

해저조도 변화를 이용한 폐쇄성 만의 해수순환 개선

부성윤*

*해군사관학교 조선공학과

Improvement of Tidal Circulation in a Closed Bay using Variation of Bottom Roughness

SUNG YOUN BOO*

*Department of Naval Architecture, Korea Naval Academy, Jinhae, Korea

KEY WORDS: Bottom Roughness 해저조도, Tidal Circulation 해수순환, Multi-level Model 다층모델, Residual Current 잔차류, Volume Flow Rate 해수교환량

ABSTRACT: Tidal circulation in a closed bay using a variation of bottom roughness was investigated through the numerical experiments based on a finite difference multi-level model. Various distributions of bottom roughness in the bay were implemented to determine their effects. It had been determined that residual currents can be generated from the differences of the bottom roughness between streaming and reverse flow directions. The magnitude of residual currents and volume flow rate increase when the relative ratio of bottom roughness between streaming and reverse flow directions increase. Circulation in the closed bay is also improved by the employment of the change of bottom roughness.

1. 서 론

폐쇄성 만이나 항만의 경우 만 외부와의 해수 교환이 원활하지 아니하므로 만 내부의 오염이 누적되어 연안환경이 나빠질 수 있다. 그리고 대형 부유구조물(정태영, 1998; 조규남, 1999; Inoue et al., 1994) 등이 연안에 설치된 경우에도 이 구조물이 해수유동을 제한시켜 구조물 주변의 환경이 변할 수 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 여러 기법이 강구되어져 왔다. 만 입구의 형상이나 방파제의 형상을 변형하는 방법, 도류제를 이용하여 유황을 조절하는 방법(양찬규와 홍기용, 1998), 연직 순환 구조물을 설치하여 수심방향의 순환을 촉진하는 방법(Asaeda et al., 1994) 등은 이미 잘 알려진 기법이라고 할 수 있다. 이외에도 해저조도 즉, 해저에 소형의 인공구조물을 설치하여 잔차류를 발생시켜 해수교환을 촉진하는 방법(Bazilevskii et al., 2001; Yano et al., 1996)도 제안되었다.

조석 잔차류를 발생시키는 해저 구조물에는 V자형, 1/4 원통형 등의 다양한 형상이 있으며 구조물의 형상과 설치방향에 따라 해저조도가 다르게 나타날 수 있다. 이상에서 기술한 해저조도 변화용 구조물을 이용할 경우 이 구조물의 높이가 항행하는 선박에 영향을 미치지 않도록 설계를 한다면 해상 경관상의 문제점이 없을 뿐만 아니라 매우 환경 친화적인 방법으로 해수순환을 촉진시켜 폐쇄성 만의 수질을 개선할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 만의 해수교환과 순환을 촉진시키기

위하여 만 내부에 조석 잔차류가 발생하도록 하는 기법, 즉 해저조도를 조절하여 잔차류를 발생시켜 폐쇄성 만의 순환을 개선하는 방법을 수치해석적인 기법으로 고찰하였다. 수치 모델링을 위하여 3차원 조류 유동방정식을 유한차분법을 이용하여 모델링 하였다. 그리고 유동제어 구조물 경계 조건을 포함하여 기타의 경계조건을 적절히 부과하였다. 그리고 연직방향으로는 복합구조물이 존재할 경우 적용이 용이한 다층모델(multi-level model)(부성윤, 1999; Tabeta and Fusino, 1994) 유한차분법을 사용하였다.

해저조도의 특성을 조사하기 위하여 우선 단순 형상의 폐쇄성 만을 가정하였다. 그리고 폐쇄성 만 내부를 남쪽과 북쪽으로 크게 양분한 후 세 가지 경우에 대하여 수치실험을 수행하였다. 즉 만 내부에 광범위하게 해저조도 변화를 주는 경우, 만에 국부적으로 해저조도 변화를 주는 경우, 해저조도 변화와 잠재 도류제(submerged flow guider)를 동시에 병용하는 경우에 대하여 잔차류의 변화에 대한 연구를 수행하였다.

그리고 각 경우에 대하여 순류방향(streaming flow direction)과 항류 방향(reverse flow direction)의 상대 해저조도의 차이에 의한 만 내부의 해수순환과 만 입구에서의 해수 교환량도 조사하였다.

일반적으로 해저조도의 크기는 해저의 특성에 따라 다르며 또한 그 크기도 저질에 따라 다르게 나타난다. 본 연구에서는 유사 연구에 통상적으로 사용하는 해저조도의 값을 기준으로 택하였으며, 이 값을 기준으로 해저조도의 크기를 조절하면서 수치실험을 수행하였다.

제1저자 부성윤 연락처: 경상남도 진해시 우체국 사서함 88호
055-549-1263 syboo@navy.ac.kr

2. 수치 모델링

2.1 지배방정식

해수유동 지배방정식을 정립하기 위하여 다음과 같은 두 가지 가정을 하였다. 즉 연직 가속도가 중력 가속도 보다 작다는 가정하에 연직방향 운동방정식을 근사화 하고, 밀도차가 중력가속도에 곱해지는 경우를 제외하고는 나머지항을 무시하는 Boussinesq 가정을 도입한다. 평균 자유표면에 위치한 직각좌표계에서 $x-y$ 평면을 평균 자유표면에 놓고, 또한 연직 상방향을 z 축의 양으로 택한다. 그리고 해역의 동향과 북향을 각각 x 축과 y 축의 양의 방향으로 정한다. 이러한 좌표계에 대하여 위의 가정에 의한 연속방정식은 다음과 같은 비압축성 유체에 대한 식,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

이 되고, x, y, z 축의 방향의 운동방정식은 식 (2)~(4)로 표현할 수 있다.

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + E_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + E_v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p}{\partial x} - fu + E_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + E_v \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g = 0 \quad (4)$$

식 (1)~(4)에서 $D/Dt = u \partial/\partial x + v \partial/\partial y + w \partial/\partial z$, u, v, w 는 x, y, z 방향의 속도성분, f 는 코리올리 상수, ρ_o 는 해수의 대표밀도, ρ 는 해수밀도, E_h, E_v 는 수평방향 및 수직방향 와(eddy) 동점성계수, p 는 압력이다.

2.2 경계조건

자유표면, 즉 해면에서의 해수의 속도장 등에 관련한 경계조건은 식 (10)~(11)로 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + u \frac{\partial \zeta}{\partial x} + v \frac{\partial \zeta}{\partial y} - w = 0 \quad (10)$$

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{xw}}{\rho_o}, \quad E_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{yw}}{\rho_o} \quad (11)$$

$$\tau_{xw} = C_{10} \rho_a u_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$$

$$\tau_{yw} = C_{10} \rho_a v_w \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$$

여기서 ζ 는 해면의 변위, τ_{xw}, τ_{yw} 는 x, y 방향의 바람 마찰 전단응력, C_{10}, ρ_a 는 공기의 항력계수와 밀도, u_w, v_w 는 바람의 수평방향 속도성분이다.

해저면에서의 경계 조건은 아래의 식 (13)~(14)로 나타낼 수 있다.

$$u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} + w = 0 \quad (13)$$

$$E_v \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_{xb}}{\rho_o}, \quad E_v \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_{yb}}{\rho_o} \quad (14)$$

$$\tau_{xb} = \gamma \rho_o u_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2}$$

$$\tau_{yb} = \gamma \rho_o v_b \sqrt{u_b^2 + v_b^2}$$

여기서 τ_{xb}, τ_{yb} 는 x, y 방향의 해저면 마찰 전단응력, γ 는 해저 마찰계수, u_b, v_b 는 최하층의 수평방향 유속성분, h 는 수심이다. 그리고 해저에서는 온도와 염분의 유입이 없다고 가정한다.

개방 경계면에서 조위는 식 (15)와 같이 조화함수로 주어지고, 경계면에 수직인 방향의 속도구배는 0이라는 조건을 사용한다.

$$\zeta(x, y, t) = \zeta_o \sin \frac{2\pi}{T_o} t \quad (15)$$

여기서 T_o, ζ_o 는 조석 주기와 진폭이다. 시뮬레이션 초기 ($t=0$)의 조위와 유동장의 속도는 전체 계산 영역에 걸쳐 식 (16)~(17)과 같이 부여한다.

$$\zeta(x, y, 0) = 0 \quad (16)$$

$$u(x, y, z, 0) = v(x, y, z, 0) = w(x, y, z, 0) = 0 \quad (17)$$

그리고 변조(modulation) 함수 f_m 을 도입하여 개방경계면의 조위를 점진적으로 증가시킴으로써 수치 시뮬레이션 대상 해역의 유동장이 서서히 발생하도록 한다. 개방경계면에 주어지는 변조된 조위 ζ_m 은

$$\zeta_m(x, y, t) = f_m \zeta(x, y, t) \quad (18)$$

으로 계산하고, 변조함수 f_m 은 초기조건을 만족하는 변조함수로 식 (19)와 같이 나타낼 수 있다.

$$f_m = \frac{1}{2} [1 - \cos(\frac{\pi t}{T_m})]; \quad t < T_m \quad (19)$$

$$= 1; \quad t \geq T_m$$

식 (19)에서 변조시간 T_m 은 $0.5T_o \leq T_m \leq T_o$ 의 값으로 시뮬레이션 초기에 시뮬레이션의 불안정성이 발생하지 않도록 적절히 택한다.

육지와외의 폐경계면의 경우 경계면의 접선방향의 속도는 nonslip 조건을, 경계면의 법선방향의 속도성분은 0으로 한다. 그리고 폐경계면과 수직인 방향으로의 수위의 구배(gradient)도 0으로 한다.

그리고 해저의 조도를 인위적으로 조절하기 위하여 인공 잠재를 해저에 설치할 경우 이 구조물에 대한 경계 조건도 적절히 부과한다. 즉, 잠재의 폭이 격자 크기에 비하여 매우 작기 때문에 잠재 도류제를 평판형 구조물로 가정할 수 있다. 따라서 이 경우 잠재의 법선방향 속도성분은 0으로 취하고 접선방향의 유동은 허용하도록 한다.

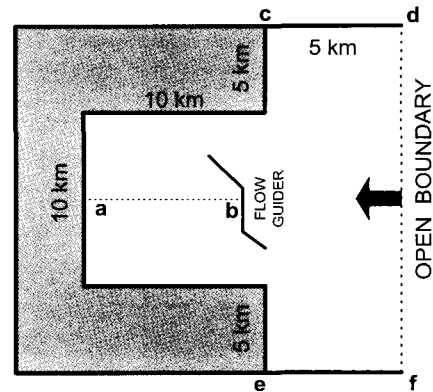


Fig. 1 Schematics of a closed bay

2.3 유한차분 다층(multi-level) 모델링

해수의 운동방정식을 three-time level 유한차분 양해법 (explicit method)으로 이산화하였다. 그리고 연직방향으로는 다층모델 기법을 적용하였으며, 비선형 이송항의 경우 비균일 격자계에서의 1차 상류차분 기법을 이용하였다. 그리고 유한차분 격자는 해의 안정성을 위하여 엇갈림 격자를 사용하였다. 시간 증분(time increment)은 표면중력과 연직유동류를 구분하여 CFL (Courant-Friedrich-Lewy) 조건식으로부터 구하였다. 이상에서 기술한 다층모델 유한차분 기법은 TIDE3dTS(부성운, 1997)에 상세히 기술되어 있다.

3. 수치 실험 및 검토

수치 실험을 하기 위하여 Fig. 1과 같은 폐쇄성 만을 가정하였다. 만 내부의 길이와 폭이 각각 10 km, 수심이 10 m로 가정하였다. 격자의 크기는 수평방향은 500m, 연직방향은 1m로 택하였고, 개방경계면(경계면 d-f)은 동쪽으로 설정하였다.

그리고 동쪽에 위치한 개방경계면에서 12시간 주기의 진폭 1m의 조위를 발생시켜 수치실험을 수행하였다. 또한 시뮬레이션 초기의 조위의 변조주기 T_m 을 12시간으로 택하였다. 수평 및 연직방향 와동점성계수는 각각 100과 $0.005 \text{ m}^2/\text{sec}$ 을 사용하였으며, 바람의 영향과 Coriolis 효과는 고려하지 아니하였다. 수치해석에 사용한 자료를 Table 1에 요약하였다.

경계면 c-d와 e-f는 slip을 허용하는 폐경계면으로 가정하였다. 그리고 만의 입구에 잠재 도류제(flow guider)를 추가 설치하여 도류제의 영향을 검토할 수 있도록 하였다.

해저마찰계수 γ 는 실험을 통하여 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 정도의 크기를 갖는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 유사 연구에 통상적으로 사용되는 $\gamma_o = 0.0026$ 을 기준치로 택하였다.

Table 1 Parameters for numerical experiments

Parameters	Data	Descriptions
f (sec ⁻¹)	0	Corioli parameter
g (m/sec ²)	9.81	gravitational acceleration
E_h (m ² /sec)	100	horizontal eddy viscosity
E_{vo} (m ² /sec)	0.005	vertical eddy viscosity
ρ_o (kg/m ³)	1025	reference density
γ_o	0.0026	bottom frictional coeff.
T_o (hrs)	12	period of tide
ζ_o (m)	1.0	amplitude of tide
$\Delta x, \Delta y$ (m)	500	horizontal mesh size
Δz (m)	1	vertical mesh size
Δt (sec)	10	time increment
N	10	number of levels

3.1 잔차류 검토

앞에서 기술한 수치기법을 이용하여 폐쇄성 만의 해수유동에 대한 시뮬레이션을 수행하고 아울러 잔차류를 계산하였다. 우선 균일한 해저조도 즉, $\gamma = \gamma_o = 0.0026$ 을 사용한 경우의 잔차류를 Fig. 2에 나타내었다. 여기서 Fig. 1에 도시한 도류제는 고려하지 아니하였다. 만 내부의 유동이 만의 중앙선을 중심으로 남쪽과 북쪽이 대칭을 이루고 있다. 그리고 만 안쪽의 잔차류의 크기가 매우 작아 만 내부의 순환이 원활하지 못함을 보여주고 있다. 반면에 만 외부에서는 강한 와류가 형성되어 해수 순환이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다.

순환이 잘 안되는 만(Fig. 2) 내부에 해저조도를 변화시켜 강제적으로 해수유동을 촉진하도록 하고자 한다. 해수 순환의 개선을 위하여 본 연구에서는 3가지 기법을 사용하였다. 즉, 만에 광범위하게 해저조도를 변화 시키는 방법, 부분적으로 해저조도

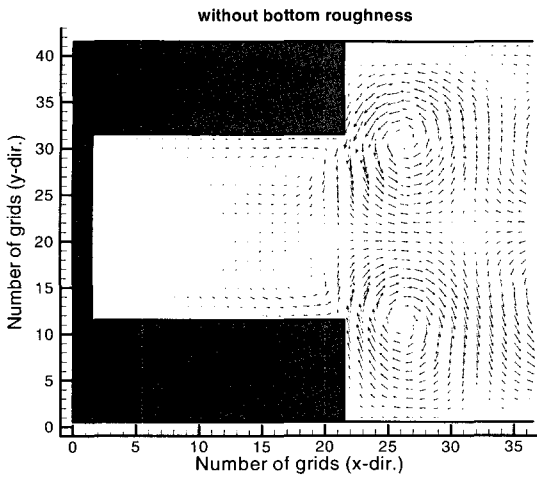


Fig. 2 Residual velocity vector with constant bottom roughness

를 변화시키는 방법, 해저조도와 도류제를 동시에 사용하는 방법 등이다. 이 세 가지 방법에 대한 수치실험 결과를 아래에 기술하였다.

우선 첫 번째 방법에 대한 수치실험을 하기 위하여 Fig. 3에 도시한 바와 같이 동서를 가로지르는 중앙선을 중심으로 만의 남쪽과 북쪽으로 양분하였다. 그리고 만 내부의 남쪽과 북쪽에 해저조도를 다르게 설정하였다(CASE I). CASE I의 경우 해저조도 변화를 만 내부 3km에서부터 만 입구 1km 사이 즉, 6km 구간에만 부여하였다. 그리고 만의 중앙선을 중심으로 북쪽(north side)에는 $u < 0$ 일 경우(유입)는 $\gamma = \gamma_o$, $u > 0$ 일 경우(유출) $\gamma = \alpha \gamma_o$ 로 주었으며, 남쪽(south side)에는 그 반대의 해저조도 값을 주었다. 여기서 α 는 해저조도의 상대비로써 이 값을 변화 시켜가면서 만 입구에서의 해수 교환량을 검토할 수 있도록 하였다. 그리고 그 이외의 영역에서는 기존 해저조도 값인 $\gamma_o = 0.0026$ 을 사용하였다. 이처럼 해저조도를 설정할 경우 순류는 북쪽의 만 입구를 통과하여 만 안을 돌아 나온 후 만의 남쪽을 지나 유출하는 방향이 된다. 그리고 항류는 순류의 방향과 반대이다.

Fig. 4는 CASE I에 대하여 순류 방향의 해저조도 $\gamma = \gamma_o$, 항류 방향의 해저조도 $\gamma = 2\gamma_o$ 인 경우의 수심 중간(다층모델에서 level 6의 위치)에서의 조석 잔차류이다. 해저조도 변화를 사용하지 아니한 경우의 결과(Fig. 2)에 비하여 만 내부의 순환이 뚜렷이 나타나고 있다. 잔차류의 방향이 Fig. 3에서 가정한 순류의 방향과 잘 일치한다. 즉, 해수가 만의 북쪽 입구 - 만 내부 - 만의 남쪽 입구를 거쳐 흘러가는 것을 알 수 있다. 이러한 유동현상으로 인하여 폐쇄성 만의 해수교환이 개선된다고 할 수 있다. Case I에 대한 해수 교환 특성은 다음 절에서 기술할 예정이다.

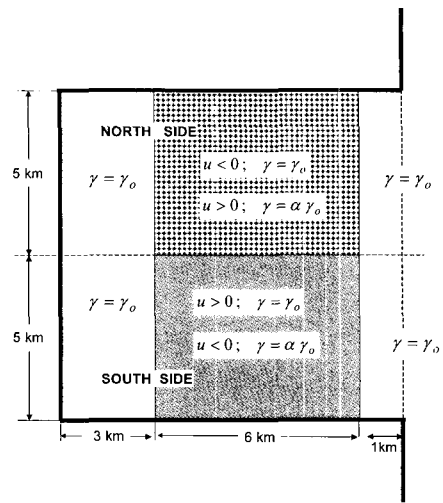


Fig. 3. Distribution of bottom roughness in both south and north side of the bay: CASE I

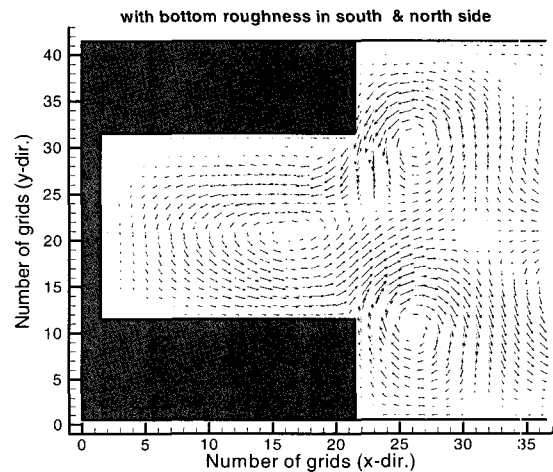


Fig. 4 Residual velocity vector for CASE I

CASE I(Fig. 3)처럼 만 내부에 해저조도 변화를 주기 위해서는 구조물을 광범위하게 설치해야 하므로 시설비의 증가와 아울러 구조물 설치로 인한 수심 감소 때문에 항행 선박의 안전에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 해저조도의 변화를 Fig. 5에 나타난 것처럼 만의 남쪽(south side) 부분에만 부여한 경우(CASE II)를 가정하여 수치실험을 수행하였다. 즉, CASE II의 경우 만의 남쪽의 해저조도는 $\gamma = \alpha \gamma_o$ 로 설정하여 α 를 변경하면서 유동특성을 검토할 수 있도록 하였다. 그리고 나머지 구역에서는 해저조도가 일정하다고 가정하여 기준치인 $\gamma = \gamma_o$ 를 사용하였다. 상대조도비 $\alpha = 2$ 를 가정하여 수치실험을 수행한 결과 중에서 수심 중간(level 6)에 대한 잔차류를 Fig. 6에 도시하였다. Fig. 4에 나타난 CASE I의 결과

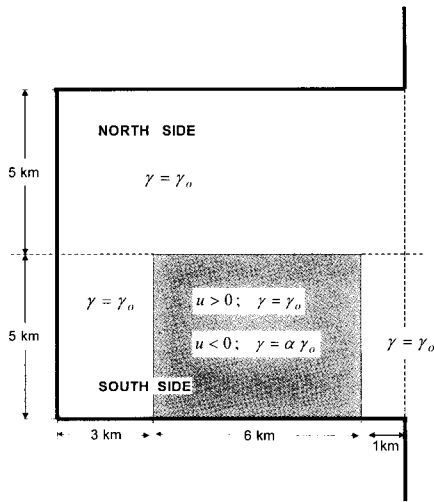


Fig. 5 Distribution of bottom roughness in south side only : CASE II

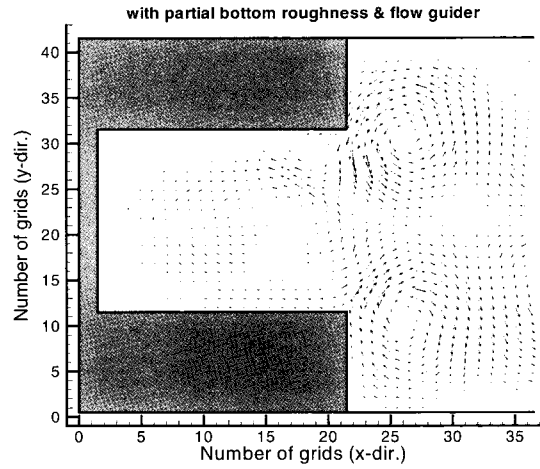


Fig. 7 Residual velocity vector for CASE II with flow guider

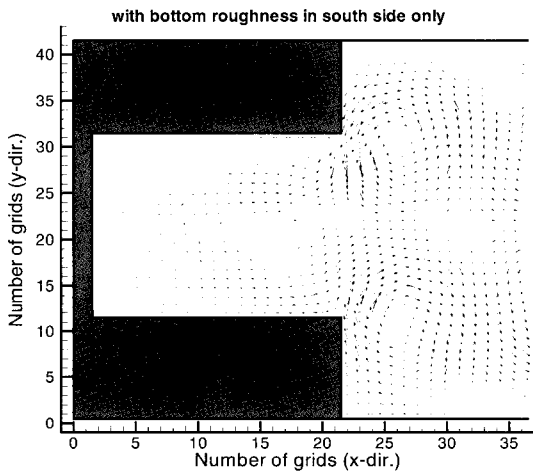


Fig. 6 Residual velocity vector for CASE II without flow guider

에 비하여 잔차류의 세기는 약하지만 잔차류의 방향은 Fig. 3의 경우처럼 순류의 방향과 잘 일치하고 있다. CASE II의 경우 즉, 해저조도 변화를 만에 국부적으로 주었을 경우에도 순류방향의 흐름을 지속적으로 유발하는 잔차류를 얻을 수 있었다. 따라서 상대조도비 α 를 조절함으로써 만의 해수교환을 개선시킬 수 있음을 알 수 있다.

이번에는 Fig. 5에 도시한 것처럼 해저조도 변화를 국부적으로 설정한 만(CASE II)의 입구에 잠재 도류제(Fig. 1)가 설치된 경우에 대하여 수치실험을 수행하였다. 도류제의 높이는 항행 선박을 고려하여 수심의 1/5인 2m로 제한하였으며, 그 이외의 입력 자료는 Fig. 6의 결과를 얻기 위하여 사용한 값과 동일한 자료를 사용하였다. 비교의 일관성을 유지하기 위하여 수심 중간(level 6)에서의 잔차류를 도출하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

도류제가 없는 경우(Fig. 6)에 비하여 북쪽 만 입구의 유동 특성이 약간 변화되었지만 전반적으로 잔차류의 세기에는 크게 기여를 하지 못하고 있다. 따라서 해저조도 변화와 잠재 도류제를 병용할 경우 도류제의 높이가 충분하지 못하면 해수 순환에 대한 기여도가 미약하다고 할 수 있다.

3.2 해수 교환량 검토

해저조도의 변화를 고려한 경우에 대한 만 입구에서의 해수 교환량(volume flow rate)을 검토하고자한다. Fig. 1에 도시한 바와 같이 만의 중앙선을 중심으로 북쪽과 남쪽으로 만을 양분하였다. 그리고 만의 남쪽과 북쪽을 통하여 유출입하는 해수의 양을 만 입구의 수평방향의 유속을 이용하여 계산하였다. 즉, 만 내부로 유입(in-flow)하는 경우를 양(positive), 유출(out-flow)하는 경우를 음(negative)의 해수 교환량으로 설정하였다.

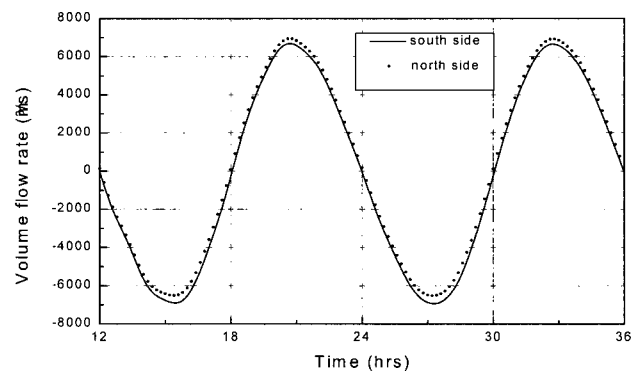


Fig. 8 Comparison of volume flow rate for CASE I

CASE I에 대하여 해저조도가 $\gamma=2\gamma_0$ 인 경우 만 입구(Fig 1의 c-e 사이)에서의 48시간 동안의 해수 교환량을 계산하여 그 결과의 일부를 Fig. 8에 도시하였다. 해수가 유입(양의 값)하는 경우는 북쪽만의 유입량이 남쪽 보다 많고, 유출(음의 값)하는 경우는 그 반대로 나타났다. 결국 만 내부의 해수는 유출입량의 차이만큼의 해수가 북쪽의 만을 거쳐 만 내부를 돌아 남쪽을 통하여 유출한다. 이러한 유출입량의 차이로 인하여 Fig. 4에 도시한 잔차류가 발생한다고 할 수 있다.

상대조도비 α 의 크기에 따른 해수 교환량의 변화를 검토하기 위하여 α 의 크기를 증가시키면서 교환량을 계산하였다. 해수 교환량은 조석주기 동안 시간에 따라 다르게 나타나므로, 이 중에서 최대 해수 교환량만을 도출하여 그 결과를 Fig. 9~12에 나타내었다. 여기서 상대조도비 $\alpha=1$ 인 경우는 $\gamma=\gamma_0$, 즉, 만의 해저조도의 변화가 전혀 없는 경우를 의미한다.

우선 Fig. 9와 10에 CASE I에 대한 최대 해수 유입률(in-flow rate)과 유출률(out-flow rate)을 나타내었다. 상대조도비 α 가 증가할수록 남쪽과 북쪽 만의 유입율의 차이가 증가하고 있다(Fig. 9). 그리고 남쪽과 북쪽의 유출률의 차이도 해저조도 증가에 따라 크게 증가되고 있다(Fig. 10). 따라서 상대조도비가 클수록 잔차류의 세기가 커지고, 이로 인하여 해수 교환량이 증가한다고 할 수 있다.

Fig. 10과 11에 CASE II의 경우 즉, 해저조도의 설치 범위가 만의 일부에 국한된 경우에 대하여 만 입구에서의 최대 해수 유출입률을 도시하였다. 상대조도비의 증가에 따른 남쪽과 북쪽의 유출입율의 증가율(기울기)이 CASE I의 결과(Fig. 9-10)에 비하여 완만하게 변하고 있다. 즉, CASE II의 경우가 CASE I에 비하여 해수교환 정도가 미약함을 알 수 있다. 예를 들어 CASE II의 경우 $\alpha=4$ 일 때의 해수 유입율이 CASE I의 $\alpha=3$ 일 때의 해수 유입율과 유사하다. 결국 CASE II의 경우처럼 해저조도변화를 만의 일부에만 부과한 경우 해수 교환량을 증가시키기 위해서는 해저 조도비 α 를 증가시켜야 함을 알 수 있다.

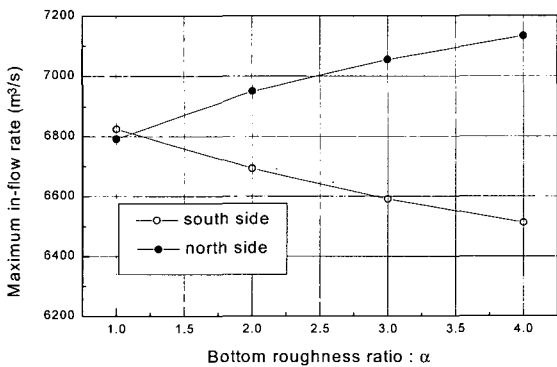


Fig. 9 Maximum in-flow rate for the various bottom roughness ratios for CASE I

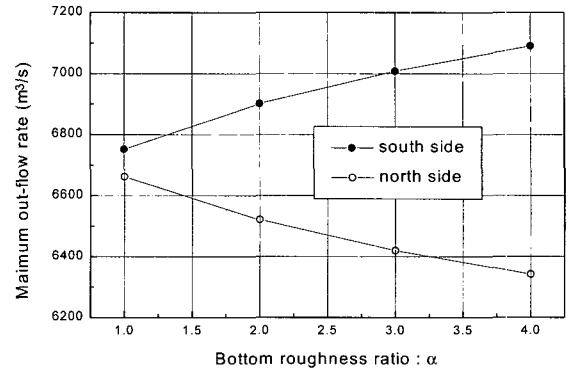


Fig. 10 Maximum out-flow rate for the various bottom roughness ratios for CASE I

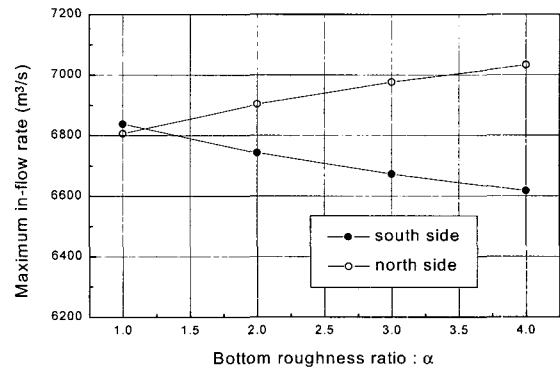


Fig. 11 Maximum in-flow rate for the various bottom roughness ratios for CASE II

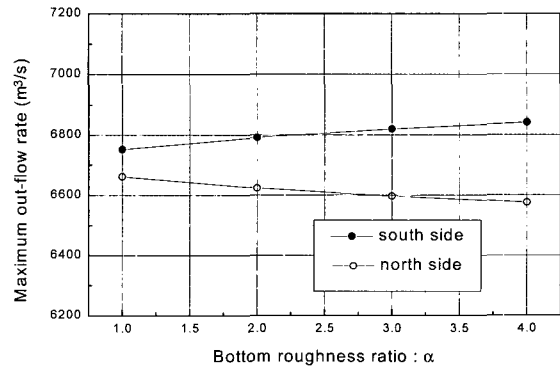


Fig. 12 Maximum out-flow rate for the various bottom roughness ratios for CASE II

4. 결 론

폐쇄성 만의 해수순환을 개선하고 만 입구에서의 해수 교환량을 증가시키기 위하여 해저조도 변화를 이용하는 방법을 도입하였다. 그리고 3차원 다층모델 유한차분법을 이용한 수치실험을 통하여 해저조도가 해수순환에 미치는 영향을 검토하였다. 즉, 만 내부에서의 순류와 향류의 방향에 따라 조도비를 달리하여 잔차류가 발생하도록 하였으며, 해저조도 변화를 만의 전역, 만의 일부, 그리고 해저 도류제와 병용할 경우의 3가지 경우에 대하여 수치실험을 수행하여 해수 교환량과 잔차류의 변화를 검토하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 주요 결과를 아래에 요약하였다.

- (1) 조석 잔차류는 해저조도의 적절한 변화를 부여하여 제어할 수 있고, 이러한 특성을 이용할 경우 폐쇄성 만의 수질 개선이 가능하다.
- (2) 만 내부의 순류와 향류 방향의 상대 해저조도비가 클수록 잔차류의 세기가 커지고, 따라서 해수 교환량도 증가한다.
- (3) 만 내부에 국부적인 해저조도 변화를 가하여도 일방향의 잔차류가 존재하지만 만 전역에 해저조도를 설치한 경우 보다 그 세기가 작고, 해수 교환량도 떨어진다. 따라서 이 경우에는 상대 해저조도비가 충분히 크게 유발되는 해저 구조물을 설치하여야 한다.
- (4) 해저조도 변화와 잠재 도류제를 병용할 경우 도류제의 높이가 충분하지 못하면 해수교환에 대한 기여도가 미약하다.

참 고 문 헌

부성윤 (1999). "부유식 해수유동 제어구조물의 유동제어 특성에 관한 연구", 한국해양공학회지, 제13권 제2호, pp 325-341.
 부성윤 (1997). "해수유동과 구조물의 상호작용해석: TIDE3dTS User's Manual", 최종 연구보고서, 한국기계연구원, 선박해양공학연구센터.

양찬규, 홍기용 (1998). "도류제에 의한 항만내 조류제어 연구", 한국해양공학회지, 제11권, 제4호, pp 141-151.
 정태영 (1998). "해양공간이용 대형 복합플랜트 개발", 과학기술부 1단계 최종 연구보고서, 번호 98-NQ-12-01-A-01, UCN2080-660, 한국기계연구원.
 조규남 (1999). "부유식 초대형 해상구조물 기획연구", 해양수산부 연구보고서, 홍익대학교 해양시스템 연구센터.
 Asaeda, T., Son, P.H. and Armfield, S. (1994). "Vortex Convection Produced by V-Shaped Dihedral Obstruction," J. Hydraulic Engineering, Vol 120, No 11, pp 1274-1292.
 Bazilevskii, V., Wongwises, S., Kalinichenko, V.A. and Sekerzh-Zenkovich, S.Y. (2001). "Experimental Study of the Bottom Structure Effect on the Damping of Standing Surface Waves in a Rectangular Vessel", Fluid Dynamics, Vol 36, No 4, pp 652-657
 Inoue, Y., Tabeta, S., Arai, M. and Kazawa, K. (1994). "Feasibility Design of a Floating Airport and Investigation into its Effects on the Environment", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol 176, pp 75-81.
 Tabeta, S. and Fusino, M. (1994). "Numerical Simulation of Currents and Density Variation in Tokyo Bay by means of Multi-Level Model", Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol 176, pp 67-74.
 Yano, S., Komatsu, T., Kohashi, N., Fujita, K. and Gug, S.-G. (1996). "On the Control of Tidal residual Current in a Bay by Bottom Roughness with Directional Characteristics", The 1st Symposium on Environmental Fluid, pp 65-71.

2004년 7월 21일 원고 접수
 2004년 12월 7일 수정본 채택