

수치모형 시스템을 이용한 속초항 인공구조물 주변 연안표사 이동 연구

Longshore Sediment Transport in the vicinity of Sokcho Harbor

Using Numerical Modelling System

김효섭¹, 장창환², 이에원³

Hyoseob Kim¹, Changhwan Jang² and Yewon Lee³

1. 서 론

국토가 좁고 자원이 부족한 우리나라는 고도의 경제성장과 인구 및 산업활동의 증가에 따른 국토의 확장과 신도시 공간의 창출을 위하여 국가적으로 효율적이고 종합적인 이용이 가능한 연안개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 이처럼 공사규모 및 사업비 면에서 막대하고 개발 후에 기존의 주변 해양환경에 막대한 영향을 미치는 간척·매립을 통한 농·공업단지의 조성, 항만개발, 인공섬 및 해안 위락시설개발 등의 연안개발 사업은 국토의 효과적인 관리 및 개발의 차원에서 활발히 진행되어 왔으며 지속적인 건설이 추진될 것이다.

해안지역은 육지로부터 강을 통해 유입되는 퇴적물의 영향을 받고 있다. 따라서, 강에 저수지나 수력발전을 위한 댐 등을 건설하여 토사의 유입이 줄어들거나 강의 유로변경이 발생하는 경우에 해안의 변형에 영향을 미치게 된다. 또한 항만, 입해발전소, 입해공단 등을 위한 해안구조물 설치 또는 대규모 연안매립 등으로 인해 해안선에 도달하는 파랑의 파고 및 파향을 변화시켜 연안표사의 이동에 변화를 주는 경우 지역적인 해안 침식 및 퇴적이 발생하게 된다. 이 외에도 해안에서의 퇴적물 채취 등 기타 인위적인 변화를 주게 되는 경우에도 해안은 이에 부합하는 새로운 평형상태로의 변화를 계속하게 된다.

동해안에서 해안구조물의 주요 설계 요소인 파랑에 의한 연안류는 퇴적물이동에 매우 중요한 역할을 하기 때문에 그 양상을 파악하는 것이 중요하다. 이러한 양상을 분석하고 재현 및 예측하기 위해서 수치 및 수리모형 실험 등의 연구를 실시

하며, 수리모형 실험은 파랑방정식을 기초로 하여 연안류의 거동을 해석하고 퇴적물 이동을 예측하는데 상당한 시간과 비용이 생기는 반면에 수치해석 기법을 이용해서 대상해역의 파랑, 연안류, 그리고 퇴적물이동을 경제적이고 일리 있게 계산할 수 있는 장점이 있다.

본 연구는 제3세대 파랑모델인 SWAN(Simulating WAves Nearshore)을 이용하여 파랑분포 특성을 파악하였으며, 이 결과를 국민대학교에서 개발한 연안류 수치모형(KU-FLOW2D)에 연동 하였다. 그리고 연안류에 의한 퇴적물이동 수치모형(KU-SED3D)을 이용하여 속초항 인근 인공구조물 주변의 퇴적물이동을 양상을 분석 하였다.

2. 수치모형

2.1 SWAN

SWAN(Simulating WAves Nearshore)모델은 바람, 수심 및 해류 조건으로부터 근해, 호수 및 강어귀 파랑의 특성인자를 추정하는 제3세대 수치 파랑모델이다(Booji et al.,1999, Ris et al.,1999). 이 모델은 파랑 전파 과정에서, 파랑의 공간상 직선 전파, 수심과 조류에 의한 굴절, 수심과 조류에 의한 천해 현상, 반대 조류에 의한 파랑의 차단과 반사, 방해물에 의한 파랑의 전단 또는 조류에 의한 파랑의 차단과 반사, 방해물에 의한 파랑의 전달 또는 반사를 고려할 수 있다. 그리고 파랑 생성과 소산 과정에서 바람에 의한 파랑 생성, 백파에 의한 파랑 소산, 비선형 상호작용에 의한 에너지 교환, 장애물에 의한 에너지

1 발표자: 국민대학교 건설시스템공학부 교수

2 국민대학교 건설시스템공학부 박사과정

3 국민대학교 건설시스템공학부 석사과정

소산을 고려할 수 있다. SWAN 모델은 파랑작용 평형 방정식을 지배방정식으로 한다.

$$\frac{\partial}{\partial t}N + \frac{\partial}{\partial x}c_x N + \frac{\partial}{\partial y}c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma}c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta}c_\theta N = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (1)$$

여기서, N 은 파작용 밀도(Wave action density), c_x, c_y 는 x, y 공간에서 N 의 이동 속도, c_σ 와 c_θ 는 각각 σ 와 θ 공간에서의 N 의 속도를 나타내며 수심과 흐름의 변화로 인한 상대 주파수의 변화와 굴절 효과를 포함하고 있다. 이 때 N 은 식에서와 같이 파에너지 밀도(Wave energy density)를 상대 주파수로 나눈 값을 나타낸다.

SWAN 모델을 수행하면 각 격자에서 파랑 에너지 밀도가 계산되며, 이 에너지 밀도로부터 아래와 같이 유의 파고(H_s), 평균파향(Dir), 평균 파주기(T_m)가 계산되어 진다(The SWAN team, 2008).

$$H_s = 4\sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \quad (2)$$

$$Dir = \arctan \left[\frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right] \quad (3)$$

$$T_m = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1} \quad (4)$$

2.2 KU-FLOW2D

국립대학교에서 개발한 KU-FLOW2D 모형(김효섭, 2009)은 Fortran으로 작성되어 있으며, 기본 방정식은 양해 차분식으로 표현되어 있다. 수치모형 실험시 초기조건은 임의로 지정할 수 있으며, 본 실험에서는 시간이 경과하면서 해수위와 유속이 평형상태에 도달하게 되면, 이를 최종해로 취하였고, 경계면은 육지경계면과 개방경계면으로 나누어 졌으며 각각의 조건에 적절한 경계조건을 지정해 주었다.

연안류를 지배하는 물리적 성질은 해수의 질량 보존과 운동량보존에 있다. 연안류를 계산하는 수치모형의 물리적 성질은 해수의 질량보존과 운동량보존에 있다. 연안류를 계산하는 수치모형의 기본 방정식은 첫째, 연속 방정식으로서 해수면 계산에 쓰인다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(dU) + \frac{\partial}{\partial y}(dV) = 0 \quad (5)$$

여기서, η 는 파랑주기평균(WPA) 수면높이, t 는 시간, x, y 는 두 수평축, d 는 평균수심, U, V 는 각각 x, y 방향에서의 평균속도이다. 둘째, 수심적분된 파랑주기평균 운동방정식의 기본적인 형태는

다음과 같다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{R_x}{\rho d} - \frac{T_x}{\rho d} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{R_y}{\rho d} - \frac{T_y}{\rho d} = 0 \quad (7)$$

여기서, g 는 중력가속도, ρ 는 밀도, $R_x = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y}$, $R_y = \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y}$ 이고, S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} 는 Longuet-Higgins의 응여응력이다. T_x, T_y 는 각각 x, y 방향으로의 전단응력이다. 이것은 다시 헤저면 마찰력항 ($F_{b,x}, F_{b,y}$)과 수평 확산항 ($F_{t,x}, F_{t,y}$)으로 나뉜다.

$$T_i = F_{b,i} + F_{t,i} \quad (8)$$

여기서 i 는 x, y 에 관한 지표이다.

2.3 KU-SED3D

본 논문에서 사용하는 퇴적물 이동 모형(KU-SED3D)은 구조물 근처의 퇴적물들이 공간적으로 불균등하다는 것과 사립자들에 의해 생성된 연직 방향의 급격한 기울기를 고려하기 위하여 3차원 퇴적물 이동·확산 방정식을 쓴다. 퇴적물 이동 모형은 파랑 모형과 2차원 연안류 모형과 함께 수행하며 같은 수평격자망을 쓴다. 근해에서의 퇴적물 이동은 부유사 이동량과 소류사 이동량의 결합으로 표현된다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} + (w - w_f) \frac{\partial c}{\partial z} \quad (9)$$

$$- \frac{\partial}{\partial x}(\epsilon_{sx} \frac{\partial c}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial y}(\epsilon_{sy} \frac{\partial c}{\partial y}) - \frac{\partial}{\partial z}(\epsilon_{sz} \frac{\partial c}{\partial z}) = 0$$

여기서 c 는 파랑주기평균 퇴적물 농도이고 t 는 시간, u, v, w 는 각각 x, y, z 축에서의 파랑주기평균 속도이다. w_f 는 퇴적물 입자의 침강속도이고 $\epsilon_{sx}, \epsilon_{sy}, \epsilon_{sz}$ 는 각각 x, y, z 축에서의 확산계수이다. 확산계수는 유체 자체의 난류 확산계수와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며 그 비율이 1에 가깝기 때문에 본 모형에서는 비율을 1로 정했다.

3. 수치모형 적용 및 결과

일반적으로 파랑에 의한 퇴적물 이동 수치모형을 수행하기 위한 과정은 다음과 같다. 현장관측 자료를 입력자료로 활용하며, 각 세부 수치모형은 동일 격자망을 사용한다. 이렇게 함으로써 계산결과를 다음 수치모형의 입력자료로 활용하기 수월하다.

대상해역을 수치모형으로 재현하기 위하여 대상해역의 범위를 결정, 격자소의 크기를 결정, 수심자료 입력, 경계조건을 설정하였다. 격자소의 크

기를 파랑모형(SWAN), 연안류(KU-FLOW2D), 퇴적물이동(KU-SED3D) 모형의 결과를 자세히 표현 할 수 있도록 격자소의 크기를 $20m \times 20m$ 로 정하였으며, 격자소의 수는 321×218 (69978개소)이다.

Table 1. 세부역 격자와 범위체계

모델범위	$6.4km \times 4.4km$
격자수	321×218 (69978 개소)
격자소 크기	$20m \times 20m$
격자체	직선 격자 체계

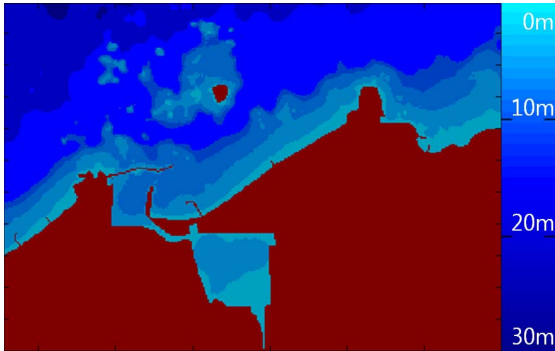


Fig.1. 수치모형 대상 해역

3.1 파랑 모형 적용 결과

속초항 인근 지역에서 수행된 각종 과업의 파랑추정 결과를 참고 하여, 속초항 인근의 평균 파랑인 파향(θ) = NE, 파고 2.6m, 주기 8sec로 입력하였다.

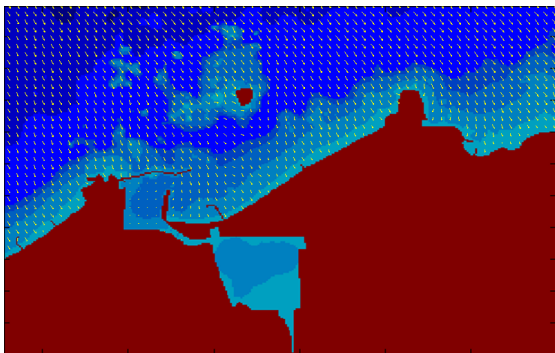


Fig. 2. 파랑 수치모형 결과

3.2 연안류 모형 적용 결과

파고 2.6m, 주기 8.0초, 파향 NE의 파랑에 의한 최종 평형상태이며, 속초항 인근은 약 $1.0m/s$ 의 연안류가 발생한다. 본 수치모형에 의하면 연안류의 양상은 대상해역의 지역 형태와 인공구조물의 설치 위치에 따라 세굴과 퇴적에 영향을 미치는 흐름으로 판단 된다.

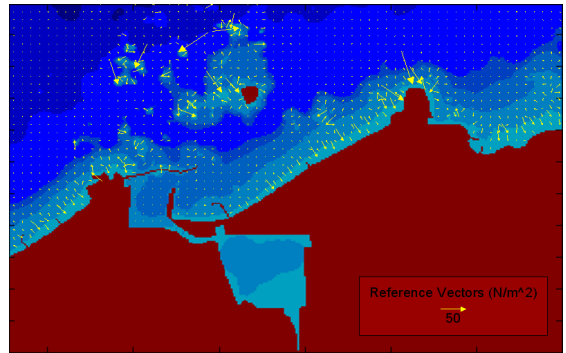


Fig. 3. 파랑에 기인한 연안류 벡터도

3.3 퇴적물이동 모형 적용 결과

파랑에 기인한 연안류 수치모형의 결과로 퇴적물이동 모형에 적용한 결과가 Fig.4이며, Fig.5는 퇴적물의 이동량을 나타낸 것이며, 속초항 인공구조물 주변의 퇴적물은 해안선을 따라 이동 하는 것으로 판단 되었다.

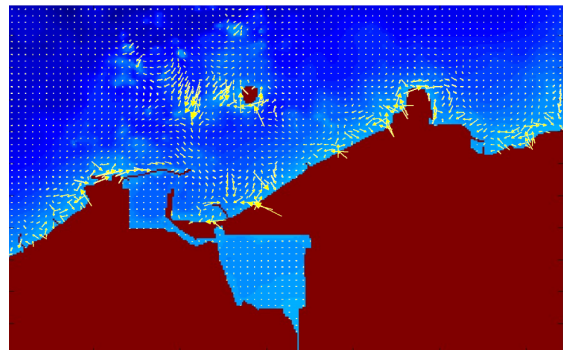


Fig. 4. 퇴적물이동 벡터도

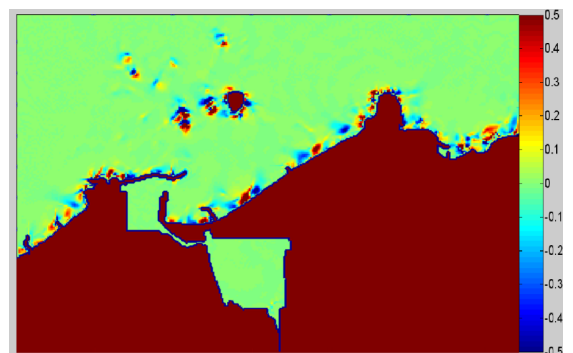


Fig. 5. 퇴적물 이동량 (단위: m)

4. 결 론

제3세대 수치 파랑모델인 SWAN을 이용하여 파고, 파향, 파주기에 대한 파랑 예측 결과를 취득한 후, 개발된 부프로그램을 연동하여,

Radiation-stress를 계산하였다. 그 계산 결과를 국민대학교에서 개발한 연안류 수치모형(KU-FLOW2D)에 적용 하여, 연안류를 계산하고, 연안류에 의한 퇴적물 이동 수치모형(KU-SED3D)으로 속초항 인근 인공구조물 주변의 퇴적물 이동을 예측 하였다. 그 결과 연안류 모형에 결과인 연안류의 방향과 유속의 강도, 와류의 형태에 매우 큰 영향을 받으며, 파랑의 조건에 따른 퇴적물 이동은 해안선을 따라 이동하는 것을 관찰 할 수 있었다.

본 연구는 파랑 예측에 의한 단기 퇴적물 이동 모형을 수행 하였으나, 추후 중·장기적 관점으로 퇴적물의 이동 양상을 파악 하는데 이용 할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 해양환경보전기술개발 사업결과의 일부로서, 국토해양부의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 동해지방해안항만청 (2004). “속초항 북방과 제연장 기본 및 실시설계용역 보고서 구조 계산서.”
- 속초시 (2007). “속초시 해안침식지역 물리적 조사용역.”
- 장창환 (2000). 2차원수평 수치모형을 이용한 해안 퇴적물 이동 예측. 국민대학교 석사학위 논문.
- The SWAN team (2008). SWAN Cycle III Version 40.72 Technical Documentation.
- Booij, N., Ris R.C. and Holthuijsen, L.H. (1999). A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation. J.Geophys. Res., Vol104, pp7649-7666.
- Hyoseob Kim (1993). Three-dimensional sediment transport model. for the degree of Doctor in Philosophy, university of Liverpool.