

산소동위원소 분석을 이용한 당진 가곡리 패총 굴 (*Crassostrea gigas*) 의 채집 계절 연구

안덕임, 이인성¹

한서대학교 문화재보존학과, ¹서울대학교 지구환경과학부

Seasonality of shellfish gathering using oxygen isotope analysis of *Crassostrea gigas* from the Gagok-ri shell midden site, Dangjin

Deogim An and Insung Lee¹

Department of Conservation of Cultural Heritage, Hanseo University, Seosan 356-706, Korea
¹School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, 151-742, Korea

ABSTRACT

Oxygen isotope analysis was carried out on a oyster (*Crassostrea gigas*) from the neolithic age Gagok-ri shell midden site, Dangjin, Korea to determine the seasonality of shellfish gathering and site occupation. Isotope samples were taken from the hinge section of the left valve of the oyster. The isotope values of the shell range from -2.02‰ to -6.05‰ vs PDB. The isotope profile shows a seasonal temperature cycle, providing information related to seasonality of shellfish gathering. The isotope values towards the edge of the hinge are gradually increasing, suggesting progressively cooling and a fall period of shell gathering and site occupation. The result shows that the oxygen isotope analysis using oyster shell hinges can be used for archaeological seasonality studies.

Key words: oyster (*Crassostrea gigas*), oxygen isotope analysis, seasonality, Neolithic, Gagok-ri shell midden

서 론

선사시대 수렵·채집민이 남긴 패총 유적은 당시의 식생활 정보, 자연환경 뿐 아니라 유적이 점유된 계절을 말해주는 중요한 정보를 담고 있다. 패총 유적을 구성하는 다양한 인공유물과 자연유물은 이러한 정보의 보고로서 고고학적으로 활발한 연구의 대상이 되고 있다. 특히 자연유물을 이용한 계절성 연구는 다양한 방법을 통하여 이루어지며 (안덕임·류동기 2010) 비교적 정확한 결과를 제공해 준다.

자연유물 가운데 패각을 이용한 계절성 연구는 패총 유적으로부터 풍부한 시료를 확보할 수 있는 장점이 있다. 패각을 이용한 계절성 연구는 패류에 대한 생태학적인 정보나 패류채집과 관련된 민족지적인 자료, 자연과학적인 패각의 성장선 분석 (growth-line analysis) 이나 산소동위원소 분석 (oxygen isotope analysis) 등을 중심으로 진행되고 있다. 그러나 우리나라에서는 많은 패총 유적이 조사되었으나, 패각의 성장선 분석과 산소동위원소 분석을 이용한 계절성 및 고환경 연구는 제한적으로 이루어졌을 뿐 미미한 편이다. 향후 고고학적인 문제의 해결을 위해 풍부한 시료를 확보할 수 있고 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있는 패각에 대한 성장선 분석과 동위원소 분석을 활발하게 진행하여야 할 필요가 있다.

굴 (*Crassostrea gigas*) 은 우리나라 패총을 구성하는 주요 패류이며 현재까지도 가장 많이 소비되고 있는 중요한 패류이다. 특히 넓은 간석지가 발달되어 굴의 서식과 채집에 좋은 조건을 갖추고 있는 서해안지역의 경우 패총을 구성하는 식용패류의 대부분을 차지하는 패류가 굴이다. 따라서 굴의 채집 계절을 밝히는 것은 패류 채집 및 유적 점유 계절성, 패총 유적의

Received: March 5, 2014; Revised: March 26, 2014;
Accepted: March 27, 2014

Corresponding author : Lee, Insung

Tel: +82 (2) 880-6730 e-mail: insung@snu.ac.kr
1225-3480/24508

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.



Fig. 1. Location map of the Gagok-ri shell midden site.

성격을 규명하는데 절대적으로 필요하다. 그러나 굴의 패각은 성장선이 불규칙하여 성장선 분석이 어려운 문제점을 갖고 있다. 또한 굴은 산소동위원소 분석법을 이용한 계절성 연구에 적합한 패류임에도 불구하고 (안덕임 · 이인성 1996; Andrus *et al.* 2000) 패각이 약하여 잘 부서지기 때문에 분석에 적합한 고고학적 시료를 확보하는데 어려움이 있다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고 굴 패각 시료에 효과적으로 적용할 수 있는 새로운 분석법을 모색할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 당진 가곡리의 신석기시대 패총 (Fig. 1) 에서 출토된 굴의 경첩 (hinge) 부위를 이용한 산소동위원소 분석을 시도하여 당시의 패류 채집 및 유적 점유 계절성을 밝히는 한편 향후 패총 연구에의 광범위한 적용 가능성을 검토해 보고자 한다.

시료 및 방법

1. 시료

본 연구를 위한 굴 패각 시료는 충남 당진군 송산면 가곡리의 당진 송산 일만산단지 조성사업부지 내에 위치하는 가곡리 패총에서 출토된 것이다 (백제문화재연구원 2013).

가곡리 패총 유적은 신석기시대 패총 2기 (A와 B패총) 로 구성되어있는데 분석용 시료는 A패총에서 출토되었다. 해발 15m 내외의 완만한 경사면에 형성된 A 패총은 이미 민가 조성 등으로 상당부분 훼손된 상태이다. 현존하는 패각층 규모는 대략 45.7 m x 17.8 m, 최대 깊이 0.7 m이다. B패총은 A패총 남쪽으로 약 130 m 떨어진 해발 12 m 내외의 구릉에 형성되어 있다. B패총 역시 민가 조성 등으로 훼손된 상태이며 잔존 규모는 12 m x 3 m, 최대깊이 0.5 m 정도이다.

가곡리 패총의 패각층 조성은 매우 단순하다. 패각층을 구성하는 식용패류는 굴 위주이며 홍합 (*Mytilus coruscus*) 과 가무락조개 (*Cyclina sinensis*) 편이 극히 소량 포함되어 있을 뿐이다. 굴 우각의 크기 분포를 보면 각고 4 cm 전후의 것이 가장 빈도가 높다. 패각의 크기가 그다지 크지 않아 당시 굴이

집중적으로 채집되었음을 짐작할 수 있다. 가곡리 패총 인근의 서산 대추리 일원에 분포하는 신석기시대 패총에서도 유사한 양상을 보이고 있다.

2. 방법

패각을 이용한 산소동위원소 분석은 패각이 성장함에 따라 패각에 침전된 탄산칼슘 (CaCO_3) 속의 산소동위원소 ^{16}O 과 ^{18}O 의 비 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) 를 이용하여 패각이 성장할 당시의 고수온을 추정하는 방법이다. 패각에 농축되어 있는 산소동위원소는 패각이 성장할 당시의 주변의 수온에 의해 결정되므로 연중 패각이 성장하는 패류는 연중 해수온의 변화를 기록하게 된다. 따라서 패각의 산소동위원소 값의 변화를 바탕으로 조개가 성장할 당시의 수온 변화 뿐 아니라 패류가 채집된 계절을 밝힐 수 있다. 또한 산소동위원소 분석법은 다양한 종, 특히 성장선이 불규칙하여 성장선 분석에 부적합한 종에도 적용할 수 있어서 (Killingley 1981: 152) 활용도가 높은 장점이 있다.

패각을 구성하는 탄산칼슘 중의 산소동위원소 값과 패류가 서식하던 해수 온도 사이의 상관 관계가 알려진 이래 (Urey 1947) 산소동위원소 분석은 지질학적으로 고환경 복원에 널리 이용되어 왔다 (Rye and Sommer 1980; 우경식 1994, Bougeois *et al.* 2014). 또한 고고학적으로는 과거환경 복원, 패류 채집 및 패총 유적 점유 계절성 연구 등에 이용되고 있다 (Shackleton 1973; Killingley 1981; Bailey *et al.* 1983; 小池 1984; Deith 1985, 1986, 1988; Claassen 1988; Godfrey 1988; 안덕임 · 이인성 1996; 안덕임 1997; 안덕임 · 이인성 2001; Culleton *et al.* 2009; Hallmann *et al.* 2013). 그러나 국내에서는 고고학적 연구에 산소동위원소 분석을 적용한 사례가 많지 않은 실정이다.

본 연구에서는 당진 가곡리의 신석기시대 패총에서 출토된 굴의 경첩 부위를 이용하여 산소동위원소 분석을 시도하였다. 굴은 패각이 잘 부서지기 때문에 산소동위원소 분석에 적합한 고고학적 원형 시료를 확보하는데 어려움이 있으나 굴의 경첩은 산소동위원소 분석에도 적합할 뿐 아니라 단단한 조직을 갖고 있어 패각 본체가 부서져도 양호한 상태로 잘 보존되는 편이다. 또한 굴의 경첩은 패각 본체에 비하여 크기가 작기 때문에 산소동위원소 분석 비용을 절감할 수 있는 장점도 갖는다. 반면 크기가 작기 때문에 동위원소 분석에 필요한 충분한 시료를 채취하는 것이 어려우나 이러한 문제는 미세체취기 (micromill) 를 이용한 고해상 (high-resolution) 의 동위원소 분석 방법을 이용하면 극복될 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 굴의 경첩 부위를 이용한 산소동위원소 분석을 적극적으로 시도할 필요가 있다.

가곡리 패총에서 출토된 굴 시료에 대한 산소 및 탄소동위원소 분석은 다음과 같은 방법으로 진행하였다. 먼저 분석을 위

하여 선별된 시료는 물 세척 후, 초음파세척기에서 약 10분간 세척 과정을 거친 다음 자연 상태에서 건조되었다. 건조된 패각 시료는 최대 성장축을 따라 반으로 자른 후 위의 세척작업을 다시 한 번 진행하였다. 직경 0.5 mm의 치과용 드릴을 이용하여 절단된 시료의 경첩 부위 단면상에서 동위원소 분석을 위한 분말시료를 하단부로부터 각정 쪽으로 가면서 약 1 mm 간격으로 채집하였다 (Fig. 2). 채집된 분말시료는 불순물을 제거하기 위하여 오븐에서 1시간 동안 건조되었다. 건조된 분말시료는 한국기초과학지원연구원 오창센터의 환경과학연구부에서 질량분석기 “Delta V+” (Thermo 사) 를 이용하여 산소 및 탄소동위원소 측정이 이루어졌다. 질량분석기와 연결되어 있는 “Gas Bench II”에서 분말시료를 인산 (H₂PO₄) 과 반응시켜 발생하는 CO₂ 기체를 추출하고 질량분석기를 통해 이 CO₂ 중의 산소 및 탄소동위원소를 측정하였다. 산소 및 탄소동위원소 측정에는 국제표준시료인 NBS-18과 NBS-19가 사용되었다. 국제표준시료의 산소동위원소와 탄소동위원소 분석정밀도는 NBS-18의 경우 각각 ± 0.11‰, ± 0.08‰이고, NBS-19의 경우 ± 0.09‰, ± 0.05‰이다. 분석된 시료의 탄소 및 산소 동위원소 값은 각각 다음과 같은 δ 표기법을 이용하여 표현되었다.

$$\delta^{13}\text{C} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{시료}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{표준시료}}} - 1 \right] \times 1000$$

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \left[\frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{시료}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{표준시료}}} - 1 \right] \times 1000$$

결과 및 고찰

가곡리 패총 굴 패각 시료의 경첩 단면상에서 앞의 방법에 따라 12개의 분말시료가 채취되었으며 (채취 순서대로 1-12의 시료 번호가 부여되었다), 이들 시료에 대해 산소와 탄소동위원소 분석이 진행되었다 (Fig. 2). 그러나 각정부 쪽의 10-12번 분말시료는 시료의 양이 충분치 않아 분석이 불가능하였다.

분석 결과 패각 시료의 산소동위원소 값 (δ¹⁸O) 은 - 2.02 - - 6.05‰ 범위에서 주기성을 갖고 변화하는 양상을 보였다 (Table 1, Fig. 3). 탄소동위원소 값 (δ¹³C) 은 - 1.77- - 6.5 4‰에 분포하며 산소동위원소 값의 증감과 유사한 변화 패턴을 나타내었다 (Table 1, Fig. 3). 패각의 산소동위원소 값은 수온이 낮을 때 높은 값을 보이고 수온이 높을 때 낮은 값을 보이는데, 패각 시료의 산소동위원소 값의 증감은 주기성을 보여 계절적인 수온의 변화 주기를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 즉 각정부로부터 저수온기 (동절기) 를 지나 고수온기 (하절기) 와 저수온기를 거친 다음 마지막 고수온기를 지나 수

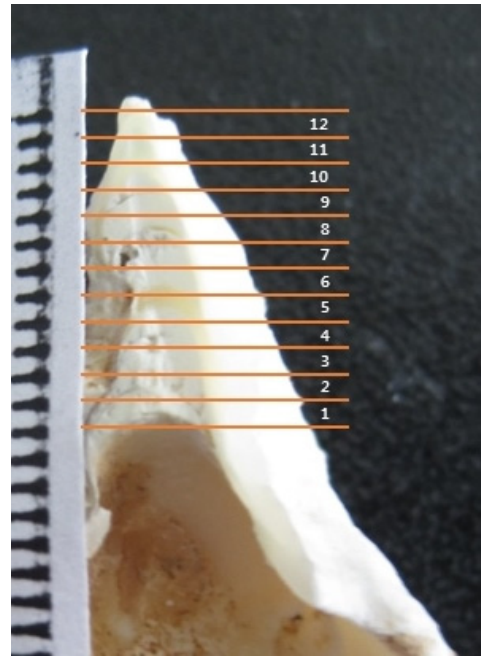


Fig 2. Hinge section showing sampling of the oyster from the Gagok-ri site.

온이 하강하는 양상을 보이고 있다.

이 굴 시료가 성장하던 당시의 고수온 (palaeotemperature) 은 다음과 같은 Craig (1965) 의 온도방정식에 따라 계산할 수 있다.

$$T = 16.9 - 4.2 (\delta_c - \delta_w) + 0.13 (\delta_c - \delta_w)^2$$

(δ_c: 시료의 탄산염 성분의 산소동위원소 성분, δ_w: 주변 해수의 산소동위원소 성분)

위의 공식에 따라 가곡리 패총 굴 시료의 산소동위원소 값에

Table 1. Oxygen and carbon isotope values of the oyster from the Gagok-ri site

Sample	δ ¹³ C (‰)	δ ¹⁸ O (‰)
1	- 5.09	- 4.78
2	- 6.26	- 6.05
3	- 6.54	- 5.83
4	- 4.83	- 4.72
5	- 1.77	- 2.02
6	- 4.40	- 4.88
7	- 4.57	- 5.12
8	- 5.02	- 5.03
9	- 2.53	- 3.19

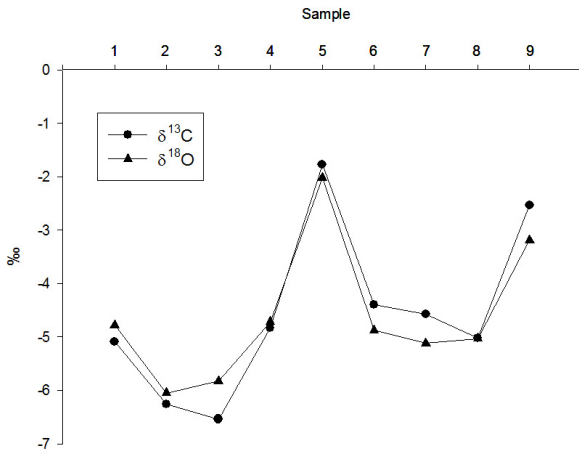


Fig. 3. Oxygen and carbon isotope profile of the oyster from the Gagok-ri site.

서 환산된 최고 수온은 47°C 정도이다. 이러한 수온은 패총 인근에 위치하는 평택항 연안의 최근 연평균 수온 분포 (Fig. 4)와 비교할 때 약 20°C 정도 높다. 따라서 이 패각 시료의 산소동위원소 값에서 환산된 수온은 이 패각이 서식할 당시의 수온을 잘 반영한다고 보기 어렵다.

현생 굴 시료에 대한 산소동위원소 분석 결과는 비교적 수온의 변화 양상을 잘 반영하고 있어 산소동위원소 분석이 굴에 적용 가능한 것으로 나타났다 (안덕임 · 이인성 1996). 그러나 유적에서 출토된 굴 시료의 산소동위원소 값에서 환산된 수온은 유적 주변 수역의 현재 수온보다 지나치게 높은 결과를 보이는 것으로 드러났다 (안덕임 1997; 이준정 2002). 이와 같은

차이는 해수에 비해 산소동위원소 값이 낮은 하천수의 유입에 따른 영향이거나 패총에 퇴적된 이후 빗물 등 산소동위원소 값이 낮은 담수에 의한 재결정화로 인해 야기되었을 것으로 추정된다.

가곡리 굴 시료에서 환산된 온도도 이들 사례와 마찬가지로 염도 변화나 재결정의 영향을 받았을 것으로 추정된다. 가곡리 패총은 안성천, 곡교천, 삽교천의 하천수가 유입되는 아산만의 내만 환경에 위치하고 있다. 이로 인해 하천수의 유입에 따라 아산만 해수의 산소동위원소 값은 상대적으로 더 낮아지고 이러한 환경에서 서식한 패각의 산소동위원소 값이 낮아져 그 결과 환산 수온이 높게 산출되었을 가능성이 있다. 이러한 담수의 유입에 따른 염도 변화는 담수의 유입량이 많은 하절기 때 두드러질 것이다. 중국 발해만의 현생 굴 시료에 대한 산소동위원소 분석 사례에서도 실제 이 지역 평균 최고 수온 (mean maximum) 의 산소동위원소 값보다 약 2.3‰ 낮은 값을 보이는데, 이러한 오차는 염도 변화에 따라 발생한 것으로 판단하고 있다 (Wang *et al.* 1995). Wang *et al.* (1995) 은 염도가 1‰ 저하될 때마다 산소동위원소 값이 0.195 - 0.390‰ 낮아진다고 하였다. 국내에서는 아직 이러한 측면에서의 연구가 없으나 이와 같이 염도와 산소동위원소 값 사이의 상관관계가 밝혀진다면 과거의 수온이나 염도의 복원 연구가 가능할 것이다. 이러한 문제의 해결을 위해 지속적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

그런데 가곡리 패총 굴 시료의 경우는 단순히 염도 변화의 영향만 생각하기 어려운 점이 있다. 하천수 및 빗물의 유입이 많은 하절기 뿐 아니라 이러한 담수의 유입이 적은 저온기 (동절기) 에 해당하는 산소동위원소 값도 - 2.02‰로 25°C 이상의

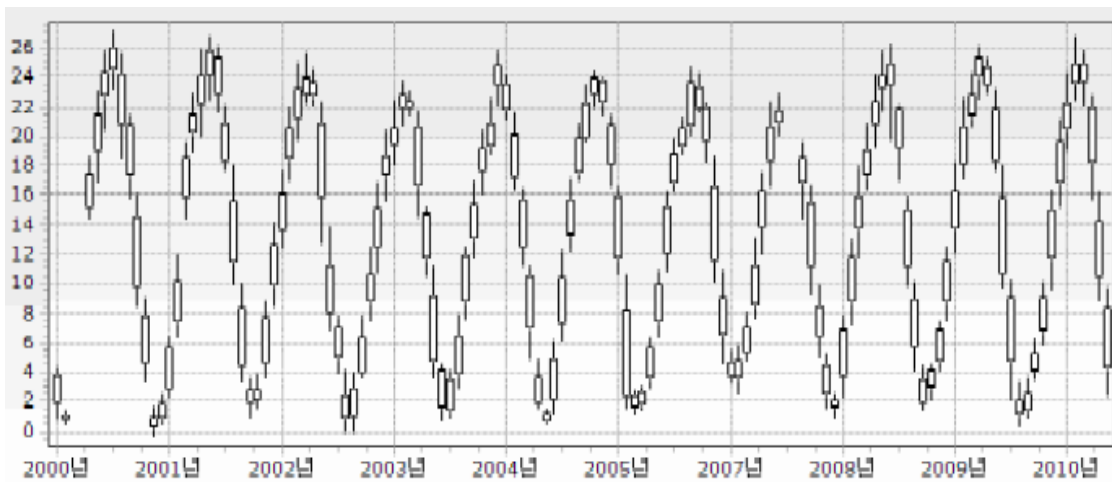


Fig. 4. Seasonal variation of sea-surface temperature in Pyeongtaek Harbor near the Gagok-ri site (KHOA).

높은 온도를 보여주기 때문이다. 산소동위원소 값이 전반적으로 이와 같이 낮은 것은 패층에 퇴적된 이후 오랜 시간이 경과되는 동안 산소동위원소 값이 낮은 빗물 등 담수에 의한 계절적 변화의 영향을 받았을 가능성을 보여주는 것으로 생각된다.

그러나 가곡리 패층 굴 시료의 산소동위원소 값에서 환산된 수온과 패각이 성장할 당시의 추정 수온 사이에 상당한 차이가 있음에도 불구하고 이 패각 시료의 산소동위원소 값은 계절적 수온 변화 주기를 반영하고 있으므로 이를 이용하여 패류가 채집된 계절을 추정하는 데는 무리가 없는 것으로 판단된다. 앞의 Craig (1965) 가 제시한 온도방정식에 따라 최고 수온 (-6.05‰) 과 최저 수온 (-2.02‰) 을 환산하여 보면 약 21℃의 수온변화를 보인다. 현재 유적 인근 평택지역의 최고 수온과 최저 수온은 각각 약 27℃, -1℃ 정도로 최대 약 28℃의 연중 수온변화를 보인다 (Fig. 4). 그러나 굴은 5℃ 이하에서는 성장을 멈추거나 지체되기 때문에 (金容浩 1980; 牟起虎 2012), 최저 수온기의 산소동위원소 값 -2.02‰이 약 5℃에 성장한 것을 의미한다면 최고 수온기인 동위원소 값 -6.05‰은 21℃ 높은 26℃에서 성장하였음을 말해준다고 할 수 있다. 이러한 수온은 현재 유적 주변의 여름철 해수온 (Fig. 4) 에 근접한다. 따라서 굴의 산소동위원소 값을 수온으로 직접 환산하는 것은 좀 더 연구가 필요하겠으나 패각 시료의 산소동위원소 값은 연중 수온변화 양상을 반영하는 것으로 판단된다.

이와 더불어 굴 조직과 산소동위원소 값의 변화 양상도 잘 부합되고 있어 이러한 점을 뒷받침한다. 굴의 경첩 단면상에는 chalky layer와 hard layer 조직이 나타나는데 (Fig. 5), 전자는 수온이 높았을 때 형성되고 후자는 수온이 낮았을 때 형성되는 것으로 알려졌다 (Wang *et al.* 1995). 가곡리 시료의

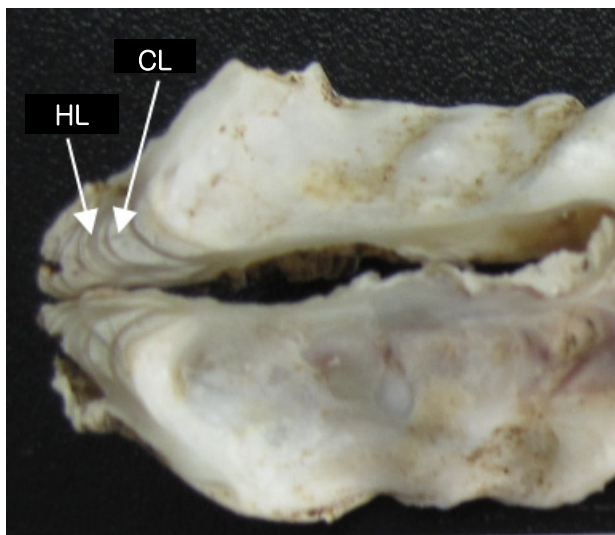


Fig. 5. Hinge section of oyster showing chalky and hard layers. CL: chalky layer, HL: hard layer.

경우 hard layer 상태를 뚜렷하게 보이는 5번 분말시료의 산소동위원소 값이 가장 높은 값 (저수온기) 을 보이고 있어 추운 시기에 형성되었음을 잘 반영하며, 가장 낮은 값 (고수온기) 을 보이는 2, 7번 등 분말시료는 chalky layer 상태이다 (Fig. 2).

한편 -1.77 - -6.54‰에 분포하는 가곡리 패층 출토 굴의 산소동위원소 값도 산소동위원소 값의 증감과 유사한 변화주기를 보이고 있어 산소동위원소비와 더불어 서식환경의 계절적인 영향을 잘 반영하고 있다. 산소동위원소 값은 계절적인 육상유기물의 유입과 관련된 해수 중 Σ DIC (dissolved inorganic carbon) 의 산소동위원소 ^{12}C 와 ^{13}C 의 변화를 나타내어 여름에는 ^{12}C 가 농축된 탄산염광물을 침전시키고 겨울에는 ^{13}C 이 농축된 해성기원의 탄산염광물을 침전시킨다 (안덕임 · 이인성 1998). 해수에서 침전된 산소동위원소 값은 0‰에 가까우며 하천수의 유입이 많아지면 낮은 값을 보이게 된다. 가곡리 패층 굴 시료의 산소동위원소 값은 하천수의 유입이 많은 고수온기에는 낮은 값을 보이고 하천수의 유입이 적은 저수온기에는 높은 값을 보이고 있어 계절적인 변화 양상을 잘 반영하고 있다. 또한 담수의 영향을 받는 환경에서 서식하는 패류는 산소와 산소동위원소의 변화주기가 일치하는데 (김정숙 등 2011), 기수역에 서식하는 패류인 가곡리 굴 시료의 동위원소 분석결과도 이러한 특성과 잘 부합되고 있다.

결과적으로 산소동위원소와 산소동위원소 값의 증감은 주기성을 보이며 계절적 수온 변화 주기를 잘 나타내고 있어, 이 굴 시료가 채집된 계절을 추정하는 데는 무리가 없는 것으로 생각된다. 즉 패각 시료는 각각 두 번의 저수온기 (동절기) 와 고수온기 (하절기) 를 거친 상태로 굴의 주 산란기가 6-8월인 것 (Seo 1997) 을 고려할 때 약 두 살이 조금 지난 연령의 개체로 추정된다. 또한 패각의 채집 시점에 해당하는 경첩 하단부의 동위원소 값이 최고 수온기를 막 지나 수온 하강이 진행되는 상태를 보이고 있어 가을철에 채집된 것으로 판단된다. 따라서 굴의 경첩 부위를 이용한 산소동위원소 분석은 굴 채집 및 패층 유적 점유 계절성 연구, 나아가 고고학적인 패층 연구에 폭넓게 적용 가능한 것으로 생각된다.

요 약

우리나라의 패층에 대한 이해를 위해서는 패층을 주로 구성하는 굴에 대한 연구가 중요하다. 그러나 굴은 패각이 약하고 부서지기 쉬운 특성으로 인해 완형의 패각 시료를 입수하는 것이 어렵기 때문에 산소동위원소 분석 및 고고학적 연구에 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 굴 채집 및 패층 유적 점유 계절성 연구를 위한 시론으로서, 패각 본체가 부서져도 비교적 단단한 조직을 갖고 있어 양호한 상태로 잘 보존되는 굴의 경첩 부위를 이용한 산소동위원소 분석을 시도하였다. 분석을 위한 시료는 당진 가곡리의 신석기시대 패층에서 출토된 굴을 이용하였다.

분석 결과 가곡리 굴 시료의 산소동위원소 값은 - 2.02 - 6.05‰의 범위 안에서 주기성을 보이며 계절적 수온 변화 주기를 나타내었다. 탄소동위원소 값도 산소동위원소 값의 증감과 유사한 변화주기를 보이고 있어 산소동위원소와 더불어 서식환경의 계절적인 영향을 잘 반영하였다. 이러한 동위원소 분석을 바탕으로 가곡리 굴 시료는 최고 수온기를 지나 수온이 하강하는 시점 즉 가을철에 채집된 것으로 판단되며 이를 바탕으로 가곡리 패총은 가을철에 이용된 것으로 추정할 수 있다. 패총의 전반적인 점유계절에 관하여는 좀 더 많은 시료가 분석된다면 보다 상세히 알 수 있을 것이다.

따라서 굴의 경첩 부위를 이용한 산소동위원소 분석법은 고고학적인 계절성 연구에 적용 가능하고, 향후 고고학적인 문제의 해결에 기여할 것으로 기대된다. 또한 경첩은 크기가 작아 분석 비용을 절감할 수 있어 경제적이다. 경첩의 작은 크기로 인한 시료 채취상의 문제는 미세채취기 (micromill) 를 이용한 고해상 (high-resolution) 의 동위원소 분석 방법을 이용하면 극복될 것으로 생각된다.

REFERENCES

국립해양조사원 (KHOA) www.khoa.go.kr
 김부근·이태원 (2008) 「고해상 시료 채취를 통한 보구치 이석의 안정동위원소 분석」, *한국해양학회지: 바다*, **13**(1): 83-88.
 金容浩 (1980) 「南海産 참굴 *Crassostrea gigas* (THUNBERG) 의 利殖成長에 관한 生態學的研究」, *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, **15**(1): 8-16.
 김경숙·우경식·홍완·안덕임·김상태 (2011) 「서산 대죽리패총과 김해 회현리패총에서 발견되는 백합과조개 (Veneridae) 를 이용한 고환경 복원 연구」, *지질학회지*, **47**(5): 485-497.
 牟起虎 (2012) 『충남 서해안 2개 갯벌지역 수평망식 참굴 (*Crassostrea gigas*) 의 성장과 폐사 비교 연구』, 인하대학교 대학원 석사학위논문.
 백제문화재연구원 (2013) 『唐津 佳谷里 貝塚遺蹟-당진 송산 일 반산업단지 (3차, I구역) 조성부지 내-』
 안덕임 (1997) 「산소동위원소법을 이용한 선사시대 조개채집의 계절성 결정에 관한 연구」, *先史와 古代*, **8**: 47-54.
 안덕임 (2010) 「서산 대죽리 패총의 패각층 분석」, 『瑞山 大竹里 貝塚』, pp.41-52, 백제문화재연구원.
 안덕임·류동기 (2010) 「고남리 패총 출토 바지락을 이용한 계절성 연구」, *한국상고사학보*, **69**: 5-18.
 안덕임·이인성 (1996) 「산소동위원소 분석을 이용한 조개채집의 계절성 연구」, *한국패류학회지*, **12**(2): 105-108.
 안덕임·이인성 (1998) 「선사시대 패류채집의 계절성연구에 대한 탄소동위원소법의 적용」, *한국상고사학보*, **29**: 179-185.
 안덕임·이인성 (2001) 「산소동위원소분석을 이용한 대죽리패총 조개채집의 계절성 연구」, *한국신석기연구*, **2**: 5-11.
 우경식 (1994) 「패류화석을 이용한 고환경 복원」, *한국패류학회지*, **10**(2): 10-23.
 小池 裕子 (1984) 「貝塚による古氣候の復元」, 『人類學-その多

様な發展』, pp.36-40, 日經サイエンス社.
 Andrus, C.F. and D.E. Crowe (2000) Geochemical analysis of *Crassostrea virginica* as a method to determine season of capture, *Journal of Archaeological Science*, **27**: 33-42.
 Bailey, G.N., M. Deith and N. Shackleton (1983) Oxygen isotope analysis and seasonality determinations: limits and potential of a new technique, *American Antiquity*, **48**(2): 390-398.
 Bougeois, L., M. de Raféllis, G. Reichart, L. J. de Nooijer, F. Nicollin and G. Dupont-Nivet (2014) A high resolution study of trace elements and stable isotopes in oyster shells to estimate Central Asian Middle Eocene seasonality, *Chemical Geology*, **363**: 200-12.
 Claassen, C. (1988) Techniques and controls for the determination of seasonality in shellfishing activities, *In: Recent Developments in Environmental Analysis in Old and New World Archaeology*, ed. by R. E. Webb, pp.51-66, BAR International Series 416, Oxford.
 Craig, H. (1965) The measurement of oxygen isotope paleotemperatures, *In: Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*, ed. by E. Tongiorgi, Consiglio nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, Pisa, pp. 161-182.
 Culleton, B.J., D.J. Kennett and T.L. Jones (2009) Oxygen isotope seasonality in a temperate estuarine shell midden: a case study from CA-ALA-17 on the San Francisco Bay, California, *Journal of Archaeological Science*, **36**: 1354-63.
 Custer, J.F. and K.R. Doms (1990) Analysis of microgrowth patterns of the Americal oyster (*Crassostrea virginica*) in the middle Atlantic region of Eastern North America: archaeological applications, *Journal of Archaeological Science*, **17**: 151-160.
 Deith, M. (1985) Seasonality from shells: an evaluation of two techniques for seasonal dating of marine molluscs, *In: Palaeobiological Investigations: Research Design, Methods and Data Analysis*, eds. by N.R.J. Filler, D.D. Gilberstsoon and N.G.A. Ralph, pp.119-130, BAR International Series 266, Oxford.
 Deith, M. (1986) Subsistence strategies at a mesolithic camp site: evidence from stable isotope analyses of shells, *Journal of Archaeological Science*, **13**: 61-78.
 Deith, M. (1988) Shell seasonality: an appraisal of the oxygen isotope technique, in *Recent Developments in Environmental Analysis In: Old and New World Archaeology*, ed. by R. E. Webb, pp.37-49, BAR International Series 416, Oxford.
 Epstein, S., R. Buchsbaum, H.A. Lowenstam and H.C. Urey (1953) Revised carbonate-water isotopic temperature scale, *Geological Society of America Bulletin*, **64**: 1315-1326.
 Godfrey, M. (1988) Oxygen isotope analysis: a mean for determining the seasonal gathering of the pipi (*Donax deltoides*) by Aborigines in prehistoric Australia. *Archaeology in Oceania*, **23**: 17-21.

- Hallmann, H., M. Burchell, N. Brewster, A. Martindale and B.R. Schön (2013) Holocene climate and seasonality of shell collection at the Dundas Islands Group, northern British Columbia, Canada—A bivalve sclerochronological approach, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **373**(1): 163-72.
- Kent, B. (1988) Making Dead Oysters Talk - Techniques for Analyzing Oysters from Archaeological Sites, Maryland Historical Trust.
- Killingley, J. (1981) Seasonality of mollusk collecting determined from O-18 profiles of midden shells. *American Antiquity*, **46**(1): 152-158.
- Rye, D.M and M.A. Sommer (1980) Reconstructing Paleotemperature and Paleosalinity Regimes with Oxygen Isotopes, *In: Skeletal Growth of Aquatic Organisms*, eds. by D.C. Rhoades and R.A. Lutz, pp.169-202.
- Seo, Young-Ho (1997) Sexual Maturation and Dissertation, Hermaphroditism of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, on the West Coast of Korea, M.Sc. Dissertation, Kunsan National University.
- Shackleton, N. (1973) Oxygen isotope analysis as a means of determining season of occupation of prehistoric midden sites. *Archaeometry*, **15**: 133-141.
- Surge, D., K.C. Lohmann and D.L. Dettman (2001) Controls on isotopic chemistry of the American oyster, *Crassostrea virginica*: implications for growth patterns, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **172**: 283-296.
- Urey, H.C. (1947) The Thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, **1947**: 562-581.
- Wang H., E. Keppens, P. Nielsen and A. van Riet (1995) Oxygen and carbon isotope study of the Holocene oyster reefs and paleoenvironmental reconstruction on the northwest coast of Bohai Bay, China, *Marine Geology*, **24**: 289-302.

