

NOTE

서해안 곰소만 조간대 유공충의 안정동위원소 성분

박병권 · 이광식
기초과학지원센터

Stable Isotopic Compositions of Foraminifera of the Tidal Flat in the Gomso Bay of the Western Coast of Korea

BYONG-KWON PARK AND KWANG-SIK LEE

Korea Basic Science Center, Eoeun Dong 224-1, Yuseong Ku, Taejeon, 305-333, Korea

이 연구에서는 곰소만 조간대의 현생 해양환경, 2종 (*Elphidium etigoense*와 *Ammonia beccarii tepida*)의 유공충의 산소 및 탄소 동위원소 성분비와의 관계, 그리고 유공충 종간의 차이 등을 연구하였다. *E. etigoense*의 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 -3.20% 에서 $+0.58\%$ 이고 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -5.26% 에서 -0.93% 이다. *A. beccarii tepida*의 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 -1.11% 에서 $+0.61\%$ 이고 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -2.04% 에서 -1.40% 이다. 상부, 중부, 하부 조간대 사이의 차이는 없었으며 유공충 2종간에는 아주 낮은 측정값을 보여주는 시료 한개를 제외하면 평균 $\delta^{18}\text{O}$ 값의 차는 0.20% 이고 평균 $\delta^{13}\text{C}$ 값의 차는 1.63% 이었다.

The oxygen and carbon isotopic compositions of the foraminiferal species, *Elphidium etigoense* and *Ammonia beccarii tepida*, of the tidal flat in the Gomso Bay of the western coast of Korea have been measured. This work was intended to study the relationship between oxygen and carbon isotopic compositions of the foraminifera and present oceanographic environments, and also the difference between two foraminiferal species. The values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of *E. etigoense* varied from -3.20% to $+0.58\%$ and from -5.26% to -0.93% , respectively. The values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ of *A. beccarii tepida* varied from -1.11% to $+0.61\%$ and from -2.04% to -1.40% , respectively. No significant variations in these values occur from the samples among the upper, middle and lower tidal zones except for the one from the upper tidal zone that has extremely low value. The difference between the two foraminiferal species was 0.20% and 1.63% in the average values of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$, respectively. The relationship between $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ values was positive in interspecies of two species.

서론

유공충 각을 구성하는 탄산염의 산소 및 탄소 동위원소 성분비에 관한 연구는 Urey (1947)와 Emiliani (1954) 이래 고해양 및 고기후 환경을 밝히는데 중요한 방법으로 널리 사용되고 있다. 특히 해수의 고온도 (paleotemperature)와 고염분 (paleosalinity)을 규명하고 탄소 저장소 (carbon reservoirs)에서의 탄소의 흐름 (carbon fluxes)에 관한 연구에 널리 사용되고 있다. 우리나라에서는 아직 유공충의 안정동위원소 성분비에 관한 연구가 시작

되는 단계이다. 따라서 이 연구에서는 우리나라 서해안 곰소만 조간대에서 우세하게 산출되고 있는 저서성 유공충인 *Elphidium etigoense*와 *Ammonia beccarii tepida*를 선별하여 이들의 산소 및 탄소 동위원소 성분비를 측정하고 유공충에 잔류하고 있을 유기물을 제거하는 방법을 비교 검토하였다. 그리고 곰소만 조간대의 현생 해양 환경과 2종의 유공충의 산소 및 탄소 동위원소 성분비와의 관계 그리고 유공충 종내 개체간의 차이와 종간의 차이를 연구하였다.

곰소만

곰소만은 전라북도 부안군과 고창군을 경계로 육지쪽으로 길게 만입한 큰 만으로 북위 32°30'과 동경 126°30'에 위치하고 있다. 곰소만은 폭 4~5 km, 길이 15 km의 큰 만으로서 조간대가 4 km에 달한다. 조간대는 주로 사질 및 이질 퇴적물로 구성되어 있으며 수로, 사주, chenier 등이 발달되어 있다 (한국해양연구소, 1992). 곰소만의 평균 조차는 434 cm이며, 조류의 속도는 주조류에서 창조류가 115 cm/sec이고 낙조류가 150 cm/sec이다. 평균 해면은 7, 8월이 최고이고, 1, 2월이 최저로 년교차는 약 40 cm에 이른다 (국립지리원, 1981). 곰소만의 표층 해수의 온도는 2월에 4°C, 5월에 13°C, 11월에 12°C이다. 또한 표층해수의 염분은 2월에 32‰, 5월에 32.2‰, 11월에 32.4‰이다. 곰소만 지역의 조간대는 상부, 중부 및 하부 조간대로 구분이 가능하며 상부조간대는 소조평균고조선 상위 부분, 중부조간대는 소조평균고조선과 대조평균고조선 사이 부분, 하부조간대는 소조평균저조선 이하 부분으로 구분된다. 한국해양연구소의 보고서 (1993)에 의하면 상부조간대는 사질함량이 평균 30%인 이질 퇴적상을 보여주며 퇴적물의 평균입도는 약 5.1 phi로 중립질 실트 (medium silt)이다. 중부조간대는 사질 함량이 평균 89%이고 퇴적물의 평균입도는 2.8 phi로 세립질 모래이다. 상부조간대는 사질 함량이 평균 68%이고 퇴적물의 평균입도는 3.8 phi로 세립질 모래이다. 상부조간대에는 *Elphidium etigoense*가 유공충 전체군집의 85~95%로 우세하게 산출된다. 중부조간대에는 *E. etigoense*와 *Ammonia beccarii tepida*가 동시에 우세하게 산출된다. 하부조간대에는 *A. beccarii tepida*와 다른 종들이 동시에 우세하게 산출된다. 곰소만 조간대에서는 전체적으로 유공충의 살아있는 개체의 상대적 비율이 해안선에서 멀어질수록 감소하고 있다. 이는 곰소만 지역에서 물리적 에너지가 해안선에서 멀어질수록 증가하여 유공충의 생산성이 감소되는 동시에 다른 곳으로부터 유입된 개체수가 증가하는데 그 원인이 있는 것으로 보고되고 있다 (한국해양연구소, 1993).

연구재료 및 방법

Epstein et al. (1953)에 의하면 유공충 각을 구성하고 있는 탄산염이 인산과 반응하여 CO₂ 가스를 생성할 시, 시료에 유기물이 함유되어 있으면 다른 종류의 가스가 같이 발생하여 CO₂ 가스와 혼합되며, 산소 및 탄소 동위원소를 분석할 때 간섭을 일으켜 자료의 정확도가 많이 떨어진다고 한다. 따라서 유공충각의 산소 및 탄소 동위원소 분석을 위해서는 먼저 유공충내에 잔류하고 있을 유기물을 제거해야 한다.

이 연구에서는 지금까지 많은 학자들에 의해 사용되어 온 진공-가열방법 (Shackleton and Opdyke, 1973)을 *E. etigoense*종에 그리고 새로 소개된 과산화수소수-아세톤 방법 (Shackleton and Hall, 1993)을 *A. beccarii tepida*종에 적용하여 분석하였다.

이 연구에서는 한국해양연구소 (1993)가 곰소만 조간대의 SW-선을 따라 채취한 표층 퇴적물 시료 중에서 6개 지역 표품을 선정하여 사용하였다. 이 시료들로부터 유공충들을 실제현미경하에서 선별하여 *E. etigoense*들은 Shackleton and Opdyke (1973)의 방법에 따라 진공상태하에서 450°C로 60분간 가열하여 유기물을 제거하였다. 또한 *A. beccarii tepida*는 Shackleton and Hall (1993)이 소개한 과산화수소수에 유공충을 담근 후 아세톤을 첨가하여 처리하는 방법에 따라 유기물을 제거하였다.

유기물이 제거된 유공충 8-10 개체를 Swart et al. (1991)의 CAB (common acid bath)법에 따라 100%의 인산 (H₃PO₄)과 90°C에서 반응시켰다. 약 2분 내에 반응이 완료되었으며 이때 얻어진 CO₂가스는 양이 매우 적기 때문에 안정동위원소비 질량분석기에 부착된 cold finger를 사용하여 가스압력을 높인 후 분석하였다. 이 연구에 사용한 안정동위원소비 질량분석기는 기초과학지원센터에 보유중인 VG Isotech사의 PRISM II이다. 국제 표준시료인 NBS 19를 함께 분석한 평균값은 δ¹⁸O_{PDB} = -2.28‰이며 δ¹³C_{PDB} = 1.92‰이고 분석정밀도는 약 ±0.1%이다. 측정치들은 Craig (1957)의 방법에 따라 O¹⁷에 의한 동위원소 간섭효과를 보정하였다.

결과 및 토의

곰소만 상부 조간대에 압도적으로 산출되는 *E.*

Table 1. Oxygen and carbon isotopic compositions of foraminifera of the tidal flat in the Gomso Bay.

Sample No.	<i>Elphidium etigoense</i>		<i>Ammonia beccarii tepida</i>		Remarks
	$^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$	$^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	
SW04	-5.26	-3.20			upper tidal zone
SW06	-5.08	-0.59			
SW12	-3.02	-0.46	-2.04	-1.11	
SW21			-1.40	-0.18	middle tidal zone
SW24	-0.93	+0.58			
SW27	-2.20	-0.12			
SW30	-3.01	0.41	-1.43	+0.61	lower tidal zone

*etigoense*는 인천, 아산만 조간대에서도 다량 산출된다 (Chang and Lee, 1982, 1984). 이 종은 비교적 펄이 적은 퇴적상에서 발생하여 조류 등에 의해 해안 가까운 곳 즉 상부조간대로 운반되어 펄이 우세한 지역에서 서식하며 성장해서는 다시 하부조간대 쪽으로 이동 운반되는 것으로 생각된다. 특히 곰소만과 같이 조차가 크고 조류가 강한 지역에서는 쉽게 부유되어 이동하게 될 것이다. 이 연구 지역의 중부조간대와 하부조간대에서 우세하게 산출되는 *A. beccarii tepida*는 하부조간대와 강하구 등 해수의 염분이 정상 해수보다 약간 낮은 환경에서도 풍부하게 산출되는 종으로 알려져 있다 (Arnal et al., 1980; Reedy and Rao, 1984; Cheong, 1989). 또한 *A. beccarii tepida*는 조간대 하부 (subtidal zone) 환경에서도 서식하며 (Scott et al., 1981; Wang et al., 1985; Cheong et al., 1992) 일반적으로 해수의 온도가 연중 최소한 1개월 이상은 17~22°C 인 지역에 분포하는 것으로 알려져 있다 (Walton and Sloan, 1990).

유공충 시료에 대한 산소 및 탄소 동위원소 성분값은 Table 1에서 보는 바와 같다. *E. etigoense*의 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 최소 -3.20%에서 최고 +0.58%이나 이 중 다른 시료들에 비해 아주 낮은 값을 보여주는 1개 시료를 제외하면 최소 -2.59%에서 최고 +0.58%이며 이들의 평균 값은 -0.03%이다. 아주 낮은 값을 보여주는 시료는 상부조간대 시료이고, 중부 및 하부 조간대 시료들은 비교적 비슷한 값을 보여준다. 상부조간대 시료의 값이 아주 낮은 이유는 앞으로 더 많은 시료를 분석하여 그 원인을 규명

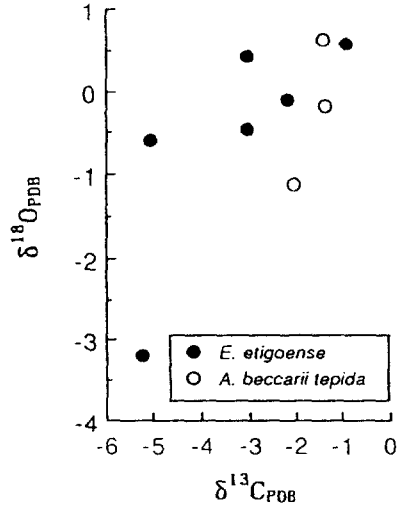


Fig. 1. Variation of oxygen and carbon isotopic compositions of foraminifera of the tidal flat in the Gomso Bay.

하여야 할 것이다. 그러나 $\delta^{18}\text{O}$ 값이 낮은 이유는 상부조간대의 유공충이 성장할시 $\delta^{18}\text{O}$ 값이 낮은 육수의 영향을 받은 것으로 일단 추측된다. $\delta^{13}\text{C}$ 값은 최소 -5.26%에서 최고 -0.93%이며 평균값은 -3.25%이다.

*A. beccarii tepida*의 산소 및 탄소 동위원소 성분값을 측정하기 위해서 방법론에서 언급한바와 같이 과산화수소수-아세톤 방법으로 유기물을 제거하였다. 이렇게 처리된 시료들을 질량분석기를 통해 분석한 결과 질량분석기의 선형성 (source linearity)이 일정하게 유지되지 못하고 기준값에서 벗어나는 시료들이 발생하였다. 이를 규명하기 위하여 유공충에서 얻은 CO_2 가스내 이물질의 존재를 확인해본 결과 질량 16, 17, 18, 28의 물질이 소량 검출되었다. 따라서 이러한 선형성이 좋지 않은 시료들을 제외하고 분석값이 비교적 신뢰성이 높은 시료 3개만이 연구에 포함시켰다. *A. beccarii tepida*의 $\delta^{18}\text{O}$ 은 -1.11%, -0.18%, +0.61%였으며 평균값은 -0.23%이고 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -2.04%, -1.43%, -1.40%였으며 평균값은 -1.62%이다.

진공-가열 방법으로 유기물을 제거한 유공충을 분석한 결과 질량분석기의 선형성이 일정하게 유지되고 기준값에서 벗어나지 않았으며 CO_2 가스내에 이물질도 발견되지 않았다. 따라서 지금까지 20여

년간 이용되어 온 진공-가열 방법이 미화석의 탄소 및 산소 동위원소 성분 분석에 안정적인 방법으로 생각된다. 동일한 실험을 개형층을 대상으로 실시하여 같은 결과를 얻은바 있다 (박병권 외, 1994).

이 연구에서 측정된 $\delta^{18}\text{O}$ 값과 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 유공충 2종 공히 동일 종내에서 대체로 정비례 관계를 보여주고 있으며, 두 종간의 차도 거의 없는 것으로 보인다 (Fig. 1). 일반적으로 동일한 해양환경하에서 산출되는 유공충들은 종이 달라도 $\delta^{18}\text{O}$ 값과 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 대체로 유사하다고 알려져 있다. 그러나 유공충의 동일 종이라 하여도 그 형태와 각의 크기에 따라 안정 동위원소 성분비가 다소 차이가 있다는 보고도 있다 (Spero et al., 1991; D Hondt, 1993). 그러나 그 차이는 고환경의 차이와 유공충의 생활요인에 따라 발생하게 되며 차이도 크지 않아서 해수의 온도변화와 기후변화를 추적하는 연구에는 큰 영향을 주지 않는다고 알려져 있다 (Berger et al., 1978; Erez and Luz, 1983; Spero, 1992).

곰소만 조간대에서 산출되는 유공충의 산소 및 탄소 동위원소 값이 변하는 것은 각종의 생활형태의 차, 해수의 표면온도의 변화 및 성장지역 환경의 차에 기인하는 것으로 생각된다. 환경요인의 변화 폭이 큰 연안 특히 조간대 환경에서 발생, 성장, 이동되는 유공충 종간의 안정동위원소 값은 흔히 차이가 있을 것이다. 또한 곰소만과 같이 해류나 조류 그리고 태풍에 의해 표층 퇴적물의 재운반이 심하게 일어나고, 해수면의 계절변화와 지구규모의 기온변화 등으로 해양환경의 변화가 심한 곳에서는 동일 종이라도 개체에 따라 안정동위원소 값은 차이가 있을 것이다. 또한 곰소만 조간대 퇴적층은 한국해양연구소 (1993)의 보고서에 의하면 상,하층 퇴적물의 60~90%가 생물교란작용에 의해서 혼합되어 있다. 따라서 이 연구에 사용한 현생 표층 퇴적물들도 생물교란작용에 의해 시간적 차이가 있거나 퇴적환경의 차가 있는 퇴적물들이 많이 혼합되어 있을 것이다. 과거 해수면의 변화로 현재의 상부조간대는 과거에는 supratidal flat였을 것으로 해석되고 있는 것으로 보아 현재의 조간대의 많은 부분이 supratidal 지역이었다고 생각된다. 따라서 현재 상부 조간대 유공충의 $\delta^{18}\text{O}$ 값이 낮은 것은 아마도 산소 동위원소 성분값이 가벼운 육수의 영향을 받은 결

과로 해석된다.

*E. etigoense*의 산소 및 탄소 동위원소 값이 조간대 내에서는 상부, 중부, 하부의 구분에 관계없이 대체로 일정한 것으로 보아 현재의 측정값이 현재 표층해수와 평형상태를 이루고 있는 값이라고 해석된다.

결 론

서해안 곰소만 조간대에 산출되는 유공충 *Elphidium etigoense*와 *Ammonia beccarii tepida*의 산소 및 탄소 동위원소 성분을 연구한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 유공충에 잔류하는 유기물을 제거하는 방법으로는 진공-가열 방법이 과산화수소수-아세톤 방법보다 용이하고 우수하였다.

둘째, *E. etigoense*의 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 최소 -3.20%에서 최고 +0.58%이다. 이 중 아주 낮은 값을 보여주는 상부 조간대 표층 한개를 제외하면 평균 값은 -0.03%이다. 또한 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 최소 -5.26%에서 최고 -0.93%이고 평균값은 -3.25%이다.

셋째, *A. beccarii tepida*의 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 -1.11%, -0.18%, +0.61%이고 평균값은 -0.23%이다. 또한 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 -2.04%, -1.43%, -1.40%이며 평균값은 -1.62%이다.

넷째, 상부조간대에 우세한 *E. etigoense*와 중부, 하부 조간대에 우세한 *A. beccarii tepida*의 평균 $\delta^{18}\text{O}$ 값 차는 아주 낮은 값을 보여주는 시료 한개를 제외하면 0.20%이고 평균 $\delta^{13}\text{C}$ 값의 차는 1.63%이다. 또한 2종의 유공충의 $\delta^{18}\text{O}$ 값은 조간대의 상부, 중부, 하부 환경에 관계없이 대체로 유사하다.

다섯째, 유공충 2종 공히 동일종 내에서 $\delta^{18}\text{O}$ 값과 $\delta^{13}\text{C}$ 값은 대체로 정비례 관계를 보여준다.

사 사

이 연구에 사용한 유공충을 분류하고 동정해 준 한국해양연구소의 우한준박사, 논문을 읽고 좋은 의견을 제시해 주신 부산대학교 한명우 박사 그리고 곰소만 조간대 표층을 사용하게 해주신 한국해양연구소 지질연구부 한상준 박사께 감사한다.

참고문헌

- 국립지리원, 1981. 연안해역 기본조사 보고서 (석포지구). 56pp.
- 박병권, 이의형, 이광식, 1994. 서귀포층 개형층의 안정동위원소 성분. 대한지질학회지 (인쇄중).
- 한국해양연구소, 1992. 제4기 해수면 변화의 모델개발 및 퇴적환경 변화에 대한 종합연구(I). BSPG 00162-459-5, 187pp.
- 한국해양연구소, 1993. 제4기 해수면 변화의 모델개발 및 퇴적환경 변화에 대한 종합연구(II). BSPN 00186-606-5, 120pp.
- Arnàl, R. E., P. J. Quintero, T. J. Conomos and R. Gram, 1980. Trends in the distribution of recent foraminifera in San Francisco Bay. *Cush. Found. Spe. Pub. no. 19, Memorial to Orville L. Bandy*, 17-39.
- Berger, W. H., J. S. Killingly and E. Vincent, 1978. Stable isotopes in deep sea carbonates: Box Core ERDC-92, west equatorial Pacific, *Oceanol. Acta*, 1: 203-216.
- Chang, S. K. and K. S. Lee, 1982. Recent benthic Foraminifera from the intertidal flats of vicinity of Inchun. Korea. *Bull. Korea Ocean Reserach & Development Institute*, 4: 63-72.
- Chang, S. K. and K. S. Lee, 1984. A study on the Recent benthic foraminifera of the intertidal flats of Asan Bay, Korea. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 20: 171-188.
- Cheong, H. K., 1989. A study on the benthic foraminifera from the tidal flats adjacent to the Inchon, Korea. *Jour. Paleont. Soc. Korea*, 5: 37-52.
- Cheong, H. K., K. H. Paik and B. K. Park, 1992. Faunal analysis and oceanic environment of the Recent benthic foraminifera from the west and south sea of Korea. *Jour. Oceanol. Soc.*, 27: 123-136.
- Craig, H., 1957. Isotopic standards for carbon and oxygen correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 12: 133-149.
- D'Hondt, S., 1993. On stable isotopic variation and earliest Paleocene planktonic foraminifera. *Paleocean*, 8: 527-547.
- Emiliani, C., 1954. Depth habitats of some species of pelagic foraminifera as indicated by oxygen isotope ratios. *Am. J. Sci.*, 252: 149-158.
- Epstein, S., R. Buchsbaum, H. A. Lowenstam and H. C. Urey, 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 64: 1315-1326.
- Erez, J. and B. Luz, 1983. Experimental paleotemperature equation for planktonic foraminifera. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 1025-1031.
- Reedy, K. R. and R. J. Rao, 1984. Foraminifera-salinity relationship in the Pennar estuary, India. *J. Foramin. Res.*, 1: 115-119.
- Scott, D. B., M. A. Williamson and T. E. Duffett, 1981. Marsh foraminifera of Prince Edward Island-Their Recent distribution and application for former sea level studies. *Mari Sed. Mari. Geol.*, 17: 98-129.
- Shackleton, N. J. and M. A. Hall, 1993. Stable isotope records in bulk sediments (LEG 138), (unpublished).
- Shackleton, N. J. and N. D. Opdyke, 1973. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific core V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10^5 and 10^6 year scale. *Quat. Res.*, 3: 39-55.
- Spero, H. J., 1992. Do planktic foraminifera accurately record shifts in the carbon isotopic composition of sea water ΣCO_2 ? *Mar. Micropaleontol.*, 19: 275-285.
- Spero, H. J., I. Lerche and D. F. Williams, 1991. Opening the carbon isotope "vital effect" black box, 2, quantitative model for interpreting foraminiferal carbon isotope data. *Paleocean.*, 6: 639-655.
- Swart, P. K., S. J. Burns and J. J. Leder, 1991. Fractionation of the stable isotopes of oxygen and carbon in carbon dioxide during the reaction of calcite with phosphoric acid as a function of temperature and technique. *Chem. Geol. (Isot. Geosci. Sect.)*, 86: 89-96.
- Urey, H. C., 1947. The thermodynamic properties of isotopic substances. *J. Chem. Soc.*, 562-581.
- Walton, W. R. and B. J. Sloan, 1990. The genus *Ammonia* Brunnich, 1772: its geographic and morphologic variability. *J. Foramin. Res.*, 20: 128-156.
- Wang, P., Q. Min and Y. Bian, 1985. On marine-continental transitional faunas in Cenozoic deposits of East China. China Ocean Press, Beijing, 15-33.