Jour. Korean Earth Science Society, v. 26, no. 6, p. 541-550, August 2005

# 한국 남해해역 패류군집에서 나타나는 시간평균화 현상과 최종 빙하기 이후 해수면 변동

이 연 규*

국립여수대학교 수산해양대학 해양시스템학부, 550-749, 여수시 둔덕동

# Post-Last Glacial Sea-Level Change and Time-Averaging appeared from the Molluscan Thanatocoenoses in the Southern Sea of Korea

**Yeon Gyu Lee***

Division of Ocean System, College of Fisheries and Ocean Science, Yosu National University, Chonnam 550-749, Korea

**Abstract:** Molluscan shells were sampled from the continental shelf of South Sea: 19 stations in the southeast continental shelf and 5 in the southwest sea, in order to understand characteristics of sea level changes and time-averaging since the last glacial age. Radiocarbon dates were made on 42 dominant and specific species which were sampled from 24 stations. Time-averaging was observed and showed to be 11,939 years in age difference. The sea-level ranged from 150 to 160 m below sea level during the LGM (about 15,000 yrs B.P). The sea-level significantly rose to 60 m at around 9,000 yrs B.P. and became stable at 50 to 60 m between periods between 4,000 and 5,000 yrs B.P. Between 3,000 and 4,000 yrs B.P. the sea-level rapidly rose to a depth of 10~20 m below today's present sea level.

Keywords: the Southern Sea, sea-level change, time-averaging, molluscan thanatocoenoses

**요 약:** 한국 남해해역의 최종빙하기 이후 해수면변화 및 시간평균화 현상을 파악하기위하여 남동대륙붕 19개 정점, 서남해역 5개 정점에서 산출하는 패류유해 중 우점종 및 특징종 42개체에 대해 $^{14}C$연대측정을 행하였다. 측정결과 동일 정점내에서 시간평균화(Time-averaging) 현상이 나타나며 최대 11,939년까지 연대차이가 있었다. 그리고 최종빙하기 이후 남해해역에서의 해수면은 약 15,000년 전 최종빙하기시 해수면이 현재 해수면보다 약 150~160 m 하강하였으며, 이후 약 9,000년까지 해수면이 약 60 m로 급격히 상승하였다. 그리고 이후 약 4,000~5,000년까지 수심 약 50~60 m에서 안정적이었으며, 3,000~4,000년 사이 또 한번의 급한 해수면 상승으로 수심이 현재 해수면보다10~20 m 낮아졌으며, 이후 현재에 이르는 것으로 생각된다.

주요어: 남해해역, 해수면변동, 시간평균화(Time-averaging), 패류유해

## 서 론

한반도 남해해역은 한반도 주변해역의 홀로세 후기(late Holocene) 이후의 해수면 변동을 이해하기 위해 Emery(1969)를 비롯한 여러 연구자들에 의해 조사 연구가 수행되어왔다(Fujii and Fuji, 1982; Fujii and Naruse, 1982; Bloom and Park, 1985). 특히 한반도 남동 대륙붕의 쓰시마 북서해역에 위치한 쓰시마 협곡(Ujiie, 1973)은 남해 대륙붕에서 가장 깊은 해역(수심 230 m; Park et al., 2000)으로서 *Scaphurca broughtonii, Callithaca adamsi, Paronyx arctica, Swiftopecten swifti, Patinopecten yessoensis, Glycymeris yessiensis, Crenomytilus grayanus, Mercenaria stimpsoni, Callista brevisphonata* 등의 패류유해들을 다량 산출하고 있다. 이들 패류유해들은 최종빙하기시 조간대 서식 화석종으로써, 최종빙하기시 해수면 하강 심도를 이해하는데 유용한 정보자료 알려져 있다(波部・小笠, 1970; 岡本・北山,

*Corresponding author: lyg6342@yosu.ac.kr
Tel: 82-61-659-3143
Fax: 82-61-652-1708

1981), 남해 대륙붕에서 최종빙하시기 최저해수면 하상 깊이를 판단하는 것은 대한해협을 중심으로 한반도와 일본 열도와의 육교(landbridge) 및 고 쓰시마 해류(paleo-Tsushima Current) 흐름, 동해 담수화 등 남해대륙붕 주변지역의 고환경을 이해하는데 중요한 역할을 한다. Suk(1989) 및 Park et al.(2000)은 쓰시마를 중심으로 주변해역에서 산출하는 패류유해를 대상으로 연대측정하고 최종빙하시기 해수면이 현재보다 약 130 m 정도 하상하였다고 한다. 이들 연구결과는 최종빙하시기 동해 담수화 즉 쓰시마를 중심으로 일본과 육교가 형성되어 고 쓰시마해류 유입을 부정하는 연구결과(Feng, 1983; Kim et al., 2000)와 견해가 다르다.

최근 $^{14}C$ 연대측정에는 수 mg의 시료량으로도 측정이 가능한 가속기질량분석(AMS: Accelerator Mass Spectrometry)등에서 측정오차를 0.5%이하로까지 할 수 있는 것으로 알려져 있다(Xu et al., 2000; 나카, 2001). 이와 같이 과학기기의 발달과 함께 연대측정의 정확성을 기하기 위하여 끊임없는 노력은 지속되고 있으나, 시추의 퇴적연대를 정확히 정하기에는 측정의 정밀도를 높이는 것도 중요하지만 측정용 시료의 선별 및 자료해석이 필요한 것으로 알려지고 있다(Fujiwara and Kamataki, 2003). 즉 서로 다른 연대치를 갖는 시료가 한 층준에 혼합되어 나타나는 시간평균화(Time-averaging; Walker and Bambach, 1971)는 연대측정에 의한 시추 형성시기 파악에서 저해요인으로 작용하므로 현지성 패각을 선별, 특히 해저에서 잔류시간이 짧고 마모하지 않은 패각을 선별하여 측정하는 것에 따라서 배제할 수 있는 것으로 알려져 있다(Fujiwara and Kamataki, 2003). 이러한 관심은 생물 유해를 시질학적 정보자로 사용하고자 할 때에는 필히 유념해야할 사항인 것으로 생각된다.

본 연구에서는 남해해역에서 채취된 패류유해시료에 대해 시간평균화 현상을 검토하고, 최종빙하기 이후의 해수면변동을 논하고자 한다.

## 연구지역

한국 남해해역의 연안은 빙하기이후 해수면 상승에 수반되어 형성된 전형적인 리아스식(Ria-type) 연안으로서 복잡한 해안선과 많은 내만들로 형성되어 있다. 퇴적물은 주로 현생 세립질 퇴적물로 구성되며, 하천기원 또는 주로 조석류(tidal current)의 영향을 받아 외해로부터 운반되어 오는 것으로 알려져 있다(Chough, 1983). 남해대륙붕 퇴적물은 빙하기 해수준 하상시 형성된 퇴적물인 잔류퇴적물(relict sediment)과 해수준 상승시 해안 침식에 의해 내해로 운반 공급되어 재퇴적된 Palimpsest(Swift et al., 1971) 퇴적물로 구성되어 있다(최진용 과 박용안, 1993; 이인규, 1997).

본 연구지역(Fig. 1)은 쓰시마를 중심으로 한 남동대륙붕해역과 서남연안의 진도주변해역으로 대별된다. 한국 남동 대륙붕은 한국 남동과 일본 남서지역과의 사이 해역으로서 따뜻한 쓰시마 쿠로시오 해류의 지류인 쓰시마해류가 동해로 유입하는 관문이다. 동해 유입구 해역에는 수심이 급격히 깊어지는 매우 가파른 지형을 형성하고 있으며, 대륙붕 중앙부에는 쓰시마 섬이 위치하며 섬 북서측에는 대한해협, 남동측에는 쓰시마해협이 분포한다. 쓰시마해협은 수심 70 m 이하로 기복이 거의 없는 지형적 특성을 갖는 큐슈 연안 해역과 쓰시마 섬을 따라 불연속적이고 얕은 협곡(trough)이 발달하는 쓰시마 연안 해역으로 나누어진다(Ujiie, 1973). 대한해협에서는 수심 약 230 m (Park et al., 2000)에 달하는 쓰시마 협곡이 북서방향으로 분포하고 있으며, 한반도 연안 쪽으로 급한 경사면을 형성하고 있다. 쓰시마 협곡은 남해 대륙붕에서 가장 깊은 해역으로서 최종빙하기시 시작한 조간대 패류화석이 산출하기도 한다 (波部 • 小笠, 1970).

서남해역은 진도를 중심으로 하의도, 상산도, 안좌도 등 많은 섬들이 산재해 있는 다도해로서 유로가 여러 갈래로서 대 • 소 수도를 이루며 분류되었다가 다시 합류하는 등 유환이 매우 복잡한 해역이다. 그리고 유속도 매우 강한 편이며 반일주조류가 우세한 왕복성 조류의 규칙적인 1일 2회의 창 • 낙조류가 일어난다. 진도와 하의도 사이의 장동해에서는 창조류가 가사도 북근에서 유입하여 서하해로 북동류하고 일부는 상산도와 상태도 사이로 유입되고 낙조류는 이와 반대 현상으로 흐른다. 최강 창(낙)조류는 연간 평균대조기에 1.9~3.7(1.6~3.9)노트 (knot)로 알려져 있다(수로국, 1996). 화원반도와 상산도 사이의 서하해에서는 창조류가 장동해와 명량수도로부터 유입되며 북류하며 변노수도로 흐르고 그 일부는 목로구 및 압해도 북근으로 흐르며 낙조류는 이와 반대현상으로 흐른다. 최강 창(낙)조류는 년 간 평균대조기에 약 1.5~2.7(1.7~3.3)노트 (knot)로 나타난다(수로국, 1996). 서하해 퇴적물은 주로 역질 및 사질의 잔류성 조립질 퇴적물로 구성되며 이들 퇴적물로부터 과거 저해

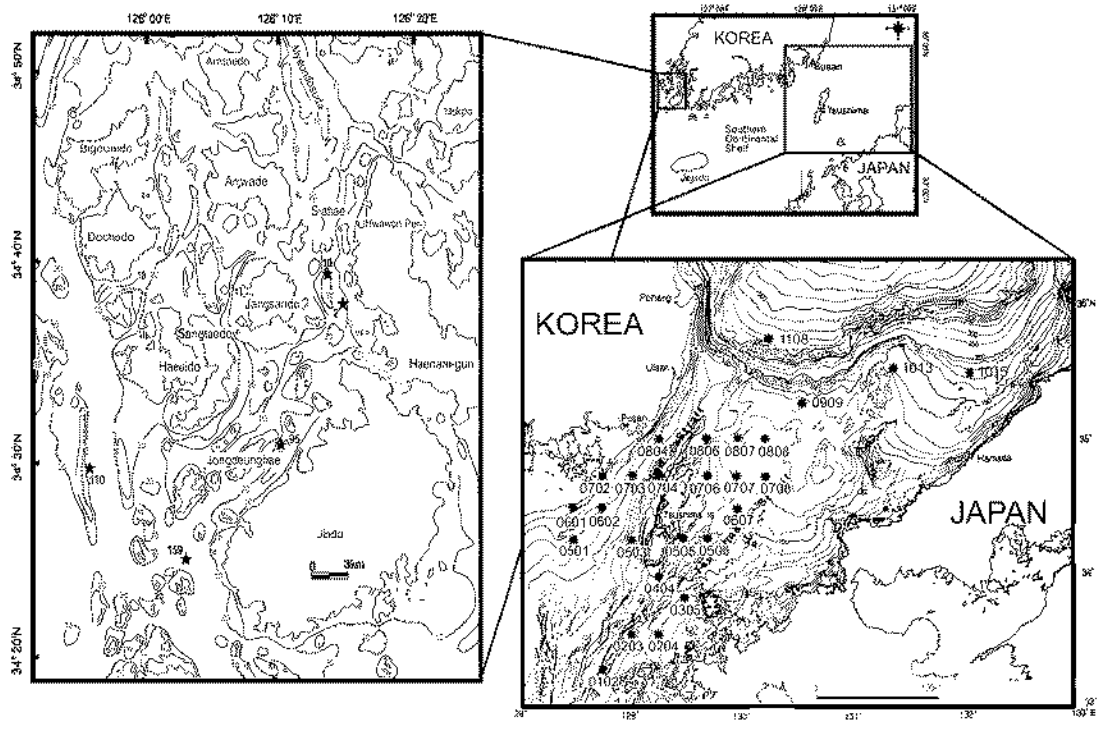


**Fig. 1.** Bathymetric map showing the sampling sites (5 stations in the westsouthern and 26 stations in the southeastern continental shelf).

수면시기에 서식한 *Arca boucardi* 등의 패각 유해가 다량 산출하는 것으로 알려져 있다(이연규, 1997).

## 시료채취 및 연구방법

남동대륙붕의 패류유해 시료는 과학기술처(1993) "한국해역 종합해양 자원도 작성 연구" 수행시 채취된 것이다. 총 26개 정점(Fig. 1)의 표층퇴적물로부터 그랩과 트롤을 병행해서 패각을 채취하였다. 서남해역에서는 5개 정점(Fig. 1)의 표층퇴적물에서 반빈 그랩을 사용하여 패각을 채취하였다. 패각의 종 감정은 도감 및 문헌조사를 통하여 행하였고, 각 정점별 우점종에 대해 $^{14}C$ 연대측정을 행하였다. 패각에 대한 $^{14}C$ 연대측정은 가속기질량분석(AMS: Accelerator Mass Spectrometry)과 액체계수법(L.S.C.: Liquid Scintillation Counter)에 의해 행하여졌다. AMS는 뉴질랜드 와이카토(Waikato)대학 방사능 측정실에서 개체 단위당 무게가 작은 소형의 패각시료를 대상으로 행하여졌으며, L.S.C.는 중-대형 패각을 대상으로 여수대학교에서 수행되었고 측정방법은 다음과 같다.

액체계수법을 이용한 $^{14}C$ 연대측정은 전처리과정, 벤젠합성과정 및 연대계측과정의 3단계로 나누어 이루어진다(이연규 외, 1999). 전처리과정은 패각에서 순수한 탄산칼슘($CaCO_3$)를 얻기 위한 것으로서 먼저 패각 표면의 이물질을 완전히 제거 후, 1N염산(HCl) 용액에서 패각의 외피를 용해시키고, 유기물을 탄화시키기 위하여 전기로에서 400℃에서 2시간 가열한다. 그리고 막자사발에서 완전 분말상태로 만든 후, 시료에서 이산화탄소($CO_2$)를 발생시켜 C를 벤젠으로 합성하는 벤젠합성과정을 거친다. 벤젠합성과정은 분말상태인 시료에 2 N 염산을 가하여 이산화탄소($CO_2$)를 발생시키고 암모니아수($NH_4OH$)를 통과시키면 탄산암모늄($NH_4CO_3$)을 생성한다. 그리고 탄산암모늄과 염화스트론튬($SrCl_2$)을 반응시켜 탄산스트론튬($SrCO_3$)을 생성시킨 후, 탄산스트론튬과 금속마그네슘(Mg)을 혼합 후 열을 가하여 스트론튬카바이트($SrC_2$)를 만들고, 스트론튬카바이트에 증류수(dead water; 삼중수소($^3H$)가 함유되지 않은 지하수로 만든 증류수)를 첨가하여 아세틸렌($C_2H_2$)을 발생시킨다. 발생된 아세틸렌은 촉매제(PKN/D1: Commercia, Com-Catalyst PKN/

D1, Lot No. 9495)에 통과시켜서 벤젠($C_6H_6$)으로 합성시킨다. 생성된 벤젠은 계측용기 7 ml 테프론 코팅 바이얼을 사용하여, L.S.C(Wallac 1415 Liquid Scintillation Counter)에서 계측된다. 계측시 1400DSA 컴퓨터 프로그램 조건은 Counting mode: DPM, Isotope: C-14, Counting time: 6,000초, Repeat: 1회, Cycle: 5회, Replicates: 1회, Spectrum: β선, Window range: 1-1024 조건에서 계측된다.

## 유해패류 군집

### 남동대륙붕해역

총 26개 정점에서 산출하는 유해패류(119속 170종: 이매패강 73속 105종, 권패강 43속 60종, 굴족강 3속 5종)들은 우점종을 중심으로 총 12개의 군집으로 나타나고 있다. 정점 0102, 0808: *Glycymeris-Ventricoloidea-Phacosoma* 군집, 정점 0501, 0703: *Glycymeris-Paphia-Pitar*, 정점 0503: *Lucinoma-Glycymeris*, 정점 0505: *Glycymeris*, 정점 0506, 0806, 0909: *Glycymeris-Cyptopecten*, 정점 0601, 0607: *Pecten-Pitar*, 정점 0602, 0706, 0707, 0807: *Glycymeris-Ventricoloidea-Cryptopecten*, 정점 0702: *Pecten-Acila-Siphonalia*, 정점 0704: *Nuculana-Crenella limopsis*, 정점 0804: *Ostrea-Limopsis*, 정점 1108: *Buccinum* 군집 및 정점 1013: *Dentalium* 군집 등 총 12개의 군집으로 대별된다. 이들 군집 구성종 중 *Glycymeris rotunda*의 산출빈도가 가장 높으며, 총 11개 정점에서 우점종으로 나타나고 있다(이인규 외, 2003).

### 서남해역

총 5개 정점에서 산출하는 패류유해는 조간대 암반 및 역 부착성종인 *Arca boucardi*가 특징적으로 우점하는 *Arca* 군집으로 나타나고 있다.

## $^{14}C$연대측정

남동대륙붕 및 서남해역 총 24개 정점에서 산출하는 패류유해 중 우점종 및 특징종에 대한 $^{14}C$연대측정 결과는 Table 1과 같다.

### 남동대륙붕해역

총 19개 정점에서 산출하는 패류유해에서 특징종 및 우점종 42개체를 대상으로 수행된 $^{14}C$연대 분포는 수심 62 m(정점 0601)부터 194 m (정점 0704)사이에서 15694±328yrs B.P.(정점: 0704, *Muconut culcreat*)로부터 현생(정점 0909, *Glycymeris rotunda*)까지 각 정점, 수심별, 종별 연대치가 다양하게 나타나고 있다.

### 서남해역

총 5개 정점에서 $^{14}C$연대분포는 수심 21 m(정점 110)부터 29 m(정점 95)사이에서 3635±60 yrs B.P.로부터 742±57yrs B.P.까지 연대치가 나타나고 있다.

## 해수면변동곡선

상기 2개 해역 총 24개 정점, 47개체에 대한 $^{14}C$연대측정 결과치를 각 산출시 수심을 중심으로 도시하면 Fig. 2와 같다. 가장 오래된 연대치는 수심 194 m (정점 0704)에서 산출하는 *Muconut culcreat*의 15694±328yrs. B.P.로 나타난다. *Scapharca broughtonii*, *Callithaca adansi* 및 *Mya truncata* 등이 공산하며 약 15,000yrs B.P. 전후의 연대측정치를 보인다. 이들 종들은 수심이 얕은 곳에 서식하는 천해종들로서 *Scapharca broughtonii*의 서식심도는 10-50 m, *Muconut culcreat*는 조간대 그리고 *Callithaca adansi*와 *Mya truncata*는 조간대-20 m 심도에서 각각 서식하는 것으로 알려져 있다. 이들의 최대 서식심도는 20-50 m로서 평균 약 35 m로 생각된다. 정점 0704의 수심은 194 m로서 평균 서식수심 35 m를 고려하면 약 159 m의 차이를 보이고 있다. 즉 약 15,000년전 최종빙하기 최저해수면기에 남해대륙붕은 현 해수면 보다 수심이 약 150-160 m 낮았던 것으로 생각된다. 각각 8028±69yrs B.P., 8643±72yrs B.P.의 연대치를 보이는 *Megacardita corensis*, *Cyclocardia* sp.는 수심 약 20-50 m에서, 8779±63yrs B.P.의 *Cryptopecten vesiculosus*는 수심 50 m 이심에서 서식하는 종으로 알려져 있다. 이들 종들이 같이 서식할 수 있는 수심은 50 m를 전후한 수심으로서, 8,000-9,000년 전 수심은 이들 종들의 산출시 수심과 비교하면 약 50-60 m 정도의 수심이였을 것으로 추정된다. 산출시 수심 20-29 m 사이에서 산출하는 *Arca boucardi*는 조간대수심 10 m 전후의 서식심도를 보이는 종으로서 742±57yrs B.P.에서 3,635±60yrs. B.P.의 서식연대를 보인다. 약 3,000년 전후 수심은 약 10-20 m 나타나고 있다. 이들 각 연대별 서식하는 종들의 서식심도와

**Table 1.** $^{14}C$ age dating table of the dominant and characteristic species in each sample locality of the westsouthern and southeastern continental shelf (LSC: Liquid Scintillation Counter, Yosu Univ., AMS: Accelerator Mass Spectrometry, Waikato radiocarbon Lab, in NZ)

| Area | Loc. No. | W.D. (m) | S.F. | Species Name | Pr. | L&H | Substate. & Water Depth (m) | Con. Age (yrs B.P.) | Meth. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S.C.S | 0102 | 170 | zS | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 6161±131 | LSC |
| | | | | *Phacosoma japonicum* | f. | inf. | S. <50 | 5946±131 | LSC |
| | | | | *Venericoloidea foveolata* | f. | inf. | sM. 50-200 | 7127±141 | LSC |
| | 0501 | 84 | (g)mS | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 1974±103 | LSC |
| | | | | *Pitar noguchii* | f. | inf. | S. 10-100 | 1353±40 | AMS |
| | | | | *Nemocardium samarangae* | f. | inf. | sM. 50-200 | 1353±40 | AMS |
| | 0503 | 136 | (g)mS | *Lucinoma acutilineata* | f.~sl. | inf. | M. 100-700 | 2911±41 | LSC |
| | | | | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 1757±101 | LSC |
| | 0505 | 104 | (g)mS | *Glycymeris pilsbryi* | f. | inf. | M. 60-300 | 2066±44 | AMS |
| | 0506 | 103 | gmS | *Glycymeris cf. rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 472±42 | LSC |
| | 0601 | 62 | sC | *Pecten albicans* | f. | inf. | sm. <30 | 1581±101 | LSC |
| | 0602 | 86 | (g)mS | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 2389±105 | LSC |
| | | | | *Venericoloidea foveolata* | f. | inf. | sM. 50-200 | 712±96 | LSC |
| | 0607 | 113 | zS | *Cryptopecten vesiculosus* | f. | epi. | sG. 50-300 | 644±44 | AMS |
| | 0702 | 68 | mS | *Pecten albicans* | f. | inf. | sm. <30 | 210±100 | LSC |
| | 0703 | 95 | (g)mS | *Cyclocardia sp.* | ab. | | | 8643±72 | AMS |
| | | | | *Megacardita coreensis* | f. | inf. | S. <50 | 8029±69 | AMS |
| | | | | *Phaphia amabilis* | f. | inf. | S. <50 | 4395±126 | LSC |
| | | | | *Venericoloidea foveolata* | ab.f | inf. | sM. 50-200 | 2053±110 | LSC |
| | | | | *Ostrea sp.* | f. | epi. | | 3490±125 | LSC |
| | | | | *Glycymeris rotunda* | | inf. | M. 60-300 | 4921±166 | LSC |
| | 0704 | 194 | (g)sM | *Trapezium bicarinatum* | ab. | epi. | Rb. int.ti. | 5999±61 | AMS |
| | | | | *Limopsis tajimae tajimae* | ab. | inf. | M. 100-700 | 6245±63 | AMS |
| | | | | *Crenulilimopsis oblonga* | f. | inf. | S. 20-2000 | 3655±60 | AMS |
| | | | | *Arca boucardi* | ab. | epi. | Rb. int.ti. | 5725±65 | AMS |
| | | | | *Scapharca broughtonii* | ab. | inf. | mS. <50 | 14616±364 | LSC |
| | | | | *Macoma calcarea* | ab. | inf. | mS. int.ti. | 15694±328 | LSC |
| | | | | *Callithaca adamsi* | ab. | inf. | S. <20 | 15072±291 | LSC |
| | | | | *Mya truncata* | ab. | inf. | M. <30 | 15412±338 | LSC |
| | | | | *Lucinoma annulata* | ab. | inf. | M. 10-50 | 5219±132 | LSC |
| | 0706 | 103 | sZ | *Cryptopecten vesiculosus* | f. | epi. | sG. 50-300 | 8779±63 | AMS |
| | | | | *Venericoloidea foveolata* | f. | inf. | sM. 50-200 | 1258±118 | LSC |
| | | | | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 6461±135 | LSC |
| | 0707 | 119 | zS | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 2827±140 | LSC |
| | 0804 | 102 | gmS | *Limopsis tajimae tajimae* | f. | inf. | M. 100-700 | 5592±64 | AMS |
| | 0806 | 124 | zS | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 489±101 | LSC |
| | 0807 | 127 | mS | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | modern | LSC |
| | 0808 | 120 | mS | *Trapezium bicarinatum* | ab. | epi. | R. int.ti. | 7851±61 | AMS |
| | | | | *Cryptopecten vesiculosus* | f. | epi. | sG. 50-300 | 2194±57 | AMS |
| | | | | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | 676±97 | LSC |
| | 0909 | 131 | S | *Glycymeris rotunda* | f. | inf. | M. 60-300 | modern | AMS |
| | 1108 | 1,130 | C | *Buccinum tsubai* | f. | inf. | | 564±57 | AMS |
| W.C.S | 2 | 26 | (g)S | *Arca boucardi* | f. | Epi | G. Rb. <20m | 2430±66 | AMS |
| | 10 | 20 | (g)S | *Arca boucardi* | f. | Epi | G. Rb. <20m | 2818±60 | AMS |
| | 95 | 29 | G | *Arca boucardi* | f.~sl. | Epi | G. Rb. <20m | 3635±60 | AMS |
| | 110 | 21 | (g)S | *Arca boucardi* | f. | Epi | G. Rb. <20m | 742±57 | AMS |
| | 159 | 28 | G | *Arca boucardi* | f.~sl. | Epi | G. Rb. <20m | 1187±61 | AMS |

**Pre:** Preservation **f:** fresh, **sl:** slightly abraded, **LH.:** Life Habit, **inf:** infaunal, **epi;** epifaunal, **S;** sand, **(g)S:** slightly gravelly sand, **gmS:** gravelly muddy sand, **(g)mS:** slightly gravelly muddy sand, **mS:** muddy sand, **zS:** silty sand, **(g)sM:** slightly gravelly sandy mud, **sZ:** sandy silt, **sC:** sandy clay, **C:** clay, **M:** mud, **R:** rocky bottom, **S.C.S:** Southeastern continental shelf, **W.C.S:** Westsouthern continental shelf

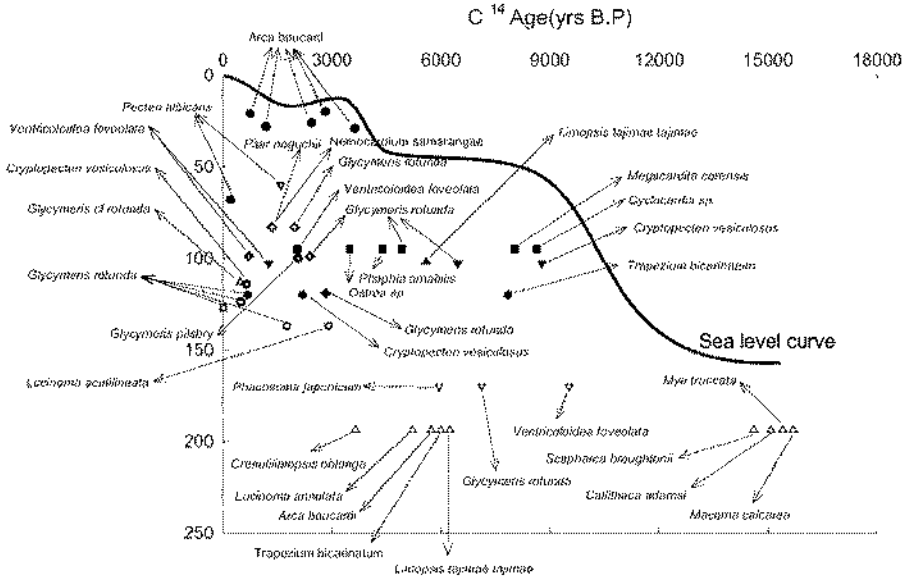


**Fig. 2.** Distribution of $^{14}C$ age dating in dominant and characteristic molluscan species.

산출지 심도를 비교하여 약 15,000년 전부터 현재까지의 남해 연안에서 해수면 변동을 보면, 최종빙하기 이후 남해해역에서의 해수면은 약 15,000년 전 최종빙하기시 해수면이 현재 해수면보다 약 150~160 m 하강하였으며, 이후 약 9,000년까지 해수면이 약 60 m로 급격히 상승하였다. 그리고 이후 약 4,000~5,000년까지 수심 약 60~50 m에서 안정적이었으며, 3,000~4,000년 사이 또 한번의 급한 해수면 상승으로 수심이 현재 해수면보다 10~20 m 낮아졌으며, 이후 현재에 이르는 것으로 생각된다.

## 고 찰

수심에 따른 각 정점별 산출종에 대한 연대측정치(Table 1)를 보면, 정점 0703, 0704와 같이 동일 정점 내에서도 산출종의 서식연대에 상당한 차이가 있음을 알 수 있다. 수심 194 m의 정점0704는 *Crenulilimopsis oblonga*가 3,655±60yrs B.P.로서 가장 낮고 *Macoma calcarea*가 15,694±328yrs B.P.로서 가장 높은 연대치를 보이며, 두 종간 연대차이는 약 11,939년으로 나타나고 있다. 수심 95 m의 정점 0703에서는 *Ventricoloidea foveolata*가 2,053±110yrs B.P., *Cyclocardia* sp.가 8,643±72yrs B.P.로서 약 6,590년의 연대차이를 보인다. 수심 103 m의 0706에서는 *Ventricoloidea foveolata*가 1,258±118yrs B.P., *Cryptopecten vesiculosus*가 8,779±63yrs B.P.로서 약 7,521년의 연대차이를 보인다. 정점 0808에서는 *Glycymeris rotunda*가 676±97yrs B.P., *Trapezium bicarinatum*이 7,851±61yrs B.P.로서 약 7,175년의 연대차이를 보이고 있다. 이와 같이 동일 정점내 산출종의 연대차이는 최소 약 6,590년으로부터 최대 11,939년까지 차이가 있는 것으로 나타나고 있다.

Walker and Bambach(1971)에 의하면, 각각 살았던 시대가 다른 생물집단 또는 군집에서 유래된 생물 경조직들이 혼합되어 있는 경우를 "Time-averaging"이라 정의하였다. 이것은 단순히 연대 차이만 있는 것이 아니고 생태적으로 "다른 종의 혼합 또는 유해 집적과정 차이도 포함된 넓은 의미"로 해석한 것이다. 그리고 Fujiwara and Kamataki(2003)는 다른 연대치를 갖는 시료가 한 층준에 혼합 산출되는 현상을 Time-averaging의 한 현상으로 설명하고, 이를 "시간평균화"라 하였다. 본 연구에서 나타나는 동일 정점내 산출종의 연대차이 및 조간대종 등의 생태적 혼합현상은 Time-averaging을 반영하고 있는 것으로 사료된다.

상기와 같이, 퇴적물 중의 패각 시료에서 나타나는 시간평균화 현상은 조간대에서는 수십년~3,500년 전 이상(Flessa et al., 1990), 대륙붕에서는 600~5,500년 전(藤井外, 1991) 정도의 년도를 가르키는 패각들이 혼합되어 있다고 알려져 있다. 또 중국 황하삼각주의

패화석층(Chenier)에서는 수백년~약1,500년(Saito et al., 1999), 일본 구십구리(九十九里)평야 해빈퇴적물 시추코아 중의 패각층 두께 약 30 cm의 박층에서 수백년, 약 1 m의 두께에서는 최대 6,500년(藤原外, 2000)의 연대 차이를 나타내는 것으로 알려져 있다.

고해양 퇴적물에서 패각에 대한 $^{14}$C연대측정을 하는 것은 시층의 퇴적연대를 보다 정확히 추정하기 위한 것으로서, 패각연대 측정결과 나타나는 시간평균화 현상은 정확한 시층 퇴적시간을 판단하는데 저해요인으로서 우선적으로 고려해야할 조건이다. 패각에서 나타나는 시간평균화 현상은 일반적으로 패각이 사후 운반되어, 서식지와는 다른 환경하에서 매몰 화석으로 발견되는 경우, 또는 사후, 매몰되었으나 퇴적층의 침식에 의해 운반된 후 새로운 시층에 퇴적되는 경우에 생기는 현상이라 할 수 있다.

퇴적층 속에서 발견되는 화석들은 서식지에서 사후, 운반, 매몰, 퇴적된 화석화의 전과정을 거친 것으로서, 이들 화석의 산출시 및 보존상태, 산상, 구성종 등에 관한 관찰을 통하여 화석화 전과정을 이해하는 것(Taphonomy; Martin, 1999)은 화석들의 현지성(Autochthonous), 준현지성(Parautochthonous), 이지성(Allochthonous)(Susan et al., 1986)을 판단하는데 중요한 기준이 된다. 현지성이라 함은 산출시와 서식지가 동일한 화석들을 지칭하는 것으로서 생물이 퇴적층 속에서 살았던 모습 그대로 화석화되어 나타날 때가 해당된다. 준현지성이라 함은 다소 재동작용(reworking)을 받았지만 원 서식지로부터 운반되지 않은 것을 말한다. 패각의 표면상태, 인편부 등 보존상태는 양호하며, 이매패의 경우 개체 중 양각이 붙어있는 경우도 많이 나타난다. 이지성이라 함은 패각들이 사후 원 서식지로부터 운반되어 다른 서식환경, 종구성 속에서 나타나는 경우를 말한다. 패각의 보존상태는 불량하며, 공산종과는 수심, 저층구성물 등 생태적으로 다른 이질성 종들과 산출하게 될 것이다.

Fujiwara and Kamataki(2003)는 시층의 상하 및 횡방향의 누중양식, 생물군집과 생식환경과의 관계, 패류화석의 집적형태 등 시층과 화석의 상세한 관찰로부터 패화석의 현지성 여부를 판단하고자 하였다. 이와 같이 패화석을 중심으로 한 육안 관찰은 육상 시층에서 산출하는 패화석에는 적용할 수 있으나 해저 표층퇴적물에서 채취되는 시료에 대해 적용하기에는 어려울 것으로 생각된다. 일반적으로 해저 표층퇴적물 채취는 그랩 또는 코아러(corer)를 사용한다. 그랩은 퇴적물 채취시 교란되어 퇴적층을 관찰하기에는 거의 불가능하다. 코아러 사용시 퇴적물은 교란되지 않으나 시료량이 소량으로서 소규모의 퇴적구조 등은 관찰 가능하나 패류화석의 집적형태 등 시층과 화석의 상세한 관찰을 하는데는 어려움이 따를 것으로 생각된다. 본 연구에서와 같이 해저 표층퇴적물에서 산출하는 패류유해 중 현지성 개체 판단은 1) 서식지와 산출시 환경 비교 2) 패각 산출상태 3) 코기-반노 분포 조사 등으로 추정 할 수 있다(이인규, 1997). 본 연구에서 정점 0704, 수심 194 m에서 산출하는 *Trapezium bicarinatum*, *Arca boucardi* 등은 서식환경이 조간대, 암반 내지 역, 부착성 종으로서 함력사질니 퇴적상으로 구성된 현 산출시 환경과는 상당한 차이를 보인다. 이들 종들의 $^{14}$C 연대측정치는 5,999±61yrs B.P., 5,725±65yrs B.P.로서 등 산출시에서 약 15,000년 전후의 연대치를 보이는 *Callithaca adamsi*, *Maconia calcarea*, *Scapharca broughtonii* 등과 공산한다. *Callithaca adamsi*, *Maconia calcarea*, *Scapharca broughtonii*의 산출상태를 보면 패각의 인변부 및 표면조각에서 매우 양호한 보존상태를 보이고 있다(Fig. 3).

해양환경에서 생물체의 경질부는 사후 해저 표면에 상기간 노출되면 재방향 및 운반작용(reorientation and transportation), 분리작용(disarticulation), 파손작용(fragmentation), 마모작용(corrasion) 등 일련의 과정을 거쳐 파괴된다. 즉 경질부의 산출형태는 이런 일련의 과정 중 특징적인 요소를 반영하는 것으로 알려져 있다(Brett and Baird, 1986). 패각의 보존 상태가 매우 양호한 *Callithaca adamsi*, *Maconia calcarea*, *Scapharca broughtonii* 등은 사후 운반작용의 영향을 거의 받지 않은 현지성 개체에 가까운 것으로 생각되며, 공산하는 종들과의 연대차이는 Time-Averaging 현상으로 생각된다.

한반도 남해해역에서 최종빙하기 이후 해수면변동에 관한 연구는 최근 Feng(1983), Suk(1989) 및 Park et al.,(2000) 등에 의해 수행된바 있다. 이들 연구결과(Fig. 4)는 연구자들에 따라 차이를 보이고 있으며, 약 15,000년전 최종빙하기시 최저해수면 하상 깊이에서는 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 특히 남해 대륙붕에서 최종빙하기시 최저해수면 하상 깊이를 판단하는 것은 한반도와 일본 열도와의 육교(landbridge) 및 고쓰시마해류(paleo-Tsushima Current) 흐름, 동해 담수화 등 남해대륙붕 주변지역의 고환경을 이해하는데

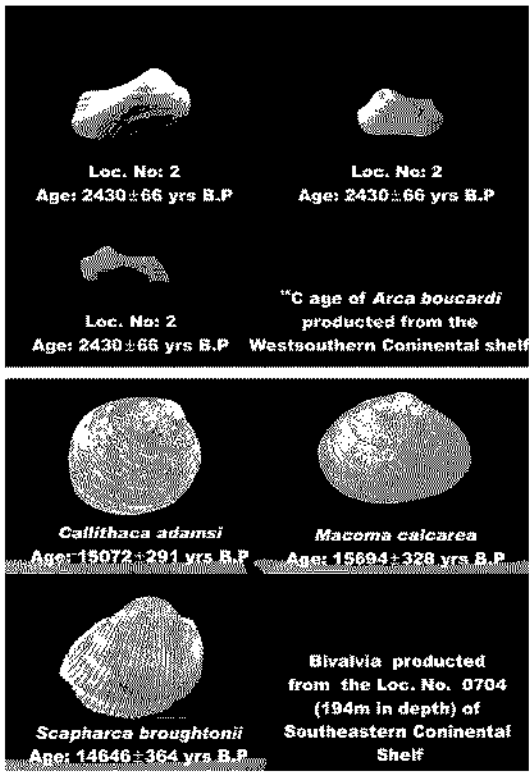


**Fig. 3.** Photograph of preservation state in molluscan shell occurred in westsouthern and southeastern continental shelf of Korea.

중요한 역할을 한다. 최종빙하기시 해수면 하강은 약 15,000년전을 기준으로 Feng(1983)은 약 160 m, Suk (1989) 및 Park et al.(2000)은 130 m 정도 수심이 하강하였다고 한다. 그리고 Park et al.(2000)은 최종빙하기시 쓰시마 서측에 수로가 형성되어 고쓰시마해류(paleo-Tsushima Current)의 동해 유입을 주장하는 한편 Kim et al.(2000)은 울릉분지 코아의 유공충산소 및 탄소동위원소분석 결과 최종빙하기시 동해 담수화 즉 쓰시마를 중심으로 일본과 육교가 형성되어 고 쓰시마해류 유입을 부정하는 다른 견해(Gorbarenko, 1983)들을 제시하고 있다.

Suk(1989)은 시추시료에서 패류유해 24개체, Park et al.(2000)은 17개체를 채취하고 AMS에 의한 연대측정을 행하였다. Feng(1983) 또한 시료는 패각유해를 사용하였다. 이들은 연대측정용 시료로서 공히 패각유해를 사용하고 있으나, 시간평균화(Time-averaging) 현상 및 현지성 여부에 대한 토의는 거의 이루어지지 않았고, 특히 패각 분류 및 적용 생태수심 등에서도 일부 차이가 나타나고 있다. 이러한 것들이 패각에 대한 연대측정자료를 해석하는데 있어서 차이를 야기 시킬 수 있는 요인으로 사료된다.

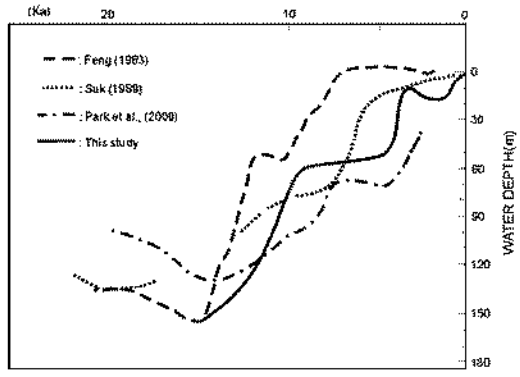


**Fig. 4.** Comparison of sea-level curve for the Southern Continental Shelf in Korea.

본 연구에서 나타나는 최종빙하기 이후 남해해역에서의 해수면은 약 15,000년 전 최종빙하기시 해수면이 현재 해수면보다 약 150~160 m 하강하였으며, 이후 약 9,000년까지 해수면이 약 60 m로 급격히 상승하였다. 그리고 이후 약 4,000~5,000년까지 수심 약 60~50 m에서 안정적이었으며, 3,000~4,000년 사이 또 한번의 급한 해수면 상승으로 수심이 현재 해수면보다 10~20 m 낮아졌으며, 이후 현재에 이르는 것으로 생각된다. 이 등(2003)에 의하면 약 6,000년전 남동대륙붕 해역에는 *Glycymeris rotunda*를 대표종으로 *Cryptopecten vesiculosus, Nemocardium samarangae, Pitar noguchii, Phacosoma japonicum Ventricoloidea foveolata, Paphia amabilis* 등을 수반종으로하는 *Glycymeris Fauna*가 형성되었던 시기로 알려져 있다. 이시기는 남해 대륙붕에 해양생물들이 번성하였던 시기로서 안정된 해양환경을 형성하고 있었던 것으로 생각된다. 해수면이 10~20 m로 하강하였던 2,000~3,000년전 시기에는 서남해역에 *Arca boucardi* Fauna가 번성하였던 시기로 생각되며, 서해안의 대부분 현세 조간대층들이 이시기에 형성된 것으로 생각된다(박용안 외, 1995).

## 결 론

한국 남해해역의 최종빙하기 이후 해수면변화 및 시간평균화 현상을 파악하기위해여 남동대륙붕 19개 정점, 서남해역 5개 정점에서 산출하는 패류유해 중

우점종, 특징종 42개체에 대해 $^{14}C$연대측정을 행하였다. 측정결과 동일 정점내에서 산출종의 연대차이는 최소 약 6,590년으로부터 최대 11,939년까지 차이가 있는 것으로 나타났다. 이것은 시간평균화 현상으로서 패각에 대한 연대측정자료를 해석하는데 있어서 차이를 야기 시킬 수 있는 요인으로 생각된다. 한반도 남해해역은 약 15,000년 전 최종빙하기시 해수면이 현재 해수면보다 약 150~160 m 하강하였으며, 이후 약 9,000년까지 해수면이 약 60 m로 급격히 상승하였다. 그리고 해수면은 약 4,000~5,000년까지 수심 약 50~60 m에서 안정적이었으며, 남동대륙붕해역에서는 *Glycymeris Fauna*가 번성하였던 시기로 생각된다. 이후 3,000~4000년에 또 한번의 급한 해수면 상승으로 수심이 현재 해수면보다 10~20 m 낮아졌으며, 서남해역에서는 *Arca boucardi* Fauna가 번성하였으며, 서해안의 대부분 현세 조간대층들이 이시기에 형성된 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구에서 연대측정시 많은 도움을 준 여수대학교 최정민 박사에게 감사하며, 또한 많은 조언을 해 준 해양연구소 우한준 박사와 심사위원 두 분에게도 심심한 사의를 표한다. 본 연구는 2001년도 한국과학재단의 특정기초사업 지원에 의해 수행되었다(R01-2001-000-00063-0).

## 참고문헌

과학기술처, 1993, 한국해역 종합해양 자원도 작성 연구-대한해협(2차년도)-. 392 p.

박용안, 최진용, 임동일, 최강원, 이영길, 1995, 한국 서해 남양만 조수퇴적분지의 제4기 퇴적층서와 부정합, 한국해양학회지, 30(4), 332-340.

수로국, 1996, 조류도 (목포항 및 부근), 서지 제630호, 22p.

이연규, 1997, 한국 서남해역 화원반도 주변해역의 패류유해군집 특성. 한국고생물학회지, 13 (1), 1-20.

이연규, 최정민, 김창규. 1999, 벤젠-액체 섬광계수법에 의한 $^{14}C$연대측정. 한국해양학회지(바다), 4 (3), 180-187.

이연규, 최정민, 신현출, 제종길, 2003, 한국남동대륙붕 표층퇴적물에서 산출하는 패류유해군집 특성과 최종빙하기 고환경. 지질학회지, 39 (4), 479-501.

최진용, 박용안, 1993, 한반도 대륙붕 퇴적물의 분포와 조직특성. 한국해양학회지, 28 (4), 259-271

岡本和夫・北川雅子, 1981, 日本海西南部からの寒冷水性を示す貝化石とその$^{14}C$年代. 日本第4紀学会講演要旨集 11, 134-135.

波部忠重・小菅貞男, 1970, 対馬海峡海盆より得られた貝化石の年代その地史的意義. 國立科博報 3, 75-82

中村俊夫, 2001, 放射性炭素年代とその高精度化. 第4紀研究, 40, 445-459.

藤田晴二・有田正史・前島天天・中井信之・中村俊夫・大石昭二, 1991, 日本海大陸棚から産出した軟體動物遺骸の$^{14}C$年代の意義. 中山久夫教授退官記念地質学論文集, 31-35.

藤原治・鎌滝孝信・野田富士雄, 2000, 前進型外浜堆積物中の貝殻の起源: 千葉県九十九里浜. 月刊地球, 249, 202-205.

Bloom, A.L. and Park, Y.A., 1985, Holocene sea-level history and Republic of Korea. The Quaternary Research, 24, 77-84

Brett, C.E. and Baird, G.C., 1986, Comparative Taphonomy: A key to paleoenvironmental interpretation based on preservation. Palaios, 1 (3), 207-227.

Chough, S.K., 1983, Marine Geology of Korean Seas. International Human Resources Development Corporation, p. 157.

Emery, K.O., 1969, The continental shelves. Scientific America, 221, 106-122.

Feng, Y., 1983. Since 40 Ka sea-level change and lowest sea level. East China Sea 1, 36-42 (in Chinese).

Flessa K.W. Meldahl, K.H. and Cutler, A.H., 1990, Quantitative estimates of stratigraphic disorder and time-averaging in a shallow marine habit. Geological Society of America, Abstracts with Programs, 22, A83.

Fujii, S. and Fuji, Y., 1982. Postglacial sea-level changes in the Hokuriku region, central Japan. The Quaternary Research, 21, 183-193.

Fujii, S. and Naruse, Y., 1982. Sea level changes since the late Pleistocene in the Japanese Islands and related problems. The Quaternary Research, 21, 283-287.

Fujiwara, O. and Kamataki, T., 2003, Significance of Sedimentological Time-averaging for Estimation of Depositional Age by $^{14}C$ Dating on Molluscan Shells. The Quaternary Research, 42 (1), 41-48.

Gorbarenko, S.A., 1983, Paleogeographic conditions in the central part of the of Japan during Holocene and late Pleistocene time on the basis of 18O/16O ratios in foraminiferal tests, Oceanology, 23, 224-227.

Kim, J.M., Kennett, J.P., Park, B.K., Kim, D.C., Kim, Y.K. and L.B. Roark, 2000, Paleoceanographic change during the last deglaciation, East Sea of Korea. Paleoceanography, 15 (2), 254-266.

Martin, R.E., 1999, Taphonomy: A Processes Approach, Cambridge University Press, 508p.

Park, S.C., Yoo, D.G., Lee, C.W. and Lee, E.I., 2000, Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. Geo-Marine Letters, 20, 64-71.

Saito, Y., Wei, H., Zhou, Y., Nishimura, A., Sato, Y. and Yokota, S., 1999, Natural and anthropogenic changes of the Huanghe (Yellow River) delta, China. Saito, Y., Ikehara, K. and Katayama, H. (eds.) Land-Sea link in Asia: "Prof. Kenneth O.Emery Commemorative International Workshop": 33-38, Proceedings of an international workshop on sediment transport and storage in coastal sea-ocean system. Science Technology Agency of Japan and Geological Survey of Japan.

Suk, B.C., 1989, Sedimentology and history of sea level changes in the east China sea and Adjacent seas. Sedimentary facies in the active plate margins. In: Taira, A. and Masuda, F., (eds.), Terra Scientific Publishing Company (Terra Pub.), Tokyo, 215-21.

Susan, M.K., Frantz, T.F. and Thomas, A., 1986, Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations. Palaios, 1 (3), 228-238.

Swift, D.J.P., Stanley, D.J. and Curray, J.R., 1971, Relict sediments on continental shelves: a reconsideration, Journal Geology, 79, 322-346.

Ujiie, H., 1973, Sedimentation of planktonic foraminiferal shells in the Tsushima and Korea Straits between Japan and Korea. Micropaleontology, 19 (4), 444-460.

Saito, Y., Wei, H., Zhou, Y., Nishimura, A., Sato, Y. and Yokota, S., 1999, Natural and anthropogenic changes of the Huanghe (Yellow River) delta, China.

Walker, K.R. and Bambach, R.K., 1971, The significance of fossil assemblages from fine-grained sediments: time-averaged communities. Geological Society of America, Abstracts with Programs, 3, 783-784.

Xu, S., Ito, S., Iwatsuki, T., Abe, M. and Waqtanabe, M., 2000, A new AMS facility at the JNC Tono Geoscience Center, Japan. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 172, 8-12.

2005년 3월 25일 원고 접수
2005년 6월 13일 수정원고 접수
2005년 6월 22일 원고 채택