

영일만내 해안에서의 파랑류 특성 해석

김효섭¹⁾ ○이정미²⁾

1. 서론 및 수치모형의 적용조건

연안 해역에는 조류, 해류, 파랑류 등의 다양한 흐름이 존재한다. 특정 해역에서는 파랑류가 연안역의 지형변화에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 송도해수욕장 지역에서의 지형변화의 특성을 조사하기 위하여 동 해역의 파랑류의 특성을 수치모형 실험을 통하여 평가하였다.

연안역에서 일어나는 해수순환 현상은 천해역에서 파랑이 복잡한 과정을 거치면서 변형됨에 따라 나타나는 현상으로서, 파랑이 변형되면서 잉여응력(radiation stress)장이 변하게 되고 이 잉여응력의 경사에 의해 파랑류(wave-induced current)가 생성된다. 이렇게 발생된 파랑류는 해저면 마찰(Fredsoe, 1984, Van Rijn, 1989.), 혼합 등의 과정을 통해 연안 표사이동을 일으키고 평균 해변의 상승(set-up)과 강하(set-down) 현상을 불러온다. 이러한 파랑과 파랑류 자료는 해안의 퇴적물이동을 발생시키며 지형변화를 가져온다.

본 수치모형 실험에서는 Delft-3D시스템을 이용하여서 파랑류를 예측하였고, 그 결과에 대해 논의하였다. 송도해수욕장 전역에서의 파랑류 특성을 자세히 표현할 수 있도록 격자소의 크기를 가로·세로 10m×10m 로 하고, 대상해역을 북서방향에서 남동방향으로 3.68km, 남서방향에서 북동방향으로 2.50km 범위로 설정하여 모형의 격자망을 수립하였다. 이때 총격자소의 수는 368×250 (92,000개)였다. 계산 대상해역의 POSCO항 증설 전의 수치모형 경계를 Fig. 1, POSCO항 증설 후의 수치모형 경계를 Fig. 2에 나타내었다. 수치모형의 격자의 범위는 Table. 1에 나타내었다.

수치모형을 실행하기 위하여서는 각각의 Case에 적용할 조건들이 필요하다. 파랑조건으로는 천해파 중 대상기간 중 발생한 최대파고라 볼 수 있는 파향 ENE, 유의파고 2m, 평균주기 10.55sec를 적용하였다

심해파 자료로부터 추산한 천해파를 입력 자료로 하였으며, 수심은 평균해수면을 기준으로 파랑류 수치모형 실험을 수행하였다.

Table. 1. Model grid and domain.

Model area	3.68km × 2.50km
No. of grid points	368 × 250 (92,000 EA)
Size of grid point	10m × 10m
Grid system	Regular grid
Model used	Delft 3D - Wave Delft 3D - Flow

1) 국민대학교 건설시스템공학부 부교수, 공학박사, 02-910-4698(E-mail: hkim@kookmin.ac.kr)

2) 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정, 02-910-5057(E-mail: dnees@hanmail.net)

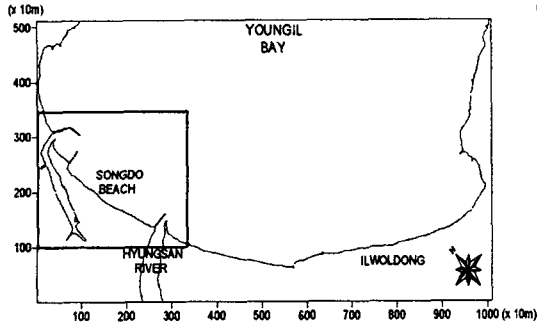


Fig. 1. Computational domain
before POSCO construction

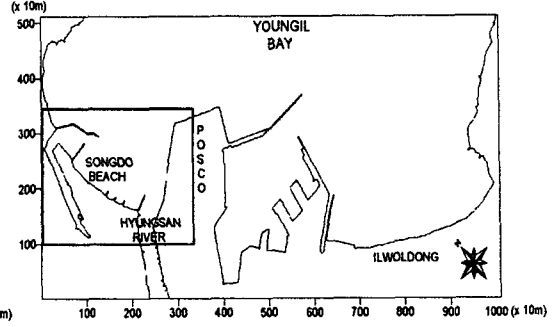


Fig. 2. Computational domain
after POSCO construction

2. 파랑류 수치모형의 기본 방정식

파랑류를 지배하는 물리적 성질은 해수의 질량 보존과 운동량 보존이며, 파랑류를 계산하는 수치 모형의 기본방정식 또한 질량보존 방정식과 운동량보존 방정식이다. 해수유동을 표현하기 위한 기본 방정식은 3차원 연속방정식과 운동 방정식에서 유도되었다(Delft-3D, WL | Delft Hydraulics, 1999). 질량보존법칙으로부터 유도된 3차원 비압축성 유체의 연속 방정식과 난류 유체의 운동량 보존방정식인 3차원 Reynolds 방정식 중 수평방향 유속에 관한 두 식에 대하여 수심에 관하여 적분하면 다음의 식이 된다. 수심평균 연속방정식은 다음과 같다.

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

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

여기서, Q 는 증발하거나 생성되는 단위면적당의 대표유량(m^3/sec), ζ 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} 과 q_{out} 은 각각 단위부피당 국부적인 생성량(source)과 소멸량(sink)이다. 수평·수직방향(ξ 과 η)의 운동량 방정식은 다음과 같다.

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

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

여기서 P_ξ 와 P_η 는 압력경사를 나타내며, F_ξ 과 F_η 는 수평 Reynolds 압력의 불균형을 나타낸 것이다. M_ξ 과 M_η 는 운동량의 외적인 source, 또는 sink의 영향(파랑분포에 의하여 발생하는 잉여응력

중발, 물의 유출 또는 유입, 그리고 수공구조물에 의한 외적인 힘 등)을 말한다. 위의 식(1)~(4)는 앞 절의 식(1)~(4)와 동일하나, 파랑류에서는 M_x 과 M_y 의 잉여응력항이 추가 되며, 조석·조류에서는 F_x 과 F_y 가 추가 된다.

Delft-3D흐름 모형의 표면파 영향은 다음과 같다.

$$\frac{\partial P}{\partial \sigma} = -g\rho H \quad (5)$$

3. 파랑류 수치모형실험 결과

파랑류 실험은 Table. 2에 제시한 것과 같이 총 4가지 경우에 대하여 각각의 수심과 지형을 적용하여 수행하였다. 1967년에 비하여 2001년에는 구항 방파제 길이가 연장되었고, POSCO가 설립되었으며, 형산강 유로 직선화와 돌제 설치 등 지형적으로 많은 변화가 생겼다. 실제 상황과 더불어 이에 몇 가지 가정을 해 수심의 변화를 주어 수치 모형실험을 하였다.

Table. 2. Model case.

Case	Year	비고
1	1967	Computational domain before POSCO construction (22.5 °)
2	1967	구항 방파제 확장 가정(22.5 °)
3	2001	Computational domain after POSCO construction (22.5 °)
4	2001	구항 방파제 축소 가정(22.5 °)

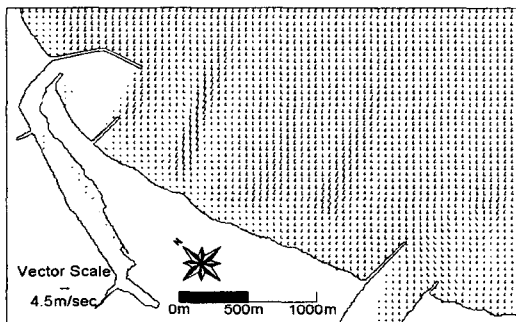


Fig. 3. Wave Vector of case1

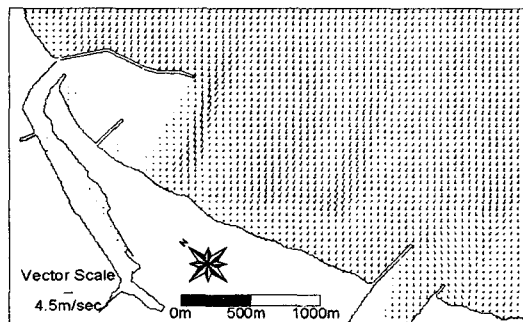


Fig. 4. Wave Vector of case 2

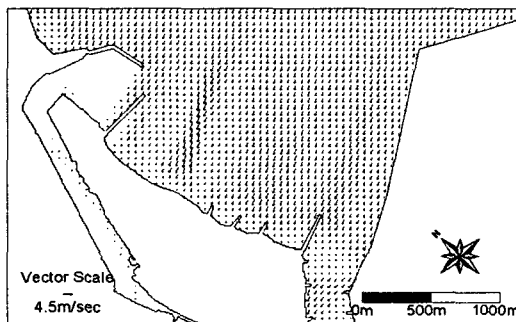


Fig. 5. Wave Vector of case 3

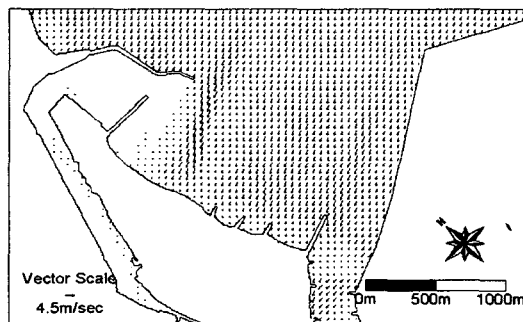


Fig. 6. Wave Vector of case4

Fig. 7~10에서 보는 것과 같이 Case1의 경우 해수욕장 인근에서의 흐름이 매우 약한 것으로 나타났으며, 구항 내·외로의 흐름도 거의 없는 것으로 나타났다. 구항 방파제를 연장해본 가상의 영역 case2의 경우는 Case1과 별 차이가 없는 흐름을 보였다. Case3 경우 형산강 유출구 부근에서 와류가 다소 발생하였고, 해안선 인근에서도 흐름이 증가하면서 와류가 발생하는 것을 볼 수 있다. Case4의 경우에는 Case3과 비교하여 볼 때 형산강 유출구 부근의 흐름은 별 차이 없어 보이나 해안선 인근에 약간의 흐름이 감소하게 나타났다. Case1과 Case4를 그리고 Case2와 Case3을 비교하여 볼 때 둘 다 마찬가지로 형산강의 직선화로 형산강 유출부근에서의 흐름은 감소되었으나, 돌제설치로 인하여 와류가 발생하였다.

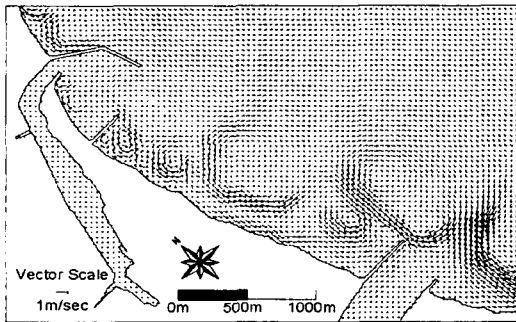


Fig. 7. Wave Induced Current of Case 1

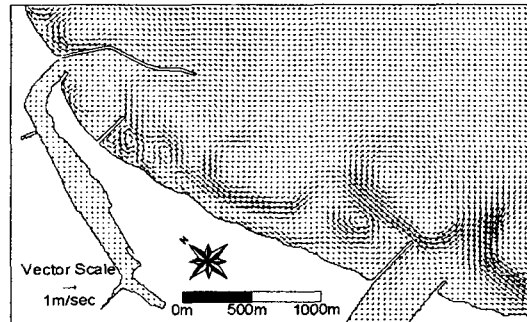


Fig. 8. Wave Induced Current of Case 2

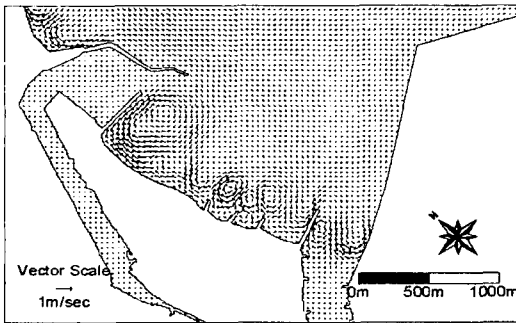


Fig. 9. Wave Induced Current of Case 3

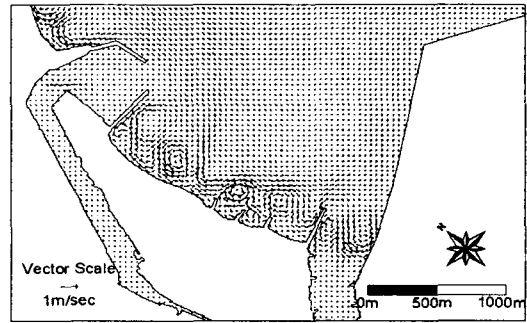


Fig. 10. Wave Induced Current of Case 4

4. 결론

본 파랑류 수치모형 실험결과, 파향에 대하여서는 POSCO 건설 전에는 송도해수욕장 전면에서 파랑류가 거의 발생하지 않는 정도였으나, POSCO 부지매립과 구항 방파제 연장이후에는 구항 방파제 바로 남쪽에서 시계방향의 와류가 상당한 세기로 발생하였다.

5. 참고문헌

1. Van Rijn, L. c. 1989. Handbook sediment transport by currents and waves. Delft Hydraulics.
2. Fredsoe, J., 1984, Turbulent boundary layer in wave-current interaction, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.110, pp.1103-1120.
3. WL | Delft Hydraulics, 1999, Modification first-guess SWAN and bench mark tests for SWAN: Report no. H3515, Delft..