

오사카만에서 부유토사의 확산특성에 대한 침강속도의 중요성

김종인*

*부경대학교 해양공학과

Importance of the Settling Velocity on the Suspended Solids Diffusion in Osaka Bay

JONG-IN KIM*

*Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: Lagrangian Particles Trajectory Method 라그랑쥐 입자추적법, 3-D Baroclinic Flow Model 3차원 Baroclinic 흐름 모델, Suspended Solids Particles 부유토사입자, Settling velocity 침강속도, Neutral Particles 중립입자

ABSTRACT: Numerical experiments are conducted using a three-dimensional baroclinic equation model and a Lagrangian method for clarifying the effect of the settling velocity on the suspended solids diffusion caused by the dredging and the reclamation works. Diffusion characteristics of the neutral particles and the weighting particles is experimented by the Lagrangian particles trajectory model. The results show that the diffusion characteristics of the suspended solids is effected by the settling velocity classified by the particles size in the density layered semi-closed bay.

To estimate exactly the diffusion characteristics of the suspended solids and the contaminant with weight the three-dimensional baroclinic equation model and the three-dimensional Lagrangian particles trajectory model considering the settling velocity of the particle in the density layered semi-closed bay must be used.

1. 서 론

해안매립, 호안축조 및 항로나 박지 준설 등의 공사중에 발생하는 부유토사의 발생강도는 공사의 종류, 방법 및 규모 뿐만 아니라 주변지형이나 유동환경에 따라 크게 변화하며, 내만이나 연안해역에 있어서 하천수량에 비례하여 유입되는 토사량 및 토사입자의 크기 등에 따라 연안역의 물질수송, 해양생태환경 및 퇴적환경에 지대한 영향을 미치게 된다. 또한 하천 유입토사는 해양생태환경, 해안 및 해저지형 형성에도 중요한 역할을 할 것으로 예상된다.

연안역에 있어서 수질환경을 보전하고, 퇴적환경을 파악하기 위해서는 해역의 물질수송에 커다란 역할을 하는 부유토사의 수송기구 및 확산특성을 규명하는 것은 매우 중요한 일이다. 하천으로부터 연안해역에 유입된 부유토사의 침강속도는 해수 유동에 대해서 상대적으로 연직방향으로 작용하므로 토사입자의 크기·형상 및 해역의 위치·수심·유동환경특성 등에 따라 크게 변화한다(Tanimoto and Hoshika: 1994).

특히, 해안공사 중에 발생하는 부유토사나 하천유입토사의 확산범위를 예측하는 방법으로는 2차원 수심평균유동모델로 수치실험을 실시하여 얻어진 유동장 아래에서 확산모델 및 입자추적모델이 주로 사용되고 있다. 그러나 폐쇄성이 강한 내만

에 하천수가 유입하여 해수와 하천수사이의 밀도차에 의한 하구순환과 제반 기상인자에 의한 밀도성층이 형성되어 있거나 지구자전효과가 작용하여 복잡한 유동구조를 나타내는 해역에서는 부유토사의 확산범위 및 이동경로를 정도 높게 규명하기에는 한계가 있다. 또한, Lagrangian 입자추적실험방법 중 중립입자를 사용하여 부유토사의 확산범위를 예측하는 경우에는 중립입자가 수립자와 함께 수송되기 때문에 하천수 및 중립인 오염물질의 이동경로를 추적하는 데에는 편리하나 중량을 가진 토사입자와 같이 수송·침강하면서 퇴적하는 물질의 확산범위를 파악함에 있어서는 적용한계가 있음을 알 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 오사카만과 같이 밀도성층이 형성된 해역에 하천으로부터 유입하는 부유토사의 확산특성에 미치는 침강속도의 중요성을 검토하기 위하여 3차원 Baroclinic 흐름에 대한 수치실험을 실시하였다. 이 수치실험을 통하여 얻어진 유동장 및 확산장 중에 수립자와 함께 이동하는 중립입자와 부유토사의 대표입경이 0.001 mm ~ 0.008 mm 에 해당하는 3종류의 수치입자를 Yodo river 하구로부터 방류하여 3차원 Lagrangian 입자추적실험을 실시하였다. 그 결과를 근거로 하여 부유토사의 확산범위예측 시 입자의 침강속도가 부유토사의 확산특성에 미치는 영향에 대하여 논의하고자 한다.

2. 수치실험의 내용

좌표계는 직교좌표계를 사용하며, 평균해면의 한 점을 원점으로 잡고 연직방향으로 z축을 잡는다. 3차원 유동을 지배하는

제1저자 김종인 연락처 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1
011-593-0289 joinkim@hanmir.com

기초방정식은 질량, 운동량 및 스칼라량의 보존칙을 근거로 하여 유도된다. 스칼라량의 보존칙으로서는 수온편차 및 염분편차의 확산방정식이다. 비압축성 유체에 대해 시간 평균한 후의 기초방정식은 김종인 등(1997; 1999; 2001)과 같다.

차분 격자망에는 김종인 등(1997; 1999; 2001)에 나타내고 있는 바와 같은 엇갈림격자를 사용한다. 이 격자망을 사용하면 각 변수의 정의 위치 및 대상으로 하는 검사체적(control-volume)이 각각 달라진다.

차분방정식의 유도는 검사체적법(control-volume method)을 사용한다. 즉 운동방정식에 있어서, 시간에 관해서는 원칙적으로 중앙차분(leap frog method)을 쓰고, 이류항에 대해서는 전진차분법으로, 확산항에 대해서는 이류항 및 Coriolis항의 시간 step 보다 1 step 늦은 값(즉 $2\Delta t$ 의 시간간격의 전진차분을 취한 값)을 택한다. 이것은 중앙차분에서는 확산항을 다른 항과 같은 시간 step의 값을 써서 계산하면 항상 불안정하기 때문이다. 수온 및 염분의 확산방정식에 대해서도 운동방정식과 같은 가정하에 차분화한다.

흐름장의 계산에는 가중평균 파라미터를 사용한 음해법을, 또 수온 및 염분의 산정에는 완전 양해법에 의거하여 계산한다.

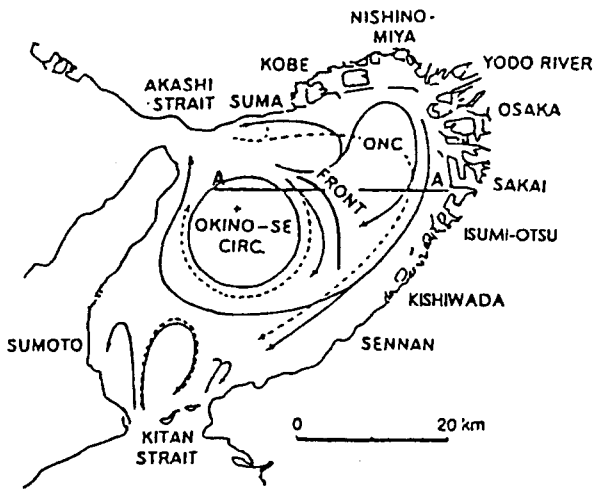


Fig. 1 Map of tidal residual system and computation domain in Osaka Bay

가중평균 파라미터는 흐름의 안정성을 고려해서 0.75로 한다. 또, 시간의 차분화에 중앙차분을 사용하므로 생기는 계산 결과의 오차를 소거하기 위하여 30 steps에 1번 Matsuno 방법에 의해 시간의 차분화에 전진차분을 도입한다.

수치계산에서 대상으로 하는 대상영역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 오사카만을 중심으로 Akashi 해협과 Kitan 해협을 포함한 $64 \text{ km} \times 64 \text{ km}$ 인 해역을 대상으로 하였다. 계산조건은 Table 1에 나타난 바와 같이 계산격자간격은 수평방향으로 1 km, 연직방향으로 수심 20 m 까지는 2 m 간격이며, 그보다 깊은 해역에서는 4 m, 6 m, 15 m, 15 m 의 14층으로 분할하여 계산하였다. 이 계산에서 사용한 3차원 Baroclinic 흐름

의 수치모델 및 외동점성계수 등의 계수는 Nakatsuji (1994)와 같다. 하천수의 유입량으로서는 Yodo river 의 평균유량 $271 \text{ m}^3/\text{s}$ 만을 고려하여 3차원 Lagrangian 입자추적실험을 실시하였다. 대상으로 한 조위변동은 반일주조(M_2 분조) 만을 대상으로 하였다. 본 연구에서 사용하고 있는 Baroclinic 밀도류 모델은 현장관측에서 얻어진 조류 및 조석자료와 비교검증을 통하여 구축되었으며, 오사카만내의 유동을 양호하게 재현하고 있다는 것이 Nakatsuji (1994) 등의 연구에서 판명되었다. 수치입자의 이동에 영향을 미치는 물리량은 Baroclinic 흐름의 수치계산 등으로부터 얻어진 임의의 시간, 임의의 점에 있어서의 3방향 유속과 외동확산계수이다. 3방향의 유속에 대해서는 수치입자의 침강속도를 고려한 연직방향의 이류효과를, 외동확산계수는 정규난류를 발생시켜서 확률적인 확산효과를 도입하였다. 수치입자의 방류방법은 10,000개의 입자를 일시에 Yodo river 하구에서 방류하였다. 입자추적실험 시 사용한 입자의 대표입경은 $0.001 \text{ mm} \sim 0.008 \text{ mm}$ 범위의 중앙입경이 $\phi = 10, 9, 8$ 인 3종류의 입자를 선정하여, 각 입자의 거동 및 퇴적분포특성을 중심으로 논의하였다. 또한 입자의 형상은 구형으로 가정하였다. 이 때 수치입자의 입경은 ϕ 척도(입경이 $1/2^\phi \text{ mm}$ 로서 표시되는 ϕ 값) 로서 구분하고, 각 입자의 침강속도는 Hoshika et al.

Table 1 Conditions for numerical simulation

Item	Simulation condition
Time interval	30 sec
Horizontal mesh interval	1 km
Vertical direction resolution(14 levels)	2 m, 2 m, 2 m, 2 m, 2 m, 2 m, 2 m, 2 m, 2 m, 4 m, 6 m, 10 m, 10 m
Summer atmospheric condition(7, 8)	· Air Temp.: $26.8 \text{ }^\circ\text{C}$ · Vapor pressure: 26.2 hPa · Cloud: 6.7
Sea boundary condition(7,8 mean)	· Seawater Temp. : $22.0 \text{ }^\circ\text{C}$ · Salinity : $32.0 \text{ }^\circ\text{‰}$
Discharge boundary condition	· Temperature : $28 \text{ }^\circ\text{C}$ · Salinity: $20 \text{ }^\circ\text{‰}$ · Sigma-t : 22.508
Tide	M_2
Drag coefficient	· Sea floor: 2.6×10^{-3} · Wall: 1.0×10^{-3}
Horizontal eddy coefficient	SGS Model : $50 \sim 0.1 \text{ m}^2/\text{sec}$
Vertical eddy coefficient	Neutral cond. : $0.005 \text{ m}^2/\text{sec}$
Coriolis parameter	$8.21 \times 10^{-5}/\text{sec}(N35.)$
Total computing time	60 tides

(1994)이 오사카만 내의 3개 정점에서 실측을 통하여 구한 식 중 $W_d = 4.14 \times D^{0.91}$ 에 의거하여 산출하였다. 여기서, D는 토사 입자의 직경이다.

3. 수치실험결과 및 고찰

3.1 Yodo river 평균유량방류시 유동특성

Fig. 2는 Yodo river 평상시 유량이 배출되었을 때 수표면으로부터 1 m, 5 m, 9 m 의 수심에서의 조석잔차류의 유속벡터를 나타낸 것이다. 수심 1 m 층에서는 타 수심에서의 유속에 비하여 보다 큰 유속을 나타내고 있으며, Yodo river 하구로부터 남쪽 및 남서쪽을 향하는 유동장이 형성되고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 수심 5 m 층에 있어서는, 오사카만 북동부해역에 시계방향으로 회전하는 환류가 형성되고 있다는 것을 알 수 있다. 한편, 표층으로부터 수심 6 m 사이의 층을 통해서 서쪽을 향해서 흐르는 유량을 공급하기 위하여 수심 9 m 층에 있어서는 만의 내측(동쪽)을 향하는 흐름이 형성되고 있다.

이상의 결과를 이용하여 예측해 볼 수 있는 것은 하천을 통하여 폐쇄성만 내로 유입되는 부유토사 및 부유성 오염물질 등은 표층의 흐름에 의하여 조석전선이 형성되고 있는 해역까지 이류된 후, 혼합 및 침강하면서 하층의 흐름에 의하여 수송될 것이라는 것을 예측할 수 있다.

따라서 입자추적실험 중 수치입자를 중립입자로서 취급할 것인가 중량을 가진 침강성 입자로 취급할 것인가에 따라 부유물질의 확산특성은 크게 변화할 것이므로 입자추적실험으로서 부유물질의 확산범위 및 퇴적특성을 정도 높게 예측하기 위해서는 연직방향의 흐름을 재현할 수 있어야 하며, 해역특성에 따라 입자의 침강속도도 또한 변화하므로 현장해역에서 입경별 침강속도를 측정하여 입자추적실험을 실시하여야 할 것으로 사려된다.

3.2 침강속도를 고려하지 않은 중립입자의 거동특성

Yodo river의 평수유량이 유입하는 경우에는 오사카만의 동부해역상층부를 통하여 유입하는 Yodo river 하천수는, 약 8일 동안 동부해역의 상층을 통하여 Nishinomiya 전방해역에 존재하는 환류에 의하여 수표면으로 확산하지 않은 채로 순환한 후, Suma전방해역을 통과하여 오사카만 서부해역에 존재하는 강 혼합해역으로 수송된다. Yodo river로부터 1만개의 수치입자를 방류하여 3차원 Lagrangian 입자추적실험을 실시하였다. Fig. 3은 중립입자를 방류한 시점으로부터 1, 5, 10, 15, 20, 30 조석 후 수립자와 함께 이동하는 중립입자의 수평분포를 나타낸 것이다.

Yodo river로부터 유출된 중립입자의 수평분포는 1조석 후에는 남남서방향으로 이동하고, 5조석 후가 되면, Nishinomiya 전방해역에 중심을 가진 시계방향으로 회전하는 환류의 외연부, 즉 조석 front를 따라 입자군의 선두부가 Kishiwada 전방해역에 도달한다.

그 후 하천수에 의해 형성되는 표층류의 흐름성분이 약화되어 Nishinomiya 환류의 외연부 흐름을 타고 북북서방향으로

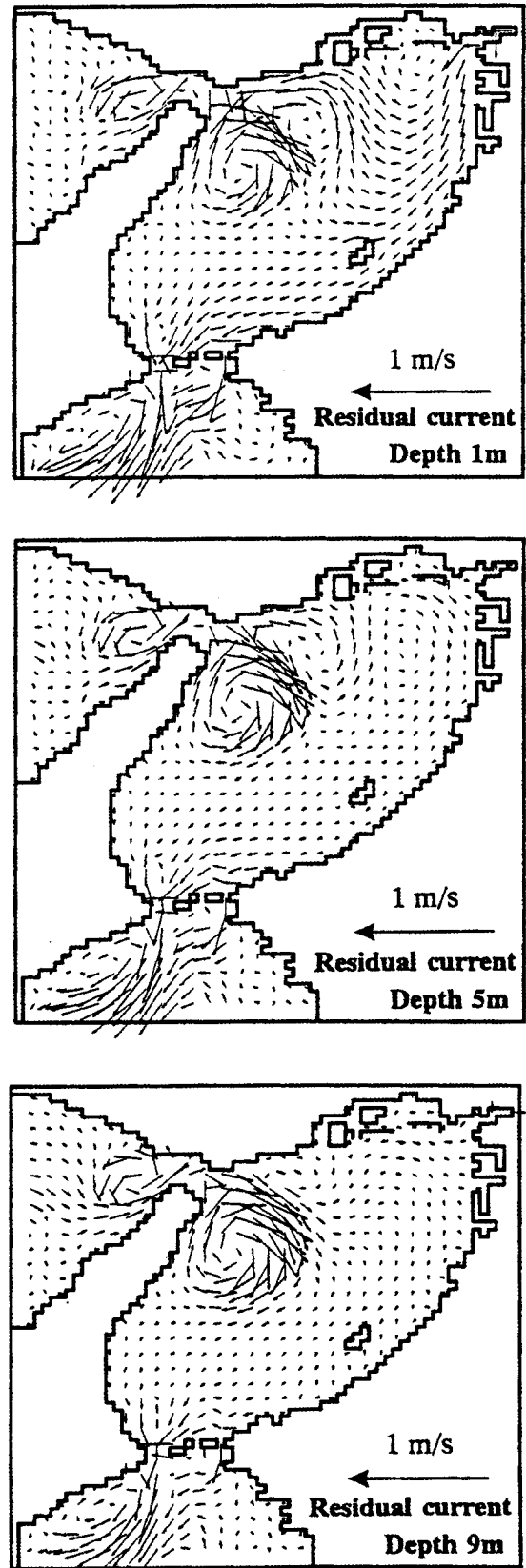


Fig. 2 Tidal residual current vectors at the depth of 1 m, 5 m, 9 m in Osaka Bay.

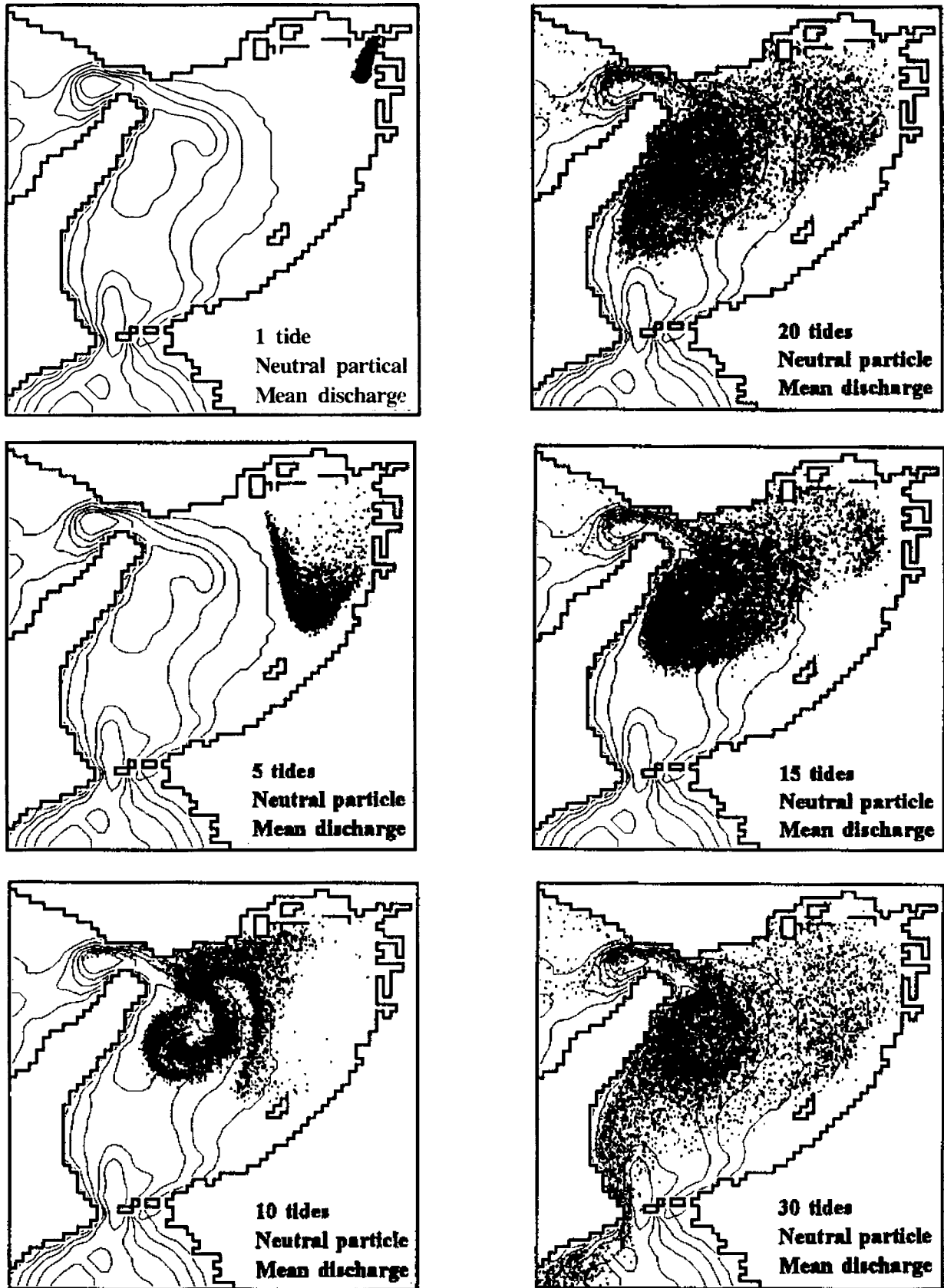


Fig. 3 The horizontal distributions of the neutral particles of in 1 tide, 5 tides, 10 tides, 15 tides, 20 tides and 30 tides

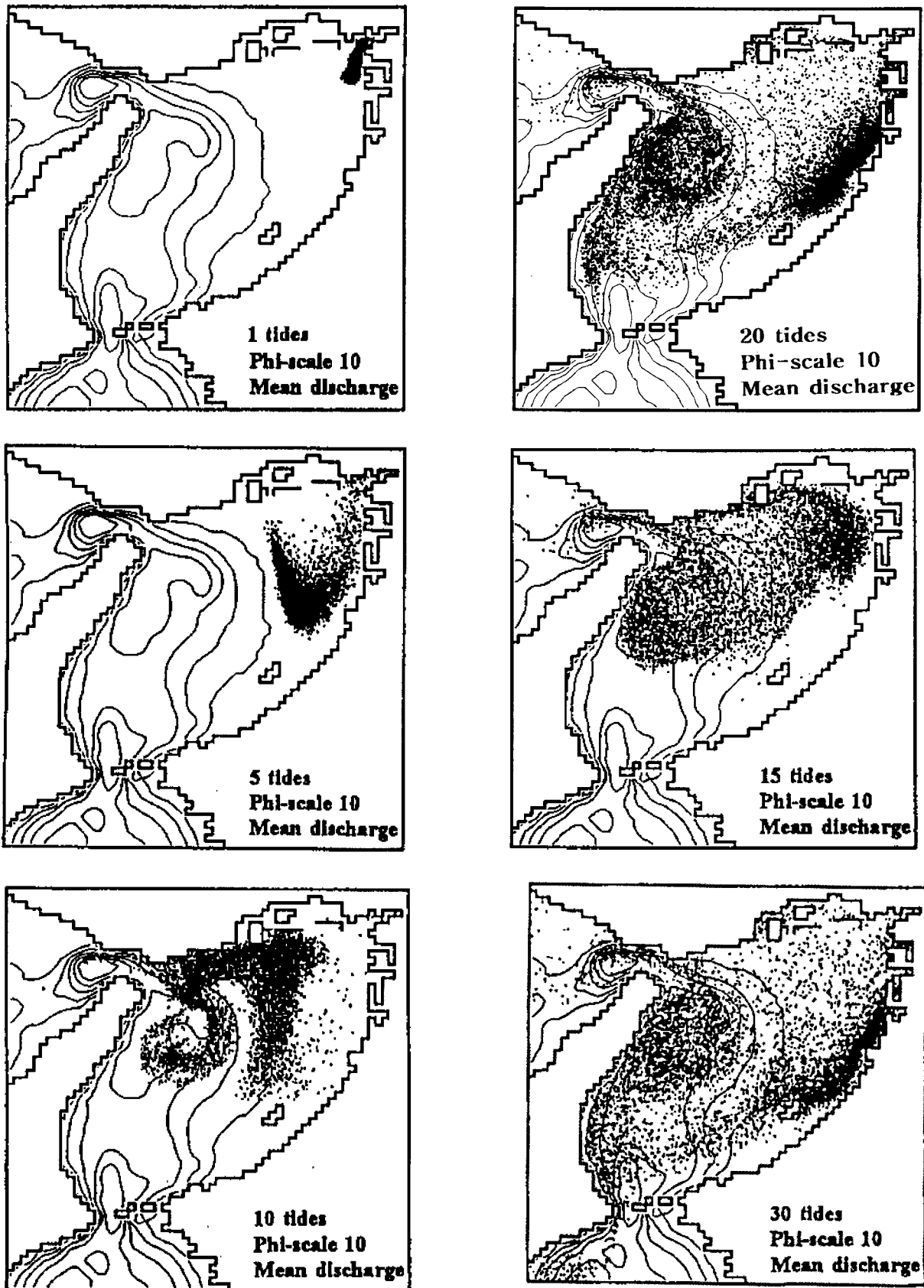


Fig. 4 The horizontal distributions of particles of $\Phi = 10$ in 1, 5, 10, 20 and 30 tides

이동하고 있음을 알 수 있다.

10 조석 후에는 조석 front를 따라 Kobe 및 Suma전방해안을 따라서 Akashi channel 까지 이동한 후 Akashi 해협을 통하여 유입하는 강한 흐름에 의하여 형성되는 Okino-Se 환류에 의하여 연행되고 있는 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 반면, Suma 전방해역에 남북으로 늘어선 입자군 중 일부가 점차 Kobe 전방해역을 통하여 Nishinomiya-Oki 환류에 휘말리면서 오사카만 내측을 향하는 일부의 입자군을 볼 수 있다.

15조석 후가 되면, 중립 입자군 중 일부가 Akashi 해협의 북측해안을 따라 Harimanada 해역으로 유출되고 있으며, 대부분의 입자군은 Okino-Se 환류에 의하여 확산되고 있음을 알 수 있다. 또한, 입자군 중 일부가 Nishinomiya 환류의 영향을 받아 오사카만 내측 해역으로 이동하는 것을 알 수 있다. 이 후 20조석 후에도 대부분의 중립 입자군은 시계방향으로 회전하는 Okino-Se 환류에 휩쓸리면서 Awajisima 동쪽 연안을 따라 점차 남하하고 있는 중립 입자군과 약 30%정도의 입자가 하구 순환에 의하여 동부해역의 하층을 통하여 재유입하면서 만 내측을 향하고 있음을 알 수 있다.

30조석 후가 되면, 중립입자 군은 Okino-Se 환류에 의하여 오사카만 해역전역으로 확산되고, 일부의 중립입자는 만 동북쪽해역과 Awajisima 동쪽해안을 따라 Kitan 해협을 통하여 외해로 유출되고 있음을 알 수 있다.

즉, 중립입자를 사용하여 Lagrangian 입자추적실험을 실시한 결과, 부유토사의 확산범위를 예측하는 경우에는 동일밀도의 수립자와 함께 수송되기 때문에 하천수 및 중립의 오염물질의 이동경로를 추적하는 데에는 편리하나 중량을 가진 토사입자와 같이 침강하면서 퇴적하는 물질의 확산범위를 파악함에 있어서는 적용한계가 있음을 알 수 있다.

3.2 침강속도를 고려한 입자군의 거동특성

3.2.1 입경 $\Phi=10(0.0015 \text{ mm})$ 인 입자

부유토사의 확산범위에측 시 침강속도를 고려하였을 경우의 확산특성을 규명하기 위하여 Fig. 4는 입자추적실험을 개시한 시점으로부터 1, 5, 10, 15, 30 조석후의 입자군의 수평분포를 나타내고 있다. 평면상에 입자의 거동을 3차원적으로 표현한다는 것은 어려운 일이며, 입자의 크기에 따른 침강속도의 고려여부가 수평방향의 부유토사 확산특성에 미치는 영향을 파악하는 것이 목적이므로 수심방향으로 적분한 입자의 수평분포만을 비교하였다.

Yodo river 하구에서 방류한 후로부터 5조석 후의 입자군은 Yodo river 하구로부터 남서방향을 향한 후, 입자군의 남단은 관서공항도 북동쪽 4km 떨어진 해역에 위치하면서 Nishinomiya 환류의 외연부, 즉 조석전선을 따라 북서방향으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 이 때 중립입자분포에서는 하구부근해역에 분포하는 입자군은 볼 수 없었으나, 입경이 $\Phi=10$ 인 입자인 경우에는 밀도성층 하부수심에 존재하는 하구를 향하는 저층류가 존재하는 수심에 침강하여 저층류의 영향을 받아 하구주변해역에 입자군이 분포하고 있음을 알 수 있다. 10조석 후 약 60%정도의 입자군은 조석전선이 형성되어

있는 20 m의 등수심선 부근해역에 분포하며, 입자 중 약 약 60%가 Okino-Se 환류가 존재하는 해역에 분포하여 중립입자인 경우와는 서로 다른 분포특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 15 조석 후에는 입경이 $\Phi=10$ 인 입자군은 Okino-Se 환류의 영향역에 대부분의 입자군이 분포하고 있는 중립입자군과는 전혀 다른 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 입경이 $\Phi=10$ 인 입자는 수립자와 같이 이동하는 중립입자에 비하여 침강속도가 크기 때문에 조석전선을 경계로부터 하구순환에 의하여 오사카만 북동부해역을 향하는 입자군이 보다 많이 분포하고 있음을 알 수 있다. 30 조석 후가 되면, 중립입자군은 입경이 $\Phi=10$ 인 입자군에 비하면 Okino-Se 환류역에 휘말린 후 Akashi 해협과 Kitan 해협을 통하여 타 해역으로 유출되고 있으나, 입경이 $\Phi=10$ 인 입자군은 Okino-Se 환류와 Yodo river 하구로부터 남서방향으로 형성된 저층류에 의하여 오사카만 전 해역으로 확산되고 있음을 알 수 있다.

이러한 수치실험결과로부터 하천수가 유입하여 밀도성층이 형성된 해역, 즉, 하구순환이 존재하는 해역에서 공사 중에 발생하는 부유토사 및 침강속도를 가지는 오염물질의 확산을 예측하는 경우에는 토사입자의 크기에 따른 침강속도가 부유토사의 확산특성에 지대한 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 밀도성층이 형성되어 있는 해역에서 부유토사 및 오염물질의 확산범위를 정도 높게 예측하기 위해서는 수심변화에 따른 유동특성을 재현할 수 있는 3 차원 모델을 사용해야 하며, 연구대상해역에서 현장실험을 통한 연구대상해역의 입경별 침강속도를 산정한 후 각 입자의 입경별 침강속도를 고려하여 수치실험을 실시하여야 할 것으로 사려된다.

3.2.2 입경 $\Phi=9(0.003 \text{ mm})$ 인 입자

Fig. 5는 수치입자를 투입한 시점으로부터 5, 15, 30 조석후 $\Phi=9$ 인 입자군의 수평분포를 나타내고 있다. $\Phi=9$ 인 입자의 침강속도는 0.227 m/day 로서 $\Phi=10$ 인 입자의 침강속도 0.119 m/day 에 비하여 침강속도가 크기 때문에 5조석 후에는 수심 2~5 m 의 수심에 침강하여 하구전방해역에 형성되고 있는 저층류에 의해서 운반되고, 입자군의 선단부는 Izumiootsu 전방해역까지 도달한다. 15조석 후에는 $\Phi=9$ 인 입자군 중 일부는 Okino-Se 환류해역까지 이동하여 분포하고 있으나, 대부분의 입자군은 주로 Yodo river 하구로부터 남서방향으로 형성되고 있는 저층류에 의하여 확산되며, 오사카항 전방해역으로부터 관서공항도 북서쪽해역에 걸쳐 해안선으로부터 10 km 떨어진 해역에 해안선과 평행하게 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한, 30 조석 후가 되면, 입자군은 Okino-Se 환류와 Nishinomiya 환류의 영향을 받아 오사카만 동부해안을 따라 형성되는 흐름의 영향을 받아 해안으로부터 약 8 km 의 폭을 가지고 해안선과 평행하게 분포하며, 입자군 중 일부는 Kitan 해협을 따라 유출되고 있는 입자군도 볼 수 있다.

3.2.3 입경 $\Phi=8(0.006 \text{ mm})$ 인 입자

Fig. 6은 입경이 $\Phi=8$ 인 입자군의 5, 15, 30 조석후의 입자군의 수평분포를 나타내고 있다. $\Phi=8$ 인 입자의 침강속도는 0.418

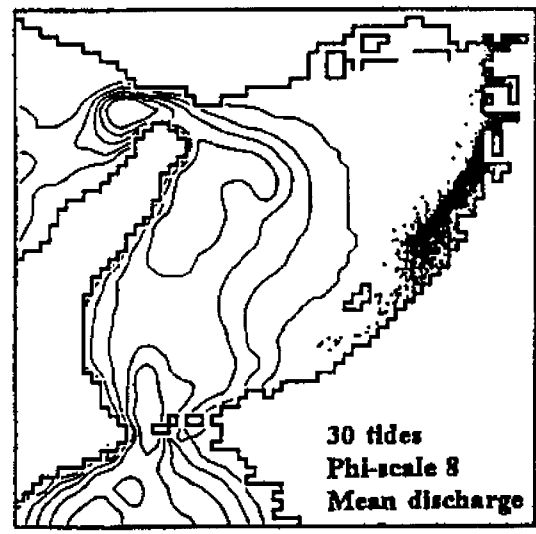
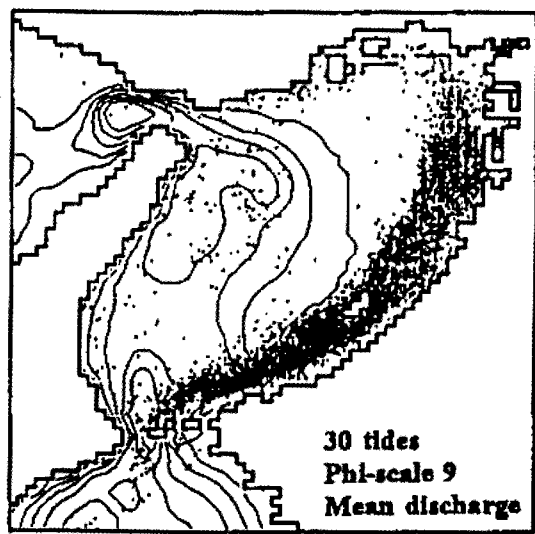
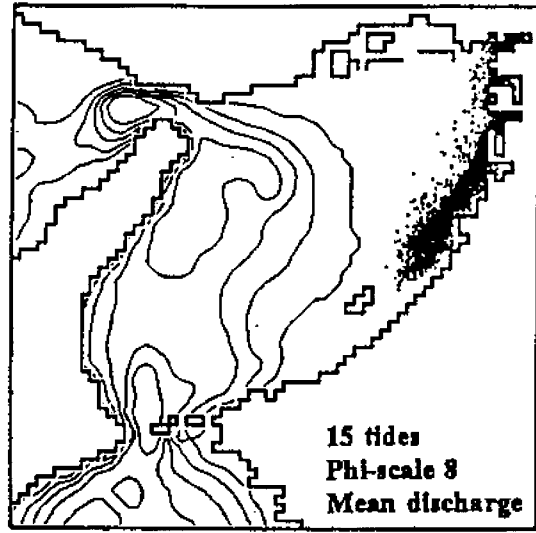
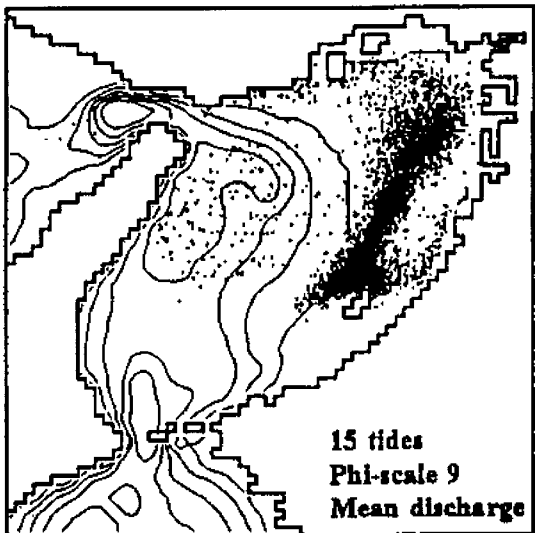
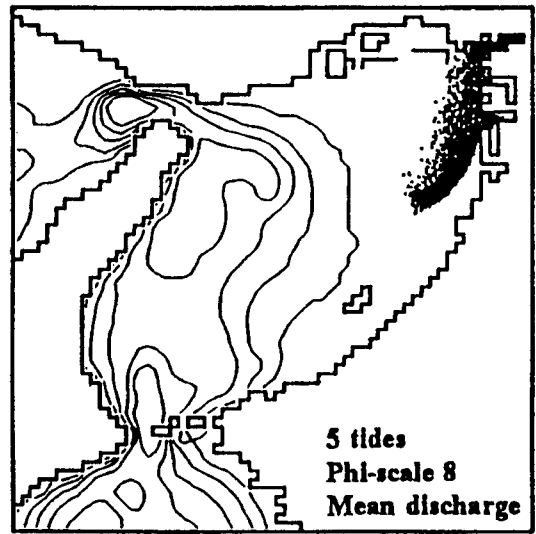
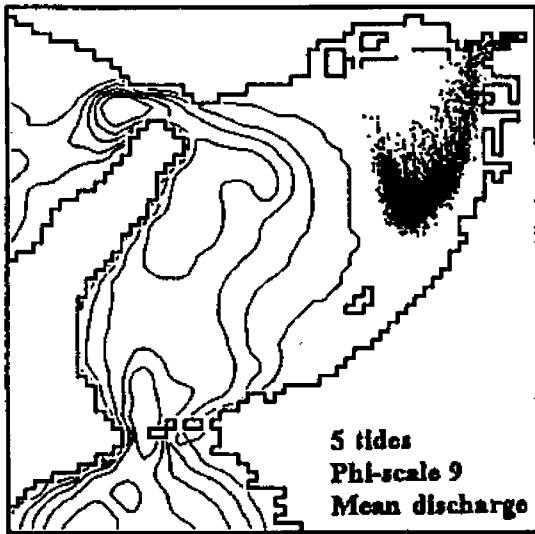


Fig. 5 The horizontal distributions of particles of $\Phi = 9$ in 5, 15 and 30 tides

Fig. 6 The horizontal distributions of particles of $\Phi = 8$ in 5, 15 and 30 tides

m/day 로서 $\Phi=10$ 인 입자에 비하여 침강속도가 비교적 크기 때문에 5조석 후에는 수심 5~10 m 의 수심에 침강하여 해당수심의 흐름에 의하여 수송된다.

따라서 5 조석 후에는 입자군의 선단부는 Izumi-Otsu로부터 약 7 km 떨어진 해역까지 이동하나 중립입자나 입경이 $\Phi=8$ 보다 작은 입자에 비하여 그 확산역은 한정되고 있음을 알 수 있다. 이러한 원인은 표층부의 흐름에 비하여 저층부의 흐름이 미약하기 때문으로 생각된다. 15조석 후의 입자분포를 보면, Kishiwada 전방해역에 선단이 위치하며, 점차 오사카만 동쪽 해안에 접근하면서 남서방향으로 이동하여 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 30조석 후의 입자군의 분포와는 그다지 변화가 없음을 알 수 있으며, 이는 입경이 $\Phi=8$ 인 경우에는 침강속도가 타입경의 입자에 비하여 크므로 대부분의 입자군은 수심이 비교적 얇은 동부해안을 따라 수심 20 m 이하의 해저에 퇴적하여 이동하지 않기 때문으로 생각된다.

이상의 계산결과로부터 하천수 유입 및 수온상승 등의 요인에 의하여 하구순환 및 밀도성층이 형성되어 있는 해역에서 해안매립, 방파제건설 및 준설 등에 의해 발생하거나 하천으로부터 유입하는 토사의 확산범위를 수치실험을 통하여 예측하는 경우, 수치입자를 중립입자로서 취급하느냐 침강하는 입자로 취급하느냐에 따라 확산영역은 커다란 차이를 나타낸다. 따라서 수치실험을 통하여 토사가 해양환경에 미치는 영향을 보다 정도 높게 규명하기 위해서는 연직방향의 유속을 재현할 수 있는 3 차원 모델을 사용하여야 할 것이다. 또한 해양생물에 피해를 줄 것으로 예상되는 토사의 입경을 선정하고, 각 입경별 침강속도를 고려하여 예측하여야 할 것으로 생각된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 항만공사 및 준설 중 발생하는 부유토사나 하천유입토사가 해양환경에 미치는 영향범위를 입자추적실험으로서 예측하는 경우, 입자의 침강속도의 고려여부가 부유토사의 확산특성에 미치는 영향을 규명하기 위하여 3 차원 유동장 아래에서 3차원 Lagrangian 입자추적수치실험을 실시하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 밀도성층이 형성되어 있는 해역에서 부유토사 및 오염물질의 확산범위를 정도 높게 예측하기 위해서는 물질의 중량에

의한 침강속도를 고려할 수 있도록 3차원적인 유동을 재현할 수 있는 유동모델을 사용해야한다.

(2) 중립입자로서 부유토사의 확산범위를 예측하는 경우에는 중량을 가진 토사입자와 같이 침강하면서 퇴적하는 물질의 확산범위를 파악하는 데에는 한계가 있음을 알 수 있다.

(3) 하천수가 유입하여 밀도성층이 형성된 해역, 즉, estuary 순환이 존재하는 해역에서는 토사의 입경별 침강속도가 부유토사의 확산특성 및 퇴적특성에 지대한 영향을 미칠 수 있다.

(4) 부유토사의 확산역을 예측하는 경우에는 토사입자의 크기가 토사의 확산특성에 지대한 영향을 미칠 수 있으므로 대상해역에서 실측한 입경 별 침강속도를 측정 및 산정한 후 각 입자의 입경 별 침강속도를 고려하여 토사에 의한 피해영향범위를 산정해야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 김종인·김현주 (1999). "3-D 밀도류 모델을 이용한 고온·고염수의 확산해석", 한국해양공학회지, 제13권, 제3-2호, pp 3-13.
- 김종인·류청로 (2001). "폐쇄성 내만에서의 Estuary 순환의 중요성", 한국해양공학회지, 제15권, 제4호, pp 38-45.
- Hoshika, A., Tanimoto T. and Mishima, Y. (1994). "Sedimentation Process of Particulate Matter in the Osaka Bay", Study of Ocean, Vol 3, No 6, pp 419-425.
- Kim, J. I. (1997). The Study on the Sedimentation and the Transportation of Suspended Solids Discharged from Rivers in the Osaka Bay, Doctorial Dissertation, Osaka University.
- Nakatsuji, K. (1994). "Estuarine Circulation and Mass Transport in Osaka Bay, Japan", Hydraulics Series 94-A-9, A-9-1-A-9-28.
- Tanimoto, T. and Hoshika, A. (1994). "Settling Velocity of Suspended Particles in Osaka Bay and Etauichi Bay", Study of Ocean, Vol 3, No 6, pp 13-20.

2002년 5월 1일 원고 접수

2002년 8월 5일 최종 수정본 채택