

工學碩士 學位論文

방파제의 재배치에 따른 해안 침식 및  
퇴적 영향분석

*Impact Analysis on the Coastal Erosion and Accretion due  
to Relocation of Breakwaters*

指導教授 李重雨

2008年 2月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

李承哲

本 論 文 을 李 承 哲 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 朴 漢 一 ( 印 )

委 員 工 學 博 士 鞠 承 淇 ( 印 )

委 員 工 學 博 士 李 重 雨 ( 印 )

2008年 2月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

土 木 環 境 工 學 科

李 承 哲

# *Impact Analysis on the Coastal Erosion and Accretion due to Relocation of Breakwaters*

*Seung-Chul Lee*

*Department of Civil and Environmental Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University*

## *Abstract*

In recent years, the rate of mean sea level rise is rapidly increasing from the phenomena of global warming, together with the increasing trend of 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 of Daebang, Samcheonpo Old and New ports, Korea. The purposed this study is try to analyze the impact due to rearrangement of counter facilities and berth layouts adopted for tranquility of those ports. Because these are being connected to Daebang channel, the rearrangement of the structures might

affect to the current speed and direction and wave height, so does to the sea bottom undulation. Therefore, it is necessary to take model test for prediction of bottom change under the condition of new layouts of port facilities, and the combined wave and current impacts to the bottom were analyzed by numerical models. The formulated models were compared with the field observations and the possible bottom changes were discussed. Although the model study gave reasonable description of beach processes and approach channel sedimentation mechanism, it is necessary to compare with the long term based field history, including the records of waves, tides and bottom materials, etc. for better prediction.

**KEY WORDS** : Breakwater, Erosion, Accretion, Tidal current, Sedimentation, Wind wave

# 목 차

ABSTRACT .....	i
LIST OF TABLES .....	v
LIST OF FIGURES .....	vi
NOMENCLATURE .....	viii
<b>제1장 서론</b> .....	1
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 해빈류에 대한 국내·외 연구 .....	3
1.3 연구의 내용 .....	4
<b>제2장 수치모델의 기초이론</b> .....	6
2.1 해수유동 .....	6
2.1.1 해수유동의 지배방정식 .....	6
2.1.2 와동점성계수 .....	8
2.1.3 저면응력 성분 .....	8
2.1.4 바람응력 성분 .....	9
2.1.5 바람자료의 보정 .....	10
2.2 풍파의 성장 및 전달 .....	16
2.2.1 기초방정식 .....	16
2.2.2 파랑 작용의 보존 방정식 .....	17
2.3 표사이동 .....	19
<b>제3장 현장 환경 조사</b> .....	21
3.1 조석 .....	21
3.2 조류 .....	25

3.3	파랑	28
3.4	바람	34
3.5	해저지질 조사	38
<b>제4장 수치모형의 검증 및 적용</b>		
4.1	모형의 개요	39
4.1.1	해수유동 안정조건	42
4.1.2	파랑 지배방정식의 안정조건	42
4.2	수치모델의 검증	44
4.2.1	조위 검증	44
4.2.2	최강 조류속 검증	47
4.2.3	연속조류 관측성과 비교	49
4.3	수치모델의 결과	51
4.3.1	해수유동 결과	51
4.3.2	유속변화 정도	56
4.3.3	풍파성장 결과	62
4.3.4	표사이동 양상	65
4.3.5	지점별 저면 변화	70
4.3.6	단면별 저면 변화	73
<b>제5장 결론</b>		
		78
<b>참 고 문 헌</b>		
		81

## *LIST OF TABLES*

Table 3.1 Harmonic and nonharmonic constants in the vicinity of at Samcheonpo New port .....	22
Table 3.2 Harmonic and nonharmonic constants at Samcheonpo Old port .....	23
Table 3.3 Information of Survey point .....	26
Table 3.4 Harmonic constants of tidal currents at the selected stations ....	27
Table 3.5 Occurrence frequency of wave period and height .....	29
Table 3.6 Occurrence frequency of wave direction and height .....	30
Table 3.7 Maximum values of significant wave height .....	31
Table 3.8 Design wave at deep water .....	32
Table 3.9 Design wave at shallow water .....	33
Table 3.10 Wind direction of observation frequency possibility .....	36
Table 4.1 Summary of model simulation set up .....	40
Table 4.3 Survey data of tidal currents by NORI .....	48
Table 4.4 Difference of average current speed before and after construction at cross section .....	57

## *LIST OF FIGURES*

Fig. 1.1 Study area at the Samcheonpo sea .....	2
Fig. 2.1 Idealized atmospheric boundary layer over water .....	11
Fig. 3.1 Observation points of harmonic constants and tidal currents .....	21
Fig. 3.2 Tidal chart at Samcheonpo Old port .....	24
Fig. 3.3 Wind direction of observation frequency possibility .....	34
Fig. 3.4 Wind direction of observation wind speed .....	35
Fig. 3.5 Wind data at Tongyeong (August, 2007) .....	37
Fig. 4.1 Bathymetric chart, flexible mesh, and comparison points .....	41
Fig. 4.2 Time series of surface elevation .....	45
Fig. 4.3 Coefficient of determination at PT-1 and PT-2 .....	46
Fig. 4.4 Result of tidal current at C1, C2, C3, and C4 .....	50
Fig. 4.5 Maximum flood and ebb currents before construction (Pure current) .....	52
Fig. 4.6 Maximum flood and ebb currents after construction (Pure current) .....	53
Fig. 4.7 Maximum flood and ebb currents before and after construction (Pure current) .....	54
Fig. 4.8 Maximum flood and ebb currents before and after construction (Wind wave and current) .....	55
Fig. 4.9 Cross section for the comparison of the calculated currents .....	57
Fig. 4.10 Comparison of flood currents speed before and after construction (Pure current) .....	58
Fig. 4.11 Comparison of ebb currents speed before and after construction (Pure current) .....	59



Fig. 4.12 Comparison of flood currents speed before and after construction (Wind wave and current) .....	60
Fig. 4.13 Comparison of ebb currents speed before and after construction (Wind wave and current) .....	61
Fig. 4.14 Strongest wave fields before construction .....	63
Fig. 4.15 Strongest wave fields after construction .....	63
Fig. 4.16 Detail wave fields before construction .....	64
Fig. 4.17 Detail wave fields after construction .....	64
Fig. 4.18 Bottom changes before and after construction for 10 and 20days simulation (Pure current) .....	66
Fig. 4.19 Bottom changes before and after construction for 30days simulation (Pure current) .....	67
Fig. 4.20 Bottom changes before and after construction for 10 and 20days simulation (Wave current) .....	68
Fig. 4.21 Bottom changes before and after construction for 30days simulation (Wave current) .....	69
Fig. 4.22 Selected station point for change of bed level .....	71
Fig. 4.23 Change of bed level at ST1~ST4 .....	72
Fig. 4.24 Change of bottom profiles at t1~t16 for 30 days simulation .....	76
Fig. 4.25 Change of bottom profiles at t17~t32 for 30 days simulation .....	77

## *NOMENCLATURE*

$A$	horizontal eddy viscosity
$A_0, B_0, B_1$	constants
$A', B'$	nondimensional functions of stability
$C$	Chezy number
$c$	phase velocity
$C_{D\ land}$	drag coefficient over land
$c_a, c_b, w_a, w_b$	empirical factors
$c_d$	drag coefficient of air
$c_f$	drag coefficient
$c_g$	group velocity
$c_s$	Smagorinsky constant
$D$	still water depth
$d_{50}$	median grain diameter
$E(\sigma, \theta)$	energy density
$f$	Coriolis acceleration
$g$	gravitational acceleration
$h$	total water depth
$k$	wave number
$k'$	von Karman constant
$k_b$	bed load calibration factor
$k_s$	suspended load calibration factor
$L'$	Obukov stability length
$l$	characteristic length
$M$	Manning number
$N(\sigma, \theta)$	wave action density
$P_a$	atmospheric pressure
$S$	source term for the energy balance equation

$s$	salinity
$s'$	relative density of the sediment
$S_{ij}$	deformation rate
$S_{bl}$	bed load
$S_{sl}$	suspended load
$S_{tl}$	total load
$s_{xx, xy, yx, yy}$	components of the radiation stress tensor
$T_{xx, xy, yy}$	components of the lateral stresses
$T$	temperature
$t$	time
$\Delta T$	air-sea temperature gradient
$\Delta t$	time step interval
$U_e$	equivalent neutral wind speed
$U_z$	wind velocity at elevation $z$
$U_*$	friction velocity
$U_{\tau b}$	friction velocity associated with the bottom stress
$U_{\tau s}$	friction velocity associated with the surface stress
$\vec{U}$	current velocity
$\bar{U}, \bar{V}$	depth-averaged U, V velocities
$\vec{u}_b = (\vec{U}_b, \vec{V}_b)$	flow velocity above the bottom
$\vec{u}_w = (\vec{U}_w, \vec{V}_w)$	flow velocity 10m above the sea surface
$U_s, V_s$	velocity by which the water discharged into the ambient water
$V_g$	geostrophic wind
$x, y, z$	each computational direction on cartesian coordinates
$\Delta x, \Delta y$	grid size in x, y direction
$z_{obs}$	elevation of wind observation
$z_o$	surface roughness length

$\tau_{sx}, \tau_{sy}$	bottom stresses in x, y direction
$\tau_{sx}, \tau_{sy}$	wind stresses in x, y direction
$\rho$	density of water
$\rho_0$	reference density of water
$\eta$	water surface elevation
$\phi$	geographic latitude
$\Omega$	angular rate of revolution
$\Phi$	latitude
$\psi$	universal similarity function
$\mu$	dimensionless stability parameter
$\theta$	wave direction
$\theta'$	angle between $\vec{V}_g$ and the surface stress
$\sigma$	linear dispersion relation
$\nabla$	four dimensional differential operator

# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

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, 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 확대하거나 연장하는 사업이 “전국무역항 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. 시설물의 설치로 인한 해양 물리적 환경 변화는 해역의 수질, 저질의 변화와 인근 해변의 침식 및 퇴적 양상에 변화로 대별할 수 있다. 전자는 주변해수의 변화에 기인하고, 후자는 주변해수유동의 변화에 의해 토사 이동 환경변화를 유발하고 있다.

구조물 주변에 해저토사를 움직이게 하는 외력을 상세히 나누어 보면, 파랑에 의해 발생하는 해빈류 및 조류, 바람, 하구유출 등을 들 수 있으나 일반적으로 가장 큰 영향력을 미치는 것은 파랑과 조류로 알려져 있다. 그러나 한국의 남해안과 서해안은 조류속이 빠르기 때문에 조류에 의한 변화에 대해서 유의해야 한다. 파랑은 방파제 및 호안, 항만시설 등의 해안 구조물을 설계하는데 필요한 환경요소 중의 하나로 구조물에 가장 큰 동역학적 영향을 주며 항

만에 인접하게 위치하여 표사이동에 상당한 영향을 미치며 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다(이, 1998). 조류에 의한 영향에 대해서도 많은 연구가 진행되고 있다.

삼천포 마스터플랜에 의하면(Fig. 1.1) 삼천포 신항과 인근지역의 경우 대방항 방파제의 총길이를 407m로 연장 및 재배치하고, 삼천포 신항 내측에 소형어선을 정박시킬 수 있는 항을 건설하고 정온도를 확보하기 위해서 외곽방파제를 70m와 200m 규모로 신설 할 계획과 일반잡화부두를 건설하기 위해 부지를 122,000m<sup>2</sup> 매립시킬 계획을 수립하였으며, 부지조성 범위는 신항의 기존 안벽배후 매립지와 신규 안벽(2만 DWT급 1선석) 배후부지로서 기존 안벽배후 매립지의 매립량은 약 30만m<sup>3</sup> 정도이고, 신규안벽 배후부지의 매립량은 약 33만m<sup>3</sup> 가 필요하다. 이러한 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.

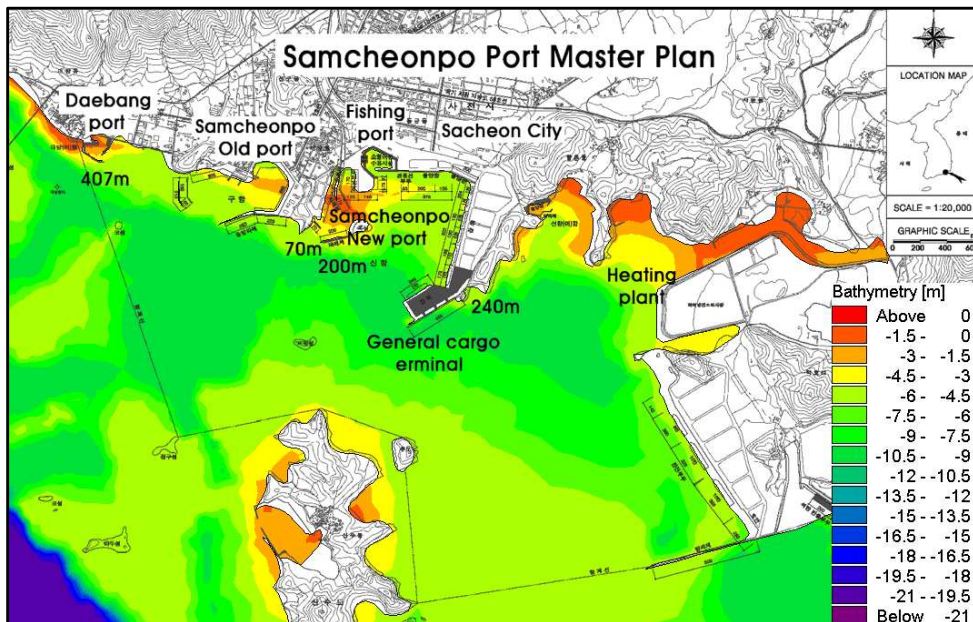


Fig. 1.1 Study area at the Samcheonpo sea

## 1.2 해빈류에 대한 국내·외 연구

해빈류에 대한 연구로서 Longuet-Higgins와 Stewart(1964)는 잉여응력(Radiation Stress)에 대한 개념을 제안하고 그 후에 쇄파대 내에서의 여러 현상에 대한 연구가 급진전 되었다. Noda 등(1974)은 해빈류의 수치해석법을 처음 시도하였고 연안에서 파랑과 바람에 의해 발생한 해수유동을 예측하는 모델을 개발하였다. Birkemeier와 Dalrymple(1976)는 연안에서의 해수유동을 설명할 수 있는 시간의존 모델을 개발하였다. Hedges(1976)는 파랑의 비선형성을 고려한 경험적 분산식을 사용하였다. Ebersole와 Dalrymple(1980)는 비선형 이류 가속항(Convective Acceleration)과 수평혼합항을 포함하여 계산하였으나 파랑과 연안류의 상호작용은 고려하지 않았다. Yamaguchi(1986)는 운동학적 보존방정식을 사용하여 파랑의 비선형 효과를 고려하였다. Yoo와 Lee(1992)는 연안류 마찰항의 정확한 추산을 위한 모델을 개발하였다. 이(1998)는 연안역에서 반사파를 고려할 수 있는 쌍곡선형 편미분 방정식을 사용하였다. 박(2005)은 유한차분법에 의한 소류사 및 부유사 이동 특성을 분석하였다.

### 1.3 연구의 내용

남해안의 대방수로는 전남 울돌목과 장죽수로, 맹골수로와 함께 해양수산부에서 빠른 조류속을 이용한 해양에너지 개발 유망 후보지로 선정되었으며, 그중 대방수로는 사천과 창선 사이로 밀물의 평균 시속은 10.7km/h, 썰물이 12.0km/h이며, 폭은 250m로 매우 좁고, 수심이 15m로 얕아 물살이 빠른 지역이다(조, 2007). 이러한 수로 주변에 구조물을 신설 및 재배치시키면 수로의 단면이 변화되어 유속 및 유향의 큰 변화와 반사, 회절 조건이 변하게 되므로 파동장의 변화를 유발하게 되어 해양환경에 영향을 미치게 되어 해저면의 변화체계가 변하게 된다. 침식 및 퇴적의 속도와 위치가 변하게 된다. 따라서 방파제 건설과 재배치로 인해 변화되는 해안과정과 수로 부근의 유사이송 체계의 신뢰성 있는 모델을 구축하여 해안 침식 및 퇴적에 대한 영향을 분석하고자 한다.

본 연구에서는 유한요소법을 이용하였으며, 통영기상대에서 관측한 2007년 8월 1일부터 9월 2일까지의 10분 평균 풍속 및 풍향 자료, 당 해역에서 통계적으로 가장 빈번하게 출현하는 파랑인 0.5~1.0m 파고와 4초의 주기를 가지는 파랑을 입사파, 바람에 의해 파랑이 성장하고 변하는 가상의 시나리오를 바탕으로 실제해역의 상황에 가장 가까운 현황을 재현하고자 하였으며, 순수 조류에 의한 결과와 바람, 파랑, 조류가 결합된 결과를 비교·분석해 보았다.

본 연구에서는 사용한 모델은 덴마크의 DHI (Danish Hydraulic Institute)사에서 개발한 모형을 이용하여, 4대 분조를 외력으로 HD(Hydrodynamics) Module에 입력하여 유동장을 수치모의하고 동시에 모의된 유동장을 외력으로 사용하고, 바람을 무시한 유동장을 ST(Sand Transport) Module에 입력하여 33일간 표사의 이동양상을 순수조류의 영향만을 외력으로 사용하여 수치 모의하였으며, 추가적으로 SW(Spectral Wave) Module를 이용하여 8월 한 달간 10



분단위 시계열로 풍속 및 풍향을 변화시켜 풍파를 성장시키고, 성장된 풍파와 바람의 영향을 고려한 조류에 의한 유동장과 결합하여 표사이동을 수치모의하였다. 초기 2일은 cold start에 의한 수렴기간으로 결과 값을 출력하지 않았으며, 마지막 1일은 시간간격에 의한 오류나 결과 출력 시 발생할지 모를 에러에 대비하여 여유분으로 두어 결과 값을 출력하지 않았다.

## 제2장 수치모델의 기초이론

### 2.1 해수유동

#### 2.1.1 해수유동의 지배방정식

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

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{V}}{\partial y} = hS \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{U}^2}{\partial x} + \frac{\partial h \bar{U} \bar{V}}{\partial y} = & f \bar{V} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{xy}) + h U_s S \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial h \bar{V}}{\partial t} + \frac{\partial h \bar{V}^2}{\partial y} + \frac{\partial h \bar{V} \bar{U}}{\partial x} = & -f \bar{U} h - gh \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} \\ & - \frac{gh^2}{2\rho_0} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0} \left( \frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial x} (h T_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (h T_{yy}) + h V_s S \end{aligned} \quad (2.3)$$

여기서,  $h = D + \eta$ 는 총 수심(m),  $D$ 는 정수면(m),  $\eta$ 는 수면변동(m), 조석과 같은 장파 해석을 수행하게 되면 계산영역이 넓어지는 경우가 많아지고 지구

의 자전효과를 고려해야 한다. 자전효과를 나타내는 코리올리 매개변수는  $f = 2\Omega \sin\phi$ 과 같이 나타내며,  $\Omega$ 는 지구자전의 각속도로  $7.27 \times 10^{-5} \text{rad/sec}$  이고,  $\phi$ 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 바람응력 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.

$$\begin{aligned} \bar{U} &= \frac{1}{h} \int_{-D}^n U dz \\ \bar{V} &= \frac{1}{h} \int_{-D}^n V dz \end{aligned} \quad (2.4)$$

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

$$\begin{aligned} T_{xx} &= 2A \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} \\ T_{xy}, T_{yx} &= A \left( \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} \right) \\ T_{yy} &= 2A \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} \end{aligned} \quad (2.5)$$

### 2.1.2 와동점성계수

수치모델 적용시 수평와동점성 계수로 상수 값을 사용하기도 하나 여기서 사용된 와동점성계수는 Smagorinsky(1963)에 의해서 제안된 것으로 특정 요소망의 길이와 유속장을 수평와동 점성계수에 관련시킨 계수가 더욱 발전적이다.

$$A = c_s^2 l^2 \sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (2.6)$$

여기서  $c_s$ 는 Smagorinsky 계수로서 0.25~1.00의 값이 제안되고 있다.  $l$ 은 특정 요소길이 그리고 모양에 따른 비율은 다음과 같다.

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.7)$$

위 식에 대한 더욱 자세한 내용은 Lilly(1966), Leonard(1974), Aupoix(1984), Horiuti(1987)의 논문에 수록되어 있다.

### 2.1.3 저면응력 성분

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

$$\vec{\tau}_b = \rho_0 c_{fb} \vec{u}_b |\vec{u}_b| \quad (2.8)$$

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.

$$U_{\tau b} = \sqrt{c_{fb}|u_b|^2} \quad (2.9)$$

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.

$$c_{fb} = \frac{g}{C^2} \quad (2.10)$$

$$c_{fb} = \frac{g}{(Mh^{1/6})^2} \quad (2.11)$$

#### 2.1.4 바람응력 성분

표면응력  $\vec{\tau}_s = (\overline{\tau_{sx}}, \overline{\tau_{sy}})$ 는 자유수면 위의 바람에 의해 결정되며 경험식에 의하면 다음과 같다.

$$\vec{\tau}_s = \rho_a c_d \overline{|u_w|} u_w \quad (2.12)$$

여기서,  $\rho_a$ 는 공기의 밀도,  $c_d$ 는 공기의 항력계수,  $\vec{u}_w = (U_w, V_w)$ 는 수면위 10m 지점의 풍속. 마찰속도에 의한 표면응력은 다음과 같다.

$$U_{\tau s} = \sqrt{\frac{\rho_a c_{fs} |u_w|^2}{\rho_0}} \quad (2.13)$$

해수면의 항력계수는 상수 값을 이용하거나 또는 바람 속도에 의해 결정 할 수 있다. Wu(1980, 1994)의 경험식에 의해서 항력계수를 매개변수화 시켜서 다음과 같이 사용하였다.

$$c_{fs} = \begin{pmatrix} c_a & : u_w < w_a \\ c_a + \frac{c_b - c_a}{w_b - w_a} (u_w - w_a) & : w_a \leq u_w < w_b \\ c_b & : u_w \geq w_b \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

여기서,  $c_a$ ,  $c_b$ ,  $w_a$ ,  $w_b$ 는 경험인수이며  $u_w$ 은 해수면 위 10m지점의 풍속의 스칼라 양이다. 일반적인 경험인수는  $c_a = 1.255 \cdot 10^{-3}$ ,  $c_b = 2.425 \cdot 10^{-3}$ ,  $w_a = 7m/s$ ,  $w_b = 25m/s$ 으로 개방 해역에 적용 시 일반적으로 좋은 결과를 낸다. 호수위에서 수집된 항력계수는 좀 더 높은 값을 사용해야 한다. Geernaert and Plant(1990)의 논문에서 항력계수에 대한 자세한 내용이 수록되어 있다.

### 2.1.5 바람자료의 보정

기상청, 비행장 등에서 관측된 자료는 관심영역과 상당한 이격거리를 두고 있는 경우가 많고 해상에서 관측된 결과 데이터를 구하기는 더욱 어렵다. 그래서 인근 지역에서 수집된 바람자료를 보정해서 사용해야 하며 본 연구에서는 미공병단의 ACES(Automated Coastal Engineering System) 모형 중 풍속 보정과 파랑 발달 모형(Wind Adjustment and Wave Growth)을 이용하여 풍속관측높이, 관측최대풍속, 기온과 수온의 차이, 관측풍의 지속시간, 최종풍속

의 지속시간, 풍향, 위도에 의해서 기상연보의 관측 풍속을 보정하였다.

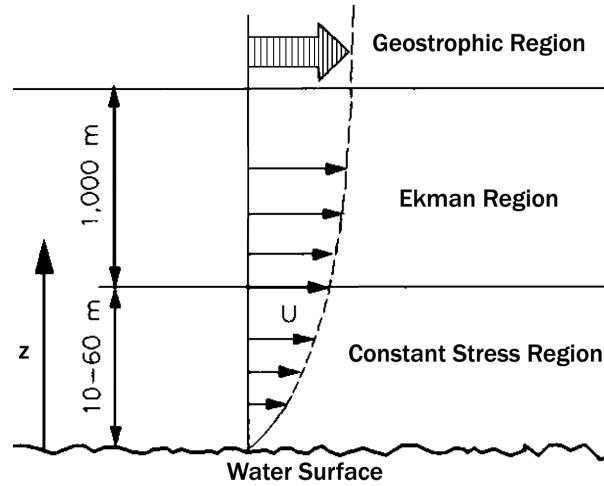


Fig. 2.1 Idealized atmospheric boundary layer over water

수면위의 대기는 Fig. 2.1와 같이 일반적으로 3개의 층으로 나뉘어져있으며, 관측된 풍속으로부터 우선 지상 높은 곳(1Km이상)의 지균풍(geostrophic wind)의 풍속  $V_g$ 를 다음의 식으로부터 구한다.

$$V_g = \frac{U_*}{\sqrt{C_{Dland}}} \quad (2.15)$$

여기서,  $U_* =$  마찰속도  $= \frac{k' U_{obs}}{\ln\left(\frac{z_{obs}}{z_0}\right)}$

$k' =$  von Karman 상수 ( $\cong 0.4$ )

$z_{obs} =$  풍속 관측 높이

$z_0 =$  표면조도 ( $\cong 30\text{cm}$ 로 가정)

$$C_{D\ land} = \text{육지에서의 저항계수 (drag coefficient)} \cong 0.00255z_o^{0.1639}$$

Fig. 2.1의 아래의 경계층 영역으로부터(10~60m) 해수면에서의 마찰속도  $U_*$ 를 구한다.

$$U_z = \frac{U_*}{k'} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi\left(\frac{z}{L'}\right) \right] \quad (2.16)$$

여기서,  $U_z$  특정 높이  $z$ 에서의 풍속,  $z_0 = \frac{C_1}{U_*} + C_2 U_*^2 + C_3$ 는 표면조도로서 각각의 상수는 다음과 같다.  $C_1 = 0.1525$ ,  $C_2 = 0.019/980$ ,  $C_3 = -0.00371$ .  $z_{obs}$ 는 풍속 관측 높이,  $\Delta T$ 는 대기와 해수의 온도차,  $\psi$ 는 KEYPS 식에 의해서 산정한다(Lumley and Panofsky, 1964).

$L'$ 은 Obukov 안정 길이로 다음과 같이 정의 되다.

$$L' = 1.79 \frac{U_*^2}{\Delta T} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \psi\left(\frac{z}{L'}\right) \right] \quad (2.17)$$

$$\text{여기서} \left\{ \begin{array}{l} \Psi = 0 \\ \Psi = C \frac{z}{L'} \\ \Psi = 1 - \phi_u - 3\ln\phi_u + 2\ln\left(\frac{1+\phi_u}{2}\right) \\ \quad + 2\tan^{-1}\phi_u - \frac{\pi}{2} + \ln\left(\frac{1+\phi_u^2}{2}\right) \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} | \Delta T = 0 \\ | z/L' > 0 \\ | z/L' \leq 0 \end{array} \right.$$



$$\phi_u = \frac{1}{1-18R_i^{1/4}} \quad (2.18)$$

$$R_i = \frac{z}{L}(1-18R_i)^{1/4} \quad (2.19)$$

추가적으로 일정 응력 지역 이외의 지역은 해수면에서 지균풍 지역까지 영역을 포함하는 다음 식을 이용한다.

$$\ln \frac{|\vec{V}_g|}{fz_0} = A' - \ln \frac{U_*}{|\vec{V}_g|} + \sqrt{\frac{k^2 |\vec{V}_g|^2}{U_*^2} - B'^2} \quad (2.20)$$

$$\sin \theta' = \frac{B' U_*}{k' |\vec{V}_g|} \quad (2.21)$$

여기서,  $\vec{V}_g$  는 지균풍,  $f$ 는 Coriolis 가속도,  $A'$ ,  $B'$ 는 무차원 안정함수

$$A' = A_0 [1 - e^{(0.015\mu)}]$$

$$B' = B_0 - B_1 [1 - e^{(0.03\mu)}] \quad | \quad \mu \leq 0 \quad (2.22)$$

$$A' = A_0 - 0.96 \sqrt{\mu} + \ln(\mu + 1)$$

$$B' = B_0 + 0.7 \sqrt{\mu} \quad | \quad \mu > 0 \quad (2.23)$$

여기서, 무차원 안정변수  $\mu = \frac{kU_*}{fL}$

$A_0$ ,  $B_0$ ,  $C_0$ 는 상수

$\theta'$ 는  $\vec{V}_g$ 와 표면응력 사이의 각

풍속 보정 및 파랑발달 모형에서는 앞의 식들을 연립하여  $U_*$ ,  $L$ ,  $A'$ 가 수렴

할 때까지 반복법으로 해를 산정한다. 이 과정에서 요구되는 자료에는 관측풍속( $U_{obs}$ ) 및 관측높이( $z_{obs}$ ), 대기과 해수의 온도차( $\Delta T$ ), 위도 등이 있다. 여기서 대기과 해수의 온도차의 영향을 살펴보면,  $\Delta T$ 가 음의 값을 갖는 경우 즉, 대기의 온도가 해수의 온도보다 낮을 경우에는, 경계층이 불안정하여 파랑발달을 촉진시키는 역할을 하게 되므로 반드시 고려하여야 한다.  $\Delta T=0$ 인 경우는 경계층이 중립안정(neutral stability)의 상태에 있다고 하고  $\Delta T>0$ 인 경우는  $\Delta T=0$ 인 경우에 비해 파랑발달을 억제시키는 효과가 있다.

① 등가중립풍속 (equivalent neutral wind speed)으로 변환

등가중립풍속,  $U_e$ 는 대기과 해수의 온도차가 없을 때 ( $\Delta T=0$ ), 해수면 위 10m에서의 풍속을 의미한다. 위의 과정에서 해수면에서의 마찰속도  $U_*$ 가 구해지면  $U_e$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$U_e = \frac{U_*}{k} \ln\left(\frac{1000}{z_0}\right) \quad (2.24)$$

② 지속시간에 대한 보정

사용된 풍속자료는 10분 평균 최대풍속으로, 이를 파랑발달 공식에 사용하기 위해서는 일정한 지속시간의 평균풍속으로 변환해야 한다. 다음의 식을 이용해 원하는 지속시간의 평균풍속을 구하게 된다.

$$\frac{U_i}{U_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh\left(0.9 \log \frac{45}{t_i}\right) \quad (1 < t_i < 3600 \text{sec}) \quad (2.25)$$

$$\frac{U_i}{U_{3600}} = -0.15 \log t_i + 1.5334 \quad (2.26)$$

여기서,  $t_i$ 는 초로 나타낸 지속시간이다. 구하는 과정은 우선 자료의 풍속과 지속시간을 사용해 1시간의 지속시간을 갖는 풍속  $U_{3600}$ 을 산정하고, 산정된 값을 이용해 원하는 지속시간의 평균풍속을 구하게 된다.

## 2.2 풍파의 성장 및 전달

### 2.2.1 기초방정식

파랑작용밀도(Wave action density) 방정식은 다음과 같다.

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (2.27)$$

여기서,  $E(\sigma, \theta)$  : 에너지 밀도

$\theta$  : 파향

$\sigma$  : 상대 각주파수 ( $\sigma = 2\pi f_r$ )

선형 분산관계식(Linear dispersion relation)은 다음과 같다.

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kD)} = \omega - \vec{k} \cdot \vec{U} \quad (2.28)$$

여기서,  $g$  : 중력가속도

$D$  : 수심

$\vec{U}$  : 유속벡터

$\omega$  : 절대 각주파수 ( $\omega = 2\pi f_a$ )

조류에 관한 파랑에너지의 군속도  $c_g$ 의 양은 다음과 같이 주어진다.

$$c_g = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kD}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} \quad (2.29)$$

조류에 관한 파랑의 위상속도  $c$ 는 다음과 같다.

$$c = \frac{\sigma}{k} \quad (2.30)$$

### 2.2.2 파랑 작용의 보존 방정식

지배 방정식으로 사용된 직교좌표계의 파랑작용의 보존 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (2.31)$$

여기서,  $N(\vec{x}, \sigma, \theta, t)$  : 파랑작용밀도

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (2.32)$$

여기서,  $S$  : 에너지 생성 및 소멸항

$S_{in}$  : 풍파에 의한 에너지 생성 Janssen (1989, 1991)

$S_{nl}$  : 비선형파랑 상호 작용에 의한 에너지 수송 Hasselmann (1962)

$S_{ds}$  : 백파(whitecapping)에 의한 파랑에너지 소산 Hasselmann (1974), WAMDI (1988)

$S_{bot}$  : 해저 마찰에 의한 에너지 소산

$S_{surf}$  : 수심 변화에 의한 쇄파 에너지 소산 Battjes, Janssen (1978),  
Eldeberky, Battjes(1995)

## 2.3 표사이동

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. 값을 적용함에 있어서 충분한 수리실험 등을 통하여 수치 값을 검토할 필요가 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.  $k_s$  역시 충분한 사전검토가 필요하다.

본 연구에서는 Engelund 와 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.

$$S_{bl} = k_b \cdot S_{tl} \quad (2.34)$$

$$S_{sl} = k_s \cdot S_{tl} \quad (2.35)$$

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 이론으로부터 심각하게 이탈하지 않고도 사구 하상과 0.15mm 보다

큰 입경의 고수류 영역(upper flow regime)에 적용할 수 있음을 발견하였다 (치, 2007). 입도가 작은 경우는 사용하지 말도록 권고 하였고, 8ft 실험수로의 자료이며, 실험당시 사용한 유사직경은 0.19, 0.27, 0.45, 0.93mm이며 입도는 1.30, 1.56, 1.60 이었다. Engelund 와 Hansen의 공식은 무차원량의 함수로 나타나 있으므로 사용된 단위의 일관성이 있으면 어느 단위 시스템에도 적용이 가능하다(박, 2005).

$$S_{ti} = 0.05 \frac{C^2}{g} \theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(s-1)gd_{50}^3} \quad (2.36)$$

$$\theta = \frac{\tau}{\rho g (s-1) d_{50}} \quad (2.37)$$

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



## 제3장 현장 환경 조사

### 3.1 조석

국립해양조사원의 자료에 의하면 Table 3.1과 같이 삼천포 구항의 평균해면 (M.S.L)은 164.8cm이며, 대조차는 272.0cm, 평균조차는 188.60cm, 소조차는 105.20cm로 나타났다. 조석 형태수는 0.21로서 1일 2회조의 규칙적인 승강이 나타나고 있다. 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.

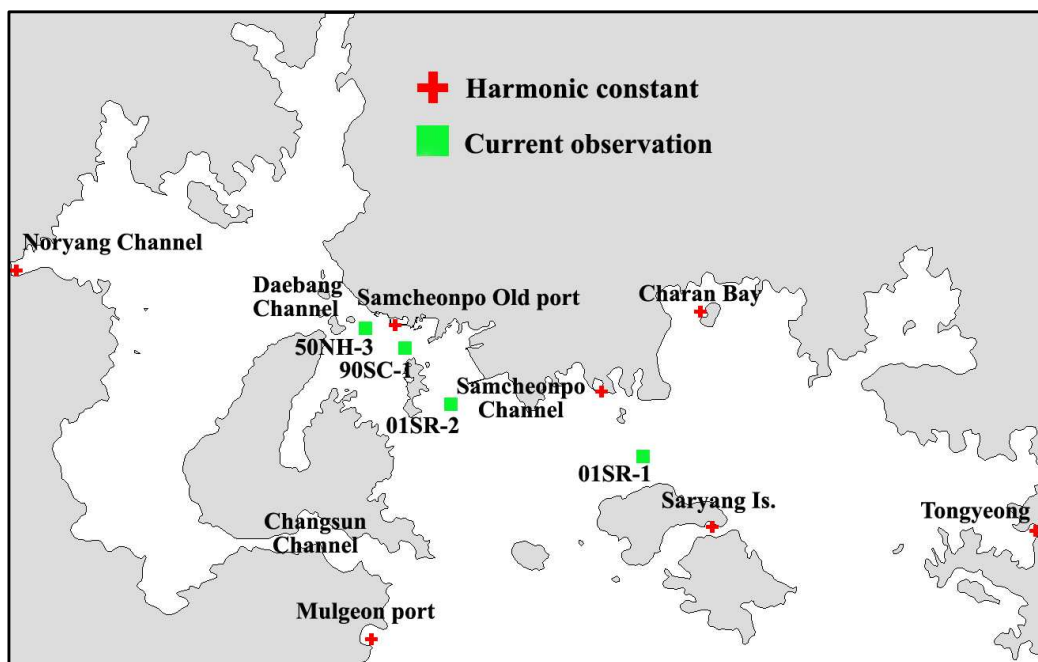


Fig. 3.1 Observation points of harmonic constants and tidal currents

Fig. 3.1은 관측지점이며, Fig. 3.2와 Table 3.1은 연구지역 주변의 과거 조석 관측 결과를 나타내었다.  $M_2$  분조의 진폭은 통영에서 79.6cm, 자란도에서 80.0cm, 사량도에서 87.0cm, 삼천포에서 94.3cm, 노량리에서 106.5cm로서 서쪽으로 갈수록 점차 증폭되고, 지각 또한 서쪽으로 갈수록 커지는 것을 알 수 있다. 또한 남에서 북쪽 방향으로  $M_2$  분조의 진폭은 물건항에서 81.9cm, 사량도에서 87.0cm, 삼천포에서 94.3cm, 노량수로에서 106.5cm로 육지측으로 갈수록 증가하고 있으며, 지각 또한 증가하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다.

Table 3.1 Harmonic and nonharmonic constants in the vicinity of at Samcheonpo New port

Location	$M_2$	$S_2$	$K_1$	$O_1$
	Half Tidal Range (cm) / Phase Lag ( $^{\circ}$ )			
Samcheonpo Old port	94.3 / 250.9	41.7 / 272.6	16.6 / 169.0	12.2 / 152.7
Charan Bay	80.0 / 245.7	39.0 / 279.0	16.6 / 190.6	11.4 / 144.4
Noryang channel	106.5 / 259.0	45.6 / 291.1	17.2 / 173.6	11.1 / 156.3
Mulgeon port	81.9 / 253.4	37.8 / 276.4	18.7 / 176.1	10.4 / 154.5
Saryang Is.	87.0 / 249.7	39.5 / 279.6	15.9 / 173.8	10.3 / 147.2
Tongyeong port	79.6 / 248.4	37.0 / 275.9	14.7 / 172.6	9.7 / 149.4
Mackjeon port	80.1 / 253.8	37.6 / 282.3	12.7 / 177.6	8.5 / 152.1

Table 3.2 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(遅角)
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°
	$O_1$	$H_o$ 12.2 cm	$K_o$ 152.7°
M.S.L $S_o = H_m + H_s + H' + H_o$		164.8cm	
Mean high water interval		8hr 39m	
Mean lower water interval		14hr 51m	
N o n h a r m o n i c  C o n s t a n t	Obs. H.H.W.	-	
	Aprox.H.H.W.( $2 \times S_o$ )	329.6cm	
	H.W.O.S.T. [ $S_o + (H_m + H_s)$ ]	300.8cm	
	H.W.O.M.T. ( $S_o + H_m$ )	259.1cm	
	H.W.O.N.T. [ $S_o + (H_m - H_s)$ ]	217.4cm	
	M.S.L.( $S_o$ )	164.8cm	
	L.W.O.N.T. [ $S_o - (H_m - H_s)$ ]	112.2cm	
	L.W.O.M.T( $S_o - H_m$ )	70.5cm	
	L.W.O.S.T [ $S_o - (H_m + H_s)$ ]	28.8cm	
	Approx.L.L.W.(0)	0.0cm	
	(Obs. L.L.W.)	-	
	Spring Range $2(H_m + H_s)$	272.0cm	
	Mean Range $2H_m$	105.2cm	
	Neap Range $2(H_m - H_s)$	188.6cm	
Tidal shape factor	0.21		

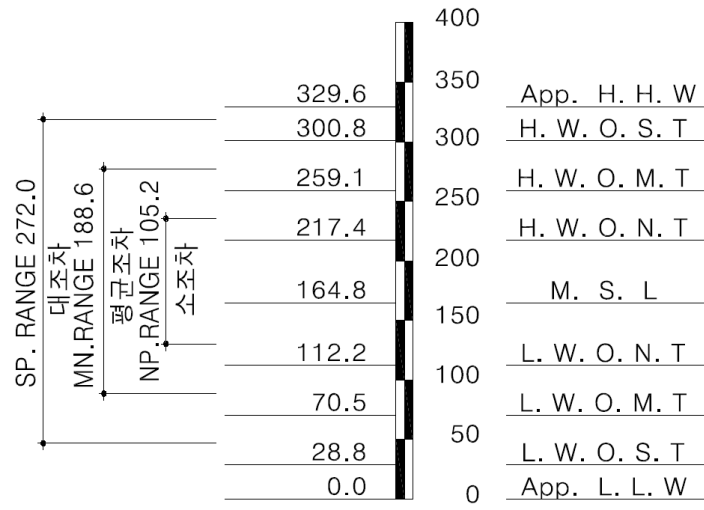


Fig. 3.2 Tidal chart at Samcheonpo Old port

## 3.2 조류

본 연구대상영역은 경남 삼천포 인근 해안에 위치하여 서쪽으로는 진주만 남쪽으로는 사랑도, 수우도, 옥지도 등의 섬이 있으며, 동쪽으로는 통영, 미륵도, 견내량 등의 복잡한 지형을 이루고 있다. 삼천포 수로와 대방수로 인근에 위치하고 있으며, 삼천포 수로의 경우 창조류(북서류)는 낙조류(남동류)보다 약 50분 길게 흐르고, 최강류시는 고·저조 후 2시간 50분 후에 발생하고 있으며, 창조류는 108cm/s, 낙조류는 149cm/s를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 대방수로의 경우는 창조류는 외해에서 유입되어 대방수로를 북서류 하면서 유속이 가속화되고, 낙조류는 이와 반대 현상으로 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. 수로부근의 유속을 비교해보면 낙조류가 우세하며 연구지역에서 떨어져 있는 창선수로는 창·낙조류가 거의 같은 것으로 조사되었다(마산지방해양수산청, 2005).

연구지역 인근해역의 해황을 파악하고, 해수유동 결과의 검증자료로 활용하기 위하여, 국립해양조사원에서 연속 조류관측 자료를 수집·분석하였다. 수집된 값을 분석하여 각 분조별 동방성분(u방향), 북방성분(v방향)의 조화상수를 산정하였다. Table 3.3에 조사 자료의 관측개요와 Fig. 3.1에 관측지점을 표기하였다.

Table 3.4는 연속조류관측 결과, 조화상수를 나타내었다. 각 분조의 동방성분(E-W), 북방성분(S-N)이 산정되었으며, 조류의 주요 4개 분조는 조석과 같이 주태음반일주조( $V_m, K_m$ ), 주태양반일주조( $V_s, K_s$ ), 주태음일주조( $V_o, K_o$ ), 일월합성일주조( $V', K'$ )로 나타낸다. 관측해역의 조류는 형태수를 갖는

반일주조형으로 1일 2회의 창·낙조류가 일어난다.

Table 3.3 Information of Survey point

POINT	Survey point	Survey period	Survey layer
05NH-3	34°55 ' 42 " N, 128°03 ' 05 " E	2005. 4. 14 ~ 5. 16	Under sea 5m
90SC-1	34°55 ' 05 " N, 128°04 ' 29 " E	1990. 7. 08 ~ 8. 06	Under sea 5m
01SR-1	34°52 ' 16 " N, 128°11 ' 37 " E	2001. 5. 23 ~ 6. 23	Under sea 5m
01SR-2	34°53 ' 38 " N, 128°05 ' 44 " E	2005. 5. 23 ~ 6. 23	Under sea 5m

Table 3.4 Harmonic constants of tidal currents at the selected stations

Location Partial Tide		05NH-3			
		East-West		South-North	
		Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)	Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)
M <sub>2</sub>		102.86	348.70	89.43	168.00
S <sub>2</sub>		47.41	18.40	37.80	206.10
K <sub>1</sub>		9.61	251.60	7.67	71.60
O <sub>1</sub>		6.80	204.9	5.92	17.20

Location Partial Tide		90SC-1			
		East-West		South-North	
		Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)	Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)
M <sub>2</sub>		57.29	346.8	32.29	172.4
S <sub>2</sub>		25.15	28.6	12.17	201.2
K <sub>1</sub>		5.88	246.4	3.69	81.1
O <sub>1</sub>		3.68	211.1	2.44	59.7

Location Partial Tide		01SR-1			
		East-West		South-North	
		Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)	Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)
M <sub>2</sub>		12.57	356.70	1.81	176.70
S <sub>2</sub>		5.46	29.50	1.2	266.40
K <sub>1</sub>		5.88	259.70	0.72	123.60
O <sub>1</sub>		5.00	214.20	0.51	86.30

Location Partial Tide		01SR-2			
		East-West		South-North	
		Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)	Half tidal range (cm/s)	Phase lag (°)
M <sub>2</sub>		8.22	320.80	19.84	176.20
S <sub>2</sub>		3.06	350.50	6.94	193.40
K <sub>1</sub>		0.37	129.20	2.40	75.10
O <sub>1</sub>		0.62	162.90	2.11	342.90

### 3.3 파랑

삼천포항은 북쪽의 육지와 창선도, 신수도, 상도, 하도, 수우도, 등으로 둘러싸여 있어 동계의 북서 계절풍에 의한 영향은 매우 적으며, 하절기 태풍에 의해 발생된 심해파랑이 창선도와 상도 사이를 지나 삼천포 수로를 따라 진행하면서 삼천포항에 영향을 미치고 있다.

심해설계파 재산정 결과(한국해양연구원, 전해역 심해설계파 추정Ⅱ, 2005. 12) 대부분 지역에서 심해파가 상향 추산된 경우가 많으므로 항만개발 단계에서는 재추산 결과를 검토하여 구조물의 안정성 및 항내정온도가 확보될 수 있도록 수리·수치모형실험 등을 거쳐 종합적으로 분석·적용이 필요한 것으로 조사되었다(해양수산부, 2006).

심해설계파랑은 S방향의 파랑이며 파고는 9.6m 주기는 13sec로 대방 물양장에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되며(마산지방해양수산청, 2002), 남방파제와 동방파제 그리고 서방파제의 설계파랑은 각각 1.5m, 1.0m 그리고 2.0m이며, 주기는 모두 13.0sec로 조사되었다(마산지방해양수산청, 2002). 삼천포 신항의 호안 및 안벽의 설계파랑은 각각 1.5m 와 1.0m이며, 주기는 13초로 조사되었다(마산지방해양수산청, 2005).

본 연구대상지역에 파랑 조건을 조사하기 위해 인근해역에서 수행된 기존의 과업 보고서들과 “해역별(동해, 남해) 심해파 추정보고서(1988, 수산청)”에 수록된 추정치들과 “장기파랑 산출자료집(1997. 12 해양수산부)”에 수록된 자료를 이용할 수 있다.

수집된 자료에 의하면 Table 3.5에서와 같이 주기 4sec의 파랑이 66.2%이며, 파고 0.5~1.0m의 파랑이 50.9%를 각각 차지하는 것으로 조사되었다. 따라서 평상시 파랑은 4sec의 주기로 0.5~1.0m의 파고가 평상시 파랑으로 예상된다. 또한 Table 3.6에 의하면 주방향은 남서방향에서 내습하는 것으로 조사되



었다. Table 3.7에 의하면 년별 방향별 최대유의파로 S방향의 9.2m 파랑인 것으로 조사되었다. 한국해양연구원 연안방재연구단에서 2005년 8월에 발표한 심해 설계파 추정자료(Table 3.8, 3.9)에 의하면 본 해역에 가장 큰 영향을 주는 심해 설계파는 S, SE 방향의 파랑으로 판단된다.

Table 3.5 Occurrence frequency of wave period and height

H(m) \ T(s)	T(s)										Total	(%)
	~4	4 ~5	5 ~6	6 ~7	7 ~8	8 ~9	9 ~10	10 ~11	11 ~12	12 ~		
0.0-0.5	2869	96	285	201	98	116	51	11	3	1	3731	25.8
0.5-1.0	6038	282	242	325	149	220	77	7	1	3	7344	50.9
1.0-1.5	647	1291	95	141	143	155	134	9	5	4	2624	18.2
1.5-2.0	10	143	171	42	47	64	54	11	1	0	543	3.8
2.0-2.5	0	4	16	59	22	26	9	8	1	0	145	1
2.5-3.0	0	0	0	15	19	2	5	0	0	2	43	0.3
3.0-3.5	0	0	0	0	3	2	0	0	0	2	7	0
3.5-4.0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	3	0
4.0-4.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4.5-5.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5.0-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	9564	1816	809	783	481	587	330	46	11	13	14440	
Prop.(%)	66.2	12.6	5.6	5.4	3.3	4.1	2.3	0.3	0.1	0.1		

Table 3.6 Occurrence frequency of wave direction and height

Direction \ Wave	Wave						Total
	0~0.5	0.5~1	1~2	2~3	3~5	5~	
N	355	502	38	0	0	0	895
NNE	204	266	28	1	0	0	499
NE	157	197	65	0	0	0	419
ENE	471	626	428	29	3	0	1557
E	119	173	251	40	4	0	587
ESE	49	93	48	4	0	0	194
SE	60	78	43	2	0	0	183
SSE	200	164	85	12	0	0	461
S	93	165	127	25	0	0	410
SSW	86	115	130	33	1	0	365
SW	64	97	87	10	2	0	260
WSW	294	248	268	29	0	0	839
W	191	362	204	3	0	0	760
WNW	329	1024	550	0	0	0	1903
NW	534	1897	669	0	0	0	3100
NNW	525	1337	146	0	0	0	2008
Total	3731	7344	3167	188	10	0	14440

Table 3.7 Maximum values of significant wave height

Year	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Max.
1979	1.0	2.3	1.7	2.5	2.3	1.8	2.6	3.7	6.6	3.2	2.6	4.7	2.5	1.4	1.4	1.2	6.6
1980	1.8	1.9	2.4	2.0	2.0	1.5	1.6	3.5	3.8	3.3	2.4	2.4	2.1	2.1	1.7	1.7	3.8
1981	1.2	1.0	1.6	2.0	2.5	2.1	2.4	5.1	5.3	6.0	2.4	1.9	1.7	1.9	1.5	1.3	6
1982	1.3	1.5	2.5	2.2	2.7	1.7	2.9	3.7	3.5	2.9	2.2	3.0	2.1	1.5	1.3	1.3	3.7
1983	1.7	1.6	1.7	3.1	3.1	2.1	2.2	2.8	4.1	2.8	2.5	2.1	1.8	2.1	1.4	1.2	4.1
1984	1.3	1.4	1.8	2.3	3.9	3.9	1.6	3.1	3.9	3.2	1.9	1.7	1.6	2.0	1.4	1.3	3.9
1985	1.2	2.5	2.3	2.6	2.5	2.8	3.2	4.4	3.0	2.9	2.3	1.9	1.7	1.8	1.5	1.2	4.4
1986	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	2.5	3.4	4.6	9.2	4.8	1.8	4.1	1.4	1.6	1.8	1.5	9.2
1987	1.1	1.8	2.5	3.0	3.6	3.2	3.9	2.7	5.1	5.5	4.8	3.2	2.0	1.6	1.7	1.4	5.5
1988	1.1	1.5	2.3	2.8	3.0	2.4	2.6	3.0	3.5	2.5	3.2	2.3	2.1	1.8	1.5	1.3	3.5
1989	1.2	1.8	1.9	2.4	3.9	1.8	2.0	2.7	4.4	3.2	2.2	2.3	1.6	1.4	1.4	1.3	4.4
1990	1.7	2.1	2.2	2.9	2.7	2.3	2.8	3.2	4.2	3.4	2.3	2.7	2.1	1.8	1.4	1.6	4.2
1991	1.3	1.8	2.4	2.7	2.6	4.5	2.1	2.7	4.4	3.4	2.2	2.6	1.3	1.7	1.6	1.6	4.5
1992	1.7	2.2	2.1	2.7	2.6	1.8	1.3	3.4	5.6	3.4	1.9	2.7	2.1	1.8	1.4	1.2	5.6
1993	1.0	1.4	2.2	3.3	2.3	1.6	1.8	3.5	2.4	3.5	3.4	4.6	2.7	1.7	1.4	1.3	4.6
1994	1.4	2.5	2.4	3.2	3.5	2.7	3.1	4.2	4.0	3.0	2.1	3.6	1.7	1.6	1.5	1.3	4.2
1995	0.9	1.2	2.3	2.6	2.3	1.5	3.1	3.0	3.8	3.7	3.3	2.3	2.2	1.7	1.5	1.0	3.8
1996	1.0	1.3	1.6	2.3	2.7	1.8	2.3	4.0	3.1	3.1	2.7	2.8	2.1	1.8	1.6	1.4	4
1997	1.6	1.1	2.9	3.1	3.3	2.4	2.7	3.8	4.7	3.5	2.6	2.3	1.7	1.6	1.3	1.2	4.7
1998	1.5	1.1	1.8	3.5	3.7	3.2	3.7	2.8	4.9	4.1	2.6	2.3	1.6	1.4	1.3	1.2	4.9
Max.	1.8	2.5	2.9	3.5	3.9	4.5	3.9	5.1	9.2	6.0	4.8	4.7	2.7	2.1	1.8	1.7	9.2

Table 3.8 Design wave at deep water

Grid point:68129(34.26N, 128.17E) Deep water									
Yr		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
10	H(m)	2.92	3.2	3.79	4.65	5.87	7.77	8.6	8.45
	T(s)	7.65	7.74	8.3	8.85	10.21	12.17	13.16	13.29
20	H(m)	3.14	3.4	4.09	5.89	7.37	9.54	10.57	10.54
	T(s)	7.94	7.98	8.4	9.96	11.44	13.49	14.59	14.84
30	H(m)	3.27	3.51	4.48	6.63	8.27	10.56	11.72	11.8
	T(s)	8.1	8.11	8.8	10.57	12.12	14.19	15.37	15.7
50	H(m)	3.42	3.78	4.95	7.59	9.42	11.83	13.17	13.43
	T(s)	8.28	8.59	9.25	11.3	12.93	15.02	16.29	16.75
100	H(m)	3.68	4.1	5.56	8.9	11	13.53	15.14	15.68
	T(s)	9.17	8.94	9.8	12.24	13.97	16.06	17.46	18.1
Yr		S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
10	H(m)	7.1	5.13	3.67	3.87	3.85	2.82	2.89	2.71
	T(s)	12.34	10.71	9.31	8.11	7.79	6.29	6.76	7.32
20	H(m)	8.73	6.18	4.44	4.07	4.14	2.91	3.05	2.91
	T(s)	13.68	11.76	10.24	8.32	8.08	6.4	6.95	7.59
30	H(m)	9.69	6.78	4.86	4.18	4.3	2.96	3.14	3.03
	T(s)	14.42	12.31	10.71	8.43	8.24	6.45	7.06	7.75
50	H(m)	10.91	7.51	5.35	4.31	4.5	3.02	3.25	3.18
	T(s)	15.3	12.97	11.24	8.55	8.43	6.52	7.18	7.93
100	H(m)	12.58	8.5	5.98	4.98	4.76	3.09	3.4	3.37
	T(s)	16.43	13.79	11.89	11.45	8.67	6.59	7.34	8.17

Table 3.9 Design wave at shallow water

Grid point:67127(34.53N, 128.00E) Shall water									
Yr		N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
10	H(m)	1.38	1.63	1.96	3.15	3.93	6.49	7.75	7.07
	T(s)	5.08	5.42	5.73	7.71	8.63	11.32	12.47	12.03
20	H(m)	1.48	1.87	2.42	3.71	4.6	7.78	9.41	8.86
	T(s)	5.28	6.55	7.02	8.37	9.33	12.4	13.74	13.46
30	H(m)	1.54	2.2	2.62	4.02	4.98	8.51	10.38	9.94
	T(s)	5.38	7.09	7.31	8.71	9.71	12.97	14.43	14.27
50	H(m)	1.62	2.45	2.83	4.4	5.44	9.41	11.61	11.35
	T(s)	5.51	7.49	7.59	9.12	10.15	13.64	15.26	15.24
100	H(m)	1.72	2.69	3.06	4.9	6.06	10.61	13.27	13.33
	T(s)	5.68	7.85	7.9	9.61	10.71	14.48	16.31	16.52
Yr		S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
10	H(m)	5.55	3.72	3.56	3.29	2.13	1.71	1.61	1.39
	T(s)	10.95	8.7	8.19	7.63	5.96	5.41	5.41	5.1
20	H(m)	6.67	4.39	3.8	3.66	2.25	1.79	1.67	1.45
	T(s)	12	10.18	8.46	8.06	6.11	5.53	5.52	5.2
30	H(m)	7.31	4.82	3.93	3.88	2.31	1.83	1.71	1.47
	T(s)	12.57	10.66	8.61	8.3	6.2	5.59	5.57	5.25
50	H(m)	8.12	5.34	4.09	4.16	2.38	1.88	1.75	1.51
	T(s)	13.24	11.22	8.77	8.59	6.29	5.66	5.64	5.31
100	H(m)	9.19	6.03	4.29	4.54	2.47	1.94	1.8	1.55
	T(s)	14.09	11.93	8.99	8.97	6.41	5.75	5.73	5.39

### 3.4 바람

바람응력에 의한 유동장의 변화 및 파동장을 해석하기 위해서 최근 30년간 (1976~2005, 통영기상대) 기상통계자료(기상연보) 조사·분석하였다. 지상기상 관측지점 일람표에 의하면, 북위 34°50′ 동경128°26′에 위치하고 있으며, 노장의 해발높이는 30.8m 풍속계의 지상높이는 15.2m로 조사되어 풍속은 해발 46m에서 관측한 것으로 조사 되었다.

Fig 3.3 Wind direction of observation frequency possibility (%)

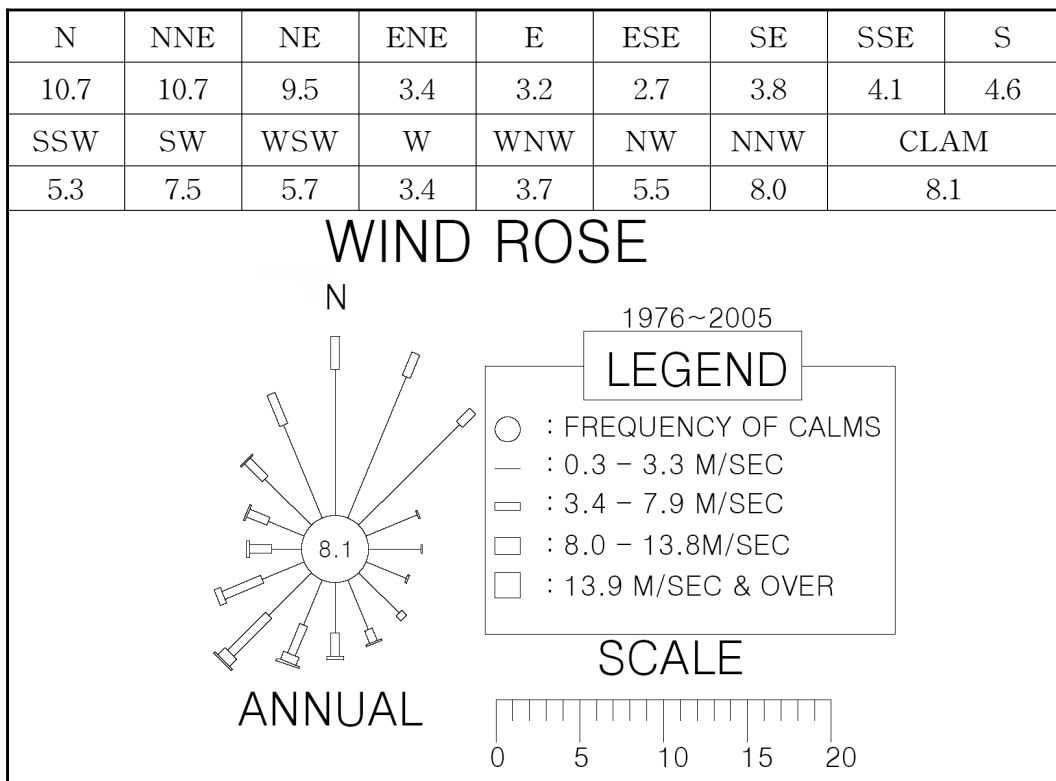
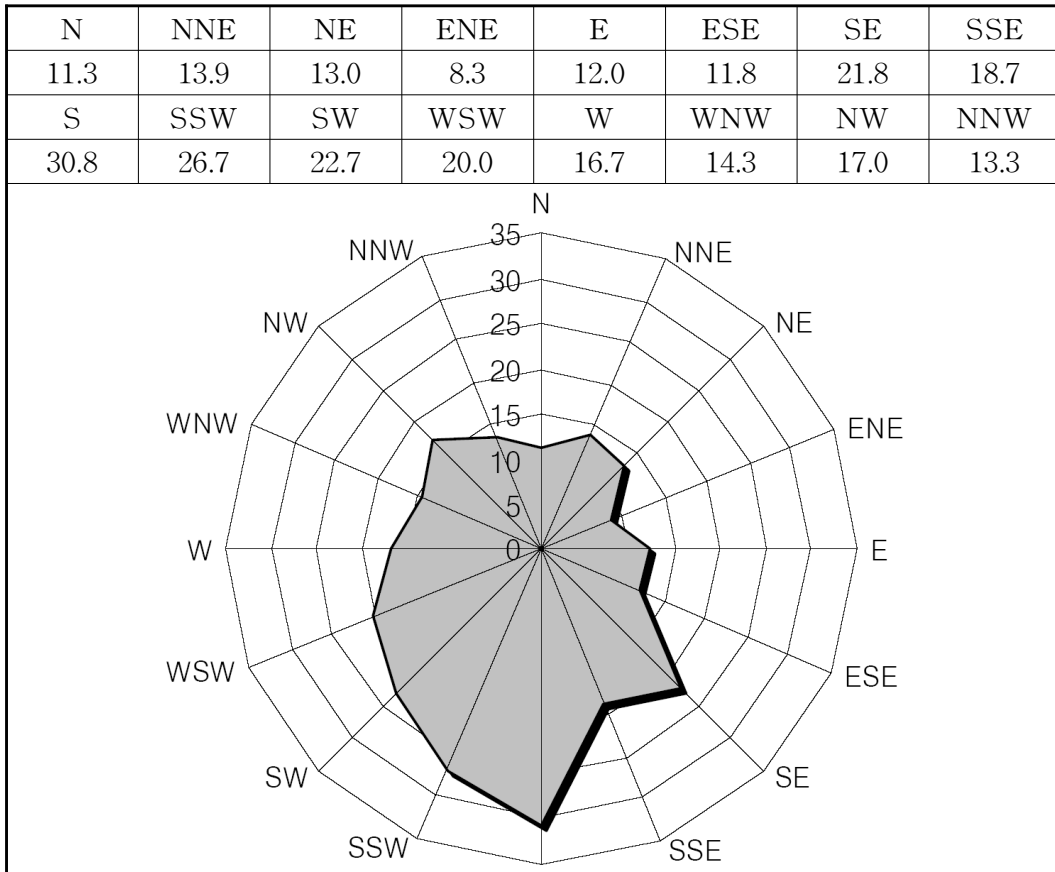


Fig. 3.4 Wind direction of observation wind speed (m/s)



기상연보의 자료(Fig 3.3, 3.4)에 의하면 강풍은 남풍과 남서풍이며 S~W 방향의 발생률은 26.5%로 풍속이 강하고, NNW~NE북풍과 북동풍의 발생률은 38.9%로 높지만 풍속은 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 발생률이 가장 높은 N~NE방향은 풍속이 약하고 해안이 육지로 차단되어 있어 큰 영향이 없을 것으로 사료된다. 본 연구의 수치모의 기간 동안의 풍속은 ACES를 이용하여 해상풍으로 보정하여 Fig. 3.5에 도시하였다.

Table 3.10 Wind direction of observation frequency possibility

(Tongyeong Weather annual report : %)

Year	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM
1979	9.3	9.0	8.8	3.7	2.5	3.1	3.7	4.5	7.6	8.5	6.1	3.4	2.3	4.3	5.6	8.1	8.5
1980	8.7	6.9	11.2	3.0	3.5	2.3	2.7	2.6	4.8	8.3	11.4	6.8	4.6	4.1	6.7	6.5	4.9
1981	5.9	5.6	10.3	7.2	7.4	3.7	4.4	2.9	3.0	6.6	6.1	7.1	7.2	5.5	5.4	4.3	0.0
1982	5.2	9.1	5.9	7.1	7.4	9.4	4.4	3.5	2.3	2.4	4.1	7.5	10.5	5.8	5.9	4.6	5.2
1983	4.4	7.5	10.1	8.2	7.0	4.4	4.1	1.6	1.7	3.7	3.9	11.2	5.1	7.4	3.8	6.9	8.9
1984	5.6	7.0	13.8	7.9	8.6	3.3	4.3	2.3	2.1	2.9	5.3	11.5	6.2	6.4	4.0	6.2	2.7
1985	7.2	9.1	20.8	4.0	4.7	2.3	3.2	1.8	2.6	5.0	10.2	8.4	5.3	3.5	4.4	4.0	3.5
1986	9.4	5.6	8.9	3.0	3.2	1.8	2.6	2.3	3.1	7.6	8.8	6.6	5.0	4.6	5.8	8.8	12.8
1987	6.8	6.8	10.5	2.9	2.2	1.8	2.5	3.3	4.2	11.9	11.2	5.3	3.9	3.8	5.6	6.5	10.7
1988	6.8	9.6	19.1	4.5	3.8	1.5	1.7	1.5	2.5	3.9	11.8	5.3	4.2	3.5	5.3	5.3	9.8
1989	7.0	9.7	20.7	4.0	3.3	1.8	1.8	2.4	4.8	3.8	11.9	4.0	2.8	2.3	4.9	4.7	10.1
1990	7.1	6.7	17.3	3.5	3.5	1.9	2.0	1.7	4.0	5.4	14.6	4.6	3.6	2.5	5.0	3.5	13.1
1991	6.9	6.8	16.7	3.7	3.4	3.4	2.2	1.8	2.4	4.9	11.8	4.2	3.3	2.5	5.1	5.0	17.5
1992	7.1	9.4	21.9	3.9	2.3	1.4	1.8	1.7	3.4	5.1	14.6	4.8	4.5	2.7	4.6	3.8	7.1
1993	6.7	9.6	21.9	4.8	2.7	1.7	2.4	1.8	3.3	3.9	13.5	4.9	4.5	2.7	5.1	3.7	6.9
1994	10.4	6.1	4.5	2.0	4.8	6.8	7.1	4.2	5.0	4.9	3.7	2.1	2.7	4.2	14.0	13.2	4.4
1995	18.4	3.4	1.7	0.7	1.5	4.0	7.9	7.2	4.9	6	7.6	2.3	2.4	5.4	10.5	11.5	4.6
1996	27.6	10.4	3.1	1.1	1.5	2.7	6.2	6.9	4.2	4.1	6.2	2.2	1.2	2.6	4.1	9.8	6.0
1997	19.2	4.6	1.7	0.8	1.8	4.0	7.3	6.6	4.3	6.2	6.0	1.5	1.7	3.6	4.8	19.9	6.1
1998	14.8	3.2	1.8	1.0	1.9	4.0	7.6	5.2	3.7	6.2	4.2	1	2	2.1	6.2	30.3	4.9
1999	15.0	3.2	2.5	0.9	2.3	3.8	8.6	6.2	4.1	5.0	2.8	1.2	2.1	4.6	10.2	21.9	5.4
2000	24.4	20.9	2.3	1.0	0.8	1.8	4.5	8.7	6.6	3.4	4.0	6.3	1.4	2.6	3.0	6.0	2.4
Ave.	10.6	7.7	10.7	3.6	3.6	3.2	4.2	3.7	3.8	5.4	8.2	5.1	3.9	3.9	5.9	8.8	7.1



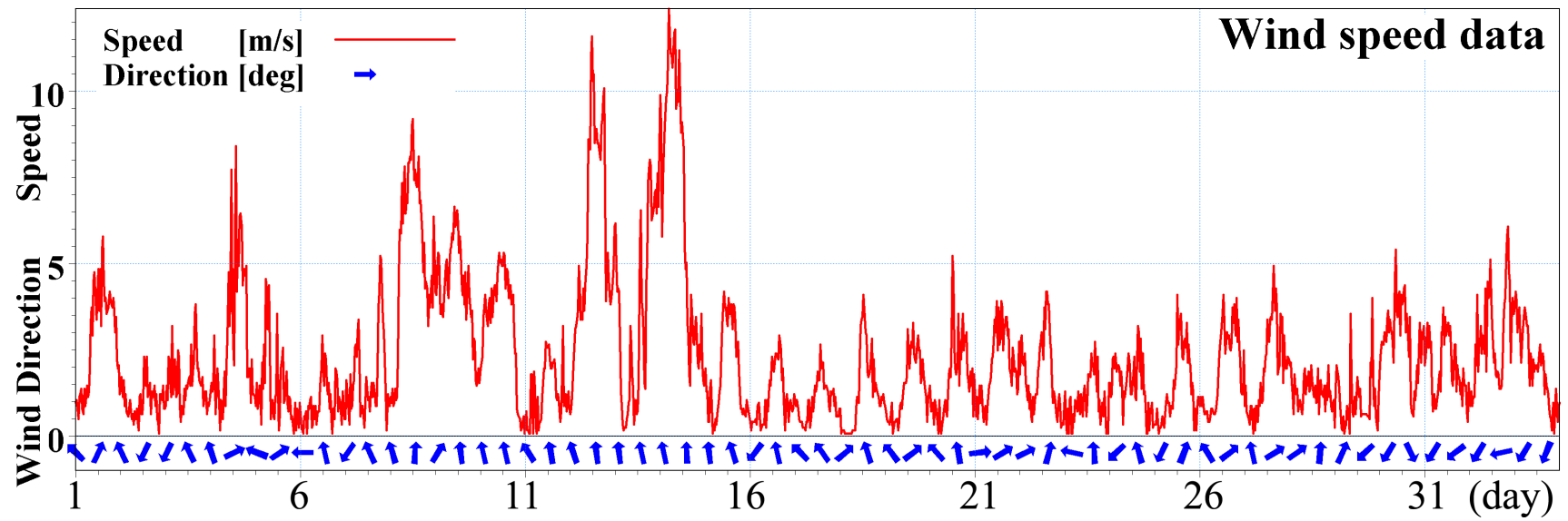


Fig. 3.5 Wind data at Tongyeong (August, 2007)

### 3.5 해저지질 조사

해저지질을 조사하기 위해 Grab Sampler를 이용하여 해저지질을 채취하였다. 채취 심도는 표층 2cm 이내로서 해저 퇴적물을 스푼을 이용하여 시약병에 담았으며 채취된 해저지질 시료는 냉장 보관한 후 채취된 해저지질 시료를 분석하여 저층 퇴적물의 분포 특성을 분석하였다. 삼천포항 인근에서 비교적 유속이 빠른 해역인 수로부근에 위치한 정점에서의 평균입경은 0.524858mm~0.915099mm 평균입경의 대표 값은 0.702222mm로 나타나 이 해역은 coarse sand가 우세한 경향을 나타내었으며, 삼천포 신항 내측에서의 평균입경은 0.004465mm (very fine silt)~0.497925mm (coarse sand)의 범위이며, 평균입경의 대표 값은 0.022375mm로 나타나 이 해역은 medium silt로 나타났다. 한편, 신항리 인근해역에 위치한 정점에서의 평균입경은 0.020660mm (medium silt)~0.199160mm (fine sand)의 범위이며, 평균입경의 대표 값은 0.064659mm의 veryfine silt로 나타났다. 이상의 결과를 조합해본 결과 이 해역의 표층퇴적물의 평균입경은 0.004465mm (very fine silt)~0.915099mm (coarse sand)의 범위에 속하며 다양한 분포를 보이고 있으며, 전반적인 평균입경의 대표 값은 0.204983mm (fine sand)로 나타났다(마산지방해양수산청, 2001).

## 제4장 수치모형의 검증 및 적용

### 4.1 모형의 개요

본 연구에서는 구조물 건설 해역의 해황을 재현하기 위하여 삼천포 신항과 대방항을 중심으로 남해동부와 통영서부를 포함한 일대해역을 영역으로 구축하였다. 방파제 건설 및 재배치로 인한 환경변화가 우려되는 대방항 및 삼천포 신항 해안선을 따르는 요소의 한 변의 길이를 20m 내외로 설정하였고, 최대면적은  $900\text{m}^2$  이내로 제한하였다. 관심영역 밖으로 향하면서 육지의 간격을 20, 40, 60, 90, 125, 150m간격으로 가변적으로 설정하였다. 유한요소의 면적은 900, 5,000, 60,000, 100,000,  $350,000\text{m}^2$  이하로 제한하였다. 전체 계산영역은  $50 \times 30\text{km}$ 이며, 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, 주요 4대 분조 값과 2007년 8월 1일부터 9월 2일까지의 바람을 외력으로 사용하였으며, 삼천포 인근지역의 외력을 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 발생할지 모를 에러에 대비하여 여유분으로 두어 결과 값을 출력하지 않았다. Table 4.1에 수치실험의 개요를 정리하였다.

Fig. 4.1에 계산영역의 유한요소망 및 수심도를 제시하였다. PT-1, 2 지점인 삼천포 구항과 맥전포항에서 조위 값을 검증하고, S1~S4지점에서 최대유속

값을 검증하였으며, C1~C4에서 연속 조류관측 값을 검증하였다.

Table 4.1 Summary of model simulation set up

Items	Simulation conditions (Before/After construction)	
	Whole simulation condition	Cal. area
Mesh scheme		Element:22052 Node:13116 /Element:22051 Node:13146
Cal. Time		30days(+3 margin day)
Wind wave	South boundary	Wave height 0.5m Wave period 4sec
	Wind	Wind speed and wind direction (2007/08/01 ~ 2007/09/02)
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	

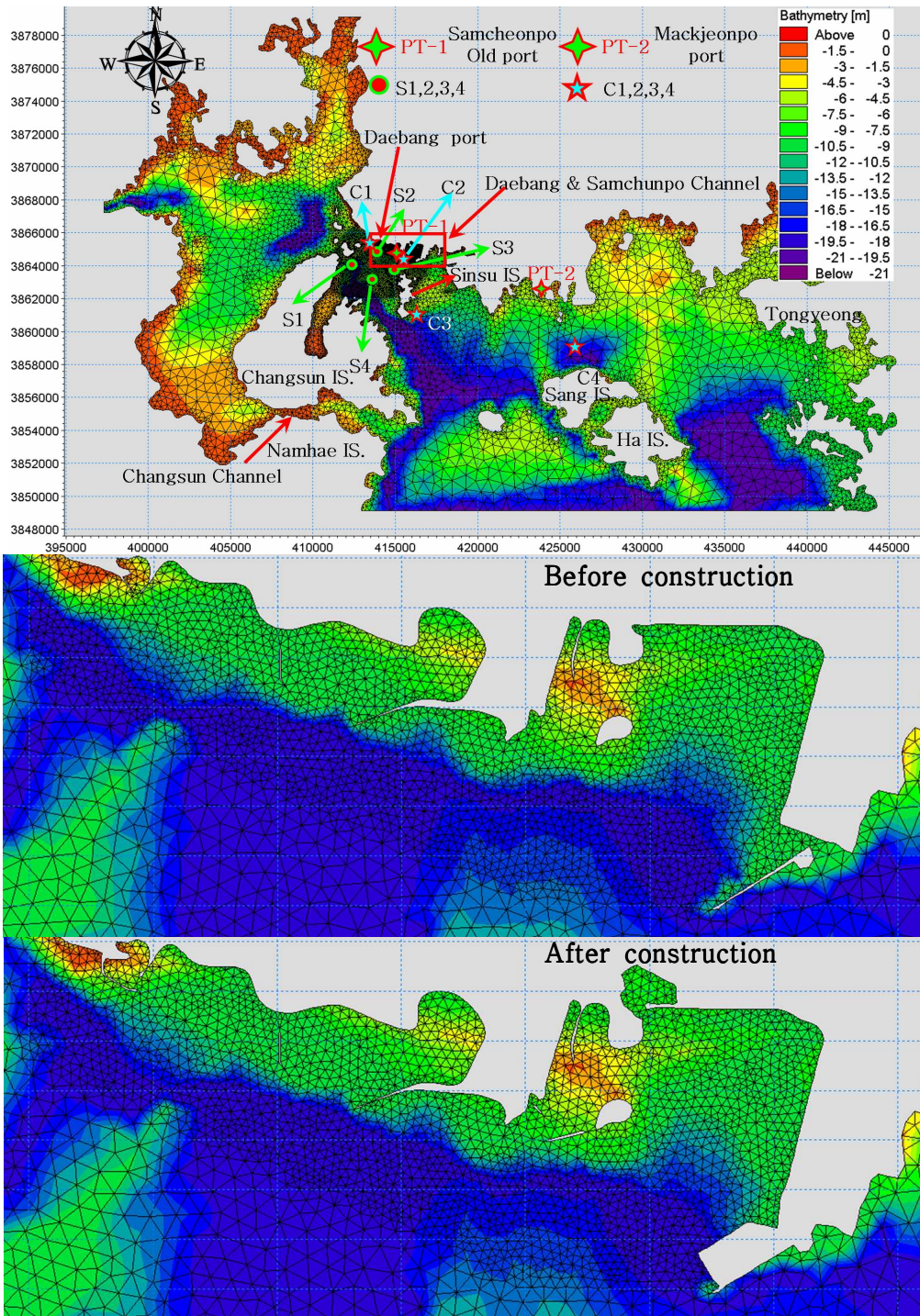


Fig. 4.1 Bathymetric chart, flexible mash, and comparison points

#### 4.1.1 해수유동 안정조건

Courant-Friedrich-Lévy (CFL) 수는 천해역에서 주로 안정조건을 벗어나는 경우가 많으며 가변 유한 요소망을 만들어 수치실험을 실행하고, 실행후 CFL 안정조건이 위배되는 유한 요소망 또는 육지인근의 요소망에서 주로 에러가 발생하며, 에러가 발생된 요소 인근지역에 유한요소법칙이 위배되는 영역을 수정해야 한다.

양적 scheme이 안정하기 위해서는 다음 식을 만족해야 하고, 일반적으로 CFL 수는 1미만이어야 안정성이 확보 될 수 있다. 매 계산 시간 스텝사이 에 어떠한 변수를 운반한 거리  $U\Delta t$ ,  $V\Delta t$ 가 이산 폭인  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ 를 초과할 수 없음을 의미한다.

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |U|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |V|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (2.30)$$

$$CFL_{AD} = |U| \frac{\Delta t}{\Delta x} + |V| \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (2.31)$$

시산간격  $\Delta t$ 의 범위는 0.1~5sec초 사이 값을 가변적으로 사용하였다.

#### 4.1.2 파랑 지배방정식의 안정조건

$$CFL_{SW} = \left| c_x \frac{\Delta t}{\Delta x} \right| + \left| c_y \frac{\Delta t}{\Delta y} \right| + \left| c_\sigma \frac{\Delta t}{\Delta \sigma} \right| + \left| c_\theta \frac{\Delta t}{\Delta \theta} \right| \quad (2.39)$$

여기서,  $c_x$ ,  $c_y$ ,  $c_\sigma$ ,  $c_\theta$  : 파의 군속도의 전파

$\Delta x, \Delta y$  : 특정 길이

$\Delta\sigma, \Delta\theta$  : 방향 및 주파수의 이산 간격

$\Delta t$  : 시간간격

풍파의 지배방정식 또한 Courant-Friedrich-Lévy (CFL) 수가 1 미만이어야 한다.

## 4.2 수치모델의 검증

해수유동 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해서 삼천포 구항과 맥전포항에서 관측된 조위 값을 조위 분해한 4대 분조 값을 이용하였다. PT-1 지점은 삼천포 구항이고, PT-2 지점은 맥전포 항이다. 대방항 전면, 대방수로와 삼천포수로(Fig. 4.1) 인근지역의 최대 조류속을 검증하기 위하여 해양조사원에서 과거 관측된 값을 S1~S4 지점에서 비교였다. 또한 C1~C4지점은 연속조류관측에 의한 결과 값을 이용하여 수치 실험 후 유속을 동서방향 성분과 남북방향 성분으로 나누어 비교해 보았다(PT, S, C 위치도 Fig. 4.1).

### 4.2.1 조위 검증

조위 값의 검증은 Fig. 4.2에 비교하였고, Fig. 4.3에 결정계수  $R^2$  값을 산정해본 결과 삼천포 구항의 조위 값은 건설 전 0.973 바람영역을 고려한 경우는 0.974 건설 후에는 0.972 바람영역을 고려한 경우 0.973을 나타내고 있으며 맥전포항의 경우 건설 전후 모두 0.988과 바람영역을 고려한 경우 0.989로 실제 조위 값과 수치 실험의 조위 값이 매우 일치하는 것으로 나타났다.  $R^2$  값은 1.0인 경우 완전히 일치하는 값이다.

검증결과는 매우 잘 일치하나 바람영역을 고려한 경우가 관측 치와 더욱 유사한 결과 값을 보이고 있으며, 주 관심영역으로 요소망의 간격이 더욱 조밀한 삼천포 구항 영역은 요소망의 간격이 느슨한 맥전포항 보다 관측 치와 일치 정도가 다소 떨어지는 것이 확인 되었으나, 실제 해역현황을 재현하기에는 정도가 충분히 확보되었다고 판단되며, 시행 착오법에 의한 조위입력조건의 보정은 만족할 만한 성과를 보이고 있는 것으로 사료된다.



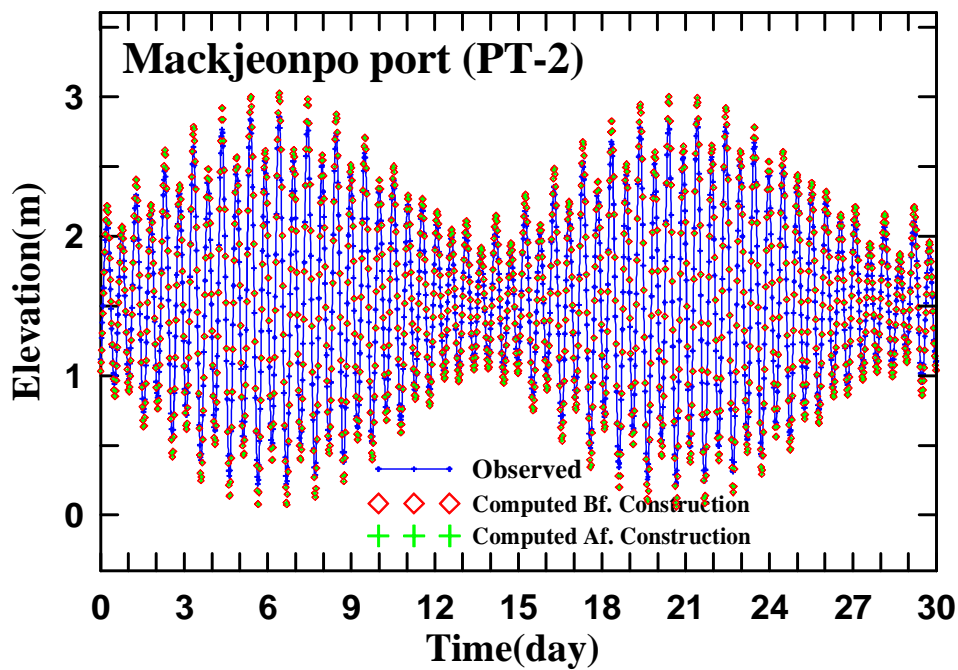
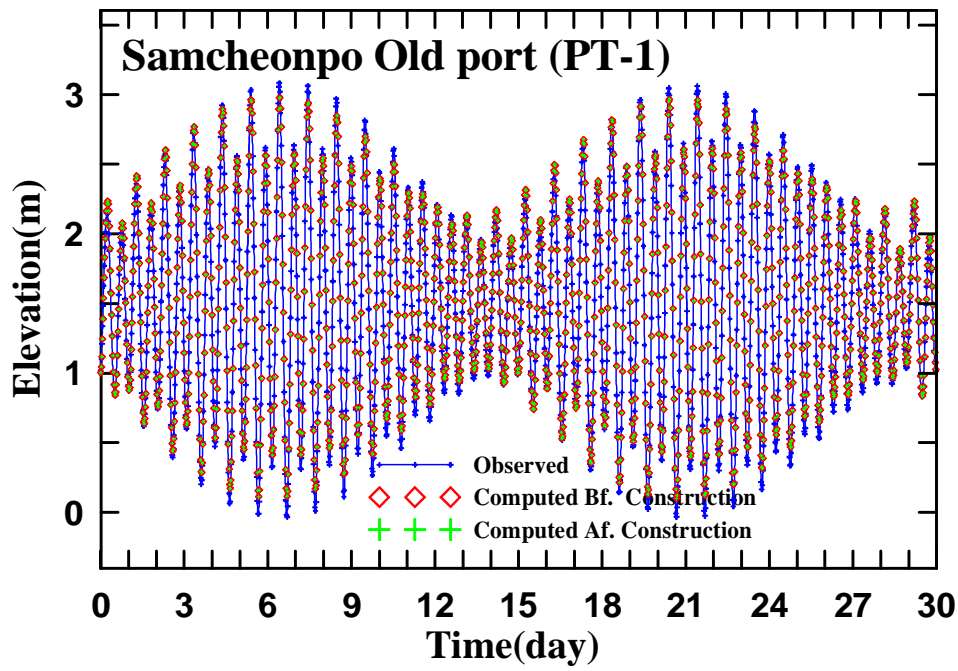


Fig. 4.2 Time series of surface elevation

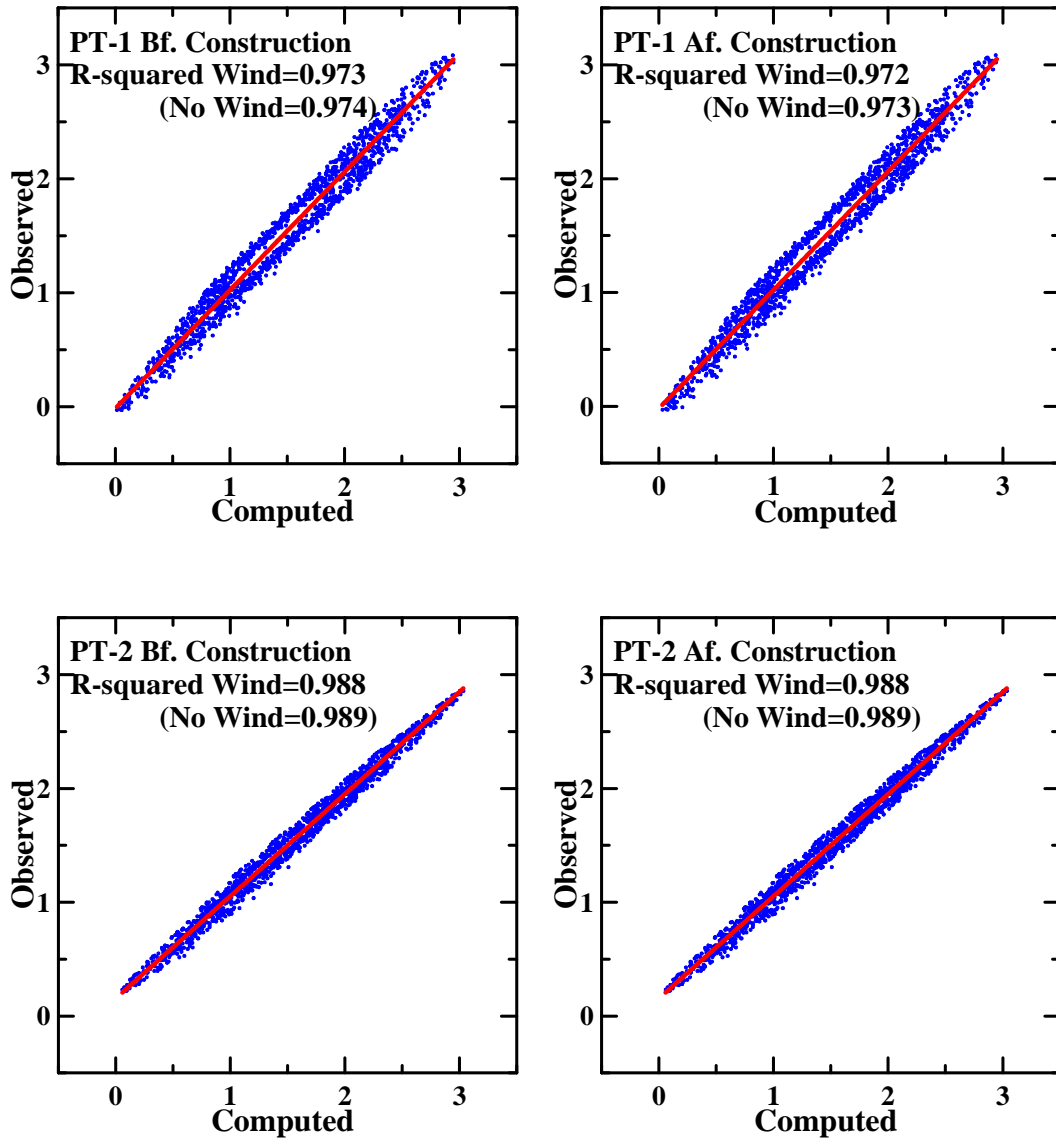


Fig. 4.3 Coefficient of determination at PT-1 and PT-2

#### 4.2.2 최강 조류속 검증

해양조사원(NORI)의 과거 S1, S2, S3, S4 지점에서의 조류속 관측결과 (Table 4.3)와 실험결과를 흐름 패턴을 분석해보면 일반적으로 낙조류가 지배적인 흐름으로 조사되었다. 그러나 S2 지점의 경우 창조류가 우세하게 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 주변의 흐름 패턴을 분해본 결과 관측 오류의 의혹이 제기된다.

Table 4.3의 결과를 비교해보면, S1 지점에서 건설 전·후 창조류의 값은 1.70m/s로 같고 건설 전·후 낙조류의 값은 2.24m/s로 같게 나타나고 있으므로 낙조류는 연간 최강 낙조류속인 2.30m/s와 거의 일치하며, 창조류는 관측 값인 2.02m/s 보다 다소 낮게 나타나고 있다. S2 관측 지점의 경우는 관측 값이 창조류가 우세하여 검증하기가 어려우나 건설 전·후 창조류의 값은 1.40, 1.39m/s로 관측인 1.15m/s보다 다소 낮게 해석되었다. 건설 전·후 낙조류의 값은 2.08, 2.02m/s로 관측 값인 1.25m/s와는 상당한 차이를 보이고 있다. 창조류의 경우 S3 지점에서는 건설 전·후 창조류의 값은 0.99, 1.01m/s로 나타나 관측 값인 1.06m/s와 잘 일치하고 있으며, 건설 전·후 낙조류의 값은 1.66, 1.63m/s로 관측 값인 1.56m/s보다 조금 빠르게 나타나고 있다. S4지점의 경우 건설 전·후 창조류의 값은 1.85, 1.88m/s로 관측 값인 1.93m/s와 거의 일치하고 있으며, 건설전·후 낙조류의 값은 2.11, 2.08m/s로 관측 값인 2.14m/s와 비교하여 거의 일치하는 것으로 나타나고 있다.

전반적인 흐름이 낙조류가 지배적이며 연강 최강 조류속과 일치하는 경향을 보이고 있으므로 조류속이 조금 높게 평가되는 경향이 있는 것으로 사료된다. 그렇지만 관측 최강 조류속을 넘는 지역은 S3지역이며 S1, 4 지역은 최강조류속 이하의 조류속을 보이고 있다.

건설전후 유속의 변화를 보면 연구지역 인근인 대방수로와 삼천포 수로에

치한 S2, 3 지역의 경우 건설 전·후, 창·낙조 각각의 차이는 -0.01, -0.06, -0.02, -0.03m/s 만큼 건설 후 낙조류 유속이 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 이는 특정 지점에서 낙조류속이 감소하는 것으로 이후 낙조류의 영역을 비교해 보면 낙조류속이 감소하는 것에 반하여 낙조류의 영역이 넓어지는 것을 확인 할 수 있다. S1, 4 지역의 경우 건설 전·후, 창·낙조 각각의 차이는 0.00, 0.00, 0.03, -0.03m/s로 방파제를 건설하거나 재배치시킨 영역에 비해 유속의 변화가 줄어드는 것을 알 수 있다.

Table 4.3 Survey data of tidal currents by NORI

Survey point N34.93°E128.06° /Survey date	Strongest year Flood /Ebb current(m/s) (Simulation result: Before, After)	Spring tide Flood/Ebb current (m/s)
S1 : 05NH06 N34.92 E128.04° /2005.04.24	2.02 (1.70,1.70)/ 2.30(2.24,2.24)	1.67 / 1.90
S2 : 01SR09 N34.93°E128.05° /2001.06.22	1.51(1.40,1.39) / 1.25(2.08,2.02)	1.25 / 1.03
S3 : 01SR14 N34.92°E128.07° /2001.06.22	1.06 (0.99,1.01)/ 1.56(1.66,1.63)	0.87 / 1.29
S4 : 05NH05 N34.92°128.05° 2005.04.24	1.93 (1.85,1.88)/ 2.14(2.11,2.08)	1.60 / 1.77

### 4.2.3 연속조류 관측성과 비교

유동영역 전반에 걸친 조류속은 해양조사원에서 실시한 연속조류 관측성과와 시뮬레이션 결과를 비교 검증해 보았다. 관측지점은 삼천포 해역에 가까운 순서부터 표기하였다. Fig. 4.1의 05NH-3, 90SC-1, 01SR-1, 01SR-2 지점으로, 편의상 각각 명칭을 C1 ~4로 설정하였다.

조류속을 비교한 그래프는 Fig. 4.4에 도시하였으며, 좌측 그래프는 East-West 방향의 그래프로 양(+)의 유속은 낙조(ebb) 음(-)의 유속은 창조(flood)를 나타내고 있다. 우측 그래프는 South-North 방향의 그래프로 양(+)의 유속은 창조(flood) 음(-)의 유속은 낙조(ebb)를 나타내고 있다.

C1 지점의 경우 EW성분은 낙조의 경우 1.8m/s 정도로 관측 치와 조류의 조화 상수치가 잘 일치 하고 있으며, 창조는 실험치가 느리게 해석되었고, SN성분은 창조는 실험치와 거의 일치하고 낙조의 경우는 실험치가 느리게 해석되었다. 이는 조류의 조화 상수치에 의한 조류속이 창낙조가 대칭인 경향을 보이고 있으므로 관심해역인 C1지점의 유속은 잘 일치하고 있는 것으로 사료된다. C2 지점의 경우 EW성분은 창조는 일치하고 낙조는 실험치가 0.2m/s 정도 느리게 해석되었다. SN성분은 창조치는 일치하고 낙조는 0.25m/s 느리게 해석되었다. C3 지점의 경우 EW성분은 창조가 0.04m/s 빠르게 낙조는 0.05m/s 느리게 측정 되었다. SN 성분은 창조는 일치하고 낙조는 0.2m/s 빠르게 해석되었다. C4 지점의 경우 EW성분은 창조 낙조 모두 0.14m/s 정도 느리게 해석되었고, SN성분은 창낙조 모두 0.03m/s 빠르게 해석되었다.

전체적인 유속의 변화를 살펴보면 본 연구의 관심해역인 C1, C2 지점은 잘 조류 조화 상수 치와 잘 일치 하고 있으나, C3, C4 지점은 다소 불일치하게 해석되어, 정도가 낮은 지역은 mesh 간격이 넓기 때문인 것으로 사료된다.

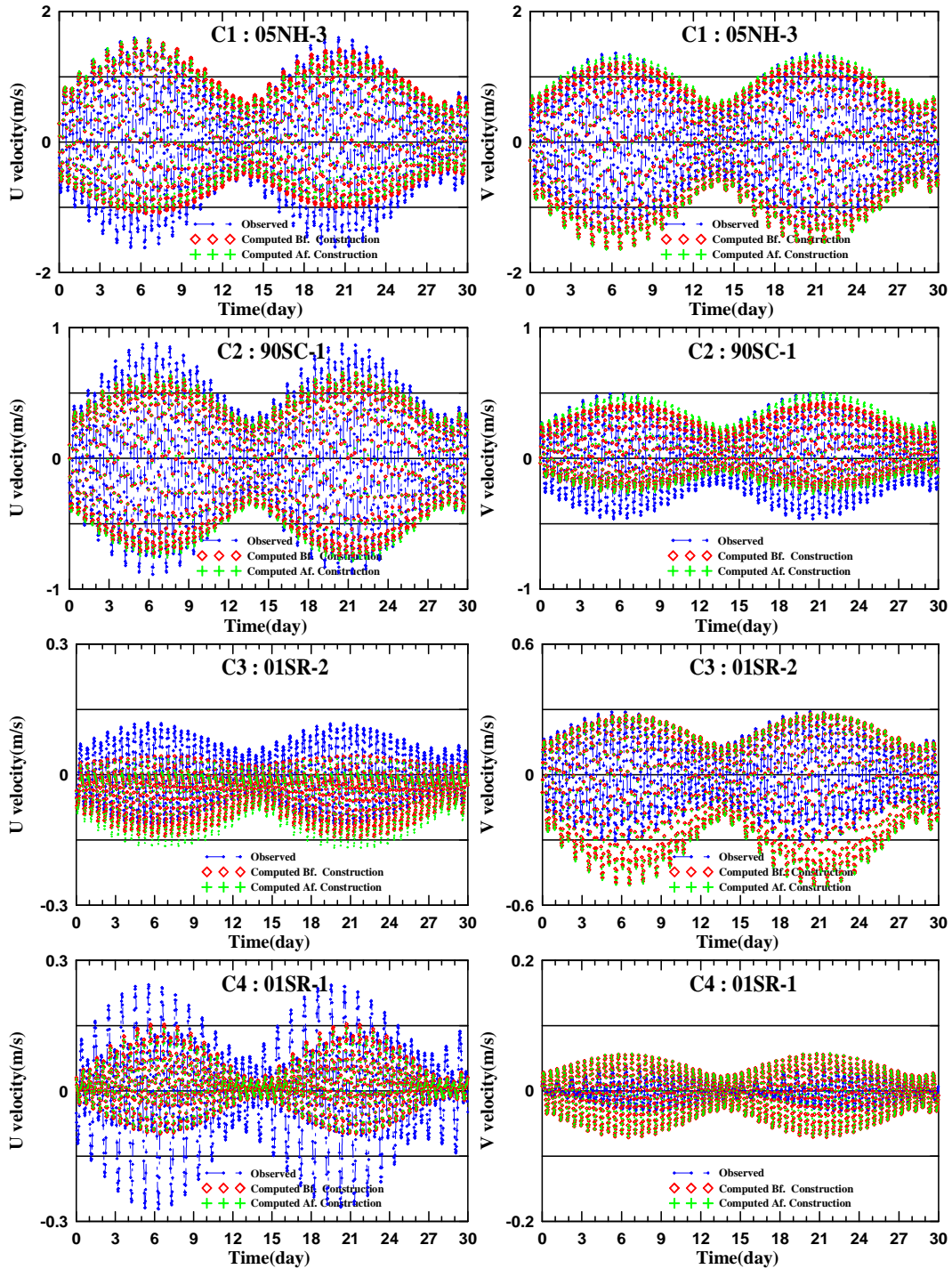


Fig. 4.4 Result of tidal current at C1, C2, C3, and C4

## 4.3 수치모델의 결과

### 4.3.1 해수유동 결과

해양조사원의 관측결과를 토대로 삼천포 해역의 4대분조인  $M_2$ ,  $S_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  분조를 수집하고, 2007년 8월 1일부터 9월 2일 까지 풍속, 풍향 자료를 미공병단의 ACES(Automated Coastal Engineering System) 모형 중 풍속 보정과 파랑 발달 모형(Wind Adjustment and Wave Growth)을 이용하여 관측지점, 풍속관측높이, 기온과 수온의 차이, 관측풍의 지속시간, 최종풍속의 지속시간, 풍향, 위도를 고려하여 보정치 외력으로 사용하였다.

수치 모의된 유동장의 광역 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. 4.5, 4.6). 또한 바람의 영향과 파랑의 영향을 고려한 경우 항내의 유동에 변화를 보이고 있고, 조위만을 고려한 경우에는 항내의 변화는 미소한 것으로 나타났다.

상세역의 조류도(Fig. 4.7, 4.8)를 분석해 보면 대방항의 방파제 건설 전·후 가장 큰 차이는 대방 방파제 전면에서 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.

이상의 결과를 종합해본결과 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 있고, 낙조류가 우세한 지역으로 사료된다.

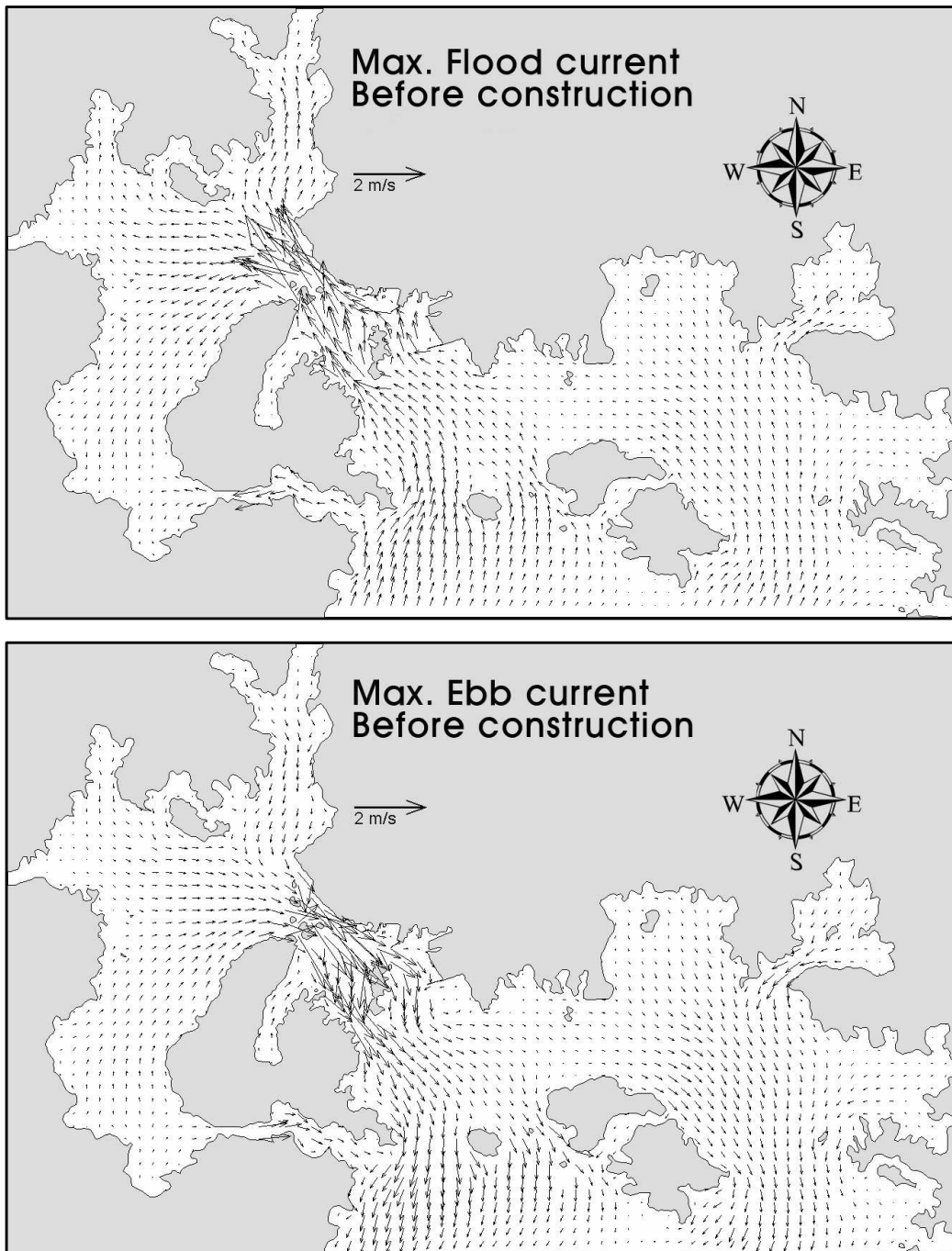


Fig. 4.5 Maximum flood and ebb currents before construction (Pure current)



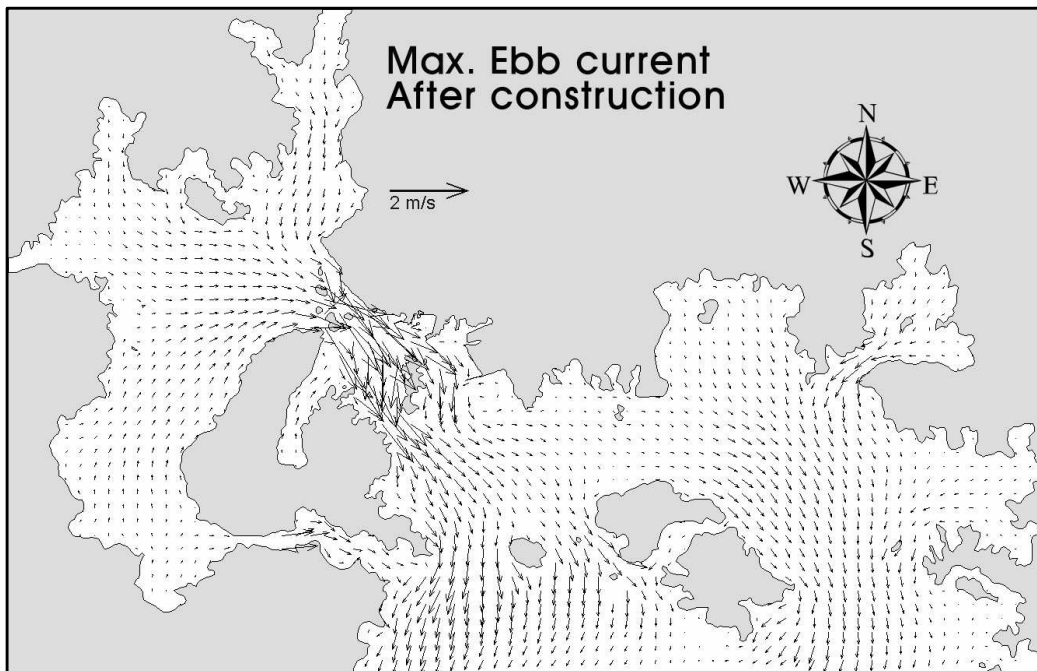
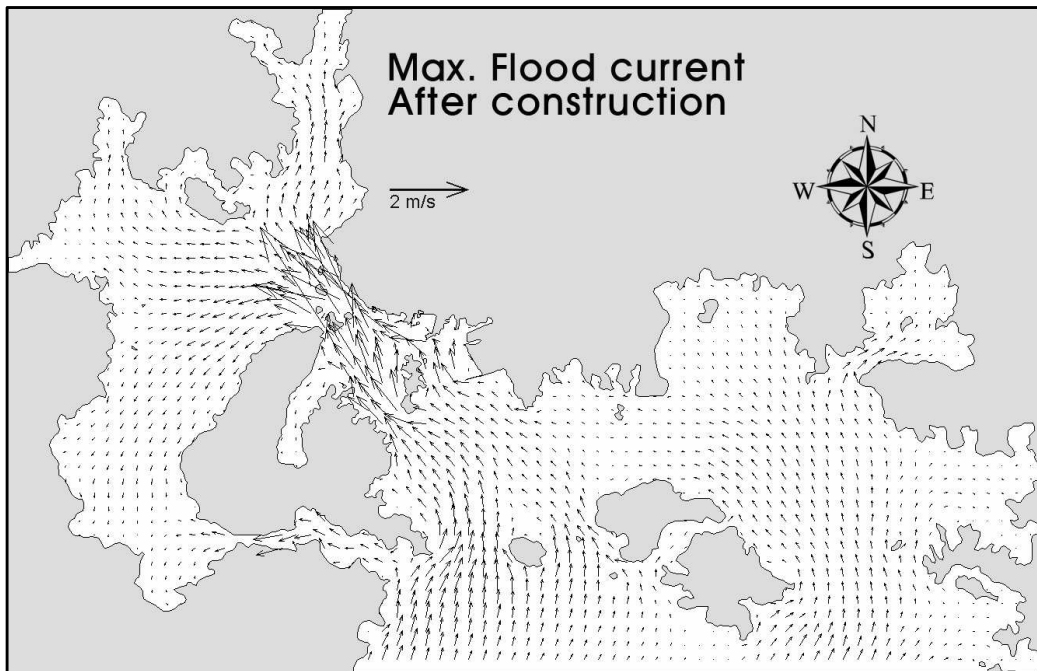


Fig. 4.6 Maximum flood and ebb currents after construction (Pure current)

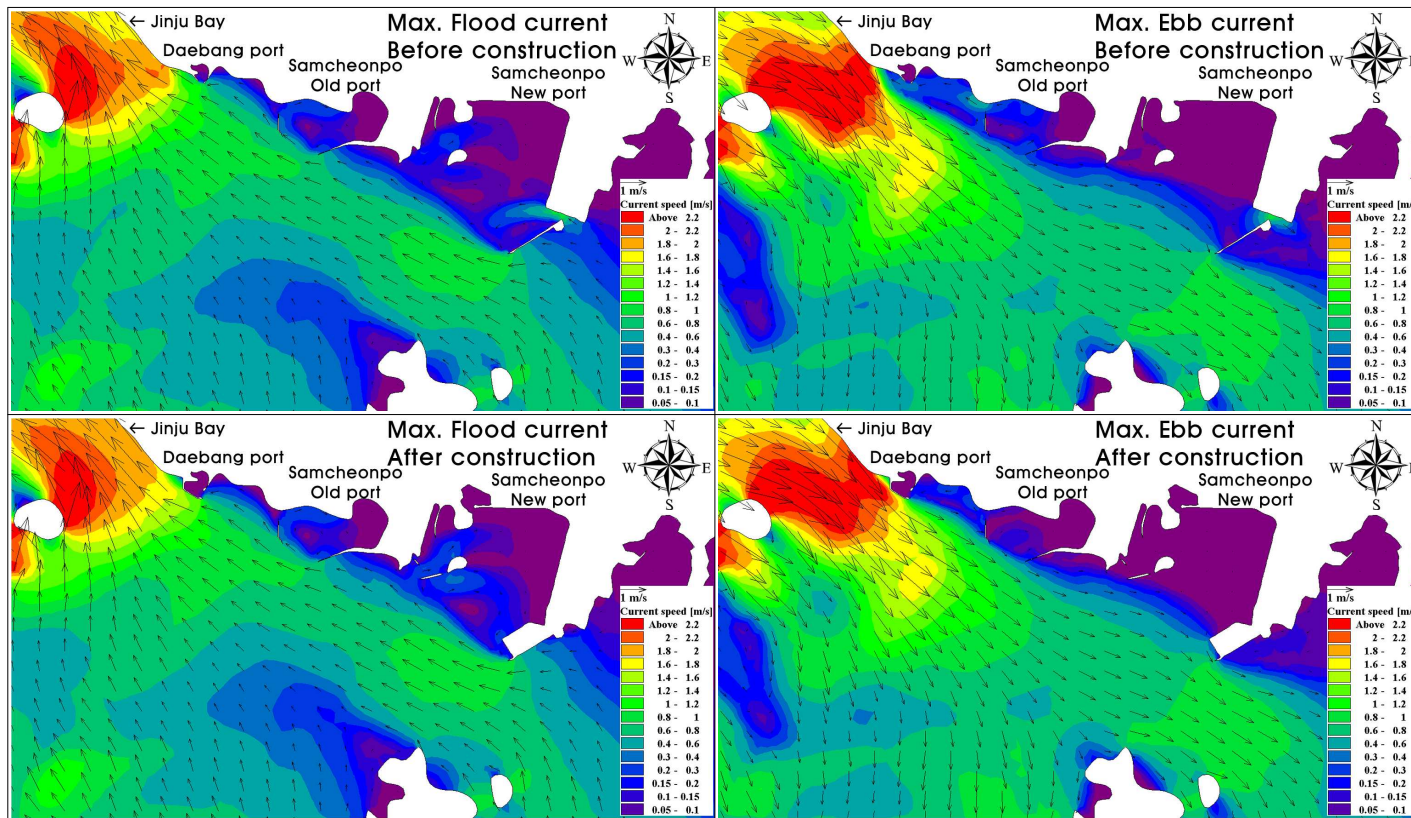


Fig. 4.7 Maximum flood and ebb currents before and after construction (Pure current)

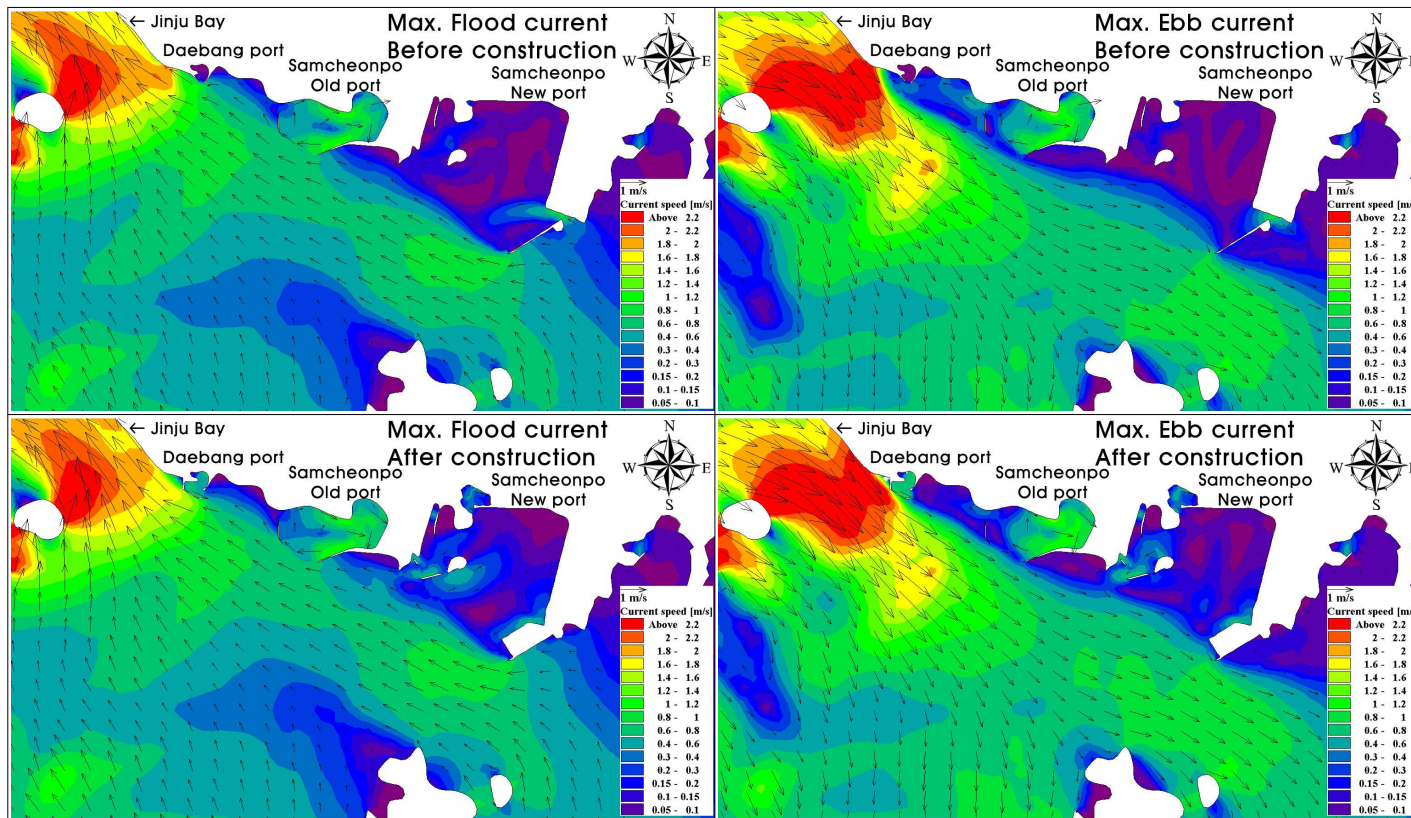


Fig. 4.8 Maximum flood and ebb currents before and after construction (Wind wave and current)

### 4.3.2 유속변화 정도

건설 전·후 유속변화 정도를 파악하기 위하여 대방수로와 삼천포수로 부근을 Fig. 4.9와 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 4.4와 Fig. 4.10~4.13에 나타내었으며, 최강창조류의 경우 순수조류만을 고려한 경우 4개의 구간(section)에서 증가되었다. 유동장, 파동장, 바람의 효과를 동시에 고려한 경우 5개의 구간에서 유속이 증가되었고, 각각의 구간에 대한 평균값을 분석해본결과 각각 4.8, 7.6m/s가 증가되었다. 최강낙조류의 경우 유동장과 파동장을 동시에 고려한 경우 유속이 더욱 증가되었고, 최강낙조류의 경우 유속이 증가되는 구간은 순수조류만을 고려한 경우 3개의 구간에서 증가되었다. 유동장, 파동장, 바람의 효과를 동시에 고려한 경우 5개의 구간에서 유속이 증가되었고, 각각의 구간에 대한 평균값을 분석해본결과 각각 23.9, 32.0m/s가 증가되었다. 낙조류의 경우 대방향 전면의 방파제 건설 후 건설 전 유속의 차이도 크게 나타나고 있다. 이는 창조류의 차이보다 낙조류의 차이가 심해서 외해 방향으로 표사의 이동이 증가할 것으로 예상된다.

유동장, 파동장, 바람의 효과를 동시에 고려한 경우는 다양한 외력으로 인해서 유속의 변화 양상은 복잡하게 변화되어 비교하기가 어렵기 때문에 순수조류의 영향을 통한 유속의 변화를 비교해본 결과 대방향에 방파제가 건설되게 되면 유량이 통과하는 단면적이 감소되어 유속이 건설 후에 증가되고 특히 수로의 상류측과 대방향 전면에서 더욱 증가되는 것을 Fig. 4.10~4.13을 통해서 알 수 있고, 건설현장과 멀어지는 수로중앙부로 갈수록 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 필요성 증가 될 것이다.

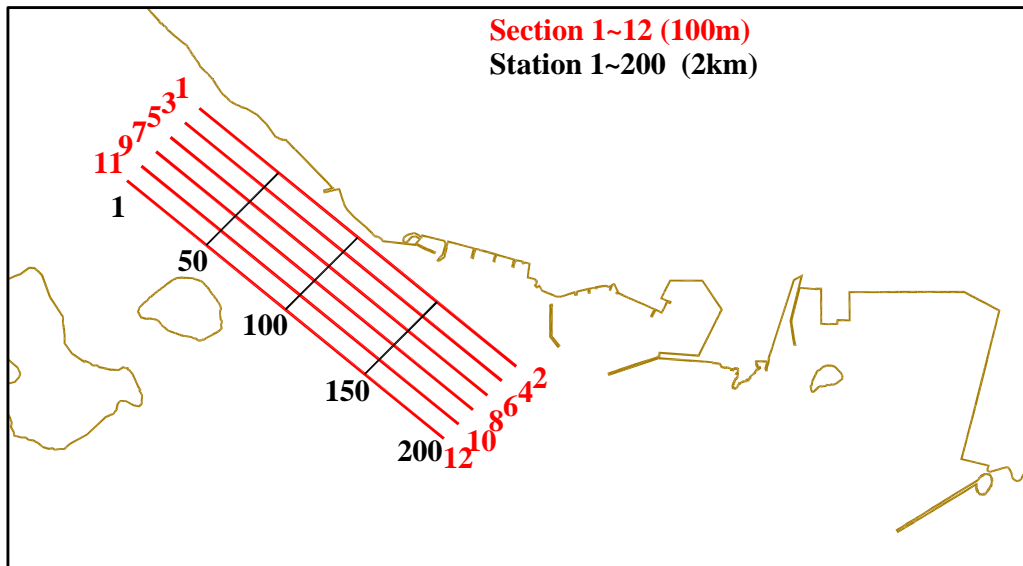


Fig. 4.9 Cross section for the comparison of the calculated currents

Table 4.4 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	Pure current	Speed after construction	3.6	1.4	0.9	0.2	0.3	-1.0	4.8
	Wave and current	- before construction	3.3	1.1	2.0	1.0	0.2	-0.1	7.6
Ebb current	Pure current	Speed after construction	23.3	2.9	-0.3	-1.2	1.9	-2.8	23.9
	Wave and current	- before construction	23.5	3.1	2.0	0.8	3.4	-0.8	32.0

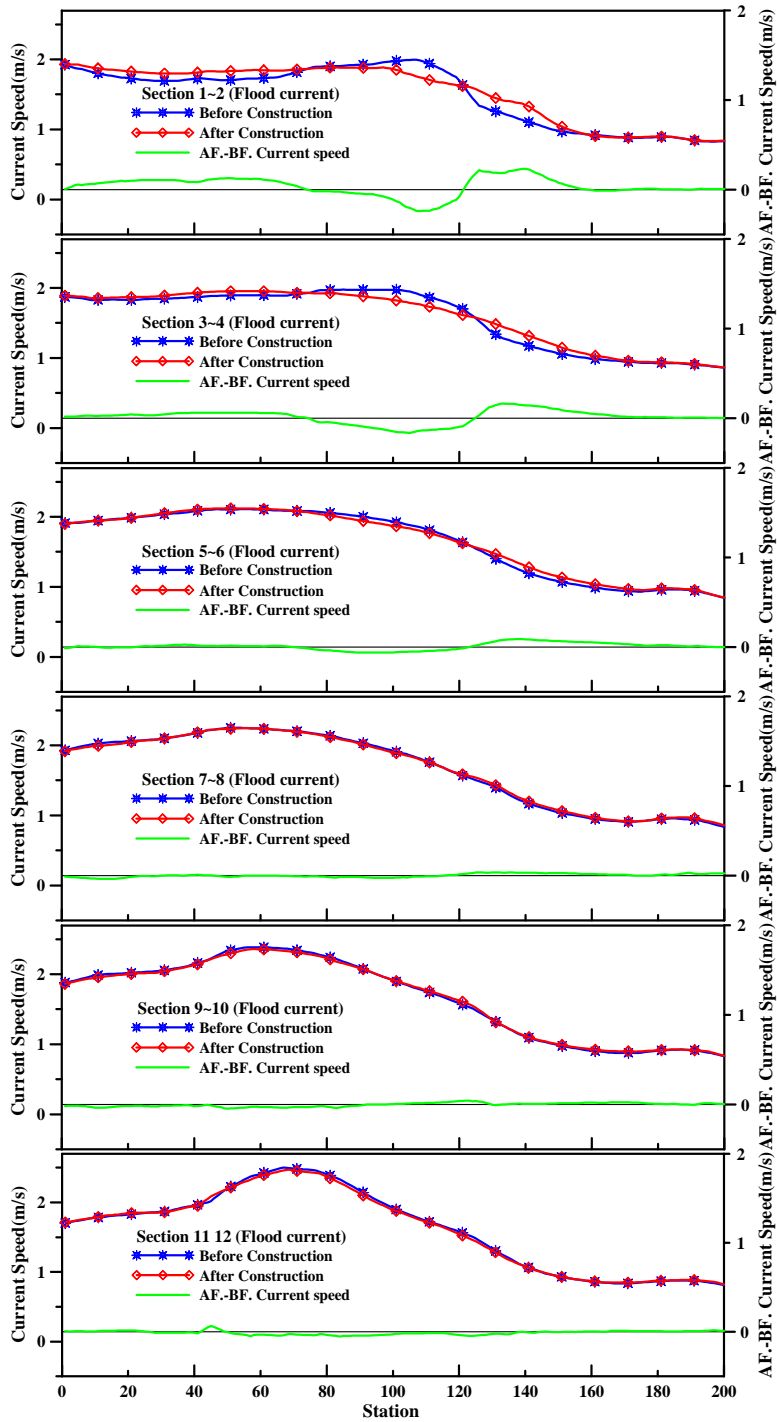


Fig. 4.10 Comparison of flood currents speed before and after construction (Pure current)

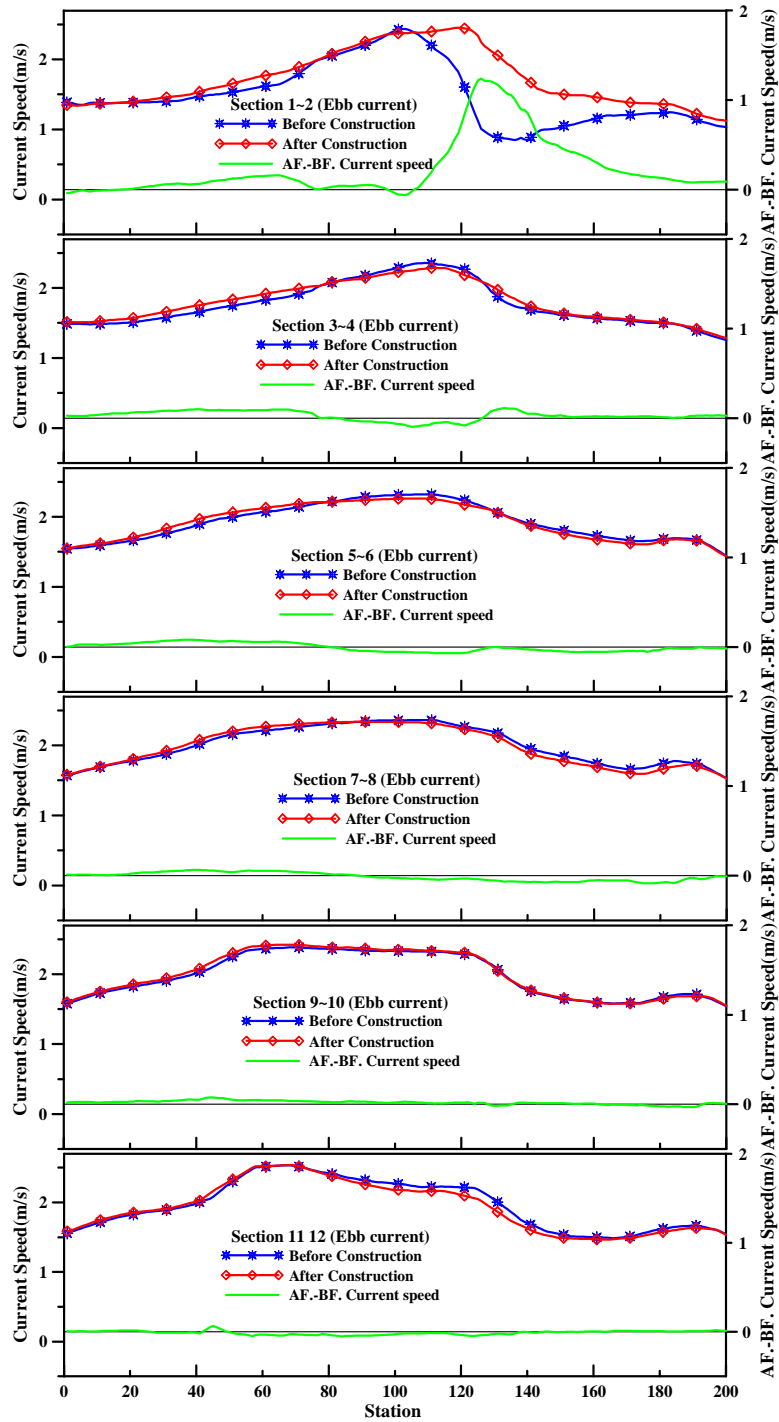


Fig. 4.11 Comparison of ebb currents speed before and after construction (Pure current)

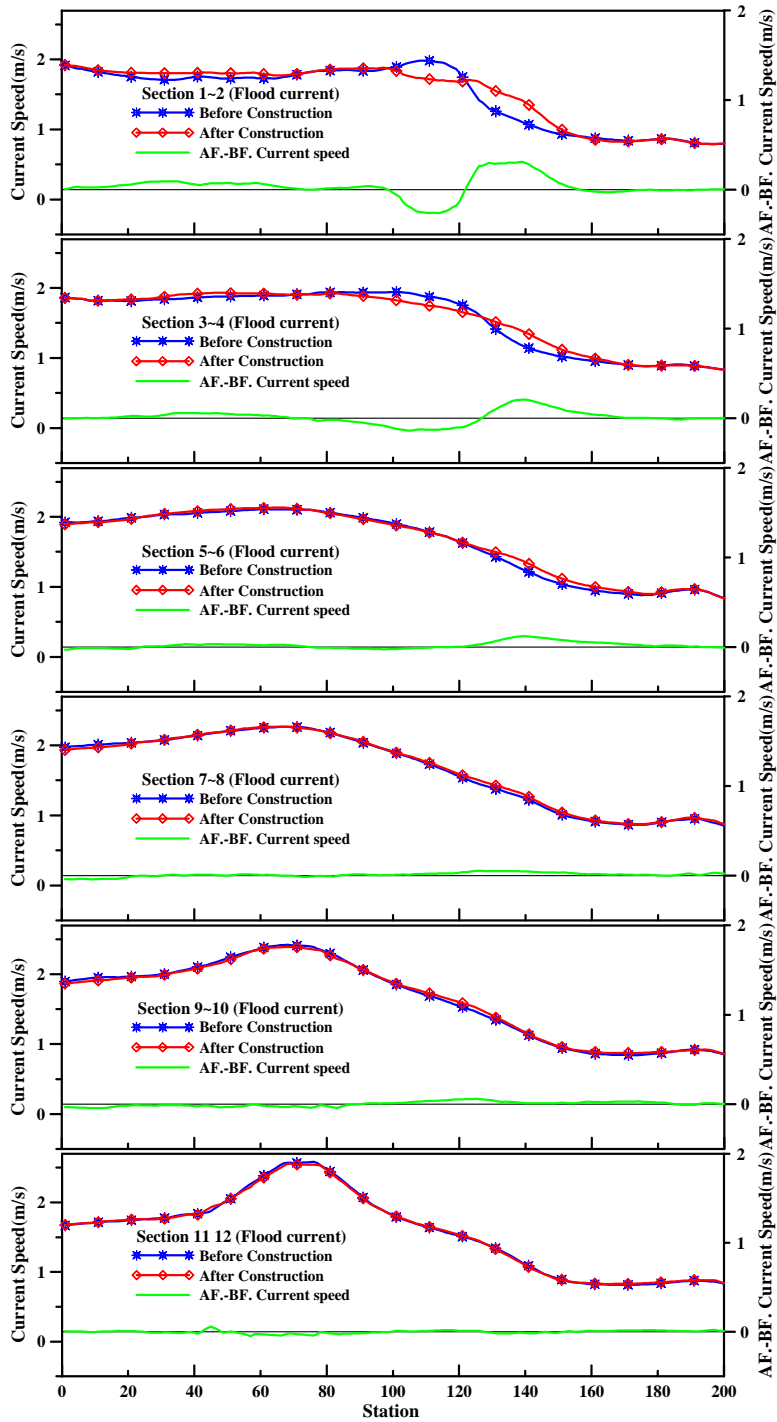


Fig. 4.12 Comparison of flood currents speed before and after construction (Wind wave and current)



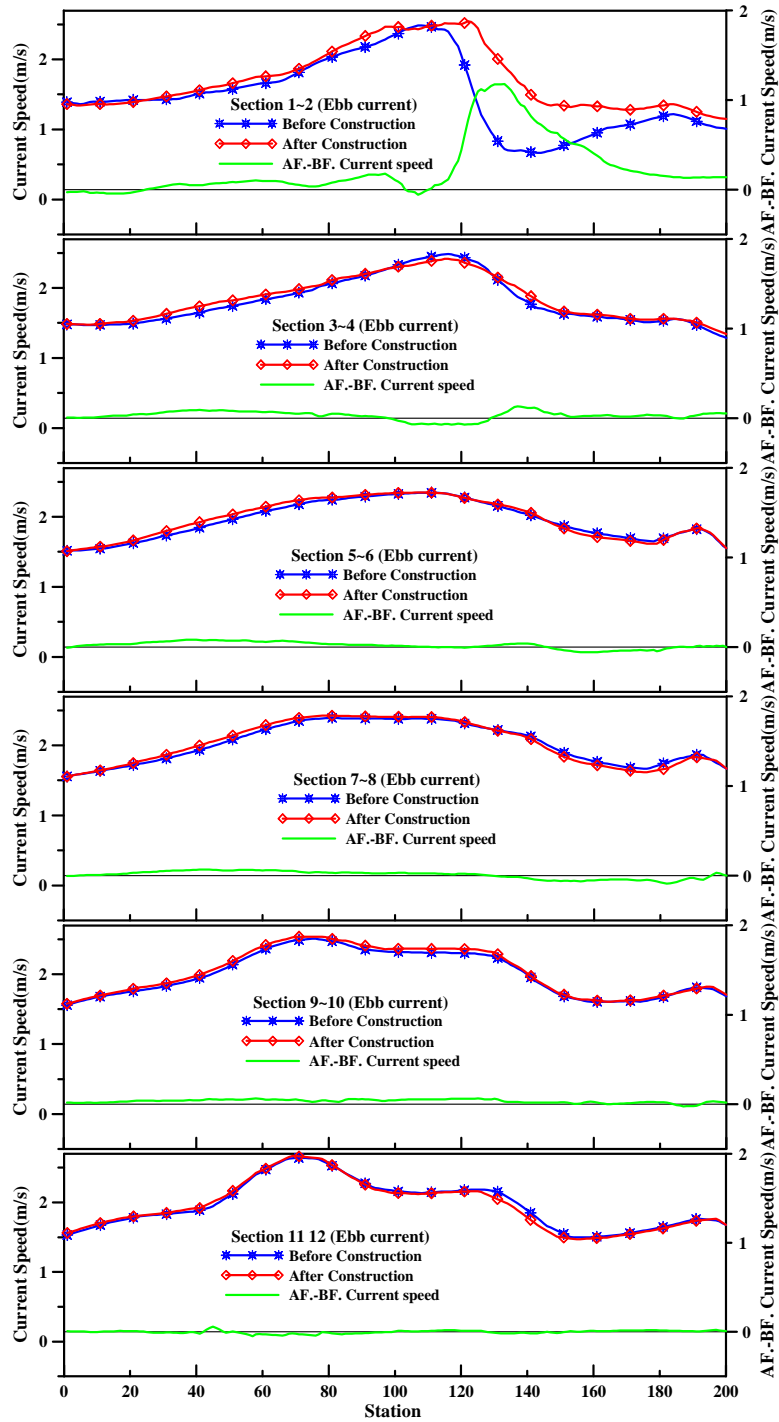


Fig. 4.13 Comparison of ebb currents speed before and after construction (Wind wave and current)

### 4.3.3 풍파성장 결과

삼천포 해역의 2007년 여름철 해역현황을 재현하기 위해서 가장 인근 지역에 위치한 통영기상대의 자료를 조사하여 10분단위로 풍속 및 풍향을 평균하였다. 관측된 위치는 육지에 의지하여 해발 46m에 위치해 있으므로 Fig. 3.5와 같이 해면 10m상의 풍속으로 보정하여 외력으로 입력하였다. 입사파랑은 통계적으로 가장 빈번하게 발생하고 있는 0.5~1.0m의 파랑 중 0.5m의 파고 값과 0.4sec의 주기 값을 이용하여 수치 실험을 수행 하였다.

실험 결과 값은 순수조류의 영향을 고려한 경우의 실험과는 결합하지 않았고, 바람, 파랑, 조류의 영향을 고려한 표사이동 수치실험에 대입하였다. 해수면의 바람응력을 이용하기 위해서 풍속 및 풍향은 후자의 실험에만 입력하였고, 전자에는 조류의 영향만을 검토해보기 위해 바람응력을 무시하고 수치 실험을 수행하였다.

건설 전·후 실험결과인 Fig. 4.14~4.17은 바람이 가장 빠른 8월 14일경의 파동장을 벡터형태로 도시하였다. 대방향 전면에 0.4m이내의 파고 분포를 보이고 있다. 삼천포 신항의 경우에는 방파제를 건설하여 항내로 파고가 내습하지 못하고 있으며, 0.2m이내의 파고 분포로 항내가 더욱 정온한 것으로 사료된다. 전파 특성을 보면 2개의 방파제 사이에서 파랑이 소파되고 있으므로 파랑에너지의 소멸로 인해서 퇴적이 우려된다. 일반잡화부두를 매립하게 되면 신수도를 우회해서 내습하는 파랑에 대해서 차폐효과를 보이고 있어 S계열의 파랑에 대해 항내가 정온할 것으로 보인다. 그러나 잡화부두 내측에 만입된 곳에서는 파랑이 약하고 흐름이 막히는 형상을 하고 있어서 퇴적이 우려된다.

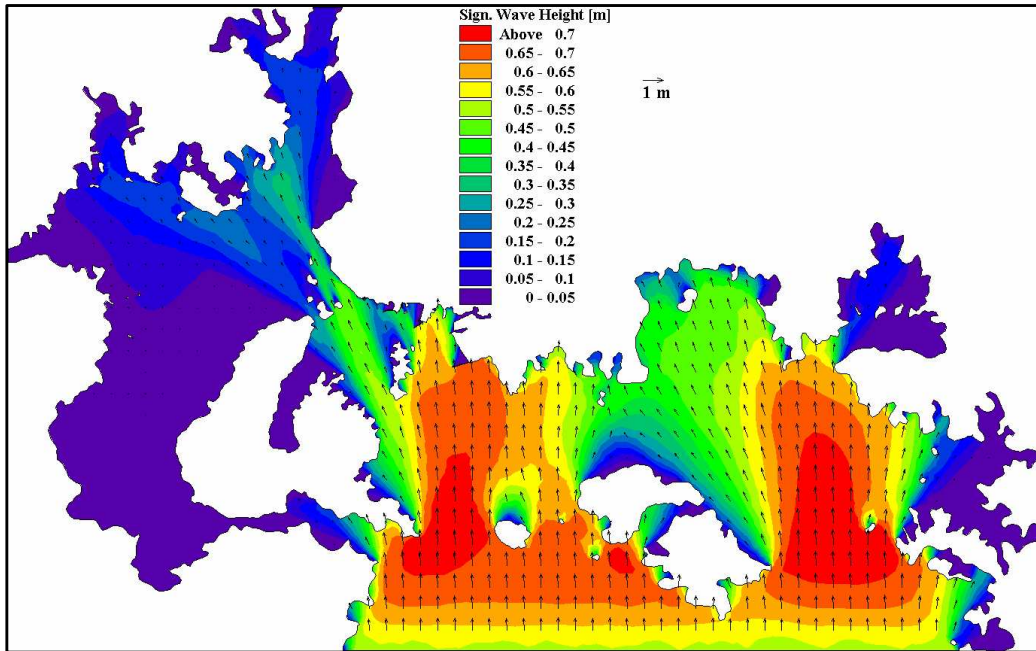


Fig. 4.14 Strongest wave fields before construction

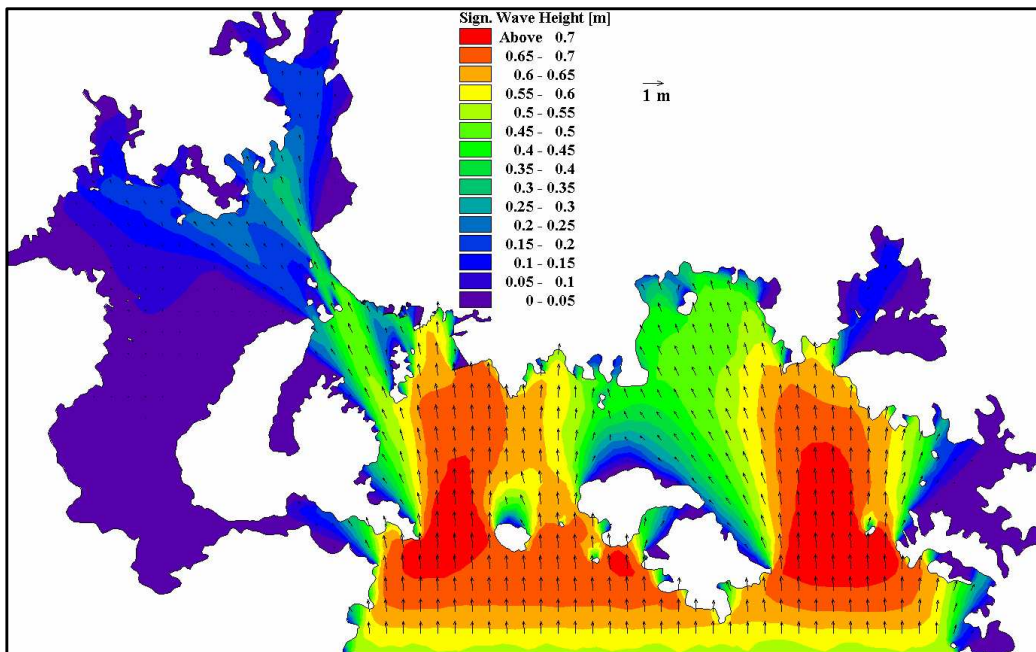


Fig. 4.15 Strongest wave fields after construction

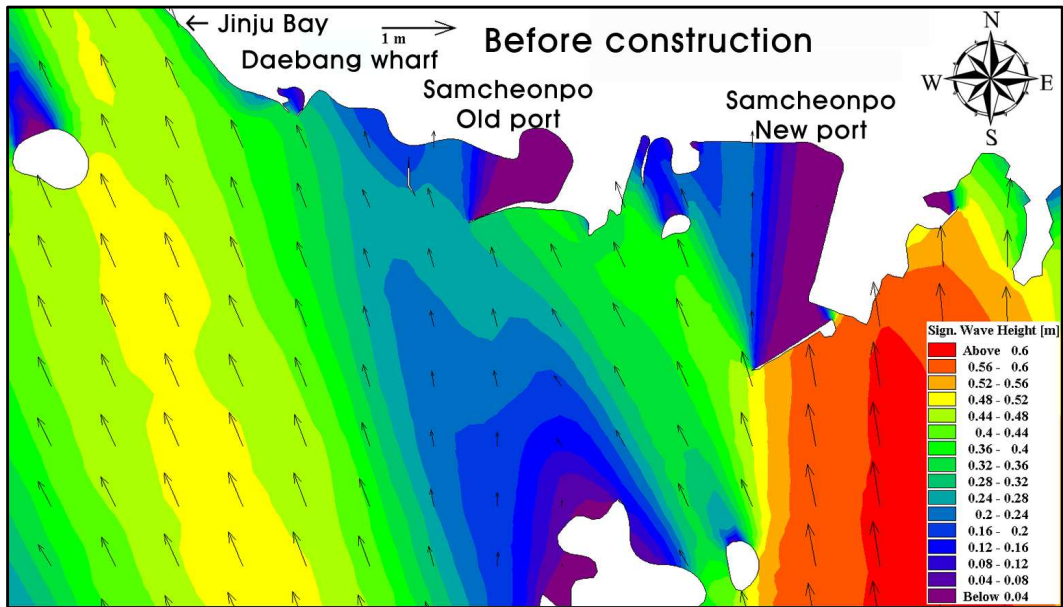


Fig. 4.16 Detail wave fields before construction

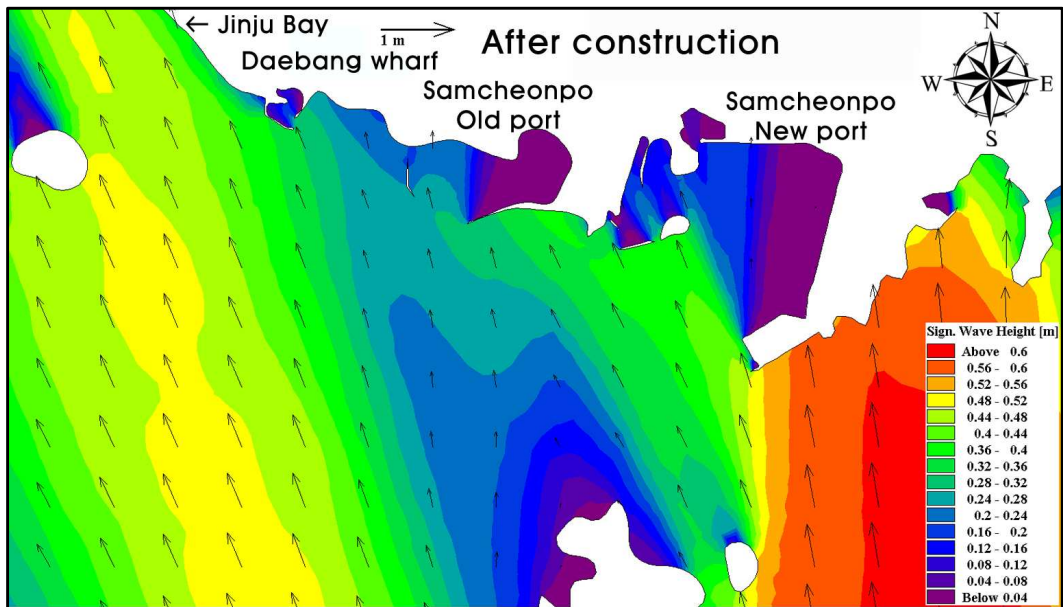


Fig. 4.17 Detail wave fields after construction

#### 4.3.4 표사이동 양상

앞서 해수유동 모의에 의해 유동장을 해석하였다. 유동결과는 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. 4.18~4.19는 순수조류에 의한 수치 실험 결과이며, Fig. 4.20~4.21은 보정된 바람에 의한 파동장이 적용된 경우의 표사이동 결과를 나타내고 있다.

대방수로 전면에서 순수조류에 의한 표사이동 결과는 건설 전에 비해 건설 후 최강유속 작용하는 면적이 증가되어 상류부근에 침식이 증가되는 현상을 보이고 있다. 그러나 바람응력을 고려한 경우는 남풍의 빈도수가 많고, 추가적으로 남풍 중에서 빠른 풍속이 발생한 경우가 많기 바람이 북쪽으로 응력을 발생시키기 때문에 낙조류방향으로 침식되어 쓸려 내려간 표사의 양이 줄어들고 하류에 퇴적되는 양이 적은 것으로 사료된다.

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

삼천포 신항의 잡화부두가 건설되기 위해 신규 안벽의 경우  $37,000\text{m}^2$ 인 장소에  $332,500\text{m}^3$ 을 투기 할 계획이다. 잡화부두로 인해 수로가 사라지고 해역이 줄어들게 되었으나 조류속이 약한 곳으로 침식 및 퇴적의 정도가 적게 나타나고 있다.

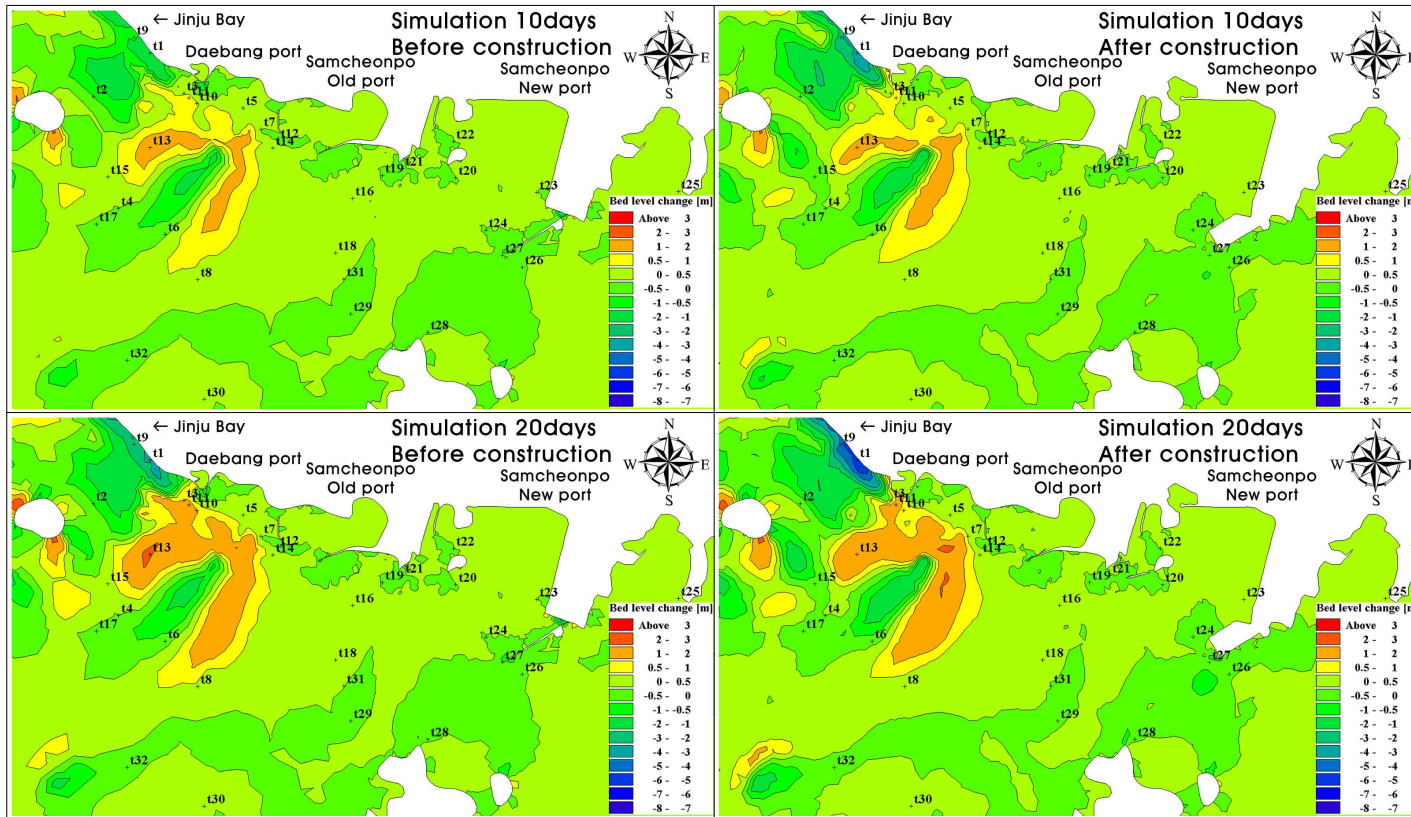


Fig. 4.18 Bottom changes before and after construction for 10 and 20days simulation (Pure current)

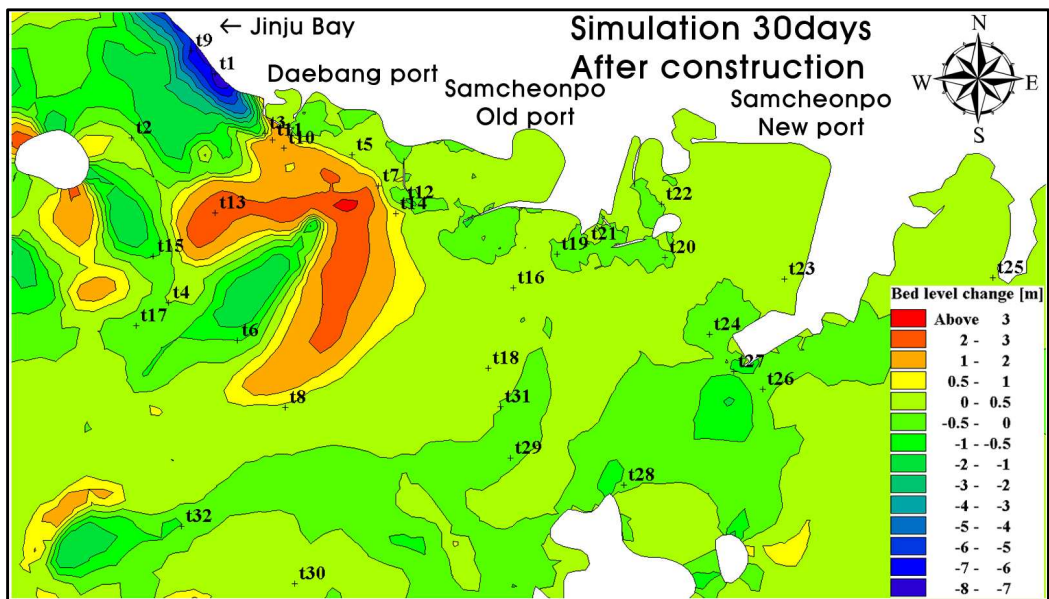
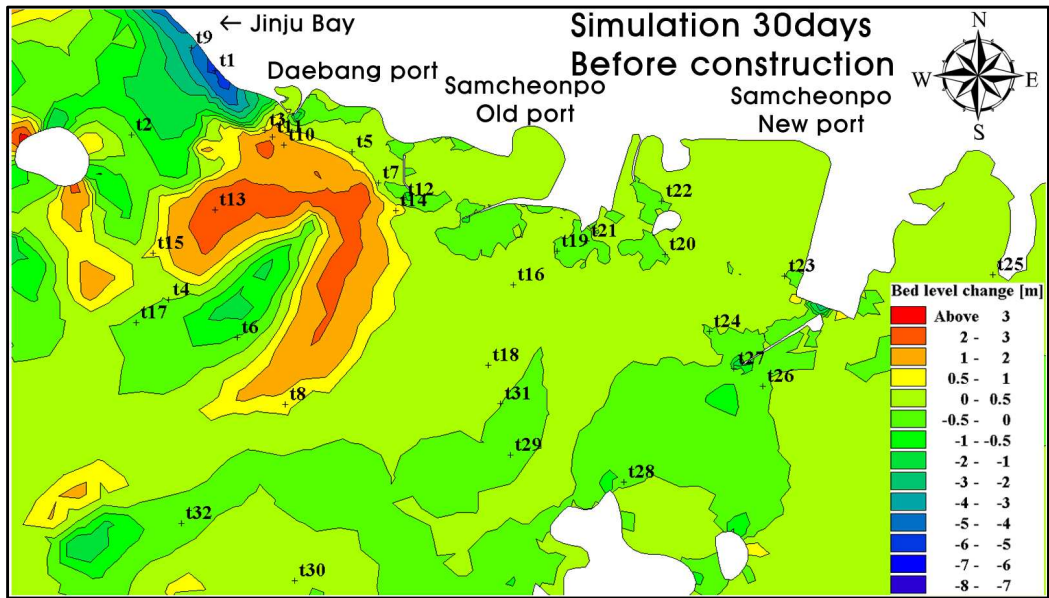


Fig. 4.19 Bottom changes before and after construction for 30days simulation (Pure current)

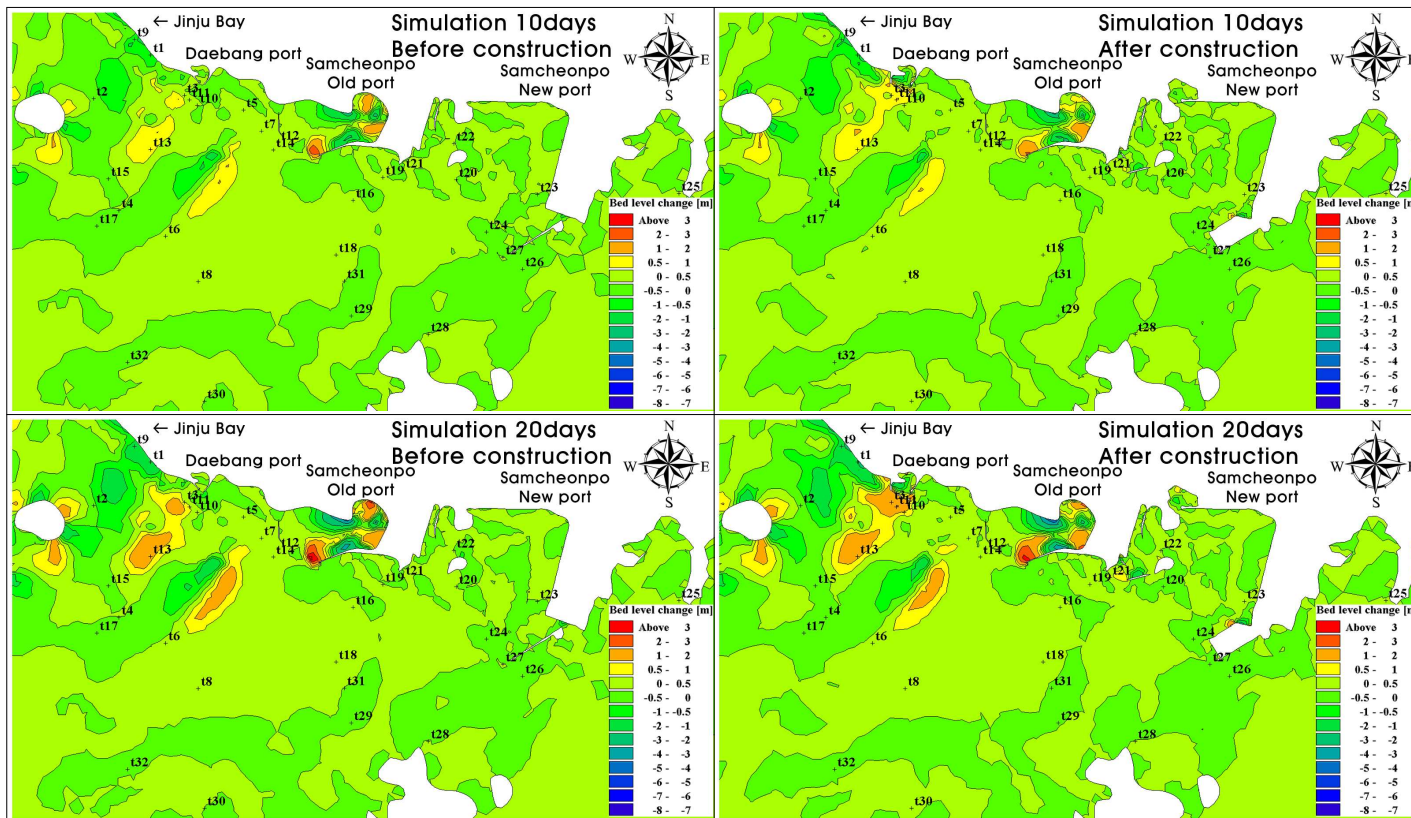


Fig. 4.20 Bottom changes before and after construction for 10 and 20days simulation (Wave current)



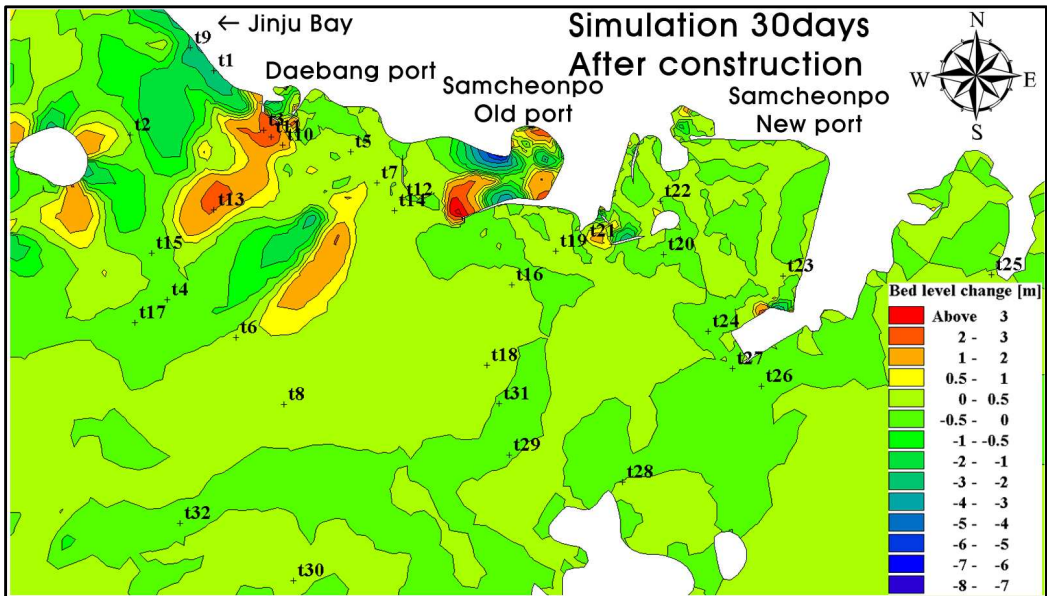
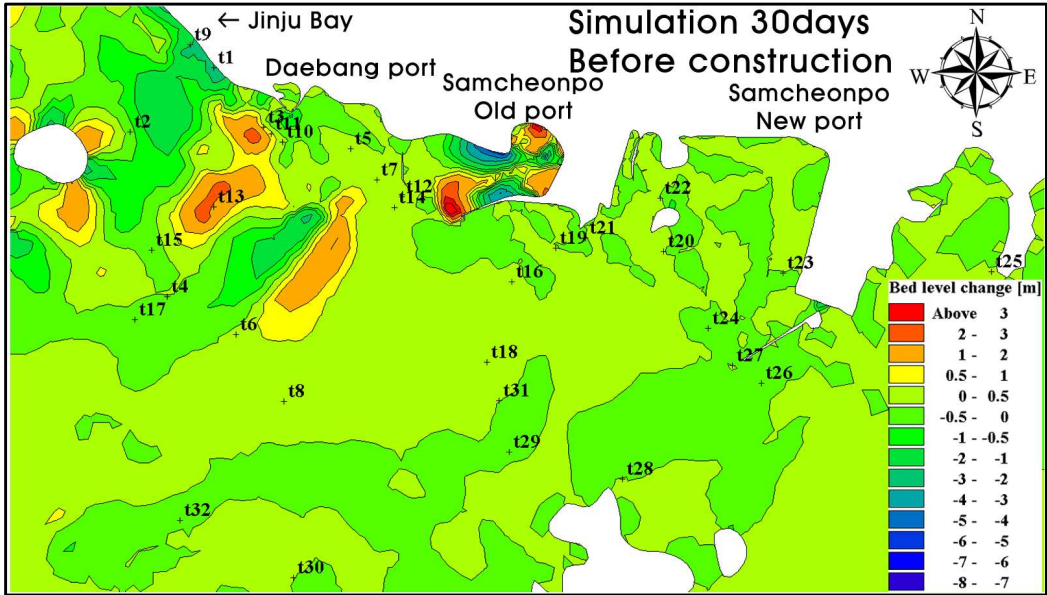


Fig. 4.21 Bottom changes before and after construction for 30days simulation (Wave current)

#### 4.3.5 지점별 저면 변화

수로인근지역에서 침식 및 퇴적이 활발하게 발생하는 ST1~4 지점(Fig. 4.22)을 선택하여 30일 동안 어느 정도 변화되는지 지점별로 분석해 보았다.

Fig 4.23의 ST1 지점은 30일간의 퇴적상황은 순수조류에 의한 영향과 파동장과 유동장을 결합한 경우 모두다 건설 후 퇴적이 증가하였다. 특히 건설 후 파랑에 의해서 외해로의 이동이 줄어들고 대방항 전면에 쌓이는 양이 급격히 증가하고 있는 것을 볼 수 있는데 이는 전면수심이 주변보다 깊기 때문인 것으로 사료된다. 그리고 실험후 14일 경은 남풍의 영향과 소조기의 영향으로 진동폭이 줄어들고 바람에 의해 외해로 쓸려나가지 못하고 있다. 반면 순수조류에 의한 소조기의 침식 및 퇴적의 진폭은 미약하나마 규칙적인 변동을 확인할 수 있다.

외해로 떨어진 ST 2지점은 건설 전·후의 영향으로 인해서 큰 차이를 보이고 있지는 않다. 소조기와 바람의 영향이 작용하는 경우 퇴적이 잠시 지연되는 현상을 보이고 있고, 순수조류에 의한 결과는 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 순수조류의 영향만을 고려한 경우 상당한 침식을 보이고 있지만 바람과 파랑의 효과를 고려한다면 건설 후 차이는 0.4m 이내의 분포를 보이고 있다. 침식은 건설 후에 두 가지 경우 모두 증가하고 있다. 또한 수심이 매우 낮은 지역이므로 흐름장 및 파동장에 매우 민감한 지역으로 판단되며, 직경이 작은 입자들은 매우 빠른 이동이 예상된다.

ST4 지점은 수로 중앙부로서 건설 전에 더욱 많은 침식이 발생하고 있다. 순수조류에 영향만을 고려했을 때 더욱 침식이 증가되는 것을 알 수 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 상류측에서 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.

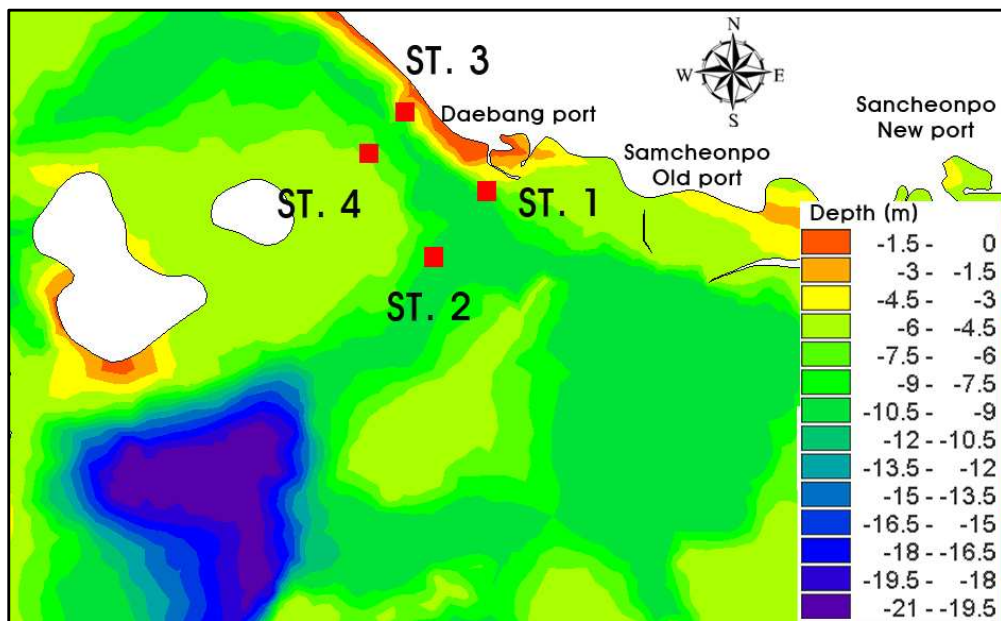


Fig. 4.22 Selected station point for change of bed level

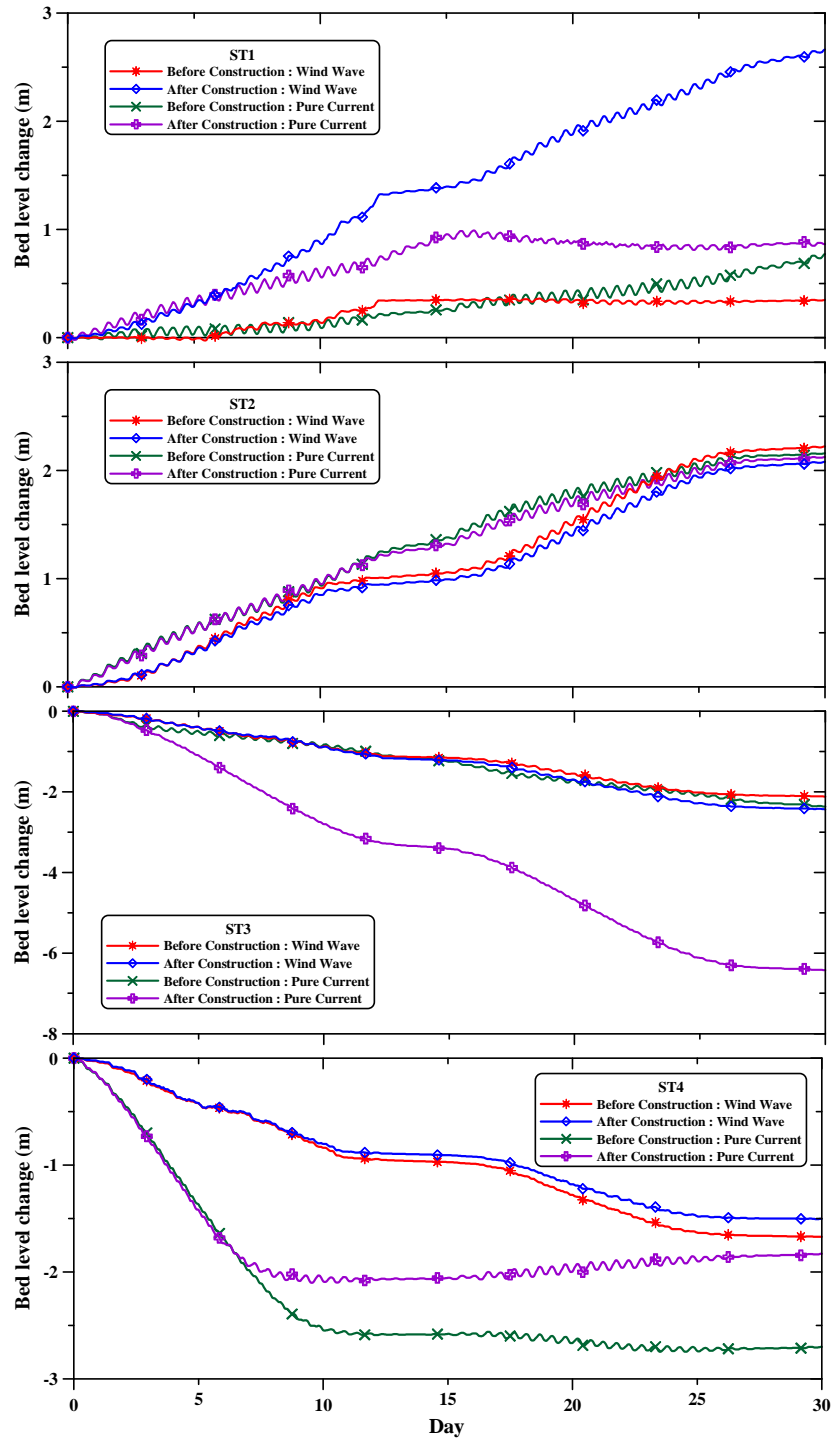


Fig. 4.23 Change of bed level at ST1~ST4

#### 4.3.6 단면별 저면 변화

가장 이동이 심한 지역은 유속이 가장 빠른 대방수로 인근이며, 특히 대방항의 방파제를 407m로 연장 재배치시킬 경우 이로 인해 유속이 증가된 지역의 건설 전·후 양상이 상이한 결과를 나타내고 있다. 삼천포 신항에 건설된 70m, 200m 방파제 두개와 잡화부두의 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. 4.24~4.25).

대방항의 방파제가 재배치되어 건설된 경우 해저 단면변화가 심하게 나타났으므로, 우선 대방항 상류측 단면인 t1~t2 단면의 건설 전·후를 비교해 보면 바람응력 없이 순수조류에 의한 결과는 건설 전 최대 침식이 3.8m에서 건설 후 최대 침식이 5m 까지 발생하였고, 바람응력과 파동장을 고려한 경우는 건설 전 0.9m 발생하던 것이 건설 후 최대 침식이 1.2m로 증가 하였다.

대방항 방파제 전면에서 수로중앙부인 t3~t4 단면의 경우 상류단면인 t1~t2에서 발생된 침식표사가 이동해서 수치모의 기간 동안 퇴적되는 양상을 보이고 있다. 단면의 시점인 지점(station) 0~40지역의 육지측은 순수조류인 경우 건설 후 퇴적이 0.7m 증가되어 발생하였고, 바람응력과 파동장을 고려한 경우 퇴적이 2m 증가하였다. 수로 중앙부인 지점 60~120까지는 퇴적이 발생하였고 수로 중앙에 가까운 지점 200부근에는 거의 변화가 없었다.

하류측인 t5~t6 단면의 경우(대방항과 삼천포 구항사이 영역) 순수조류인 경우 상류 측의 심한 침식으로 지점 0~100사이에는 퇴적이 발생하고, 지점 120~200사이에는 침식이 발생하였다. 바람응력과 파동장을 고려한 경우 지점 60~140사이에는 침식이 발생하나 그 외의 구간은 건설 전·후 기존의 단면과 변

화가 거의 없었다. t1~t6단면보다 하류지역인 외해로 내려오게 되면 수로 단면적이 넓어지고 유속이 줄어들게 되어 조류만을 고려한 경우 상류의 침식표사가 쓸려와 2m정도 쌓이게 되며 건설 후의 경우 더욱 많이 쌓이는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 유동장, 바람응력, 파동장을 동시에 고려한 경우 건설 후에 기존의 단면과 변화가 없고 건설 전이 오히려 침식이 발생하였다.

t5~t6 단면에서 외해방향인 t7~t8 단면은 순수조류와 유동장과 파동장을 결합한 경우 모두다 건설 후 상류에서 쓸려 내려온 표사로 인해서 퇴적되는 지점이 많은 것으로 나타났다. 지점 0~40까지는 육지와 인접해 수심이 얇기 때문에 침식이 발생한것으로 보인다.

육지와 나란한 방향의 단면인 t9~t10은 대방향 상류에서 대방한 전면부로 상류에서 하류로 침식되어가고 있으며, 건설 후 모두 침식이 증가되는 현상을 볼 수 있다. 순수조류인 경우 더욱 많은 침식이 발생하였다.

대방향 전면과 삼천포 구항 전면인 t11~t12단면의 경우 순수조류만 고려한 경우 퇴적현상이 발생하였고, 바람응력과 파동장을 고려한 경우 건설 후가 퇴적이 많은 영역인 0~40 지점이 있지만 대부분 기존의 형상과 일치하고 있다.

서쪽에서 동쪽방향으로 육지 측에 가까운 t13~t14 단면의 경우 역시 바람응력이 없는 경우 상류의 침식으로 퇴적이 증가하였으며, 지점 0~80까지 건설 후 퇴적량이 적고 지점 100~200까지 퇴적량이 증가된 것으로 보아 건설 후 조금 더 많은 양이 하류로 이동되었다. 바람응력과 파동장을 고려한 경우 기존단면과 유사하게 나타나고 있다.

서쪽에서 동쪽방향으로 수로 중앙 측인 t15~t16의 경우 바람응력을 고려하지 않은 경우 불규칙 적어지는 하나 하류로 쓸려 내려가는 양이 많은 것으로 나타났다. 바람응력을 고려한 경우는 전체적으로 침식이 발생하였고, 건설 후가 건설 전에 비해 상류 측에 침식이 많고 하류 측에 쓸려 내려와 퇴적이 증가 하였다.

수로 중앙부인 t17~18의 경우 순수조류인 경우 침식이 많이 발생하나 대방향의 방파제가 재배치된 영역과 상당한 이격거리를 두고 있으므로 건설 전·후의 영향은 미미한 것으로 나타났다. 바람을 고려한 경우는 상류측이 조금 퇴적되었고 하류측은 변화가 없다.

삼천포 신항의 방파제가 각각 70, 200m 건설된 영역은 유속이 줄어드는 영역으로 큰 변화가 예상되지 않으며 변화된 정도는 다음과 같다.

방파제가 설치된 전면 해역인 t19~t20단면은 순수조류의 경우 방파제 우측 끝단에서 건설 전에 침식이 발생하고 건설 후에 퇴적이 발생하였으나 그 양이 미소하므로 무시 할 수 있을 것으로 사료된다. 바람응력을 고려한 경우 방파제 전면에 방파제의 건설로 조류와 바람응력에 의한 이동이 줄어들어 퇴적되는 현상이 보이고 있으나 양적으로 미소한 것으로 나타났다.

70m방파제와 200m 방파제 사이를 가로지르는 단면 t21~t22의 경우 건설 후 형상이 만입되어 바람응력과 파랑이 고려된 경우 상당량이 포집되는 현상을 볼 수 있다. 순수조류의 경우는 방파제사이 방향으로 통과하는 유속이 작으므로 변화가 거의 없으나, Fig. 3. 5에서와 같이 바람이 강하게 북풍이 작용한 경우인 9, 12, 14일의 영향이 크게 나타나고 있다. t23~t24 영역은 건설 후 조류와 바람의 영향이 거의 없이 단면이 일정하다.

그 외 영역으로 단면이 변화되는 영역을 살펴보면, t25~t26 단면은 일반잡화부두가 240m 건설되고 매립되어 수로가 막히게 되어 건설 후에 통과되는 유량이 없어 바람응력이 없는 경우 퇴적되고 바람응력이 고려된 경우 단면이 유지되고, 건설 전은 해수의 유통으로 0.3m 정도 침식되고 있다. 신수도과 잡화부두를 가로지르는 t27~t28 단면의 경우는 건설 후 잡화부두 전면에서 0.5m 정도 침식되고 있다. t29~t30 단면의 경우 바람에 의해 중앙단면에 1m 정도 침식이 발생하고 t31~t32단면의 경우 바람이 고려되지 않은 경우는 변화가 거의 없으나 바람이 고려된 경우 퇴적이 발생하였다.

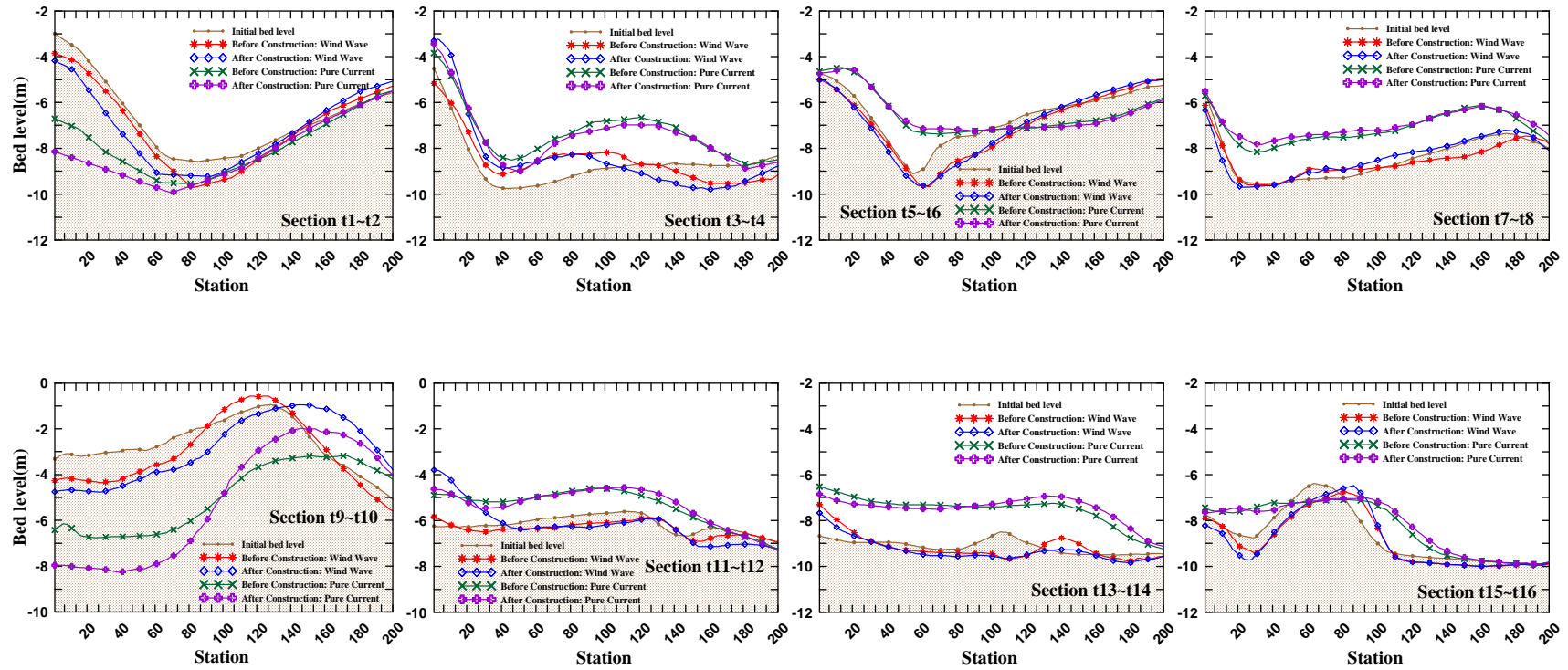


Fig. 4.24 Change of bottom profiles at t1~t16 for 30 days simulation



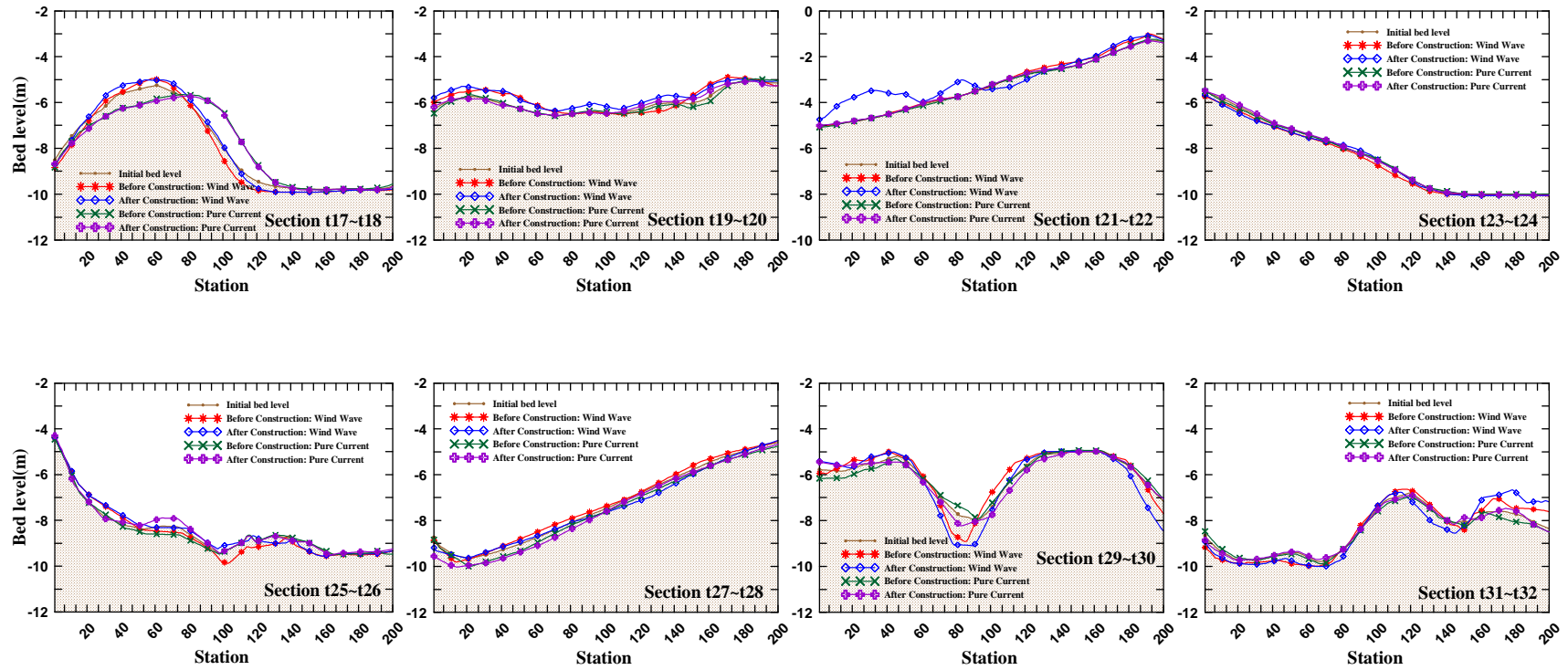


Fig. 4.25 Change of bottom profiles at t17~t32 for 30 days simulation

## 제5장 결론

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 조위값을 비교 검증하였으며, 한 달 동안의 시계열 풍속자료에 의한 풍파 수치모형실험을 통하여 파동장 계산하고, 그 결과인 유동장과 파동장을 외력으로 하여 순수조류에 의한 유동장에 의한 표사이동 수치실험과 유동장과 바람응력 파동장을 결합한 표사이동 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, 여름철 바람 데이터를 미공병단의 ACES로 보정하여 바람데이터로 이용하였다. 평상시 내습하는 빈도수가 가장 많은 파랑을 입사 파랑으로 사용하였으며, 총 33일 간의 해수유동 수치모의를 실시하고, 유동장의 해가 CFL 조건을 만족하여 안정하게 수렴한 후 표사이동 시뮬레이션을 실시하고 30일간의 데이터를 검토 하였다. 크게 순수조류의 영향을 고려한 경우와 조류, 바람, 파랑을 동시에 고려한 2가지 경우에 대하여 건설 전·후에 대한 변화를 분석하였으며 수치해가 수렴하는 최초 2일과 마지막 1일은 여유분으로 결과에서 출력하지 않았다.

구축된 표사이동 모형의 검증은 기존 모형의 안정성에 의지하였고, 모형의 실험 운용에 따라 결과는 크게 상이할 수 있다는 점을 유의 하여야 한다. 또한 본 연구를 통해 유속이 매우 빠른 수로부근에서의 방파제 재배치 및 신규 건설이 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 경우 순수조류와 조류, 바람, 파랑을 동시에 고려한 경우를 비교한 각각의 결과 0.048, 0.076m/s로 미소하게 증가된 반면, 낙조류의 건설 후 증가치는 각각 0.239, 0.320m/s로 수로를 따라서 낙조류가 더욱 증가한 것으로 나타났다. 그 차는 또한 각각 0.191, 0.244m/s 로 나타났다. 파랑과 바람의 영향을 모두 고려한 경우는 순수한 유속의 증가치를 알 수 없으므로 순수조류에 의한 값인 0.191m/s 만큼 낙조류가 더욱 증가한 것을 알 수 있다. 이는 모래이동의 양이 더욱 증가할 것을 추측 할 수 있는 근거가 될 것으로 사료된다.
- 3) 4대분조만을 고려한 경우 조류의 방향만으로 침식 및 퇴적이 발생하고, 당해역의 경우는 낙조류가 우세하여 외해방향으로 침식되어 쓸려 내려가는 양상을 확인 할 수 있었다.
- 4) 여름철을 대표하는 2007년 8월 1일~9월 2일까지 약 한달 간의 바람자료를 미공병단의 ACES모형으로 보정한 풍속과 가장 빈번하게 발생하는

파랑을 입사파로 적용시킨 결과 풍향이 남풍인 경우가 많고 최대풍속이 발생하는 날 또한 남풍의 영향을 받아 순수조류에 의한 결과의 해안 단면보다 남쪽으로 표사가 밀려가는 현상이 감소되는 것을 확인 할 수 있었다.

- 5) 최강유속이 발생하는 대방향의 방파제 재배치, 삼천포 신항 방파제의 신규 건설, 잡화부두의 건설 및 매립 후를 비교한 결과, 수로에 인접한 대방향의 경우에 방파제를 확대 재배치가 수로의 단면적을 축소하는 형상을 보이면서 빠른 유속이 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 방파제와 인접한 해안선을 따라서 변화가 큰 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 마산지방해양수산청(2001), “삼천포항 수치모형 실험 보고서”
- 마산지방해양수산청(2002), “삼천포(대방)항 정비 기본 및 실시설계보고서”
- 마산지방해양수산청(2005), “삼천포신항 안벽축조 기본 및 실시설계보고서”
- 박선중(2005), “목포해역의 조석환경 변화에 따른 소류사 및 부유사 이동 특성 분석”, 목포대학교 석사학위논문
- 신승호 외(2006), “초대형 부유구조물 배후의 파랑 및 해빈류 계산에 관한 고찰”, 한국항해항만학회 제30권, 제2호 추계학술대회논문집, pp. 51~56
- 이정만(1998), “천해역에서의 해빈류 예측”, 동아대학교 박사학위논문
- 조철희(2007), “조류발전 특성과 국내외 기술개발 동향”, 한국태양에너지 학회지, 제6권, 제1호, pp. 9~16
- 치 테드 양(2007), “유사이송 이론과 실무”, 청문각, pp. 179
- 한국해양연구원(2005), “전해역 심해설계과 추정 II”
- 해양수산부(2006), “전국무역항 항만기본계획 수정계획 보고서”
- Aupoix, B.(1984), “Eddy Viscosity Subgrid Scale models for Homogeneous Turbulence, in Macroscopic Modelling of Turbulent Flow”, Lecture Notes in Physics, Proc. Sophie-Antipolis, France.
- Battjes, J.A. and J.P.F.M Janssen.(1978), “Energy loss and set-up due to breaking of random waves”, Proc. 16th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, pp. 569~587
- David, A. Leenknecht, Andre S., and Ann R. Sherlock(1992), “Automated Coastal Engineering System Technical Reference”, US Army Coastal Engineering Research Center.
- Eldeberky, Y. and J. A. Battjes.(1995), “Parameterization of triad

interactions in wave energy models”, paper presented at Coastal Dynamics Conference, ASCE., Gdansk, Poland.

Engelund, F. and Hansen, E.(1967), “A monograph on sediment transport in alluvial streams”, Teknisk Forlag, Danish Technological University, Copenhagen, Denmark.

Geernaert, G. L. and Plant, W.L.(1990), “Surface Wave and Fluxes. Volume 1 - Current theory”, Kluwer academic Publishers, The Netherlands.

Hasselmann, K.(1962), “On the nonlinear energy transfer in a gravity-wave spectrum, Part 1, General theory”. *J. Fluid Mech.*, 12, pp. 481~500

Hasselmann, K.(1974), “On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping”, *Bound. Layer Meteor.*, 6, pp. 107~127

Horiuti, K.(1987), “Comparison of Conservative and Rotational Forms in Large Eddy Simulation of Turbulent Channel Flow”, *Journal of Computational Physics*, 71, pp. 343~370

Janssen, P.A.E.M.(1989), “Wave induced stress and the drag of airflow over sea waves”, *J. Phys. Oceanogr.*, 19, pp. 745~754

Janssen, P.A.E.M.(1991), Quasi-linear theory of wind wave generation applied to wave forecasting, *J. Phys. Oceanogr.*, 21, pp. 1631~1642

J. Smagorinsky(1963), “General Circulation Experiment with the Primitive Equations”, *Monthly Weather Review*, 91, No.3, pp. 99~164

Leonard, A.(1974), “Energy Cascades in Large-Eddy Simulations of Turbulent Fluid Flows”, *Advances in Geophysics*, 18, pp. 237~247

Lilly, D. K.(1966), “On the Application of the Eddy Viscosity Concept in the Inertial Subrange of Turbulence”, NCAR Manuscript No. 123 National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado.

Lumley, J. L., and Panofsky, H. A.(1964), “The Structure of Atmospheric Turbulence”, Wiley, New York.

UNESCO(1981), "The practical salinity scale 1978 and the international equation of state of seawater 1980, UNESCO technical paper in marine science, 36

WAMDI Group(1988), "The Wam model-A third generation ocean wave prediction model", J. Phys. Oceanogr., 18, pp. 1775~1810

Wu, J.(1980), "Wind-stress Coefficients over sea surface and near neutral conditions - A revisit", Journal of Physical. Oceanography, 10, pp. 727~740

Wu, J.(1994), "The sea surface is aero dynamically rough even under light winds", Boundary layer Meteorology, 69, pp. 149~158