

## 한국 남부 연안해역의 탄소동위원소연대 보정

공기수\* · 이치원

한국지질자원연구원 석유해저자원연구부

### Marine Reservoir Corrections ( $\Delta R$ ) for Southern Coastal Waters of Korea

GEE SOO KONG\* AND CHI WON LEE

*Petroleum & Marine Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources (KIGAM),  
# 30, Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea*

한국 주변해역의 해양시료에서 측정된 탄소동위원소 연대 값을 실제 역년(calendar age) 값에 가깝게 변환하기 위하여 국립수산과학원(NFRDI)에서 제공한 핵실험 이전인 1942년에 한국 연안에서 채취한 2종의 연체동물 패각 시료를 이용하여 marine reservoir correction( $\Delta R$ ) 값을 측정하였다. 남서해안에서의 측정된  $\Delta R$  값은  $-117 \pm 45$   $^{14}\text{C yr}$ , 남동해안에서 측정된 값은  $-160 \pm 35$   $^{14}\text{C yr}$ 로 계산되었다. 이 값들은 황해의 중국연안에서 측정된 값( $-81 \pm 60 \sim -178 \pm 50$   $^{14}\text{C yr}$ )들의 범위에 속하는데 이는 중국과 한국 연안해역에서 reservoir  $^{14}\text{C age}$ 가 지구규모의 해양 평균 reservoir  $^{14}\text{C age}$ 보다 적은 값을 갖고 있음을 말한다. 이들 지역의 낮은  $\Delta R$  값은 아마도 담수유입의 영향을 반영하는 것으로 생각된다. 본 연구에서 제시된  $\Delta R$  값은 한국 주변해역에서 측정된 탄소동위원소 연대 값을 실제 역년 값에 가깝게 변환시킬 수 있도록 도움을 줄 것이다.

Marine reservoir correction ( $\Delta R$ ) values are measured using two species of mollusk tests collected by NFRDI in 1942 before nuclear bomb testing to convert the radiocarbon age to calendar age in Korean coastal waters more accurately. The  $\Delta R$  values are calculated to be  $-117 \pm 45$   $^{14}\text{C yr}$  in the southwestern coast of Korea and  $-160 \pm 35$   $^{14}\text{C yr}$  in southeastern coast. These values are similar to those in Chinese coast of the Yellow Sea ( $-81 \pm 60 \sim -178 \pm 50$   $^{14}\text{C yr}$ ), indicating that regional reservoir  $^{14}\text{C ages}$  of these areas are lower than mean global reservoir  $^{14}\text{C age}$ . The lower  $\Delta R$  values in these areas are presumed to be mainly caused by influence of freshwater inflow. The  $\Delta R$  values presented in this study enhance the accuracy in converting radiocarbon age to calendar age in Korean coastal waters.

**Key words:** Calendar Age, Marine Reservoir Correction ( $\Delta R$ ), Korean Coastal Waters, Pre-nuclear Bomb Mollusks

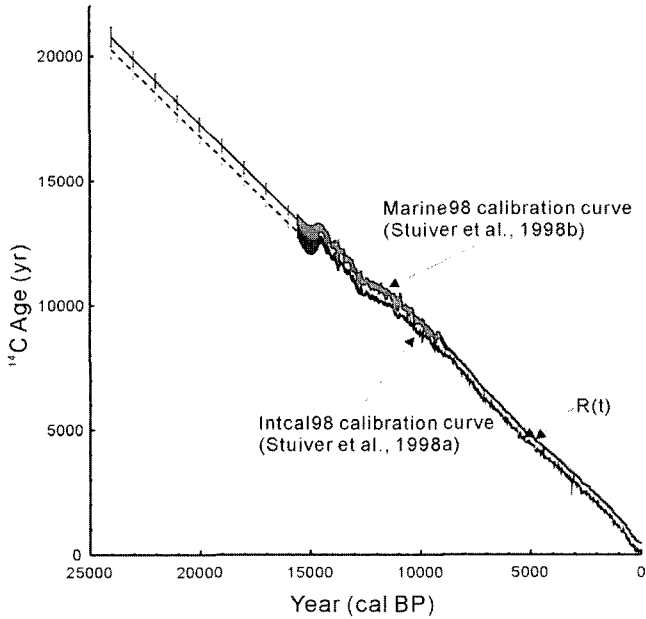
### 서 론

최근 탄소동위원소를 이용한 연대측정(AMS  $^{14}\text{C age dating}$ )이 해양지질학 분야를 비롯하여 여러 분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 이는 아마도 짧은 반감기 때문에 다른 연대측정방법에 비해 인류의 역사와 관련된 약 50,000년까지의 비교적 자세한 연대측정에 매우 효율적인 방법으로 여겨지기 때문으로 생각된다. 그런데 이러한 탄소연대측정은 대기 중에  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}(1.2 \times 10^{-12})$ 의 비율이 지난 70,000년 동안 모든 장소, 모든 생물에 대하여 항상 일정하다는 가정 하에서 이루어진다. 그러나 대기 중의  $^{14}\text{C}$  함량이 지난 시간동안 1) 태양활동에 의한 cosmic rays의 변화, 2) 지구자기장의 강도변화, 3) 기후변화에 따른 지구 내 carbon reservoir의 변화로 인해서 항상 일정하지 않았다(Faure, 1986). 이러한 이유로,

탄소동위원소 연대를 통해 실제 정확한 역사적 연대를 측정하는데 많은 어려움이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 최근에 연대를 알고 있는 나이테의 탄소동위원소 연대를 측정하여 대기 중의 이산화탄소( $\text{CO}_2$ )와 평형을 이루는 표준 시료의 atmospheric calibration dataset(Intcal98; Stuiver *et al.*, 1998a)을 구축하였고 이를 통하여 육상시료에서 측정된 탄소동위원소 연대를 실제 역년 값에 가깝게 환산할 수 있게 되었다.

그러나 해양환경에 서식하는 생물들은 동시대에 육상에서 서식하던 생물과는 다른  $^{14}\text{C}$  함량에 노출되어 있었기 때문에 해양에서 채취한 시료의  $^{14}\text{C}$  연대는 동시대의 육상생물의  $^{14}\text{C}$  연대와 분명한 차이를 보인다. 일반적으로 해수의 혼합층(0-75 m)에 서식하는 생물의 탄소동위원소 연대는 동시대의 육상생물의 연대보다 약 400년 정도 앞선 것으로 나타난다(Ingam and Southon, 1996). 이러한 동시대의 해양과 대기간의 탄소동위원소 연대차이를 global reservoir  $^{14}\text{C age}$ ,  $R(t)$ 로 표현한다(Stuiver and Braziunas, 1993).

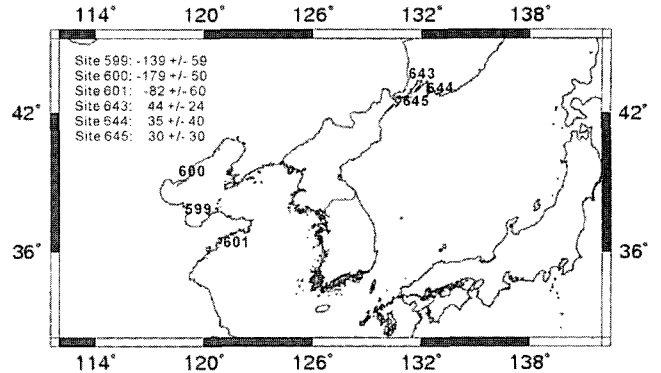
\*Corresponding author: kong@kigam.re.kr



**Fig. 1.** Comparison of atmospheric and marine calibration curves (Stuiver *et al.* 1998a, 1998b). R(t), as global reservoir effect is radiocarbon age difference between atmosphere and marine environments at same time.

그러나 해양시료에서는 육상식물의 나이테와 같은 미세하고 연속적인 구조를 찾기 어렵기 때문에, 표준 해양시료에 적용되는 marine calibration dataset(Marine98; Stuiver *et al.*, 1998b)은 간접적으로 표준 육상시료에 적용되는 Intcal98 calibration dataset에 AD 1850의 평균 global reservoir  $^{14}\text{C}$  age( $R(t)=402$  yr)를 고려한 대기-해양간의 탄소순환을 컴퓨터 모델링 결과에 산호와 호상점토층에서 측정된 탄소동위원소 연대 값을 추가한 결과를 근거로 하고 있다. 따라서 두 calibration dataset의 차이는 평균적으로 해양의 혼합층내의 탄소동위원소 함량이 동시대의 대기 중 탄소동위원소 함량에 비해 약 400  $^{14}\text{C}$  yr에 해당하는 만큼 고갈되어 있음을 반영한다(Fig. 1).

그러나 지역적으로 용승이나 담수유입의 영향을 받는 연안지역에서는 이러한 지구규모적인 평균값을 적용하기는 어렵다. Marine reservoir correction( $\Delta R$ )은 이러한 global reservoir  $^{14}\text{C}$  age,  $R(t)$ 와 regional reservoir  $^{14}\text{C}$  age,  $R'(t)$ 의 차이를 말한다. 북반구의 경우,  $\Delta R=R'(t)-R(t)$ 로 표현될 수 있는 반면에, 남반구에서  $\Delta R=R'(t)-R(t)+\Delta R_a$ 로 표현된다. 여기서  $\Delta R_a$ 는 남반구와 북반구의 대기중  $^{14}\text{C}$  함량의 차이로서 40  $^{14}\text{C}$  yr이다(Vogel *et al.*, 1993). 따라서 지역적인 해양시료에서 측정된 탄소동위원소 연대로부터 실제 연대에 가까운 값을 얻기 위해서는 그 지역에서의  $\Delta R$  값을 반드시 알아야만 한다. 그러나 1950년대 이후의 핵실험에 의하여 대기 중에  $^{14}\text{C}$  함량이 인위적으로 크게 증가하였기 때문에  $\Delta R$ 값은 1950년 이전에 채집된 연대를 알고 있는 탄산염 패각시료의 탄소동위원소 연대와 Marine98 calibration dataset에서 패각이 채집된 년도에 해당하는 탄소동위원소 연대 값의 차이를 통해서 간접적으로 측정할 수밖에 없다. 이렇게 측정된  $\Delta R$  값은 해당 지역에서 시간에 따라 항상 일정하다고 전제하여 연대보정시 적용된다.



**Fig. 2.** Geographic distribution map of  $\Delta R$  values ( $^{14}\text{C}$  yr) in coastal regions of Eastern Asia. The numbers represent the sites in the world marine reservoir correction database(<http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/marine>).

$\Delta R$  값은 지금까지 전 세계적으로 657개의 연안지역에서 측정 보고 되었는데(<http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/marine>), 그 중 한국 주변해역에는 황해의 중국연안에서 3지점(평균 값 포함), 그리고 동해의 블라디보스톡 연안에서 3지점(평균 값 포함)이 보고되었다(Fig. 2). 그러나 지금까지 한국 연안에서는  $\Delta R$  값이 측정 보고 된 적이 없고 이로 인하여 한국 주변해역에서 채취된 퇴적물에서 탄소동위원소 연대를 실제 연년에 가까운 값으로 환산하는데 많은 어려움이 있었다. 본 연구는 연대를 알고 있는 핵실험이전 채취된 연체동물 시료에서 측정된 탄소동위원소 연대를 통하여  $\Delta R$  값을 구하고, 이 값을 통하여 한국 주변해역에서 채취된 퇴적물시료에서 측정된 탄소동위원소 연대를 실제 연년 값에 가깝게 환산하는 것을 돕고자 한다.

## 재료 및 방법

본 연구에 사용된 2종의 연체동물 시료는 국립수산과학원(NFRDI)에서 제공받았다(Fig. 3). 반지락(*Venerupis amygdala*)은 우리나라 남서해안, 특히 조간대의 모래와 펄이 섞인 지역에 주로 분포하는 이매패류이며, 대수리(*Thais clavigera*)는 우리나라 남동해안 수심 20 m 사이의 조간대의 암초지대에 주로 서식하는 복족류이다. 국립수산과학원의 자료에 의하면, 두 시료의 채취 시기는 핵실험이전인 1942년인 것으로 명확히 기록되어 있으나 그 채취장소는 두 시료 모두 정확히 기술 되어 있지 않았다. 어떤 종이 특정지역에서 우세하게 분포한다고 하여 반드시 그 지역에서 채취한 것으로 보기 어렵지만 수산과학원 관계자에 따르면 보관중인 연체동물 시료들이 대부분 서남해와 남동해 주변에서 채취된 것으로 나타났다. 또한, 이들 시료를 이용하여 측정된  $\Delta R$  값이 일부 한정된 좁은 지역에 국한되어 적용되는 것이 아니기 때문에, 비록 두 시료의 정확한 채취 장소에 대한 불명확한 한계성은 있으나 두 시료의 채취 장소를 그들이 우세하게 분포하고 있는 남서해안과 남동해안일 것으로 추정하였다.

패각들의 탄소동위원소 연대는 뉴질랜드 지질핵과학연구소(Institute of Geological and Nuclear Sciences)의 EN Tandem Van de Graaft 질량가속기로 이용하여 측정하였다. 패각시료는 용매제

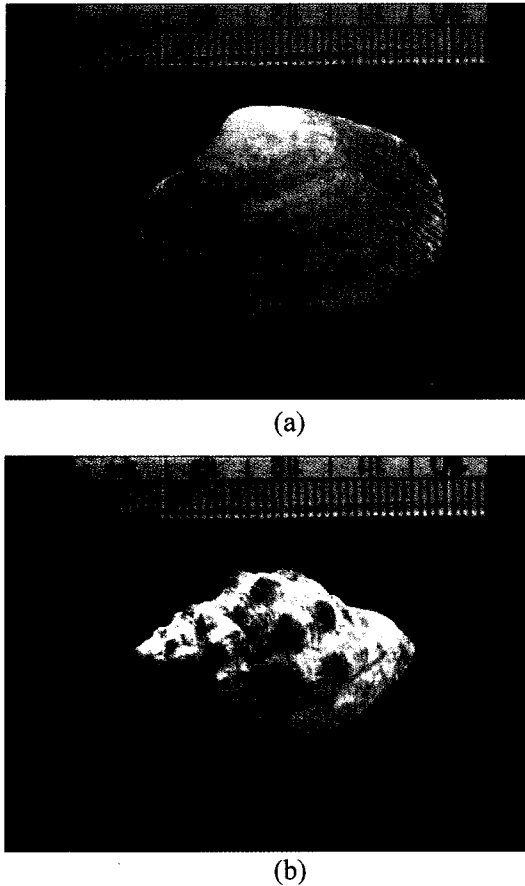


Fig. 3. Photos of mollusk samples to be dated in this study a) *Venerupise amygdala* b) *Thais clavigera* (scales: cm).

를 사용하여 초음파세척한 후 표면을 갈아내어 오염요인을 제거하였다. 최외곽의 패각에서 적어도 1년에 해당하는 수 mm 만큼을 떼어내어 0.5 mm이하로 잘게 부순 후 0.1 M HCl로 시료를 일부 부식시켜 남은 시료를 증류수로 깨끗이 세척하고 건조시켰다. 약 10-15 mg의 시료에 85% 인산(H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>)을 부어 이산화탄소를 발생시킨 후, 발생된 이산화탄소를 수소환원을 통해 흑연(graphite)로 변환하고 가속기내 검출기에서 <sup>14</sup>C 입자를 측정하여 탄소동위원소 연대를 계산하였다.

**결과 및 토의**

1942년도 남서해안과 남동해안에 서식하던 연체동물의 패각에서 측정된 탄소동위원소 연대 값, Marine98 calibration curve (Stuiver *et al.*, 1998b)상에서 1942년도에 해당하는 탄소동위원소 연대 값, 그리고 두 탄소동위원소 연대 값의 차이로 계산된 ΔR 값은 Table 1에서 보는 바와 같다. 이 외에 표에 나타난 δ<sup>13</sup>C(‰), δ<sup>14</sup>C(‰), Δ<sup>14</sup>C(‰), 그리고 Per cent modern은 Stuiver and Polach(1977)의 정의를 따르며, 이들 용어의 의미는 <http://www.gns.cri.nz/rafter/glossary.htm>에 자세히 기술되어 있다. ΔR 값은 계산에 적용된 marine calibration curve에 따라 다소 차이를 보인다(Fig. 4). 이러한 두 곡선의 차이는 calibration model에 적용된 파라미터의 차이, 그

Table 1. Radiocarbon ages of mollusks lived at AD 1942 and the calculated ΔR values in Korean coastal waters.

AMS Lab. No.	NZA 19426	NZA 19427
Sample ID	<i>Venerupise amygdala</i>	<i>Thais clavigera</i>
Collection date (yr AD)	1942	1942
Assumed location	southern west coast	southern east coast
Radiocarbon age (yr BP)	350±45	307±35
δ‰ <sup>13</sup> C (‰)	0	1.56
δ‰ <sup>14</sup> C (‰)	0.5±5.5	9.1±4.4
Δ <sup>14</sup> C (‰)	-48.9±5.2	-43.7±4.2
Per cent modern	95.11±0.52	95.63±0.42
Model <sup>14</sup> C age (yr BP) at 1942	467±7	467±7
ΔR (yr)	-117±45	-160±35

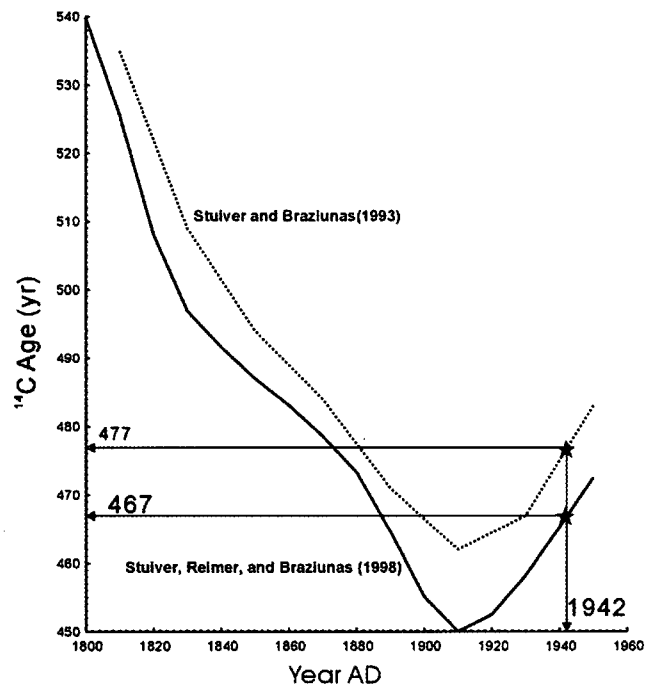


Fig. 4. Marine calibration curves between AD 1800 and 1960. Dashed line is based on Stuiver and Braziliunas (1993), whereas solid line is based on Stuiver *et al.* (1998b) which is applied in this study.

리고 marine calibration dataset의 초기 모델링 과정에 사용된 atmospheric calibration dataset의 미미한 차이에 의해 발생될 수 있다. 그러나 <sup>14</sup>C 연대측정 시 발생하는 오차나 ΔR 값의 시간에 따른 변화 등을 고려하였을 때 이러한 차이는 무시될 수 있다 (Southon *et al.*, 2002). 본 연구에서는 갱신된 자료를 포함하고 있는 Stuiver *et al.*(1998b)의 곡선을 적용하여 ΔR값을 계산하였다.

한국 연안에서의 측정된 ΔR 값은 남서해안에서 -117±45 <sup>14</sup>C yr 그리고 남동해안에서 -160±35 <sup>14</sup>C yr로 나타났다(Table 1). Fig. 2에서 보는 바와 같이, 황해 중국연안에서 측정된 ΔR 값들은 -179±50 와 -82±60 <sup>14</sup>C yr사이의 범위로 대부분 음(-)의 값을 보인 반면, 동해의 블라디보스톡 주변 연안에서 측정된 값은 35±40와 50±30 <sup>14</sup>C yr 사이의 양(+)의 값을 보인다. ΔR 값은 측정된 연체동물의 substrate, growth habitat, 그리고 species에 따라 차이가 날 수 있으나(Dye, 1994; Hogg *et al.*, 1998), 지역적인 ΔR 값의 변화는

주로 용승이나 담수유입과 같은 해양물리환경에 의해 크게 영향을 받는다(Stuiver *et al.*, 1986; Spiker, 1980). 즉, 용승이 활발한 지역에서는 저층의 오래된 해수의 영향으로  $\Delta R$  값이 상대적으로 높은 양(+)의 값을 갖는 반면, 담수의 유입이 활발한 지역에서는 육상환경의 영향으로 음(-)의 값이 우세하게 나타난다. 그러나 음(-)의 값을 갖는 지역 중 기수역이나 협만에서 측정된  $\Delta R$  값은 국부적인 육상환경의 영향만을 크게 반영하기 때문에 지역적인 대표 값에서 제외될 수 있다(Heier-Nielsen *et al.*, 1995). 2005년 현재까지 수록된 전 세계 655개(평균 값 포함)의  $\Delta R$  값 중 양(+)의 값을 갖는 지역은 505개, 그리고 음(-)의 값을 갖는 지역은 150개로 대부분의 연안지역에서  $\Delta R$  값은 양(+)의 값이 우세하게 나타났다(<http://radiocarbon.pa.qub.ac.uk/marine>). 즉, 지구규모의 평균 reservoir 효과 보다 지역적인 reservoir 효과가 상대적으로 더 높은 값을 갖는 것으로 나타났다.

그러나 본 연구에서 측정된 한국 연안에서의  $\Delta R$  값은 대체로 높은 음(-)의 값을 보인다. 황해의 평균  $\Delta R$  값( $-139 \pm 59$   $^{14}\text{C}$  yr; Fig. 2)에 비해 남서해안의  $\Delta R$  값( $-117 \pm 45$   $^{14}\text{C}$  yr)은 상대적으로 높고, 남동해안의  $\Delta R$  값( $-160 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  yr)은 더 낮은 값을 보인다. 그러나 각 값들의 표준편차를 고려하였을 때 이들 값들은 대체로 서로 유사한 범위를 보인다. 중국연안과 한국 남서해안에서 음(-)의 값이 우세하게 나타나는 것은 홀로세 해침 이후 주변대륙으로부터 지속적으로 유입되는 담수의 영향 때문인 것으로 생각된다. 반면에, 남동해안은 지역적으로 황해보다는 외해의 영향을 더 받기 쉬운 지역임에도 불구하고 이 지역에서의  $\Delta R$  값이 황해에 접한 연안의 값들보다 오히려 다소 낮은 값을 보이고 있다. 이는 아마도 남동해로 매년 많은 양의 담수와 쇄설성 퇴적물을 남해로 방류하는 한국 기원의 섬진강 그리고 낙동강의 영향, 또한 남해안에 발달된 강한 연안전선(한국연안류와 쓰시마 해류사이)의 영향을 반영하는 것으로 보인다(Park *et al.*, 1999). 이러한  $\Delta R$  값의 결과와 해석은 본 연구에 사용된 연체동물들이 현재 이들이 우세하게 서식하는 서남해안과 남동해안이 이들 시료의 채취장소일 가능성을 높게 해준다.

Table 1에서 보는 바와 같이 두 지역에서 측정된 시료의  $\delta^{13}\text{C}$  값(표준 PDB 시료와 측정시료의 탄소안정동위원소 비를 의미, 측정된 탄소연대 값에서 동위원소의 분화를 보정할 때 사용)이 일반적으로 음(-)의 값이 우세하게 나타나는 기수역보다 높은 값을 보이고 있다(Southon *et al.*, 2002; Kim and Kennett, 1998). 이것은 두 지역에서 나타나는 음(-)의  $\Delta R$  값이 담수영향을 직접 받는 기수역을 반영하기 보다는 외해의 영향을 덜 받은 연안환경을 반영하는 것으로 해석될 수 있다. 그러나 만약 남동해 연안에 발달한 연안전선의 외해 쪽에서 채취한 패각시료에서  $\Delta R$  값을 구하였다면, 아마도 남동해안의  $\Delta R$ ( $-160 \pm 35$   $^{14}\text{C}$  yr)값은 보다 높은 값을 나타낼 수 있을 것이다.

현재까지 한국 주변해역에서 탄소동위원소 연대를 역년 값으로 변환하여 사용한 연구와 연대보정의 문제점들을 간단하게 살펴보면 다음과 같다. Kim and Kennett(1998)은 태안반도 조간대에서 획득한 코아(DH4-1)의 표층에서 측정된 탄소동위원소 연대가  $4 \pm 73$   $^{14}\text{C}$  yr BP로 보고하였다. 이후 Kim *et al.*(1999) 그리고 Kim and Kucera(2000)는 이러한 Kim and Kennett(1998)의 측정결과를 근거로 황해의 reservoir 효과는 크지 않기 때문에 이 지역에서 탄소동위원소 연대를 역년으로 변환할 때 reservoir 효과를 고려할

필요가 없음을 제시했다. 이것은 지구규모적으로 발생한 대기-해양간 약 400 년의 reservoir 효과가 황해에서는 거의 일어나지 않음을 의미하는 것으로서, 황해에서는 대기-해양간의 탄소순환이 매우 활발하여 황해 표층수의 탄소동위원소 함량과 황해 대기 중의 함량이 거의 유사함을 의미한다.

그러나 Stuiver *et al.*(1998a, 1998b)에 따르면, 핵실험이전인 AD 1950년의 역년 값은 0 cal. BP이며, 이때의 대기 중의 탄소동위원소 연대는  $210 \pm 14$   $^{14}\text{C}$  yr BP, 그리고 해양환경에서의 탄소동위원소 연대는  $472 \pm 13$   $^{14}\text{C}$  yr BP로 제시하였다. 또한, 핵실험 이후, 적어도 1955년 이후에 대기 중에  $^{14}\text{C}$ 의 양이 짧은 시간동안 급격히 증가하여 대기 중에서 측정된 식물의 탄소동위원소 연대는 일반적으로 음(-) 값을, 해양생물의 연대값은 1950년의 값보다 매우 낮은 값을 갖게 된다(Peck and Brey, 1996; Druffel and Griffin, 1999). 이러한 불확실성 때문에 일반적으로 1950년 이후의 시료에서 측정된 탄소동위원소 연대 값은 인정되지 않는다. 따라서 Kim and Kennett(1998)의 측정값은 이들이 현생 조간대 표층에서 시료를 채취한 것과 측정된 연대값이 지나치게 낮은 값을 보이는 것을 고려할 때 이 값은 아마도 핵실험 이후 대기 중에 급속히 증가된  $^{14}\text{C}$ 의 영향을 반영하는 것으로 생각된다. 따라서 이 값을 근거로 regional reservoir 효과를 고려하지 않은 Kim *et al.*(1999) 그리고 Kim and Kucera(2000)의 역년 값들은 실제 값과 많은 차이를 보일 수 있다. 또한, 만약 황해에서 대기-해양간의 탄소교환이 매우 활발하여 reservoir 효과가 매우 미미하다고 가정한다면, Kim *et al.*(1999), 그리고 Kim and Kucera(2000)는 탄소연대를 역년으로 환산할 때 Stuiver and Braziunas(1993)의 해양시료의 calibration dataset을 사용하기 보다는 육상시료에 적용되는 Intcal98 calibration dataset(Stuiver and Reimer, 1998a)을 사용하여야 한다.

한편, 남 등(2003)은 동중국해 북부해역에서 측정된 탄소동위원소 연대 값에서 global marine reservoir 효과인 400 년을 단순히 빼줌으로서 역년 값을 산출하고 이를 Kim and Kennett(1998) 및 Kim *et al.*(1999)의 역년자료와 비교하였다. Stuiver *et al.*(1998b)에 따르면, 해양시료에서 탄소동위원소 연대( $^{14}\text{C}$  yr BP)값은 BC 2070년 이후부터 역년(cal yr BP) 값보다 작아지기 시작한다. 즉, AD 1950년에서 BC 2070년 사이에는 탄소동위원소 연대 값이 역년에 비해 오히려 더 큰 값을 갖는다. 따라서 reservoir 효과를 고려하기 위하여 이들이 탄소동위원소 연대에서 단순히 400 년을 빼는 방법은 4,000  $^{14}\text{C}$  yr BP을 전후로 큰 오차를 야기시킨다. 더욱이 이들의 연대보정 결과를 다른 환산방식으로 계산된 Kim and Kennett(1998) 및 Kim *et al.*(1999)의 결과와 연대대비를 하는 것은 시간에 따른 환경 변화를 잘못 해석할 수 있게 한다.

최근에 고기후, 고환경 연구에서 탄소동위원소 연대를 역년으로 변환하여 자주 사용하고 있는 이유는 이들 연구에서 밝히고자 하는 내용이 단순히 지질학적인 의미보다는 인류역사와 밀접한 관계가 있는 내용이기 때문으로 생각된다. 따라서 이러한 연구에서 실제 역사적 연대와 직접적으로 대비되는 역년의 계산은 정확하고 통일된 방법을 이용할 필요가 있다.

이러한 목적으로 1986년 Stuiver and Reimer가 탄소동위원소 연대를 역년으로 환산하여 실제 시료의 연대에 가까운 값의 분포를 찾는 Calib ver 1.0 프로그램을 개발한 이후 현재 Calib ver 4.4가 널리 사용되고 있다. 이 프로그램에서 해양시료의 탄소동위원

소 연대보정은 Marine98 calibration dataset를 이용하며 460-20,760  $^{14}\text{C}$  yr BP까지 계산이 가능하다. 그러나 탄소동위원소 연대가 460  $^{14}\text{C}$  yr BP보다 적은 값, 즉 1950년대 이후의 시료에서 측정된 값은 핵실험에 의한 영향을 고려하여 계산에서 제외된다.

Calib 4.4를 통하여 해양시료의 탄소동위원소 연대로부터 역년(cal. yr BP) 또는 역사적 연대(cal yr BC/AD) 값을 계산하기 위해서는 측정된 탄소동위원소 연대와 더불어 Percent Marine Carbon의 비율, Lab Error Multiplier, 그리고  $\Delta R$  값을 알아야 한다. 해양시료의 경우 Percent Marine Carbon의 비율은 100%로 가정되며 만약 보다 정확한 비율을 알고자 할 경우 시료에서 측정된 안정동위원소 성분비,  $\delta^{13}\text{C}$  값을 이용하여 얻을 수 있다. 또한 Lab Error Multiplier는 일반적으로 "1"을 사용하지만 측정실험실에 따라 달라질 수 있기 때문에 각 실험실에서 제공하는 값을 사용하면 된다. 따라서  $\Delta R$  값을 알게 되면 실제 역년 값에 가까운 시료의 연대를 알 수 있게 된다. 만약  $\Delta R$  값이 측정되지 않은 경우, 차선적으로 Calib 4.4 프로그램에서  $\Delta R=0\pm 50$   $^{14}\text{C}$  yr을 적용하여 global marine reservoir 효과만을 고려하여 계산한다(Paula Reimer, personal communication). 따라서 본 연구에서 제시한 남서해안과 남동해안의  $\Delta R$  값은 한국 주변해역에서 채취된 해양시료의 탄소동위원소 연대를 실제 역년에 가까운 값으로 보정하는데 기여할 것으로 생각된다.

## 결 론

1) 한국 주변해역 표층수의  $\Delta R$  값은 남서해안에서  $-117\pm 45$   $^{14}\text{C}$  yr, 그리고 남동해안에서  $-160\pm 35$   $^{14}\text{C}$  yr로 계산되었다. 이 값들은 중국연안에서 측정된  $\Delta R$  값들과 유사한 값을 보인다. 이들 지역의 낮은  $\Delta R$  값들은 한국 남부 해역이 외해의 영향보다는 주변 대륙으로부터 유입되는 담수의 영향을 상대적으로 더 많이 받아 왔음을 시사한다.

2) 지금까지 우리나라 근해에서 측정된 탄소동위원소 연대를 역년 값에 가깝게 환산하는데 많은 어려움이 있었다. 비록 채취지점이 정확하지는 않으나 본 연구에서 제시된 두  $\Delta R$  값들은 Calib 4.4 프로그램을 통하여 남서해안과 남동해안에서 측정된 해양시료의 탄소동위원소 연대를 실제 역년 값으로 쉽고 정확하게 변환하는데 도움을 줄 것이다.

## 사 사

본 연구의 연대측정에 사용된 패각시료를 제공하여 주신 국립수산과학원에 깊은 감사드립니다. 논문 심사를 맡아주신 이동섭 교수님, 그리고 김동선, 강동진 박사님께 감사드립니다. 도움주신 장정해 박사님께 감사드립니다. 본 연구는 한국과학재단 특정기초(R01-2005-000-10182-0) 사업의 일환으로 지원 수행되었습니다.

## 참고문헌

남승일, 김성필, 장정해, A. Mackensen, 2003. 마지막 해빙기 해침 이후 동중국해 북부해역과 황해의 고환경 변화. 지질학회, 39(2): 149-160.  
Druffel E.R.M. and S. Griffin, 1999. Variability of surface ocean

radiocarbon and stable isotopes in the southwestern Pacific. Journal of Geophysical Research, 104(10): 23,607-23,613.  
Dye, T., 1994. Apparent ages of marine shells: implications for archaeological dating in Hawaii. Radiocarbon, 36: 51-57.  
Faure, G., 1986. Principles of isotope geology (2nd). John Wiley & Sons, New York, pp. 393-394.  
Heier-Nielsen, S., J. Heinemeier, H.L. Nielsen and N. Rud, 1995. Recent reservoir ages for Danish fjords and marine waters. Radiocarbon, 37: 875-882.  
Hogg, A.G., T.F.G. Higham and J. Dahm, 1998.  $^{14}\text{C}$  dating of modern marine and estuarine shellfish. Radiocarbon, 40: 975-984.  
Ingram, B.L. and J.R. Southon, 1996. Reservoir ages in eastern pacific coastal and estuarine waters. Radiocarbon, 38(3): 573-582.  
Kim, D.S., Park, B.K., and I.C. Shin, 1999. Paleoenvironmental changes of the Yellow Sea during the Late Quaternary. Geo-Marine Letters, 18: 189-194.  
Kim J.M. and J.P. Kennett, 1998. Paleoenvironmental changes associated with the Holocene marine transgression, Yellow Sea (Hwanghae). Marine micropaleontology, 34: 71-89.  
Kim J.M. and M. Kucera, 2000. Benthic foraminifer record of environmental changes in the Yellow Sea (Hwanghae) during the last 15,000 years. Quaternary science reviews, 19: 1067-1085.  
Park, S.C., D.G. Yoo, K.-W. Lee, and H.-H. Lee, 1999. Accumulation of recent muds associated with coastal circulations, southeastern Korea Sea (Korea Strait). Continental shelf research, 19: 589-608.  
Peck, L.S. and T. Brey, 1996. Bomb signals in old Antarctic brachiopods. Nature, 380: 207-208.  
Southon, J., M. Kashgarian, M. Fontugne, B. Metivier and W.W. Yim, 2002. Marine reservoir corrections for the indian ocean and southeast asia. Radiocarbon, 44(1): 167-180.  
Spiker, E.C., 1980. The behavior of  $^{14}\text{C}$  and  $^{13}\text{C}$  in estuarine water: Effects of in situ  $\text{CO}_2$  production and atmospheric exchange. Radiocarbon, 22(3): 647-654.  
Stuiver, M. and H.A. Polach, 1977. Discussion: reporting of  $^{14}\text{C}$  data. Radiocarbon, 19(3): 355-363.  
Stuiver, M., G.W. Pearson and T.F. Braziunas, 1986. Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000 cal yr BP. Radiocarbon, 28: 980-1021.  
Stuiver, M. and T.F. Braziunas, 1993. Modeling atmospheric  $^{14}\text{C}$  influences and  $^{14}\text{C}$  ages of marine samples to 10,000 BC. Radiocarbon, 35(1): 137-189.  
Stuiver, M., P.J. Reimer, E. Bard, J.W. Beck, G.S. Burr, K.A. Hughen, B. Kromer, F.G. McCormac, J. van der Plicht and M. Spurk, 1998a. INTCAL98 radiocarbon age calibration 24,000-0 cal. BP. Radiocarbon, 40(3): 1041-1083.  
Stuiver, M., P.J. Reimer and T.F. Braziunas, 1998b. High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. Radiocarbon, 40(3): 1127-1151.  
Vogel, J.C., A. Fuls, E. Visser and B. Becker, 1993. Pretoria calibration curve for short-lived samples, 1930-3350 BC. Radiocarbon, 35: 73-85.

2005년 2월 22일 원고접수

2005년 4월 7일 수정본 채택

담당편집위원: 이동섭