

## LISST-100과 ADCP를 이용한 광양만 현장 부유입자물질 특성 연구

이병관 · 김석윤\*

(주)오션이엔지, \*부경대학교 해양학과  
(2009년 10월 9일 접수; 2009년 11월 3일 수정; 2009년 11월 19일 채택)

### Characteristic of In Situ Suspended Particulate Matter at the Gwangyang bay Using LISST-100 and ADCP

Byoung Kwan Lee and Seok-Yun Kim\*

*Oceaneng Co., LTD., Gyeonggi-do 464-805, Korea*

*\*Department of Oceanography, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea*

(Manuscript received 9 October, 2009; revised 3 November, 2009; accepted 19 November, 2009)

#### Abstract

In order to measure in-situ suspended particle size, volume concentration of suspended particulate matter and current speed, mooring observation was performed at the Gwangyang Bay by using of an optical instrument, 'LISST-100' and an acoustic instrument, 'ADV(St. S1)'. And the sediment flux was obtained based on the concentration of suspended particulate matter and current speeds measured at three lines of Gwangyang Bay during ebb and flood tide of August 2006. To investigate the spatial variation of suspended particulate matter, profiling observations were measured difference echo intensity and beam attenuation coefficient by using of ADCP and Transmissometer (Line A, B, C). The suspended sediment flux rate at the mouth of Gwangyang Bay was observed to be higher during asymmetrical than symmetrical of current speeds. The flux of suspended particulate matter concentration and current speeds were transported to southeastern direction of surface layer and northwestern direction of bottom layer at the western area at line A of Gwangyang Bay. Small suspended particles have been found to increase attenuation and transmission more efficiently than similar large particles using acoustic intensity (ADV/ADCP) or optical transmit coefficient (LISST-100/Transmissometer). The application and problems as using optical or acoustic instruments will be detected for use in time varying calibrations to account for non-negligible changes in complex environments in situ particle dynamics are poorly understood.

**Key Words** : Seomjin River Estuary, Gwangyang bay, In-situ particle size, Attenuation coefficient, Suspended Particulate Matters, LISST-100

#### 1. 서 론

광 전도측정기는 직접 해수 중에 존재하는 부유 입자농도를 간접적으로 측정하는 장비이고, 광 투과거리 0.05 m의 범위에 분포하는 부유입자의 투과

도를 측정하도록 개발되었다. 최근까지 광 전도측정기(Beam transmissometer)는 강 하구에서<sup>1,2)</sup> 뿐 아니라, 연안역과 대륙붕<sup>3,4)</sup> 및 심해<sup>5,6)</sup>에서 널리 사용되고 있다. 이 장비는 신속, 편리성, 저비용으로 누구나 쉽게 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 부유물질 농도와 광 투과도 사이의 상관관계를 해석하기 위해서는 입자의 크기, 모양, 굴절률 등의 변화가 고려되어야 하며<sup>7,8)</sup> 특히, 현장 부유입자의 크기에 관한 해석이 부유물질농도와 광 감쇄반응을 해석하는데 필수적인 선행정보라고 할 수 있다. 실험실 분석을 통하여 Baker와 Lavelle<sup>7)</sup>는 부유입자의 크기에 따라 광 감쇄(beam attenuation)가 10배 이상 달라지며, 직경 8.5  $\mu\text{m}$  입자들은 같은 농도의 직경 48.0  $\mu\text{m}$  입자들보다 파장 660 nm의 광원을 약 15배 더 효과적으로 산란시키는 것으로 알려져 왔다. 부유물의 현장입도를 광원을 이용하여 간접적으로 측정하는 'LISST-100(Sequoia Scientific Inc.)'은 부유퇴적물의 광 투과도뿐만 아니라, laser diffraction의 원리를 이용하여 현장 입도를 동시에 측정하고, 입도 구간별 체적농도를 파악할 수 있는 장비이다<sup>9)</sup>. 현장에서 부유입자의 크기를 측정할 수 있는 현장입도분석기(LISST-100)를 이용한다면 해저 바닥 근처에서 부유물질의 운반 과정, 재 부유 또는 집적 작용에 의한 부유입자의 정성 및 정량적인 연구에 도움이 된다. ADCP는 부유체에 대한 도플러 효과를 이용하여 유속을 측정하며 동시에 음향 강도가 측정된다. 일반적으로 음향 강도는 수중에 부유물질농도와 양의 상관성을 보이며, 음향 강도가 높을수록 부유물질농도가 높은 것으로 알려져 있다<sup>10)</sup>. ADCP에 기록되는 후방산란 음향강도는 산란체의 농도뿐만 아니라, 해수에서 음파의 흡수, beam spreading, 부유체의 기하학적(geometric) 특징에 의해 음파 감쇄를 보이며 Holger Klein<sup>11)</sup>는 유속이 증가하는 시기에 echo intensity가 증가하는 것을 해저면에서 부유물질의 재부유 작용에 기인하는 것으로 파악하였다. 광양만은 최근에 와서 넓은 면적의 매립과 인위적인 지형변화로 인해서 1973년 전에 비해서 면적이 약 55  $\text{km}^2$  감소하고, 묘도를 중심으로 북쪽과 남쪽에 좁고 비교적 깊은 수로와 섬진강 삼각주와 남해도 사이에 노량해협을 통해 진주만과 연결된다. 광양만의 주수로는 만 입구에서 남해도의 서쪽 해안을 따라

노량해협으로 이어지는 노량수로와 묘도와 섬진삼각주사이의 묘도 복수로, 묘도와 여수반도사이의 묘도 남수로로서 크게 세 갈래로 발달해 있다. 김과 이<sup>12)</sup>는 2003년 3월 대조기에 한 조석주기 동안이지만, 매 시간 동시에 섬진강과 인접한 광양만의 세 입구를 통한 부유물질의 이동을 파악하여 만 내부보다 만 외부로의 유출량이 더 우세함을 보였고, 2001년 2월에 현장입도분석기를 적용하여 섬진강 하구에서 부유물질의 조성이 섬진강 상류지역보다 복잡하고 형태가 다양한 것을 확인하였다<sup>13)</sup>.

본 연구는 광양만입구와 세 측선(남, 북동과 북서)에서 수층별 또는 조석주기별로 부유물질 농도 분포를 파악하고, 부유입자물질의 음향 및 광학적인 분포 특성을 연구하기 위해서 LISST-100, ADCP와 CTD의 beam transmissometer를 이용하여 부유물질농도, 광 감쇄계수와 음향산란세기를 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구지역

섬진강에서 광양만으로 공급된 담수는 광양만의 다양한 수괴와 혼합된 뒤, 광양만의 유출구인 여수해만 입구를 통해 남해안으로 유출된다<sup>14~17)</sup>. 유로연장 225 km에 유역면적 4,896  $\text{km}^2$ 을 갖고 있는 섬진강은 연간 약  $5.8\text{--}8.7 \times 10^8$  톤의 담수와 함께, 연간  $0.8 \times 10^6$  톤의 부유물질을 광양만으로 공급하는 것으로 알려져 있다. 광양만은 여수반도와 남해도 사이에 위치하고 동서간의 길이가 27 km, 남북의 폭은 15 km인 타원형의 반폐쇄형 내만으로서 중앙에는 묘도가 위치하고, 북서쪽에는 광양 서천·동천으로 담수가 유입되며 만내에는 크고 작은 섬들이 산재하여 있다. 만의 면적은 약 230  $\text{km}^2$ 이며, 수심은 수로 지역을 제외하고는 대부분 5 m 이하로 얕다. 여수해만은 여수반도와 남해도 사이에 위치하며 주요 수로는 남북방향으로 만의 동쪽 부분을 따라 발달하며, 수심은 서쪽 부분은 일반적으로 20 m 이하이며 동쪽부분의 수로는 20 m 이상이다. 여수해만은 섬진강으로부터 광양만을 통해 남해대륙붕 지역으로 이동하는 육성기원 퇴적물과 남해 대륙붕 지역으로부터 조류에 의해 광양만으로 이동하는 세립질 퇴적물의 연결통로에 해당된다. 조류의 흐름은 크게 광양만 지역에서는 묘도를 중심으로 동-서 방향

의 흐름을 보이며, 여수해만에서는 남-북 방향, 그리고 남해대륙붕 지역에서는 북서-남동 방향이 우세하게 작용한다. 광양만의 연평균 기온이 13.7°C이고, 연 강수량은 1,295.7 mm이나, 여름철에 집중적으로 내려 6~8월의 3개월간 강수량이 전체 50~60%를 차지하고 있다.

2.2. 연구방법

광양만 입구(St. S1) 저층 50 cm 상부 수층에 대해서 조석주기 동안 부유입자농도 및 입도를 연속 관측한 결과와 조류변화(창조, 낙조)에 따라 대조기인 2006년 8월 부유물질의 특성을 지역별로 파악하기 위하여 광양만 입구의 세 단면(남쪽, 서쪽 및 동쪽)으로 교환되는 부유물질의 음향 및 광학 특성을 비교하였다(Fig. 1). LISST-100은 총 길이 81 cm, 직경 13 cm, 투과거리 (path length) 5cm로 수중에 부유 상태로 존재하는 다양한 부유입자물질에 대해서 레이저의 beam이 방사(0.05 °)되고, 회절 되어 1.25-250.34 μm의 입경 범위를 갖는 동심원의 센서에서 대수적으로 32 분할하여 입자 크기별로 자동적으로 측정한다<sup>9,18)</sup>. 일반적으로, 670 nm 광원에서의 투과도 (Beam transmission)는 용존 물질이나, 물 자체에 의해서는 영향을 거의 받지 않으므로, 부유물질에 의한 감쇠만을 반영한다고 볼 수 있다. LISST-100에서 부유물질의 광 감쇠계수는 광원에서 발사되는 레이저가 해수(매질)를 통과하는 투과거리에 반비례하고, 부유물질을 통과한 뒤, 동심원의 센서에 도

달하는 투과도에 비례하며, 매질의 특성에 따라서 광 감쇠계수가 다르게 나타난다. 매질의 특성은 매질의 농도, 입도, 분산, 유기물 함량에 따라서 달라지기 때문에, 매질의 농도와 광 감쇠계수의 상관분석(regression correlation)으로 매질의 광학적인 굴절지수와 분포특성을 이해할 수 있다<sup>19)</sup>. 부유물질의 크기에 따라서 32개 입도구간별 체적농도(VC, volume concentration, μL/L)와 전체 부유물질의 투과도 (transmission)를 이용하여 부유물질의 평균입도(Md, mean diameter, μm), 분급도(Sd, sorting, μm)와 광 감쇠계수(c(670), beam attenuation coefficient, m<sup>-1</sup>)는 아래의 계산식으로 처리하였다(LISST-100 manual).

$$S(\text{평균입도}) = \frac{Fi \times Si}{100}, \quad sdev(\text{표준편차}) = \frac{\sqrt{Fi \times (Si - S)^2}}{100}$$

(Fi = Vi×100/Vt : Vi 입자 체적 농도, Vt 구간별 체적 농도 합, Si 구간별 중앙값)

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

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

(I(0)는 광원의 광량, I(r)은 광원에서 r m 떨어진 receiver에 도달한 광량)

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

광양만 입구의 세 단면에서 최강 창조류와 최강 낙조류의 3시간 동안 각각 2회씩 수직단면 관측을 실시하였다. 선박에서는 ADCP를 이용하여 유속과 음향강도를 조사하였고, 동시에 CTD를 이용하여 각 수층에서 수온, 염분과 수심을 측정하였다. CTD에 연결한 광 전도측정기 (beam transmissometer)는 해저면 근처까지 직접 내린 다음에 각 수층별로 관측하였다.

만약 수심 전체에 음향 감쇠 계수가 일정하다고 가정하면 ADCP 유속계에서 음파의 진행에 따른 투과 손실은  $TL = 20 \log 10R + 2\alpha R$

( $20 \log R$  = 기학적인 확장에 의한 손실,  $2\alpha R$  = 감쇠에 의한 손실,  $\alpha$  = 물과 부유물질에 의한 감쇠 계수, 본 연구에서는  $\alpha = 0.069$ 로 계산하였다<sup>20)</sup>.  $R$  = ADCP transducer로부터 관측되는 층의 거리)이고,  $EI = IKC + TL$  ( $EI$  = echo intensity (dB),  $I$  = echo intensity (count unit)로 계산된다.

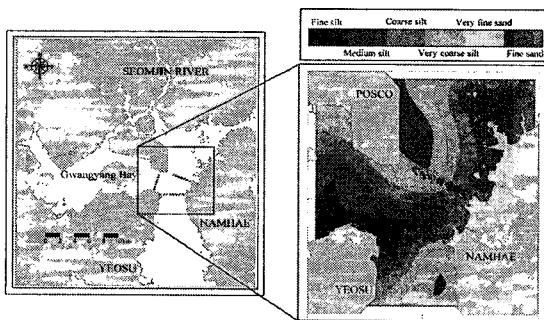


Fig. 1. Map showing study area in situ suspended particulate material at the bottom layer of S1 of Gwangyang bay, during tide cycle and track section of ADCP. Distribution of mean size in the surface sediment around three track section.

부유퇴적물농도를 분석하기 위해서 정점별로 표층, 중층과 저층에서 해수 1리터씩 채수하여 실험실에서 부유퇴적물농도를 분석하였다. 부유물질농도는 해수를 충분히 혼합 시킨 후 정확히 1 L를 취하여 미리 무게를 측정한 여과지(직경 47 mm, 공경  $0.45 \mu\text{m}$ , Millipore filter paper HA type)를 진공여과 방식으로 여과하였으며, 여과가 끝날 시점에 증류수로 3회 이상 세척하여 여과지 위에 남은 염분을 제거하였다.

### 3. 결과 및 고찰

연구지역 주변 표층퇴적물의 평균입도분포는 동서방향으로 세립한 퇴적물이 연결되고, 섬진강하구와 남해도 서쪽해역에는 조립한 퇴적물의 분포를 보였다. 광양만의 중앙 입구 정점(St. S1)은 서측의 여수와 동측의 남해도 사이에 A 단면의 중앙부 정점으로 동측과 서측에 수심이 깊은 지형이 발달되어 있다(Fig. 1 및 Fig. 2).

광양만 중앙 입구정점(St. S1)의 저층에서 유속의 수평 성분인  $u$ (동서)와  $v$ (남북) 유속의 분포를 분산도를 그려 비교한 결과(Fig. 2), 13시간 동안 낙조류는 남서 방향의 유속이 강했지만, 창조류는 북서 방향의 유속이 강했다. 남북방향의 수로가 발달되어 있는 해역이지만, 서쪽과 동쪽으로 연결된 수로와 인접한 지역이기 때문에  $u$  성분 유속도 다소 강하고, St. S1 정점의 북서류와 남서류가 우세한 것으로 나타났다. 조위의 변동 동안에 조류는 반 시계 방향의 순환 양상을 보였으며, 낙조류와 창조류가 시작되는 시기에 조류의 방향은 남남서 방향과 북북서 방향으로 창조류가 낙조류보다 더 강함을 보였다.

동일한 시간에 광양만 중앙 입구정점(St. S1)의 저층 부유입자의 크기별(sand, mud, silt, clay) 농도 변화, 부유입자의 조직(평균입도, 분급도), 부유입자의 광 감쇄계수와 음향산란강도를 비교하였다(Fig. 3). 낙조와 창조에 부유입자의 평균입도가 세립해지는 변동을 보이고, 창조보다 낙조에 더 세립한 부유입자가 우세하게 관측되었다. 또한, 고조와 저조시에는 다시 평균입도가 조립해짐을 보였다. 이는 조류가 강할수록 바다를 통한 재부유작용과 인접한 해역에서 세립한 부유입자의 공급이 증가된 것으로 보이며, 부유입자의 재 부유 작용에 의해서는 평균

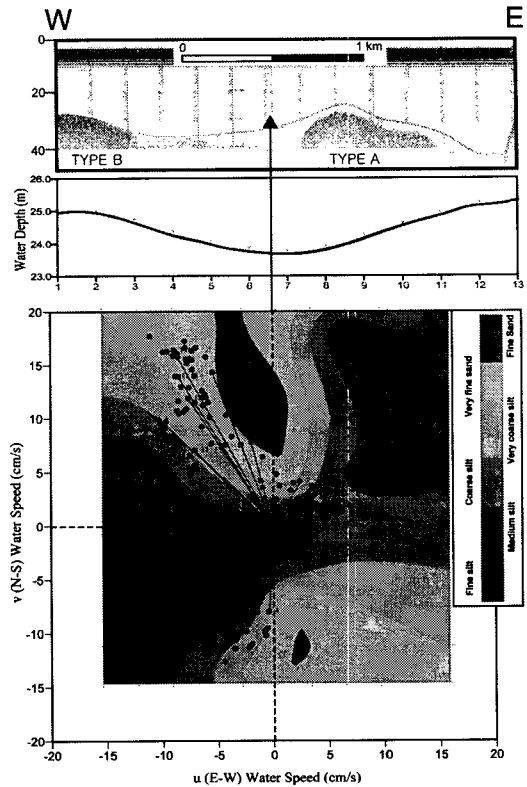


Fig. 2. Scattering diagram of  $u$ (E-W) water speed and  $v$ (N-S) water speed in the Gwangyang bay mouth(St. S1), water depth and mean grain size description of surface sediment.

입도가 작아지는 변화를 보이나, 저조와 고조 부근에서 조류가 약해지면서 부유입자가 집적되어 평균입도가 증가된 것으로 관측되었다. 현장 부유입자의 분급이 양호해지고, 평균크기가 작아지는 것은 분산이 양호한 퇴적물이 공급이 증가되었기 때문으로 보인다. 부유입자의 조성과 조직 변화에 따라서 광 감쇄계수의 변화를 보였고, 한 개의 층에서만 유속을 측정하는 ADV 유속계의 음향강도에서도 광 감쇄계수의 변화와 유사한 양상이 관측되었다. 부유입자의 광 감쇄 또는 투과세기는 조립한 부유입자(집적 작용)보다 세립한 부유입자(재 부유 작용)에서 증가되었다. 조석주기 동안에 ADV 유속계의  $w$  성분(up-down) 유속은 저층에서 저조시에 약한 침강류가 관측되었고, 다른 시간에는 상승류가 우세하였다(Fig. 4). 낙조시와 창조시에 상승 속도가 비슷한 것으로 관측되었으나, 창조시가 낙조시보다

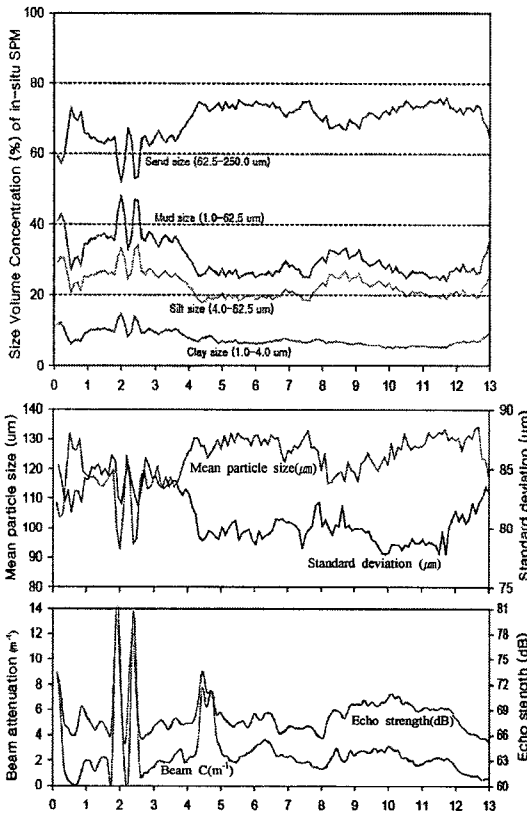


Fig. 3. Time series variation of sand, mud, silt, clay size volume concentration, mean size, standard deviation Echo strength and beam coefficient of in situ suspended particulate material in the Gwangyang bay mouth(St. S1).

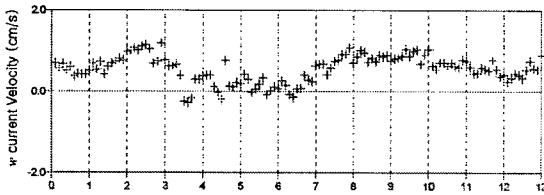


Fig. 4. Time series of w (Up-Down) water speed (cm/s) in the Gwangyang bay mouth(st. S1).

더 지속적인 것으로 나타났다.

6월에 광양만의 중앙 입구에서 ADV와 LISST-100를 저층에 계류한 다음, 연속적으로 부유입자를 관측한 결과, 저층퇴적물의 재부유 작용과 광양만의 세립질 퇴적물의 공급이 복합적으로 작용하며 창조류에 조류의 상승 속도가 증가되었고 더 지속되었

다. 낙조시 관측 지점에서 북측의 조립질 퇴적물 유입보다 남해도의 북서측에 분포하는 세립한 퇴적물 유입과 창조시 관측 지점에서 남측의 조립질 퇴적물의 유입을 보였다. 광양만과 여수해만으로 교환되는 저층 부유입자는 낙조시 서측으로 세립질을 공급하고 창조시 동측으로 다소 조립한 퇴적물 공급이 복합적으로 이루어진 결과로 판단되었다.

광양만 입구의 세 단면에서 2006년 8월 최강 창조류와 최강 낙조류의 3시간 동안 각각 2회씩 CTD와 ADCP를 이용하여 수온, 염분 및 유속관측을 실시한 결과(Fig. 5), 낙조시는 세 단면에서 모두 광양만에서 여수해만으로 유출이 관측되었다. Line A에서는 전반적으로 동쪽에 비해서 서쪽의 유속이 강하게 나타났다. 염분의 분포특징을 보면 유속이 강한 지역이 염분도 낮게 나타났다. 낮은 염분분포를 볼 때, 낙조시 Line A에서 서쪽의 유속이 강하며 Line B의 서쪽 정점과 Line C의 북동쪽 정점을 통해서 저염의 수괴가 낙조류를 따라 내려오면서 Line A의 서쪽으로 강하게 흐르는 것으로 해석되었다. Line B, C를 보면 유속구조와 염분이 묘도 쪽에 비하여 Line B의 관측 자료와 유사하였다.

창조시 Line C의 정점 C1, C2와 Line B의 정점 B7의 정점은 여수해만에서 광양만 서측과 동측연안을 따라서 유출되는 것으로 관측되고, Line A의 전 정점은 광양만으로 유입되고, Line B, C의 다른 정점에서도 광양만으로 유입되었다. 창조시는 낙조시와는 반대로 Line A의 양쪽으로 유속이 강한 것으로 파악되었다. 이는 Line B, C의 구조를 보면 Line A의 동쪽으로 올라오는 해류가 Line B의 해안을 따라 흐르며, Line C의 경우에는 북쪽이 강한 것으로 파악되었다. 창조시 Line B, C의 층별 유속은 표층이 빠르고 저층이 느린 유속 분포를 보이고, Line C는 C6 정점의 표층이 빠르고, Line B는 B4 정점의 표층이 빠른 유속을 보였다. Line A에서는 A2와 A3, A6 정점의 중층 또는 저층에서 유속이 강하고, Line B, C보다 수층별 유속차이가 크지 않았다. 창조시는 낙조시보다 Line A의 양쪽 해저 수로의 중층과 저층에서 유속이 강한 것으로 파악되었다.

A 단면의 평균 유속(Fig. 6A, 6C)과 부유물질의 평균 이동률(Fig. 6B, 6D)을 U(동서)-V(남북) 성분으로 나누어 각각 분포도를 이용해서 비교하였다. U

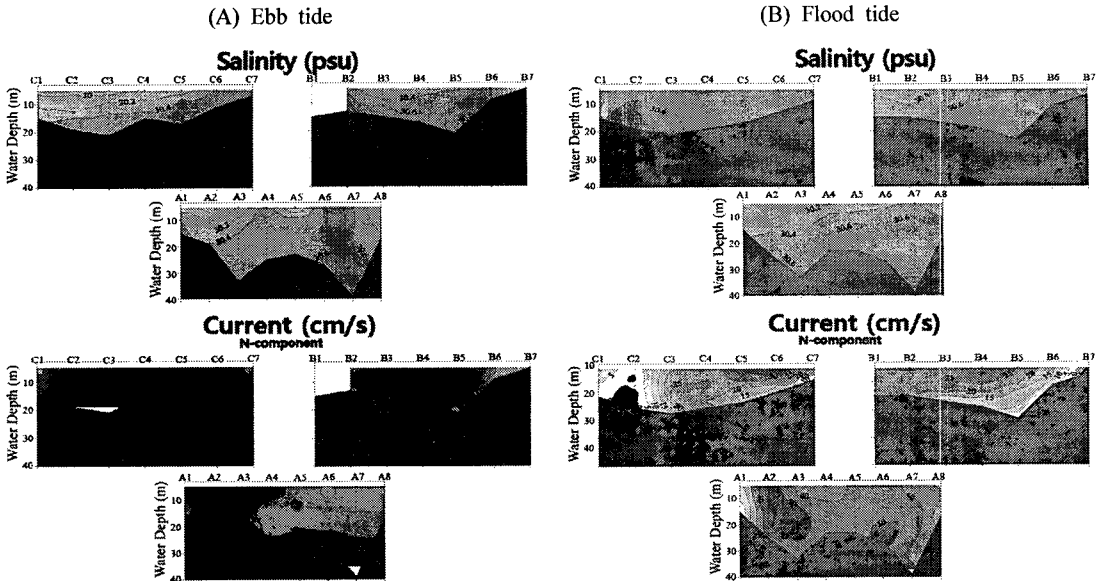


Fig. 5. Salinity(psu) and current velocity(cm/s) distribution of Ebb tide(A) and Flood tide(B) at three lines (A, B and C) in the Gwangyang bay mouth.

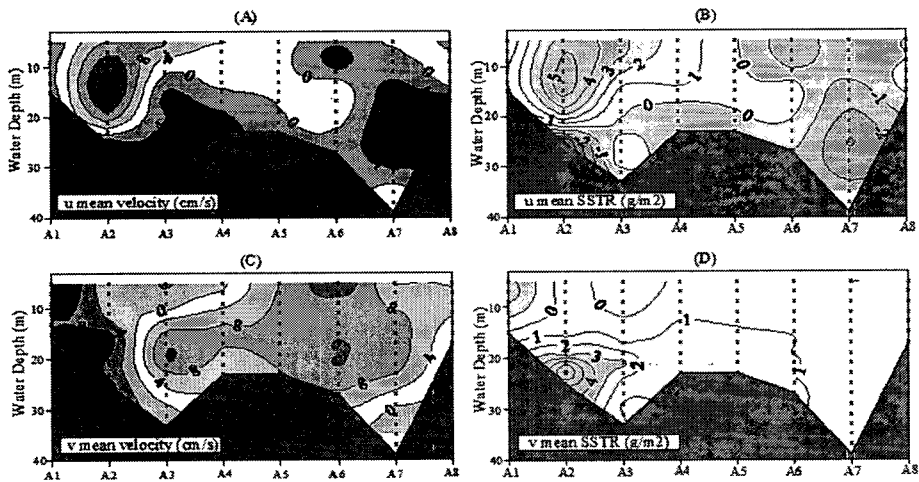


Fig. 6. U-V component mean current velocity and suspended sediment transport rate in the Gwangyang bay mouth (Line A).

성분 평균 유속과 부유물질의 이동을 분포도에서 (+)가 동향류이고, (-)가 서향류이며, V 성분에서는 (+)가 북향류이고, (-)가 남향류를 나타낸다(Fig. 6A와 Fig. 6C). Line A의 유속분포도에서 Line의 서측해역은 남동류의 흐름이 우세하였고, 중앙은 북북동류 흐름을 보이고, 동측해역은 북서류의 흐름이 우세하였다. 남북 성분에서 서측의 낙조류보다 동

측의 창조류가 넓게 분포함을 볼 수 있다. 부유물질의 평균이동률은 Line A의 서측해역에서 상부수층과 하부수층의 이동률은 동측과 다른 이동률을 보였다(Fig. 6B와 Fig. 6D). 전반적으로 Line A의 동측을 따라서 교환되는 부유물질의 이동률보다 서측해역을 통해서 교환되는 부유물질의 이동률이 더 빠르며, Line A의 서측해역 상부수층으로 교환되는

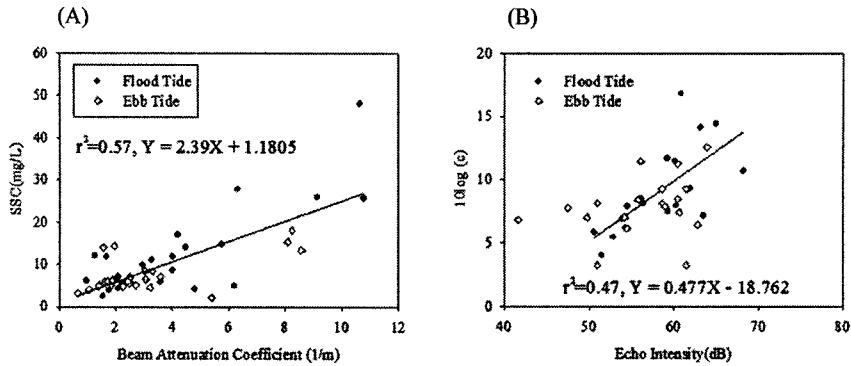


Fig. 7. Correlation between beam attenuation coefficient(A), echo intensity(B) and suspended particulate matter (mg/L) in the Gwangyang Bay Mouth.

부유물질은 남동방향이 우세하였고, 하부수층으로 교환되는 부유물질은 북서방향으로 이동되는 이층 구조가 분석되었다. 또한, Line A의 동측해역은 남서방향이 우세하나, 서측해역의 이동물보다 약한 이동을 보였다.

광양만 입구의 세 단면에서 2006년 8월 최강 조류와 최강 낙조류의 3시간 동안 각각 2회씩 ADCP를 이용하여 유속관측을 실시하면서 CTD와 연결한 광 전도측정기(beam transmissometer)를 수직 프로파일링하고, 동시에 3개 수층에서 채수한 시료를 실험실에서 부유물질농도를 분석하여 각 관측 기기의 값 사이에 상관관계를 비교하였다(Fig. 7). 부유물질농도는 ADCP의 음향세기(Echo Intensity) 보다 CTD에 연결한 광 전도측정기의 광 감쇄계수(Beam Attenuation Coefficient) 사이에 상관관계가 더 양호하게 나타났다. 이는 선박에서 각 수층별로 음파를 발사하여 후방 산란되는 신호를 측정하는 ADCP의 주파수에 따른 음향세기는 주변 환경 조건에 따른 변동을 정확하게 파악하는데 다소 어려움이 있으며, 광양만의 중앙 입구에서 저층 부유입자는 조류 변화에 따라서 퇴적물이 유입되는 창조시에 조립한 부유입자농도가 증가되며, 퇴적물이 유출되는 낙조시는 세립한 부유입자 농도가 증가하였다. 지역적으로서 광양만의 서측해역이 동측해역보다 세립한 퇴적물이 주로 분포하며 저층 부유물질의 조성과 조직이 지역 또는 조류 변화에 따라 다양하게 나타나는 경우에는 ADCP의 음향세기와 CTD와 연결한 광 전도측정기(beam transmissometer)를

직접 내려서 상호 보완 관측하는 것이 더 좋을 것으로 판단된다.

광양만 세 단면의 가장 남쪽인 Line A의 전 수층을 통해 교환되는 부유물질 이동물을 구하기 위해서, 조류변화(창조, 낙조)에 따라서 Line A의 서측, 중앙, 동측 해역별로 측정된 부유물질의 음향세기(Echo Intensity) 및 광 투과상수(beam coefficient)를 부유물질농도 자료로 보정하여 optical(beam transmissometer)과 acoustic(ADCP의 Echo Intensity) 특성으로 구한 부유물질 순간이동률 차를 계산하였다(Fig. 8). ADCP의 Echo Intensity 보다 Beam transmission을 농도로 보정한 값이 더 높은 것은 기기가 측정하려는 해수와 물질 사이의 공극 또는, 부유물에 대한 반응 특성 차이로 해석되었다. ADCP는 부유체의 반사 또는 산란되는 속도를 이용하여 물질

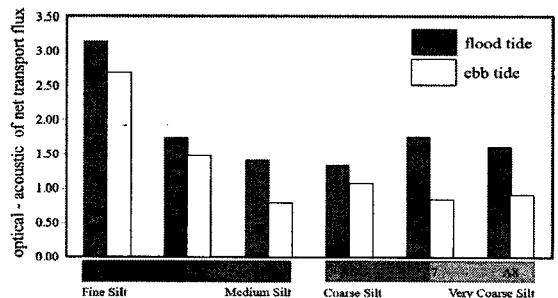


Fig. 8. The mean vertical difference to optical and acoustic of net transport flux at bottom sediment grain size, the South tracking line of the Gwangyang Bay Mouth, during the flood(red) and ebb(blue) tide.

사이의 공극속도를 도플러 효과로 측정하기 위한 장비이기 때문에, 부유체의 특성을 파악하기 보다는 해수의 흐름을 파악하는 점에서 더 유리한 것으로 생각된다. 광 전도측정기는 장비를 해수 중에 직접 내려 투과거리 5 cm 범위에 660 nm 광원을 발사하여 해수 속에 존재하는 부유물질의 투과되는 양을 측정하기 때문에 부유물질의 조성과 조직 특성을 파악하는 데 편리한 장비이다. 본 결과에서 ADCP의 음향세기로 보정한 부유물질 이동률과 Beam transmission으로 보정한 부유물질 이동률의 차이가 조류가 빠르고 부유물질의 조직과 조성이 복잡한 Line A의 서측해역에서 크게 나타난 것으로 본다면, 이는 해수와 부유물질 사이에서 음파와 광원에 의한 반사와 투과 반응속도가 달라졌기 때문으로 해석되었다. 결과적으로 해수 유동 또는 해수 속의 부유물질 조성과 조직 변화가 복잡 다양한 해역의 경우에, 해양 관측 장비를 이용하여 서로 다른 해역 간에 교환되는 부유물질 수송량을 정량적으로 결정하기 위해서는 각 장비의 특성에 맞는 조사 해역 결정과 기기 사이의 상호 연관성을 고려하여 체계적인 분석이 이루어져야 될 것이다. 또한 조석 차이를 보정하기 위해서는 최소한 조석주기에 따라서 반복적인 조사가 이루어져야 될 것으로 생각된다.

본 연구에서 창조와 낙조에 한 차례씩 이루어진 결과로 광양만의 부유물질 수지와 교환을 결정하기에는 다소 어려움이 있으나, 세 단면 사이에 부유물질 이동률을 정점별로 비교하는 것은 가능한 것으로 보인다. 광양만입구의 세 단면에서 2006년 8월에 광양만의 동측(Line B)과 서측(Line C)의 부유물질 이동률보다 광양만의 남측(Line A)을 통해서 교환되는 부유물질 이동률이 가장 우세하였다. 또한, 광양만에서 여수해만으로 유출되는 양보다 광양만으로 유입이 더 우세하였으며, 광양만과 여수해만의 부유물질 이동은 광양만의 서측(Line C)으로 이동이 동측(Line B)으로 이동보다 3배 이상 더 빠른 것으로 분석되었다. 창조와 낙조시 한 차례씩 이루어진 결과이지만, 각 시기별 유속과 부유물질 농도로 구한 평균 유속과 부유물질 이동률은 북서 및 남동방향 흐름을 통한 부유물질 이동이 우세한 것으로 분석되었다. 또한, 상부 수층은 남동방향으로 유출이 우세하고 하부 수층은 북서방향으로 유입되는 것

로 파악되었다.

#### 4. 결 론

광양만입구의 중앙부 해역에서 저층유속과 저층의 현장부유입자물질을 관측하고, 광양만입구 세 단면(A, B, C)에서 ADCP와 CTD를 이용하여 유속, 수온 및 염분과 음향세기(Echo Intensity)를 측정하였고, CTD의 beam transmissometer를 이용하여 광투과도를 측정하고, 측정 동시에 해수를 채수한 뒤, 실험실에서 부유물질농도를 분석하였다.

광양만입구 저층 바닥근처에서 LISST-100을 이용하여 부유입자의 입도특성과 ADV 유속계의 유속 성분별로 비교한 결과, 저층 유속은 북서류와 남서류가 강하였고 조석주기에 따라 반 시계 방향의 순환 양상을 보였다. 낙조시보다 창조시에 상승류가 더 지속되나, 저조와 고조 부근은 상승류가 약하게 관측되었다. 창조보다 낙조에 부유입자의 평균입도가 더 세립하고, 상승류가 증가되고, 평균입도가 작아지면서 분산은 양호하였다. 이는 상승류가 약해지고 부유입자가 집적되면서 조립한 특성을 보이지만, 기본적으로 주변해역 퇴적물의 공급 가능성을 반영한 것이다. LISST-100의 광 감쇄계수와 ADV의 음향반사세기가 부유입자의 크기가 작고 분산이 양호할수록 관측기기의 투과와 반사강도가 증가되었다.

광양만입구의 세 단면에서 2006년 8월에 광양만의 동측(Line B)과 서측(Line C)의 부유물질 이동률보다 광양만의 남측(Line A)을 통해서 교환되는 부유물질 이동률이 가장 우세하였다. 광양만과 여수해만의 부유물질 이동은 광양만의 서측(Line C)으로 이동이 동측(Line B)으로 이동보다 3배 이상 더 빠른 것으로 분석되었다. 각 시기별 유속과 부유물질 농도로 구한 평균 유속과 부유물질 이동률은 북서 및 남동방향 흐름을 통한 부유물질 이동이 우세하였고, Line A의 서측해역 상부수층으로 교환되는 부유물질은 남동방향이 우세하였고, 하부수층으로 교환되는 부유물질은 북서방향으로 이동되는 이층 순환구조가 분석되었다.

해양 관측 장비를 이용하여 서로 다른 해역 간에 교환되는 부유물질 수송을 정량적으로 결정하기 위해서는 ADCP의 음향세기로 보정한 부유물질 이동



보다는 Beam transmission으로 보정한 부유물질 이동을 분석하는 것이 필요할 것으로 보인다. 이는 조류가 빠를수록 부유물질의 조직과 조성이 복잡해지고 음파와 광원에 의한 반사와 투과 반응속도가 증가되기 때문으로 해석되었다. 결과적으로 해수 유동 또는 해수 속의 부유물질 조성과 조직 변화가 복잡 다양한 해역의 경우에는 각 장비의 특성에 맞는 조사 해역 결정과 기기 사이의 상호 연관성을 고려하여 체계적인 분석과 반복적인 조사가 이루어져야 될 것으로 판단된다.

### 감사의 글

이 논문은 2004학년도 부경대학교 동원 학술연구재단의 지원을 받아 수행된 결과로서 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) Pak H. and J. R. V. Zaneveld, 1977, Bottom nepheloid layers and bottom mixed layers observed on the continental shelf off Oregon, *J. of Geophys. Res.*, 82, 3921-3931.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) Baker E. T. and J. W. Lavelle, 1984, The effect of particle size on the light attenuation coefficient of natural suspension, *Journal of Geophysical Research* 89, 8197-8203.
- 8) Spinrad R. W., 1986, A calibration diagram of specific beam attenuation, *J. of Geophys. Res.*, 91, 7761-7764.
- 9) Agrawal Y. C. and H. C. Pottsmith, 2000, Instruments for particle size and settling velocity observations in sediment transport, *Mar. Geol.*, 168, 89-114.
- 10) Thevenot M. M. and N. C. Kraus, 1993, Comparison of acoustical and optical measurements of suspended material in the Chesapeake Estuary, *J. Mar. Environ. Eng.*, 1, 65-79.
- 11) Holger K., 2003, Investigating sediment re-mobilisation due to wave action by means of ADCP echo intensity data field data from the Tromper Wiek, western Baltic Sea, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 58, 467-474.
- 12) 김석윤, 이병관, 2004, 2003년 3월 대조기 광양만 부유퇴적물의 유·출입에 관한 연구, *한국수산학회지*, 37(6), 511-516.
- 13) 김석윤, 이병관, 2004, 현장입도분석기를 이용한 섬진강하구 부유퇴적물의 특성 연구, *한국수산학회지*, 37(4), 323-329.
- 14) 박용안, 1984, 광양만의 퇴적환경에 관한 연구, *한국해양학회지*, 19(1), 82-88.
- 15) 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.
- 16) 김신경, 김대철, 이희일, 신임철, 1996, 광양만 동부해역의 퇴적과정 변화와 저서성 유공충 군집분포, *한국해양학회지*, 바다 1(1), 32-45.
- 17) 이연규, 황진연, 정규귀, 최정민, 1996, 광양만 및 여수해만 퇴적환경 변화 - 퇴적물 특성과 점토광물 분포를 중심으로, *한국지구과학회지*, 17(5), 407-416.
- 18) Agrawal Y. C. and H. C. Pottsmith, 1994, Laser diffraction particle sizing in STRESS, *Continental Shelf Research*, 14, 1101-1121.
- 19) Kim S. Y., 1994, Use of Beam Transmissometer as indirect measure of suspended sediment concentration on the estuarine environment: Application and problems, *Bull Korean Fish. Soc.*, 27, 771-781.
- 20) Denines K. K., 1999, Backscatter estimation using broadband acoustic Doppler current profilers, *RD Instruments*, San Diego, 249-253.