

현장입도분석기를 이용한 섬진강하구 부유퇴적물의 특성 연구

김석윤* · 이병관

부경대학교 해양학과 및 해양과학공동연구소

In situ Particle Size and Volume Concentration of Suspended Sediment in Seomjin River Estuary, Determined by an Optical Instrument, 'LISST-100'

Seok Yun KIM* and Byoung Kwan LEE

Department of Oceanography, Pukyong National University and Korea Inter-University Institute of Korea, Busan 608-737

In situ particle size and volume concentration of suspended sediment was measured at the mouth of Seomjin River Estuary in February 2001, using an optical instrument, 'LISST-100'. Time variation of in situ particle size and concentration shows: (1) during ebb tide, Seomjin River supplies relatively fine-grained particles with less-fluctuated, compared to during flood tide, and well-behaved concentrations following the tidal cycle; and (2) during flood tide, relatively coarse-grained particles with highly variable in size distribution and concentration flow upstream from Kwangyang Bay. This explains a poor correlation ($r^2=0.10$) between sediment concentration and beam attenuation coefficient during flood and a high degree of correlation ($r^2=0.80$) during ebb tide. Relatively fine grained and well defined, monotonous size distribution may promote the correlation between concentration and beam attenuation coefficient due to optical homogeneity of particles during ebb tide. Abundance of large aggregates with time-varying size and shape distributions may be mainly responsible for variations in optical properties of the sediment during flood tide, and thus may confound the relationship between the two variables. The difference in particle sizes and shapes between flood and ebb tides can also be observed on SEM images.

Key words: LISST-100, In situ particle size, Attenuation coefficient, Suspended sediment, Seomjin River estuary

서론

조석에 따른 담수와 해수의 왕복, 혼합 및 순환 등의 수리역학적 특성의 이해와 퇴적학적 현상규명을 위하여, 부유물질을 이용한 많은 연안해양학적 연구가 수행되어 왔다 (Kim, 1984; Park et al., 1986; Lee and Kim, 1987; Kim and Kang, 1991; Oh et al., 1995; Kim et al., 1996; Ryu et al., 2003). 특히 세립질 퇴적물의 중요한 근원이 되는 부유물질의 농도와 입도에 관한 연구는 표층퇴적물의 분석을 통해서 얻기 어려운 퇴적과 이동에 관한 정보를 제공하고 있다 (Meade, 1972; Nichols et al., 1991; Allen, 1991; Milliman et al., 1985; Edwards et al., 1993).

부유퇴적물의 농도를 결정하기 위해서는 채수와 여과에 의한 직접적인 방법이 가장 널리 쓰이고 있으나, 보다 간편하고 신속하게 저비용으로, 현장에서 측정하기 위한 다양한 광학 장비들이 개발되고 있다. 그 중 광전도측정기 (Beam transmissometer)는 강하구에서 (Campbell and Spinrad, 1987; Wells and Kim, 1991) 뿐 아니라, 연안역과 대륙붕 (Park and Zaneveld, 1977; Moody et al., 1987) 및 심해 (McCave, 1983; Gardner et al., 1985)에서도 널리 사용되고 있다. 그러나, Beam

transmission을 농도 결정에 이용하기 위해서는 regression을 통한 둘 간의 보정이 선행되어야 하며, 또한 입자의 크기, 모양, 굴절률 등의 변화가 고려되어야 하며 (Baker and Lavelle, 1984; Spinrad, 1986), 특히, 부유입자의 현장 크기 (in situ particle size)에 관한 정보는 Beam transmission과 부유물질농도의 상관관계를 해석하는데 필수적인 선행정보라 할 수 있다.

최근에 개발된 'LISST-100 (Laser In Situ Scattering and Transmissometry, Sequoia Scientific Inc.)'은 부유물질의 beam transmission 뿐 아니라, laser diffraction을 이용하여 수층 내에서 부유물질의 현장 입도를 측정하며, 동시에 입도 구간별 체적농도를 측정할 수 있는 장비이다 (Agrawal and Pottsmith, 2000). 실험실에서 분석한 부유입자의 입도는 시료의 채취, 수송 및 처리과정에서 현장 상태가 유지될 수 없기 때문에 수층 내에서의 거동에 관한 정확한 해석이 어려웠지만, LISST-100은 부유물질의 현장입도의 시·공간적 변화양상을 파악하는데 유용할 것으로 생각된다.

본 연구는, LISST-100을 이용하여, 섬진강 하구역을 통하여 유출입되는 부유퇴적물의 체적농도와 현장입도의 변화 특성을 25시간 (2조석주기) 동안 연속관측하였다. 본 연구를 통해서 (1) 섬진강으로부터 유입되는 부유입자의 체적농도와 현장

*Corresponding author: yunk@pknu.ac.kr

입도분포에 관한 기본적인 자료를 획득하고, (2) 입도분포의 조석주기에 따른 변화를 파악함으로써, 낙조동안 섬진강으로부터 유출되는 부유물질과, 창조동안 광양만으로부터 상류로 유입되는 부유물질의 조직특성을 비교하였으며, 또한 (3) 부유물질의 체적농도와 광감쇠계수의 상관관계를 분석함으로써 광학기기 적용의 가능성 및 문제점을 재조명하였다.

재료 및 방법

연구 지역

남해안의 중앙부에 위치하고 있는 섬진강은 길이 225 km에 유역면적 4,896 km²을 가지며, 배수량은 연간 약 5.8-8.7×10⁸톤으로서, 매초 23톤의 하천수가 섬진강을 통해 광양만으로 유입된다 (Kim, 1984). 또한, 섬진강은 국내 주요 하천 중 유일하게 하구둑이 없으며, 섬진강 하류일대와 광양만이 하나의 광활한 기수 구역을 형성하며 비교적 오염도가 낮은 자연적인 상태를 잘 유지하고 있다.

섬진강으로부터 연간 0.8×10⁶톤의 부유물질을 공급받는 것으로 추정되는 (Park et al., 1980), 광양만은 동서 길이 약 17 km, 폭은 넓은 곳이 약 9 km로 여수해만을 통해 남해와 연결되고, 노랑 수로를 통해 인접한 강진만과 연결된다. 광양만의 주변지형은 남쪽의 여수반도 및 남동부의 남해도로 둘러싸인 반 폐쇄적인 만의 지형으로 크고 작은 십 여 개의 섬들이 산재하여 있다. 면적은 약 230 km²이며, 대부분 지역에서 수심은 5 m 이하로 얇고, 수로 지역은 수심 30 m 이상으로 여수해만 쪽 입구로부터 동쪽의 노랑해협으로 이어지는 노랑수로, 묘도를 기준으로 북쪽과 남쪽으로 이어지는 묘도 북수로와 남수로가 있다. 반일주조의 조석을 따라서 왕복성의 조류가 흐르고, 조차는 중조차 범위에 속한다.

유속은 만의 내부로 들어갈수록 점차 증가하며, 조류는 여수해만에서는 창조류와 낙조류의 유속이 50-60 cm/s (평균 대조기)를 나타내며, 묘도 주변으로 갈수록 창조류에 70 cm/s, 낙조류에 80 cm/s를 보인다 (Lee et al., 1996).

광양제철소가 건설된 이후, 부유물질 농도의 공간분포는 낙조보다는 창조에 높은 농도 분포를 보이며, 창조 이후 정조 (slack time)를 중심으로 상당량의 부유물질이 집적되고, 해안선 및 해저지형의 변화는 표층퇴적물의 세립화로 나타나며, 이러한 것은 점토함량의 증가에 의해 이루어진다고 보고하였다 (Ryu et al., 2003). 또한, 광양만 표층퇴적물 분포는 조석에 의해 좌우되고, 표층퇴적물의 세립화는 해안선 및 해저지형의 변화에 따른 조류에너지의 감소에 의해서 만의 남서측에서 더욱 뚜렷하게 나타나며, 향후 개발이 진행됨에 따라서 광양만 내의 세립화는 더욱 가속화 될 것으로 전망하였다.

연구 방법

유속계 (ADV)와 LISST-100을 이용하여 섬진강하구 정점 (수심 약 7 m)에서 200년 2월 22-23일 (대조기)의 25시간 동안 연속관측을 실시하였다 (Fig. 1). 유속계는 저층 (바닥 위 0.5 m)에 계류 (mooring)시켜 두었으며, LISST-100은 관측

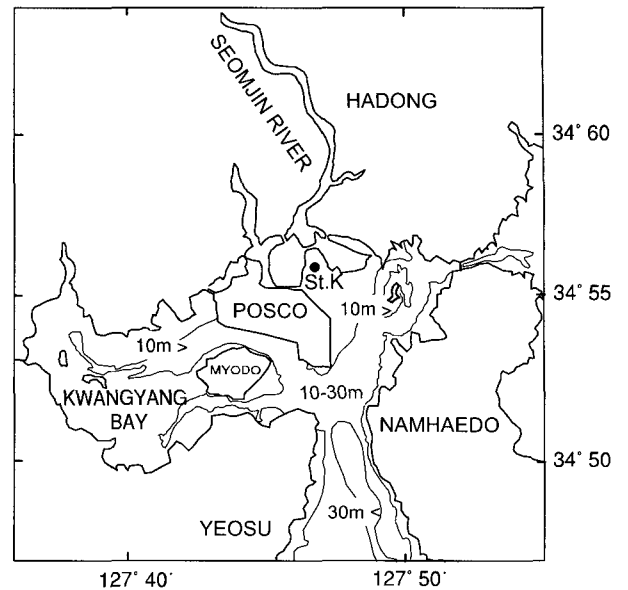


Fig. 1. Map showing the study area and measuring station (St. K).

전반부 동안에는 매 시간 표층과 저층에서 자료 (농도, 입도, beam attenuation coefficient)를 획득하였고, 후반부에는 유속계와 함께 저층에 계류하여 연속적인 자료를 획득하였다. LISST-100에 저장된 자료는 아래의 계산식으로 처리하였다 (SEQUOIA, 2000).

$$S \text{ (평균입도)} = \frac{F_I \times S_I}{100}, \text{ sdev (표준편차)} = \frac{F_I \times (S_I - S)^2}{100}$$

$$F_I = \frac{V_I}{V_T} \times 100; V_I: \text{입자 체적 농도};$$

$$V_T: \text{구간별 체적농도 합}; S_I: \text{구간별 중앙값}$$

광감쇠계수 (beam attenuation coefficient, c)는 다음 식에 의해 계산된다.

$$I(r) = I_{(0)} e^{-cr}$$

($I_{(0)}$ 는 광원의 광량, $I(r)$ 는 광원에서 r m 떨어진 receiver에 도달한 광량)

$$\text{Beam transmission, } T = \frac{I(r)}{I_{(0)}} = e^{-cr}$$

Beam attenuation coefficient,

$$c = -\frac{\ln T}{r} = -\frac{1}{0.05} \times \ln T$$

(r : pathlength, 5 cm)

일반적으로, 670 nm 광원에서 투과도 T 는 용존물질이나 물 자체에 의해서는 영향을 거의 받지 않으므로, 부유물질에 의한 감쇠만을 반영한다고 볼 수 있다.

부유물질의 질량농도 (mg/L) 분석은 수층별로 해수 1 L를 채수한 뒤, 여과지 (0.45 μ m Millipore HA type filter paper)로

여과하여 무게차로 계산하였고, 부유물질의 종류와 형태를 구분하기 위하여 여과지에 여과된 부유물질의 일부를 주사전자현미경 (SEM, Hitachi S-2400)을 이용하여 관찰하였다.

결과 및 고찰

조석 주기에 따른 부유물질 농도와 입도 분포

조사 정점 (St. K)을 통해서 창조의 마지막 시기 (고조 부근)에 섬진강의 상류로 올라가는 부유물질과, 낙조의 마지막 시기

(저조 부근)에 광양만 내부로 유출되는 부유물질의 특성 차이를 비교하기 위해 두 시기의 체적농도와 입도의 연속적인 변화를 비교해 보았다 (Fig. 2).

부유물질의 평균 체적농도는, 고조 부근에서 (Fig. 2A) 표층이 3.7 $\mu\text{L/L}$, 저층이 4.3 $\mu\text{L/L}$ 로서 저층이 다소 높은 값을 보였으며, 평균입도는 표층이 96.1 μm , 저층이 127.6 μm 로서 저층에서 더 조립한 부유물이 보인다. 체적농도와 평균입도의 시계열 변화는 유속 세기와는 유사한 관계를 보이지 않으며, 시간

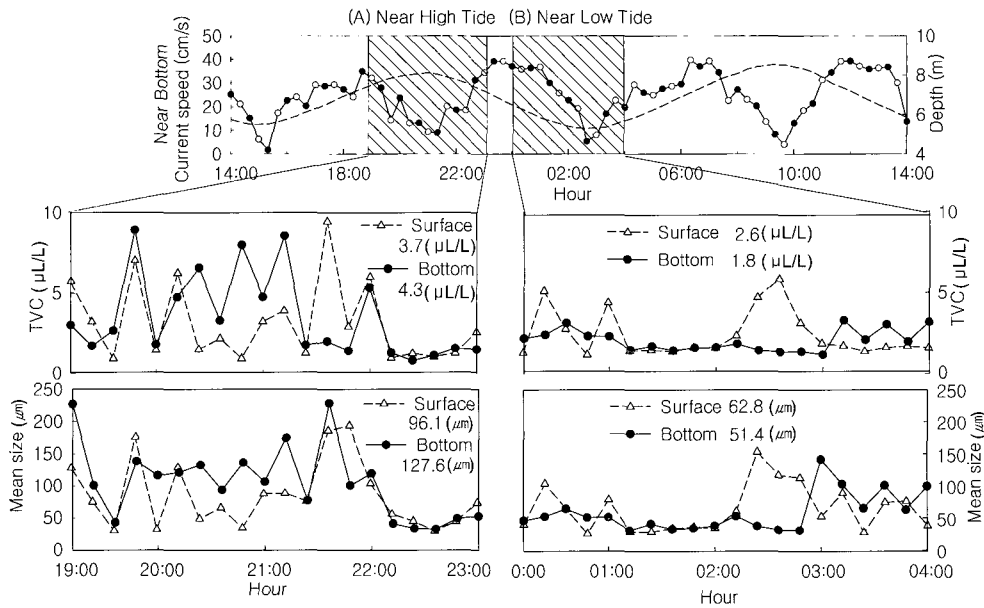


Fig. 2. Total volume concentration (TVC, $\mu\text{L/L}$) and mean grain size (μm) of suspended sediment at surface and near-bottom layer, during near-high tide and near-low tide.

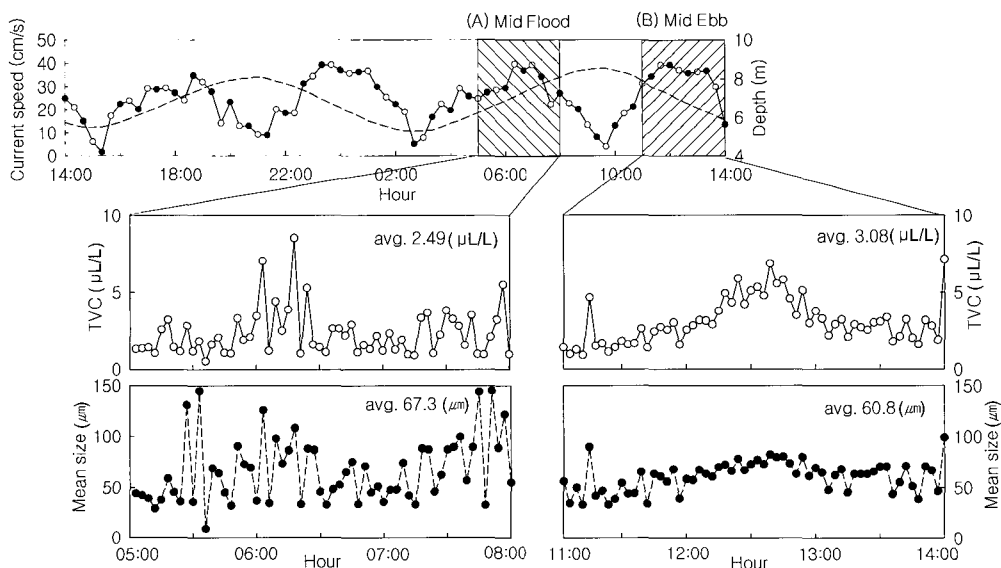


Fig. 3. Total volume concentration (TVC, $\mu\text{L/L}$) and mean grain size (μm) of suspended sediment at near-bottom layers, during mid-flood and mid-ebb.

적으로 표층과 저층에서 매우 불규칙하고 심한 변동폭을 보이다가 낙조가 시작되면서 낮은 값의 단조로운 변화로 바뀐다. 낙조가 진행되면서 저조에 이르기까지 비교적 단조로운 변화 (특히 저층에서)를 보이면서 낮은 값을 유지하던 체적농도 (표층, 2.6 $\mu\text{L/L}$; 저층, 1.8 $\mu\text{L/L}$)와 입도 (표층, 62.8 μm ; 저층, 51.4 μm)는 창조가 시작될 무렵 다시 변동폭을 보이며 증가하기 시작한다 (Fig. 2B). 고조 때와는 달리 저조 부근에서는 부유물질의 평균 체적농도와 평균입도는 표층이 다소 큰 값을 보인다.

Fig. 3에서는, 비교적 강한 유속 (최대 창조류, 34.8 cm/sec; 최대 낙조류, 39.2 cm/sec)이 지속되는 mid-flood (Fig. 3A)와 mid-ebb (Fig. 3B) 시기 동안, 저층 수괴 속의 부유물질 체적농도와 평균입도의 연속적인 변화를 비교해 보았다. 평균 체적농도 (창조, 2.5 $\mu\text{L/L}$; 낙조, 3.1 $\mu\text{L/L}$)와 평균입도(창조, 67.3 μm ; 낙조, 60.8 μm)는, 창조와 낙조 동안 뚜렷한 차이가 없으나, 변화양상은 현저한 차이를 보인다. 창조 동안에는 유속과 무관한 큰 변화폭을 보이는 반면에, 낙조 동안에는 상대적으로 변화폭이 작고, 유속의 변화와 일치하는 양상을 보인다.

Fig. 2와 Fig. 3에서 나타난 농도와 입도의 변화 양상으로 보아, 창조 동안 광양만으로부터 상류로 유입되는 부유퇴적물은 광양만 내부의 다양한 표층퇴적상로부터 기원한 다양한 조성의 입자들로 구성되어 있어 시간적으로 변동폭이 큰 농도와 입도분포를 보이는 반면, 낙조 동안 섬진강으로부터 유출되는 부유퇴적물은 상대적으로 다소 세립한 동시에 농도와 입도의 시간적인 변화가 비교적 단조로운 부유물질로 구성되어 있는 것으로 판단된다. 즉, 연구지역의 부유퇴적물 농도와 입도변화 양상은 유속의 영향을 다소 반영하고는 있으나, 보다 근본적으로는 광양만 내부와 섬진강 상류 기원의 부퇴적물

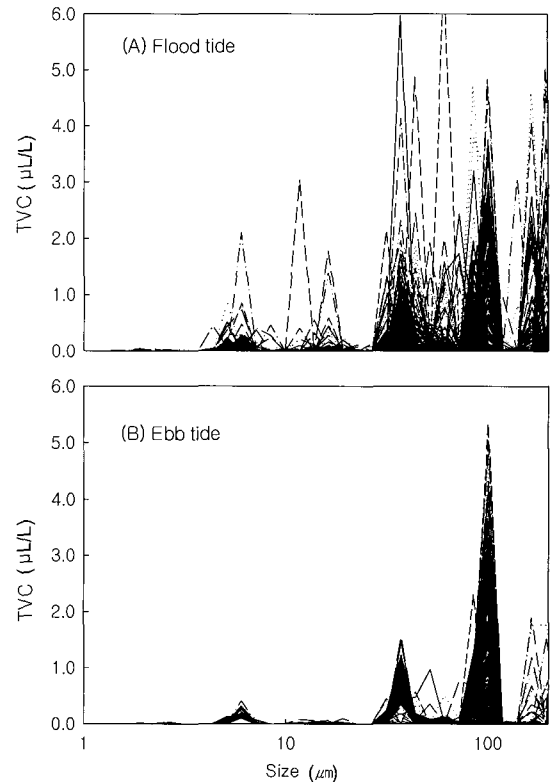


Fig. 4. Size fraction distribution of TVC ($\mu\text{L/L}$) of suspended particles measured during flood tide (A) and ebb tide (B).

의 조성의 차이에 의한 것임을 추측케 한다.

이러한 입도조성의 차이는, 입도구간별 체적농도분포를 창조와 낙조 동안 각각 중첩시켜본 Fig. 4에서 더욱 확실히 나타

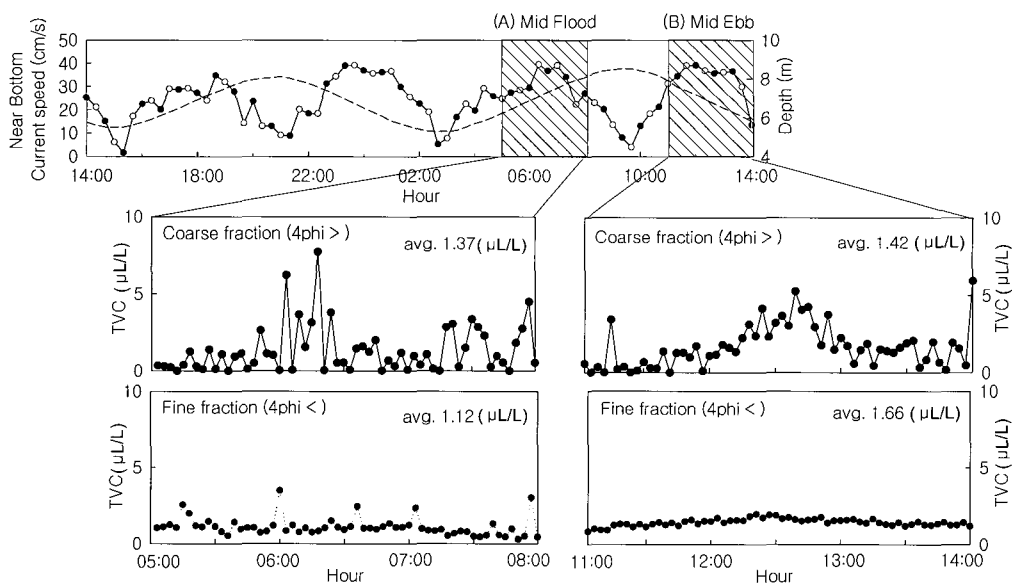


Fig. 5. Comparison of volume concentrations ($\mu\text{L/L}$) of coarse fraction (coarser than 4ϕ) and fine fraction (finer than 4ϕ) of suspended sediment at near-bottom layer.

난다. 창조 동안에 부유물질의 입도구간별 분포는 다양하고 복잡하여 뚜렷한 mode를 찾을 수 없으나, 낙조 동안에는 세립부 (26.7-51.9 μm)와 조립부 (72.2-118.7 μm)로 구분되는 두 개의 뚜렷한 mode로 집중되어 있음을 볼 수 있다. 이를 근거로, 총 체적농도 중 세립부 ($4\phi <$)와 조립부 ($4\phi >$)가 차지하는 부분을 구분하여 창조기와 낙조기를 비교하였다 (Fig. 5). 특징적인 것은, 세립부는 조석주기나 유속과 관계없이 거의 일정한 수준 (창조; 1.1 $\mu\text{L/L}$, 낙조; 1.7 $\mu\text{L/L}$)으로 background를 형성하고 있으며, 낙조시 총 체적농도의 54%를 차지하면서 창조시의 45%보다 더 큰 비율을 차지하고 있다. 반면에, 조립부는 낙조류 동안보다 창조류 동안 더 큰 변동폭을 보이며, 유속의 증감과 유사한 경향을 보이고 있다.

부유물질 농도와 광 감쇠계수의 상관관계

Fig. 6은 저층에서 연속관측한 부유물질의 체적농도 (TVC)와 광감쇠계수 (beam attenuation coefficient, c) 간의 상관관계를 나타낸 산포도이다. 전체 기간동안에 동시 관측한 모든 짝을 대상으로 계산한 상관계수 (Determination coefficient, r^2)는 0.29로서 매우 불량한 관계를 보이고 있다. 그러나, 창조류와 낙조류 동안의 관측치만으로 각각 구분해 보았을 때, 창조류 동안에는 거의 상관관계가 없었으며 ($r^2=0.10$), 낙조류 동안에는 $r^2=0.80$ 의 값을 보여 상관관계가 현저히 양호하게 나타났다. 이는 섬진강 유출수와 광양만 해수 속의 부유물질의 광학적 특성의 현저한 차이를 입증하는 증거라 할 수 있다.

부유물질에 의한 광감쇠는 입도 분포 변화에 가장 큰 영향을 받는 것으로 밝혀져 있다. 실험실 분석을 통하여 Baker and Lavelle (1984)은 부유물질농도와 beam attenuation 사이의 비례상수가 부유입자의 크기에 따라 10배 이상 달라지며, 직경 8.5 μm 인 입자들은 같은 농도의 직경 48 μm 의 입자들보다 파장 660 nm의 광원을 약 15배 정도 더 효과적으로 산란시키는 것으로 보고한 바 있다. 본 연구의 경우, 한 정점에서 연속관측한 상관관계가 창조 동안에 극히 불량한 것은, 광양만 부유물질의 광학적 특성이 상대적으로 불균질하며, 낙조 동안에 양호한 것은, 섬진강에서 유출되는 부유물질이 광학적으로 균질함을 의미한다.

조사 지역 부유물질의 조성과 형태를 비교하기 위하여, Millipore filter에 여과된 부유입자들을 주사전자현미경 (SEM)으로 촬영해 보았다 (Fig. 7). 낙조 동안에는 비교적 세립하고 균질한 입자들이 우세하며, 반대로 창조 동안에는 조립하고, 다양한 크기의 무기질 입자들 뿐 아니라 많은 diatom의 개체들과 유기질 입자들이 관찰되었다.

일반적으로, 부유입자의 광학적 특성이 공간적으로 다양하게 변화하는 강하구와 같은 환경에서 부유물질농도의 공간적 분포를 결정하기 위한 광학기기의 이용은, 농도와 광감쇠계수와의 양호한 상관관계를 획득하기 어려운 문제점이 있다 (Kim, 1994). 본 연구에서는, 조석주기 동안에 한 정점에서 농도와 광감쇠계수의 상관관계를 비교 분석함으로써 동일한 지역 내에서도 기원 수괴의 이동 방향에 따라 상관관계의

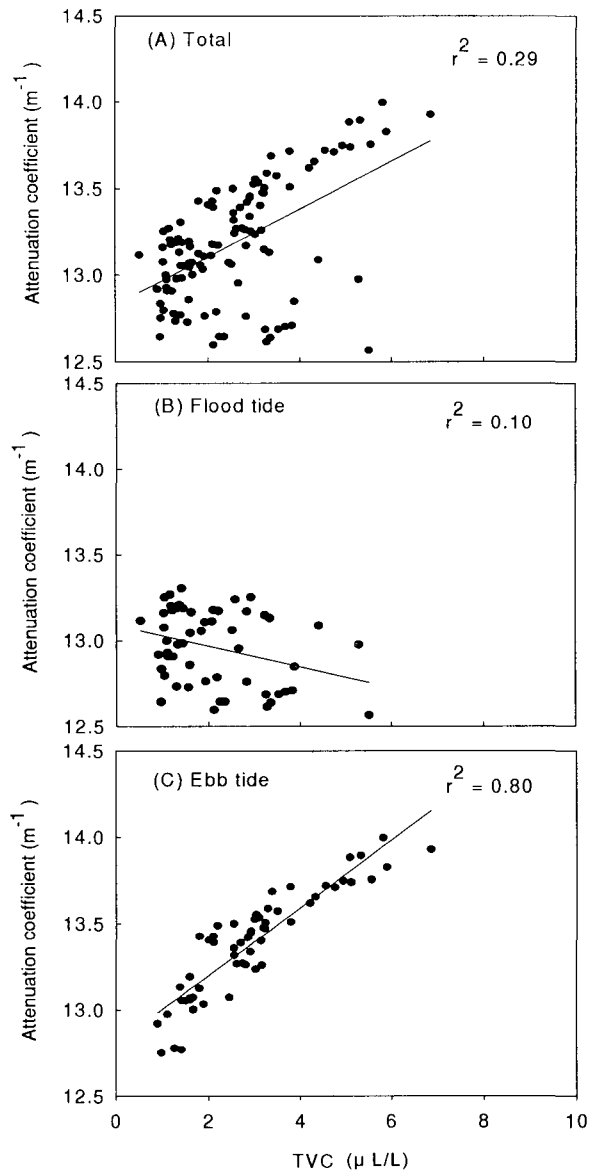


Fig. 6. Relationship between TVC ($\mu\text{L/L}$) and attenuation coefficient, $c(\text{m}^{-1})$, for all pairs of simultaneous observations (A), flood tide observations only (B), and ebb tide observations only (C).

차이가 있음을 밝혔다. 즉, 상관관계는 부유물질의 평균입도 그 자체 뿐 아니라, 입도분포의 시간적 변화에 의해 복잡해지며, 강 하구의 다양한 퇴적환경으로부터 기원한 다양한 조성과 성분의 부유물질이 혼합된 경우 그 상관관계는 더욱 파악하기 어려워진다. 따라서, 섬진강 하구와 광양만 내 부유물질의 거동 및 수지에 관한 정량적인 연구를 위해서는, 부유물질의 농도와 입도변화의 파악을 위한 장기적인 모니터링 뿐 아니라 부유입자의 기원과 성분에 관한 종합적인 연구가 필수적인 것으로 생각된다.

결론적으로, 섬진강하구의 한 정점에서 관측한 농도와 광감

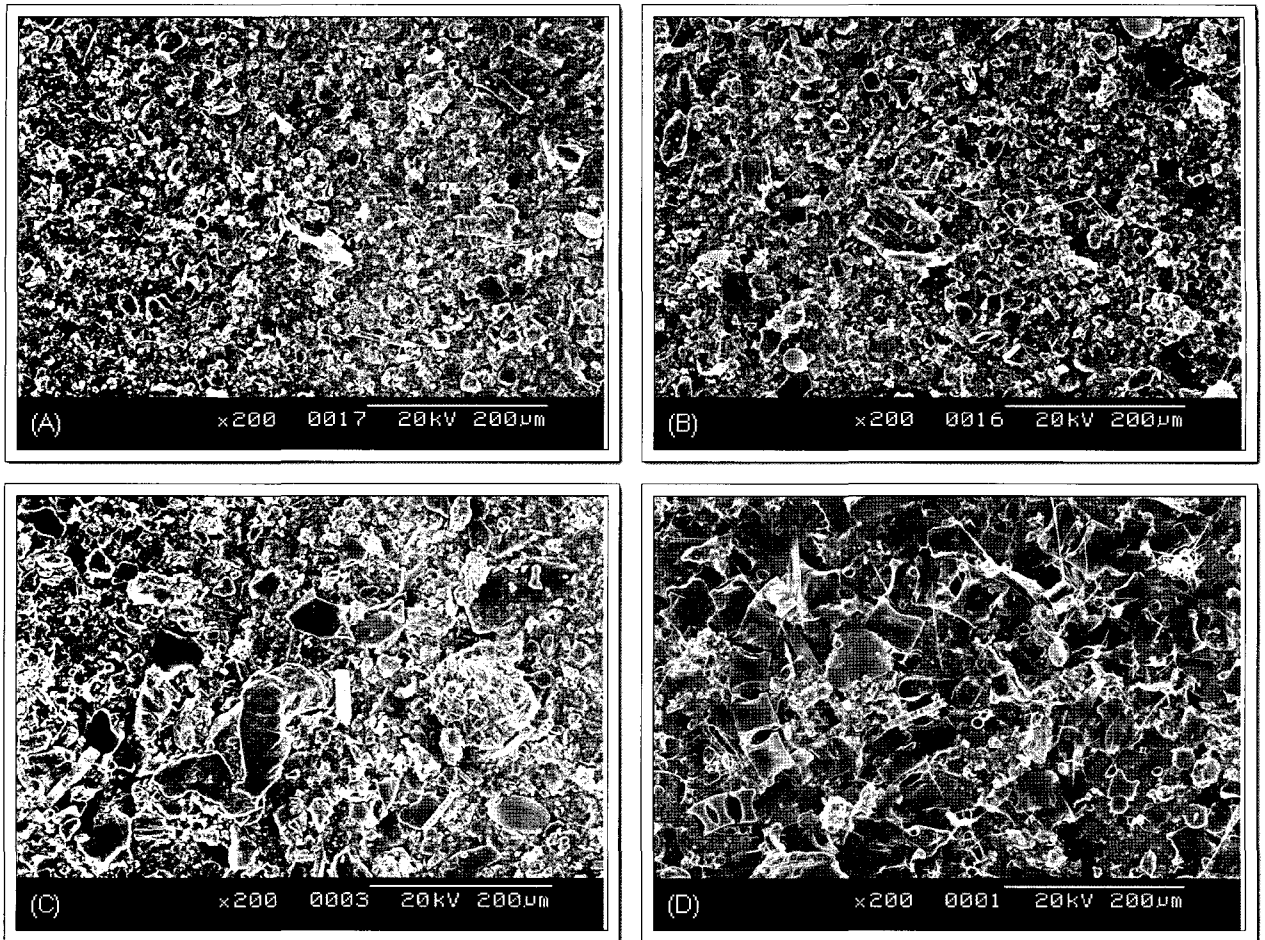


Fig. 7. Selected SEM images of suspended sediment filtered on a Millipore filter, taken during ebb tide (A and B) and flood tide (C and D).

최계수와외의 상관관계가 창조와 낙조동안 현저하게 차이가 나는 것은, 창조류와 낙조류 속의 부유입자의 광학적 특성이 뚜렷이 다르기 때문이며 이는 광양만 내부의 표층퇴적물이나 부유물질의 조성이 섬진강 상류지역보다 복잡하고 다양한 데 기인하는 것으로 판단된다. 따라서, 부유물질의 입도분포 및 조성에 관한 정확한 이해가 신뢰도 높은 상관관계를 획득하는데 중요한 요인이 된다고 하겠다.

사 사

이 논문은 2001학년도 부경대학교 기성회 학술연구비에 의하여 수행된 결과로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- Agrawal, Y.C and H.C. Pottsmith. 2000. Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport. *Mar. Geol.*, 168, 89-114.
 Allen, G.P. 1991. Sedimentary processes and facies in

the Gironde estuary: a recent model for macrotidal estuarine systems. *Can. Soc. Petrol. Geol. Mem.*, 16, 29-40.

- Baker, E.T. and J.W. Lavelle. 1984. The effect of particle size on the light attenuation coefficient of natural suspension. *J. Geophys. Res.*, 89, 8197-8203.
 Campbell, D.E. and R.W. Spinrad. 1987. The relationship between light attenuation and particle characteristics in a turbid estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 25, 53-65.
 Edwards. A.C., L.R. Hoz and A.M. Gomez. 1993. Suspended sediments in the southeastern Gulf of Mexico. *Mar. Geol.*, 112, 257-256.
 Gardner, W.D., P.E. Biscaye, J.R.V. Zaneveld and M.J. Richardson. 1985. Calibration and comparison of the LDGO nephelometer and the OSU transmissometer on the Nova Scotian Rise. *Mar. Geol.*, 66, 323-344.
 Kim, D.C. and H.J. Kang. 1991. Suspended sediment

- budget in Gwangyang Bay through the Yeosu Sound. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 24, 31-38.
- Kim, S.J., D.C. Kim, H.I. Yi and I.C. Shin. 1996. Changes in sedimentary process and distribution of benthic foraminifera in the eastern part of Kwangyang Bay, South Sea of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 1, 32-45. (in Korean)
- Kim, S.Y. 1994. Use of beam transmissometer as indirect measure of suspended sediment concentration on the estuarine environment: Application and problems. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, 27, 771-781.
- Kim, S.Y. 1990. Physical processes and fine-grained sediment dynamics in the Neuse River Estuary, North Carolina. Ph.D. Thesis. University of North Carolina, Chapel Hill, North Carolina, U.S., pp. 128.
- Kim, S.Y. 1984. Concentration and transport of suspended particulate matter in the Seomjin Estuary and Kwangyang Bay. M.S. Thesis, Seoul National University, Korea, pp. 39. (in Korean)
- Lee, C.B. and T.I. Kim. 1987. Formation and evolution of turbidity maximum in the Keum estuary, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 22, 105-118.
- Lee, Y.G., J.Y. Hwang, K.K. Jung and J.M. Choi. 1996. Sedimentary environment change in Kwangyang Bay and Yosu Sound - Based on sediment characteristics and clay mineral. *J. Kor. Earth Sci. Soc.*, 17, 407-416. (in Korean)
- McCave, I.N. 1983. Particulate size spectra, behavior, and origin of nepheloid layers over the Nova Scotian continental rise. *J. Geophys. Res.*, 88, 7647-7666.
- Meade, R.H. 1972. Transport and deposition of sediments in estuaries. *Geol. Soc. Am. Mem.*, 133, 131-141
- Mikkelsen, O.A. and M. Pejrup. 2000. In situ particle (floc) size spectra and density of particle aggregates in a dredging plume. *Mar. Geol.*, 170, 443-459.
- Milliman, J.D., H.T. Shen, Z.S. Yang and R.H. Meades. 1985. Transport and deposition of river sediment in the Changjiang estuary and adjacent continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 4, 37-45.
- Moody, J.A., B. Butman and M.H. Bothner. 1987. Near-bottom suspended matter concentration on the continental shelf during storms: estimates based on in situ observations of light transmission and a particle size dependent transmissometer calibration. *Cont. Shelf Res.*, 7, 609-628.
- Nichols, M.M., G.H. Johnson and P.C. Peebles. 1991. Modern sediments and facies model for a microtidal coastal plain estuary, the James Estuary, Virginia. *J. Sed. Petrol.*, 61, 883-899.
- Oh, I.S., T.K. Na and C.B. Lee. 1995. Tidal current and suspended sediment transport in the Keum Estuary, west coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 30, 147-162. (in Korean)
- Pak, H. and J.R.V. Zaneveld. 1977. Bottom nepheloid layers and bottom mixed layers observed on the continental shelf off Oregon. *J. Geophys. Res.*, 82, 3921-3931.
- Park, Y.A., C.B. Lee and J.H. Choi. 1984. Sedimentary environments of the Gwangyang Bay, southern coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 19, 82-88. (in Korean)
- Ryu, S.O., J.Y. Kim., H.J. Lee, Y.G. Cho and S.M. Ahn. 2003. Seasonal changes of tidal-flat sediments; Kwangyang Bay, South Coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 8, 349-356. (in Korean)
- Ryu, S.O. 2003. Spatial and temporal variation of grain size of the surface sediments in Kwangyang Bay, South Coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.*, 8, 340-348. (in Korean)
- SEQUOIA Scientific Inc. 2000. Manual of LISST-100 Particle Size Analyzer, pp. 66.
- Spinrad, R.W. 1986. A calibration diagram of specific beam attenuation. *J. Geophys. Res.*, 91, 7761-7764.
- Wells, J.T. and S.Y. Kim. 1991. The relationship between beam transmission and concentration of suspended particulate material in the Neuse River Estuary, North Carolina. *Estuaries*, 14, 395-403.

2004년 6월 30일 접수
2004년 8월 28일 수리