 자원환경과, <sup>1</sup>국립수산과학원 연구협력과, <sup>2</sup>국립수산과학원 원양자원과, <sup>3</sup>국립수산과학원 연근해자원과, <sup>4</sup>독도수산연구센터

## The Age and Growth of Marbled Flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in the Coastal Waters of East Sea off Pohang

Jae Hyeong Yang, Hae won Lee<sup>1</sup>, Jae Bong Lee<sup>2</sup>, Hyung Kee Cha<sup>3</sup>, Sung Tae Kim<sup>4</sup> and  
Byoung Sun Yoon\*

East Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Gangneung 25435, Korea

<sup>1</sup>Research Cooperation Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

<sup>2</sup>Distant Water Fisheries Resources Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

<sup>3</sup>Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

<sup>4</sup>Dokdo Fisheries Research Center, National Institute of Fisheries Science, Pohang 37709, Korea

The age and growth of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in coastal waters of the East Sea of Korea off Pohang were determined, by evaluating monthly samples of commercial catches, caught by gill nets and longlines from February 2013 to January 2014. New annuli from annually in *P. yokohamae* otoliths, and the boundary between the opaque and translucent zones forms from March to May. The relationships between total length (TL) and total weight (TW) were  $TW=0.009TL^{3.128}$  ( $R^2=0.969$ ) for females and  $TW=0.008TL^{3.150}$  ( $R^2=0.964$ ) for males. The TLs at the time of annulus formation, back-calculated from the otolith-length relationship by reference to the von Bertalanffy growth curves, were  $L_t=52.63 (1 - \exp^{-0.231(t+0.033)})$  for females and  $L_t=36.22 (1 - \exp^{-0.400(t+0.117)})$  for males. Commencing at the age of 3 years, females grew faster than males ( $P<0.05$ ).

Key words: *Pseudopleuronectes yokohamae*, Marbled flounder, Age, Growth

### 서 론

문치가자미(*Pseudopleuronectes yokohamae*)는 가자미목(Pleuronectiformes) 가자미과(Pleuronectidae)에 속하는 어종으로 우리나라 전 해역, 일본 북해도 이남 및 동중국해에 분포하며, 주로 연안에 서식하는 것으로 알려져 있다(Kim and Youn, 1994; Kim et al., 2005). 우리나라 서해안의 문치가자미는 주로 북위 37도 이북해역에서 분포 하지만 수온이 낮아지는 겨울철에는 남하하여 분포하는 것으로 알려져 있고(NFRDI, 2004), 남해안의 문치가자미는 겨울철에 연안에서 산란을 하고 수온이 상승하면 외해로 이동하는 것으로 알려져 있다(Seo et al., 2010). 또한 문치가자미는 연안에서 주로 갯지렁이류, 새우류, 게류, 이매패류 등을 섭식한다(Choi et al., 2002; NFRDI, 2014). 최근까지의 문치가자미에 대한 연구동향을 보면, 일

본에서 난과 자어의 초기발달에 관한 연구(Yusa, 1960), 연령과 성장 및 재생산에 관한 연구(Suzuki, 1967; Solomon et al., 1987; Shafieipour et al., 1999; Kooka et al., 2000; Kume et al., 2006; Tanda et al., 2008; Lee et al., 2009; Hoshio et al., 2012) 등 해역별로 많은 생태연구가 진행되었다. 국내에서도 난발생과 부화자어에 관한 연구(Kim et al., 1983), 생식특성 및 개체군의 동태연구(Kang et al., 1985; Lee et al., 1985), 식성과 성숙산란에 대한 연구(Huh et al., 2012), 연령과 성장에 관한 연구(Kim et al., 1991; Park, 1997; Moon and Lee, 1999; Kim et al., 2015) 등 많은 연구가 이루어졌다. 하지만 우리나라의 대부분 연구가 남해안과 서해안에 서식하는 문치가자미에 대한 연구이다. 최근 동해안에는 어족자원이 감소함에 따라 문치가자미의 어획 의존도가 증가하고 있어, 문치가자미의 지속적인 자원이용을 위한 자원관리의 필요성이 증가하고 있다. 하지만 이

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2017.0278>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Korean J Fish Aquat Sci 50(3) 278-286, June 2017

Received 3 February 2017; Revised 21 March 2017; Accepted 1 June 2017

\*Corresponding author: Tel: +82. 33. 660. 8565 Fax: +82. 33. 661. 8513

E-mail address: mammz@naver.com

해역에서는 성숙과 산란에 대한 연구(Kim et al., 2016)만 수행되었을 뿐 효율적 자원관리에 필요한 성장 등의 생태연구 자료는 부족하다. 본 연구는 우리나라 동해의 포항연안에서 자망과 연승어업에 의해 어획된 문치가자미의 이석을 연령형질로 사용하여 연령 및 성장 패턴을 파악하고, 문치가자미의 자원을 효율적으로 이용·관리할 수 있는 방안을 모색하고자 자원생태학적 특성치 자료를 제공하는 것에 목적을 두고 있다.

### 재료 및 방법

본 연구에서 사용한 문치가자미 시료는 2013년 2월부터 2014년 1월까지 포항연안의 연안자망 및 연안연승어업에 의해 어획된 것이다(Fig. 1). 연령분석을 위해 이석을 추출하고 분석한 문치가자미는 총 975개체로 암컷 577개체와 수컷 398개체였다(Table 1). 포항수협 위판현장에서 직접 채집한 시료는 실험실로 운반 후 암·수를 구분하여 전장(TL, 0.1 cm)과 전중(TW, 0.1 g)을 측정하였다. 문치가자미의 연령분석을 위하여 연령형질인 이석을 이용하였고, 이석은 두개골을 절개하여 좌·우 한 쌍을 추출하였다. 추출한 이석은 표면의 유기물을 제거하고, 50% 알코올에 세척하여 보존하였다. 이석은 연령사정이 용이하도록 사포(sandpaper)로 핵이 잘 관찰되는 부분까지 표면을 연마하여 관찰하였다(Solomon et al., 1987). 연령사정에는 윤문 판독의 통일성을 위해 우측 이석만을 이용하였으며, 투명대에서 불투명대로 이행하는 경계를 윤문으로 간주하였고, 이석반경(R)과 각 윤문까지의 거리는 실체현미경(DE/MZ-125, LEICA, German)과 영상분석시스템(Leopard, Zootoz, Korea)을 이용하여 측정하였다.

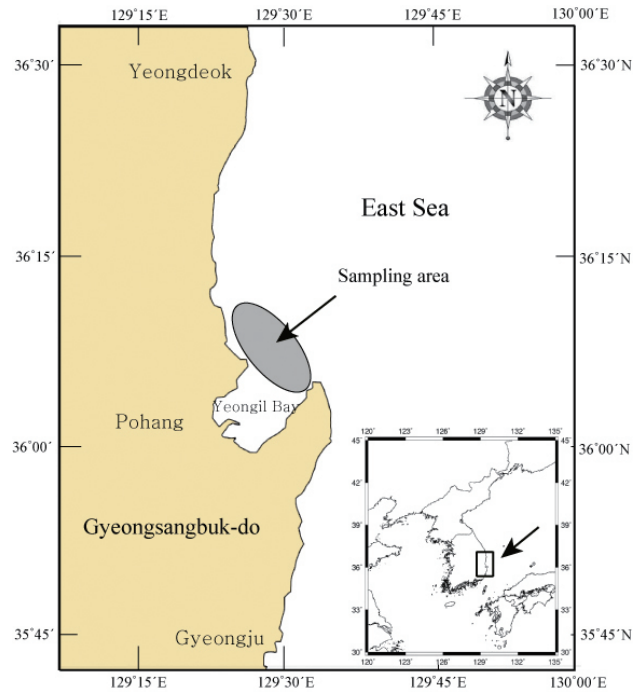


Fig. 1. Sampling area of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea.

이석반경은 이석중심(focus)으로부터 후단부 끝까지의 직선거리로 장축반경을 측정하였고, 윤경( $r_n$ )은 이석중심으로부터 각 윤문까지의 직선거리로 mm단위까지 측정하였다(Fig. 2).

Table 1. Number of samples and range of total length of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and Longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea from February 2013 to January 2014

Year	Month	Female			Male		
		No. of inds.	Avg. TL (cm)	Range of TL (cm)	No. of inds.	Avg. TL (cm)	Range of TL (cm)
2013	Feb.	50	24.7	17.8-35.5	57	24.2	17.6-29.0
	Mar.	36	27.1	21.9-36.5	15	26.6	20.8-33.0
	Apr.	22	23.5	17.0-28.8	24	22.9	13.9-30.2
	May	42	23.7	16.3-31.7	38	22.4	15.4-34.0
	Jun.	51	25.8	15.0-36.5	50	25.7	17.2-35.5
	Jul.	31	23.4	17.9-36.1	26	20.6	15.4-31.8
	Aug.	52	28.2	21.7-35.5	39	26.7	20.1-35.5
	Sep.	75	25.6	17.8-37.5	42	22.8	17.1-31.5
	Oct.	55	26.0	17.8-36.5	37	22.5	17.4-30.6
	Nov.	60	23.9	17.5-45.2	33	23.4	16.7-32.3
	Dec.	60	25.6	17.2-46.6	27	23.6	17.5-35.2
	2014	Jan.	43	27.3	20.5-33.5	10	23.9
Total		577	25.6	15.0-46.6	398	23.8	13.9-35.5

TL, total length.

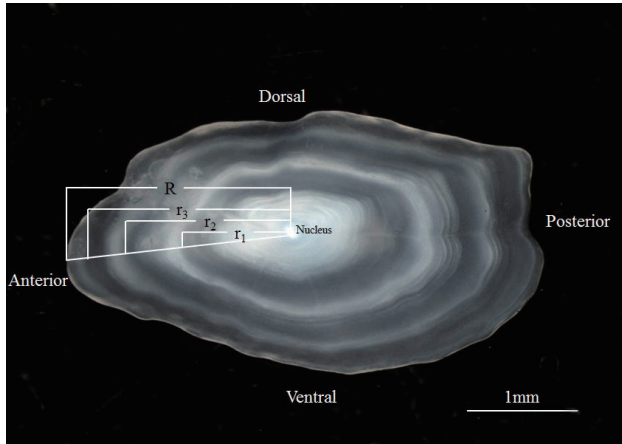


Fig. 2. Photograph of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* otolith. Count of annual mark (reflected light; N, nucleus; R, radius).

각 이석에 대한 윤문의 정확성을 높이기 위하여 두 명의 판독자가 판독하였고(Robillard et al., 2009), 각 판독자가 2회 연령사정을 수행하였다. 동일 판독자의 판독횟수간의 일관성과 두 명의 판독자간의 재현성은 Chang (1982)의 평균변동계수법(average coefficient of variation, CV)을 사용하였고 다음 식과 같다(Campana and Jones, 1992; Hoenig et al., 1995; Campana, 2014).

$$CV=100\% \times \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij}-\bar{X}_j)^2}{R-1}}}{X_j}$$

위 식에서  $X_{ij}$ 는  $j$ 번 어류를  $i$ 번째 판독한 연령,  $\bar{X}_j$ 는  $j$ 번 어류의 평균연령,  $R$ 은 판독 횟수를 의미한다. 문치가자미 이석의 윤문 형성시기와 그 계절적 주기성에 의한 연간 윤문 형성횟수를 알아보기 위해 연변부에 나타나는 투명대의 비율을 월별로 분석하여 윤문이 형성되는 시점을 검토하였고, 제1윤문의 형성기간을 추정하기 위해 산란기는 Kim et al. (2016)의 연구결과를 참고하여 비교 분석하였다. 윤문대응성을 검토한 후 문치가자미 이석에 나타나는 윤문을 연륜으로 인정하여 체장과 윤경의 관계식을 구하였고, 관계식은 연륜( $R$ )과 체장( $L$ )의 관계를 이용하여 연령별 역계산 체장을 구하였다. 그리고 연륜과 역계산된 체장의 평균은 다음 식으로 가중치를 주어 계산하였다.

$$\bar{X}_{weighted} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i X_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

문치가자미의 성장은 역계산된 연령별 평균체장을 사용하여

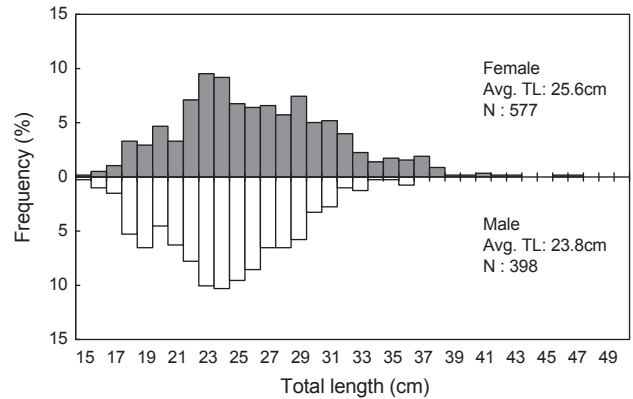


Fig. 3. Length frequency distribution of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in the coastal waters off Pohang of East Sea from February 2013 to January 2014. TL, total length; N, number of individual.

von Bertalanffy (1938) 성장식으로 구하였고, 성장식의 파라미터는 Walford 정착도법(Walford, 1946)으로 추정된 추정치를 초기값으로 EXCEL (Microsoft, Redmond, Wa, USA)의 Solver를 사용하여 비선형회귀분석방법(nonlinear regression)에 의해 추정하였다.

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

여기서,  $L_t$ 는 연령  $t$ 시의 체장,  $L_{\infty}$ 는 이론적 최대체장,  $K$ 는 성장계수,  $t_0$ 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다. 선행된 많은 연구들과 비교를 위해 Munro and Pauly (1983)가 개발한 Growth performance index ( $\Phi$ )를 이용하였고, 그 식은 다음과 같다.

$$\Phi=\log K+2\log L_{inf}$$

여기서,  $K$ 는 성장계수,  $L_{inf}$ 는 이론적 최대체장이다. 그리고 각 연구들과 본 연구의 체장을 통일하기 위해 표준체장(SL)을 Park and Simizu (1990)의 전장(TL)과 표준체장(SL)의 관계식으로 모두 전장(TL)로 전환하여 비교하였다.

문치가자미의 암수간 전장과 체중의 상대성장 비교는 공분산분석(ANCOVA)을 이용하였으며, 각 연령에 따른 성장차이와 암·수간의 연령별 성장 차이는 paired t-test, 체장 차이는 t-test를 통해 차이 유무를 검토하였고, SPSS 12.0 통계패키지를 이용하여 분석하였다.

### 결 과

연령사정에 사용된 문치가자미는 총 975 개체로 암컷은 577 개체, 수컷은 398개체였다. 암컷의 전장 범위는 15.0-46.6 cm로 평균 25.6 cm였고, 수컷은 13.9-35.5 cm로 평균 23.8 cm였

다(Table 1, Fig. 3). 문치가자미의 암컷과 수컷의 체장의 차이를 분석한 결과 암컷이 수컷에 비하여 평균 체장이 큰 것으로 나타났다(t-test,  $p < 0.05$ ). 문치가자미 이석의 윤문 판독에 대한 정확성을 높이기 위하여 두 명의 판독자가 2회씩 연령사정을 수행하였고, 판독자에 따른 2회 연령판독 일치율은 판독자 1이 93.4%, 판독자 2가 92.5%로 나타났다. 각 판독자의 윤문 판독 결과의 재현성을 분석하기 위한 판독자간 일치율을 보면, 판독자1의 첫 번째 결과와 판독자 2의 두 번째 결과가 가장 일치율이 높게 나타났다고, 판독자1의 두 번째 결과와 판독자 2의 첫 번째 결과의 일치율이 가장 낮았다. 이 중 일치율이 높은 판독자 1의 첫 번째와 판독자 2의 두 번째 판독결과를 사용하였고, 판독 결과가 일치하지 않는 나머지 이석의 판독은 판독자간 협의를 통해 연령사정을 수행하였다. 최종적으로 본 연구에 사용된 이석은 총 907개로 암컷 517개, 수컷 390개였다. 윤문의 형성시기 및 연간 형성횟수를 파악하기 위해 월별 연변부의 투명대 비율을 분석한 결과(Fig. 4), 1월부터 투명대의 비율이 점차 감소하여 3-5월에는 10% 이하로 낮게 나타났고, 6월 이후부는 투명대의 비율이 높아지는 경향을 나타냈다. Kim et al. (2016)은 동해안 문치가자미의 주 산란기가 12-2월로 보고하여, 문치가자미의 윤문은 산란기가 끝나는 3-5월 사이에 연 1회 형성되는 것을 알 수

있었으며, 제 1윤문까지의 형성시기 및 기간은 약 1.25년(15개월내외)로 추정된다. 문치가자미의 연륜은 연 1회 주기성을 가지고 형성되며, 이석중심부터 각 윤문까지의 평균윤경은 Table

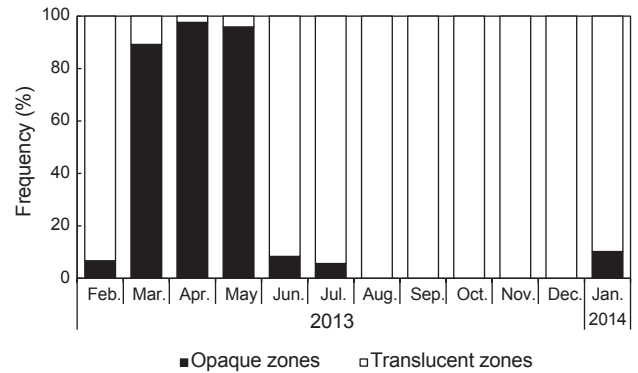


Fig. 4. Monthly changes in percentage occurrences of opaque and translucent zones at otolith edges of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* in the coastal waters off Pohang of East Sea.

Table 2. Mean ring radius on the otolith of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea

(A) Female		Mean otolith ring radius (mm)								
Estimated age	No. of samples	R	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>	r <sub>6</sub>	r <sub>7</sub>	
1	182	2.142	1.365							
2	221	2.383	1.252	1.998						
3	82	2.749	1.251	1.990	2.510					
4	17	3.067	1.218	2.014	2.532	2.892				
5	10	3.337	1.183	1.845	2.348	2.839	3.208			
6	3	3.558	1.153	1.808	2.413	2.924	3.297	3.475		
7	2	3.843	1.167	1.890	2.483	2.961	3.261	3.509	3.720	
Total	517	Weighted mean	1.289	1.990	2.496	2.883	3.233	3.489	3.720	
		Weighted S.D.	0.151	0.174	0.170	0.147	0.106	0.061	0.078	
(B) Male		Mean otolith ring radius (mm)								
Estimated age	No. of samples	R	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>4</sub>	r <sub>5</sub>	r <sub>6</sub>	r <sub>7</sub>	
1	149	2.054	1.338							
2	182	2.393	1.279	2.046						
3	48	2.705	1.236	2.006	2.516					
4	6	2.963	1.152	1.857	2.377	2.843				
5	5	3.239	1.074	1.750	2.341	2.797	3.106			
Total	390	Weighted mean	1.292	2.027	2.487	2.822	3.106			
		Weighted S.D.	0.159	0.206	0.224	0.186	0.274			

R, otolith radius; S.D., standard deviation.

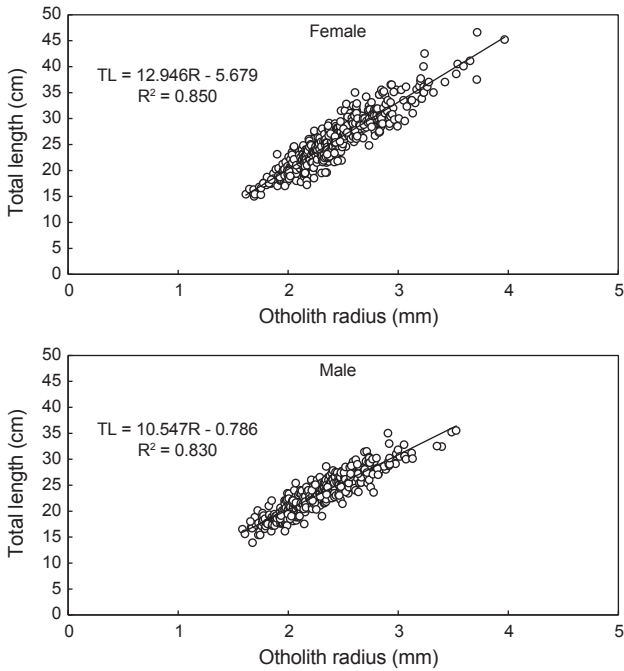


Fig. 5. Relationship between otolith radius and total length of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea. TL, total length; R, otolith radius; R<sup>2</sup>, R square.

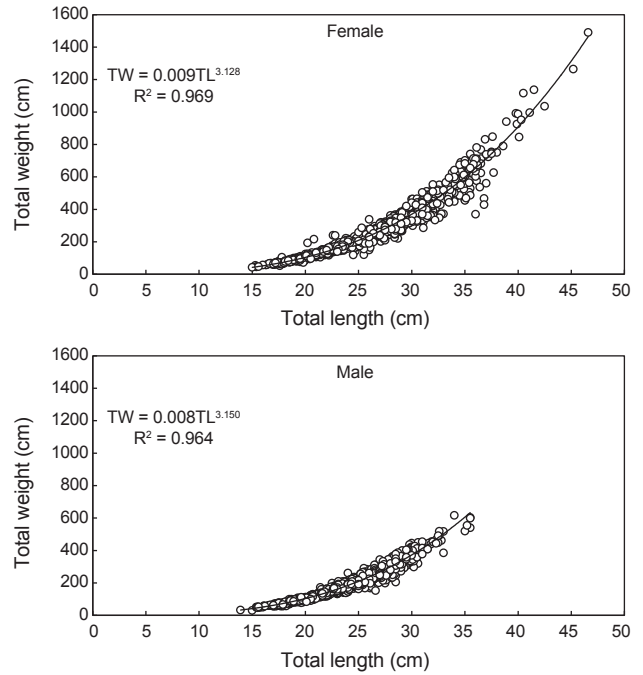


Fig. 6. Relationship between total length and total weight of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea. TL, total length; TW, total weight; R<sup>2</sup>, R square.

2와 같다. 암컷의 윤문별 평균윤경은  $r_1=1.289 \pm 0.151$  mm에서  $r_7=3.720 \pm 0.078$  mm이었고, 수컷은  $r_1=1.292 \pm 0.159$  mm에서  $r_5=3.106 \pm 0.274$  mm로 나타났다. 그리고 윤문형성시의 전장을 역계산하기 위해 이석반경(R)과 전장(TL)간의 관계식을 추정된 결과, 암컷은  $TL=12.946R-5.679$  ( $R^2=0.850$ ), 수컷은  $TL=10.547R-0.786$  ( $R^2=0.830$ )로 나타났다(Fig. 5). 문치가자미의 전장에 대한 중량증가의 경향을 보기 위해 전장과 중량간의 상대성장식을 나타내었다(Fig. 6). 암컷의 상대성장식은  $TW=0.009TL^{3.128}$  ( $R^2=0.969$ )으로 나타났고, 수컷의 상대성장식은  $TW=0.008TL^{3.150}$  ( $R^2=0.964$ )으로 나타났다. 암컷과 수컷의 성장식을 비교한 결과 암컷이 중량과 체장 모두에서 수컷보다 빠르게 성장하는 것으로 나타났다(ANCOVA,  $p<0.05$ ). 각 연령별 평균윤경을 이석반경과 전장간의 관계식으로부터 역계산하여 연령별 평균전장을 분석한 결과 암컷은  $L_{1.25}=11.00 \pm 1.95$  cm에서  $L_{7.25}=42.47 \pm 1.02$  cm로 나타났고, 수컷은  $L_{1.25}=12.84 \pm 1.68$  cm에서  $L_{5.25}=31.97 \pm 2.89$  cm로 나타났다(Table 3). 역계산된 연령별 전장으로부터 Walford정차도법으로 구한 성장 매개변수값을 이용하여 추정된 문치가자미의 암·수 각각에 대한 von Bertalanffy 성장식은 Fig. 7과 같다. 문치가자미 암컷의 성장 매개변수 중에서 이론적 최대체장( $L_\infty$ )은 52.63 cm, 성장계수(K)는 0.231/년, 체장이 0일 때의 이론

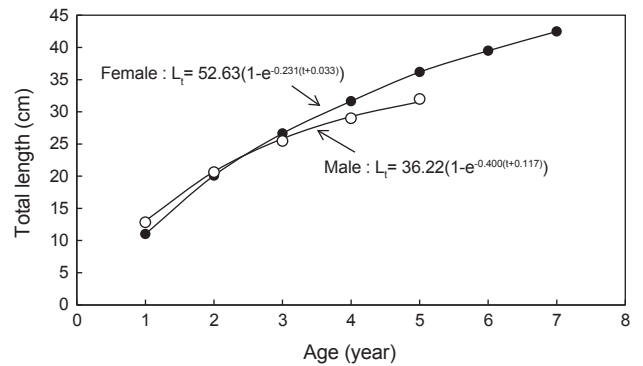


Fig. 7. The von Bertalanffy growth curves in total length estimated by a non-linear regression method of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea. L<sub>t</sub>, total length at age t; e, exponential.

적 연령( $t_0$ )은 -0.033세로 추정되었고, 수컷은 이론적 최대체장( $L_\infty$ )이 36.22 cm, 성장계수(K)는 0.400/년, 체장이 0일 때의 이론적 연령( $t_0$ )은 -0.117세로 추정되었다. 추정된 문치가자미의 성장식을 이용하여 선행연구와의 성장율을 비교해보면(Table 4), 암컷은 동해안 문치가자미가 가장 높은 값을 나타내었고, 우

Table 3. Back-calculated total length at the formation of annuli in otolith of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* caught by gill nets and longlines in the coastal waters off Pohang of East Sea

(A) Female		Mean total length (cm)						
Ring group		L <sub>1.25</sub>	L <sub>2.25</sub>	L <sub>3.25</sub>	L <sub>4.25</sub>	L <sub>5.25</sub>	L <sub>6.25</sub>	L <sub>7.25</sub>
Total length (TL, cm)	1	12.00						
	2	10.53	20.19					
	3	10.52	20.09	26.82				
	4	10.10	20.39	27.10	31.76			
	5	9.63	18.20	24.72	31.08	35.85		
	6	9.25	17.73	25.56	32.17	37.01	39.31	
	7	9.43	18.78	26.47	32.65	36.53	39.74	42.47
Weighted mean		11.00	20.09	26.64	31.64	36.17	39.48	42.47
Weighted S.D.		1.95	2.25	2.20	1.91	1.37	0.79	1.02

(B) Male		Mean total length (cm)						
Ring group		L <sub>1.25</sub>	L <sub>2.25</sub>	L <sub>3.25</sub>	L <sub>4.25</sub>	L <sub>5.25</sub>	L <sub>6.25</sub>	L <sub>7.25</sub>
Total length (TL, cm)	1	13.32						
	2	12.71	20.80					
	3	12.24	20.37	25.75				
	4	11.36	18.80	24.28	29.19			
	5	10.55	17.67	23.90	28.71	31.97		
Weighted mean		12.84	20.60	25.44	28.98	31.97		
Weighted S.D.		1.68	2.17	2.36	1.96	2.89		

S.D., standard deviation.

리나라 남해안의 문치가자미가 가장 낮은 값을 보였다. 수컷은 일본 동경만산의 문치가자미가 가장 높은 값을 나타내었고, 남해안의 문치가자미가 가장 낮은 값을 보였다.

## 고찰

본 연구에서는 문치가자미의 연령을 분석하기 위하여 연령형질로 이석을 이용하였고, 이석의 시상단, 횡단면, 전두단 중 시상단을 연마하여 연령사정을 수행하였다. 문치가자미는 많은 선행연구에서 이석을 연령형질로 사용하여 연령과 성장관련 연구를 수행하였고, 표면연마방법과 절단방법을 이용하여 연령사정이 이루어져 왔다(Solomon et al., 1987; Kim et al., 1991; Park, 1997; Moon and Lee, 1999; Kooka et al., 2000; Lee et al., 2009; Kim et al., 2015). 문치가자미 이석을 절단하여 연령 분석을 하는 방법은 고령어에서 보다 정확한 연령 추정 가능성이 높고, 고 연령의 개체에서는 절단하는 방법을 추천하고 있다(Lee et al., 2009; Hoshino et al., 2012). 또한 이석을 절단하는 방법은 대구(*Gadus macrocephalus*) 등 연마를 통해 연령사정이 어려운 어종에서 많이 사용하고 있다. 그러나 절단방법은 이

석의 중심 핵(Nucleus)을 절단하지 않거나 절단방향이 다르면 오히려 연령사정에 오차가 발생하고, 장시간에 노력에도 많은 양의 이석을 판독하기가 힘든 단점도 있다. 본 연구는 남해에서 채집된 대부분의 문치가자미 최대 연령이 암컷 6세, 수컷은 4세 이하라는 선행연구 결과(Kim et al., 1991; 2015)를 바탕으로 문치가자미는 고 연령의 어류가 아닌 것으로 판단하고 이석의 표면을 연마하여 윤문을 판독하는 방법을 사용하였다. 문치가자미 연령 분석의 정확성을 높이기 위해 더 많은 양의 이석을 판독하는데 중점을 두었고, 그 결과 암컷은 최대 7세, 수컷은 5세로 나타나 표면연마를 통한 윤문판독의 어려움이 없었다. 일본 동경만 문치가자미의 성장연구에서는 암수 모두를 연령분석 할 경우 약 5세 이하의 개체들은 표면을 판독하는 방법과 이석을 절단하는 방법 사이에 유사한 판독 결과를 보여 성장식 추정이 가능하다고 하였고(Lee et al., 2009), 본 연구에서도 유사한 경향을 보였다.

본 연구에서 이석의 윤문판독은 투명대에서 불투명대로 이행해가는 경계를 윤문으로 간주하여 연령을 판독하는 방법을 사용하였는데, 일본의 동경만, 아오모리현 연안과 우리나라 남해안의 문치가자미 연령과 성장연구에서도 같은 방법을 사용하였

Table 4. Comparison of growth parameters and growth performance index of marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* reported by different authors

Authors	Female			Male			Survey area	Size
	$L_{inf}$ (cm)	K (/year)	$\Phi$	$L_{inf}$ (cm)	K (/year)	$\Phi$		
Present study	52.63	0.231	2.806	36.22	0.400	2.720	East Sea	TL
Solomon et al., 1987	38.97	0.311	2.674	26.85	0.510	2.565	Tokyo Bay, Japan	SL→TL
Park et al., 1990	40.59	0.303	2.698	26.29	0.505	2.543	Tokyo Bay, Japan	SL→TL
Kim et al., 1991	51.46	0.152	2.604	32.32	0.235	2.391	Southern waters, Korea	TL
Park, 1997	50.18	0.237	2.775	33.14	0.434	2.678	Yellow Sea	BL→TL
Kooka et al., 2000	41.58	0.310	2.729	36.26	0.360	2.675	Aomori, Japan	TL
Lee et al., 2009	44.49	0.321	2.803	32.18	0.533	2.742	Tokyo Bay, Japan	SL→TL
Kim et al., 2015	52.81	0.141	2.593	26.97	0.306	2.347	Southern waters, Korea	SL→TL

$L_{inf}$ , theoretical asymptotic length; k, growth rate coefficient;  $\Phi$ , growth performance index ; TL, total length; SL, standard length ; BL, body length.

다(Solomon et al., 1987; Kooka et al., 2000; Kim et al., 2015). 그리고 용가자미(*Cleisthenes pinetorum*, Choi et al., 1999), 용서대(*Cynoglossus abbreviatus*, Baeck and Huh, 2004), 돌가자미(*Kareius bicoloratus*, Jun and Im, 2004) 등 다른 가자미류의 연령과 성장 연구에서도 같은 방법으로 윤문을 판독한 것으로 나타나 대부분 가자미류는 투명대에서 불투명대로 이행하는 경계가 명확하게 나타나는 것을 알 수 있다. 반면에 조피볼락(*Sebastes schlegelii*), 송어(*Mugil cephalus*) 등은 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 윤문으로 간주하여 연령을 판독하고, 이석의 불투명대 끝에 나타나는 성장정지선을 윤문으로 간주하여 분석한 연구결과도 있다(Hong et al., 2014). 이석의 정확한 연령사정을 위하여 두 명의 판독자가 2회 반복 윤문을 읽어 판독 결과에 대한 일관성과 재현성을 분석한 결과, 문치가자미의 윤문개수에 대한 판독자간 평균 일관성은 89.8%였던 반면, 송어(Zhang et al., 2011)와 돌돔(*Oplegnathus fasciatus*, Zhang et al., 2013)에서는 일관성이 80% 이하로 나타나 문치가자미의 윤문은 다른 어종에 비해 윤문이 정확히 나타나는 것으로 판단된다. Hoshino et al. (2012)의 연구에서 문치가자미의 윤문개수가 판독자간에 거의 차이가 나타나지 않는 것을 장점으로 보고하여 본 연구결과를 뒷받침해 준다.

본 연구에서 문치가자미의 윤문 형성시기 및 연간 형성횟수는 3-5월 사이에 연 1회 형성되는 것으로 나타났고, 남해안의 문치가자미도 불투명대의 주 형성시기가 3-5월(Kim et al., 2015)로 나타나 유사한 결과를 보였으며, 부산에서 채집된 문치가자미의 윤문 형성시기는 4-6월(Kim et al., 1991)로 나타나 1개월 늦었다. 일본 동경만의 문치가자미는 불투명대 주 형성시기가 2-4월(Lee et al., 2009)로 1개월 빠르게 나타났고, 일본의 북부해역 아오모리현 연안 문치가자미는 5-6월(Kooka et al., 2000)로 보고하여 본 연구결과에 비해 1-2개월정도 윤문 형성시기가 늦었다. 이는 일반적으로 이석의 윤문 형성시기는 산란기와 밀접한 관계를 가지고 있는데, Tanda et al. (2008)에 따르면 일본

연안의 문치가자미 산란시기는 해역별로 1-3개월 정도의 차이가 있는 것으로 나타나 산란기의 차이가 곧 윤문 형성기의 차이로 나타난 것으로 생각된다(Seo et al., 2010; Kim et al., 2016).

본 연구의 제 1윤문은 약 1.25년(15개월)에 형성된 것으로 추정되었고, Kim et al. (2015) 연구에서도 초윤 형성기간이 1.25년으로 보고하여 유사한 결과를 보였다. 반면 부산해역의 문치가자미는 0.42년(Kim et al., 1991)으로 짧게 나타났는데, 이는 윤문 판독시 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계를 윤문으로 간주하고 판독하였기 때문으로 제 1윤문을 읽는 위치가 달라 초윤의 형성시기가 짧았던 것으로 보인다. Solomon et al. (1987)에 따르면 일본 동경만 문치가자미의 불투명대는 2-5월 사이에 형성되고, 투명대는 6월에서 이듬해 1월에 형성되어 초윤 형성은 약 1.25년이라고 보고하여 불투명대를 윤문으로 계산한 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 또한 윤문형성의 주기성을 분석한 결과 본 연구에서는 1년에 한 번 형성되는 것으로 나타났고, 부산과 남해 및 일본의 선행연구에서도 윤문이 연 1회 형성되는 것으로 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다(Solomon et al., 1987; Kim et al., 1991; Park, 1997; Kooka et al., 2000; Lee et al., 2009; Kim et al., 2015). 이석에 형성된 윤문을 분석한 결과 문치가자미의 최대연령은 암컷 7세, 수컷 5세로 나타나 암컷이 수컷보다 고 연령으로 나타났다. 연령별 성장은 수컷이 3세 이전에 성장이 좋고, 3세 이후에는 암컷의 성장이 더 좋은 것으로 나타났다. 남해안 문치가자미 연구(Kim et al., 2015)에서도 본 연구 결과와 일치한 결과를 도출하였다.

일반적으로 성장식 추정은 역계산된 연령별 체장자료를 이용하여, 역계산을 위해서는 각 연령별 평균 윤경 값이 필요하다. 최근까지 선행연구에서의 평균 윤경은 산술평균을 통해 계산되었지만(Park et al., 1990; Kim et al., 2015), Heo et al. (2015)는 연륜그룹별 평균 윤경 값을 계산할 때는 샘플수의 차이를 반영한 가중평균이 바람직한 것으로 보고하였다. 본 연구에서는 Heo et al. (2015)이 제시한 평균 윤경 값의 가중 평균을 이용하여

여 연령별 역계산 체장을 추정하였다. 역계산된 연령별 전장으로부터 추정된 성장 매개변수값을 이용한 문치가자미의 성장식은 Fig. 7과 같았으며, 이론적 최대체장(TL)은 암컷 52.63 cm, 수컷 36.22 cm로 추정되었다. 남해안에 서식하는 문치가자미는 암수 각각 52.81 cm, 26.97 cm 였고(Kim et al., 2015), 부산해역은 51.46 cm, 32.32 cm (Kim et al., 1991)로 추정되었으며, 서해안은 각각 50.18 cm, 32.32 cm (Park, 1997)로 나타났다. 일본해역의 문치가자미는 암수 각각 동경만 38.97-44.49 cm, 26.29-32.18 cm, 아오모리 해역은 41.58 cm, 36.26 cm 로 나타났다. 문치가자미는 일본해역에 비해 우리나라의 문치가자미가 이론적 최대체장이 큰 경향을 보여주며, 일본의 최북단의 아오모리 해역과 비교해도 본 연구해역의 문치가자미의 암컷은 크고, 수컷은 유사하게 나타났다. 추정된 문치가자미의 성장식을 이용하여 선행연구와의 성장율을 비교한 결과에서도 암컷은 동해안 문치가자미가 가장 높은 값을 나타내었고, 우리나라 남해안의 문치가자미가 가장 낮은 값을 보였다(Table. 4). 수컷은 일본 동경만의 문치가자미가 가장 높은 값을 나타내었고 (Lee et al., 2009), 남해안의 문치가자미가 가장 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 위도에 따른 성장의 차이로 문치가자미의 성장은 고위도로 갈수록 성장이 좋은 경향을 나타내고 있다. 다른 면에서 생각해보면 샘플채집 방법 및 채집된 개체의 체장 범위의 차이에 의한 영향으로 볼 수 있으며, 이러한 이유는 채집된 문치가자미의 체장이 크면 이론적 최대체장도 함께 크게 추정 되는 모델의 특성 때문이다(Kim et al., 2015). 그리고 좀 더 정확한 연령분석을 위해 샘플 채집방법을 동일하게 하면 각 해역의 성장차이를 좀더 정확히 추정할 수 있을 것으로 보인다. 마지막으로 인위적인 어획압력에 의한 자원량 변화의 차이로 자원량의 감소하면서 고연령 개체의 출현빈도가 낮아지는 경향을 보여 어획에 의한 각 해역간의 최대체장의 차이를 보일 수 있다고 보고한 바 있다(Kooka et al., 2000; Kim et al., 2015).

따라서, 우리나라 문치가자미의 성장비교 및 전체 해역의 자원관리를 위해서는 같은 시기에 같은 방법으로 샘플을 채집하여 연구를 수행해야 할 것으로 판단되고, 각 해역의 연도별 어획 동향 및 어업변화 등을 고려하여 분석함으로써 어획압력에 의한 부분도 확실히 검토해야 할 부분으로 보인다. 또한 어류의 성장에 영향을 미치는 먹이 즉 식성연구와 해역의 먹이생물의 분포, 해양환경 조사도 병행이 필요하고, 향후 문치가자미뿐만 아니라 많은 수산자원을 관리하기 위한 연구진행시 고려해야 할 중요한 부분으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 2017년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(동해 연안어업 및 환경생태조사, R2017030)의 연구지원에 의해 수행된 연구이며, 논문을 세심하게 검토하여 주신 심사위원님께 감사 드립니다.

## References

- Baeck GW and Huh SH. 2004. Age and growth of Three-lined tonguefish (*Cynoglossus abbreviantus*) (Soleidae; Teleostei). J Kor Fish Soc 37, 51-56.
- Bertalanffy L von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II). Hum Biol 10, 181-213.
- Campana SE. 2014. Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species : A technical manual. Studies Rev 94, 32-34.
- Campana SE and Jones CM. 1992. Analysis of otolith microstructure data. In: Stevenson DK and SE Campana (eds.), Otolith microstructure examination and analysis. Can Spec Publ Fish Aquat Sci 117, 73-100.
- Chang WYB. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. Can J Fish Aquat Sci 39, 1208-1210.
- Choi SH, Hur YH, Chun YY and Zhang CI. 1999. Growth and maturity of Pointedhead flounder, *Cleisthenes pinetorum hrzensteini* (Schmidt) in the East Sea. J Korean Soc Fish Res 2, 1-13.
- Choi Y, Kim JH and Park JY. 2002. Marine fishes of Korea. Kyohak Pub co Press, Seoul, Korea, 542.
- Heo YW, Lee JB, Yang JH, Cha HK, Kim JJ and Zhang CI. 2015. Age and growth of the Goldeyes rock fish *Sebastes thompsoni* in the Ullengdo and Dokdo areas. Korean J Fish Aquat Sci 48, 929-939. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0929>.
- Hoening JM, Morgan MJ and Brown CA. 1995. Analysing differences between two age determination methods by tests of symmetry. Can J fish Aquat Sci 52, 364-368.
- Hong JM, Yoon JS and Lee TW. 2014. Age and growth of Flathead grey mullet *Mugil cephalus* collected by a two-side fyke net in the coastal water off Taeon, Korea. Korean J Ichthyol 26, 194-201.
- Hoshino N, Yamaguchi H, Mihara Y and Maruyama S. 2012. Comparison between surface reading and cross-section method for age determination in the flathead flounder, Korean flounder, and scale-eye plaice in the Sea of Japan, off Hokkaido. Sci Rep Hokkaido Fish Res Inst 82, 1-7.
- Huh SH, Nam KM, Park JM, Jeong JM and Baeck GW. 2012. Feeding habits of the Marbled flounder, *Pleuronectes yokohamae* in the coastal waters off Tong-yeong, Korea. Korean J Ichthyol 24, 77-83.
- Jun JC and Im YJ. 2004. Age and growth of Stone flounder, *Kareius bicoloratus*, in western coastal waters of Korea. Korean J Ichthyol 16, 173-180.
- Kang YJ, Lee TY and Lee BD. 1985. Reproduction and population dynamics of Marbled flounder *Limanda yokohamae* 2. Population dynamics. Bull Korean Fish Soc 18, 261-265.
- Kim HY, Huh SJ, Kim ST and Seo YI. 2015. Age and growth of Marbled flounder, *Pleuronectes yokohamae* (Günther) in the



- southern waters of Korea. J Kor Soc Fish Technol 51, 35-41. <http://dx.doi.org/10.3796/KFAS.2015.51.1.035>.
- Kim IS and Youn CH. 1994. Taxonomic revision of the flounders (Pisces : Pleuronectiformens) from Korea. Korean J Ichthyol 6, 99-131.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated Book of Korean Fishes. Kyohaksa Press, Seoul, Korea, 615.
- Kim SR, Cha HK, Lee JB, Lee HW, Yang JH, Baek HJ and Kim ST. 2016. Maturity and spawning of the Marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* off the coast of Pohang, East Sea. Korean J Fish Aquat Sci 49, 367-375. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2016.0367>.
- Kim YH, Kang YJ and Bae IJ. 1991. Age and growth of Marbled flounder *Limanda yokohamae* (Günther). Korean J Ichthyol 3, 130-139.
- Kim YU, Myoung JG and Park JS. 1983. Eggs development and larvae of the Right-eye flounder, *Limanda yokohamae* Günther. Bull Korean Fish Soc 16, 389-394.
- Kooka K, Takatsu T, Naga T, Hayakawa Y, Kamiharako T and Takahashi T. 2000. Age and Growth of Marbled flounder (*Pleuronectes yokohamae*) in the coastal waters of western Aomori Prefecture, Japan. Bull Fac Fish Hokkaido Univ 51, 121-126.
- Kume G, Horiguchi T, Goto A, Shiraishi H, Shibata Y, Morita M and Shimizu M. 2006. Seasonal distribution, age, growth, and reproductive biology of Marbled flounder *Pleuronectes yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. Fish Sci 72, 289-298.
- Lee JH, Kodama K, Oyama M, Kume G, Takao Y, Shiraishi H and Horihuchi T. 2009. Changes in growth of Marbled flounder *Pseudopleuronectes yokohamae* between high and low stock-size periods in Tokyo Bay, Japan. Fish Sci 75, 929-935.
- Lee TY, Kang YJ and Lee BD. 1985. Reproduction and Population dynamics of Marbled flounder *Limanda yokohamae* 1. Reproduction. Bull Korean Fish Soc 18, 253-261.
- Moon HT and Lee TW. 1999. Age and growth of juvenile *Limanda yokohamae* in the shallow water off Gaduc-do as indicated from microstructure in otoliths. Korean J Ichthyol 11, 46-51.
- Munro JL and Pauly D. 1983. A simple method for comparing the growth of fish and invertebrates. Fishbyte 1, 5-6.
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2004. Commercial fishes of the coastal & offshore waters in Korea (2nd ed.). Hanguel graphics, Busan, Korea, 258.
- National Fisheries Research & Development Institute (NFRDI). 2014. Technical report of national fisheries research and development institute. NFRDI, Busan, Korea, 695-703.
- Park JS and Simizu M. 1990. Age and growth of the Marbled flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo bay, Japan. Bull. Korean Fish Tech Soc 26, 309-316.
- Park JS. 1997. Age and growth of the Marbled flounder, *Pleuronectes yokohamae*, in approaches to Kyongyolbiyolto of the Yellow Sea, Korea. Bull Korean Soc Fish Tech 33, 85-89.
- Robillard E, Reiss CS and Jones CM. 2009. Age validation and growth of Bluefish (*Pomatomus saltatrix*) along the East coast of the United States. Fish Res 95, 65-75.
- Seo YI, Joo H, Lee SK, Kim H, Ko JC, Choi MS, Kim JI and Oh TY. 2010. Maturity and spawning of Marbled flounder *Pleuronectes yokohamae* in the southern sea of Korea. Korean J Ichthyol 22, 83-89.
- Shafieipour MM, Takahashi T, Ishino K, Takatsu T and Nakatani T, 1999. Age growth of Marbled flounder *Pleuronectes yokohamae* in Kikonai Bay, Hokkaido, Japan. Iran J Fish Sci 1, 5-21.
- Solomon G, Sano M, Simizu M and Nose Y. 1987. Age and growth of the Pleuronectid flounder *Limanda yokohamae* in Tokyo Bay, Japan. Nippon Suisan Gakkaishi 53, 711-716.
- Suzuki K. 1967. Age and growth of *Linnaeus yokohamae* (GÜNTHER) in Ise Bay. Rep Fac Fish Pref Univ Mie 6, 17-27.
- Tanda M, Nakamura Y and Okamoto S. 2008. Maturity and spawning season of Marbled flounder *Pleuronectes yokohamae*, and comparison of reproductive characters between different survey periods in Harima Nada and Osaka Bay, the Seto Inland Sea, Japan. Bull Jpne Soc Fish Oceanogr 72, 273-281.
- Walford LA. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. Bio Bull, 141-147.
- Yusa T. 1960. Eggs and larvae of flatfishes in the coastal waters of Hokkaido-IV. Embryonic development of Mub dab *Limanda yokohamae* Günther. Bull. Tohoku Reg Fish Res Lab 17, 15-30.
- Zhang CI, Kwon HJ, Kwon YJ and Kim BY. 2013. Age and growth of Striped beakperch *Oplegnathus fasciatus* in the marine ranching area. Korean J Ichthyol 25, 25-32.
- Zhang CI, Park HW and Kwon HC. 2011. Age and growth of the Flathead trey mullet (*Mugil cephalus*) in the coastal water of Yeosu. J Kor Soc Fish Tech 47, 203-213. <http://dx.doi.org/10.3796/KFAS.2011.47.3.203>.