

## 동해 울릉분지 남서부 대륙붕에서 채취된 시추퇴적물내 사암편의 기원

천중화\* · 이의형<sup>1</sup> · 이용국 · 신동혁 · 허 식 · 김성렬 · 정백훈 · 한상준

한국해양연구원 해양환경·기후연구본부,  
<sup>1</sup>고려대학교 지구환경과학과

## Origin of Sandstone Fragments Within Core Sediments Obtained from Southwestern Continental Shelf of the Ulleung Basin, East Sea

JONG-HWA CHUN, EUI-HYEONG LEE<sup>1</sup>, YONG-KUK LEE, DONG-HYEOK SHIN,  
SIK HUH, SEONG-RYUL KIM, BAEK-HOON CHEONG AND SANG-JOON HAN

Marine Environment & Climate Change Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute,  
Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

<sup>1</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

대한해협 북동쪽에 위치하는 해저곡에서 채취된 2 점의 시추퇴적물에는 장경 약 7 cm의 각진 사암편들이 협재되어 있다. 이 시추퇴적물의 퇴적상 분석과 사암편내에 포함된 개형층의 동정 등에 의해서 사암편의 기원과 해저곡 퇴적물의 퇴적환경을 해석하고자 한다. 시추퇴적물들은 해저곡의 수심 약 160 m의 해저면에서 채취되었는데, 이 곳은 천부탄성과 탐사(Chirp) 자료에서 표층반사면은 확산되어 길게 연장되어 있으며, 내부반사파가 없거나 확산된 음파 특성을 보이고 있다. 이 시추퇴적물들은 사암편들과 조개편들이 협재되는 상부 역질 모래퇴적물과 하부의 생물교란된 뿔퇴적물로 구성되어 있다. 하부의 생물교란된 뿔퇴적물은 내대륙붕 및 대륙사면의 홀로세 뿔퇴적물에 비해서 낮은 함수율(27~44%)과 높은 전단응력(19.2~37 kPa)을 가진다. 그리고 뿔퇴적물의 점토함량은 48~56%로, 내대륙붕에 발달된 하천 기원의 뿔퇴적물과 구성성분이 거의 유사하다. 시추자료 상부의 역질 모래퇴적물은 평균입도가 2.3~3.0  $\phi$ 이며, 사암편과 조개편들에 의해서 상향조립화 되어 있다. 현재 대륙붕의 팔림세스트(palimpsest) 퇴적물은 대부분 뿔질 모래 또는 모래질 뿔 퇴적물(평균입도: 4.6~7.6  $\phi$ )로 구성되어 있다. 이 자료들에 의해서 시추퇴적물들은 선현세의 저해수면시기에 형성된 고하천과 고해안 퇴적층일 가능성이 크다. 한편 모래 퇴적물 내에 협재된 사암편들은 대부분 석영립과 생물쇄설성 입자로 구성되어 있으며, 탄산염질 니로 구성된 기질과 일부 해륙석 입자와 빈 공극들이 관찰된다. 또한 EP-7 시추퇴적물내에 포함된 사암편에서는 한류성 개형층 종인 *Normanicocythere* sp.와 *Kotoracythere* sp.가 산출되었는데, 이들은 후기 플라이오세~전기 플라이스토세를 지시하는 절멸종이다. 따라서 이 사암편들은 최후빙하기 동안에 해저곡 주변에 노출된 플라이오세-플라이스토세 기반암으로부터 운반된 고해안 퇴적층의 일부로 해석된다.

Several angular sandstone fragments (about 7 cm in longest diameter) occur in two piston cores, obtained from the submarine trough in the northeastern part of Korea Strait. The origin of the sandstone fragments and the paleoenvironment of trough sediment could be suggested from sedimentary facies analysis of cores and identification of ostracod within sandstone fragments. Echo characteristics around two core sites in submarine trough represent the prolonged bottom echoes with diffuse or no subbottom reflectors. The cores consist of a lower bioturbated mud and an upper gravelly sand sediments with sandstone/shell fragments. The bioturbated mud sediments show low water contents (27–44%) and high shear strength (19.2–37 kPa) compared with those of Holocene sediments (60–219% and 1.0–2.7 kPa, respectively) in the inner shelf and continental slope. However, clay contents (48–56%) of the bioturbated mud sediments are similar to those of fluvial Holocene sediments in the inner shelf. The mean grain size of gravelly sand sediments ranges from 2.3 to 3.0  $\phi$  and shows coarsening upward with sandstone/shell fragments. The Holocene palimpsest in the continental shelf are composed of muddy sand sediments or sandy mud sediments (mean grain size: 4.6–7.6  $\phi$ ). Those suggest that two core sediments might be formed from paleofluvial and paleocoastal deposits during sea-level lowstand. However, sandstone fragments mainly consist of quartz grains and bioclasts, with carbonate matrix, hollow pore, and

\*Corresponding author: jhchun@kordi.re.kr

glaucanite. Two extinct ostracod species, *Normanicocythere* sp. and *Kotoracythere* sp., are recovered in the sandstone fragments of core EP-7, and they continued to exist from late Pliocene to early Pleistocene in cold water environment of this area. Thus, the sandstone fragments are interpreted to be formed at the paleocoastal environment derived from the Plio-Pleistocene outcrops exposed around the submarine trough during the LGM (Last Glacial Maximum) period.

서론

동해 울릉분지 남서부 대륙붕은 평균수심이 약 120 m로서 평탄한 해저지형이 넓게 발달하며, 한반도와 쓰시마 섬 사이에는 상대적으로 깊은 수심(약 200 m)의 대한해협(Korea Strait)이 위치한다(Fig. 1). 대한해협은 북동-남서방향의 수로이며(Park and Choi, 1986; Yoo et al., 1996), 대한해협의 북동쪽에는 다수의 해저곡들이 발달된다. 대한해협의 성인(Jolivet et al., 1991; Park, 1990; 최, 1995)과 퇴적환경(Park and Choi, 1986; 박 등, 1987; Yoo et al., 1996; 민과 박, 1997)에 대한 연구는 상당히 많은 반면에 소규모의 해저곡의 퇴적환경에 대한 연구는 미비하다. 대한해협은 쓰시마 단층대(Tsushima Fault zone; Jolivet et al., 1991)와 관련된 지구조 운동에 의해서 형성된 것으로 해석되었다(최, 1995). 그렇지만 대한해협의 북동쪽에 위치하는 해저곡은 쓰시마 단층대의 직

접적인 영향이 없는 비변형대에 위치한다(최, 1995; Yoon and Chough, 1995; Park, 1998).

현재의 해수면보다 약 120~140 m 하강하였던 최후빙하기(LGM; Last Glacial Maximum) 동안 대한해협 북동쪽의 해저곡에서는 대한해협과 연결된 고하천이 형성되어 있었음이 보고되었다(Park and Choi, 1986; Park and Yoo, 1988). 대한해협에서는 대부분 저해수면 시기에 형성된 잔류퇴적물이나 사태 또는 미끄럼 퇴적물(Yoo et al., 1996)과 해수면 상승으로 인한 재동 작용에 의해서 공급된 팔림세스트(palimpsest: Swift et al., 1971) 퇴적물로 구성되어 있다. 또한 대륙붕의 천부탄성과 자료(Chirp)를 해석한 결과에도 침식 및 침식 후 퇴적된 구조가 나타나는 매몰된 하천 음향형태(IE echoes; Chough et al., 1997)이며 대한해협에서 대륙붕단까지 연장되어 있음이 밝혀졌다. 그러나 외대륙붕에서는 표층반사면이 뚜렷하고 연속성이 양호한 음향형태(IA or ID echoes; sharp,

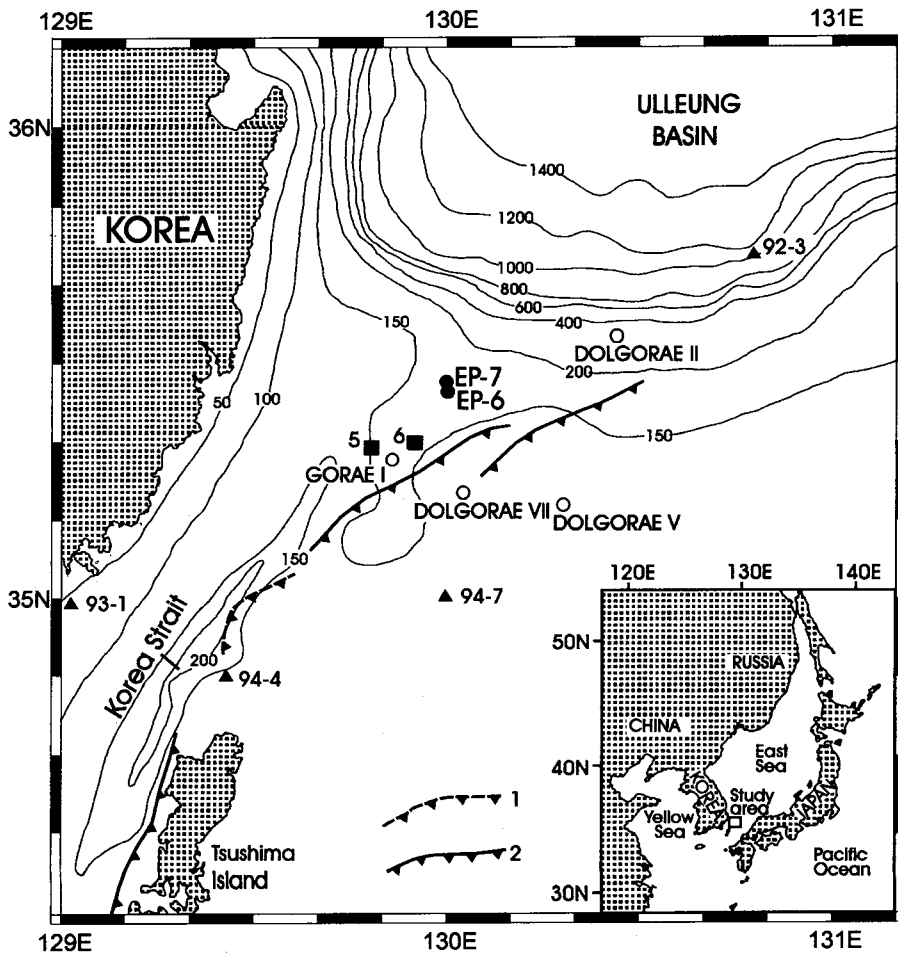


Fig. 1. Location map of piston cores and wells in the southwestern part of continental shelf of the Ulleung Basin. Filled circles represent the piston core sampling sites; open circles indicate the well sites (Park, 1998); filled triangles and squares indicate the piston core sampling sites reported by Chun et al. (1999) and KORDI (1994), respectively. Contour in meters. 1. Tsushima fault (Yoon and Chough, 1995), 2. Tsushima fault (Choi, 1995).

continuous bottom echoes)가 분포하는 것으로 해석되었다(Chough *et al.*, 1997).

동해 울릉분지 남서부 내대륙붕에서는 홀로세 동안에 주변하천에서 공급된 세립질 퇴적물(민과 박, 1997; Park *et al.*, 1999)이 퇴적되어 있으며, 외대륙붕에는 해수면 상승에 의해서 재동된 팔립세 퇴적물과 잔류퇴적물(Park and Choi, 1986; 천 등, 1999)들이 퇴적되어 있다. 내대륙붕은 낙동강에서 공급된 홀로세 퇴적물이 낙동강 하구 주변과 낙동강의 북동쪽 연안(울산~포항)까지 최대 약 50 m 층후로 퇴적되어 있다(민과 박, 1997; Park *et al.*, 1999). 그리고 외대륙붕에서는 조개편을 함유하는 모래질 백퇴적물 또는 빨질 모래퇴적물로 구성된 팔립세 퇴적물이 분포한다(한국해양연구소, 1994; 천 등, 1999). 대륙붕에서 획득된 표층 퇴적물내에 포함된 패류군집의 고생물학적 연구에 의하면 이 패류군집들은 최후빙하기 기간에 조간대와 천해에서 서식한 것으로 해석되었다(윤 등, 1994; 이, 1997). 그러나 대한해협 북동쪽의 해저곡이 분포하는 두 지점(Fig. 1; 5, 6)의 표층퇴적물에서는 후기 플라이오세~전기 플라이스토세의 지시종인 *Mizuhopecten tokyoensis hokurikuensis*와 *Turritella saishuensis*이 산출되어(이, 1997), 이 패류화석의 지리적 분포 및 지사학적 의의에 대한 의문점이 제기되었다.

이 연구에서는 대한해협 북동쪽에 위치하는 해저곡에서 채취된 두 시추자료에 포함된 사암편의 기원에 대해서 밝히고자 한다. 이 각진 사암편들의 형성시기 및 퇴적기작 등의 연구를 통해서 대한해협 북동쪽 해저곡 주변에서 새로운 퇴적물 기원지에 대한 가능성을 밝힐 수 있을 것이다. 또한 시추자료의 퇴적상 분석 및 천부탄성과 자료의 해석은 해수면 변동과 관련된 해저곡의 제4기 퇴적환경을 밝힐 수 있을 것이다.

## 시료채취 및 분석

동해 울릉분지 남서부 대륙붕 해역에서 한국해양연구원 연구선인 "이어도호"에 장착된 Chirp 천부탄성과 탐사기(CAP-6000W DATASONICS)를 사용하여 대한해협 북동쪽에 발달된 해저곡에서 동서 방향의 천부 해저지층 자료를 획득하였다(Fig. 1). 또한 표층반사면이 확산되어 길게 나타나는 해저지층에서 바렐 길이 4 m, 직경 65 mm의 피스톤코어러를 사용하여 두 점의 시추퇴적물을 채취하였다. 두 점의 시추자료가 채취된 곳은 연안으로부터 점차적으로 수심이 깊어지다가 깊이 약 180 m에 이르는 현생 해저곡의 동측 경계부분이며, 천부탄성과 탐사 자료에 의하면 깎고 메움구조가 발달된 고하천의 음향형태(IE; Chough *et al.*, 1997)가 발달한 곳의 서측 경계부분에 위치한다(Fig. 2). EP-7 지점은 수심 163 m에서 길이 251 cm의 시추퇴적물이 채취되었으며, EP-6 지점은 수심 149 m에서 길이 214 cm의 시추퇴적물이 획득되었다.

시추퇴적물들은 양면으로 절개되었으며, 한쪽면은 길이 30 cm, 높이 1 cm, 폭 5 cm의 슬랩을 제작하여 X선 촬영(Softex X-ray Apparatus, M1005)에 의해서 내부 퇴적구조 자료를 획득하였다. 다른 한쪽면에서는 퇴적물의 입도 및 함수율이 측정되었다. 시추퇴적물의 최상부와 모래퇴적물내에 협재된 사암편들의 조성광물을 관찰하기 위하여 박편을 제작하여 분석하였다. 그리고 사암편내에 포함된 개형층의 동정을 위하여 황화나트륨( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )을 사

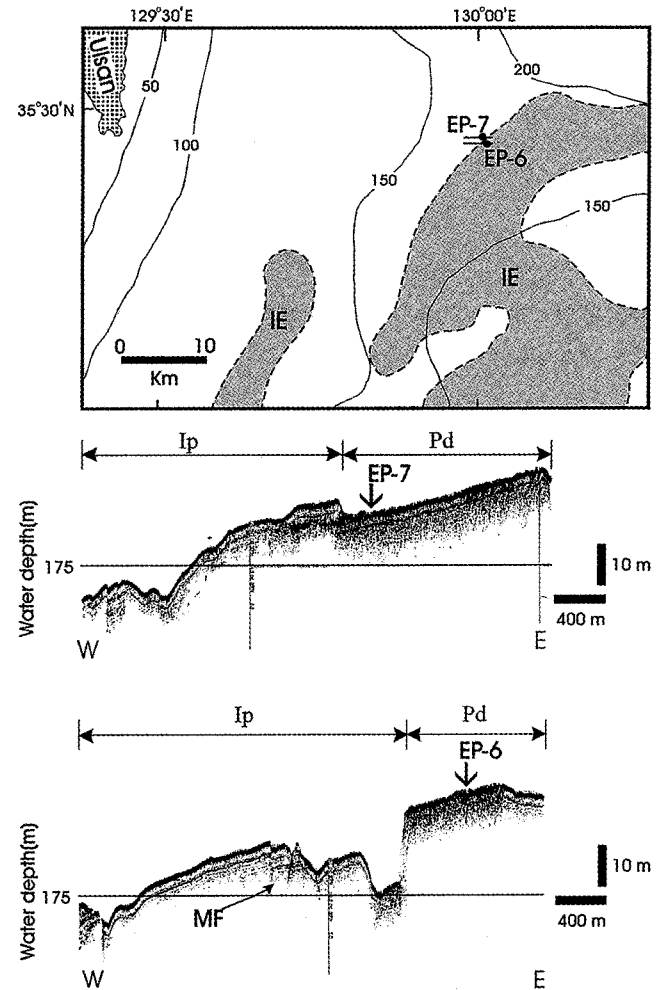


Fig. 2. Chirp profiles of sea-bottom of cores EP-6 and EP-7. Two cores are obtained from the strong reflection zone. The western slope of channel shows irregular topography and fault-bounded cliff. IE echoes (Chough *et al.*, 1997), Pd: prolonged bottom echoes with diffuse subbottom reflectors, Ip: irregular blocky steeply dipping echo with diffuse, subparallel subbottom reflectors, MF: microfault.

용하여 시료를 분리한 후에 230-mesh로 체질하였다. 또한 개형층의 미세구조 및 형태를 분석하기 위하여 주사전자현미경을 사용하여 동정하였다.

## 지질구조

동해 울릉분지 남서부 대륙붕에서는 여러 번의 지구물리 탐사와 심부시추 자료에 의해서 탄성과 층서 및 생성서(Park and Yoo, 1988; Park, 1990; 최, 1995; 민과 박, 1997; 신 등, 1997; Park, 1998; Cheong *et al.*, 1999)에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 이 해역의 지질구조는 쓰시마 단층대(Tsushima Fault Zone; Fig. 1)에 연관된 지구구조 운동에 의해서 지배되고 있으며, 쓰시마 단층은 대한해협의 형성과 깊은 관련이 있는 것으로 해석되었다(Jolivet *et al.*, 1991; Yoo *et al.*, 1996). 쓰시마 단층의 발달규모에 대해서는 서로 다른 이견들이 제기되고 있는데, Yoon and Chough(1995)는

쓰시마 섬 좌측에 형성된 역단층만을 쓰시마 단층으로 해석하였으며, 한국 연안을 따라서 발달되어 있는 정단층인 울릉단층(Ulleung Fault)과 접하는 것으로 해석하였다. 그러나 최(1995)는 쓰시마 섬의 북동쪽에 발달된 역단층까지도 쓰시마 단층대에 포함시켰으며, 이들이 쓰시마 섬 좌측에서부터 대륙붕단까지 연장되는 것으로 해석하였다.

울릉분지 남부 대륙붕은 후기 마이오세 중기에서 지금까지 압축성 지구조 운동에 의해서 지배되고 있으며, 쓰시마 단층대에서는 압축응력을 받아 트러스트 단층운동이 일어났음이 보고되었다(최, 1995; Yoon and Chough, 1995). 쓰시마 단층대의 동측 지층은 일련의 트러스트 단층과 습곡구조가 잘 발달되어 있는 반면에 단층대의 서측은 상대적으로 지층의 변형이 심하지 않다고 보고되었다(최, 1995; Park, 1998). 이러한 지구조적 분대는 심부시추 자료에 의해서도 확인되었는데, 쓰시마 단층대의 동측에서는 지역적인 용기, 습곡, 트러스트 단층 등에 의해서 시추자료의 층서가 교란되어 있는 반면에 쓰시마 단층대의 서측에서는 연속적인 침강에 의해서 순차적인 층서가 잘 보존되어 있는 것으로 밝혀졌다(Park, 1998). 고래지역의 심부시추 자료(Gorae-I)에서는 후기 마이오세 퇴적층의 상부 경계면이 해저면으로부터 깊이 1,140 m에 위치한다(Park, 1998; Fig. 1). 그러나 돌고래지역에서는 해저면으로부터 깊이 730~1,390 m의 범위에 위치하며, Dolgorae-V에서는 후기 마이오세 퇴적층이 해저면 깊이 600 m까지 확인되었으며(Fig. 1), 그 상부 경계면은 확인되지 않았다(Park, 1998).

울릉분지 남서부 대륙붕에 위치하는 연구지역인 해저곡은 쓰시마 단층대의 서측에 해당된다. 현재까지의 지구물리조사와 심부시추 자료에 의하면 이 해저곡은 대규모의 단층 또는 습곡 등의 영향을 받지 않은 구조적으로 비변형대에 속한다(최, 1995; Park, 1998). 비변형대에 포함되는 해저곡의 남측에서 채취된 Gorae-I 심부시추 자료에서는 플라이오세-플라이스토세 퇴적층이 해저면 깊이 720 m에 위치하는 것으로 해석되었다(Park, 1998).

결 과

천부탄성과 탐사

대한해협 북동쪽에 발달된 해저곡은 표층반사면이 확산되어 길게 연장되어 있으며, 내부반사파가 없거나 확산된 음향형태(prolonged echo with diffuse or no subbottom reflectors: Pd)와 불규칙적이고 단절된 경경사의 음향형태(irregular blocky steeply dipping echo with diffuse, subparallel subbottom reflectors: Ip)로 구성되어 있다(Fig. 2). Fig. 2에서는 두 음향형태 사이에 높이 3~20 m 정도의 뚜렷한 지형적인 장벽이 발달되어 있음을 보여준다. Ip 음향형은 소규모의 단층이 발달하고, 횡압력에 의한 불규칙한 굴곡을 잘 보여주고 있다(Fig. 2). Pratson and Laine(1989)의 3.5 kHz 탄성과 자료에 의하면 대륙사면의 사태층에서는 주로 Ip 음향형태를 가지는 것으로 해석하였으나, 대륙사면에서는 쌍곡선 형태(hyperbola)가 대규모로 발달되는 차이를 가진다. 연구해역의 남서쪽에 발달된 대한해협의 스파크 탄성과 자료(sparker seismic profile)에서도 다수의 사태와 미끄럼 작용에 의한 퇴적작용이 관찰되었으며, 이 사태층은 미끄럼층에 비해서 불규칙한 해저지형을 가지는 특성을 보인다(Yoo et al., 1996). 이러한 지역적인 사

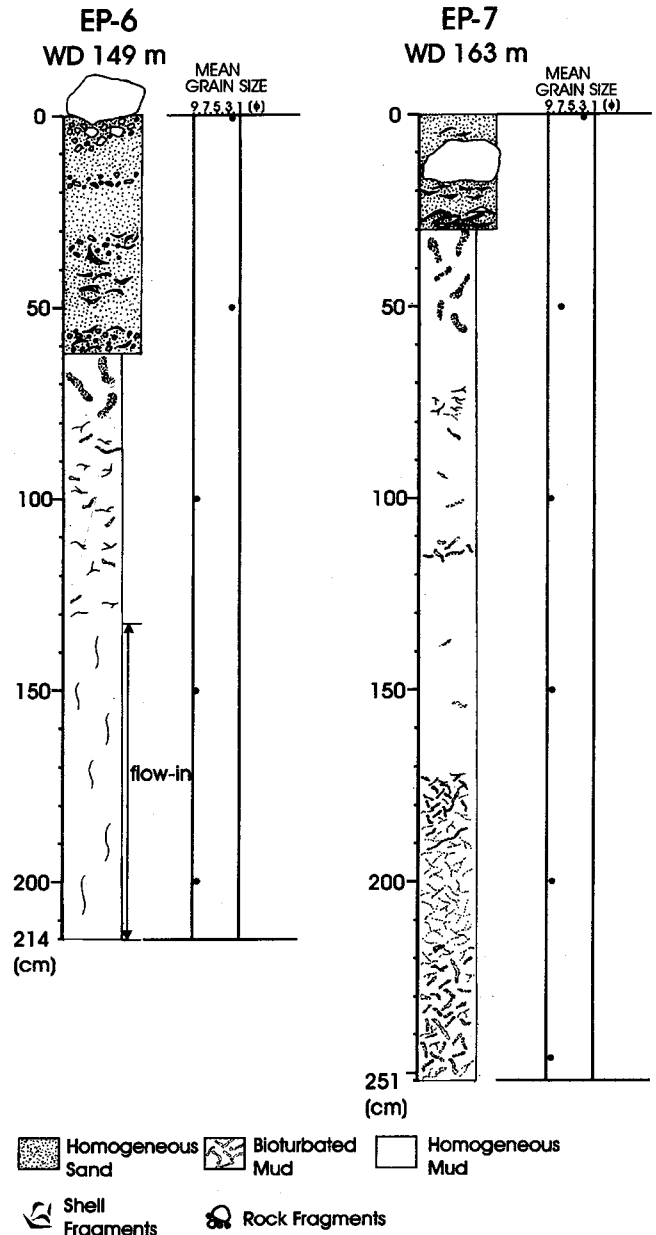


Fig. 3. Columnar sections of cores EP-6 and EP-7. These cores consist of sand sediments with rock/shell fragments in the upperpart and bioturbated mud in the lower part of the cores. The boundaries between two sedimentary facies show abrupt changes in mineral compositions and sedimentary structures. WD: water depth.

태 또는 미끄럼의 원인은 대륙붕에서 퇴적물 침식 또는 퇴적물 하중에 의한 것으로 해석되었으며, 소규모 단층과 횡압력 등으로부터 기인된 변형(plastical deformation)이 일어나는 것으로 보고되었다(Yoo et al., 1996). Pd 음향형태는 Ip 음향형태에 비해서 표층반사면이 확산되어 길게 연장되어 있으며, 내부반사면은 전혀 나타나지 않거나 확산되어 있다(Fig. 2). 이 음향형태 지역은 서측으로 완만한 경사가 발달하며, 평탄한 해저면이 특징적이다. 대한해협의 스파크 탄성과 자료에 의하면 대륙붕 주변부에서는

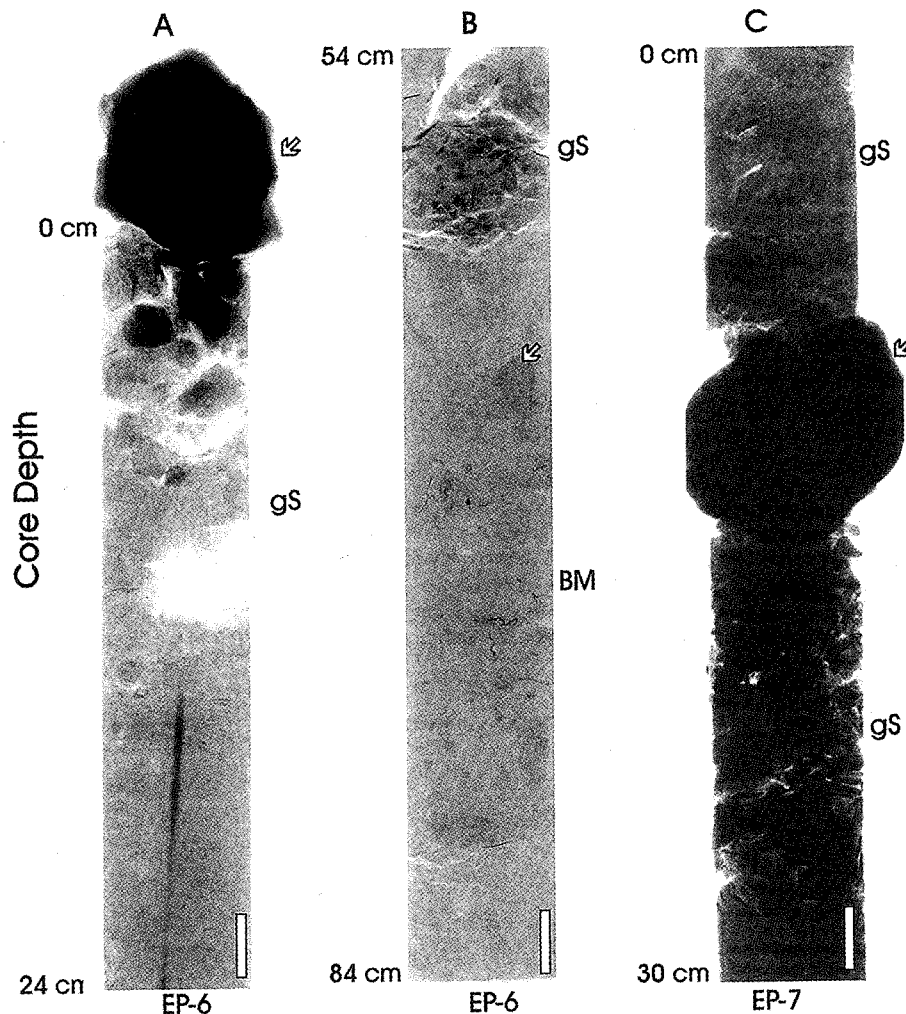
**Table 1.** Interpretation and characteristics of core sediments in the study area.

Core	Physiography	Characteristics					Interpretation
		Mz (phi)	Sorting (phi)	Clay content (%)	Water content (%)	Shear strength (kPa)	
Mud	93-1 Inner shelf	8.0–8.5	2.0–2.2	42–60	60–97	1.4–2.3	Holocene sediments by derived from Nakdong River (KORDI, 1994)
	92-3 Upper continental slope	8.9–9.3	1.7–1.9	69–78	113–219	1.0–2.7	Holocene sediments by hemipelagic settling (KORDI, 1994)
	EP-6 EP-7 Outer shelf around channels	8.3–8.6	2.2–2.3	48–56	37–44	19.2–>37	Relict sediments derived from paleo-river
Muddy sand	94-4 94-7 Outer shelf	4.6–7.6	2.7–4.2	17–51	45–95	–	Palimpsest (KORDI, 1994)
Sand	EP-6 EP-7 Outer shelf around channels	2.3–3.0	0.8–2.0	1–2	26–37	–	Relict coastal sediments

횡적으로 수십 km의 연장성을 가지는 뱅크(bank) 또는 로브(lobe) 형태의 잔류해안층(relict coastal deposits: Rc)이나 둔덕(mound) 형태를 가지는 잔류삼각주층(relict delta deposits: Rd)이 관찰되었다(Yoo *et al.*, 1996). 따라서 해저곡에 나타나는 Pd 음향형태와 잔류해안층 또는 잔류삼각주층과의 상호관계를 구명할 필요가 있다.

#### 시추퇴적물 특성

EP-6의 시추지점은 외대륙붕에 발달된 해저곡의 수심 149 m에 위치한 둔덕이며, 주변 해저지형에 비하여 다소 평탄한 곳이다(Fig. 2). EP-6 시추퇴적물은 역질 모래 퇴적물과 팽퇴적물로 구성되어 있으며, 해저면 깊이 61 cm 구간에 두 퇴적물간의 뚜렷한 경계면이 발달한다(Fig. 3). 또한 EP-6 시추퇴적물의 최상부는 직경 약



**Fig. 4.** X-radiographs of cores EP-6 and EP-7. (A) The topmost part of core EP-6 consists of angular and fresh sandstone fragments (arrow) with 7 cm in longest diameter. (B) A rock/shell fragment-rich sand layer is abruptly underlain by bioturbated mud. The burrow-fill sediments (arrow) are similar to the overlying sandy sediments. (C) The sandstone fragments (arrow) are intercalated with a rock/shell fragment-rich sand layer (Scale bar = 2 cm). gS, gravelly Sand; BM, bioturbated mud.

7 cm의 각진 사암편이 퇴적물을 덮고 있으며, 해저면 깊이 134 cm 하부의 퇴적물은 채취시에 일어난 변형(flow-in)에 의해서 일차 퇴적구조들이 파괴되었다(Figs. 3, 4). 시추퇴적물 상부의 역질 모래 퇴적물은 평균입도가 2.3~2.6  $\phi$ 이며(Table 1), 수 차례에 걸쳐서 조개편과 사암편으로 구성된 역질이 협재된다(Fig. 3). 이 역질 모래 퇴적물내에서는 사암편과 조개편에 의해서 뚜렷한 상향조립화(coarsening upward)양상이 관찰된다(Figs. 4A, 4B). 외 대륙붕에서는 홀로세 동안의 해수면 상승에 따라 재동된 평균입도가 4.6~7.6  $\phi$ 의 빨질 모래 또는 모래질 빨퇴적물로 구성된 팔립세트 퇴적물이 형성되어 있다(Table 1; 한국해양연구소, 1994; 천 등, 1999). 그리고 대한해협 주변에서 채취된 조개편을 다수 포함하는 조립질 퇴적물은 최후빙하기에 형성된 잔류해안 퇴적물로 해석되었다(Park *et al.*, 2000). 따라서 EP-6 시추퇴적물의 상부에 놓이는 역질 모래퇴적물은 저해수면 시기에 형성된 잔류해안퇴적물일 가능성이 높은 것으로 해석된다. 또한 역질 모래퇴적물에 발달하는 상향조립화 양상은 해안선의 전진에 의한 퇴적작용이 일어났음을 지시하는 것으로 해석될 수 있다. EP-6 시추퇴적물의 하부는 평균입도가 8.3~8.6  $\phi$ 인 빨퇴적물로 구성되어 있으며, 동해 연안과 대륙사면에 분포하는 홀로세 빨퇴적물에 비하여 낮은 함수율(37~44%)과 높은 전단응력 값(19.2 kPa)을 가진다(Table 1). 그리고 빨퇴적물의 점토함량은 50~55%이다. 이 점토함량은 대륙사면에 퇴적된 반원양성퇴적물(69~78%)과는 뚜렷한 차이를 보이지만, 내대륙붕의 낙동강 기원의 빨퇴적물(42~60%)과는 유사하다(Table 1). 빨퇴적물의 최상부는 직경 2 cm이고 길이 10~20 cm의 수직방향의 생흔구조들이 역질 모래 퇴적물과의 경계면에서부터 발달되며, 생흔구조는 상부의 모래 퇴적물에 의해서 충전되어 있다(Fig. 4B). 이와 같이 퇴적물의 경계면에 발달된 수직방향의 생흔구조들은 *Glossifungites* 생흔상(ichnofacies)에 포함되며, 이 생흔상은 대부분 굳은 기저면(firmground)에서 관찰된다(Pemberton *et al.*, 1992). 또한 빨퇴적물에서는 퇴적당시에 형성된 직경 1 mm 내외의 가지형 생흔구조들이 산재되어 있으며, 조개편은 거의 포함되지 않는다. 대한해협 주변에서 채취된 시추퇴적물에서는 잔류해안퇴적층 하부에 놓이는 반고화된 빨퇴적물내에 조개편들이 다수 포함되어 있으며, 이들의 탄소연대측정 값은 약 15,440~42,150년 전으로 분석되었다(Park *et al.*, 2000). EP-6 시추퇴적물의 하부에 놓이는 빨퇴적물들은 층서와 퇴적학적 특성에 의해서 저해수면시기에 퇴적된 퇴적물로 해석되며, 고하천 퇴적물의 공급에 의한 것으로 생각된다.

EP-7 시추퇴적물은 수심 163 m의 다소 경사진 해저면에서 채취되었으나, EP-6 시추지점과 동일한 음향형태를 갖는 곳이다. EP-7 시추퇴적물은 역질 모래퇴적물과 빨퇴적물로 구성되어 있으며, 두 퇴적물간의 경계면은 깊이 28 cm 구간에서 나타난다. 상부의 역질 모래퇴적물은 평균입도가 3.0  $\phi$ 이고, 직경 2~3 cm의 조개편들이 층리와 평행하게 배열되어 있다. 역질 모래퇴적물내에 포함된 각진 사암편은 해저면 깊이 10 cm 구간에 협재되어 있다(Fig. 4C). EP-7 시추퇴적물의 역질 모래퇴적물은 EP-6 시추자료에 비해서 상대적으로 얇은 층후를 보이고 사암편의 협재가 빈약하지만, 상향조립화 양상은 EP-6 시추자료와 마찬가지로 뚜렷하게 나타난다(Fig. 4C). EP-7 시추퇴적물의 빨퇴적물은 평균입도가 8.3

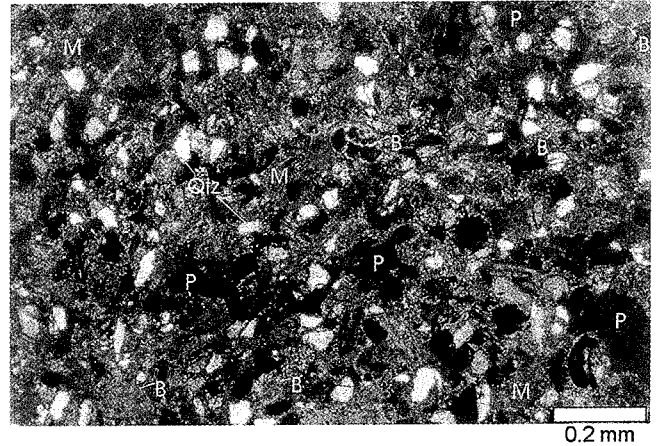


Fig. 5. Microphotograph of sedimentary rock fragments (sandstone) obtained from the core EP-6. Sandstones mostly consist of angular quartz grains and bioclasts. Qtz, quartz; B, bioclasts; P, pore; and M, carbonate mud matrix.

~8.6  $\phi$ 이고, 홀로세 퇴적물에 비해서 낮은 함수율(38~40%)과 높은 전단응력 값(> 37 kPa)을 갖는다(Table 1). 그리고 빨퇴적물의 점토함량은 48~56%이며, EP-6 시추자료의 빨퇴적물에 포함된 점토함량과 거의 일치한다(Table 1). 빨퇴적물은 모래퇴적물과의 경계면에서부터 깊이 60 cm 구간까지 직경 1~2 cm의 수직방향의 모래퇴적물로 충전된 생흔구조들이 발달된다. 이 시추자료에서는 깊이 50 cm 구간의 퇴적물은 평균입도가 6.7  $\phi$ 이고 분급(3.3  $\phi$ )이 불량하게 분석되었는데, 이것은 빨퇴적물과 생흔구조에 충전된 모래퇴적물과의 혼합에 의한 결과로 생각된다. 빨퇴적물에는 퇴적당시에 형성된 직경 1 mm 내외의 가지형 생흔구조가 산재되어 있으며, 최하부에서는 직경 2~4 mm 정도의 수평형, 수직형, 가지형 등의 생흔구조가 다양하게 산출된다. 이러한 생흔구조들의 형태와 다양성은 퇴적당시에 부드러운 기저면(soft ground)을 지시하는 *Cruziana* 생흔상(Pemberton *et al.*, 1992)으로 분류될 수 있다.

해저곡에서 채취된 두 점의 시추퇴적물들은 직경 약 7 cm의 각진 사암편들이 각각 포함되어 있다(Figs. 3, 4). 사암편은 쇄설성 및 생물쇄설성 입자들과 탄산염질 퇴적물로 구성된 기질에 의해서 둘러싸여 있으며, 빈 공극이 다수 관찰된다(Fig. 5). 사암편의 쇄설성 입자는 대부분 각진 석영립들과 원마도가 양호한 해록석(glaucanite)이 일부 포함되어 있으나, 이외의 장석류, 흑운모 및 암편들은 거의 관찰되지 않는다. 생물쇄설성 입자들은 대부분 개형충들로 구성되어 있으며, 이외에도 동정이 불가능한 다양한 생물화석을 포함한다. EP-6과 EP-7 시추퇴적물에 협재된 사암편들은 잡사암(wacke sandstone; Williams *et al.*, 1954)으로 분류할 수 있으며, 다양한 생물쇄설성 입자의 산출과 해록석 등의 함유에 의하면 사암의 형성당시 퇴적환경은 대륙붕일 가능성이 크다.

### 개형충

EP-7 시추자료에 포함된 사암편에서는 극지종(circumpolar species) 또는 호냉종(cryophilic species)으로 알려진 *Normanicysthere* sp., *Kotoracythere* sp., *Yezocythere hayashii*, *Palmenella limicola* 그리

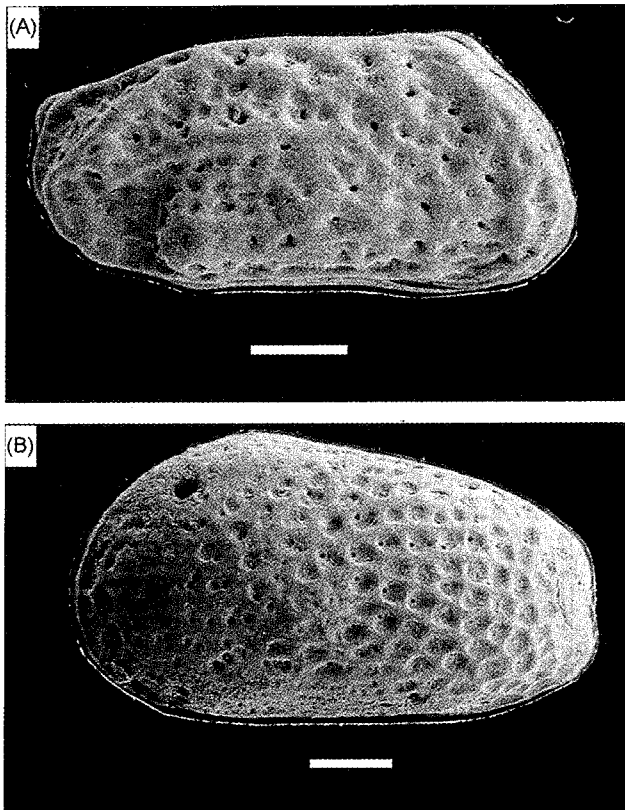


Fig. 6. SEM images of ostracods from core EP-7. (A) *Kotoracythere* sp. (Lateral view, right valve) (B) *Normanicocythere* sp. (Lateral view, left immature valve) (Bar=100  $\mu$ m).

고 *Robertsonites* sp. 등의 한류성 종들이 산출된다. 이들 한류성 종들중, *Normanicocythere* sp.와 *Kotoracythere* sp.(Fig. 6)는 동해안 안에 분포하는 일본의 플라이오세-플라이스토세 Omma-manganji 퇴적층 및 제주도의 플라이오세-플라이스토세 서귀포층에서만 보고된 후기 플라이오세~전기 플라이스토세를 지시하는 절멸종이다(Paik and Lee, 1984; Ishizaki and Matoba, 1985; Tabuki, 1986; Cronin and Ikeya, 1987; Paik and Lee, 1988; Irizuki, 1989; Lee, 1991; Lee and Paik, 1992; Cronin et al., 1994). 특히 일본의 Omma-Manganji 동물군은 후기 플라이오세와 초기 플라이스토세 동안에 일어난 동해의 급격한 한랭화에 의해서 해양학적인 변화가 야기되어, 극지-아극지(arctic-subarctic) 종들이 현재 그들이 살고 있는 지리 범위 보다 훨씬 남쪽으로 이주하여 Omma-Manganji 퇴적층이 분포한 지역에서 서식하였던 것으로 해석되었다(Cronin and Ikeya, 1987). 그러나 EP-6 시추퇴적물의 사암편에 산출되는 개형층에서는 한류성 종들이 전혀 산출되지 않는다. 또한 서귀포층과 제주도에 위치한 시추공의 개형층 자료에 따르면, 한류성 개형층 종들의 점유율은 상부로 가면서 점차 감소하는 경향을 보이지만 최상부에서는 전혀 산출되지 않고 있다 (Lee, 1991; Lee and Paik, 1992). 따라서 EP-6의 사암편은 해양학적 조건이 점차 온난해지는 시기에 형성된 것으로 추정되며, 그 시기는 EP-7 시추퇴적물의 사암편보다 후기인 중기 플라이스토세 이후의 퇴적암에서 기원된 것으로 해석된다.

## 토의 및 결론

Chough et al.(1997)는 천부탄성과 탐사자료를 이용하여 대륙붕의 음향학적 특징을 표층반사면이 뚜렷하고 해저반사면이 하도 형태를 가지는 음향형태(IE echo type)와 표층반사면이 뚜렷하고 연속성이 양호한 음향형태(sharp, continuous bottom echoes; IA, ID echo types)로 구분하였다. 그러나 대한해협 북동쪽에 위치하는 해저곡에서는 표층반사면이 확산되어 길게 연장되어 있으며, 내부반사파가 없거나 확산된 음향형태(Pd echo)와 불규칙적이고 단절된 급경사의 음향형태(Ip echo)가 관찰되었다. Ip 음향형태는 소규모의 단층과 횡압력에 의한 불규칙한 굴곡 등으로 사대층의 음향학적 특성(Pratson and Laine, 1989)과 대비된다. Pd 음향형태는 Ip 음향형태가 발달된 곳에 비하여 상대적으로 평탄한 해저 지형을 가진다. 대한해협에서 획득한 스파크 탄성과 자료에서는 평탄한 해저지형을 갖는 잔류해안퇴적층이 수십 km 이상의 횡적인 연장성을 보이는데, 이 잔류해안퇴적층과 해저곡에 발달된 Pd 음향형태와의 대비는 이 연구에서 획득된 단편적인 천부탄성과 탐사자료만으로는 해석의 문제점이 있다.

해저곡의 Pd 음향형태가 발달된 곳에서 채취한 두 점의 시추퇴적물은 직경 약 7 cm의 사암편을 포함하는 역질 모래퇴적물과 반고화된 특성을 가지는 뿔퇴적물로 구성되어 있다. EP-6과 EP-7 시추퇴적물의 뿔퇴적물은 동해 내대륙붕과 대륙사면에 분포하는 홀로세 뿔퇴적물에 비하여 낮은 함수율과 높은 전단응력 값을 가진다(Table 1). 그리고 뿔퇴적물의 점토함량은 내대륙붕에 분포하는 낙동강 기원의 뿔퇴적물의 점토함량과 유사하지만 대륙사면에 퇴적된 반원양성 뿔퇴적물의 점토함량과는 차이를 보인다. 또한 홀로세 뿔퇴적물이 속이 빈 원통형 또는 수평형의 제한적인 생흔구조가 관찰되는 반면에 EP-6과 EP-7 시추자료의 뿔퇴적물에서는 직경 2~4 mm 정도의 수평형, 수직형, 가지형 등의 다양한 생흔구조가 함께 발달한다. 이 생흔구조들은 퇴적당시에는 부드러운 기저면의 형성을 지시하는 *Cruziana* 생흔상(Pemberton et al., 1992)에 속한다. 그러나 역질 모래퇴적물과의 경계면에 분포하는 뿔퇴적물에서는 직경 2 cm이고 길이 10~20 cm의 수직방향의 생흔구조가 역질 모래퇴적물로 충전되어 있다. 이것은 *Glossifungites* 생흔상에 포함되는데, 이 생흔상은 대부분 굳은 기저면에서 관찰되고 있다(Pemberton et al., 1992). 따라서 해저곡의 Pd 음향형태가 발달된 지역에서 채취된 시추자료의 뿔퇴적물들은 고하천 기원의 퇴적물로 해석되며, 이 뿔퇴적물은 퇴적 이후에 일어난 다짐작용과 탈수작용에 의해서 굳은 기저면이 형성된 이후에 모래퇴적물의 공급이 있었음을 추정할 수 있다.

EP-6과 EP-7 시추자료의 상부는 역질 모래퇴적물로 구성되어 있으며, 최대 직경 약 7 cm인 사암편이 포함된다. 외대륙붕에서 채취된 표층퇴적물내에 포함된 패류군집에 대한 고생물학적인 연구와 탄소연대측정값은 최후빙하기시기에 서식한 조간대 및 천해층으로 구성되어 있음을 지시한다(윤 등, 1994; 이, 1997). 이(1997)는 해저곡이 발달된 일부 해역에서 채취된 표층퇴적물로부터 후기 플라이오세~전기 플라이스토세의 지시종인 *Mizuhopecten tokyoensis hokurikuensis*와 *Turritella saishuensis*를 보고하였다. 그리고 Park et al.(2000)은 대한해협 서측편인 내대륙붕 주변에서 채취된 시추자료의 탄소연대측정 값과 스파크 탄성과 탐사자료에



의해서 수십 cm 층후의 조개편을 포함하는 모래퇴적물을 최후빙하기에 퇴적된 해빈/해안 퇴적층으로 해석하였으며, 부정합적으로 하부에 놓이는 빨퇴적물을 저해수면시기(15,440~50,000년 전)에 형성된 삼각주층(lowstand deltaic wedge)으로 보고하였다. 이번 연구를 통해서 EP-6과 EP-7 시추자료에 포함된 사암편에서 후기 플라이오세~전기 플라이스토세를 지시하는 한류성 절멸종인 *Normanicys there* sp.와 *Kotoracythere* sp.가 확인되었다. 이것은 해저곡 주변에 플라이오세-플라이스토세 퇴적암의 기원지가 있었음을 지시하지만, 이 퇴적암의 분포위치는 아직까지 분명하지 않다. 지금까지 밝혀진 대한해협 주변의 지질구조에 의하면 쓰시마 단층대의 동측 지층은 일련의 트러스트 단층과 습곡구조에 의해서 제3기 및 제4기 퇴적암의 노출 가능성이 제기된 적이 있다(최, 1995; Park, 1998). 이 결과들에 의해서 EP-6과 EP-7 시추자료에 포함된 플라이오세-플라이스토세 사암편들은 최후빙하기 동안에 쓰시마 단층대 동측의 변형대로부터 공급된 잔류해안퇴적층일 가능성이 크다.

사 사

이 논문은 한국해양연구원 해양지질연구부에서 획득한 탄성과 자료와 시추퇴적물을 이용하였으며, “동해 기후변동 예측과 진화 연구(PE00783-01)”와 “한국해역 종합 해양환경도 작성연구; 대한해협(3차년도)” 연구사업에서 일부 지원되었다. 논문에 대해서 많은 조언을 해주신 석봉출 박사님과 최동림 박사님에게 감사드린다. 그리고 자료 획득 및 시료처리에 도움을 주신 이어도호 승조원과 실험실 여러분께 감사를 표한다. 또한 논문을 심사하고 좋은 의견을 주신 김대철 교수님과 익명의 심사위원께도 감사드린다.

참고문헌

민건홍, 박용안, 1997. 고해상탄성과탐사자료에 의한 한국남동대륙붕의 퇴적사 및 조구조운동. 한국석유지질학회지, 5: 1-8.  
 박용안, 김경렬, 박수철, 박상운, 1987. 한국 대한해협 대륙붕 표층 퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성. 한국해양학회지, 22: 43-56.  
 신국선, 유장민, 김건득, 엄창렬, 1997. 한국 대륙붕 VI-1광구 고래 II지역의 3D탄성과 자료해석. 한국석유지질학회지, 5: 27-35.  
 윤 선, 박용안, 최진용, 김영도, 1994. 한반도 동남부 대륙붕의 표층퇴적물, 패류군집 및 퇴적환경에 관한 연구. 고생물학회, 10: 154-169.  
 이연규, 1997. 한국 동남부 울산 주변 대륙붕 패류유해군집 특성과 제4기 고환경. 고생물학회지, 13: 103-118.  
 천중화, 허 식, 한상준, 신동혁, 정대교, 홍기훈, 김석현, 1999. 동해 울릉분지 남서해역 해양투기장의 퇴적물 특성. 한국해양학회지 「바다」, 4: 312-322.  
 최동림, 1995. 동해 울릉분지 남쪽 연변부의 신생대 탄성과 퇴적층서, 지질구조 및 지구조 진화. 인하대학교 박사학위논문, 127 pp.  
 한국해양연구소, 1994. 한국해역 종합 해양환경도 작성연구 -대한해협(3차년도)-. 한국해양연구소 BSPN00227-733-3, 715 pp.

Cheong, D.K., G. Whittle and C.G.St.C. Kendall, 1999. Graphical simulation of clastic margin progradation: Ulleung Basin, offshore Korea. *Geosci. J.*, 3: 63-73.  
 Chough, S.K., S.H. Lee, J.W. Kim, S.C. Park, D.G. Yoo, H.S. Han, S.H. Yoon, S.B. Oh, Y.B. Kim and G.G. Back, 1997. Chirp (2-7 kHz) echo characters in the Ulleung Basin. *Geosci. J.*, 1: 143-154.  
 Cronin, T.M. and N. Ikeya, 1987. The Omma-Manganji ostracod fauna (Plio-Pleistocene) of Japan and the zoogeography of circum-polar species. *J. Micropalaeontol.*, 6: 65-88.  
 Cronin, T.M., A. Kitamura, N. Ikeya, M. Watanabe and T. Kamiya, 1994. Late Pliocene climate change 3.4 2.3 Ma: paleoenvironmental record from the Tabuta Formation, Sea of Japan. *Paleo-geo., Paleoclimatol., Paleoecol.*, 108: 437-455.  
 Irizuki, T., 1989. Fossil ostracode assemblages off the pliocene Sasaoka Formation, Akita City, Japan with reference to sedimentological aspects. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N.S., 156: 296-318.  
 Ishizaki, K. and Y. Matoba, 1985. Akita (Early Pleistocene cold, shallow water Ostracoda). In: Guidebook of Excursions, Exc. 5; Akita, 9th International Symposium on Ostracoda, Japan, pp. 1-12.  
 Jolivet, L., P. Huchon, J.P. Brun, X. LePichon, N. Chamot-Rooke and J.C. Thomas, 1991. Arc deformation and marginal basin opening: Japan Sea as a case study. *J. Geophys. Res.*, 96: 4367-4384.  
 Lee, E.H., 1991. Pleistocene Ostracoda from the marine sedimentary strata of the Cheju Island, Korea. Korea Univ., Ph. D. Thesis, 400 pp.  
 Lee, E.H. and K.H. Paik, 1992. Late Cenozoic ostracod fauna and paleoenvironments of the marine sedimentary strata in the Cheju Island, Korea. *Paleont. Soc. Korea, Special Publication*, 1: 121-160.  
 Paik, K.H. and E.H. Lee, 1984. A Plio-Pleistocene ostracod assemblage from the Seogwipo Formation, Cheju Island, South Sea Of Korea. In: Y.A. Park et al. (eds.). Marine Geology and Physical Processes of the Yellow Sea, Proceedings of US-KOREA Symposium and Workshop on Yellow Sea, Seoul, pp. 223-234.  
 Paik, K.H. and E.H. Lee, 1988. Plio-Pleistocene ostracods from the Sogwipo Formation, Cheju Island, Korea. In: T. Hanai, N. Ikeya and K. Ishizaki (eds.). Evolutionary Biology of Ostracoda: its fundamentals and applications, Kodansha, Japan and Elsevier, Amsterdam, pp. 541-556.  
 Park, K.S., 1990. The seismic stratigraphy, structure and hydrocarbon potential of the Korea Strait. Imperial Univ. Ph. D thesis, 431 pp.  
 Park, S.C. and D.G. Yoo, 1988. Depositional history of Quaternary sediments on the continental shelf off the southeastern coast of Korea (Korea Strait). *Mar. Geol.*, 79: 65-75.  
 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). *Cont. Shelf Res.*, 19: 589-608.  
 Park, S.C., D.G. Yoo, C.W. Lee and E.I. Lee, 2000. Last glacial sea-level changes and paleogeography of the Korea (Tsushima) Strait. *Geo-Mar. Lett.*, 20: 64-71.  
 Park, S.J., 1998. Stratal patterns in the southwestern margin of Ulleung Back-arc Basin: A sequence stratigraphic analysis. Seoul Nat. Univ. Ph. D. thesis, 176 pp.  
 Park, Y.A. and J.Y. Choi, 1986. Factor analysis of the continental



- shelf sediments off the Southeast coast of Korea and its implication to the depositional environments. *J. Oceanol. Soc. Korea.*, **21**: 34–45.
- Pemberton, S.G., R.W. Frey, M.J. Ranger, J. MacEachern, 1992. The conceptual framework of ichnology. In: S.G. Pemberton (ed.). *Applications of Ichnology to Petroleum Exploration: A Core Workshop*, SEPM Core Workshop No. 17, Calgary, pp. 1–32.
- Pratson, L.F. and E.P. Laine, 1989. The relative importance of gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the Mideast U.S. outer continental margin revealed by 3.5 kHz Echo character. *Mar. Geol.*, **89**: 87–126.
- Swift, D.J.P., D.J. Stanley and J.R. Curray, 1971. Relict sediment on continental shelves: a reconsideration. *J. Geol.*, **79**: 322–346.
- Tabuki, R., 1986. Plio-Pleistocene Ostracoda from the Tsugaru Basin, North Honshu, Japan. *Bull. of College of Edu. Univ. of the Ryukyus*, **29**: 27–160.
- Yoo, D.G., S.C. Park, W.C. Shin and W.S. Kim, 1996. Near-surface seismic facies at the Korea Strait shelf margin and trough region. *Geo-Mar. Lett.*, **16**: 49–56.
- Yoon, S.H. and S.K. Chough, 1995. Regional strike-slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung basin, East Sea (Sea of Japan). *Geol. Soc. Am. Bull.*, **107**: 83–97.
- Williams, H. F.J. Turner and C.M. Gilbert, 1954. *Petrography*. San Francisco, Freeman, 406 pp.

---

2000년 11월 17일 원고접수

2001년 5월 18일 수정본 채택

담당편집위원: 김대철