

한반도 황해 중부 태안반도 근해 사질퇴적물의 이동

최동림 · 김성렬 · 석봉출 · 한상준
한국해양연구소

Transport of Sandy Sediments in the Yellow Sea off Tae-An Peninsula, Korea

DONG-LIM CHOI, SEONG-RYUL KIM, BONG-CHOO L SUK AND SANG-JOON HAN
Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O.Box 29, Seoul 425-600, Korea

태안반도 외해역에서 고해상용 천부지층 기록지상에 나타나는 조류성사퇴적물 및 sand waves 발달 특징과 표층 퇴적물의 특성 결과를 조류 분포와 관련하여 사질 퇴적물의 이동양상을 추정하였다. 조사해역에는 비대칭형 사퇴적이 북동-남서방향에 우세한 강한 조류방향과 평행하거나 반시계방향으로 약간 빳겨지면서 길게 발달하고 있으며 대부분의 사퇴적물은 남 내지 남동쪽으로 급사면을 가지며 대략 남쪽방향으로 사층리구조가 발달하고 있는 특징을 가진다. 현세 퇴적층은 사퇴적물의 퇴적층 두께와 발달 양상을 보여주며 분포한다. 이 결과로 부터 현세 활동성사퇴적물은 남동, 남 그리고 남서쪽 방향의 외해를 향해 퇴적물을 전진적으로 이동시키는 것으로 해석된다. 동쪽 내지 북동쪽의 급사면을 갖는 비대칭형 sand waves 가 수심 약 40-60m 를 보이는 일부 지역의 평탄한 해저면에 발달 분포한다. Sand waves 가 발달한 지역의 표층 퇴적물은 세립사질 퇴적물로서 분급도가 매우 양호하게 나타나며 이들 지역의 사질 퇴적물은 동쪽 내지 북동쪽 육지를 향해 이동되는 것으로 사료된다.

Tidal sand ridges and sand waves are well developed in the Yellow Sea off Tae-An Peninsula, Korea. Their transport directions were inferred based on high resolution seismic profiles, surficial sediment characteristics and tidal regime. Tidal sand ridges are asymmetric, with long axes parallel to or slightly oblique to the dominant NE-SW tidal current direction. They show steep south and/or southeast flanks, which are in concordance with the apparent direction of internal cross-bedding in the south. Holocene sediments occur in accordance with distributional patterns of tidal sand ridges. These features indicate that Holocene active tidal sand ridges move toward the open sea in southeast, south and southwest direction. Sand waves which are distributed in flat sea floor with depth of about 40-60m show also asymmetric forms with a steep east-to-northeast face. Surficial sediments in the sand wave field are characterized by well sorted fine sands compared with poorly sorted adjacent areas. The sand waves appear to undergo easterly or northeasterly landward movement.

서 론

황해는 천해 대륙붕해역으로서 해저지형이 대체로 평탄하게 발달해 있다. 수심분포는 중심해역에서 최대 100 m에 이르며, 평균수심은 약 55m 정도이다. 황해 및 동지나해는 조석현상이 현저하게 나타나는 해역으로 이에 따른 조류가 분포하며 또한 폭풍해일(storm surge)과 쿠로시오 해류에 의해 해류양상이

복잡하게 발달해 있다. 따라서 이들 해역에 대한 조석모델을 이용한 해류의 방향과 세기 그리고 순환과정 등에 대한 수리물리학적(hydrodynamic) 연구가 행해지고 있다(Choi, 1980, 1990 ; Larsen et al., 1985).

연구해역(Fig. 1)을 포함하여 황해의 주변해역에 발달한 만(Bay)이나 하구(estuary)는 조류 및 파랑 운동(wave action)에 의한 영향을 매우 강하게 받는

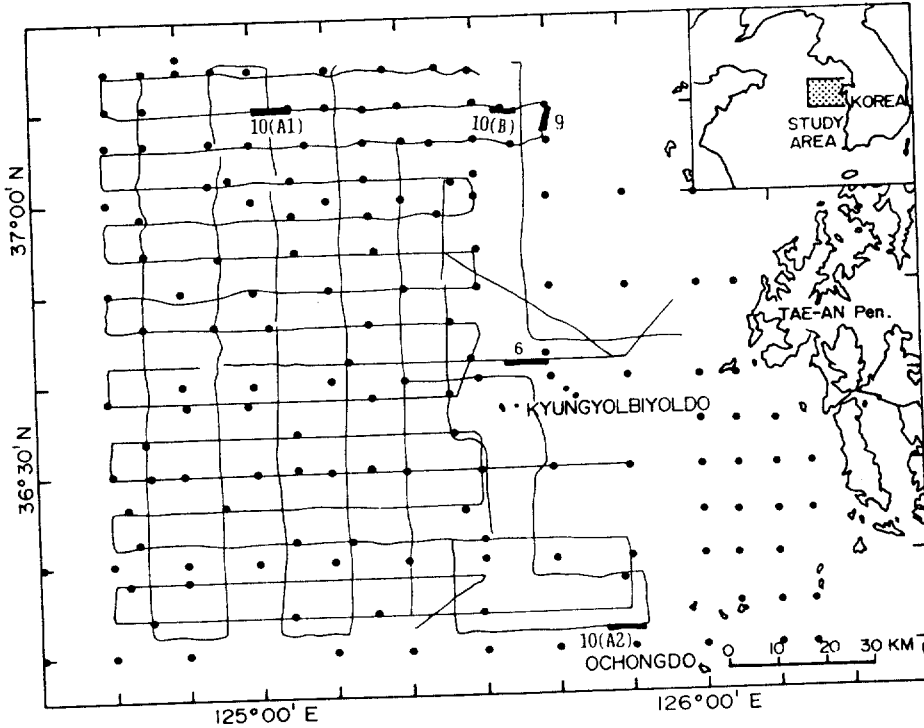


Fig. 1. Map showing tracklines of high-resolution seismic profiling and surface sediment sampling locations(dots). Heavy line segments with numbers and letters show location of profiles illustrated in the following figures

지역으로서 침식과 퇴적작용이 복합적으로 일어나며 복잡한 해저지형이 발달해 있다. 특히 한반도 서측의 해역에 위치하는 대동강과 인접한 하구역의 서한만, 경기만, 그리고 서남단 해역에 나타나는 조류성 사퇴물(tidal sand ridges)과 sand waves의 발달양상으로 부터 사질퇴적물 이동 등에 대해 이미 몇몇 학자들(Off, 1963; Kenyon et al., 1981; Klein et al., 1984)에 의해 연구가 이루어졌다. 중국측 양자강 하구해역에서도 상세하게 분포하는 bedform과 관련한 해양지질학연구가 발표되었다(Xiang et al., 1983; Butenko et al., 1985; Yang and Sun, 1988).

본 연구는 해저퇴적물분포 특성을 파악하고, 천부탄성과 단면도상에 나타나는 사퇴물과 sand waves의 발달양상 및 특징 그리고 현세 퇴적층(Holocene deposits)의 분포 경향 등을 분석, 조류세기 및 방향 등을 고려하여 일차적으로 연구해역에서의 해저 사질퇴적물의 이동양상을 규명하는데 목적이 있다.

연구 방법

3.5 kHz 지층 탐사기와 Subtow 지층 탐사기를 이용하여 1986년 4월중 연구해역에서 동-서 방향으로 약 4 mile 간격과 남-북 방향으로 약 6 mile 간격의 격자모양의 총 측선거리 약 2860 L-km에 대해 천부 지층탐사를 실시하였다. 탐사시 항해 속도는 시속 약 5 knots(nautical mile)를 유지하였고 항법장치는 Loran-C를 이용하였다.

수심도는 천부 지층단면도상에 나타나는 수심을 읽어 조석값을 보정한 후 탐사측선상의 위치에 해당되는 수심값을 투입하는 방법으로 탐사지역에 대해 수심도를 작성하였으며, 그 이외의 탐사지역을 벗어나는 북측해역과 동측해역은 수로국에서 발행하는 해도(No.308, 322, 323, 334, 337)를 이용하여 연구해역 전체 수심도를 작성하였다. 해저 표층퇴적물 분포도작성은 1982-1984년과 1986년의 4개년 간에 걸쳐 채취된 총 148개 정점의 퇴적물의 분석

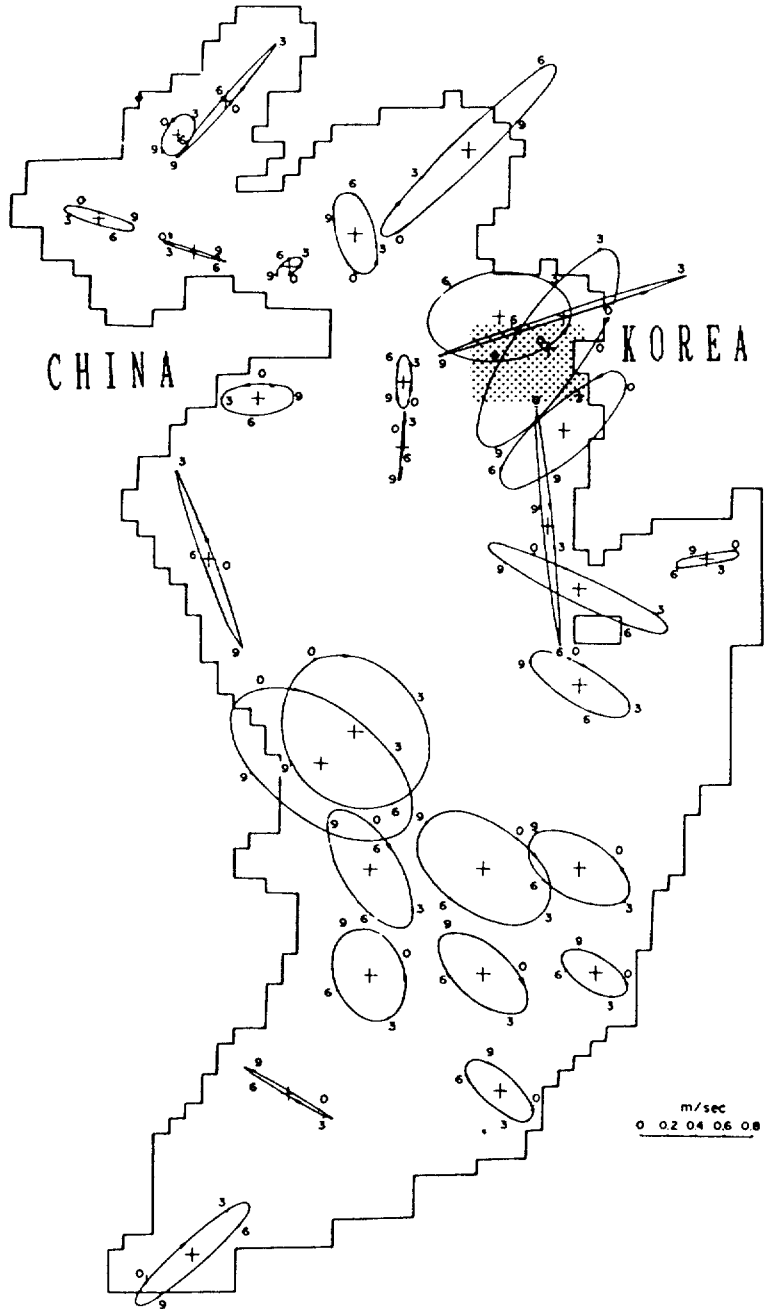


Fig. 2. Tide ellipses for the M2 tide from the numerical model in the Yellow and East China Sea (after Larsen et al., 1985). The dotted area is location of study area.

결과를 이용하였다(해양연구소, 1985, 1986). 현세 퇴적층분포도와 사퇴 및 sand waves의 발달 지역은 천부 지층탐사 단면상에 나타나는 표층과 하부지층 구조의 특성 등을 분석하여 작성하였다.

연구 해역 환경

1. 조류

경기만 및 그 주변의 조류 주기는 반일주조(semi-

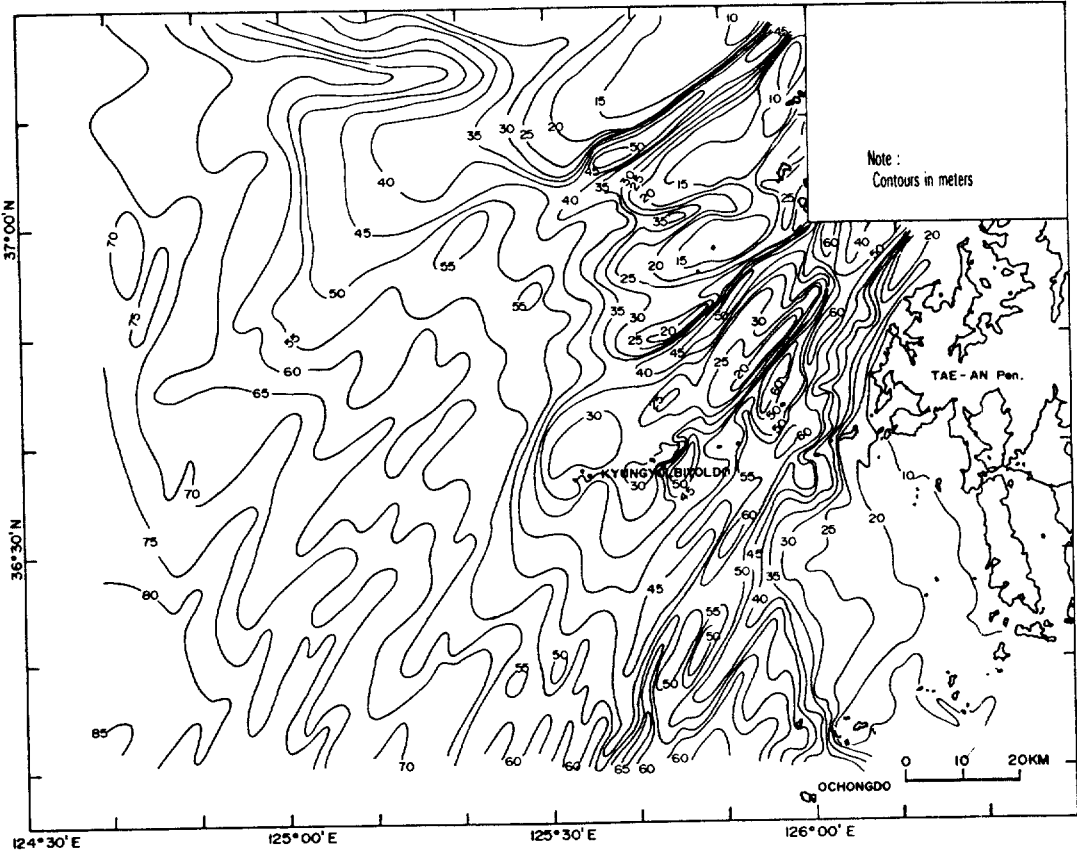


Fig. 3. Detailed bathymetric map of study area.

duirnal)가 우세하며 일조부등현상이 나타난다(Office of Hydrographic Affairs, 1989). 조류의 유형은 외해에서 회전성을 보이다가 점차 경기만 내해로 향해 접근하면서 진행방향이 반시계방향의 타원형을 형성하며 북동-남서방향의 장축을 갖는 강한 왕복성 조류가 발달한다(Fig. 2). 표층의 최강 창 낙조류 방향은 연구해역에 국한하여 보면 남쪽해역의 NE-SW 방향에서 점차 북쪽해역으로 가면서 ENE-WSW 방향으로 전환되는 양상을 보인다. 또한 표층의 연간 최대 창조류 유속은 외해역에서 72 cm/sec 이고 내해로 가면서 강해져 최대 200 cm/sec 를 갖고, 최강 낙조류의 세기는 외해역에서 66 cm/sec 이며 내해로 향하며 최대 240 cm/sec로 강해진다(Office of Hydrographic Affairs, 1984,1990).

2. 해저 지형

현세 조류성 사퇴들이 발달해 있는 경기만 부근 해역에는 각 사퇴들의 발달형태에 따라 설형(tongue form)의 수심분포(Fig. 3)가 특징적으로 발달해 있다. 해저지형은 북동에서 남서방향으로 깊어지는 양상을 보이며, 사퇴들의 정상부(crest)는 10 m 내외, 사퇴 사이 골(trough)들은 25-50 m 의 수심값을 갖는다. 격렬비열도와 태안반도 사이에는 아산만 입구에서 외해로 통하는 커다란 수로가 최대 60 m 이상의 수심분포를 보이며 북동-남서 방향으로 발달해 있다.

사퇴 발달지역을 벗어나 점차 외해로 향하면서 보다 완만한 해저지형을 이루며 남서 방향으로 서서히 깊어져 최대 85 m 이상의 수심이 나타난다. 등수심선의 발달모양은 사퇴 발달지역보다는 덜 복잡하나 역시 북동-남서 방향성을 갖는 굴곡진 해저 지형이 발달해 있다.

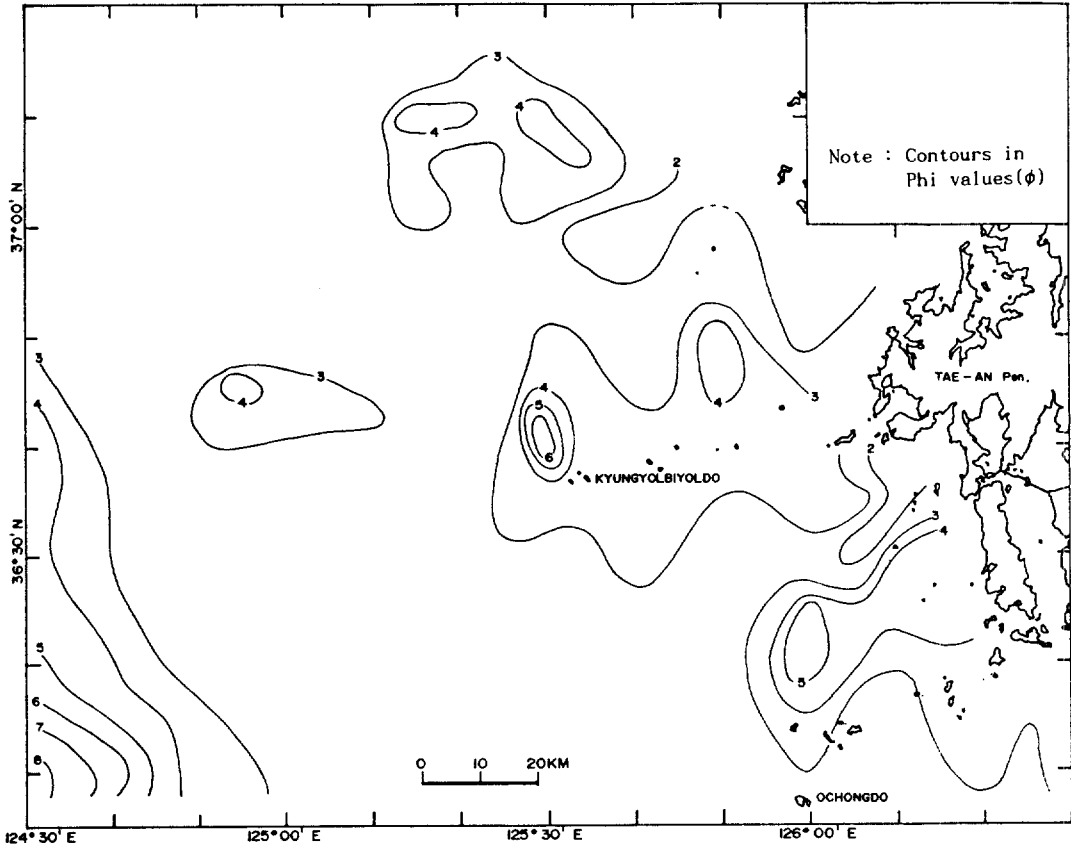


Fig. 4. Mean grain size distribution map of the surficial sediment.

결과 및 토의

1. 표층 퇴적물 분포

연구해역의 표층 퇴적물 평균입도 분포는 대체로 2-3 ϕ 의 세립사질(fine sand)이 우세하게 나타나며, 3 ϕ 이상의 퇴적물은 사퇴가 발달한 북동해역 및 격열비열도 주변해역, 태안반도 근해역, 그리고 연구해역 남서단쪽에 지역적으로 각각 분포한다(Fig. 4). 연구해역을 포함한 황해의 사질 퇴적물은 relict 기원(Emery et al., 1969)의 palimpsest 퇴적물로서(Chough, 1983) 현세 초기 및 그 이후 해침과정하에 조류와 파랑운동에 의해 재작용(reworking)이 일어나면서 거름작용(winnowing)을 받은 것으로 해석되어지고 있다(Lee et al., 1988).

연구해역을 포함한 경기만 해역의 인공위성 자료에서도 북동-남서 방향성을 갖는 사퇴발달지역 주변에 집중적으로 부유 퇴적물에 의한 고농도 혼탁

상이 확인되고 있는데(Yoon et al., 1976; Yoo, 1986), 이는 사퇴 발달지역 주변에 분포하는 3 ϕ 이상의 세립퇴적물은 주로 한강 및 주변 육상지역에서 흘러나온 부유 퇴적물과 일부는 강한 해조류에 의해 해저 퇴적물이 재작용을 받으면서 부유된 세립 퇴적물들임을 시사한다. McCave(1971b)는 고농도의 부유 퇴적물이 분포하는 지역에서 활발한 파랑운동과 강한 조류의 영향하에서도 찰질(mud) 퇴적물의 퇴적작용이 일어남을 제시하였다. 황해 중앙부의 일부에 해당되는 남서단 지역에 분포하는 세립질 퇴적물은 황하 기원으로 해석되고 있다(Lee et al., 1988; Suk, 1989; Park & Kim, 1990).

분급도(sorting) 양상(Fig. 5)을 보면 사질 퇴적물이 분포하는 지역은 well-sorted 에서 moderately sorted 범위로서 비교적 양호한 분급도를 보이며, 찰질 퇴적물이 우세하게 분포하는 지역에서는 poorly 에서 very poorly sorted 한 매우 불량한 분급도를

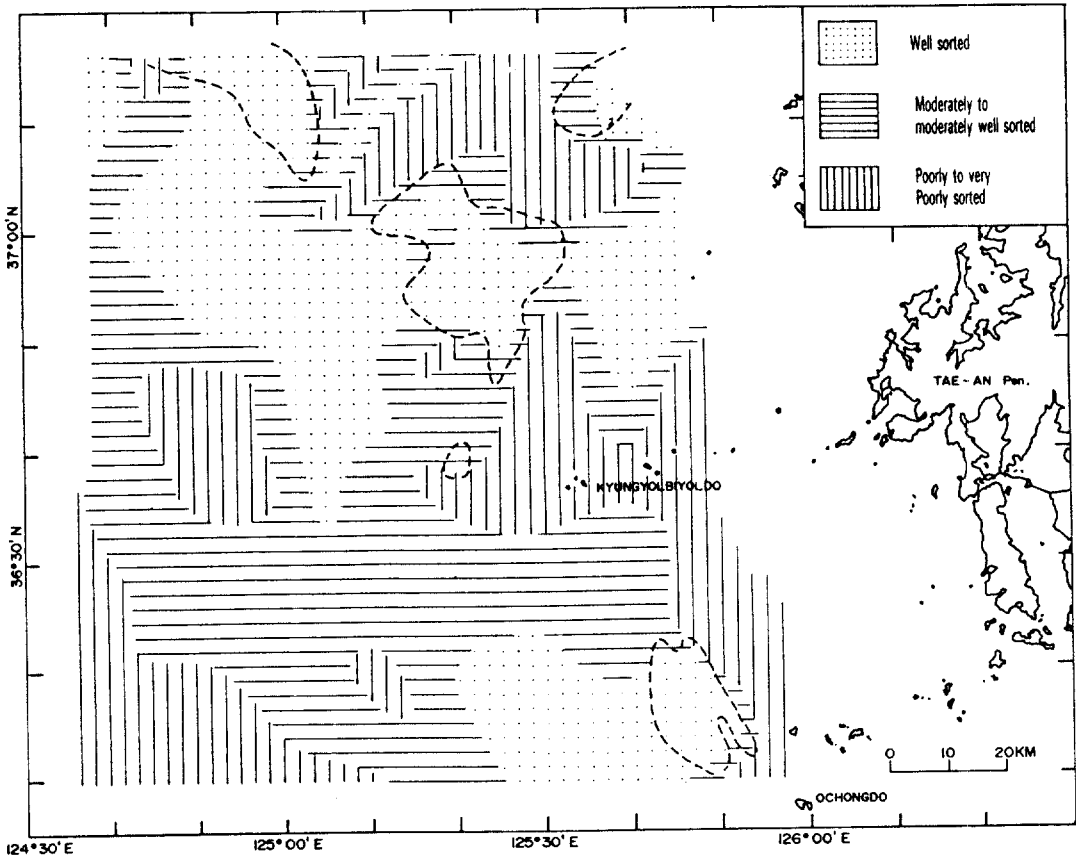


Fig. 5. Distribution map of sediment sorting (after Folk,1974). The area outlined by dashed line represents the sand wave field.

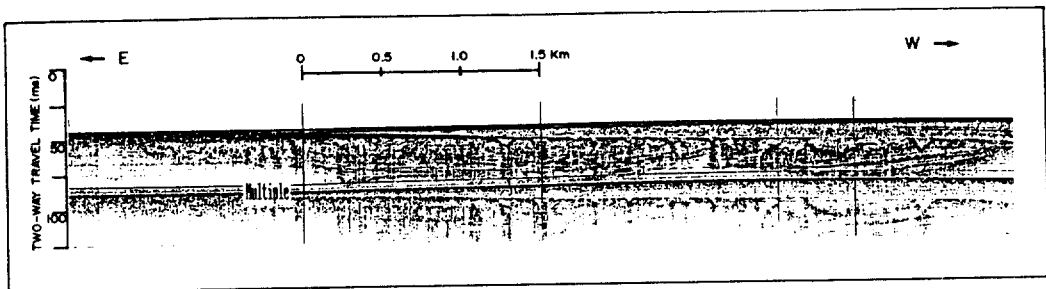


Fig. 6. 3.5 kHz seismic profile across the area of Holocene sediments showing an acoustically transparent layer overlying a rugged strong reflector.

나타내 퇴적물의 혼합지역임을 시사한다. 특히 sand waves 가 발달한 지역은 well-sorted 에서 moderately well-sorted 범위의 양호한 분급도를 갖는 사질 퇴적물이 분포하는 바 이 지역에서 현재 강한 해 조류에 의해 해저퇴적물이 재작용을 받고 있음을

보여주고 있다.

2. 현세 퇴적층

현세 퇴적층은 3.5 kHz 탄성과 단면도상에 하부의 플라이스토세 퇴적층과 부정합 또는 강한 반사층을

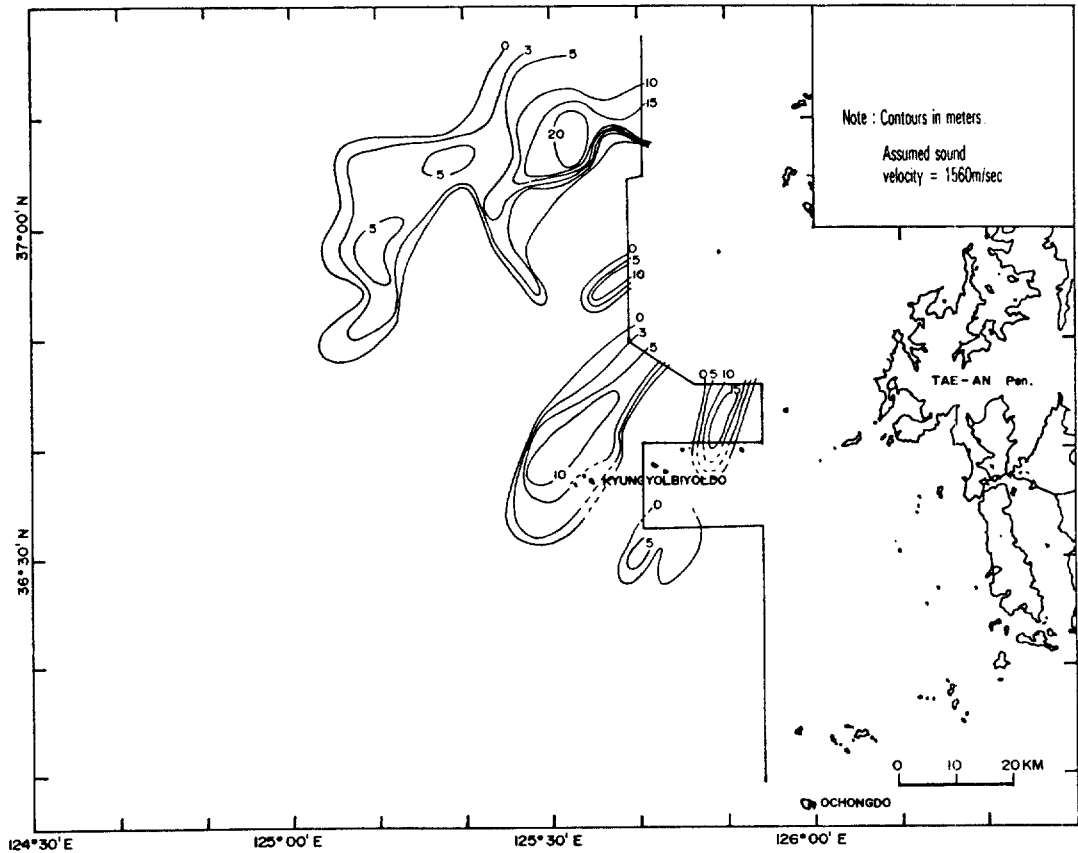


Fig. 7. Isopach map of the Holocene sediments above the top Pleistocene reflectors. They are distributed as four separate bodies.

경계로 하여 불연속(discontinuous) 내지 무충리(reflection-free) 내부 퇴적상의 음향학적(acoustic) 특성을 보이며(Fig. 6), 4 개 정도의 독립된 퇴적체로 발달 분포한다(Fig. 7).

현세 퇴적층의 분포로부터 각각의 현세 활동적인 사퇴들(Holocene active tidal sand ridges)에 대한 퇴적층후와 발달양상을 알 수 있다. 본 연구해역에서 표현된 각 사퇴들의 퇴적층후는 탐사해역의 한계로 인해 전체 사퇴발달형태중 일부 전면부역에 대해서만 한정되어 나타난다. 북쪽에 분포하는 사퇴의 퇴적층후는 최대 20 m 까지 나타나며, 남서 내지 남쪽 방향으로 향해 발달하는 경향을 보이며, 격열비열도 주변해역에 발달해 있는 퇴적층들은 최대 10 m에서 15 m의 두께와 함께 남서 방향으로 발달하는 양상을 보여준다. 현세 퇴적층의 두께는 퇴적층의 음파속도를 1560 m/sec로 하여 산출하였다(해양연구소,

1986).

3. 조류성 사퇴와 sand waves

연구해역에 분포하는 사퇴들은 대체로 조류의 방향과 일치한 북동-남서 방향의 장축을 가지며 발달해 있다(Fig. 8). 사퇴들의 형태는 북동-남서방향의 정선(crest lines)을 중심으로 북서측면은 매우 완만하고 남동측면은 급한사면을 갖은 비대칭형(asymmetric form)이다. 남북 방향으로 사퇴를 가로지른 천부탄성과 단면도상(Fig. 9)에는 남측 사면의 구배는 약 1.3°로 나타나며, 또한 내부충리도 남쪽으로 사충리(cross bedding) 구조를 보이며 발달해 있다. 사퇴들의 높이(height)는 25-35 m, 폭(width)은 13-22 km 범위의 규모를 갖는다. 사퇴들은 정상부 해저면 수심분포가 13-16 m 로 비교적 평탄하며, 25-40 m 수심분포를 보이는 수로(channels)들에 의해 각각

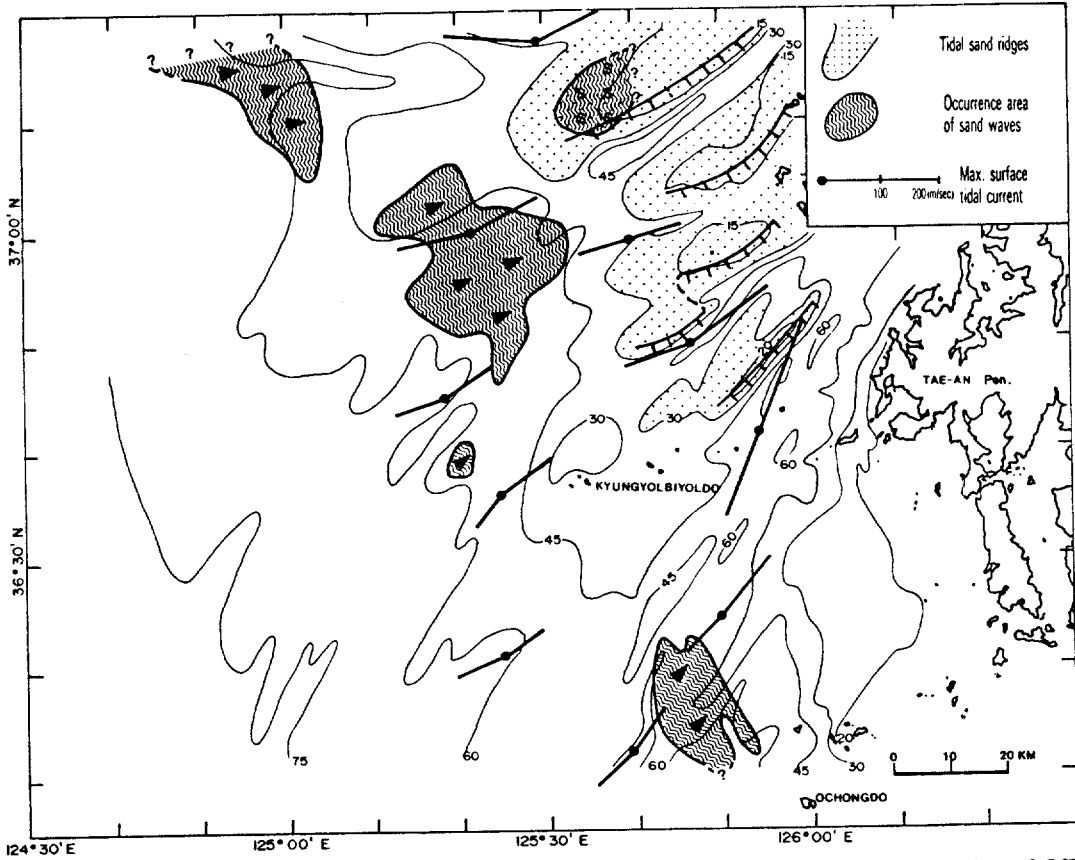


Fig. 8. Distribution map of tidal sand ridges, sand waves, and tidal current regime which is based on data of Office of Hydrographic Affairs(1984 & 1990). Heavy lines with hatch marks show crest lines of the sand ridges identified from bathymetric map(hatch marks denote steep side of tidal sand ridges). Arrow head represents the steep face of asymmetric sand waves. S represents the symmetric sand waves. The contours are water depth in meters.

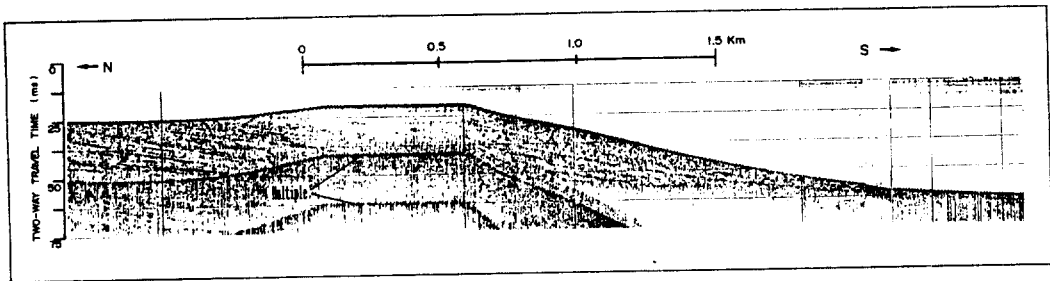


Fig. 9. 3.5 kHz seismic profile across the tidal sand ridge showing internal cross bedding parallel to the steep south flank. The sediments which is thinning toward flat seafloor are interpreted to be the Holocene sediments. Location of profile is shown in Fig.1 as 9.

분리되어 발달해 있다.

천부 탄성과 단면도상에 사퇴가 우세하게 발달한 북동해역을 지나 외해쪽으로 40-60 m의 수심범위를

보이는 해저면이 평탄한 지역에 규모가 큰 비대칭형 (asymmetric) sand waves가 국부적으로 발달 분포한다(Fig.8). Sand waves는 사질퇴적물 공급이 풍

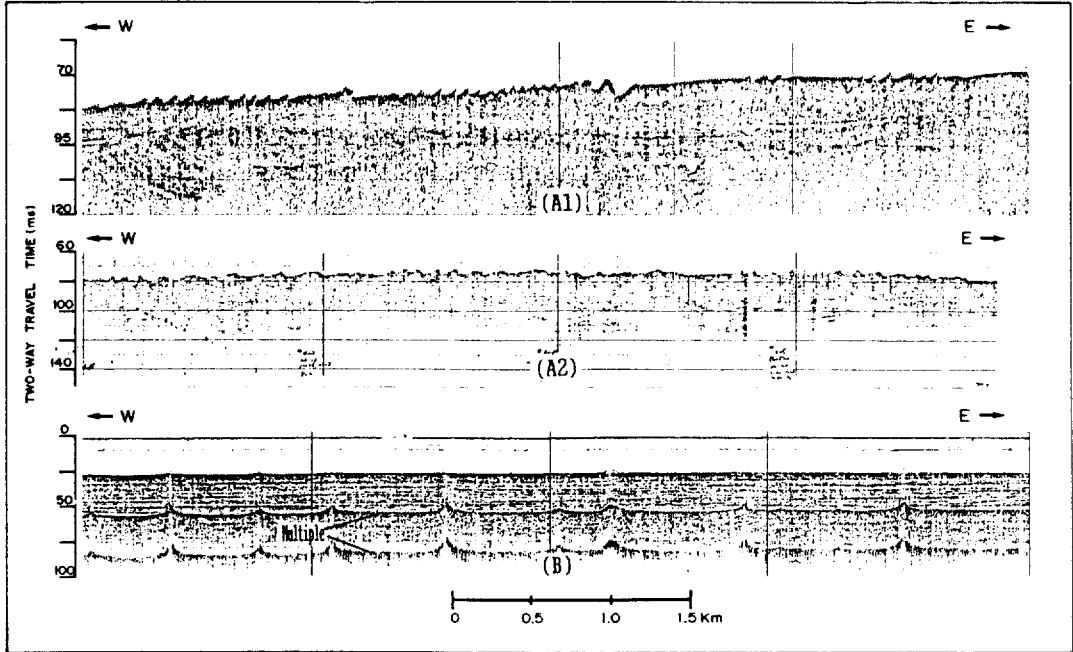


Fig. 10. Examples of 3.5 kHz seismic profiles across regions of asymmetric sand waves(A) and symmetric sand waves on top of a tidal sand ridge(B). Location of profiles are shown in Fig.1 as 10(A1), 10(A2), and 10(B).

부하고 조류가 강한 천해환경에서 형성된다고 알려져 있으며(Kenyon & Stride, 1970; Owens, 1981), 따라서 본 연구해역내 sand waves가 발달한 지역의 주변 환경도 비교적 sand waves 형성에 부합되는 것으로 사료된다. 연구해역내에서는 Side Scan Sonar 자료 결여로 인해 sand waves의 발달 형태, 즉 첨봉선(crest lines)과 급사면(lee side)방향에 대해 확인할 수가 없으나 대체로 북동-남서 방향성의 조류와 동-서 및 남-북 축선의 단면도상에 나타나는 형태적 특징을 고려해 보면 동쪽내지 북동쪽으로 급사면을 갖는 비대칭형 sand waves로 해석된다(Fig. 10). Sand waves 규모는 파장(wave length)이 80-200 m, 파고(wave height)가 1-3 m 정도의 범위로 발달해 있다. 이상의 비대칭형 sand waves의 규모 및 발달 형태는 연구해역내 격열비열도와 어청도 사이 해역에 발달한 sand waves에 대한 Kim & Lee(1974)의 연구 결과에 의해서도 이미 확인되고 있다. 이 보고에 따르면 sand waves의 규모는 파고가 1-3 m, 파장이 90-155 m이며, 또한 첨봉선의 방향은 북서 방향의 분포가 우세한 것으로 보고되

었다. 비대칭형 sand waves의 발달지역은 지형적으로 수로 입구에 특징적으로 위치해 있다. 이 지역은 외해의 넓은 지역에서 좁은 수로로 창 낙조류가 통과하면서 지형적 영향에 의해 유속이 제어받는 수리동력학적 점이지역으로 예상되나, 이 지역에서의 수괴의 순환운동에 대해 수리물리학적 연구가 이루어짐으로서 밝혀질 것이다.

대칭형(symmetric) sand waves는 북쪽에 발달해 있는 사퇴의 상부면 20 m 내외의 수심을 보이는 지역에 국부적으로 발달해 있다. 천부 탄성과 단면도에 표현된 sand waves의 크기는 외견상(apparently) 파장이 400-600 m, 파고가 2-3 m로 나타난다(Fig. 10). 조류의 방향성을 고려해 볼 때 sand waves의 첨봉선은 북서-남동 내지 남-북 방향으로 발달되었을 것으로 추측된다.

4. 사질 퇴적물 이동

활동적인 사퇴들의 발달형태와 현재퇴적층분포, 그리고 sand waves의 발달양상에 의해 연구해역내 해저 사질퇴적물의 이동 경로를 추정하였다(Fig. 11).

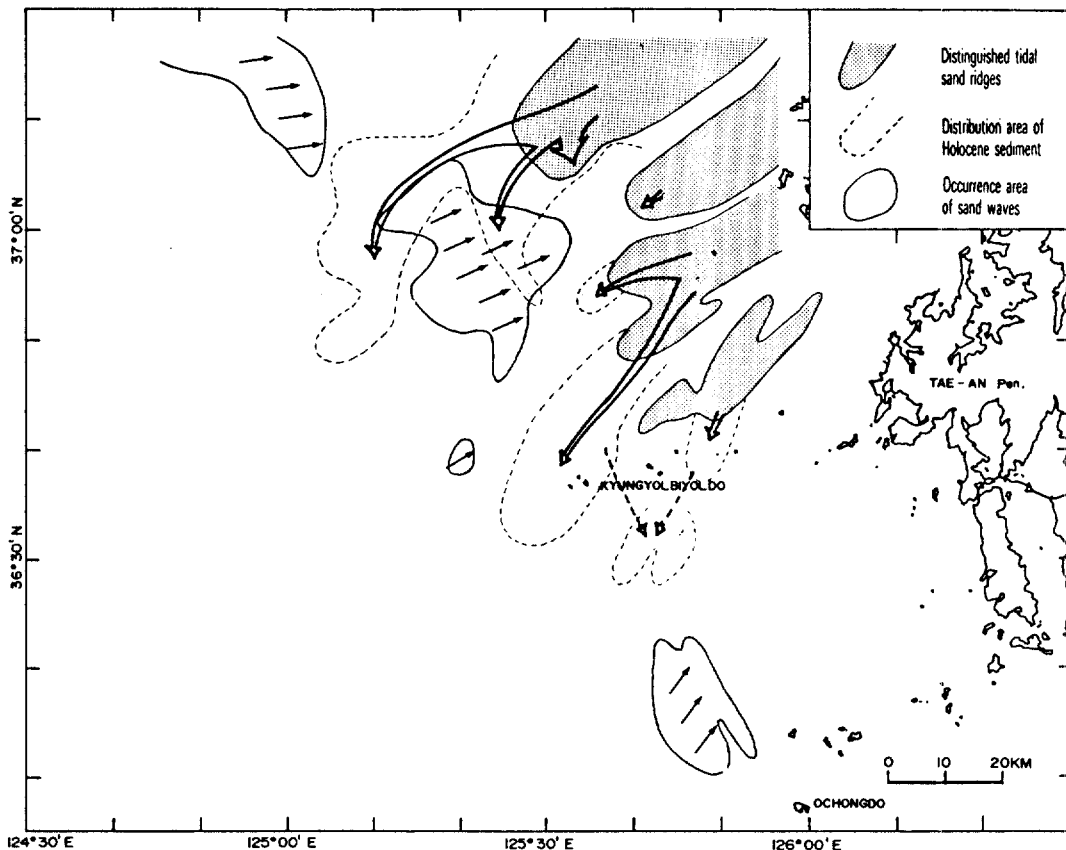


Fig. 11. Map showing sediment transport directions based on the orientation and asymmetry of sand waves, tidal sand ridges trends, and distribution patterns of Holocene sediments. Big open arrow indicates the dispersal direction of sediments from tidal sand ridges. Arrow indicates the moving direction of bottom sediments.

사퇴의 발달양상은 북동-남서방향으로 조류방향과 거의 일치하여 발달했으며, 외견상 남쪽 내지 남동쪽으로 급사면을 갖는 비대칭형이다. 비대칭형 사퇴의 사질퇴적물 이동은 급사면쪽으로 이동한다고 했고(Huthnance,1982), 또한 영국 북해해역에서도 비대칭형 사퇴에 대한 sparker 지층탐사기록에서 사층리구조를 확인하므로써 사층리 방향으로 퇴적물이 이동됨을 제시하였다(Houbolt,1968). 사퇴들의 성장양상을 보여주는 현세퇴적층분포 역시 점차적으로 남서 내지 남쪽을 향해 발달분포하고 있다. 따라서 사퇴들의 형태적 특징과 탄성과 단면도(Fig. 9)에 나타나는 남쪽방향으로의 사층리구조 그리고 사퇴를 구성하고 있는 현세퇴적층의 분포양상으로부터 퇴적물의 이동은 대체로 남동, 남 그리고 남서방향을 향해 외해로 확산되는 것으로 해석된다.

Kenyon et al.(1981)은 최대 조류방향과 비대칭형 사퇴들의 장축(asymmetric tidal sand ridges axis) 방향과의 빗겨짐(offset) 양상을 통해 사질 퇴적물의 이동방향(net sand-transport direction) 예보 모델을 제시하였으며, 이 모델을 경기만내 사퇴 발달지역에 적용하여 장기적으로 사질 퇴적물이 북동 방향의 해안을 향해 이동한다고 예견하였다. 사퇴를 구성하는 퇴적물은 한강 및 주변 육지에서 유출된 퇴적물이 주를 이루며, 강한 조류와 파랑운동에 의해 재작용을 받은 해저퇴적물 일부가 사퇴쪽으로 이동 공급되는 것으로 사료된다.

대칭형 sand waves가 북쪽 사퇴 전면부 해저면에 나타난다. 대칭형 sand waves 는 창 낙조류의 세기가 같은 해역(McCave,1971a)에서 발달하며, 이들 지역은 퇴적물이 이동치 않고(zero net transport)

축적되는 지역임을 시사하고 있으나(McCave and Langhern, 1982), 대칭형 sand waves가 발달한 지역에 대해 차후 정밀 조사를 실시하여 대칭형 sand waves의 발달 양상과 의미 등에 대해 밝혀져야 할 것이다. 동측 내지 북동측의 급사면을 갖는 비대칭형 sand waves가 외해쪽 비교적 평탄한 해저면에 발달해 있어 이들 지역에 분포하는 해저 사질퇴적물의 이동현상을 보여주고 있으며, 이동방향은 동쪽 내지 북동방향으로 예상된다. 이것은 강한 북동-남서 방향의 조류와 함께 계절풍에 의해 경기만쪽을 향해 북동방향의 강한 해저유속과 해저전단용력이 발생 분포함으로서(Kang and Choi, 1984) 해저면에 sand waves형성과 함께 퇴적물 이동을 야기하는데 기여할 것으로 사료된다. 또한 일시적으로 폭풍 해일에 의해 발생하는 강한 해저류의 영향도 해저면에 미칠 것으로 추측된다.

결 론

천부 탄성과 단면도상에 나타나는 해저면 특징과 현세퇴적층 발달양상, 그리고 표층퇴적물 분포 특성으로 부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 표층 퇴적물 분포는 대부분 지역에서 2-3 ϕ 의 세립사질퇴적물이 분포 하며 well-sorted 에서 moderately sorted의 분급도를 보인다. 국부적으로 사퇴가 발달한 지역, 태안반도 근해역 그리고 연구해역 남서단지역에 3 이상의 세립질 퇴적물이 분포하며 poorly 에서 very poorly sorted 한 매우 불량한 분급도가 나타난다.

2. 3.5 kHz 탄성과 단면상에 나타나는 음향학적 무층리의 현세 퇴적층은 활동성 사퇴의 퇴적층 분포와 두께를 나타내며, 이들 퇴적층 분포 양상은 남서 내지 남쪽으로 확산되는 경향을 보인다.

3. 조류성 사퇴들은 대체로 북동-남서 방향으로 발달해 있으며 높이는 약 25-35 m, 폭은 13-22 km의 규모를 갖는다. 사퇴들의 급사면은 남동쪽으로 발달해 있으며 장축방향은 조류방향에 대해 거의 일치하거나 반시계 방향으로 약간 빗겨져 발달해 있다. 대칭형 sand waves는 북쪽에 위치하는 사퇴 상부면에 분포한다. 사퇴들이 분포하는 지역을 벗어나 외해의 평탄한 해저면에 동쪽 내지 북동쪽을 향해 급사면을 보이는 비대칭형 sand waves가 파장

80-200 m, 파고 1-3 m의 규모로 발달해 있다.

4. 사퇴를 구성하는 퇴적물은 사퇴들의 발달형태, 퇴적층 분포 그리고 내부지층구조상 남동,남 그리고 남서방향의 외해로 향해 이동되는 것으로 판단되며, 반면 평탄한 해저면에 분포하는 비대칭형 sand waves의 발달 모양으로 부터 이 지역의 사질 퇴적물은 동쪽 내지 북동쪽 해안을 향해 이동전진되는 것으로 해석된다.

감 사

본 논문을 완성하는데 많은 조언을 해주신 해양지질부의 이희준씨, 이용국씨, 그리고 김한준씨에게 감사드립니다. 또한 도면작성을 도와주신 주용씨에게도 사의를 표합니다.

참고문헌

- 해양연구소, 1985. 한국해역 종합 해양자원도 작성연구-황해-. 과학기술처, BSPE00055-86-7A, 523pp.
- 해양연구소, 1986. 인천항 남서해역 저질음향특성과 지구 자기장 조사연구(미발간). 국방과학연구소, 174pp.
- Butenko, J., J.D. Milliman and Y.C.Ye, 1985. Geomorphology, shallow structure, and geologic hazards in the East China Sea. *Continental Shelf Research*, 4: 121-141.
- Choi, B. H., 1980. A tidal model of the Yellow Sea and the Eastern China Sea. KORDI Rept, 80-02, 72pp.
- Choi, B. H., 1990. Development of fine-grid numerical tidal models of the Yellow Sea and the East China Sea. *Journal of Korean Society of Coastal & Ocean Engineerings*, 2: 231-244.
- Chough, S. K., 1983. Marine geology of Korean Seas. IHRDC Publishers. Boston, Massachusetts, 157pp.
- Emery, K. O., Y. Hayashi, T. W. C. Hilde, K. Kobayashi, J. H. Koo, C. Y. Meng, H. Niino, J. H. Osterhagen, L. M. Reynolds, J. M. Wageman, C. S. Wang and S. J. Yang, 1969. Geological structure and some water characteristics of the East China Sea and the Yellow Sea. *UN. ECAFE CCOP, Tech. Bull.*, 2: 3-43.
- Folk, R. L., 1974. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Austin, Tex., 170pp.
- Houbolt, J. J. C., 1968. Recent sediments in the southern bight of the North Sea. *Geol. Mijl.*, 47: 245-273.
- Huthnance, J. M., 1982. On one mechanism forming linear sand banks. *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, 14: 79-99.
- Kang, S. W. and J. K. Choi, 1984. Surface waves and bottom shear stresses in the Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 118-124.
- Kenyon, N. H., R. H. Belderson, A. h. Stride and M. A. Johnson, 1981. Offshore tidal sand banks as indicators of net sand transport and as potential deposits.

- In: Holocene marine sedimentation in the North Sea Basin, edited by S.-D. Nio, R. T. E. Shuttenthelm and Tj. C. E. van Weering, Int. Assoc. Sedimentol., Spec. Publ., 5: 257-268.
- Kenyon, N. H. and A. H. Stride, 1970. The tide-swept continental shelf sediments between the Shetland Isles and France. *Sedimentol.*, 14: 159-173.
- Kim, C. M. and W. Y. Lee, 1974. Report on marine geophysical prospecting of Hamanri-Kunsan, West Coast, Korea. Rept. of Geol. and Min. Explor., Geol. Surv. Korea, 2: 155-160.
- Klein, G. DeV., Y. A. Park, J. H. Chang and C. S. Kim, 1982. Sedimentology of a subtidal, tide-dominated sand body in the Yellow Sea, southwest Korea. *Mar. Geol.*, 50: 221-240.
- Larsen, L. H., G. A. Cannon and B. H. Choi, 1985. East China Sea tide current. *Continental Shelf Research*, 4: 77-103.
- Lee, H. J., K. S. Jeong, S. J. Han and K. S. Bahk, 1988. Heavy minerals indicative of Holocene transgression in the southeastern Yellow Sea. *Continental Shelf Research*, 8: 255-266.
- McCave, I. N., 1971a. Sand waves in the North Sea off the coast of Holland. *Mar. Geol.*, 10: 199-225.
- McCave, I. N., 1971b. Wave effectiveness at the sea bed and its relationship to bedforms and deposition of mud. *Jour. Sed. Petro.*, 41: 89-96.
- McCave, I. N. and D. N. Langhorn, 1982. Sand waves and sediment transport around the end of a tidal sand bank. *Sedimentol.*, 29: 95-110.
- Off. T., 1963. Rhythmic linear sand bodies caused by tidal currents. *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 47: 324-341.
- Office of Hydrographic Affairs, 1984. Kyongnyolbi Yolto to Taechong Kundo. Bathymetric Chart No. 323.
- Office of Hydrographic Affairs, 1989. Results of tidal current observations in Southern Part of Kyongnyolbi Yolto. Technical Report. Pub. No. 1101: 177-182.
- Office of Hydrographic Affairs, 1990. Tidal current charts (Kyongnyolbi Yolto Approaches). Pub. No. 1433. 22 pp.
- Owens, R., 1981. Holocene sedimentation in the North-western North Sea. In: Holocene marine sedimentation in the North Sea Basin, edited by S.-D. Nio, R. T. E. Shuttenthelm and Tj. C. E. van Weering, Int. Assoc. Sedimentol., Spec. Publ., 5: 303-322.
- Park, Y. A. and B. K. Khim, 1990. Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves. *Continental Shelf Research*, 10: 1179-1191.
- Suk, B. C., 1989. Quaternary sedimentation processes, structures and sea level changes history in the East China Sea, the Yellow Sea and the Korean-Tsushima Strait regions. Ph. D. thesis, University of Tokyo, 246pp.
- Xiang, Z. C., Y. C. Ye, Y. R. Yuan, G. D. Cheng and Q. Chen, 1983. Shallow structure of recent Changjiang river submarine delta. In: Proceedings of the Inter. Symp. on the Cont. Shelf, with Spec. Refer. to the East China Sea, edited by L. Yuru, China Ocean Press. 678-686.
- Yang, C. S. and J. S. Sun, 1988. Tidal sand ridges on the East China Sea Shelf. In: Tidal-influenced sedimentology environments and facies, edited by P. L. de Boer, A. van Gelder and S.-D. Nio, Sedimentology and Petroleum Geology. 23-38.
- Yoo, H. R., 1986. Remotely sensed water turbidity pattern on the Korean side of the Yellow Sea. *Ocean Research*, 8: 49-55.
- Yoon, O. K., B. D. Lee and H. S. Kwak, 1976. Delineation of coastal features and relative turbidity levels in the mid west sea of Korea using LANSAT imagery. *Jour. Oceano. Soc. Korea*, 11: 9-17.

Accepted March 14, 1992