

서산 대죽리 패총에서 출토된 말백합 *Meretrix petechialis* (Lamarck) 의 성장 연구

류동기, 안덕임¹

군산대학교 해양생명과학과, ¹한서대학교 문화재보존학과

Growth Analysis of the hard clam, *Meretrix petechialis* (Lamarck) collected from the Daejuk-ri Shell Middens, Seosan, Korea

Dong-Ki Ryu and Deog-im An¹

Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea
¹Hanseu University, Seosan 356-706, Korea

ABSTRACT

In this study, growth-line analysis was carried out on the hard clam (*Meretrix petechialis*) collected from the Neolithic shell middens in Daejuk-ri, Seosan, Korea, to reconstruct palaeoenvironment. Growth increments of 206 specimens of the clam were examined. The ages of the specimens were determined from the rings on the shells. The relationship between shell length and ring radius in each ring group was expressed as a regression line, indicating a correspondence in each ring formation. Growth pattern of the midden specimens was compared to that of modern ones collected from Gimje, Jeonbuk. Growth curves for shell length fitted to the von Bertalanffy's growth curve were expressed respectively as follows: $SL_t = 102.9025[1 - e^{-0.18657(t+1.0906)}]$ in the shell midden specimens, $SL_t = 104.2583[1 - e^{-0.2277(t+0.7499)}]$ in the modern ones. The relationship between shell length (SL; mm) and shell height (SH; mm) was expressed by the following equations: $SH = 0.7791 SL + 3.6636$ ($R^2 = 0.946$) in the midden specimens, $SH = 0.8103 SL + 0.5145$ ($R^2 = 0.991$) in the modern ones. The results of the tests regarding the differences between regression coefficients and elevations of growth curves of these two populations demonstrate that the slopes were not significantly different ($p < 0.05$), but the elevations were ($p > 0.05$). However, overall growth curves of the midden and modern populations were not significantly different, indicating that shell growth environments of the two areas are similar. Therefore, it is likely that sea temperature near the midden area could be similar to that of present Gimje area, and thus temperature during the period of the midden formation could be higher than presently known.

Key words: Daejuk-ri Shell Midden, hard clam (*Meretrix petechialis*), von Bertalanffy's growth curve, Neolithic, palaeoenvironment

서 론

말백합 (*Meretrix petechialis*) 은 이치목 (Heterodonta) 백합과 (Veneridae) 에 속하는 이매패류로서, 조간대 아래 수

심 10 m의 사니질에 서식하며, 주로 우리나라 서해안과 중국에 분포한다 (Kwon *et al.*, 1993). 백합류의 패류는 신석기시대부터 식용으로 이용되어 왔으며 식량자원으로서 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 말백합은 본 연구 대상 시료가 출토된 신석기시대의 서산 대죽리 패총이나 인근의 또 다른 신석기시대 패총에서도 높은 비중을 차지하여 (서와 조, 2000; Hanseo, 2001; 안, 2010) 당시 식생활에서 중요한 역할을 하였음을 알 수 있다.

패총에서 출토된 백합류의 패류는 패총이 형성될 당시의 식생활 연구에 이용될 뿐 아니라 자연과학적인 성장선 연구 (Koike, 1980, 1982; An and Ryu, 2013) 및 산소동위원소 분석 (서와 조, 2000; An and Lee, 2001; Kim *et al.*, 2011)

Received: June 9, 2013; Accepted: June 22, 2013
Corresponding author : Deog-im An
Tel: +82 (41) 660-1248 e-mail: adi@hanseo.ac.kr
1225-3480/24478

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

을 통해 패류 채집이나 유적 점유 계절을 밝히고 그 당시 환경을 복원하는데 중요한 정보를 제공하고 있다.

패류의 성장은 생식활동, 질병 등의 내적 인자와 먹이, 수온, 염도, 퇴적물, 조석 (潮汐), 패각 개폐시간 (valve opening time), 광주기 (photoperiod), 폭풍 등 외적 인자에 의해 영향을 받는데 (Wilbur, 1976; Claassen, 1998; 富岡 2003), 특히 수온과 상관관계가 가장 높은 것으로 알려졌다 (Koike, 1980). 따라서 패각의 성장선 분석과 산소동위원소 분석을 통해 그 패각이 서식할 당시의 수온 나아가 고환경을 추정할 수 있다.

본 연구에서는 신석기시대의 서산 대죽리 패총에서 출토된 말백합 (*Meretrix petechialis*) 패각의 성장선 분석을 바탕으로 당시의 환경 (수온) 을 추정하고자 한다. 이를 위해 대죽리 패총 출토 말백합의 성장 패턴을 구하고 그 결과를 성장 환경이 알려진 전북 김제 연안에서 채집된 현생 시료의 성장 패턴과 비교하였다. 말백합은 백합 (*Meretrix lusoria*) 과 외형적으로 유사하여 명백한 구별이 어렵기 때문에 두 종은 통용되고 있는데 현재 서해안에 주로 분포하고 있는 것은 대부분 말백합인 것으로 알려졌다 (Tori *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2012). 따라서 대죽리 패총에서 출토된 말백합의 성장비교에 이용한 현생 시료는 Ryu *et al.* (2006) 이 백합 (*M. lusoria*) 으로 분류하여 연구하였으나, 실질적으로는 말백합인 것으로 판단되어 이를 이용하였다.

시료 및 방법

1. 시료

본 연구에 이용된 말백합 시료는 서산 대죽리 패총에서 출토된 패각이다. 대죽리 유적은 신석기시대 패총 2기 (1,2 패총) 로 구성되었으며, 1 패총 출토 목탄시료에 대한 방사성탄소 연대는 $4,480 \pm 60$, $4,460 \pm 60$ 년 BP를 보인다 (백, 2010).

말백합 시료는 발굴조사 과정 중 각 그리드에서 출토된 것과 패총의 조성 연구를 위해 채집된 패각층 블록시료 24점 (1패총 11점, 2패총 13점) 중에 포함된 것이다. 이러한 패각 가운데 보존상태가 양호하고 성장선을 관독할 수 있어 성장선 분석이 가능한 것을 대상으로 하였다. 결과로서 최종 선별된 시료는 대죽리 1 패총 105개체, 2 패총 101개체로 모두 206개체이며, An and Ryu (2013) 에 의해 분석된 것과 동일 시료이다.

한편 대죽리 패총 말백합과의 성장 패턴 비교를 위한 현생 말백합은 Ryu *et al.*, (2006) 이 2004년 4월부터 2005년 3월 까지 전라북도 김제시 심포 연안의 갯벌에서 매월 채집한 2,161개체이다.

2. 방법

패각의 성장선은 패각 표면과 단면에서 관찰되므로 성장선 분석은 표면 관찰법이나 단면 관찰법을 이용하여 진행된다. 본

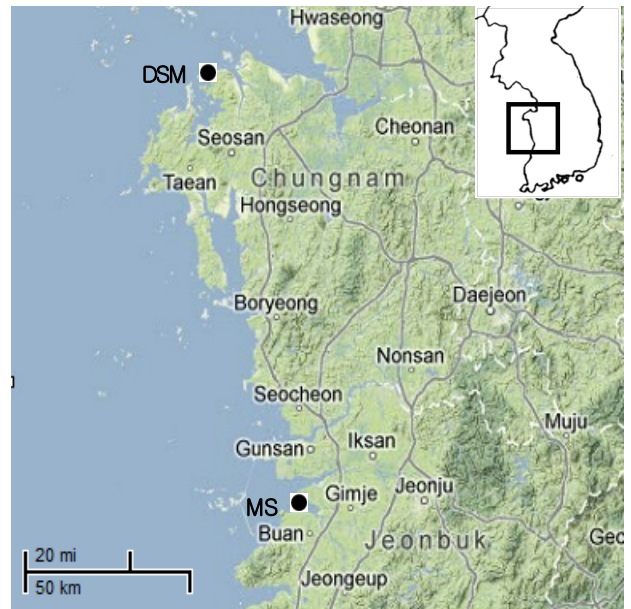


Fig. 1. Location map of the Daejuk-ri Shell Middens (DSM) and sampling site of modern shell specimens (MS).

연구에서는 이 가운데 표면 관찰법을 이용하여, 패각 표면에서 성장선을 관찰하고 판독된 윤문 (연륜) 을 기준으로 연령을 사정하였다. 윤문은 패각에 쌓인 입체현미경의 빛을 투사하여 관찰하였으며 각정부부를 중심으로 동심원상으로 관찰되는 불투명대 (opaque zone) 와 투명대 (translucent zone) 의 경계를 윤문으로 판독하였다. 이 때 패각의 최대 각장을 R, 각정부로부터 처음 관찰되는 제1 윤문의 윤경을 r_1 , 그 다음 관찰되는 제2 윤문의 윤경을 r_2 , n번째 윤문의 윤경을 r_n 으로 하여 측정하였다 (Fig. 2).

측정된 각 각 연령군의 평균 각장을 산정하고, 이를 이용하여 패총 말백합의 성장식을 Bertalanffy의 성장식 (Bertalanffy, 1946) 으로 나타내었다. 각각의 상수는 Walford (1946) 의 정착도법으로 추정하였고, 이때 추정한 현생 개체군과 패총 개체군의 기울기 (성장계수) 와 절편 (극한각장) 을 t-test를 통하여 비교하였다 (Zar, 1984).

또한 패총 출토 말백합의 각장과 각고의 상대성장식을 직선 회귀식으로 나타내었으며, 이를 현생 말백합 개체군과 t-test를 통하여 기울기와 절편을 비교하였다 (Zar, 1984).

결 과

1. 윤문형성의 대응성

이때패류는 패각에서 보이는 윤문을 통해 비교적 용이하게 연륜을 판독할 수 있다. 그러나 이러한 윤문이 실제로 연륜을 나타내고 있는 것인지의 대응성을 조사하여 윤문 판독의 정확성을 검토할 필요성이 있으며, 이를 위해 윤문별로 각장과 윤

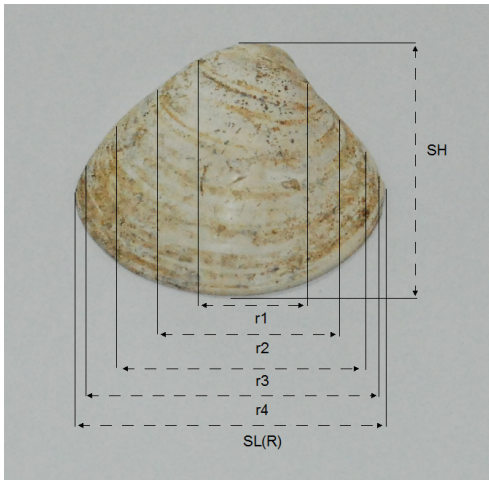


Fig. 2. Measurements of shell length (SL) and height (SH) and ring radius (r_n) of the hard clam (*Meretrix petechialis*).

경과의 관계를 검토하였다. 패총에서 출토된 표본을 대상으로 윤문군별 각장 (R: SL) 과 윤경 (r) 간의 상호대응 관계를 그래프로 나타내었다 (Fig. 3). 그래프를 통해서 각장과 윤경 간의 관계가 정상관을 보여 윤문판독의 정확성을 확인할 수 있었다. 그래프를 보면 회귀직선을 중심으로 약간의 분산을 나타내고 있지만, 각 윤문이 비교적 뚜렷이 구분되어 윤문판독의 타당성이 확인되어 판독된 윤문을 연륜으로 간주하였다. 따라서 패각에 형성된 윤문은 각장과 윤경 간에 대응성을 보이는 것이므로 연령형질로서 적합한 것을 알 수 있었다.

대죽리 패총 출토 말백합 시료의 최대 각장 (R) 은 35.71-69.54 mm 범위에 분포하고, 윤문은 2-5개까지 확인되어 2-5세군으로 구성되었음을 알 수 있었다. 연령별로 보면 2세군 70점 (34%), 3세군 95점 (46.1%), 4세군 37점 (18%), 5세군 4점 (1.9%) 으로 2세군과 3세군이 80% 이상을 차지하였다. 따라서 패총 출토 말백합은 2세군 이상의 비교적 큰 개체들만 채취한 것으로 추정된다.

각 연령군별 평균 윤경은 r_1 26.61 mm, r_2 40.08 mm, r_3 50.05 mm, r_4 58.81 mm, r_5 66.79 mm이었다.

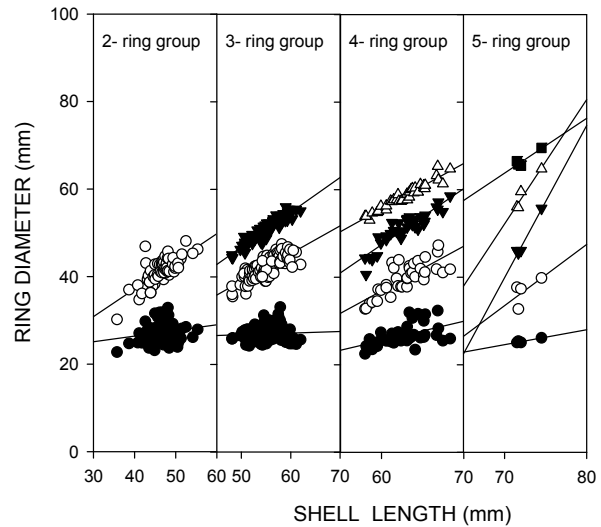


Fig. 3. Relationship between shell length and ring radii of the hard clam (*Meretrix petechialis*) from the Daejuk-ri Shell Middens.

2. 패총 말백합 개체군의 성장식

Ryu *et al.* (2006) 은 윤문이 년 1회 형성되며, 주 산란기는 8월로 간주하였고, 윤문 형성 시기는 2월로 추정하여 초륜이 형성되는 연령을 0.5세로 하여 성장식을 산정하였다.

본 조사에서도 이를 그대로 이용하여 성장식을 추정하였다. 따라서 패총 출토 말백합의 윤문 형성시의 평균 각장은 $SL_{0.5} = 26.61$ mm, $SL_{1.} = 40.08$ mm, $SL_{2.5} = 50.05$ mm, $SL_{3.5} = 58.81$ mm, $SL_{4.5} = 66.79$ mm이었다 (Table 1). 그래프를 통한 연령군별 각장에 의해서 von Bertalanffy's 성장식의 모수를 Walford의 방법인 선형회귀분석으로 추정하면 극한각장 $SL_{\infty} = 102.9025$ mm, 성장계수 $k = 0.18657/year$, 각장이 0일 때의 이론적 연령 t_0 는 -1.0906 year로 각각 추정되었다 (Fig. 4).

성장식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SL_t = 102.9025 (1 - e^{-0.18657(t+1.0906)})$$

Table 1. Average shell ring radii of the hard clam (*Meretrix petechialis*) from the Daejuk-ri Shell Middens.

| Item | Ring group | Ring diameter (mm) | | | | | No. of sample |
|-------------------|------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| | | r_1 | r_2 | r_3 | r_4 | r_5 | |
| Shell length (mm) | 2 | 27.31 | 41.52 | | | | 70 |
| | 3 | 26.97 | 42.13 | 50.74 | | | 95 |
| | 4 | 26.78 | 39.79 | 51.09 | 58.56 | | 37 |
| | 5 | 25.39 | 36.88 | 48.32 | 59.05 | 66.79 | 4 |
| | Mean | 26.61 | 40.08 | 50.05 | 58.81 | 66.79 | (206) |

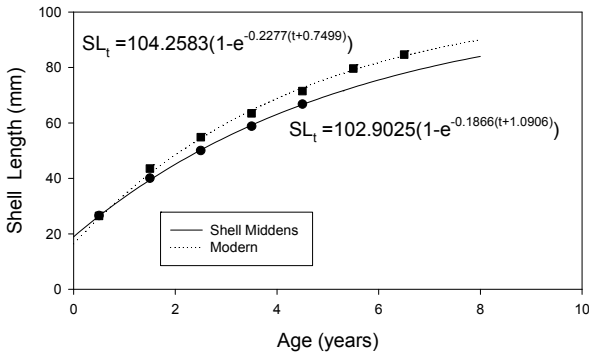


Fig. 4. von Bertalanffy growth curve of the modern and shell midden hard clam (*Meretrix petechialis*) specimens.

또한 각장과 각고의 상대성장식은 $SH = 0.7791SL + 3.6636$ ($R^2 = 0.946$) 이었다 (Fig. 5).

3. 현생 개체군과의 성장 비교

Ryu *et al.* (2006) 의 기본 자료를 패층 자료와 동일한 방법으로 산정하여 von Bertalanffy's 성장식으로 나타내었으며, 각장과 각고의 상대성장식도 동일한 방법으로 직선회귀식으로 나타내었고, 이를 패층의 성장식과 비교하였다. Ryu *et al.* (2006) 의 성장식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$SL_t = 104.2583 (1 - e^{-0.2277(t+0.7499)})$$

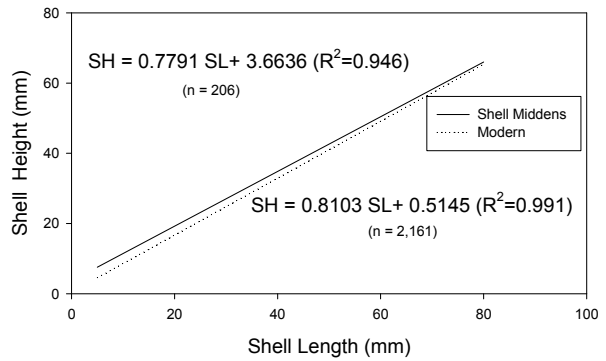


Fig. 5. Relationship between shell height (SH) and shell length (SL) of the modern and shell midden hard clam (*Meretrix petechialis*) specimens.

또한 각장과 각고의 상대성장식은 $SH = 0.8103SL + 0.5145$ ($R^2 = 0.991$) 이었다. 위의 두 가지 식을 패층의 성장식과 비교하면 Table 2 및 Table 3과 같다.

고 찰

인간과 인간을 둘러싸고 있는 자연환경은 상호 밀접한 관계를 맺고 있다. 자연환경은 인간의 삶과 문화에 직접적인 영향을 미치는데, 특히 자연환경에 대한 의존도가 높았던 선사시대에는 그 영향력이 더 컸을 것이다. 그러므로 선사시대 사람들의 생활과 문화를 이해하기 위해서는 그 당시 자연환경에 관한 이해가 중요하다. 대죽리 패층이 형성되던 신석기시대의 자연

Table 2. The result of the tests regarding the differences between regression coefficients and elevations on the von Bertalanffy equation (shell length) of the modern and shell midden hard clam (*Meretrix petechialis*) specimens.

| Item | Shell Midden | Modern | Remark |
|-------------------------|--------------|--------|--------------------------|
| Regression coefficients | 0.8298 | 0.7964 | P < 0.05 |
| t | | 0.603 | |
| DF | | 6 | $t_{0.05(2), 6} = 2.447$ |
| Elevations | 17.514 | 21.227 | P > 0.05 |
| t | | 2.788 | |
| DF | | 7 | $t_{0.05(2), 7} = 2.365$ |

Table 3. The result of the tests regarding the differences between regression coefficients on the linear regression equations (shell length and shell height) of the modern and shell midden hard clam (*Meretrix petechialis*) specimens.

| Item | Shell Midden | Modern | Remark |
|-------------------------|--------------|--------|-----------------------------|
| Regression coefficients | 0.7791 | 0.8103 | P > 0.05 |
| t | | 2.772 | |
| DF | | 2,363 | $t_{0.05(2), 2363} = 1.960$ |

환경에 관하여는 현재까지 다양한 연구가 시도되어 왔다 (신, 2013). 그러나 아직까지 당시 자연환경에 대한 주장이 상당 부분 엇갈리는 실정이라서 문제의 해결을 위한 지속적인 연구가 요구되고 있다.

대죽리 패총에서 출토된 말백합 시료 206개체는 지금으로부터 약 4,500년 전의 것으로 매우 오래된 것이나 다량의 패각으로 구성된 패각층 내에 묻힌 상태로 유지되었으므로 외곽의 모양이나 형태가 비교적 깨끗하고 파손이 없는 개체들이었다. 물론 좌우패의 구분 없이 모두 사용하였다.

패총에서 출토된 말백합은 2세-5세까지 4개의 연금군만 출현하였는데, Ryu *et al.* (2006)의 현생 시료는 0세-7세까지 8개의 연금군이 출현하여 많은 차이를 보였다. 물론 Ryu *et al.* (2006)의 경우 성장을 조사하기 위하여 매일 어린 개체들부터 큰 개체까지 채집하였고, 패총 출토 말백합의 경우 식용을 위하여 채집하였기 때문에 다소 차이가 날 수도 있다. 하지만 6-7세의 대형패의 경우 패총에서 출토되지 않은 것이 다소 의외였다. 이는 신석기시대의 말백합 서식지가 매우 협소하거나 식용을 목적으로 과도하게 채취하는 경우 이러한 결과가 나타날 수도 있다. 하지만 현재 제한된 자료로 그 원인을 분석하기는 어렵다. 따라서 추후 보다 많은 자료를 확보하여 연구하여야 할 것이다.

패류의 성장은 환경적 요인에 의해 영향을 받으며, 특히 온도와 밀접한 관계가 있다 (Koike, 1980). 따라서 패류의 성장 정보를 이용하여 패류가 성장할 당시의 환경을 추정하는 것이 가능하다. 이에 본 연구에서는 대죽리 패총 출토 말백합의 성장패턴을 밝히고 그 결과를 김제에서 채집된 현생 말백합 자료와 비교 검토하여 신석기시대의 환경 (수온)을 추정하여 보았다.

대죽리 패총 말백합 개체군에 대한 연령사정 후 성장식을 추정하고 현생 개체군들과 비교한 결과 성장계수 값은 패총 개체군은 0.1866, 현생 개체군은 0.2277로 그 차이는 없었으나 ($p < 0.05$), 극한각장은 패총이 102.9025 mm, 현생은 104.2583 mm로 나타나 두 개체군 간의 유의한 차이는 있었다 ($p > 0.05$). 비록 t-test 결과 절편의 차이가 있다고 하였으나, 기울기의 차이가 없고 절편의 차이도 크지 않기 때문에 전체적으로 두 집단의 성장식의 차이는 없는 것으로 보인다.

또한 두 개체군의 각장과 각고간의 상대성장식을 직선식으로 나타내고 기울기와 절편의 차이를 분석하였는데, 기울기의 차이가 있었다 ($p > 0.05$). 따라서 절편의 차이는 무의미하므로 생략하였다. 하지만 기울기의 차이를 보이는 것은 패총 개체군의 개체수가 206개이고, 현생 개체군의 개체수가 통계학적으로 무한대인 2,161개체의 직선회귀식을 추정하였고 결정계수 값도 0.991이므로 두 개체군의 상대성장식의 오차가 거의 없기 때문에 발생하는 것으로 추정된다.

이러한 결과를 종합하면 두 개체군 간의 성장식에 큰 차이가 없는 것으로 보인다. 이는 두 개체군의 서식 환경이 서로 비슷하였음을 말해주는 것이다. 그러나 국립해양조사원 (www.khoa.go.kr)에서 관측된 최근 10년 내 해양환경 자료에 따르면 대죽리 패총이 위치한 대산지역과 현생 개체군이 채집된 김제지역 인근의 군산지역의 연중 해수온 분포에는 차이가 있다. 특히 패류가 빠르게 성장하는 5-8월의 경우 군산지역이 대산지역보다 평균 2-4°C 정도 높다. 패류 성장기 동안 이와 같은 해수온의 차이가 있음에도 불구하고 두 개체군의 성장 패턴에 큰 차이가 없다는 것은 대죽리 패총이 형성될 당시의 환경이 현재와 달랐음을 보여주는 것으로 추정된다. 즉 대죽리 패총이 형성될 당시 대산지역 해양환경이 현재의 군산지역에 가까웠을 가능성 즉 현재보다 해수온이 높았을 가능성을 반영하는 것으로 보인다.

이러한 추정은 패각에 대한 산소동위원소 분석에서도 엇볼 수 있다. 본 대죽리 패총에서 출토된 말백합에 대한 산소동위원소 분석 값은 -0.4~3.4‰을 보이며 (Kim *et al.*, 2011), 堀部 등 (1972)에 따라 수온으로 환산하면 약 15.6-29.6°C에 해당한다. 또한 본 대죽리 패총과 형성시기가 비슷한 인근의 또 다른 대죽리 패총 유적에서 출토된 말백합 시료에 관한 산소동위원소 값도 0.3~3.53‰에 분포하고, 환산 수온은 12.5-30.4°C이다 (An and Lee, 2001). 이러한 수온 분포는 고수온을 기준으로 현재보다 약 5°C 정도 높다. 물론 수온이 높은 하절기의 경우 하천수나 우수 등 담수의 영향으로 산소동위원소 값이 낮아져서 수온이 실제보다 더 높게 산출될 수 있다. 그러나 대산지역은 하절기에 염분 농도가 오히려 높아지는 양상을 보여 (www.khoa.go.kr) 담수의 영향으로 인한 산소동위원소 값의 저하 및 고수온 산출 가능성은 낮아 보인다.

한편 백합류는 해수온이 10°C 이하로 떨어지면 성장이 멈추기 때문에 (Kim *et al.*, 2011), 패각에는 성장정지기 동안의 주변 해수의 산소동위원소 기록이 남지 않으며, 성장이 개시되는 10°C 이상의 기록만 남게 된다. 그런데 두 산소동위원소 분석에서 산출된 최저 수온은 12.5, 15.6°C로 성장이 개시되는 10°C보다 높은 값을 보이므로 산소동위원소 분석 온도가 실제보다 다소 높게 산출될 가능성도 있어 보인다. 그러나 수온이 낮은 시기에는 성장속도저하로 인해 패각 성장 폭이 좁기 때문에 산소동위원소 패각시료 채취 시에 수온이 높은 성장기의 것이 혼입된 결과 실제보다 높게 반영되었을 가능성도 배제할 수 없다.

이 밖에 연중 산소동위원소 값의 분포는 알 수 없으나 서와 김 (2000)의 연구에서도 당시 이 지역의 수온이 현재보다 높았을 가능성을 보여주고 있다. 따라서 대산지역의 신석기시대 패각에 대한 산소동위원소 분석 결과는 그 당시 해수온이 현재보다 다소 높았을 가능성을 말해주는 것으로 판단된다. 그러나 당시 고환경에 대하여는 아직까지 연구 자료가 충분하지 않기

때문에 향후 자료의 축적과 함께 밝혀야 할 것이다.

요 약

본 연구에서는 신석기시대의 서산 대죽리 패층에서 출토된 말백합의 패각에 나타난 윤문을 판독하여 성장식을 추정하고 현재의 말백합 개체군의 성장을 비교하였다. 패층 출토 패각의 수는 총 206개체였다.

각 연령군별로 각장과 윤경 간에 대응성을 보였고, 각 윤문군이 비교적 뚜렷이 구분되어 윤문판독의 타당성이 확인되어 판독된 윤문을 연륜으로 간주하였다. 패층 출토 말백합의 윤문은 2-5개까지 확인되어 2-5세군으로 구성되었음을 알 수 있었다.

패층 개체군의 성장식은

$$SL_t = 102.9025[1 - e^{-0.18657(t+1.0906)}] \text{ 이었으며,}$$

현생 개체군은

$$SL_t = 104.2583[1 - e^{-0.2277(t+0.7499)}] \text{ 이었다.}$$

각장 (SL) 과 각고 (SH) 간의 상대성장식은 패층 개체군 $SH = 0.7791SL + 3.6636$ ($R^2 = 0.946$) 이었으며, 현생 개체군은 $SH = 0.8103SL + 0.5145$ ($R^2 = 0.991$) 이었다.

두 개체군의 성장계수 (k) 는 차이가 없었고 ($p < 0.05$), 극한각장 (SL_{∞}) 은 차이가 있었으나 ($p > 0.05$) 전체적으로 두 개체군의 상대성장식의 차이는 크지 않아 성장의 차이는 없다고 할 수 있다. 이는 두 개체군의 서식 환경이 비슷하다는 것을 의미한다. 따라서 신석기시대의 대죽리 패층이 형성될 당시 인근 연안의 해수온은 현재의 김제 연안지역과 비슷하게 높았을 가능성이 있는 것으로 추정된다.

감사의 말씀

이 논문은 2013년도 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

REFERENCES

An, D.I. and Lee, I.S., (2001) Seasonality of mollusk collecting at Daejuk-ri shell midden using oxygen isotope analysis, *Journal of the Korean Neolithic Society*, **2**: 13-20 (in Korean).

An, D.I. and Ryu, D.K. (2010) Seasonality of shellfish collection and site occupation based on growth increment analysis of the short-necked clam (*Ruditapes philippinarum*) recovered from the Konam-ri shell middens, *Journal of Korean Ancient Historical Society*, **69**: 5-18 (in Korean).

An, D.I. and Ryu, D.K. (2013) Seasonality of shellfish collection determined by growth-line analysis of the hard clam, *Meretrix petechialis* (Lamarck) recovered from the Daejuk-ri Shell Middens, Seosan, Korea,

The Korean Journal of Malacology, **29**(1): 77-82 (in Korean).

Bertalanffy, L. von (1938) A quantitative theory of organic growth (Inquirie's on growth laws. II), *Human Biol.*, **10**: 181-213.

Classen, C. (1998) Shells, Cambridge Manuals in Archaeology.

Hanseou University Museum (2001) The Excavation Report of Daejukri Site (in Korean).

Kim, B.H., Cho, K.C., Byun, S.G., Kim, M.C. and Jee, Y.J. (2012) Growth and Survival on Different Kinds of Sediment Improvements of Early Spats of the Hard Clam, *Meretrix petechialis* (LAMARCK), *The Korean Journal of Malacology*, **28**(2): 125-129 (in Korean).

Kim, J.S., Woo, K.S., Hong, W., An, D.I. and Kim, S.T. (2011) Paleoclimatic reconstruction using bivalves (Veneridae) from the Daejukri (Seosan) and Heohyonri (Gimhae) shell mounds, *Journal of the Geological Society of Korea*, **17**(5): 485-497 (in Korean).

Koike, H. (1980) Seasonal Dating by Growth-line Counting of the Clam, *Meretrix lusoria*, The University Museum, The university of Tokyo, Bulletin No.18.

Koike, H. (1982) Growth speed analyses of *Meretrix* shells, collected in the Hokuriku Area along the Japan Sea, *The Quaternary Research*, **21** (3): 273-282 (in Japanese).

Kwon, O.K, Park, G.M., and LEE, J.S. (1993) Coloured Shells of Korea, Academy Publishing Company (in Korean).

Ryu, D.K., Chung, E.Y. and Kim, Y.M. (2006) Age and Growth of the Hard Clam, *Meretrix lusoria* (Bivalvia: Veneridae) on the West coast of Korea, *The Sea: Journal of the Korean Society of Oceanography*, **11**(4): 116-21 (in Korean).

Tori, H., Sato, H., Hamaguchi, M. Henmi, Y. and Yamashita, H. (2010) The comparison of shell morphology and genetic relationship between *Meretrix lusoria* and *M. petechialis* in Japan and Korea, *Plankton and Benthos Research* **5** (Suppl.): 231-241.

Walford, L.A. (1946) A new graphic method of describing the growth of animals. *Biol. Bull.*, **90**: 141-147.

Wilbur, K. (1976) Shell formation and regeneration, *In*; Physiology of Mollusca, Vol. 1, (ed. by Wilbur, K. and Yonge, C.), pp. 243-282, Academic Press.

Zar, Jerrold H. (1984) Biostatistical Analysis. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey.

백제문화재연구원 (2010) 『瑞山 大竹里 貝塚』.

서광수, 조경수 (2000) 「대산지역에 위치한 패층의 연대 측정과 서해안의 古水溫 研究」, 『瑞山 大竹里 貝塚』, 忠清埋藏文化財研究院, pp. 165-190.

신숙정 (2013) 「고고학에서의 고환경연구 방법론」, 『고고학연구 입문』, 한국문화재조사연구기관협회, pp.205-230.

안덕임 (2010) 「서산 대죽리 패층의 패각층 분석」, 『瑞山 大竹里 貝塚』, 백제문화재연구원, pp. 41-52.

堀部純男・大場忠道 (1972) 「アラレ石-水および方解石-水系温度スケール」 『化石』 23・24: 69-79.

富岡 直人 (2003) 「第7節 貝殻成長線分析」 『環境考古学マニュアル』, 同成社.