

투과광을 이용한 한국 진해만 개조개(*Saxidomus purpuratus*)의 연령과 성장

이미희 · 김영혜¹ · 차병열 · 윤병선 · 류동기² · 김성태*

남해수산연구소 자원환경과, ¹국립수산과학원 연근해자원과, ²군산대학교 해양생명과학과

Assessing the Age and Growth of the Butter Clam *Saxidomus purpuratus* in Jinhae Bay Using Transmitted Light

Mi-Hee Lee, Yeonghye Kim¹, Byung-Yul Cha, Byoung-Sun Yoon, Dong-Ki Ryu² and Sung-Tae Kim*

South Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science, Yeosu 59780, Korea

¹Fisheries Resources Management Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

²Department of Aquaculture and Aquatic Science, Kunsan National University, Gunsan 54150, Korea

The age and growth of butter clams *Saxidomus purpuratus* were estimated using transmitted light on the shells of 364 samples from January 2017 to December 2017 in Jinhae Bay. Based on monthly variation in the marginal index (MI) of the shell, it is assumed that rings are formed once a year during the period from July to August in this species. The relationship between shell length (SL; mm) and shell height (SH; mm) was expressed by the equation $SH=0.8053SL-2.9636$ ($R^2=0.94$) and between SL and shell width (SW; mm) by the equation $SW=0.5648SL-3.7105$ ($R^2=0.90$). The relationship between SL and total weight (TW; g) was expressed by the following equation: $TW=0.00009SL^{3.2141}$ ($R^2=0.96$). von Bertalanffy's growth parameters were estimated using the regression wizard in the SigmaPlot computer program (Systat Software, Inc., v. 10.0). The maximum shell length (SL_{∞}) was 126.16 mm, growth rate was 0.2030/year, theoretical age at shell length 0 (t_0) was -0.52 years, and asymptotic total weight (TW_{∞}) was 509.17 g. Growth curves for SL and TW fitted to the von Bertalanffy's equation were expressed as follows: $SL_t = 126.16(1 - e^{-0.2030(t+0.52)})$, $TW_t = 509.17(1 - e^{-0.2030(t+0.52)})^{3.2141}$.

Key words: *Saxidomus purpuratus*, Age, Growth, Transmitted light, von Bertalanffy's growth parameter

서 론

개조개(*Saxidomus purpuratus*)는 조간대에서 수심 40 m까지 사니질과 자갈이 섞인 퇴적물에 잠입하여 서식한다(Min, 2004). 패각은 두껍고 무거우며 표면은 회백색으로 성장맥이 가늘고 불규칙하다. 또한, 패각 안쪽 면은 자라면서 짙은 보라색으로 변하는 특징이 있다. 개조개에 대한 연구는 국내에서 생물학적 연구로 연령과 성장(Kim et al., 2003), 생식소 발달 및 생식주기(Shin et al., 2007), 생식생물학적 연구(Kim et al., 2010), 산란과 군성숙 각장(Lee et al., 2013)이 있다. 자원 생물학적 연구로는 Kim (1971), Zhang et al. (2004)과 자원평가(Kim et al., 2007)가 수행되어 최근 개조개의 생물학적 특성치에 관한 연구가 없는 실정이다. 또한, 개조개는 남해안에

서 높은 생산량을 보이며, 어업생산통계가 시작된 1995년부터 2017년까지 평균 3,983톤의 생산량을 보이고 있다(KOSIS, 2018). 1997년에 8,637톤으로 최고치를 보인 후 점차 감소하면서 2001년부터 TAC (total allowable catch) 실시 대상으로 선정되어 어업인의 년간 개조개 어획량을 관리하고 있다. 이와 더불어 2008년부터는 자원회복대상종으로 선정되어 자원회복을 위한 치패방류사업, 금지각장설정, 자율어장휴식제도 등 다양한 방법이 추진되고 있다. 하지만 개조개 어획량은 2005년까지 3,000톤 이상을 유지하였지만, 2006년 이후 3,000톤 미만으로 감소했으며, 2017년에는 1,104톤으로 가장 낮은 어획량을 보이는 등 자원량이 점차 감소하고 있는 실정이다. 특히 조사해역인 진해만은 개조개 생산량이 높은 지역으로 개조개 어획량이 급감했으며, 또한 2003-2007년에 평균 수온이 19.81°C,

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0556>



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 51(5), 556-565, October 2018

Received 4 September 2018; Revised 22 September 2018; Accepted 23 October 2018

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 690. 8941 Fax: +82. 61. 686.1588

E-mail address: kste1362@korea.kr

2008-2012년에는 평균 수온이 21.90℃, 2013-2017년에는 평균 수온이 23.63℃으로 계속 상승하는 등 해양환경의 변화가 크게 나타나고 있다(Fig. 1; MEIS, 2018).

최근 개조개 성숙과 산란특성에 관한 선행연구 결과에 따르면, 개조개의 군성숙 각장은 2010년(Kim et al., 2010) 71.9 mm에서 2013년 63.6 mm (Lee et al., 2013) 그리고 2015년(Lee, 2015)에는 50.1 mm까지 점차 작아지는 경향을 보이고 있다. 또한 자원량 감소, 먹이생물의 질적 및 양적변동, 해양환경의 변화 등 다양한 원인에 의해 개조개의 생물학적 특성이 변화하고 있어 이에 대한 연구의 필요성이 증가하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 개조개 패각에 형성된 윤문을 보다 명확히 분석하기 위해 육안관찰과 투과광을 이용한 방법을 병행하여 성장 특성을 연구하였다. 이를 선행연구들(Kim et al., 2003; Zhang et al., 2004)과 비교분석하여 자원량 감소와 해양환경의 변화가 개조개의 성장특성에 어떠한 영향을 주었는지 규명하고자 한다. 또한 개조개의 연령별 성장특성을 자원관리를 위한 금어기 및 포획금지 각장 신설의 기초연구자료로 제공함으로써 개조개의 효과적인 자원관리에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

표본 채집 및 계측

표본은 2017년 1-12월(12개월)에 걸쳐 진해만에서 잠수기 어업으로 어획된 것 중 매월 1회 각장의 크기를 다양하게(월평균 30개체, 총 364개체) 채집하여 사용하였다(Fig. 2). 채집한 표본은 실험실로 운반하고 Vernier caliper로 각장(shell length, SL), 각고(shell height, SH), 각폭(shell width, SW)을 0.01 mm단위까지 측정하였으며, 전중량(Total weight, TW)은 전자저울로 0.01 g까지 측정하였다. 개조개의 각장 크기 증가에 따른 성장 특성을 규명하기 위하여 각장에 대한 각고, 각폭과 전중량의 상대 성장을 추정하였다.

연령사정

개조개의 연령사정은 패각에 나타난 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계선을 윤문으로 간주하였다. 각 윤문판독의 정확성을 높이기 위해 두 명의 판독자가 교차 판독하였다. 먼저, 육안판별을 실시하였으며 표본 중 패각의 일부가 마모되어 잘 보이지 않아 윤을 정확히 판독하기 어려운 개체들은 패각에 빛을 투과시키는 조명장치(TH4-200, OLYMPUS, Japan)를 이용하여 2회 연령사정을 수행하였다. 윤경 측정은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 0.01 mm단위까지 측정하였다.

판독자의 판독횟수 간 일관성과 두 명의 판독자 간의 재현성은 Chang (1982)의 평균변동계수법(average coefficient of variation, CV)을 사용하였으며, 그 식은 다음과 같다(Campana and Jones, 1992; Hoenig et al., 1995; Campana, 2014).

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

$$X_j$$

위 식에서 X_{ij} 는 j번 패각을 i번째 판독한 연령, \bar{X}_j 는 j번 패각의 평균연령, R은 판독 횟수를 의미한다.

본 조사에서는 패각에 윤문을 1개 가진 개체들(1륜군), 2개 가진 개체들(2륜군) ... 최대 9개 가진 개체들(9륜군)이 관찰되었다. 개조개의 윤문 형성 시기와 계절적 주기성에 의한 윤문 형성 횟수를 알아보기 위하여 연변부 연역지수(marginal index, MI)를 구하였으며, 이를 바탕으로 윤문이 형성되는 연변부 시점을 분석하였다. 연역지수는 다음과 같이 구하였다.

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

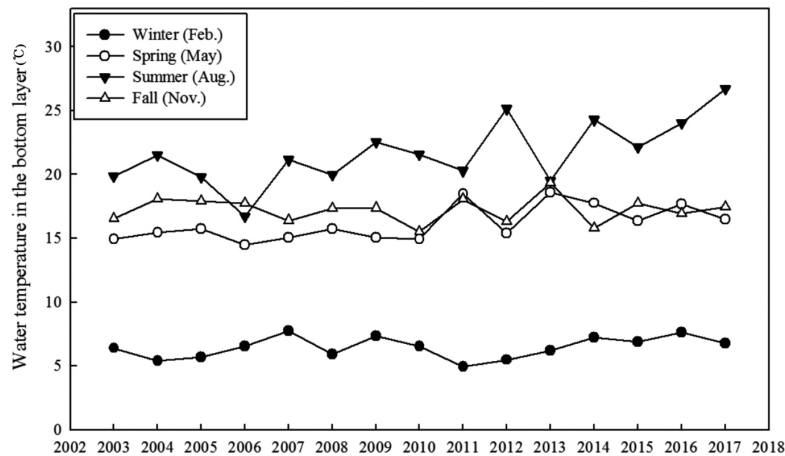


Fig. 1. Water temperature change in survey area (2003-2017) (MEIS).

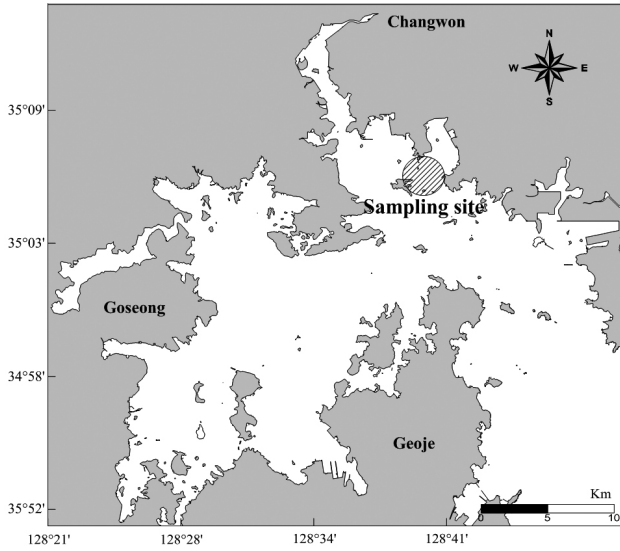


Fig. 2. Map showing the sampling site in the Jinhae Bay of Korea.

여기서 R은 각장, r_n 은 최외측 윤경, r_{n-1} 은 n-1번째 윤경 값이다.

윤문의 형성시기와 산란기의 상관관계를 규명하기 위하여 전중량에 대한 육중량을 측정하는 비만도 지수를 구하였다. 또한 본 연구의 비만도 지수의 변동이 기존의 성숙과 산란연구와 유사한 결과를 보이는지를 분석하기 위하여 Shin et al. (2007), Kim et al. (2010)과 Lee et al. (2013)의 선행연구 결과와 비교 분석하였다. 비만도 지수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\text{Fatness} = \frac{MW}{SL^3} \times 10^3$$

여기서, MW (meat weight)은 육중량(g), SL은 각장(mm)을 의미한다.

연역지수의 분석결과 폐각에 형성되는 윤문을 연륜으로 인정하고 각장과 윤문의 관계식을 구하였으며, 윤문 형성시 연령별 각장은 표본의 평균윤경으로 윤경과 각장 간의 관계식을 이용하여 구하였다. 또한 이를 각장과 전중량의 관계식에 적용시켜 역계산하여 윤문 형성시의 전중량을 추정하였다.

개조개의 성장은 역계산된 연령별 평균각장을 사용하여 von Bertalanffy 성장식(Bertalanffy, 1938)으로 추정하였고, 성장모델의 매개변수는 Walford (1946)의 정차도법에 의해 구한 추정치를 초기값으로 하여 비선형회귀방식(Non-linear regression)을 사용하였다.

$$SL_t = SL_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})$$

$$TW_t = TW_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$$

여기서, SL_t 와 TW_t 는 연령 t의 각장과 전중량, SL_∞ 와 TW_∞ 는 이론적 최대 각장과 전중량, k는 성장계수, t_0 는 각장이 0일 때 이론적 연령, b는 각장과 전중량 관계식의 상수를 나타낸다.

결 과

각장과 윤경의 대응성

개조개 폐각의 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계인 윤문이 연령형질로서 적합한 지 여부와 윤문 판독의 정확성을 높이기 위하여 두 명의 판독자가 2회씩 윤문을 판독하였다. 각각의 판독자에 따른 2회 판독 일치율은 판독자 1이 89%, 판독자 2가 95%로 나타나 윤문을 연령형질로 사용하는 것이 적합한 것으로 판단된다. 또한 판독자 간 윤문 판독의 일치율은 판독자 1의 두 번째 결과와 판독자 2의 두 번째 결과의 일치율이 97%로 더 높았으며, 판독자 1의 첫 번째 결과와 판독자 2의 첫 번째 결과의 일치율은 86%로 낮게 나타나, 이 중 일치율이 높은 판독자 1과 판독자 2의 두 번째 결과를 사용하였다. 최종적으로 연령분석에 이용된 개체수는 총 364개체로, 판독 결과가 일치하지 않았던 일부 개체들의 판독은 판독자간 협의를 통하여 연령사정을 수행하였다.

판독자간 협의를 통해 수행된 연령사정의 정확성을 확인하기 위하여 윤문별 각장과 윤경 간의 상호 대응관계를 검토하였다. 각 윤문은 인접한 윤문과 중복됨이 없이 분리되었으며, 각장과 윤경은 직선관계를 나타내었다. 따라서, 개조개 폐각에 형성된 윤문이 연령형질로 이용 가능한 것으로 판단된다(Fig. 4).

윤문 형성 시기

개조개 폐각에 형성된 윤문이 위류인지 아닌지 판단하고, 윤문 형성시기 및 횟수를 파악하기 위해 연역지수(marginal index)의 월 변화를 분석하였다(Fig. 5). 연역지수의 월별 경향은 1-4월은 평균 0.64-0.66으로 유사한 값을 보이다가 5월에 0.69로 가장 높은 값을 나타냈다. 6월과 7월은 평균 0.60으로 연역지수가 감소하였지만, 일부 개체들에서는 아직도 연역지수가 높은 값을 나타냈다. 8월이 되면서 평균 0.53으로 가장 낮은 값을 보였으며, 연역지수가 높은 값을 보이는 개체들이 크게 감소하였고, 최소값을 보이는 개체들의 비율 또한 크게 증가되는 것으로 나타났다. 이후 연역지수는 점차 증가하는 경향을 보여 6-10월 사이에 연 1회 윤문이 형성되는 것으로 판단되며, 주 형성시기는 7-8월로 판단된다. 따라서, 진해만에 서식하는 개조개는 주산란기인 7-8월에 태어난 개체들이 그 다음해 산란을 마치면서 초륜이 형성되므로 초륜형성기까지 11-13개월 정도가 소요되며 약 0.92-1.08세로 추정할 수 있다.

비만도

개조개의 산란기를 추정하기 위해 육중량을 이용한 비만도의 변화는 Fig. 6과 같다. 연중 변화를 살펴보면, 1월에서 3월까지

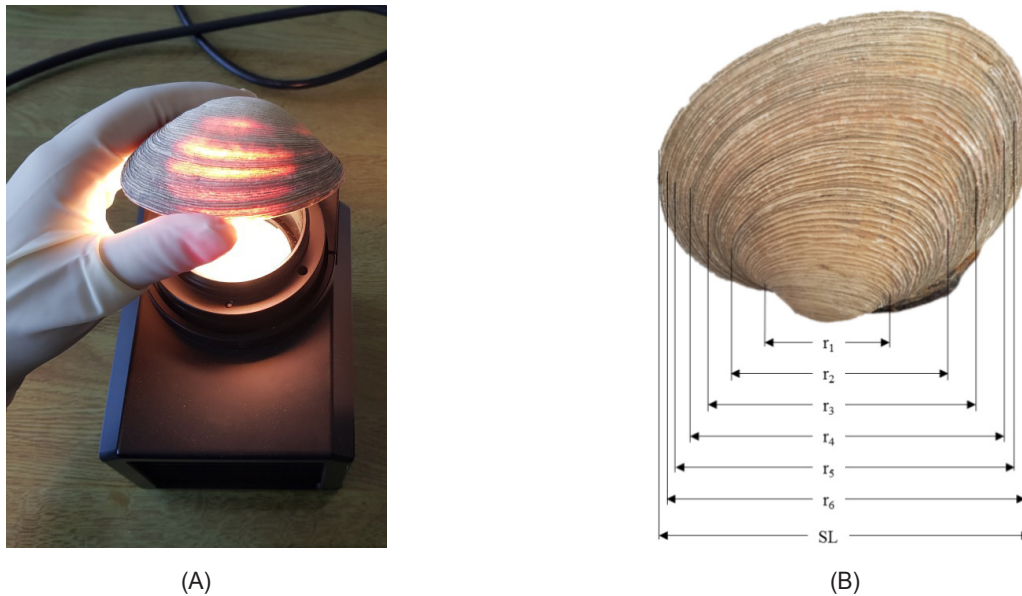


Fig. 3. A, The ring that appears on the shell through the lighting device. B, Shell length (SL) and ring diameters (r_1 - r_6) of clam *Saxidomus purpuratus*.

평균 0.0849로 높은 값을 나타내다 4월부터 0.0753으로 점차 감소하여 8월 0.0609로 가장 낮은 값을 보였다. 8월 이후 비만도 지수가 조금씩 증가하는 경향을 나타내어 개조개는 주산란기인 7-8월에 산란으로 인하여 생체량이 감소하고 산란을 마친 후 다시 육중량이 증가하는 특성을 보였다.

상대성장

개조개의 성장특성을 분석하기 위하여 각장(SL)에 대한 각고(SH)와 각폭(SW)의 관계식을 분석한 결과 각장에 대한 각고의 성장식은 $SH=0.8053SL-2.9636$ ($R^2=0.94$), 각폭의 성장식은 $SW=0.5648SL-3.7105$ ($R^2=0.90$)로 나타났다. 또한 개조개의 각장에 대한 전중량(TW)의 상관관계를 확인하기 위하여 그 그래프를 통해 분석한 결과 각장이 증가함에 따라 전중량이 점점 증가하는 포물선식이 가장 적합하게 나타났다. 각장에 따른 전중량의 성장식은 $TW=0.00009SL^{3.2141}$ ($R^2=0.96$)로 나타났다 (Fig. 7).

von Bertalanffy 성장식

개조개의 윤문을 연륜으로 간주하여 연령별로 평균 윤경을 계산한 결과, 개조개의 연급군은 1-9세로 나타났다(Table 1). 연급군별 평균윤경은 1세에 해당하는 r_1 의 각장은 34.96 mm, r_2 는 53.66 mm, r_3 는 65.36 mm, r_4 는 76.27 mm, r_5 는 84.81 mm, r_6 는 91.21 mm, r_7 는 97.26 mm, r_8 는 102.59 mm, r_9 는 109.05 mm이었다.

개조개의 연령별 평균 각장으로부터 Walford (1946) 정착도법으로 구한 성장 매개변수값을 이용하여 개조개의 성장식을 추정하였다. 개조개의 성장 매개변수 중에서 이론적 최대각장

(SL_{∞})은 126.16 mm, 성장계수(k)는 0.203/year, 각장이 0일 때의 이론적 연령(t_0)은 -0.52세로 추정되었다. 따라서 개조개의 각장과 연령과의 성장식은 다음과 같이 나타났다.

$$SL_t=126.16(1-e^{-0.2030(t+0.52)})$$

또한, 평균윤경으로써 윤문 형성 시의 전중량을 역계산하면 r_1 의 전중량은 8.24 g, r_2 는 32.67 g, r_3 는 61.52 g, r_4 는 101.06 g, r_5 는 142.23 g, r_6 는 179.60 g, r_7 는 220.62 g, r_8 는 262.03 g, r_9 는 318.69 g으로 전중량과 연령과의 성장식은 다음과 같이 나타낼 수 있었다(Fig. 8).

$$TW_t=509.17(1-e^{-0.2030(t+0.52)})^{3.2141}$$

고 찰

개조개는 산업적 이용가치가 높은 품종으로 전라남도과 경상남도에서 주로 어획되고 있으며 자원관리를 위해 자원평가를 통한 TAC의 어획량 관리(Zhang et al., 2004; Kim et al., 2007)와 씨뿔뿔양식(Jin et al., 2011)을 통한 자원량 증대, 계군분석을 통한 지역별 자원관리(Yoon, 2015) 등 다양한 방법을 수행하고 있다.

이때패류는 성장함에 따라 패각에 윤문이 형성되는데, 윤문은 서식지의 수온이 급격하게 높아지거나 낮아지는 시기(Ryu and Kim, 2001; Ryu et al., 2006), 산란기 전후(Kim et al., 1985; Chung et al., 1987)에 주로 형성된다. 이는 패각의 성장에 소비되어야 하는 에너지가 환경 변화에 대한 적응과 성 성숙에 대

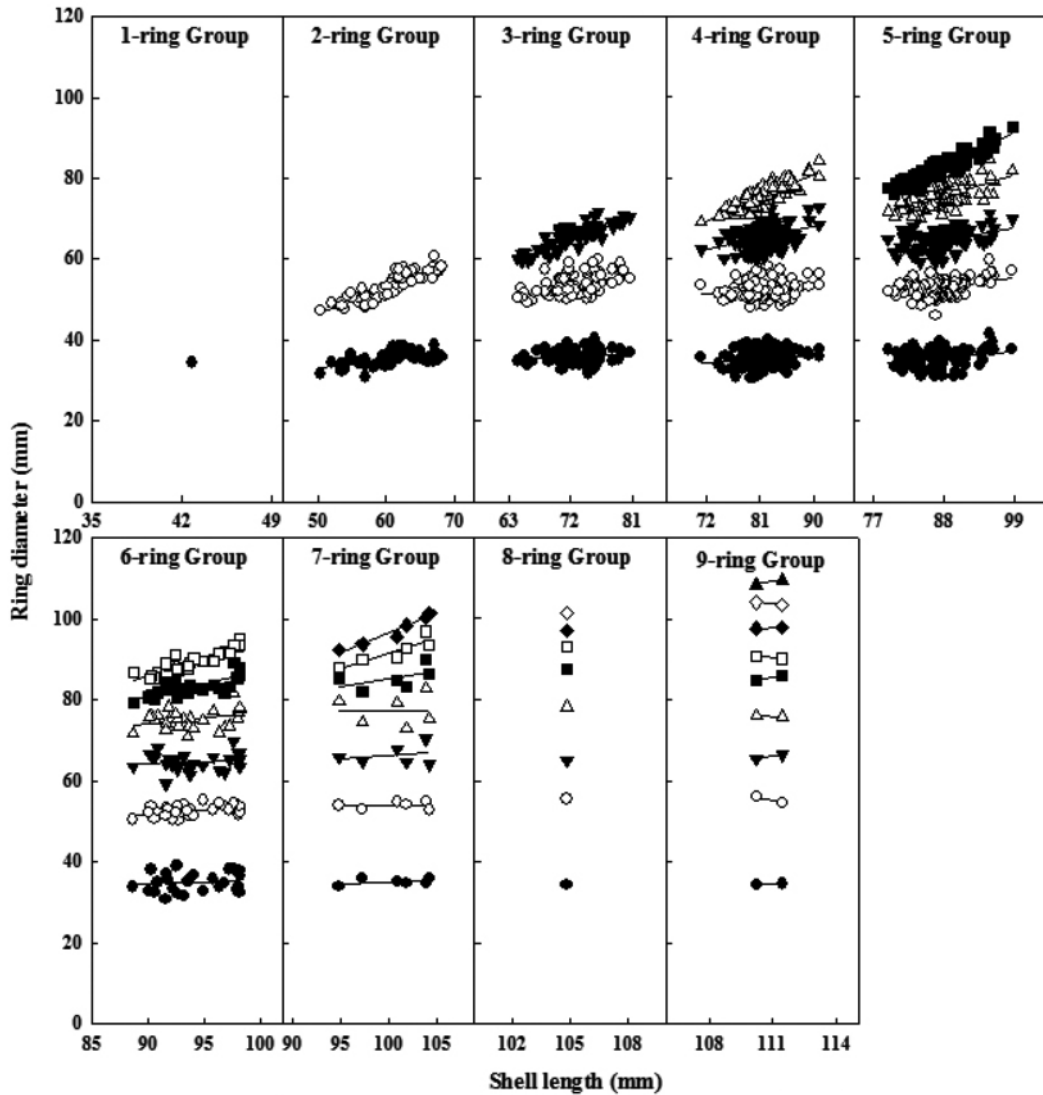


Fig. 4. Relationship between shell length (SL) and ring diameter of clam *Saxidomus purpuratus* from January 2017 to December 2017.

한 에너지 요구 또는 먹이 부족으로 인한 에너지원의 감소 등으로 성장이 느려지기 때문이다(Ryu and Kim, 2001; Kim et al., 2014). 또한 어류의 이석과 패류의 패각은 aragonite crystal 형태인 탄산칼슘(CaCO₃)과 유기물질로 구성되어 있는데, 이러한 화학적 구성요소들은 수온의 변동과 먹이변화 같은 환경적 요인에 의해 투명대와 불투명대를 형성한다(Liew, 1974; Woo, 1989). 이렇게 형성된 윤문은 연령을 판독하는데 있어 중요한 역할을 하게 되며, 연령사정 방법으로 개조개와 같이 패각이 두꺼운 경우에는 염산(HCl)에 부식시키는 방법(Kim et al., 2003; Zhang et al., 2004), 절단하여 절단면을 관찰하는 방법과 조명장치를 이용하는 방법 등이 있다(Lee and Kim, 2017). 이전 개조개 연령사정에선 패각을 염산에 녹여 분석하였지만, 이러한 방법은 환경오염뿐만 아니라 취급이 어렵고 실험자의 안전에

도 문제가 있는 것으로 보이며, 작은 크기의 개체나 표면이 많이 마모가 되어 있는 개체들은 염산을 처리하는 과정에서 윤문의 경계가 희미하게 변하는 위험이 있다. 본 연구에서는 육안으로 확인하기 어렵거나 윤문의 경계가 불명확한 개체들은 투과광을 이용하였고 광도세기를 달리하여 보다 정확하게 윤문을 확인할 수 있었다. 육안관찰과 투과광을 이용한 방법을 병행하여 윤문을 판독한 결과, 2회 반복 판독에서 평균 90%의 높은 일치율을 나타내었다.

본 연구에서 개조개의 주윤문 형성 시기는 주산란시기인 7-8 월로 년 1회가 형성되는 것으로 나타났는데, Kim et al. (2003)의 연구에서는 윤문이 3-4월 사이에 년 1회 형성된다고 하였다. Kim et al. (2003)은 본 연구와 달리 투명대에서 불투명대로 이행되는 경계선을 윤문으로 간주하여 윤문 형성 시기에 차이가

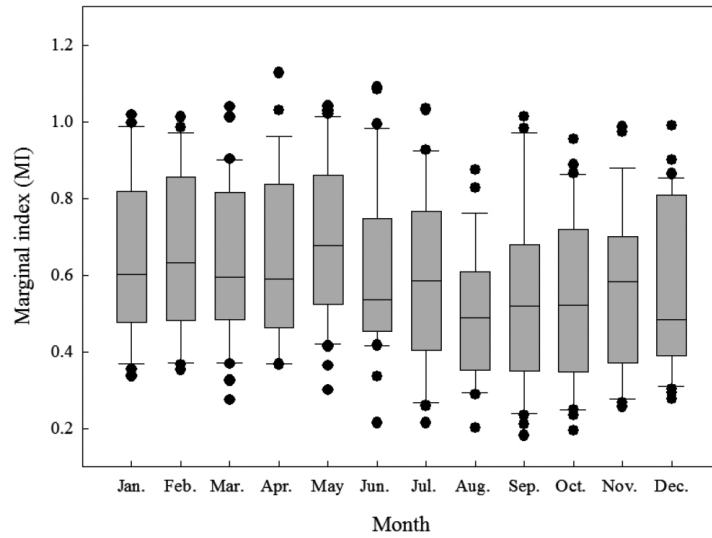


Fig. 5. Monthly change of shell marginal indices clam *Saxidomus purpuratus* from January 2017 to December 2017.

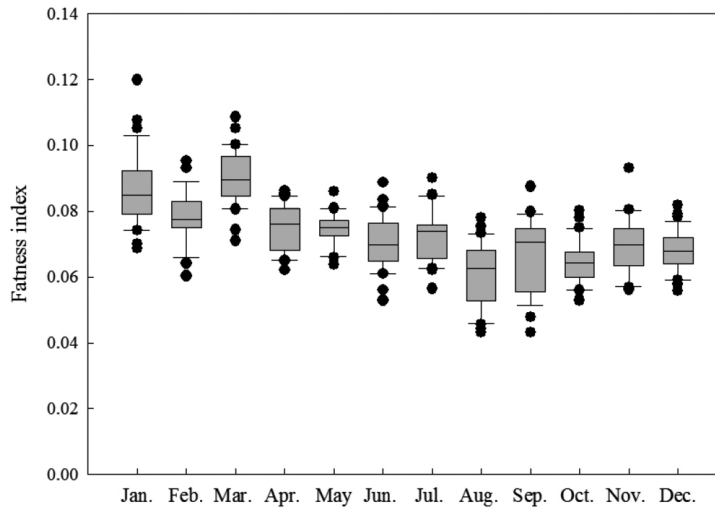


Fig. 6. Monthly changes in the fatness of clam *Saxidomus purpuratus*.

있었지만, 연변부 연역지수 값의 변화를 보면 개조개가 산란에 도입하면서 성장이 느려져 불투명대가 시작되는 시기는 3-4월이며 산란이 끝나고 성장이 빨라져 투명대가 시작되는 시기는 8-9월로 본 연구와 유사한 결과를 보였다. 또한, 이매패류의 연령사정에 있어 많은 선행연구(Wei et al., 1982; Ryu and Kim, 2001; Zhang et al., 2004; An et al., 2015; Lee et al., 2017)가 불투명대에서 투명대로 이행하는 경계선을 윤문으로 간주하고 분석하였다.

개조개의 산란은 일반적으로 수온에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있고 대체로 긴 편이며, 산란시기도 지역적으로 큰 차이를 보인다. 부산 영도 주변 해역(Kim, 1969)에서는 5-11월(주산

란기 8-10월), 부산 다대포와 전남 순천만(Chung et al., 1999)에서는 5-10월(주산란기 8-9월), 경남 사천만(Ahn, 2001)에서는 5-8월(주산란기 8-9월), 강진만(Shin et al., 2007)에서는 4-10월(주산란기 7-9월), 연구 지역인 진해만의 경우 Kim et al. (2010)에서는 4-12월(주산란기 6-8월), Lee et al. (2013)에서는 6-12월(주산란기 7-10월)로 보고되었다. 해역별로 개조개의 산란시기에 차이가 있지만 대부분 주산란기는 7-9월 사이에 형성되는 것으로 나타났다. 이는 비만도 지수로 산란기를 추정본 연구의 결과와 일치하였다. 따라서, 개조개 윤문은 성장에 필요한 에너지의 대부분을 생식소 발달을 위해 사용하면서 주산란기를 전후로 윤문이 형성된 것으로 보인다.

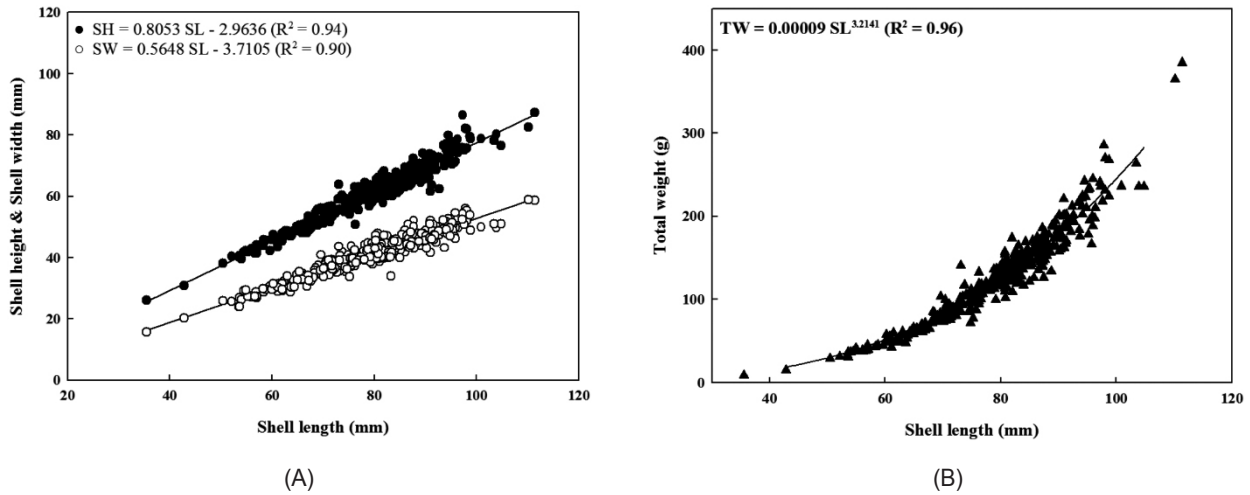


Fig. 7. (A) Relationship between shell height (SH) and shell width (SW) and shell length (SL) of clam *Saxidomus purpuratus*. (B) Relationship between shell length (SL) and total weight (TW) of *Saxidomus purpuratus*.

본 연구에서는 개조개의 연령이 최대 9세까지 출현하였는데, Zhang et al. (2004)은 8세, Kim et al. (2003)은 9세, Wei et al. (1982)은 10세까지 출현하였다. 본 연구의 초륜은 34.96 mm

로 Wei et al. (1982)의 15.4 mm보다 크며, Kim et al. (2003)의 32.48 mm과는 유사하고, Zhang et al. (2004)의 40.48 mm보다 작은 값을 나타내었다. 개조개의 치패 성장에 관한 선행 연

Table 1. Estimated shell length and total weight at the time of each ring formation based on the relationship between shell length and total weight of clam *Saxidomus purpuratus*

	Ring group	Number of individuals	Ring diameter (mm)								
			r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₈	r ₉
Shell length (mm)	1	1	34.29								
	2	54	35.23	53.17							
	3	73	35.89	53.57	65.93						
	4	111	35.25	52.49	65.42	75.59					
	5	88	35.41	52.83	64.31	75.22	82.63				
	6	28	34.94	52.57	64.63	75.26	83.35	89.62			
	7	6	34.99	53.86	66.24	77.35	85.32	91.93	97.04		
	8	1	34.17	55.48	65.01	78.14	87.39	92.87	96.95	101.39	
	9	2	34.45	55.29	65.99	76.04	85.34	90.42	97.78	103.79	109.05
	Mean		34.96	53.66	65.36	76.27	84.81	91.21	97.26	102.59	109.05
Total weight (g)	1	1	7.73								
	2	54	8.44	31.67							
	3	73	8.96	32.45	63.23						
	4	111	8.45	30.39	61.68	98.13					
	5	88	8.58	31.03	58.38	96.60	130.65				
	6	28	8.22	30.54	59.31	96.76	134.35	169.62			
	7	6	8.25	33.01	64.20	105.67	144.82	184.07	219.03		
	8	1	7.65	36.31	60.44	109.18	156.42	190.19	218.38	252.18	
	9	2	7.85	35.92	63.42	100.02	144.93	174.53	224.44	271.87	318.69
	Mean		8.24	32.67	61.52	101.06	142.23	179.60	220.62	262.03	318.69

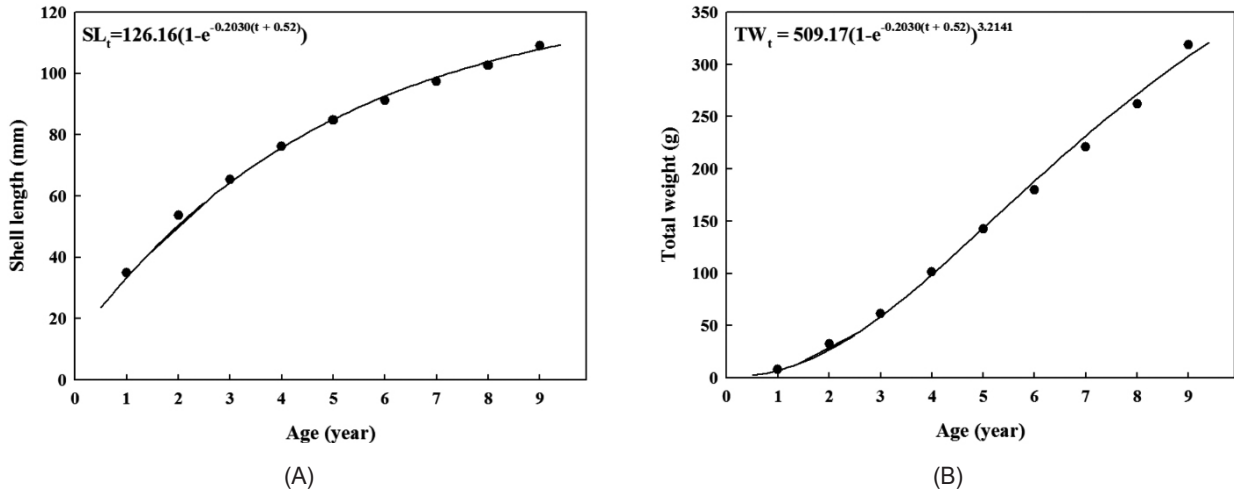


Fig. 8. A, Shell length-based von Bertalanffy's growth curve in clam *Saxidomus purpuratus*. B, Total weight-based von Bertalanffy's growth curve in *Saxidomus purpuratus*.

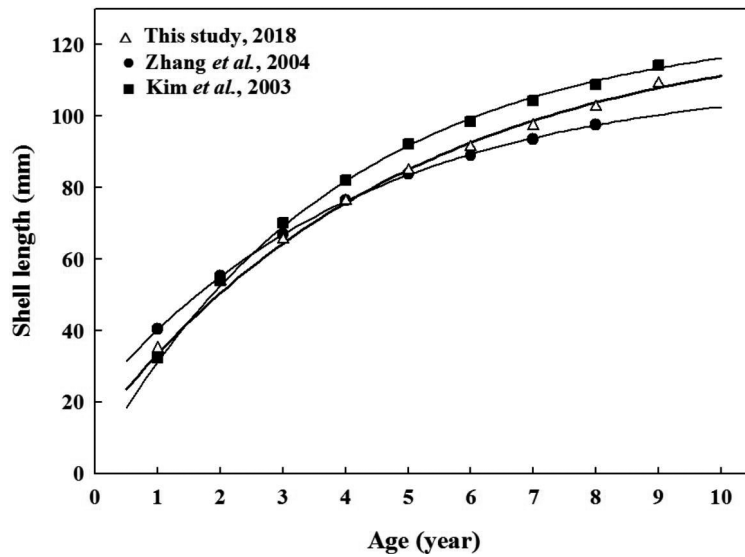


Fig. 9. Comparison of shell length-based von Bertalanffy's growth curve in clam *Saxidomus purpuratus* in three papers.

구를 살펴보면, Lee et al. (2005)은 실험실 내 조성된 환경에서 0.9 mm인 치패가 252일 동안 22.9 mm가 성장하였고, Jin et al. (2011)은 중간 육성을 위해 수하식 채롱을 이용한 수하 양식으로 남해에서 15.7 mm의 치패가 199일 동안 25.7 mm까지 성장하였다고 보고되었다. 따라서, 본 연구에서 초륜으로 판별한 34.96 mm는 치패의 성장초기연구와 유사한 경향을 나타내어, 개조개가 1년 동안 약 35 mm까지 성장하는 것으로 판단된다.

개조개의 연령별 평균윤경을 Zhang et al. (2004)과 비교해보면 1세의 윤경은 본 연구가 작게 나타났지만 2-6세까지는 유사한 경향을 보였다. 본 연구에선 6세에서 7세에 약 6.05 mm, 7세에서 8세에 약 5.33 mm의 각장이 증가하였지만, Zhang et al.

(2004)은 6세에서 7세에 약 4.39 mm, 7세에서 8세에 약 4.15 mm가 증가하여 본 연구에 비해 성장이 느려지는 경향을 보였다. 하지만 Kim et al. (2003)은 6에서 7세에 약 5.9 mm, 7세에서 8세에 약 4.47 mm로 본 연구의 성장특성과 유사하게 나타났다. 반면 Kim et al. (2003)은 1세와 2세의 평균윤경이 본 연구와 유사했지만, 3-5세의 세대간 성장은 평균 12.77 mm로 본 연구의 평균 10.38 mm보다 성장이 빠르게 분석되었다. 성장계수 값도 본 연구에서는 0.203이지만, Kim et al. (2003)과 Zhang et al. (2004)의 연구에서는 각각 0.252와 0.248로 본 연구에 비해 높게 나타나, 최근 개조개의 성장이 점차적으로 느려지는 것으로 분석되었다. 이러한 현상은 산란에 참여하는 군성숙 각장이

작아지면서 발생하는 생물학적인 원인에 따른 것인지, 먹이원의 양과 질적인 변화, 여름철 수온 상승 등과 같은 주변 해양생태계의 변화에 따른 것인지 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. Zhang et al. (2004)과 Kim et al. (2003)의 연구가 본 연구와 10년 이상의 차이가 있는 것을 고려하면 연령별 평균윤경이 큰 차이를 보일 수 있어 평균윤경을 이용한 절대적인 성장속도의 비교는 어렵지만, 본 연구에 비해 2세 이하의 초기성장은 Zhang et al. (2004)의 연구에서, 3-5세의 산란참여 개체의 성장은 Kim et al. (2003)의 연구에서 성장속도가 빠르게 나타났다. 6-8세에서는 본 연구와 Kim et al. (2003)의 성장속도는 유사했지만, Zhang et al. (2004)의 연구에서는 성장속도가 느려지는 경향을 나타내었다(Fig. 9).

본 연구에서 개조개의 이론적 최대각장은 126.15 mm로, Kim et al. (2003)의 125.57 mm와 유사하였고, Zhang et al. (2004)의 108.67 mm에 비하면 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 분석에 사용된 개체들의 최대크기가 크면 클수록 이론적 최대각장 및 연령이 크게 추정될 수 있어 이러한 차이를 보인 것으로 판단되며, Wei et al. (1982)과 Kim et al. (2003), Zhang et al. (2004)의 이론적 최대 각장과 최대연령을 고려하면 개조개의 최대각장은 약 130 mm, 최대연령은 10세로 추정할 수 있을 것으로 판단된다.

개조개는 자원량이 지속적으로 감소함에 따라 TAC를 통한 어획관리 및 종묘방류와 더불어 보다 적극적인 자원회복 방안이 필요한 실정이다. 이를 위해서는 실제 어업인들의 어획개시 크기와 더불어 군성숙 각장, 생물생태학적 특성의 변동 등 다양한 요인들이 고려되어야 할 것이다. 따라서, 포획금지 각장과 금어기의 설정과 같은 적극적인 자원관리 방안이 필요할 뿐만 아니라 먹이와 해양환경의 변동이 개조개 자원에 미치는 영향 등에 대한 지속적인 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 2018년도 국립수산물과학원 남해 연안어업 및 환경생태 조사(R2018030)의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Ahn SH. 2001. Annual reproductive cycle of *Saxidomus purpuratus* (Sowerby) (Bivalvia: Veneridae) in Sacheon bay, Korea. M.S. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- An HC, Hong SE, Bae JH, Kim JW, Yoon BS. 2015. Age and growth of great tellin, *Megangulus venulosus* in the coastal waters of Gangneung, Korea. J Korean Soc Fish Technol 51, 592-599. <http://dx.doi.org/10.3796/KSFT.2015.51.4.592>.
- Bertalanffy L von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries on growth laws II). Human Biology 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. <https://doi.org/10.1139/f82-158>.
- Chung EY, Kim YG and Lee TY. 1987. A study on sexual maturation of hen clam *Macetra chinensis* Philippi. Bull Korean Fish Soc 20, 501-508.
- Chung EY, Kim YM and Lee SG. 1999. Ultrastructural study of germ cell development and reproductive cycle of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). Yellow Sea 5, 51-58.
- 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. <https://doi.org/10.1139/f95-038>.
- Jin YG, Oh BS, Jung CK, Kim TI and Park MW. 2011. Survival and growth of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* spat sowed in bottom and intermediate culture. Korean J Malacol 27, 199-204. <https://doi.org/10.9710/kjm.2011.27.3.199>.
- Kim AY. 1969. Studies on the gametogenesis and breeding season of *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). Publication of Marine Laboratory, Pusan Fishery College 2, 27-36.
- Kim AY. 1971. Ecological studies on the propagation of *Saxidomus purpuratus* (Sowerby). Korean J Fish Aquat Sci 4, 92-98.
- Kim CS, An JE, Choi JD and Ryu DK. 2014. Age and growth of the *Gomphina (Macridiscus) veneriformis* (Lamarck, 1818) in the Wonsan coast of East Swa. Korean J Malacol 30, 33-40. <https://doi.org/10.9710/kjm.2014.30.1.33>.
- Kim Y, Park MS and Lee SD. 1985. Occurrence and growth of pen shell, *Atrina pectinata* (Reeve) Larvae in Yeoja Bay. Bull Fish Res Dev Agency 34, 165-170.
- Kim YS, Kim YH, Kim JB, Chang DS, Lee DW and Kang HJ. 2010. Reproductive biology of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* in the East China Sea. Korean J Malacol 26, 261-265.
- Kim YH, Kwon DH, Chang DS, Kim JB, Kim ST and Ryu DK. 2007. Stock assessment of purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* in the Southern Coastal waters of Korea. Korean J Malacol 23, 31-38.
- Kim YH, Ryu DK, Chang DS and Kim ST. 2003. Age and growth of purplish Washington clam (*Saxidomus purpuratus*) in Jinhae bay, Korea. Korean J Fish Aquat Sci 36, 495-499. <https://doi.org/10.5657/kfas.2003.36.5.495>.
- KOSIS (Korean statistical information service). 2018. Survey

- on fishery production. Retrieved from <http://kosis.kr> on Jul 24, 2018.
- Lee CH, Han GM and Choi JW. 2005. Substrate selection for larval settlement and spat growth in the purple clam, *Saxidomus purpuratus* (Sowerby) in laboratory culture. Korean J Malacol 21, 65-70.
- Lee SK, Chang DS, Kim JB and Park MA. 2013. Reproduction study of purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* in Jinhae bay, Korea: Spawning and shell length at 50% sexual maturity. J Kor Soc Fish Tech 49, 449-458. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.449>.
- Lee MH and Kim YH. 2017. Age Determination Method of *Saxidomus purpuratus*. Korean J Malacol 33, 115-118. <https://doi.org/10.9710/kjm.2017.33.2.115>.
- Lee JS. 2015. Identification of spawning season of *Saxidomus purpuratus* and *Octopus minor* by histological analysis. Chonnam National University Industry University Cooperation.
- Lee MH, Choi JD, No GH, Shin SJ and Ryu DK. 2017. Age and growth of *Corbicula japonica* in the Seomjin River, Korea. Korean J Malacol 33, 107-113. <http://dx.doi.org/10.9710/kjm.2017.33.2.107>.
- Liew PK. 1974. Age determination of American eels based on the structure of their otoliths. In International Symposium on the Ageing of Fish, Unwin Brothers Limited. Surrey, U.K., 124-136.
- Min DK. 2004. Mollusks in Korea (revised supplementary edition). Min Molluscan Research Institute, Seoul, Korea.
- MEIS (marine environment information system). 2018. Survey on water temperature. Retrieved from <http://www.meis.go.kr> on Oct 4, 2018.
- Ryu DK and Kim YH. 2001. Management of hen clam, *Macra chinensis* Philippi, on the coast of Kunsan. I. Age and growth. Korean J Malacol 17, 13-18.
- Ryu DK, Chung EY and Kim YM. 2006. Age and growth of the hard clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae) on the West coast of Korea. The Sea 11, 152-157.
- Shin YK, Choi NJ, Oh BS, Jung AJ and Kim SY. 2007. Gonad development and reproductive cycle of the purplish Washington clam, *Saxidomus purpuratus* (Bivalvia: Veneridae) from Gangjin bay. Korean J Malacol 23, 165-172.
- Walford LA. 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. Bio Bull, 141-147.
- Wei LP, Shu YF, Guan F, Han YP and Yu ZR. 1982. A preliminary survey on the biology of *Saxidomus purpuratus*. J Fish China 6, 1-8.
- Woo KS. 1989. Textural, isotopic, and chemical investigation of cultured pearls. J Kor Soc Oceanogr 24, 69-78
- Yoon JM. 2015. Geographical Variations and Genetic Distances of Three *Saxidomus purpuratus* Populations ascertained by PCR Analysis. Dev Reprod 19, 259-264. <https://doi.org/10.12717/DR.2015.19.4.259>.
- Zhang CI, Yoon SC and Lee SK. 2004. A Population ecological study of purplish Washington clam (*Saxidomus purpuratus*) in adjacent waters of Geoje Island. J Korean Soc Fish Res 6, 126-139.