

## ADP를 이용한 부유사 이동량의 산출 Calculation of Suspended Sediment Flux from ADP

오병철\* · 추용식\*\* · 정병순\*\*\*

Byung-Cheol Oh\*, Yong Shik Chu\*\* and Byung Soon Jung\*\*\*

**要 旨** : ADP는 음향의 Doppler 효과를 이용하여 층별 유속과 유향을 측정하는 장비이며, 최근에는 반사음향의 강도로부터 부유 퇴적물의 농도측정이 가능하다고 제기되고 있다. 본 연구에서는 염산 인근의 한 정점에 ADP 기기를 설치하고 자료를 수집하였다. 부유사 농도를 분석하기 위하여 해수 분석을 통한 음향계수를 정한 후 보정된 음향강도를 이용하여 부유사 농도를 구하였다. 관측된 부유사 농도분포 식은 해석해와 비교하였으며, 농도 변화의 경향에 대해서는 비교적 양호한 결과를 나타냈다. 또한, 관측기간 동안의 부유물질의 이동량에 대한 정량적 결과를 얻었으며 ADP를 활용한 연직방향의 부유입자 농도변화를 관측할 수 있음을 보였다.

**핵심용어** : 음향도플러유속계, 부유사, 음향계수

**Abstract** □ The ADP is an advanced piece of oceanographic equipment that measures water speed and direction profiles from the acoustic Doppler principle. In recent years, the strength of the acoustic backscatter obtained from ADP has been used to measure vertically suspended sediment concentration(SSC) profiles. In this study, an ADP was installed in coastal waters near Yumsan, on the west coast of Korea, and flow and sediment data were gathered simultaneously. SSC concentrations were calculated from the acoustic backscatter strengths adjusted by using calibrated acoustic coefficients. The observed SSC profiles were compared with analytical solutions and showed good agreement. Simultaneously, the suspended material fluxes were analyzed in detail. ADP was very useful for measuring the vertically distributed suspended sediment concentrations and flow velocity profiles.

**Keywords** : ADP, suspended sediment, acoustic coefficient

### 1. 서 론

기존에는 부유 퇴적물의 이동량을 조사·연구하기 위하여 장시간에 걸쳐 한 정점에서 부유사 관측 농도 측정을 위한 해수 채취와 유속 관측이 각각 실시되었다. 그러나 연직방향의 유속분포 관측에 주로 활용되는 ADP (Acoustic Doppler Profiler) 기기를 사용하면 훨씬 수월하게 장기간에 걸친 부유사 이동양상을 파악할 수 있다. 최근에는 ADP가 유속 관측뿐만 아니라 부유 퇴적물의 연구에도 많이 활용되고 있는 추세이다(Tubman and Corson,

2000; 해양수산부 2001).

ADP는 수중에서 음파를 발사하여 물과 함께 이동하는 부유입자에 의하여 반사되는 음향의 Doppler 효과를 이용하여 층별 유속과 유향을 측정할 수 있는 장비이다. Doppler 효과에 의한 반사음향의 주파수 천이는 부유입자의 속도에 따라 달라지므로 이를 이용하여 해수의 흐름을 관측할 수 있다. 한편, 수중에 부유입자의 농도가 높으면 수신기에 도달하는 반사음향의 강도가 강해지므로 이 반사음향의 강도로부터 부유 퇴적물의 농도를 측정할 수 있다. 따라서 ADP에 수신되는 음향의 Doppler 천이와 강

\*한국해양연구원 연안·항만공학본부(Coastal and Harbor Engineering Research Center, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea. bcch@kordi.re.kr)

\*\*한국해양연구원 해양환경·기후연구본부(Marine Environment and Climate Change Laboratory, Korea Ocean Research and Development Institute)

\*\*\*국민대학교 건설시스템공학부(School of Civil and Environmental Engineering, Kookmin University)

도를 이용하여 유속과 유향의 연직분포뿐만 아니라 부유사 농도의 연직분포의 시간적 변동에 대한 관측이 가능해지므로 시간에 따른 부유 퇴적물의 플럭스 계산도 가능해진다.

반사음향의 강도는 주파수, 송신 출력, 수신 감도 등의 기계에 의한 영향과 부유입자의 형태, 크기, 농도 등의 수중상태에 의하여 달라진다(Urick, 1983; Deines, 1999). 이중 기계 자체에 의한 영향의 경우는 절대 보정을 함으로 무시할 수 있으며, 부유 퇴적물 측정과 관련 있는 요소는 부유입자의 형태, 크기 등이다. 본 연구의 대상해역인 염산부근 해역에서의 2002년 2월에 측정한 부유퇴적물의 입도등급별 구성에 의하면 4~16  $\mu\text{m}$  범위의 극세립-세립실트 값이 47%, 16~64  $\mu\text{m}$  범위의 중세립-세립실트의 함량이 32% 이므로 부유입자의 크기 변화가 적다고 가정하고 적용하였다(한국해양연구원, 2002). 또한, 같은 시기에 표층 퇴적물의 입도 분포를 조사한 결과 모래 15.1%, 실트 61.7%, 점토 19.4%로 구성되어 있으며, Folk (1968)의 삼각다이아그램 분류법에 따르면 약역사니질((g)sM, slightly gravelly sandy Mud)로 분류된다(한국해양연구원, 2002).

본 연구에서는 서해안의 염산부근 해역에서 현장관측한 자료를 이용하여 반사음향 강도에 필요한 음향계수를 정하고, 이를 이용하여 얻은 부유사 농도치와 기존의 연구에 의한 연직방향의 부유사 농도식과 비교하며, 조석변화에 따른 부유사 이동량에 대한 검토를 하였다.

## 2. 음향계수( $K$ 와 $\beta$ ) 해석

ADP에서 방사되는 음파신호는 부유 퇴적물이나 해수면(해저면 계류인 경우) 또는 해저면(선박에 부착한 경우)에 산란 또는 반사되어 일부가 수신기로 돌아온다. 반사음향이 생기는 원인은 수중에 존재하는 부유 퇴적물이나 플랑크톤 등이 음파에 대한 반사체 역할을 하기 때문이다. 음파의 산란강도는 빔의 퍼짐(*beam spreading*), 해수의 흡수(*water absorption*), 입자에 의한 감쇠(*particle attenuation*), 송신 출력 및 산란계수 등 여러 가지 요인에 의하여 결정된다.

부유사의 단위체적당 반사되어오는 체(적)산란강도(*volume backscattering strength*,  $S_V$ , dB)와 부유 퇴적물의 농도는 다음과 같은 관계를 갖는 것으로 알려져 있다(Thevenot and Kraus, 1993).

$$S_V = 10 \log_{10} \left( \sum_i n_i \sigma_i \right) + 10 \log_{10} \frac{C}{C_0} \quad (1)$$

여기서  $n_i$ 는 부유입자의 입도분포에서 계급  $i$ 에 해당하는 부유입자의 수,  $\sigma_i$ 는 계급  $i$ 의 단일 입자의 산란단면적,  $C$ 는 부유 퇴적물의 농도( $\text{mg/l}$ ) 그리고  $C_0$ 는 국지적으로 결정되는 상수이다. 일반적으로 부유 퇴적물의 입자 크기의 변화 폭은 크지 않으므로 위의 식에서  $n_i$ 와  $\sigma_i$ 는 상수로 취급할 수 있다.

산란강도와 체(적)산란강도 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다(Gordon, 1996).

$$E_{I1} = \frac{1}{\beta} (S_L + S_V) - E_{I2} \quad (2)$$

$$E_I = E_{I1} + E_{I2} \quad (3)$$

여기서  $E_{I1}$ 은 ADP로부터 얻어지는 음파 산란신호 강도(*counts*),  $E_{I2}$ 는 음파의 퍼짐과 해수의 흡수 등에 의한 음파강도의 손실,  $\beta$ 는 부유 퇴적물의 입자 크기와 관련된 상수,  $S_L$ 은 음파 송신강도(dB)이다. 특히 식 (3)의  $E_I$ 를 거리 보정된 음향강도(*range normalized echo intensity*)라고 부른다. 식 (1), 식 (2)와 식 (3)을 결합하여 정리하면 다음의 식 (4)와 식 (5)를 얻을 수 있다.

$$\log_{10} C = K + 0.1 \beta E_I \quad (4)$$

$$K = \log_{10} \left( \frac{C_0}{\sum_i n_i \sigma_i} \right) - 0.1 S_L \quad (5)$$

또한, 앞의 식 (3)의 거리 보정된 음향강도( $E_I$ )는 다음의 식으로도 표현된다(Nortek AS, 2001).

$$E_I = k E_A + 20 \log_{10} R + 2 \alpha_w R \quad (6)$$

여기서  $k=0.43$  dB/count,  $E_A$ 는 ADP로부터 읽은 산란강도(*counts*),  $R$ 은 음파 빔의 거리(*range*),  $\alpha_w$ 는 물의 흡수계수(dB/m)이다. 본 연구에서 사용한 ADP의 경우에는 음원과 농도 측정위치(*cell*)와의 거리( $R$ )를 다음 식으로 계산한다(Sontek, 2000).

$$R = \frac{H_0 - H}{\cos 25^\circ} \quad (7)$$

여기서  $H_0$ 는 수면과 음원의 연직거리,  $H$ 는 수면으로부터 농도 관측점까지의 연직거리를 의미한다. 그러므로 해수를 채수하여 측정한 부유 퇴적물 농도를 이용하여 식 (4), 식 (6) 및 식 (7)으로부터 음향계수  $K$ 와  $\beta$ 를 최소승법으로 얻을 수 있다.

물의 음파 흡수계수는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 주파

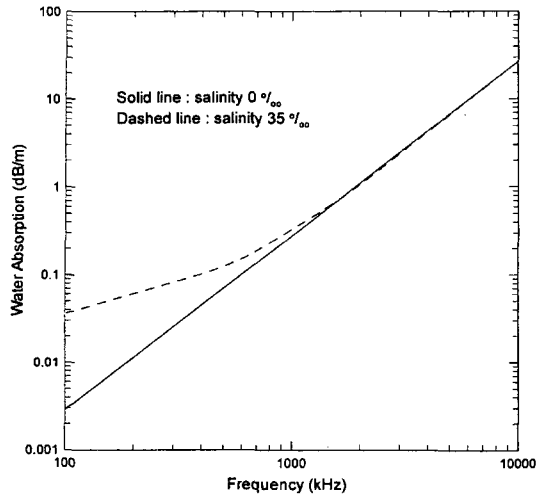


Fig. 1. Acoustic absorption coefficients by water(Nortek AS, 2001).

수가 증가함에 따라 커지며 해수의 염분도가 클수록 커지는 특징이 있다. 본 연구에서 이용한 ADP는 음원의 주

파수가 1 MHz이며, 관측지점의 염분은 2002년 1월 15일 측정 결과 32.0‰, 2002년 2월 20일~2월 25일의 연속 관측결과는 32.1~32.0‰ 이므로 32.0‰을 적용하여 이에 해당하는 해수의 흡수계수는  $\alpha_w=0.32$  dB/m이므로 이를 사용하였다(한국해양연구원, 2002).

### 3. 현장관측 및 자료해석

연구대상 해역은 Fig. 2의 염산 인근에서 약 7 km 떨어진 수심 8.5 m 지점(G3 정점)으로 Sontek사의 ADP를 자체 제작한 설치대를 이용하여 해저면에 계류하여 8일간(2002. 1. 26. 13:00~2002. 2. 2. 12:00) 10분 간격으로 자료를 수집하였다. ADP 수신기의 위치는 해저면으로부터 0.5 m이며 연직방향의 관측간격은 0.5 m로 설정하였으며 ADP가 유속을 측정할 수 없는 구간(blank distance)은 0.5 m이다. 그러므로 해저면 상 1.5 m 지점이 관측의 시작점이 된다. 본 연구에 사용한 ADP(센서주파수 1 MHz)의 제원은 Table 1과 같다.

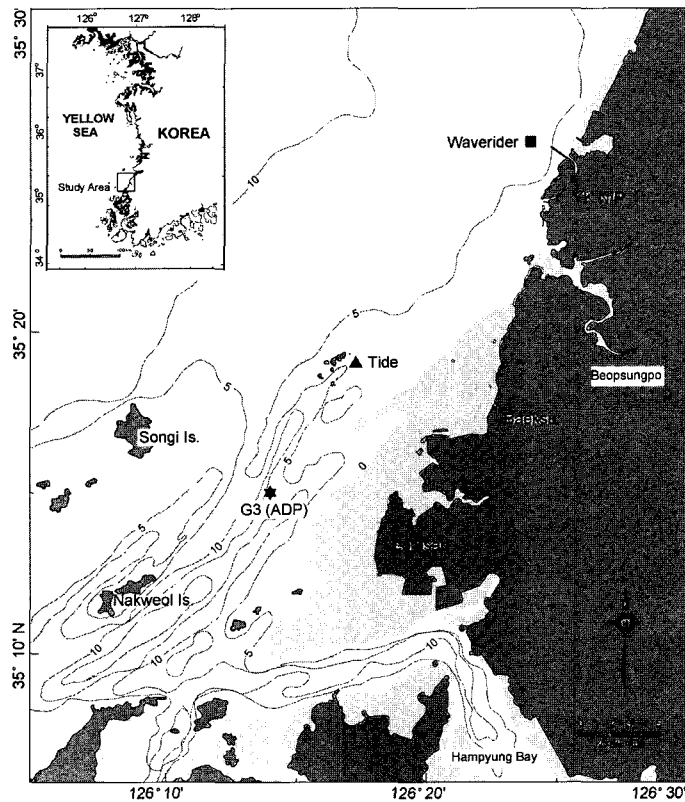
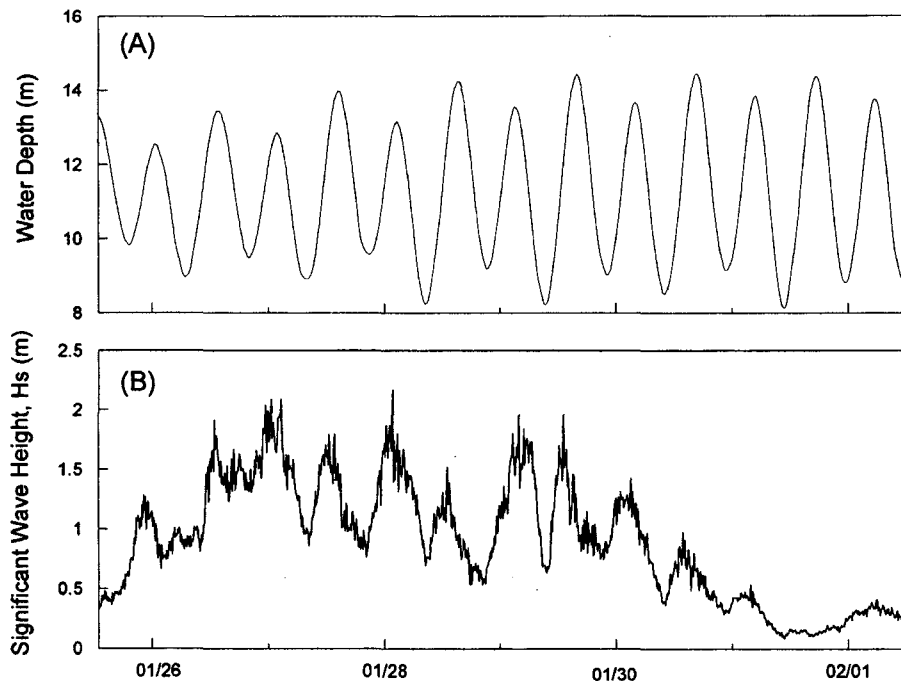


Fig. 2. Location map of field measurement.

**Table 1.** Principal particulars of ADP

센서주파수	3.0 MHz	1.5 MHz	1.0 MHz	0.5 MHz
작동최대수심	160 m	160 m	160 m	160 m
최대측정거리(해수가 흐릴 때 최소거리/ 해수가 가장 맑은 상태에 최대거리)	3~6 m	15~25 m	25~40 m	70~120 m
최대분해능	0.15 m	0.25 m	0.4 m	1.0 m
센서에서 첫 번째 측정 cell 거리(최대 조건인 경우) cell수	0.5 m	0.9 m	1.3 m	3.0 m
유속측정범위	100개까지 사용자 선택			
유속분해능	10 m/s			
유속정밀도	0.1 cm/s			
측정속도	1% 측정값, 0.5 cm/s 이하			
	최대 1.0 Hz(1자료/초)			
	(내부에서는 훨씬 높은 샘플링 속도로 측정하여 평균한 속도임)			

**Fig. 3.** Time records of tide and wave during the SSC observation period(A: Tide, B: Significant wave).

부유 퇴적물에 의한 음향의 산란강도는 부유입자의 특성에 따라 크게 변화하므로 이를 고려하기 위하여 관측 시 해수를 채수하여 부유사와 음향강도 사이의 상관관계를 구하여 자료해석에 사용해야 한다. 본 연구에서도 ADP의 음향계수 값을 정하기 위하여 ADP 설치 위치와 동일한 장소의 중층 수심에서 25회 해수를 채취하였다.

조석현상 및 파랑변화에 따른 부유사 농도 변화가 일어나므로 ADP 관측기간 중의 조위변화와 유의파고의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3에서 조위는 영광 칠산도(Fig. 2참조)에서 2001. 8. 29~2002. 4. 11까지의 수압

식 파고계를 이용한 관측 자료 결과중 ADP 관측 기간에 해당하는 자료를, 파랑은 네덜란드 Datawell사의 Directional waverider(Fig. 2참조)를 이용하여 2001. 8. 29~2002. 2. 10까지의 자료중 해당하는 기간의 유의파고를 각각 나타낸 것이다(한국해양연구원, 2002). Fig. 3에서 보듯이 관측지점의 조석은 일조부등이 뚜렷하게 나타나고 있다.

대상 해역에서 채수한 해수의 건조 중량을 구하여 부유사 농도를 구한 후 이를 이용하여 식 (4)의 관계에 적용하여 회귀분석한 결과를 Fig. 4에 나타내었으며, 회귀식은 다음과 같다.

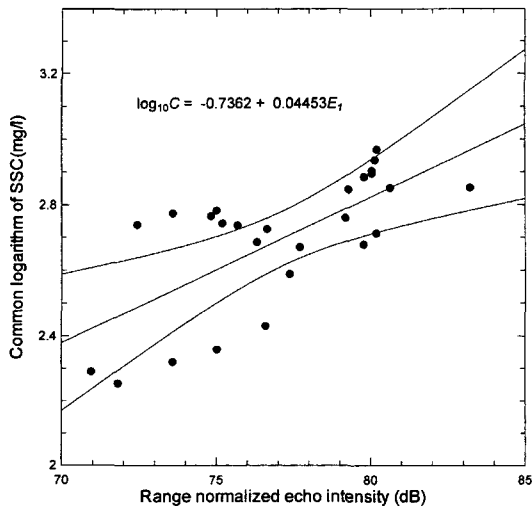


Fig. 4. Relation of signal strength and suspended sediment concentration.

$$\log_{10}C = -0.7362 + 0.04453E_1 (n=25, R=0.7) \quad (8)$$

Fig. 4에서 직선은 식 (4)를 나타낸 것이며 위와 아래에 있는 두 개의 곡선은 99% 신뢰구간이다. 식 (8)과 식 (4)를 비교하면  $K=-0.7362$ ,  $\beta=0.4453$  임을 알 수 있다. 계산된 음향계수를 관측한 ADP 음향강도 자료에 적용하여 부유사 농도를 구한다.

#### 4. 층별 부유 퇴적물의 시계열 변화

부유입자 농도에 관한 이론 분포식은 정상상태의 흐름 조건과 포물선-상수형의 혼합형 난류 확산계수의 가정하에 도출된 것으로 다음 식으로 표현된다(van Rijn, 1993).

$$\frac{C}{C_a} = \left( \frac{h-z}{z} \frac{a}{h-a} \right)^{S_n} \quad \frac{z}{h} < 0.5 \quad (9)$$

$$\left( \frac{a}{h-a} \right)^{S_n} e^{-4S_n \left( \frac{z}{h} - \frac{1}{2} \right)} \quad \frac{z}{h} \geq 0.5$$

$$S_n = \frac{w_s}{\beta k u_*} \quad (10)$$

여기서  $C$ 는 농도,  $C_a$ 는  $z=a$ 에서의 기준농도,  $a$ 는 저면에서부터의 기준위치로서 크게 해저면이 편평한 경우와 사흔이 존재하는 경우로 나눌 수 있는데 실제 지형은 불규칙한 사흔이 있어 저면의 상승사면(upsloping section)

과 하강사면(downslowing section)에서의 부유사 농도가 다르므로 공간적으로 평균하여 고려해야 한다. 본 연구에서는 저면과 가장 가까운 관측치의 1 cell에서의 농도와 위치를 기준위치와 기준농도로 하였다.  $w_s$ 는 부유입자의 침강속도,  $\beta$ 는 수립자와 부유사와의 확산차이를 표현하는 계수,  $\kappa$ 는 von Karman 상수(=0.4),  $u_*$ 는 저면의 마찰속도,  $h$ 는 수심 그리고  $S_n$ 는 부유계수(suspension number)로 수층의 부유사 입자에 가해지는 상방 유체력에 대한 중력의 비이다.

위의 식 (9)와 관측한 음향강도를 이용한 연직분포 부유사 농도의 결과를 Fig. 5에 제시하였다. Fig. 5의 수심 축은 조위변화와 관계없이 관측시의 해수면을 기준으로 연직하 방향을 양으로 한 것이며, 그림에서 dot 들은 연직층별 측정치이다. Fig. 5에서 실선은 van Rijn(1993)에 의해 제시된 부유 퇴적물 농도분포의 이론식 (9)와 현장 관측한 자료를 이용하여  $S_n$ 을 최소자승법으로 최적화하여 나타낸 것이며 ADP 현장관측 결과인 dot값과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다. Fig. 5로부터 부유계수가 작으면 농도는 균일 분포에 가까워짐을 알 수 있고, ADP 관측에 의한 부유사 농도분포 결과로부터 구한 부유계수는 0.1~1.1 범위로 나타났으며 대부분 0.4~0.6 범위에 분포하는 것으로 나타났다.

관측한 전체 층별 부유 퇴적물 농도를 조위보정한 후의 시계열을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 보면 부유입자의 농도는 저층에서 가장 크고 표층으로 갈수록 작아지고 있다.

#### 5. 부유 퇴적물 플럭스

정점(G3)에서 층별로 관측된 유속, 유향, 수심 그리고 부유 퇴적물의 농도값을 이용하여 정점에서의 조석 한 주 기동간의 순 부유 퇴적물 이동(net suspended sediment transport:  $Q_s$ , kg/m)은 다음 식에 의해 계산된다(추 등, 2000).

$$Q_s = (Q_1^2 + Q_2^2)^{1/2} \quad (11)$$

여기서  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는  $Q_s$  중에서 각각 동·서 방향과 남·북 방향의 성분을 말한다.

$$Q_1 = \int_T \int_h C V \sin \theta \, dz \, dt \quad (12)$$

$$Q_2 = \int_T \int_h C V \cos \theta \, dz \, dt \quad (13)$$

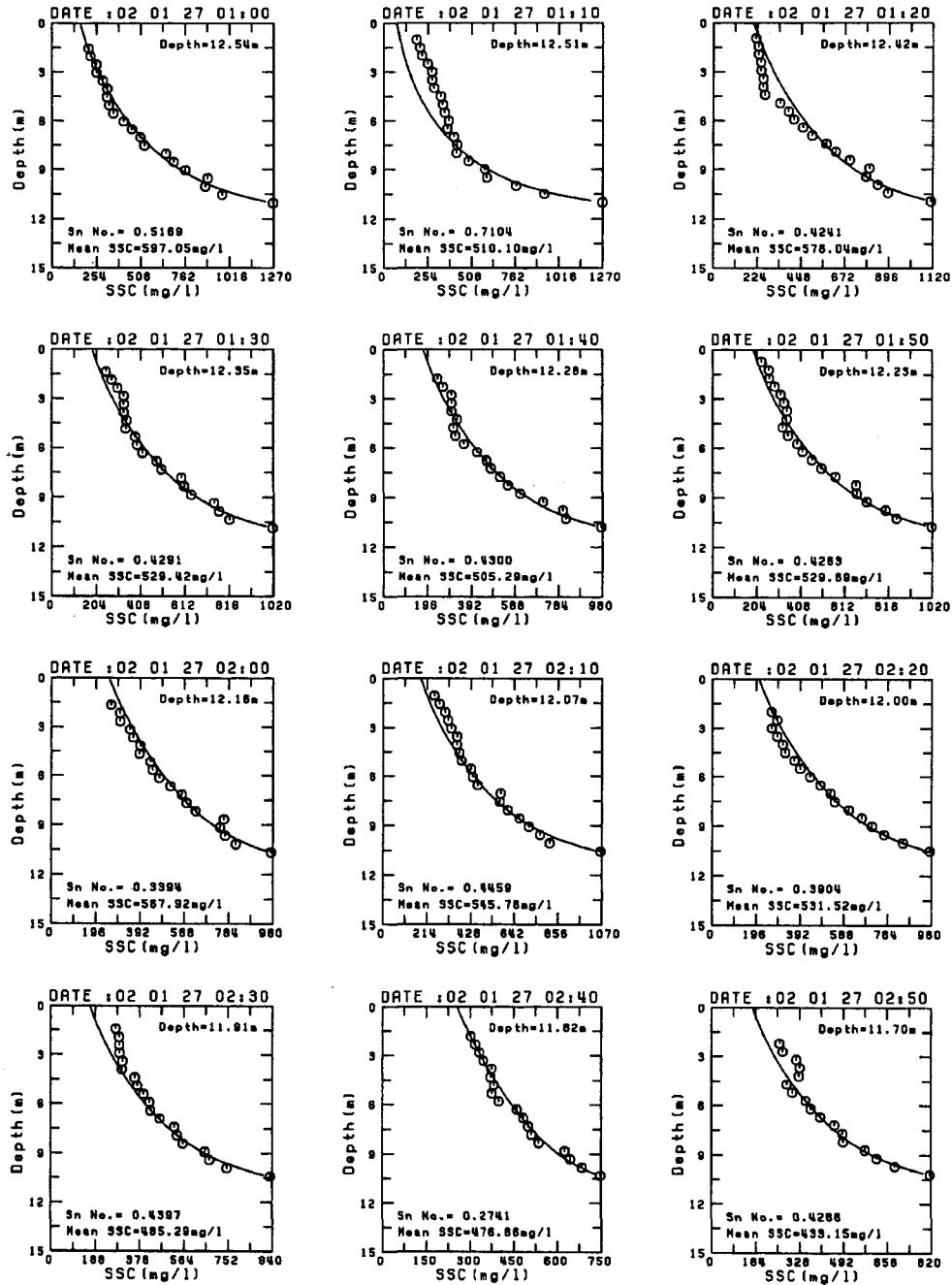


Fig. 5. Comparison of the theoretical concentration profiles with the observed SSC data.

여기서  $\theta$ 는 진복에 대한 시계방향 유향,  $h$ 는 수심,  $C$ 는 부유 퇴적물의 농도( $\text{kg/m}^3$ ),  $V$ 는 유속( $\text{m/sec}$ ),  $T$ 는 관측기간(time span, sec)이며, 순 부유 퇴적물 이동 방향은 다음 식으로 계산된다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{Q_x}{Q_y}\right) \quad (14)$$

앞의 식 (12), (13), (14)를 이용하여 구한 동·서 방향의 수심적분 부유사 플럭스( $Q_1$ )와 남·북 방향의 수심적

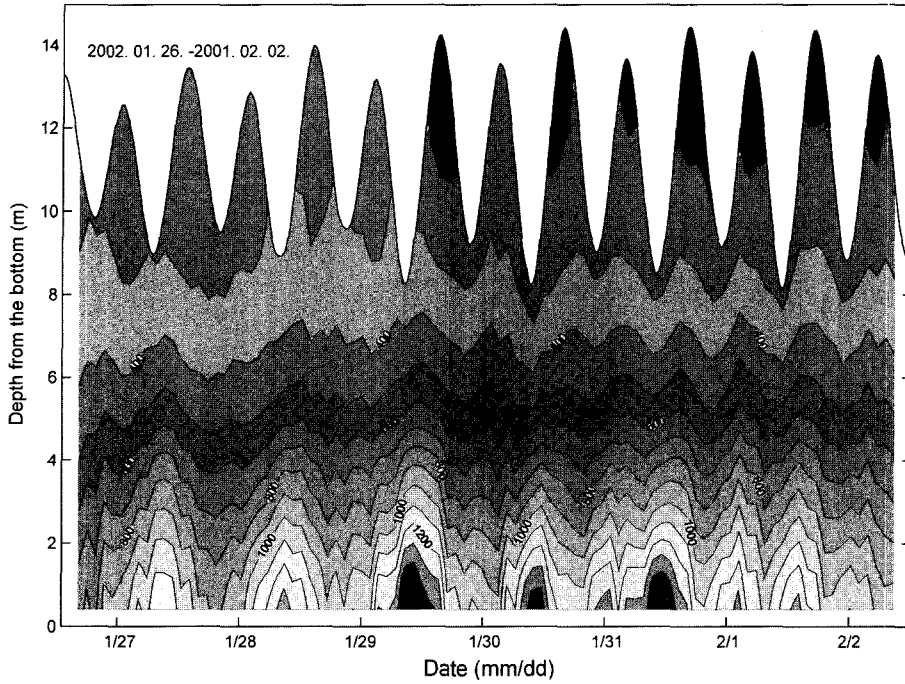


Fig. 6. Suspended sediment concentration with depth and tide(mg/l).

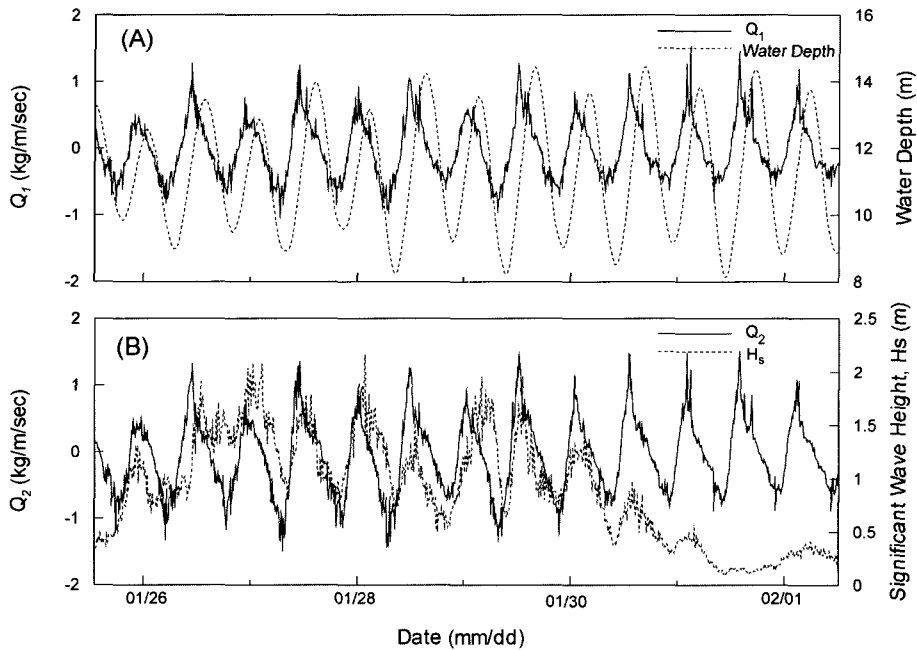


Fig. 7. Variations of the depth-integrated suspended sediment concentration flux(A:  $Q_1$ , B:  $Q_2$ ).

분 부유사 플럭스( $Q_2$ )의 시간변화를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7을 보면 수심적분된 부유물질 플럭스의 변화는 조위의 변화 패턴과 비슷하나 약 3시간의 위상차가 존재하

는 것으로 나타났다. 부유물질 플럭스에는 조류속이 포함되며 조위와 유속의 위상차가 약  $90^\circ$  정도임을 감안하면 3시간의 위상차는 타당한 것으로 사료된다. ADP 관측기

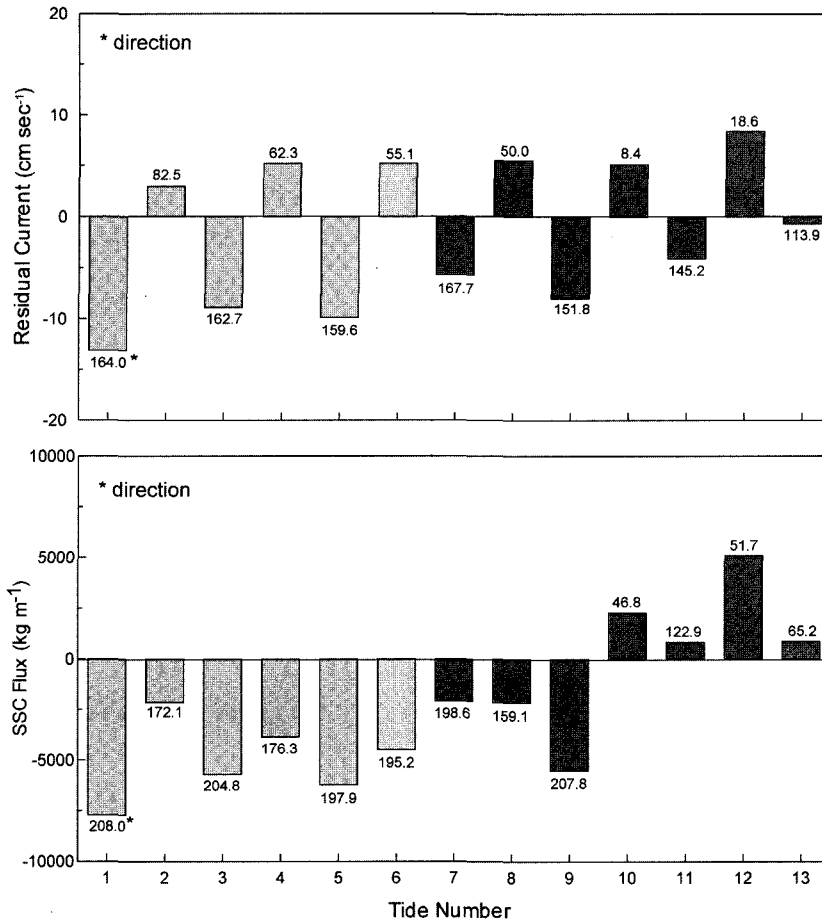


Fig. 8. Residual flow and net suspended sediment flux with tide period(12.5 hours).

간이 폭풍시이기 때문에 해수의 교란으로 부유물질이 상당히 많으며, 그 중 부유물질 농도가 가장 큰 기간이 파고가 큰 기간에 해당하는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 조석 1주기(12.5시간) 단위에 대한 시간 적분으로 계산한 잔차류와 부유물질의 순 이동량을 나타낸 것이다. 이 그림에서 Tide Number는 2002년 1월 26일 13시 00분부터 조석 1주기 단위로 구분한 것을 의미한다. 조석 1주기의 경우 관측기간 중의 잔차류는 1 cm/sec~13 cm/sec 범위의 값을 가지며 잔차류의 유향은 모두 180° 이내로서 동·서 방향 성분은 모두 연안쪽인 것으로 분석되었다. 이는 관측기간 중 바람이 강하게 불어서 생긴 취송류, 강한 파랑에 의한 연안류, 파랑의 비선형성에 의한 Lagrangian drift 등 염산 연안 쪽으로 향하는 흐름이 ADP 유속자료에 포함되었기 때문인 것으로 사료된다. 한편, 부유물질의 순 이동량의 방향은 파랑이 큰 경우에는 외해 쪽(ebb dominant)

이며 파랑이 작은 경우에는 연안 쪽(flood dominant)인 것으로 나타났다. 이는 큰 파랑이 연안의 수심이 얇은 장소에 도달하면 쇄파가 발생하며 이 때 일부 파랑에너지가 해저에 퇴적되어 있는 토사를 부유시켜서 낙조와 함께 외해로 수송되기 때문인 것으로 파악된다. 부유입자 순 이동량은 840 kg/m~7,700 kg/m의 넓은 범위에 분포하며 특히 인접 조석주기간 편차가 심한 것으로 해석되었는데 이는 일조부등과 관련이 있는 것으로 사료된다.

Fig. 9는 조석 2주기(25시간) 단위에 대한 시간 적분으로 구한 잔차류와 부유입자 순 이동량을 나타낸 것이다. 이 경우에도 잔차류의 유향은 180° 보다 작아 연안 쪽으로 향하는 성분이 있으나, 부유 퇴적물의 순 이동은 외해 방향으로 나타나고 있다. 잔차류는 3 cm/sec~7 cm/sec의 범위를 가지며 부유입자 이동량은 6,600 kg/m~10,800 kg/m의 범위로 나타나고 있다. 앞의 조석 1주기의 경우보다 편



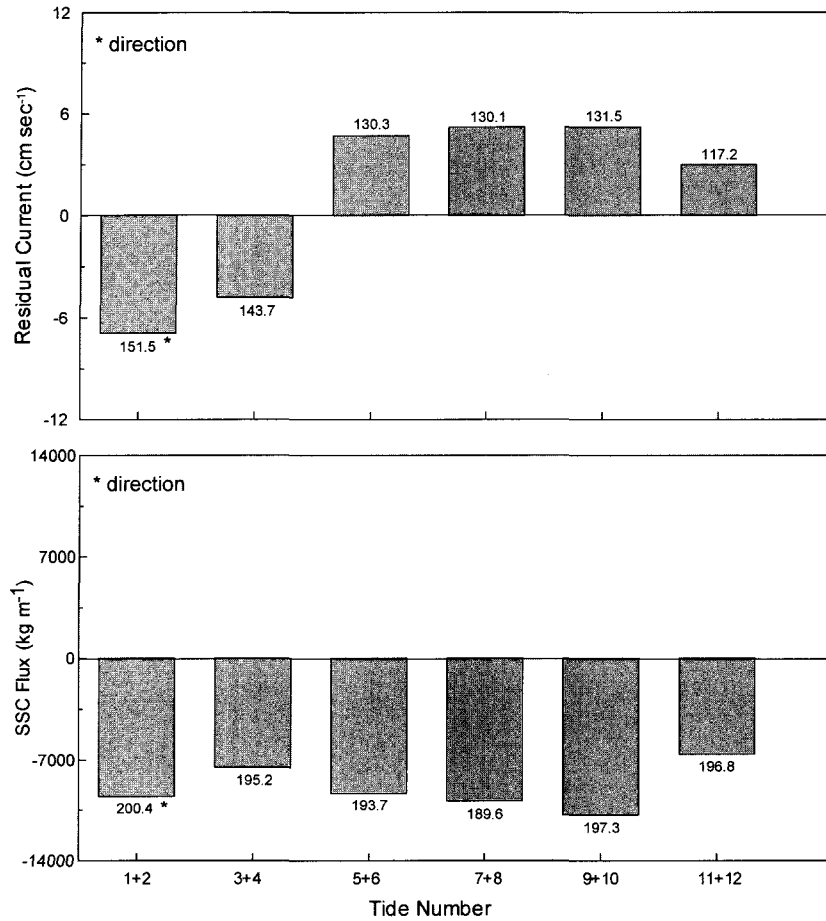


Fig. 9. Residual flow and net suspended sediment flux with tide period(25 hours).

차가 훨씬 적은 것으로 분석되었으며 또한 인접 조석주기간의 차이가 현저하게 감소하여 일조부등의 영향이 제거되었음을 알 수 있다. 그러므로 일조부등이 있는 해역에서 부유물질의 이동과약을 위한 현장조사는 최소한 25시간 실시하여야 한다는 것을 알 수 있다. 관측기간 동안의 부유입자 순 이동량은 40,400 kg/m로 나타났다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 염산부근 해역의 한 정점을 대상으로 관측한 ADP 자료를 이용하여 연직 부유사 농도 변화에 대한 결과를 얻어냈다.

음향계수를 적절히 사용하여 보정한 음향강도를 이용하여 부유 퇴적물의 농도를 구하였다. 농도분포 식인 식 (9), (10)을 적용하여 부유사 관측자료와 비교를 하였으

며, Fig. 5와 같이 여러 가지 제약조건으로 단순화된 상황에서 유도된 농도분포 이론식이 현장상황에 충분히 실용적으로 적용할 수 있음을 상징적으로 보여주고 있다고 판단된다.

추후 층별 부유사 농도의 보다 정밀한 값을 얻기 위해서 해수를 층별로 채취하여 각 층에 적절한 음향계수를 정해야 한다고 판단된다. 또한, 본 연구의 조사정점 G3에서의 계절별 부유사 관측 및 타 해역에서의 관측을 통한 분석 및 평가를 지속해야 할 것으로 사료된다.

부유사의 이동량에 대한 경우, 인력 및 작업조건에 의해 조석 1주기(12.5시간)만을 이용하는 결과는 일조부등의 영향으로 인접 조석주기간의 편차에 의하여 정확한 산출이 어려운 것으로 나타났다. 본 연구의 음향강도로 구한 결과에 의하면 조석 2주기(25시간) 이상의 연속자료를 적용해야 보다 정확한 결과를 도출할 수 있는

것으로 나타나고 있으므로 일조부등이 있는 해역에서의 부유물질의 이동을 파악하기 위해서는 최소한 25시간 이상의 연속 관측이 필요하다고 판단된다.

### 참고문헌

- 추용식, 이희준, 박은순, 이연규, 정갑식, 2000. 만 입구에서의 부유퇴적물 거동과 플럭스: 한반도 서해 남부 합평만의 여름철 특성. 한국해양학회지, 5(2): 105-118.
- 한국해양연구원, 2002. 영광 5,6호기 건설 및 가동에 따른 광역해양조사. 1187p.
- 해양연구소, 1987. 서해해안의 퇴적물 이동환경 연구. 117p.
- 해양수산부, 2001. 부유토사발생량평가 및 오탉방지막 효율에 관한 연구용역(II). 266p.
- Deines, K.L., 1999. Backscatter estimation using Broadband Acoustic Doppler Current Profiles. *The IEEE Conference*, San Diego, California.
- Folk, R.L., 1968. Petrology of sedimentary rocks. The university of Texas HEMPHILL'S draver M. University Station Austin. Texas. 170p.
- Gordon, R.L., 1996. Acoustic Doppler Currents Profilers Principles of Operation: a Practical Primer(second edition for Brand Band ADCPs). RD Instruments, 9855 Businesspark Ave. San Diego, California 92131, USA, pp. 29-32.
- Nortek AS, 2001. Monitoring sediment concentration with acoustic backscattering instruments. Nortek Technical Note, No. 003, 5p.
- Sontek, 2000. *ADP Operation Manual*.
- Tubman, M.W., and Corson, W.D., 2000. *Acoustic monitoring of dredging-related suspended sediment plumes*. ERDC TN-DOER-E7 U.S. Army Eng. WES, Vicksburg, MS.
- Thevenot, M.M., and Kraus, N.C., 1993. Comparison of acoustical and optical measurements of suspended material in the Chesapeake Estuary, *J. Mar. Environ. Eng.*, 1, pp. 65-79.
- Urick, R.J., 1983. *Principles of underwater sound*. McGraw-Hill, NewYork.
- van Rijn, L.C., 1993. Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Univ. of Utrecht.

---

Received July 10, 2002

Accepted Augsut 30, 2002