

부산신항 건설공사에 의한 낙동강 하구에서의 대조시 조류변화예측 Prediction of changes in spring tidal flows at Nakdong Estuary due to construction of Busan New Port

정영복¹ · 김효섭¹

Young-Bok Jung¹ and Hyo-Seob Kim¹

1. 서 론

부산신항은 대규모 컨테이너 단지로서 1998년부터 공사를 시작하여 아직 공사중이며 낙동강 하구에 근접해 위치하고 있다. Fig. 1은 지금 현재 상태의 해안선을 보여주고 있으며, Fig. 2는 부산신항 완공후의 해안선을 보여주고 있다.

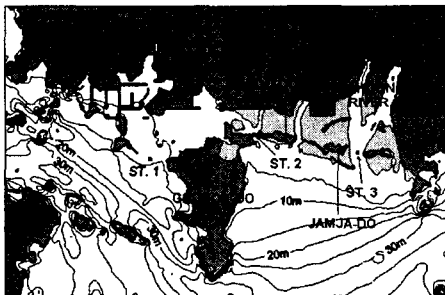


Fig. 1. Present topography of the site.

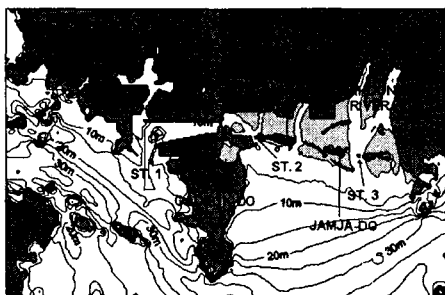


Fig. 2. Future topography of the site.

이러한 대규모 공사는 환경문제가 매우 중요하며 그중의 하나가 개발지역주위에 발생하는 지형 변화라고 할 수 있다. 이러한 지형변화는 여러 가지 물리적 작용들에 의해서 발생되며, 그 원인으로서는 조석, 파랑, 폭풍, 홍수, 공명, 바람 등이 있다. 그중에서도 중요한 세요인은 조석, 파랑, 홍수라고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 부산신항 완공 후의 조류의 변화와 최대 바닥전단응력을 통하여 지형변화를 예측하고자 하며, 파랑류와 홍수류에 의한 예측은 다른 연구에서 언급하도록 할 계획이다.

2. 수치모형실험

2.1 적용조건

대상해역의 대조차는 166.0cm이고 평균조차는 113.4cm, 소조차는 60.8cm이며, (해양수산부 국립해양조사원 고시자료) 본 연구에서는 대조차의 자료를 이용하여 실험을 수행하였다.

수치모형은 Delft3D-FLOW모형을 사용하였다.

2.2 수치모형 기본방정식

조석을 표현하기 위한 기본방정식은 3차원 연속방정식과 운동방정식에서 유도되었다(Delft3D, WL | Delft Hydraulics, 1999). 질량보존법칙으로부터 유도된 3차원 비압축성 유체의 연속방정식과 난류 유체의 운동량 보존방정식인 3차원 Reynolds 방정식 중 수평방향 유속에 관한 두 식에 대하여 수심에 관하여 적분하면 다음의 식들이 된다. 만

¹ 국민대학교 건설시스템공학부 (Corresponding Author : Hyoseob Kim, Department of Civil & Environmental Engineering, Kookmin University, 861-1, Jeongneung-Dong, Seongbuk-Goo, Seoul, 136-702, Korea, hkim@kookmin.ac.kr)

저 수심평균 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial[(d+\xi)U\sqrt{G_{\eta\eta}}]}{\partial \xi} + \frac{1}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial[(d+\xi)V\sqrt{G_{\xi\xi}}]}{\partial \eta} = Q \quad (1)$$

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad (2)$$

Q 는 증발하거나 생성되는 단위면적당의 대 표유량(m³/sec), ξ 는 기본수준면 위의 수심, $\sqrt{G_{\xi\xi}}$ 와 $\sqrt{G_{\eta\eta}}$ 는 각 x, y 방향 격자의 수심들을 선형곡선으로 바꾸는 계수, d 는 기본수준면 아래의 수심, U 와 V 는 ξ 와 η 방향의 평균속도이며, q_{in} 와 q_{out} 은 각각 단위부피당 국부적인 생성량(source)와 소멸량(sink)이다. 한편, 연직방향으로는 σ 좌표를 이용하였다.

수평 수직방향(ξ 과 η)의 운동량 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} + \frac{\partial u}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ + \frac{w}{d+\xi} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} \\ - \frac{v^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\eta\eta}}}{\partial \xi} - fv = - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\xi\xi}}} P_\xi + F_\xi \quad (3) \\ + \frac{1}{(d+\xi)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} (v_v \frac{\partial u}{\partial \sigma}) + M_\xi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G_{\xi\xi}}} + \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial v}{\partial \eta} \\ + \frac{w}{d+\xi} \frac{\partial v}{\partial \sigma} + \frac{uv}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \eta} \\ - \frac{u^2}{\sqrt{G_{\xi\xi}}\sqrt{G_{\eta\eta}}} \frac{\partial \sqrt{G_{\xi\xi}}}{\partial \xi} + fv = - \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G_{\eta\eta}}} P_\eta + F_\eta \quad (4) \\ + \frac{1}{(d+\xi)^2} \frac{\partial}{\partial \sigma} (v_v \frac{\partial v}{\partial \sigma}) + M_\eta \end{aligned}$$

위의 식 (3)과 (4)에서 밀도변화항은 Boussinesq 근사의 정수압 가정에 의하여 제외되었다. P_ξ, P_η 은 압력경사를 나타내며, F_ξ, F_η 은 수평 Reynolds 압력의 불균형을 나타낸 것이다. M_ξ, M_η 은 운동량 외적인 source, 또는 sink의 영향(파랑분포에 의하여 발생하는 잉여응력, 증발, 물의 유출 또는 유입, 그리고 수공구조물에 의한 외적인 힘 등)을 말한다.

지형변화를 예측하기 위해서는 최대 바닥전단 응력을 예측하는 것이 매우 중요하다.

τ_{max} (최대 바닥전단응력)은 τ_m (시간평균 바닥전단응력)에 의해서 유속판 난류확산이 결정되며, Soulsby et al.(1993)의 바닥전단응력의 개념을

적용하였다.

Soulsby et al.(1993)는 모든 모델들은 하나의 기본방정식에 기본을 두고 있다고 하였으며, 각각의 모델들은 고유의 계수를 가지고 있다고 하였다. 시간평균 바닥 전단응력에 대한 Soulsby 상수의 유형은

$$\tau_m = y(\tau_c + \tau_w)$$

$$y = x(1 + bx^p(1-x)^q)$$

와 같으며, 최대 바닥전단응력은

$$\tau_{max} = z(\tau_c + \tau_w)$$

$$z = 1 + ax^m(1-x)^n$$

여기서, a, b, p, q, m 와 n 는 마찰에 의해서 결정되는 상수이다.

3. 적용 결과

수치모형은 부산신항 완공전 지형(Bath 1)과 완공후 지형(Bath 2)에 대하여 대조의 경우에 적용되었다.

Bath 1에 대한 창조류는 Fig. 3과 같으며, 관측점 3개(St.1, St.2, St.3)를 두었다. 같은 조건으로 Bath 2에 적용하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다. 창조시 흐름은 공사 전 약 0.11m/s에서 공사 후 0.07m/s로 St.1에서 가장 큰 변화를 보였으며, 낙동강 하구부근인 St.3에서는 큰 변화를 보이지 않았다.

Fig. 5와 Fig. 6은 낙조시 조류의 흐름이며, 이때도 창조때와 마찬가지로 St.1에서 가장 큰 변화를 보였으며, St.3에서는 거의 변화가 없었다.

Fig. 3 ~ Fig. 6에서의 유속변화를 살펴보면 St.1에서는 공사후에 유속이 약 2배정도 감소하는 결과를 보였으며, St. 2에서는 공사후에 유속이 약 10%정도 감소하는 결과를 나타내었다. 하지만 St.3에서는 공사여부에 따른 변화가 거의 나타나지 않았다.

Fig. 7은 현재상태의 잔차류의 흐름도이다. 그림에서 보는바와 같이 잔차류의 경우 특이하게 St.1과 St.3주위의 섬사이의 유입부(inlet)와 섬의 날카로운 끝부분에서 크고 작은 와가 발생한다.

Fig. 8은 부산신항 완공후의 잔차류의 흐름도이

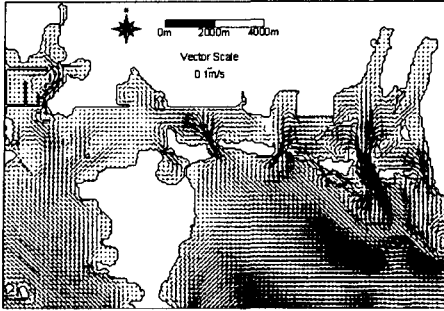


Fig. 3. Computed spring flood flow field for Bath 1.

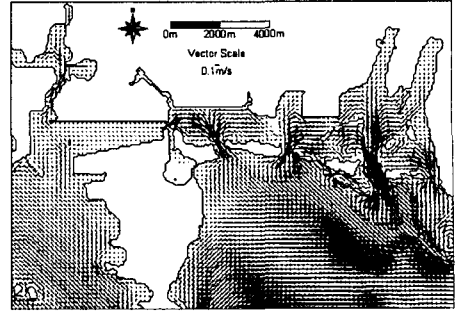


Fig. 4. Computed spring flood flow field for Bath 2.

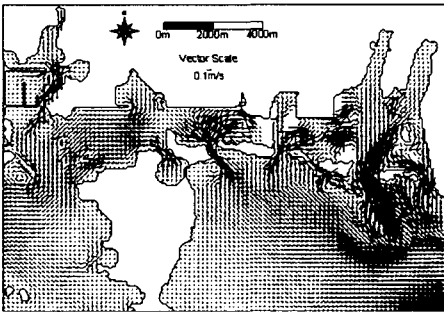


Fig. 5. Computed spring ebb flow field for Bath 1.

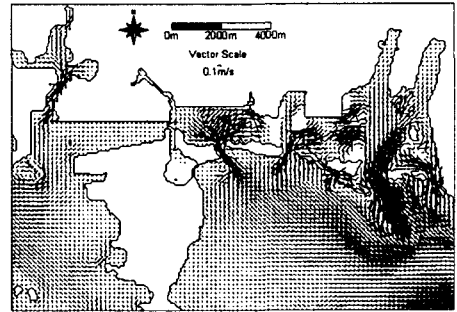


Fig. 6. Computed spring ebb flow field for Bath 2.

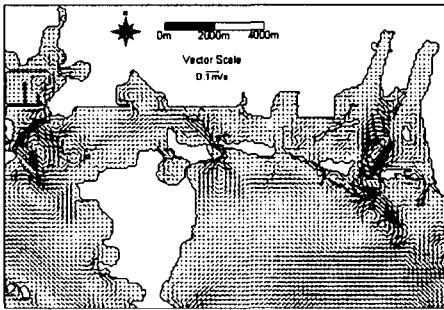


Fig. 7. Computed spring residual current field for Bath 1.

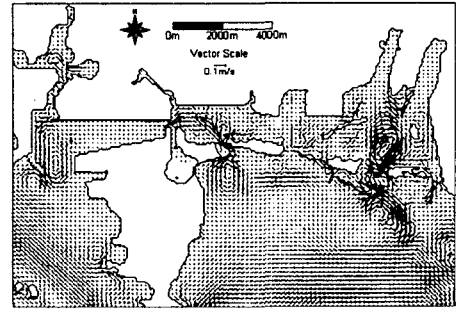


Fig. 8. Computed spring residual current field for Bath 1.

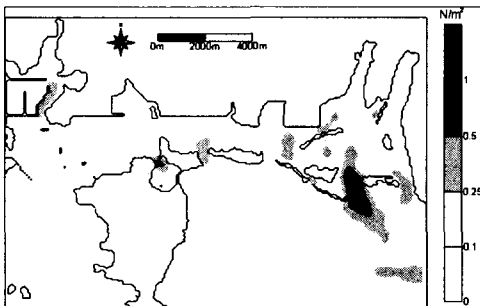


Fig. 9. Computed largest absolute bed shear stress field for Bath 1.

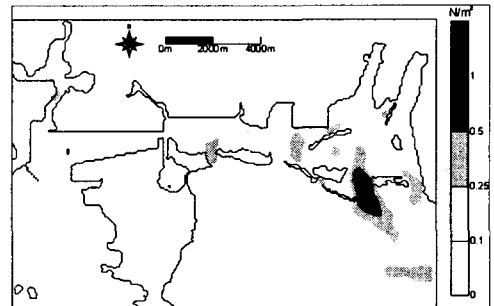


Fig. 10. Computed largest absolute bed shear stress field for Bath 1.

다. Fig. 7에 비하여 서쪽의 부산신항의 입구쪽의 와의 반경이 줄어들며, 강도도 약해지는 결과를 나타내었으며, 따라서 부산신항의 완공전 상태에 비하여 완공후의 상태가 St.1, St.2에서 유속이 느려지는 결과를 나타내었다.

Fig. 9와 Fig.10은 Bath 1과 Bath 2에서의 최대 바닥전단응력을 보여준다. 결과에 의하면 Bath 2의 St. 2에서의 바닥전단응력은 약 0.5N/m^2 나타내었으며, Bath 1에 비해서 약 4%정도 더 작았다. 따라서, 공사전에 비하여 공사후의 바닥전단응력이 감소한다고 할 수 있다.

4. 결 론

지금까지 부산신항의 건설로 인한 대조시의 조류의 변화를 예측해보았다. 부산신항의 건설로 인해 주변의 유속이 감소하여 몇몇 지역의 퇴적속도가 증가할 것으로 예측하였다. 추후 파랑류와 홍수류의 특성을 이용한 연구를 수행하여 각각의 흐름변화를 예측할 계획이다.

참고문헌

- Delft Hydraulics, 1999, Delft3D-Flow User Manual
- Soulsby, R.L., Hamm, L., Klopman, G., Myrhaug, D., Simons, R.R. and Thomas, G.P., 1993. Wave-current interaction within and outside the bottom boundary layer, Coastal engineering, 21 (1993) 41-69, Elsevier science Publishers B.V., Amsterdam.
- Soulsby, R.L., Davies, A.G., Fredsoe, J., Huntly, D.A., Jonsson, I.G., Myrhaug, D., Simons, R.R., Temperville, A. and Zitman, T.J., 1993. Bed shear stresses due to combined waves and currents. Abstracts-in-depth of the Marine Science and Technology G8-M overall workshop, Grenoble.