목포해역의 점착성 퇴적물 이동에 관한 2차원 수치모의 A Two-dimensional Numerical Simulation of Cohesive Sediment Transport in the Mokpo Coastal Zone

최종화* · 정태성**

Jong Hwa Choi* and Tae Sung Jung**

요 약 : 연안 해역은 해안구조물 건설과 간척 등의 연안 개발로 인해 해안의 퇴적환경이 크게 변화하고 있으며, 이로 인하여 많은 환경변화가 발생하였다. 특히 점착성 퇴적물은 오염물질을 흡착하고 이동하여 환경적으로 큰 변화를 야기한다. 목포해역은 최근에 많은 해안구조물의 건설로 인해 낙조우세가 점점 심해지는 등의 환경변화가 발생하고 있는 지역이다. 이 지역의 점착성 퇴적물을 채취하여 수리실험하고 얻은 침식률 및 침식한계전단응력의 퇴적물 이동모의 활용가능성에 대해 검토하였다. 부유사 농도에 대한 모의 결과는 관측자료와 일치하는 양호한 결과를 보였다. 따라서 수리실험을 통해 결정된 침식률을 사용하는 것이 수치모의에서 정확성을 개선하는 데 기여함을 확인할 수 있었다. 모의과정에서 침식률, 침식한계응력, 침강속도, 활성층 두께 등의 민감도를 분석하였다.

핵심용어 : 점착성 퇴적물, 부유사, EFDC 모델, 목포해역

Abstract : Sedimentary environment in coastal zone has been changing due to a large number of coastal structures and continuous coastal development. As a result, the environment has been changing. In particular, the economic and environmental damage can occur due to cohesive sediment transport closely related with the fate of pollutants. Due to large sea wall construction the ebb dominance in the Mokpo coastal waters has been clearer. Cohesive sediment transport was simulated by the EFDC model. The simulated SS showed good agreements with the observed SS. From the sensitivity analysis of sediment parameters, we found out that the erosion rate, the critical shear stresses for erosion and deposition, and the settling velocity are important factors in cohesive sediment transport modeling.

Keywords : cohesive sediment, suspended sediment, EFDC model, Mokpo coastal zone

1. 서 론

우리나라 해안 및 그 주변은 연안개발로 인하여 많은 환경변화를 겪어 왔다. 특히 신항만 건설 및 연안 매립 등과 같은 연안에서의 대규모 인위적 개발은 평형상태가 유지되고 있는 해역에서 환경적 평형상태를 변화시켜 왔으며, 이로 인하여 해양생태환경이 크게 훼손되어 왔다. 특히 하구둑 건설 등의 개발로 인하여 인근해역의 해수유동 체계가 크게 변화하였으며, 이에 따른 퇴적환경 변화가 사회적 문제로 부각되어 왔다. 점착성 퇴적물은 점착성으로 인하여 오염물질을 흡착하고 부유하여 해수유동에 따라 이동·확산하는 특성을 가지고 있으며, 담수와 해수가 만나는 하구역에서는 밀도성층으로 켜기가 형성되어 고농도의 부유사를 발생시키는 등 연안해역의 수질에 큰 영향을 미친다. 이러한 퇴적환경 변화 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 점착성 퇴적물의 이동과

정에 대한 정확한 이해와 평가가 필수적이며, 이를 위해서 수치모형이 널리 사용되어 왔다. 그러나 국내에서는 환경영향평가 등에서 활용되는 모형 및 모의결과의 신뢰성에 대해서 아직도 명확하게 입증하지 못한 실정이다.

본 연구에서는 그동안 많은 해양환경 변화가 진행되어 온 목포해역을 연구 대상지역으로 선정하였다. 목포해역은 조간대가 넓게 분포되어 있으며, 복잡한 해안선을 가지고 있고 낙조우세 현상이 뚜렷하게 나타나고 있다. 최근에는 지속적인 간척사업으로 내부 면적이 줄고, 내만에서 조석과의 진폭이 증가하면서 낙조우세현상이 심화되었다(강·임, 1998). 이러한 비대칭 조석과 조류는 경계조건에 비대칭 조석을 고려하여 모의를 해야 정확한 수치모의가 가능하다(정·최, 2010). 조석 및 조류의 변화는 목포해역의 퇴적환경 평형상태에도 변화를 가져 오고 있다. 이러한 현상을 미리 파악하고 효과적인 대책방안을 제시하기 위해서는 조류변화의 모의와 더불어

* 한남대학교 건설시스템공학과(Department of Civil Engineering, Hannam University)

** 한남대학교 건설시스템공학과(Corresponding author: Tae Sung Jung, Department of Civil Engineering, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea. jungts@hnu.kr)

부유사 확산, 침식, 퇴적 등을 묘사하는 퇴적물 이동 모의가 병행되어야 한다. 퇴적물 이동을 정확하게 모의하기 위해서는 현장퇴적물에 대한 침식률, 퇴적률, 침강속도, 침식 및 퇴적에 관한 한계전단응력 등에 대한 정확한 이해가 필요하다 (Mehta et al., 1989). 이와 관련하여 외국에서는 실험을 이용한 다양한 연구가 실험실과 현장에서 활발하게 진행되어 왔다 (Mehta, 1993; Wang, 2003; Maa et al., 2008). 예를 들면, Lick and McNeil(2001)은 침식률에 영향을 미치는 인자에 대해 그 동안의 UCSB 대학에서 실험결과를 정리하여 검토하였으며, Maa et al.(2008)은 퇴적한계응력에 대해서 검토한 바 있다. 국내에서도 외국에 비해서는 다소 미흡하지만 일부 연구자들에 의해서 연구가 진행되고 있다. 김 등(2011)은 목포해역 퇴적물의 침식특성을 수리실험을 통해서 조사하였으며, 정 등(2012)은 광양만 점착성퇴적물의 퇴적특성을 수리실험을 이용하여 조사하는 등의 수리실험을 통한 점착성 퇴적물의 이동특성에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 EFDC(Environmental Fluid Dynamics Code) 모델(Tetra Tec Inc., 2007a; 2007b)에서 해수유동 계산시간을 효율화한 모형(정·최, 2011)을 이용하여 목포해역에서 점착성 퇴적물의 이동·확산과 침식·퇴적을 모의하였다. 모의 과정에서 침식률 등의 모형 매개변수를 김 등(2011)의 수리실험결과와 퇴적물 특성에 대한 현장조사결과(대림산업, 2003; 김, 2010; 김, 2011)를 활용하여 결정함으로써 국내에서 수행된 현장조사결과와 수리실험결과와의 수치모형 활용 가능성에 대해서 검토하였다.

2. 점착성 퇴적물의 이동·확산 특성

점착성 퇴적물은 유속이 강해지면 바닥으로부터 침식되고, 유속이 느려지면 바닥에 퇴적하여 압밀이 진행된다. 유속이 강하여 침식되어 부유된 퇴적물은 해수유동과 난류확산에 의해 이송·확산한다. 모형에서 해수유동은 지배방정식으로 수심적분된 2차원 천수방정식을 사용하여 계산하며, 점착성 퇴적물의 이송·확산 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial(HC)}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x} + \frac{\partial(VC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_{xx} H \frac{\partial C}{\partial x} + D_{xy} H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{yx} H \frac{\partial C}{\partial x} + D_{yy} H \frac{\partial C}{\partial y} \right) + S_c \quad (1)$$

여기서, C 는 부유사의 농도, D_{xx} , D_{xy} , D_{yx} , D_{yy} 는 수평 확산 계수, S_c 는 바닥경계층에서 퇴적물 공급률이다.

식 (1)에서 점착성 퇴적물의 바닥경계층에서 교환은 아래와 같이 계산한다(Tetra Tech Inc., 2007b).

$$S_c = S_E - S_D \quad (2)$$

$$S_D = w_s C \left(\frac{\tau_{cd} - \tau_b}{\tau_{ce}} \right) \quad (3)$$

$$S_E = M_e \left[\frac{\tau_b - \tau_{ce}}{\tau_{ce}} \right] \quad (4)$$

여기서, S_E 는 침식률, S_D 는 퇴적률, w_s 는 침강속도, τ_b 는 바닥마찰응력, τ_{cd} 는 퇴적한계전단응력, M_e 는 침식률 상수, τ_{ce} 는 침식한계전단응력이다. 퇴적은 바닥마찰응력 τ_b 가 퇴적한계전단응력 τ_{cd} 보다 작을 경우에 발생하며, 침식은 바닥마찰응력 τ_b 가 침식한계전단응력 τ_{ce} 보다 클 경우 발생한다.

점착성 퇴적물의 수송 모형에서 모의결과에 크게 영향을 주는 인자로는 침강속도, 침식률, 퇴적률 등이 있다. 점착성 퇴적물의 침강은 부유사의 농도와 상관없이 개별입자가 자유롭게 침강하는 자유침강(free settling), 퇴적물 입자간의 충돌에 의해 응집체의 크기가 증가하는 응집침강(flocculation settling), 농도에 의해서 개별입자의 침강이 억제되는 간섭침강(hindered settling), 바닥부근에서 농도가 높아 침강이 거의 발생하지 않는 무시침강(negligible settling)으로 구분된다. 퇴적률은 부유사 농도와 퇴적확률의 함수로 주로 표시되며 다양한 수리실험과 현장 관측을 통하여 여러 형태의 퇴적률 산정식이 제시되어 왔다. 바닥에 퇴적된 퇴적물은 유속이 증가함에 따라 침식이 발생하며, 침식은 크게 질량침식과 표면침식으로 구분한다. 표면침식은 서서히 진행하나 질량침식은 순간적으로 빠르게 덩어리로 발생한다. 침식에 저항하는 힘인 퇴적물의 전단강도는 일반적으로 바닥퇴적물의 전체밀도(bulk density)와 함수관계에 있는 것으로 알려져 있다. 퇴적물 수송에 대한 실험 및 수치모형에 대한 연구동향은 정(2010)에 상세하게 정리되어 있다.

본 연구에 사용된 EFDC 모델은 연안, 하구, 호소, 습지, 저수지 등의 유동 및 물질 수송, 하수와 온배수 확산해석 등을 모의할 수 있는 3차원 수치모델링 시스템이다. 퇴적물 이동 모의는 점착성과 비점착성 모두 가능하다. 본 연구에서는 퇴적물 수송모형의 적용가능성에 대한 1차적인 연구로 목포해역의 2차원 해수유동을 모의하고, 이에 따른 점착성 퇴적물의 수송을 모의하였다. 모형에서 천수방정식과 이송·확산 방정식은 음해법으로 해석한다(Tetra Tech Inc., 2007a; 2007b).

3. 목포해역 조류 및 점착성 퇴적물의 이동 모의

3.1 대상해역

무안반도 서남단에 위치한 목포해역(Fig. 1)에서 조류와 점착성 퇴적물 이동을 모의하였다. 목포내만으로 유입되는 목포구, 중구 및 북구라고 일컬어지는 세 개의 수로가 있으며, 화원반도와 달리도 사이에 있는 목포구의 수심이 가장 깊고 수로폭도 넓어 선박과 해수의 중요한 통로가 되고 있다. 동측으로부터는 영산강 하구언으로 통해서 담수가 유입되고 있으며, 남동측에 위치한 금호방조제와 영암방조제를 통해서도 담수가 유입되고 있다. 모델링 해역의 서측에는 남에서 북으로 향하는 조석수로가 크게 발달해 있으며, 목포해역의 북쪽

Fig. 1. Bottom topography of Mokpo coastal zone.

Fig. 2. Observations of 2003 survey.

에는 간사지가 넓게 발달한 청계만이 위치하고 있다.

3.2 점착성 퇴적물의 분포 특성

2003년에 Fig. 2에 표시된 정점들에서 그랩(grab)을 사용하여 채집한 목포해역 표층 퇴적물(대림산업, 2003)을 분석한 결과(정 등, 2006)에 의하면, 표층 퇴적물의 부피밀도(bulk density)는 $1.32 \sim 1.73 \text{ g/cm}^3$ 이고, 중앙입경은 $6.0 \sim 10.6 \mu\text{m}$ 이다(Table 1). 코어링(coring)된 시료 중 3 m 깊이의 퇴적물

Table 1. Physical properties of bottom sediments sampled in 2003 (Jung, 2006)

St.	Bulk Density (g/cm^3)	D_{50} (μm)	Remark
1	1.51	6.0	
2	1.45	6.2	
3	1.48	7.2	
4	1.48	7.2	
5	1.58	8.0	
6	1.38	7.0	
7	1.37	7.6	
8	1.44	6.2	
9	1.63	6.7	
10	1.73	10	
11	1.39	10.6	Mean
12	1.39	8.4	$D_{50} = 7.5$
13	1.32	6.2	
14	1.35	7.8	
15	1.33	8.7	
16	1.37	7.6	
17	1.44	8.0	
18	1.53	9.3	
19	1.43	6.0	
20	1.43	6.1	
core	1.57	1.7

Fig. 3. Observations of 2003 Survey.

시료를 분석한 결과는 부피밀도는 1.57 g/cm^3 로 표층의 1.37 g/cm^3 보다 크게 나타났으며, 중앙입경이 $1.7 \mu\text{m}$ 인 점토질이었다. 또한 2009년에 Fig. 3에 표시된 정점에서 전북대 연구팀이 조사한 자료(Table 2)에 의하면, 중앙입경은 $6.9 \sim 20.5 \mu\text{m}$ 였다(김, 2010). 2010년에 Fig. 3의 정점 4에서 전북대 연구팀이 코어링하여 바닥퇴적물의 특성을 분석한 결과(김, 2011)에 의하면, 표층에서 부피밀도는 약 1.3 g/cm^3 이었으며, 5 cm 깊이까지는 선형적으로 증가하여 1.55 g/cm^3 이 되고, 10 cm 이상에서는 1.63 g/cm^3 로 거의 일정하였다(Fig. 4).

Table 2. Physical properties of bottom sediments sampled in 2009 (Kim et al., 2010)

St.	D ₁₀ (μm)	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)
1	3.0	13.2	43.8
2	3.5	14.1	42.1
3	3.9	14.8	38.8
4	3.4	14.3	37.8
5	4.4	20.5	45.7
6	3.5	16.3	40.5
7	1.8	7.7	19.6
8	1.3	6.9	24.9
9	2.9	12.2	35.2
10	2.3	9.5	32.5
11	2.8	10.1	30.0
12	3.3	12.4	37.7
13	3.5	10.1	25.0
14	2.1	8.0	20.4

Fig. 4. Bulk density as a function of depth.

3.3 해수유동 모의 및 검증

Fig. 1과 같은 영역에 대해 격자크기 100 m인 정사각형 격자망을 구성하였으며, 모델링 영역의 수심 분포는 Fig. 1과 같다. 점착성 퇴적물의 이송·확산을 모의하기 위해 앞서 조위 및

Fig. 5. Comparison of observed and calculated tide at Mokpo Harbor. **Fig. 6.** Observation stations of tidal velocity.

조류의 모의와 검증을 실시하였다. 개방경계에서 조위는 낙조 우세현상을 정확하게 모의하기 위해 대표 4개 분조인 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조뿐만 아니라 조화 분석결과 중 진폭이 크게 나타난 N_2 , M_4 , MS_4 분조도 포함하였다. 이 과정에서 각 분조의 개방경계에서 공간적 조위분포는 과거에 관측된 자료를 분

Fig. 7. Comparison of tidal velocity in mean spring tide.

석한 조화상수(국립해양조사원 홈페이지 참조)를 이용하였으며, 목포항 조위 관측자료와 검증과정에서 수많은 수정과정을 거쳐서 최종 개방경계조건이 확정되었다. 목포항에서 조위 모의결과는 Fig. 5와 같이 관측 조위와 거의 일치하는 양호한 결과를 보였다. 조류의 재현성을 검토하기 위하여 평균 대조기에 대해서 모의하고, Fig. 6의 정점들에서 관측결과와 유속크기를 비교하였다. 조류 검증은 국립해양조사원에서 1994년과 2002년에 대조기에 관측한 자료(국립해양조사원, 1994; 2002)와 Fig. 6에 표기된 정점들에서 비교하였다. 창조류는 모의결과가 관측결과보다 약간 작게 모의되었고, 낙조류는 모의결과가 관측결과보다 약간 크게 모의되었으나 그 차이는 크지 않아서 대체로 양호하게 조류를 재현함을 확인할 수 있었다(Fig. 7).

2003년도에 Fig. 2의 정점에서 부유사농도의 대조기와 소조기 시간변화를 현장관측한 자료(대림산업, 2003)를 이용하여 퇴적물 이동 모의결과를 검증하였다. 부유사 관측지점의 부유사 관측 시기는 2003년 5월 31일(대조기)과 2003년 6월 9일(소조기)이다. 퇴적물 이동 모의를 위한 초기조건으로 부피밀도(ρ_b) 1.3 g/cm³인 퇴적층이 두께 5 cm로 표층에 위치하고 있다고 가정하였으며, 표층 아래에는 암질이 진행되어 단단한 부피밀도 $\rho = 1.57$ g/cm³인 퇴적물이 존재한다고 가정하였다. 퇴적물의 침식 및 퇴적관련 매개변수로는 $\tau_{ce} = \tau_{cd} = 0.35$ N/m², w_s 는 0.2 mm/s, M_e 는 7.9 mg/cm²/hr를 최종적으로 민감도 분석을 통해서 결정하였다. 표층의 부피밀도를 1.3 g/cm³로 선택한 이유는 2009년과 2010년에 전북대에서 조사한 퇴적물 코어링 결과와 2003년에 조사한 표층 퇴적물 분석결과의 최소값을 참고하여 결정하였다. 또한 τ_{ce} , M_e 는 목포해역 점착성 퇴적물의 침식특성 실험결과(김 등, 2011)에서 해당 부피밀도에 대한 값을 읽어서 초기값을 결정한 후에 민감도 분석을 통하여 최종값을 결정하였다.

3.4 퇴적물 모형 매개변수의 민감도 분석

점착성 퇴적물 이동모의 과정에서 부피밀도, 침식률, 침식 및 퇴적 한계전단응력, 침강속도, 활성퇴적층두께에 대해서 민감도 분석을 실시하였다. Table 3은 민감도 분석에 사용한 기준값과 분석범위이다.

평균부유사 농도에 대한 관측자료와 모의결과를 비교하였다. 바닥퇴적물의 부피밀도가 증가할수록 침식이 약화되어 부유사 농도가 거의 선형적으로 감소하였으며, 그 차가 소조기보다 대조기에 크게 났으나 그 차이는 크지 않았다(Fig. 8).

Table 3. Reference values and ranges for sensitivity analysis

Parameter	Reference	Range
ρ_b (g/cm ³)	1.3	1.25~1.35
τ_{ce} (N/m ²)	0.35	0.25~0.45
M_e (mg/cm ² /hr)	7.9	4.2~11.5
W_s (mm/s)	0.2	0.1~0.3
H_b (cm)	5	2~10

부피밀도와 침식관련 매개변수와의 관계는 김 등(2011)의 실험결과를 활용하였다. 침식 한계응력이 증가할수록 부유사 농도는 감소하였으며, 특히 0.3 N/m² 보다 작은 범위에서는 부유사 농도가 크게 증가하였다(Fig. 9). 이는 모델링 해역의 유속이 크지 않아서 바닥마찰응력이 0.3 N/m² 보다 큰 경우는 거의 발생하지 않으나 적은 경우는 종종 발생하여 표층퇴적물을 침식시키기 때문으로 생각된다. 전반적으로 대조기와 소조기의 차이는 거의 없었다. 침식률 상수가 증가할수록 부유사 농도도 증가 하였으며, 침식률 10 mg/cm²/hr 보다 커지면 부유사 농도가 갑자기 증가하였고, 유속이 빠른 대조기보다 유속이 느린 소조기에 그 변동폭이 컸다(Fig. 10). 이는 유속이 빠른 대조기에는 표층 퇴적물이 대부분 이미 침식되어 지속적으로 침식이 발생하지 못하여 부유사 농도가 지속적으로

Fig. 8. Sensitivity analysis of bulk density.

Fig. 9. Sensitivity analysis of critical shear stress for erosion.

Fig. 10. Sensitivity analysis of erosion rate.

Fig. 12. Sensitivity analysis of active layer thickness.

Fig. 11. Sensitivity analysis of settling velocity.

Fig. 13. Time Variation of SS concentration at the Chenggye bay.

증가하지 못하나, 소조기에는 바닥에 퇴적한 표층 퇴적물이 지속적으로 재부유하기 때문으로 판단된다. 침강속도에 대해서는 침강속도가 증가함에 따라 수중에 떠 있던 퇴적물이 바닥으로 빠르게 퇴적하여 평균 부유사농도가 전반적으로 감소하였다(Fig. 11). 특히 소조기에 감소폭이 크게 나타났는데, 이는 대조기에는 강한 유속으로 퇴적이 잘 발생하지 않았으나 소조기에는 유속이 약하여 퇴적이 쉽게 발생하였기 때문으로 판단된다. 유속이 빨라지면 순간적으로 침식되는 저면 활성퇴적층(Surface active sediment layer)의 두께에 대해서 민감도를 분석한 결과, 모의결과에 거의 영향을 미치지 않았다(Fig. 12).

3.5 퇴적물 이동 모의결과의 검증

위와 같은 민감도 분석결과를 토대로 Table 3의 기준조건

으로 매개변수를 확정하고, 점착성 퇴적물의 이동을 모의하였다. 활성퇴적층과 부유사 농도의 초기분포를 생성하기 위하여 예비 모의를 40일간 실시하였다. 이 때 생성된 바닥퇴적물 및 부유사 농도 분포상태를 초기조건으로 하여 1개월간 모의하고, 그 결과를 분석하였다. 청계만에서 모의된 부유사 농도변화는 Fig. 13에서와 같이 정상상태에 도달하여 조차에 따른 부유사 농도변화를 잘 표현하고 있었다. 대조기가 소조기에 비해서 농도와 그 변화폭이 컸다. 모형결과의 검증을 위해서 Fig. 2의 SB-1과 SB-2 지점에서 대조기와 소조기에 관측한 부유사 농도 시계열 자료와 비교하였다.

퇴적물 이동 모의결과를 검증하는 방법으로는 퇴적과 침식에 의한 지형 변화와 비교하거나 부유사 농도에 대해 검증하는 방법이 있으며, 점착성 퇴적물의 경우에는 부유사 농도를 비교하는 방법이 널리 이용된다. 본 연구에서도 부유사 농도에 대해 비교하였다. Fig. 14는 SB-1 정점에서 부유사 농도를 대조기와 소조기에 대해 각각 비교한 결과이다. 대조기는 2003년 5월 31일 21시부터, 소조기는 6월 9일 14시부터 12시간 동안 매시간 관측한 결과이다. 부유사 농도는 상, 중, 하층에서 1리터를 채수한 후에 실험실에서 여과지로 여과시킨 후에 건조시켜 전자저울로 무게를 측정하는 방법으로 측정되었다(대림산업, 2003). 수심평균 부유사 농도는 3개 층의 부유사 농도를 평균하여 구하였다. 대조기와 소조기 모두 부유

Fig. 14. Comparison of simulated and observed SS at SB-1.

Fig. 15. Comparison of simulated and observed SS at SB-2.

사 농도의 절대값과 변화양상에서 관측농도와 전반적으로 잘 일치하는 양호한 모의결과를 보였다. SB-2 정점에서 비교한 결과(Fig. 15)는 일부 편차는 있으나 대체로 관측농도와 모의 농도의 절대값과 변화폭이 일치하였다. 이 결과는 정량적인 평가는 어렵지만 단지 퇴적물의 특성과 외국 퇴적물에 대해 수리실험으로 조사된 침식을 실험결과를 참고하여 결정된 침식관련 모델변수를 사용하여 모의한 정 등(2006)의 모의결과에 비해서, 조시에 따른 농도 변화와 절대값을 보다 잘 재현하였다. 따라서 대상해역 현장퇴적물에 대한 수리실험결과를 활용하면, 보다 정확하게 퇴적물 이동과정을 모의할 수 있음을 확인할 수 있었다.

3.6 퇴적물의 이송-확산 특성

대조기 창조시와 낙조시의 부유사 농도분포(Fig. 16)를 살

펴보면, 전반적으로 간사지가 넓게 분포해 있는 청계만 수로에서 높은 농도를 보이고 있다. 그 영향이 압해도 남부까지 나타났다. 그림에서 등농도선은 20 mg/l 간격으로 도시되어 있다. 1개월 간 모의결과로부터 퇴적층 두께 변화(Fig. 17)를 살펴보면, 주수로 부근에서는 강한 조류로 침식이 발생하며, 부유된 퇴적물은 유속이 약한 인근 지역에 광범위하게 퇴적하는 모습을 보였다. 이와 같은 결과를 종합해 보면, 수로부근에서는 강한 조류로 인하여 침식이 주로 발생하여 입자 크기가 작은 퇴적물은 사라지고 입자 크기가 큰 퇴적물이 분포하는 현장조사결과와 일치한다. 목포 내만과 청계만 북측에 퇴적이 발생하고 있으며, 화원반도 서측 수로에서는 강한 조류로 인하여 침식이 발생하였다. 이 현상을 좀 더 면밀하게 분석하기 위해서는 보다 많은 정점에서 퇴적물 특성을 조사하고, 부유사 농도를 측정할 필요가 있다. 또한 다양한 지점

Fig. 16. Distributions of simulated SS in spring tide.

Fig. 17. Changes of bottom thickness in 30 days.

에서 현장퇴적물을 채취하여 침식률, 침강속도, 퇴적률 등의 특성을 수리실험을 통해서 결정할 필요가 있다고 생각된다.

4. 결 론

목포해역 퇴적물 특성에 대한 현장조사결과 및 침식률에 대한 수리실험결과를 토대로 목포해역 점착성 퇴적물의 수송을 모의하였다. 퇴적물 이송-확산 모의결과는 부유사 농도 관측자료와 비교한 결과, 비교적 일치하는 양호한 결과를 얻었다. 따라서 수리실험을 통해서 결정된 침식률과 한계응력이 퇴적물 이동모의에 유용함을 확인할 수 있었다. 민감도 분석에서 부피밀도, 침식한계전단응력, 침강속도, 침식률은 민감하게 모델결과에 큰 영향을 주지만, 저면활성두께는 모델결과에 큰 영향을 주지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 모의결과에 의하면, 목포해역에서 부유사농도는 간사지가 넓게 분포되어 있는 청계만 지역에서 높은 값을 보였다. 강한 조류가 발생하는 지역에서 고농도가 발생하였으며, 유속이 약한 지역에서는 퇴적물이 대부분 침강하여 전반적으로 부유사 농도가 낮았다. 침식과 퇴적 모의결과를 살펴보면, 침식은 유속이 강한 조석 수로에서 주로 발생하고 퇴적은 유속이 느린 간사지 부분과 목포내만에서 주로 발생하였다. 궁극적으로 연안해역에서 점착성퇴적물 이동과정을 보다 정확하게 규명하기 위해서는 퇴적물의 분포 특성에 대한 현장조사, 퇴적물의 이동에 영향을 미치는 인자에 대한 수리실험이 모델링 결과의 개선을 위해서 반드시 필요하다는 것을 본 연구를 통해서 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2012년도 한남대학교 학술연구지원비가 지원된 연구결과입니다.

참고문헌

- 강주환, 임병선 (1998). 방조제 건설로 인한 목포해역에서의 오염 확산 양상 변화. 대한토목학회논문집, 18(II-6), 613-622.
- 국립해양조사원 (1994). 수로기술연보.
- 국립해양조사원 (2002). 수로기술연보.
- 김만곤, 양수현, 태동현, 황규남 (2011). 목포해역 점착성 퇴적물의 침식특성에 대한 실험적 연구. 한국해양공학회지, 25(1), 14-21.
- 김효섭 (2010). 인공구조물 설치/제거에 의한 해양환경예측모델링 기술개발 1차년도 연차실적계획서.
- 김효섭 (2011). 인공구조물 설치/제거에 의한 해양환경예측모델링 기술개발 2차년도 연차실적계획서.
- 대림산업 (2003). 목포시관내 국도대체 우회도로 건설공사 해양조사.
- 정의택, 김용목, 김동호, 황규남 (2012). 준 폐만 점착성 퇴적물의 퇴적매개변수 산정에 관한 실험적 연구. 한국해양·해양공학회 논문집, 24(3), 159-165.
- 정태성 (2010). 해안 점착성 퇴적환경변화에 대한 표준형 수치모형 개발방향. 2010년 분과위원회 연구사업보고서, 한국수자원학회.
- 정태성, 김태식, 정동국 (2006). 목포해역 점착성 퇴적물의 수송에 관한 수치 모의. 한국해양환경공학회지, 9(1), 36-44.
- 정태성, 최종화 (2010). 목포해역 낙조류 우세현상의 수치모의. 한국해양·해양공학회, 22(5), 333-343.
- 정태성, 최종화 (2011). EFDC 해수유동모형의 계산시간 효율화. 한국해양환경공학회지, 14(2), 121-129.
- Lick, W. and McNeil, J. (2001). Effects of sediment bulk properties on erosion rates. The Science of the Total Environment, 266, 41-48.
- Maa, J.P.-Y., Kwon J.-I., Hwang K.N. and Ha, H.-K. (2008). Critical bed-shear stress for cohesive sediment deposition under steady flows. J. of Hydraulic Engineering, 134(12), 1767-1771.
- Mehta, A.J. (editor). (1993). Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport. American Geophysical Union.
- Mehta, A.J., Mcanally, W.H., Hayter, E.J., Teeter, A.M., Schoellhamer, D., Heltzel, S.B. and Carey, W.P. (1989). Cohesive sediment transport II: Application. J. of Hydraulic Engineering, 115(8), 1094-1112.
- Tetra Tech Inc. (2007a). The Environmental Fluid Dynamics Code, User Manual, USEPA, Version 1.01.
- Tetra Tech Inc. (2007b). The Environmental Fluid Dynamics Code, Theory and Computation, Volume 2 : Sediment and Contaminant Transport and Fate.
- Wang, Y.H. (2003). The intertidal erosion rate of cohesive sediment: a case study from Long Island Sound. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 56, 891-896.

원고접수일: 2012년 8월 2일

수정본채택: 2012년 8월 21일

게재확정일: 2012년 8월 23일