

낙동강 하구역 사주 주변에서의 퇴적물질의 유입거동 해석

김경희 · 이인철
부경대학교 해양공학과

The Analysis of Inflowing Sediments Behavior around the Sandbar in Nakdong River Estuary

KYUNG-HOI KIM AND IN-CHEOL LEE

Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

KEY-WORD: Nakdong River Estuary 낙동강, Sandbar 사주, In-situ Collection Experiment 현장포집실험, Suspended Particle Sediment 부유사, Bed load 소류사

ABSTRACT: In-situ collection experiments were performed to analyze inflowing sediments behavior as a basic study of topographical change in Nakdong River Estuary. Sediment rate and bed load flux ranged from 0.0004 to 0.472 g/cm²/day and 0.0005~1.7579 g/cm²/day, respectively. The settling velocity of suspended particulate matter was estimated in the range of 0.339~1.010 cm/sec. The grain size analysis shows that surface sediments in backside of sandbar and bed load in front of dike have a similar grain size distribution. It is considered that the source of surface sediments in backside of sandbar were flowed in from Nakdong River. In order to verify the characteristics of inflowing sediments behavior, detailed surveys around Nakdong River Estuary need to be carried out, continuously.

1. 서 론

육지환경과 해양환경의 전이지역인 하구역은 육역으로부터 유입하는 담수와 해수의 상호작용이 활발한 해역으로 하천수에 의해 운반되어온 부유물질이 갑작스러운 유속의 감소로 인해 침전하는 현상이 일어나는 등 복잡한 변화가 발생하는 해역이다(박 등, 1986). 하지만 우리나라 대부분의 하구역에서 환경변화를 야기할 수 있는 일련의 공사가 진행중이며, 특히 낙동강 하구역에 있어서는 녹산공단 조성, 하구둑 건설, 신항만 건설, 항로유지를 위한 준설사업, 녹산하수처리장 건설공사등으로 해안선에 많은 변화가 있었으며, 택지 조성 등 여러 산업시설 및 주거시설이 건설중이거나 건설 예정되어 있어 앞으로도 많은 변화가 예상되는 지역이다(김 등, 2001).

이러한 지형변화의 영향으로 해수흐름 및 해저지형이 변화하고 공유수면에 불특정 사주의 생성/소멸이 반복되어 항로매물 및 소형어선 통항로의 협소화, 수심저하등으로 인해 해난사고 및 저지대 침수피해가 증가하고 있다. 또한 육상 및 하구역으로 유입되는 오염물질이 천해역에 축적되기 쉽고 해수의 소통이 원활하지 못함에 따라 만성적인 부영양화가 나타나고, 빈산소수괴가 출현하는 실정이다. 그러므로 낙동강 하구역의 지속적인 이용과 개발을 위해서는 지형 변화에 대한 체계적인 관리가 요구되어 진다.

이와 관련하여 낙동강 하구역의 퇴적환경에 관한 연구로서는 수치모델을 통한 낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구(김 등,

2003), 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화(김 등, 2001), 시추 코아 분석을 통한 퇴적환경 연구(은 등, 1998) 및 수치모델을 통한 부유사 거동 해석(김 등, 1995) 등과 같은 퇴적물의 시공간분포와 퇴적특성에 관련한 연구는 많이 보고되고 있으나, 하구역 퇴적환경에 직접적인 요소로 작용하는 퇴적물을 실제 현장포집실험을 통해 해석한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 낙동강 하구역의 사주환경의 체계적인 관리방안을 마련하기 위한 장기적인 지형변화 예측의 기초적 연구로서 하구역으로 유입하는 입자성 부유물질과 해저로부터 재부상하는 소류사의 거동특성을 파악하고 표층퇴적물의 입도분석실험 및 입자성 부유물질의 침강속도를 산정하여 하구역으로 유입하는 퇴적물질의 유입거동 특성에 대하여 검토하였다.

2. 자료 및 방법

2.1 대상해역

낙동강은 유로연장 약 530 km, 유역면적 6.4×10⁹ km², 유출량 1.5×10 km³/y, 하상경사 1/1,100 -1/10,000, 유출계수 0.47, 하상계수 372인 하천이다. 대상해역인 낙동강 하구역은 우리나라 최대 규모의 하구로, 수심이 얕고 수온이 높으며 천해역이 발달한 하구생태계를 형성하고 있으나, 1987년 하구둑 건설 후 해수유동 변화, 해저지형 변화, 오염물질의 이동을 포함한 많은 문제점들이 발생하고 있는 지역이다. 특히 어선 통항로의 협소화 및 수심저하등으로 인해 진우도 서안에서의 해난사고가 2000년 2건, 2001년 4건, 2002년 5건으로 증가하고 있으며, 수신간소로 인해 방류수의 외해 유출이 지연되면서 침수발생의 우려가 높고, 매년 반복적으로 태풍 및 이상폭우시 방류량 증가에 따른 방류수

제1저자 김경희 연락처 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1
051-620-6228 kobile@korea.com

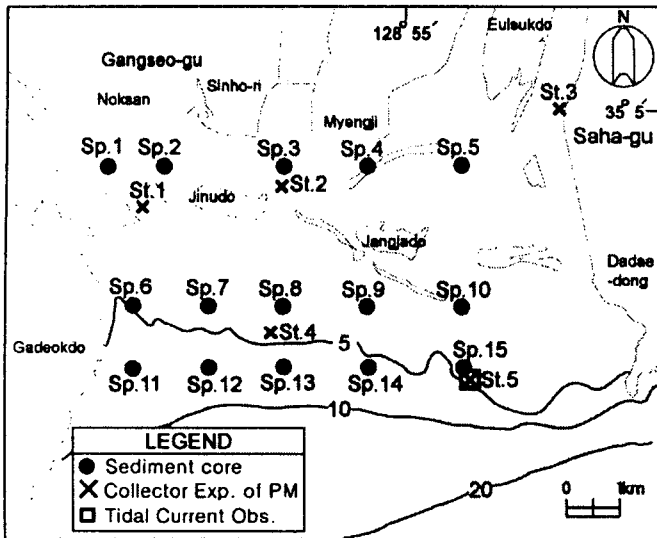


Fig. 1 Map shows the bathymetric chart and sample locations. A cross points represent the in-situ collector experiment Station of Suspended particulate matters(PM), Black circles indicate the sampling Station of sediment core and Square mark shows tidal current observation Station

의 위해 도달시간 증가로 침수피해가 발생하고 있는 해역이다

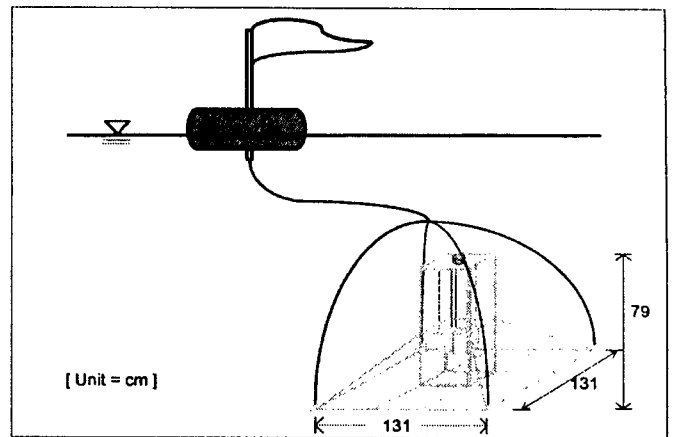
2.2 입자성 부유물질 및 소류사 포집실험

입자성 부유물질 및 소류사의 포집실험은 낙동강 전면해역의 St.1~St.5(Fig. 1의 x표시)에서 2004년 2월 6일~26일까지 20일간 실시하였으나, St.2의 포집기를 분실하여 나머지 4개 정점에서의 포집기를 회수하였다.

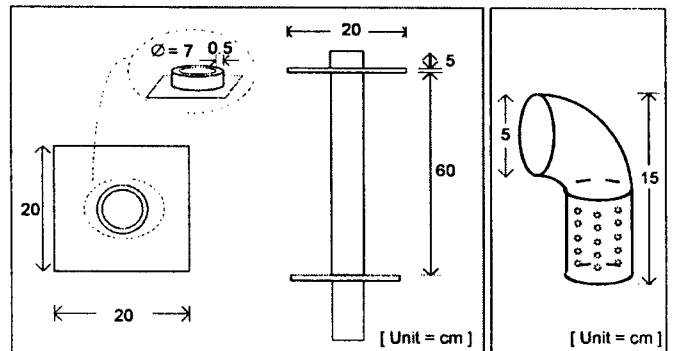
입자성 부유물질의 포집실험을 위해 Fig. 2에 나타나 있는 철제강판 거치대(131×131×79cm)내에 아크릴 투명 원통형 포집기(직경 7cm, 깊이 65cm)로 구성된 포집실험장치를 평탄한 해저면에 거치하였다. 소류사 포집기는 Fig. 2 (c)에 나타나있는 PVC와 스텐인레스 재질의 소류사 포집장치를 포집기 측면 4방향(동, 서, 남, 북)에 포집기의 침하를 고려하여 30cm높이에 설치하였다. 20일 후 포집기를 회수하여 원통형 포집기 하단부의 폴리에틸렌 포집병에 채취된 시료와 소류사 채집기의 시료를 실험실로 운반하여, -70℃의 초저온 냉동고에 보관한 다음 동결건조기로 수분을 완전히 제거하여 표준중량을 측정하고 포집속도와 소류사 flux를 계산 한 후 표준체를 사용하여 체분석을 실시하였다.

2.3 표층퇴적물의 입도분석실험

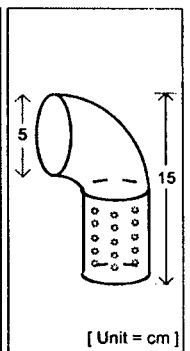
낙동강 하구역의 표층퇴적물의 채취는 2004년 2월 7일에 Fig. 1의 Sp.1~Sp.15(Fig. 1의 ●표시)에서 Grab채니기를 사용하여 실시하였다. 채니 샘플은 1리터 폴리에틸렌 병에 담아 실험실로 운반하여 건조용 캔에 보관한 뒤, 항온 건조조에 넣고 105±5℃로 24시간 건조시킨 후, 수분의 흡수를 막기 위하여 Desiccator 안에서 실온과 같은 온도로 식혀, 표준체를 사용하여 체분석을 실시하였다.



(a) Collector System of particulate matters



(b) Collector Sampler



(c) Bed Load Collector Sampler

Fig. 2 In-situ experimental system of collecting particulate matters

2.4 입자성 부유물질의 침강속도 산정

구형의 입자성 부유물질이 수중으로 침강하는 경우, 침강속도 W 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$W = \frac{4}{3} \frac{D}{C_D} (\rho' - \rho) g \quad (1)$$

여기서 D 는 입경, ρ' 은 입자의 밀도, ρ 는 해수의 밀도, g 는 중력가속도이며 C_D 는 항력계수이다. 이번 연구에서 측정결과 레이놀즈수($Re = WD/\nu$, ν 는 해수의 동점성계수)는 0.001~1의 범위에 있고, 침강속도는 Stokes 법칙의 적용범위에 있다. 따라서 일반적인 $C_D = 24/Re$ 의 관계가 성립하여, 침강속도는 식 (2)와 같이 표현되어진다.

$$W = \frac{D^2}{18\mu} (\rho' - \rho) g \quad (2)$$

여기서 μ 는 점성계수이다.

본 연구에서는 포집실험을 통하여 나타난 입자성 부유물질의 입도분석 결과로부터 평균입도를 계산하고, 식 (2)의 Stokes 침강법칙을 적용하여 입자성 부유물질의 침강속도를 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 포집실험 결과

입자성 부유물질(PM)의 포집실험 결과는 진우도 서측(St.1)과 남측(St.4)에서 각각 349g과 361g 정도로 많았으나, 낙동강 하구 연 수로구간 (St.3과 St.5)에서는 포집량이 약 0.3~57g으로 적게 측정되었다.

이를 실험기간 동안의 포집속도로 환산하면 약 0.0004~0.4720 g/cm²/day의 범위로서 4개 정점의 평균 포집속도는 0.2508 g/cm²/day 로 산정되었다.

한편, St.5에서의 포집속도 측정결과(=0.07 g/cm²/day)는 이 등(2003)의 2002년 하계 홍수기시에 St.5 부근에서 실시한 포집속도(=0.163 g/cm²/day)에 비해 약 1/2 정도로서 금회 관측시기가 간수기시 입을 감안하면 유의한 결과로 추정된다.

소류사 flux의 범위는 0.0005~1.7579 g/cm²/day정도로, 진우도 남쪽에서 flux가 가장 크게 나타났고, 전반적으로 퇴적flux가 큰 영역에서 소류사의 flux또한 크게 나타났다(Fig. 3).

3.2 표층퇴적물의 입도분석결과

포집되어진 입자성 부유물질과 소류사를 정점별로 통일분류법(USCS)에 의해 입도분석을 실시하였다. 입자성 부유물질의 경우 St.1, St.4, St.5 에서 200번체 통과량이 10% 이하인 입도분포가 나쁜 모래(SP)가 분포하였으며, St.3에 대해서는 그 양이 너무 작아 입도분석을 실시하지 못하였다(Fig. 4). 소류사의 입도분석 실험결과 St.1, St.4, St.5에 대해서는 입자성 부유물질과 같은 입도분포가 나쁜 모래(SP)가 분포하였으나 St.3 즉 하구둑 전면에서는 200번체 통과량이 40% 전후인 점토질 모래(SC)로 분류되었다(Fig. 5).

낙동강 하구역 표층퇴적물의 입도분석실험 결과는 Sp.2~Sp.5, Sp.9 및 Sp.11 정점에서 200번체 통과량이 40% 전후의 점토질 모래(SC)로 분류되었고, 나머지 영역에서는 대체적으로 200번체 통과량이 10% 이하인 입도분포가 나쁜 모래(SP)로 분류되었다(Fig. 6).

표층 퇴적물 입도의 공간적 분포를 살펴보면 낙동강 하구 사주 북쪽과 장자도 주변에서 점토질 모래(SC)가 나타났으며, 진우도 서쪽과 사주 바깥지역에서 입도분포가 나쁜 모래(SP)가 분포하였다(Fig. 7). 이는 낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구에서 Folk분류법에 의해 5개의 퇴적상으로 분류되어진 저질 입도의 공간적 분포와 비교 분석한 결과 대체로 유사한 경향으로 나타났다(김 등, 2001).

3.3 침강속도의 산정

낙동강 하구역에서의 해수중의 입자태 부유물질의 침강속도를 식 (2)의 stokes 침강법칙을 사용하여 계산하였다.

본 계산에서 입자의 밀도 ρ' 는 흙과 모래의 밀도인 1.4~2.0의 범위를 입력하였고(國立天文台, 2000), 해수의 밀도 ρ 는 1.206, 중력가속도 g 는 9.8 m/sec², 점성계수 μ 는 0.01 g/sec/cm 를 입력하여 계산하였다.

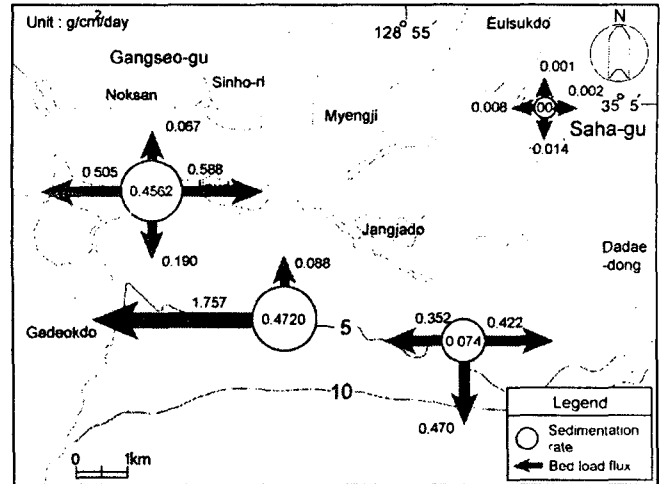


Fig. 3 Measured data of Sedimentation rate and Bed load flux by in-situ collection experiment

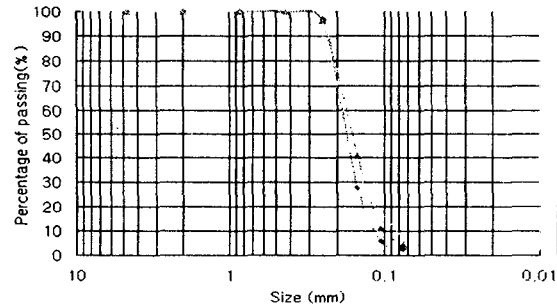


Fig. 4 Grain size accumulation curve of Suspended particulate matter

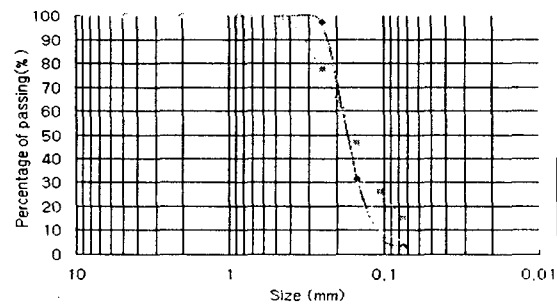


Fig. 5 Grain size accumulation curve of Bed load

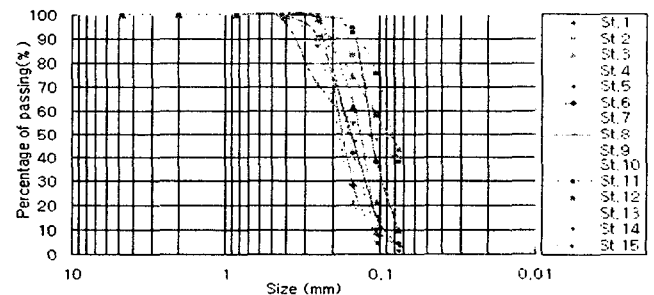


Fig. 6 Grain size accumulation curve of Surface sediment

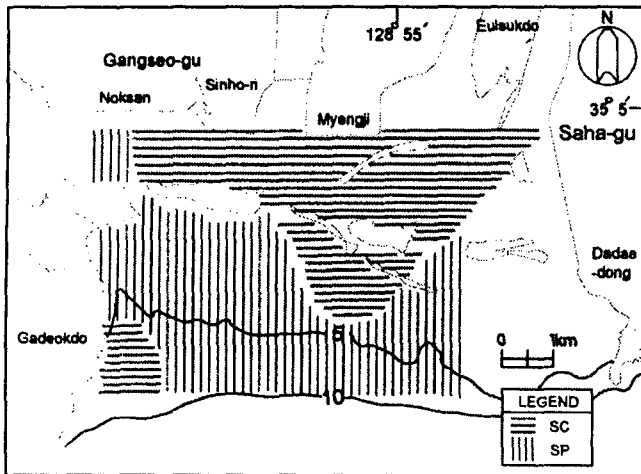


Fig. 7 Distribution of sediment type in the surface sediments

St.1에서는 평균입경이 0.138 mm로 침강속도는 0.388~1.010 cm/sec, St.4에서는 평균입경이 0.129 mm로 침강속도는 0.339~0.882 cm/sec, St.5에서는 평균입경이 0.132 mm로 침강속도는 0.355~0.924 cm/sec의 범위로 나타났다.

본 연구에서 계산되어진 침강속도는 Terumi Tanimoto et al.(1994)이 일본 Osaka만을 대상해역으로 산출한 0.02~1.3 mm 입경을 가지는 입자의 침강속도가 0.02~1.5 cm/sec 추산된 결과와 유사하게 산정되었다.

3.4 퇴적물 거동에 대한 고찰

입자성 부유물질 및 소류사의 포집실험 결과로부터 전반적으로 입자성 부유물질의 포집속도가 큰 영역에서 소류사 flux도 크게 나타나는 경향을 보여 소류사 flux와 입자성 부유물질포집속도간에 상관성이 높은 것으로 예상되었다.

St.3 에서의 소류사의 입도분포와 Sp.3, Sp.4, Sp.5 주변의 사주 배후면의 하중도군에서 표층퇴적물의 입도분포가 유사하게 나타나, 사주 배후면의 경우 낙동강 수로를 통해 이동하는 소류사에 의해 퇴적이 발생하는 것으로 추정되며, 이에 대하여 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 낙동강 하구역의 사주환경의 체계적인 관리방안을 마련하기 위한 장기적인 지형변화 예측의 기초적 연구로서 하구역으로 유입하는 입자성 부유물질과 해저로부터 재부상하는 소류사의 거동특성을 파악하고 표층퇴적물의 입도분석실험 및 입자성 부유물질의 침강속도를 산정하여 하구역으로 유입하는 퇴적물질의 유입거동 특성에 대하여 검토하였다.

입자성 부유물질의 현장포집실험 결과로서 퇴적 flux 및 소류사 flux는 각각 0.0004~0.4720 g/cm²/day, 0.0005~1.7579 g/cm²/day의 범위로 진우도 부근 정점에서 높게 나타났으며, 전반적으로 퇴적flux가 큰 정점에서 소류사의 flux도 크게 나타나 높은 상관성을 보일 것으로 판단된다.

표층 퇴적물을 채집하여 입도분석을 실시한 결과에 따르면 낙동강 사주를 중심으로 북쪽은 대체로 점토질 모래(SC)이었으며, 사주 남쪽영역에 대해서는 입도분포가 나쁜 모래(SP)가 분포하였다. 또한 포집되어진 입자성 부유물질과 소류사의 입도분석을 실시한 결과에 따르면 St.3에서는 점토질 모래(SC)가 나타났으며 나머지 정점에서는 입도분포가 나쁜 모래(SP)가 나타나 사주 배후면의 하중도군의 퇴적물의 기원이 낙동강으로부터 이동해 온 것으로 추정된다.

포집되어진 입자성 부유물질을 Stokes 법칙을 이용하여 계산한 침강속도는 0.339~1.010 cm/sec의 범위로 나타났다.

앞으로 낙동강 하구의 사주형성 퇴적물의 기원 및 하구역에서의 퇴적특성에 관한 연구를 계속 실시하여 낙동강 하구역의 지형변화 예측 및 사주환경 관리를 위한 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

후 기

본 논문은 해양수산부 해양수산개발원의 수산특정연구 "연안 생태환경공간 복원/조성 기술(1차-2004년)" 과제의 연구결과 중 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 김상호, 신승호, 양상용, 이종우 (2003) "낙동강 하구 사주 발달에 관한 연구", 한국해양환경공학회, 제6권 3호, p26~36.
- 김석운, 하정수 (2001) "낙동강 하구와 주변 연안역의 표층 퇴적상 및 퇴적환경 변화", 한국수산학회, 제34권 3호, p268~278.
- 김재중, 김기철, 이정만 (1995) "낙동강 하구에서의 부유사 거동에 관한 연구", 한국해양공학회, 제9권 1호, p120~131.
- 은고요나, 정철환, 김동주 (1998) "시추 코어 분석을 통한 영산강과 낙동강 하구 지역의 퇴적환경 비교 연구", 한국환경과학회, 제7권 6호, p889~893.
- 이유대 (1993) "부산만 해저지질의 특성연구 ; 낙동강 하구 수역의 퇴적 영역", 한국지구과학회, 제14권 1호, p67~74.
- 이인철, 김경희, 옥근, 정봉길 (2003) "낙동강 하구역에서의 홍수기 부유현탁물질의 포집 실험과 퇴적 속도의 산정", 한국해양환경공학회, 2003년도 추계 학술대회 논문집, p15~18.
- 이인철, 김경희, 류청로, 김운태 (2004) "낙동강 하구역의 퇴적물 유입거동 해석에 관한 연구" 한국해양환경공학회, 2004년도 춘계학술대회 논문집, p218~222.
- Terumi Tanimoto, Akira Hoshika (1994) "Settling Velocity of Suspended Particles in Osaka Bay and Etauichi Bay" 海の研究, Vol.3, p13~20.
- 國立天文台 (2000) 理科年表, 丸善株式會社, 物22(445)~物22(446).