

工學碩士 學位請求論文

부산 북항 재개발에 따른 유동장 및
해수교환 변화 수치모의

*Numerical Simulation of Flow Field and Water Exchange
on the Redevelopment of Busan North Port*

指導教授 李重雨

2007年 8月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

土木環境工學科

琴東昊

本 論 文 을 琴 東 昊 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 鞠 承 淇 (印)

委 員 工 學 博 士 朴 漢 一 (印)

委 員 工 學 博 士 李 重 雨 (印)

2007年 8月

韓 國 海 洋 大 學 校 海 事 產 業 大 學 院

土 木 環 境 工 學 科

琴 東 昊

*Numerical Simulation of Flow Field and Water
Exchange on the Redevelopment
of Busan North Port*

Dong-Ho Keum

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

Abstract

In connection with redevelopment of Busan North Port, there has been lots of studies and efforts for the development of superannuated North general piers into a center of marine tourism and waterfront for the citizens of Busan. Recently it has moved to the stage of execution, after several trials to find concrete solutions. On the other hand, the change of flow field and tidal exchange caused by redevelopment is one of the important investigation subjects. This study deals with the change of flow field and water exchange after redevelopment using numerical simulation technique, based on the general data which were collected and analyzed. As a result of simulation, the speed of tidal currents are tended to decrease near the North and inner-port and increase at the main waterway. Furthermore, the tidal exchange had a tendency to be small both before and after redevelopment by about 77% in a quasi steady state, which is about 15 days after.

목차

<i>ABSTRACT</i>	<i>i</i>
<i>NOMENCLATURE</i>	<i>iii</i>
<i>LIST OF TABLES</i>	<i>vi</i>
<i>LIST OF FIGURES</i>	<i>vii</i>
제1장 서론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구목적	4
제2장 자료 및 방법	5
2.1 해양관측	5
2.2 실험방법	7
제3장 기본이론 및 수치모델	8
3.1 유동모형	8
3.2 입자추적 모형	12
3.3 해수교환율 계산	23
제4장 수치 모의	24
4.1 개요	24
4.2 광역모형	27
4.3 세역모형	33
4.4 해수유동 변화	40
4.5 입자추적 실험	42
4.6 해수교환율 변화 검토	44
제5장 결론	54
참고문헌	56

NOMENCLATURE

A_H	horizontal heat diffusivity
A_M	horizontal kinematic viscosity (m^2/sec)
B_1	one of the turbulence closure constants
c_s	speed of sound
C_r	Courant number
C_T	maximum internal gravity wave speed
D_E	Eckman depth
f	Coriolis parameter
g	gravity acceleration
G_x, G_y	dispersion term
$H(x, y)$	total depth
I, J, K	horizontal grid index and vertical grid index
K_H	vertical diffusivity (m^2/sec)
K_M	vertical kinematic viscosity (m^2/sec)
l	turbulence length scale
n	present time step
$n+1$	future time step
P	pressure
P_{atm}	atmospheric pressure
P_r	Prandtl number
R	short wave radiation flux
R_i	Richardson number
S_c	Schmidt number
S_M, S_H	function of a Richardson number
S	salinity(psu)
T	potential temperature (K)
t	time

t_0	reference time
U, V	velocity in x, y direction
\bar{U}, \bar{V}	depth-averaged U, V velocity
U_{\max}	maximum advective speed
\bar{V}	horizontal velocity vector (U, V)
\tilde{W}	wall proximity function
W	velocity in z direction
x, y, z	each computational direction on cartesian coordinate
$\Delta x, \Delta y$	grid size in x, y direction
Δz	vertical grid size in cartesian coordinate
Δt_E	external mode time step (sec)
Δt_I	internal mode time step (sec)
Δt	time step interval
u_r	friction velocity
τ_x, τ_y	wind shear stresses in x, y direction
ω	velocity component normal to sigma coordinate surface
∇	horizontal gradient
ρ	density of sea water
ρ_0	reference density
$\Delta \rho$	difference between density of sea and reference density
σ_t	Prandtl number or Schmidt number
$\Delta \sigma$	vertical grid size in transformed coordinate
k	Von Karman constant
η	water surface displacement

x^*, y^*, σ^*	transformed coordinate
q^2	twice the turbulence kinematic energy (m^2/sec^2)
$q^2 l$	$q^2 \times$ the turbulence length scale (m^3/sec^2)
Ω	angular velocity of the earth
Φ	latitude
$\bar{\rho}$	basin area average density

LIST OF TABLES

Table 2.1 Tide harmonic constant	5
Table 4.1 Summary of model simulation set up	26

LIST OF FIGURES

Fig. 1.1 Study area	2
Fig. 1.2 Master plan view of Busan North Port	3
Fig. 1.3 Land use plan	3
Fig. 1.4 Redevelopment plan view of Busan North Port	4
Fig. 2.1 Current observed data for 1month	6
Fig. 2.2 Flow diagram of the this study	7
Fig. 3.1 Flow chart for POM simulation	9
Fig. 4.1 Detail map of study area	24
Fig. 4.2 Grid element of study area	25
Fig. 4.3 Water depth of Study area	27
Fig. 4.4 Maximum flood current	28
Fig. 4.5 Maximum ebb current	29
Fig. 4.6 Compare with observed data and computed data expansion for Yongdo-bridge	30
Fig. 4.7 Current verification curves (wide and narrow)	31
Fig. 4.8 Tide verification curves (wide and narrow)	31
Fig. 4.9 Current velocity curves (Wide model)	32
Fig. 4.10 Mesh and water depth for the narrow region	34
Fig. 4.11 Water depth of before and after development	35
Fig. 4.12 Maximum flood current of before development	36
Fig. 4.13 Maximum ebb current of before development	36
Fig. 4.14 Distribution of maximum flood current velocities before development	37
Fig. 4.15 Distribution of maximum ebb current velocities before development	37
Fig. 4.16 Maximum flood current of after development	38
Fig. 4.17 Maximum ebb current of after development	38
Fig. 4.18 Distribution of maximum flood current velocities after development	39
Fig. 4.19 Distribution of maximum ebb current velocities after development	39
Fig. 4.20 Variation of maximum flood current	41
Fig. 4.21 Variation of maximum ebb current	41
Fig. 4.22 Tide verification curves for 15days	42
Fig. 4.23 Region for the initial particle input for the before and after redevelopment	43
Fig. 4.24 Characteristics of particle movement after 100hours	45
Fig. 4.25 Characteristics of particle movement after 3days	46
Fig. 4.26 Characteristics of particle movement after 6days	47

Fig. 4.27 Characteristics of particle movement after 9days	48
Fig. 4.28 Characteristics of particle movement after 12days	49
Fig. 4.29 Characteristics of particle movement after 3days	50
Fig. 4.30 Characteristics of particle movement after 6days	51
Fig. 4.31 Characteristics of particle movement after 9days	52
Fig. 4.32 Characteristics of particle movement after 12days	53
Fig. 5.1 Comparison of water exchange rate	54

제1장 서론

1.1 연구의 배경

1876년 ‘부산포’란 이름으로 개항한 부산항은 동북항 간선항로상의 지리적 이점과 지속적인 항만서비스 향상을 통해 오늘날 세계 5대 컨테이너 항만이자 3대 환적 중심항만으로 자리매김하였다. 부산항의 이와 같은 놀라운 발전은 개항 이래 줄곧 우리나라의 수출입 관문이었던 북항 일반부두의 눈부신 역할에 힘입은 바 크다고 할 수 있다. 날로 증가하는 부산항 컨테이너 화물을 효율적으로 처리하기 위하여 착수한 부산 신항만 건설로 북항 재래부두의 기능 재편이 필요하게 되었고 이에 따른 북항 재개발 마스터플랜이 수립되었다.

부산 신항만이 개발됨에 따라 북항 재래부두의 기능 재편이 필요하게 되었고 부산원도심 기능회복과 지역경제 활성화의 유도가 절실하게 되었다. 또한 북항의 부두시설의 노후화로 유지보수 비용이 증가됨에 따라 부산 관광의 중심지로 거듭날 수 있는 북항의 워터프론트 조성에 대한 필요성이 대두되었다.

북항 재개발 계획은 부산광역시 중구 및 동구 일원의 연안, 국제여객부두, 중앙부두, 제 1~4부두 일원을 포함하는 면적 1,424,000 m^2 으로 약 43만평에 달한다. 계획기준년도는 2005년이며 계획목표년도는 2020년으로 과업기간은 2005. 12. ~2006. 11까지이다.

북항 재개발은 단지조성 완료단계시인 2020년에 유발인구가 약 1,000만명이 예상되며 활성화 단계에 들어서는 2030년에는 약 1,800만명의 유발인구가 예상된다.

북항 재개발이 진행되면 매립과 여타 다른 지형적 변화의 영향으로 생태계 및 조류와 같은 환경적 변화가 나타날 것으로 예상되기 때문에 이에 대한 연

구가 필연적이 될 것이다. 북항 재개발에 따른 연구가 아직은 미흡하기 때문에 이에 대한 고찰 및 연구를 지속적으로 이끌어내야 할 것이다.

Fig. 1.1은 북항 개발 계획의 사업 대상지역을 나타낸다. 북항은 부산역 전면에 위치하고 있기 때문에 KTX로 이어지는 관광객의 유치의 용이함을 이용할 수 있다는 점에서 위치적인 이점을 가질 수 있다. 또한 2013년에 준공 예정인 지상 107층 500m에 달하는 초고층 건물인 부산 롯데월드가 위치해 있기 때문에 새로운 문화 관광의 중심지로 거듭날 수 있는 가능성이 가장 높은 곳이기도 하다. Fig. 1.2는 개발에 따른 북항의 마스터 플랜의 도시이다.



Fig. 1.1 Study area



Fig. 1.2 Master Plan view of Busan North Port



Fig. 1.3 Land use plan

1.2 연구목적

부산 북항 재개발의 큰 목표는 크게 국제 해양관광 거점개발, 해륙교통 요충지개발, 친환경/시민참여형 도시개발로 볼 수 있으며 이러한 목표를 위해 전제되어야 할 조건은 환경친화적 개발이라 할 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구에서는 북항 재개발로 인하여 발생할 수 있는 해수순환 양상에 중점을 두어 유동장의 변화를 파악하고 나아가 해수교환에 미치는 영향을 모의하고자 하였다.

본 연구에서는 조석모델링을 통하여 해수순환 및 해수교환 변화 양상을 파악하고 그 변화를 분석하였으며, 이후 유동장을 외력으로 하여 입자추적실험을 수행하고 만내수의 항내 체류시간 및 항내에 투입된 입자의 거동특성을 분석하였다.

Fig. 1.4는 북항재개발 계획의 평면도 및 조감도를 나타낸 것이다.



Fig. 1.4 Redevelopment plan view of Busan North Port

제2장 자료 및 방법

2.1 해양관측

(1) 부산항 북항의 조석특성을 파악하기 위한 조석자료는 Table 2.1과 같이 다대포 검조소 및 대변항 검조소의 조석조화상수 중 4대분조(M_2 , S_2 , O_1 , K_1)를 사용하였으며 이 자료는 한국해양연구원에서 제공하는 자료를 수치모의에 사용하였다.

Table 2.1 Tide harmonic constant

Location	M_2		S_2		K_1		O_1	
	H(cm)	K(°)	H(cm)	K(°)	H(cm)	K(°)	H(cm)	K(°)
다대포	44.6	234.7	21.6	261	6	154.4	1.6	132.7
대변항	29	225.9	13.3	261.1	3.9	97.9	2	36.9

(2) 검증을 위한 조류자료는 국립해양조사원에서 1982-02-18부터 1982-03-05까지 DPCM-4B 유속계를 사용하여 수심 5m지점에서 15분 간격으로 연속 측류한 Fig. 2.1의 관측자료를 분석하였다. 지점의 유속, u, v 성분 및 유향을 알 수 있다.

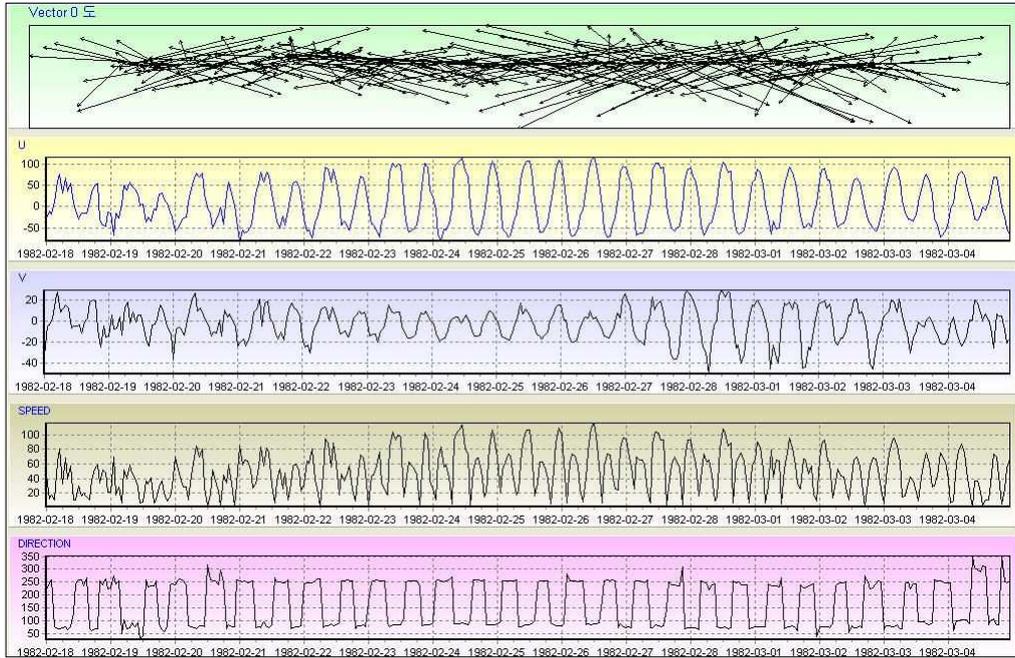


Fig. 2.1 Current Observed data for 1month

2.2 실험방법

본 연구의 목적은 북항 재개발에 따른 환경의 변화 모색을 위해서 해양환경 수치모의를 실행하여 해양환경변화를 평가하는데 있다. 그 방법으로서 먼저 해양환경 수치모의를 실시하고 조석 및 해수의 순환을 파악한 후에 개발전 후의 입자추적 및 거동특성을 분석하여 해양환경변화를 평가한다. 그에 대한 흐름도는 Fig. 2.2와 같다.

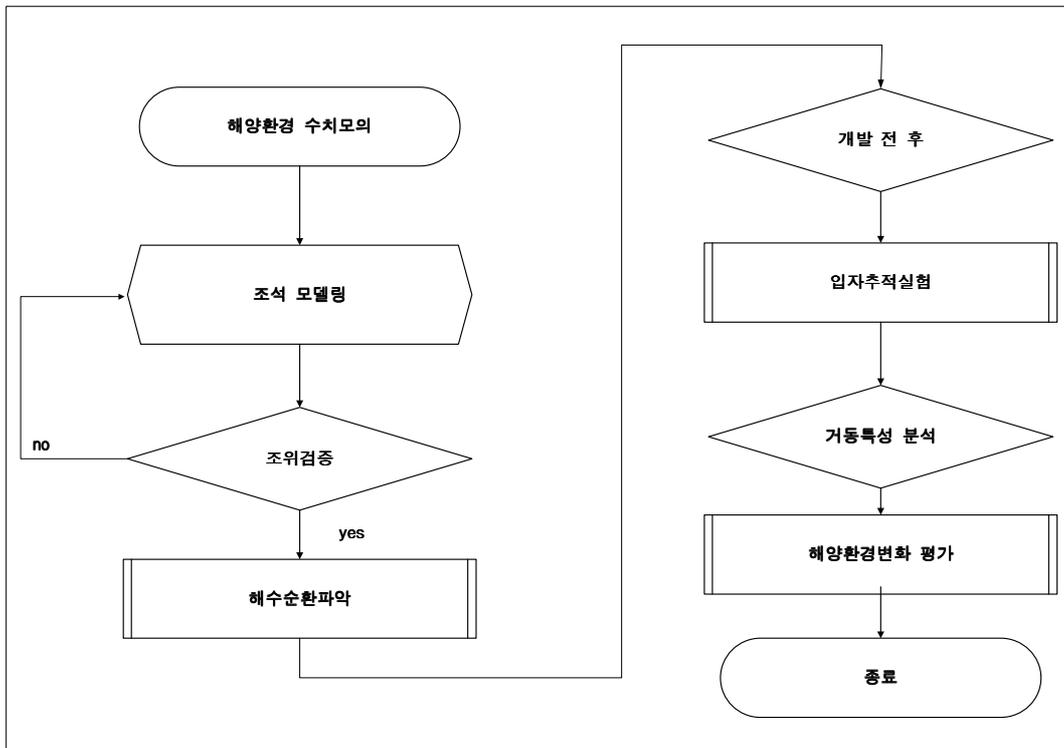


Fig. 2.2 Flow diagram of the this study

제3장 기본이론 및 수치모델

3.1 유동모형

수치모의에 사용된 모형은 잘 알려진 POM(Princeton Ocean Model)로서 3차원 연안해양 수치모형으로서 본 연구의 수치모의에서는 2차원 모드(2-D Circulation)에 의해 계산을 수행하였다. 연안 순환에 관한 지배방정식은 빠르게 이동하는 외부중력파와 느리게 이동하는 내부중력파의 전파특성을 포함하게 되는데 이것은 연직적 구조를 가진 방정식(내부모드)으로부터 연직적으로 적분된 기본방정식(외부모드)을 계산시간의 효율성을 위해 분리 하게 된다. 이를 모드분리법(Simans 1974, Madala and Piacsek 1977)이라 한다. 즉, 속도와 열역학적 특성의 3차원 계산으로부터 개별적으로 속도수송을 풀어버림으로써 계산시간에 있어서 조금의 손실도 없이 자유 수면승강을 계산하게 된다. 다시 말하면 외부모드방정식은 내부모드방정식을 수심에 대하여 적분하여 얻어지고 이에 따라 연직구조는 제거된다.

외부 모드와 내부모드의 지배방정식은 (x, y, z, t) 에서 (x^*, y^*, σ, t^*) 로 변형된다. 여기서, $x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t$ 이다. $\sigma = -1$ (해저면)에서 $\sigma = 0$ (해수면) 까지 연속방정식을 적분하고 경계조건 [$w(0) = w(-1) = 0$]을 사용하여 다음과 같이 수면변위에 대한 방정식을 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y} = 0 \quad (3-1)$$

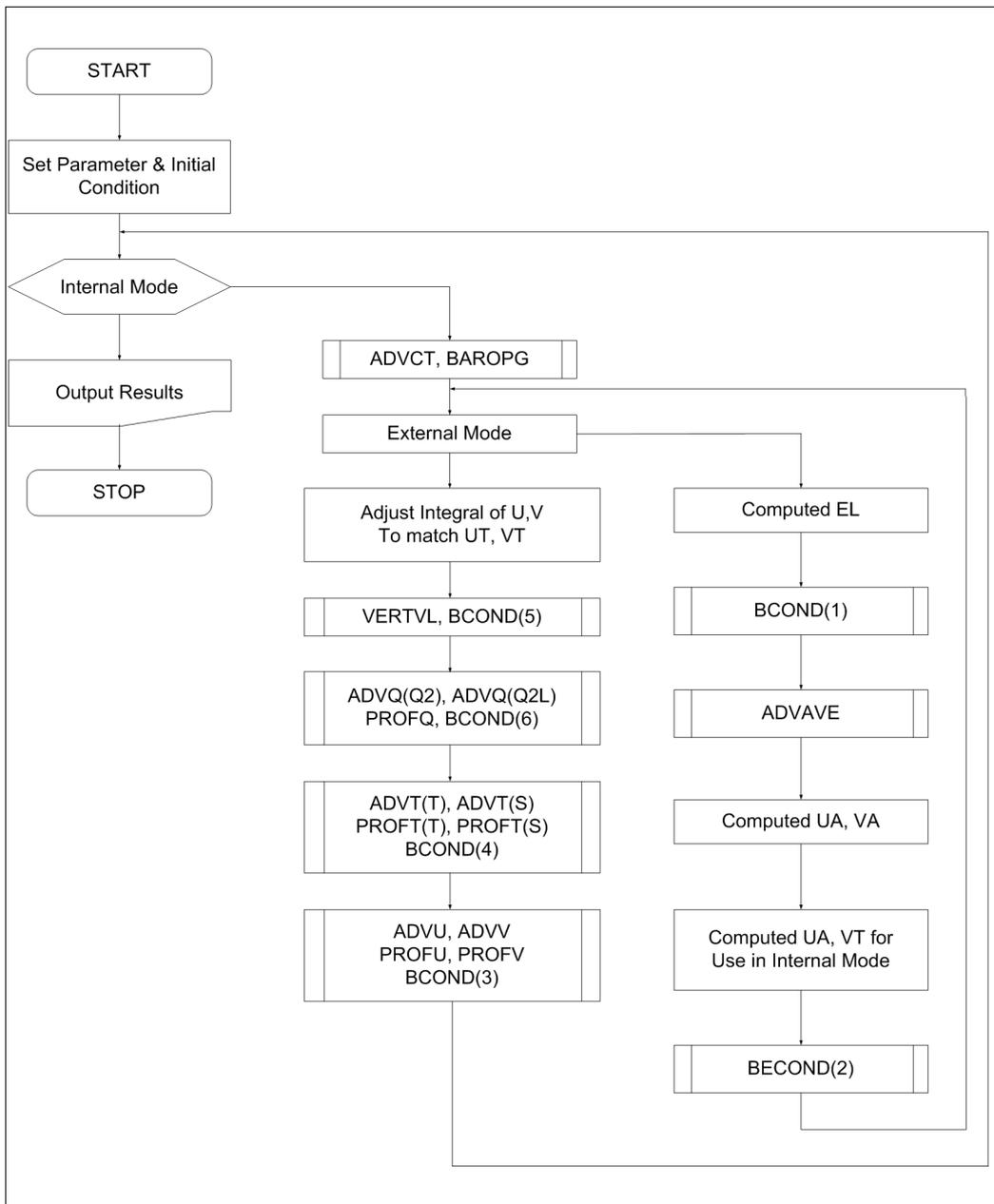


Fig. 3.1 Flow chart for POM simulation

그리고 운동량 방정식을 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial \overline{UD}}{\partial t} + \frac{\partial \overline{U^2 D}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{UV D}}{\partial y} - f \overline{VD} + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - D \overline{F_x} \quad (3-2)$$

$$= -\overline{wu}(0) + \overline{wu}(-1) - \frac{\partial \overline{DU'^2}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{DU'V'}}{\partial y}$$

$$- \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' d\sigma$$

$$+ \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma d\sigma$$

$$\frac{\partial \overline{VD}}{\partial t} + \frac{\partial \overline{UV D}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{V^2 D}}{\partial y} + f \overline{UD} + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - D \overline{F_y} \quad (3-3)$$

$$= -\overline{wv}(0) + \overline{wv}(-1) - \frac{\partial \overline{DU'V'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{DV'^2}}{\partial y}$$

$$- \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' d\sigma$$

$$+ \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma d\sigma$$

여기서, $D = H + \eta$ 이고, 상단 $\overline{\quad}$ 는 연직적으로 적분된 속도를 나타낸다.

바람응력 성분은 $-\overline{wu}(0)$, $-\overline{wv}(0)$ 이고, 저면응력 성분은 $\overline{wu}(-1)$, $\overline{wv}(-1)$ 이다.

U'^2 , $U'V'$, V'^2 을 포함하는 식(3-2), (3-3)의 항들은 연직적분(평균)속도로부터 출발한 속도의 외적의 연직 평균으로 표현된다.

$$(\overline{U'^2}, \overline{U'V'}, \overline{V'^2}) = \int_{-1}^0 (U'^2, U'V', V'^2) d\sigma \quad (3-4)$$

여기서, $(U', V') = (U - \bar{U}, V - \bar{V})$ 이다.

$\overline{F_x}, \overline{F_y}$ 의 양은 수평운동량 확산의 연직적분이고 다음과 같이 정의된다.

$$D\overline{F_x} = \frac{\partial}{\partial x} (2A_M \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} A_M (\frac{\partial \bar{U}D}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial x}) \quad (3-5a)$$

$$D\overline{F_y} = \frac{\partial}{\partial y} (2A_M \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x} A_M (\frac{\partial \bar{U}D}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial x}) \quad (3-5b)$$

본 실험에서는 수평와동 점성계수는 Smagorinsky형 확산계수를 사용하여, 수직적분으로 인한 분산효과를 고려할 수 있게 하였으며, 격자구성은 엇갈림 격자(staggered grid)에 속하는 Arakawa C격자체계를 이용하였다. 수치안정조건은 CFL(Courant-Friedrichs-Lewy)로, Δt 는 광역은 5.0초, 세역은 0.3초를 사용하였다(Blumberg and Mellor, 1987).

모델링에서 바람 응력의 효과는 고려하지 않았고, 해수 유동장에 대한 초기조건은 해수 유동이 없는 것(cold start)으로 설정하였다. 저면마찰은 Manning의 마찰계수를 이용한 “quadratic stress” 법을 사용하였다.

조위의 개방 경계 조건으로 개방경계면에 위치한 관측자료를 이용하여 외해측 개방 경계에서 M2, S2, K1, O1 분조에 의한 조위 변화를 관측 자료에 근거하여 시·공간 함수로 주었다.

3.2 입자추적 모형

Lagrange적인 입자추적방법에 의한 물질수송 및 확산해석은 Eulerian 해석방법이 안고있는 문제점을 극복하고 현지의 실제적인 물질수송을 파악하는 가장 직접적인 방법이라고 할 수 있다. Random walk 모형에 의한 확산의 수치해는 이류속도, 격자간격 및 계산시간간격에 의한 Courant 수에는 거의 영향을 받지 않으나 수치해의 시·공간적인 변동은 방출입자의 개수에 크게 영향을 받는다. 토사의 침강이나 COD 분해 등에 의한 감쇠항의 평가는 균질분포를 갖는 난수발생에 의한 입자제거방식에 의하여 매우 효과적으로 나타낼 수 있다.

하천이나 호소 또는 해양에서 물질수송을 해석하는 기본적인 방법으로서 Eulerian 방법과 Lagrangian 방법을 들 수 있다. Eulerian 방법은 물질수송에 관한 확산방정식을 유한차분법 또는 유한요소법에 의하여 수치해를 구하는 방법으로서 가장 널리 이용되고 있는 방법이다. Lagrangian 방법은 Lagrange 좌표계 즉, 물질좌표계에서 개개의 입자의 거동을 추적해가면서 물질수송을 해석하는 방법이다. 이 방법은 Monte Carlo 방법 또는 Random walk 방법으로 잘 알려져 있다.

일반적으로 Eulerian 해석방법이 안고 있는 몇가지 문제점은 다음과 같다.

첫째, 이송항의 취급이 가장 어려운 문제점의 하나로 등장한다. 어떠한 차분기법을 사용하더라도 정도의 문제는 있으나 농도 급변부분에서 수치해의 진동을 완전히 제거할 수는 없다.

둘째, 확산항의 취급에 있어서 물리적인 확산 이외에도 수치적인 일산효과

가 개입되며, 이것은 격자간격과 시간간격의 영향을 받는다. 따라서, 물리적인 확산항 이외에도 수치적인 확산(numerical diffusion)이 개입되어 그 구분이 어렵다.

셋째, 복잡한 유동조건하에서 계산수행시 와동에 의하여 흐름이 수렴 또는 발산하는 곳에서는 수치해가 발산하는 경우가 발생한다. 이러한 현상은 풍상 차분을 사용하더라도 근본적으로 없앨 수는 없다.

상기의 문제점을 해결하기 위하여 특성곡선법을 이용한 이류항의 고정도 계산방법이 1977년 Holly등, 1989년 Komatsu 등에 의하여 소개되었다. 최근에는 Eulerian 방법과 Lagrangian 방법의 장점을 이용한 Eulerian-Lagrangian 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되어 수치해의 정도향상을 기하고 있다.

한편, Eulerian 방법은 상기의 수치계산상의 문제점 이외에도 오염원의 강도지정에 있어서 오염원의 크기에 따른 격자의 크기 선택에 대한 어려운 점, 침강속도가 서로 다른 부유물질이 섞여 있는 경우나 체류시간이나 감쇠계수가 서로 다른 오염물이 혼합되어 있는 경우의 해석 등에 있어서 많은 제약을 받는다.

이러한 문제점을 거의 개선할 수 있는 방법으로서 Lagrange 적인 입자추적방식에 의한 Random walk 방법을 들 수 있다. 이 방법은 1950년대부터 지하수분야의 확산 및 분산해석에 적용되어 왔으며, 1981년 Prickette 등에 의하여 폭 넓은 수송모델이 제시되었으며, 1986년 Kinzelbach 는 여기에 대하여 상세히 소개하였다. 1994년 서일원 등은 2차원 Random walk 모형을 이용하여 순간점원 방출에 대한 횡확산 해석을 행하고 해석해와 비교하여 방출입자 개수에 따른 수치해의 정확도에 대하여 논하고 모형의 유용성에 대하여 검토하였다.

수심적분된 물질보존방정식은 식(3-6)과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(Hc)}{\partial t} + \frac{\partial(UHc)}{\partial x} + \frac{\partial(VHc)}{\partial y} \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left(HD_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(HD_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(HD_{xy} \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(HD_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} \right) \end{aligned} \quad (3-6)$$

여기서, c 는 수심평균된 물질의 농도이다. 그리고 D 는 분산계수에 관한 Tensor로서 식(3-7)과 같으며, 유향이 x 축과 이루는 각도 $\theta = \tan^{-1}(V/U)$ 이면 적절한 축변환한 형태는 식(3-8)과 같다.

$$D = \begin{vmatrix} D_{xx} & D_{xy} \\ D_{xy} & D_{yy} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} D_L & 0 \\ 0 & D_T \end{vmatrix} \quad (3-7)$$

$$D_{xx} = D_L \cos^2 \theta + D_T \sin^2 \theta \quad (3-8a)$$

$$D_{yy} = D_L \sin^2 \theta + D_T \cos^2 \theta \quad (3-8b)$$

$$D_{xy} = (D_L - D_T) \sin \theta \cos \theta \quad (3-8c)$$

여기서, D_L 및 D_T 는 각각 이류속도벡터와 평행한 종방향 분산계수 및 직각 방향의 횡방향 분산계수로서, 수심적분된 형태의 모형화에서는 D_L 의 경우 흐름방향의 순수한 난류확산 뿐 만 아니라 수평속도의 연직적 전단과 연직방향의 난류확산 사이의 상호작용에 기인하는 효과도 포함하고 있다(Jozsa, 1989).

입자의 측면에서 직접적으로 이해할 수 있는 식의 형태로 만들기 위하여, 수심적분된 농도 $C = Hc$ 라는 새로운 변수를 도입하여 식(3-6)을 재배열하면

식(3-9)와 같다(Jozsa, 1989; Lee and Kim, 1995a).

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(U^* C)}{\partial x} + \frac{\partial(V^* C)}{\partial y} \\ = \frac{\partial^2(D_{xx} C)}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2(D_{xy} C)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2(D_{yy} C)}{\partial y^2} \end{aligned} \quad (3-9)$$

여기서, 표류속도벡터 $U^* = (U^*, V^*)$ 는 식(3-10)과 같다.

$$U^* = U + \frac{\partial D_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial y} + \frac{D_{xx}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} \quad (3-10a)$$

$$V^* = V + \frac{\partial D_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial D_{xy}}{\partial x} + \frac{D_{yy}}{H} \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{D_{xy}}{H} \frac{\partial H}{\partial x} \quad (3-10b)$$

만약 C가 어떤 확률분포함수로서 취급된다면 식(3-9)는 Fokker-Planck 방정식(Cushman, 1987)과 항등이다. 식(3-10)과 같이 수정된 이류속도성분으로부터 Random-Walk 입자법을 다음과 같이 기술할 수 있다(Jozsa, 1989; Lee and Kim, 1995). Lagrange적인 취급을 위하여, 연속적으로 균질하게 혼합된 어떤 물질의 질량 M을 어떤 점에서 순간적으로 방출하는 경우를 고려하고 이 물질은 흐름과 함께 이동한다면, 흐름 속에서 Nro의 입자에 대한 등가질량 $m = M/N$ 을 생각할 수 있으며, 속도장의 Euler 적분을 사용하여 간단히 이들 입자를 추적할 수 있다. 즉, 시간증분 Δt 에 대하여 주어진 어떤 입자의 새로운 위치벡터는 식(3-11)과 같다.

$$X(t + \Delta t) = X(t) + u(X(t), t)\Delta t \quad (3-11)$$

여기서, 속도벡터 u 는 표류속도 U^* 와 불규칙한 분산속도 u' 의 합으로 식 (3-12)와 같다.

$$u = U^* + u' \quad (3-12)$$

분산계수가 수심과 전단속도에 비례한다는 Elder(1959)의 개념을 도입하면, 종분산계수 및 횡분산계수는 식(3-13)과 같다.

$$D_L \approx 6.0Hu_* \quad (3-13a)$$

$$D_T \approx 1.5Hu_* \quad (3-13b)$$

여기서, 식(3-13)의 상수값은 문헌에서 발견된 값의 평균치(Jozsa, 1989)이며, 종방향 속도 u_L 및 전단속도 u_* 는 식(3-14)와 같다.

$$u_L = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3-14a)$$

$$u_* = \frac{\sqrt{g}}{C} u_L \quad (3-14b)$$

Lagrange 방법으로 분산을 모의실험하기 위해서는 해석해와 확률적인 동등이 충족되어야 한다. 즉, 적절한 표준편차(Zannetti and Al-Madani, 1983)를 가진 각 입자들에 대하여 불규칙한 분산속도성분을 부가하여 생성된 입자분포가 해석해와 확률적으로 항등이어야 한다. 이에 따른 불규칙한 분산속도성분은 식(3-15)와 같다.

$$u'_L = R_1 \sqrt{2D_L/\Delta t} \quad (3-15a)$$

$$u'_T = R_2 \sqrt{2D_T/\Delta t} \quad (3-15b)$$

여기서, R_1 과 R_2 는 평균치 0 및 표준편차 1의 정규분포를 갖는 난수이고, x 및 y방향의 불규칙한 분산속도성분은 축변환에 의하여 식(3-16)과 같다.

$$u' = u'_L \cos\theta - u'_T \sin\theta \quad (3-16a)$$

$$v' = u'_L \sin\theta - u'_T \cos\theta \quad (3-16b)$$

이상과 같은 물질보존에 관한 입자추적 알고리즘은 Lee and Kim(1995)에서 사용된 Code를 기본적으로 사용하였다. 이 때 계산격자는 흐름장 계산에서 사용된 것과 동일한 것을 사용하였으며, 식(3-10)에서 미분항은 중앙차분 양해법을 사용하여 표류속도를 계산하였다. 또한 동일한 Cell 내에서 각각의 값들은 동등하게 취급하지 않고 Cell 내의 입자위치에 따라 그 값을 선형 보간하여 사용하였다. 그리고 입자가 고정경계(Solid Boundary)에 도달한 경우에는 반사경계조건(Reflection Boundary Condition)을 사용하였으며, 개방경계(Open Boundary)에 도달하여 계산영역을 Outgoing한 입자는 제거하였다.

한편, 조류는 왕복성 흐름이므로, 만약 해수입자가 선형적인 왕복운동에 의하여 한 조석주기 후 원래의 위치에 되돌아오면 해수교환이 발생하지 않는다. 그러나 실제 해역에서는 비선형적인 해수운동 및 지형적인 요인에 의하여 조석 잔차류가 발생하며 이에 따라 해수의 순이동 즉, 해수교환이 발생한다. 이에 대하여 Parker et al.(1972)은 창조류에 의한 유입량 중 처음으로 만내에

유입하는 외해수가 차지하는 비율 혹은 낙조류에 의한 유출량 중 처음으로 만외로 유출하는 만내수가 차지하는 비율을 ‘치환에 의한 해수교환율’이라 정의하였다. 中田·平野(1976) 등은 실제 해양에서 Buoy를 추적하여 이러한 것은 표현하려고 하였으나 여러 개 Buoy의 동시추적을 현지해양에서 수행하는데 상당한 어려움이 있었으므로, Awaji et al.(1980)은 수치실험을 이용하여 즉, 이미 얻어진 흐름장에 여러 개의 표지입자를 투입해 그 궤적을 구해서 그 해역의 해수교환을 이해하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 이러한 개념을 도입하여 해수교환율을 식(3-17)과 같이 나타내었다.

$$E_V = \frac{V_{OUT}}{V_{TOTAL}} \approx \frac{P_{OUT}}{P_{TOTAL}} \quad (3-17)$$

여기서, E_V 는 해수교환율, V_{OUT} 는 경계외측으로 수송된 해수체적, V_{TOTAL} 은 경계내측의 초기해수체적, P_{OUT} 는 경계외측으로 수송된 입자수, P_{TOTAL} 은 경계내측의 초기입자수이다.

3.2.1 감쇠항의 평가방법

Lagrange 적인 입자추적모형에서 격자점(i, j)의 농도 C_{ij} 는 식 (3-18)와 같이 나타내어진다.

$$C_{ij}(t) = m \frac{n_{ij}(t)}{h_{ij} \cdot \Delta x \cdot \Delta y} \quad (3-18)$$

여기서, $m=M/N$: 1개 입자당 오염물질의 질량

M: 오염물질의 총 질량

N: 투입된 총 입자수

n_{ij} : 격자(i, j)내에 있는 입자수

h_{ij} : 수심

$\Delta x, \Delta y$: x, y 방향의 격자 간격

수중에 함유된 부유토사(SS)는 시간이 경과함에 따라 침강에 의하여 제거되며, COD나 BOD같은 수질지표는 자정작용에 의하여 시간에 따라 점차 분해되며 농도가 감쇠된다. 따라서, 이들 물질의 농도 C에 관한 식은 입자의 침강 속도나 감쇠계수 λ 에 의하여 식(3-19)와 같이 나타내어진다.

$$\frac{dC}{dt} = -\lambda C \quad (3-19)$$

윗 식의 해는 다음과 같은 지수적 감쇠로 나타내어진다.

$$C(t) = C_0 \exp(-\lambda t) = C_0 \exp(-t/t_0) \quad (3-20)$$

여기서, C_0 는 $t=0$ 에서의 초기농도이고, t_0 는 $1/\lambda$ 로서 농도가 초기농도보다 $e^{-1}(=0.386)$ 배로 감소하는데 걸리는 지수배 반감기(e-folding time) 또는 체류 시간이다.

식(2-20)은 개개입자의 질량 m 의 감쇠로서 나타낼 수 있다.

$$m(t + \Delta t) = m_0 \exp(-\lambda \cdot \Delta t) = m_0 \exp(-t/t_0) \quad (3-21)$$

따라서, 시간에 따른 농도감쇠는 식(3-21)에 의하여 개개입자의 감쇠질량 m 을 구하는 식 (3-18)로부터 농도 $C(t)$ 를 구할 수 있다.

한편, 농도감쇠를 구하는 또다른 방법의 하나는 식 (3-19)를 농도 C 대신에 입자의 개수 N 으로 나타내고

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (3-22)$$

식 (3-22)을 차분화하여 나타내면 식 (3-23)과 같다.

$$N^{n+1} = N^n(1 - \lambda \cdot \Delta t) \quad (3-23)$$

여기서, Δt 시간동안의 입자잔존율 N^{n+1}/N^n 은 $(1 - \lambda \cdot \Delta t)$ 가 되며 식 (3-21)과 비교하여 나타내면 다음과 같다.

$$\exp(-\lambda \cdot \Delta t) \approx (1 - \lambda \cdot \Delta t) \quad (3-24)$$

위 식은 $\lambda \cdot \Delta t$ 의 값이 10^{-2} 정도로 작으면 거의 일치한다. 따라서, 평균치 0.5, 표준편차 $1/\sqrt{12}$ 인 일정분포를 갖는 난수 [RN]을 N_{ro} 발생시켜 [RN]값

이 $0 \sim \lambda \Delta t$ 사이에 있으면 그 입자를 침강 또는 분해된 것으로 간주하여 제거 시킴으로서 농도 감쇠를 표현할 수 있다.

이 방법은 연속점원방출에서와 같이 방출입자의 개수가 시간에 따라 증가하는 경우에 계산시간을 줄일 수 있는 유용한 방법이 된다.

3.2.2 순간점원방출에 대한 해석해

1차원 이류확산에 관한 기본방정식은 식 (3-25)와 같으며

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} = K_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3-25)$$

여기서, C 는 농도, u 는 수심평균된 이류속도, K_x 는 확산계수이다.

윗식의 해는 다음과 같이 구해진다.

$$C(x,t) = \frac{C_0}{\sqrt{4\pi K_x t}} \exp\left\{-\frac{(x-ut)^2}{4K_x t}\right\} \quad (3-26)$$

여기서, $C_0 = M/h$ 로서 M 은 투하된 물질의 총질량, h 는 수심이다.

통계적 모델에서 입자의 이동이 정규분포를 따르는 확률과정일 경우의 농도분포는 1차원 수송방정식의 해석해와 일치하므로 식(3-27)과 같은 관계가 성립한다.

$$K_x = \sigma_x^2 = \alpha \cdot u = D_L = 6hu_* \quad (3-27)$$

따라서, 식(3-26)은 다음과 같이 된다.

$$C(x,t) = \frac{C_0}{\sqrt{4\pi t}} \frac{1}{\sqrt{D_L}} \exp\left\{-\frac{1}{4t} \frac{(x-ut)^2}{D_L}\right\} \quad (3-28)$$

여기서, C_0 는 초기농도이다.

3.3 해수교환율 계산

한편, 조류는 왕복성 흐름이므로, 만약 해수입자가 한 조석주기 후 원래의 위치에 되돌아오면 해수교환이 발생하지 않는다. 그러나 실제 해역에서는 조류의 비선형성에 의하여 조석잔차류가 발생하며 이에 따라 해수의 순이동 즉, 해수교환이 발생한다. 이에 대하여 Parker et al.(1972)은 창조류에 의한 유입량 중 처음으로 만내에 유입하는 외해수가 차지하는 비율 혹은 낙조류에 의한 유출량 중 처음으로 만외로 유출하는 만내수가 차지하는 비율을 ‘치환에 의한 해수교환율’이라 정의하였다. 中田·平野(1976) 등은 실제 해양에서 부이(buoy)를 추적하여 이러한 것은 표현하려고 하였으나 여러 개 부이의 동시추적을 현지해양에서 수행하는데 상당한 어려움이 있었으므로, Awaji et al.(1980)은 수치실험을 이용하여 즉, 이미 얻어진 흐름장에 여러 개의 표지입자를 투입해 그 궤적을 구해서 그 해역의 해수교환을 이해하는 방법을 사용하였다. 본 연구에서는 이러한 개념을 도입하여 해수교환율을 식(3-17)과 같이 나타내었다.

$$E_V = \frac{V_{OUT}}{V_{TOTAL}} \approx \frac{P_{OUT}}{P_{TOTAL}}$$

여기서, E_V 는 해수교환율, V_{OUT} 는 경계외측으로 수송된 해수체적, V_{TOTAL} 은 경계내측의 초기해수체적, P_{OUT} 는 초기입자 투입영역 외측으로 수송된 입자수, P_{TOTAL} 은 경계내측의 초기입자수이다.

제4장 수치 모의

4.1 개요

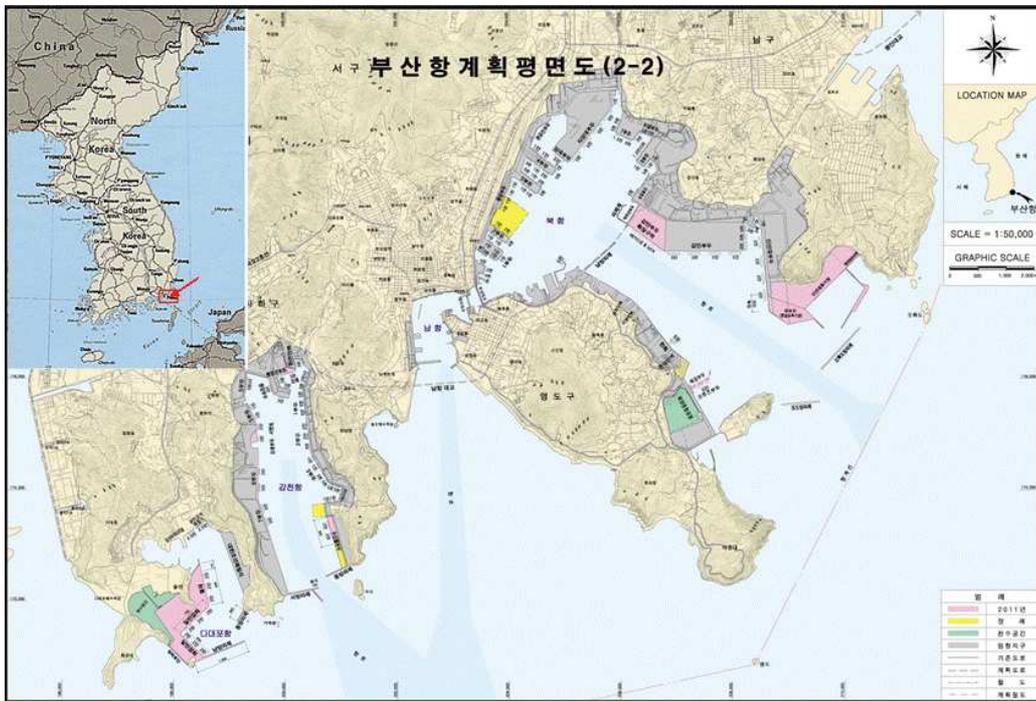


Fig. 4.1 Detail map of study area

수치모의의 대상해역은 현재 개발이 계획 중인 부산 북항 일대로서 공유수면 매립 및 준설 등의 해안선 및 수심의 변화로 인해 조류 등과 같은 환경적인 반응이 달라질 것으로 예상됨에 따라 해양의 조류 예측 및 오염물질의 입자추적에 대한 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 북항 및 인근 해역의 해황을 재현하기 위하여 서쪽으로 다대포, 동쪽으로 대변항을 포함하고, 남쪽은

20km 외해역까지를 포함한 Fig. 4.3과 같이 광역 모형을 구축하였다. 대상 영역의 총 크기는 30.0km×25.0km이며 격자는 150 × 125 (18,750개)로서 격자 간격은 200m이다. 조석조화상수는 35일간 계측한 M2, S2, K1, O1의 4대분조를 사용하였고, 마찰계수는 0.023을 적용하였다.

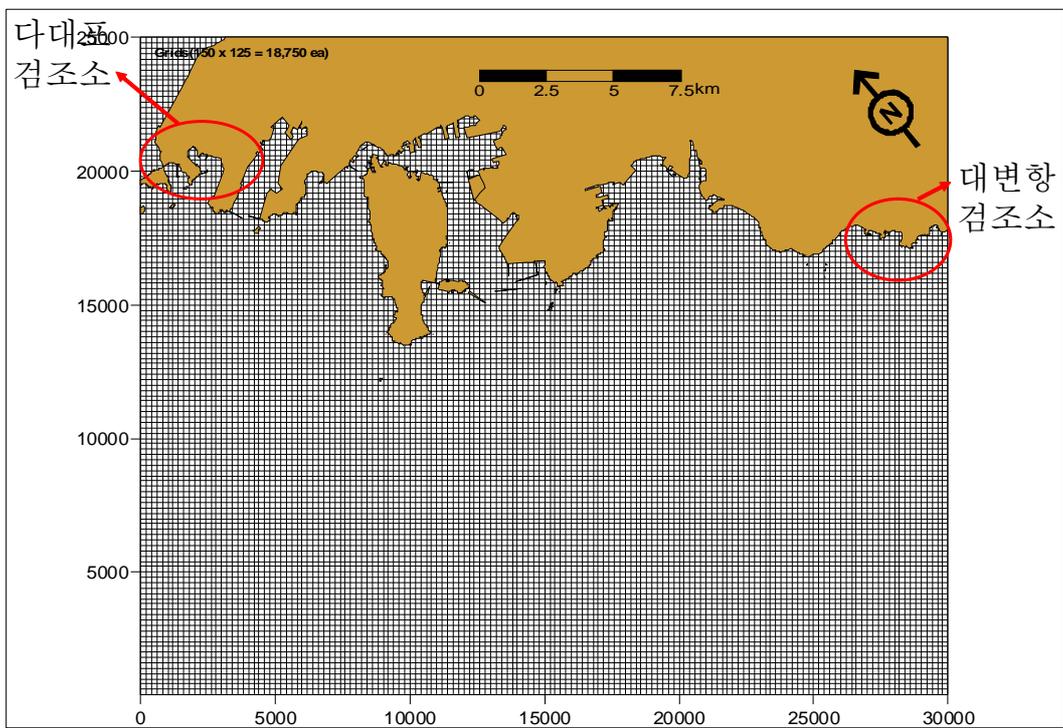


Fig. 4.2 mesh element of study area

Table 4.1 Summary of model simulation set up

구 분	광 역	세 역
목 적	세역 모형 경계조건 추출	계획안에 대한 해수유동 현황 해양환경 예측 기초자료 제공
모 델	POM (Princeton Ocean Model)	
대상지역	다대포, 대변항을 포함한 일대 해역(30.0km×25.0km)	사업지구 부근 해역 (8,010m×4.425m)
격 자	150 × 125 (18,750개) $\Delta S=200m$	242 × 140 (33,880개) $\Delta S=15,30,60,120m$
조 건	35일간(M2+S2+K1+O1) n(마찰계수) : 0.023	15일간(M2+S2+K1+O1) n : 0.023
내 용	현황 재현	현재 상태, 계획안

4.2 광역모형

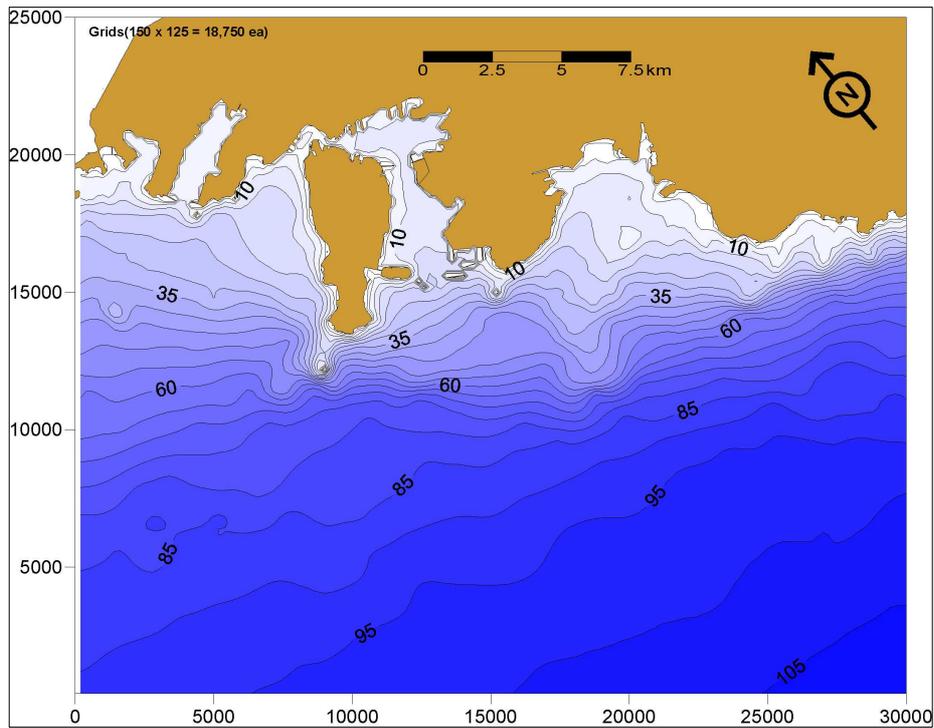


Fig. 4.3 Water depth of Study area

Fig. 4.3은 광역모델의 수심이며, Fig. 4.4와 Fig. 4.5의 상단의 그림은 대조 및 소조 3시간 이후의 최강 창조 및 최강 낙조시의 조류벡터도이며 하단의 그림은 실관측 조류도이다. 검증을 위해 비교한 결과 조류의 패턴 및 유속의 크기와 유향을 비교했을 때 대체로 정확한 조류패턴이 계산되어진 것으로 판단된다. 외해에서는 1m/sec 정도의 강한 유속이 나타났고, 관심지역인 북항 부근에서는 0.1~0.3m/sec 정도의 유속이 계산되었다.

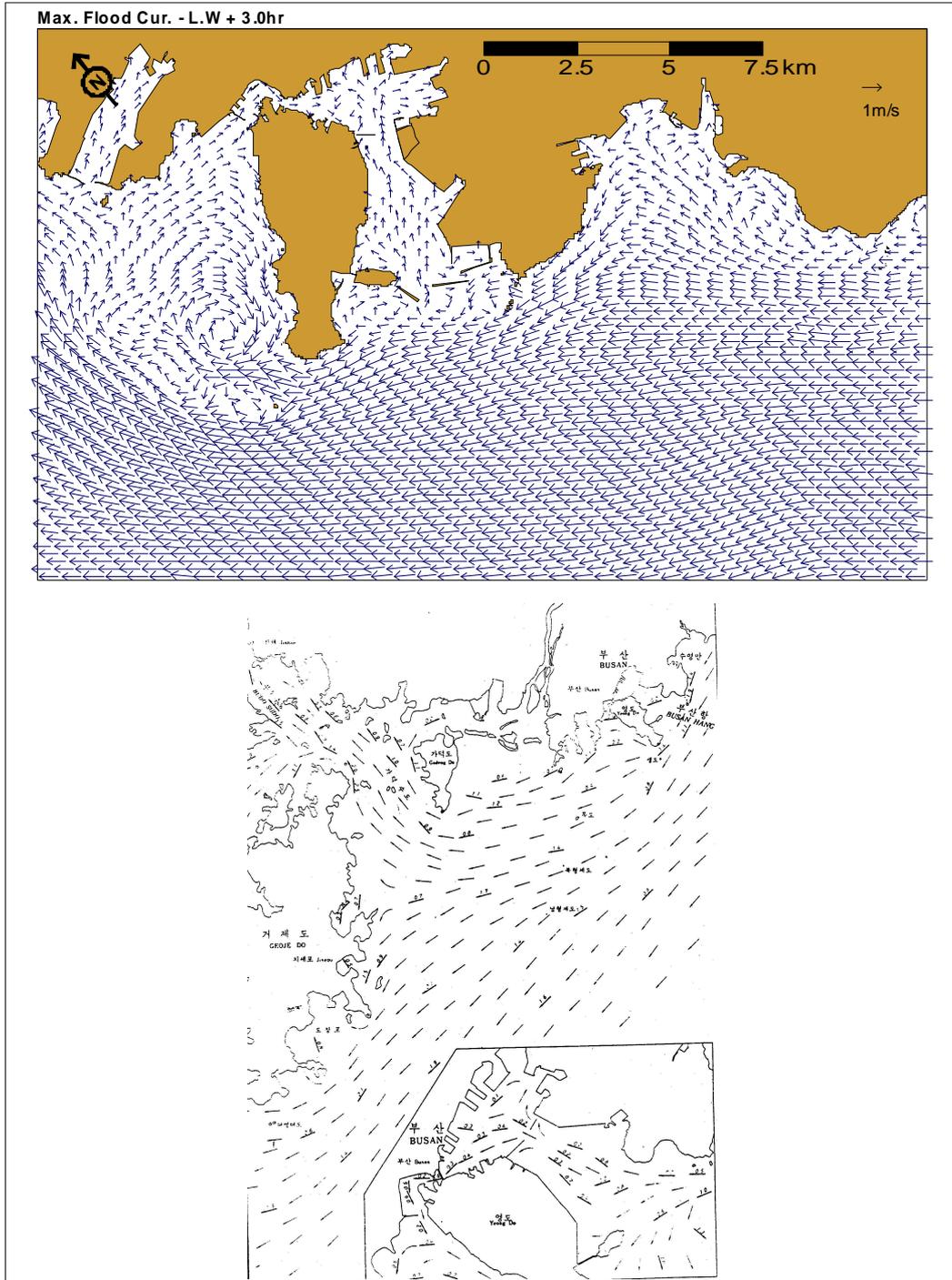


Fig. 4.4 Maximum flood current

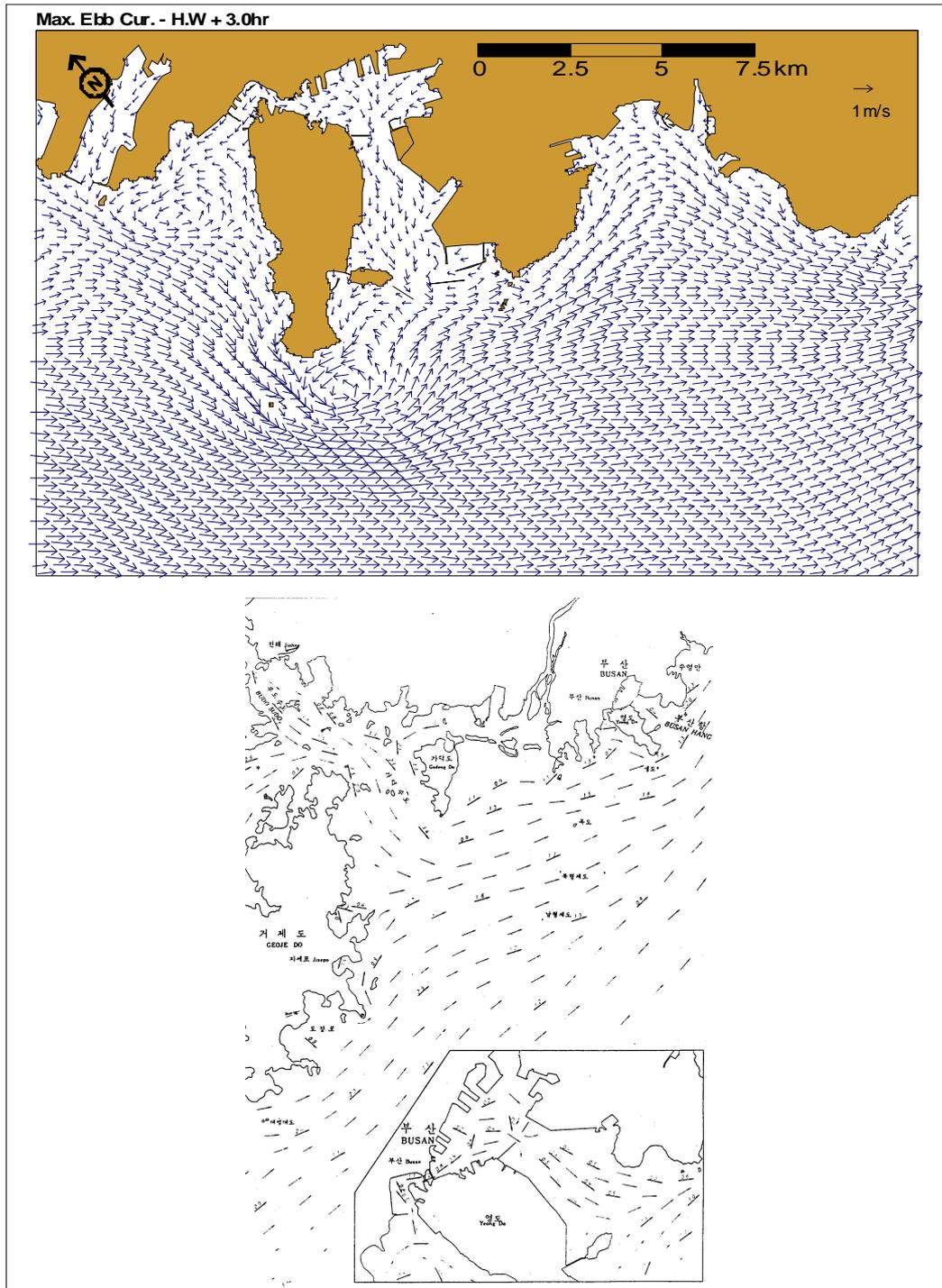


Fig. 4.5 Maximum ebb current

모형의 검증을 위해서 조위의 경우 Fig. 4.7과 같이 영도다리 검조소의 실제 자료와 수치 모의실험결과를 비교하여 약 97% 정도의 정확도를 보여주었으며, 조류의 경우 Fig. 4.8과 같이 약 75% 정도의 정확도를 보여주었다.

실험결과, 창조류는 감만부두와 남방과제 사이에서 유입되어 내항에서 감속되고 제1부두와 연안부두를 통과하면서 가속화하여 영도다리 부근에서 100cm/sec까지의 최대 유속을 나타내며 남항 부근에서 다시 감속되었다가 남항동 전면에 위치한 방과제 사이의 협수로에서 다시 가속화되어 유출되며, 낙조류는 이와 반대의 양상을 보인다. 북항 부근은 10cm/sec내의 유속분포를 나타내고 있다(Fig. 4.9, 4.10).

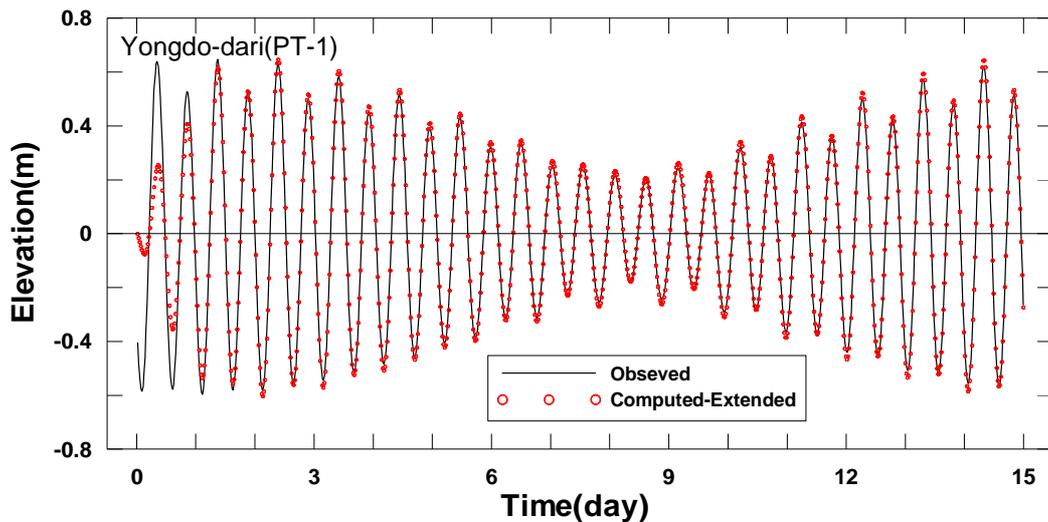


Fig. 4.6 Compare with observed data and computed data expansion for Yongdo-bridge

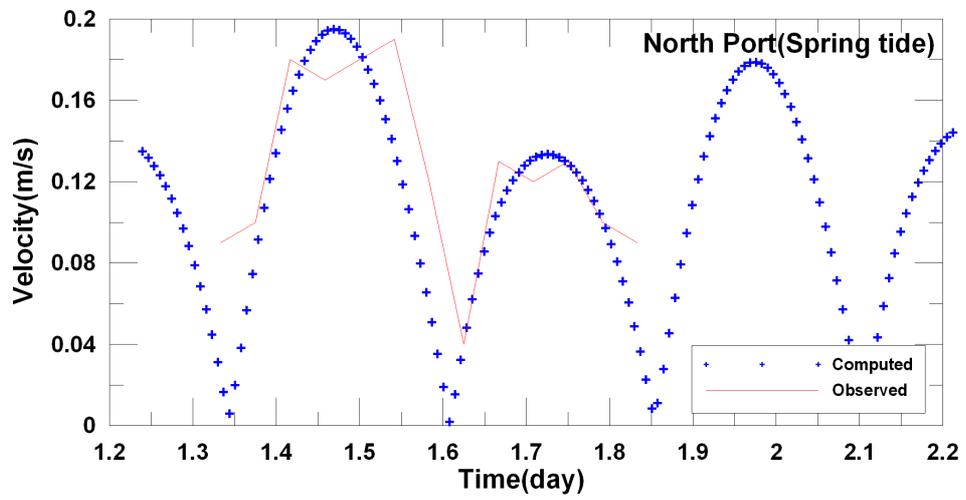


Fig. 4.7 Current verification curves (wide and narrow)

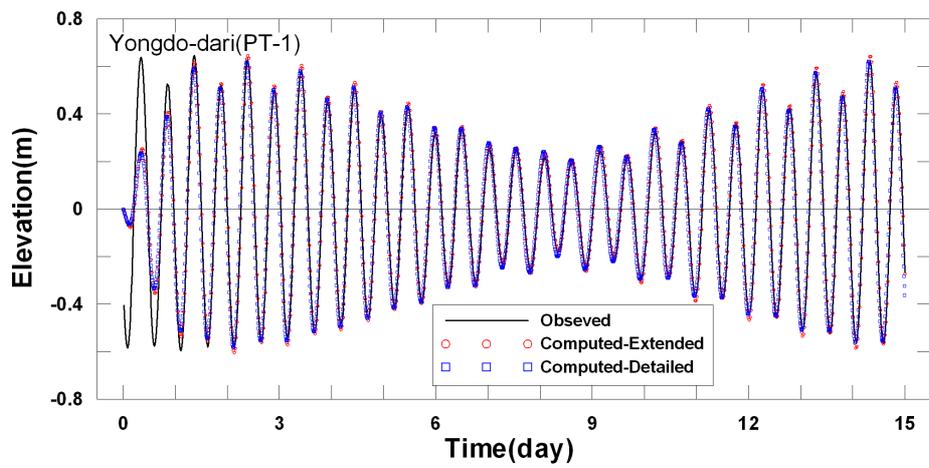


Fig. 4.8 Tide verification curves (wide and narrow)

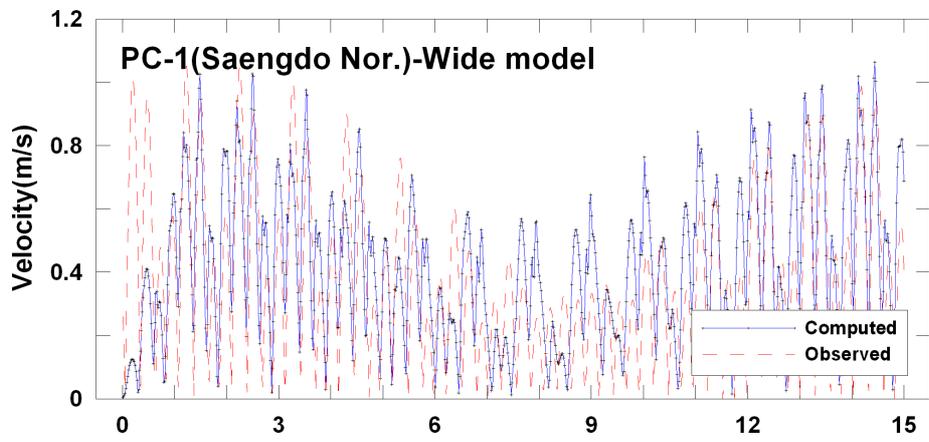


Fig. 4.9 Current velocity curves (Wide model)

4.3 세역모형

광역 모형의 결과를 바탕으로 북항 재개발로 인한 유동 재현성을 발휘할 수 있도록 최소격자를 15m로 하는 세역 모형을 구축하였다. 세역 모형은 계산 시간의 경제성을 감안하여 북항 재개발 구역을 중심으로 15~120m에 이르는 가변격자를 사용하였다. 또한, 광역 모형의 경우 세역 모형의 경계조건을 추출하기 위하여 35일간 모델링을 수행하였으며, 세역 모형은 이를 근거하여 대, 중, 소조기가 포함되는 15일 동안에 걸쳐 수치모의를 수행하였다. 동천, 부산천, 초량천, 보수천에서 하천유량은 평수시로 입력하였으며, Table 4.1에 개략적인 해수유동 실험의 개요를 정리하였다. 세역 모형의 격자망도는 Fig. 4.10에 제시하였으며 개발 전·후의 대상지역의 수심도를 Fig. 4.11에 제시하였다.

Fig. 13~Fig. 19는 북항재개발 전후에 계산된 최대 창낙조의 변화를 그림으로 나타낸 것이다. 세역모형의 실험 결과 내항 쪽은 대체로 잔잔한 유속을 보였고, 부산대교 부근에 가장 강한 유속이 나타나는 것을 알 수 있다. 최강 창조류 및 최강 낙조류의 유속은 거의 비슷한 수준을 나타내었으나, 제1부두 및 제7부두 전면 해역에서는 유속분포가 0.01~0.2m/sec로 매우 낮았다.

격자망도에 표기된 비교정점을 기준으로 개발 전·후의 최강유속은 ST-1(부산대교 부근)에서 개발 전에 76.5cm/sec, 개발 후에 76.9cm/sec, ST-2(제1부두 전면해역)에서 개발 전에 23.5cm/sec, 개발 후에 23.9cm/sec, ST-3(제7부두 전면해역)에서 개발 전에 1.1cm/sec, 개발 후에 1.0cm/sec의 결과가 나왔다.

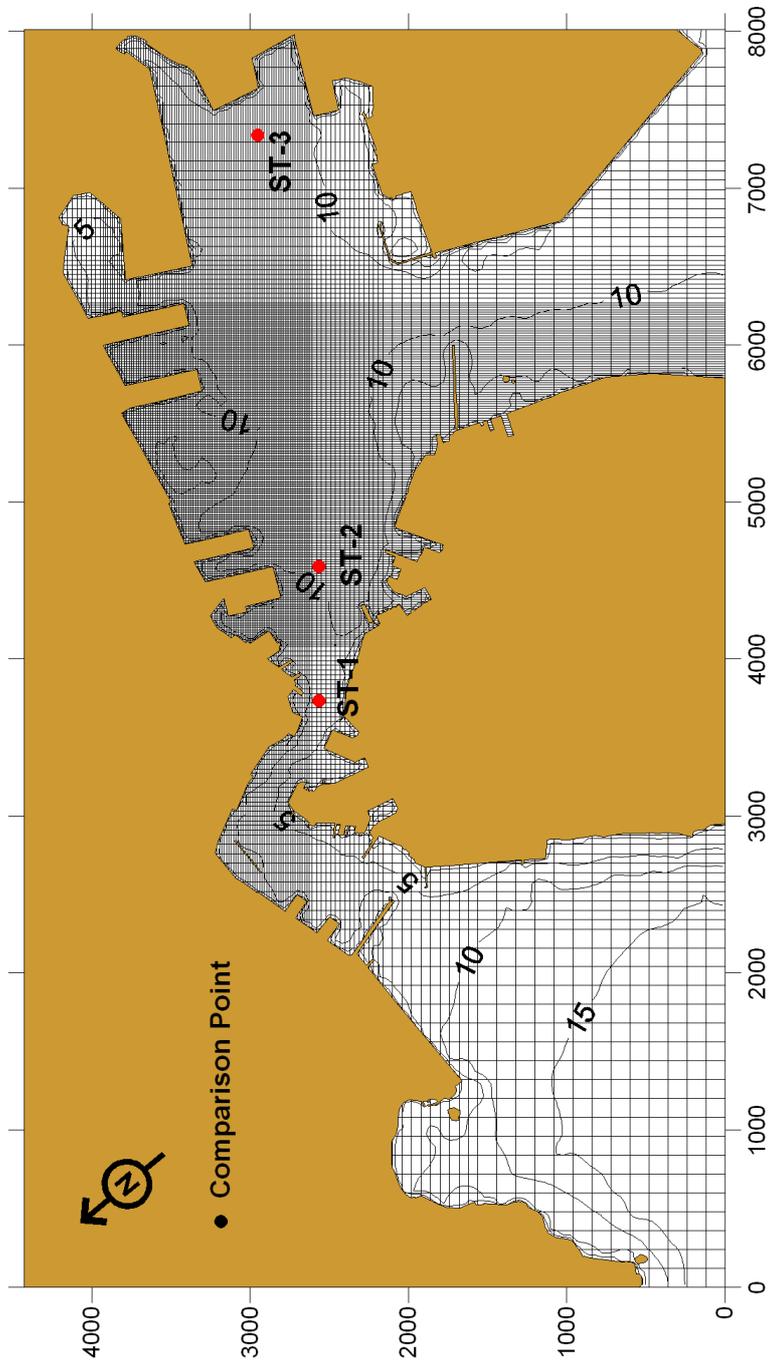


Fig. 4.10 Mesh and water depth for the narrow region

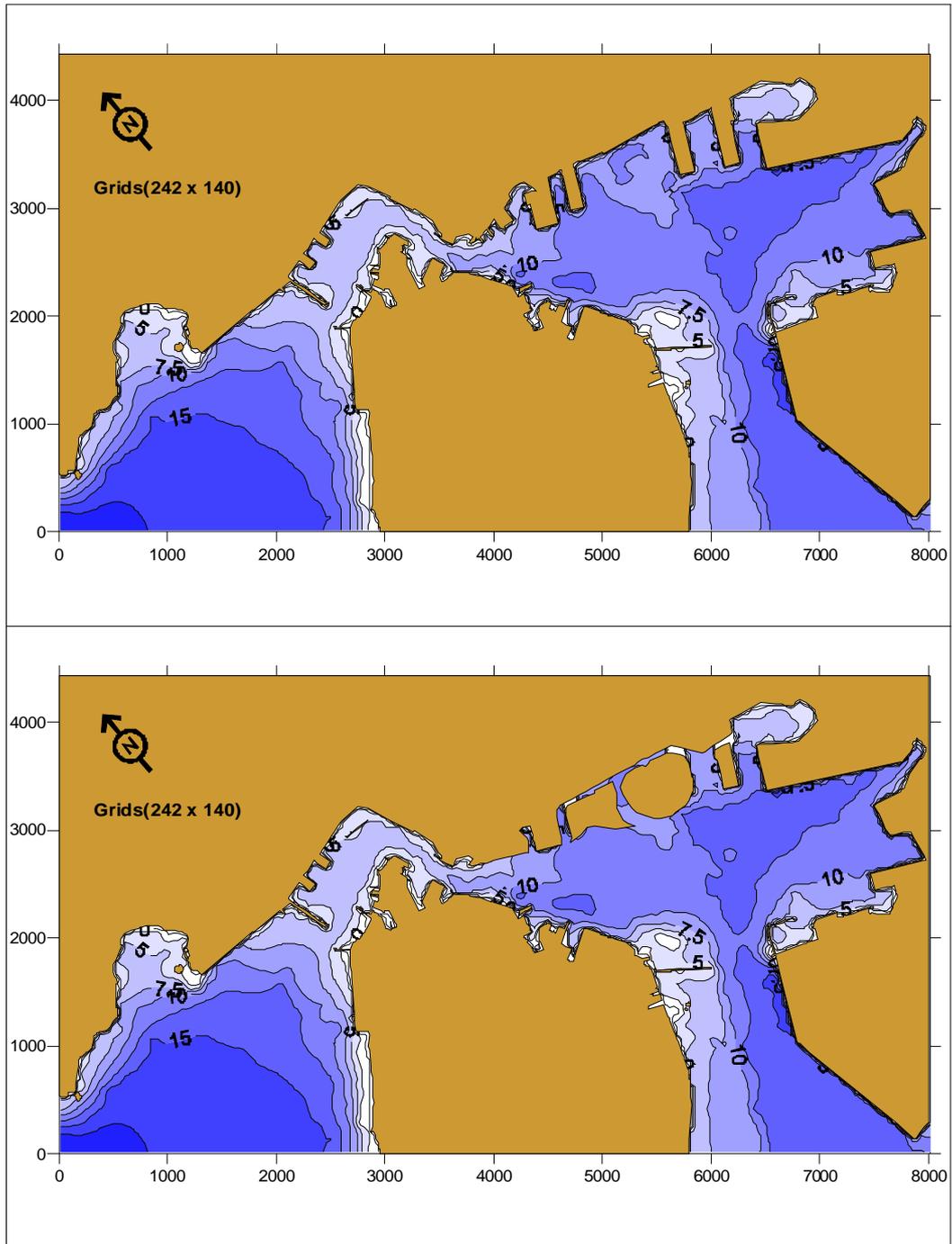


Fig. 4.11 Water depth of before and after development

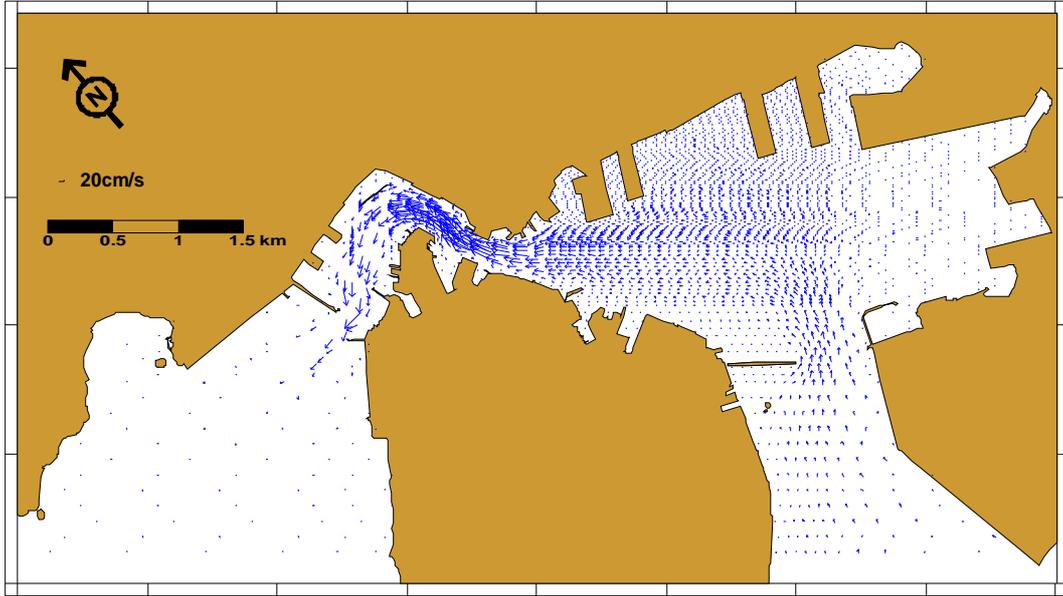


Fig. 4.12 Maximum Flood current of before development

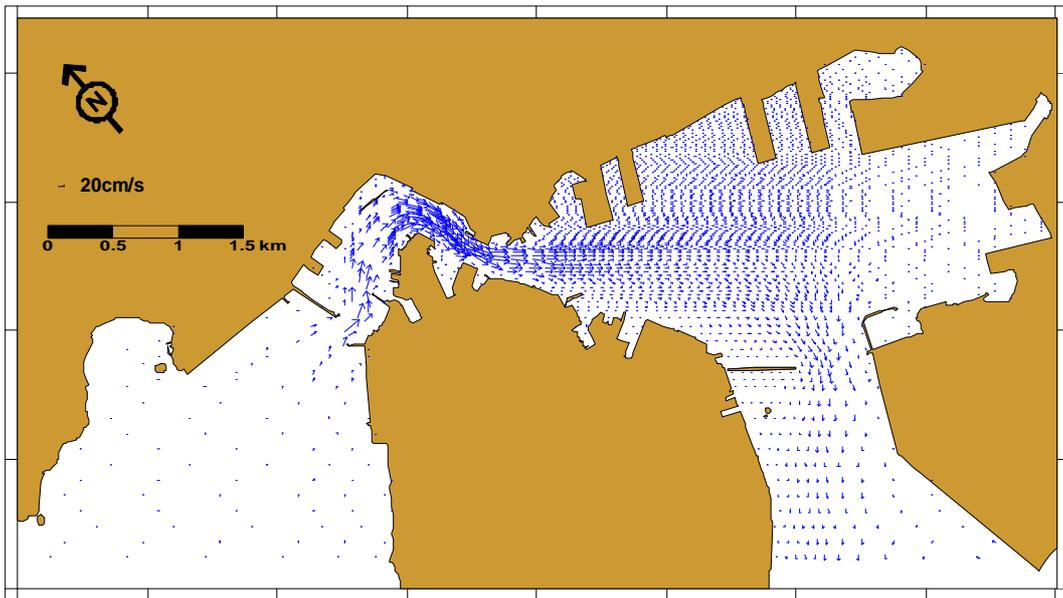


Fig. 4.13 Maximum Ebb current of before development

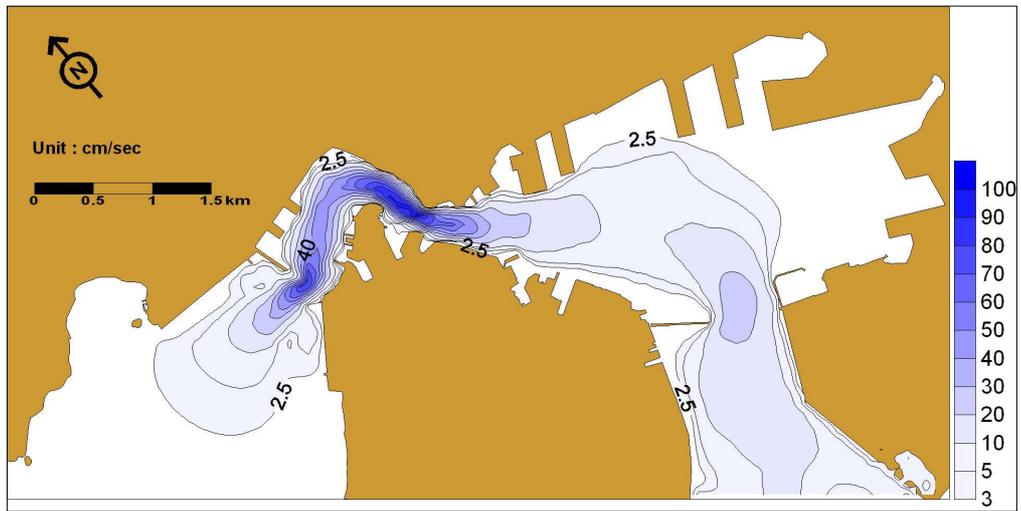


Fig. 4.14 Distribution of maximum flood current velocities before development

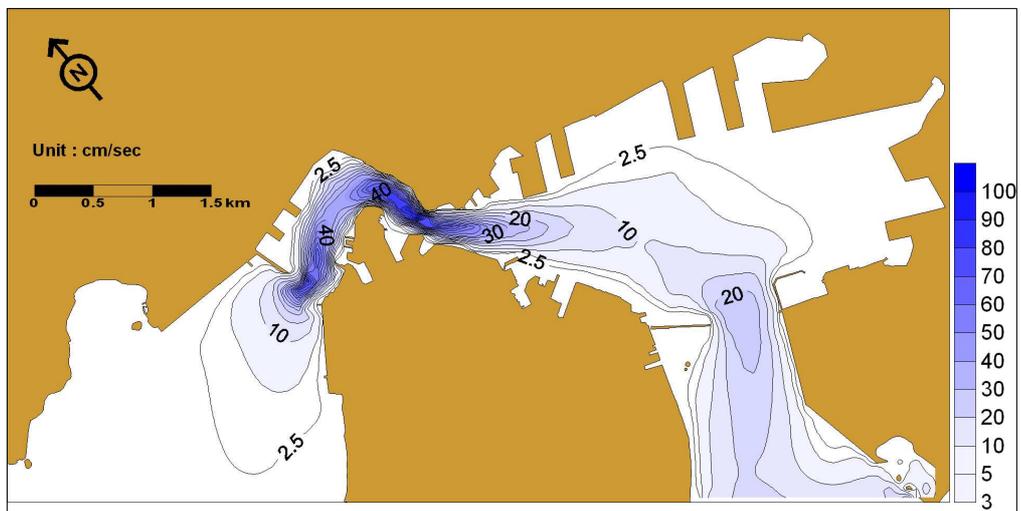


Fig. 4.15 Distribution of maximum ebb current velocities before development

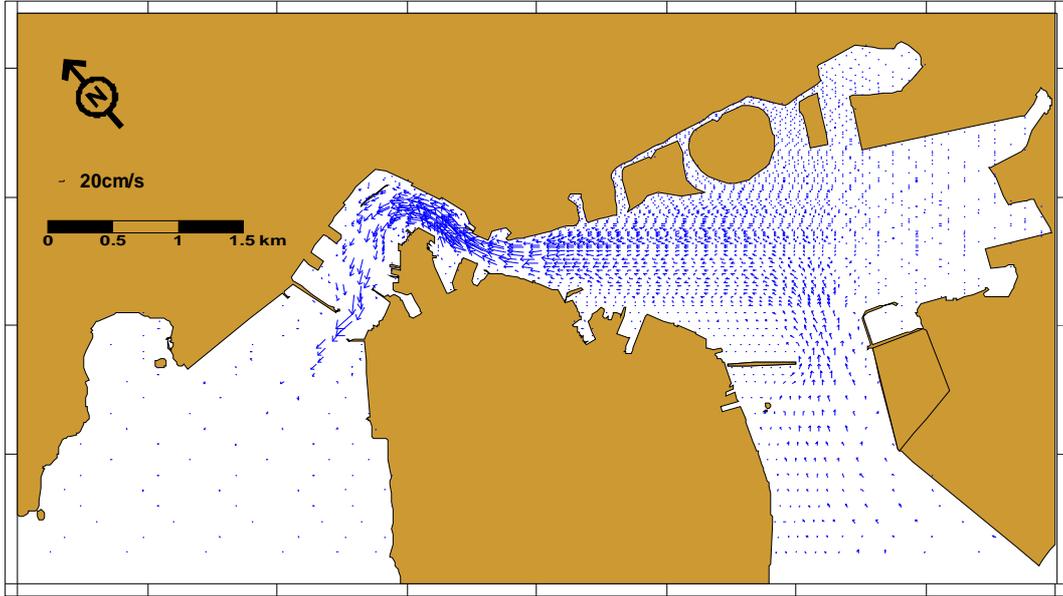


Fig. 4.16 Maximum Flood current of after development

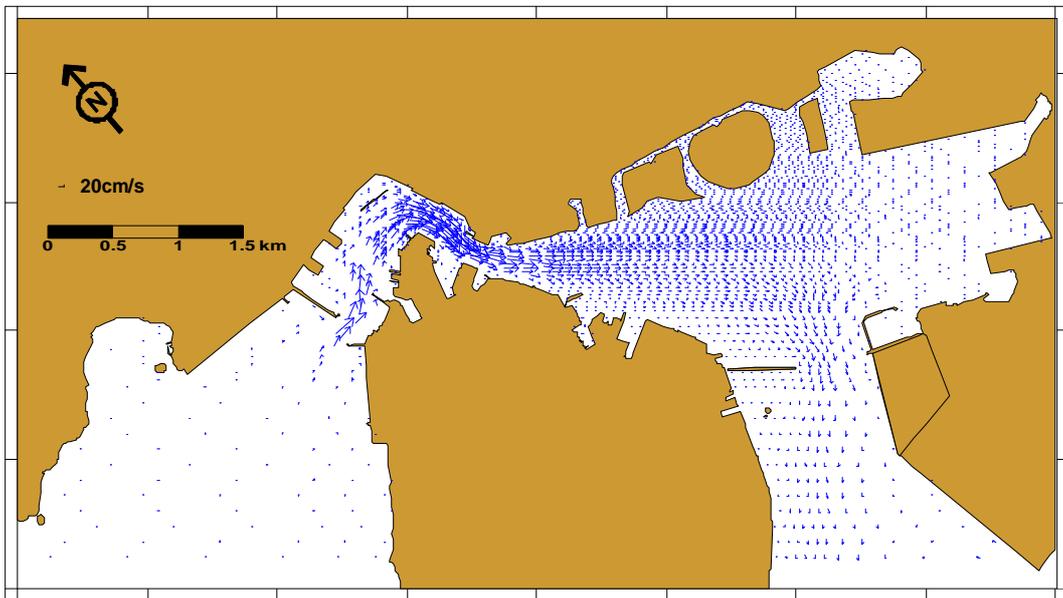


Fig. 4.17 Maximum Ebb current of after development

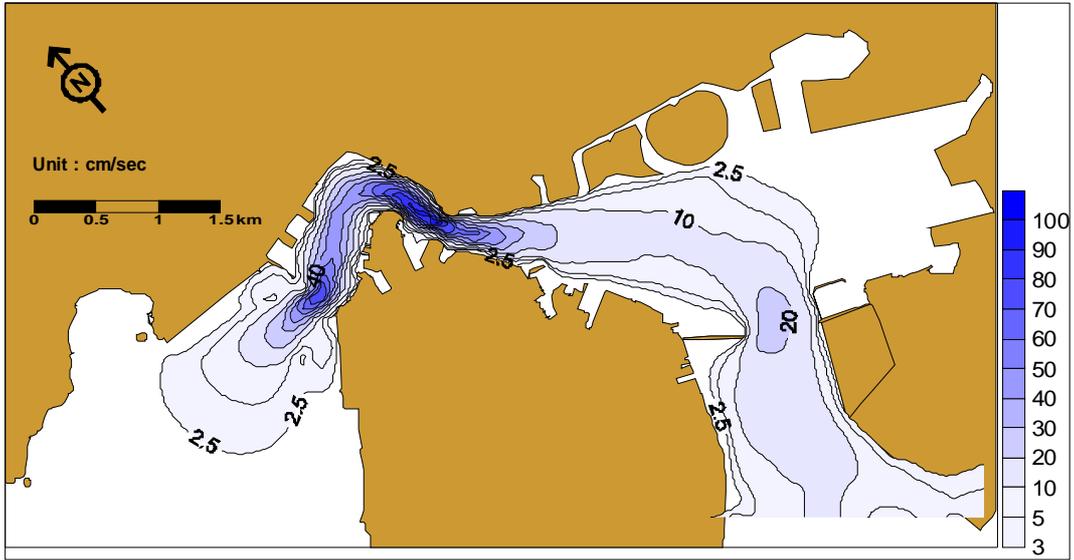


Fig. 4.18 Distribution of maximum flood current velocities after development

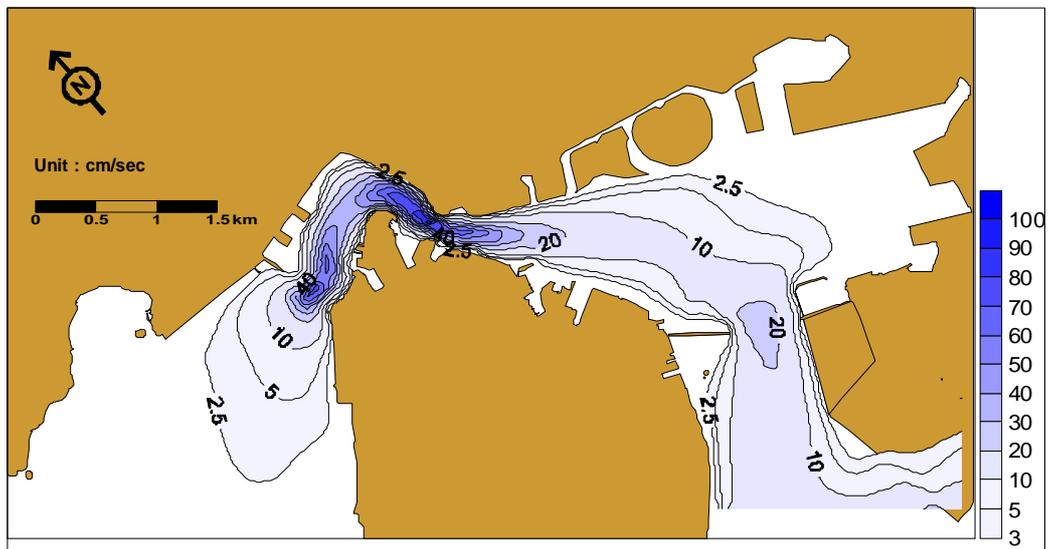


Fig. 4.19 Distribution of maximum ebb current velocities after development

4.4 해수유동 변화

북항 재개발로 인한 최강 창·낙조시 유속분포는 Fig. 4.20 및 Fig. 4.21에 제시된 바와 같이, 주 수로상에서는 최대 4~6cm/sec의 증가가, 북항 부근 및 감만부두 전면에서는 최대 8~10cm/sec 까지의 감소가 나타나고 있다. 전반적인 변화는 3cm/sec 내외의 증감으로 나타났으며 지형변화로 인해 수치표현상의 문제로 다소 튀는 값이 존재하는 것으로 판단된다.

격자망도에 표기된 비교정점을 기준으로 개발 전·후에 대한 최강유속을 비교하면 ST-1(부산대교 부근)에서 76.5cm/sec에서 76.9cm/sec로, ST-2(제1부근 전면해역)에서 23.5cm/sec에서 23.9cm/sec로, ST-3(제7부두 전면해역)에서 1.1cm/sec에서 1.0cm/sec로 수로상에서는 유속 증가가, 내만쪽에서는 유속 감소가 나타났다.

창조 유속에 대한 변화가 낙조유속에 대한 변화에 비해 약간 더 높은 차이를 보이는 것을 알 수 있다. 이는 오탁물질의 이동이 부산대교 및 영도대교 부근으로 개발 전에 비해 증가 할 수 있는 가능성이 있다는 것을 보여준다.

개발로 인한 유속의 변화는 오염물질의 이동경로가 바뀌게 됨은 물론이고 해양 생태계의 변화를 초래할 수 있다. 이러한 변화를 미연에 방지하고 해양 환경의 보존을 위해서는 개발에 대한 시각의 다양화와 최대한으로 적은 환경 파괴로서 개발을 진행해야 할 것이다.

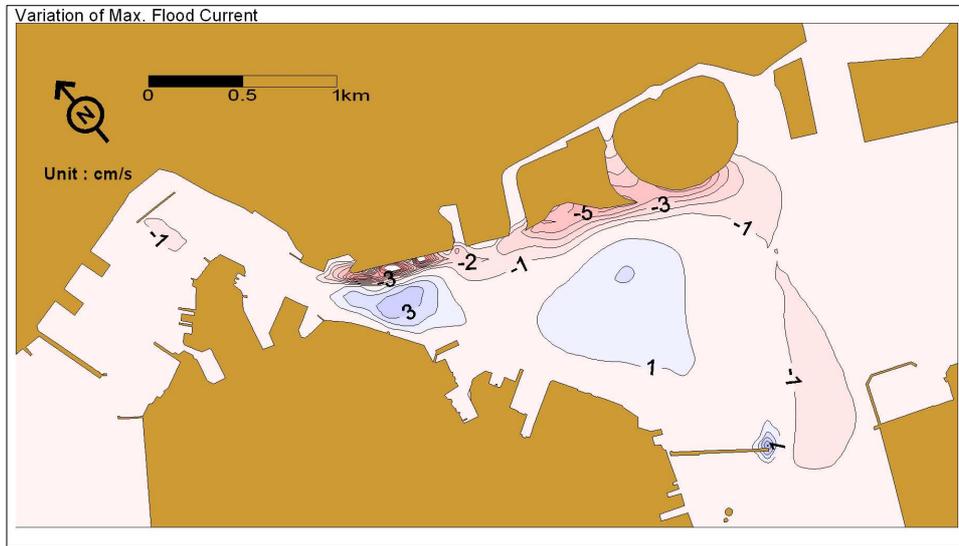


Fig. 4.20 Variation of maximum flood current

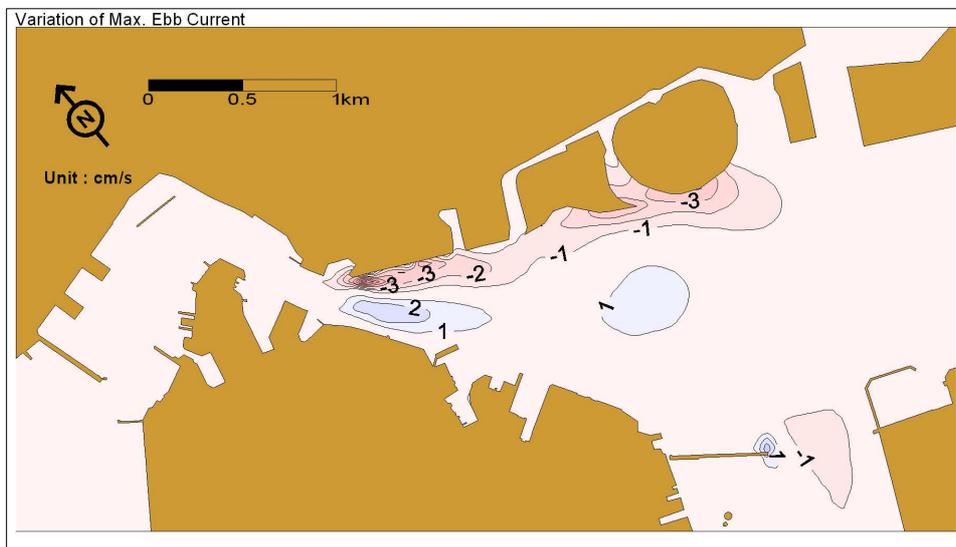


Fig. 4.21 Variation of maximum ebb current

4.5 입자추적 실험

입자추적 실험은 해수유동 실험의 외력장인 조위, 조류자료를 입력치로 하여 초기입자 투입영역에 입자를 부여하여 거동특성을 분석하였으며, 이를 기초로 하여 해수교환율을 산정하였다. Fig. 4.22는 15일간의 조위 그래프를 나타내는 그림이고, Fig. 4.23에 북항 개발 전·후의 초기입자 투입영역을 제시하였다. 투입영역은 제1,2부두, 중앙부두, 3,4,5부두를 포함한 영역으로 하였으며, 15일 동안 수치모의를 수행하였다.

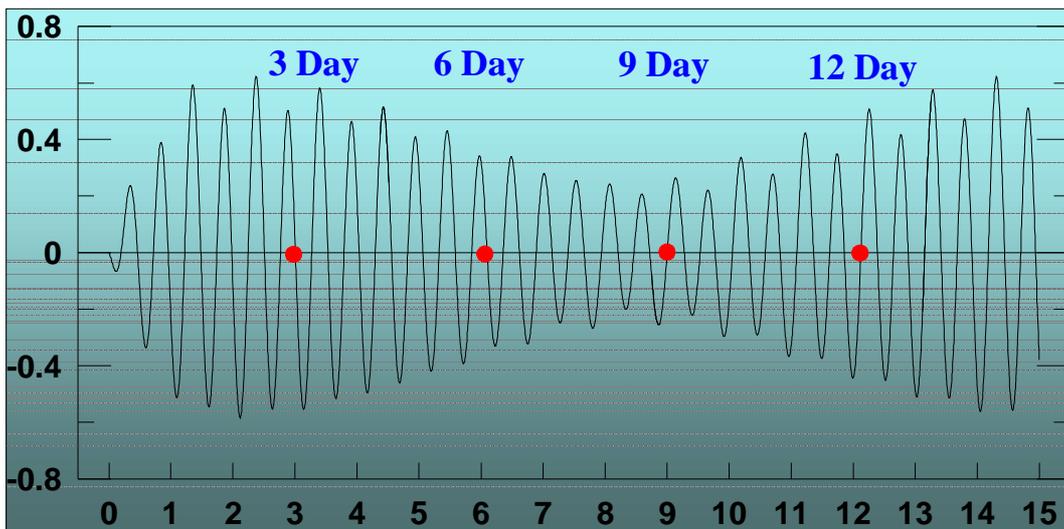


Fig. 4.22 Tide verification curves for 15days



Fig 4.23 Region for the initial particle input for the before and after redevelopment

4.6 해수교환율 변화 검토

실험은 15일 동안에 대하여 이루어졌으며, 입자거동 특성과 이를 바탕으로 해수교환율을 평가하였다. Fig. 4.11은 초기입자의 확산이 가장 크게 일어났을 것으로 여겨지는 대조기가 지나고 중조기 시점인 100시간(≒4.2일) 이후의 입자 확산 결과, 주수로상의 유속감소로 인하여 투여된 입자가 감만부두 방향으로 많이 유출되어 항 밖으로 향하는 양상을 보이며, 자성대부두와 7,8부두 부근 내만의 순환 양상이 다소 정체되고 있다. Fig. 4.25 ~ Fig. 4.28은 북항재 개발 전에, Fig. 4.29 ~ Fig. 4.32는 개발 후에 입자추적 수치실험 결과를 각각 3, 6, 9, 12일 이후의 거동을 나타낸 것이다.

입자추적 실험 결과를 바탕으로 계산한 해수교환율은 4일까지 급격한 해수교환 효과를 나타내게 되는데, 이는 대조, 중조기간이 지난 시점이기 때문으로 생각되며, 소조가 끝나고 중조, 대조가 다시 시작하는 시점인 12일 이후에 다시 해수교환율이 증가되는 경향을 보이고 있다. 4일 이후 해수교환율은 현재 상태는 44.4%, 개발 후는 44.3%, 12일 이후에는 70.0%, 72.1%로 개발 후의 해수교환율이 오히려 높아지는 것으로 나타났다(Fig. 12). 또한, 15일 정도의 준정상상태에 이르면 개발 전후에의 차이는 거의 없어지며 해수교환율이 77%에 달하는 것으로 나타났다.

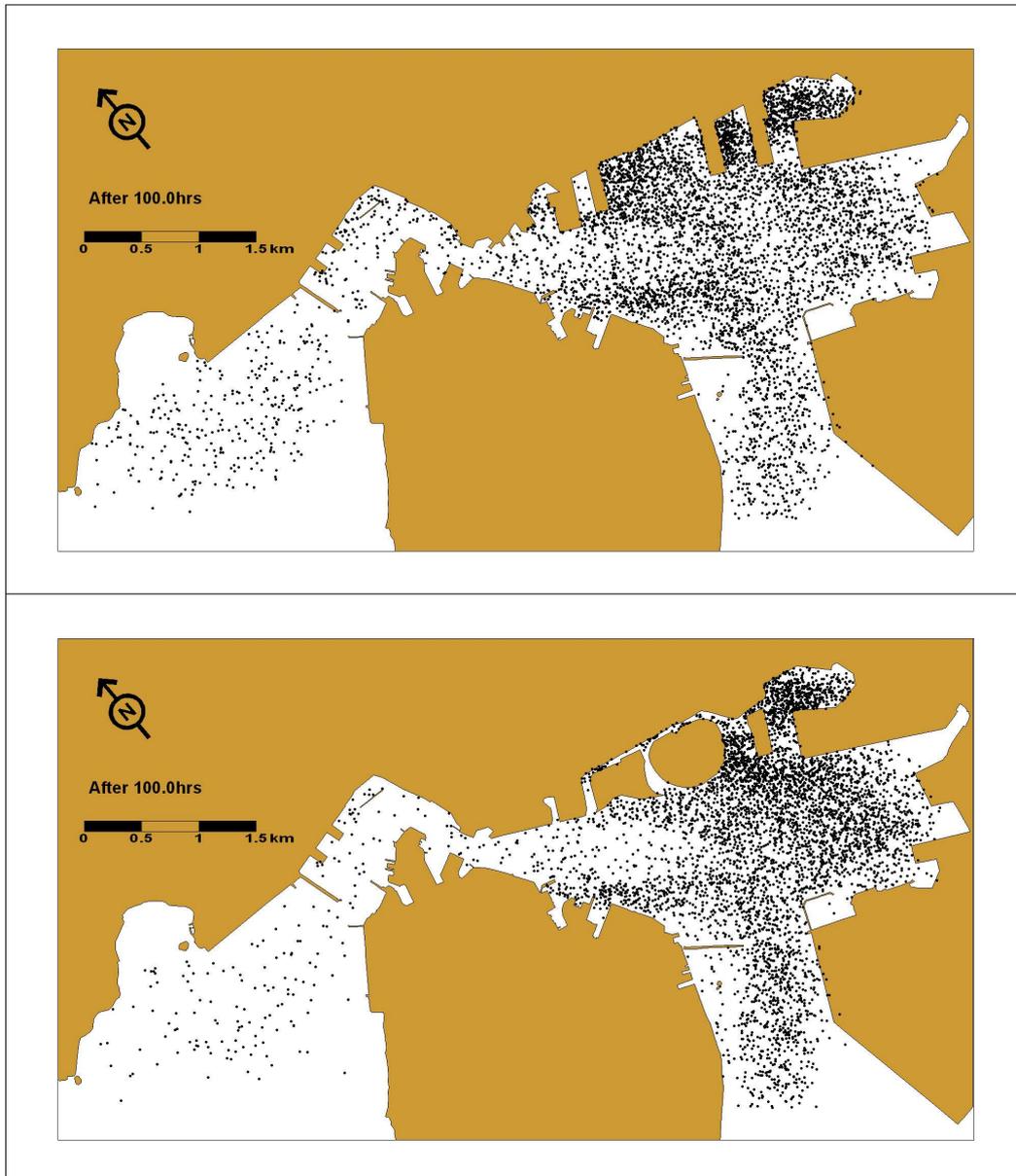


Fig. 4.24 Characteristics of particle movement after 100hours



Fig. 4.25 Characteristics of particle movement after 3days before development



Fig. 4.26 Characteristics of particle movement after 6days before development



Fig. 4.27 Characteristics of particle movement after 9days before development



Fig. 4.28 Characteristics of particle movement after 12days before development

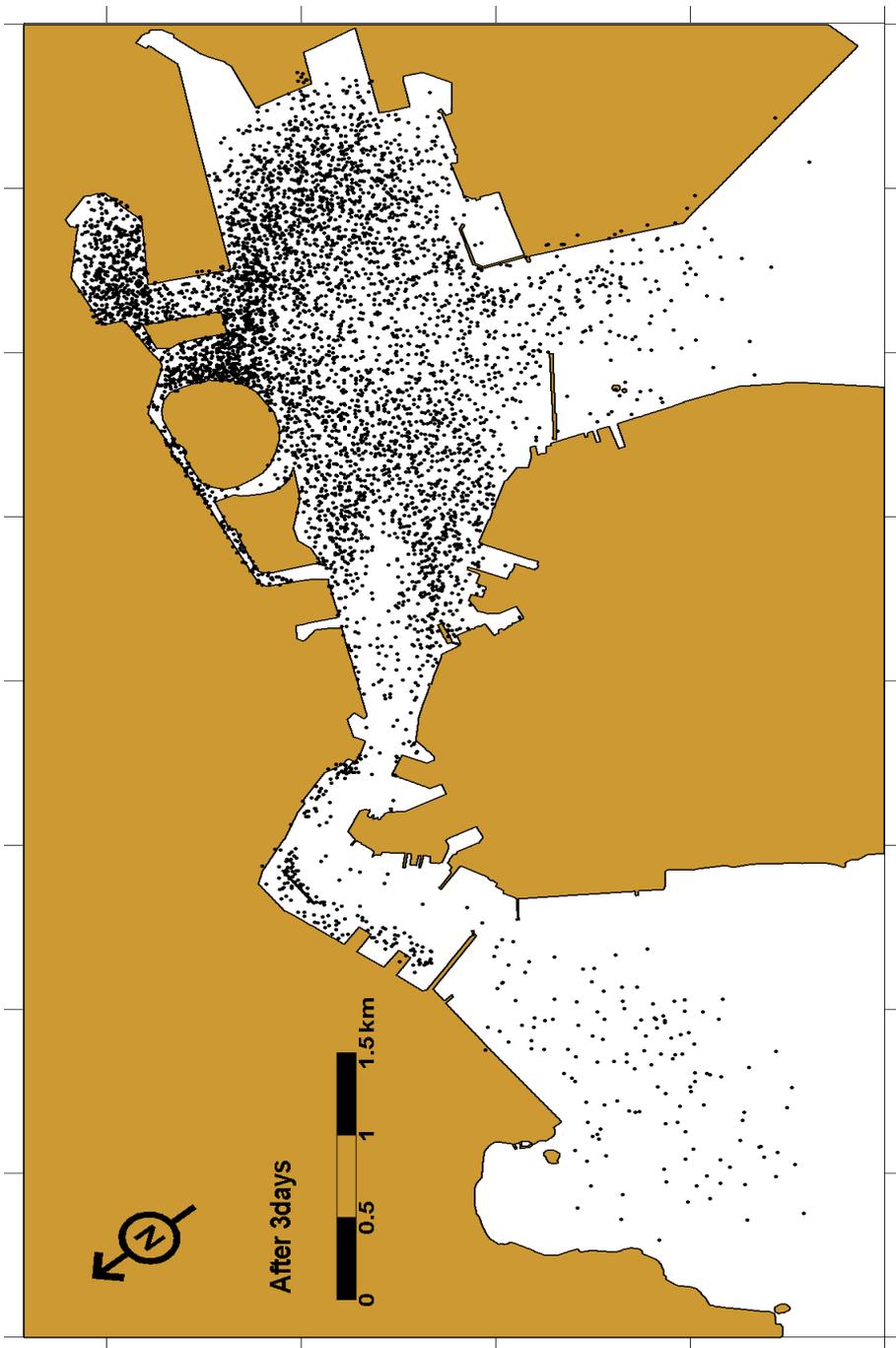


Fig. 4.29 Characteristics of particle movement after 3days after development



Fig. 4.30 Characteristics of particle movement after 6days after development



Fig. 4.31 Characteristics of particle movement after 9days after development



Fig. 4.32 Characteristics of particle movement after 12days after development

제5장 결론

본 연구에서는 북항 재개발로 인한 해수 유동과 해수교환 변화를 수치실험에 의하여 모의하였다. 해수 유동장의 변화는 POM모형의 2차원 모드를 적용하여 개발 전·후의 해수유동을 실험하였고, 이후 유동장 결과를 외력장으로 하여 입자추적 실험을 통하여 입자 거동 특성을 분석하였으며 이를 근거로 하여 해수교환율을 평가하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과를 종합해 보면 다음과 같다.

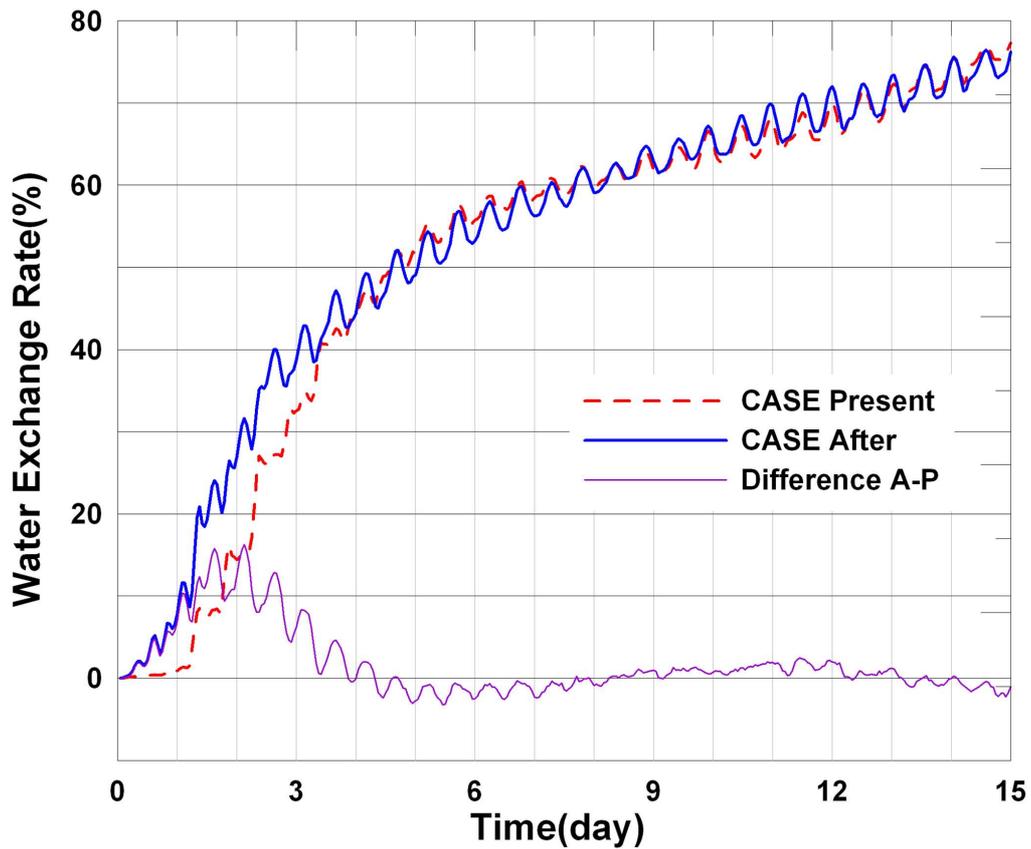


Fig. 5.1 Comparison of water exchange rates

1) 부산 남항·북항의 해수순환 양상은 감만부두와 남방파제사이로 유입된 창조류는 20~25cm/sec 내외의 분포를 보이며 내항에서 10cm/sec 이내로 감속되었다가 제1부두와 봉래동 사이 해역에서 다시 가속된다. 또한, 부산대교-영도다리에서 최대 100cm/sec까지 유속분포를 보이며 남항쪽으로 유출되고 낙조류는 이와 반대의 양상을 보인다.

2) 북항 재개발로 인한 해수유동 변화는 창·낙조류 모두 주수로상에서는 최대 6~8cm/sec까지의 증가가 나타나고, 북항 및 내항 부근에서는 최대 8~10cm/sec까지의 감소가 나타났다. 전반적으로 최대 유속변화는 극히 일부를 제외하고는 대부분 1~2cm/sec 내외의 미세한 증감을 보였다.

3) 시간에 따른 입자거동은 개발전의 경우 계산영역을 중심으로 동쪽과 남쪽으로 확산이 비교적 균형적으로 일어나지만, 개발후의 경우 남쪽에서의 확산 거동이 우세하게 나타난다.

4) 입자거동 결과를 바탕으로 한 해수교환율 평가 결과, 대조시기인 48시간(2일) 후 개발 전·후 각각 14.4%, 26.8%로 나타났으며, 중조기간인 125시간(5.2일) 후에는 55.3%, 54.4%로, 소조기간인 192시간(8일) 후에는 60.0%, 59.9%로 나타나, 대조, 중조기간까지는 개발 후의 해수교환율이 우세하지만 이후부터는 개발 전과 후의 차이는 1~2%로 극히 미세한 것으로 분석되었다.

부산북항 재개발에 따른 해양환경적 변화를 예측할 수 있는 해수유동장 변화와 해수교환율 평가를 수행하였다. 검토 결과, 재개발에 따른 환경적 영향은 미미할 것으로 판단되지만 매립면적의 확대에 의하여 북항의 기존 수제선 부근 및 동천부근 내항쪽에 유속 저감이 일어나기 때문에 해수교환 시설의 확충 및 오염원 관리는 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] 中田英明, 平野敏行 (1976), “瀬戸水域における海域の交流・交換について”, 日本水産海洋研究會報, 29, p. 724.
- [2] Awaji, T., Imasato, N. and Kunishi, H. (1980), “Tidal exchange through a strait : A numerical experiment using a simple model basin”, J. Physical Oceanogr., 10, pp. 1499-1508.
- [3] Blumberg, A. F., and G. L. Mellor (1987), “A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model in Three-Dimensional Coastal Model“, Vol.4, edited by N. Heaps, American Geophysical Union, Washington, D.C.
- [4] Cushman, J.H.(1987), “Development of stochastic partial differential equations for subsurface hydrology”, Stoch. Hydrol. Hydraul., Springer-Verlag, 1(4), pp. 241-262.
- [5] Elder, J.W. (1959), “The dispersion of market fluid in turbulence shear flow” J.Fluid Mech., 5, Part 4, pp. 544-560.
- [6] Jozsa, J. (1989), “2-D particle model for predicting depth-integrated pollutant and surface oil slick transport in rivers”, Proc. Int. Conf. on Hydraulic and Environmental Modeling of Coastal, Estuarine and River Waters, Univ. of Bradford, Bradford, Sep., Paper No.30, pp. 332-340.
- [7] Lee, J.S. and Kim, H.J. (1995), “Sensitivity analysis of diffusion solutions by random walk method”, J. Korean Soc. of Civil Eng., 15(5), pp. 1267-1277.
- [8] Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1977), “A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans”, J. Comput. Phys., 23, pp. 167-178.
- [9] Park, D.S., Norris, D.P. and Nelson, A.W. (1972), “Tidal exchange at Golden Gate” proc. of ASCE, 98, SA2, pp. 305-323.
- [10] Simons, T. J. (1974), “Verification of numerical models of Lake Ontario, Part I. Circulation in spring and early summer”, J. Phy. Oceanogr., 4, pp. 507-523.
- [11] Zennetti, P. and Al-Madani, N. (1983), “Simulation of transformation, buoyancy and removal processes by lagrangian particle method”, Proc. 14th NATO/CCMS ITM, Copenhagen, Denmark, pp. 733-744.

감사의 글

한국해양대학교 해사산업대학원 토목·환경공학과에 입학한 것이 엇그제 같은데 벌써 졸업을 준비하게 되었습니다. 학교생활이 저에게 있어 소중한 값진 시간이었기에 이렇게 빠르게 느껴지는 것이라 생각됩니다. 사실 한때는 직장생활과 학업을 병행하는 것이 쉽지 않아 포기할 생각도 했었지만 뒤통수치지 않고 무사히 졸업을 할 수 있게 되어 감개무량 할 따름입니다. 이 모든 것은 결코 저 혼자만의 힘으로 된 것이 아니었음을 고백하지 않을 수 없습니다. 그것은 항상 제 주위에서 애정 어린 관심과 아낌없는 격려를 보내주신 분들의 덕분입니다.

먼저 이 논문이 완성되기까지 많은 관심과 사랑으로 지도해주신 이중우 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 그리고 미흡한 논문을 심사하시느라 고생하신 국승기 교수님, 박한일 교수님께 감사드리며, 토목공학과 교수님이신 김도삼 교수님, 김태곤 교수님, 경갑수 교수님, 김태형 교수님께 감사의 말씀을 올립니다.

연구실에서 항상 따뜻하게 맞아주신 강민이형, 도경이형, 지훈이형, 학승이형, 우철이형에게 감사드리며, 동기 호동이, 훈이, 민수, 동훈이, 재현이, 승철이, 기담이, 기대, 필성이, 상길이에게도 고마움을 전하고 싶습니다.

대학원 생활을 하면서 배운 전공지식 못지않게 값진 것은 교수님들은 물론 선후배들과의 인간적인 교류를 통해 가족과 같은 유대감을 형성하는 따뜻한 마음입니다. 앞으로 이런 따뜻한 마음으로 상대방을 배려하는 자세로 살아가고자 합니다.

끝으로 많은 양해와 도움을 주신 회사 직원들과 아낌없는 지원과 믿음으로 지켜봐 주신 어머니, 누나들 그리고 자형들에게 감사드리고, 아내에게 고마움과 사랑의 마음을 전하며 오늘의 작은 열매에 자만하지 않고 계속 정진하면서 살아가도록 하겠습니다.