

## 산소동위원소 분석을 이용한 조개채집의 계절성 연구

안 덕 임 · 이 인 성\*

한서대학교, 기초과학지원연구소\*

= Abstract =

### Seasonality Study of Shellfish Gathering using Oxygen Isotope Analysis

Deog-im An and Insung Lee\*

Hanseo University and Korea Basic Science Institute\*

In archaeology, oxygen isotope analysis using marine shells has been used to reconstruct past environment and determine the season of shellfish-gathering activities in the past. Modern oysters (*Crassostrea gigas*) from Solsum at the mouth of Chonsu Bay were analyzed to examine the potential of the species for determining seasonality by oxygen isotope analysis. As a result, it appears that the species can be used for this purpose.

#### 머릿말

굴(*Crassostrea gigas*)은 우리나라 선사시대 패총을 주로 구성하는 종으로 당시의 주요한 식량자원이었다. 그러므로 굴의 채집계절을 밝히는 것은 당시의 생업경제와 거주양상을 복원하고 패총유적의 성격을 이해하는 데 중요하다. 그러나 굴은 조개 껍데기의 성장이 불규칙하여 성장선분석으로 채집계절을 밝히기가 어려운 것으로 알려졌다. 굴을 이용한 산소동위원소 분석으로 고수온과 조개의 채집계절을 밝힐 수 있다면 이러한 문제는 해결될 것이다.

조개의 껍데기를 구성하는 탄산칼슘 속의 산소동위원소  $^{18}\text{O}$ 과  $^{16}\text{O}$ 의 비율을 이용하여 그 조개가 서식할 당시의 주변 해수의 온도를 구하는 방법은 Urey와 그의 동료에 의해 1950년대에 개발된 이래 지질학적으로 고환경을 복원하는데 널리 이용되어 왔다. 한편 고고학 분야에서는 Shackleton(1973)이 이 방법을 패총의 계절성연구에 도입하였고 이후 과거환경 복원 및 패총

을 형성시킨 사람들의 거주와 조개 채집계절을 밝히는 수단으로서 이 방법이 이용되어 오고 있다 (Killingley 1981; Bailey *et al.*, 1983; Deith 1985, 1986, 1988; Claassen 1988; Godfrey 1988, 小池 1977,1984).

패총의 계절성과 고환경 복원을 위한 산소동위원소 분석에 삿갓조개류, 밤고둥류, 새조개류(Shackleton 1973; Bailey *et al.*, 1983; Deith 1986, 1988), 홍합류(*Mytilus californianus*; Killingley, 1981), 피조개(*Anadara broughtnini*; 堀部 等, 1977), 말백합(*Meretrix lamarcki*; 小池, 1977, 1984)가 이용되어 연구되었으나 우리나라의 패총을 주로 구성하는 굴에 대해서는 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 특히 굴은 다른 이매패와 달리 성장이 불규칙하여 성장선 분석이 어려운 것으로 알려졌으므로 산소동위원소 분석을 이용하여 굴의 채집 계절을 밝힐 수 있다면 우리나라 패총연구에 크게 기여할 것이다. 본고에서는 산소동위원소 분석을 이용한 계절성연구 방법에 관해서 소개하고 그 사례연구로서 현생 굴(*Crassostrea gigas*)에 대한 산소동위원소분석 결과를 살펴보고자 한다.

## 산소동위원소 분석

산소동위원소를 이용한 고온도(palaeotemperature) 복원법은 Urey에 의해 처음으로 발견되었다. 그는 생물체에 탄산칼슘이 침전될 때, 당시의 수온에 따라 생물체에 침전된 탄산칼슘의 산소동위원소  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 이 변화한다는 것을 발견하고 지질학적인 탄산염(즉 살아있는 생물에 의해 형성된 이산화탄소)에서 이 산소동위원소비를 측정함에 의해 고온도를 알 수 있다고 하였다(Urey 1947).

이 산소동위원소를 이용한 고온도법이 고고학에서는 패총연구에 도입되어 선사시대 고환경 복원과 조개 채집계절 및 주기양상을 연구하는 데 이용되고 있다. 연중 조개 껍데기가 성장하는 패류의 경우 탄산칼슘이 조개의 성장가장자리를 따라 침전됨에 따라 주변을 둘러싸고 있는 해수 중의  $^{16}\text{O}$ 과  $^{18}\text{O}$ 이 이 탄산염에 흡수된다. 조개 껍데기에 침전된 탄산칼슘 속의 산소동위원소  $^{16}\text{O}$ 과  $^{18}\text{O}$ 의 비율은 주변의 온도에 의해 좌우되는데 한번 침전되면 안정된 상태로 존재한다. 따라서 조개껍데기에 연중 해수온의 변화를 기록하게 되며 조개의 각정(umbo)으로부터 성장가장자리(edge)에 걸쳐 적당한 간격을 두고 시료를 채취하여 두 동위원소의 비율을 측정하여 보면 그 생물이 살았던 당시의 주변 수온을 구할 수 있고 그 조개가 얼마나 오래 살았으며 어느 계절에 채집되었는가를 알 수 있게 된다.

화학에 포함되어 있는 탄산염 중의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 을 이용하여 과거의 수온을 측정하려면 이 비율의 측정치를 수온으로 환산하는 작업이 필요하다. Epstein 등(1953)은 조개껍데기에 농축된  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 과 수온과의 관계식을 제안하였고, 그 후 Craig(1965)에 의해 다음과 같이 보정되었다.

$$T = 16.9 - 4.2(\delta c - \delta w) + 0.13(\delta c - \delta w)^2$$

여기서  $\delta c$ 는 시료의 탄산염 중의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 이고,  $\delta w$ 는 그 탄산염이 생성될 당시의 주변 해수의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 로 모두 국제적으로 공인된 표준평균해수(Standard Mean Ocean Water; SMOW)의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  또는 PDB(북캐롤라이나주의 상부백악기의 Peedee층에서 얻은 Belemnite 화석의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ )에 대한 편차로서 다음과 같이 천분율로 나타낸다.

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

이러한 방법을 사용하여 고수온을 산출하는 경우에는 과거 해수의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 을 알 수 없기 때문에 통상은  $\delta w = 0$ 으로 가정하고 실측된 탄산칼슘의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 을 위의 식에 대입시켜 고수온을 구하는 것이다(大場 1993). 이러한 가정은 패총이 형성되기 시작한 시기에는 무리가 없어 적용될 수 있으나 현재와 현저하게 환경이 다른 빙하시대나 담수의 영향을 강하게 받은 기수역의 시료 등의 경우에는  $\delta w \neq 0$ 이란 가정을 성립되지 않는다(윌킨).

한편 물의 온도와 화학적 조성(염도)이  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 비에 영향을 미치기 때문에 연중 빨리 성장하며 수온에 비하여 화학조성의 계절적인 변화가 작은 조간대 하부와 같은 곳에서 서식하는 조개가 산소동위원소분석을 위한 시료로서 좋다.

## 연구 재료 및 방법

굴이 계절성 연구를 위한 산소동위원소 분석에 적합한 종인지를 밝히기 위해 채집계절이 알려진 현생종에 대한 분석이 이루어졌다. 분석을 위한 현생시료는 진수만 입구쪽의 안면도 숲속 주변의 조간대에서 89년 8월 27일, 9월 26일, 11월 6일(11월은 중복되어 채집된 관계로 11월 초에 채집된 굴에 대한 산소동위원소값은 도1에서 편의상 10월달에 표시되었다), 11월 27일과 90년 1월 7일, 2월 13일, 4월 30일에 7차례에 걸쳐 채집되었다.

현생시료를 이용한 산소동위원소 분석 방법은 다음과 같다.

- 1) 직경 0.5 mm 지과용 드릴을 이용하여 굴의 성장가장자리(edge)로부터 0.2 ~ 0.5 mg의 분말시료를 채취하였다.
- 2) 분말시료를 진공상태에서 450°C로 30분간 가열하여 유기불순물을 제거하였다.
- 3) 분말시료를 질량분석기에 연결된 "ISOCARB"에서 무수인산과 반응시켜, 발생하는  $\text{CO}_2$ 를 측정할 뒤  $\text{CO}_2$  중의  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 의 값을 구하였다.

분석에 사용된 질량분석기는 VG PRISM II model (영국 FISON사)이며 질량분석기에서 사용된  $\text{CO}_2$  가스의 양은 대체로 20  $\mu\text{mol}$  정도를 사용하였다.

“ISOCARB”에서 인산과의 반응은 90 ℃에서 이루어졌다. 본 실험에서  $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ 는 PDB에 대비된 값으로 산출되었고 분석의 정밀도(analytical precision)는  $\pm 0.1\text{‰}$ 이다.

### 결과 및 고찰

위의 절차에 따른 분석 결과는 Fig. 1과 같다.  $\delta^{18}\text{O}$  값은 0.73(1월)에서 2.64(8월)의 범위 안에 분포하며 앞의 공식에 따라 수온으로 환산하면 19.9℃와 28.8℃에 해당한다. 전수만 일대의 표면해수온의 변동폭(약 4.1-27.5 ℃, Fig. 2)과 대비하면  $\delta^{18}\text{O}$ 값에서 산출된 겨울철의 수온은 현재 수온보다 높으나 여름철의 경우는 거의 일치하는 것으로 나타났다. 그러나 산소동위원소 분석 결과 산출된 수온은 8월에 최고치를 보이고 점차 내려가서 1월에 최저치를 보이다 4월에 상승되므로 비록 월별로 정확한 수온을 반영하지는 않지만 수온의 계절적인 높낮이 변화를 반영한다 할 수 있다. 따라서 굴의 성장기간으로부터 각절에 이르기까지 분말시료를 채취하여 분석한 결과 얻은  $\delta^{18}\text{O}$ 값의 변화에서 굴의 채집계절을 추정하는 것은 가능하다.

$\delta^{18}\text{O}$ 값에서 산출된 수온이 조개가 서식하던 주변 해수의 온도와 완전한 일치를 보이지 않는 것은 특히 추운 계절에 두드러지는데, 이는 이 시기 굴의 성장과 관련이 있을 것이다. 분석을 위해 분말시료가 채취된

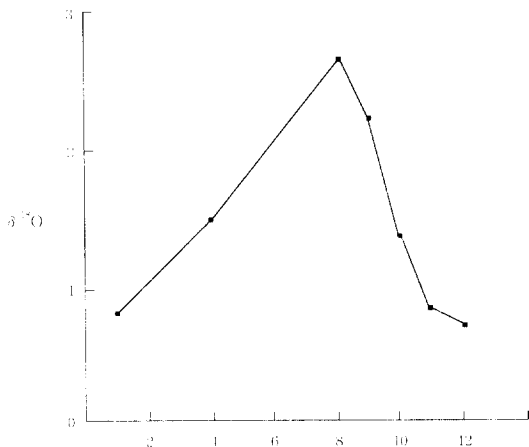


Fig. 1. Distribution of  $\delta^{18}\text{O}$  concentration of morden oyster (*Crassostrea gigas*) from mouth of Chonsu Bay, Korea

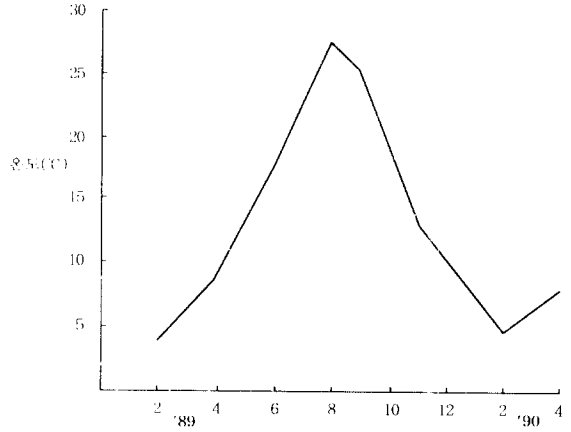


Fig. 2. Average surface temperature of seawater in Chonsu Bay, Korea

직경 0.5 mm의 굴껍데기 부분은 굴의 성장이 빠른 여름철의 경우 며칠 동안의 성장분에 해당하지만 성장이 느려지거나 거의 정지 되는 추운 계절의 경우 그 보다 오랜 기간의 성장분에 해당하기 때문이다. 따라서 분말시료의  $\delta^{18}\text{O}$ 값은 이 성장기간 동안의 평균해수온을 반영하는 것이다. 이 밖에 개체에 따른 변수, 계절에 따른 염도의 변화와 같은 것도 영향을 미쳤을 것으로 여겨진다. 향후 보다 체계적인 연구를 통하여 이러한 문제점은 해결될 수 있을 것이다.

이상과 같은 산소동위원소 분석을 이용한 굴 채집의 계절성 연구는 대부분 굴로 이루어진 우리나라 패총의 성격을 밝히는 데 유용하며 특히 패총을 형성시켰던 사람들의 주거양상과 조개채집 활동의 복원은 물론 조개 크기변화에 대한 환경적인 요인과 인위적인 요인 등을 밝히는 데 중요한 자료를 제공해 줄 것이다.

### 결론

이상에서 산소동위원소를 이용한 계절성 연구방법을 소개하고 이와 관련하여 현생 굴에 대한 산소동위원소 분석을 살펴보았다. 분석 결과 산출된 수온은 여름철의 경우 현재 해수온과 일치를 보이고 있으나 겨울철은 높게 나타났다. 그러나 수온의 계절적인 높낮이 변화를 반영하고 있어 산소동위원소를 이용한 계절성 연구에 굴이 시료로 이용될 수 있는 것으로 밝혀졌다.

### 참고 문헌

- Bailey, G.N., Deith, M. and Shackleton, N. (1983) Oxygen isotope analysis and seasonality determinations: Limits and potential of a new technique. *American Antiquity*, **48**(2): 390-398.
- Claassen, C. (1988) Techniques and controls for the determination of seasonality in shellfishing activities. *BAR International Series*, **416**: 51-66. Oxford.
- Craig, H. (1965) The measurement of oxygen isotope paleotemperatures. In: *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. (ed. by Tongiorgi, E.). pp. 1-24. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologica Nucleare, Pisa.
- Deith, M. (1985) Seasonality from shells: an evaluation of two techniques for seasonal dating of marine molluscs. *BAR International Series*, **266**: 119-130. 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. *BAR International Series*, **416**: 37-49. Oxford.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H.A. and Urey, H.C. (1953) Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Bulletin of the Geological Society of America*, **64**: 1315-1326.
- Godfrey, M. (1988) Oxygen isotope analysis: a mean for determining the seasonal gathering of the pipi (*Donax deltooides*) by aborigines in prehistoric Australia. *Archaeology in Oceania*, **23**: 17-21.
- Killingley, J. (1981) Seasonality of mollusk collecting determined from O-18 profiles of midden shells. *American Antiquity*, **46**(1): 152-158.
- Shackleton, N. (1973) Oxygen isotope analysis as a means of determining season of occupation of prehistoric midden sites. *Archaeometry*, **15**: 133-141.
- Urey, H.C. (1947) The thermodynamic properties of isotopic substances. *Journal of the Chemical Society*, **1**: 562-581.
- 大場忠道 (1993) 酸素同位體比法. 第四紀試料分析法, **2**: 311-321. 東京大學出版會.
- 小池裕子 (1977) 貝殻から古環境を読む. 数理科學, **170**: 1-7.
- 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.
- 堀部純男, 大場忠道 (1977)  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 法による古海水溫度測定の基礎的研究. アラレ石溫度スケールの検証-. 考古學と自然科學, **10**: 11-19.
- 국립수산진흥원 (1996) 한국 연안어장 환경오염 조사 결과 보고서.