

조간대성 해빈 퇴적물의 이동양상에 관한 연구 I. 한국 남해안의 득량만

류상옥^{1,*} · 김주용² · 장진호³ · 조영길³ · 신상은² · 은고요나²

¹목포대학교 갯벌연구소, 534-729 전남 무안군 청계면 도립리

²전남대학교 지구환경과학부, 500-757 광주광역시 북구 용봉동 300

³목포대학교 해양자원학과, 534-729 전남 무안군 청계면 도립리

A Study on the Transport Mechanism of Tidal Beach Sediments I. Deukryang Bay, South Coast of Korea

Sang Ock Ryu^{1,*}, Joo Young Kim², Jin Ho Chang³, Yeong Gil Cho³,
Sang Eun Shin² and Go Yo Na Eun²

¹Institute of Tidal-Flat Research, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

²Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University,
Kwangju 500-757, Korea

³Department of Marine Resources, Mokpo National University, Jeonnam 534-729, Korea

Abstract: In order to understand the transport mechanism of tidal beach sediments in Deukryang Bay, south coast of Korea, beach profiles, surface sediments, sedimentation rates and hydrodynamic conditions have been investigated. The beach is composed of a steep beach face and gentle low-tide terrace, showing general morphologic characteristics of tide dominated beach. Central beach face of an indented coast becomes flattened in summer, but ridge and runnel system developed in other seasons makes the beach profile rather irregular. These seasonal variations of beach profiles and sedimentation rate indicate that beach sedimentation is mainly controlled by both tide and wave processes. Erosion is prevalent in winter when strong wind wave is dominant, while deposition is dominant in other seasons. However, central beach showed an apparent erosional phase in summer. This is caused by strong waves induced by southerly strong winds occurring ephemerally during the summer. On the other hand, sedimentation rates are -89.2 mm/yr on the central beach and 60.5 mm/yr and 38.2 mm/yr on the sides. This result suggests that sediments are eroded on the central beach and subsequently transported to the both sides. Therefore, the central part of Sumun beach, used as a beach bathing site, will be continuously eroded, if nearby dyke continues to prevent the sediment supply from sources.

Keywords: Deukryang Bay, tidal beach, sediment transport, seasonal variation

요약: 조간대성 해빈 퇴적물을 파악하기 위하여 한반도 남해안의 득량만에서 해빈 주변 표층퇴적물과 해빈 단면, 해빈 퇴적률, 해빈 퇴적률, 그리고 해빈 수리에너지 특성에 대한 조사를 실시하였다. 수문 해빈은 급경사의 해빈면과 완경사의 저조단구로 이루어져 일반적으로 조차가 과고에 비해 큰 해빈 단면의 특징을 보인다. 그러나 만입된 해안의 중앙 해빈면은 여름에 평탄해지고 그 밖의 계절에는 파봉과 유흔이 발달하는 등 뚜렷한 계절변화를 보인다. 이러한 해빈 단면의 계절변화는 연구지역의 해빈 퇴적작용이 주로 조석에 의해 자배되지만 파랑의 영향도 강하게 받고 있음을 의미하는 것으로, 해빈 퇴적률의 계절변화에서도 잘 나타난다. 즉, 겨울에는 강한 파랑의 영향에 의해 침식이 우세한 반면, 그 밖의 계절에는 상대적인 저에너지 조건 하에서 퇴적이 우세한 특징을 보인다. 그러나 해빈의 중앙은 여름에도 뚜렷하게 침식되는 경향을 보이는데, 이는 여름에 간헐적으로 발생한 남풍 계열의 강한 바람에 의한 파랑이 해빈에 강하게 미치기 때문이다. 한편, 해빈 퇴적물은 만입된 해빈의 중앙에서는 -89.2 mm/yr로 침식된 반면, 양쪽 축

*Corresponding author: soryu@mokpo.ac.kr

Tel: 82-61-450-6280

Fax: 82-61-452-8875

면에서는 각각 60.5 mm/yr와 38.2 mm/yr로 퇴적되는 경향을 보인다. 이와 같은 현상은 해변의 중앙에 분포하는 퇴적물이 파랑이 강화되면 침식되어 양쪽 축면으로 이동하기 때문으로 생각된다. 따라서 해수욕장으로 주로 이용되는 수문 해변의 중앙은 방파제 건설에 따른 조립질퇴적물의 공급이 제한되어 있음을 고려할 때 지속적으로 침식될 것으로 판단된다.

주요아: 득량만, 조간대성 해빈, 퇴적물 이동, 계절변화

서 론

해빈은 바다와 육지로부터 동시에 영향을 받는 전이지역으로 파랑 및 조류와 같은 수력학적 에너지 조건에 의해 퇴적작용이 지배된다(Shepard, 1963; Davies, 1985). 특히, 해빈은 중립사나 세립사와 같은 사질퇴적물로 주로 구성되어 있어 작은 외력에도 퇴적물이 쉽게 부상하거나 이동하는 등 불안정한 퇴적환경의 하나로 인식되고 있다. 더욱이 최근에는 간척과 방파제 및 방조제 건설 등 인위적 요인에 의해 해안지형 변화가 가속화되고, 이에 따라 해빈 퇴적물의 이동이 매우 빠르게 일어나 과퇴적 및 과침식이 지질재해로 대두되고 있는 실정이다(한국해양연구원, 1993, 1994; 추용식 외, 1996; Lee et al., 1999; 한국지질자원연구원, 2003; 류상옥 외, 2004; 신동혁 외, 2004). 또한 이러한 해빈 퇴적물의 이동양상은 지역에 따라 다르게 나타날 뿐 아니라 그 기구(processes)가 매우 복잡하여 정량적인 예측 또한 어려운 형편이다.

본 연구지역인 득량만 내 수문 해빈은 1970년대 이래로 어항 개발 계획에 따라 만입된 해빈의 양 끝단에 방파제가 건설되고 확장되는 등 지형변화가 지속적으로 이루어져 왔으며, 그 결과 조류 및 파랑의 변화가 야기됨으로써 해빈변형이 초래될 것으로 예측되는 곳이다. 따라서 본 연구는 해빈 주변 표층퇴적물의 공간분포와 약 1년 동안 해빈 단면과 퇴적물의 입도, 퇴적률 등 퇴적학적 요인에 대한 모니터링, 그리고 하계 4 조석 주기 동안 수리에너지 종합관측을 통한 수리역학적 연구를 통해 해빈 퇴적물의 이동양상을 파악하는데 그 목적이 있다. 이러한 연구 결과는 남해안의 조간대성 해빈 퇴적물의 이동양상뿐 아니라 인위적인 연안환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있는 방안을 강구하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

지역개관

한반도의 남해 서부에 위치하는 득량만은 서쪽의 장흥과 북쪽의 보성, 그리고 동쪽의 고흥반도로 둘러

싸인 반폐쇄된 만으로, 동서 방향의 폭은 5~11 km이 며 남북 방향의 길이는 약 50 km에 달한다(Fig. 1). 득량만은 만입구가 남쪽으로 열려 있으며 최대 수심 약 20m로 주변에는 거금도, 금당도 등의 크고 작은 섬들이 발달되어 있다. 주조류로는 남북 방향으로 신장되어 있으며, 폭 5 km 내외로 매우 협소한 양상을 보인다. 조간대는 만입된 해안을 따라 발달되어 있으며, 조간대 내의 육지 쪽에는 소규모 해빈이 형성되어 있다. 본 연구지역인 수문 해빈은 득량만의 서측에 위치하고 있는 초승달(crescent moon) 모양의 해안으로서 남측으로 열려 있으며, 북측과 남측에는 선박의 접안을 위한 물량장이 건설되어 있다.

득량만 주변 지질은 선켄브리아기의 변성암류에 해당하는 화강암질 편마암, 혼성편마암, 반상변정질 편마암 및 편암류와 중생대 백악기의 유천층군에 해당하는 산성 및 중성 분출암류와 화산쇄설성 퇴적암류로 구분할 수 있다. 선켄브리아기의 변성암류는 득량만의 북서측 연안과 고흥반도 서측을 따라 광범위하게 분포하고 있으며, 중생대 백악기 유천층군에 해당하는 유문암 및 안산암 등의 분출암류와 라필리 응회암과 세립질 응회암의 화산쇄설성 퇴적암류는 고흥반도의 대부분 지역에 분포하고 있다. 또한 득량만 북서측 일부에는 경상누층군의 퇴적암류가 소규모로 분포하고 있다(Chang, 1987).

연구지역의 조석은 반일주조(semi-diurnal)로 일조부등(diurnal inequality)을 나타내며 소조차는 134.1 cm, 대조차는 346.1 cm, 평균조차는 240.1 cm로서(국립지리원, 1987) 중조차 환경에 속한다.

1993부터 2002년까지 최근 10년 동안 완도기상대에서 관측한 기상자료에 의하면 연구지역의 연평균 기온은 14.1°C이며, 강수량은 1519.6 mm로서 주로 여름(6~8월)에 집중된다(기상청, 1993-2002). 바람은 평균 3.8 m/sec로 겨울에는 한랭건조한 북서풍이, 여름에는 고온다습한 남풍계열이 우세하다. 풍속 13.9 m/sec 이상의 폭풍일수는 연평균 24.3일로서 주로 겨울에 집중되며, 17 m/sec 이상의 태풍은 주로 여름(6~9월)에 집중되어 연평균 2.2회가 조사지역 주변을 통과한다.

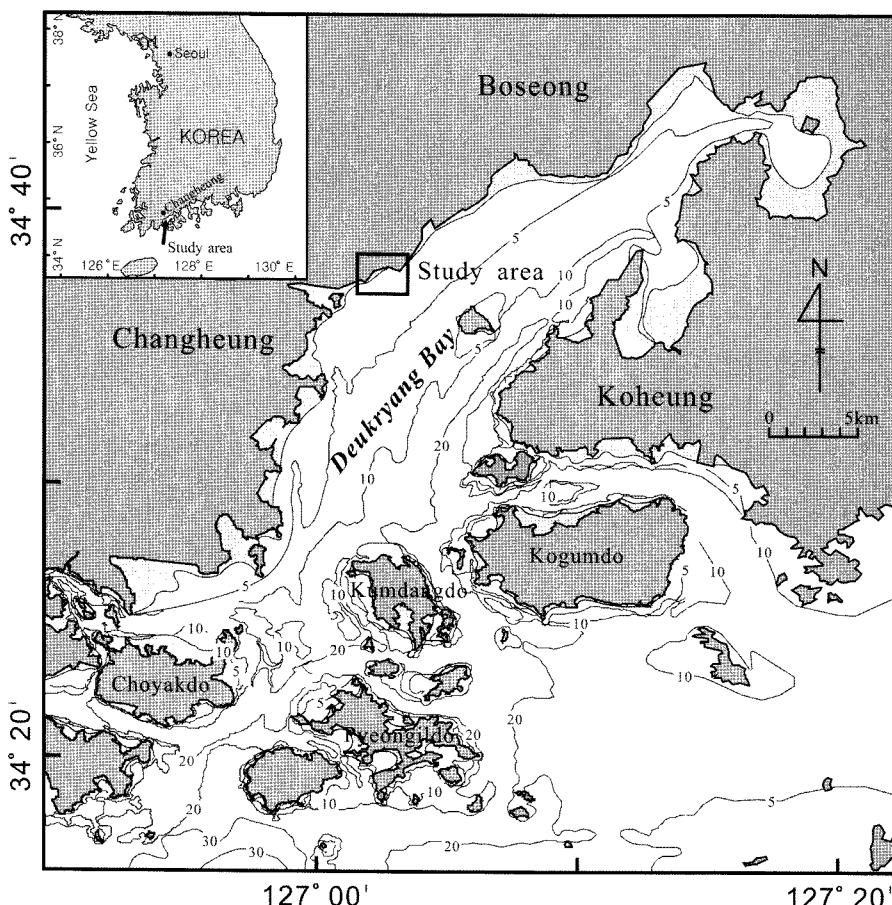


Fig. 1. Location map of Deukryang Bay showing bathymetry. Depths are in meter.

재료 및 방법

표층퇴적물 채취 및 분석

수문 해빈 주변 해역에 대한 표층퇴적물의 공간적 분포 및 특성을 조사하기 위하여 2005년 6월에 동경 $127^{\circ} 01' 53''\sim127^{\circ} 03' 02''$ 와 북위 $34^{\circ} 37' 26''\sim34^{\circ} 38' 02''$ 범위 내에서 등 간격으로 총 71개 정점에서 표층퇴적물 시료를 채취하였다(Fig. 2). 표층퇴적물은 만조 시 선상에서 채니기(Labond-type grab sampler)를 사용하여 채취되었고, 각 정점의 위치는 GPS(Garmin 100 SRVY II, USA)를 이용하여 측정되었다.

또한 해빈 퇴적물의 분포 및 계절적 변화 양상을 조사하기 위하여 수문 해빈을 대표하는 3개의 측선 상에 총 16개의 정점(Line-SA: 6개, Line-SB: 4개, Line-SC: 6개)을 설정하고(Fig. 2), 2004년 9월부터 2005년 8월까지 1년 동안 총 6회에 걸쳐 반복하여 표층퇴적물 시료를 채취하였다. 퇴적물의 채취는 간

조(low tide) 시 플라스틱 스푼을 이용하여 채취하였다. 퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)의 표준입도분석 방법에 의거하였으며, 분석된 모든 자료는 그래픽방법에 의해 처리되었고, 평균입도, 분급, 왜도, 첨도 등의 통계적 입도상수는 Folk and Ward(1957)의 계산식에 의해 구하였다.

수준측량

해빈 지형단면 및 계절적 변화를 조사하기 위하여 3개의 측선(Line-SA, -SB, -SC)을 설정하고(Fig. 2), 그 측선을 따라 2004년 9월부터 2005년 8월까지 1년 동안 총 5회에 걸쳐 반복하여 수준측량(leveling)을 실시하였다. 수준측량은 정밀한 토텔스테이션(Topcon GTS-225)을 사용하여 지형적 특징을 달리하는 지점의 고도를 측량하는 방법으로 이루어 졌으며, 측선의 출발 기준점 및 각 측점의 고도는 조위면(tidal level)에 근거하여 구하였다(전라남도, 1996).

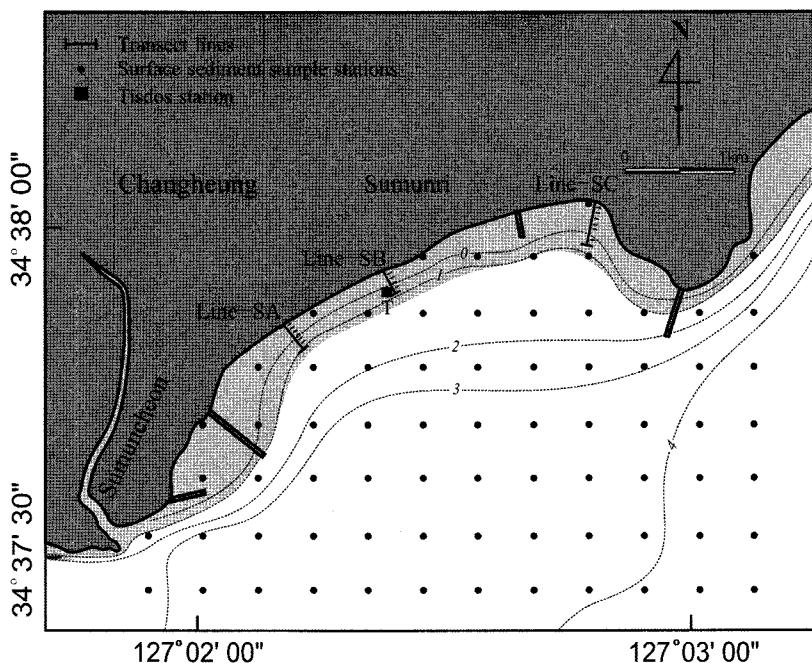


Fig. 2. The sampling sites for the studying of surface sediment, beach monitoring, and hydrodynamic conditions. Depths are in meter.

본 조사에 사용된 측량기기는 3 km의 수평거리에 ±2 mm의 고도 오차를 가진다.

퇴적률 측정

해빈 퇴적률을 조사하기 위하여 3개의 측선 상의 16개 정점에서(Fig. 2) 2004년 9월부터 2005년 8월까지 1년 동안 총 6회에 걸쳐 반복하여 퇴적률을 측정하였다. 퇴적률의 측정은 해저면 아래의 일정 깊이에 30 × 30 cm의 아크릴 판을 기준점으로 설치하고, 해저면에서 기준면까지의 깊이를 베니어캘리퍼스를 이용하여 측정하였다. 이때 아크릴판이 물의 침투에 의해 상하로 이동하는 것을 방지하기 위하여 아크릴판 곳곳에 구멍을 뚫었으며, 좌우로 이동되는 것을 방지하기 위해서 판의 모서리 부분에 구멍을 뚫고 PVC 파이프로 고정하였다.

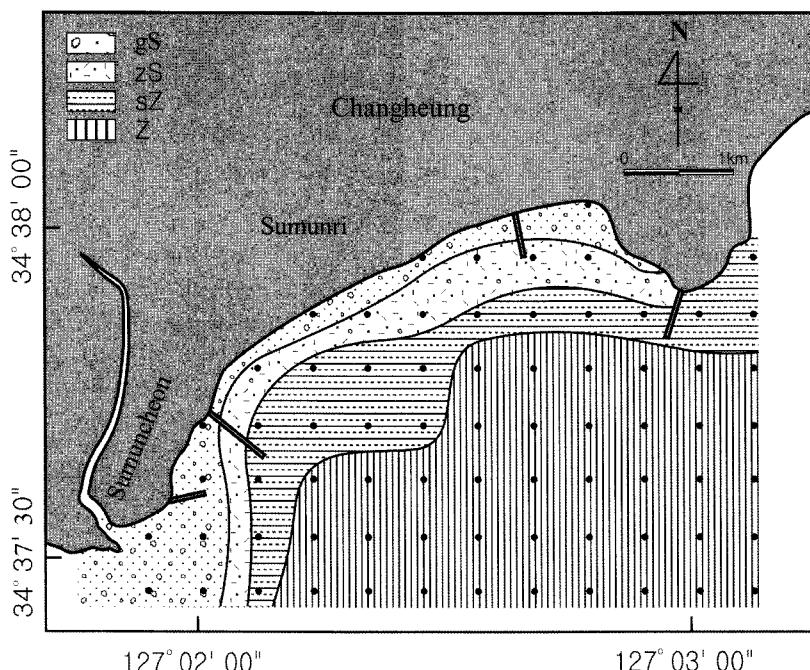
수리에너지 관측

해빈의 수리에너지 특성을 조사하기 위하여 측선-SB의 간조선 부근에서 2005년 6월 20일부터 22일까지 대조기에 4조석 주기 동안 수리에너지 종합자동 관측시스템인 TISDOS(Tidal Sediment Dynamics Observation System)를 설치하여 수심과 조류의 유속,

유향, 유의파고, 탁도, 그리고 해저면 고도변화 등에 대한 현장관측 자료를 획득하였다. 한편 OBS 센서를 통해 얻어진 탁도(단위: NTU)는 실내 수조실험을 통해 부유퇴적물의 농도로 환산되었다. 실험은 OBS 센서가 부착된 원통형 수조(용량 10 l)에 중류수를 넣고 실제 현장에서처럼 물을 순환시켜 준 후 현지에서 채취된 퇴적물을 넣어 퇴적물이 완전하게 부유되게 하였다. 부유된 퇴적물은 2개의 OBS 센서로부터 5분 동안 측정되었으며, 이와 같은 방법으로 퇴적물 양을 5 g, 10 g, 20 g, 30 g, 40 g, 60 g으로 증가시켜 가면서 각각의 탁도 값을 구하였다. 그리고 동시에 수조에서 퇴적물이 혼합된 물 200 ml를 채수하여 부유퇴적물의 농도를 구하였다. 부유퇴적물의 농도는 미리 건조시켜 무게를 측정한 여과지에 진공펌프를 사용하여 여과시킨 후 건조된 무게를 측정함으로써 구하였다. 이때 여과지는 공극경이 0.45 μm이고 직경이 4.7 cm인 섬유질여과지(membrane filter)를 사용하였다. 이러한 실험을 바탕으로 2개의 OBS 센서에서 얻어진 탁도 자료와 부유퇴적물의 농도 값을 이용하여 회귀식을 구하고, 그 식으로부터 부유퇴적물의 농도로 환산되었다.

Table 1. Sedimentary facies based on the sedimentary textures

Facies	Textural parameters					Statistical parameters		
	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (ϕ)	Sort. (ϕ)	Skew.	
gS	Range	8.4~38.9	50.4~86.2	0.0~8.0	0.0~2.8	-0.2~1.2	1.1~2.7	-0.2~0.4
	Aver.	23.0	72.7	3.0	1.3	0.3	1.7	0.0
zS	Range		50.9~84.6	11.9~37.0	3.6~12.2	3.1~4.8	1.2~2.5	0.5~0.6
	Aver.		66.0	25.6	8.4	3.9	2.0	0.6
sZ	Range		11.3~40.9	45.5~69.8	12.8~21.8	4.9~6.2	2.1~2.7	0.0~0.3
	Aver.		22.0	60.5	17.5	5.7	2.3	0.2
Z	Range		0.2~7.0	67.5~93.5	6.3~26.4	5.0~6.7	0.9~2.1	0.2~0.6
	Aver.		3.3	76.9	19.8	6.3	1.8	0.4

**Fig. 3.** Spatial distribution of surface sediment in the study area.

결 과

표층퇴적상

수문 해변 주변 해역의 표층퇴적물은 잔자갈에서 점토에 이르기까지 다양한 입도의 퇴적물로 구성되어 있다. 표층퇴적물을 Folk(1968)의 삼각도표에 도시한 결과 니사질역(msG muddy sandy gravel), 사질역(sG sandy gravel), 역질사(gS, gravelly sand), 실트질사(zS, silty sand), 사질실트(sZ, sandy silt), 실트(Z, silt)의 6개 퇴적물 유형으로 구분되어 역질사, 실트질사, 사질실트, 실트의 4개 퇴적상으로 그룹화 하였다 (Table 1, Fig. 3).

역질사 퇴적상은 역과 사, 실트, 점토의 함량이 각각 평균 23.0, 72.7, 3.0, 1.3%로 수문 해변을 중심으로 육지 쪽에 분포하고 있다(Fig. 3). 역의 대부분은 잔자갈(pebble)에서 왕모래(granule)에 해당하며, 판상(oblate)이나 입방체(equant)의 형태로 구형도는 양호하나 원마도는 불량한 경향을 보인다. 퇴적물의 평균 입도는 $-0.2\sim1.2\phi$ 범위를 나타내며, 분급은 $1.1\sim2.7\phi$ 범위로 조사해역 퇴적물 중 가장 양호한 경향을 보인다(Table 1). 실트질사 퇴적상은 사와 실트, 점토의 함량이 각각 평균 66.0, 25.6, 8.4%로 역질사와 사질실트 퇴적상 사이에 대상으로 협소한 분포를 보인다 (Fig. 3). 퇴적물의 평균입도는 $3.1\sim4.8\phi$ 범위를 나타

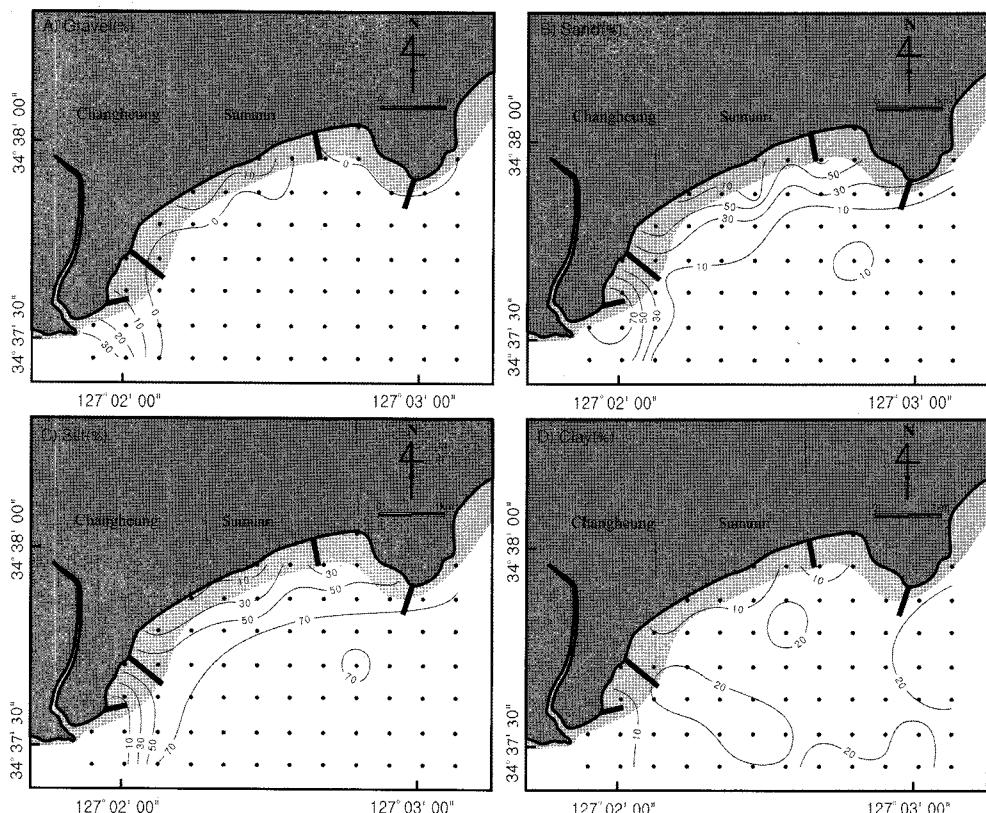


Fig. 4. Contour maps showing textural compositions of surface sediment in the study area. A) gravel, B) sand, C) silt, D) clay.

내며, 분급은 1.2~2.5φ 범위로 비교적 불량한 경향을 보인다(Table 1). 사질실트 퇴적상은 사와 실트, 점토의 함량이 각각 평균 22.0, 60.5, 17.5%로 실트질사와 실트 퇴적상 사이에 대상으로 분포하여 실트질사와 유사한 분포 양상을 보인다(Fig. 3). 퇴적물의 평균입도는 4.9~6.2φ 범위를 나타내며, 분급은 2.1~2.7φ 범위로 조사해역 퇴적물 중 가장 불량한 경향을 보인다(Table 1). 실트 퇴적상은 사와 실트, 점토의 함량이 각각 평균 3.3, 76.9, 19.8%로 사질실트 퇴적상 바깥으로 분포하며 조사지역 퇴적상 중 가장 넓은 분포 양상을 보인다(Fig. 3). 퇴적물의 평균입도는 5.0~6.7φ 범위를 나타내며, 분급은 0.9~2.1φ 범위로 비교적 양호한 경향을 보인다(Table 1).

표층퇴적물의 공간분포

Fig. 4는 역과 사, 실트, 점토 함량의 공간분포를 도시한 것이다. 역은 수문항 서측에 발달하는 수문천 주변에서 30% 이상으로 최대 값을 보이며, 북동측 해안을 따라 가면서 감소하는 경향을 보인다(Fig.

4A)). 평균 19.9%의 함량을 나타내고 있는 사 퇴적물은 역 퇴적물의 분포 변화와 유사하게 수문천과 수문 해빈 주변에서 70% 이상으로 최대 값을 보이며, 바다 방향으로 가면서 감소하는 경향을 보인다. 그러나 분포 범위는 역 퇴적물과는 달리 바다 방향으로 뚜렷하게 확장되어 있다(Fig. 4B)). 조사해역 표층퇴적물 중 가장 높은 함량 분포를 보이는 실트 퇴적물은 수문 해빈 바깥쪽 조하대에서 70% 이상으로 최대 값을 보이며, 육지 방향으로 가면서 뚜렷하게 감소하는 경향을 보인다(Fig. 4C)). 점토 퇴적물은 평균 16.5%로 실트 퇴적물에 비해 뚜렷하게 낮은 함량 분포를 보인다. 또한 뚜렷한 분포 양상을 보이지 않으며, 조하대 곳곳에서 20% 이상 함량 분포를 보이는 지역이 군반 형태로 존재한다(Fig. 4D)).

해빈 단면 특성

2004년 11월에 수준측량한 3개의 해빈 단면을 Fig. 5에 도시하였다. 측선-SA는 수문 해빈의 남쪽에 위치한 측선으로(Fig. 2), 해안선으로부터 약 35 m 거리에

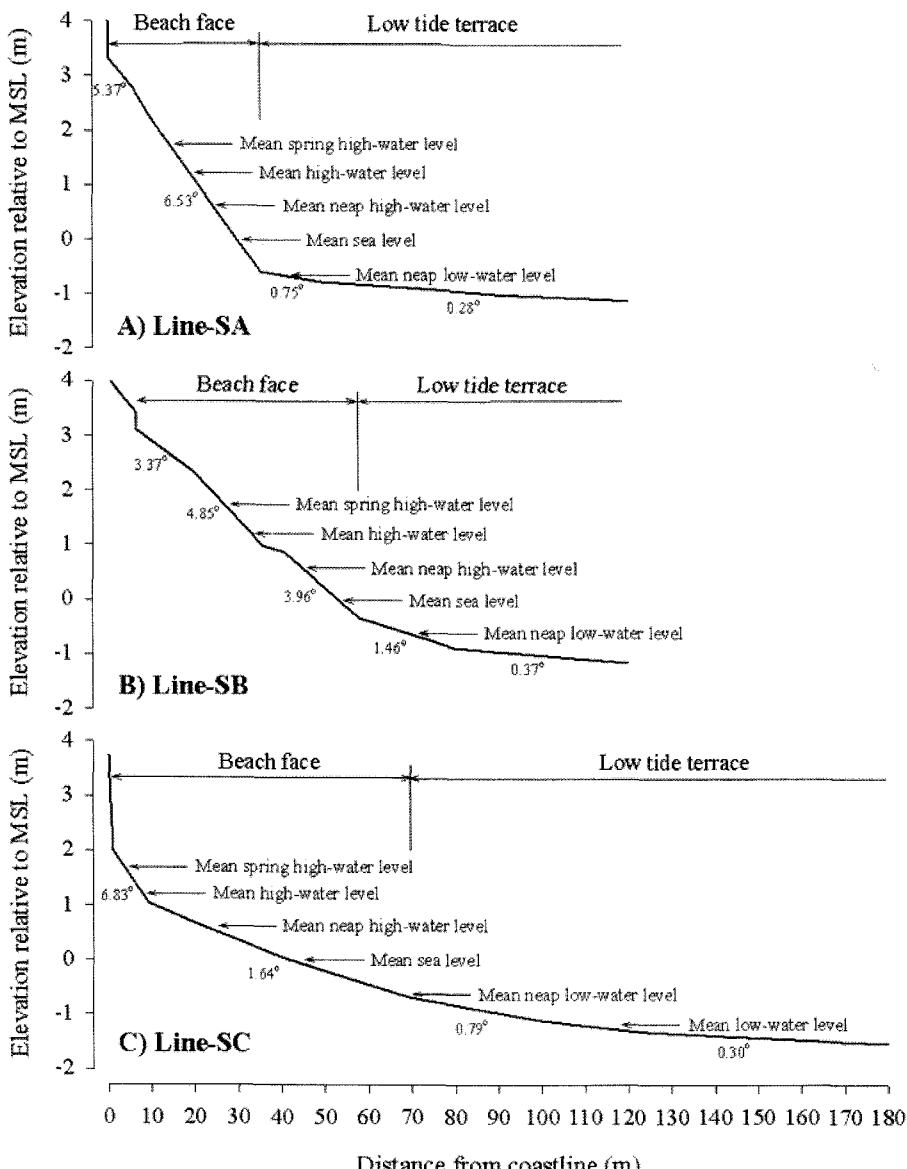


Fig. 5. Elevation features of lines (Line-SA, -SB, -SC) transecting the tidal beach in the study area.

위치하는 평균해수면(MSL)과 저조평균간조선(MNLWL) 사이를 기준으로 육지 쪽의 경사가 급한 해빈면(beach face)과 바다 쪽의 경사가 완만한 저조단구(low tide terrace)로 구분된다. 해빈면의 경사도는 육지 쪽에서는 5.37° , 바다 쪽에서는 6.53° 로 육지 쪽에서 다소 완만한 경향을 보인다(Fig. 5A). 저조단구의 경사도는 육지 쪽에서는 0.75° , 바다 쪽에서는 0.28° 로 해빈면과 달리 바다 쪽에서 다소 완만한 경향을 보인다(Fig. 5A).

측선-SB는 수문 해빈의 중앙에 위치한 측선으로 (Fig. 2), 해안선으로부터 약 58 m 거리에 위치하는 평균해수면과 저조평균간조선 사이를 기준으로 육지 쪽의 경사가 급한 해빈면과 바다 쪽의 경사가 완만한 저조단구로 구분된다. 해빈면의 경사도는 $3.37^\circ\sim4.85^\circ$ 범위로 평균만조선과 소조평균만조선 사이를 기준으로 계단상의 지형 단면을 보인다(Fig. 5B). 저조단구의 경사도는 육지 쪽에서는 1.46° , 바다 쪽에서는 0.37° 로 바다 쪽에서 완만한 경향을 보인다(Fig. 5B).

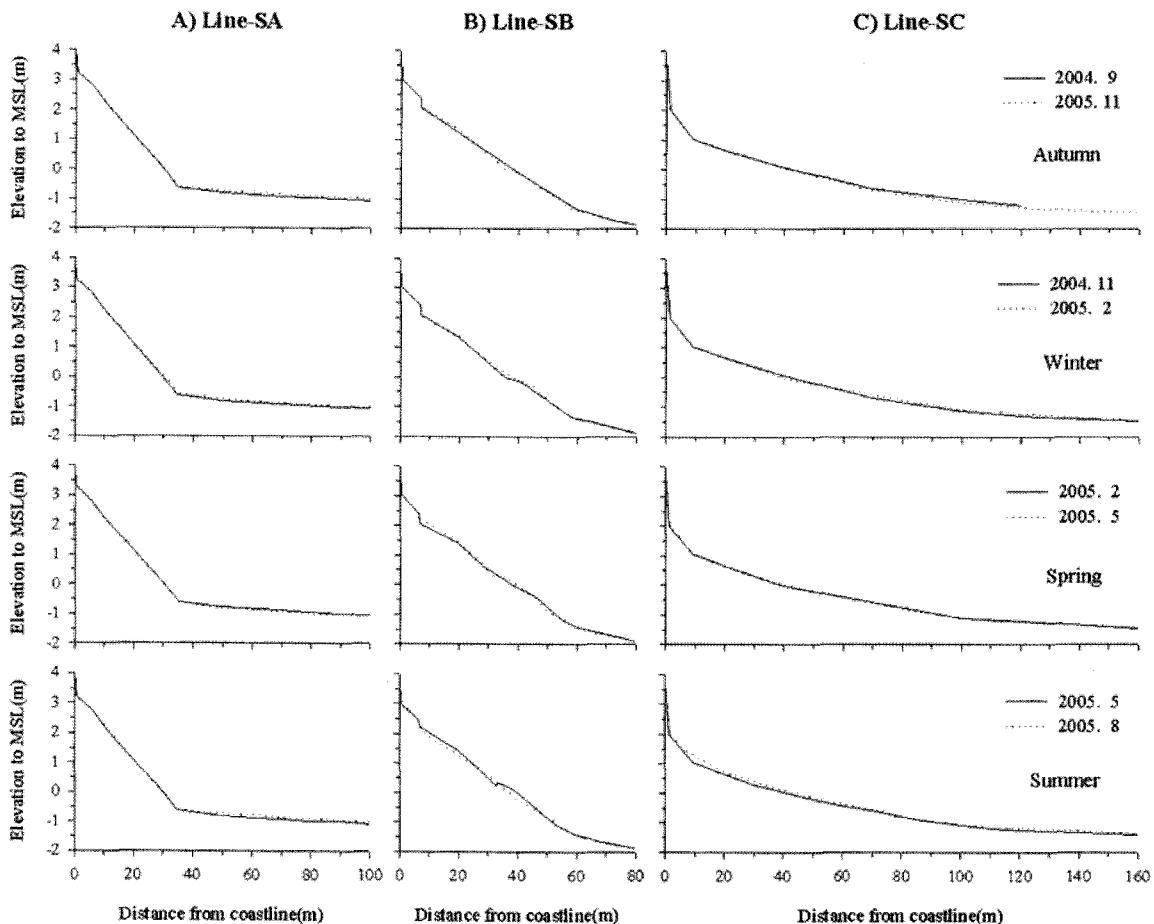


Fig. 6. The beach profiles during the 2004-2005. The solid line in each of the diagrams indicates the beach profile at the start of the period and the dashed line presents the end of the period. Ridge and runnel systems are well developed on Line-SB transect during the autumn to spring, but these structures are destroyed during the summer.

측선-SC는 수문 해변의 북쪽에 위치하는 측선으로 (Fig. 2), 호안(seawall)으로부터 약 70 m 거리에 위치하는 저조평균간조선을 기준으로 육지 쪽의 경사가 급한 해변면과 바다 쪽의 경사가 완만한 저조단구로 구분된다. 해변면의 경사도는 육지 쪽에서는 6.83° , 바다 쪽에서는 1.64° 로 측선-SA, 측선-SB와는 달리 육지 쪽에서 급한 경향을 보인다(Fig. 5C). 저조단구의 경사도는 육지 쪽에서는 0.79° , 바다 쪽에서는 0.30° 로 바다 쪽으로 가면서 완만해지는 경향을 보인다(Fig. 5C).

해변 단면의 계절적 변화

Fig. 6은 수문 해변의 3개 측선에서 2004년 9월과 11월, 2005년 2월과 5월, 8월에 반복하여 수준측량한

해변 단면을 도시한 것이다. 수문 해변의 만입된 양 끝 부분에 해당하는 측선-SA와 측선-SC의 해변단면은 전체적으로 매우 평탄하며, 계절에 따라 뚜렷한 파형의 기복을 보이지 않는다(Fig. 6A, C). 그러나 해변의 중앙에 위치하는 측선-SB의 해변 단면은 여름에는 매우 평탄한 지형 단면을 보이나 가을과 겨울, 봄에는 해안선에 평행한 파봉과 유흔(ridge and runnel)이 발달한다(Fig. 6B). 이 파형의 기복은 두개의 마루(ridge)와 골(trough)로 첫 번째 마루는 해안선으로부터 약 20 m에, 두 번째 마루는 약 40 m에 나타난다. 겨울에는 가을 동안 형성된 파봉과 유흔이 메가 연흔(mega ripples)으로 바뀌어 다소 평坦해지는 경향을 보이나 봄에는 더욱 뚜렷하게 발달하여 특징적인 파봉과 유흔을 형성한다(Fig. 6B). 마

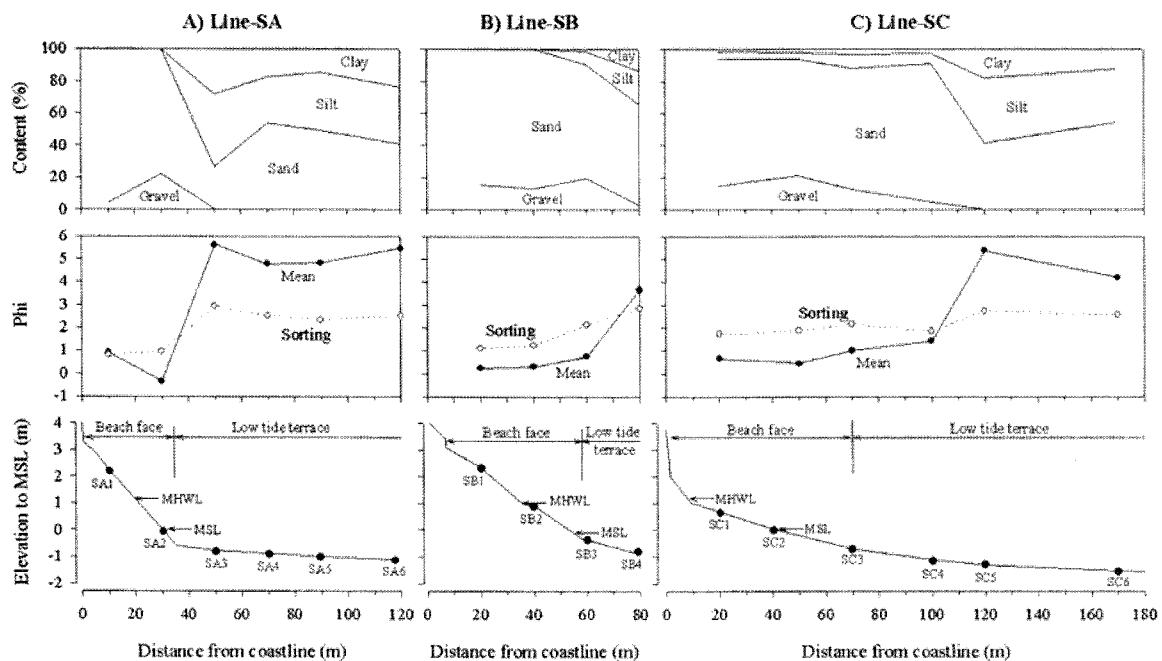


Fig. 7. Surface textural and statistical parameters of lines (Line-SA, -SB, -SC) across the tidal beach of Deukryang Bay in November 2004.

루와 골 사이의 파고는 0.5 m, 골과 골 사이의 파장은 20~30 m 범위로 마루의 경사는 바다 쪽이 완만하고 육지 쪽이 급한 양상을 보인다(Fig. 6B).

해빈 퇴적물의 분포

3개 측선의 모니터링 정점에서 2004년 11월에 채취하여 분석한 해빈 퇴적물의 입도 특성을 Fig. 7에 도시하였다. 측선-SA의 경우, 해안선에서 약 40 m 범위에 해당하는 해빈면에서는 평균입도 $-1\sim1\phi$ 범위의 극조립 및 조립사 퇴적물이 우세한 분포를 보이는데 반해, 40~120 m 범위에 해당하는 저조단구에서는 평균입도 $4\sim6\phi$ 범위의 조립실트 퇴적물이 우세한 분포를 보인다(Fig. 7A). 퇴적물의 분급은 $0.8\sim2.9\phi$ 범위로 육지 쪽의 극조립 및 조립사 퇴적물은 양호한 경향을 보이나 바다 쪽의 조립실트 퇴적물은 불량한 경향을 보인다(Fig. 7A).

측선-SB의 경우, 해안선에서 약 60 m 범위에 해당하는 해빈면에서는 평균입도 $0\sim1\phi$ 범위의 조립사 퇴적물이 우세한 분포를 보이는데 반해, 해안선으로부터 80 m 거리에 위치하는 저조단구(정점 SB)에서는 평균입도 3.7ϕ 의 극세립사 퇴적물이 분포하여 바다 방향으로 가면서 세립해지는 경향을 보인다(Fig. 7B). 표층퇴적물의 분급은 $1.1\sim2.8\phi$ 범위로 전반적으로 불

량한 경향을 보이며, 육지에서 바다 방향으로 가면서 불량해지는 경향을 보인다(Fig. 7B).

측선-SC의 경우, 해안선으로부터 약 110 m 범위에 해당하는 해빈면과 저조단구 상부에서는 평균입도 $0\sim1\phi$ 범위의 조립사 퇴적물이 우세한 분포를 보이는 데 반해, 110~180 m 범위의 저조단구 하부에서는 평균입도 $4\sim6\phi$ 범위의 조립실트 퇴적물이 우세한 분포를 보인다(Fig. 7C). 퇴적물의 분급은 $1.7\sim2.7\phi$ 범위로 평균입도가 조립한 해빈면과 저조단구 상부에서는 상대적으로 양호하고, 평균입도가 세립한 저조단구 하부에서는 불량하여 분급이 평균입도에 의해 좌우되는 경향을 보인다(Fig. 7C).

해빈 퇴적물의 계절적 변화

Fig. 8은 3개 측선에서 약 1년 동안 6회에 걸쳐 채취·분석한 해빈 퇴적물의 평균입도 변화를 해빈면과 저조단구로 구분하여 나타낸 것이다. 평균입도는 각각의 측선 상의 모든 정점에서 채취·분석된 자료(측선-SA: 6개 정점, 측선-SB: 4개 정점, 측선-SC: 6개 정점)를 평균한 것이다. 상대적으로 급경사를 유지하는 측선-SA와 측선-SB의 경우, 해빈면 퇴적물은 6월에 조립해지는 것을 제외하고는 가을과 겨울에 조립하고, 봄과 여름에 세립해지는 계절적 변화를 보인다

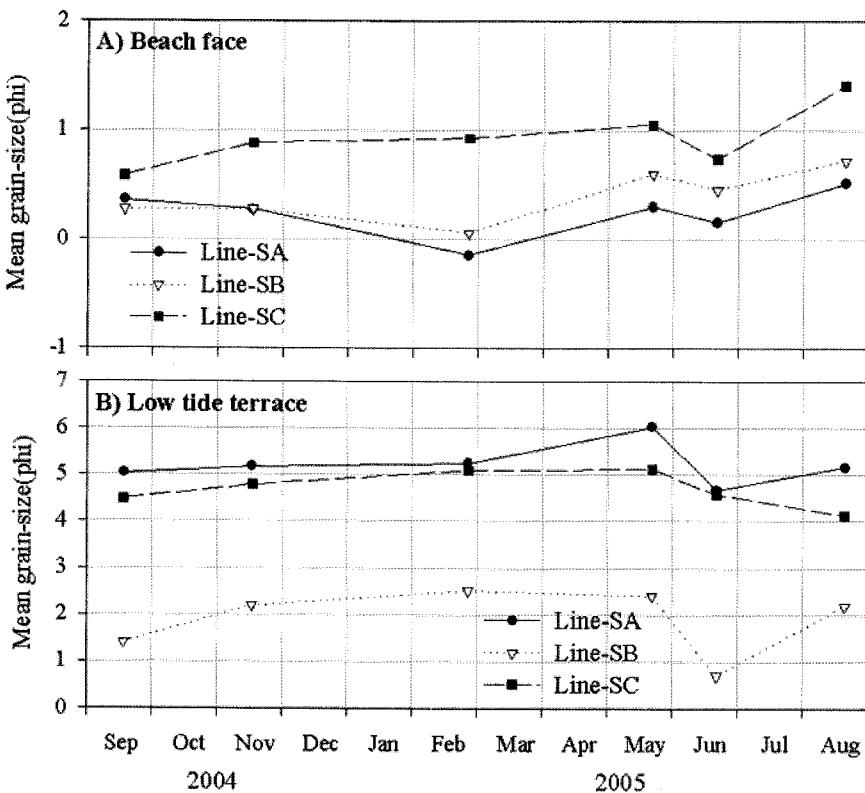


Fig. 8. Mean grain-size variations of surface sediment on the beach face (A) and low tide terrace (B) during the 2004 to 2005. Each symbol presents an average of mean grain-size from all surface samples taken during the corresponding survey. For location of measuring sites, see Fig. 3.

(Fig. 8A). 그러나 저조단구 퇴적물은 6월에 조립해지는 것을 제외하고는 뚜렷한 계절 변화를 보이지 않아 해빈면 퇴적물과는 다른 계절적 변화 양상을 보인다(Fig. 8B).

한편 완경사를 유지하고 있는 측선-SC의 경우, 모든 정점(해빈면과 저조단구)에서 6월에 조립해지는 현상은 측선-SA, 측선-SB와 유사하나 해빈면에서는 계절에 무관하게 미세하게나마 세립해지고, 저조단구에서는 가을과 겨울에 세립해지고 봄과 여름에 조립해지는 경향을 보여 측선-SA, 측선-SB와는 뚜렷하게 다른 계절적 변화를 보인다(Fig. 8).

해빈 퇴적률

2004년 9월부터 2005년 8월까지 약 1년 동안 수문 해빈에서 관측한 퇴적률은 측선-SA에서 평균 60.5 mm/yr, 측선-SB에서 평균 -89.2 mm/yr, 측선-SC에서 38.2 mm/yr로 측선-SA와 측선-SC에서는 퇴적되고, 측선-SB에서는 침식되는 경향을 보였다(Table 2).

수문 해빈의 남쪽에 위치하는 측선-SA의 경우, 해빈면에서는 평균 64.0 mm/yr로 퇴적되는 경향을 보였으며, 지역별로는 육지 쪽에서 227.7 mm/yr, 바다 쪽에서 -99.8 mm/yr로 육지 쪽은 크게 퇴적되고 바다 쪽은 침식되는 경향을 보였다(Table 2). 계절별로는 가을과 겨울에는 각각 -0.2 mm와 -16.9 mm로 뚜렷한 변화를 보이지 않거나 침식된 반면, 봄과 여름에는 각각 70.6 mm와 10.5 mm로 퇴적되었으며, 특히 봄에 뚜렷하게 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2). 저조단구에서는 평균 60.5 mm/yr로 퇴적되는 경향을 보였으며, 지역별로는 육지 쪽에서 바다 방향으로 각각 -7.8 mm/yr, 187.9 mm/yr, 42.5 mm/yr, 19.2 mm/yr로 육지 쪽은 다소 침식되고 바다 쪽은 뚜렷하게 퇴적되는 경향을 보였다. 계절별로는 해빈면과 동일하게 가을과 겨울에는 각각 0.6 mm와 -3.1 mm로 뚜렷한 변화를 보이지 않거나 다소 침식된 반면, 봄과 여름에는 각각 47.5 mm와 15.5 mm로 퇴적되었으며, 특히 봄에 뚜렷하게 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2).

Table 2. Sedimentation rates on the tidal beach of the study area during 2004-2005

Line	Station	Distance (m)	Bed level change (mm)				Sedimentation rate (mm/yr)	
			Autumn (9/04-11/04)	Winter (11/04-2/05)	Spring (3/05-5/05)	Summer (6/05-8/05)		
Line-SA	Beach face	SA1	10	78.5	31.6	100.2	17.4	227.7
		SA2	30	-78.8	-65.4	40.9	3.5	-99.8
	Low tide terrace	SA3	50	-6.0	-17.4	12.2	3.4	-7.8
		SA4	70	-0.1	-0.1	144.6	43.5	187.9
		SA5	90	5.8	6.0	23.8	6.9	42.5
		SA6	120	2.5	-0.8	9.2	8.3	19.2
			Average	0.3	-7.7	55.2	12.7	60.5
Line-SB	Beach face	SB1	20	221.4	-179.5	161.8	-273.2	-69.5
		SB2	40	-57.8	12.5	138.4	-188.6	-95.5
		SB3	60	-59.0	-5.9	67.2	-96.9	-94.6
	Low tide terrace	SB4	80	-98.8	-2.0	-18.6	21.9	-97.5
		Average	1.5	-43.7	87.2	-134.2	-89.2	
Line-SC	Beach face	SC1	20	51.9	-24.8	-28.1	52.4	51.4
		SC2	40	-20.0	-62.3	56.8	61.7	36.2
		SC3	70	13.7	72.0	-2.3	9.8	93.2
	Low tide terrace	SC4	100	2.7	-15.0	-6.5	19.7	0.9
		SC5	120	-17.5	-1.8	15.0	22.9	18.6
		SC6	170	-11.6	-6.4	18.3	28.5	28.8
			Average	3.2	-6.4	8.9	32.5	38.2

수문 해빈의 중앙에 위치하는 측선-SB의 경우, 해빈면에서는 평균 -86.5 mm/yr 로 크게 침식되는 경향을 보였으며, 지역별로는 육지 쪽에서 바다 방향으로 각각 -69.5 mm/yr , -95.5 mm/yr , -94.6 mm/yr 로 모든 정점에서 뚜렷하게 침식되는 경향을 보였다(Table 2). 계절별로는 가을과 봄에는 각각 34.9 mm 와 122.5 mm 로 퇴적되는 반면, 겨울과 여름에는 각각 -57.6 mm 와 -186.3 mm 로 침식되는 경향을 보였다(Table 2). 저조단구에서는 평균 -97.5 mm/yr 로 침식되는 경향을 보였으며, 계절별로는 가을과 겨울, 봄에는 각각 -98.8 mm 와 -2.0 mm , -18.6 mm 로 침식되는 반면, 여름에는 21.9 mm 로 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2).

수문 해빈의 북쪽에 위치하는 측선-SC의 경우, 해빈면에서는 평균 45.5 mm/yr 로 퇴적되는 경향을 보였으며, 지역별로는 육지 쪽에서 바다 방향으로 각각 51.4 mm/yr , 36.2 mm/yr , 93.2 mm/yr 로 모든 정점에서 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2). 계절별로는 봄과 여름, 가을에는 각각 8.8 mm 와 41.3 mm , 15.2 mm 로 퇴적된 반면, 겨울에는 -5.0 mm 로 침식되는 경향을 보였다(Table 2). 저조단구에서는 평균 16.1 mm/yr

로 퇴적되는 경향을 보였으며, 지역별로는 육지 쪽에서 바다 방향으로 각각 0.9 mm/yr 와 18.6 mm/yr , 28.8 mm/yr 로 모든 정점에서 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2). 계절별로는 가을과 겨울에는 각각 -8.8 mm 와 -7.7 mm 로 침식되는 경향을 보였으며, 봄과 여름에는 각각 8.9 mm 와 23.7 mm/yr 로 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2).

해빈 수리에너지 특성

Fig. 9는 측선-SB의 간조선 부근 정점 T에서 2005년 6월 20일부터 22일까지 대조기 4조석 주기 동안 TISDOS를 이용하여 관측한 수심(조석), 유속, 유향, 파랑, 부유퇴적물 농도 그리고 해저면 고도변화 등에 대한 시계열 변화를 도시한 것이다.

최대수심은 2~3 m 범위로 약 1 m 정도의 편차를 보이는 뚜렷한 일조부등 현상을 보였다(Fig. 9). 조류의 유속은 평균 0.13 m/sec 로 창조류와 낙조류 간의 차이가 크지 않다(Fig. 9). 유향은 다소의 예외는 있으나 창조 초반에는 $90\text{--}180^\circ$ 방향, 후반에는 $270\text{--}360^\circ$ 방향을 가리키며 시계 방향으로 순환하는 특징을 보인 반면, 낙조 초반에는 $360\text{--}270^\circ$ 방향, 후반에

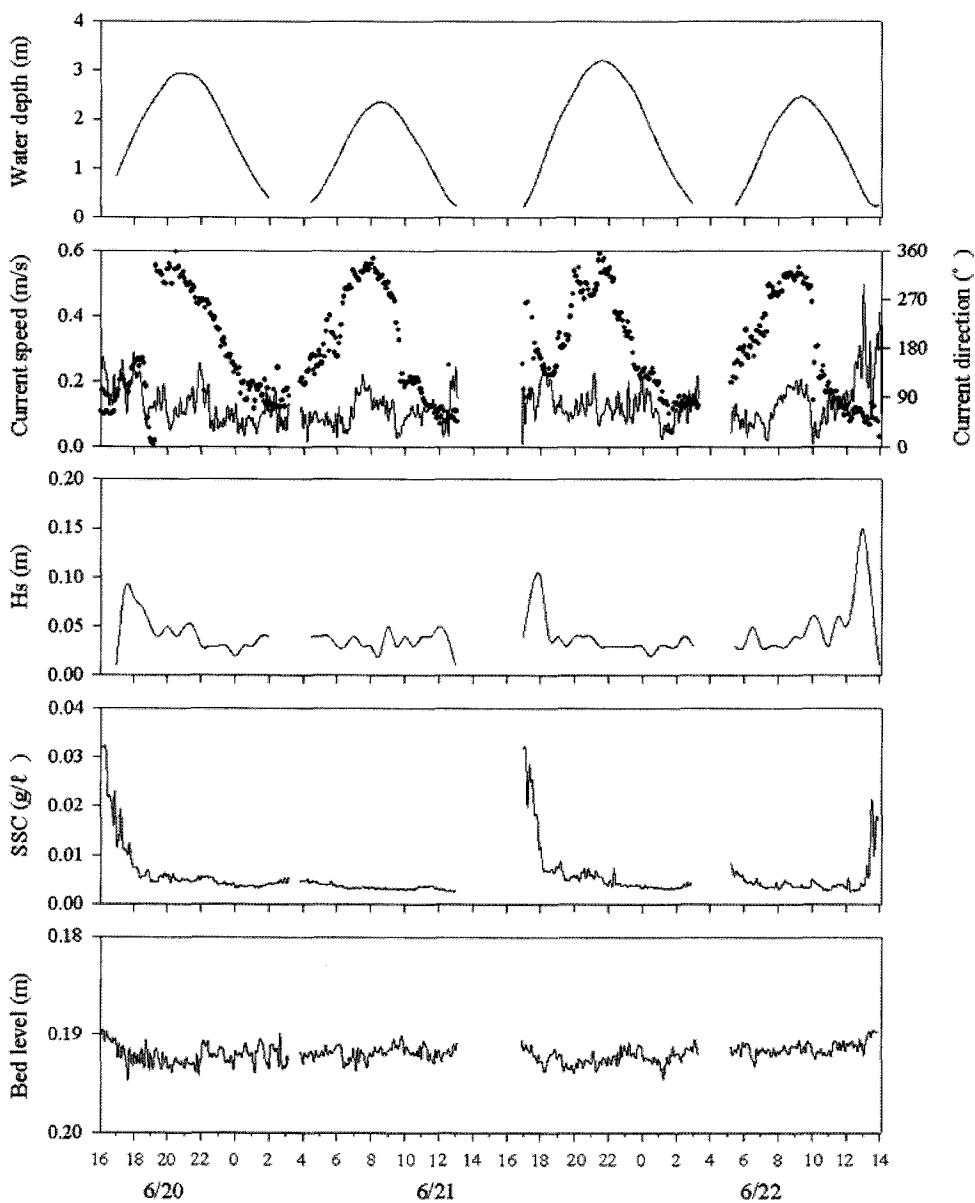


Fig. 9. Time-series measurements of water depth, current, significant wave height (H_s), suspended sediment concentrations (SSC), and bed level at station T during June 21-23, 2005. For location, see Fig. 3.

는 $90\text{--}0^\circ$ 방향을 가리키며 반시계 방향으로 순환하는 특징을 보인다(Fig. 9). 한편 유의파고(H_s)는 평균 4 cm로 매우 낮았지만 6월 20일 창조 초반과 21일 창조 초반, 그리고 22일 낙조 후반에는 10 cm 이상으로 크게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 9). 부유퇴적물(SSC)의 함량은 평균 5.7 mg/l로 전반적으로 매우 낮았지만, 유의파고가 10 cm 이상으로 증가하는 시기에는 20 mg/l 이상으로 크게 증가하였다(Fig. 9). 해

저면 고도는 약 3 mm 내외의 변화를 보였으며 뚜렷한 규칙성은 보이지 않았다(Fig. 9).

토의 및 결론

득량만은 홀로세 이전 남해안으로 빠져있던 강 골짜기(river valley)가 홀로세 해수면 상승에 의해 침수되어 형성된 만으로(Guilcher, 1972; Castaing and

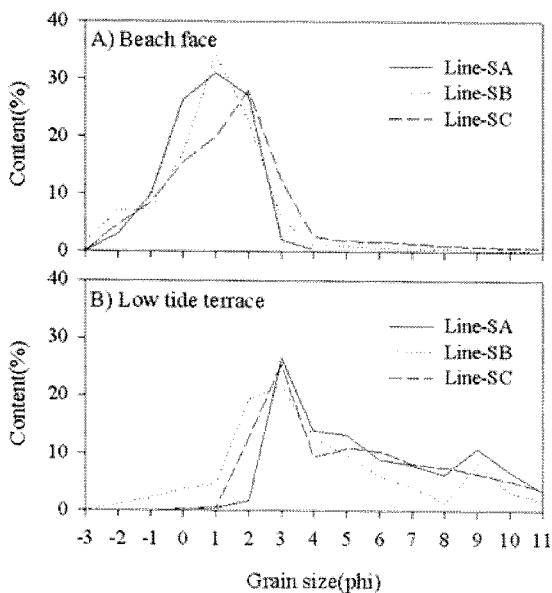


Fig. 10. Average size-frequency curves of beach face (A) and low tide terrace sediments (B) in the study area.

Guilcher, 1995), 반폐쇄된 지형적 특징에도 불구하고 남쪽 방향으로 크게 열린 지형적 특징에 따라 조간대 및 해빈이 잘 발달되어 있다. 연구지역인 수문 해빈은 특령만의 북측에 위치한 조간대성 해빈으로, 해빈 주변의 표층퇴적물은 잔자갈(pebble)에서 점토(clay)에 이르기까지 다양한 입도의 퇴적물로 구성되어 있다(Table 1, Fig. 3). 모래 이상의 조립질퇴적물은 남서쪽의 수문천 주변에서 최대 함량을 보이고 해안선에서 바다 방향으로 가면서 뚜렷하게 감소하는 경향을 보인 반면, 실트 이하의 세립질퇴적물은 저조단구를 포함한 바다 쪽에 광범위한 분포를 보인다(Fig. 4). 수문천과 해빈을 중심으로 광범위하게 분포하는 조립질퇴적물은 현재의 에너지 환경에서 운반될 수 없는 크기로서 현지 기원의 퇴적물로 추정되며, 저조단구를 포함한 바다 쪽에 광범위한 분포를 보이는 세립질퇴적물은 대륙붕 또는 강을 통해 공급되는 부유퇴적물로 해석된다.

연구지역의 해빈 단면은 육지 쪽의 경사가 급한 ($1.64\sim6.83^\circ$) 해빈면과 바다 쪽의 경사가 완만한 ($<1.46^\circ$) 저조단구로 이루어져 있다(Fig. 6). 이러한 계단상의 지형 단면은 조차가 과고에 비해 큰 해빈에 특징적으로 나타난다고 알려져 있다(Komar, 1976; Masslink and Short, 1993). 저조단구에서는 밀물과 썰물이 빠르게 지나가므로 파의 에너지가 집중될 수

없는 반면, 만조선 부근에서는 파의 에너지가 집중되어 전진물결(swash)에 의해 급경사의 해빈면이 형성된다(추용식 외, 1996). 계절적으로는 만입된 해빈의 양 끝 부분에 해당하는 측선-SA와 측선-SC에서는 뚜렷한 기복의 변화를 보이지 않는 반면, 해빈의 중앙에 위치하는 측선-SB에서는 여름에는 매우 평탄한 지형 단면을 보이나 그 밖의 계절에는 해안선에 평행한 파봉과 유흔이 해빈면에 잘 발달한다(Fig. 6). 이러한 파봉과 유흔은 큰 조차와 이에 수반된 넓은 저조단구, 외해로부터 보호되어 파의 에너지가 작은 곳, 그리고 사질퇴적물이 풍부한 환경에서 잘 발달하는 것으로 알려져 있는데(King and Williams, 1949), 이러한 조건은 수문 해빈의 가을, 겨울, 봄 조건과 잘 부합된다. 한편, 서해안의 해빈은 빈번하게 발생하는 폭풍 등에 의해 고에너지 조건이 지속되는 겨울에 평탄한 지형 단면(Gresswell, 1937)을 보인 반면, 저에너지 조건 하에서 너울 파랑이 형성되는 여름에 파봉과 유흔이 잘 발달하는 것으로 알려져 있다(추용식 외, 1996; 류상옥 외, 2004). 이와 같은 현상은 서해안에서와는 달리 여름에 간헐적으로 발생하는 폭풍이 연구지역 해빈 퇴적물의 이동에 중요한 역할을 하는 것임을 시사하는 것이다.

해빈 퇴적물은 해빈면에서는 평균입도 $-1\sim1\phi$ 범위의 극조립 및 조립사가 단모드(uni-mode) 분포(Fig. 10A)를 보이고, 저조단구에는 $4\sim6\phi$ 범위의 조립 및 중립실트가 복모드(bi-mode) 분포(Fig. 10B)를 보이며 바다 방향으로 가면서 세립해지는 경향을 보인다(Fig. 7). 평균입도가 바다 방향으로 가면서 세립해지고 복모드 분포를 보이는 현상은 조석이 우세한 서해안 해빈의 특징으로 오 등(1994)에 의해 보고된 바 있다. 따라서 연구지역의 저조단구 퇴적물은 조석의 영향에 의해 퇴적물의 분포가 지배되는 반면, 해빈면 퇴적물은 조석의 영향을 강하게 받음에도 불구하고 파랑의 영향이 입도분포에 주도적인 역할을 하는 것으로 해석된다. 파랑의 영향에 의한 입도의 계절적 변화 양상은 해빈 퇴적물의 계절적 변화에서도 잘 나타나고 있다. 파랑의 영향에 지배되는 해빈면 퇴적물은 지속적으로 평균입도가 세립해지는 측선-SC를 제외하고는 파랑이 강화되는 가을과 겨울에 조립해지고 상대적으로 약화되는 봄과 여름에 세립해지는 이원적 계절변화를 보인 반면, 조석의 영향에 지배되는 저조단구 퇴적물은 뚜렷한 계절 변화를 보이지 않는다(Fig. 8). 한편, 2005년 6월에는 모든 측선의 해빈

면과 저조단구에서 일시적으로 조립해지는 현상을 보이는데, 이는 이 시기에 간헐적으로 발생한 강한 파랑에 의해 조류 속이 증가하여 세립질퇴적물이 침식된 결과로, 파랑의 강화에 의한 조류 속의 증가 현상은 해빈 단면의 모니터링 결과(Fig. 6)와 TIDOS 관측 결과(Fig. 9)에서 잘 나타나고 있다.

해빈 퇴적률은 측선-SA와 측선-SC는 겨울에 침식되고 그 밖의 계절에는 퇴적되는 양상을 보인 반면, 측선-SB는 겨울과 여름에 침식되고 봄과 가을에 퇴적되는 경향을 보였다(Table 2). 이와 같은 현상은 겨울에는 빈번하게 발생하는 강한 파랑에 의해 모든 지역에서 침식작용이 활발히 이루어진 반면, 그 밖의 계절에는 상대적인 저에너지환경 하에서 퇴적작용이 활발하기 때문으로 생각된다. 한편, 다른 측선들과는 달리 측선-SB에서 여름 동안 뚜렷하게 침식되는 현상은 간헐적으로 발생한 남풍 계열의 강한 바람에 의한 파랑의 영향이 만입된 해빈의 중앙에 위치하는 측선-SB에 강하게 미치기 때문이며, 이와 같은 현상은 측선-SB의 해빈면과 저조단구 사이에서 2005년 6월에 관측한 TIDOS 관측 결과에 잘 나타나고 있다. 측선-SB에서 관측한 조류의 주 방향은 창조시 북서 방향, 그리고 낙조시 남동 방향으로 규칙적인 양상을 보이나 유의파고가 증가할 때는 조류의 이동 방향이 조석에 무관하게 주로 북동 방향(간헐적으로는 서 방향)으로 바뀌고 조류 속이 크게 증가하는 현상을 보인다(Fig. 9). 이와 같은 현상은 여름 동안 파랑이 강화되면 해안을 따라 접근하는 파랑은 평坦한 저조단구를 지나 급경사의 해빈면에서 쇄파되어 북동쪽으로 해안선에 평행한 흐름의 연안류를 형성하게 되고, 퇴적률은 강한 연안류에 의해 북동쪽으로 이동하여 궁극적으로 여름 동안 측선-SC에 높은 퇴적률로 나타나고 있다(Table 2). 연평균퇴적률은 측선-SA와 측선-SC에서는 해빈면과 저조단구에서 모두 퇴적되어 각각 60.5 mm/yr와 38.2 mm/yr로 퇴적된 반면, 측선-SB에서는 해빈면과 저조단구에서 모두 침식되어 -89.2 mm/yr로 침식되는 경향을 보인다(Table 2). 이와 같은 현상은 측선-SB의 퇴적물이 측선-SA와 측선-SC로 이동된 결과로 해석된다. 한편, 측선-SA와 측선-SC의 해빈면은 60 mm/yr 내외로 비슷한 퇴적률을 보인 반면, 저조단구는 측선-SA가 측선-SC에 비해 뚜렷하게 높은 퇴적률을 보인다(Table 2). 이는 측선-SA가 측선-SC에 비해 주변에 건설된 방파제의 영향을 강하게 받아 조류 속이 감소되면서 저조단구 주

변에 세립질퇴적물의 집적이 활발하기 때문으로 생각된다(신동혁 외, 2004).

상기 내용을 종합해 볼 때, 수문 해빈은 해수욕장으로 주로 이용되고 있는 중앙에서 침식작용이 활발하고, 침식된 퇴적물 중 조립질퇴적물은 북동쪽과 서쪽의 해빈면을 따라 이동하고 세립질퇴적물은 재부유되어 방파제 주변의 저조단구를 중심으로 재분포하는 것으로 해석된다. 따라서 상기 조건이 유지될 경우, 수문 해수욕장으로 주로 이용되고 있는 해빈의 중앙부는 남서쪽(측선-SA 주변)에 건설된 방파제에 의해 수문천 주변에 광범위하게 분포하는 조립질퇴적물이 수문 해빈으로의 공급이 제한되고 있음을 고려할 때 지속적으로 침식될 것으로 예측되며, 해빈의 양 끝 부분에 건설된 방파제는 주변의 조류 속을 감소시켜 저조단구를 중심으로 세립질퇴적물의 집적을 가속화 시킬 것으로 예측된다.

사 사

본 연구는 “2004년도 전남대학교 학술연구비 지원”에 의하여 수행되었습니다. 현장조사에 도움을 준 전남대학교 이수환 군과 목포대학교 김영길 군, 그리고 실내 수조실험을 할 수 있도록 장비를 제공해주고 유익한 조언을 주신 한국해양연구원의 이희준 박사님에게 고마움을 전합니다. 또한 논문의 세밀한 심사와 유익한 조언을 주신 윤정수 교수님과 익명의 심사위원께 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

- 국립지리원, 1987, 연안해역기본도(1 : 25,000).
- 기상청, 1993-2002, 기상연보.
- 류상옥, 장진호, 조주환, 문병찬, 2004, 한반도 서해남부 임자도 해빈 퇴적작용의 계절적 변화. 한국해양학회지. 「바다」, 9(3), 83-92.
- 신동혁, 금병철, 박은영, 이희일, 오재경, 2004, 방조제 건설 후 이원 대조차 조간대의 계절별 퇴적학적 특성 및 퇴적환경. 한국지구과학회지, 25(7), 615-628.
- 오재경, 왕경희, 신기재, 1994, 동·서해안 해빈의 퇴적환경에 관한 연구. 한국지구과학회지, 15(2), 91-99.
- 전라남도, 1996, 제2종어항(수문항) 기본계획 수립 용역보고서, 187 p.
- 추용식, 권수재, 박장준, 박용안, 1996, 한국 서해중부 해빈에서의 퇴적작용의 계절변화. Journal of Ocean Research, 18(1), 37-45.
- 한국지질자원연구원, 2003, 서해 연안역 현생지질 및 육상

- 습지 연구 I. 서해 연안 현생 지질환경 특성 연구. KR-03-04, 242 p.
- 한국해양연구원, 1993, 방조제 축조에 따른 퇴적환경변화 연구 (I). BSPN 00208-625-5, 175 p.
- 한국해양연구원, 1994, 방조제 축조에 따른 퇴적환경변화 연구 (II). BSPN 00235-716-5, 174 p.
- Castaing, P. and Guilcher, A., 1995, Geomorphology and sedimentology of rias. In: *Geomorphology and sedimentology of Estuaries*, edited by Perillo, G.M.E., Elsevier Science, Amsterdam, 69-111.
- Chang, K. H., 1987, Cretaceous strata, In Lee, D. S. (ed.), *Geology of Korea*. Geological Society of Korea, Kyohak-sa, 514 p.
- Davies, R. A., 1985, Coastal sedimentary environments. Springer-Verger. New York Berlin Heidelberg Tokyo, 380-444.
- Folk, R. L. and Ward, W. C., 1957, Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Folk, R. L., 1968, Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Austin, 170 p.
- Greswell, R. K., 1937, The geomorphology of the southwest Lincolnshire coastline. *Geography Journal*, 90, 335-349.
- Guilcher, A., 1972, La plage ancienne de Castro Urdiales, province de Santander, Espagne, et son interet morphologique. *Norois Poitiers*, 19, 365-367.
- Ingram, R. L., 1971, Sieve analysis. In Carver, R.E. (ed.), *Procedures in sedimentary petrology*, Willey-Inter Science, New York, 49-67.
- King, C. A. M. and Williams, W. W., 1949, The formation and movement of sand bars by wave action. *Geography Journal*, 113, 70-85.
- Komar, P. D., 1976, Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 429 p.
- Lee, H. J., Chu, Y. S. and Park, Y. A., 1999, Sedimentary processes of fine-grained material and the effect of sea-wall construction in the Daeho macrotidal flat-nearshore area, northern west coast of Korea. *Marine Geology*, 157, 171-184.
- Masslink G and Short, A. D., 1993, The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, 9, 785-800.
- Shepard, F. P., 1963, Submarine geology. 2nd ed. Harper and Row, New York, 557 p.

2006년 2월 23일 접수

2006년 3월 16일 수정원고 접수

2006년 3월 24일 원고 채택