

낙동강 삼각주 서부지역의 제4기 후기 고환경 변화

류춘길^{1,*} · 강소리² · 정성교³

¹동아대학교 건설기술연구소, 604-714, 부산광역시 사하구 하단동 840

²한국해양연구원 해저환경자원연구본부, 425-600, 경기도 안산시 우체국 사서함 29호

³동아대학교 토목해양공학부, 604-714, 부산광역시 사하구 하단동 840

Late Quaternary Paleoenvironmental Changes in the Western Nakdong River delta

Choon Kil Ryu^{1,*}, Sora Kang², and Sung Gyo Chung³

¹Research Institute of Planning Engineering and Construction, Dong-A University,
Busan, 604-714, Korea

²Marine Geoenvironment and Resources Research Division,

Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

³Division of Civil and Ocean Engineering Department, Dong-A University, Busan, 604-714, Korea

Abstract: Late Quaternary deposits of the core in the western area of the Nakdong River delta consist of four sedimentary units: Unit I, II, III and IV, in ascending order, controlled by the sea-level change since the last interglacial period. Unit I unconformably overlying Cretaceous basement rocks is composed of sandy gravel and sand deposited in a fluvial channel before the first marine transgression. Unit II composed of stiff massive mud is interpreted as a shallow marine deposits formed during the last interglacial period (probably MIS 5). The development of the fissures coated with oxidized materials in the upper part of Unit II is a feature of subaerial exposure, which indicates erosional contact with the upper Unit III. Unit III is made up of soft massive mud and soft shelly massive mud deposited in a tidal flat and a inner shelf, respectively, since the Holocene transgression (about 9,000 yr BP). Unit IV consisted of soft shell bedded mud and yellowish sandy mud was deposited in the delta environments during the regression (after about 5,000 yr BP). The lower shell bedded mud was deposited in a tidal flat and the upper sandy mud was deposited in the floodplain corresponding to present site of the Nakdong River delta.

Keywords: the Nakdong River delta, late Quaternary stratigraphy, depositional environments, sea-level change, last interglacial

요약: 낙동강 삼각주 서부 지역의 시추 코아에 대한 퇴적상, 우공층 화석군집 및 AMS ¹⁴C 연대측정을 수행하고 제4기 퇴적층의 고환경 변화를 분석하였다. 분석 결과, 연구지역의 제4기 후기 퇴적층은 네 개의 퇴적단위(하부로부터 Unit I, II, III, IV)로 구성된다. Unit I은 연구지역에 최초 해침이 일어나기 전 육상 환경에서 형성된 하부 퇴적층이다. Unit II는 연안성 규모의 출현으로부터 친해에서 형성된 해성 퇴적층으로 판명되었으며, 퇴적층 상부에는 대기 노출에 의한 건조와 산화에 의한 균열이 발달하고 있어 상위 퇴적단위와 층서적으로 뚜렷하게 구분된다. 이 퇴적단위는 이전 간빙기(MIS 5)에 형성되었을 가능성이 매우 높다. Unit II를 부정함으로 피복하는 Unit III은 약 9,000 yr BP 경 홀로세 해침이 시작되면서 남수의 영향을 받는 하구의 조간대에서 형성되기 시작하였으며, 해침이 좀 더 진행되면서 약 8,000 yr BP부터는 내대륙봉 환경에서 퇴적되었다. Unit IV는 해수면이 안정된 후, 약 5,000 yr BP를 전후로 한 시기에 낙동강 삼각주의 성장에 의해 형성되었다. 먼저 삼각주의 하부삼각주평원에 해당되는 조간대 퇴적층이 형성되고, 이후 삼각주의 전진에 따라 연구지역은 현재의 삼각주 평원의 배후 지역인 범람원 환경으로 변모하였다.

주요어: 낙동강 삼각주, 제4기 후기 층서, 퇴적환경, 해수면 변동, 이전 간빙기

*Corresponding author: ckryu@donga.ac.kr

Tel: 82-51-200-5551

Fax: 82-51-200-6486

서론

인안 지역에 발달하는 퇴적층은 제4기 후기의 해수면 변동과 고환경 변화에 대한 기록을 잘 보존하고 있다. 특히, 하구는 육상과 해양으로부터 공급된 나랑의 퇴적물이 집적되는 장소로서 인안 지역의 어떠한 곳보다 해수면 변동과 이에 따른 고환경 변화에 대한 많은 다양한 정보를 제공한다(Li et al., 2000). 따라서 삼각주는 하구에 발달하는 대표적인 퇴적체로서 제4기 후기 고환경 연구에 있어 중요한 지질학적 임지를 갖는다.

한반도에서 인안 지역의 제4기 후기 층서와 퇴적 환경에 대한 연구는 주로 조간대가 넓게 발달하고 있는 서해 인안을 대상으로 수행되어 왔다(김여상과 박용안, 1988; Park et al., 1991; 김여상과 박수철, 1992; 박용안 외, 1995; 천종화 외, 1995; 박용안 외, 1997; Park et al., 1998; Shin et al., 1998; Kim et al., 1999; Choi, 2001; 임동일 외, 2002; Lim and Park, 2003; Lim et al., 2003). 서해 인안에 비해 그동안 낙동강 삼각주 퇴적층의 층서와 고환경에 대한 연구는 미미한 실정이며 주로 홀로세 이후의 퇴적 환경에 대한 연구가 간헐적으로 수행되었다(古維龍, 1985; 오건환, 1994; Kang et al., 2000; 류춘길, 2003).

한편, 낙동강 하구 외해역의 대륙붕 지역에서는 전 부탄성파 자료와 퇴적물 시료를 이용한 제4기 퇴적층의 층서 및 퇴적환경에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있다(Suk, 1989; Park et al., 1990; Park and Yoo, 1992; Yoo et al., 1996; Lee and Chung, 2000; Yoo and Park, 1997; 2000; Yoo et al., 2003; 유동근 외, 2004). 따라서 우리나라 남동해역 전반에 대한 제4기 후기 퇴적층의 층서 및 고환경 변화를 규명하기 위해서는 낙동강 삼각주를 비롯한 주변 인안 지역에 대한 연구 자료가 지속적으로 축적되어야 할 것으로 생각된다.

이 연구는 낙동강 삼각주와 주변 인안 지역의 제4기 후기 고환경 변화를 재구성하기 위한 첫 시도로서, 삼각주 서부 지역에 기록된 제4기 후기 퇴적층의 해수면 변동과 연계된 퇴적환경 변화를 규명하는 데 목적이 있다.

연구지역 및 방법

낙동강은 우리나라에서 가장 긴 인상(약 527 km)

과 두 번째로 넓은 유역면적(약 23,656 km²)을 갖는 하천으로서(김원형과 이형호, 1980), 남해와 만나는 하구역에 삼각주(낙동강 삼각주)를 발달시킨다. 낙동강 삼각주는 육상 면적 약 173 km²로서 우리나라의 대표적인 삼각주로 알려져 있다. 낙동강 삼각주는 지형과 수리학적 특성에 따라 하중도(inter-distributary island)와 자인제방으로 구성된 상부삼각주평원(upper delta plain), 사주, 조간대 및 해안평야로 이루어진 하부삼각주평원(lower delta plain), 그리고 전체 삼각주의 배후저습지에 해당하는 삼각주 주변분지(marginal basin)로 대별된다(권혁재, 1973). Kim(1988)의 해저 지형 자료에 의하면 삼각주 전면(delta front)과 전삼각주(pro-delta)는 외해로 갈수록 남동 방향으로 약간 휘어지며 발달하는 양상을 보이고 삼각주의 서쪽 지역은 삼각주로 유입되는 소하천들에 의한 저평한 범람원이 발달하는 지역으로서 동쪽 경계에 비해 매우 복잡한 지형적 특징을 보인다(Fig. 1). 삼각주 주변에는 중생대 백악기 기반암으로서 경상누공군에 해당하는 퇴적암류, 화산암류 및 화강암류가 산세를 형성하여 에워싸고 있다.

본 연구지역은 낙동강 삼각주의 상부삼각주평원 중앙부의 서쪽 경계부에 위치하고 있는 범람원 지역으로서 중앙부에 위치한 1개소에서 채취된 시추 코아(SB-14)를 대상으로 본 연구가 수행되었다(Fig. 1). 시추는 토질공학작 지반조사에서 일반적으로 행해지는 회전 수세식 방법으로서 수압식 시료채취기(외경 76.2 mm, 길이 854 mm 황동관)를 이용하여 2m 간격의 불교란 시료를 획득하였다. 시료가 회수되지 않는 구간에 대해서는 퇴적층의 암상 단위(lithological unit)를 파악하는 데에도 매우 유용한 도구임이 알려져 있는(Powell and Quarterman, 1995) 콘관입 시험(Cone Penetration Test, CPT)을 시추공 옆에서 실시하였다. 콘관입 시험은 원추모양의 금속 재질의 cone probe를 지반에 일정한 속도로 관입시킬 때 발생하는 저항력을 측정하여 지반의 역학적 성질을 추정하는 원위치 시험이다.

실내에서 시추시료의 색, 조직, 퇴적구조 및 구성물질 등의 퇴적학적 특징을 기재하였고, 일부 시료에 대해서는 반으로 절개한 후 편형시료를 아크릴 슬랩(acryl slab)에 담아 인 X-선 촬영을 실시, 영상을 관찰하였다. 함수비는 습윤 시료와 건조 시료의 중량 차이로 수분 함량을 구한 후, 건조 시료의 중량에 대한 백분율로 산정하였다. 유기총 분석을 위해 시추

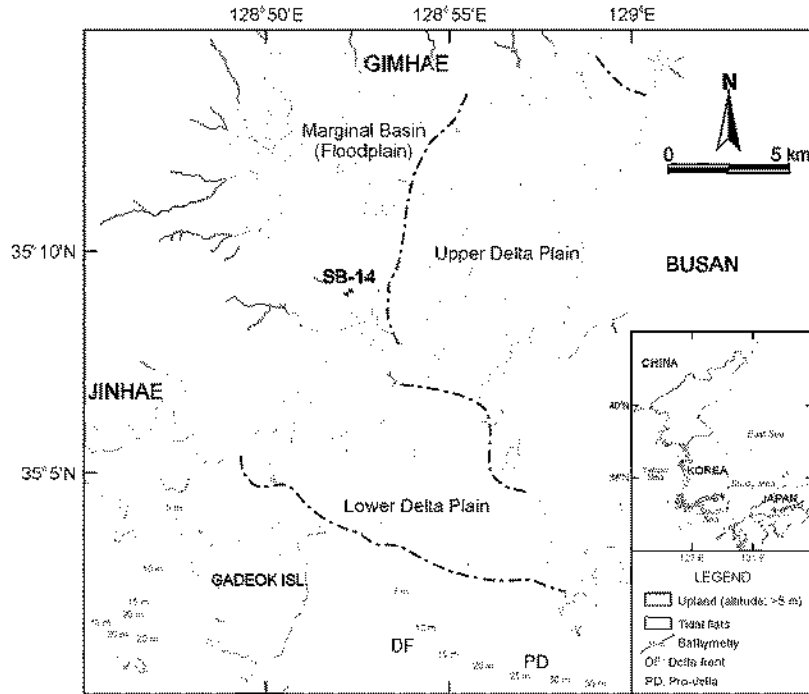


Fig. 1. Physiography of the Nakdong River delta and the location of the core. (revised and synthesized from Kwon, 1973 and Kim, 1988).

시료로부터 약 2cm 두께의 퇴적물 시료를 채취, 건조기에서 약 40°C의 저온 상태로 충분히 건조시키고, 20 ~30 g 정도를 취하여 63 μm의 체를 사용하여 수선(wet-sieving)한 뒤, 잔류물을 약 60°C 온도로 완전히 건조시켰다. 건조된 시료를 미량분리기(microsplitter)를 이용해 적당량으로 분리한 뒤, 실재현미경을 이용하여 각 시료에서 300 개체 내외의 유공충 각을 추출하고 분류하였다. 또한, 유공충의 산출이 매우 불량한 시료에 대해서는 구조 분석을 수행하였으며 실내에서의 화학 처리방법은 Boden(1991)의 시료처리법을 이용하였다. 퇴적층의 연대 결정을 위하여 패각과 식물 편을 이용하여 AMS ¹⁴C 연대측정을 실시하였다. 연대측정은 뉴질랜드 Institute of Geological and Nuclear Science(IGNS)의 Rafter Radiocarbon Laboratory와 서울대학교 기초과학연구원 공동기기원에서 수행하였다.

연구결과

시추 결과, 연구지역의 퇴적층은 하부로부터 백악기 흑운모 화강암을 기반으로 하여 자갈질 모래

및 모래질 자갈층, 니질 퇴적층, 그리고 개펄 및 경작층의 순으로 구성된다(Fig. 2). 총 퇴적층의 두께는 34.7 m에 이르며, 니질 퇴적층이 31.5 m로서 가장 두꺼운 층후를 보인다. 니질 퇴적층은 약 23 m 두께의 상부의 연약한 니질 퇴적층과 하부의 약 8.5 m 두께의 견고한 니질 퇴적층으로 크게 구분된다. 특히, 하부 니질 퇴적층 중 심도 27.8 m 이하 구간은 불교란 상태로 시료를 채취하는 것이 불가능할 정도로 견고하여 굴착 시 슬러지(sludge) 상태로만 지층 상태를 확인할 수 있었다.

퇴적상 및 연대 측정

시추 시료에서 관찰되는 여러 퇴적학적 특징, 함수비 및 관입시험 결과 등을 기초로 최상부의 개펄층을 제외하고 제4기 퇴적층은 총 6개의 퇴적상으로 구분된다(Fig. 2). 대표 심도에 대한 AMS ¹⁴C 연대 측정 결과를 Table 1에 제시하였다.

자갈질 모래 퇴적상(Facies Gs)

자갈질 모래 퇴적상(gravelly sand facies)은 31.5~34.7 m 사이의 3.2 m의 두께를 가지고 dark yellowish

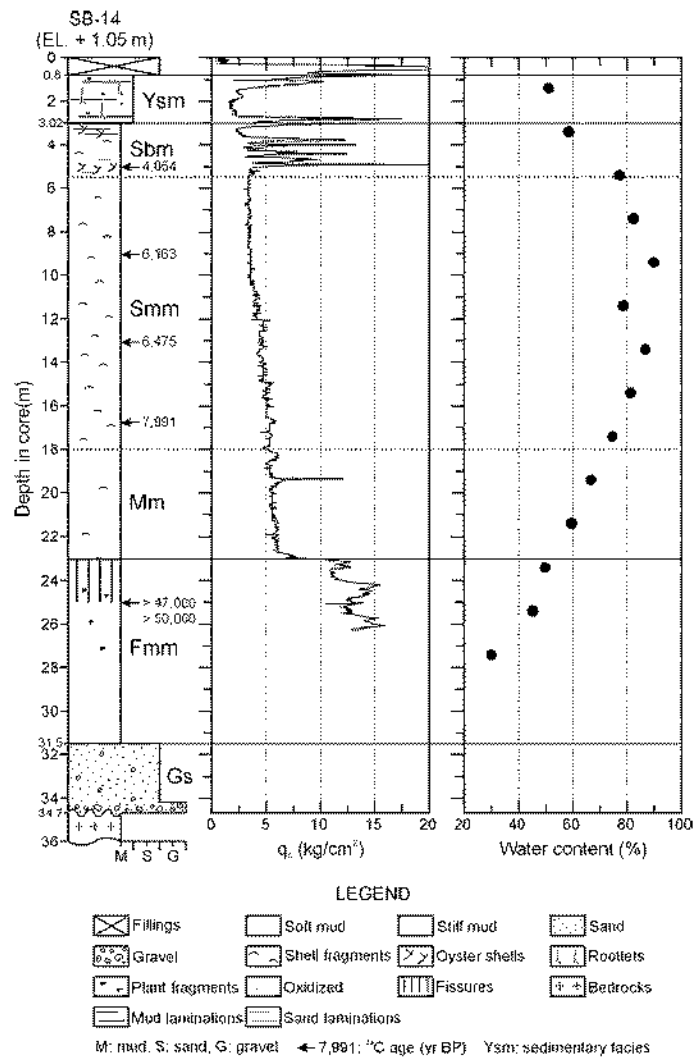


Fig. 2. Columnar section with cone penetration test, water content and AMS ¹⁴C radiocarbon age datings of the core.

Table 1. AMS ¹⁴C radiocarbon age datings of the core

Lab code	Altitude (m)	Materials	δ ¹³ C (‰)	¹⁴ C age (yr BP)
NZA 21669	-3.97	<i>Crassostrea gigas</i> (Thunberg)	0.2	4054±35
NZA 21670	-8.75	<i>Scalidonus purpuraceus</i> (Sowerby)	-0.6	6163±40
NZA 21671	-12.03	<i>Scalidonus purpuraceus</i> (Sowerby)	0.6	6475±35
NZA 20416	-16.13	<i>Macoma saxatilis</i> (v. Martens)	0.7	7991±35
NZA 21592	-23.99	charcol	-30.1	>47000
SNU 04-308	-23.99	charcol	-24.84	>50000

orange(10YR 6/6)의 색을 띠는 사질 퇴적층으로 백악기 화강암을 부정합으로 피복하고 있다. 이 퇴적층은 서로 접이적인 변화를 보이는 하부의 0.5m 두께의 모래질 자갈층과 상부의 모래층으로 구성되며 꽤

각 편을 전혀 포함하지 않는다. 하부의 자갈질 모래층은 dark yellowish orange(10YR 6/6)의 색을 띠고 매우 침강한 분급을 보인다. 모래는 거의 조립에 가까운 입도를 보이며 포함된 자갈은 아각상(subangular)에

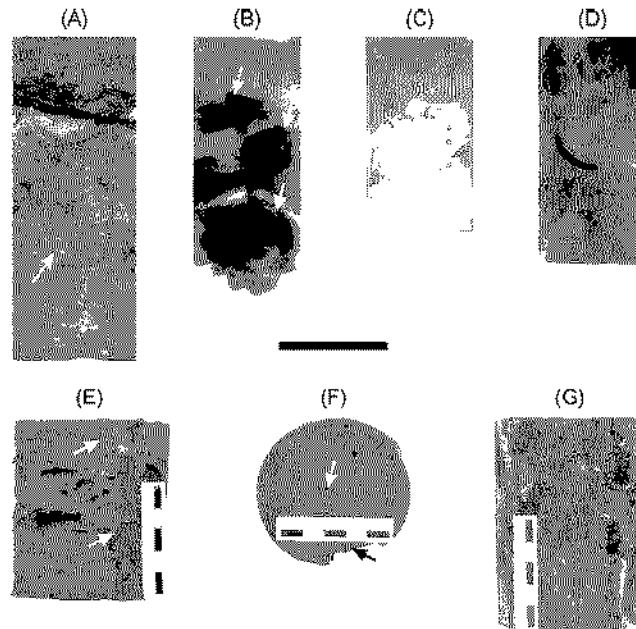


Fig. 3. Photographs and radiographs of some sedimentary facies of the core. (A) Yellowish brown sandy mud facies (Facies Ysm) severely oxidized and intercalated with a gravel layer (arrow); 1.0-1.17 m. (B) Shell bedded mud facies (Facies Sbm) containing oyster shells (arrows); 3.0-3.11 m. (C) and (D) Shelly massive mud facies (Facies Smm) showing extensively bioturbated and massive features; 7.0-7.09 m and 17.1-17.2 m, respectively. (E) to (G) Fissured massive mud facies (Facies Fmm) with many near-vertical fissures coated with oxidized materials (arrows); (E) is 25.0-25.1 m, (F) and (G) are 25.3-25.4 m; (F) is horizontal view and (G) is vertical view. Scale bar is 5 cm.

서 각상(angular)의 불량한 원마도를 보이고 대체로 전자갈 크기에 해당한다. 상부의 중립-조립질 모래층은 동일한 색을 띠고 대체로 불량한 분급을 보이며 소량의 잔자갈을 포함한다. 이 퇴적상은 전체적으로 상향 세립화의 입도 경향을 보인다.

균열이 발달한 과상 니 퇴적상(Facies Fmm)

균열이 발달한 과상 니 퇴적상(fissured massive mud facies)은 23.0-31.5 m의 8.5 m 두께로 녹회색(greenish gray, SGY 6/1)-암녹회색(dark greenish gray, SGY 4/1)을 띠는 건고한 과상의 나질 퇴적층이다. 패각 편은 전혀 관찰되지 않고 전자갈 크기의 암편이 소량 나타난다. 비교적 풍부한 식물편이 포함되어 있으며 1cm가 넘는 탄화된 목편이 관찰되기도 한다(Fig. 3E). 부분적으로 희미한 잔류 엽층리(residual laminations)가 발달하기도 하나, 전체적으로는 퇴적 구조의 발달이 불분명하여 생물교란작용(bioturbation)의 영향을 상당히 받았음을 지시하고 있다.

특정적으로, 이 퇴적상은 상위 퇴적상에 비해 낮은

함수비와 약 2배 이상의 매우 높은 강도를 가지고 있다. 콘관입저항값의 변화에 있어서도 매우 급격한 양상을 보이고 있어 상부 퇴적상과 뚜렷하게 구분된다. 또한, 퇴적상의 상부 구간에서는 수십 cm의 연장과 1 mm 내외의 폭을 가지는 수개의 균열이 발달하고 있다(Fig. 3E-G). 거의 수직인 균열 면에는 갈색과 흑색의 산화물이 예외 없이 피복하고 있다. 상당히 고화된 상태와 산화물로 피복된 균열의 발달은 이 퇴적층이 형성 후에 대가에 노출되어 건조작용과 산화작용을 받았음을 의미한다. 따라서 이 퇴적상은 상위 퇴적상과의 접촉면을 직접 확인할 수는 없으나 층서적으로 분명한 부정합 관계를 가진다고 할 수 있다. 이 퇴적상의 해발고도 약 24 m 지점의 식물 편에서 얻어진 최초 AMS ¹⁴C 연대측정 결과는 >47,000 yr BP이었으며, 이 연대의 신뢰성을 재고하기 위해 타 기관에서 동일 시료로 재 측정할 결과, >50,000 yr BP로 거의 일치된 연대가 얻어졌다(Table 1과 Fig. 2).

Table 2. Occurrence chart of the benthic foraminifers from the core

species	depth	3.11	5.04	7.01	9.79	11.06	13.09
<i>Albaninina</i> sp.							
<i>Ammonia beccarii</i>		160 (45.45)	48 (14.63)	5 (1.72)			
<i>Ammonia bekenziensis angulata</i>						8(2.37)	
<i>Ammonia spreta</i>			5 (1.52)	1 (0.34)			
<i>Ammoniaxoides globulata</i>			4 (1.22)				
<i>Bolivina pacifica</i>		1 (0.28)	1 (0.30)	1 (0.34)			1 (0.34)
<i>Bolivina robusta</i>			2 (0.61)			1(0.30)	
<i>Bolivina spinosocens</i>		1 (0.28)					2 (0.68)
<i>Bolivina spiranika</i>		1 (0.28)	1 (0.30)				
<i>Buccella frigida</i>		39 (11.08)	10 (3.05)	15 (5.15)	5 (1.62)	14(4.15)	24 (8.22)
<i>Bulinina marginata</i>						2(0.59)	3 (1.03)
<i>Bulininella elegantissima</i>		7 (1.99)	5 (1.52)	1 (0.34)	1 (0.32)	2(0.59)	7 (2.40)
<i>Cibicides lobatulus</i>							
<i>Cibicides subdepressus</i>							2 (0.68)
<i>Elphidium nipponica</i>					2 (0.65)	1(0.30)	
<i>Elphidium advenum</i>				1 (0.34)		10(2.97)	
<i>Elphidium clavatum s.l.</i>		1 (0.28)	24 (7.32)	22 (7.56)	15 (4.85)	9(2.67)	15 (5.14)
<i>Elphidium incertum</i>		10 (2.84)					2 (0.68)
<i>Elphidium kasimovense</i>							2 (0.68)
<i>Elphidium neerlandicum</i>		1 (0.28)	8 (2.44)	6 (2.06)	1 (0.32)	3(0.89)	
<i>Elphidium somersense</i>		47 (13.35)	61 (18.60)	49 (16.84)	25 (8.09)	68(20.18)	50 (17.12)
<i>Elphidium subaenigmaticum</i>		1 (0.28)	49 (14.94)	52 (17.87)	195 (63.11)	110(32.64)	123 (42.12)
<i>Elphidium subgranulosum</i>		12 (3.41)					
<i>Elphidium</i> sp. C		2 (0.57)	2 (0.61)				2 (0.68)
<i>Elphidium</i> sp. D		3 (0.85)	5 (1.52)	4 (1.37)	1 (0.32)		2 (0.68)
<i>Elphidium</i> sp. E				1 (0.34)		1(0.30)	
<i>Elphidium</i> sp. F		1 (0.28)					
<i>Fissurina cucurbitiformis</i>		1 (0.28)	5 (1.52)	3 (1.03)	1 (0.32)	1(0.30)	3 (1.03)
<i>Fissurina cucurbitiformis hispanica</i>						1(0.30)	
<i>Fissurina marginata</i>							1 (0.34)
<i>Furcuncula</i> sp.					1 (0.32)	1(0.30)	1 (0.34)
<i>Globocassidulina parvifloris</i>		11 (3.13)					
<i>Globocassidulina depressa</i>							1 (0.34)
<i>Globocassidulina subglobosa</i>			4 (1.22)				
<i>Hantzawaia nipponica</i>							1 (0.34)
<i>Lagena clavata</i>							
<i>Lagena subclavata spicata</i>			1 (0.30)			3(0.89)	
<i>Lenticulina</i> sp.						1(0.30)	
<i>Melonis beulecanis</i>				1 (0.34)			
<i>Muravinella globosa</i>		15 (4.26)	12 (3.66)	5 (1.72)		9(2.67)	
<i>Neocomorbina suachi</i>					1 (0.32)		
<i>Nonion</i> sp. A		8 (2.27)	1 (0.30)				
<i>Nonion</i> sp. B			2 (0.61)				
<i>Nonionella globosa</i>						1(0.30)	
<i>Nonionella stella</i>			1 (0.30)				
<i>Nonionellina</i> sp.			1 (0.30)		3 (0.97)	2(0.59)	1 (0.34)
<i>Pseudopuzosia novaeis</i>		1 (0.28)	2 (0.61)	2 (0.69)		4(1.19)	4 (1.37)
<i>Rosella aculeata</i>						1(0.30)	1 (0.34)
<i>Rosalina bradyi</i>						1(0.30)	
<i>Rosalina vilandobona</i>		1 (0.28)	2 (0.61)	1 (0.34)			
<i>Siphonogorina</i> sp.							

Table 2. Occurrence chart of the benthic foraminifers from the core

species	depth	3.11	5.04	7.01	9.79	11.06	13.09
<i>Uvigerinella glabra</i>		1 (0.28)	10 (3.05)	11 (3.78)	12 (3.88)	15(4.45)	18 (6.16)
<i>Vahvulinera hamanakoensis</i>		9 (2.56)	11 (3.35)	3 (1.03)	4 (1.29)		3 (1.03)
<i>Vahvulinera</i> sp. A		1 (0.28)					1 (0.34)
Miscellaneous (hyaline)			1 (0.30)	1 (0.34)			
<i>Miliolinella circularis</i>						1(0.30)	1 (0.34)
<i>Miliolinella</i> sp.						1(0.30)	1 (0.34)
<i>Quinqueloculina conoveri</i>				1 (0.34)		2(0.59)	
<i>Quinqueloculina hesimacoi</i>							1 (0.34)
<i>Quinqueloculina kamohikiana</i>							1 (0.34)
<i>Quinqueloculina semimida</i>		17 (4.83)	50 (15.24)	105 (36.08)	42 (13.59)	64(18.99)	16 (5.48)
<i>Spiriloculina acronotata</i>							2 (0.68)
<i>Spiriloculina communis</i>							
<i>Trochammina pacifica</i>							
Total number of benthic foram. picked		352	328	291	309	337	292
Number of planktic foram. counted		0	8	8	16	13	63
M:T ratio (%)		0	2.38	2.38	4.76	3.87	18.75
Ratio of calcareous hyaline foram. (%)		95.17	84.76	63.57	86.41	79.82	92.47
Ratio of calcareous porcelaneous foram. (%)		4.83	15.24	36.43	13.59	20.18	7.53
Ratio of agglutinated foram. (%)		0	0	0	0	0	0
Number of benthic foram. / 1 g. of sediments		2247	1082	369	155	348	404
Number of species, S		25	28	22	15	28	30
Shannon-Weiner information function, H(S)		2.00	2.54	2.03	1.35	2.13	2.12
Equitability, E		0.30	0.45	0.35	0.26	0.30	0.28

*The Number in parenthesis is frequency of each species to total population.

Table 2. Continued

species	depth	15.07	17.15	19.07	21.05	23.4
<i>Albaminina</i> sp.					1 (0.31)	
<i>Annonita beccarii</i>		1 (0.26)	5 (1.69)	75 (25.95)	159 (48.62)	
<i>Annonita heizenziensis argillata</i>						
<i>Annonita tepida</i>				6 (2.08)	20 (6.12)	
<i>Anomalinoidea glabrata</i>						
<i>Bolivina pacifica</i>		1 (0.26)				
<i>Bolivina robusta</i>		1 (0.26)				
<i>Bolivina spinosorum</i>		2 (0.52)	1 (0.34)			
<i>Bolivina sordida</i>			3 (1.01)		1 (0.31)	
<i>Buccella frigida</i>		13 (3.37)	41 (13.85)	109 (37.72)	26 (7.95)	2
<i>Bulimina marginata</i>						
<i>Buliminella elegantissima</i>		3 (0.78)		1 (0.35)	2 (0.61)	
<i>Cibicides lobatulus</i>		1 (0.26)				
<i>Cibicides subdepressus</i>						
<i>Elphidium japonica</i>		1 (0.26)				
<i>Elphidium achronum</i>		12 (3.11)	7 (2.26)			
<i>Elphidium clavatum</i> s.l.		37 (9.59)	17 (5.74)	70 (24.22)	10 (3.06)	
<i>Elphidium incertum</i>			3 (1.01)		11 (3.36)	
<i>Elphidium kasibocense</i>						
<i>Elphidium veicilosum</i>		2 (0.52)	1 (0.34)			
<i>Elphidium sonnaense</i>		84 (21.76)	60 (20.27)		19 (5.81)	
<i>Elphidium subaenarium</i>		186 (48.19)	79 (26.69)	4 (1.38)	3 (0.92)	
<i>Elphidium subgranulosum</i>					36 (11.01)	

Table 2. Continued

species	depth	15.07	17.15	19.07	21.05	23.4
<i>Elphidium</i> sp. C			4 (1.35)			
<i>Elphidium</i> sp. D			2 (0.68)	5 (1.73)		
<i>Elphidium</i> sp. E						
<i>Elphidium</i> sp. F						
<i>Fissurina cucurbitaceana</i>	1 (0.26)		1 (0.34)		3 (0.92)	
<i>Fissurina cucurbitaceana hispidata</i>						
<i>Fissurina marginata</i>						
<i>Furukohina</i> sp.						
<i>Globocassidulina parviformis</i>						
<i>Globocassidulina depressa</i>						
<i>Globocassidulina subglobosa</i>	2 (0.52)					
<i>Hantzawaia nipponica</i>						
<i>Lagena clavaea</i>	1 (0.26)					
<i>Lagena subclavae spicata</i>	2 (0.52)					
<i>Lenticulina</i> sp.						
<i>Melonis beulecanis</i>						
<i>Murcinella globosa</i>			14 (4.73)	16 (5.54)		
<i>Neocambrina suachi</i>						
<i>Nonion</i> sp. A				3 (1.04)	1 (0.31)	
<i>Nonion</i> sp. B						
<i>Nonionella globosa</i>						
<i>Nonionella sulca</i>						
<i>Nonionellina</i> sp.			1 (0.34)			
<i>Pseudopuzosia novaeis</i>	7 (1.81)					
<i>Rosella aculeata</i>						
<i>Rosalina bradyi</i>						
<i>Rosalina vilardotiana</i>	1 (0.26)					
<i>Siphonogorina</i> sp.	2 (0.52)					
<i>Uvigerinella globosa</i>	13 (3.37)					
<i>Vahrlinella hamanakensis</i>	5 (1.30)		5 (1.69)		33 (10.09)	
<i>Vahrlinella</i> sp. A						
Miscellaneous (hyaline)						
<i>Miliolinella cavatais</i>			2 (0.68)			
<i>Miliolinella</i> sp.						
<i>Quinqueloculina compta</i>	1 (0.26)					
<i>Quinqueloculina hawaiiensis</i>			2 (0.68)			
<i>Quinqueloculina lamarkiana</i>						
<i>Quinqueloculina semimida</i>	5 (1.30)		48 (16.22)		2 (0.61)	1
<i>Spiriloculina acuta</i>						
<i>Spiriloculina communis</i>	1 (0.26)					
<i>Trochammina pacifica</i>	1 (0.26)					
Total number of benthic foram, picked		386	296	289	327	3
Number of planktic foram, counted		84	13	0	2	
B/T ratio (%)		25.00	3.87	0	0.61	
Ratio of calcareous hyaline foram,		97.93	82.43	100	99.39	
Ratio of calcareous porcelaneous foram,		1.81	17.57	0	0.61	
Ratio of agglutinated foram,		0	0	0	0	
Number of benthic foram, / 1 g. of sediments		849	148	130	164	
Number of species, S		26	19	9	15	
Shannon-Weiner information function, 1(H')		1.77	2.11	1.50	1.78	
Equitability, E		0.23	0.43	0.50	0.40	

*The Number in parenthesis is frequency of each species to total population.

과상 니 퇴적상(Facies Mm)

과상 니 퇴적상(massive mud facies)은 18.0-23.0 m 사이의 5 m 구간으로서 암회색(dark gray, N3)을 띠는 연약한 과상의 니질 퇴적층이다. 모래에서 잔자갈 크기의 폐가 편이 매우 소량 관찰되며 퇴적구조의 발달은 불량하다. 산화된 흔적으로 생각되는 간색의 산화물로 피복된 부분이 쉽게 관찰된다.

함패각편 과상 니 퇴적상(Facies Smm)

함패각편 과상 니 퇴적상(shelly massive mud facies)은 6.0-18.0 m 구간으로서 퇴적상 가운데 가장 두꺼운 12m의 층위를 갖는다. 암회색(dark gray, N3)을 띠고, 퇴적층 전반에 걸쳐 모래에서 잔자갈 크기의 폐가편이 비교적 풍부하게 산출되는 연약한 과상의 니질 퇴적층이다. 전체적으로 심한 생물교란작용으로 퇴적구조의 발달은 매우 불량하다(Fig. 3C와 D). 이 퇴적상에서는 폐가를 대상으로 총 3개의 AMS ¹⁴C 연대가 얻어졌으며, 상부로부터 각각 6163 ±40 yr BP, 6475±35 yr BP, 그리고 7991±35 yr BP이다(Table 1과 Fig. 2).

함패층 니 퇴적상(Facies Sbm)

함패층 니 퇴적상(shell bedded mud facies)은 3.02-5.50 m 구간으로서, 수 cm 크기의 폐가 편이 밀집된 패층(shell bed)을 포함하고 dark gray(N3)의 색을 띠는 연약한 니질 퇴적층이다. 대부분 굴 폐가으로 구성된 약 5cm 정도 두께의 패층이 다수 관찰되고, 폐가의 대부분은 마모 흔적이 없고 보존 상태가 비교적 양호하다(Fig. 3B). 이 구간에서의 콘관입저항값의 분포는 매우 높고 불규칙한 양상을 보이고 있어 이러한 패층이 다수 존재함을 시사하고 있다. 패층 내에는 연속성이 불량한 소량의 모래질 염층리(remnant mud laminations)가 관찰되기도 한다. 이 퇴적상 하나의 굴 폐가으로부터 얻어진 AMS ¹⁴C 연대측정 결과는 4,054±35 yr BP이다(Table 1과 Fig. 2).

황갈색 사질 니 퇴적상(Facies Ysm)

황갈색 사질 니 퇴적상(yellowish brown sandy mud facies)은 0.8-3.02 m 까지 약 2.2 m 두께를 갖는 연약한 사질 니 퇴적층이다. 전체적으로 pale yellowish brown(10YR 6/2)에서 dark yellowish brown(10YR 4/2)의 색을 띠며 심하게 산화되어 있다. 부분적으로

모래와 실트질 평행 염층리가 발달하고 폐가 편은 전혀 관찰되지 않는다. 간색의 산화물로 피복된 다량의 식물편, 식물 뿌리 및 식물 줄기 등을 포함하고 있다. 퇴적층 중간부에는 소규모 하도 형태를 보이고 원마도가 불량한 잔자갈을 다량 포함한 모래질 자갈층이 협재되기도 한다(Fig. 3A).

유공충 및 구조 화석

시추 코어의 퇴적물로부터 시료에 따라 직계는 5속 9종으로부터 광계는 19속 30종의 유공충 화석을 감정하였다(Table 2). 최상부 1.17 m, 1.79 m와 하부 23.01-27.40 m 시료에서는 유공충이 전혀 산출되지 않거나 극히 불량한 산출을 보인다. 나머지 시료들에서는 보존상태가 매우 좋은 유공충 각이 풍부하게 산출된다. 전체적으로 석회질 유리상 유공충이 우세하며, 석회질 자기상 유공충은 5.04-11.06 m 구간과 17.15 m에서 10% 이상 산출된다. 사질 유공충은 전 시료에서 1개체만 산출되었다. 무유성 유공충 비율은 13.09 m와 15.07 m에서 각각 18.8%와 25%였으며, 그 외 시료들에서는 5% 미만으로 매우 낮다. 종수(S)는 최소 9종에서 최대 30종에 이르고, 종다양도(H(S))는 1.35-2.54의 값을 보였으며, 균형도는 0.23-0.5의 값으로 나타난다(Table 2).

주요 저서성 유공충은 *Annonia beccarii*, *Elphidium subarcticum*, *E. somuense*, *Quinqueloculina semimula* 및 *Buccella frigida* 등을 비롯하여, *E. clavatum* (s.l.), *Murrayella globosa*, *Vahvulinera humanukoensis*, *E. subgranulosum*, *E. ukhremi*, *Uvigerinella glabra* 등의 전해성 종들로 구성된다. 저서성 유공충 군집의 가장 큰 특징은 *A. beccarii*와 *E. subarcticum*의 대조적인 산출양상이다. 즉, *A. beccarii*가 우점종으로 산출되는 군집대에서는 *E. subarcticum*의 산출이 대체로 불량하고, 반면에 *A. beccarii*의 산출이 불량한 군집대에서는 *E. subarcticum*이 우세한 양상을 보인다.

이상과 같은 유공충의 산출특성과 함께 최소 1개 시료 이상의 시료에서 5% 이상의 산출을 보이는 주요 저서성 유공충의 종 구성에 따라 하부로부터 다음과 같이 총 5개의 유공충 군집대를 설정하였다(Fig. 4).

희귀무생대(Rare to Barren zone)

23.01-27.40 m 구간의 시료에서는 유공충이 극히 소량 산출되거나 전혀 산출되지 않는다. 이 구간에 대해서는 보다 정확한 퇴적환경을 파악하기 위해 추

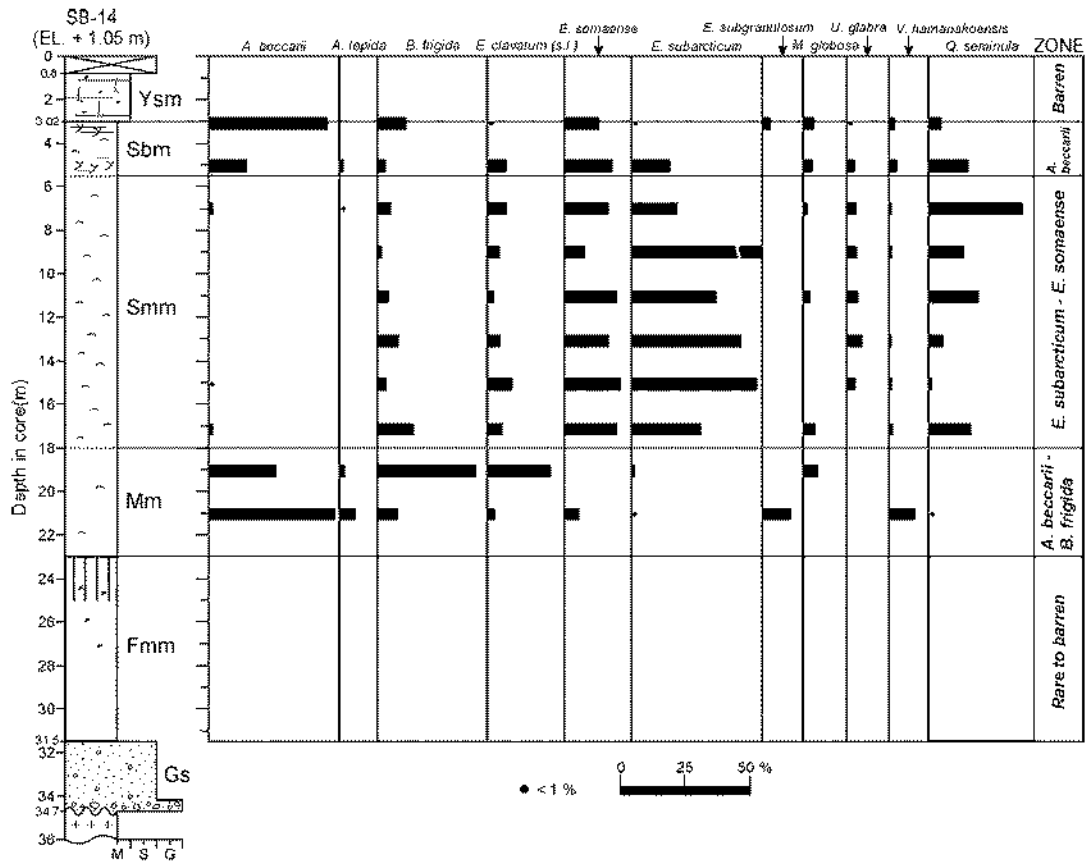


Fig. 4. Distributional pattern of the main foraminiferal species and zones of the core.

가로 구조 화석을 분석하였다. 분석은 구조 화석의 산출 여부와 주요 구성 종을 감정하는 수준에서 수행하였다.

분석 결과, 모든 시료에서 산출량이 많지는 않으나 보존 상태가 비교적 양호한 구조 화석이 산출되었으며 거의 유사한 종 구성을 보인다. 대표적으로 *Actinoppehus senarius*, *Parafia sulcata*, *Coconeis scutellum* 및 *Grammatophora* sp. 등의 연안(littoral) 종들을 비롯하여 *Diploneis elliptica*, *Cymbella hebridica* 등의 담수종들이 함께 산출되고 있다. 이러한 구조 화석의 산출로 미루어 이 구간은 담수의 영향을 받는 천해 환경에서 형성된 해성 퇴적층인 것으로 결론지을 수 있다.

Ammonia beccarii-Buccella frigida 군집대

19.07m와 21.05m 시료에서는 *A. beccarii*가 가장 많이 산출되며, *B. frigida*도 두 시료 모두에서 우세

하게 산출된다. 19.07m 시료는 산출되는 종의 수가 매우 작으며, *A. beccarii*, *B. frigida* 및 *E. clavatum* (s.l.)이 85% 이상을 차지한다. 21.05m 시료에서는 특징적으로 *E. subgranulosum*과 *V. hamanakoensis*가 10% 이상 수반된다.

Elphidium subarcticum-Elphidium somaense 군집대

7.01~17.15m 시료들로서 *E. subarcticum*, *E. somaense* 외에 *Q. seminula*, *E. clavatum* (s.l.), *B. frigida*가 우점종으로 산출되며, *E. advenum*, *U. glabra* 등이 수반된다. 최상부 시료에서는 *E. subarcticum*의 산출량이 급감하는 반면, *Q. seminula*가 급증하고 있어 이 군집대 내에서도 약간의 차이를 보여주고 있다.

Ammonia beccarii 군집대

3.11~5.04m 시료 구간으로서 *A. beccarii*와 *Elphidium*

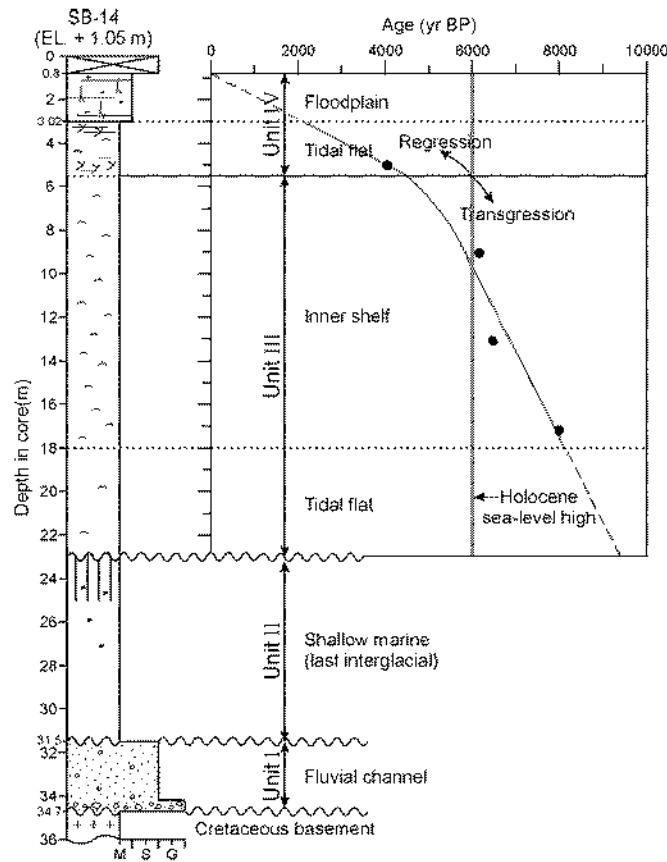


Fig. 5. Stratigraphy and depositional environmental units with sediment accumulation curve of the core.

*somaense*가 우세하게 산출되며, *M. globosa*와 *V. hamanchoensis*가 수반된다. *B. frigida*는 3.11 m 시료에서, *E. clavatum (s.l.)*, *E. subarcticum*, *Q. seminula*는 5.04 m 시료에서 더 많이 산출된다.

무생대(Baren zone)

최상부 1.17m와 1.79 m 시료로서 유공충이 전혀 산출되지 않는다.

토 의

퇴적상, 유공충 및 규조 화석과 AMS ¹⁴C 연대 측정 결과로부터 연구지역 시추 50m의 제4기 후기 충시를 정립하고 하부로부터 총 4개의 퇴적환경 단위(하부로부터 Unit I, II, III, IV)를 설정할 수 있었다(Fig. 5).

Unit I: 후기 플라이스토세 하상 퇴적층

백악기 기반암인 흑운모화강암을 부정합으로 피복하고 있는 자갈질 모래 퇴적상(facies Gs)으로 구성된 퇴적단위이다. 패각편이 전혀 관찰되지 않고 황갈색의 색조와 매우 불규칙한 분급과 원미도를 보이고 있는 특징으로부터, 이 퇴적층은 연구지역에 최근 해침이 일어나기 전 육성환경에서 형성된 것으로 생각된다. 퇴적층 하부에 자갈이 집중되어 있고 상부로 갈수록 그 함량이 감소하는 상향 세립화의 경향을 띠는 것으로 볼 때, 하성환경에서 형성된 하도 퇴적층(channel deposits)인 것으로 추정된다.

Unit II: 후기 플라이스토세 천해 퇴적층

균열이 발달한 석상의 니질 퇴적상(facies Fmm)으로 구성된 퇴적단위로서 하부의 Unit I을 부정합으로 피복하고 있다. 패각편이 전혀 관찰되지 않고 유공충

의 산출이 매우 불량하거나 전혀 산출되지 않는다. 그러나 산출량이 많지는 않으나 비교적 보존상태가 양호한 구조 화석이 관찰된다. 부유성인 *A. senarius*와 저서성인 *P. sulcata*는 우리나라의 금강 하구(Shim and Yang, 1982)를 비롯하여 경기만(최중기, 1982), 진해만 등의 인안역(Yoo and Lee, 1979)과 서해 남부해역(Shim and Park, 1984), 대한해협(Shim and Lee, 1983) 등지에 걸쳐 널리 분포하고 있는 종으로 알려져 있다. 역시 인안성 종으로 부착성 구조인 *C. scutellum*은 우리나라 전해역에 널리 분포하는 종이다(Lee et al., 1967). 특히, *Grammatophora* sp.는 인안에 한정되어 서식하는 종으로 알려져 있다(Round et al., 1990). 이러한 인안성 종들과 함께 담수 구조인 *D. elliptica*와 *C. hebrideica*가 산출되며 *D. elliptica*는 약간 기수화된 환경에서도 서식하는 종으로 알려져 있다(Patrick and Reimer, 1975). 따라서 이 퇴적단위는 담수의 영향을 비교적 강하게 받는 전해의 퇴적환경에서 형성된 것으로 해석된다.

이 퇴적단위는 녹회색의 색조와 낮은 함수비 및 상당히 건조한 상태를 유지하고 있어 암회색의 인악한 특성을 보이는 상부의 퇴적단위와 뚜렷이 구분된다. 또한 이 퇴적단위의 상부에는 흑색과 갈색의 산화물이 피복된 수 십 cm 인상의 수직 균열이 발달하고 있어 퇴적층 형성 후, 대기 중 노출에 의한 건조작용과 산화작용의 영향을 받았음을 시사하고 있다. 따라서 전해 환경에서 형성된 이 퇴적층은 형성 후, 해수면 하강과 함께 대기에 노출되어 육상환경의 영향 아래 놓였음을 말해주고 있어 증서적으로 상부 퇴적단위와 뚜렷한 부정합 관계를 갖는 것으로 해석할 수 있다.

한편, 이 퇴적단위의 해발고도 약 -24 m의 동일시료에 대한 AMS ^{14}C 연대 증분 측정 결과는 각각 >47,000 yr BP와 >50,000 yr BP로서 거의 일치하는 연대를 보인다(Table 1 and Fig. 6). 그러나 이전 아간빙기(interstadial)의 퇴적시기를 시사하는 이러한 결과는 이 시기의 해수면이 현재 보다 약 75 m 아래에 있었다는 전지구적 해수면 변동곡선(Chappell and Shackleton, 1986; Cann et al., 1988; Chappell et al., 1996)과 비교해 볼 때, 그 증위와는 상당한 차이를 보인다. 이 연대를 받아들이기 위해서는 홀로세 동안 연구지역이 약 50 m 정도 융기했다는 것을 가정해야 하나 현재까지 이러한 신지구조적 융기(neotectonic uplift)에 대한 증거는 발견된 적이 없다. Yim et al.

(1990)과 Yim(1999)은 홍콩의 여러 인안 지역의 전현세(pre-Holocene) 해성 퇴적층에서 이전 아간빙기 즉, MIS(oxygen isotope stage) 2-3을 시사하는 AMS ^{14}C 연대측정 결과(약 20,000-45,000 yr BP)에 대해 최후 빙기 때 육상에 노출됨에 따라 젊은 연대를 가진 탄소의 유입에 의해 오염된 결과로 해석하였다. 해수면과의 증위상의 불일치, 신지구조 운동의 부재의 증거를 제시하고 재 시도된 U-series 연대 결과(130,000-142,000 yr BP)로부터 MIS 5로서 증서를 설정하였다. 마찬가지로 MIS 3을 시사하는 35,000-50,000 yr BP의 AMS ^{14}C 연대 측정 결과가 태국의 Chao Phraya 삼각주(Rau and Nutalaya, 1983; Sinsakul, 2000)와 약 43,000 yr BP의 연대를 갖는 베트남의 Mekong 삼각주(Tanabe et al., 2003a)의 전현세 해성 퇴적층에서도 보고되었다. Tanabe et al. (2003b)는 이들 연대 역시 해수면과의 증서적 불일치, AMS ^{14}C 연대측정의 한계에 근접하고 있다는 실을 지적하고 이 퇴적층을 MIS 5 또는 그 이전의 고해수면 시기의 산물로 해석할 것을 제안하였다. 최근에는 우리나라 서해 인안의 전현세 퇴적층에서도 이와 동일한 결과가 보고되었다(임동일 외, 2002; Lim and Park, 2003).

결론적으로, 퇴적단위 II는 퇴적환경, 퇴적연대와 전지구적 해수면 변동곡선과의 증위 비교로부터 이전 간빙기인 Eemian 간빙기(MIS 5)에 형성된 것임을 제안한다.

Unit III: 초기~중기 홀로세 전해 퇴적층

Unit II를 부정합으로 피복하고 하부의 괴상 니 퇴적상(lacies Mm)과 상부의 함폐카편 괴상 니 퇴적상(lacies Smm)으로 구성된 퇴적단위이다. 하부 퇴적상은 유공충 군집에서 *A. beccarii*-*B. frigida* 군집대와 일치한다. *A. beccarii*는 전세계적으로 산출되는 광염성(curyhaline) 종으로 해성 석호, 조간대, 하구와 만 등의 전해의 기수성 조간대 환경에 풍부하게 산출하는 것으로 알려져 있으며(小林正人 외, 1991; Cann et al., 1993; Alve and Murray, 1994; Cearreta and Murray, 1996), 우리나라 서해의 홀로세 조간대 퇴적층(Shin et al., 1998)과 서해의 현생 조간대(상순근과 이경진, 1983, 1984; Choong, 1989; 우한준 외, 2000), 남해의 현생 조간대(Lee et al., 2000)에서도 매우 풍부한 산출이 보고되고 있다. 또한, 이 퇴적상에서 관찰되는 광범위한 생물교란작용의 영향과 대기

노출에 의한 부분적 산화의 흔적 등은 상부 조간대의 퇴적환경을 시사하고 있다(Klein, 1977; 박용안 외, 1997). 따라서 이 퇴적단위는 홀로세 해침 초기에 담수의 영향을 강하게 받는 하구의 조간대 환경에서 형성된 것으로 해석된다.

상부의 함쾌층 니 퇴적상은 유공충 군집에 있어서 *E. subarcticum* 군집대와 일치하고 있다. *E. subarcticum*은 일본 도쿄반의 염분농도 30-35‰의 내반에 광역적으로 분포하는 종으로 알려져 있으며(小杉正人 외, 1991), 마츠시마반에서는 반의 외부(outer bay)에 가장 많이 분포하며 반의 내부(inner bay)에는 분포하지 않는 것으로 보고되었다(Matoba, 1970). 또한, 하위 퇴적상에 비해 폐각편과 유공충의 산출량이 훨씬 풍부하게 산출되고 있어 해양환경의 영향이 증대되었음을 시사한다(Tanabe et al., 2003b). 따라서 이 퇴적상은 하부에 비해 수심이 깊어지고 해수의 영향이 훨씬 증대된 내대륙붕 환경에서 형성된 것으로 해석된다. 이러한 퇴적단위 III의 유공충 군집에서 나타나는 *A. beccarii*와 *E. subarcticum*의 대조적인 산출은 해수면 변동에 따른 퇴적환경을 변화시킬 수 있으므로 시사한다. 상부 퇴적상의 최상부에서는 *E. subarcticum*의 산출량이 다시 급감하는 양상을 보이고 있어 이 시기에는 확장하던 해양환경이 축소하고 있음을 시사하는 것으로 추정된다.

연구지역은 퇴적환경 경계와 인대 측정 결과로부터 외삽법(extrapolation)으로 구한 퇴적율을 고려한다면, 약 9,000 yr BP를 전후로 한 시기에 해침이 시작된 것으로 추정된다(Fig. 5). 이후 약 8,000 yr BP부터 연구지역은 해침 초기의 조간대 환경을 거쳐 해수면 상승에 따라 해양환경의 영향이 증대되면서 내대륙붕 환경으로 변모하기 시작하였다. 연구지역이 인접한 우리나라 남동해역은 약 6,000 yr BP에 이르러 거의 현 해수면 수준에 도달한 것으로 알려져 있다(만건홍, 1994; Park et al., 2000). 이 시기는 Unit III의 상부 퇴적층의 형성 시기와 일치한다. 이 구간에서의 *E. subarcticum* 산출량의 급감 양상으로부터 약 6,000 yr BP를 지나면서 연구지역은 확장하던 해양환경이 다시 축소하기 시작한 것으로 추정된다.

Unit IV: 후기 홀로세 삼각주 퇴적층

하부 퇴적단위와 정합적인 관계를 가지는 Unit IV는 하부의 함쾌층 니 퇴적상(facies Sbm)과 상부의 황갈색 모래질 니 퇴적상(facies Ysm)으로 구성되는

퇴적단위이다. 함쾌층 니 퇴적상은 굴 폐각이 밀집된 패층을 다수 협재하고 *A. beccarii*를 우점종으로 하는 유공충 군집 특성을 갖는다. 산출되는 굴 폐각은 모두 참굴(*Crassostrea gigas*)로서 담수의 영향을 받는 하구역이나 만조선 근방의 바위에 사는 종으로 알려져 있다(권오길 외, 1993). 참굴과 함께 *A. beccarii*를 우점종으로 하는 유공충 군집 특성으로부터 이 퇴적상은 담수의 영향을 받는 조간대 환경에서 형성된 것으로 해석된다. 이러한 조간대 환경의 형성은 확장하던 해양환경이 축소되고 담수의 영향이 증대되었음을 시사한다. 상부의 황갈색 사질 니 퇴적상은 심한 산화작용과 다량의 식물편을 포함하나 폐각 및 유공충은 전혀 산출되지 않고 있어 육상환경의 산물임을 시사한다. 따라서 이 퇴적상은 현 시추 위치의 퇴적환경과 일치하는 것으로 서낙동강과 주변 수계에 의해 형성된 범람원 퇴적층으로 해석된다.

현 해수면 수준에 도달한 약 6,000 yr BP 이후 해수면 상승이 둔화되거나 거의 안정화됨에 따라 육상영역 즉, 낙동상의 활동이 점차 증대하게 되고 약 5,000 yr BP를 전후로 한 시기에 본격적인 낙동상 삼각주의 성상이 시작된 것으로 보인다. 먼저 삼각주의 하부삼각주평원에 해당되는 Unit IV 하부의 조간대 퇴적층이 형성되고, 이후 삼각주의 전진에 따라 연구지역은 삼각주 평원의 배후 지역인 상부의 범람원 환경으로 변모한 것으로 해석된다.

결론

낙동상 삼각주 서부 인변분지에 분포하는 제4기 퇴적층은 지난 간빙기 이전부터의 해수면 변동과 관련된 고환경 변화를 기록하고 있다. 백악기 기반암을 부정합으로 피복하는 제4기 퇴적층은 네 개의 퇴적단위(하부로부터 Unit I, II, III, IV)로 구성된다. 최하위의 Unit I은 연구지역에 최초 해침이 일어나기 전 육상 환경에서 형성된 하부 퇴적층이다. Unit II는 구조 화석의 종 구성으로부터 전해 환경에서 형성된 해성 퇴적층으로 판명되었으며, 퇴적층 상부에는 대기 노출에 의한 건조작용과 산화작용에 의한 건조균열이 발달하고 있어 상위 퇴적단위와 뚜렷하게 구분된다. 이 퇴적단위는 AMS ¹⁴C 인대와 당시의 전 지구적 해수면 변동곡선과의 중위상의 불일치, 신시구조적 용기 증거의 부재 등으로 볼 때, 이전 간빙기인 Eemian 간빙기(MIS 5)에 형성되었을 가능성이

매우 높다. Unit II를 부정함으로 회복하는 Unit III은 약 9000 yr BP 경 홀로세 초기 해침이 시작되면서 담수의 영향을 받는 하구의 조간대를 거쳐 약 8000 yr BP부터는 해침이 좀 더 진행되면서 내대륙방 환경으로 변모하기 시작하였으며 약 5000 yr BP를 전후로 한 시기까지 지속되었다. Unit IV는 현 해수면 수준에 도달한 약 6,000 yr BP 이후 해수면 상승이 안정화되고 약 5,000 yr BP를 전후로 한 시기에 해 퇴에 따른 낙동강 삼각주의 성장에 의해 형성되었다. 먼저 삼각주의 하부삼각주평원에 해당되는 하부의 조간대 퇴적층이 형성되고, 이후 삼각주의 전진에 따라 연구지역은 현재의 삼각주 평원 배후 지역인 상부의 범람원 환경으로 변모하였다.

사 사

이 연구는 한국과학재단의 연구비 지원(R01-2003-000-10375-0)에 의해 수행되었다. 폐가의 동정을 도와주신 여수대학교 해양학과의 최정년 박사님께 깊은 감사의 말씀을 드린다. 논문 심사에 유익한 조언을 주신 여수대학교 해양학과의 이인규 교수님과 익명의 심사위원님께 진심으로 감사드린다.

참고문헌

권오길, 박갑만, 이준상, 1993, 한국패류도감. 아카데미서적, 서울, 445 p.
 권영재, 1973, 낙동강 삼각주의 지형연구. 지리학, 8 (1), 8-23.
 김원형, 이형호, 1980, 낙동강 하구지역의 퇴적물운반 및 퇴적에 대한 고찰. 지질학회지, 16 (3), 180-188.
 김이상, 박용안, 1988, 한국 서해 현수면 북동부에 발달한 제4기 현세 조간대층 하위의 퇴적층의 간헐도층 연구. 한국제4기학회지, 2 (1), 13-24.
 김이상, 박수철, 1992, 한국 서해안 근해안의 조간대퇴적층 연구: 층서 및 형성과정. 한국지구과학회지, 13 (1), 41-52.
 류춘길, 2003, 낙동강 하구 일원에 분포하는 홀로세 해성 절토질 퇴적층의 토목지질학적 특성. 부산대학교 이학 박사학위논문, 230 p.
 민선홍, 1994, 한반도 남동해륙봉의 플라이오세-현세 퇴적층의 층서 및 퇴적역사. 서울대학교 이학박사학위논문, 196 p.
 박용안, 최진용, 임동일, 최강원, 이영길, 1995, 한국 서해 남양만 조수 퇴적분지의 제4기 퇴적층서의 부정립. 한국해양학회지, 30 (4), 332-340.
 박용안, 임동일, 최진용, 이영길, 1997, 한국 서해 남양만

조간대 퇴적층의 제4기 후기 층서 연구. 한국해양학회지, 2 (2), 138-150.
 오선환, 1994, 낙동강 삼각주 북부의 고환경. 한국제4기학회지, 8 (1), 33-42.
 우한준, 정갑식, 권수재, 추홍식, 김효영, 박성민, 2000, 내산 유화학단지 주변의 저서성 유공충 분포 특성. 한국고생물학회지, 16 (2), 99-112.
 유동근, 장정애, 이호영, 김성권, 남승일, 공기수, 2004, 낙동강 하구 외해역 내대륙방 홀로세 퇴적층의 층서 및 퇴적환경. 지질학회지, 40 (1), 395-407.
 임동일, 정희수, 임인권, 2002, 한국 서해 현수면 선현세 간헐도 퇴적층의 퇴적환경. 한국해양학회지, 7 (1), 32-42.
 장순근, 이경신, 1983, 경기만조간대의 현생저서유공충과 그 의미. 지질학회지, 19 (3), 169-189.
 장순근, 이경신, 1984, 아산만조간대의 현생저서유공충에 대한 연구. 지질학회지, 20 (3), 171-188.
 원종화, 한상준, 장진호, 1995, 황해 골소만 조간대의 후기 플라이오세-니질 산화대층의 퇴적환경과 속성작용. 지질학회지, 31 (5), 546-559.
 최흥기, 1982, 서해 경기만의 추계 식물성 플랑크톤 군집구조에 대하여. 인하대학교 기초연구논문집, 3 (4), 169-176.
 小沢正夫, 片岡久子, 長谷川四郎, 1991, 内海域における有孔虫の環境指標種群の設定とその環境復元への適用. 化石, 50, 37-55.
 吉原龍, 1985, 朝鮮洛東江下流沖積平野の地形発達史. 東北地理(日本東北地理學會), 37 (1), 29-42.
 Alve, E. and Murray, J.W., 1994, Ecology and taphonomy of benthic foraminifera in a temperate mesotidal inlet. Journal of Foraminiferal Research, 24, 18-27.
 Boden, P., 1991, Reproducibility in the random settling method for quantitative diatom analysis. Micropaleontology, 37 (3), 313-319.
 Cann, J.H., Belperio, A.P., Gostin, V.A., and Murray-Wallace, C.V., 1988, Sea level history 45,000 to 30,000 years BP, inferred from benthic foraminifera, Gulf St. Vincent, South Australia. Quaternary Research, 29 (2), 153-175.
 Cann, J.H., Belperio, A.P., Gostin, V.A. and Rice, R.L., 1993, Contemporary benthic foraminifera in Gulf St. Vincent, South Australia, and a refined Late Pleistocene sea level history. Australian Journal of Earth Science, 40 (2), 197-211.
 Cearreta, A. and Murray, J.W., 1996, Holocene paleoenvironmental and relative sea-level changes in the Santona estuary, Spain. Journal of Foraminiferal Research, 26, 289-299.
 Chappell, J. and Shackleton, N.J., 1986, Oxygen isotope and sea levels. Nature, 324, 137-140.
 Chappell, J., Omura, A., Esat, T., McCulloch, M., Pandolfi, J., Ota, Y., and Pillans, B., 1996, Reconciliation of late Quaternary sea levels derived from coral ter-

- rares at Hwon Peninsula with deep sea oxygen isotope records. *Earth and Planetary Science Letters*, 141, 227-236.
- Cheong, H.-K., 1989, A study on the benthic foraminifera from the tidal flats adjacent to Incheon, Korea. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 5 (1), 39-52.
- Choi, K.S., 2001, Late Quaternary stratigraphy and evolution of tidal deposits in Kyungi Bay, west coast of Korea. Unpublished Ph. D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 223 p.
- Kang, S., Lee, Y.G., Bae, B.Y., Lee, J.W., and Yoon, S., 2000, The Holocene environmental change of the estuary of Nagdong River, southern Korea. *Laguna*, 7, 15-21.
- Kim, H.M., 1988, Assessment of tectonic and depositional environments of Naktong Delta, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 9 (1), 45-69.
- Kim, Y.H., Lee, H.J., Chough, S.K., Chun, S.S., and Han, S.J., 1999, Holocene transgressive stratigraphy of a macrotidal flat in the southeastern Yellow Sea: Gonso Bay, Korea. *Journal of Sedimentary Research*, 69, 328-337.
- Klein, G. deV., 1977, *Clastic tidal facies*. Continuing Education Publication Company, Illinois, USA, 149p.
- Lee, C.S. and Chung, Y.H., 2000, Late Quaternary sedimentation in the Kadook region, Korea. *Geo-Marine Letters*, 20 (2), 72-79.
- Lee, M.J., Shim, J.H. and Kim, C.K., 1967, Studies on the plankton of the neighboring seas of Korea. Part 1. On the marine conditions and phytoplankton of Yellow Sea in summer. Institute of Marine Biology, Seoul National University, Korea, 1, 1-4.
- Lee, Y.G., Chu, Y.S., Jung, K.K., Woo, H.J., and Lee, H.J., 2000, Depositional processes of fine-grained sediments and foraminiferal imprint of estuarine circulation by summer floods in Yeosu bay, southern coast of Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 35 (2), 109-123.
- Li, C., Chen, Q., Zhang, J., Yang, S., and Fan, D., 2000, Stratigraphy and paleoenvironmental changes in the Yangtze Delta during the late Quaternary. *Journal of Asian Earth Science*, 18 (4), 453-469.
- Lim, D.I. and Park, Y.A., 2003, Late Quaternary stratigraphy and evolution of a Korean tidal flat, Haenam Bay, southeastern Yellow Sea, Korea. *Marine Geology*, 193 (3), 177-194.
- Lim, D.I., Choi, J.Y., and Jung, H.S., 2003, Characteristics and stratigraphy of late Quaternary sediments on a macrotidal mudflat deposit of Namyang bay, western coast of Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 24 (1), 46-60.
- Matoba, Y., 1970, Distribution of recent shallow water foraminifera of Matsushima Bay, Miyagi Prefecture, north-east Japan. *The Science Reports of Tohoku University*, 2nd series (Geology), 42 (1), 1-85.
- Park, S.C., Jang, K.M., and Lee, S.D., 1990, High-resolution seismic study of modern fine-grained deposits: inner shelf off the southeastern coast of Korea. *Geo-Marine Letters*, 10, 195-205.
- Park, S.C. and Yoo, D.G., 1992, Depositional coarse-grained sediments in the Korea Strait during the late Pleistocene low sea level. *Geo-Marine Letters*, 12, 19-23.
- Park, S.C., Yoo, D.G., Lee, C.W., and Lee, E.L., 2000, Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. *Geo-Marine Letters*, 20, 64-71.
- Park, Y.A., Kim, Y.S., and Hong, S.K., 1991, Shallow seismic stratigraphy and distribution pattern of late Quaternary sediments in a macrotidal bay: Gunbung Bay, west coast of Korea. *Marine Geology*, 98 (1), 135-144.
- Park, Y.A., Lim, D.I., Khim, B.K., Choi, J.Y., and Dho, S.J., 1998, Stratigraphy and subaerial exposure of late Quaternary tidal deposits in Haenam Bay, Korea (southeastern Yellow Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47 (4), 523-533.
- Patrick, R., and Reimer, C., 1975, *The diatoms of the United States*. Academy of Natural Science, Philadelphia, USA, 213 p.
- Powell, J.J.M. and Quarterman, R.S.T., 1995, Engineering geological mapping of soft clay using the piezocone. Proceedings of International Symposium on Penetration Testing, CPT '95, Swedish Geotechnical Society, Linköping, Sweden, 263-268.
- Rau, J.L. and Nutalaya, P., 1983, Geology of the Bangkok clay. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 16, 99-116.
- Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G., 1990, *The diatoms*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 747 p.
- Shim, J.H. and Yang, J.S., 1982, The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum River estuary. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 17 (1), 1-11.
- Shim, J.H. and Lee, W.H., 1983, Plankton study in the southeastern sea of Korea (1). Phytoplankton distribution in September, 1981. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 18 (2), 91-103.
- Shim, J.H. and Park, Y.H., 1984, Community structure and spatial distribution of phytoplankton in the southwestern sea of Korea, in early summer. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 19 (1), 68-81.
- Shin, I.C., Yi, H.L., Shin, D.H., and Han, S.J., 1998, Foraminifera as the Holocene sea-level and paleoenvironmental indicators along the west coast of Korea. *The Korean Journal of Quaternary Research*, 12 (1), 31-44.

- Sinsakul, S., 2000, Late Quaternary geology of the lower central plain, Thailand. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18 (4), 415-426.
- Suk, B.C., 1989, Quaternary sedimentation processes, structures and sea level changes in the East China Sea, the Yellow Sea and the Korea-Tsushima Strait Regions. Unpublished Ph. D. dissertation, Tokyo University, Tokyo, Korea, 246 p.
- Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Hanyama, S., Doanh, L.O., Sato, Y., and Hiraide, S., 2003a, Sedimentary facies and radiocarbon dates of the Nam Dinh-1 core from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21 (5), 503-513.
- Tanabe, S., Saito, Y., Sato, Y., Suzuki, Y., Sinsakul, S., Tiyyapairach, S., and Chaimanee, N., 2003b, Stratigraphy and Holocene evolution of the mud-dominated Chao Phraya delta, Thailand. *Quaternary Science Reviews*, 22 (8), 789-807.
- Yim, W.W.-S., Ivanovich, M., and Yu, K.F., 1990, Young age bias of radiocarbon dates in pre-Holocene marine deposits of Hong Kong and implications for Pleistocene stratigraphy. *Geo-Marine Letters*, 10, 165-172.
- Yim, W.W.-S., 1999, Radiocarbon dating and the reconstruction of late Quaternary sea-level changes in Hong Kong. *Quaternary International*, 55 (1), 77-91.
- Yoo, D.G., Park, S.C., Shin, W.C., and Kim, W.S., 1996, Near-surface seismic facies at the Korea Strait shelf margin and trough region. *Geo-Marine Letters*, 16, 49-56.
- Yoo, D.G. and Park, S.C., 1997, Late Quaternary lowstand wedges on the shelf margin and trough region of the Korea Strait. *Sedimentary Geology*, 109, 121-133.
- Yoo, D.G. and Park, S.C., 2000, High-resolution seismic study as a tool for sequence stratigraphic evidence of high-frequency sea-level changes: latest Pleistocene-Holocene example from the Korea Strait. *Journal of Sedimentary Research*, 70, 210-223.
- Yoo, D.G., Park, S.C., Sunwoo, D., and Oh, J.H., 2003, Evolution and chronology of late Pleistocene shelf perched lowstand wedges in the Korea Strait. *Journal of Asian Earth Sciences*, 22 (1), 29-39.
- Yoo, K.I. and Lee, J.H., 1979, Environmental studies of the Jinhae Bay, 1. Annual cycle of phytoplankton population, 1976-1978. *The Journal of the Oceanological Society of Korea*, 14 (1), 26-31.

2005년 4월 14일 원고 접수
2005년 5월 18일 수정원고 접수
2005년 5월 21일 원고 채택