

한반도 남해안 광양만 표층퇴적물 입도의 시·공간적 변화

류 상 옥*
전남대학교 지구환경과학부

Spatial and Temporal Variation of Grain Size of the Surface Sediments in Kwangyang Bay, South Coast of Korea

SANG OCK RYU*

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

한반도 남해안의 중앙부에 위치한 광양만에서 표층퇴적물의 시·공간적 변화를 조사하기 위하여 표층퇴적물과 부유퇴적물에 대한 퇴적학적 조사를 실시하였다. 표층퇴적물은 광양만이 개발되기 이전에는 섬진강 삼각주를 중심으로 서측을 향해 세립해지는 동-서 방향의 분포를 보였으나, 광양제철소가 건설된 이후에는 섬진강 삼각주가 파괴되고 동-서 방향의 분포로 변화하였다. 또한, 광양 컨테이너부두와 각종 산업단지가 조성된 최근에는 동-서 방향의 분포가 파괴되고 남-북 방향의 분포로 변화하였으며, 만의 남서측을 중심으로 평균입도가 뚜렷하게 세립해지는 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 광양만 개발에 따른 조류에너지의 감소에 기인한 것으로 해석되며, 이러한 세립화는 개발이 진행됨에 따라 더욱 가속화 될 것으로 생각된다. 한편 부유퇴적물의 분포 특성과 거동에 관한 연구 결과, 광양만에서 부유퇴적물은 만 내부로 유입되는 양이 외부로 유출되는 양에 비해 많았으며, 부유퇴적물의 유·출입은 남측보다는 북측의 만 입구를 통해, 그리고 표층과 중층보다는 저층을 통해 주로 이루어지고 있음이 확인되었다. 따라서 광양만은 퇴적우세환경으로 표층퇴적물의 세립화는 만 외부에서 공급되는 부유퇴적물(주로 집토)의 집적에 의해 주로 이루어지는 것으로 해석된다.

Sedimentological investigations on surface and suspended sediments were performed in Kwangyang Bay of the middle South Sea in order to reveal recent changes in depositional environments concerning anthropogenic influence. A variety of coastal developments caused the texture of the surface sediments to become distinctively finer, particularly in the southwestern part of the bay. Accordingly, the westward fining sedimentary facies was somewhat simplified from triple-mode distribution to the dual-mode one by the construction of POSCO. This east-west distribution to the sedimentary facies has recently graded into the north-south distribution by further construction of other industrial complexes including Kwangyang Port. The prominent textural changes in surface sediments are most likely associated with weakening of tidal currents related to the developments which is anticipated to be still continued. The distribution and flux estimation of suspended sediments suggest a noticeable import of fine particles into the bay predominantly through a northern entrance rather than the southern entrance. The movements of suspended sediments in the water level near the seabed prevailed over those of the mid and surficial levels.

Key words: Surface Sediment, Suspended Sediment, Spatial and Temporal Variation, Deposition-Dominated, Kwangyang Bay

서 론

한반도의 서해안 및 남해안은 현세 해수면 상승에 의한 해침으로 형성된 리아형 해안으로 해안선이 복잡하고 많은 섬들에 의해 둘러 쌓여 크고 작은 만과 하구 등의 연안역들이 잘 발달되어 있으며, 조석과 파랑, 계절에 따른 기상요소 등의 자연적 요인들에 의해 각각 독특한 퇴적환경을 유지하고 있다. 그러나 1970년대 이

래로 서해 및 남해 연안역은 농업 및 공업 용지 확보와 항만 및 인공구조물 건설을 위해 대규모 간척이 진행되었고, 이러한 인위적인 지형변화는 결국 퇴적환경의 변화를 초래하여 예기치 못한 퇴적과 침식을 유발하였다(이 등, 1996; Kang, 1999; Lee *et al.*, 1999; 조 등, 2000; 추 등, 2000; 류 등, 2001; 추, 2002; 최 등, 2003; 류 등, 2003; Ryu, 2003).

한반도 남해안의 중앙부에 위치한 광양만에서는 1970년대부터 국토종합개발사업의 일환으로 거점항만 및 국가공업단지 조성을 위한 배립 공사가 진행되어 광양제철소(POSCO), 광양컨테이너항,

*Corresponding author: soryu@chonnam.ac.kr

울촌공단을 비롯한 각종 공단이 조성되었으며, 현재에도 임해공업 벨트 조성을 위한 대규모 산업시설이 건설 중에 있어 심각한 지형변화가 이루어지고 있다. 그러나 해안의 지형을 인위적으로 변화시켜 단지화하는 임해공단 개발사업은 개발이 주는 혜택만큼 자연을 돌이킬 수 없는 상태로 변화시키며, 그러한 변화는 개발 이전의 가시적인 것뿐만 아니라 해양환경 및 생태계와 같은 실로 다양한 형태의 변화를 수반한다. 예컨대, 광양제철소 건설을 위한 섬진강 삼각주의 간척사업과 항로개설에 따른 수로의 준설은 개발의 초기부터 조류의 특성을 변화시켜 해저퇴적상의 변화를 초래하고, 그 결과는 저서생물의 분포에 직·간접적으로 영향을 미치는 것으로 알려지고 있다(Choi and Koh, 1984; 포항종합제철, 1998; 신과 고, 1990). 따라서 퇴적상의 시·공간적 변화 양상을 파악하는 것은 해양환경 및 생태계 연구에 있어서 대단히 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 인위적인 지형변화가 심각한 광양만을 대상으로 개발 전후의 퇴적환경 변화에 따른 표층퇴적물의 시·공간적 변화 양상을 밝히고, 부유퇴적물의 분포 특성과 이동양상을 통하여 퇴적기작을 해석하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

표층퇴적물의 채취 및 분석

표층퇴적물의 분포 특성을 조사하기 위하여 2001년 5월에 만 내의 조하대 및 조간대에서 총 82개(저하대: 70개, 조간대: 12개)의 표층퇴적물을 채취하였다(Fig. 1). 조하대에서는 채네기(Lafond-type grab sampler)를 이용하여 시료를 채취하였고 조간대에서는 표층 2 cm 이내에서 플라스틱 스펀으로 시료를 채취하였다. 그리고 시료채취 지점의 위치는 GPS(GARMIN 100 SRVY II, USA)를 사용하여 측정하였다.

퇴적물의 입도분석은 Ingram(1971)의 표준입도분석 방법에 의

거하였으며, 평균입도, 분급도 등의 통계적 입도상수는 Folk and Ward(1957)의 계산식에 의해 구하였다. 또한 10 φ보다 세립한 입도의 질량은 외삽법에 의한 균등분배 방식에 의해 구하였다.

조류 및 부유퇴적물의 관측

하계 및 동계 동안 광양만 내 부유퇴적물의 공간분포를 조사하기 위하여 2001년 7월과 2002년 2월에 각각 32개 정점(Fig. 1)에서 반복하여 표층 해수시료를 채수하였다. 일반적으로 부유퇴적물의 농도는 소조(neap tide)보다는 대조(spring tide)시, 조류의 유속이 느릴 때보다는 빠를 때(일반적으로 간조 후 약 2시간 이후) 크게 증가하는 경향을 보이기 때문에, 본 조사에서는 대조기 때 간조 후 2시간 이후에 시작하여 2시간 이내에 전체 해수시료를 채수하였다. 채수된 해수시료는 미리 건조시켜 무게를 측정할 여과지에 진공펌프를 사용하여 여과시킨 후 건조된 무게를 측정함으로써 부유퇴적물의 농도를 결정하였다. 이 때 여과지는 공극경이 0.45 μm이고 직경이 4.7 cm인 Whatman Glass Microfiber Filter(GF/C)를 사용하였다. 또한 부유퇴적물의 쇄설성 퇴적물에 대한 입도분포를 알아보기 위하여 과산화수소수(H₂O₂)로 유기물을 완전히 제거한 다음 0.1% 칼곤(Calgon)용액 10 ml를 첨가하여 초음파진동기와 자기진동기로 균일하게 분산시킨 후 레이저회절원리의 입도분석기(Malvern Co., model Mastersizer)로 입도분석을 실시하였다.

한편, 만입구를 통해 유출입되는 부유퇴적물의 거동과 이동을 규명하기 위하여 2002년 2월 대조기에 묘도 북측(N)과 남측(S)에서(Fig. 1) 각각 한 조석주기(12.5시간) 동안 30분 간격으로 반복하여 상·중·하층(상층: 표면 하 2 m, 중층: 전체수심의 중간, 저층: 해저면 상 1 m)에 대해 정선관측을 실시하였다. 조류의 유향과 유속은 해류계(RCM-7, Norway)를 사용하였으며, 부유퇴적물의 농도는 반돈(vann Dorn) 채수기를 사용하여 해수시료를 채수하여 구하였다.

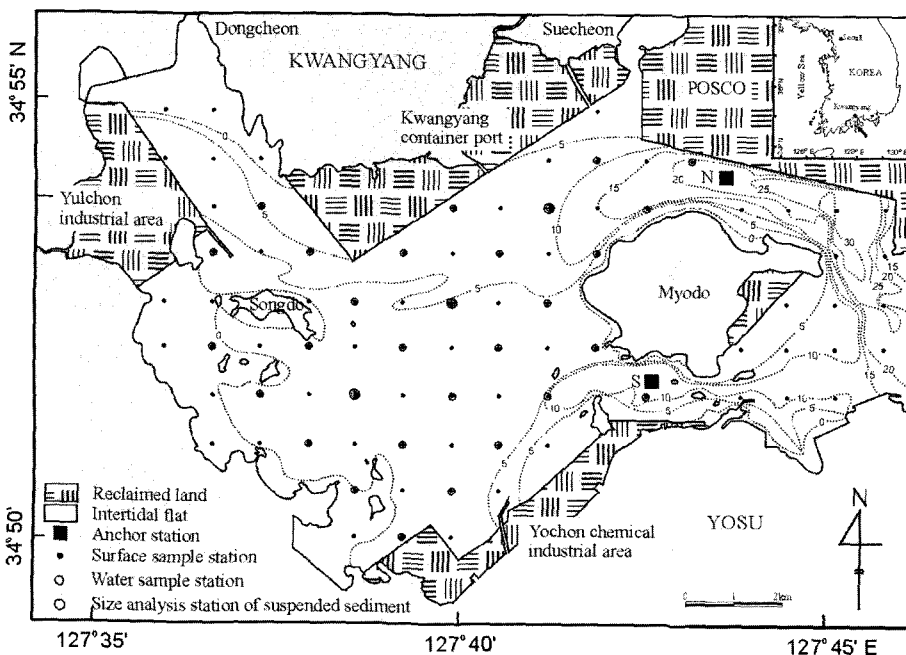


Fig. 1. Map of study area showing a variety of stations for grab sampling, water sampling, and anchor survey. Bathymetry (relative to MLWL) is from National Geography Institute (1990); depth in metre.

부유퇴적물의 이동률 계산

묘도 북측(N)과 남측(S)에서 얻어진 유속과 유향, 수심, 그리고 부유퇴적물의 농도값을 이용하여 부유퇴적물의 이동률을 구하였으며, 그 식은 다음과 같다(e.g., Gao et al., 1990).

$$f_s = (1/T) \int_T CV dt$$

$$= (1/25) \left[\sum_{i=2}^{25} C_i V_i + (1/2)(C_i V_i + C_{26} V_{26}) \right]$$

여기서, f_s 는 각 층에서 부유퇴적물의 순이동률(net sediment flux; $kg\ m^{-2}S^{-1}$), C 는 부유퇴적물의 농도($kg\ m^{-3}$), V 는 유속($m\ s^{-1}$), T 는 관측시간(12.5시간 동안 관측을 실시하였지만, 30분 간격을 가지는 25회의 대표 시간치에 대해 관측을 실시하였으므로 25로 설정), 그리고 각각의 아래첨자는 시계열 자료를 나타낸다.

결 과

표층퇴적물의 퇴적상 및 분포 특성

광양만의 표층퇴적상은 Folk(1968)의 삼각좌표에 도시한 결과 니질역(muddy gravel; mG), 니질사(muddy sand; mS), 사질니

(sandy mud; sM), 니(mud; M)의 4개 퇴적상으로 구분되었다(Fig. 2, Table 1). 이들 퇴적상의 역과 사, 실트, 점토의 함량비는 각각 평균 0.5%, 13.0%, 43.1%, 43.4%로 입도의 분포범위는 넓으나, 대부분 실트와 점토의 세립질 퇴적물로 구성되어 있다(Fig. 3). 역은 묘도 남측 주수로(main channel)에 극히 제한적으로 분포하고 있다. 사는 광양만의 북서측 동천과 서천 입구, 서측의 조간대, 북측의 수어천 입구, 그리고 묘도 동측 만입구 주변에서 40% 내외로 높은 함량비를 보이며 만의 남측과 중앙부를 향하여 점점 감소하는 경향을 보인다(Fig. 4). 그러나 실트와 점토는 대부분의 지역에서 40% 이상으로 전체적으로 높은 함량비를 보이나 변화양상은 사와 상반된 경향을 보인다. 즉 만의 북서측 동천과 서천 입구, 서측의 조간대, 북측의 수어천 입구, 그리고 묘도 동측 만입구 주변에서 10% 내외로 낮은 함량비를 보이며 만의 남측과 중앙부를 향하여 증가하는 경향을 보인다(Fig. 4). 특히 점토의 경우는 만의 남측과 중앙부에서 50% 이상으로 높은 함량비를 보인다.

표층퇴적물의 평균입도는 1.8~9.4 ϕ 범위로 변화 폭은 넓으나 대부분의 지역이 8 ϕ 이상의 세립질 퇴적물로 구성되어 있다(Fig. 4). 지역적으로는 만의 북서측 동천과 서천 입구, 서측의 조간대, 그리고 북측의 수어천 입구에 평균입도 5 ϕ 내외의 조립질 퇴적물이 분포하며 만의 남측과 중앙부를 향하여 평균입도가 세립해지는 경향을 보인다. 또한 묘도 남측 주수로에는 평균입도 3 ϕ 내외

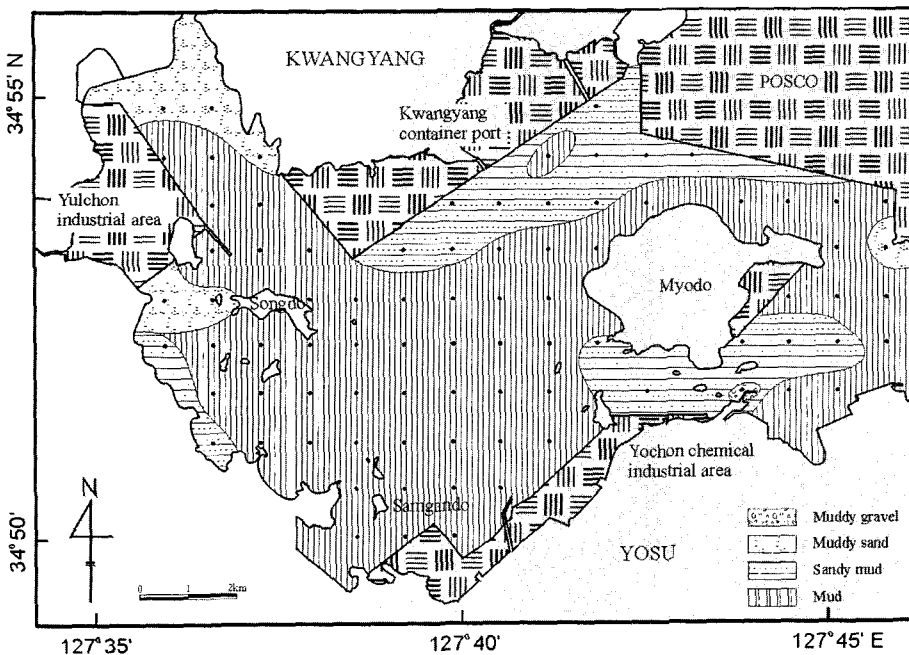


Fig. 2. Map showing the distribution of surface sediments. Sedimentary facies were classified according to Folk's (1968) scheme.

Table 1. Major four sedimentary facies classified by sedimentary texture of surface sediments

Facies	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Mean (ϕ)	Sort. (ϕ)	
Muddy gravel (mG)	-	40.4	27.5	16.0	16.1	1.8	5.0
Muddy sand (mS)	Range	-	53.5 ~ 80.0	10.9 ~ 27.0	9.2 ~ 25.3	2.3 ~ 4.9	3.0 ~ 3.8
	Mean	-	61.3	20.8	17.9	4.0	3.4
Sandy mud (sM)	Range	-	10.8 ~ 49.9	25.4 ~ 49.0	15.9 ~ 53.4	5.1 ~ 8.4	2.6 ~ 4.9
	Mean	-	30.9	37.2	32.0	6.5	3.5
Mud (M)	Range	-	0.4 ~ 9.5	36.2 ~ 60.2	36.1 ~ 61.1	7.3 ~ 9.4	2.2 ~ 3.5
	Mean	-	3.1	47.4	49.5	8.5	2.8

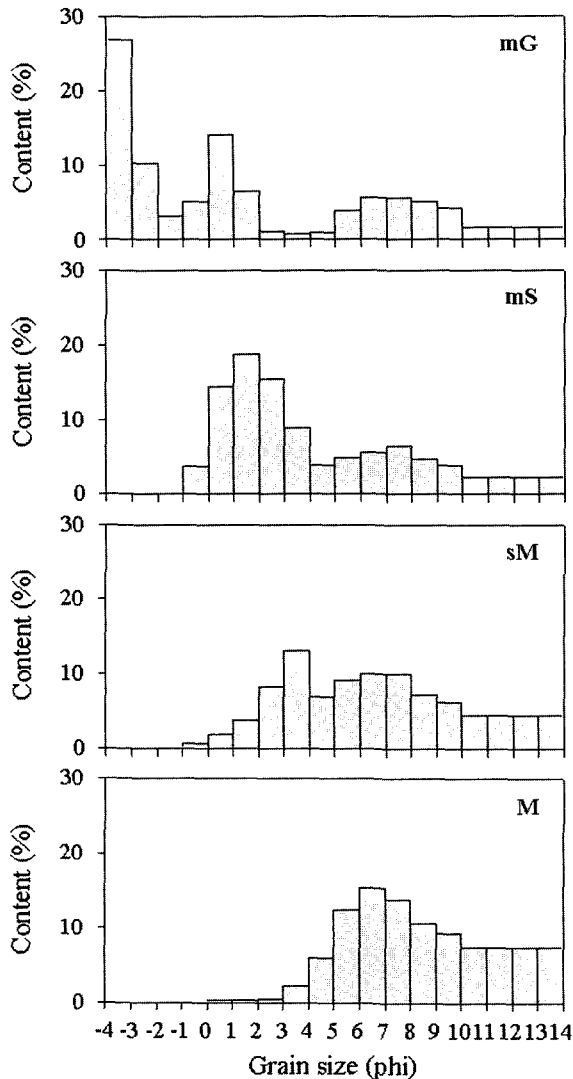


Fig. 3. Size-frequency distribution of major surface sediment types in Kwangyang Bay. Each histogram represents an average of size data from all surface samples. For location, see Fig. 1.

의 조립질 퇴적물이 분포하며 만 내부와 외부를 향하여 세립해지는 경향을 보인다.

부유퇴적물의 공간분포

하계와 동계 동안 대조기의 창조와 낙조 때에 관측된 광양만 내 표층 부유퇴적물의 농도는 4.2~13.5 mg l⁻¹ 범위로 시·공간적으로 다양한 농도 분포를 보였으며, 하계(평균 10.9 mg l⁻¹)보다는 동계(평균 13.5 mg l⁻¹)에, 그리고 낙조(평균 11.1 mg l⁻¹) 때보다는 창조(평균 13.2 mg l⁻¹) 때에 다소 높은 농도를 보였다(Fig. 5). 하계에는 대부분의 지역에서 조석에 무관하게 10 mg l⁻¹ 내외로 낮은 농도를 보인 반면, 만의 남서측에 위치하는 삼간도 주변 해역에서는 조석에 무관하게 25 mg l⁻¹ 내외로 높은 농도를 보였다. 동계에는 대부분의 지역에서 조석에 무관하게 15 mg l⁻¹ 내외로 하계에 비해 상대적으로 다소 높은 농도를 보였다. 그러나 조석에 무관하게 하계에 높은 농도를 보였던 삼간도 주변 해역은 창조 때

는 30 mg l⁻¹ 내외로 높은 농도를 보였으나 낙조 때에는 10 mg l⁻¹ 내외로 하계와 달리 낮은 농도를 보였다.

한편 부유퇴적물의 입도분석 결과에 의하면, 하계 표층 부유퇴적물은 조석의 조건과 지역에 따라 3.0~11.9 μm 범위 내에서 변화를 나타낸다(Table 2). 부유퇴적물의 평균입도는 창조시 평균 10.7 μm, 낙조시 평균 4.7 μm로 창조시 조립한 경향을 보였으나, 두 경우 모두 4 μm(8φ) 이하의 점토가 가장 우세한 분포를 보였다. 창조 때에는 만 입구(bay-mouth)에서 11.9 μm로 가장 조립하며, 만 중부(inner-bay)에서 10.9 μm, 만 상부(bay-head)에서 9.3 μm로 만 내부로 갈수록 평균입도는 세립해지는 경향을 보았다. 반면 낙조 때에는 만 입구에서 5.5 μm, 만 중부에서 3.0 μm, 만 상부에서 5.6 μm로 만 입구와 만 상부에서 조립하고 만 중부에서 세립해져 창조 때와는 다른 양상을 보인다. 분급도는 2.4~15.5 μm 범위로 전체적으로 불량한 값을 가지는 가운데, 평균입도가 조립한 창조 때에 12.2~15.5 μm 범위로 가장 불량한 값을 갖는다.

조류세기의 비대칭성

2002년 2월 대조기에 만 입구의 2개 정점(묘도 북측 정점 N과 묘도 남측 정점 S)에서 1조석 주기 동안 정선관측된 조류의 세기는 0.6~89.3 cm s⁻¹ 범위의 시계열 변화를 보이는 가운데, 창조시와 낙조시 최강유속의 세기가 서로 다른 비대칭성을 보인다(Fig. 6). 정점 N에서 조류의 세기는 4.1~89.3 cm s⁻¹ 범위로, 최강유속은 창조시의 경우 중반에 60 cm s⁻¹ 이상의 값이, 낙조시는 중반에 80 cm s⁻¹ 이상의 값이 표층과 중층을 중심으로 짧은 시간에 걸쳐 나타난다. 각 조석별 평균유속은 창조시 표층과 중층, 저층에서 각각 42.6 cm s⁻¹, 40.0 cm s⁻¹, 38.1 cm s⁻¹, 낙조시는 표층과 중층, 저층에서 각각 57.1 cm s⁻¹, 53.3 cm s⁻¹, 37.1 cm s⁻¹로 표층과 중층에서는 낙조류가 우세하나 저층에서는 창조류가 우세한 비대칭 현상을 보이고 있다.

정점 S에서 관측된 조류의 세기는 0.6~60.0 cm s⁻¹ 범위로 최강유속의 세기가 정점 N에 비해 약한 값을 갖는다(Fig. 6). 최강유속은 창조시의 경우 50 cm s⁻¹ 내외의 값이, 낙조시는 60 cm s⁻¹ 내외의 값이 정조(slack time) 전후 오랜 시간 동안 전 수층에 걸쳐 나타난다. 각 조석별 평균유속은 창조시 표층과 중층, 저층에서 각각 34.1 cm s⁻¹, 33.0 cm s⁻¹, 34.4 cm s⁻¹, 낙조시는 표층과 중층, 저층에서 각각 40.7 cm s⁻¹, 38.3 cm s⁻¹, 28.8 cm s⁻¹로 정점 N의 경우와 같이 표층과 중층에서는 낙조류가 강하나 저층에서는 창조류가 강한 비대칭 현상을 보이고 있다.

부유퇴적물의 거동

정점 N에서 부유퇴적물의 농도는 10.4~71.6 mg l⁻¹ 범위(평균 23.3 mg l⁻¹)로 동계임에도 불구하고 비교적 낮은 값을 보였다(Fig. 6). 수층별로는 표층수에서 평균 17.7 mg l⁻¹, 중층수에서 18.0 mg l⁻¹, 저층수에서 34.3 mg l⁻¹로 표·중층수에 비해 저층수에서 뚜렷하게 높은 농도를 보였다. 일반적으로 조류의 유속은 표층에서 저층으로 갈수록 감소하는 경향을 보이지만 부유퇴적물의 농도는 반대로 증가하는 경향을 보인다. 이는 수심이 증가함에 따라 해저 마찰력이 증가하기 때문이다(Kang and Choi, 1984; Park and Choi, 1989). 연구지역의 경우도 유사한 경향을 보이지만, 특히 저층에서 높은 부유퇴적물의 농도를 보이는 것은 성층화 또는 고농도 수

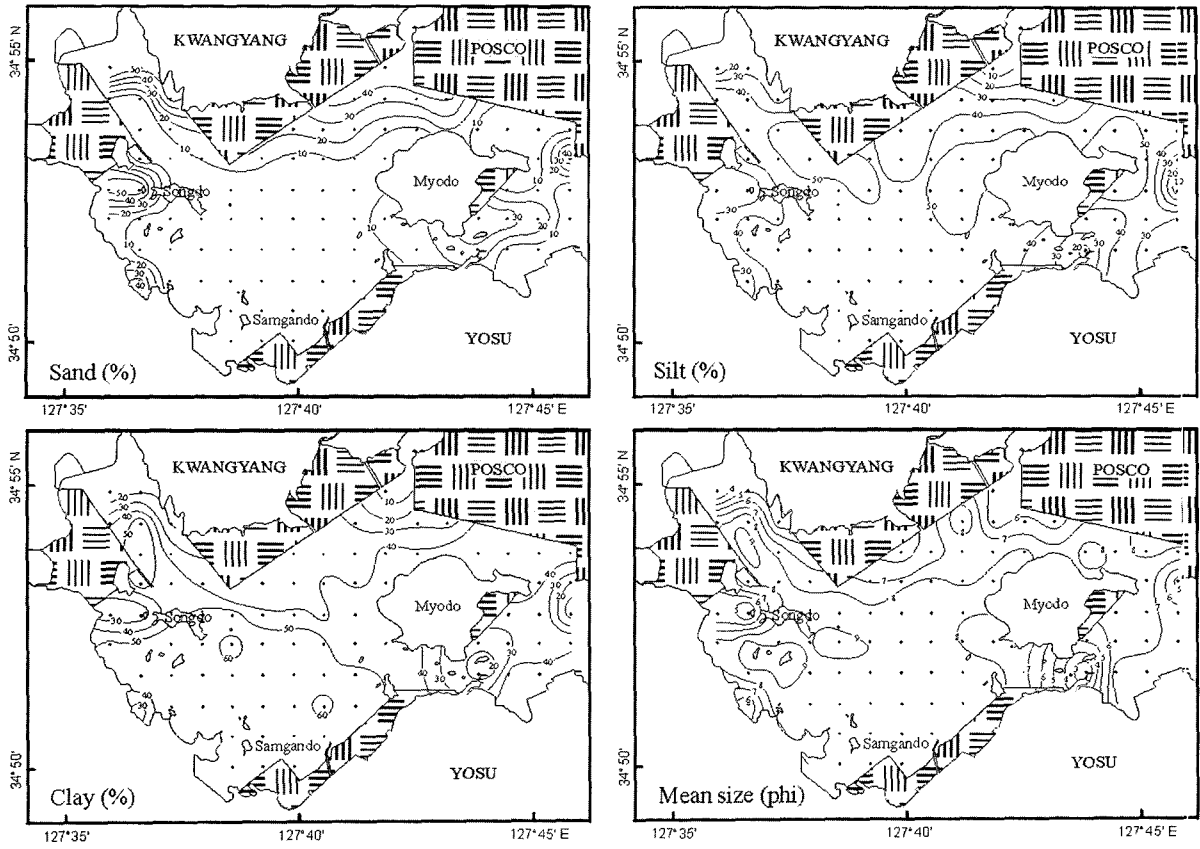


Fig. 4. Distribution of the textural and statistical parameters of surface sediments.

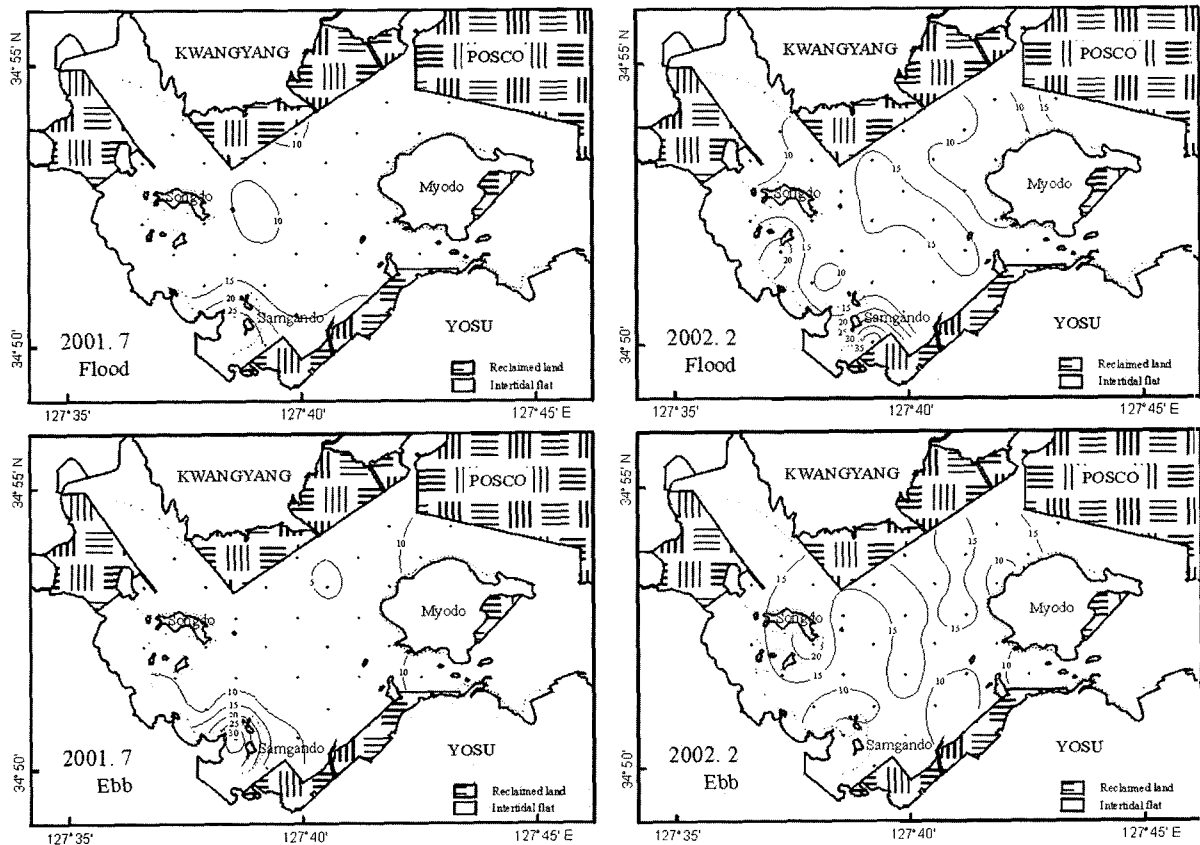


Fig. 5. Map showing the total suspended sediments (TSS) distribution of the surface water during the winter and summer seasons

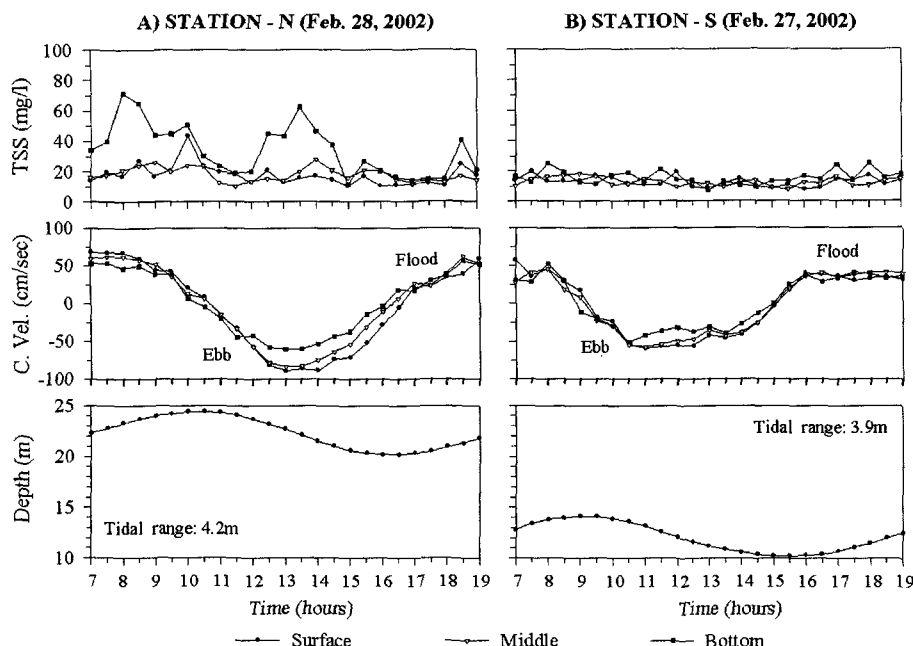


Fig. 6. Results of time-series hydrodynamic measurements from anchor stations N and S during winter. For location see Fig. 1.

류의 형태로 재부유된 부유퇴적물의 상부확산이 억제되기 때문으로 생각된다. 해수의 이동방향에 따라서는, 표층수의 경우 만 내부로 평균 20.0 mg l⁻¹, 만 외부로 15.1 mg l⁻¹, 중층수에서는 만 내부로 18.5 mg l⁻¹, 만 외부로 17.5 mg l⁻¹, 저층수에서는 만 내부로 36.3 mg l⁻¹, 만 외부로 32.2 mg l⁻¹가 이동되어 모든 수층에서 만 내부로 유입되는 양이 만 외부로 유출되는 양에 비해 증가하는 경향을 보였다(Fig. 6).

정점 S에서 부유퇴적물의 농도는 7.2~25.26 mg l⁻¹ 범위(평균 13.8 mg l⁻¹)로 정점 N의 경우와 같이 낮은 값을 보였다(Fig. 6). 수층별로는 표층수에서 평균 12.9 mg l⁻¹, 중층수에서 12.8 mg l⁻¹, 저층수에서 15.7 mg l⁻¹로 표·중층수에 비해 저층수에서 다소 높은 농도를 보였다. 해수의 이동방향에 따라서는, 표층수의 경우 만 내부로 평균 13.2 mg l⁻¹, 만 외부로 12.5 mg l⁻¹, 중층수에서는 만 내부로 13.5 mg l⁻¹, 만 외부로 12.1 mg l⁻¹, 저층수에서는 만 내부로 17.9 mg l⁻¹, 만 외부로 13.6 mg l⁻¹가 이동되어 정점 N의 경우와 같이 모든 수층에서 만 내부로 유입되는 양이 만 외부로 유출되는 양에 비해 증가하는 경향을 보였다(Fig. 6).

부유퇴적물의 이동률

Fig. 7은 정점 N과 S에서 조류의 유속과 유향, 부유퇴적물 농도의 시계열자료를 이용하여 부유퇴적물의 수층별 이동률을 나타낸 것이다. 각 정점에서 관측된 유속은 만 내부로 향하는 흐름을 양(+)의 값, 그리고 만 외부로 향하는 흐름을 음(-)의 값으로 표시하였다. 정점 N에서는 표층수에서 0.07×10⁻³ kg m⁻² s⁻¹, 중층수에서 -0.06×10⁻³ kg m⁻² s⁻¹, 저층수에서 1.1×10⁻³ kg m⁻² s⁻¹로 표·중층수에 비해 저층수에서 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였으며, 이동방향은 표층수와 저층수에서는 만 내부로 유입되고 중층수에서는 만 외부로 유출되는 경향을 보였다(Fig. 7). 정점 S에서는 표층수에서 -0.08×10⁻³ kg m⁻² s⁻¹, 중층수에서 0.03×10⁻³ kg m⁻² s⁻¹, 저층수에서 0.9×10⁻³ kg m⁻² s⁻¹로 정점 N의 경우와 같이

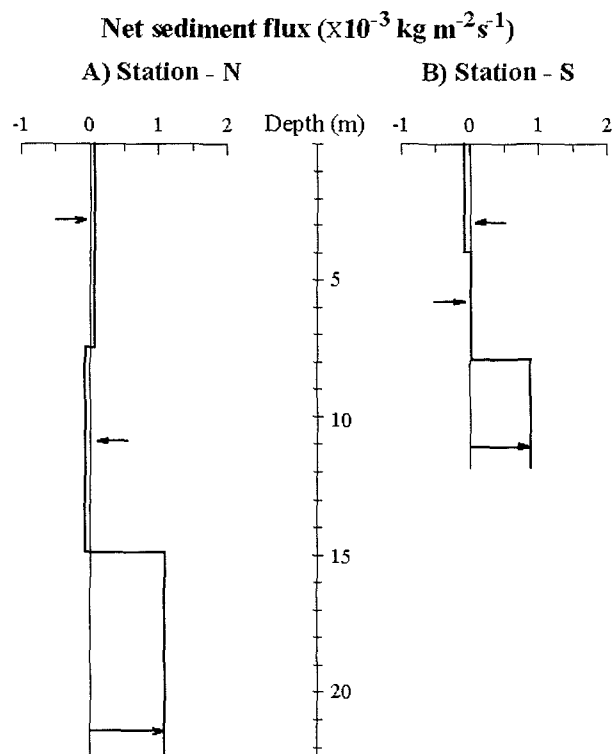


Fig. 7. Vertical transport patterns of TSS during one tidal cycle from anchor stations N and S during winter.

표·중층수에 비해 저층수에서 뚜렷하게 증가하는 경향을 보였다(Fig. 7). 또한 이동방향은 표층수에서는 만 외부로 유출되고 중·저층수에서는 만 내부로 유입되는 경향을 보였다.

한편, 유속과 부유퇴적물 농도를 고려하여 동계의 대조기 1조석 주기 동안 수심적분된 부유퇴적물의 순이동량(net suspended

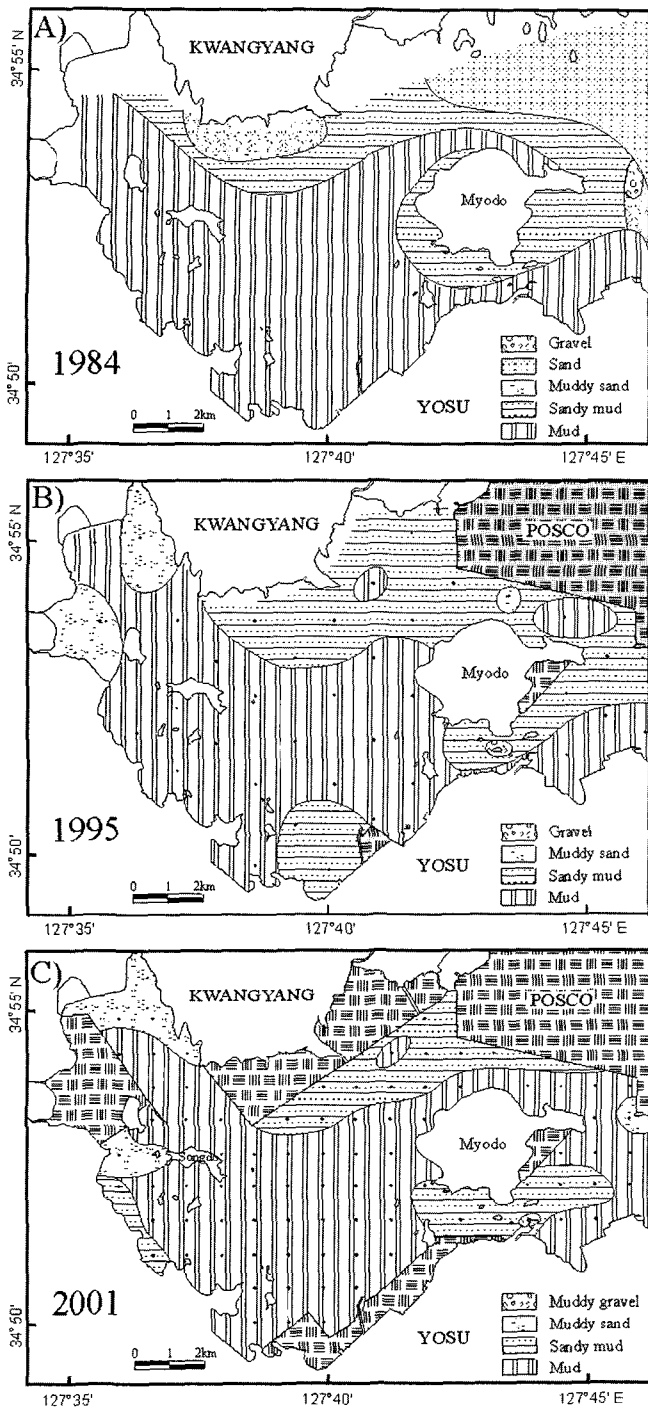


Fig. 8. Spatial and temporal distribution pattern of surface sediments. (A) modified from Park *et al.*, 1984, (B) modified from Lee *et al.*, 1996.

sediment transport load)은 정점 N에서 $8.1 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$, 정점 S에서 $3.4 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$ 로 정점 N에서 높게 나타났으며 두 정점 모두 만 내부로 유입되는 경향을 보였다.

토의 및 결론

1970년대 이래로 산업화와 공업화에 따른 임해공간 조성은 여

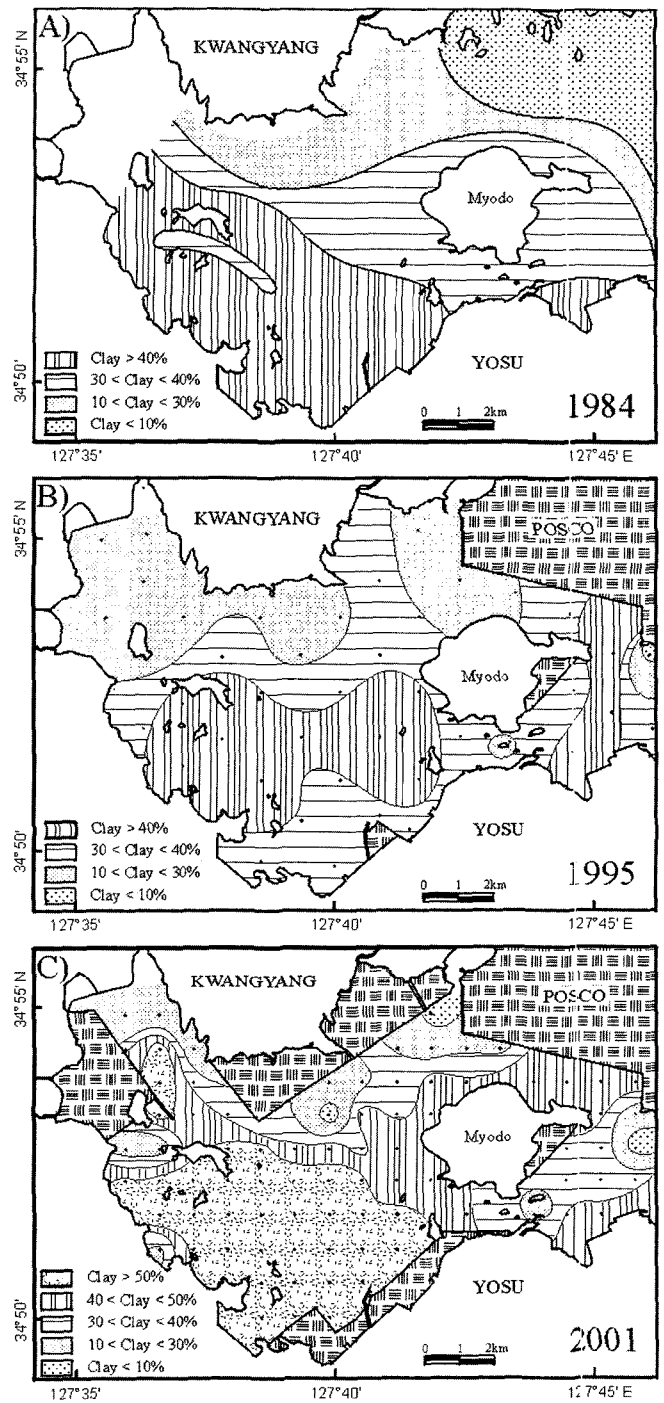


Fig. 9. Spatial and temporal distribution pattern of clay content (%) in surface sediments. (A) modified from Park *et al.*, 1984, (B) modified from Lee *et al.*, 1996.

러 가지 복합적 요인에 의해 연안역에 집중되었고, 연안역에서는 방조제 축조 등의 인공구조물 건설을 통해 가용면적을 넓히는 공사가 활발히 진행되었다. 특히 광양만 내에는 광양제철소와 광양 컨테이너부두, 울촌산업단지, 여천산업단지 등 크고 작은 공단이 조성되어 해안선뿐만 아니라 해저지형의 변화를 초래하였고(약 30년 동안 약 30%의 면적 감소), 궁극적으로 연안의 퇴적환경 변화를 유발하였다(이 등, 1996; 추, 2002; 최 등, 2003). 이러한 퇴적

Table 2. Size frequency and textural parameters of suspended elastic particles collected at each station during summer

Tide	Station	Size frequency (%)				Mean (μm)	St. dev. (μm)
		<4	4-16	16-64	>64 (μm)		
Flood	Bay-mouth	34.8	35.3	29.4	0.5	11.9	12.2
	Inner-bay	47.6	30.8	19.1	2.5	10.9	15.5
	Bay-head	50.1	32.8	15.3	1.8	9.3	13.8
Ebb	Bay-mouth	56.0	32.3	7.7	0	5.5	6.5
	Inner-bay	73.4	26.4	0.2	0	3.0	2.4
	Bay-head	61.8	29.8	8.2	0.2	5.6	8.0

환경의 변화는 표층퇴적물의 분포 변화에서 잘 나타나고 있다.

박 등(1984)에 의하면, 광양만이 개발되기 이전에는 협소하게 분포하는 역과 사질니 퇴적상을 제외하고는 섬진강 삼각주의 사 퇴적상을 중심으로 만의 서측을 향하여 사질니, 니 퇴적상으로 변하는 동서 방향의 3-모드 분포를 보였다(Fig. 8A). 그러나 이 등(1996)에 의하면, 광양만의 개발이 가시화되고 광양제철소가 건설된 이후에는 광양제철소 건설에 따른 매립으로 섬진강 삼각주의 사 퇴적상은 파괴되고, 부분적으로 존재하는 역과 니질사 퇴적상을 제외하고는 만입구와 섬진강 지류인 수어천 입구를 중심으로 사질니 퇴적상, 만의 남서측을 중심으로 니 퇴적상이 존재하는 동서 방향의 2-모드 분포로 변화하였다(Fig. 8B). 또한 광양 컨테이너부두와 울촌 및 여천 산업단지가 조성된 최근에는 부분적으로 존재하는 니질역과 니질사 퇴적상을 제외하고는 만의 북측에 사질니 퇴적상, 남측에 니 퇴적상이 존재하는 남북 방향의 2-모드 분포로 변화하였으며, 니 퇴적상의 범위도 묘도 북측과 만입구에 이르기까지 광범위하게 확장되었다(Fig. 8C).

광양만 표층퇴적물의 시·공간적 변화는 점토의 함량 분포에서 더욱 확연하게 나타나고 있다(Fig. 9). 광양만이 개발되기 이전에 점토의 함량은 섬진강 삼각주에서 10% 미만으로 최소값을 보이고 만의 남서측을 향하여 증가하여 최대 40% 이상을 나타내고 있다(Fig. 9A). 그러나 광양제철소가 건설된 이후에는 다소 복잡한 양상을 보이거나 만입구를 중심으로 점토의 함량이 증가하는 경향을 보이며(Fig. 9B), 광양 컨테이너부두와 울촌 및 여천 산업단지가 조성된 최근에는 점토의 함량이 더욱 증가하여 대부분의 지역에서 40% 이상을 보이며, 만의 남서측에서는 최대 50% 이상의 함량 분포를 보인다(Fig. 9C). 또한 부유퇴적물의 공간분포에 의하면 부유퇴적물농도는 만의 남서측에서 전체적으로 높고 낙조보다는 창조시 높은 농도 분포를 보여 창조 이후 정조(slack time)를 중심으로 상당량의 부유퇴적물이 집적됨을 알 수 있다. 결국, 광양만에서 해안선 및 해저지형의 변화는 표층퇴적물의 세립화로 나타나고, 이러한 세립화는 점토 함량의 증가에 의해 이루어지며, 이는 $4\mu\text{m}(8\phi)$ 이하가 평균 50% 이상을 차지하고 있는 부유퇴적물의 입도분석 결과(Table 2)와도 잘 일치한다.

한편, 박과 이(1999)는 광양만의 해수유동 및 SS 확산에 관한 수치실험을 통해 광양만은 바람에 의해 파랑이 발달할 만큼 충분한 해역이 없고, 외해로부터 파랑의 파급이 제한적이고, 파랑이 여수해만을 북진하는 경우 이외에는 파랑의 영향이 크지 않기 때문에 만 내의 해수 유동은 주로 조석현상에 의해 좌우된다고 주장하였다. 또한 추(2002)는 매립으로 인한 광양만의 유동변화 수치실험을 통해 개발이 진행됨에 따라 유역 면적이 줄어들고 유동도

약해지며, 조류에너지는 광양만이 개발되기 전보다 개발 후에 약 10% 정도 감소한다고 보고하였다. 상기 내용을 토대로 살펴볼 때, 광양만의 표층퇴적물 분포는 일차적으로 조석에 의해 좌우되고, 표층퇴적물의 세립화는 해안선 및 해저지형의 변화에 따른 조류 에너지의 감소에 의해 만의 남서측에서 가장 두드러지게 나타나며, 이러한 세립화는 개발이 진행됨에 따라 향 후 더욱 가속화 될 것으로 생각된다. 그러나 본 연구에 이용된 부유물질의 이동량에 관한 정선관측 자료는 한 조석주기(12.5시간) 동안의 결과로 향후 좀더 세밀하고 장기간에 걸친 자료의 획득과 연구가 추가되어야 할 것으로 생각된다.

한편, 광양만 내·외에서는 대형선박의 안전한 항해를 위해 묘도 동측과 광양컨테이너부두, 여천산단 지역을 중심으로 준설작업이 활발하게 진행되어 왔다. 광양만의 해수유동 및 SS확산에 관한 수치실험(박과 이, 1999) 결과에 의하면 광양컨테이너부두 전면과 묘도 남단 및 북서측 해역에서 수로준설을 행할 경우, 이곳에서는 동서방향의 조류가 탁월하여 재부유된 부유퇴적물 입자는 만의 서측 해안을 따라 확산되는 것으로 보고하였다. 따라서 광양만 내·외의 준설작업도 해저퇴적물의 재부유를 촉진시켜 광양만 표층퇴적물의 세립화를 촉진시키는 요인으로 작용하는 것으로 생각된다.

동계 대조기에 만 입구의 2개 정점(묘도 북측 정점 N과 묘도 남측 정점 S)에서 1조석 주기 동안 정선관측된 결과에 의하면, 조류의 세기는 2개 정점 모두 표층과 중층에서는 낙조류가 우세하나 저층에서는 창조류가 우세한 비대칭 현상을 보인다. 또한 부유퇴적물은 2개 정점 모두 표층과 중층에 비해 저층에서 높은 농도를 보였다. 이에 따라 유속과 부유퇴적물 농도를 고려하여 대조기 한 조석 주기 동안 수심적분된 부유퇴적물의 순이동량은 정점 N에서 $8.1 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$, 정점 S에서 $3.4 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$ 로 두 정점 모두 만 내부로 유입되는 경향을 보였으며, 남측보다는 북측 만입구에서 높은 이동량을 보였다. 또한 수층별로는 2개 정점 모두 표층과 중층보다는 저층수에서 뚜렷하게 높은 이동량을 보였다. 따라서 광양만에서 부유퇴적물의 이동은 남측보다는 북측 만 입구를 따라 주로 이루어지고, 표층과 중층보다는 저층에 의해 좌우되는 경향을 보이며(Kim and Kang, 1991), 이렇게 이동된 부유퇴적물은 만의 남서측을 중심으로 활발하게 퇴적되는 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 2002년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 현장조사에 도움을 준 전남대학교 해양학과 김석, 이

수완 군에게 고마움을 전합니다. 또한 본 논문의 세밀한 심사와 유익한 조언을 해주신 장진호 교수님과 익명의 심사위원, 담당편집위원께 심심한 감사를 드립니다.

참고문헌

- 류상옥, 김주용, 장진호, 2001. 서해남부 무안만의 표층퇴적물 분포와 조간대 퇴적물. 한국지구과학회지, **22**: 30-39.
- 류상옥, 장진호, 최현용, 2003. 평택화력발전소 취수구 주변 해역에서 세립질퇴적물의 운반양상. 한국해양학회지 「바다」, **7**: 247-256.
- 박용안, 이창복, 최진혁, 1984. 광양만의 퇴적환경에 관한 연구. 한국해양학회지, **19**: 82-88.
- 박일흠, 이문옥, 1999. 광양만의 해수유동 및 SS 확산에 관한 수치실험. 여수대학교논문집, **14**: 629-642.
- 신현출, 고철환, 1990. 광양만 다모류 군집의 시공간적 변화. 한국해양학회지, **25**: 205-216.
- 이연규, 황진연, 정규귀, 최경민, 1996. 광양만 및 여수해만 퇴적환경 변화: 퇴적물 특성과 점토광물 분포를 중심으로. 한국지구과학회지, **17**: 407-416.
- 조영길, 이창복, 고철환, 2000. 광양만 표층퇴적물의 중금속 함량 및 분포. 한국해양학회지 「바다」, **5**: 131-140.
- 최동림, 현상민, 이태희, 2003. 한반도 남해안 광양만의 최근 지형변화 및 후기 제4기 퇴적층서 발달. 한국해양학회지 「바다」, **8**: 35-43.
- 추용식, 이희준, 박은순, 이연규, 정갑식, 2000. 만 입구에서 부유 퇴적물 거동과 플럭스: 한반도 서해 남부 함평만의 여름철 특성. 한국해양학회지 「바다」, **5**: 105-118.
- 추효상, 2002. 매립으로 인한 광양만의 유동변화 수치실험. 한국환경과학회지, **11**: 637-650.
- 포항종합제철주식회사, 1988. 광양제철소 부지조성 환경영향 평가.
- Choi, J.W. and C.H. Koh, 1984. A study on the polychaete community in Kwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 153-162.
- Folk, R.L. and W.C. Ward, 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *J. Sediment. Petrol.*, **27**: 3-26.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill's, Austin, Texas, 170 pp.
- Gao, S., Q.C. Xie and Y.J. Feng, 1990. Fine-grained sediment transport and sorting by tidal exchange in Xiangshan Bay, Zhejiang, China. *Est., Coast. Shelf Sci.*, **31**: 397-409.
- Ingram, R.L., 1971. Sieve analysis. In: Procedures in sedimentary Petrology, edited by Carver, R.E., Wiley-Inter Science, New York, 49-67.
- Kang, J.W., 1999. Changes in tidal characteristics as a result of the construction of sea-dike/sea-walls in the Mokpo coasta zones in Korea. *Est., Coast. Shelf Sci.*, **48**: 429-438.
- Kang, S.W. and J.K. Choi, 1984. Surface waves and bottom shear stress in the Yellow Sea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **19**: 118-124.
- Kim, D.C. and H.J. Kang, 1991. Suspended sediment budget in Gwangyang Bay through the Yeosu Sound. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **24**: 31-38.
- Lee, H.J., Y.S. Chu and Y.A. Park, 1999. Sedimentary processes of fine-grained material and the effect of seawall construct on in the Daeho macrotidal flat-nearshore area, northern west coast of Korea. *Mar. Geol.*, **157**: 171-184.
- National Geography Institute, 1990. Basic research report on near-shore environments of Korea. Seoul, Korea. 63 pp.
- Park, Y.A. and J.Y. Choi, 1989. Mechanisms and distribution patterns of the fine-grained suspended materials off the southwest coast of Korea. *Acta Oceanographica Taiwanica*, **24**: 52-64.
- Ryu S.O., 2003. Seasonal variation of sedimentary processes in a semi-enclosed bay: Hampyong Bay, Korea. *Est., Coast. Shelf Sci.*, **56**: 481-492.

2003년 8월 7일 원고접수

2003년 8월 27일 수정본 채택

담당편집위원: 강효진