

흐름이 탁월한 수로에서 방파제의 재배치에 따른 해안 침식 및 퇴적 영향분석

이승철* · 이중우**

*한국해양대학교 대학원, **한국해양대학교 건설환경공학부 교수

Impact Analysis on the Coastal Erosion and Accretion due to Relocation of Breakwaters at the Waterway with Dominant Current

Seung-Chul Lee* · Joong-Woo Lee**

*Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Civil and Environment, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 최근 들어 지구온난화의 영향으로 평균 해수면이 빠르게 상승하고 있으며, 폭풍의 규모도 더불어 증가 하고 있다. 해수면의 상승은 다양한 범위에 걸쳐서 환경적인 문제를 일으키고 있다. 특히, 고조위 및 유속이 증가하며, 파의 기저가 높아진다. 그 결과 해안 주변지역에서 받는 에너지는 증가된다. 이로 인하여 구조물의 손상, 침식 그리고 퇴적과 같은 연안 환경에 불균형을 가져온다. 연안과정의 문제도 유사하며, 폭풍기간 동안 한국의 삼천포시 인근의 작은 대방항 등의 정박지와 외곽시설물에 피해를 가져왔다. 따라서 본 연구에서는 내항의 정온도를 확보하기 위하여 외곽시설을 재배치시킨 영향을 분석하고자 하였다. 대상지역의 항만은 대방수로에 접해 있기 때문에 구조물을 재배치시키면 유속, 유향 그리고 파고에 영향을 미치게 되어 해저면의 변형이 생긴다. 그러므로 본 연구에서는 당 해역에서 여러 가지 정박지와 방파제의 모델을 구성하여 시험하였다. 비록 모델연구로 해빈과정 및 접근수로의 퇴적기작에 합리적인 설명을 기할 수 있으나 보다 나은 예측을 위해서는 현장이력과, 조석, 바닥물 질 등의 비교가 필요하다.

핵심용어 : 방파제, 침식, 퇴적, 조류, 정온도, 현장이력

ABSTRACT : In recent years, the rate of mean sea level rise is increasing rapidly from the phenomena of global warming, together with the increasing trend of the storm scale. The issue of sea level rise is multifaceted and produces a range of environmental problems. Especially, high tides and the tidal currents become higher, and wave base increases, so the energy received at the coastal boundary may increase. This brings that many coastal environments go into disequilibrium, such as damages to the structures, erosion, and deposition. Similarly it was known that the problems of nearshore processes and damage of berth and counter facilities during storm period had appeared at the small fishery port, Daebang near Samcheonpo city, Korea. Here we try to analyze the impact of the rearrangement of counter facilities and berth layout adopted for tranquility of its inner harbor. Because this harbor is being connected to Daebang channel, the rearrangement of the structures might affect to the current speed and direction and wave height, and it could affect to the sea bottom undulation as well. Therefore, we made model test for the several layouts of the berth and breakwater in this area. Although the model study gave reasonable description of beach processes and approach channel sedimentation mechanism, it is necessary to compare with the field history, including tides and bottom materials, etc. for better prediction.

KEY WORDS : breakwater, erosion, accretion, tidal current, tranquility, field history

1. 서 론

최근 들어 지구온난화의 영향으로 평균 해수면이 빠르게 상승하고 있으며, 폭풍의 규모도 더불어 증가 하고 있다. 해수

면의 상승은 조위의 상승, 조류속의 증가를 유발시키고, 파랑의 크기를 증가시킨다. 또한 선박의 대형화, 선박수의 증가, 항만 및 어항의 기능이 다원화 되어 방파제를 신설하거나 기존의 방파제를 연장 및 재배치 시켜 항내 수역을 확대하는 사업이 “전

* kmaritime99@nate.com

** jwlee@mail.hhu.ac.kr 051)410-4461

국무영향 항만기본계획 수정계획 보고서”상에 계획되고 있다 (해양수산부, 2006).

해양공간에 방파제, 안벽 등 임의의 구조물을 건설하게 되면 필연적으로 주변 해역에 해수 흐름의 변화에 기인하게 되고, 환경적 변화를 수반하게 되며 변화의 범위는 구조물의 규모가 큰 경우와 주변지역의 파고가 높은 경우(신 등, 2006), 또는 조류속이 빠른 지역의 경우에는 작은 변화에도 환경적 변화에 대한 우려가 증가되고 있다.

삼천포 마스터플랜에 의하면(Fig. 1) 대방향 방파제의 총길이 407m로 연장 및 재배치하고, 삼천포 신항 내측의 정온도를 확보하기 위해서 외곽방파제를 70m와 200m 규모로 신설 할 계획과 일반잡화부두를 건설하기 위해 240m 길이의 부지를 122,000m² 매립시킬 계획을 수립하였다. 계획이 모두 추진되기 위해서는 상당한 자본과 시간이 투입되므로 사전에 대상지역의 항만들이 개발된 후의 변화양상을 파악하기 위하여 당 해역의 유동장 및 파랑장 모델을 구축하여 검토 하고자 한다.

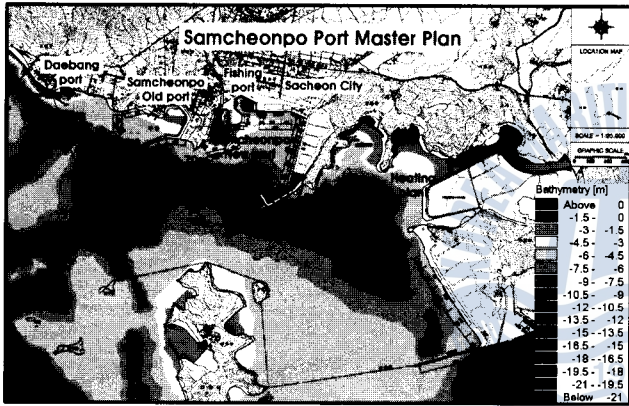


Fig. 1 Study area at the Samcheonpo sea

2. 지배방정식

2.1 유동모델의 지배방정식

본 연구에서는 해양 유동현상을 재현하기 위하여 연직 적분된 2차원의 질량 및 운동량 보존방정식을 지배방정식에 비압축성 유체로 가정하여 다음과 같이 사용하였다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{V}}{\partial y} = hS \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{U}^2}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{U} \bar{V}}{\partial y} = & f \bar{V} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{xy}) + h U_s S \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{V}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{V}^2}{\partial y} + \frac{\partial h \bar{V} \bar{U}}{\partial x} = & -f \bar{U} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{yy}) + h V_s S \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, $h = D + \eta$ 는 총 수심(m), D 는 정수면(m), η 는 수면 변동(m), 조석과 같은 장파 해석을 수행하게 되면 계산영역이 넓어지는 경우가 많아지고 지구의 자전효과를 고려해야 한다. 자전효과를 나타내는 코리올리 매개변수는 $f = 2\Omega \sin \phi$ 과 같이 나타내며, Ω 는 지구자전의 각속도로 $7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/sec}$ 이고, ϕ 는 위도로서 북반구에서는 양수이고 남반구에서는 음의 값을 가진다. g 는 중력가속도, $\rho = \rho(T, s)$ 는 해수의 단위중량으로 온도 T 와 염도 s 에 의해서 결정된다(UNESCO, 1981). p_a 는 대기압이며, 저면 응력 성분은 $\vec{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ 로 표시되며, $\vec{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$ 은 바람 응력 성분이다. $s_{xx}, s_{xy}, s_{yx}, s_{yy}$ 는 잉여응력의 텐서 성분이다. S 는 생성소멸 되는 양으로 일반적으로 0의 값을 가지고, (U_s, V_s) 는 물의 순환에 의해서 주변으로 이동되는 속도이며, U, V 는 x, y 방향의 속도성분이며 수심 적분된 성분은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{1}{h} \int_{-D}^{\eta} U dz \\ \bar{V} &= \frac{1}{h} \int_{-D}^{\eta} V dz \end{aligned} \quad (4)$$

또한 측면응력 T_{ij} 는 점성마찰, 난류마찰과 부등이류가 포함되어 있으며, 와동점성 방정식은 수심평균된 속도의 경사에 의해 변하며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} T_{xx} &= 2A \frac{\partial \bar{U}}{\partial x}, \quad T_{yy} = 2A \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} \\ T_{xy}, \quad T_{yx} &= A \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

수치모델 적용 시 수평와동점성 계수로 상수 값을 사용하기도 하나 여기서 사용된 와동점성계수는 Smagorinsky(1963)에 의해서 제안된 것으로 특정 요소망의 길이와 유속장의 함수로 주어지며 각 요소망의 길이에 따라 와동점성계수를 조정하여 적용하였다.

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij} S_{ij}} \quad (6)$$

여기서 c_s 는 Smagorinsky 계수로서 0.28을 적용하였다. l 은 특정 요소길이 그리고 모양에 따른 비율은 다음과 같다.

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (7)$$

저면 응력 $\vec{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ 는 수심평균된 유속으로 방향성을 고려하여 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{\tau}_b = \rho_0 c_{fb} \vec{u}_b | \vec{u}_b | \quad (8)$$

여기서, c_{fb} 는 해저바닥의 항력 계수이고, $\vec{u}_b = (U_b, V_b)$ 는 수심 평균된 유속이다. 마찰속도와 결합된 저면 응력은 다음과 같이 주어진다.

$$U_{\tau_b} = \sqrt{c_{fb} |u_b|^2} \quad (9)$$

항력계수는 각각 저면 저항을 무시하거나 Chezy 수 C ($30 \sim 50 m^{1/2}/S$) 또는 Manning 수 M ($20 \sim 40 m^{1/3}/S$)으로 설정이 가능하며 다음과 같다.

$$c_{fb} = \frac{g}{C^2} \quad (10)$$

$$c_{fb} = \frac{g}{(Mh^{1/6})^2} \quad (11)$$

2.2 표사이동모델의 지배방정식

소류사의 경우, 소류사 측정 인자 k_b 를 수송 방정식에 적용할 수 있다. 기본 값은 1을 사용하고 있다. 그리고 k_b 값은 0.5~2.0 사이의 값을 가변적으로 사용할 수 있다. 부유사의 경우, 부유사 측정 인자 k_s 를 수송방정식에 적용할 수 있다. 소류사와 마찬가지로 기본 값으로 1을 사용하고 있으며, k_s 값은 0.5~2.0 사이의 값을 사용하고 있다. 값을 적용함에 있어서 충분한 수리실험 등을 통하여 수치 값을 검토할 필요가 있다.

본 연구에서는 Engelund와 Hansen(1967)의 공식으로 총 표사량을 산정하였으며, 부유사량과 소류사량을 결정하기 위해서는 총 표사량을 알아야한다. 총 표사량 공식은 k_b 와 k_s 인자에 의해서 결정되며 각각 소류사 및 부유사량을 결정지어 준다. 두 가지 수송모드에서 분명히 구분하여 사용해야한다. 소류사 인자 $k_b=0.1$ 그리고 부유사 인자 $k_s=0.9$ 이다. 인자의 값이 의미하는 것은 총 표사량에서 10%는 소류사가 취하고 90%는 부유사가 취하는 것을 의미한다.

$$S_{bl} = k_b \cdot S_{tl} \quad (12)$$

$$S_{sl} = k_s \cdot S_{tl} \quad (13)$$

여기서 S_{bl} 은 소류사(m^2/s), S_{sl} 은 부유사(m^2/s), S_{tl} (m^2/s)은 총 표사량으로 상사 원리를 적용하여 유사 이송 함수를 유도 하였다. 엄밀히 말하자면, 상사 원리에 따라 사구 하상의 흐름에 적용하여야 한다. 그러나 Engelund와 Hansen은 수조 실험을 통해서 이론으로부터 심각하게 이탈하지 않고도 사구 하상과 0.15mm 보다 큰 입경의 고수류 영역(upper flow regime)에 적용할 수 있음을 발견하고, 입도가 작은 경우는 사용하지 말도록 권고 하였다(치, 2007). 8ft 실험수로의 자료이며, 실험당시 사용한 유사직경은 0.19, 0.27, 0.45, 0.93mm이며 입도는 1.30, 1.56, 1.60 이었다. Engelund와 Hansen의 공식은 무차원량의 함수로 나타나 있으므로 사용된 단위의 일관성이 있으면 어느 단위 시스템에도 적용이 가능하다(박, 2005).

$$S_{tl} = 0.05 \frac{C^2}{g} \Theta^{5/2} \sqrt{(s-1)gd_{50}^3} \quad (14)$$

$$\Theta = \frac{\tau}{\rho g (s-1) d_{50}} \quad (15)$$

여기서, $\tau = \rho g V^2 / C^2$ 는 흐름의 전단응력 (C 는 국부 Chezy 수), ρ 는 해수의 밀도, ρ_s 는 퇴적물의 밀도 $2650 kg/m^3$, s 는 밀도비(ρ/ρ_s)이다.

3. 현장 환경 조사

3.1 조석

국립해양조사원에 의하면 삼천포 구항의 평균해면(M.S.L)은 164.8cm이며, 대조차는 272.0cm, 평균조차 188.60cm, 소조차는 105.20cm로 나타났다. 조석 형태수는 1일 1회조 성분인 H' , H_0 의 합이 1일 2회조 성분인 H_m , H_s 의 합에 0.21%로서 1일 2회조의 성분이 우세한 해수면의 승강이 나타나고 있다.

Table 1 Harmonic and nonharmonic constants at Samcheonpo old port

Location		Samcheonpo Old port	
Latitude, Longitude		34°55' 27" (N), 128°04' 08" (E)	
Period		1967. 9. 28 ~ 10. 27	
Harmonic Const.		Semi-range (半潮差)	Lag (遲角)
Partial Tide			
Harmonic	M_2	H_m 94.3 cm	K_m 250.9°
	S_2	H_s 41.7 cm	K_s 272.6°
Constant	K_1	H' 16.6 cm	K' 169.0°
	O_1	H_0 12.2 cm	K_0 152.7°
M.S.L		164.8cm	
$S_0 = H_m + H_s + H' + H_0$			
Mean high water interval		8hr 39m	
Mean lower water interval		14hr 51m	

삼천포의 평균고조간격은 달의 자오선 경과 후 08시간 39분으로 표준항인 여수항의 8시간 45분보다 빠른 것으로 조사되었으며, 조시차는 -5분, 조고비는 0.95, 평균저조간격은 달의 자오선 경과 후 14시간 51분으로 나타났다(Table 1).

3.2 조류

본 연구대상영역은 경남 삼천포 인근 해안에 위치하여 서쪽으로는 진주만 남쪽으로는 사랑도, 수우도, 육지도 등의 섬이 있으며, 동쪽으로는 통영, 미륵도, 견내량 등의 복잡한 지형을 이루고 있다. 삼천포 수로와 대방수로 인근에 위치하고 있으며, 삼천포 수로의 경우 창조류(복서류)는 낙조류(남동류)보다 약 50분 길게 흐르고, 최강류시는 고·저조후 2시간 50분후에 발생하고 있으며, 창조류는 108cm/s, 낙조류는 149cm/s를 나타내고 있는 것으로 조사되었다.

대방수로의 경우는 창조류는 외해에서 유입되어 대방수로를 북 서류 하면서 유속이 가속화되고, 낙조류는 이와 반대현상으로 흐르고 있으며, 최강류시는 삼천포항의 고·저조 후 약 3시간 후에 일어나며, 최강유속은 평균 대조기에 창조류가 293cm/s, 낙조류는 334cm/s를 나타내고 있다. 창선수로의 경우는 창·낙조류는 거의 저조(고조)시부터 고조(저조)시까지 흐르며, 좁은 곳에서의 최강유속은 창·낙조류 모두 약 129cm/s를 나타내고 있다(마산지방해양수산청, 2005).

4. 수치모형의 검증 및 적용

4.1 모형의 개요

본 연구에서는 방파제 건설 및 재배치로 인한 환경변화가 우려되는 대방항 및 삼천포 신항 해안선을 따르는 요소의 한 변의 길이를 20m 내외로 설정하였고, 최대면적은 900m²이내로 제한하였다. 외해로 향하면서 육지의 간격을 20, 40, 60, 90, 125, 150m간격으로 가변적으로 설정하고, 유한요소의 면적은 900, 5,000, 60,000, 100,000, 350,000m² 이하로 제한하였다. 전체 계산영역은 50×30km이며, 관심 해역은 개방경계로부터 17.5km 떨어져 있어 경계의 영향을 최소화 하였다. 요소 수는 건설 전·후 각각 22,052, 22,051개이며 절점의 수는 각각 13,116, 13,146개이다. 실험기간은 33일로 설정을 하였으며, 삼천포 인근지역의 분조값을 HD(Hydrodynamics) Module에 입력하여 유동장을 수치모의하고 동시에 모의된 유동장을 외력으로 사용하여 ST (Sand Transport) Module에 입력하여 33일간 표사의 이동양상을 수치 모의하였으며, 외력을 입력하는 과정에서 오차의 발생을 최소화 하기위해서 초기 2일은 cold start에 의한 수렴기간으로 결과 값을 출력하지 않았으며, 마지막 1일은 시간간격에 의한 오류나 결과 출력시 발생하지 모

를 에러에 대비하여 여유분으로 두어 결과 값을 출력하지 않았다. Table 2에 수치실험의 개요를 정리하였다. Fig. 2에 계산영역의 유한요소망 및 수심도를 제시하였다. PT-1, 2 지점인 삼천포 구항과 맥전포항에서 조위 값을 검증하고, S1~S4 지점에서 최대유속 값을 검증하였다.

Table 2 Summary of model simulation set up

Items	Simulation conditions (Before/After construction)	
Whole simulation condition	Cal. area	45km×30km △S (Along the coastal line): 20, 40, 60, 90, 125, 150m
	Mesh scheme	Element : 22052 Node : 13116 /Element : 22051 Node : 13146
	Cal. Time	30days(+3 margin day)
Tidal circulation	M ₂ +S ₂ +K ₁ +O ₁ (Pure current and wave current)	
Sand transport	Grain diameter : 0.2mm 0.004465mm (very fine silt) ~ 0.915099mm (coarse sand) Porosity : 0.4 Relative density : 2.65	

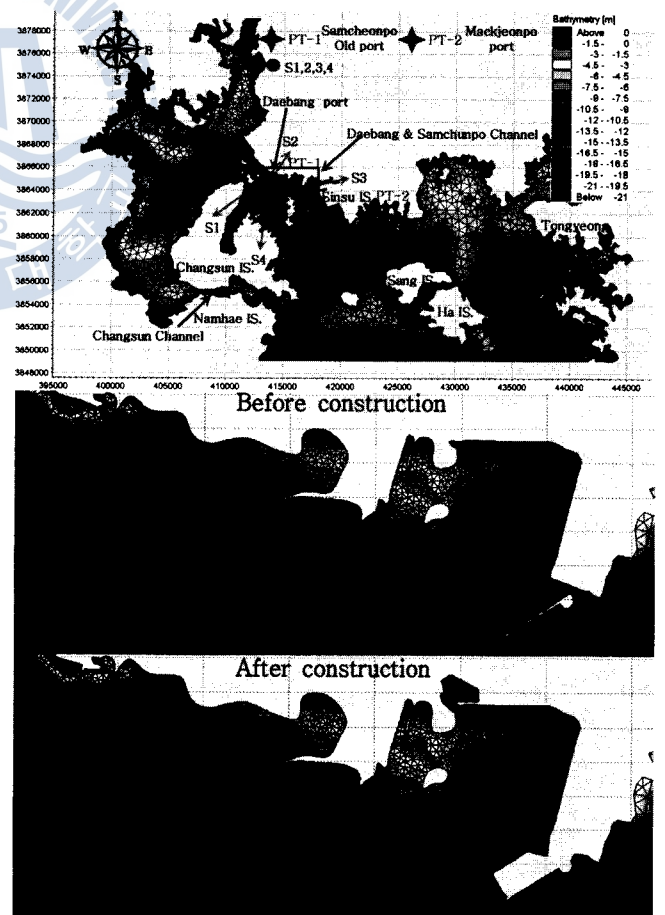


Fig. 2 Bathymetric chart, flexible mash, and comparison points

4.2 해수유동 안정조건

Courant-Friedrich-Lévy (CFL) 수는 천해역에서 주로 안정조건을 벗어나는 경우가 많으며 가변 유한 요소망을 만들어 수치실험을 실행하고, 실행 후 CFL 안정조건이 위배되는 유한 요소망 또는 육지인근의 요소망에서 주로 에러가 발생하며, 에러가 발생한 요소 인근지역에 유한요소법칙이 위배되는 영역을 수정하였다. 양적 scheme이 안정하기 위해서는 다음 각각의 식이 1미만이어야 안정하다. 이것은 1회의 계산 시간 스텝 사이에 어떤 변수를 운반한 거리 $(\sqrt{gh}+|U|)\Delta t + (\sqrt{gh}+|V|)\Delta t$, $|U|\Delta t + |V|\Delta t$ 가 공간의 이산폭인 Δx , Δy 를 초과할 수 없음을 의미한다. 시간간격 Δt 의 범위는 0.1~5sec초 사이 값을 가변적으로 사용하였다.

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |U|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |V|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (16)$$

$$CFL_{AD} = |U| \frac{\Delta t}{\Delta x} + |V| \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (17)$$

4.3 조위 및 유속 검증

조위 값의 검증은 Fig. 3에 비교하였고, 결정계수 R² 값을 산정해 본 결과 삼천포 구항의 조위 값은 건설 전 0.973 건설 후에는 0.972을 나타내고 있으며, 맥전포항의 경우 건설 전후 모두 0.988로 실제 조위 값과 수치 실험의 조위 값이 매우 일치하는 것으로 나타났다.

주 관심영역으로 요소망의 간격이 더욱 조밀한 삼천포 구항 영역은 요소망의 간격이 느슨한 맥전포항 보다 관측치와 일치 정도가 다소 떨어지는 것이 확인 되었으나, 시행 착오법에 의한 조위입력조건의 보정은 실제 해역현황을 재현하기에는 정도가 충분히 확보되었다고 판단된다. 유속값은 수로부근에서 관측한 해양조사원의 자료를 이용하였다. 그 결과 S2 지점의 결과를 제외하고 모든 영역에서 낙조류가 우세한 것으로 조사되었다. 그 정도 또한 상당히 일치하고 있다(Table 3). 따라서 흐름이 지배하는 지역의 표사이동에 주요 외력인 유속 값의 신뢰성이 확보되었으며, 표사량의 검증은 건설 후 실시하여 정도를 확인할 필요성이 있다.

Table 3 Comparison of tidal current

Survey point	Observed (NORI)		Model Simulation	
	Spring tide Flood / Ebb current (m/s)	Strongest year Flood / Ebb current (m/s)	Flood / Ebb current (m/s)	
			Before	After
S1 : 05NH06 2005.04.24	1.67	2.02	1.70	1.70
	1.90	2.30	2.24	2.24
S2 : 01SR09 2001.06.22	1.25	1.51	1.40	1.39
	1.03	1.25	2.08	2.02
S3 : 01SR14 2001.06.22	0.87	1.06	0.99	1.01
	1.29	1.56	1.66	1.63
S4 : 05NH05 2005.04.24	1.60	1.93	1.85	1.88
	1.77	2.14	2.11	2.08

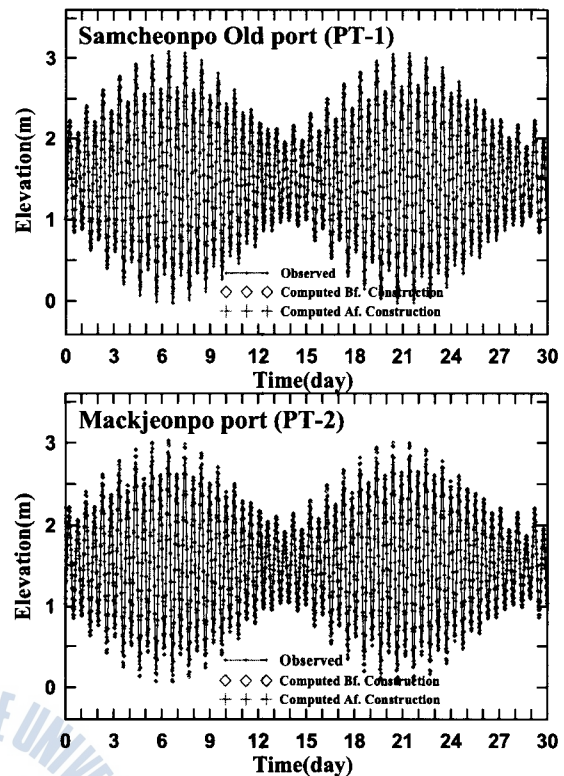


Fig. 3 Time series of surface elevation

4.4 해수유동 결과

해양조사원의 관측결과를 토대로 삼천포 해역의 4대분조인 M₂, S₂, K₁, O₁ 분조를 보정하여 외력으로 사용하였다. 수치 모의된 유동장의 창조류는 상도와 창선도사이를 지나면서 점점 가속화 되고 신수도를 지나면서 삼천포수로에서 더욱 가속화되어 대방수로에서 최대값을 보이고 있으며 진주만에서 소멸되는 양상을 보이고 있다. 낙조류는 이와는 반대의 양상을 보이고 있다(Fig. 4).

대방항의 방파제 건설 전·후 가장 큰 차이는 대방 방파제 전면에 발생하였다. 낙조류시 대방 방파제의 건설 전에는 대방수로가 급격히 확대되는 지형으로 인해 유속이 급감하고 있었다. 그러나 대방 방파제를 건설함으로써 협수로의 길이가 연장되면서 2.2m/s 이상의 유속이 분포하는 영역이 더욱 넓어지게 된 것으로 사료된다.

4.5 유속변화 정도

건설 전·후 유속변화 정도를 파악하기 위하여 대방수로와 삼천포수로 부근을 Fig. 5와 같이 6개의 구간으로 나누고 최강 창·낙조시기에 건설 후 유속에 대한 건설 전 유속의 차를 200개의 지점(station)으로 분할하여 분석해 보았다. 분석 결과를 Table 5와 Fig. 6에 나타내었으며, 최강창조류의 경우 4개의 구간(section)에서 유속이 증가되었다. 구간에 대한 평

균값을 분석해 본 결과 4.8m/s가 증가되었다. 최강 낙조류의 경우 구간에 대한 평균값을 분석해 본 결과 23.9m/s가 증가되었다. 낙조류의 경우 대방향 전면의 방파제 건설 후 건설 전 유속의 차이도 크게 나타나고 있다. 이는 창조류의 차이보다 낙조류의 차이가 심해서 의해 방향으로 표시의 이동이 증가할 것으로 예상된다.

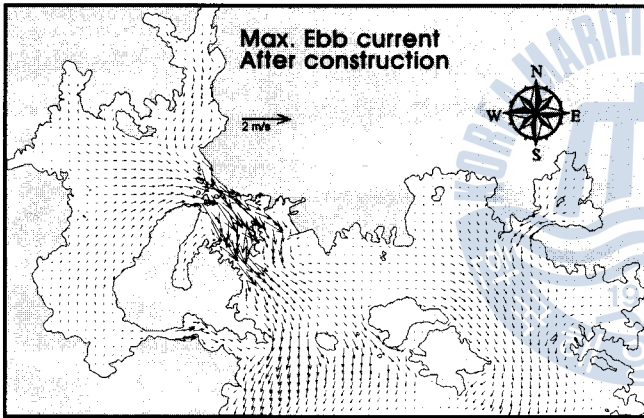
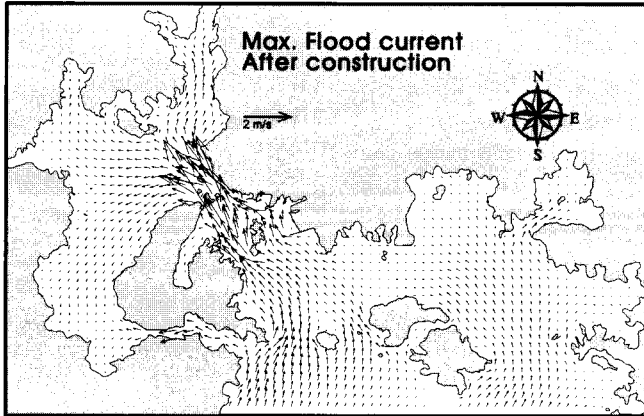


Fig. 4 Maximum flood and ebb currents after construction

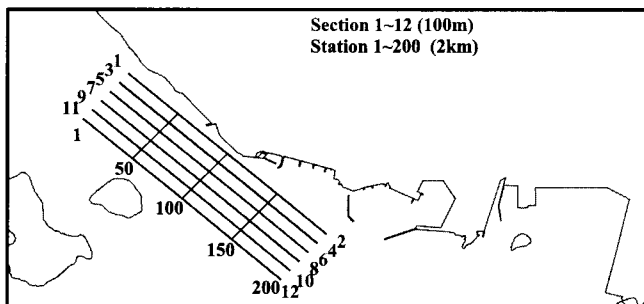


Fig. 5 Cross section for the comparison of the calculated currents

조류의 영향을 통한 유속의 변화를 비교해 본 결과 대방향에 방파제가 건설되게 되면 유량이 통과하는 단면적이 감소되어 유속이 건설 후에 증가되고 특히 수로의 상류측과 대방향 전면에서 더욱 증가되는 것을 Fig. 6의 지점(station) 120~140에서 확인 할 수 있고, 건설현장과 멀어지는 수로중상부로 갈수

록 건설 전·후의 차이는 더욱 감소되고 있다. 방파제를 확대 재배치하게 되면 유속의 증가는 불가피 하리라 예상되며, 해역환경의 변화를 최소화 할 수 있도록 방파제의 형상을 검토해야할 필요성이 증가 될 것이다.

Table 5 Difference of average current speed before and after construction at cross section (unit : cm/s)

Condition		Section 1~2	3~4	5~6	7~8	9~10	11~12	Total
Flood current	Speed after construction	3.6	1.4	0.9	0.2	0.3	-1.0	4.8
	before construction							
Ebb current	Speed after construction	23.3	2.9	-0.3	-1.2	1.9	-2.8	23.9
	before construction							

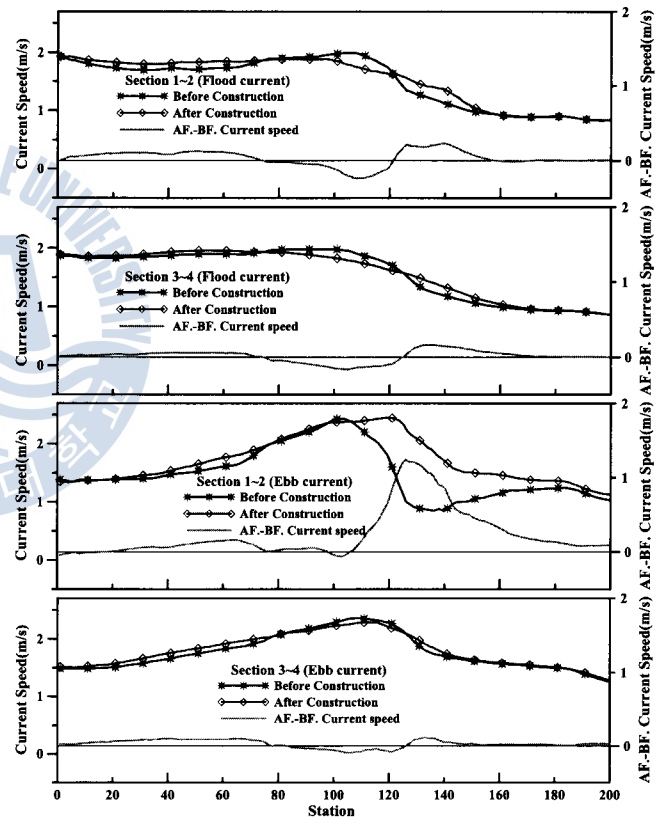


Fig. 6 Comparison of flood and ebb currents' speed before and after construction (Pure current)

4.6 표사이동 양상

앞서 해수유동 모의에 의해 유동장을 해석하였다. 유동결과과는 초기 수치해의 안정을 확보하기 위해 CFL 조건을 만족하지 못하는 2일분의 결과는 출력하지 않았으며, 최초 2일 동안 유동장을 계산하면서 수치해의 안정여부를 검토하고 충분히 안정조건을 만족하면 여유분의 계산시간을 두고 표사이동 시뮬레이션을 실행 하였다.

Fig. 7은 조류에 의한 표사이동 수치 실험 결과이며, 대방수로 전면에서 표사이동 결과는 건설 전에 비해 건설 후 최강유속 작용하는 면적이 증가되어 상류부근에 침식이 증가되는 현상을 보이고 있다. 하류에서 단면이 확대되어 유속이 감소하여 퇴적되는 현상을 보이고 있다.

삼천포 신항의 방파제 건설 전·후는 변화는 미소하나, 각각 70m, 200m방파제가 건설되어 만입된 형상을 나타내는 영역인 삼천포 신항 좌측외곽영역은 표사가 다소 포집되는 현상을 보이고 있다.

삼천포 신항의 잠화부두가 건설되기 위해 신규 안벽의 경우 37,000m²인 장소에 332,500m³을 투기 할 계획이다. 잠화부두로 인해 수로가 사라지고 해역이 줄어들게 되었으나 조류속이 약한 곳으로 침식 및 퇴적의 정도가 적게 나타나고 있다.

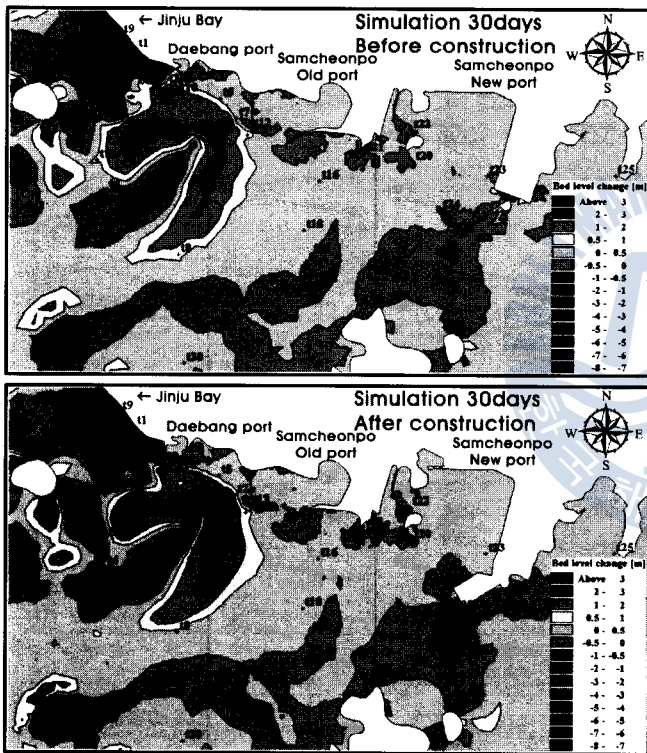


Fig. 7 Bottom changes before and after construction for 30days' simulation

4.7 지점별 저면 변화

수로인근지역에서 침식 및 퇴적이 활발하게 발생하는 ST1~4 지점(Fig. 8)을 선택하여 30일 동안 어느 정도 시계열로 분석해 보았다.

Fig. 9의 ST1 지점은 30일간의 퇴적상황은 건설 후 퇴적이 증가하였다. 특히 건설 후 대방항 전면에 쌓이는 양이 증가하고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 전면수심이 주변보다 깊기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 실험 후 14일 경은 소조기의 영향으로 진동폭이 줄어들고, 소조기의 침식 및 퇴적의

진폭은 미약하나마 규칙적인 변동을 확인 할 수 있다.

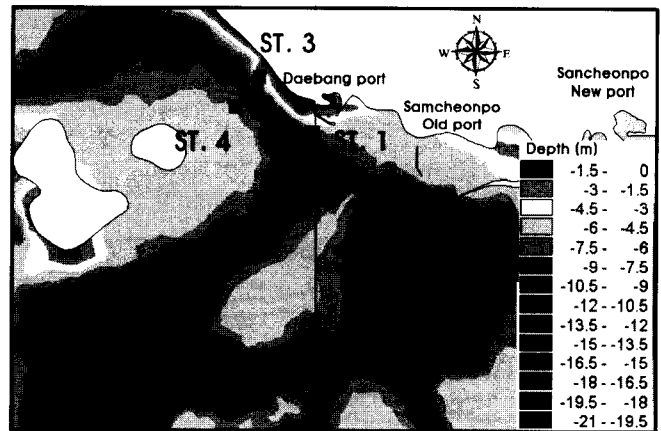


Fig. 8 Selected station point for change of bed level

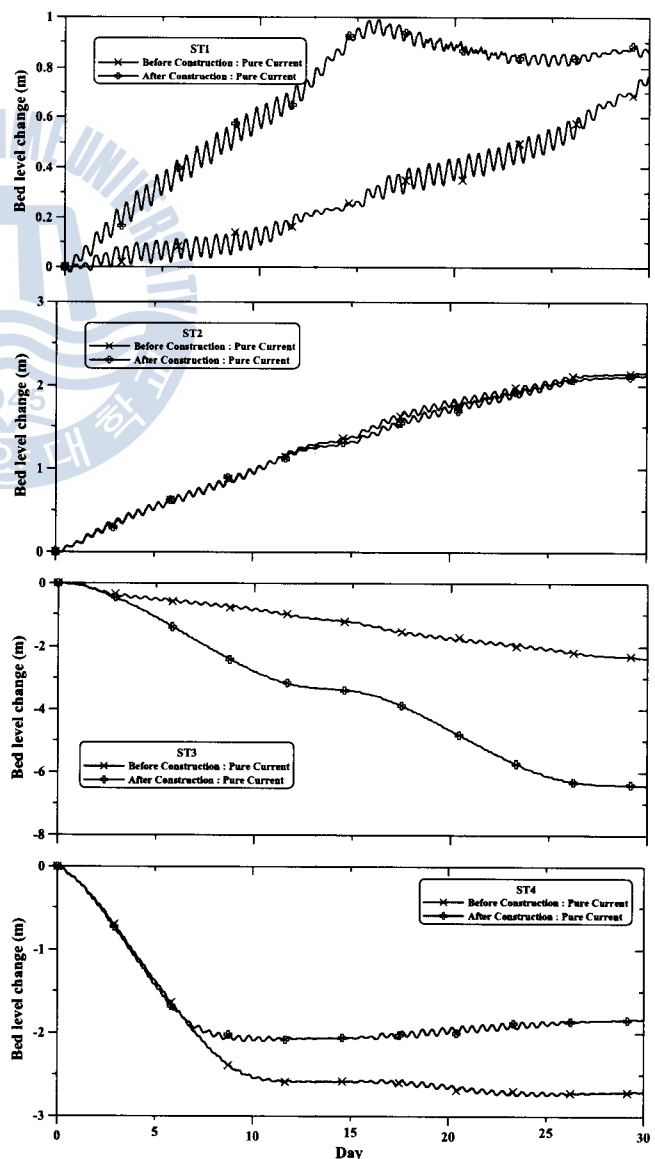


Fig. 9 Change of bed level at ST1~ST4

외해로 떨어진 ST 2 지점은 건설 전·후의 영향으로 인해서 큰 차이를 보이고 있지는 않다. 소조기 영향이 작용하는 경우 퇴적이 잠시 지연되는 현상을 보이고 있고, 매우 규칙적인 양상을 보이고 있다.

ST1과 ST2는 퇴적이 진행되는 지역으로 한 지점에 대한 비교를 통해서는 건설 후 퇴적 및 침식이 증가되는지 여부를 파악하기 어렵고 그 지점의 수심에 영향을 받는다.

ST3 지점은 대방수로 상류부로서 침식이 주로 진행되는 지역으로 상당한 침식을 보이고 있다. 침식은 건설 후에 증가하고 있다. 또한 수심이 매우 낮은 지역이므로 흐름장에 매우 민감한 지역으로 판단되며, 직경이 작은 입자들은 매우 빠른 이동이 예상된다.

ST4 지점은 수로 중앙부로서 건설 전에 더욱 많은 침식이 발생하고 있다. 또한 건설 후에 침식이 줄어들어서 ST3 지점과는 대조를 이루고 있지만 그 정도에 있어서 ST3 지점의 침식이 심하므로 외해로 퇴적되는 양은 증가 할 것으로 사료된다.

전체적인 변화양상은 구조물 인근지역에서는 건설 후 상류측

에서 침식이 증가되고 그 영향으로 하류측에 퇴적이 발생하고 있으며, 수로 중앙부에서는 반대로 건설 전에 상류측에서 침식이 크고 하류측에 퇴적이 발생하였다. 그러나 그 정도면에서 구조물 인근지역이 크기 때문에 전체적으로 상류에서 침식으로 인한 하류부의 퇴적이 예상된다.

4.8 단면별 저면 변화

가장 이동이 심한 지역은 유속이 가장 빠른 대방수로 인근이며, 특히 대방향의 방과제를 407m로 연장 재배치시킬 경우 이로 인해 유속이 증가된 지역의 건설 전·후 양상이 상이한 결과를 나타내고 있다. 삼천포 신항에 건설된 70m, 200m 방과제와 잠파부두의 건설로 인한 재배치 및 건설 전·후의 단면 변화를 비교해보면 기본 유속이 빠르지 않기 때문에 변화의 양상이 크지는 않으나 어떠한 영향을 미치는지 분석해 볼 필요가 있다. 단면 변화 분포도를 바탕으로 가장 변화가 큰 지역의 단면을 t1~t32까지 16개의 구간(section)으로 나누어 비교해 보았다(Fig. 10).

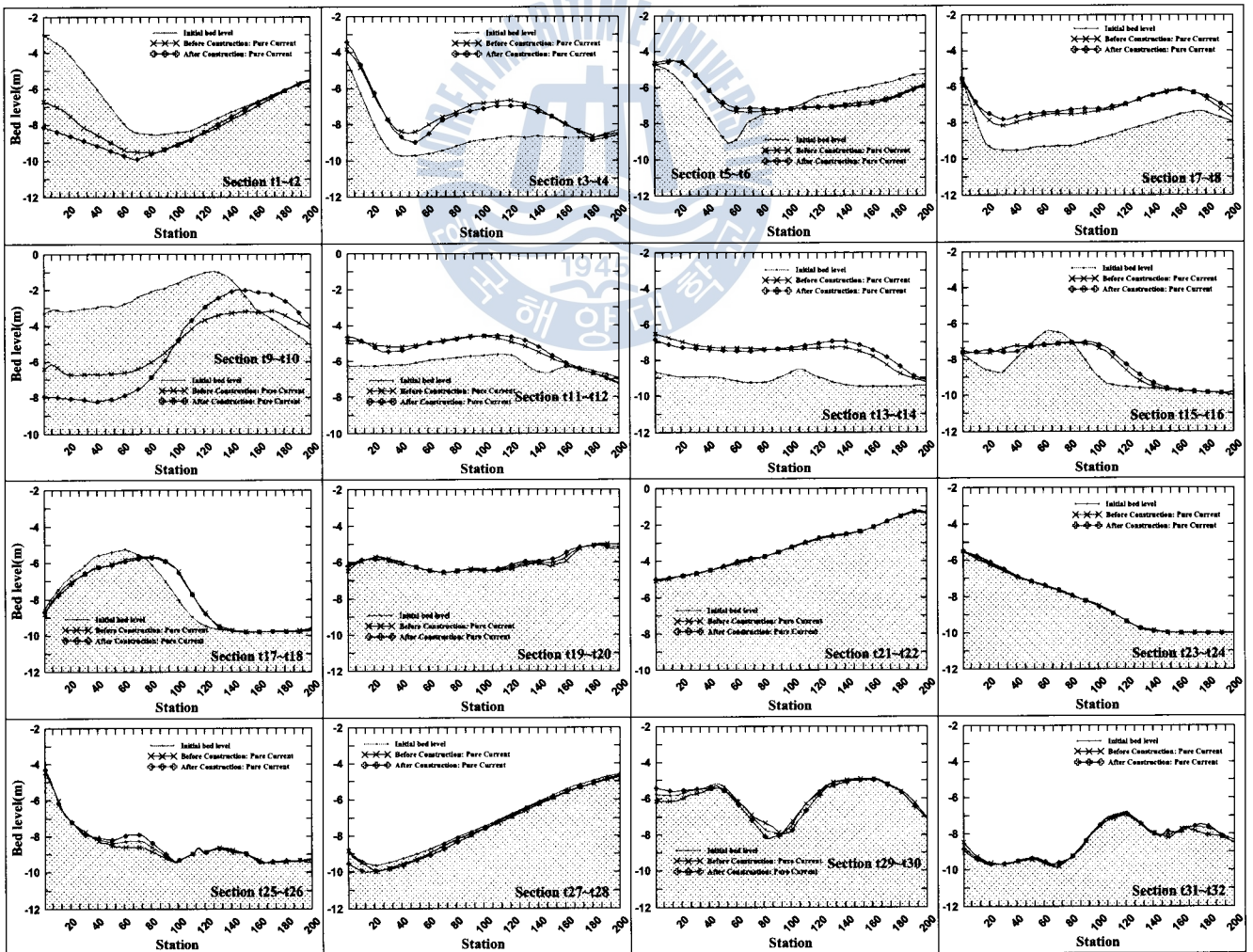


Fig. 10 Change of bottom profiles at t1~t32 for 30 days' simulation

대방항의 방파제가 재배치되어 건설된 경우 해저 단면변화가 심하게 나타났으므로, 우선 대방항 상류측 단면인 t1~t2 단면의 건설 전·후를 비교해 보면 건설 전 최대 침식이 3.8m에서 건설 후 최대 침식이 5m 까지 발생하였다. 대방항 방파제 전면에서 수로중앙부인 t3~t4 단면의 경우 상류단면인 t1~t2에서 발생한 침식표사가 이동해서 수치모의 기간 동안 퇴적되는 양상을 보이고 있다. 단면의 시점인 지점(station) 0~40 지역의 육지측은 건설 후 퇴적이 0.7m 증가되어 발생하였고, 하류측인 t5~t6 단면의 경우(대방항과 삼천포 구항사이 영역) 상류측의 심한 침식으로 지점 0~100 사이는 퇴적이 발생하고, 지점 120~200 사이는 침식이 발생하였다. t1~t6 단면보다 하류지역인 외해로 내려오게 되면 수로 단면적이 넓어지고 유속이 줄어들게 되어 상류의 침식표사가 쓸려와 2m정도 쌓이게 되며 건설 후의 경우 더욱 많이 쌓이는 것을 확인할 수 있었다. t5~t6 단면에서 외해방향인 t7~t8 단면은 건설 후 상류에서 쓸려 내려온 표사로 인해서 퇴적되는 지점이 많은 것으로 나타났다. 지점 0~40까지는 육지와 인접해 수심이 얕기 때문에 침식이 발생한 것으로 보인다.

육지와 나란한 방향의 단면인 t9~t10은 대방항 상류에서 대방항 전면부로 상류에서 하류로 침식되어가고 있으며, 건설 후 모두 침식이 증가되는 현상을 볼 수 있다. 대방항 전면과 삼천포 구항 전면인 t11~t12 단면의 경우 퇴적현상이 발생하였고, 서쪽에서 동쪽방향으로 육지 측에 가까운 t13~t14 단면의 경우 상류의 침식으로 퇴적이 증가하였으며, 지점 0~80까지 건설 후 퇴적양이 적고 지점 100~200까지 퇴적양이 증가된 것으로 보아 건설 후 조금 더 많은 양이 하류로 이동되었다. 서쪽에서 동쪽방향으로 수로 중앙 측인 t15~t16의 경우 불규칙적이기는 하나 하류로 쓸려 내려가는 양이 많은 것으로 나타났다. 수로 중앙부인 t17~t18의 경우 침식이 많이 발생하나 대방항의 방파제가 재배치된 영역과 상당한 이격거리를 두고 있으므로 건설 전·후의 영향은 미미한 것으로 나타났다. 삼천포 신항의 방파제가 각각 70, 200m 건설된 영역은 유속이 줄어드는 영역으로 큰 변화가 예상되지 않으며 변화된 정도는 다음과 같다. 방파제가 설치된 전면 해역인 t19~t20 단면은 방파제 우측 끝단에서 건설 전에 침식이 발생하고 건설 후에 퇴적이 발생하였으나 그 양이 미소하므로 무시할 수 있을 것으로 사료된다. 70m방파제와 200m 방파제 사이를 가로지르는 단면 t21~t22의 경우 건설 후 형상이 만입되어 표사가 포집되는 현상을 볼 수 있다. 그러나 방파제 사이 방향으로 통과하는 유속이 작으므로 변화가 거의 없었다. t23~t24 영역은 건설 후 조류와 바람의 영향이 거의 없이 단면이 일정하다. 그외 영역으로 단면이 변화되는 영역을 살펴보면, t25~t26 단면은 일반잡화부두가 240m 건설되고 매립되어 수로가 막히게 되어 건설 후에 통과되는 유량이 없어 퇴적되고 있다. 신수도와 잡화부두를 가로지르는 t27~t28 단면의 경우는 건설 후 잡화부두 전면에서 0.5m 정도 침식되고 있다. t29~t30 단면과

t31~t32 단면의 경우 변화가 거의 없었다.

5. 결 론

본 연구에서는 방파제의 재배치 및 신규 건설로 인해 발생하는 해저 물질의 거동을 추정하기 위해 대상해역에 해수유동 수치모형실험을 실시하여 과거 관측 자료인 유속을 비교하여 검증을 실시하고 삼천포항과 맥전포항에서 조위 값을 비교 검증하였으며, 그 결과인 유동장을 외력으로 하여 수치실험을 건설 전·후로 나누어 침식 및 퇴적 양상을 16개 단면에 대하여 비교하였다.

조류속이 빠른 해역에서 방파제의 재배치 및 건설로 인한 침식 및 퇴적의 영향을 분석하기 위해 덴마크 DHI사의 MIKE21 모형을 이용하였다. 실험방법으로는 해양조사원의 관측결과를 토대로 삼천포 인근해역의 4대분조인 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조를 경계조건으로 이용하고, 총 33일 간의 해수유동 수치모의를 실시하고, 유동장의 해가 CFL 조건을 만족하여 안정하게 수렴한 후 표사이동 시뮬레이션을 실시하고 30일간의 데이터를 검토하였다. 건설 전·후에 대한 변화를 분석하였으며 수치해가 수렴하는 최초 2일과 마지막 1일은 여유분으로 결과에서 출력하지 않았다.

모델의 실험 운용에 따라 결과는 크게 상이할 수 있다는 점을 유의 하여야 한다. 또한 본 연구를 통해 유속이 매우 빠른 수로부근에서의 방파제 재배치 및 신규건설이 주위 유동장에 변화를 가져오고 이러한 변화가 표사의 침식과 퇴적에 대한 영향력을 인지시키기에 충분하다고 본다.

본 모형을 삼천포 해역에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 삼천포 해역의 대방수로와 삼천포수로는 최강 창조류는 2.78m/s까지 발생하며 최강 낙조류는 2.83m/s까지 발생하여 최강유속의 차이는 미소하나 전체적으로 2.2m/s 이상의 낙조류가 발생하는 영역이 넓게 분포하고 있어 낙조류가 우세한 지역이다.
- 2) 건설 후 유속에 대한 건설 전 유속의 차는 창조류의 경우를 비교한 각각의 결과 4.8cm/s로 미소하게 증가된 반면, 낙조류의 건설 후 증가치는 각각 23.9cm/s로 수로를 따라서 낙조류가 더욱 증가한 것으로 나타났다. 조류에 의한 값인 19.1cm/s 만큼 낙조류가 더욱 증가한 것을 알 수 있다.
- 3) 4대분조만을 고려한 경우 낙조류가 우세하여 외해방향으로 침식되어 쓸려 내려가는 양상을 확인할 수 있었다.
- 4) 최강유속이 발생하는 대방항의 방파제 재배치, 삼천포 신항 방파제의 신규 건설, 잡화부두의 건설 및 매립 후를 비교한 결과, 수로에 인접한 대방항의 경우에 방파제를 확대 재배치가 수로의 단면적을 축소하는 현상을 보이면서 빠른 유

속이 분포하는 영역이 넓어지게 되고, 창조류의 증가치 보다 낙조류의 증가치가 더욱 커지므로 이로 인해 대방향 상류뿐만 아니라 하류까지 영향을 끼치게 되어 지배적인 흐름의 방향인 낙조류 방향으로 상류에서부터 표사양이 더욱 증가되어 쓸려 내려가 하류에 쌓이는 것을 알 수 있다. 이러한 양상은 방과제와 인접한 해안선을 따라서 변화가 큰 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- [1] 마산지방해양수산청(2005), “삼천포신항 안벽축조 기본 및 실시설계보고서”
- [2] 박선중(2005), “목포해역의 조석환경 변화에 따른 소류사 및 부유사 이동 특성 분석”, 목포대학교 석사학위논문
- [3] 신승호 외(2006), “초대형 부유구조물 배후의 파랑 및 해빈류 계산에 관한 고찰”, 한국항해항만학회 제30권, 제2호 추계학술대회논문집, pp. 51~56
- [4] 치 테드 양(2007), “유사이송 이론과 실무”, 청문각, pp. 179
- [5] 해양수산부(2006), “전국무역항 항만기본계획 수정계획 보고서”
- [6] Engelund, F. and Hansen, E.(1967), “A monograph on sediment transport in alluvial streams”, Teknisk Forlag, Danish Technological University, Copenhagen, Denmark.
- [7] J. Smagorinsky(1963), “General Circulation Experiment with the Primitive Equations”, Monthly Weather Review, 91, No. 3, pp. 99~164
- [8] UNESCO(1981), “The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980, UNESCO technical paper in marine science, 36

원고접수일 : 2007년 12월 10일

원고채택일 : 2008년 01월 17일