

낙동강 하구역 사주지형 변동과 부유사(SS) 수송량 산정 - 진우도를 중심으로 -

이인철^{1,†} · 임성필¹ · 윤환삼² · 김헌태¹
¹부경대학교 해양공학과
²부경대학교 해양산업개발연구소

Topographical Change Monitoring of the Sandbar and Estimation of Suspended Solid Flux in the Nakdong River Estuary - Focused on Jinudo -

I. C. Lee^{1,†}, S. P. Lim¹, H. S. Yoon² and H. T. Kim¹

¹Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National Univ., Daeyeon 3-Dong, Nam-Gu, Busan 608-737, Korea
²Research Center for Ocean Industrial Development, Pukyong National Univ., Daeyeon 3-Dong,
Nam-Gu, Busan 608-737, Korea

요 약

본 연구에서는 낙동강 하구역의 해난사고 방지대책 마련의 일환으로 사주지형변동 예측을 위한 기초적 연구로서, 진우도를 대상으로 장기간의 지형변동 모니터링과 외해측 정점 St. S1에서 대조기 및 소조기시 해수유동 및 부유사 농도의 현장조사결과로부터 부유사 수송량(SS flux)을 산정하여 진우도의 사주지형변동 특성에 대하여 검토하였다. 진우도의 장기간 지형변동 모니터링을 통해 얻어진 연간 평균지반고 변화량과 퇴적속도는 각각 141 mm, 0.36 mm/day로서 북측을 제외한 모든 방향으로 퇴적현상이 활발한 것으로 나타났다. 그리고 대조기 및 소조기시 St. S1 정점에서 25시간 연속 조류관측 및 SS농도 측정결과를 바탕으로 산정한 동서방향 및 남북방향의 SS flux(SS_{LH} 및 SS_{LV})를 살펴보면, 대조기시의 SS_{LH}는 대체로 전 수심에 걸쳐 평균 28 kg/m²/hr로 동측으로 이동하였으며, SS_{LV}는 약 11.1 kg/m²/hr로 북측으로 이동하는 것으로 나타나, SS_{LH}가 SS_{LV}에 비해 약 2.5배 수송량이 많은 것으로 나타났다. 또한 소조기시의 SS_{LH} 및 SS_{LV}는 대조기시와 유사하게 동북측으로 각각 평균 약 4.8 kg/m²/hr 및 1.5 kg/m²/hr의 범위로 SS_{LH}의 수송량이 SS_{LV}에 비해 약 3.2배 크게 산정되었다. 한편 진우도 외해측에서 부유사 수송량은 대조기시가 소조기시보다 약 6배 많았으며 전체적으로 SS_{LH} 및 SS_{LV}가 저층부근에서 최대값을 나타내어, 창조류시 저층에서의 강한 흐름에 의한 저층 퇴적물의 재부상 과정이 진우도 남측 사주지형의 퇴적변화에 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Abstract – In this study, to establish countermeasure from marine casualties as a basic study for long-term prediction of topographical change around Jinudo in the Nakdong river estuary, spatio-temporal topographical change monitoring was carried out. Also, in order to estimate the deposition variations concerning SS (Suspended Solid) flux which moved at St.S1 during neap and spring tide, respectively. From the topographical monitoring, it was found that the annual mean ground level and deposition rate were 141 mm and 0.36 mm/day and all parts except the northern part of Jinudo had the active topographical changes and a tendency to annually deposit. From vertical distribution of SS net fluxes, SS_{LH} (latitudinal SS net flux) during spring tide overall flows average 28 kg/m²/hr (eastward), and SS_{LV} (longitudinal SS net flux) flows average 11.1 kg/m²/hr (northward). And, SS_{LH} overall flows average 4.8 kg/m²/hr (eastward), and SS_{LV} flows average 1.5 kg/m²/hr (northward) during neap tide similar with spring tide. The depth averaged values of the latitudinal and longitudinal SS net fluxes during spring tide were approximately 6 times higher than those during neap tide. As result of, it was considered that topographical change of southern part of Jinudo was affected by resuspension

[†]Corresponding author: ilee@pknu.ac.kr

of bottom sediments due to strong current in bottom layer during flood flow.

Keywords: Topographical change(지형변동), Monitoring(모니터링), Deposition rate(퇴적속도), SS net flux(부유사 순 수송량), Jinudo(진우도)

1. 서 론

하구역은 육상과 해양의 접이영역으로서 담수와 해수의 상호작용이 활발하여 생물의 생산성이 높은 곳으로 널리 알려져 있다. 그러나 우리나라 대부분의 하구역은 하구둑 공사, 방조제 축조, 간척 및 매립사업, 교량건설 등의 대규모 연안개발사업의 시행으로 하구 수리·수문학적 거동이 크게 변화되어 하구역의 수질 및 생물 환경이 점진적으로 악화되어 가고 있는 실정이다.

특히 낙동강 하구역은 녹산공단 수문의 건설(1934년), 낙동강 하구둑 건설(1987년)과 신항만 건설 공사 등으로 낙동강 하류 수역의 해수유동 변화를 초래하여 불특정 사주 발달을 가져오고 있다(윤한삼 등[2007]). 이에 따라 최근에는 소형어선 통항로의 협소화 및 수심 저하 등으로 해난사고가 빈번하게 발생하여 2005년 10월~2007년 8월까지 소형어선 통항로 확보를 위한 긴급 준설사업을 실시하였으나, 실효성에 있어 보다 근본적인 대책이 절실히 요구되고 있다(부산광역시[2004]).

하구역에서의 지형변화는 파랑, 조석, 지형조건 뿐만 아니라 퇴적물의 거동에 중요한 영향을 주는 부유사(SS) 수송량 등 다양한 외력인자가 복합적으로 작용하고 있어 제현상의 규명에 많은 어려움이 있다(Yanagi *et al.*[1994], Deloffre *et al.*[2005]). 이와 관련하여 낙동강 하구역에서의 퇴적환경 및 사주지형 변화에 대한 다수의 연구결과(반용부[1995], 김석운 등[2001], 김상호 등[2003], 김성환[2005], 이인철 등[2007], Yi *et al.*[2007])가 보고되고 있으나, 현장에서 장기간에 걸친 침식/퇴적 모니터링 조사 및 부유사 수송량의 평가에 관한 연구는 다소 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 낙동강 하구역의 사주지형변동 예측을 위한 기초적 연구로서, 활발한 지형변동으로 해난사고가 빈번한 진우도를 대상으로 장기간의 지형변동 모니터링과 부유사 수송량(SS flux)을 산정하여 진우도의 사주지형변동 특성에 대하여 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상해역

낙동강 하구역은 한국의 남동부에 위치한 우리나라 최대의 하

구로서(Fig. 1), 총 유로 연장 525 km, 유역면적 23,860 km²인 낙동강의 영향권이다. 연평균 강우량은 1,166 mm(전국평균 1,262 mm), 연평균 하천유출량은 139억 톤, 유출계수는 0.49(전국 0.55)이며 하상경사가 1/10,000 정도로 완만하다. 이 지역은 조석, 하천 외에도 쿠로시오 해류의 영향으로 대단히 복잡한 해수유동을 보이며 해수의 역류방지 및 용수 확보를 위한 낙동강 하구둑의 건설 이후 해수 유입에너지와 담수 유출에너지의 평형상태가 파괴되어 환경변화가 지속적으로 심화되고 있는 해역이다. 특히 부산 신항만과 가덕도 동측수로에 위치한 진우도는 사주지형의 급변으로 소형어선의 통항로 협소화 및 수심저하로 인한 해난사고가 매년 증가하는 추세에 있으며, 이는 부산시 전체 해난사고의 약 8%를 점유하고 있다(Table 1). 또한 이 해역은 매년 사주지형의 침식/퇴적현상이 지속적으로 반복되고 있어 염생식물 군락 및 철새서식지의 보전을 위해서도 매우 중요한 지리적 여건을 갖고 있다.

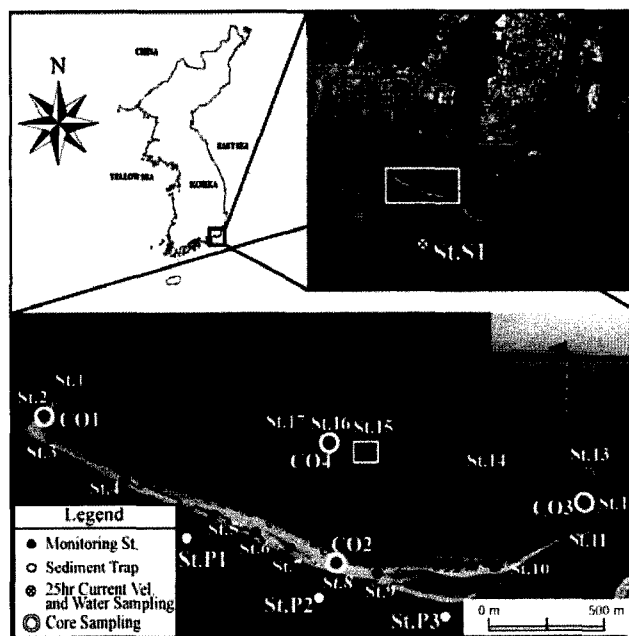


Fig. 1. The geographical location and field survey stations of Jinudo in the Nakdong river estuary.

Table 1. The comparison between numbers of stranding accident around Jinudo and entire marine casualties in Busan City from 1999 to 2004

Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Total
*Stranded ship around Jinudo	4	4	3	1	4	3	19
**Marine casualties in Busan city	57	32	49	47	60	-	245

*Gangseo-gu Office, Busan Metropolitan City, 2004

**Annual statistics, Busan Metropolitan City, 1999~2004

2.2 지형변동 모니터링

2.2.1 지형변동 모니터링

Fig. 1에서와 같이 낙동강 하구역의 서측에 위치한 진우도 해안 일원의 총 17개 정점에서 강관과파일을 설치하여 지형변동 모니터링을 실시하였다. 강관과파일 설치를 위한 기준 지반고는 2005년 4월~5월중 총 3회의 단면수준측량을 통하여 해안선의 지반고 변화가 가장 활발한 지역을 지반고 0 m로 설정하여 선정하였다. 그리고 모니터링은 4방위별 3~5개의 정점별로 2 m의 강관과파일을 지상 1 m 높이로 설치하여, 2005년 7월~2006년 7월 까지 약 1년간 총 14회에 걸쳐 현장에서 각 정점별 연간 지반고 변화를 조사하였다.

2.2.2 표층퇴적물 입도분석

조사대상해역의 표층퇴적물 입도분석을 위해 Fig. 1의 진우도의 4방위각의 4개 정점(CO1~CO4)에서 아크릴 재질의 Core Sampler($\phi = 80$ mm, L = 50 cm)를 이용하여 지반고 변화관측과 동일한 시간간격으로 40~45 cm 깊이로 표층저니 코어링을 실시하였다. 채집한 시료는 표층에서부터 5 cm 간격으로 절단하여 110°C의 온도에서 48시간 노건조 후 표준체분석을 통하여 입도 분석을 실시하였다.

2.3 25시간 연속 부유사(SS)의 수송량(flux) 산정

2.3.1 25시간 연속 조류관측

조사해역의 Euler적 해수유동을 파악하기 위하여 대조기(2007.5.19~20) 및 소조기시(2007.11.18~19)에 진우도 남쪽의 외해로 약 3 km 떨어진 정점 St. S1에서 RCM-9(AANDERAA) 유속계를 수심 2 m 지점에 계류하여 25시간 연속 조류관측을 실시하였다.

2.3.2 25시간 연속 부유사의 수송량 산정

정점 St. S1에서 수심별 SS 농도 분포를 조사하기 위하여 연속 조류관측과 동일한 시기에 2시간 간격으로 표층, 수면하 1 m, 3 m 및 6 m(저층)별로 총 13회에 걸쳐 Van Dorn 채수기를 이용하여 해수를 채수하여, GF/C 필터($\phi = 47$ mm)를 이용해 현장에서 여과하여 밀봉 보관하여 실험실로 운반하였다. 실험시료는 약 110°C의 가열 건조기에서 수분을 제거하고 중량을 측정 후 농도를 측정하였다. 이를 상기 25시간 연속조류관측에서 얻어진 시간별 평균유속에 곱하여 수심별 SS flux를 산정하였으며, 수식은 아래와 같다.

$$SS_{LH} = \frac{1}{T} \int_0^T \{SS_{CONC} \times u \times 36\} dt \quad (1)$$

$$SS_{LV} = \frac{1}{T} \int_0^T \{SS_{CONC} \times v \times 36\} dt \quad (2)$$

여기서, SS_{LH} 및 SS_{LV} 는 수평 및 수직방향의 SS net flux(kg/m²/hr)를 나타내며, T는 시간, SS_{CONC} 는 SS 농도(g/L), u와 v는 각각 x, y 방향의 유속(cm/s)을 나타낸다.

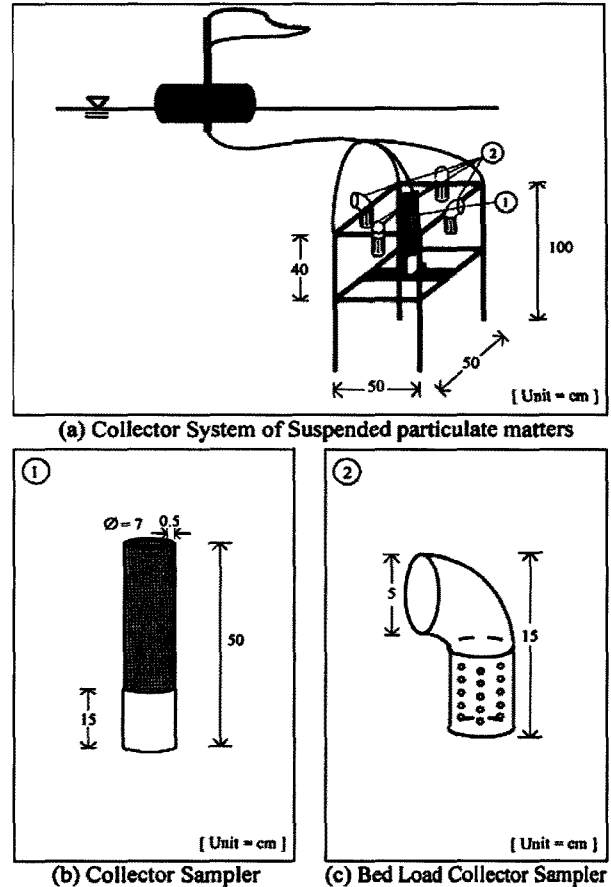


Fig. 2. In-situ collecting experimental system of SS and bed load.

2.3.3 부유사 및 소류사 현장포집실험

부유사 및 소류사의 현장포집실험은 진우도 전면해역의 3개 정점(St. P1~St. P3)에서 상기 25시간 연속조류관측기간의 2 조석주기에 걸쳐 실시하였다. 부유사의 포집실험은 Fig. 2에 나타나 있는 철재강판 거치대(50×50×100 cm)내에 아크릴 투명 원통형 포집기(직경 7 cm, 깊이 50 cm)로 구성된 포집장치를 평탄한 해저면에 거치하여 수행하였으며, 소류사 포집실험은 Fig. 2의 ②에 나타나는 PVC와 스테인리스 재질의 소류사 포집장치를 포집기 측면 4방향(동, 서, 남, 북)에 걸쳐 포집기 하부로부터 40 cm 높이에 장착하여 실시하였다.

한편, 현장포집실험 종료 후 부유사 및 소류사 포집기를 회수하여 원통형 포집기 하단부의 폴리에틸렌 포집병에 채취된 시료와 소류사 포집기의 시료를 실험실로 운반하여, -70°C의 초저온 냉동고에 보관한 다음 동결건조기로 수분을 완전히 제거한 후 표준 중량을 측정하여 포집속도와 소류사 flux를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지형변동 모니터링

3.1.1 침식/퇴적 지반고 변화

진우도의 연간 지형변동 모니터링을 통한 정점별 지반고 변화

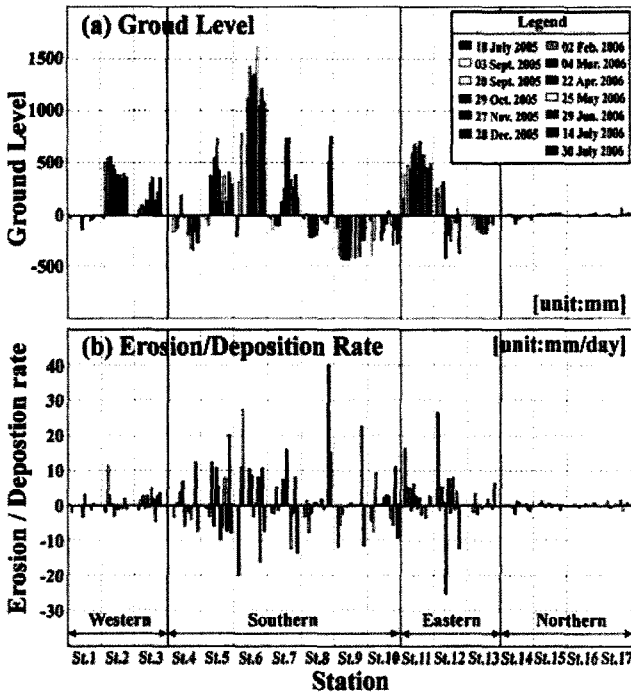


Fig. 3. Monitored results of topographical change around Jinudo.

와 침식/퇴적속도는 각각 Fig. 3(a)와 3(b)와 같다. 연간 지반고 변화를 살펴보면, 전반적으로 진우도의 남측영역에서 -428 ~ +1,630 mm범위로 침식/퇴적변화량이 가장 크게 나타났으며, 다음으로 동측(-366 ~ +720 mm)과 서측(-46 ~ +565 mm)의 순이었으나, 북측은 -84 ~ +70 mm로 다른 영역에 비하여 지반고 변화가 상대적으로 적게 나타났다. 특히 정점별 최대 퇴적고와 침식고는 각각 St. 6 (2006년 5월)과 St. 9(2005년 11월)의 진우도 남측에서 나타나, 이 지역이 연간 침식/퇴적변화가 두드러진 것을 알 수 있다(Fig. 3(a)).

Fig. 3(b)에 나타난 정점별 침식/퇴적속도는 진우도 남측에서 -20 ~ +40.2 mm/day로 가장 높았으며, 다음으로 동측(-4.6 ~ +11.3 mm/day)과 서측(-25.5 ~ +26.7 mm/day)의 순이었으나, 북측은 ±2 mm/day정도로 속도변화가 거의 없는 것으로 산정되었다. 특히 모니터링 기간중의 최대 침식 및 퇴적속도는 동측의 St. 12(2005년 11월)와 남측의 St. 8(2006년 7월)에서 나타났으며, 진우도 전영역의 연간 평균 침식/퇴적변화량은 약 141 mm정도로, 그 퇴적속도는 약 0.36 mm/day로서 이를 연간퇴적속도로 환산하면 약 22.3 g/cm²/year로 산정되었다.

Fig. 4는 정점별 기준 지반고로부터 모니터링 종료시점의 지반고를 뺀 값으로 산정한 연간 침식/퇴적속도를 나타낸 것이다. 그 결과 진우도 남측의 중앙부에서 17~110 cm/year, 동측과 서측에서 각각 50 cm/year와 36.6 cm/year범위로 사주의 퇴적양상이 뚜렷한 반면, 침식변화량은 약 24~36.6 cm/year로서 진우도 동측해안이 상대적으로 침식속도가 빠른 것으로 산정되었다. 이로부터 진우도 남측은 외해방향으로 불특정 사주가 빠른 속도로 형성되어 가고 있으며, 서측과 동측은 각각 가덕도와 신자도 방향으로 사주가 확장되어 가는 시공간적 변동특성을 보여주는 것으로 유추할 수 있다.

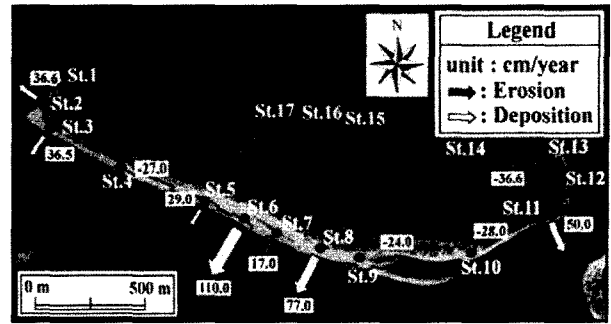


Fig. 4. Horizontal distribution of erosion/deposition rate from July 2005 to July 2006.

Table 2. Sedimentation rates of others study area

Study area	Sedimentation rate (g/cm ² /year)	Remark
Osaka Bay	0.51	星加 <i>et al.</i> [1996]
Suyeong Bay	0.18~0.20	Yang <i>et al.</i> [1994]
Nakdong estuary	0.58	Lee <i>et al.</i> [2003]

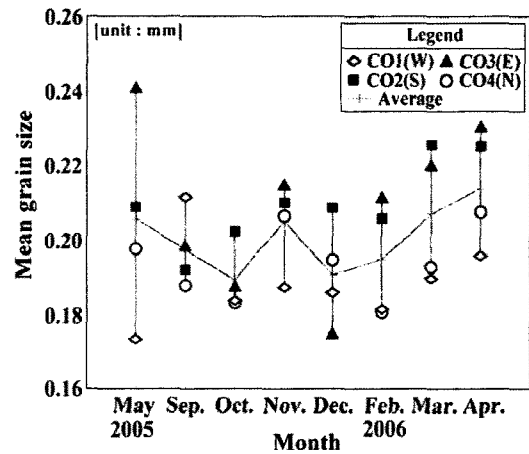


Fig. 5. Distribution of mean grain size.

Table 2는 다른 연구 대상해역에서 ²¹⁰Pb 연대측정법으로 얻어진 퇴적속도를 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 진우도의 퇴적속도 22.3 g/cm²/year는 낙동강 하구역과 비슷한 해역특성을 지닌 일본의 Osaka만의 퇴적속도(星加 등 [1996])에 비해 약 44배 큰 값으로 훨씬 빠른 퇴적속도를 보여준다.

3.1.2 입도분석 결과

Fig. 5는 정점 CO1~CO4에서 채취한 표층 퇴적물의 입도분석 결과를 나타낸 것이다. 평균입경은 진우도 전 영역에서 약 0.075~0.425 mm 범위내의 SP계열의 입도로 조사되었다. 특히 모니터링 시점인 2005년 5월과 비교해 9월 이후 평균입경의 분포범위가 축소되어 평균화 되어 가는 것으로 분석되었다.

3.2 부유물질의 수송량 산정 결과

3.2.1 25시간 연속 조류관측 결과

Fig. 6은 대소조기시 St. S1 정점의 수심 2 m에서 25시간 연속

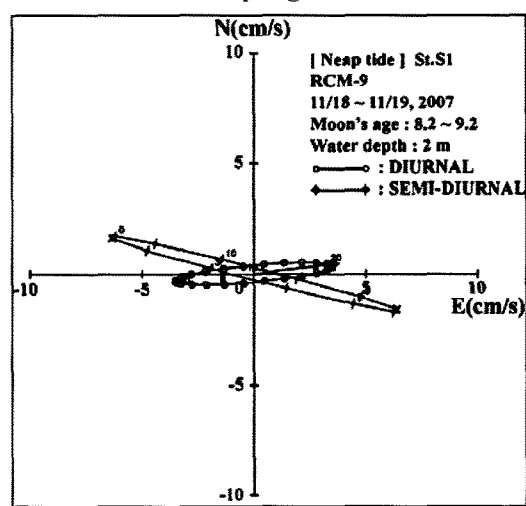
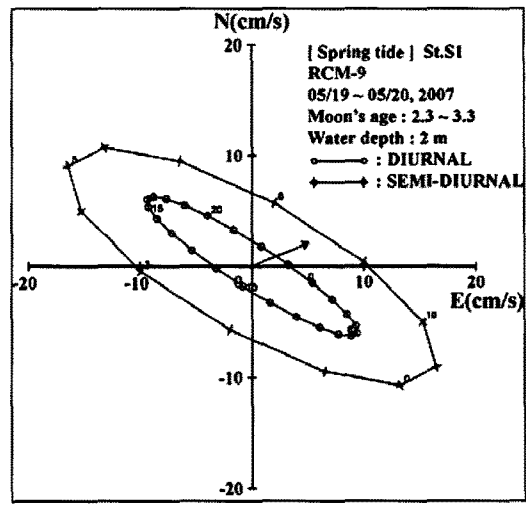
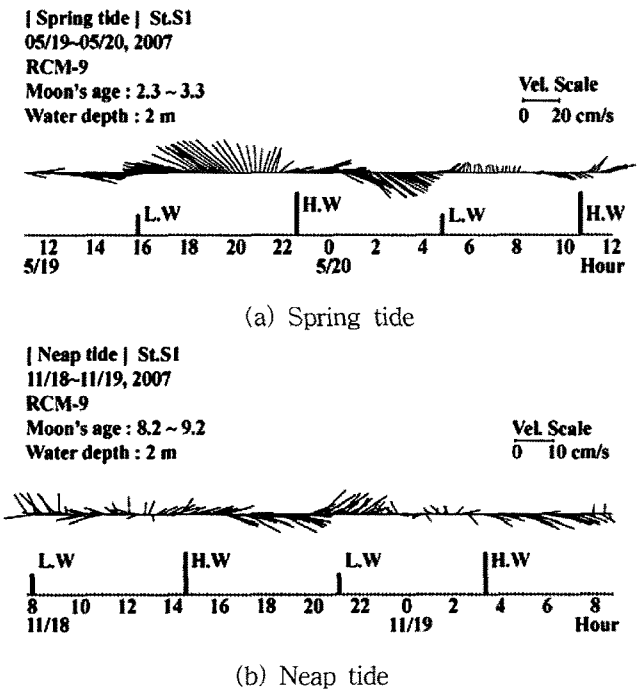


Fig. 6. Stick diagram of tidal current during Spring tide (a) and Neap tide (b) at St.S1.

관측한 조류의 유속과 유향의 경시변화를 조류벡터도(Stick diagram)로 나타낸 것이다. 대조기시와 소조기시의 유속은 각각 1.9~35.5 cm/s와 0.7~14.7 cm/s의 범위로 대조기시가 소조기에 비하여 약 2배 빠른 유속분포를 보였으며, 주 흐름방향은 대체로 북서 ~ 남동방향으로 관측되었다.

Fig. 7은 St. S1에서 25시간 연속 조류관측 자료를 바탕으로 조화분해해서 얻어진 조류타원도를 나타낸다. 대조기시 조류타원도(Fig. 7(a))로부터 반일주조류 및 일주조류는 각각 18.5 cm/s와 9 cm/s로 나타나 반일주조류가 우세한 북서 ~ 남동방향의 왕복성 흐름을 보였다. 그리고 소조기시 반일주조류와 일주조류는 각각 6.5 cm/s와 3.5 cm/s로서, 동서향의 왕복성 조류형태를 나타내었다(Fig. 7(b)). 또한 대조기 및 소조기시의 항류성분은 각각 북동 방향으로 약 6 cm/s 및 동북동 방향으로 약 3.8 cm/s로 관측되어, 윤한삼 등[2005]의 보고와 유사한 결과로 나타났다.

3.2.2 SS 농도의 시간적 변화

Fig. 8은 대조기 및 소조기의 SS 농도의 수심별 시계열 변화를 나타낸 것으로, 대·소조기의 SS 농도는 각각 약 0.005~0.029 g/L 및 0.001~0.022 g/L의 범위로서 대조기시가 소조기시보다 농도가 높게 나타났다. 특히, 대조기의 저조시 저층에서는 0.025 g/L 이상의 고농도 수괴가 분포하고, 고조시에는 표·중층에 고농도 수괴가 분포하는 것으로 나타나, 창조류시 강한 흐름에 의한 저층 퇴적물의 재부유가 수괴의 농도분포에 크게 영향을 미치는 것으로 생각된다. 그러나 소조기시는 미약한 유속으로 인하여 수심변화에 따른 SS농도의 시간적 변화가 뚜렷하게 나타나지 않았다.

Fig. 7. Tidal current ellipse during Spring tide (a) and Neap tide (b) at St.S1.

3.2.3 25시간 연속 부유사(SS) 수송량 산정 결과

Fig. 9~Fig. 10은 대·소조기시 St. S1 정점에서 각 수심별로 25시간 동안의 시간별 유속과 SS 농도의 관측결과로부터 산정한 동서방향 및 남·북방향의 SS net flux(각각 SS_{LH} 및 SS_{LV}) 및 25시간 연속 SS flux를 나타낸 것이다. 대조기시 SS_{LH} 는 전반적으로 전 수심에 걸쳐 동측으로 수송되는 경향으로 그 평균 수송량은 28 kg/m²/hr이었다. 그리고 SS_{LV} 는 전 수심에 걸쳐 평균 11.1 kg/m²/hr로 북측으로 수송되어 SS_{LH} 가 SS_{LV} 에 비해 약 2.5배 크게 나타났다. 그리고 각 방향성분별 최대 Net flux는 동분성분이 수심 3 m, 북분성분이 수심 6 m에서 발생하였으며, 그 최대수송량은 수심 3 m층에서 동측으로 39.7 kg/m²/hr, 북측으로 9.1 kg/m²/hr로 산정되었다(Fig. 9).

또한, 소조기시 SS net flux 산정결과를 살펴보면, 대조기시와 유사하게 모든 수심에서 동·북측으로 수송되는 양상을 보였으며, 수심 평균한 SS_{LH} 와 SS_{LV} 는 각각 약 4.8 kg/m²/hr와 1.5 kg/m²/hr

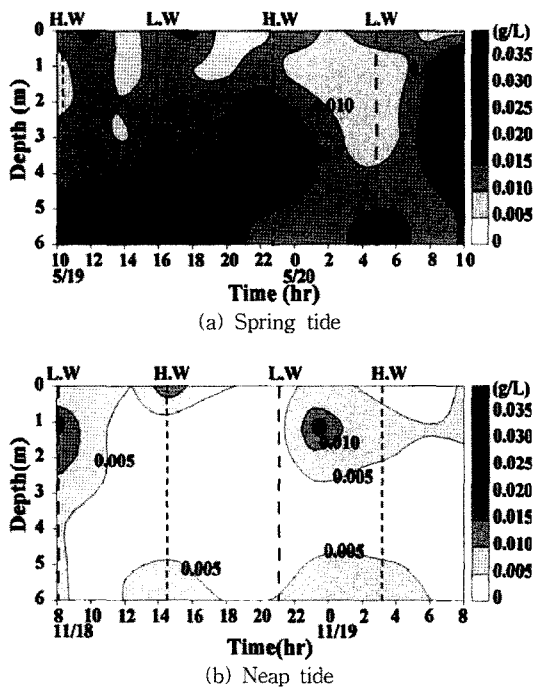


Fig. 8. Hourly changes of SS concentration at St.S1.

로 계산되어 SS_{LH} 가 SS_{LV} 에 비해 약 3.2배 정도 큰 것으로 산정되었다. 특히 소조기시의 SS 최대 Net flux는 대조기시와 달리 저층(6 m)에서 동측으로 $9.8 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 와 북측으로 $1.1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 로 산정되어, 대조기시의 수송량이 소조기시에 비하여 약 6배 큰 것으로 산정되었다(Fig. 10).

이상과 같이 진우도 남측 외해정점에서 산정된 SS수송량은 전반적으로 수심 3 m 및 저층(6 m)에서 최대수송량을 나타내었으며, 수송방향도 Fig. 7에 나타난 항류성분과 일치하는 것을 알 수 있다. 이는 창조류시 저층에서의 강한 흐름에 의한 저층 퇴적물의 재부상 과정이 진우도 남측 사주지형의 퇴적변화에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되며, 김석윤 등[2003]이 광양만에서 진주만으로 유출되는 SS 수송량이 창조류시 주로 저층과 중층을 통해서 수송된다는 보고와 유사하였다.

3.2.4 부유사 및 소류사 포집실험 결과

Fig. 11은 대조기 및 소조기시의 부유사 및 소류사의 현장포집 실험 결과를 도시화한 것이다. 대조기시 부유사 포집량은 St. P1에서 45.2 g 으로 가장 많았으며 다음으로 St. P2 및 St. P3에서 각각 28.7 g 및 10.7 g 으로 측정되었다. 이를 실험기간 동안의 포집 속도로 환산하면 약 $0.279\sim 1.176 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ 의 범위로서 3개 정점의 평균포집속도는 약 $0.733 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ 로 산정되었다. 또한, 소류사의 포집속도는 약 $0.011\sim 0.317 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ 범위로서, St. P1에서 가장 크게 산정되었으며, 3개정점의 소류사 평균포집속도는 북향으로 $0.117 \text{ g/cm}^2/\text{day}$, 남향으로 $0.016 \text{ g/cm}^2/\text{day}$, 동·서방향으로 약 $0.02 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ 의 순으로, 북향으로의 수송량이 많은 것으로 산정되었다(Fig. 11(a)).

또한 소조기시의 부유사 포집량은 St. P2에서 6.2 g 으로 가장 많았으며, 나머지 2개 정점에서 약 3 g정도로 포집되었다. 이를 포집속도로 환산하면 약 $0.077\sim 0.161 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ 로서 그 평균값은 약 $0.107 \text{ g/cm}^2/\text{day}$ 이었다. 그리고 소류사 flux는 $0.009\sim 0.05 \text{ g/cm}^2/$

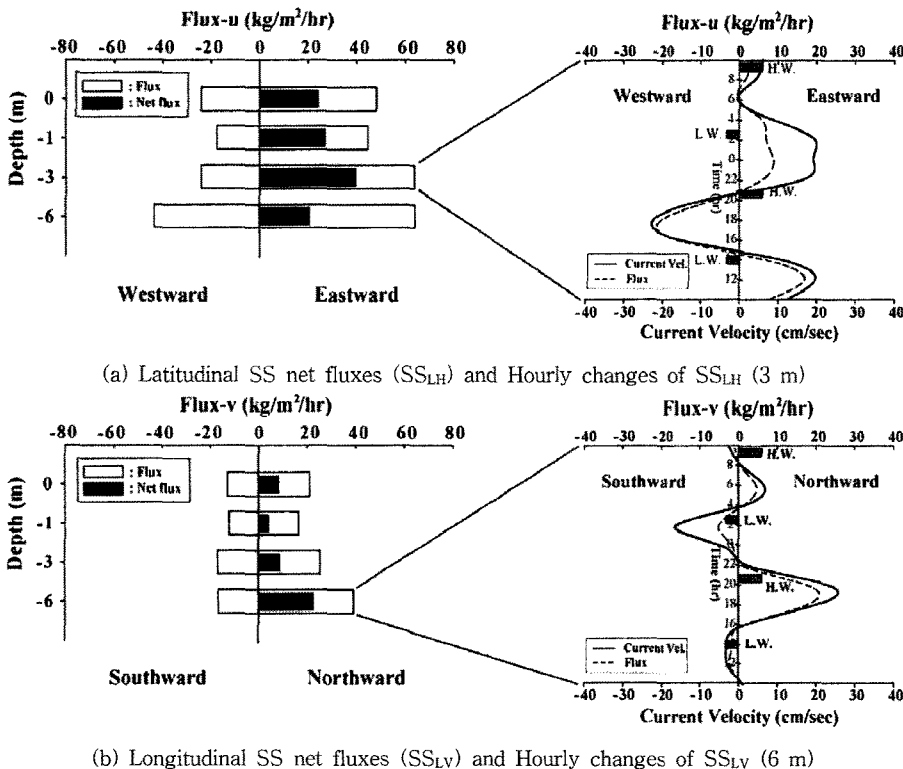


Fig. 9. Vertical distribution of SS net fluxes at St.S1 during Spring tide.

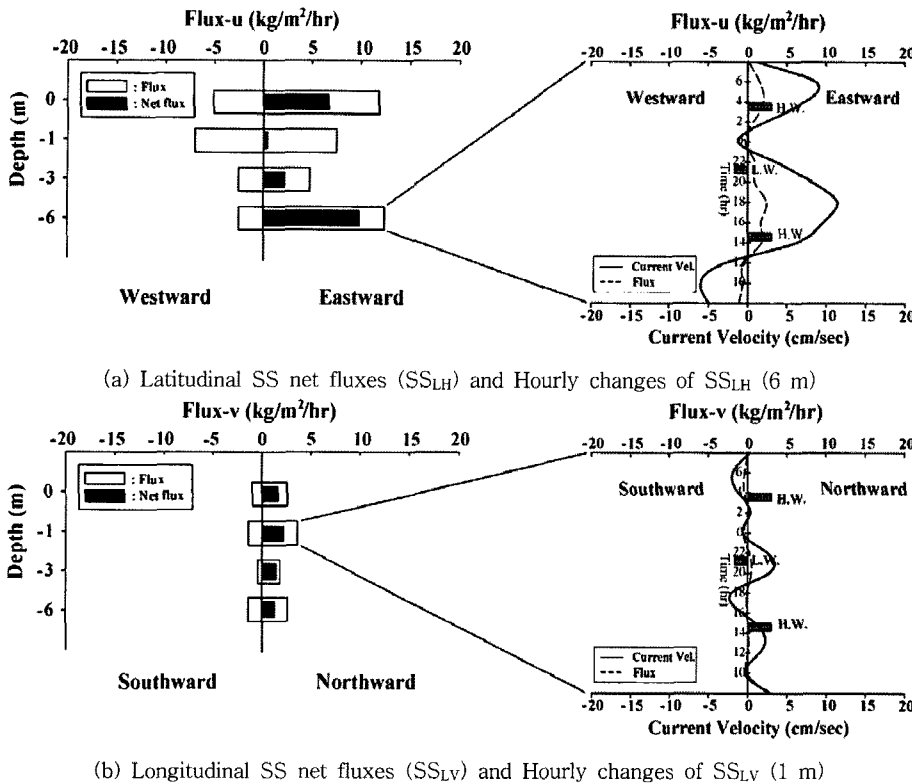
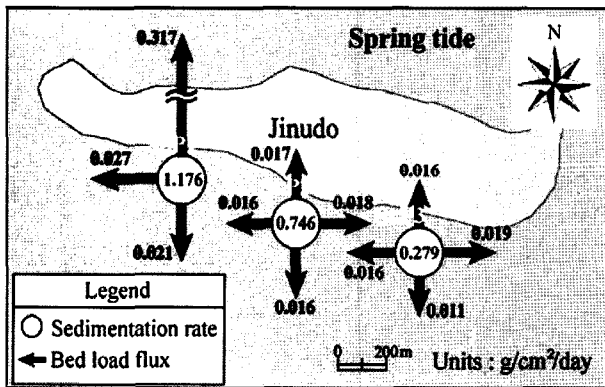
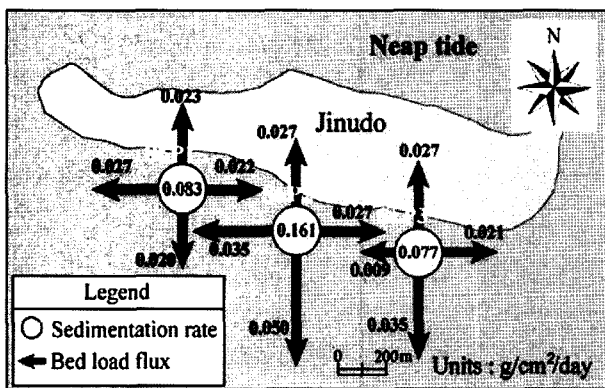


Fig. 10. Vertical distribution of SS net fluxes at St.S1 during Neap tide.



(a) Spring tide



(b) Neap tide

Fig. 11. Measured data of sedimentation rate and bed load flux by in-situ collection experiment.

day의 범위로서 St. P2에서 가장 크게 나타났으며, 3개 정점의 방향별 포집속도는 남향으로 0.035 g/cm²/day, 북향 0.026 g/cm²/day, 동·서방향으로 약 0.024 g/cm²/day이내의 순으로 남향으로의 수송량이 상대적으로 많은 것으로 나타났다(Fig. 11(b)).

이상의 부유사 포집실험결과로부터 대조기 및 소조기의 평균 포집속도를 산출해 보면 약 0.42 g/cm²/day로서, 이는 동 해역에서 기 수행된 Kim et al.[2006]의 연구결과인 0.464 g/cm²/day와 거의 일치하였다. 그리고 방향별 소류사의 포집량은 전반적으로 대조기시는 북향, 소조기시는 남향으로의 수송량이 상대적으로 많은 것을 알 수 있었으며, 이는 부유사 포집속도가 빠른 영역에서 소류사 flux도 크게 나타나, 진우도 남측해안의 사주발달과 관련성이 있는 유의한 결과로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 낙동강 하구역의 사주지형변동 예측을 위한 기초적 연구로서, 활발한 지형변동으로 해난사고가 빈번한 진우도를 대상으로 장기간의 지형변동 모니터링과 부유사 수송량(SS flux)을 산정하여 진우도의 사주지형변동 특성에 대하여 검토하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

진우도의 지형변동 모니터링으로부터 연간 평균 침식/퇴적변화량은 약 141 mm, 그 퇴적속도는 약 0.36 mm/day로 산정되었다. 또한 연간 침식/퇴적속도는 진우도 남측의 중앙부에서 17~110 cm/year, 동측과 서측에서 각각 50 cm/year와 36.6 cm/year범위로 사주의 퇴적양상이 뚜렷한 반면, 침식변화량은 약 24~36.6 cm/year

로서 진우도 동측해안이 상대적으로 침식속도가 빠른 것으로 산정되었다. 이로부터 진우도 남측은 외해방향으로 불특정 사주가 빠른 속도로 형성되어 가고 있으며, 서측과 동측은 각각 가덕도와 신자도 방향으로 사주가 확장되어 가는 시·공간적 변동특성을 보여주는 것으로 유추할 수 있다.

진우도 남측외해 정점(St. S1)에서의 대·소조기시 부유사(SS) 수송량을 산정한 결과, 대조기시 SS_{LH} 는 전반적으로 전 수심에 걸쳐 동측으로 평균 $28 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 이었으며, SS_{LV} 는 평균 $11.1 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 로 북측으로 수송되어 SS_{LH} 가 SS_{LV} 에 비해 약 2.5배 크게 나타났다. 그리고 소조기시 수심 평균한 SS_{LH} 와 SS_{LV} 는, 대조기시와 유사하게 전 수심에 걸쳐 동·북측으로 수송되었으며, 그 값은 각각 약 $4.8 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 와 $1.5 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ 로 SS_{LH} 가 SS_{LV} 에 비해 약 3.2배 크게 나타나, 대조기시의 수송량이 소조기시에 비하여 수송량이 약 6배 많은 것으로 산정되었다. 특히, SS 수송량은 전반적으로 수심 3 m 및 저층(6 m)에서 최대수송량을 나타내었으며 수송방향도 항류성 분과 일치하였다. 이상의 결과로부터 진우도 남측 해안의 사주 퇴적변화는 외해에서 창조류시 저층에서의 강한 흐름에 의해 발생되는 저층 퇴적물의 재부상 과정으로부터 큰 영향을 받는 것으로 판단된다.

추후 연구에서는 대상해역의 계절별 퇴적변화 거동특성을 보다 상세하게 검토하기 위해서 하계, 동계절에 대한 부유사(SS) 수송량의 해석 및 재부유된 퇴적물에 대한 정량적 평가가 수행되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 해양수산부 해양수산개발원의 2006~2007년도 수산특정연구개발사업으로 수행중인 “연안 생태환경공간 복원/조성 기술” 연구의 일부 내용이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

이 연구에 참여한 임성필은 2단계 BK21 사업의 지원을 받아 연구하였으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

[1] 김상호, 신승호, 양상용, 이종우, 2003, “낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구”, 한국해양환경공학회지, 6(3), 26-36.
 [2] 김석윤, 이병관, 2004, “2003년 3월 대조기 광양만 부유퇴적

물의 유출입에 관한 연구”, 한국수산학회지, 37(6), 511-516.
 [3] 김석윤, 하정수, 2001, “낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화”, 한국수산학회지, 34(3), 268-278.
 [4] 김성환, 2005, “하구둑 건설 이후 낙동강 하구역 삼각주 연안사주의 지형변화”, 대한지리학회지, 40(4), 416-427.
 [5] 반응부, 1995, “낙동강 하구 연안사주 지형의 변화”, 부산여자대학교논문집, 155-195.
 [6] 부산광역시 강서구청, 2004, “낙동강 하구 오염해역 및 소형선 통항로 확보 준설 연구용역”.
 [7] 부산광역시 통계연보, 1999-2004.
 [8] 양한섭, 김성수, 1994, “수영만 퇴적물의 퇴적속도와 중금속 오염”, 한국수산학회지, 27(5), 643-658.
 [9] 윤한삼, 유창일, 강윤구, 류청로, 2007, “낙동강 하구역 삼각주 발달에 관한 문헌 고찰 연구”, 한국해양공학회지, 21(2), 22-34.
 [10] 윤한삼, 이인철, 류청로, 2005, “낙동강 하구역내 사주간의 단면유량플럭스 수치모의”, 한국해양환경공학회지, 8(4), 186-192.
 [11] 이인철, 유창일, 윤한삼, 2007, “낙동강 부정형적 사주발달과 환경인자간의 상관성 비교 연구”, 한국해양환경공학회지, 10(1), 13-20.
 [12] 星加 章, 谷元照己, 三島康史, 1996, “大阪灣における粒狀物に關する實驗的考察”, 水環境學會誌, 19(7), 585-590.
 [13] Deloffre, J., Lafite, R., Lesueur, P., Lesourd, S., Verney, R. and Guezennec, L., 2005, “Sedimentary processes on an intertidal mudflat in the upper macrotidal Seine estuary, France”, Estuarine Coastal and Shelf Science, 64(4), 710-720.
 [14] Kim, K.H., Yi, B.H., Lee, I.C. and Yoon, H.S., 2006, “Suspended Particulate Matter Behaviors in the Nakdong River Estuary of Korea”, Proceeding of International Conference on Civil and Environmental Engineering, 193-200.
 [15] Yanagi, T., Hagita, T. and Saino, T., 1994, “Episodic Outflow of Suspended Sediments from the Kii Channel to the Pacific Ocean in Winter”, Journal of Oceanography, 50, 99-108.
 [16] Yi, B.H., Lee, I.C. and Yoon, H.S., 2007, “Spatio-Temporal Topographical Change around Jinudo in the Nakdong River Estuary”, Abstracts of 32nd IAHR, Italy, 2, 734.

2007년 10월 10일 원고접수

2008년 4월 18일 수정본 채택