

沿岸流 分布形狀에 影響을 미치는 諸 因子

윤영호* 김경호*

1. 서론

쇄파대 내에서는 여러가지 흐름이 상호 간섭하면서 작용하기 때문에 극히 복잡한 흐름장이 형성된다. 해빈의 제반 동역학에 있어서 최우선되는 작용력은 파동 이지만, 흐름 또한 표사와 확산 현상을 지배하는 중요한 요인이다. 특히 쇄파대 내외의 천수역에서는 해류나 조류 등 지구 물리학적 크기의 흐름보다는 소위 해빈류가 문제가 되는 경우가 많다. 해빈류계는 그 평면적인 흐름의 형태에 따라 연안류계(longshore current system), 순환류계(symmetrical cellular system), 사행류계(meandering system) 등 3가지로 분류된다(Basco, 1982). 연안류계는 쇄파대 내에서 파가 갖는 파향에 의해 발생하는 것으로 정선에 평행하게 흐르는 흐름이며, 순환류계는 쇄파대 내의 파동장에 있어서의 평면성에 기인하는 것으로, 쇄파선을 횡단하는 형태로의 순환을 형성하는 흐름이다. 그리고, 사행류계는 순수한 순환류와 연안류의 혼합형태를 말한다. 본 연구에서는 연안류만을 그 대상으로 한다.

최근 연안오염에 의한 연안 양식장의 피해, 연안 공업단지에서 배출한 각종 산업폐수 및 온배수 배출문제 등이 자주 거론되면서 연안지역의 환경 오염원의 확산 문제에도 관심을 갖게 되었다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 그 중요인자로서 작용하는 연안류에 대해서 이해와 특성구명이 필요하다. 더우기 대부분의 해안 구조물이 쇄파대 근방에 축조된다고 하는 사실로 미루어 볼 때, 쇄파대 내의 연안류에 대한 이해와 특성구명은 공학적으로 커다란 의미를 갖는다고 하겠다. 일반적으로 연안류의 분포형상은 해저형상에 크게 좌우되므로(Dean, 1977, Bruun, 1954) 해저형상을 일정경사를 갖는 해저, 곡면형상을 갖는 해저 및 사주를 갖는 해저로 구분하고 각각의 해저형상에 대해 연안류의 분포형상에 영향을 미치는 제 인자들 즉, ① 파형경사 ② 쇄파지수(surf similarity parameter) ③ 수평확산계수 ④ 저부마찰계수 ⑤ 파향각 ⑥ 해저경사 ⑦ 바람응력 등에 대해서 자세히 검토하고, 이들 인자가 연안류의 분포형상에 어떠한 영향을 미치는가를 수치실험을 통해서 알아 보고자 한다.

2. 기본방정식

천해역에서의 파동운동을 기술하기 위해, 역학적 기본방정식을 수심방향으로 적분하고 한 주기에 걸쳐 평균한 보존방정식을 기본방정식으로 채택한다. 평균류 성분은 수심방향으로 일정하다고 가정하고(Phillips, 1977) $z=-h$ 에서 $z=\eta$ 까지 적분하고 한 주기에 걸쳐 시간 평균한 질량, 수평방향 운동량 및 에너지보존식은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{M}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \bar{M}_i + \frac{\partial}{\partial x_j} [\bar{M}_j U_i + S_{ij}] = T_i + L_i + \bar{\tau}_{si} - \bar{\tau}_{bi} \quad (2)$$

* 충북대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 360-763, Korea)

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} [\overline{U_i E} + E(C_g)_j] + S_{i,j} \frac{\partial}{\partial x_j} U_i = -\varepsilon \quad (3)$$

상기식에서 M_i 는 평균류에 의한 질량 플럭스, $S_{i,j}$ 는 라디에이션 응력텐서, T_i 는 평균수위 경사로 인한 단위면적당 수평력, L_i 는 수평혼합항, $\overline{\tau_{si}}$ 는 바람에 의한 자유표면응력의 시간평균치, $\overline{\tau_{bi}}$ 는 바닥마찰응력의 시간평균치, 그리고 ε 은 난류에 의한 파동에너지 손실율이다. 식(1) ~ (3)을 유도할 때 운동학적 경계조건과 바다 경계조건이 이용되었고, 수심적분을 위해서는 Leibnitz정리가 사용되었다.

또 파와 흐름의 간섭하에서의 파의 굴절을 지배하는 방정식으로서 파수의 비회전성을 가정하여 다음식을 이용한다.

$$\nabla \times \vec{k} = \nabla \times \nabla \phi = 0 \quad (4)$$

여기서 \vec{k} 는 파수벡터, ϕ 는 위상함수이다.

3. 수치해석

연안류 계산을 위해서 각 보존방정식을 x 방향을 정선과 수직인 축, y 방향을 정선에 평행한 축으로 하는 직교좌표계에 대해 고쳐쓰고, 각 보존식을 차분화한다. 식(1), (2)는 음해법으로 전개하여 Leap-frog 방법으로 각 변수를 계산하고, 에너지보존식과 파수보존식에 대해서는 양해법을 사용한다. 평균유속 $U_{i,j}$, $V_{i,j}$ 는 각각의 격자점에서 계산하고, 유속 이외의 변수들에 대해서는 $A_{i,j}$ 로 정의하여 평균값을 이용하여 격자점 중앙에서 그 값을 산정한다.

$$A_{i,j} = (H, \theta, k, \overline{\eta}, S, D, \tau_b, \tau_s)_{i,j} \quad (5)$$

외해 격자점이 정선으로부터 충분히 떨어져 있다고 하면 그 지점에서의 연안류와 이안류는 무시할 수 있다. 이 조건은 모형의 초기계산을 하는 동안 계산한 유속을 제한하는 역할을 한다. 경계조건으로서는 주기적인 요구조건을 만족시키기 위해 $j = 2$ 부터 $j = N$ 까지 계산하는데, 앞서 정의한 모든 변수 $A_{i,j}$ 는 다음 조건을 만족하도록 하였다.

$$\begin{aligned} A_{i,1} &= A_{i,NN} \\ A_{i,NN+1} &= A_{i,2} \\ A_{i,NN+2} &= A_{i,3} \end{aligned} \quad (6)$$

초기조건은 유속 U, V 그리고 평균수위변동 $\overline{\eta}$ 가 0(zero)이라고 가정하고 파향각과 파고는 Snell 법칙을 사용함으로써 계산한다. 외해에서의 파고는 초기조건에 따라 수치적으로 불안정한 부진동의 효과를 방지하기 위해 다음식을 이용하여 계산하였다.

$$H = H_0 \tanh\left(\frac{2t}{T_e}\right) \quad (7)$$

여기서, H_0 는 심해파고, t 는 계산 진행시간이고, T_e 는 파가 형성된 시간이다.

4. 적용

일반적으로 연안류의 분포형상은 해저형상에 크게 좌우되므로, 본 계산에서는 일정경사를 갖는 해저, 곡면형상을 갖는 해저 및 사주를 갖는 해저로 구분하고, 연안류의 분포형상에 영향을 주는 제 인자들을 변화시켜 가면서 계산을 수행하였다. 일정경사를 갖는 해저에 대해서는 해저경사 $S=1/40$ 에 대해서 $\Delta x=10m$, $\Delta y=15m$, $\Delta t=0.5sec$ 로 하였고, 곡면형상을 갖는 해저의 경우에는 곡면효과

를 최대한 높이기 위해 $\Delta x=3m$, $\Delta y=5m$ 및 $\Delta t=0.3sec$ 로 하여 계산하였다. 사주를 갖는 해저의 경우에는 정선에서 대략 140m ~ 220m지점에서 정선에 거의 평행한 사주가 형성된 것으로 가정하고, 계산조건은 일정경사의 경우와 동일한 조건을 이용하였다. Fig. 1 ~ Fig. 6에 몇가지 예를 도시한다.

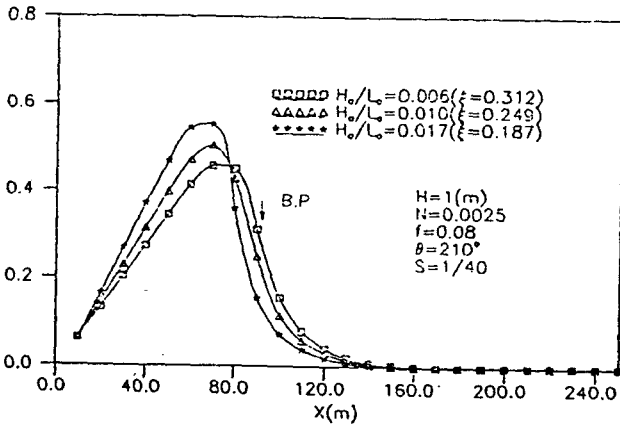


Fig. 1 Effect of wave steepness on longshore current profile. (planar beach)

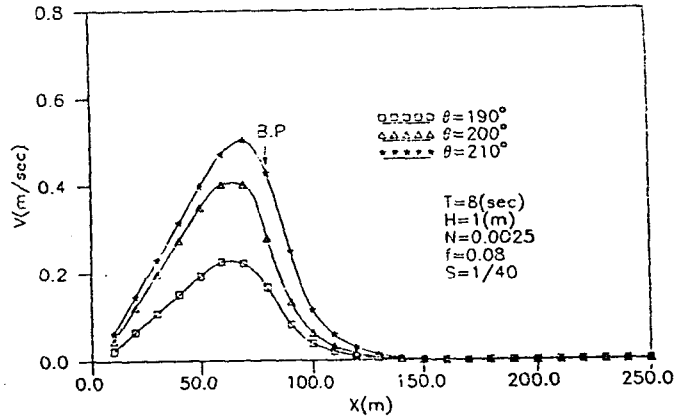


Fig. 2 Effect of wave angle on longshore current profile. (planar beach)

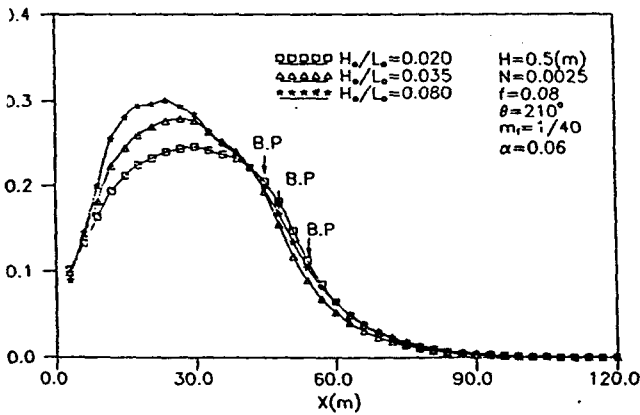


Fig. 3 Effect of wave steepness on longshore current profile. (Non-planar beach)

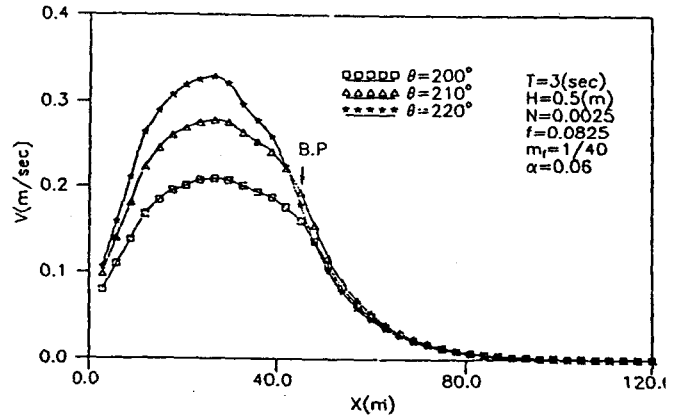


Fig. 4 Effect of wave angle on longshore current profile. (Non-planar beach)

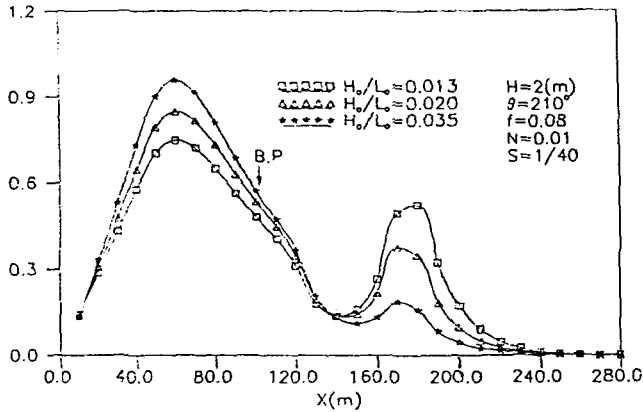


Fig.5 Effect of wave steepness on longshore current profile. (Barred beach)

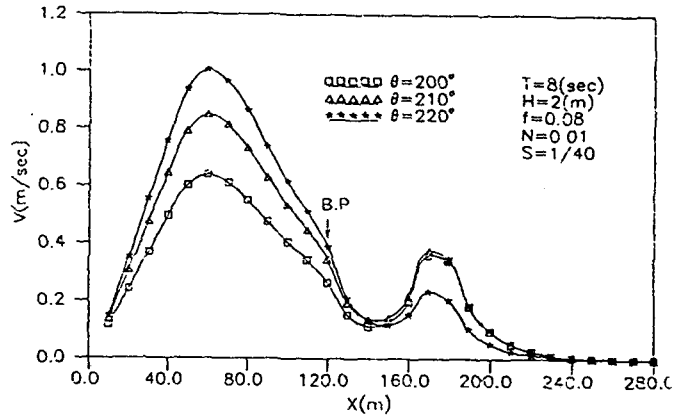


Fig.6 Effect of wave angle on longshore current profile. (Barred beach)

5. 결 론

본 연구에서는 질량, 운동량 및 에너지 보존식으로부터 연안류에 대한 기본식을 기술하고, 해저형상을 일정경사를 갖는 해저와 곡면형상을 하고 있는 해저 그리고 사주형상을 갖는 해저에 대하여 연안류를 계산하고 각각의 해저형상에 대하여 연안류에 영향을 미치는 각 인자들을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 연안류는 파형경사가 클 수록 즉, 주기가 작을 수록 크게 나타나며 최대유속의 발생위치는 일정경사의 경우 정선축으로 이동하는 경향이 있고 곡면형상 해저와 사주형상을 갖는 해저에서는 이동이 미약함을 보이고 있다.
2. 사주를 갖는 해저 형상의 경우, 파형경사가 작은 경우는 일정경사의 해저 및 곡면형상의 해저와 유사한 연안류의 분포형상을 하나, 어느 한계 파형경사보다 클 경우는 연안류는 2개의 파봉을 갖는 형상을 갖는다.
3. 연안류의 분포는 해저 형상에 관계없이 N 치가 클 수록 그리고 마찰계수 f 가 클 수록 작게 나타나며, 최대유속의 발생위치와 쇄파점의 발생위치는 거의 일정함을 알 수 있다.
4. 파향각이 연안 유속에 미치는 영향은 해저형상에 관계없이 파향각이 클 수록 연안류는 커지고 최대유속의 발생위치와 쇄파점의 발생위치는 거의 변화가 없음을 알 수 있다.
5. 연안류에 영향을 미치는 인자중 해저경사의 영향은 일정경사일 경우 해저경사가 클 수록 연안류는 커지고 쇄파점의 위치는 정선에서 심해측으로 후퇴하는 경향이 있으며 해저경사가 급할 수록 연안유속의 분포는 첨예화 되는 것을 알 수 있다.

6. 참고문헌

1. Basco, D. R., "Surf Zone Currents", Misc. Rept. No. 82-7(I). Vol. 1 U.S. Army, CERC., 1982.
2. Dean, R. G., "Equilibrium Beach Profiles, Atlantic and Gulf Coast", Ocean Eng. Rept. No. 12. Dept. of Civil Eng. Univ. of Delaware, 1977.
3. Bruun, P., "Coastal Erosion and Development of Beach Profiles", Beach Erosion Board, Tech. Memo., No. 44, 1954.
4. Kirby, J. T., and Dalrymple, R. A., "Numerical Modelling of the Nearshore Region", ONR Tech. Rept. 11, Dept. of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE., 1982.
5. Longuet-Higgins, M. S., and Stewart R. W., "Radiation Stress in Water Waves; A Physical Discussion with Application", Deep Sea Research., Vol. 11, 1964, pp. 529 ~ 562.
6. Phillips, O. M., "The Dynamics of the Upper Ocean", Cambridge University Press, Cambridge, Mass., 2d ed., 1977. p. 336.