

不規則 波浪 境界層의 흐름과 浮遊砂 濃度 豫測

김 효섭*, 박 성진*

1. 서 론

연안에서 파랑은 심해에서는 해수면 근방에서 운동량이 크며 따라서 구조물에 작용하는 힘도 해수면 근방에서 크다. 반면 천해역에서는 해저면에서의 운동량도 상당하며, 이러한 해저면에서의 파랑에 관련된 수입자의 운동은 해저 퇴적물의 이동에 직접 영향을 미친다. 해저면에서의 비활 조건(no-slip condition)에 의하여 파랑 경계층내의 해수의 거동은 복잡하다.

이러한 해저면 경계층의 거동을 파악하기 위한 접근 방법은 크게 둘로 나눌 수 있다. 첫째는, 미세한 해저면의 모래결(ripple)의 형상의 내부에서 관찰하는 방법으로서, 구체적으로 모래결 주위에서의 와류(vortex)의 생성·변화, 모래결 표면으로부터 상층의 해수로의 모래의 부상(entrainment)을 고려하며, 해저면의 조도(roughness)는 모래결의 존재로 직접 표현된다. 둘째는, 해저면의 조도를 매개변수로 단순화하여 표현하고, 연직방향의 흐름과 부유사 농도의 변화를 고찰하는 방법이다. 이 경우에는 해저면의 상세한 흐름과 퇴적물 이동 상황을 재현할 수는 없지만, 전수심에서의 부유사의 거동을 파악하기에 적합하다.

단순 파랑(monochromatic waves)에 대한 부유사 농도의 시간·공간적 변화에 대하여 Kennedy & Locher(1972)는 실험실 자료를, van Rijn(1985), Ribberlink & AlSalem(1990)는 실험실 자료를 설명할 수 있는 이론을 제시한 바 있다. 그러나, 이들은 파랑 1주기 내의 부유사 농도의 변화를 재현하지는 않았으며, 파랑 주기에 대하여 평균한 부유사 농도의 연직 분포를 설명하였다. O'Connor et al.(1992)는 단순 파랑 주기내의 부유사 농도의 변화를 수치모델에서 고려하였으며, 모래결 위의 와류의 생성·변화 특징을 고려하여 해저 퇴적물의 부상 시기와 위치를 더욱 정확히 지정하였다.

불규칙 파랑(random waves)에 대한 부유사 농도의 시간·공간적 변화에 대하여는 Vincent & Green(1992), Green & Vincent(1992)가 현장에서의 관측 자료를 분석·평가한 바 있다. 그들은 파랑진행 방향의 퇴적물 이동(on-offshore sediment transport)을 관측결과로부터 추산해 낼 수 있다고 하였다. 그러나, 그들은 불규칙 파랑하에서의 부유사 농도의 변화를 예측하는 이론을 제시하지는 않았다. Williams(1994)는 STABLE 로 명명한 기기를 이용하여 수심 약 20m 의 해역에서의 파랑 경계층내의 부유사 농도의 변화를 관측한 바 있다. O'Conner(1995)는 이러한 불규칙 파랑하의 부유사 농도의 변화를 설명할 수 있는 수치모형을 수립하기 위한 개념을 더욱 구체적으로 발전시킨 바 있다.

본 논문에서는 현장에서 관측한 부유사 농도의 변화를 수치모형을 이용하여 재현해 본 결과를 제시하고자 한다. 현장 관측 자료의 정밀도는 본 논문에서는 고려하지 않기로 한다.

2. 수치모형의 기본 방정식과 경계조건

2.1. 부유사 농도 계산을 하기 위하여서는 흐름에 관한 정보가 필요하다. 흐름장 계산을 위한 기본 방정식은 난류의 경우 Reynolds의 운동 방정식이며, 3 개식중 수평 유속(u, v)에 관련된 두 식

* 國民大學校 土木環境工學科

은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial z} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial z} \quad (2)$$

여기서 t 는 시간, x, y 는 cartesian 좌표계에서의 두 수평축, u, v 는 각각 x, y 방향의 유속, p 는 압력, τ_{xx}, τ_{yx} 는 각각 xz, yz 평면에서의 전단응력이다.

연직 방향 유속(w)에 관한 식은 연직 방향 유속의 크기가 해서 파랑 경계층내에서 수평방향 유속에 비해 상대적으로 작다고 가정하여 생략한다. 또한 위 식에서 비선형 이류항을 크기가 작다는 가정하에 생략하였다. 식 (1) (2) 의 압력 구배항은 파랑 경계층 밖의 관측 유속 자료가 있을 경우 그 유속으로부터 구한 가속도로서 대체할 수 있다.

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \approx \frac{\partial U}{\partial t}$$

여기서 U 는 파랑 경계층 밖에서의 x 방향의 관측 유속이다.

전단 응력은 난류 확산 계수(ϵ)의 개념을 도입하면

$$\frac{\tau_{xx}}{\rho} = \epsilon \frac{\partial u}{\partial z} \quad ; \quad \frac{\tau_{yx}}{\rho} = \epsilon \frac{\partial v}{\partial z}$$

로 표현할 수 있으며, 난류 확산 계수는 적절한 난류 마감에 의하여 구하여야 한다. 본 논문에서는 Prandtl 의 혼합거리 이론을 도입하여 난류 확산 계수를 구하기로 한다.

$$\epsilon = l^2 \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right|$$

여기서 l 은 혼합거리며

$$l = \kappa z \sqrt{1 - \frac{z}{d}}$$

로서 κ 는 Karman 의 계수(≈ 0.4), d 는 수심이다.

기본방정식을 풀기 위하여서는 적절한 초기조건과 경계조건이 필요하다. 초기조건으로는 최종해에 영향을 미치지 않으므로 임의의 조건을 부여하여도 괜찮다. 해수면에서는 전단응력이 영이라는 조건을 부여한다. 해저면에서는 수평유속이 영이라는 비활조건(no-slip condition)을 적용한다.

2.2. Sediment model

부유사 농도 변화에 관한 기본 방정식은 부유사의 질량보존의 개념으로부터 유도되며, 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = w_f \frac{\partial C}{\partial z} - w \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)$$

여기서 c 는 난류에 대해 평균한 부유사 농도, ω_f 는 퇴적물 입자의 침강속도, ω 는 연직 방향 유속, ε_x 는 부유사의 확산계수이다.

와류에 의한 부상과 침강을 정확히 재현하기 위하여 분리기법을 이용하여 이류, 확산 계산 단계와 생성항(source)의 주입단계로 구분하였다. 생성항 투입단계의 기본방정식은 O'Connor et al. (1992)에서 제시한 식과 같다.

3. 수치 기법

상세한 수치기법은 Kim(1994)의 음해유한차분법과 유사하다.

4. 적용 예

O'Connor(1995)에 제시된 현장관측자료중, 전·자기식 유속계를 이용하여 벨기에 해안의 쇠파 대내에서의 관측자료와 수치모델 계산결과는 Fig 1.에, Proudman Oceanographic Laboratory에서 STABLE 관측기기를 이용하여 벨기에 연안 평균수심 약 20m에서 관측한 자료와 수치모델에 의하여 계산한 결과는 Fig 2.과 같다. 수치모델의 결과에서 부유사 농도의 시간적 변화가 관측자료에 비해 급격하게 변화하여 상당히 정밀도가 떨어진다. 이러한 불일치를 개선하기 위하여 여러가지 입력자료를 재검토하고 있는 중이며, 학술발표회에서 더 나은 정밀도의 재현결과를 제시할 수 있는 것으로 예상하고 있다.

5. 결론

본 수치모델은 퇴적물이동의 근본과정을 조금이라도 더 정확하게 이해하기 위한 세부적 모델이다. 현재까지 수립되어 적용해 본 결과는 아주 만족스럽지 않으나, 향후 입력자료의 엄격한 검토를 통하여 정밀도를 향상시킬 수 있을 것이다. 본 수치모델을 이용할 경우 파랑진행방향 퇴적물이동의 특징을 분석할수 있게 될 것이다.

6. 참고 문헌

- Kennedy, J.F. and Locher, F.A. 1972. Sediment suspension by water waves. Waves on beaches and resulting sediment transport. Academic Press, New York
- van Rijn, L.C. 1985. Two-dimensional vertical mathematical model for suspended sediment transport by currents and waves. DHL Report S488, Part IV
- Ribberink, J.S. and Al-Salem, A. 1990. Bedforms, sediment concentrations and sediment transport in simulated wave conditions. ICCE, ASCE.
- O'Connor, B.A., Harris, J., Kim, H., Wong, K., Oebius, T. and Williams, J. 1992. Bed boundary layers. Int. Conf. on Coastal engineering, ASCE, Venice, Italy.
- O'Connor, B.A., Harris, J., Kim, H., and Williams, J. 1994. Hydrodynamics of random wave boundary layers., International Conf. on Coastal Dynamics '94., Barcelona, Spain

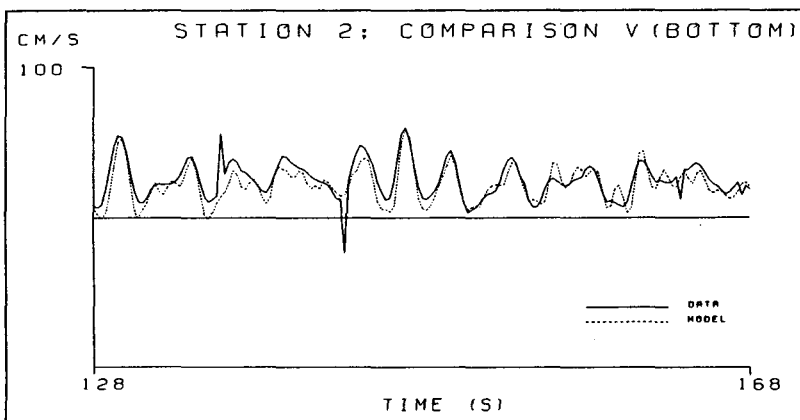
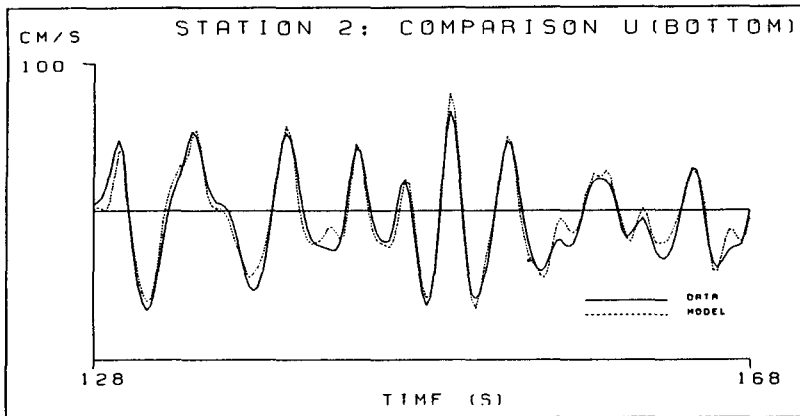


Fig 1. Variation of caculated & measured flow velocities (at a surf zone)

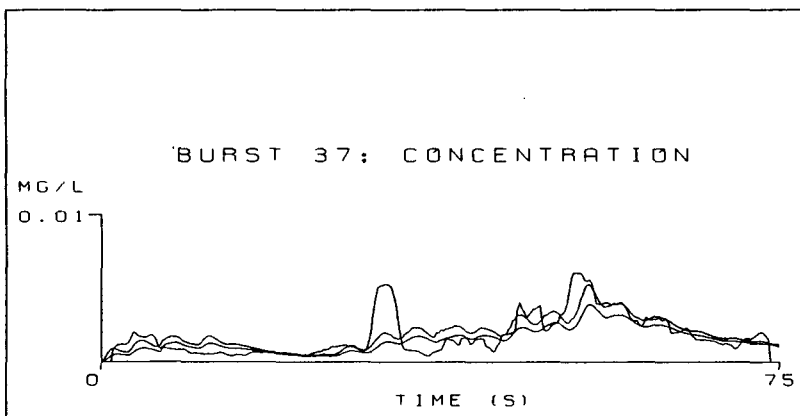


Fig 2. Variation of caculated & measured suspended sediment concentration (a STABLE data set)