

고등어(*Scomber japonicus*) 이석의 초륜 형성 및 연령 사정

강수경 · 정경미* · 차형기

국립수산과학원 자원관리과

First Annulus Formation and Age Determination for Otoliths of Chub Mackerel *Scomber japonicus*

Sukyung Kang, Kyung-Mi Jung* and Hyung Kee Cha

Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

First annulus formation and age determination of otoliths were examined for chub mackerel *Scomber japonicus* collected in Korean waters over the one year from January to December in 2009. Translucent zone was regarded as an annual mark. Age interpretation criteria was based on the data of the number of translucent zone, capture date, and edge type of the otolith, assuming the nominal birthday to be 1 January. Monthly changes in mean marginal index indicated that translucent zone was formed once a year, mainly in June. The otolith of 0-ring group was detected comparing the progression by month of the smaller fish length, appearing to be a single first opaque zone. The average distance from the core to the first translucent zone was ~1.77 mm, provided as supplementary information to increase ageing accuracy. The ageing criteria for chub mackerel was made to determine correct year-class with the purpose of effective stock assessment. This method using nominal birthdate and edge type analysis could estimate age of fish closer to the true age than purely counting the number of translucent zone on a whole otolith.

Key words: Chub mackerel, Otolith, Edge type, First annulus, Ageing criteria

서 론

고등어(*Scomber japonicus*)는 농어목(Perciforms), 고등어과(Scomberidae), 고등어속(*Scomber*)에 속하는 연안 표층성 어류로(Kim et al., 2005), 태평양, 대서양, 인도양의 온대와 열대 해역에 광범위하게 분포하는 어종이다(Collette and Nauen, 1983). 우리나라 연근해에 출현하는 고등어는 3월부터 6월 사이에 제주도과 대마도 주변해역에서 산란을 하고(Cha et al., 2002), 이후에 서해와 동해로 북상하여 7월부터 10월까지 머무르며 섭이활동을 하다가 11월에 월동을 위하여 다시 제주도와 대마도가 있는 남해로 남하한다(Choi, 2003). 오래전부터 고등어는 갈치, 참조기, 살오징어와 함께 국민생선으로 불릴 정도로 국내 소비량이 많은 어종이며, 지속적인 어업과 생산을 위하여 총허용어획량(Total Allowable Catch, TAC)의 대상어종으로 선정되었으며, 대형선망어업의 자율휴어기 등으로 자원이 관리되고 있다.

어류의 연령에 대한 정보는 성장률, 사망률, 재생산 등을 계산하여 개체군의 역학적 변동을 이해하는데 중요한 생물학적 파라미터 중의 하나이다(Chilton and Beamish, 1982; Campana, 2013). 하지만 부정확한 연령사정을 바탕으로 한 자원관리는 개체군을 심각하게 붕괴시킬 수 있기 때문에, 연령사정의 정확도(accuracy)와 정밀도(precision)를 높이는 노력은 반드시 필요하다. 일반적으로 정밀도를 높이기 위해서 연령 판독자간의 일치율과 변동계수가 계산되고, 정확도에 대해서는 다양한 방법으로 실제 연령을 검증하게 되는데(Campana, 2001; Matta and Kimura, 2012), 미성어를 포함한 전체 연령대를 검증하는 것이 이상적이다(Beamish and McFarlane, 1983). 특히, 초륜의 형성위치는 연령사정의 출발점으로서 첫 윤이 잘못 읽히면 뒤이어 판독되는 연령이 계속해서 잘못 읽히게 될 뿐만 아니라, 초륜이 허륜과 잘 구분되지 않아 연령사정시 오류가 쉽게 일어나기 때문에 초륜에 대한 검증은 매우 중요하다(Campana, 2001).

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2015.0760>



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(5) 760-767, October 2015

Received 3 September 2015; Revised 21 October 2015; Accepted 29 October 2015

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2278 Fax: +82. 51. 720. 2277

E-mail address: kyungmi-toy@hanmail.net

지금까지 국내에서 발표된 고등어의 연령과 성장 연구는 60년대의 시료를 이용한 Ann (1971), 90년대의 시료를 이용한 Hwang (1999)과 Choi (2003)의 것이 대표적이며, 분석한 연령형질은 각각 비늘, 이석, 추체골로 서로 다르다. 이들은 고등어 자원의 연령구조를 파악하였는데, 연령-체장간의 관계에 대한 결과는 모두 일치하지 않는다. Choi (2003)의 연구는 현재 우리나라 고등어의 자원평가를 위한 생물학적 파라미터로 쓰이고 있으나, 20여년이 지난 과거자료이므로 최근 시료를 바탕으로 고등어의 연령과 성장 연구가 새로이 요구되어지고 있다. 따라서 본 연구의 첫번째 목적은 이석표면의 초륜위치를 검증하여, 향후 수행될 고등어의 연령사정에 대한 정확도를 높이는 것이다.

본 연구의 두번째 목적은 정확한 연급군 파악을 위해 고등어 이석의 연령사정 기준표를 제시하여 자원평가의 정도를 향상시키는데 있다. 일반적으로 이석의 연령사정은 뚜렷하게 보이는 연륜의 수를 세어 계산되는데, 윤의 형성시기, 채집시기, 산란일과 같은 요인들에 의해 같은 해에 태어난 어류가 서로 다른 연급군(year-class)으로 분류될 수 있다(O'Sullivan, 2007). 그래서 많은 연구자들이 명목생일(nominal birthday)을 정하여 어중에 적합한 연령 사정법을 사용하기를 권장한다(e.g. Holden and Raitt, 1974; Chilton and Beamish, 1982; Panfili et al., 2002; Matta and Kimura, 2012). 이 방법은 실제 어류의 산란일과 상관없이 모든 어류의 명목생일을 1월 1일로 정하며, 이석의 불투명대 형성시기와 채집시기에 대한 정보를 이용하여 연령을 추정한다.

재료 및 방법

표본 채집

본 연구에 사용된 시료는 서해 남부해역과 제주도 인근해역에서(Fig. 1) 대형선망어업으로 어획하여 부산공동어시장에 위판된 고등어를 2009년 1월부터 11월까지 매월 90-120개체를 구입한 것이며, 11월에는 2회(10일과 30일) 시료를 구입하여 30일 시료를 12월 표본으로 분석에 이용하였다. 시료는 국립수산물시험실로 옮겨 가량이 체장(FL)은 0.1 cm까지, 체중(BW)은 0.1 g까지 측정하였으며, 어체의 복부를 갈라서 암수를 구분하고 생식소 무게(GW)는 0.01 g까지 측정하였다. 체중과 생식소 무게는 생식소속도지수[Gonadosomatic Index, $GSI = (GW/BW) \times 100$]를 구하여 산란기를 추정하는데 이용하였다. 측정을 마친 어체에서는 이석을 추출하여 연령사정을 위하여 50% 알코올에 보관하였다.

이석 표본제작 및 길이 측정

편평석의 오른쪽 이석은 표본으로 선택되어 자동연마용 몰딩 컵에 silicon mold release를 뿌리고 말린 후 메니큐어를 바른 컵의 바닥에 고정되었다. 몰딩 컵에 합성수지를 넣어 약 48시간 정

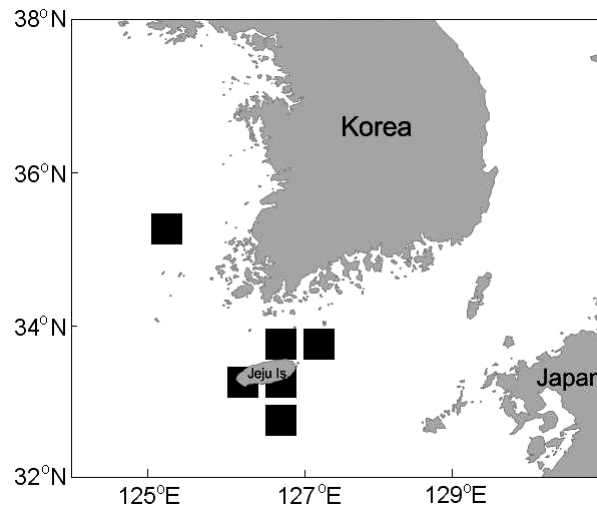


Fig. 1. Fishing locations by a purse-seine fishery for chub mackerel *Scomber japonicus* in Korean waters.

도 실온에서 말려 단단하게 굳힌 후 컵으로부터 이석을 분리하였다. 고등어 이석은 시상면(sagittal plane)을 관찰하므로 절단 과정이 생략되었고, 몰딩된 이석은 사포로 연마한 후 알루미늄 파우더(alumina powder)로 광택을 내었다.

실체현미경의 반사광 아래에서 이석표면은 핵을 중심으로 불투명대(밝은 부분)가 가장 먼저 넓게 형성되고 뒤이어서 투명대(어두운 부분)가 나타났으며, 시간이 지나면서 다시 불투명대와 투명대가 교대로 나타났다. 영상분석 시스템(image analyzer)을 이용하여 핵에서 각 윤문(투명대의 끝나는 지점, r_n)까지, 핵에서 이석의 가장자리 끝(R)까지의 길이가 수평방향으로 측정되었다(Fig. 2). 측정된 길이는 윤문의 형성시기와 형성횟수를

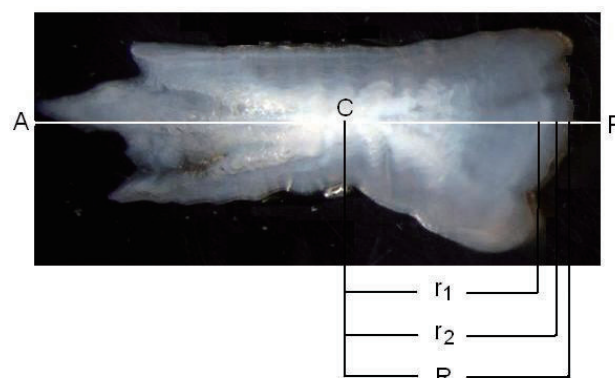


Fig. 2. Photograph of a whole otolith of chub mackerel *Scomber japonicus*. C, core; A, anterior; P, posterior. White horizontal line indicates the measurement axis of annual rings. R, otolith radius from the core to the otolith edge; r_n , ring radius of the boundary between a translucent zone and a opaque zone.

파악하기 위한 연역지수[Marginal index, $MI = (R-r_n)/(r_n-r_{n-1})$]를 계산하는데 이용되었다.

연령사정 기준표

고등어 이석의 연령사정 기준표는 Chilton and Beamish (1982)과 Matta and Kimura (2012)의 자세한 설명을 따라 투명대 형성시기, 불투명대의 성장 정도, 채집날짜에 대한 정보를 바탕으로 명목생일 1월 1일을 적용하였으며, 연령은 투명대의 개수를 세어 계산하였다.

이 방법을 적용할 때에는 가장자리에 나타난 마지막 불투명대가 채집년도에 성장한 것인지, 아니면 바로 전 해에 성장한 것인지를 판단할 수 있어야 한다. 연륜으로 간주한 투명대의 형성시기는 어종마다 다를 뿐만 아니라 개체간에도 차이가 있어, 형성시기가 늦어져 이석표면에 드러나지 않은 투명대를 고려하여야 어류의 태어난 해를 추정하는데 오류가 발생하지 않을 수 있다(O'Sullivan, 2007). 예를 들면, 3월에 채집된 이석의 가장자리에 투명대가 형성되어 있으면 가장자리 투명대까지 포함한 전체 투명대의 개수가 이석의 연령이 된다. 하지만 3월에 투명대의 형성이 늦어져 넓은 불투명대가 가장자리에 나타날 수 있는데, 이 때에는 마지막 불투명대가 바로 전 해에 성장한 것이기 때문에 전체 투명대의 개수에 1을 더한 것이 연령이 된다.

대부분의 어류에서 여름과 가을은 이석이 성장하는 시기여서 이 시기의 불투명대는 채집년도에 형성되므로, 연령은 전체 투명대의 개수가 된다. 12월에 이석의 가장자리에 투명대가 형성되고 있는 중이면, 이 투명대는 채집년도에 기인하는 것이기 때문에 마지막 투명대는 연령에 포함시키지 않아 전체 투명대의 개수에서 1을 빼는 것이 연령이 된다. 하지만 1월에 같은 형태로 투명대가 가장자리에 나타나면, 이 경우는 명목생일이 지났기 때문에 가장자리 투명대를 연령에 포함시켜 전체 투명대의 개수가 연령이 된다.

통계처리

연구결과와 통계적 유의성 검정은 R version 2.10.0 (2010)을 이용하여 one-way ANOVA test를 실시하여 유의수준 5% 이내 ($P < 0.05$)로 하였다.

결 과

체장분포 및 산란시기

본 조사에서 분석된 고등어는 총 1,114개체였으며, 이 중에서 암컷은 전체의 70%인 783개체, 수컷은 30%인 331개체였다. 가량이 체장(FL) 범위는 암컷이 22-40 cm, 수컷이 25-41 cm이었고, 평균 FL은 암수 모두 31 cm로 동일하였다(Fig. 3).

생식소숙도지수(GSI)를 살펴보면, 암컷의 평균 GSI는 1-2월과 7-12월에 1 이하의 낮은 값을 보였으며, 3월부터 증가하기 시작하여 5월에 4.8의 최고값을 나타낸 후 6월에 2.1로 감소하

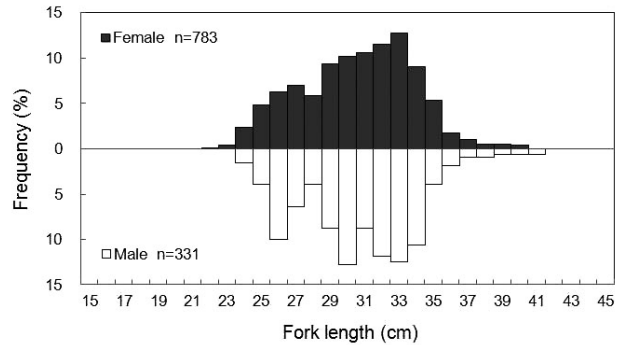


Fig. 3. Length-frequency distribution of chub mackerel *Scomber japonicus* caught by purse-seine fishery in the Korean waters from January to December 2009; n = the number of individuals measured.

였다. 수컷의 평균 GSI도 암컷의 계절변화와 마찬가지로 1-2월, 7-12월 동안 연중 가장 낮은 값을 보였고, 3월부터 증가하기 시작하여 5월에 5.7의 최고값을 보인 후 6월에 2.7로 감소하였다(Fig. 4). 따라서 고등어의 주 산란기는 GSI값이 가장 높은 시기인 5월로 판단된다.

윤문의 형성시기와 주기성 검증

이석의 가장자리 해석을 통해서 투명대와 불투명대의 월별 형성과정을 살펴보았다. 투명대는 12월부터 이석의 가장자리 끝에 얇게 나타나기 시작하였고 점차적으로 빈도율이 증가하여 4

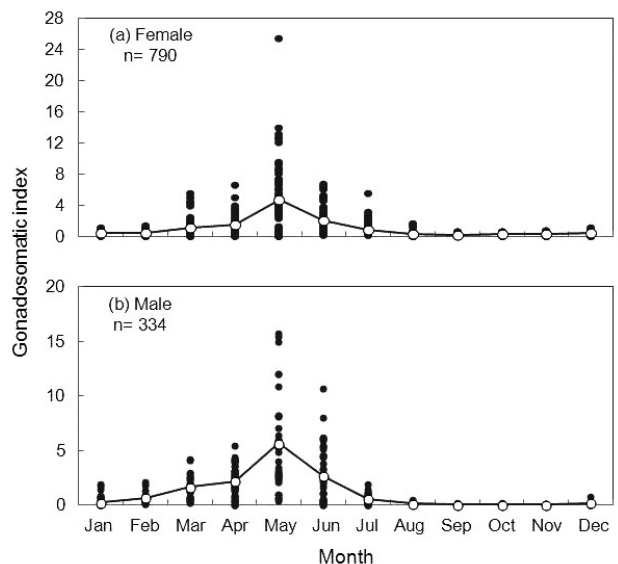


Fig. 4. Monthly changes in the gonadosomatic index (GSI) of female and male chub mackerel *Scomber japonicus* in Korean waters. Monthly mean values are plotted as open circles connected by a solid line.

월에는 많은 개체(60.6%)의 가장자리에서 투명대가 뚜껍게 나타났다. 이후부터는 투명대의 빈도율이 크게 감소하여 8-11월 사이에는 전혀 나타나지 않았다. 이와 정반대로, 불투명대는 연중 관찰되었으며, 4월(39.4%)의 빈도율이 가장 낮고 8-11월에는 100% 모든 이석에서 불투명대가 나타났다(Fig. 5). 5-6월에는 투명대의 형성이 끝나고 이어서 새롭게 성장한 좁은 폭의 불투명대가 많이 관찰되었다.

연역지수(MI)의 월별 변화양상을 통하여 윤문의 주기성을 간접적으로 검증하였다. 평균 MI는 11월부터 이듬해 4월까지 0.74-0.86의 범위로 꾸준히 높다가 5월에 0.53으로 감소하였고, 6월에는 0.31로 가장 낮은 값을 보였다. 7월에 0.43으로 다시 증가하기 시작하여 8-10월 사이에는 0.46-0.56의 범위로 나타났다. 따라서 고등어 이석의 윤문은 1년을 주기로 1회 형성되며, 주로 6월에 많은 개체에서 윤문이 나타나는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 6).

초륜 형성위치

1세 미만의 크기가 작은 고등어는 7-9월 사이에 가장 많이 출현하였으며, 이들의 이석에서는 핵을 중심으로 불투명대 1개(0-ring group)만이 관찰되었다, 7월의 표본 중에서 FL이 20.4-21.9 cm인 개체의 이석은 전체가 하나의 불투명대였으며, 핵에

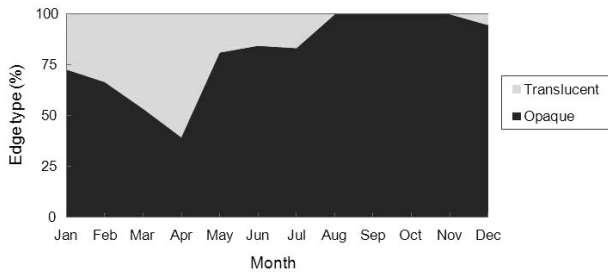


Fig. 5. Monthly changes in frequency of translucent and opaque zone in the outer margin of otoliths for chub mackerel *Scomber japonicus*.

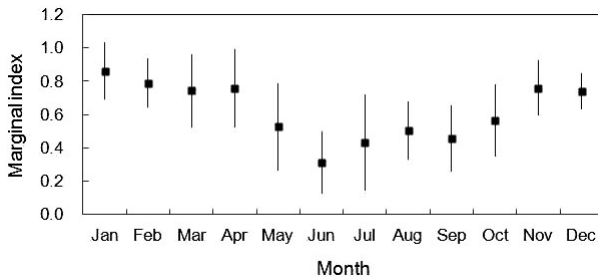


Fig. 6. Monthly changes in mean marginal index (\pm one standard deviation) for chub mackerel *Scomber japonicus* from January to December 2009.

서 가장자리까지(이석반지름, OR)의 길이는 1.4-1.6 mm의 범위였다. 8월에는 FL 24.1-26.0 cm에서 OR 1.6-1.9 mm, 9월에는 FL 26.1-29.8 cm에서 OR 1.7-1.9 mm였으며, 초륜 형성 전에 허륜이 여러 개 나타나는 것을 관찰할 수 있었다. 10월에는 FL 26.2 cm에서, 1월에는 FL 26.5 cm에서 동일하게 OR이 1.7 mm로 나타났다(Fig. 7). 이석반지름이 가장 작았던 시기인 7월의 표본을 포함시켰을 때 평균 OR은 1.68 mm이었으며, 7월 표본을 제외시켰을 때에는 평균 OR이 1.75 mm였다.

5-6월에 채집된 개체 중에서 초륜(1-ring group)이 갓 형성되고 이어서 2번째 불투명대가 좁게 나타나기 시작한 개체의 FL과 OR을 구하였다. 5월에는 FL 24.1-29.1 cm에서, 6월에는 FL 26.3-32.2 cm에서 핵에서 가장자리까지(OR)의 길이가 동일하게 1.6-2.0 mm로 같았다(Fig. 8). 5-6월 평균 OR은 1.82 mm였으며, 이는 앞에서 초륜 형성 전의 평균 OR보다 큰 값이었다(one-way ANOVA test, $P < 0.01$).

핵에서 각 윤문까지의 길이를 윤문 그룹(ring group)별로 살펴해보았다(Table 1). 윤문이 많아질수록 윤반경(r_n)은 평균 1.77 mm에서 2.13 mm로 증가하였고, 같은 윤문 그룹 내에서 각각의 윤문은 일정한 간격을 유지하며 중복됨이 없이 잘 구분되었다(one-way ANOVA test, $P < 0.01$). 초륜(r_1)까지의 윤반경의 범위는 1.68-1.83 mm, 평균은 1.77 mm이었으며, 이는 초륜이 형성되기 전과 후에 측정한 평균 이석반경(OR)의 사이에 드는 값이었다. 따라서 고등어 이석의 초륜은 핵으로부터 평균 1.77 mm 떨어진 부근에 형성됨을 알 수 있었다(Fig. 9).

연령사정 기준표

이석의 연령을 간편하게 계산하고 가장자리 해석의 실수로 인한 오류를 줄이기 위하여 Chilton and Beamish (1982)와 Matta and Kimura (2012)의 방법을 따라 고등어 이석에 대한 연령사정 기준표를 작성하였다(Table 2). 투명대 형성 시기, 불투명대 성장 정도, 채집날짜에 대한 정보를 바탕으로, 고등어의 명목생일은 1월 1일로 하였으며 연령은 투명대의 개수(n)를 세어 계산하였다.

1월 1일부터 7월 31일까지는 투명대가 관찰되는 시기였으며,

Table 1. Mean ring radius (r_1 - r_5) in each ring group of chub mackerel *Scomber japonicus* otoliths

| Ring group | Ring radius (mm) | | | | | n |
|------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-----|
| | r_1 | r_2 | r_3 | r_4 | r_5 | |
| 1 | 1.83 | | | | | 147 |
| 2 | 1.82 | 2.00 | | | | 109 |
| 3 | 1.80 | 1.97 | 2.11 | | | 91 |
| 4 | 1.73 | 1.89 | 2.02 | 2.14 | | 17 |
| 5 | 1.68 | 1.82 | 1.93 | 2.03 | 2.13 | 5 |
| Mean | 1.77 | 1.92 | 2.02 | 2.09 | 2.13 | |
| SD | 0.06 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | | |

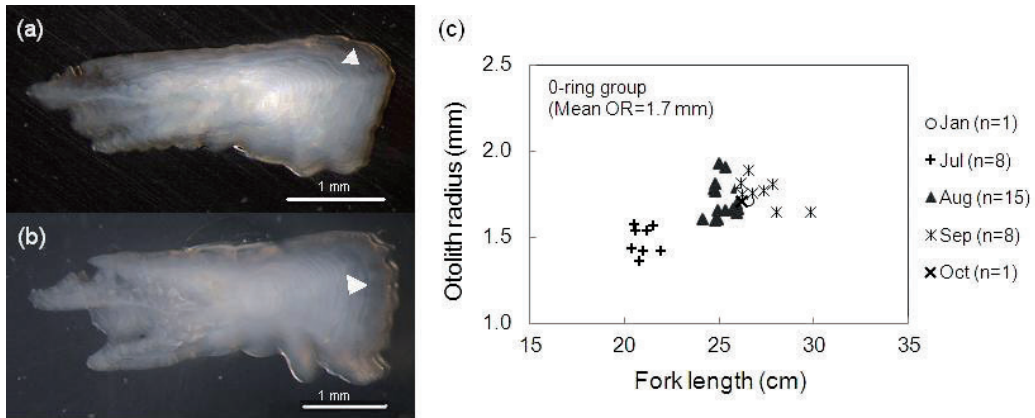


Fig. 7. Photographs of sagittal otoliths for 0-ring group of chub mackerel *Scomber japonicus* collected before the time of first annulus formation in (a) July (OR=1.5 mm, FL=21.2cm) and (b) September (OR=1.8 mm, FL=28.7 cm) 2009. White arrows indicate false rings. (c) Scatterplot of otolith radius of 0-ring group against fork length in the five months.

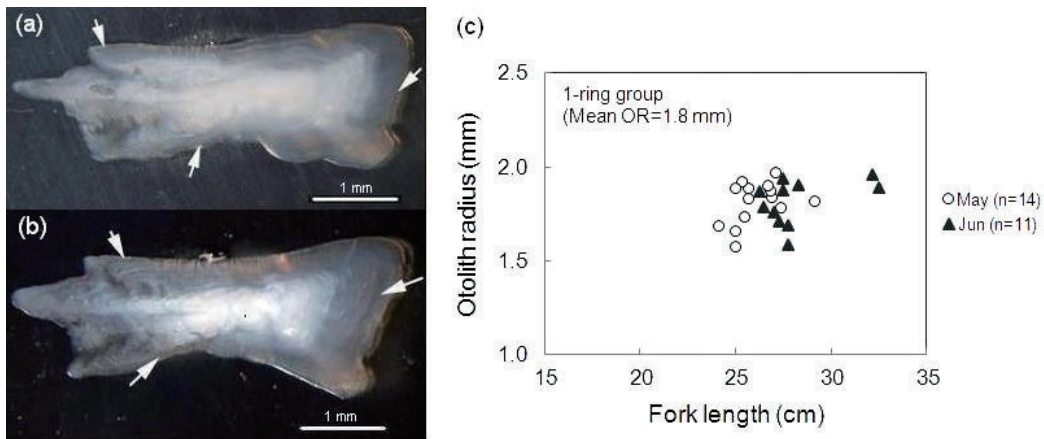


Fig. 8. Photographs of sagittal otoliths for 1-ring group of chub mackerel *Scomber japonicus* collected just after the time of first annulus formation in (a) May (OR=1.8 mm, FL=27.4 cm) and (b) June (OR=1.9 mm, FL=27.5 cm) 2009. (c) Scatterplot of otolith radius of 1-ring group against fork length in the two months. White arrows indicate the first annual ring.

Table 2. Age interpretation criteria for chub mackerel *Scomber japonicus* collected in Korean waters. Nominal birth date is 1 January. Otolith edge type was identified as wide and narrow opaque zone and translucent zone. N refers to the number of translucent zones (i.e. annuli) including that on the margin

| Month of capture | Opaque | | Translucent |
|-------------------|--------|--------|-------------|
| | Wide | Narrow | |
| January - July | n+1 | n | n |
| August - December | n | n | n-1 |

개체에 따라 투명대가 형성되는 시점과 완료되는 시점은 조금씩 차이가 났다. 이러한 이유로 아직 투명대가 형성되기 전이면 이석 가장자리는 넓은 불투명대로 나타났다. 이 경우의 마지막

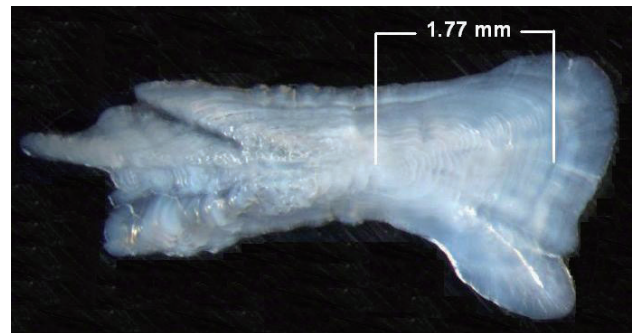


Fig. 9. Identification of the first annual formation in a chub mackerel *Scomber japonicus* otolith and mean distance from the core to the first translucent zone.

불투명대는 바로 전 해에 성장한 것이고 명목생일인 1월 1일이 지났기 때문에 연령은 이석표면의 전체 투명대의 수를 세어 1살을 더한 “n+1”이 되었다. 만약 가장자리 불투명대가 좁게 형성되어 있으면, 이는 투명대 형성이 완료되고 이어서 불투명대가 채집년도에 새로 성장한 것이기 때문에 연령은 “n”이 되었다. 가장자리에 투명대가 형성되어 있으면, 이는 명목생일이 지났기 때문에 연령은 가장자리 투명대를 포함한 전체 투명대의 개수인 “n”이 되었다.

8월 1일부터 12월 31일까지는 불투명대만 나타나거나, 아니면 투명대가 매우 낮은 빈도로(12월 투명대 빈도율: 5%) 관찰되는 시기였다. 가장자리에 나타나는 불투명대는 넓고 좁은 형태 모두 채집년도에 형성된 것이기 때문에 연령은 투명대의 수를 세어 계산한 “n”으로 일치하였다. 12월의 낮은 빈도의 투명대는 채집년도인 2009년에 형성되고 있는 중이며, 명목생일인 1월 1일이 지나지 않았기 때문에 연령은 “n-1”이 되었다.

연령 추정의 3가지 방법에 대한 결과를 비교하였다(Table 3). 먼저 2월에 채집한 개체 중에서 2개의 투명대(n=2)와 가장자리에 넓은 불투명대(WO)를 형성하고 있는 이석을 3가지 방법에 따라 연령을 계산하였다. 실제 산란 계절인 5월에 산란된 것으로 가정하면 실제 연령은 33개월(A)이었다. 명목생일을 적용하면, 연령은 36개월(A_{NB})로 실제 나이보다 3개월이 더 많았다. 일반적으로 많이 쓰이는 방법인 투명대만 단순히 세었을 경우는 24개월(A_{CT})로 9개월이 적게 되어 명목생일을 적용한 A_{NB} 방법보다 실제나이와의 차이가 더 크게 나타났다. 다음으로 8월에 2개의 투명대(n=2)와 가장자리에 좁은 불투명대(NO)가 있는 경우를 보면, A_{NB}와 A_{CT} 방법은 동일한 연령이었고 실제 연령(A)보다 3개월이 적었다. 마지막으로 12월에 3개의 투명대(n=3)와 가장자리에 투명대(T)가 형성중인 경우, A_{NB}는 실제 연령보다 7개월이 적었고 A_{CT}는 5개월이 많았다. 하지만, 앞에서 분석한 가장자리 해석에서 12월의 투명대 빈도율이 매우

낮았기 때문에 이로 인한 실제 연령과의 오차 가능성은 매우 적다. 반면에, 2월처럼 투명대 형성이 늦어지는 경우는 높은 빈도로 일어나기 때문에 A_{CT}의 방법보다 명목생일을 적용한 A_{NB}의 방법이 실제 연령에 더 가깝게 계산될 수 있었다.

고 찰

본 연구는 고등어 이석의 첫번째 윤이 반복적으로 일정한 위치에 형성되는 것을 관찰함으로써, 핵에서 첫 윤까지의 길이를 수평 방향으로 측정하여 평균 기준 거리인 1.77 mm를 제시하였다. 일본해역에서 1-2세를 양식하여 고등어의 연령을 검증한 결과, 본 연구와 같은 방향으로 핵에서 윤까지의 길이를 측정하였을 때 1.5 mm 이하에서 관찰되는 투명대는 분명히 허륜이었고, 1.7 mm 이상에서는 허륜이 잘 관찰되지 않는다고 하였다(Shiraishi et al., 2008). 한편, 우리나라 해역에서 채집된 고등어 이석의 첫 윤까지의 길이를 사선 방향의 장축으로 측정하였을 때에는 1.99 mm였는데(Hwang, 1999), 이는 측정기준의 차이에 의한 것으로 판단된다. 고등어 이석에서 흔히 보이는 허륜은 첫 해의 성장시기 동안 불투명대에 나타나며, 허륜의 간격은 실제 윤보다 좁고 불연속적이었다. 반면에, 핵에서 넓게 성장한 첫번째 불투명대는 가장자리로 갈수록 벌어지기 때문에 첫 투명대는 불투명대의 가장자리에 떠돌듯 것처럼 뚜렷하고 선명하게 보였다. 하지만 초륜이 형성 중이거나 갓 형성되었을 때에는 허륜과 구별이 매우 어려웠다. 이 경우에 본 연구에서 제시하는 초륜의 평균 기준 거리를 적용하면 여러 개의 허륜을 제거하여 실제보다 연령이 높게 읽혀지는 것을 방지할 수 있을 것이다.

현재까지 국내에서 발표된 고등어의 연령과 성장에 관한 연구는 비늘과 이석을 함께 비교 연구한 Ann (1971), 미성어를 포함시켜 이석을 연령사정한 Hwang (1999), 고등어의 추체골을 이용한 Choi (2003)의 결과가 가장 대표적이다. 하지만 1세에

Table 3. Comparison among three types (A, A_{NB}, A_{CT}) of age determination methods for fish captured in different seasons (February, August, December). A is age in months and true birth date is regarded as 1 May (from the peak spawning season). A_{NB} is age in years according to the age calculation rule by nominal birth date of 1 January. A_{CT} is age in years and purely count the number of translucent zones through the whole otolith. Edge type was given WO (wide opaque), NO (narrow opaque), and T (translucent). N is the total number of translucent zones on a whole otolith. Bm refers to the month of birth (in here which is May). Cm refers to the month of capture

| Capture month | n | Edge | Age | Difference(month) |
|---------------|---|------|---|-------------------|
| Feb | 2 | WO | A = 12×n+(12-Bm+Cm) = 12×2+(12-5+2) = 33 months | |
| | | | A _{NB} = n+1 = 3 years (= 36 months) | +3 |
| | | | A _{CT} = n = 2 years (= 24 months) | -9 |
| Aug | 2 | NO | A = 12×n+Cm-Bm = 12×2+8-5 = 27 months | |
| | | | A _{NB} = n = 2 years (= 24 months) | -3 |
| | | | A _{CT} = n = 2 years (= 24 months) | -3 |
| Dec | 3 | T | A = 12×(n-1)+Cm-Bm = 12×2+12-5 = 31 months | |
| | | | A _{NB} = n-1 = 2 years (= 24 months) | -7 |
| | | | A _{CT} = n = 3 years (= 36 months) | +5 |

해당하는 평균 체장을 비교하면, Ann (1971)과 Choi (2003)는 각각 20.2 cm, 18.5 cm로 비슷하나 Hwang (1999)은 28.0 cm로 차이가 크게 나타났으며, 이로 인하여 최소 성숙연령에 있어서도 1년의 차이가 났다. 국외에서 발표된 고등어의 1세 체장을 살펴보면, 대만 북동해역에서는 고등어의 비늘을 연령사정하여 1세 체장이 22 cm (Ku and Tzeng, 1985)인 것으로 보고하였고, 동중국해에서는 2편의 연구에서 이석을 이용하였을 때 동일하게 1세의 체장이 25 cm (Gang et al., 2008; Shiraishi et al., 2008)이었다. 수산자원관리를 위해서 이용되는 생물학적 성숙연령과 성숙체장은 자원량과 가입량을 추정하는데 필수적인 파라미터일 뿐만 아니라, 미성어를 보호하는 정책수립에서도 가장 기본이 되는 정보이다. 특히, 고등어의 성장은 어린시기의 환경과 먹이의 영향을 크게 받아 계군에 따라 서로 다른 초기 성장률을 보일 수 있다(Perrotta et al., 2005; Shiraishi et al., 2008). 따라서, 본 연구의 후속 연구에서는 초류의 정확한 위치를 바탕으로 우리나라 인근해에 출현하는 고등어에 대해 정확하게 연령사정하고 자원평가에 필요한 기본적인 생물학적 파라미터를 제공할 것이다.

고등어 이석의 윤문은 연역지수의 월변화를 통하여 6월에 연 1회 형성되는 것으로 나타났다. 연륜으로 간주된 투명대는 12월부터 이석의 가장자리에 얇게 나타나기 시작하였고, 점점 빈도율이 높아져 4월에 가장 많은 개체의 가장자리에서 투명대가 형성되고 있었다. 6월에는 투명대 형성을 갖 마친 개체가 많아 연역지수값이 가장 낮았다. 이석표면에 불투명대와 투명대가 교대로 나타나는 이유에 대해서는 분명하게 밝혀져 있지 않지만(Beckman and Wilson, 1995), 일반적으로 길이성장과 환경요인(수온, 광조건, 먹이), 산란 등에 의해 형성된다고 알려져 있다(Campana, 1999; Williams et al., 2005). 고등어 이석의 윤문형성시기를 기존 연구와 비교하면, 제주도 인근해역에서는 4-5월(Hwang et al., 2008), 바로 인접한 일본수역에서는 4-6월(Shiraishi et al., 2008)로 나타나 본 조사결과와 크게 일치하였다. 대서양 고등어의 경우, 이석의 가장자리 해석을 통해 투명대가 10-11월부터 나타나기 시작하여 대부분이 5월에 형성을 마치는 것으로 보고하였다(Carvalho et al., 2002). 따라서 대서양 고등어의 연륜형성은 본 결과보다 1-2개월 일찍 시작되나 연륜의 형성기간은 비슷한 것을 알 수 있다.

연령사정의 정확도는 추정된 연령이 실제 연령과 비교하여 얼마나 잘 맞는지를 뜻한다면, 정밀도는 한 명의 판독자에 의해서 혹은 여러 명의 판독자에 의해서 계속해서 같은 연령으로 추정되는지를 말한다. 오랜기간 동안 연령사정을 훈련한 판독자라 하더라도 어종에 맞는 연령사정 지침서를 따라 이석을 해석할 때 주관적인 판단이 수반되기 때문에 판독자 스스로에 의한 오차가 발생할 수 있다(Matta and Kimura, 2012). 이러한 이석의 해석에 의한 오류를 줄일 수 있는 방법이 가장자리의 성장 정도와 시기를 계절에 따라 분석하여 일정한 패턴을 관찰하는 것이다. 특히, 이석의 가장자리가 얇아져서 윤문이 불분명할 때 가

장자리 해석을 통하여 보다 객관적으로 이석을 판독할 수 있다(Walsh et al., 2014). 여기서 주의할 점은 표본에 따라 이미지로 저장한 것과 현미경 아래에서 관찰한 것이 서로 다른 선명도를 가질 수 있기 때문에 정확한 윤문 판독을 위해서는 2가지 방법을 병행하며 이석을 읽어야 한다.

이석의 가장자리 해석은 가장자리의 불투명대가 새로 형성된 것인지 아니면 바로 전 해에 형성된 것인지를 판단할 수 있도록 도와, 명목생일을 적용한 연령사정을 간편하게 할 수 있게 한다. 이론적으로, 불투명대는 빠른 성장시기에 형성되어 석회성 물질을 다량 포함하고 있고, 투명대는 느린 성장시기에 형성되어 상대적으로 석회성 물질을 적게 포함한다. 흔히 불투명대는 여름에, 투명대는 겨울에 형성된다고 믿지만, 사실 여러 어종에서 투명대는 봄과 초 여름에 관찰된다(Kimura et al., 2007). 본 결과에서도 고등어 이석의 투명대는 개체마다 형성시기의 차이를 보이며 12월부터 7월까지 나타났다. 12월과 1-2월은 가장 자리에 불투명대가 나타날 확률이 각각 95%, 70%로 여전히 높았다. 이 시기에 단순히 투명대의 수(A_{CT})만 세어 연령을 계산하면 실제 연령보다 1세 가량 적게 나타난다. 하지만 명목생일(A_{NB})은 아직 나타나지 않은 투명대를 고려하여 계산하기 때문에 A_{CT} 보다 실제 연령에 더 가까웠다. 고등어의 산란은 3월부터 시작되어 6월까지 지속된다(Cha et al., 2002). 본 연구에서 생식소숙도지수가 5월에 가장 높아 태어난 달을 5월로 가정하여 실제 연령(A)을 계산하였지만 실제 연령안에서도 1-2개월의 차이가 발생할 수 있다. 따라서, 가장자리 해석을 통한 명목생일을 적용한 연령 사정법은 일관된 규칙을 적용하여 간편하게 정밀도를 높이는 연령 사정방법이라고 생각된다.

사 사

이 논문은 2015년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2015025)의 지원으로 수행된 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Ann HB. 1971. Studies on the age and growth of the Pacific mackerel, *Scomber japonicus* (Houttyn). Bull Fish Res Develop Agency 7, 7-24.
- Beamish RJ and McFarlane GA. 1983. The forgotten requirement for age validation in fisheries biology. Tran Amer Fish Soc 112, 735-743.
- Beckman DW and Wilson CA. 1995. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths. In: Recent Developments in Fish Otolith Research. Secor DH, Dean JM and Campana SE, eds. University of South Carolina Press, Columbia, 27-43.
- Campana SE. 1999. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications. Mar Ecol Prog Ser

- 188, 263–297.
- Campana SE. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J Fish Biol* 59, 197-242.
- Campana SE. 2013. Age determination of elasmobranchs, with special reference to Mediterranean species: A technical manual. Studies and reviews, General fisheries commission for the Mediterranean, Rome 94, 1-44.
- Carvalho N, Perrotta RG and Isidro E. 2002. Age, growth and maturity in chub mackerel (*Scomber japonicus* Houuttuyn, 1782) from the Azores. *Life Mar Sci* 19, 93-99.
- Cha HK, Choi YM, Park JH, Kim JY and Sohn MH. 2002. Maturation and spawning of the chub Mackerel, *Scomber japonicus* Houuttuyn in Korean waters. *J Korean Soc Fish Res* 5, 24-33.
- Chilton DE and Beamish RJ. 1982. Age determination methods for fishes studied by the Ground fish Program at the Pacific Biological Station. *Can Spec Publ Fish Aquat Sci* 60, 1-102.
- Choi YM. 2003. Stock assessment and management implications of chub mackerel, *Scomber japonicus* in Korean waters. Ph.D. Thesis. Pukyong national university, Busan, Korea.
- Collette BB and Nauen CE. 1983. FAO species catalogue, Vol. 2. Scombrids of the world. An annotated and illustrated catalogue of tunas, mackerels, bonitos and related species known to date. FAO Fish Synop 125, 1-137.
- Gang LI, Xinjun C and Bo F. 2008. Age and growth of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the East China and Yellow Seas using sectioned otolith samples. *J Ocean Univ Chin* 7, 439-446.
- Hwang SD. 1999. Population ecology of chub mackerel, *Scomber japonicus*, off Korea. Ph.D. Thesis. Chungnam National University, Daejeon, Korea.
- Hwang SD, Kim JY and Lee TW. 2008. Age, growth, and maturity of chub mackerel off Korea. *N A J Fish Manage* 28, 1414-1425.
- Holden MJ and Raitt DFS. 1974. Manual of fisheries science. Part 2-Methods of resource investigation and their application. FAO fisheries technical papers, Rome.
- Kim IS, Choi Y, Lee CL, Lee YJ, Kim BJ and Kim JH. 2005. Illustrated book of Korean fishes. Kyo-Hak Publishing co., Seoul, Korea, 455-458.
- Kimura DK, Anderl DM and Goetz BJ. 2007. Seasonal marginal growth on otoliths of seven Alaska groundfish species support the existence of annual patterns. *Alaska Fish Res Bull* 12, 243-251.
- Ku JF and Tzeng WN. 1985. Age and growth of common mackerel (*Scomber japonicus*) in the waters of Northeastern Taiwan, with particular reference to the subpopulation discrimination. *J Fish Soc Taiwan* 12, 1-11.
- Matta ME and Kimura DK. 2012. Age determination manual of the Alaska Fisheries Science Center Age and Growth Program. NOAA Professional Paper NMFS 13, 1-97.
- O'Sullivan S. 2007. Fisheries long term monitoring program- Fish age estimation review. Department of Primary Industries and Fisheries, Brisbane, Australia.
- Panfili J, Pontual H de, Troadec H and Wright PJ. 2002. Manual of fish sclerochronology. Ifremer-IRD coedition, Brest, France.
- Perrotta RG, Carvalho N and Isidro E. 2005. Comparative study on growth of chub mackerel (*Scomber japonicus* Houuttuyn, 1782) from three different regions: NW Mediterranean, NE and SW Atlantic. *Rev Invest Desarr Pesq* 17, 67-79.
- R Development Core Team. 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Shiraishi T, Okamoto K, Yoneda M, Sakai T, Ohshimo S, Onoe S, Yamaguchi A and Matsuyama M. 2008. Age validation, growth and annual reproductive cycle of chub mackerel *Scomber japonicus* off the waters of northern Kyushu and in the East China Sea. *Fish Sci* 74, 947-954.
- Walsh C, Horn P, McKenzie J, Ó Maolagáin C, Buckthought D, Sutton C and Armiger H. 2014. Age determination protocol for snapper (*Pagrus auratus*). New Zealand fisheries assessment report. 51, 1-33.
- Williams AJ, Davies CR and Mapstone BD. 2005. Variation in the periodicity and timing of increment formation in red throat emperor (*Lethrinus miniatus*) otoliths. *Mar Fresh Res* 56, 529-538.