

이석을 이용한 참조기(*Pseudosciaena polyactis* Bleeker)의 연령사정과 성장식 추정

이만우 · 장창익 · 이장욱*
부경대학교 · *국립수산진흥원
(2000년 7월 18일 접수)

Age Determination and Estimation of Growth Parameters Using Otoliths of Small Yellow Croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean Waters

Man Woo LEE, Chang Ik ZHANG and Jang Uk LEE*

Pukyong National University,

*National Fisheries Research and Development Institute

(Received July 18, 2000)

Abstract

A methodology for determining age by otolith of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker, was developed. A thin section method was chosen to be suitable for age determination because the otolith had a three-dimensional shape and thus it was not possible to read the otolith rings on the surface. The clear rings were identified on the vertical-axis cross-sectioned otoliths. The total length-total weight relationship and the growth parameters were estimated with error structure to endow with accuracy. In the relationship between total length and total weight, a multiplicative error structure was assumed because variability in growth increased as a function of the length, and the estimated equation was $W = 0.0049L^{3.2153}$. The variability in growth was constant as a function of the age, revealing an additive error structure. The von Bertalanffy growth parameters were obtained from a nonlinear regression as $L_{\infty} = 37.11\text{cm}$, $K = 0.20/\text{yr}$ and $t_0 = -1.88$.

緒 論

참조기 (Small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker)는 농어목 (Order Perciformes) 민어과 (Family Sciaenidae)에 속하는 어종으로 우리 나라 서해연안과 황해 및 동중국해에 광범위하게 분포하고 있으며 우리 나라 연근해 어업에 있

어서 전통적으로 중요한 위치를 차지하고 있다.

우리 나라 서해 근해에서는 12월부터 이듬해 2월까지 제주도 서남부의 심해에서 월동한 후 3월이나 4월부터 서해연안으로 북상 회유를 시작하여 4월에는 위도와 어청도를 거쳐 계속 북상하고, 5~6월에는 연평도 근해까지 회유하며 이 해역에서 산란한다. 산란후에는 외해측으로 이동 분산하

여 지내다가 10월 하순부터 남하하여 11월 이후에는 동중국해의 월동장에 이르게 되는 것으로 알려져 있다 (국립수산진흥원, 1979).

우리 나라에서 참조기는 기선저인망어업, 안강망어업 및 유자망 어업의 주대상종으로 어획량은 1960년대 초반에는 20,000~30,000 톤의 범위였다가, 60년대 중반부터 큰 변동을 보이면서 40,000 톤 수준으로 증가하였다. 그러나 80년대에는 10,000~20,000 톤 수준으로 떨어졌고, 90년대 이후에는 다시 20,000~30,000 톤 정도의 수준을 보이고 있다.

참조기 어업의 중심 어장은 1960년대까지 연평도를 중심으로 한 서해안 일대였으나, 1970년대에는 흑산도 근해를 포함한 제주도 서부해역으로 이동되었다. 그 후 점차 동중국해에서 주어장이 형성되어 최근에는 제주도 남부의 동중국해에서 연간 어획량의 70% 이상이 어획되고 있으며, 또한 어선세력은 계속 증가되어 왔으나 단위 노력당 어획량 (CPUE)은 오히려 감소하고 있는 실정이다 (국립수산진흥원, 1988).

우리 나라에서 참조기에 대한 연구는 배 (1960), Ikeda (1964), 정 (1970) 및 황과 최 (1980)의 연령과 성장, 이 (1977)의 생잔을 추정에 관한 연구, 장 등 (1992a, 1992b, 1992c)이 한국 연근해의 참조기 자원의 자원생태학적 특성치 추정과 자원량 변동, 자원관리방안 연구 등을 수행하였고, 참조기 개체군의 가입에 미치는 환경요인을 규명한 김 등 (1997)의 연구가 있다. 그 외 국립수산진흥원 (1988, 1990, 1993)의 연근해 어업자원조사 보고

서에서 참조기 자원에 관한 생물·생태학적 특성 및 자원상태에 관하여 요약하고 있다. 그러나 지금까지 참조기 자원 평가 및 관리에 관한 연구는 과거에 밝혀진 자원 생물학적 특성치 자료를 근거로 하고 있어 현재 이 자원에 대한 정확한 자원구조와 자원진단에 상당한 오차를 가지고 있는 것으로 추정된다.

지금까지 참조기의 연령과 성장에 관한 연구는 연령형질로서 비늘을 이용한 연령사정으로 연령별 체장을 추정하였다. 그러나 최근에는 비늘보다는 이석에 의한 연령사정의 결과가 개체의 생활사 동안의 생물학적, 환경적인 요인을 훨씬 더 내포하고 있다는 연구결과가 보고되고 있다 (Secor *et al.*, 1995). 본 논문에서는 최근의 참조기 표본을 사용하여 이석에 의한 연령사정방법을 소개하고, 이로부터 구해진 자료를 바탕으로 참조기 자원의 성장에 관한 연구결과를 보고하여 앞으로 이 자원의 평가 및 관리에 관한 연구에 기초자료로 활용하도록 하고자 한다.

材料 및 方法

1. 표본의 채집

본 연구에 사용된 표본은 대형기저쌍끌이어업에 의해 부산공동어시장에 위판된 어획물 중 국립수산진흥원에서 생물학적 조사를 위해 표본한 1996년 10월, 1997년의 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11월, 그리고 2000년 1월의 자료를 이용하였으며 (Table 1), 표본의 어획된 위치는 제주도 서남방 어장이다

Table 1. Sampling month, number of specimen, ranges of total length and body weight of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker used in this study

Year	month	No. of specimen	Average length (cm)	Range of length (cm)	Average weight(g)	Range of weight(g)
1996	Oct.	171	23.8	17.2~33.3	152.8	16.2~412.6
1997	Feb.	70	17.8	12.0~22.2	51.0	11.8~ 97.5
	Mar.	72	25.5	21.0~28.5	170.4	116.1~271.5
	May	100	23.8	17.7~32.4	133.0	44.4~369.2
	Jun.	112	18.4	13.8~25.6	60.5	19.6~123.5
	Jul.	112	21.2	16.0~29.5	102.5	41.6~240.8
	Aug.	113	21.0	15.0~28.0	98.6	43.6~347.7
	Nov.	113	20.0	11.7~27.0	87.1	14.4~204.4
2000	Jan.	85	22.1	20.0~24.5	95.1	63.7~140.2
Total		948	21.5	12.0~33.3	105.7	11.8~412.6

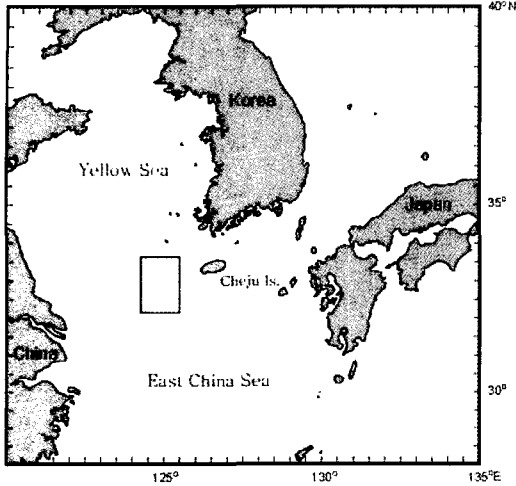


Fig. 1. Map showing the sampling site.

(Fig. 1).

2. 연령과 성장

1) 이석에 의한 연령사정

이석을 이용한 연령사정의 단계로 먼저 과거에 채취한 이석을 10% KOH 용액에 하루 정도 불려 이물질을 제거한 후 건조시켰다. 다음으로 건조된 이석을 5~6개씩 아크릴 막대에 고정시킨 후 실리콘으로 제작한 몰딩틀에 넣고 Castolite Resin으로 36시간 정도 응고시켰다. 이 때 Castolite Resin 8cc (몰딩틀의 한 블록의 용량)에 Castolite Hardener 5방울의 비율을 적용하였다. 몰딩된 이석을 절단기 (Isomet 1000, Buehler社)를 이용하여 날의 회전 속도를 250~300rpm 정도로 하여 두께 0.3~0.4mm의 절편을 만들어 연령사정에 사용하였다 (Fig. 2). 이석의 연령사정은 저배율의 입체현미경 (SZ-40, Olympus社)을 이용하여 CCD 카메라를 통해 모니터상에서 실시하였다.

2) 윤문의 대응성

연령사정을 실시한 후 윤문이 연령형질로서 적합한가를 판단하기 위해 대응성을 검토하였으며, 윤문의 형성시기 및 형성횟수를 추정하기 위해 연역지수 (Marginal Index : MI)의 월별변화를 조사하였다. 연역지수는 다음의 식을 이용하여 구하였다.

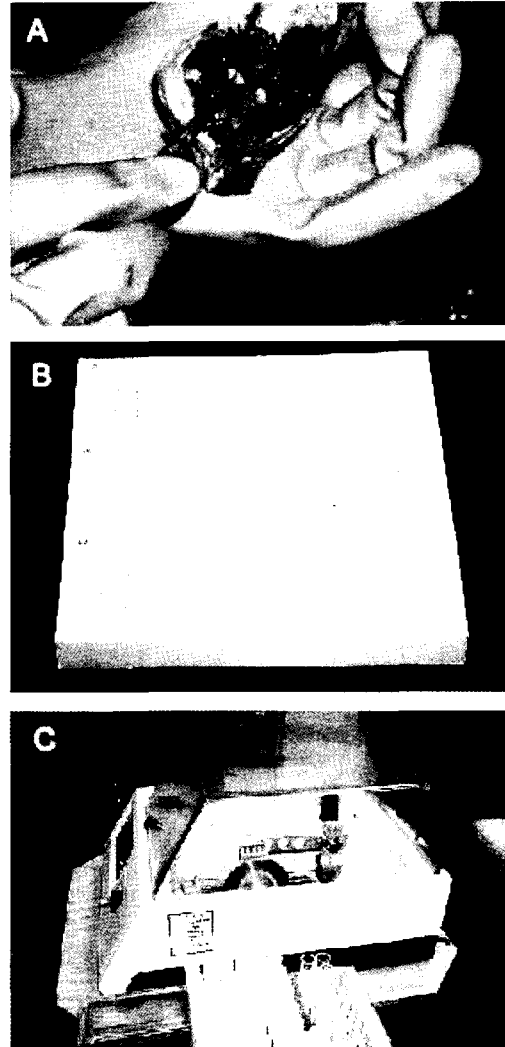


Fig. 2. Procedure of cutting of the small yellow croaker otolith for thin section (A : extracting, B : molding, C : cutting).

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

여기서, R 은 중심부 초점에서 최외측까지의 거리, r_n 은 중심부 초점에서 n 번째 윤경까지의 거리이다.

정확한 MI 를 구하기 위해서는 연속되는 12개월의 자료를 사용해야 되는 것이 원칙이다. 그러나, 본 논문에서는 96년 10월부터 2000년 1월 까지 참조기 자원이 환경 등 다른 주변 요인에 영향을

받지 않고 안정적이었다는 가정을 전제로 하여 월별 *MI*를 구하였다.

3) 체장 (*L*)-체중 (*W*) 관계

적절한 상대성장 모델식의 매개변수를 추정하기 위해서는 먼저 사용된 자료의 오차구조 (error structure)를 확인하는 것이 이상적이다. 오차구조는 함수의 독립변수에 대해 오차의 크기가 일정한 합의 오차구조 (additive error structure)와 함수의 독립변수에 따라 오차가 증가하는 곱의 오차구조 (multiplicative error structure)로 나눌 수 있다 (Quinn and Deriso, 1999). 합의 오차구조와 곱의 오차구조에서의 일반식은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$W = \alpha L^\beta + \varepsilon_i \quad (2)$$

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

여기서, ε_i 는 평균은 0이고 분산은 σ^2 인 임의의 오차항이다. 오차구조의 설정은 전체 표본을 체장과 체중에 대한 그래프로 나타냄으로써 확인할 수 있다. 매개변수 α, β 의 추정은 합의 오차구조일 때는 비선형 최소자승법 (nonlinear least squares)을 사용하고, 곱의 오차구조일 때는 선형최소자승법 (linear least squares)을 사용한다. 즉, 곱의 오차구조를 가지는 식(3)에 대수를 취해서 아래의 식(4)로 변환한 후 직선회귀하여 매개변수를 추정한다.

$$\ln W_i = \ln \alpha + \beta \ln L_i + \varepsilon_i \quad (4)$$

4) 성장식의 추정

본 연구에서는 동물의 성장을 나타내는데 일반적으로 사용하는 von Bertalanffy 성장모델을 선택하여 모델의 매개변수를 추정하기 위하여 먼저 연령별 체장 측정치의 오차구조를 확인하였다. 합의 오차구조와 곱의 오차구조에서의 일반식은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$l_{t_i} = L_\infty(1 - e^{-K(t_i - t_0)}) + \varepsilon_i \quad (5)$$

$$l_{t_i} = L_\infty(1 - e^{-K(t_i - t_0)}) \cdot e^{\varepsilon_i} \quad (6)$$

여기서, l_{t_i} 는 i 개체의 연령 t 시의 체장, t_0 는 i 개체의 연령, L_∞ 는 이론적 최대체장, K 는 성장계수, t_0 는 체장이 0일 때의 이론적 연령이며, ε_i 는 평균이 0

이고 분산은 σ^2 인 임의의 오차항이다. 오차구조를 확인한 다음, Walford 정차도법에 의해 연령별 평균 관측체장을 사용하여 구한 결과를 초기치로 하여 비선형회귀분석방법으로 성장매개변수들을 구하였다.

結 果

1. 이석에 의한 연령사정

참조기의 이석은 성장중심 (core)을 기준으로 앞쪽과 위쪽으로 경사진 형태를 가지고 있다. 가장 선명한 윤경을 찾기 위해 초점을 중심으로 가로, 세로, 대각선 방향으로 얇게 절단하였다 (Fig. 3). 그 결과 가로 방향 (B축)으로 절단했을 경우에는 초점을 구분하기 힘들었으며, 대각선 방향 (C축)도 역시 초점의 구분이 힘들어 기점을 잡기 어려웠다. 그러나, 세로 방향 (A축)의 경우 아래쪽으로 규칙적이고 선명한 윤문이 잘 나타나 절단축의 방향을 A축으로 결정하였다 (Fig. 4).

A축으로 참조기 이석을 절단한 후 이석의 성장

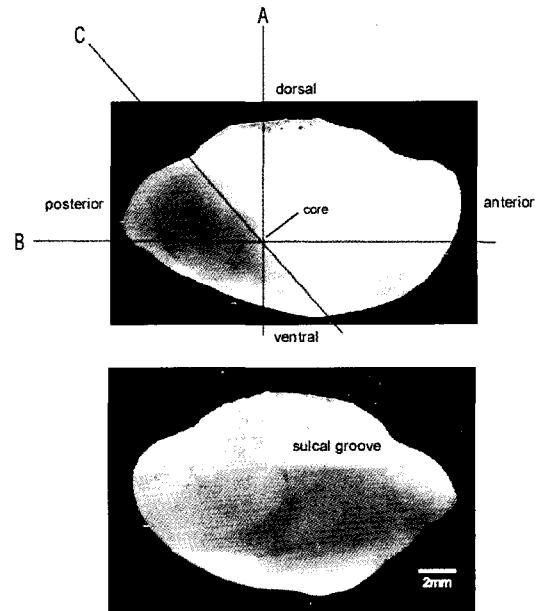


Fig. 3. Photograph of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker otolith by cutting dimension (A : vertical, B : transverse, C : oblique, TL = 324mm).

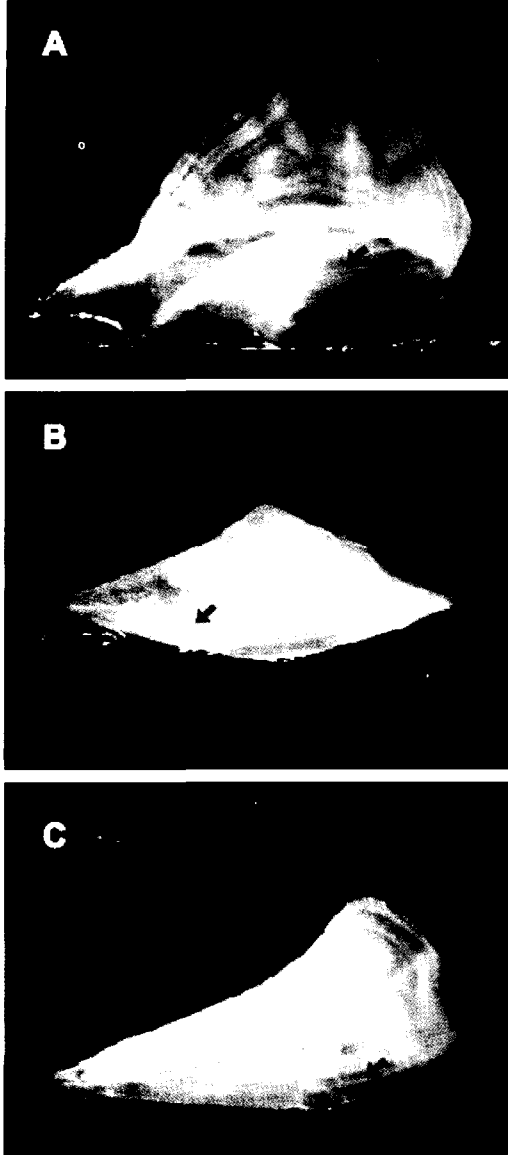


Fig. 4. Photograph of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker otolith by each cutting dimension (A : vertical, TL = 293mm, B : transverse, TL = 324mm, C : oblique, TL = 295mm).

방향을 Fig. 5와 같이 세 방향으로 나누어보면 초점을 중심으로 1번 방향으로서는 윤경이 선명하고 규칙적인 넓은 투명대와 좁은 불투명대가 잘 나타났고, 3번 방향으로는 선명하기는 하지만 윤경이 불규칙하였다. 따라서 1번 방향을 측정 기준선으

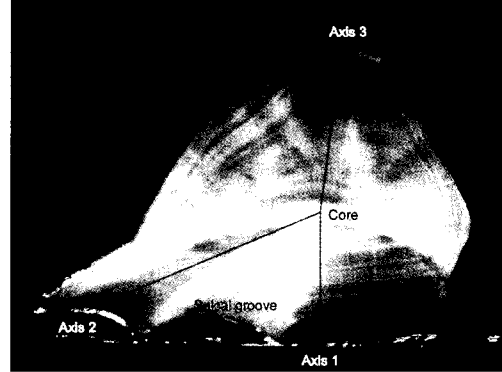


Fig. 5. Three growth axes for radius measurements taken from the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker otolith (TL = 333mm).

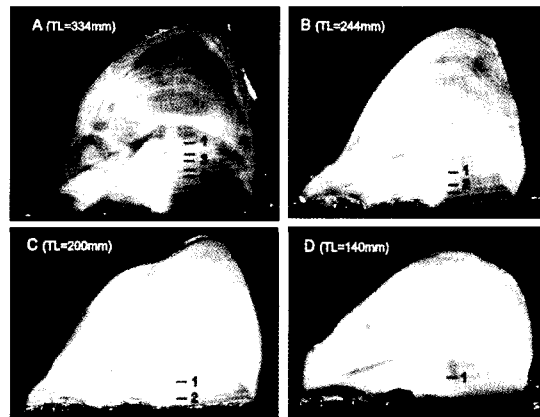


Fig. 6. Number of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker otolith ring by size.

로 설정하였다 (Fig. 5).

Fig. 6은 이상의 기준을 바탕으로 연령사정을 실시한 참조기 이석의 각 연령별 윤문을 보여준다.

2. 윤문의 대응성 및 형성시기

이석에서 확인된 윤문 중 위륜 및 이상륜을 가려내기 위해 윤군별로 이석경과 윤경간의 관계를 검토하였다 (Fig. 7). 각 윤군에 있어서 윤군 측정치는 일정한 간격으로 분포하며 이석경과 윤경은 직선의 관계를 가지면서 약간의 중복을 보이기는 하지만 대체적으로 잘 분리되었다. 또한 같은 수

이석을 이용한 참조기(*Pseudosciaena polyactis* Bleeker)의 연령사정과 성장식 추정

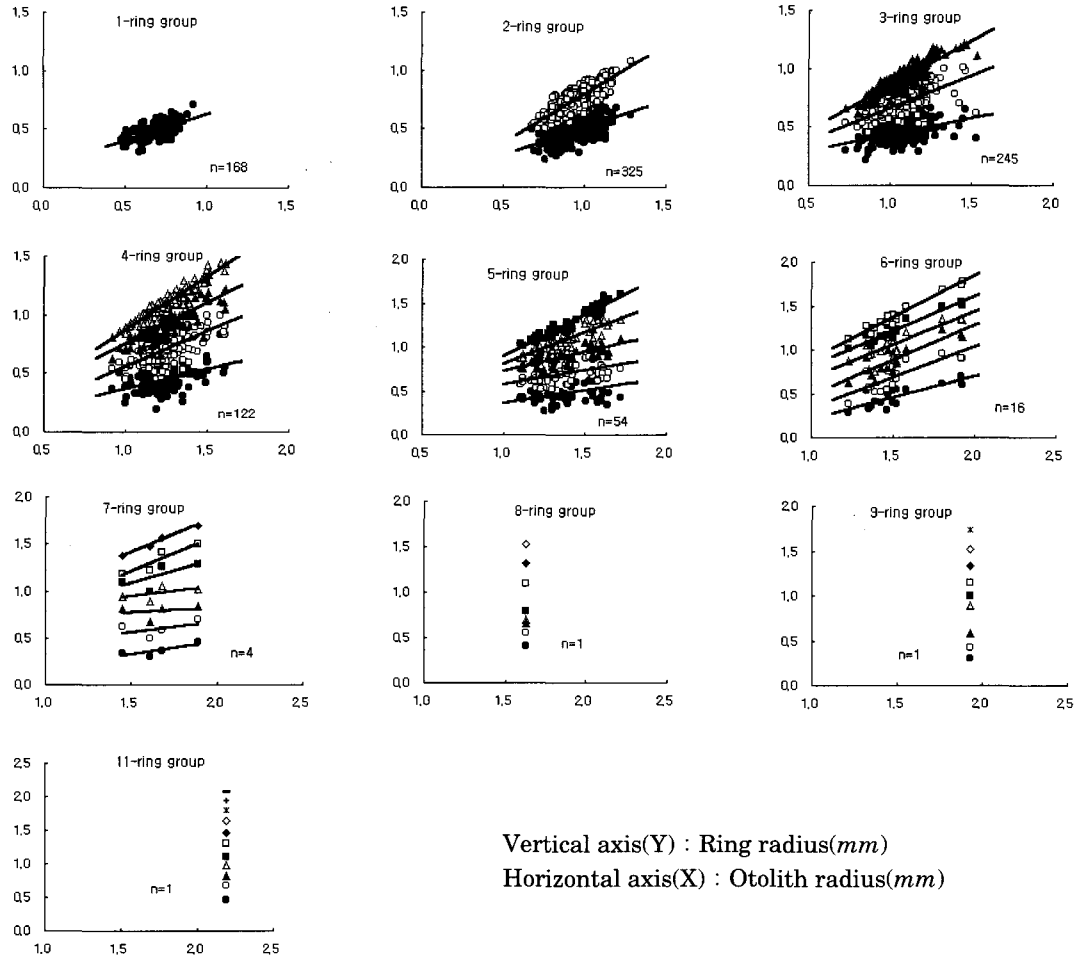


Fig. 7. Relationship between otolith radius and ring radius of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters.

의 윤문을 가지는 경우에도 이석경이 커짐에 따라 윤경 역시 크게 나타났다. 따라서 이석에 나타난 이석경과 윤경간에 대응성이 있음을 알 수 있다.

이석경 연변부가 비교하기 쉽게 잘 나타나는 2, 3세어, 568마리를 대상으로 월별로 연역지수를 구해 본 결과 (Fig. 8), 2월 이후 감소하여 5월에 가장 낮은 값을 보여 이석의 윤문형성시기는 3~5월이며, 주형성시기는 4~5월로 간주된다. 윤문은 대체적으로 연 1회 형성됨을 알 수 있었으며, 윤문형성시기가 알려진 산란시기와 거의 일치하였으므로 윤문을 연륜으로 간주하여 연령사정에 적용하였다.

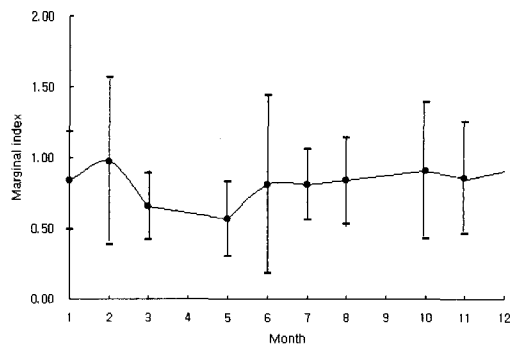


Fig. 8. Monthly change in otolith marginal index of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구에 사용된 전체 948마리의 참조기에 대한 연령-체장 상관표 (Age-length key)를 부록 1, 2에 수록하였다.

3. 체장 - 체중 관계

먼저 오차구조를 알기 위해 총 948마리에 대한 체장 (L)과 체중 (W)간의 관계를 그래프를 통해 알아본 결과, 체장이 커질수록 체중의 변이가 더 커지는 곱의 오차구조를 가짐을 알 수 있었다 (Fig. 9a). 보다 정확하게 오차구조를 확인하기 위하여, 체장을 1cm 단위로 구간을 나누어 그 구간에 대한 체중의 표준편차 (SD)를 구해본 결과, Fig. 9b와 같이 체장이 커질수록 표준편차도 커지는 경향을 나타내어 곱의 오차구조임을 확인하였다. 추정된

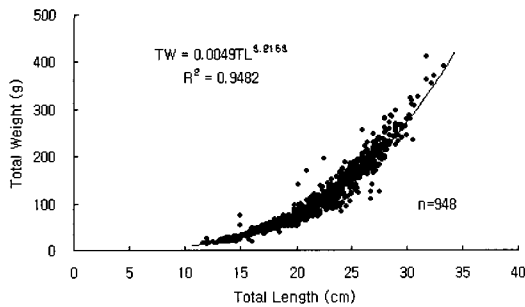


Fig. 9a. Relationship between total length and total weight of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters.

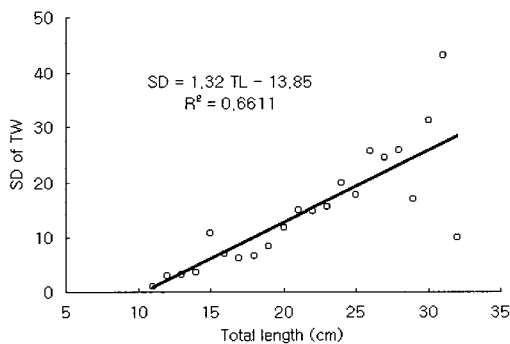


Fig. 9b. Relationship between total length and standard deviation(SD) of total weight of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters.

체장-체중 관계식은 식(7)과 같으며, 식(4)에 의한 직선회귀결과는 Table 2에 나타내었다.

$$W = 0.0049L^{3.2153} \quad (R^2 = 0.9482) \quad (7)$$

4. 성장식의 추정

von Bertalanffy 성장식을 구하기 위하여 먼저 오차구조를 확인하였다. 전체 948마리를 연령에 대한 체장 그래프로 나타내 본 결과, Fig. 10과 같이 연령에 따른 체장의 변이가 거의 일정한 합의 오차구조를 가지고 있었다. 연령별 평균체장자료를 이용하여 von Bertalanffy 성장식의 매개변수들을 Walford의 정차도법에 의해 구한 결과를 초기치로 하여 식(5)를 사용하여 l_t 를 독립변수, t_t 를 종속변수로 하여 비선형 회귀분석법에 의해 추정

Table 2. Regression statistics for the relationship between total length and total weight of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters

Statistics	Value
$\ln \alpha \pm SE$	-5.3229 ± 0.0750
95% CI for $\ln \alpha$	$(-5.4730, -5.1729)$
$\beta \pm SE$	3.2153 ± 0.0245
95% CI for b	$(3.1663, 3.2643)$
$\alpha = \exp(\ln \alpha)$	0.00488
95% CI for α	$(0.00420, 0.00567)$
n	989
R^2	0.9482

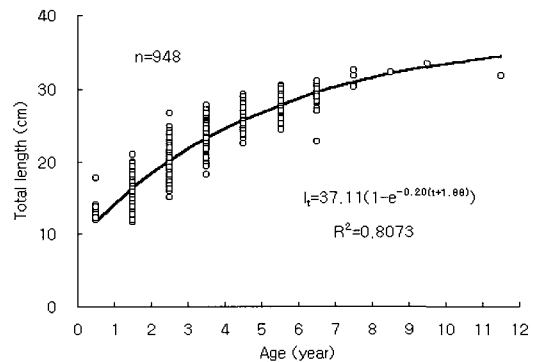


Fig. 10. The von Bertalanffy growth curve estimated by non-linear regression method of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters.

Table 3. Estimated parameters of von Bertalanffy growth equation of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters

Parameters	Method of parameter estimation	
	Walford	Non-linear
L_{∞}	36.89 cm	37.11 cm
K	0.2148/yr	0.2010/yr
t_0	-1.5967	-1.8826
n	7	948
R^2	0.9952	0.8073

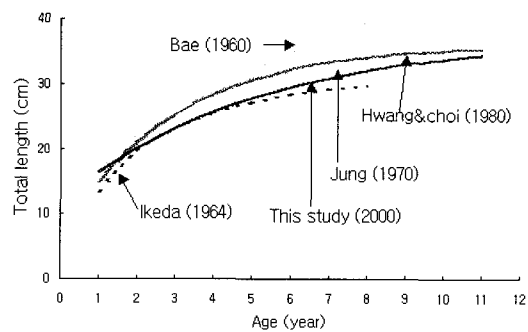


Fig. 11. The comparison of growth curves between this study and previous studies.

하였다. 추정된 이론적 최대연령 (L_{∞})은 37.11cm 였으며, 성장계수 (K)는 0.2010/yr, 체장이 0일 때의 이론적 연령 (t_0)은 -1.8826으로 나타났다 (Table 3). Fig. 11은 과거 참조기의 연령별 체장 곡선을 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 Ikeda (1964)의 결과를 제외한 한국 연근해산 참조기의 연령별 체장은 60년대와 70, 80년대를 거쳐 최근에는 그 크기가 전체연령에 대해 점점 작아지는 경향을 나타내었다. 또한, 1세어의 경우에 있어서는 70, 80년대의 1세어보다 체장이 더 크음을 알 수 있다. Fig. 11에 사용된 연령별 체장 자료는 부록 3에 수록하였다.

考 察

자원생물의 연령을 알아내는 과제는 자원생태학적 연구의 출발점이라고 해도 과언이 아니다. 연령을 판독할 수 있는 연령형질로는 비늘, 척추골, 이석 등이 있으나, 지금까지 대부분의 연령사

정은 작업의 편리성과 시간절약의 이점 등으로 인하여 비늘을 이용하여 수행되어왔다. 그러나 비늘을 이용한 연령사정은 다음과 같은 몇 가지의 문제점이 있다. 먼저, 개체의 성장과정 중 어떤 요인으로 인해 비늘의 탈락이 생겼을 경우 다시 생성되는 비늘은 실질적인 개체의 연령형질이 되지 못한다. 두 번째로는 같은 한 개체의 비늘이라 하더라도 채취 부위에 따라 그 모양과 크기가 다를 수 있으므로 비늘을 이용한 연령사정의 결과가 일반적인 성장을 나타내는 데는 많은 오차를 수반할 수 있다. 또한, 어린 개체의 초륜과 고령어의 외측륜을 판독하기 힘들뿐만 아니라 시·공간적 차이에 의해 연륜 형성시기가 불규칙할 수도 있다. 이러한 문제점을 극복하고자 최근 여러 방면에서 이석을 이용한 연령사정의 연구가 활발히 이루어지고 있으며 비늘보다는 이석에 의한 연령사정이 개체의 생활사동안의 생물학적, 환경적인 요인을 더욱 정확하게 나타낸다는 사실이 일반화되고 있다 (Secor *et al*, 1995).

비늘과 이석의 두 연령형질 중 어느 것이 더 적합한지 알아보기 위해 2000년 1월 표본 92마리에 대하여 두 연령형질로서 연령사정을 실시했다. 그 결과, 66마리의 연령사정 결과가 일치하였고, 26마리는 1세 차이로 일치하지 않았다. 일치하지 않는 26마리 중 22마리는 비늘에 나타나는 연령이 컸으며, 4마리가 이석에 나타난 연령이 더 컸다. 이 사실에서 이석보다는 비늘에서 위륜이 생길 가능성이 많음을 유추할 수 있다. 이러한 위륜은 개체의 생활사동안에 주위 환경의 변화나 산란기의 산란 스트레스 등에 기인하는 것으로 실질적인 연륜이 아니므로 비늘에 의한 연령사정의 단점이라 할 수 있다. 연령이 일치하는 66마리에 대한 이석경과 인경의 변동계수를 구해본 결과, 4세를 제외하면 이석경의 변동계수가 인경의 변동계수보다 작았다. 이는 비늘의 경우 같은 개체라도 채취 부위에 따라 크기가 다르므로 같은 수의 윤문 일지라도 초점에서 윤문까지의 거리에 변이가 있기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 비늘보다는 이석에 나타나는 윤문이 규칙적임을 나타내었다. 따라서 상대적으로 윤문이 일정한 간격으로 규칙적으로 나타나고, 위륜이 생길 가능성이 더 낮은 이석이 비

늘보다 연령형질로 더 적합한 것으로 판단된다.

참조기를 비롯한 민어과 어류의 이석은 외관상으로 윤문을 판독하기가 힘들다. 따라서, 이석의 성장 초점을 중심으로 얇게 절단하여 판독하는 방법 (thin section method)이 가장 효율적일 것이다. 지금까지는 얇게 절편을 만드는 작업과정이 여러 가지 기술적인 문제로 곤란하였을 뿐만 아니라, 성장 초점을 중심으로 어느 방향으로 가장 선명한 윤문이 나타나는지에 대해서도 알려진 바가 없었으므로 참조기 이석을 연령형질로 사용한 보고는 전무한 실정이었다. 본 연구에서 초점을 중심으로 가로, 세로, 대각선의 세 방향으로 절단해 본 결과, 참조기 이석을 세로방향으로 절단했을 경우가 윤문이 규칙적으로 나타나고 가장 선명함을 알 수 있었다.

윤문의 형성시기를 추정하기 위해 연역지수를 구해본 결과 참조기의 산란기로 알려진 3~6월과 거의 일치하였다. 여기서 산란이후에 어린 개체에서 이석이 바로 형성되어 첫 번째 연륜이 생기기까지는 거의 1년이 소요된다는 사실을 유추할 수 있다. 정확한 월별 연역지수를 구하기 위해서는 원칙적으로 연속되는 12개월 이상의 자료가 필요하다. 그러나 사용 가능한 자료 중 만족하는 자료가 없었으므로 표본이 있는 월이 가장 많은 1997년 자료를 우선적으로 사용하고 1997년에서 빠진 월에 대해서는 1996년 10월 자료와 2000년 1월 자료를 추가하여 연역지수를 구하였다. 즉, 1996년 10월부터 2000년 1월까지 한국 연근해 참조기 자원은 환경 등 기타요인에 의해 성장에 대한 영향을 받지 않고 안정적이었다는 사실이 가정으로 추가되었다.

본 논문에서는 체장-체중간의 상대성장식을 구하기 전에 먼저 오차구조를 확인하는 과정을 거쳤다. 지금까지의 연령과 성장에 관한 연구에서는 자료의 오차 구조가 불명확하게 정의되어 추정된 매개변수에 대한 정확성을 얻기 어려웠다. 한국 연근해산 참조기의 경우 체장이 커짐에 따라 오차가 더 커지는 곱의 오차구조를 갖는 것으로 나타났으며 매개변수의 추정은 선형최소자승법을 사용하여 추정하였다.

성장식의 추정에 있어서도 오차구조를 먼저 확

인하였다. 전체 표본에 대한 연령별 체장 그래프를 통해 성장식의 오차구조는 합의 오차구조임을 알 수 있었다. 오차구조를 확인한 후 Walford 정차도법으로 von Bertalanffy 성장매개변수를 구하고 그 결과를 다시 초기치로 하여 비선형회귀방법으로 최종의 성장매개변수를 추정하였다. 지금까지의 성장에 관한 연구에서는 역계산체장 또는 평균체장을 사용하여왔다. 그러나 역계산체장을 사용하는 경우는 윤경 측정시의 오차뿐만 아니라 윤경 체장간의 관계식 자체의 오차도 포함되어 많은 오차를 야기할 수 있다. 또한, 역계산 체장을 사용하면 성장의 다양성을 무시하게 된다는 지적이 있다. 연령별 평균체장을 사용하여 매개변수를 추정하는 경우에도 평균체장에 대한 편차들은 전혀 고려하지 못하게 되므로 여기서 구해진 통계치들, 예를 들면 결정계수 (R^2)는 실제값이 될 수 없다. 이 경우 대개 결정계수가 0.9 이상의 높은 값을 갖게 되는데 이 원인은 체장의 평균값들만 사용함에 따른 것이다.

과거 동종에 대한 연령별 체장결과들을 객관적으로 비교하기 위해서는 같은 조건 즉, 연령형질과 성장식 추정에 사용된 체장자료의 도출방법이 같아야 한다. 그러나 본 연구에서는 이석을 이용하여 연령사정을 실시했고, 성장식 추정에 사용된 체장자료 역시 실제 측정치 전부를 사용했기 때문에 과거의 결과들과 객관적인 비교는 불가능했다. 결과만을 가지고 살펴보면 연령별 체장이 1세어를 제외하면 전연령에 대해 과거의 결과보다 작게 나타났고, 1세어는 더 크게 나타났다.

要 約

지금까지의 한국 연근해산 참조기의 연령사정은 전부가 비늘에 의한 것이었다. 본 연구에서는 최초로 참조기의 이석을 연령형질로 사용하여 가장 적절한 연령사정 방법을 모색해 보았다. 참조기의 이석은 외관상으로는 윤문이 보이지 않으므로 얇게 절단하여 판독하는 방법 (thin section method)이 적절하며, 성장 초점을 기준으로 가로, 세로, 대각선 세 방향으로 얇게 절단하여 윤문이 가장 선명하게 나타나는 방향을 알아본 결과 세로

방향으로 절단했을 경우가 윤문의 판독이 가장 용이하였다.

체장-체중 관계식과 성장식의 추정에서는 지금까지의 성장에 관한 연구에서는 고려되지 않았던 오차구조를 밝혀 매개변수의 추정에 정확성을 기하였다. 체장-체중 관계에서는 체장이 증가함에 따라 오차도 증가하는 곱의 오차구조를 가지며 관계식은 $W=0.0049 L^{3.2153}$ 으로 나타났다. 성장식에서는 오차가 연령이 증가함에 따라 일정한 합의 오차구조를 가지며 비선형 회귀분석에 의한 von Bertalanffy 성장식은 $L_t=37.11(1-e^{-0.20(t+1.88)})$ 로 나타났다.

參考文獻

- 국립수산진흥원 (1979) : 한국해양편람. 제 3판, 650.
- 국립수산진흥원 (1988) : 연근해어업자원평가. 수산자원조사보고 제 10호 Part I. 254.
- 국립수산진흥원 (1990) : 연근해 어업자원의 적정어획강도. 수산자원조사보고 제 11호.
- 국립수산진흥원 (1993) : 93년 연근해 어업자원의 동향. 수산자원조사보고 제 14호.
- 김용문 (1974) : 황해·동지나해산 참조기 자원관리의 효과적 방법에 관한 역학적 연구. 한수지 7(2) : 33-43.
- 박차수 (1981) : 한국 서해산 참조기의 성숙과 산란. 국립수산진흥원연구보고 제 27호 : 93-101.
- 배동환 (1960) : 한국 근해에 있어서 참조기 자원의 자원 생물학적 연구. 수진수산자원조사보고, 4(53) : 61~62.
- 이장옥 (1977) : 황해·동지나해산 참조기의 연령조성과 생산율의 추정. 수진연구보고, 16 : 7~31.
- 장창익 (1991) : 수산자원생태학, 해양학강의 시리즈 (I). 우성문화사. 399.
- 장창익·김용문·유신재·김종관·안순모 (1992a) : 한국 근해 참조기 자원의 자원량 변동에 관한 연구. 한수지, 25(1) : 37~44.
- 장창익·김용문·유신재·박차수·김수암·김종관·윤성봉 (1992b) : 한국근해 참조기 자원의 자원생태학적인 특성치 추정. 한수지, 25(1) : 29~36.
- 장창익·김수암·윤성봉 (1992c) : 한국 근해 참조기의 자원평가 및 관리방안. 한수지, 25(4) : 282~290.
- 정상철 (1970) : 한국 서해산 참조기의 연령과 성장. 한수지, 3(3) : 154~160.
- 한국해양연구소 (1997) : 조기류의 생산기술 연구 (I) Study on the Production Techniques for Sciaenids (I). BSPG 00117-363-3. 167.
- 황번일·최수하 (1980) : 황해·동지나해산 참조기의 연령과 성장. 국립수산진흥원연구보고 제 23호 : 171-178.
- 해양수산부, 국립수산진흥원 (1999) : 태평양산 원양어류도감. 512.
- Bertalanffy, L. von (1938) : A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws. II). Hum. Biol. 10(2) : 181~213.
- Ikedo, I (1964) : Studies and fishery biology of the yellow croaker in the East China and Yellow Seas. Bull. Seikai Reg. Fish. Res. Lab. 31 : 49~81.
- Kim, S., Jung, S. J. and Zhang, C. I. (1997) : The effect of seasonal anomalies of seawater temperature and salinity on the fluctuation in yields of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis*, in the Yellow Sea. Fish. Oceanogr. 6(1) : 1~9.
- Quinn II, T. J. and Deriso, R. B. (1999) : Quantitative Fish Dynamics. Oxford Univ. Press, New York, 542.
- Secor D. H., Dean, J. M. and Campana, S. E. (1995) : Recent Developments in Fish Otolith Research. Univ. of South Carolina Press. U. S. A., 735.
- Thresher R. E., Mills, D. J., Proctor, C. H. and Ianelli, J. N. (1997) : Proceedings of the International Symposium on Skeletal Microanalysis of Marine Fish Stocks. CSIRO Marine Lab. Report 230, 174.

Appendix 1. Age-length key of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* in Korean waters by number

Length interval(cm)	Age											Combined
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
11~11.9	3											3
12~12.9	9											9
13~13.9	17											17
14~14.9	26	1										27
15~15.9	21	2										23
16~16.9	21	13										34
17~17.9	32	24										56
18~18.9	37	51	1									89
19~19.9	11	43	4									58
20~20.9	4	80	15									99
21~21.9	1	55	18									74
22~22.9		44	49	1								94
23~23.9		21	56	9								86
24~24.9		5	59	18	1							83
25~25.9			22	35	3							60
26~26.9		1	8	27	5							41
27~27.9			2	17	19	2						40
28~28.9				6	14	4						24
29~29.9				3	9	4						16
30~30.9					3	4	2					9
31~31.9						1	1					2
32~32.9							1	1			1	3
33~33.9									1			1
Sum	182	340	234	116	54	15	4	1	1	0	1	948

Appendix 2. Age-length key of small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* in Korean waters by percentage

Length interval(cm)	Age											Combined
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
11~11.9	1.6											0.3
12~12.9	4.9											0.9
13~13.9	9.3											1.8
14~14.9	14.3	0.3										2.8
15~15.9	11.5	0.6										2.4
16~16.9	11.5	3.8										3.6
17~17.9	17.6	7.1										5.9
18~18.9	20.3	15.0	0.4									9.4
19~19.9	6.0	12.6	1.7									6.1
20~20.9	2.2	23.5	6.4									10.4
21~21.9	0.5	16.2	7.7									7.8
22~22.9		12.9	20.9	0.9								9.9
23~23.9		6.2	23.9	7.8								9.1
24~24.9		1.5	25.2	15.5	1.9							8.8
25~25.9			9.4	30.2	5.6							6.3
26~26.9		0.3	3.4	23.3	9.3							4.3
27~27.9			0.9	14.7	35.2	13.3						4.2
28~28.9				5.2	25.9	26.7						2.5
29~29.9				2.6	16.7	26.7						1.7
30~30.9					5.6	26.7	50.0					0.9
31~31.9						6.7	25.0					0.2
32~32.9							25.0	100			100	0.3
33~33.9									100			0.1
Sum	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

이석을 이용한 참조기(*Pseudosciaena polyactis* Bleeker)의 연령사정과 성장식 추정

Appendix 3. Total length (cm) by ages of the small yellow croaker, *Pseudosciaena polyactis* Bleeker in Korean waters

Author	Age												Remark	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
Bae (1960)		16.7	22.2	26.1	29.5	32.2	34.9	37.3	39.5					used scale, back-calculated
Ikeda (1964)		13.5	19.5	23.0	25.5	27.0	28.4	29.1	29.6					"
Jung (1970)			15.7	22.4	25.8	28.6	30.6	31.8	32.7	33.4				"
Hwang · Choi (1980)		14.9	20.9	25.2	28.3	30.5	32.1	33.3	34.1	34.7	35.1	35.4		"
This study	14.0	16.1	20.5	23.3	25.8	27.8	28.8	31.2	(32.2)* (33.3)			(31.8)		used otolith, observed mean length

*() represents a case of only one specimen