

# 산소동위원소 분석을 이용한 신석기시대 연대도 패총의 굴 (*Crassostrea gigas*) 채집 계절성 연구

안덕임, 이인성<sup>1</sup>

한서대학교 문화재보존학과, <sup>1</sup>서울대학교 지구환경과학부

## Seasonality of shellfish gathering using oxygen isotope analysis of *Crassostrea gigas* from the Neolithic Yeondae-do shell midden site, Tongyeong, Korea

Deogim An and Insung Lee<sup>1</sup>

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

### ABSTRACT

Oxygen isotope ratios ( $\delta^{18}\text{O}$ ) of three Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) specimens from the Neolithic Yeondae-do shell midden site, Tongyeong, Korea, were analyzed to determine the seasonality of shellfish gathering and site occupation. Oxygen isotope samples were taken from the left valve hinge sections of the specimens. Oxygen isotope values ranged between - 0.1 ‰ and - 2.4 ‰, between - 0.2 ‰ and - 2.9 ‰, and between 0.3 ‰ and - 2.8 ‰ in oyster specimen #one, #two and #three, respectively. The isotope profiles showed seasonal temperature cycles, providing information related to the seasonality of shellfish gathering and site occupation. Hinge-edge oxygen isotope values of the specimens showed decreasing trends after passing through maximum values (winter), indicating that they formed during spring. Thus it can be assumed that during spring season, oysters were gathered and the site was occupied.

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

### 서 론

신석기시대에 형성된 연대도 패총의 주 구성 패류인 굴 (*Crassostrea gigas*)의 채집 계절을 밝히는 것은 패총 유적의 성격 뿐 아니라 당시의 식생활, 생계전략, 주거 패턴을 이해하는데 중요하다. 우리나라는 계절적인 환경변화가 크기 때문에 지역적으로 유용한 식량자원은 계절에 따라 달라진다. 이러

한 자연환경은 신석기시대의 수렵·채집민의 생계전략과 주거 생활 등에 결정적인 영향을 미치게 된다. 연대도의 신석기시대 사람들이 활발하게 이용하였던 굴이 채집된 계절을 밝힘으로써 당시의 패류 채집 양상과 유적이 점유된 계절 등을 알 수 있게 된다.

일반적으로 패류 채집의 계절성 연구는 패각을 이용한 성장선 분석, 산소동위원소 분석 등을 바탕으로 이루어지고 있다. 굴은 대부분의 패류와 달리 패각의 일부인 좌각의 경첩부위가 이러한 분석에 이용되고 있다. 굴의 패각은 불규칙하게 성장하고 형태 변이가 커서 성장선 분석이 어려울 뿐 아니라 쉽게 파손되어 분석에 적합한 원형의 고고학적 시료를 확보하기 어렵기 때문이다. 이에 반하여 비교적 단단하여 잘 보존되는 굴 좌각의 경첩은 연중 성장기록(성장선)을 규칙적으로 기록하므로 계절성 연구에 이용할 수 있다 (Kent, 1988; Kirby *et al.*, 1988; Custer and Doms, 1990). 그렇지만 굴은 서식 환경에 따라 성장 패턴이 다르고 개체 차이도 크기 때문에 이러한

Received: March 9, 2015; Revised: March 23, 2015;  
Accepted: March 30, 2015

Corresponding author : Lee, Insung

Tel: +82 (2) 880-6730 e-mail: insung@snu.ac.kr  
1225-3480/24565

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.

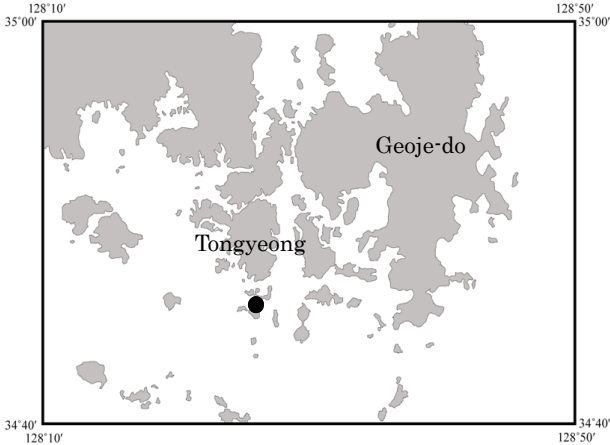


Fig. 1. Location map of the Yeondae-do shell midden site.

성장선 분석 방법 및 결과를 광범위하게 적용하기 어렵다 (Russo, 1991; Andrus and Crowe, 2000). 고고학적 시료의 분석에 앞서 지역별로 다수의 개체를 대상으로 한 선행연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

한편 굴은 주변 해수와 동위원소 평형 (isotopic equilibrium) 에 근접하게 패각의 탄산칼슘을 침전시키므로 (Wang *et al.*, 1995; Kirby *et al.*, 1998; Surge *et al.*, 2001; Lartaud *et al.*, 2010) 산소동위원소 분석과 계절성 연구가 가능하다. 실제 굴 좌각의 경첩 부위를 이용한 산소동위원소 분석 결과는 계절적인 수온 변화를 잘 반영하고 있어 (Wang *et al.*, 1995; Kirby *et al.*, 1998; Andrus and Crowe, 2000; Surge *et al.*, 2001; Fan *et al.*, 2011; An and Lee, 2014) 이를 뒷받침 한다. 특히 굴의 산소동위원소 분석을 이용한 계절성 연구는 성장선 분석법의 문제점을 보완할 수 있고 보다 신뢰성이 높은 것으로 평가된다. 굴을 이용한 성장선 분석과 산소동위원소 분석 결과에서 드러난 상당한 불일치 (Wang *et al.*, 1995; Andrus and Crowe, 2000; Surge *et al.*, 2001; Fan *et al.*, 2011) 는 저수온기의 특징적인 성장선이 저수온기뿐 아니라 고온, 폭풍, 폭우, 산란 등 이차적인 스트레스에 의해서도 형성될 수 있기 때문에 야기된 것으로 밝혀졌다 (Andrus and Crowe, 2000; Fan *et al.*, 2011). 산소동위원소 분석은 이러한 계절적인 성장선과 이차적인 스트레스에 의해 형성된 성장선을 구분하여 성장선 분석의 한계를 해결해 줄 수 있다 (Andrus and Crowe, 2000; Fan *et al.*, 2011).

국내에서는 굴의 성장선 분석을 이용한 계절성 연구는 아직 이루어진 바 없고, 산소동위원소 분석 사례 (An, 1997; An and Lee, 2014) 도 많지 않은 실정이다. 굴을 이용한 산소동위원소 분석이 고고학적인 계절성 연구에 유용한 것으로 밝혀진 만큼 보다 많은 분석 연구를 통해 고고학적인 문제 해결에

기여하여야 할 것이다. 본 연구에서는 신석기시대 생업경제 체계 연구의 일환으로 통영 연대도 패총에서 출토된 굴을 이용한 산소동위원소 분석을 실시하여 당시의 패류 채집 및 유적 점유 계절성을 밝히고자 한다.

## 연구 지역

본 연구를 위한 굴 패각 시료는 경상남도 통영시 산양읍 언곡리 연대도 패총에서 출토된 것이다. 연대도는 통영항 남쪽 18 km 지점의 동경 128°24', 북위 34°42'에 위치한다 (Fig. 1). 섬의 총면적은 0.79 km<sup>2</sup>이며, 섬의 해안은 모래와 자갈로 이루어진 북서쪽을 제외하면 급경사를 이루는 암초해안이다.

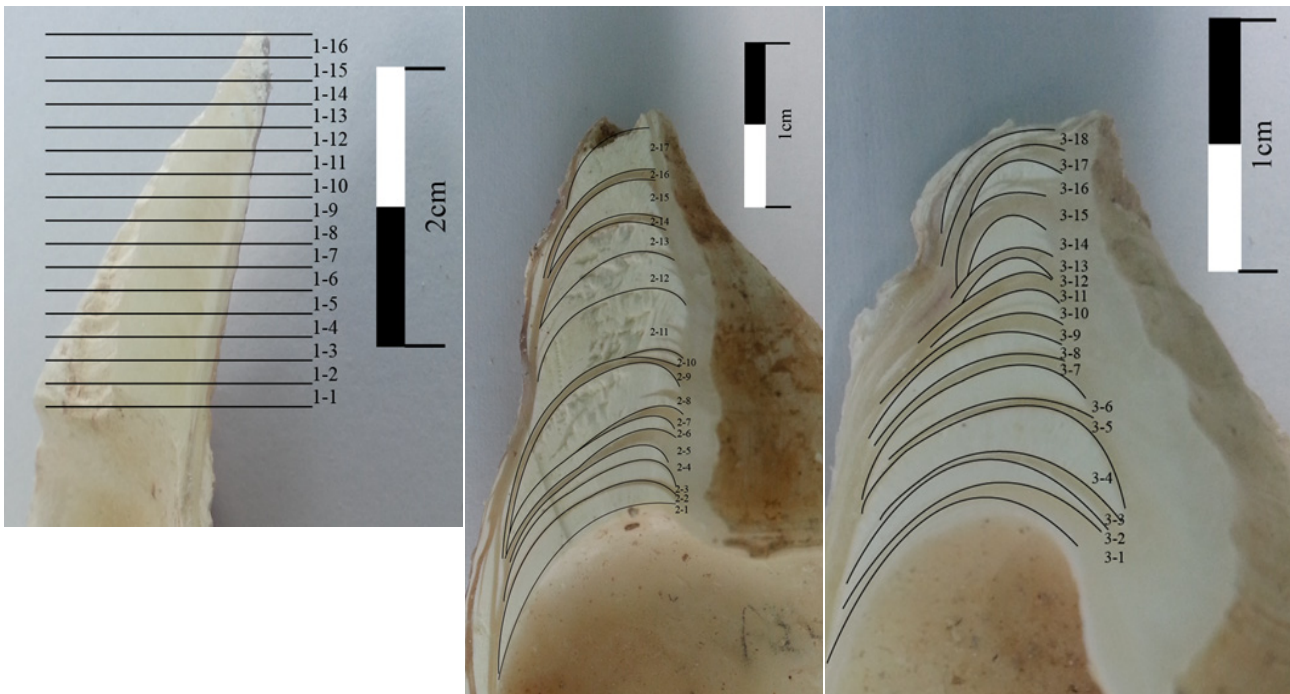
섬의 기후는 연중 쿠로시오 난류의 영향을 받기 때문에 매우 온난한 해양성 기후를 보인다. 섬이 속한 통영시의 2012년 기후를 보면 1월 평균기온 2.4°C, 8월 평균기온 26.5°C, 연평균기온 13.7°C, 연강수량 1,611 mm로 (통영시 2013) 겨울과 여름의 기온차가 적고 겨울 동안에 결빙되는 날이 많지 않다. 연대도와 인접한 통영 봉암도 (추봉도) 연안 표층수의 연중 평균수온, 염분 분포를 보면 (Choi *et al.*, 1997) 수온이 가장 낮은 2월의 평균수온은 약 10.7°C이며, 수온이 가장 높은 8월의 평균수온은 약 27.1°C로 연간 약 16.4°C의 변화 폭을 보인다. 염도는 약 32.4-34.1‰이고, 겨울철에 가장 높고 강수가 집중되는 여름철에 낮아지는 경향을 보인다.

연대도 유적은 1980년대 초에 처음 알려졌고 국립진주박물관에 의해 1988년부터 1992년까지 4차에 걸쳐 발굴 조사되었다. 유적은 학립초등학교 조양분교에서 섬의 북동쪽 해안까지 동서 최대 240 m 남북최대 180 m 가량에서 포함층이 확인되었으며 1990년 유적 일부가 사적 제335호로 지정되었다 (Chinju, 1993).

연대도 유적은 가나 지구로 나뉜다. 가지구에서는 용기문토기, 압인문토기, 침선문토기 등 남해안지역 신석기시대 전기의 유물과 집단무덤이 발견되었다. 나지구에서는 남해안지역 신석기 중기로 편년되는 태선침선문토기와 말기의 이중구연토기를 포함한 유물포함층이 확인되었다. 이로써 연대도 유적은 신석기시대 이른 시기부터 늦은 시기까지 장기간에 걸쳐 형성된 것으로 드러났다. 가지구 패각층의 방사성탄소연대는 6010 ± 160 B.P., 6090 ± 160 B.P.이다.

연대도 패총의 패각층 조성은 매우 단순하다. 가지구 패각층을 구성하는 식용패류는 굴 위주이며 (Chinju, 1993), 나지구의 신석기시대 패각층은 굴과 홍합 (*Mytilus coruscus*) 중심이다 (Hong, 2015).

## 시료 및 연구 방법



**Fig. 2.** Cross-sectional views showing sampling locations of *Crassostrea gigas* from the Yeondae-do shell midden site. left: sample 1. center: sample 2. right: sample 3.

**1. 시료**

본 연구에 이용된 굴 좌각 시료는 모두 3점이며 편의상 패각 시료 1-3으로 명명하였다. 이들 시료는 연대도 패층의 패각층 구성 연구를 위해 발굴 과정 중 나지구의 Bpit와 G10pit에서 채취된 패각층 시료에서 선별된 것이다. 패각 시료 1-3은 각각 Bpit C27, C29번과 G10pit C21번의 패각층 시료에서 선별되었다.

굴은 연체동물문 이매패강 익각목 굴과에 속하며 전 세계의 조간대 및 조하대의 바위나 다른 굴의 패각 등 단단한 바닥에 붙어살고 진흙 바닥에 서식하기도 한다. 굴은 광염성, 광온성 부유물식자 (suspension feeder) 로 폭넓은 환경에서 생존하며 염도 10-42 ‰, 수온 4-35℃에서 성장한다 (Fan *et al.*, 2011).

굴은 우리나라 패층을 주로 구성하는 가장 중요한 패류이며, 현재 우리나라에서 생산되는 패류 중 가장 높은 생산량을 차지한다 (Korea, 2014). 연대도 패층이 위치한 통영지방은 굴 서식에 좋은 조건을 갖추고 있어 1960년대 후반부터 통영을 중심으로 굴 양식이 본격적으로 시작되었으며 (Choi *et al.*, 1997), 여수와 함께 우리나라 굴 생산량의 95%를 생산하고 있다 (Lee, 1999).

**2. 연구 방법**

연대도 패층에서 출토된 굴 패각 시료에 대한 산소동위원소 분석 방법은 다음과 같다. 먼저 분석을 위하여 선별된 시료는

물로 깨끗하게 세척한 후, 초음파세척기에서 10 분간 세척 과정을 거쳤다. 시료를 자연 건조한 후에 유기물의 제거를 위해 15%의 과산화수소 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 에 담가 약 24 시간 동안 반응시켰다. 반응 시킨 시료를 다시 초음파 세척기를 이용하여 10 분간 세척한 후에 분말 시료 채집을 위하여 자연 상태로 건조시켰다. 건조된 패각 시료는 최대 성장축을 따라 저속 다이아몬드 휠 절단기 (Low Speed Diamond Wheel Saw/SBT Model 650) 를 이용하여 반으로 절단하였다. 반으로 절단된 시료의 경첩 부위의 평평한 단면을 따라 직경 0.5 mm의 치과용 드릴을 이용하여 산소동위원소 분석을 위한 분말시료를 약 4.0-37.7 mg 채집하였다. 패각 시료 1의 경우 육안으로 성장 패턴을 확인하는 것이 쉽지 않아 일정 간격으로 총 16개의 분말시료를 채집하였으며, 시료 2와 3은 육안으로 성장패턴이 구분되어 성장 패턴에 맞춰 각각 17 개와 18 개의 분말시료를 채집하였다 (Fig. 2). 채집된 분말시료는 한국기초과학지원연구원 오창센터 환경과학연구부에 있는 Thermo Scientific 사의 GasBench II를 이용하여 약 70℃ 온도에서 105% 인산 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) 에 용해시킨 후에 헬륨 기체와 함께 GC column을 통과시켜 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 기체를 분리해 내었다. 분리된 이산화탄소 기체는 online 방식을 통해 헬륨 기체와 함께 질량분석기로 이동되어 동위원소 조성 (질량수 44, 45, 46) 이 분석되었다. 산소동위원소 측정에 사용된 표준시료는 NBS-18과 NBS-19이며, 표준시료의 반복 분석에 의해 산출된 분석값의

재현성은  $\pm 0.1\%$ 이다.

**결과 및 고찰**

패각을 구성하는 탄산칼슘과 주변 해수 사이의 동위원소 평형 관계가 알려진 이래 (Epstein *et al.* 1951) 패각을 이용한 산소동위원소 분석은 수온, 염도 등의 고환경 복원에 널리 이용되어 왔다. 특히 굴을 이용한 산소동위원소 분석 연구는 굴이 고환경에 관한 신뢰할만한 정보를 제공하고 있음을 보여 주었다 (Wang *et al.*, 1995; Kirby *et al.*, 1998; Surge *et al.*, 2001; Lartaud *et al.*, 2010).

패각의 산소동위원소 값 ( $\delta^{18}O$ ) 은 수온이 낮을 때 높은 값을 보이고 수온이 높을 때 낮은 값을 보인다. 분석 결과 연대도 패총의 굴 패각 시료 3점의 산소동위원소 값은 주기성을 보이며 증감하고 있어 (Fig. 3-5), 계절적인 수온의 변화 주기를 잘 반영하고 있는 것으로 판단된다. 패각 시료 1의 산소동위원소 값은 -0.1- -2.4 ‰ 범위에서 6개의 마루와 5개의 골을 보이며 주기성을 갖고 변화하는 양상을 나타낸다 (Fig. 3). 마루의 값은 -0.1- -0.6 ‰ 사이에 분포하며 -0.35 ‰의 평균값을 갖는다. 골은 -1.5- -2.4 ‰ 사이에 분포하고 평균 -1.88 ‰이다.

패각 시료 2의 산소동위원소 값은 -0.2- -2.9 ‰ 범위에서 패각 시료 1과 같이 주기성을 갖고 변화한다 (Fig. 4). 산소동위원소 값의 범위는 2.7 ‰로 2.3 ‰의 범위에 분포하는 패각 시료 1보다 약간 큰 변화를 보인다. 마루의 값은 -0.2- -0.7 ‰ 사이에 분포하며 -0.42 ‰의 평균값을 갖는다. 골은 -2.0- -2.9 ‰ 사이에 분포하고 평균은 -2.4 ‰이다.

패각 시료 3의 산소동위원소 값은 0.3- -2.8 ‰ 범위에서 3개의 골과 3개의 마루를 보이며 시료 1, 2와 같이 주기성을 갖고 변화한다 (Fig. 5). 패각 시료 3의 산소동위원소 값의 변동 최대 폭은 3.1 ‰로 시료 1,2보다 변동 폭이 약간 크다. 마루의 값은 -0.6-0.3 ‰ 사이에 분포하며 -0.06 ‰의 평균값을 갖는다. 골은 -2.5- -2.8 ‰ 사이에 분포하고 평균 -2.63 ‰이다.

이와 같이 계절적인 수온 변화 주기를 잘 반영하는 연대도 패총의 굴 패각 시료가 기록하고 있는 고수온 (palaeotemperature) 을 살펴보기로 한다. 이 굴 시료가 성장하던 당시의 고수온은 다음과 같은 Craig (1965) 의 온도방정식에 따라 계산할 수 있다.

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

( $\delta_c$ : 시료의 탄산염 성분의 산소동위원소 값,  $\delta_w$ : 주변 해수의 산소동위원소 값, 과거 해수의 산소동위원소 값을 알 수 없기 때문에 통상적인 방법에 따라 0으로 가정하였다.)

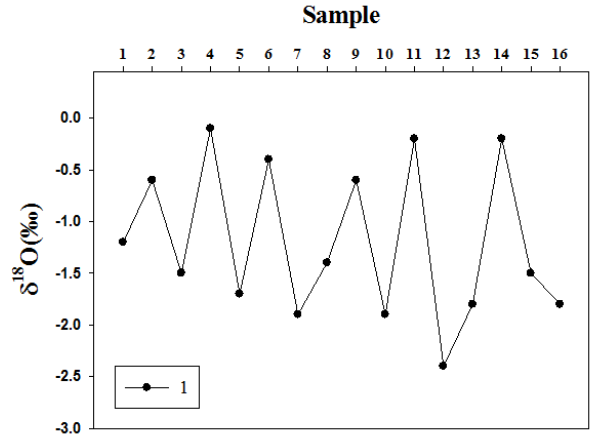


Fig.3. Oxygen isotope profile of the oyster sample 1 from the Yeondae-do shell midden site.

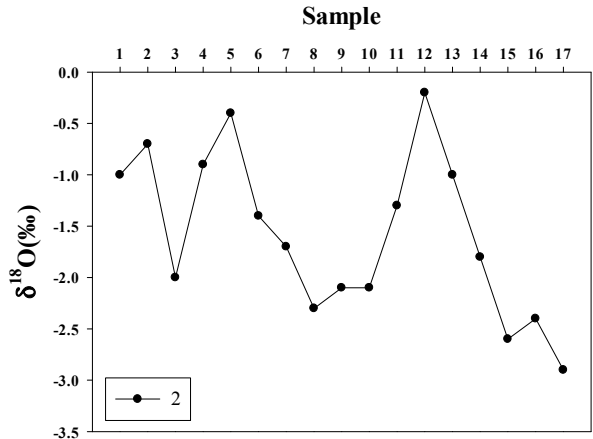


Fig.4. Oxygen isotope profile of the oyster sample 2 from the Yeondae-do shell midden site.

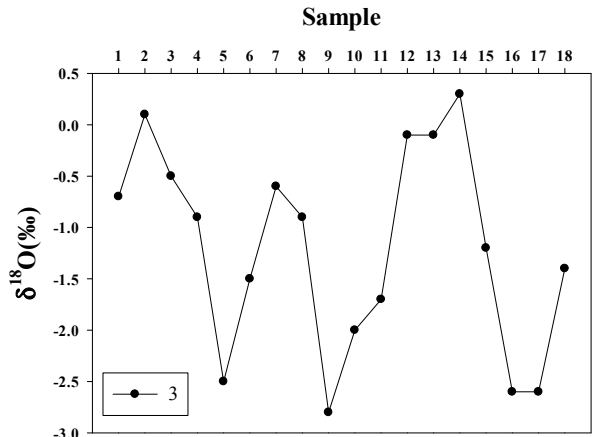


Fig.5. Oxygen isotope profile of the oyster sample 3 from the Yeondae-do shell midden site.

위의 공식에 따라 연대도 패총 굴 패각 시료 1-3의 산소동위원소 평균 최저 (골) 값 및 최고 (마루) 값에 의해 환산된 최저 수온은 각각 약 18.4°C, 18.7°C, 17.2°C이고 최고수온은 약 25.3°C, 27.7°C, 28.8°C이다. 패각 시료 1-3의 최저수온과 최고수온의 차이를 보면 각각 6.9°C, 9°C, 11.6°C의 변동 폭을 보인다. 이러한 수온의 변동 폭은 약 10.7-27.1°C의 통영 인근 수역의 연평균 수온 분포 (Choi *et al.*, 1997) 와 비교할 때, 최고수온은 비슷한 양상을 보이나 최저수온은 높은 편이다. 그런데 굴은 수온이 10°C 이하로 떨어지면 성장이 멈추거나 지체되기 때문에 (Kim, 1980; Wang *et al.*, 1995; Kirby *et al.*, 1998; Fan *et al.*, 2011; Mo, 2012), 10°C 이하의 수온은 패각에 기록되기 어렵다. 또한 수온이 낮을 때는 패각의 성장이 느려지기 때문에 산소동위원소 분석을 위한 분말시료 채취 시에 패각 침전 시점이 다른 비교적 장시간에 걸친 성장분이 섞이게 되어 예상했던 것보다 산소동위원소 값이 낮아질 수 있다 (Lartaud *et al.*, 2010). 또한 산소동위원소 분석용 분말시료가 간격을 두고 채집되었기 때문에 시료채취 시에 최저수온기에 침전된 패각 부분을 놓쳤을 가능성도 있다 (그러나 패각 시료의 산소동위원소 값에서 환산된 평균 최저 수온이 큰 차이가 없기 때문에 이와 같은 시료 채집 간격 상의 문제일 가능성은 낮을 것으로 추정된다). 따라서 연대도 패총의 굴 패각 시료의 산소동위원소 값에서 계산된 최저수온이 실제보다 고온으로 산출될 가능성은 충분하다. 그러므로 연대도 패총 굴 패각 시료의 산소동위원소 값에서 환산된 고수온은 최저수온을 제외하면 이 지역의 현재 해수온과 상당히 근접한 것으로 볼 수 있고, 그 당시 고환경은 현재와 크게 다르지 않았을 것으로 추정된다. 또한 패각 시료 3점이 고수온을 잘 반영하고 있으므로 굴을 이용한 패류 채집 계절성 및 유적 점유 계절성 연구에 이용할 수 있는 것으로 판단된다.

먼저 패각 시료 1의 채집 계절을 살펴보기로 한다. 이 시료의 산소동위원소 값은 각정부로부터 낮아졌다 높아지면서 첫 번째 저수온기 (분말시료 14) 를 거친 다음 고수온기, 저수온기를 반복적으로 거치고 마지막 저수온기 (분말시료 2) 를 지나 수온이 상승하는 양상을 보인다. 이 시료가 채집된 계절을 말해주는 분말시료 1은 마루를 지나 하강하는 시점에 위치하며 산소동위원소 값은 -1.2‰이다. 따라서 이 굴 시료는 최저수온기인 겨울을 지나 수온이 상승하는 봄철에 채집된 것으로 판단된다.

패각 시료 2는 3개의 골과 3개의 마루를 보인다 (각정부쪽의 분말시료 17의 값이 -2.93‰로 낮은 값을 보이므로 골로 추정된다). 마지막에 침전된 부위에서 채집된 분말시료 1의 산소동위원소 값이 마루에서 하강하는 시점에 위치하므로 역시 수온이 상승하기 시작하는 봄철에 채집된 것으로 보인다.

패각 시료 3은 3개의 골과 3개의 마루를 보이며 시료 1, 2

와 같이 주기성을 갖고 변화한다. 패각 시료 3 역시 분말시료 1의 위치로 미루어 역시 최저수온기를 지나 수온이 상승하는 시점인 봄에 채집된 것으로 판단된다.

이와 같이 연대도 패총의 굴 패각 시료는 모두 산소동위원소 값이 높은 마루를 지나 산소동위원소 값이 낮은 골로 하강하는 시점 즉 최저수온기를 지나 수온이 상승하는 봄철에 채집된 것으로 판단된다. 따라서 이를 바탕으로 연대도 패총은 봄철에 이용된 것으로 추정할 수 있다. 다만 본 연구에서 분석된 시료가 3점에 불과하기 때문에 대표성을 갖는다고 할 수 없다. 그 당시 전반적인 굴 채집 양상과 패총의 점유계절을 밝히기 위해서는 좀 더 많은 시료를 분석할 필요성이 있다.

### 맺음말

본 연구에서는 신석기시대 연대도 유적의 생업경제 연구의 일환으로 패총을 주로 구성하는 굴의 채집 계절과 유적 점유 계절성을 밝히기 위해 산소동위원소 분석을 실시하였다.

연대도 패총의 굴 패각 시료 3점에 대한 분석 결과 산소동위원소 값은 각각 -0.1‰ - -2.4‰, -0.2‰ - -2.9‰, 0.3‰ - -2.8‰ 범위에서 주기성을 보이며 증감하고 있어 계절적인 수온의 변화 주기를 잘 반영하는 것으로 나타났다. 연대도 패총의 굴 시료는 모두 최저수온기를 지나 수온이 상승하는 시점 즉 봄철에 채집된 것으로 판단되며 따라서 연대도 패총은 봄철에 이용된 것으로 추정할 수 있다. 다만 본 연구에서 분석된 시료가 3점에 불과하기 때문에 대표성을 갖는다고 할 수 없다. 그 당시 전반적인 굴 채집 양상과 패총의 점유계절을 밝히기 위해서는 좀 더 많은 시료를 분석할 필요성이 있다.

국내에서는 고고학적인 굴을 이용한 계절성 연구에 성장선 분석은 시도된 바 없으며 산소동위원소 분석 연구도 많지 않은 실정이다. 굴을 이용한 산소동위원소 분석이 고고학적인 계절성 연구에 유용한 것으로 밝혀진 만큼 보다 많은 분석 연구를 통해 고고학적인 문제의 해결에 기여해야 할 것이다. 또한 고비용의 산소동위원소 분석을 대신할 성장성 분석 연구도 시급하게 이루어져야 할 과제이다.

### 감사의 글

이 논문은 2014년도 한서대학교 교내 연구 지원 사업에 의해 연구되었습니다.

### REFERENCES

- An, D. (1997) A study on the seasonality determination of prehistoric shellfish gathering by oxygen isotope analysis, *Seonsa wa Kodae*, 8: 47-54. [in Korean with

- English abstract].
- An, D. and Lee, I. (2014) Seasonality of shellfish gathering using oxygen isotope analysis of *Crassostrea gigas* from the Gagok-ri shell midden site, Dangjin, *The Korean Journal of Malacology*, **30**(1): 1-8. [in Korean with English abstract].
- Andrus, C.F. and Crowe, D.E. (2000) Geochemical analysis of *Crassostrea virginica* as a method to determine season of capture, *Journal of Archaeological Science*, **27**: 33-42.
- Chinju National Museum (1993) Yondae-do Site I. [in Korean].
- Choi, W.-J., Chun, Y.-Y., Park, J.-H. and Park, Y.-C. (1997) The influence of environmental characteristics on the fatness of Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Hansan-Koje Bay, *J. Korean Fish. Soc.*, **30**(5): 794-803. [in Korean with English abstract].
- Craig, H. (1965) The measurement of oxygen isotope paleotemperatures, *In: Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. (ed. by Tongiorgi, E.), pp. 161-182. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare. Pisa.
- Custer, J.F. and Doms, K.R. (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.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H.A. and Urey, H.C. (1953) Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geological Society of America Bulletin*, **64**: 1315-1326.
- Fan, C., Koeniger, P., Wang, H. and Frechen, M. (2011) Ligamental increments of the mid-Holocene Pacific oyster *Crassostrea gigas* are reliable independent proxies for seasonality in the western Bohai Sea, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **299**: 437,448.
- Hong, J. (2015) A study on the shellfish gathering patterns of the Neolithic Yeondae-do shell midden site. M.A. Thesis, Hanseo University. [in Korean with English abstract].
- Kent, B. (1988) Making Dead Oysters Talk-Techniques for Analyzing Oysters from Archaeological Sites. Maryland Historical Trust.
- Kim, Y.-H. (1980) Ecological studies on the growth of transplanted oyster, *Crassostrea gigas* (Thunberg) from southern coast of Korea. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, **15**(1): 8-16.
- Kirby, M.X., Soniat, T.M. and Spero, H.J. (1988) Stable isotope sclerochronology of Pleistocene and recent oyster shells (*Crassostrea virginica*). *PALAIOS*, **13**: 560-9.
- Korea Fisheries Association (2014) Korean Fisheries Yearbook. [in Korean].
- Lartaud, F., Emmanuel, L., de Rafelis, M., Labourdette, N., Richardson, C.A. and Renard, M. (2010) A latitudinal gradient of seasonal temperature variation recorded in oyster shells from the coastal waters of France and Netherlands. *Facies*, **56**: 13-26.
- Lee, C.-H. (1999) Growth and reproduction of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas* at Kamakman in Yeosu. M.Sc. Thesis, Cheju National University. [in Korean with English abstract].
- Mo, K. (2012) Comparisons of growth and rack culture system in two districts in western Korea. M.Sc. Thesis, Inha University. [in Korean with English abstract].
- Russo, M. (1991) A method for the measurement of season and duration of oyster collection: two case studies from prehistoric south-east U.S. coast. *Journal of Archaeological Science*, **18**: 205-21.
- Surge, D., Lohmann, K.C. and Dettman, D.L. (2001) Controls on isotopic chemistry of the American oyster, *Crassostrea virginica*: implications for growth patterns. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **172**: 283-296.
- Wang H., Keppens, E., Nielsen, P. and van Riet, A. (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.
- 통영시 2013 『통계연감』.