

중서부태평양 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)의 연령과 성장

구정은 · 이성일* · 김진구¹ · 박희원 · 이미경 · 김장근 · 이동우

국립수산과학원 자원관리과, ¹부경대학교 자원생물학과

Age and Growth of the Skipjack Tuna *Katsuwonus pelamis* in the Western and Central Pacific Ocean

Jeong Eun Ku, Sung Il Lee*, Jin-Koo Kim¹, Hee Won Park, Mi Kyung Lee, Zang Geun Kim and Dong Woo Lee

Fisheries Resources Management Division, National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-705, Korea

¹Department of Marine Biology, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

The age and growth of the skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* were determined using otoliths sampled from a Korean tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean from January 2005 to September 2006. A total of 312 otoliths were used to estimate the ages of skipjack tuna, which ranged from 1 to 7 years. The relationships between otolith ring radius (R) and fork length (FL) for female, male, and sex combined were $FL = 19.74R + 1.50$ ($r^2 = 0.54$), $FL = 17.66R + 6.35$ ($r^2 = 0.47$), and $FL = 18.83R + 3.36$ ($r^2 = 0.53$), respectively. The back-calculated fork lengths of each age (FL_{year}) were $FL_1 = 36.2$ cm, $FL_2 = 43.3$ cm, $FL_3 = 48.3$ cm, $FL_4 = 52.6$ cm, $FL_5 = 56.5$ cm, $FL_6 = 60.8$ cm, and $FL_7 = 63.2$ cm. The relationships between fork length (FL) and total weight (TW) for female, male, and sex combined were $TW = 0.00001FL^{3.19}$ ($r^2 = 0.95$), $TW = 0.00001FL^{3.17}$ ($r^2 = 0.95$), and $TW = 0.00009FL^{3.23}$ ($r^2 = 0.95$), respectively. The von Bertalanffy growth parameters of skipjack tuna estimated in this study were $L_{\infty} = 77.4$ cm, $K = 0.176/\text{year}$, and $t_0 = -2.569$ years.

Key words: Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, Age, Growth, Pacific Ocean

서 론

가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)는 농어목(Perciformes) 고등어과(Scombridae)에 속하는 어종으로 열대와 온대 해역에 분포한다(Anonymous, 1963). 몸 빛깔은 등쪽이 짙은 청자색을 띠고, 배 부분은 은백색 바탕에 4-6개의 검은색 세로띠가 있는 것이 특징이다. 가다랑어는 대표적인 부어성 어종으로 낮에는 표층에서 수심 260 m까지, 밤에는 표층 가까이에서 주로 서식하는데, 대개 군집생활을 하고 최대 5만 마리까지 무리지어 다닌다. 산란은 적도 해역에서는 연중 이루어지고, 아열대 해역에서는 봄부터 가을 초 사이에 이루어지는 것으로 알려져 있다(Collette and Nauen, 1983). 그리고 주로 이른 아침과 해질 무렵에 섭이활동을 하고, 어류, 갑각류와 오징어류 등을 포식한다(NFRDI, 2008).

가다랑어는 태평양, 인도양, 대서양 등 전 세계 열대 및 온대 해역에서 주로 선망어업 등에 의해 어획되는 상업적으로 중요한 종으로, 최근 어획량이 250만 톤을 넘어서면서 그 어획량이 세계 2위를 기록하기도 하였다(FAO, 2011). 이러한 과도한 어획으로 인해 세계자연보존연맹(IUCN)에서는 가다랑어를 관심필요종(LC)으로 지정하였으며(IUCN, 2011), 지역수산관리기구(RFMOs)에서는 지속가능한 어업을 위해 보존관리조치를 강화하고 있다.

가다랑어에 대한 연령과 성장에 관한 연구로 국외에서는 등지느러미를 이용한 연령과 성장에 관한 연구(Batts, 1972), 이석을 이용한 일륜 형성 및 연령과 성장에 관한 연구(Uchiyama and Struhsaker, 1981), 가다랑어 치어의 일륜 형성에 관한 연구(Tanabe et al., 2003), 동부 인도양 가다랑어의 일륜에 관한 연구(Kayama et al., 2004) 등이 수행되었으며, 또한 온도와 산

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0377>



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 48(3) 377-385, June 2015

Received 10 April 2015; Revised 10 June 2015; Accepted 16 June 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2325 Fax: +82. 51. 720. 2337

E-mail address: k.sungillee@gmail.com

소요구량에 기초한 가다랑어의 서식지에 관한 연구(Barkley et al., 1978), 미토콘드리아 DNA 분석에 의한 대서양과 태평양 가다랑어의 유전적 유사성 연구(Graves et al., 1984) 등 다양한 생태학적 연구가 수행되었다. 국내에서는 기후변동 혹은 기후인자에 따른 중서부태평양 해역의 가다랑어 분포 및 한국 다랑어 선망어업의 어장변동에 관한 연구(An et al., 2003; Kim, 2005; Wungen, 2012), 한국 다랑어 선망어업의 조업특성에 관한 연구(Moon et al., 2005), 다랑어 선망 어획물의 종조성에 관한 연구(Lee et al., 2011) 등 대부분이 다랑어의 분포 및 어획특성과 관련된 것으로 생태학적 특성에 관한 연구는 전무한 실정이다.

가다랑어의 연령과 성장에 대한 기존의 연구 결과를 살펴보면(Table 1), 1세의 체장(FL)이 연구자에 따라 차이를 보였는데(Aikawa, 1937; Aikawa and Kato, 1938; Batts, 1972; Chi and Yang, 1973; Kayama et al., 2007), Kayama et al. (2007)은 이러한 원인이 연령사정에 사용된 형질의 특성으로부터 기인된다고 하였다.

가다랑어의 연령과 성장에 관한 연구에 비늘(Shabotiniets, 1968; Batts, 1972), 척추골(Aikawa, 1937; Aikawa and Kato, 1938; Yokota et al., 1961; Shomura, 1966; Shabotiniets, 1968; Chi and Yang, 1973; Marcille and Stequert, 1976), 등지느러미(Shabotiniets, 1968; Batts, 1972; Chur and Zharov, 1983; Sosa-Nishizaki et al., 1989), 이석(Uchiyama and Struhsaker, 1981) 등이 연령 형질로 사용되었는데, Batts (1972)에 의하면, 비늘은 재생된 표본의 경우 과소 추정될 가능성이 있고, 척추골은 윤이 중심으로부터 불규칙적이고 연륜으로써의 뚜렷한 특징을 보이지 않기 때문에, 비늘과 척추골보다는 등지느러미의 단면을 통해 윤을 읽는 것이 용이하다고 하였다. 그리고 Josse et al. (1979)은 이석이 다른 형질에 비해 윤문이 보다 뚜렷하므로, 윤문 판독시 이석이 가장 용이하다고 하였다.

따라서 본 연구에서는 중서부태평양 수역에서 우리나라 다랑어 선망어업에 의해 어획된 가다랑어의 이석을 사용하여 이들의 연령과 성장에 관한 생태학적 특성을 구명하고자 한다.

재료 및 방법

본 연구에서 사용한 가다랑어 표본은 2005년 1월부터 2006년

9월까지 중서부태평양 수역에서 우리나라 다랑어 선망어업에 의해 채집된 것이다(Fig. 1). 채집된 표본은 총 312 개체로, 가랑이체장(FL)은 0.1 cm, 체중(TW)은 0.1 kg 단위까지 측정하고 암수별 분석을 위해 성별을 구분하였다. 그러나 그 중에서 성별 구분이 모호하였던 27 개체는 암수별 분석에서 제외하였다.

가다랑어의 연령사정을 위하여 이석을 추출하였으며, 추출된 이석은 이물질 제거를 위하여 건조시킨 후 몰딩틀에 넣고, 레진(resin)과 하드너(hardener)를 5:1의 비율로 섞어 24시간 정도 건조시켰다. 몰딩된 이석은 연마기(Comet 4000, BUEHLER Co., U.S.A.)를 이용하여 3종류의 연마지(Grit 800, 1200, 2400)로 단계적으로 처리하였다. 연마된 이석은 광택을 내기 위해 광택제(alumina powder)를 뿌린 후 한번 더 연마하였다.

이석의 윤문은 투명대에서 불투명대로 이행하는 경계로 간주하고, 저배율 입체현미경(SZX2-ILLT, OLYMPUS Co., Japan)에 연결된 컴퓨터 영상분석 시스템(image analyzer)을 이용하여 컴퓨터 모니터 상에서 윤경을 0.001 mm 단위로 측정하였다. 이석의 반경은 핵으로부터 가장 먼 가장자리 끝 부분까지의 거리로 간주하였다(Fig. 2).

윤문판독의 정확성을 검토하기 위해 2명의 판독자가 독립적

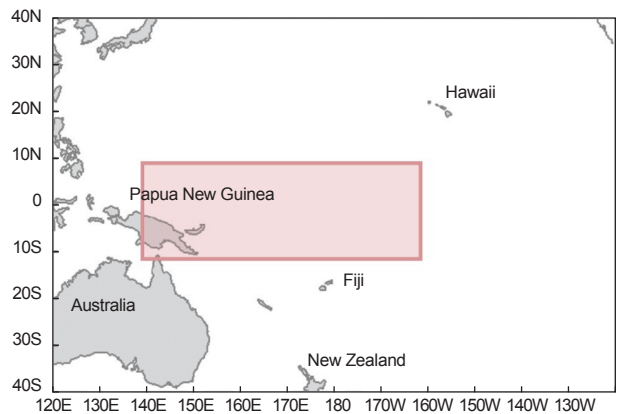


Fig. 1. Map showing the sampling area of *Katsuwonus pelamis* caught by Korean tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean, January 2005-September 2006.

Table 1. Age characteristics used in previous studies for age and growth of *Katsuwonus pelamis*

Area	Age characteristics	FL range of age 1 (cm)	References
Western Pacific	Vertebra	27-34	Aikawa (1937)
Western Pacific	Vertebra	27-37	Aikawa and Kato (1938)
Western Pacific	Vertebra	37	Yokoto et al. (1961)
North Carolina (Atlantic)	Dorsal spine	40.6	Batts (1972)
Western Pacific	Vertebra	27-47	Chi and Yang (1973)
Western Pacific	Vertebra	27-37	Marcille and Stequert (1976)
Central Pacific	Otolith	44	Uchiyama and Struhsaker (1981)

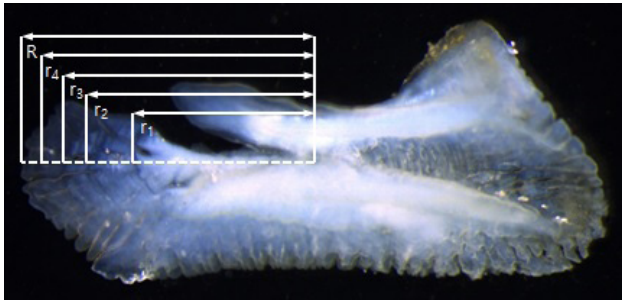


Fig. 2. Diagram showing ring radius used for age determination of *Katsuwonus pelamis*.

으로 연령사정을 수행하였고(Robillard et al., 2009), 판독된 결과에 대해서는 제1판독자와 제2판독자간의 일치율을 비교하였다. 일치율 비교 결과로부터 일치하지 않는 자료는 제1판독자와 제2판독자간의 합의를 통해 재판독하였다. 그리고 이석이 가다랑어의 연령 형질로써 사용가능하기를 판단하고 윤문의 대응성을 알아보고자 윤문별 윤경과 이석반경간의 관계를 분석하였다.

또한 윤문 형성이 주기성을 나타내는지, 그리고 그 형성시기를 알아보기 위해 연역지수(MI)의 월 변화를 추정하였다.

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

여기서, R은 이석의 반경, r_n 은 핵에서부터 n번째 윤경까지의 거리이다.

가다랑어에 대한 상대성장을 알아보기 위해 체장(FL)과 체중(TW)간의 관계를 구하였다.

$$TW = \alpha FL^\beta$$

여기서, α 와 β 는 상수이다.

성장식의 추정에는 판독된 연령과 연령별 체장 자료를 사용하여 일반적으로 가장 널리 사용되는 von Bertalanffy (1938) 성장식을 사용하였다.

$$L_t = L_\infty \{1 - \exp[-K(t - t_0)]\}$$

여기서, t 는 연령, L_t 는 연령 t 세의 가랑이체장, L_∞ 는 이론적 최대 가랑이체장, K는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이다. 먼저 von Bertalanffy 성장식의 매개변수는 Walford 방법으로 구한 후, 그 결과를 초기값으로 컴퓨터 패키지인 EXCEL의 solver를 이용하여 비선형 회귀방법으로 분석하였다(Zhang, 2010).

결 과

본 연구에 사용된 총 312 개체의 가랑이체장 범위는 34.0-72.8 cm이었고, 평균 가랑이체장은 53.2 cm이었으며, 체중 범위는 0.7-8.8 kg이었고, 평균 체중은 3.6 kg이었다(Table 2). 이 중에서 암·수 분석에 사용된 개체는 285 개체로, 암컷이 52.6%, 수컷이 47.4%이었으며, 암컷의 가랑이체장 범위는 39.0-72.8 cm, 수컷은 40.5-72.5 cm이었고, 평균 가랑이체장은 암컷이 53.3 cm, 수컷은 53.5 cm로 서로 유사하였다(Fig. 3). 가랑이체장 조성을 살펴보면(Table 2 및 Fig. 3), 주 가랑이체장 모드는 45-55 cm 였으며, 40 cm 미만의 소형개체는 거의 채집되지 않았다.

연령사정의 정확성을 검토하기 위해 2명의 판독자가 각각 수

Table 2. Monthly number of samples and range of fork length (FL, cm) and total weight (TW, kg) of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean

Month	Number of sample	Range of FL	Mean FL	Range of TW	Mean TW
1	42	34.0-72.5	54.7	0.7-8.5	4.3
2	32	42.2-72.8	54.1	1.6-8.8	3.9
3	48	39.0-67.8	49.1	1.2-6.8	2.6
4	43	40.3-66.2	53.2	1.5-6.7	3.7
5	22	42.5-64.0	55.0	1.6-6.7	3.9
6	20	44.3-61.0	51.9	2.1-5.8	3.4
7	21	44.5-63.7	54.1	1.7-5.7	3.6
8	28	43.3-65.8	54.4	2.4-6.4	3.8
9	41	44.0-69.0	55.1	1.9-7.7	4.0
10	7	45.3-59.8	52.1	1.8-5.3	3.4
11	8	44.2-59.2	50.8	1.8-4.4	2.9
Total	312	34.0-72.8	53.2	0.7-8.8	3.6

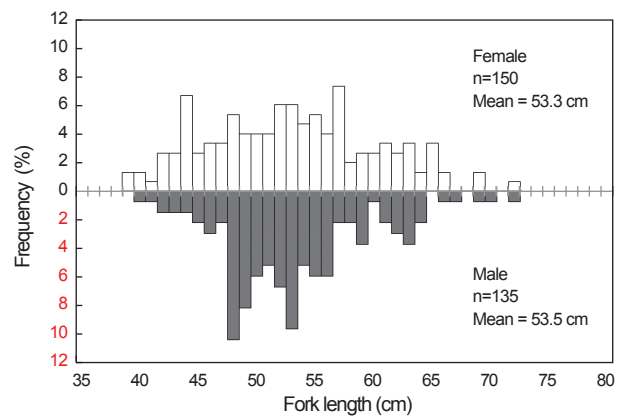


Fig. 3. Length-frequency distributions of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean.

행한 연령판독 결과의 일치율은 Fig. 4와 같다. 총 312 개체의 이석 중 291 개체의 결과가 일치하여 93.3%의 일치율을 보였으며, 일치율이 가장 낮은 연령은 3세이었다. 판독 결과가 일치하지 않은 21 개체에 대해서는 두 판독자간 협의를 통해 재판독하였고, 최종 판독된 총 312 개체의 결과를 토대로 분석하였다. 가다랑어 이석의 윤문이 연륜으로 적합한가를 알아보기 위하여 윤문별 윤경과 이석반경간의 관계를 검토한 결과(Fig. 5), 각

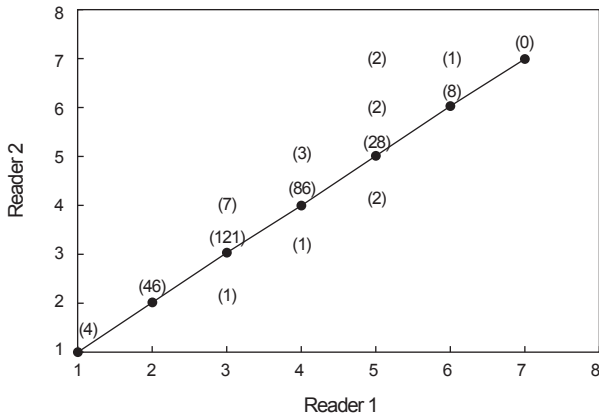


Fig. 4. Agreement plot for pair-wise comparison between replicate annulus counts for otolith of *Katsuwonus pelamis* for reader 1 and reader 2.

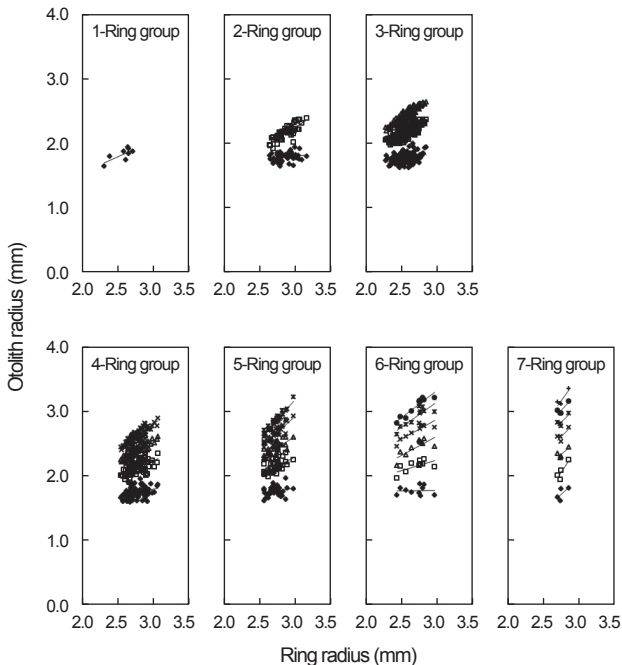


Fig. 5. Relationship between otolith radius and ring radius of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean.

윤경은 인접한 윤경과 서로 중복됨이 없이 잘 분리되었고, 이석 반경이 커짐에 따라 윤경 역시 커지는 것으로 나타났다. 따라서 이석이 가다랑어의 연령형질로써 이용가능하며, 이석의 윤문을 연륜으로 사용할 수 있는 것으로 판단된다.

윤문의 형성시기 및 연간 형성횟수를 파악하기 위해 분석한 연역지수(MI)의 월 변화를 살펴보면, 7월에 가장 높은 값을 나타내었고, 10월에 가장 낮은 값을 나타내었으나, 연역지수 값의 범위가 0.649-0.831로 월별로 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 6).

관측된 표본의 연령은 1세에서 7세로, 3세가 116 개체로 가장 많았다(Table 3c). 암·수 전체에 대한 윤문별 평균윤경은 $r_1=1.76$ mm에서 $r_7=3.18$ mm로, 핵에서부터 r_1 까지가 가장 큰 증가폭을 보였고, 이후 점차 감소하는 경향을 보였으며(Table 3c), 암수별로도 동일한 경향을 보였다(Table 3a-3b).

이석반경(R)과 가랑이체장(FL)의 관계식은 암컷은 $FL=19.74R+1.50$ ($r^2=0.54$), 수컷은 $FL=17.66R+6.35$ ($r^2=0.47$)로 나타났으며, 암·수 전체의 관계식은 $FL=18.83R+3.36$ ($r^2=0.53$)이었다(Fig. 7). 따라서 이석반경과 체장간의 관계, 그리고 평균 윤경을 사용하여 역계산된 연령별 평균 가랑이체장은 암컷은 $FL_1=36.2$ cm에서 $FL_7=62.5$ cm, 수컷은 $FL_1=36.2$ cm에서 $FL_7=64.1$ cm로 나타났고, 암·수 전체의 평균 가랑이체장은 $FL_1=36.2$ cm에서 $FL_7=63.2$ cm이었다(Table 4).

가랑이체장(FL)과 체중(TW)간의 상대성장식은 암컷은 $TW=0.00001FL^{3.19}$ ($r^2=0.95$), 수컷은 $TW=0.00001FL^{3.17}$ ($r^2=0.95$)이었으며, 암·수 전체에 대한 상대성장식은 $TW=0.000009FL^{3.23}$ ($r^2=0.95$)이었다(Fig. 8).

따라서 연령별 평균 가랑이체장으로부터 추정된 가다랑어의 von Bertalanffy 성장식은 Fig. 9와 같다. 암·수 전체에 대한 성장 매개변수는 이론적 최대 가랑이체장(L_∞)이 77.4 cm, 성장계수(K)는 0.176/year, 체장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 -2.569 years이었으며, 암수간에는 큰 차이가 없었다. 그리고 이론적 최대체중(W_∞)은 11.4 kg으로 추정되었다.

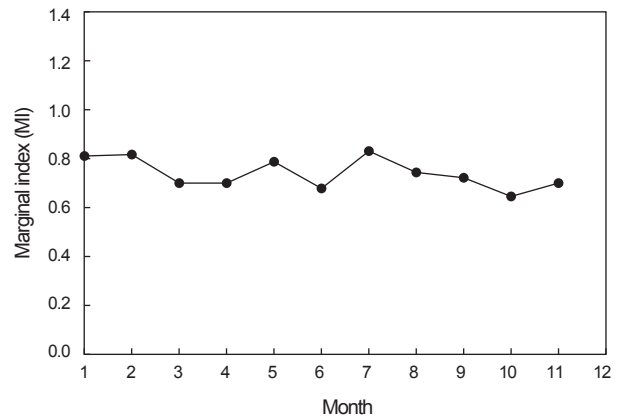


Fig. 6. Monthly changes in otolith marginal index (MI) of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean.

Table 3. Mean ring radius (mm) when each annulus was formed in the otolith of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean

(a) Female

Estimated age	No. of Samples	Mean ring radius								
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	
1	6	2.09	1.81							
2	28	2.38	1.76	2.15						
3	55	2.55	1.74	2.12	2.37					
4	40	2.78	1.73	2.12	2.38	2.60				
5	16	2.95	1.74	2.14	2.41	2.65	2.84			
6	4	3.25	1.79	2.21	2.51	2.72	2.96	3.17		
7	1	3.22	1.68	2.02	2.35	2.61	2.84	3.01	3.14	
Weighted mean				1.75	2.13	2.38	2.62	2.86	3.13	3.14
SD				0.07	0.09	0.10	0.10	0.13	0.07	0.00

(b) Male

Estimated age	No. of Samples	Mean ring radius								
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	
1	1	2.16	1.91							
2	21	2.35	1.77	2.11						
3	49	2.58	1.75	2.15	2.41					
4	40	2.78	1.74	2.10	2.39	2.61				
5	17	2.89	1.73	2.08	2.37	2.58	2.76			
6	5	3.10	1.75	2.10	2.38	2.64	2.85	2.98		
7	2	3.32	1.82	2.17	2.38	2.65	2.87	3.07	3.23	
Weighted mean				1.75	2.12	2.39	2.60	2.78	3.00	3.23
SD				0.07	0.10	0.10	0.10	0.13	0.13	0.12

(c) Combined

Estimated age	No. of Samples	Mean ring radius								
		R	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	
1	8	2.08	1.82							
2	52	2.36	1.76	2.13						
3	116	2.57	1.74	2.14	2.39					
4	87	2.78	1.74	2.12	2.39	2.61				
5	34	2.93	1.74	2.12	2.39	2.62	2.80			
6	11	3.19	1.76	2.15	2.44	2.68	2.90	3.06		
7	4	3.28	1.74	2.08	2.35	2.63	2.85	3.03	3.18	
Weighted mean				1.76	2.12	2.39	2.63	2.85	3.05	3.18
SD				0.08	0.09	0.10	0.11	0.13	0.13	0.10

고찰

본 연구에서는 중서부태평양 수역의 가다랑어에 대한 연령과

성장을 구명하고자 연령형질로써 이석을 사용하여 분석하였다. 가다랑어의 연령과 성장에 관한 선행 연구결과를 살펴보면, Shabotiniets (1968)은 연령형질로 7 개체의 척추골과 등지느러

Table 4. Back-calculated fork length (cm) corresponding to the age when annulus was formed in the otolith of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean

(a) Female

Estimated age	No. of Samples	Mean fork length						
		FL ₁	FL ₂	FL ₃	FL ₄	FL ₅	FL ₆	FL ₇
1	6	37.4						
2	28	36.5	43.8					
3	55	36.1	43.2	47.9				
4	40	36.0	43.3	48.1	52.2			
5	16	36.2	43.5	48.6	53.1	56.7		
6	4	37.1	45.0	50.5	54.6	59.1	63.1	
7	1	34.9	41.4	47.6	52.5	56.7	60.1	62.5
Weighted mean		36.2	43.4	48.2	52.6	57.2	62.3	62.5
SD		0.07	0.09	0.10	0.10	0.13	0.07	0.00

(b) Male

Estimated age	No. of Samples	Mean fork length						
		FL ₁	FL ₂	FL ₃	FL ₄	FL ₅	FL ₆	FL ₇
1	1	39.4						
2	21	36.6	43.1					
3	49	36.3	43.9	48.6				
4	40	36.1	43.0	48.2	52.4			
5	17	35.9	42.6	47.8	51.8	55.2		
6	5	36.2	42.9	48.2	53.0	56.9	59.4	
7	2	37.6	44.3	48.1	53.1	57.4	61.1	64.1
Weighted mean		36.2	43.3	48.4	52.3	55.7	59.9	64.1
SD		0.07	0.10	0.10	0.10	0.13	0.13	0.12

(c) Combined

Estimated age	No. of Samples	Mean fork length						
		FL ₁	FL ₂	FL ₃	FL ₄	FL ₅	FL ₆	FL ₇
1	8	37.6						
2	52	36.5	43.5					
3	116	36.2	43.5	48.3				
4	87	36.1	43.2	48.3	52.4			
5	34	36.1	43.1	48.4	52.6	56.0		
6	11	36.5	43.9	49.2	53.8	57.9	60.9	
7	4	36.0	42.5	47.6	52.8	56.9	60.3	63.1
Weighted mean		36.2	43.3	48.3	52.6	56.5	60.8	63.2
SD		0.08	0.09	0.10	0.10	0.13	0.13	0.10

미의 단면을 사용하여 3세는 40-45 cm, 4세는 40-60 cm라고 보고하였는데, 특히 4세의 가랑이체장 범위가 넓은 분포를 나타내었다. 그리고 Aikawa and Kato (1938), Yokota et al. (1961)은 연령형질로 척추골을 사용하였는데, Aikawa and Kato (1938)

은 1세의 가랑이체장이 27-37 cm, 4세가 55-64 cm, 그리고 Yokota et al. (1961)은 1세가 37 cm, 5세는 85 cm라고 보고하여, 1세는 이석을 이용한 본 연구결과와 유사하였으나 4-5세는 척추골에 의해 추정된 가랑이체장이 크고, Shabotiniets (1968)과

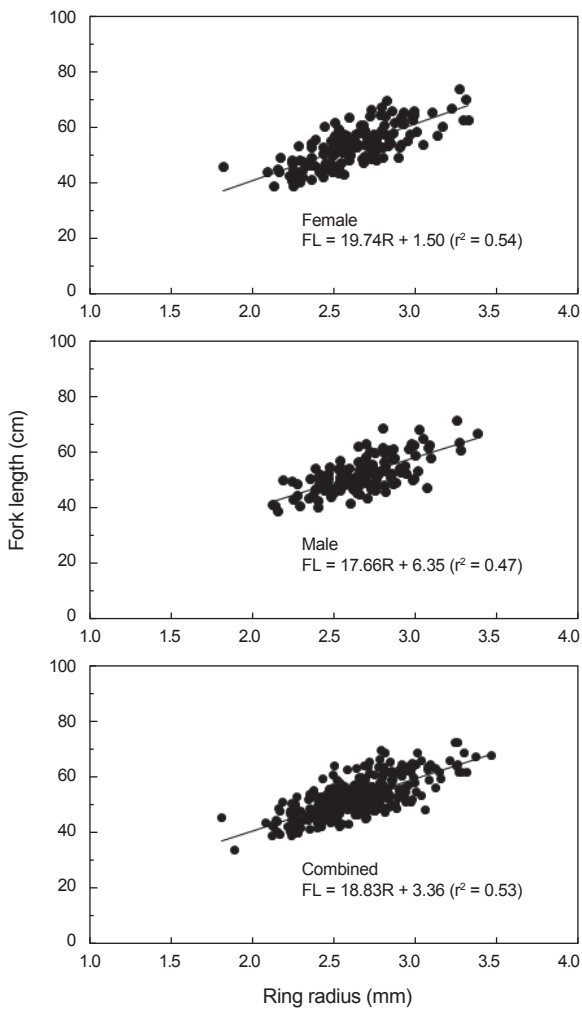


Fig. 7. Relationship between otolith radius (R) and fork length (FL) of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean.

마찬가지로 넓은 체장 범위를 보였다.

본 연구에서 추정된 von Bertalanffy 성장 매개변수는 이론적 최대체장(L_{∞})이 77.4 cm, 성장계수(K)는 0.176/year, 체장이 0 일 때의 이론적 연령(t_0)은 -2.569 years이었다. Batts (1972)는 등지느러미의 단면을 사용하여 L_{∞} 는 79.6 cm, K는 0.195/year, t_0 는 -4.329 years로 추정하였고, Chi and Yang (1973)은 척추골을 사용하여 L_{∞} 는 103.6 cm, K는 0.302/year, t_0 는 -0.016 years, Uchiyama and Struhsaker (1981)는 L_{∞} 는 102.0 cm, K는 0.55/year, t_0 는 -0.02 years, Leroy (2000)는 표지방류 자료를 사용하여 L_{∞} 는 62.2 cm, K는 2.373/year, t_0 는 0.04 years로 추정하였다(Table 5). 따라서 이석을 이용한 본 연구 결과는 등지느러미의 단면을 이용한 Batts (1972)의 결과와 유사하였으나, 동일한 이석을 이용한 Uchiyama and Struhsaker (1981)의 결과와는

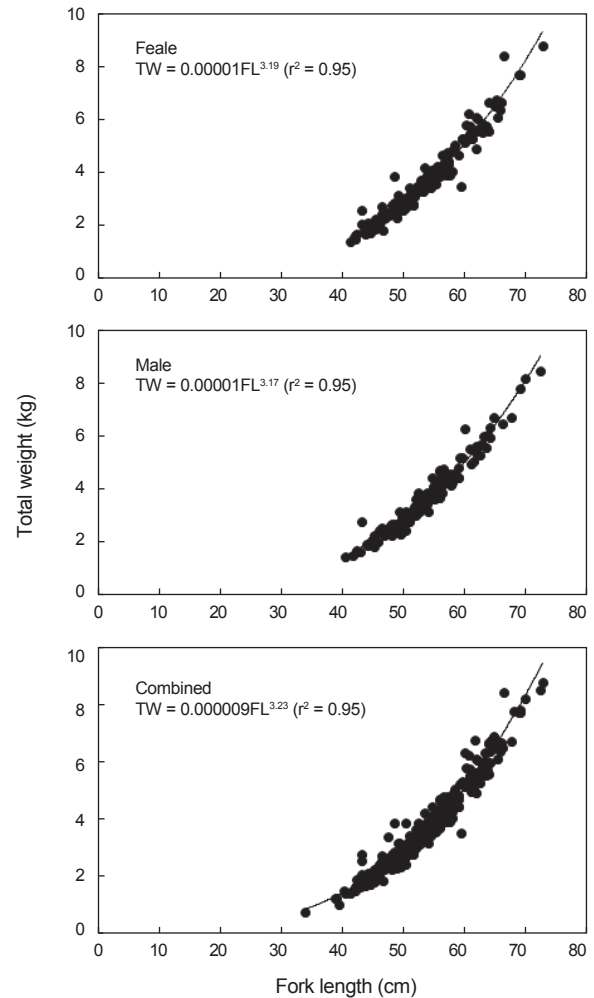


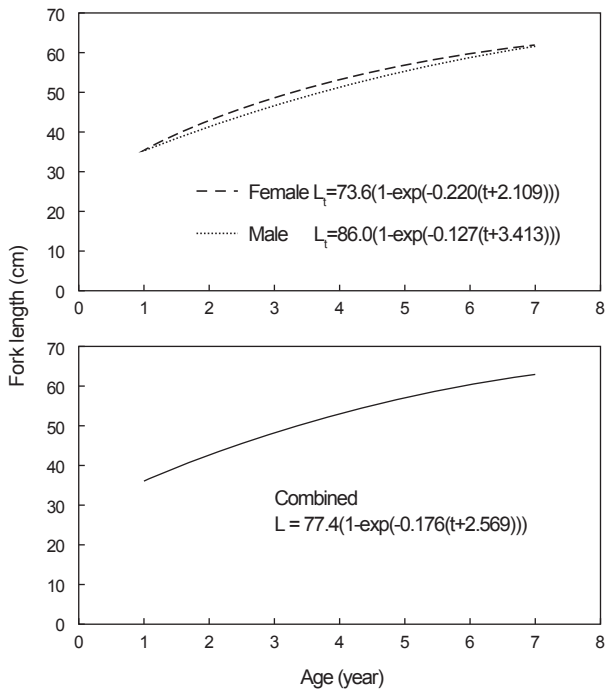
Fig. 8. Relationship between fork length (FL) and total weight (TW) of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean.

차이를 보였다. 그러나 본 연구에서 사용된 표본은 상업적 어선인 선망어업에 의해 수집되었기 때문에, 상업적 가치가 없는 소형개체가 채집되지 않았고, Uchiyama and Struhsaker (1981)는 분석에 사용된 표본수가 너무 적다는 문제점을 안고 있다.

연역지수(MI)는 일반적으로 어류의 운문형성시기를 판단하는 지표로 이용되고 운문형성시기는 산란시기와 관련이 있다(Zhang et al., 2010). 본 연구 결과에 의하면, 가다랑어 연역지수의 월 변화가 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 그 원인은 일반적으로 가다랑어는 열대(적도) 해역에서는 특정 시기와 무관하게 연중 산란하고, 아열대 해역에서는 주로 봄부터 가을 사이에 산란하는 것으로 알려져 있는데(Collette and Nauen, 1983; Matsumoto et al., 1984) 이러한 산란 특성과 관련이 있는 것으로 보인다. 가다랑어의 산란에 대해 좀 더 살펴보면, 동부태평양

Table 5. Comparison of the von Bertalanffy's growth parameters of *Katsuwonus pelamis* estimated in this study with those of previous studies

Reference	Area	Parameters			Method	Range of FL (cm)	Number of Sample
		L_{∞}	K	t_0			
Batts (1972)	North Carolina (Atlantic)	79.6	0.195	-4.329	Dorsal spine	26.3-75.7	558
Chi and Yang (1973)	Western Pacific	103.6	0.302	-0.016	Vertebra	27.0-65.0	539
Uchiyama and Struhsaker (1981)	Central Pacific	102.0	0.55	-0.02	Otolith	3.7-80.3	51
Leroy (2000)	Pacific	62.17	2.373	0.04	Tagging data	30.0-61.0	57
This study	Western and Central Pacific	77.4	0.176	-2.569	Otolith	34.0-72.8	312

Fig. 9. The von Bertalanffy growth curve in fork length of *Katsuwonus pelamis* collected in the Western and Central Pacific Ocean.

의 경우 15°N-20°S 해역에서는 10월에서 3월 사이에 작은 성어들이 산란을 하고(Naganuma, 1979), 60 cm 이상 되는 큰 성어들은 15°N의 이북에서 산란을 한다고 한다(Shomura, 1966). 한편, 하와이 해역에서는 4월말에서 5월초, 그리고 7월말에서 8월 초 사이에 1년에 최소 2번은 산란한다고 하였으며(Matsumoto et al., 1984), 남태평양에서는 11월에서 12월 사이에 산란이 일어나고, 산란기간 동안 반복적으로 산란이 일어날 가능성이 있다고 한다(Hunter et al., 1986). 이렇듯 가다랑어는 서식지에 따라 산란시기가 다르고, Fujino et al. (1981)은 가다랑어는 4개의 계군(인도양, 대서양, 서부태평양, 중동부 태평양)이 존재한다고 하였다. 따라서 본 연구를 수행한 해역에는 두 개 이상의 계군이 존재할 가능성이 있으며, 연령과 성장을 포함한 가다랑어의 명확한 생태학적 특성 구명을 위해서는 향후 계군분석 연

구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 이석을 이용하여 가다랑어의 연령과 성장을 분석하였으며, 이러한 자료는 가다랑어의 자원생태학적 특성치 추정 및 자원평가에 중요한 정보로 활용될 수 있을 것이다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이, 가다랑어의 연령과 성장에 있어서 연구자들간에 차이를 보이고 있어, 이들의 생태학적 특성에 대한 정확한 구명을 위해서는 계군분석과 각 계군별 산란 및 회유 특성에 관한 체계적인 조사연구가 필요한데, 가다랑어는 고도 회유성 어종이므로 여러 기관(또는 국가)간의 협업을 통해 수행하는 것이 보다 효율적일 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원(RP-2015-FR-017)의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- Aikawa H. 1937. Notes on the shoal of bonito along the Pacific coast of Japan. Bull Jap Soc Scient Fish 6, 13-21. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.6.13>.
- Aikawa H and Kato M. 1938. Age determination of fish, I. Bull Jap Soc Scient Fish 7, 79-88. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.7.79>.
- An DH, Moon DY, Kim JB and Kim JY. 2003. Effect of El Nino event on the distribution of Korean tuna purse seine fishery in the western central Pacific Ocean. J Korean Soc Fish Res 6, 32-40.
- Anonymous. 1963. Skipjack-a world resource. Circ Fish Wildl Serv U.S. 165, 28.
- Barkley RA, Neill WH and Gooding RM. 1978. Skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, habitat based on temperature and oxygen requirements. Fish Bull 76, 653-662.
- Batts BS. 1972. Age and growth of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus), in North Carolina Waters. Chesapeake Sci 13, 237-243. <http://dx.doi.org/10.2307/1351107>.
- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Hum Biol 10, 181-213.

- Chi K and Yang R. 1973. Age and growth of skipjack tuna in the waters around the southern part of Taiwan. *Acta Oceanogr Taiwan* 3, 199-221.
- Chur VN and Zharov VL. 1983. Determination of age and growth of the skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Scombridae), from the southern part of the Gulf of Guinea. *J Ichthyol* 23, 53-67. <http://dx.doi.org/10.2307/1351107>.
- Collette BB and Nauen CE. 1983. *FAO species catalogue vol 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerel, bonitos and related species known to date.* FAO fisheries synopsis, 125, 1-137.
- FAO. 2011. *Yearbook of fishery and aquaculture statistics 2009.* Capture production. 1-27.
- Fujino K, Sasaki K and Okumura S. 1981. Genetic diversity of skipjack tuna in the Atlantic, Indian and Pacific Oceans. *Bull Jap Soc Sci Fish* 47, 215-222.
- Graves JE, Ferris SD and Dizon AE. 1984. Close genetic similarity of Atlantic and Pacific skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) demonstrated with restriction endonuclease analysis of mitochondrial DNA. *Mar Biol* 79, 315-319. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00393264>.
- Hunter JR, Macewicz BJ and Sibert JR. 1986. The spawning frequency of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, from the south Pacific. *Fish Bull NOAA-NMFS* 84, 895-903.
- IUCN. 2011. The IUCN red list of threatened species. Retrieved from <http://170310/0> on March 2014.
- Josse E, J. C. Le Guen, Keamey R, Lewis A, Smith A, Marec L, and Tomlinson PK. 1979. Growth of skipjack. *South Pacif Comm Occas Rep* 11, 1-83.
- Kayama S, Tanabe T, Ogura M, Okamoto H and Watanabe Y. 2004. Daily age of skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis* (Linnaeus), in the eastern Indian Ocean. *IOTC-WPTT-03*, 1-15.
- Kayama S, Tanabe T, Ogura M, Okuhara M, Tanaka S and Watanabe Y. 2007. Validation of daily ring formation in sagittal otoliths of late juvenile skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. *Fish Sci* 73, 958-960. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-2906.2007.01419>.
- Kim EJ. 2005. Climate-induced variation in the distribution, catch and biology of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). MS. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Lee SI, Kim ZG, Sohn H, Yoo JT, Kim MJ, Lee DW, Kim DN and Moon DY. 2011. Pilot research on species composition of Korean purse seine catch at cannery. *J Kor Soc Fish Tech* 47, 390-402. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2011.47.4.390>.
- Leroy B. 2000. Preliminary results on Skipjack (*Katsuwonus pelamis*) growth. 13 Meeting of the standing Committee on Tuna and Billfish (SCTB 13), New Caledonia, 5-12.
- Marcille J and Stequert B. 1976. Etude preliminaire de la croissance du listao (*Katsuwonus pelamis*) dans l'ouest de l'Ocean Indien tropical (in French with English summary). *Cah ORSTOM Ser Oceanogr* 14, 139-151.
- Matsumoto W. M., Skillman RA, and Dizon AE. 1984. Synopsis of biological data on skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*. U.S. Nat Mar Fish Serv NOAA Tech Rep NMFS Circ 451, 92.
- Moon DY, Yang WS, Kim SS, Koh JR and Kim EJ. 2005. Characteristics of the Korean tuna purse seine fishery in the Western and Central Pacific Ocean. *J Kor S Fish Tech* 41, 263-270.
- Naganuma A. 1979. On spawning activities of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. *Bull Tohoku Reg Fish Res Lab* 40, 1-13.
- NFRDI. 2008. *Field Guide to Bycatch Species in Korean Distant-Water Fisheries.* NFRDI, Busan, Korea, 7.
- Robillard E, Reiss CS and Jones CM. 2009. Age validation and growth of bluefish (*Pomatomus saltatrix*) along the east coast of the United States. *Fisheries Research* 95, 65-75. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fisheries.2008.07.012>.
- Shabotiniets EI. 1968. Age determination of Indian Ocean tunas. *Tr. VNIRO* 64, 374-376.
- Shomura RS. 1966. Age and growth studies of four species of tunas in the Pacific Ocean. In: *Proceedings of Governor's Conference on Central Pacific Fishery Resources.* Thomas AM, ed. State of Hawaii, U.S.A., 203-219.
- Sosa-Nishizaki O, Shimizu M and Nose Y. 1989. The potential use of second dorsal fin rays of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* as an aging character. *Nippon Suisan Gakkaishi* 55, 1559-1564. <http://dx.doi.org/10.2331/suisan.55.1559>.
- Tanabe T, Kayama S and Ogura M. 2003. Daily increment formation in otoliths of juvenile skipjack tuna *Katsuwonus pelamis*. *Fish Sci* 69, 731-737. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1444-2906.2003.00690.x>.
- Uchiyama JH and Struhsaker P. 1981. Age and growth of Skipjack Tuna, *Katsuwonus pelamis*, and Yellowfin Tuna, *Thunnus albacares*, as indicated by daily growth increment of sagittae. *Fish Bull* 79, 151-162.
- Wungen JE. 2012. Relationship between climatic factors and distribution and abundance of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the Western and Central Pacific Ocean. MS. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Yokota T, Toriyama M, Kanai F and Nomura S. 1961. Studies on the feeding habits of fishes (in Japanese with English summary). *Nankai Reg Fish Res Lab Rep* 14, 1-234.
- Zhang CI. 2010. *Marine Fisheries Resource Ecology.* Pukyong National University Press, Busan, Korea, 162-221.