

낙동강 하구둑 모래톱의 형상변화로 인한 하구주변해역의 지형변화 The change of ocean around estuary caused by Change of shape of Nok-dong River estuary a sandy plain

김기수¹, 홍남식²

Ki Su Kim¹, Nam Seeg Hong²

1. 서 론

20년전 낙동강 하구둑 축조 이후 매립과 신항건설 등 굵직한 개발사업이 진행된 낙동강 하구는 물길이 막히고 유속이 느려지는 탓에 모래퇴적 현상이 가속화되고 있다. 막혀 버린 바닷물은 모래를 사주에 쌓아놓고 있고(낙동강수계관리위원회2004 1), 기존 뿔 위에 모래가 쌓이면서 육지화까지 진행 중이다. 현재 낙동강 하구에 대한 대규모 준설 사업을 추진하고 있으나 이 같은 준설 사업이 낙동강 하구 일대 섬들의 추가침식을 초래하여 해양안전 및 생태계에 심각한 문제를 발생시킬수 있다. 을숙도 남쪽에 발달한 모래톱의 지형변화로 낙동강하구둑의 방류로 인한 주변해역에 영향을 미쳐 낙동강하구의 퇴적 침식이 가속화 되기 때문이다. 이렇듯 모래톱 지형변화는 바닷물과 강물의 흐름을 심각하게 왜곡시키게된다. 그러므로, 본 연구의 목적은 현재와 과거의 을숙도 남쪽 모래톱 형상변화로 발생한 주변해역의 지형변동을 수치시물레이션을 통하여 예측함으로써 지형변화에 대한 자료제공에 그 목적이 있다. 해수유동 모델은 과거와 현재로 구분하여 광역, 준세부역, 세부역 3 개 구역으로 나누어 계산하였으며 광역에서의 경계조건은 16개 분조를 적용하고 가덕도와 진우도 연안의 실측 data를 이용하여 검증하였다. 진우도-눌차만 지역의 파랑분포를 산정하기 위한 광역 및 세부역을 재수립 하였으며 외해 경계 입사파고는 2007년 하계

에 부산지방기상청 자료를 이용하여 유추된 시간이력 파랑경계조건을 적용하였다. 이때, 파랑모델은 유동모델과 연계하여 파랑장을 계산한다. 지형변화 시물레이션을 위해 모래톱 주변해역은 실트질 모래가 주로 분포되어 있는 것으로 보았으며 시물레이션 결과 과거에 모래톱이 길게 연결되었을때 백오 등 남쪽 해안에 퇴적과 침식이 주로 발생하고 현재 모래톱이 두 부분으로 나뉘어 졌을때는 진우도-신자도 부근에 퇴적과 침식이 활발하게 나타남을 예측할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 해수유동 모델

해수유동 수치모델링을 위하여 사용한 모델은 수심평균된 2차원 비선형 지배방정식을 2차항 정밀도를 가진 음해 ADI 유한차분법(Implicit ADI finite difference scheme of second order accuracy)을 이용하여 계산하여, 해수유동 현상을 재현하는 모델이다.

2.2 파랑 모델

파랑은 근해지역에서 단주기 short-crested 파랑들의 전파, 생성과 소멸을 산정하는 풍파모델인 SWAN을 적용한다. 깊이변화에 의한 굴절과 천수효과, 지역풍의 생성, 그리고 바다마찰과 파랑의 붕괴에 의한 에너지 분산을 포함한다. 또한 파랑과 해류의 상호작용에 의한 효과도 포함하며 고정된,

¹ 발표자: 동아대학교 해양공학과 박사과정

² 동아대학교 토목공학부 부교수

매개변수의 방향이 분리된 모델이다. 해류의 영향을 참조하기 위해서, 이 모델에서의 기본 방정식들은 스펙트럼 파동 밀도에 관한 보존 방정식을 사용한다. 보존 방정식의 매개변수화는, 독립변수로서 파동 스펙트럼의 영변제와 첫번째 모멘트를 사용함으로써 얻어진다. 기본 방정식들은 Eulerian 유한 차분법을 이용함으로써 풀며 파동 스펙트럼의 영변제와 첫 번째 모멘트는 다수의 분리된 방향들에 대한 사각형의 격자에서 계산되어진다. 기본 방정식들은 스펙트럼 파랑 작용 밀도의 보존 방정식으로서 주파수 영역에 대한 이 방정식의 매개변수화는 그 파랑작용 스펙트럼의 0차와 1차 모멘트를 독립 변수로 도입하여 이루어진다.

2.3 Sediment

비점착성 퇴적물의 침강속도는 Van Rijn(1993)의 방법에 따라 계산된다. 즉, 부유물 또는 퇴적물의 직경에 따라 식(1)~(2)이 적용된다.

$$w_{s,0}^{(\ell)} = \frac{(s^{(\ell)} - 1)g d_s^{(\ell)2}}{18\nu}, \quad 65 \mu\text{m} < d_s \leq 100 \mu\text{m} \quad (1)$$

$$w_{s,0}^{(\ell)} = \frac{10\nu}{d_s} \left[\left(1 + \frac{0.01(s^{(\ell)} - 1)g d_s^{(\ell)3}}{\nu^2} \right)^{0.5} - 1 \right], \quad 100 \mu\text{m} < d_s \leq 1000 \mu\text{m} \quad (2)$$

$$w_{s,0}^{(\ell)} = 1.1 [(s^{(\ell)} - 1)g d_s^{(\ell)}]^{0.5}, \quad 1000 \mu\text{m} < d_s \quad (3)$$

$s^{(\ell)}$ 퇴적물 (ℓ) 상대밀도 $\rho_s^{(\ell)}/\rho_w$

$d_s^{(\ell)}$ 퇴적물 직경 (ℓ)

ν 물의 동점성계수 [m^2/s]

2.4 Morphology Change

수평면에서 소류사량의 이송크기와 방향을 포함하기 위한 시뮬레이션을 위하여 Van Rijn(1993)이 개발한 근사법이 적용되어진다(식(4)~(7) 참조).

$$|S_b| = 0.006 \rho_w d_{50}^{(\ell)0.5} M^{0.5} M^{0.7} \quad (4)$$

S_b = 소류사량 (kg/m/s)

M = Wave와 Current에 의한 퇴적물 유동수

M_e = 초과된 퇴적물 유동수

$$M = \frac{v_{eff}^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (5)$$

$$M_e = \frac{(v_{eff} - v_{cr})^2}{(s-1)gd_{50}} \quad (6)$$

$$v_{eff} = \sqrt{v_R^2 + U^2} \quad (7)$$

여기서, v_{cr} = 초기운동을 위한

한계수심평균속도 (m/s), v_R = 같은

수심평균속도의 크기는 계산되는 바닥층에 속도 또는 가상로그 속도 분포로부터 계산된다

3. 모델 set-up 및 결과

3.1 해수유동 및 파랑

해수유동 모델은 과거와 현재로 나누어 각각 광역, 준세부역, 세부역 3 개 구역(Fig. 1 참조) 으로 나누어 계산하였으며 광역은 244× 209 500m간격, 준세부역은 163× 239 120m간격, 세부역은 201× 199 70m간격으로 설정하였다. 광역에서의 경계조건은 16개분조(2n2, j1, k1, k2, l2, m1, m2, mu2, n2, nu2, o1, ool, p1, q1, s2, t2)를 적용(참고문헌의 웹사이트 참조)하였으며 가덕도와 진우도 연안의 실측 data를 이용하여 검증하였다. 파랑 모델은 과거와 현재에 동일파랑을 적용하여 Fig.2에 보듯이 광역과 세부역을 나누어 계산하였으며 광역은 173× 96 500m간격, 세부역은 192× 195 70m간격으로 연동하여 계산하며, 또한, 유동모델과 연계함으로써 파랑-조류 상호작용을 포함하게 하였다. 광역의 외해파랑자료는 거제도 외해 해상 경위도좌표(34.77°, 128.90°)에서 관측한 부산기상청 시계열 자료(2006년1월1일~2007년10월30일)를 사용하였다. 시계열 자료중 하계에 해당하는 2007년7월1일~2007년9월30일 자료를 이용하여 Wave Rose를 Fig.3(a)에 나타내었다. Fig.3(a)로부터 놀차만-진우도 해역에 영향을 미칠 파랑은 하계에는 south-west방향(정북으로부터 180° 부터 270°)으로 여겨진다(Fig. 3(b)참조). 또한, 지형 변형에 영향을 미칠 평상시 외해파랑은 통상 2m이하이므로(한국해양연구원 2003) 지형변형에 영향을 직접적으로 미치는 수경 wave rose를 다시 그리면

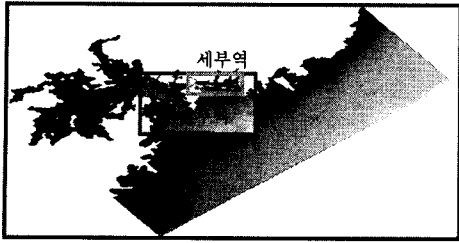


Fig. 1. Model Definition for Flow Simulation

Fig. 3(b)와 같다. 수정된 wave rose를 바탕으로 하계 1년간의 시간변화에 따른 평상파랑 변화 추이를 유추하여 Fig.4에 나타내었으며, 이를 광역의 시간이력 외해경계조건으로 사용하였다. Fig.5는 임의의 시간에서의 광역의 파고분포 및 파향을 나타낸 것이다.

3.2 지형변화

파랑 및 조류에 의한 을숙도 남쪽연안 모래톱 주변 해역의 지형변화 시뮬레이션 수행을 위하여 필요한 해저질자료는 Fig.6의 지반조사 위치에서의 해저질 자료를 사용하였다.

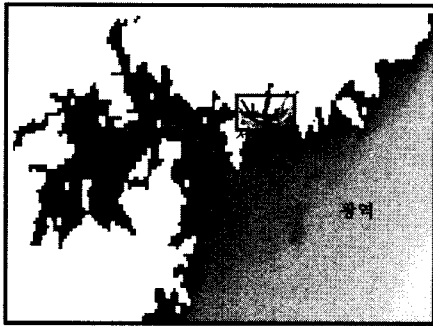


Fig. 2. Model Definition for Wave Simulation

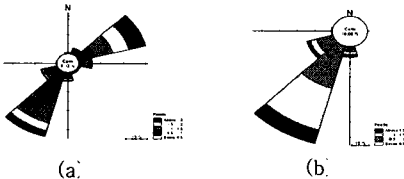


Fig. 3. Wave Rose; (a) Original (b)

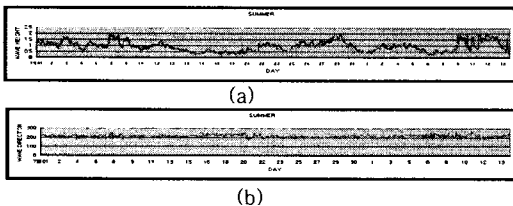


Fig. 4. Time history for B.C of Regional Model; (a) Wave height, (b) Wave Direction.

Table1은 각 위치에서의 해저질 물성치를 나타내는 것으로 이 들 평균치를 대표치로 보아 준세부역에 균등하게 적용하였다.

1년간 을숙도 남쪽 연안의 모래톱 지형변화에 따른 과거와 현재의 해수유동 경향을 파악(Fig.6~ Fig.7)하여 그에 따른 장기적인 지형변화를 나타내었다.

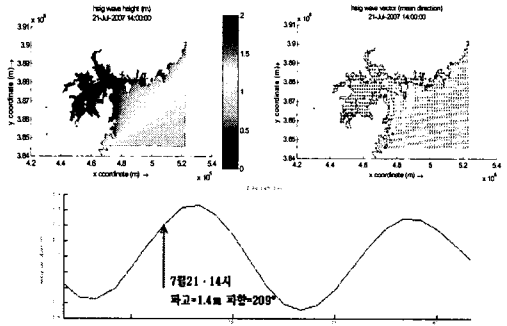


Fig. 5. Wave height distribution and wave vector

Table 1. Soil Data

	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5
D50 (mm)	0.109	0.092	0.144	0.093	0.098
Specific density	2.681	2.697	2.662	2.693	2.700
Dry bed density (t/m ³)	1.198	1.182	1.084	1.169	1.172

파랑 및 조석으로 인한 유속장 결과를 적용하여 지형 변화를 예측한 결과 낙동강하구둑 주변 모래톱의 일부가 분리되어 지류가 발생하게 되며 지류를 통해 방출유량 일부가 서진하는 경향을 보일 뿐만 아니라, 신자도A, B가 병합되어 흐름방향이 서진하여 그 영향이 진우도 북쪽 해역까지 영향을 미치므로 흐름장의 변화로 인한 퇴적, 침식이 발생함을 알 수 있으며, 가덕도와 진우도, 진우도와 신자도 협수로부터는 침식이 가속화되는 경향을 보였으며 과거 모래톱이 나뉘기전 백요동 남쪽에 퇴적이 크게 발생했으나 현재 모래톱이 나뉘어지면서 남쪽으로 흐르던 물길이 줄고 서진하여 진우도-신자도 쪽으로 퇴적이 크게 발생하고 있다(Fig.9 ~ Fig.10).

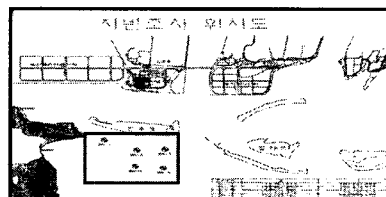


Fig. 6. 지반조사 위치도

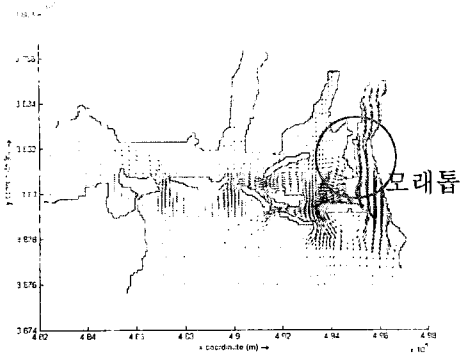


Fig. 7. 과거 하계의 해수유동

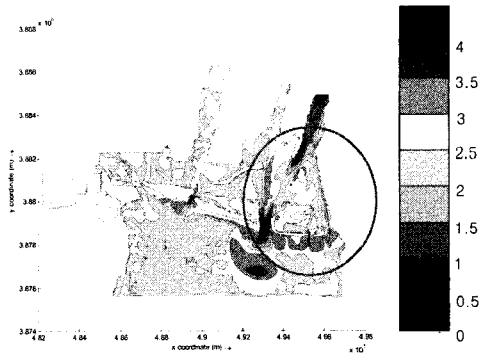


Fig. 10. 현재 낙동강 하구역의 침식 및 퇴적 두께 분포(m)

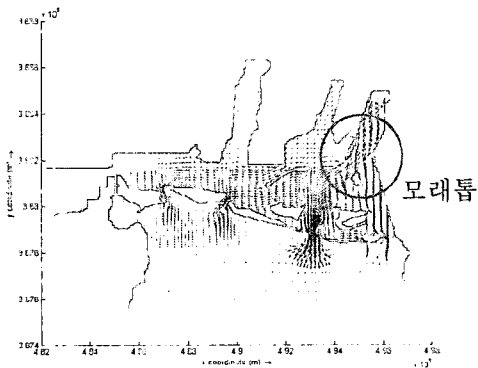


Fig. 8. 현재 하계의 해수유동

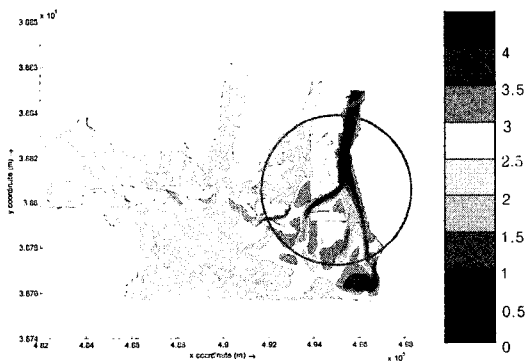


Fig. 9. 과거 낙동강 하구역의 침식 및 퇴적 두께 분포(m)

5. 결론 및 향후과제

낙동강 을숙도 남단에 발달한 모래톱의 과거와 현재 형상에 따른 해수유동의 양상을 파악하였다. 그결과 낙동강하구둑 주변 모래톱의 일부가 분리되어 지류가 발생하게 되며 지류를 통해 방출유량 일부가 서진하는 경향을 보일 뿐만 아니라, 신자도 A, B 가 병합되어 흐름방향이 더 서쪽으로 서진하여 그 영향이 진우도 북쪽 해역까지 영향을 미치므로 흐름장의 변화로 인한 퇴적, 침식이 발생할 수 있으며, 과거 모래톱이 나뉘기전 백요 등 남쪽에 퇴적이 크게 발생했으나 현재 모래톱이 나뉘어지면서 물길이가 서진하여 진우도 신자도 쪽으로 퇴적이 크게 발생하고 있다. 본 시뮬레이션에서는 과거와 현재의 지형변화 양상을 검증하지 않았으므로 검증을 통한 재해석할 필요가 있다.

참고문헌

- 한국해양연구원(2003). 부산신항 사후 환경영향평가.
- 낙동강수계관리위원회(2004). 지속가능한 낙동강 생태계 이용과 보존을 위한 최적 교육 방안.
- Vantier, B.A. de, K. Meijer and L.C. van Rijn, 1992. Analytical solutions comparison and sensitivity analysis SUSTIM-3D model. Report WL | Delft Hydraulics.
- 김기수, 홍남식, 채장원, 이정만, 2008. “진우도 주변해역의 장기지형 변화”, 한국해양과학기술학회 공동학술대회집