

工學碩士 學位請求論文

해양투기장에서 준설토의 투기에
따른 거동 평가

Evaluation of the Behavior of Dredged materials in
Ocean Dumping Area

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

鄭 榮 桓

本 論 文 을 鄭 榮 桓 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 慶 甲 秀 (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

鄭 榮 桓

Evaluation of the Behavior of Dredged Materials in Ocean Dumping Area

Young-Hwan Jeong

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

Abstract

When we consider to develop a new harbor, the most important factor, we think, is the lowest water depth of waterway and approaching channel for safe navigation of vessel. The existing harbors have been being dredged to meet the international trend of jumbo sized vessels by adopting the new design criteria. As the dredged materials over the expected at the design level were common and there are still lack of land based reclamation area, we have no choice to discharge the dredged materials in open sea area. In this study, we analysed the behavior of discharged materials at the dumping area of offshore open sea, which were collected from the dredging work at the waterway in Busan New Port. We measured the tidal currents and analyzed the waters of dumping site after the dumping work. These were used to evaluate the numerical models. Suspended Solids(SS) were introduced to the diffusion model. Because of the characteristic of the dumping site, the speed of initial diffusion and settle down of the discharged materials was so fast. Therefore, we believe that the dumped materials do not cause a significant impact to the marine environment.

KEY WORDS : Dredged material, Dumping area, Discharge, Tidal current, Diffusion

목 차

ABSTRACT	i
LIST OF TABLES	iv
LIST OF FIGURES	v
NOMENCLATURE	viii
제1장 서론	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 목적 및 내용	2
제2장 파랑 및 흐름 이론	4
2.1 해수유동	4
2.1.1 유동의 지배방정식	4
2.1.3 격자구성	8
2.1.4 안정조건 및 경계조건	8
2.2 준설물 투기 확산	11
2.2.1 확산의 기본방정식	11
2.2.2 부유사의 침강 및 재부유	12
2.2.3 부유사의 퇴적	12
2.2.4 침식율 및 확산 계수	13
제3장 해양환경 조사	15
3.1 준설토 투기지역	15
3.2 과거 파랑관측치의 분석	17
3.2.1 전년치 분석	17
3.2.2 계절별 분석	18
3.2.3 월별 분석	18
3.3 조석	19
3.4 조류	24

3.5 부유사	30
3.6 해류	33
3.7 지질 및 수심	33
제4장 모형의 검증 및 적용	35
4.1 모형의 개요	35
4.2 모형의 검증	38
4.3 부유사 확산 시뮬레이션	43
4.4 부유사 확산 시뮬레이션 및 현장 관측값 비교	51
제5장 결론	68
참 고 문 헌	70

LIST OF TABLES

Table 3.1 Positions for the field measurement of tidal current and suspended solids Case 1	15
Table 3.2 Positions for the field measurement of tidal current and suspended solids Case 2	16
Table 3.3 Occurrence frequency of wave height (1980~1982)	17
Table 3.4 Harmonic constant and nonharmonic constant	21
Table 3.5 Major tidal components at Gaduckdo tidal observatory	22
Table 3.6 Old surveyed results at dumping area	27
Table 3.7 SS distribution at 9 station	32
Table 4.1 Summary of tidal circulation model simulation set up	36
Table 4.2 Summary of SS model simulation set up	43
Table 4.3 Surveyed SS Case 1-1 (mg/ℓ)	65
Table 4.4 Surveyed SS Case 1-2 (mg/ℓ)	66
Table 4.5 Surveyed SS Case 2-1 (mg/ℓ)	67
Table 4.6 Surveyed SS Case 2-2 (mg/ℓ)	67

LIST OF FIGURES

Fig. 2.1 The sigma coordinate system	6
Fig. 3.1 Release point from the dredge area	16
Fig. 3.2 Tide level chart at Gaduckdo	20
Fig. 3.3 Tidal current and range at dumping area 1 (NORI simulation results)	22
Fig. 3.4 Tidal current and range at dumping area 2 (NORI simulation results)	23
Fig. 3.5 Tidal current and range at dumping area 3 (NORI simulation results)	23
Fig. 3.6 Surveyed tidal current at surface Case 1	25
Fig. 3.7 Surveyed tidal current at bottom Case 1	25
Fig. 3.8 Current meter	26
Fig. 3.9 Field survey at 9 station	26
Fig. 3.10 Old survey data point with NORI	27
Fig. 3.11 Maximum flood currents (Unit : knot)	28
Fig. 3.12 Maximum ebb currents (Unit : knot)	29
Fig. 3.13 Results of SS survey at surface	31
Fig. 3.14 Results of SS survey at bottom	31
Fig. 3.15 Seawater Sampling at dumping area	32
Fig. 4.1 Location map at dredging area	36
Fig. 4.2 Grids and Bathymetry chart	37
Fig. 4.3 Calibration of tide elevation (PT-1)	39
Fig. 4.4 Calibration of tide elevation (PT-2)	39
Fig. 4.5 Comparison of max. tide current at ST-1~9	40
Fig. 4.6 Maximum flood currents	41
Fig. 4.7 Maximum ebb currents	42
Fig. 4.8 Diffusion distribution after 6hours	44
Fig. 4.9 Diffusion distribution after 12hours	45
Fig. 4.10 Diffusion distribution after 18hours	45
Fig. 4.11 Diffusion distribution after 1day	46
Fig. 4.12 Diffusion distribution after 3days	56

Fig. 4.13 Diffusion distribution after 5days	47
Fig. 4.14 Diffusion distribution after 7days	47
Fig. 4.15 Diffusion distribution after 9days	48
Fig. 4.16 Diffusion distribution after 11days	48
Fig. 4.17 Diffusion distribution after 13days	49
Fig. 4.18 Diffusion distribution after 15days	49
Fig. 4.19 Distribution of maximum SS concentration	50
Fig. 4.20 Diffusion distribution after 6hours (mg/ℓ)	52
Fig. 4.21 Diffusion distribution after 12hours (mg/ℓ)	52
Fig. 4.22 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (05/12/26, mg/ℓ)	53
Fig. 4.23 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/01/11, mg/ℓ)	53
Fig. 4.24 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/01/11, mg/ℓ)	54
Fig. 4.25 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/02/02, mg/ℓ)	54
Fig. 4.26 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/03/02, mg/ℓ)	55
Fig. 4.27 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/03/17, mg/ℓ)	55
Fig. 4.28 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/03/31, mg/ℓ)	56
Fig. 4.29 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/04/26, mg/ℓ)	56
Fig. 4.30 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/05/25, mg/ℓ)	57
Fig. 4.31 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/06/28, mg/ℓ)	57
Fig. 4.32 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/08/29, mg/ℓ)	58
Fig. 4.33 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/11/13, mg/ℓ)	58
Fig. 4.34 Comparison of diffusion between survey and simulation	

Case2 (05/11/01, mg/ℓ)	59
Fig. 4.35 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (05/11/17, mg/ℓ)	59
Fig. 4.36 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (05/12/01, mg/ℓ)	60
Fig. 4.37 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (05/12/15, mg/ℓ)	60
Fig. 4.38 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (05/12/26, mg/ℓ)	61
Fig. 4.39 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (06/01/11, mg/ℓ)	61
Fig. 4.40 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (06/02/02, mg/ℓ)	62
Fig. 4.41 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (06/02/13, mg/ℓ)	62
Fig. 4.42 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (06/03/02, mg/ℓ)	63
Fig. 4.43 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (06/03/17, mg/ℓ)	63
Fig. 4.44 Comparison of diffusion between survey and simulation	
Case2 (06/04/26, mg/ℓ)	64

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
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

제1장 서론

1.1 연구의 배경

부산항을 동북아 허브항만으로 개발하기 위한 전략에 따라 부산북항의 항만 시설 확충의 한계를 극복하고 만성적인 화물적체 해소와 국가 경쟁력을 재고시키기 위해서 부산신항만이 계획되었다. 항만 등 SOC 시설사업은 그 중요성에도 불구하고 정부재정의 한계 때문에 집중투자가 어려운 실정이었으며 이를 극복하고 물동량 변화에 발맞춰 동북아 물류중심의 기반이 되는 항만시설의 적기확충, 항만시설 개발·운영에 민간의 자본과 창의 및 효율을 적극 도입하기 위해 항만개발의 민자 유치하였다.

계획당시만 해도 5,000 TEU급 선박은 대형선박으로 국·내외 항만에서 핵심 물류수송 수단으로 급한 성장을 이루었으며, 부산신항만의 경우도 5,000 TEU급 선박을 주력선박으로 하여 설계수심이 15m로 계획되었다. 그러나 유가의 폭등으로 대형 선박이 필요하게 되었고, 이러한 요구에 따라 조선산업도 발전을 거듭하여 선박의 대형화가 가속되고 있는 추세이다. 2004년 8월 8,000 TEU급 선박의 부산항 입항을 시작으로 하여 현재 10,000 TEU급 선박들이 부산 신항만에 입항할 예정에 있다. 대형화된 선박이 안전하게 운항하기 위해서는 선박이 통항하는 항로, 항내, 선석까지 충분한 수심이 유지 되어야 한다.

항만의 수심은 선박이 안전하게 출입 및 정박할 수 있는 지표로서 여러 가지 요인에 의해 결정 된다. 일반적으로 수심을 결정하는 요인은 파랑, 대기압, 수심측정의 정확도, 준설오차, 여유수심, 선박의 흘수, 상하 움직임, trim, squat 등을 고려하여 설정하여야 한다. 부산신항만 개발이 확정되어 건설이 진행되는 시점에도 계속 발전할 대형선박의 안전한 출입을 위해서 부산신항만

의 설계수심을 15m에서 18m로 변경하였다. 이와 같이 증심에 따른 준설토량의 증가로 인해 최초 설계시 고려하였던 준설토 투기장(해양수산부, 1997)으로는 준설토 물량을 소화 할 수 없게 되어 새로운 방안을 외해투기장에서 찾게 되었다.

해수유동은 지형, 대기 순환에 의해 발생하는 바람에 의한 취송류, 외양에서 발생하는 해류, 수온 및 염분 차에 의해 발생하는 밀도류, 조석에 의한 조류 등이 결합하여 매우 복잡한 양상을 띄며 끊임없이 순환하므로 준설토의 해상 투기시 연안해역에서 발생한 흐름장에 의해 주변 생태계에 영향을 미치게 된다. 준설토의 외해투기로 인한 영향으로는 인근 어장의 수질오염, 항만·해안의 침식이 발생할 수 있으며, 해양생태계의 변화를 초래할 위험이 증가되므로 실로 중요한 항목이라 할 수 있다.

따라서 이러한 준설토의 해상투기 공사시 발생하는 투기물질의 거동을 추정하기 위해서는 보다 현장관측과 함께 정밀한 예측수단을 통한 분석이 필요하며, 인근해역에 미치는 영향을 조사하고 실제 관측된 데이터와 비교하여 장래 준설토 투기시의 평가지표로 삼을 필요가 있는 것이다.

1.2 연구의 목적 및 내용

항만 및 연안 개발 사업에 포함되는 준설토, 방파제, 방조제, 호안축조, 매립 등의 다양한 공사는 주변해역의 해양물리 및 지질환경의 장·단기적으로 연안 생태환경에 변화를 초래하게 된다. 특히 항만공사시 해양환경에 미치는 주요 공정으로는 사석투하, 준설토, 매립, 여수토, 해양투기 등을 들 수 있으며, 본 논문에서는 부산 신항 및 항로 준설토로 인해 발생하는 준설토의 외해 투기로 인한 영향을 검토하기 위하여, 정기적인 준설토기 투기되는 해상에서 현장관측과 예측을 위한 해수유동 및 투기물질의 확산 수치모의를 수행하기로 한다.

큰 하천에서 오염물질의 이송과 확산에 관한 예측에 대해서는 한국수자원공사 수자원연구소(1994)의 연구가 이루어졌으며, 해수유동으로 인한 부유사의 확산 및 이의 개선에 관한 최근의 연구는 이와 안(1984) 및 한국환경정책·평가연구원 (2003) 등으로 그 예측기법과 수준이 소개된 바 있지만, 준설토의 해상투기로 인한 거동의 예측을 위해 POM (Princeton Ocean Model)을 도입하기로 한다. POM 모델은 연직 확산 항을 Mellor & Yamada(1982)의 난류운동에너지와 난류의 특성 길이에 관한 확산 방정식의 해로부터 구하였으며, 내부모드와 외부모드를 분리 계산하여 계산의 효율성을 향상시켰다. 그리고 Blumberg & Mellor(1987)는 시그마 좌표계에서 자유 수면을 고려할 수 있는 모델을 개발하여 미국 북부 캘리포니아 해안에서 용승류와 동안 경계류를 계산하여 모델의 효율성을 입증하였다. 그 외에도 국내·외에서 다양한 문제에 적용되어 왔다.

본 연구에서 해수유동 수치모의를 위한 계산영역은 거제도 동부와 서부산 일부를 포함하고 외해 역으로는 약 30~40km 까지 확장하여 투기될 지점에서의 경계영향을 최소화하기 위하여 70km × 65km로 설정하여 실험을 수행하였으며, 오염 확산 수치모의는 월별 부유사 관측 자료와 투기될 SS발생량, 대상해역의 검조기록을 조석 조화 분해한 값을 외력장으로 하여 수치실험을 수행하였다. 또한, 현장에서 관측한 유속값과 또한, 실제 투기 후 현장에서 직접 샘플링 후 월별 부유사 관측 자료와 수치 모의 자료를 비교함으로써 실제 투기에 따른 오염 확산 모델링의 정확도를 평가하였다.

제2장 파랑 및 흐름 이론

2.1 해수유동

2.1.1 유동의 지배방정식

일반적으로 불규칙한 해적지형이나 요철이 심한 지역에서 수직적으로 등간격의 격자를 사용하면 부분적으로 압력강사가 급변하는 부근이나 해수유동이 극심한 곳에서의 유동을 재현하는데 어려움이 많았다. 이를 개선한 방식이 σ -좌표계이다.

본 연구에서는 2차원 모드(2-D Circulation)에 의해 계산을 수행하였으며 연직 적분된 기본 방정식은 다음과 같다. 모드분리(Simans, 1974; Madala and Piacsek, 1977)로 알려진 이 기법은 속도와 열역학적 특성의 3차원 계산으로부터 개별적으로 속도수송을 풀어버림으로써 계산시간에 있어서 조금의 손실도 없이 자유 수면승강을 계산한다.

외부모드 방정식의 체적수송은 깊이에 대한 내부모드 방정식을 적분하는 것으로 얻어진다. 그것에 의하여 모든 연직구조는 제거되어 진다.

외부 모드와 내부모드의 지배방정식은 기존의 직교좌표계(x, y, z, t)에서 시그마 좌표(x*, y*, σ , t*)로 변환하기 위해 새로운 독립변수를 도입하였다 (Philips, 1957).

$$x^* = x, y^* = y, \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t \quad (2-1)$$

$\sigma = -1$ 에서 $\sigma = 0$ 까지 연속방정식을 적분하고 경계조건 [$w(0)=w(-1)=0$]을 사용하여 다음과 같이 수면변위에 대한 연속방정식과 운동방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}D}{\partial y} = 0 \quad (2-3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{U}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2 D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial y} - f \bar{V} D + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - D \bar{F}_x \\ = -\overline{wu}(0) + \overline{wu}(-1) - \frac{\partial D \overline{U'^2}}{\partial x} - \frac{\partial D \overline{U'V'}}{\partial y} \\ - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' d\sigma \\ + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial x} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma d\sigma \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{V}D}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U} \bar{V} D}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2 D}{\partial y} - f \bar{U} D + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - D \bar{F}_y \\ = -\overline{wv}(0) + \overline{wv}(-1) - \frac{\partial D \overline{U'V'}}{\partial x} - \frac{\partial D \overline{V'^2}}{\partial y} \\ - \frac{gD^2}{\rho_0} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \rho d\sigma' d\sigma \\ + \frac{gD}{\rho_0} \frac{\partial D}{\partial y} \int_{-1}^0 \int_{\sigma}^0 \sigma' \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} d\sigma d\sigma \end{aligned} \quad (2-5)$$

여기서, $D = H + \eta$ 이고, 연직 적분된 속도는 다음과 같이 정의된다.

$$(\bar{U}, \bar{V}) \equiv \int_{-1}^0 (U, V) d\sigma \quad (2-4)$$

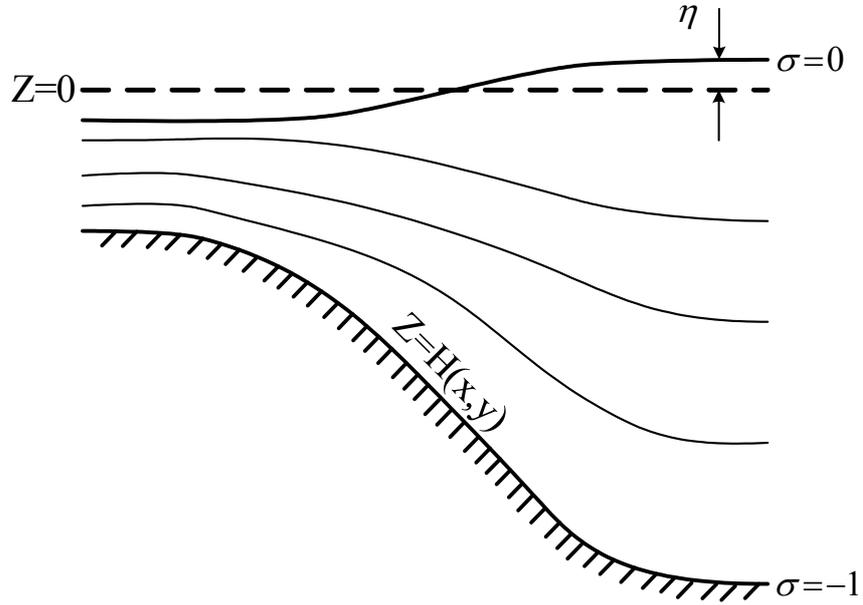


Fig. 2.1 The sigma coordinate system

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(2-2), (2-3)의 항들은 연직적분(평균)속도로 부터 출발한 속도의 외적 연직 평균으로 표현된다. 그리고 그것은 종종 분산 항을 나타내기도 한다.

$$(\overline{U'^2}, \overline{U'V'}, \overline{V'^2}) = \int_{-1}^0 (U'^2, U'V', V'^2) d\sigma \quad (2-5)$$

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

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

$$D\overline{F}_x = \frac{\partial}{\partial x} (2A_M \frac{\partial \overline{UD}}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} A_M (\frac{\partial \overline{UD}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{VD}}{\partial x}) \quad (2-6)$$

$$D\overline{F}_y = \frac{\partial}{\partial y} (2A_M \frac{\partial \overline{VD}}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial x} A_M (\frac{\partial \overline{UD}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{VD}}{\partial x}) \quad (2-7)$$

계산방법은 조석운동을 푸는 단시간 단계를 포함하는 천해파 방정식(2-1), (2-2), (2-3)을 외부모드를 이용하여 방정식을 푸는 것이다. 외부모드 해는 시간에 고정된 식(2-2), (2-3)의 오른쪽 항을 얻을 수 있고 큰 시간 스텝 후, 100차수 후에 내부모드 계산이 수행된다.

2.1.2 수평 와동 점성계수

수치 모델 적용시 수평 와동 점성 계수로 상수 값을 사용하기도 하나, 아래 식과같이 격자크기와 유속장을 수평와동 점성계수에 관련시킨 Smagorinsky 형 계수가 보다 발전적이다(한국해양연구소, 1993).

$$A_M = c\Delta x\Delta y \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y}\right)^2} \quad (2-8)$$

여기서, c : 무차원 상수

$\Delta x, \Delta y$: x-방향과 y-방향의 격자 크기

본 논문에서는 수평와동 점성계수로 Smagorinsky형 계수에 수심 적분으로 인한 분산 효과(dispersion effect)를 고려하여 사용하였으며, 수평 난류 확산 계수는 수평와동 점성계수와 같은 값을 사용하였다.

2.1.3 격자구성

격자구성은 엇갈림 격자(staggered grid)에 속하는 Arakawa C-grid를 이용하였으며, 기본방정식은 flux-conservative form으로 표현하여서 방정식을 차분화할 때 질량과 에너지 보존에 유의하였고, 차분화 방법으로는 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용함으로써 질량과 부피 보존이 잘 되게 하였다. 수면경사를 반음해법으로, 수평 확산항을 CS(Centered Space)법으로 해석하였고, 시간에 대하여는 leapfrog scheme을 사용하였다. 운동방정식 이류항은 CS법으로 해석하였고, 물질 보존방정식 이류항은 BS(Backward Space)법으로 해석하였다.

시간미분항을 차분화하는데 three-time level scheme인 leapfrog scheme을 이용하면 Coriolis항을 처리하는데 유리하지만 각 time step마다 physical mode와 computational mode를 형성하는 시간간격 분리현상이 생긴다. 시간각격 분리현상으로 인한 불안정성을 제거하기 위해 Euler-backward scheme (Blumberg, 1977; Wang & Kravitz, 1980)이나 weak time filter (Blumberg & Mellor, 1987)를 적용한다.

2.1.4 안정조건 및 경계조건

수심 적분된 기본 방정식에서 Courant-Friedrichs-Lewy(CFL) 수치 안정 조건은 다음과 같다(Blumberg & Mellor, 1987).

$$\Delta t \leq \frac{1}{C_t} \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-1/2} \quad (2-10)$$

여기서, $C_t = 2\sqrt{gH} + U_{\max}$

U_{\max} : 최대 수심평균 속도

본 모델링에서의 수치해는 각 time step(n)마다 아래 식(Asselin, 1972)을 이용하여 평활화(smooth) 되었다.

$$T_s^n = T^n + \frac{\alpha}{2}(T^{n+1} - 2T^n + T_s^{n-1}) \quad (2-9)$$

여기서, T : unsmoothed numerical solution

T_s : smoothed solution

$\alpha = 0.05$

모델링에서 바람 응력의 효과는 고려하지 않았고, 해수 유동장에 대한 초기 조건은 해수 유동이 없는 것(cold start)으로 설정하였다.

해수 유동의 폐경계 조건으로 육지 경계면을 가로지르는 유량은 없다고 하였고, 저면 마찰은 Manning의 마찰 계수를 이용한 quadratic stress law를 사용하였다.

$$\vec{\tau} = C_D \sqrt{U^2 + V^2} \vec{U} \quad (2-11)$$

여기서, $C_D = gn^2 \Delta z^{-1/3}$

n : Manning의 마찰 계수

Δz : bottom layer thickness

(수심 적분된 경우는 total 수심)

조위의 개방 경계 조건으로 개방경계면에 위치한 관측 자료를 이용하여 외해측 개방 경계에서 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조에 의한 조위 변화를 관측 자료에 근거하여 시·공간 함수로 주었다.

개방 경계에서 다른 성분에 비해 월등히 우세한 조류를 나타내기 위한 외해 경계 조건은 모델 영역내의 해수 유동 특성을 결정하는 중요한 요소로 경계면에서 시간에 따른 해수위를 설정해주었다. 매시간별 해수위 경계 조건을 조위조화함수식으로 설정하였으며, 조위조화함수식에 다음과 같은 주요 4개 분조를 고려하였다.

$$\eta = E_{mean} + \sum_{i=1}^4 A_i \cos(W_i t - \phi_i) \quad (2-10)$$

여기서 : E_{mean} = mean sea level

A_i = i_{th} amplitude

W_i = i_{th} frequency

ϕ_i = i_{th} phase lag

조류의 개방 경계 조건은 다음과 같이 처리하였다. 개방 경계에 수직한 속도 성분은, 모델 영역 외부의 속도 성분을 필요로 하는 이류항(advective term)과 수평 와동항(horizontal eddy viscosity term)을 무시하고 운동 방정식을 풀어 구하였다. 개방 경계에 접한 속도 성분은, 흐름이 모델 영역 외부로부터 내부를 향할 때는 내부 값과 같은 값으로 처리하였고, 흐름이 모델 영역 내부로부터 외부로 향할 때는 아래 식에 의해 구하였다.

$$\frac{\partial U_t}{\partial t} + U_n \frac{\partial U_t}{\partial x_n} = 0 \quad (2-12)$$

여기서, U_t : 개방 경계에 접한 속도 성분

U_n : 개방 경계에 수직한 속도 성분

x_n : 개방 경계에 수직한 좌표

2.2 준설물 투기 확산

2.2.1 확산의 기본방정식

사용된 부유사 퇴적모델은 세립 퇴적물의 부유, 이류, 침전, 재부유 등을 고려하여 퇴적·침식과 부유사 확산 변화를 계산한다. 세립퇴적물 이동의 기본방정식은 다음과 같은 2차원 질량 보존식이다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} = \\ \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(h D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(h D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{h} \end{aligned} \quad (2-13)$$

여기서, C : 수심평균농도 (g/m^3)

u, v : 수심평균유속 (m/s)

D_x, D_y : 분산계수 (m^2/s)

h : 수심 (m)

S_i : i 점에서의 소멸항/생성항 ($g/m^2/s$)

2.2.2 부유사의 침강 및 재부유

부유사의 침강 및 재부유는 저면전단응력($\tau, N/m^2$)의 함수이다.

$$\tau = \rho g h J \quad (2-14)$$

여기서, ρ : 해수 밀도(kg/m^3)

g : 중력가속도(m/s^2)

$$J : \text{에너지 경사 } J = \frac{u^2 + v^2}{k^2 h^{4/3}} = \frac{u^2 + v^2}{Ch^2 h^2}$$

여기서, u, v : x, y 방향의 유속(m/s)

k : Strickler 조도계수($m^{1/3}/s$)

Ch : Chezy 조도계수($m^{1/2}/s$)

2.2.3 부유사의 퇴적

부유사의 퇴적은 평균유속이 저면으로부터의 입자부상에 필요한 허용속도보다 충분히 적고 즉각적인 재부유 없이 저면에 있을 때 일어난다. 퇴적을 (Deposition Rate) D 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D = \frac{W_s C}{h_*} \left[\frac{\tau}{\tau_{cd}} - 1 \right], \tau \leq \tau_{cd} \quad (2-15)$$

여기서, W_s : 침강속도(m/s)

h_* : 입자가 침강하는 평균깊이

τ : 저면전단응력(N/m^2)

τ_{cd} : 퇴적에 대한 한계 저면전단응력(N/m^2)

2.2.4 침식율 및 확산 계수

침착성 표사(저니)의 침식에 대한 저항은 개개입자의 물에 잠긴 중량 뿐 아니라 침식이 시작하기 전에 전단응력을 극복한 입자상호간의 전기화학적 결합에 의해 배제되는 것에 의존한다. 침식율(Erosion Rate) E 는 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$E = -\frac{M}{h} \left[\frac{\tau}{\tau_{ce}} - 1 \right], \tau \geq \tau_{ce} \quad (2-16)$$

여기서, M : 침식상수

τ_{ce} : 침식에 대한 한계 저면전단응력(N/m^2)

침식상수는 표사의 형태, 압밀, 염분 등에 의존한다. M 에 대한 일반적인 표현은 없기 때문에 모델 모의과정에서 보정계수로서 종종 사용된다. τ_{ce} 는 $0.5 N/m^2$ 로 입력하였다.

확산계수 k 에 대한 방향성분들은 유선방향 좌표로부터 x - y 직교좌표로 좌표변환함으로써 구하는데, 유선 방향 즉, 흐름방향(ζ)과 이에 직각인 방향(η)으로 표시하면 다음과 같다.

$$k_{11} = \epsilon_{\zeta} \cos^2 \theta + \epsilon_{\eta} \sin^2 \theta \quad (2-17)$$

$$k_{12} = (\epsilon_{\zeta} - \epsilon_{\eta}) \cos \theta \sin \theta$$

$$k_{22} = \epsilon_{\zeta} \sin^2 \theta + \epsilon_{\eta} \cos^2 \theta$$

여기서, ϵ_{ζ} 와 ϵ_{η} 는 흐름방향과 이에 직각방향의 혼합계수이고, θ 는 x축으로부터 ζ 축까지의 각도(반시계방향 +)이다. ϵ_{ζ} 와 ϵ_{η} 는 평균류 특성으로부터 다음과 같은 Elder식에 의하여 구하여진다(Elder, 1959).

$$\epsilon_{\zeta} = e_L U_* h, \quad \epsilon_{\eta} = e_T U_* h \quad (2-18)$$

여기서, e_L, e_T : 각각 흐름방향과 직각방향의 무차원계수 (Elder 실험에 의하면 각각 5.93, 0.23)

제3장 해양환경 조사

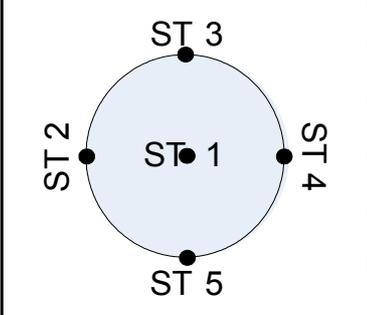
3.1 준설토 투기지역

준설토 투기 해역은 부산신항만에서 남동쪽으로 33.254km 떨어진 해역이다. 대상해역은 Fig. 3.1에서와 같이 투기점(Release point)을 기준으로 두가지 경우로 구분하였다. Case 1의 해양환경 조사 및 수치 실험은 투기점에 대해 사방 1km 지점 9개 스테이션에 대하여 실시하였으며 Table 3.1에 경위도를 표시하였다. Case 2의 해양환경 조사 지점은 Table 3.2에 표기 하였으며 ST-1에서 직선거리는 각각 2km 지점에 위치한다. 수치 시뮬레이션은 Case 1를 대상으로 실시하였고, 해양환경조사는 GPS를 이용하여 Case 1의 9개 정점, Case 2의 5개 정점으로 각각 이동하여 해수채취 및 유속관측을 실시하였다.

Table 3.1 Positions for the field measurement of tidal current and suspended solids Case 1

	Station	N	E
ST 1	ST. 1	34°50' 32"	128°01' 20"
ST 2	ST. 2	34°50' 32"	128°02' 00"
ST 3	ST. 3	34°50' 32"	128°02' 40"
ST 4	ST. 4	34°50' 00"	128°01' 20"
ST 5	ST. 5	34°50' 00"	128°02' 00"
ST 6	ST. 6	34°50' 00"	128°02' 40"
ST 7	ST. 7	34°49' 28"	128°01' 20"
ST 8	ST. 8	34°49' 28"	128°02' 00"
ST 9	ST. 9	34°49' 28"	128°02' 40"

Table 3.2 Positions for the field measurement of tidal current and suspended solids Case 2

	Station	N	E
	ST. 1	34°50 ' 00 "	128°56 ' 30 "
	ST. 2	34°50 ' 00 "	128°55 ' 11 "
	ST. 3	34°51 ' 05 "	128°56 ' 30 "
	ST. 4	34°50 ' 00 "	128°57 ' 49 "
	ST. 5	34°48 ' 55 "	128°56 ' 30 "

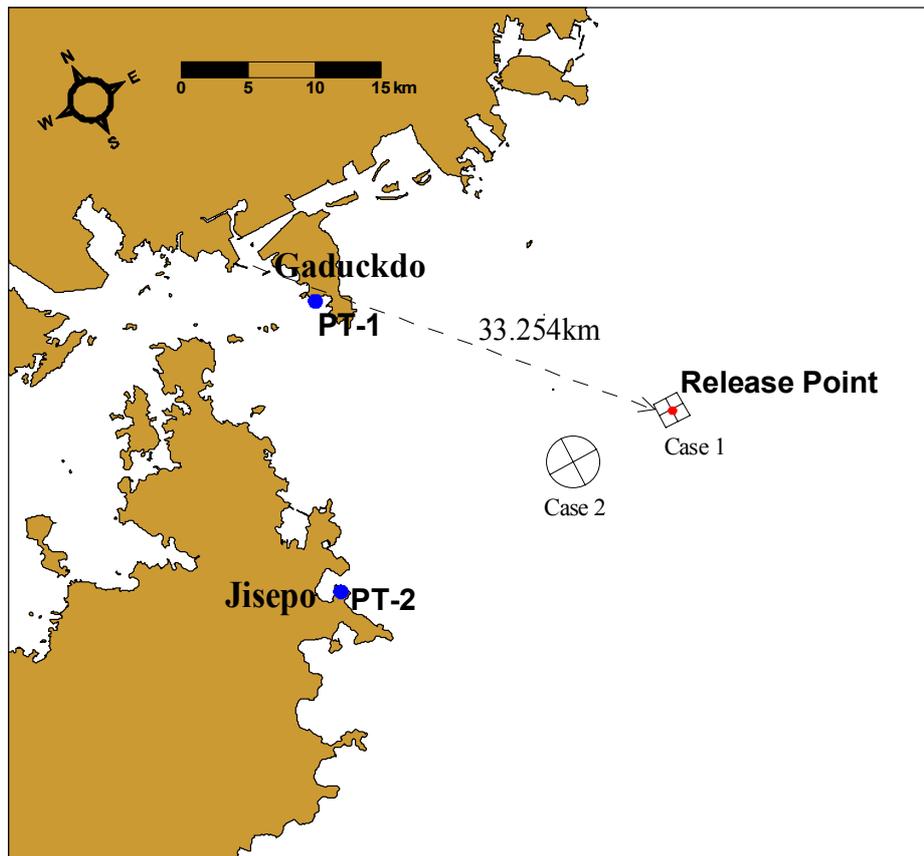


Fig. 3.1 Release point from the dredge area

3.2 과거 파랑관측치의 분석

단주기 파랑에 대한 파랑관측 자료로는 해운항만청의 부산 파랑자료 분석 보고서(1978~1982)를 들 수 있다. 부산항 조도 외해측에서의 상기의 자료에 의한 1980년부터 1982년까지 3년간의 파랑 관측성과는 Table 3.3과 같으며, 이를 요약한 결과는 다음과 같다.

3.2.1 전년치 분석

연간 파고 0.5m 이상의 파랑 출현율은 25.1%(정온율 74.9%)이며, 0.5~0.9m의 파고 출현율은 8.3%, 1.0~1.9m는 6.1%, 2.0~2.9m는 0.7%(연 9회)이며 3.0m 이상의 파고는 나타나지 않았다. 파향은 E파향이 15.9%로서 최다 파향이고 SE파향은 9.2%이다. 주기는 4.0~9.9sec 사이에 걸쳐 분포하는데 주로 6.0~7.9sec의 주기가 9.9%이며 8.0~9.9sec에 3.9%로 분포하고 있다.

Table 3.3 Occurrence frequency of wave height (1980~1982)

Wave Height (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Average
0.0~0.4	71.9	74.9	64.6	72.5	87.2	85.9	82.7	71.0	61.7	77.4	69.9	73.5	74.9
0.5~0.9	22.5	22.4	30.6	20.9	7.2	10.0	8.0	19.4	20.0	19.4	19.4	21.7	18.3
1.0~1.4	4.8	0.9	2.4	5.8	4.8	2.5	3.2	7.2	11.7	3.2	7.5	1.6	4.6
1.5~1.9	0.8	1.8	1.6	0.8	0.8	0.8	0.8	1.6	4.1		1.6	3.2	1.5
2.0~2.4			0.8			0.8	0.8	0.8	2.5		0.8		0.6
2.5~2.9											0.8		0.1
3.0~													
Weighted average (m)	0.42	0.40	0.47	0.42	0.35	0.35	0.35	0.46	0.58	0.38	0.48	0.42	0.42

3.2.2 계절별 분석

춘계(3, 4, 5월)의 파고 0.5m이상의 파랑 출현율은 25.2%(정온율 74.8%)로서 동계와 비슷하다. 파고별 출현율은 0.5~0.9m의 파고가 19.4%이고, 1.0~1.9m가 5.5%, 2.0~2.4m가 0.3%(연1회)이며 2.5m 이상의 파고는 나타나지 않았다. 파향은 E파향이 18.7%로서 최다 파향이고 SE파향은 6.5%이다. 주기는 주로 6.0~7.9%에 14.2% 그리고 8.0~9.9sec에 6.2%로 집중 분포하고 있다.

하계(6, 7, 8월)의 파고 0.5m이상의 파랑 출현율은 19.6%(정온율 81.4%)로서 연중 가장 정온한 계절이다. 파고별 출현율은 0.5~0.9m의 파고가 12.5%이고, 1.0~1.9m가 5.3% 그리고 2.0~2.4m가 0.8%(연3회)이며 2.5m 이상의 파고는 나타나지 않았다. 파향은 SE파향이 10.3%이고 E파향이 8.3%로서 E-SE방향이 파랑이 많은 것으로 관측되었다. 주기는 거의 6.0~7.9%에 13.8%로 집중 분포하고 있다.

추계(9, 10, 11월)는 파고 0.5m이상의 파랑 출현율은 30.3%(정온율 69.8%)로서 춘·동계와 큰 차이는 없으나 연중 파랑이 심한 계절이다. 파고별 출현율은 0.5~0.9m의 파고가 19.6%이고, 1.0~1.9m가 9.3%이며 2.0~2.4m가 1.3%이다. 파향은 E파향이 18.9%로서 최다 파향이고 SE파향은 11.3%이다. 주기는 주로 6.0~7.9%sec에 13.5%로 집중 분포하고 있다.

동계(12, 1, 2월)의 0.5m 이상의 파랑 출현율은 26.8%(정온율 73.2%)로서 춘계와 비슷하다. 파고별 출현율은 0.5~0.9m의 파고가 22.4%이고, 1.0~1.9m가 4.4%이며 2.0m이상의 파고는 나타나지 않았다. 파향은 E파향이 17.8%로서 최다 파향이고 SE파향은 9.0%이다. 주기는 주로 6.0~7.9sec에 12.0% 그리고 8.0~9.9sec에 10.8%로 집중분포하고 있다.

3.2.3 월별 분석

연중을 통해 파고 0.5m 이상의 파랑 출현율은 5월~7월에 15% 이하로서 가장 정온한 상태이며, 4월과 9월은 약 35%이나 그 밖의 달은 25~30%의 분포를 보인다. 파고 1.0m 이상의 파랑은 9월에 18.3%로서 최대이고 다음은 11월의 10.7%이다.

파향은 각 달을 통해 E파향이 최다 파향이며(단, 6월은 SE파향이 최다 파향임) 1.0m이상의 파랑도 E파향에서 가장 많이 나타나고 있다. 특히, 8월~11월에는 SE파향이 다른 달에 비해 약간 많이 분포하고 있다. 주기는 12월에는 8.0~9.9sec가 우세하나 그 밖의 달에는 6.0~7.9sec가 탁월주기이며 대체로 연중 4.0~11.9sec에 분포하고 있다.

3.3 조석

평균해면은 92.8cm이고 가덕도의 조석 형태수는 0.15이며, 반일주조가 우세한 혼합조형으로서 매일 두 고·저조가 나타나는 것으로 조사되었다. 일반적으로 일조부등은 만조시에 크고 간조에 작으나 조고의 부등은 간조시에 크고 만조시에 작다. 고고조 다음에 높은 저저조가 온다. 일조부등은 현저하지 않으며, 심한 날이라도 1일 2회의 규칙적인 승강을 하고, 최고고저는 여름철에는 야간에, 겨울철에는 주간에 일어나며, 평균해면은 2~3월이 가장 낮고, 8~9월이 가장 높게 일어난다. Table 3.5는 가덕도조위 관측소의 주요4대분조의 각속도, 주기, 반조차, 지각을 조사한 값이다. 우리나라 남해안에서의 평균 고조간격은 8시에서 10시 52분 정도의 범위에 이르나, 가덕도 부근해역은 이와 유사한 8시 8분으로 기준조석의 8시 18분보다 10분 정도에 빠르다. 대조승은 약 1.61m로 서해안 및 남해안 서부에 비하여 조차가 작은 편이다.

1999년도에 측정·분석된 본 해역의 대조차, 평균조차 및 소조차는 각각 161.0cm, 110.8cm 및 60.6cm서 1978년도의 166.0cm, 113.4cm, 60.8cm에 비교할 때 특별히 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

본 해역의 약최고고조위, 대조평균 및 소조평균고조위는 각각 185.6cm, 173.3cm 및 123.1cm며 20년전에 비해 약 2cm 전후로 하강한 것으로 나타났다. 또한 가덕도 조위관측소에 의하면 준설토 투기기간동안 관측된 자료중 최대 대조차는 212cm, 215cm, 210cm로 조사되었다. 이러한 수치는 빈도수가 매우 낮은 경우이며 평균적으로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다(Fig. 3.2, Table 3.4). Fig. 3.3~Fig. 3.5의 국립해양조사원 수치실험(1999)에 의하면 외해 투기지역의 대조차는 150~160cm 내외로 추정되었다.

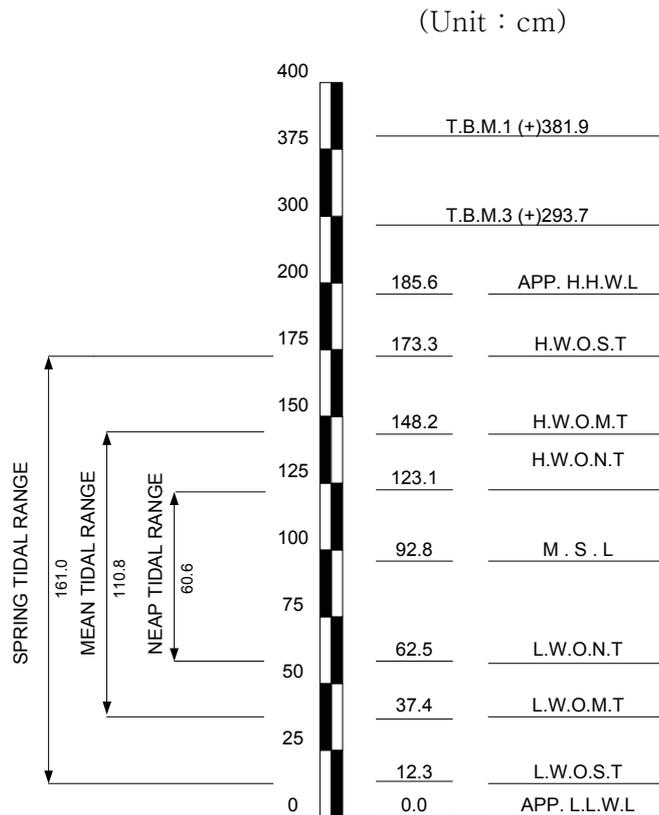


Fig. 3.2 Tide level chart at Gaduckdo

Table 3.4 Harmonic constant and nonharmonic constant

Location		Gaduckdo			
Latitude, Longitude		35°01' 18" (N), 128°48' 47" (E)			
Period		1978. 1.1 - 12.31		1999. 5. 1 - 1999. 5. 31	
Partial Tide	Harmonic Const.	半潮差 (Semi-range)	遅角 (Lag)	半潮差 (Semi-range)	遅角 (Lag)
		M_2	H_m 56.7 cm	K_m 240.7°	H_m 55.4 cm
	S_2	H_s 26.3 cm	K_s 269.0°	H_s 25.1cm	K_s 260.3°
	K_1	H' 8.0 cm	K' 153.1°	H' 7.7cm	K' 145.0°
	O_1	H_o 4.3 cm	K_o 131.4°	H_o 4.6cm	K_o 120.3°
M.S.L $S_o = H_m + H_s + H' + H_o$		95.3cm		92.8cm	
N o n h a r m o n i c C o n s t a n t	Obs. H.H.W.	247.0cm('87.7)			
	Aprox.H.H.W.($2 \times S_o$)	190.6		185.6	
	H.W.O.S.T. [$S_o + (H_m + H_s)$]	178.3		173.3	
	H.W.O.M.T. ($S_o + H_m$)	152.0		148.2	
	H.W.O.N.T. [$S_o + (H_m - H_s)$]	125.7		123.1	
	M.S.L.(S_o)	95.3		92.8	
	L.W.O.N.T. [$S_o - (H_m - H_s)$]	64.9		62.5	
	L.W.O.M.T($S_o - H_m$)	38.6		37.4	
	L.W.O.S.T [$S_o - (H_m + H_s)$]	12.3		12.3	
	Approx.L.L.W.(0)	0.0		0.0	
	(Obs. L.L.W.)	-42.0('80.2)		-42.0('80.2)	
	Spring Range $2(H_m + H_s)$	166.0		161.0	
	Mean Range $2H_m$	113.4		110.8	
Neap Range $2(H_m - H_s)$	60.8		60.6		

Table 3.5 Major tidal components at Gaduckdo tidal observatory

Tidal component	Name	Angular Speed (°/h)	Period (h)	Tidal Constant	
				Half Tidal Range (cm)	Phase Lag (°)
M ₂	Semi-diurnal principal lunar tide	28.98	12.42	55.4	235.5
S ₂	Semi-diurnal principal solar tide	30.00	12.00	25.1	260.3
O ₁	Diurnal principal lunar tide	13.94	25.82	7.7	145.0
K ₁	Luni-solar diurnal principal declination tide	15.04	23.93	4.6	120.3

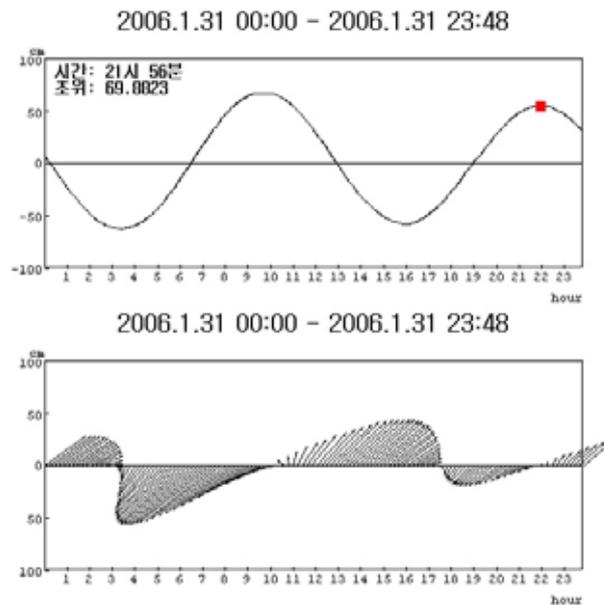


Fig. 3.3 Tidal current and range at dumping area 1 (NORI simulation results)

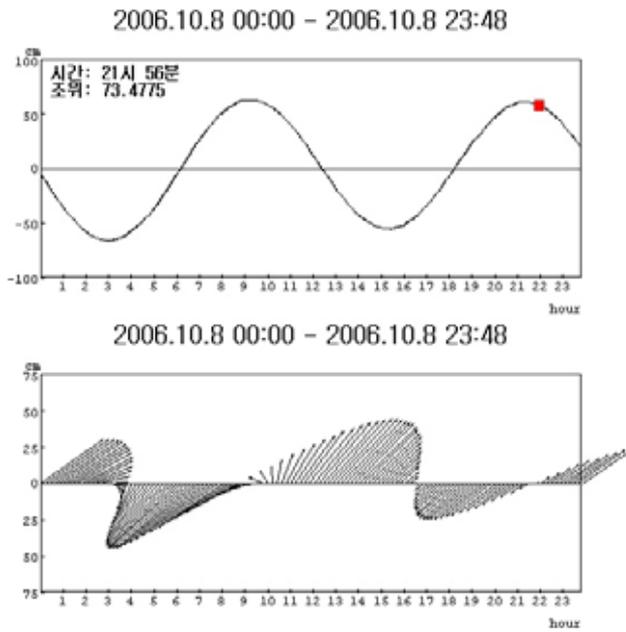


Fig. 3.4 Tidal current and range at dumping area 2 (NORI simulation results)

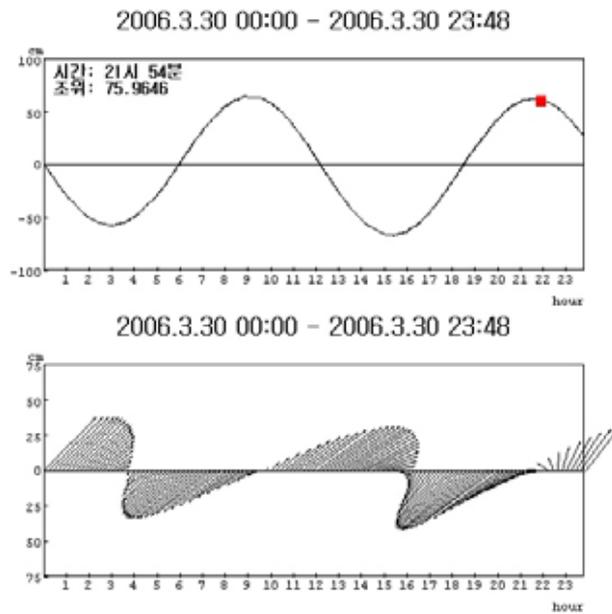


Fig. 3.5 Tidal current and range at dumping area 3 (NORI simulation results)

3.4 조류

본 연구의 기초 자료는 2005년 12월부터 2006년 11월까지 부산신항 준설토 외해 투기시 투기해역에 대한 수질조사와 동시에 조류 관측을 실시하였다. 유속관측은 프로펠러식 유속계를 사용하였다(Fig. 3.8, Fig. 3.9).

현장에서 즉시 데이터를 기록하였으며 또한 1분 이상 관측을 실시하여 관측 시작과 끝점에 대한 데이터의 오차를 제거하기 위하여 30초간 안정 상태를 유지 시키고 기록된 데이터의 값들 중 시작과 끝점에 대해 편차가 큰 값을 제외 시킴으로서 관측의 신뢰도를 높였다.

조사 자료에 의하면 외해 투기지역 각각의 스테이션에 대한 최강 유속은 50cm/sec를 초과하는 경우도 가끔 기록되었으나 기록의 빈도가 낮아서 앞서 설명한 방법으로 편차가 큰 값을 제거하였으며 일반적으로 50cm/sec 이내의 유속 분포를 보이고 있으며, 상층과 하층의 유속차는 거의 없는 것으로 조사되었다(Fig. 3.6, Fig. 3.7). 이 값은 국립해양조사원의 수치실험값과 거의 일치하였다(Fig. 3.3~Fig. 3.5).

또한 투기 지점과 다소 공간적 차이가 있으나 가장 가까운 과거 현장 관측 자료는 국립해양조사원에서 수집하였다. Fig. 3.10의 S1, S2, S3 지점의 과거 관측치는(Table 3.6) 1982년 2월 7일의 경우 대조기시기의 최강창조류는 61.9cm/sec 최강낙조류는 58.4cm/sec로 측정되었다. 1982년 2월 9일과 25일의 경우는 최강창조류는 46.9, 43.6cm/sec이고 최강낙조류는 44.8, 43.2cm/sec로 유속이 낮게 측정되었다.

국립해양조사원의 수치실험에 의한 유속값과 과거 외해 관측치 그리고 최근 관측한 투기지점의 유속을 종합적으로 비교해 비교해보면 다소 편차를 보이고 있으나 평균적으로 외해투기지역의 최강창조류와 최강낙조류를 50cm/sec 내외를 적용하는데 무리는 없을 것으로 보인다.

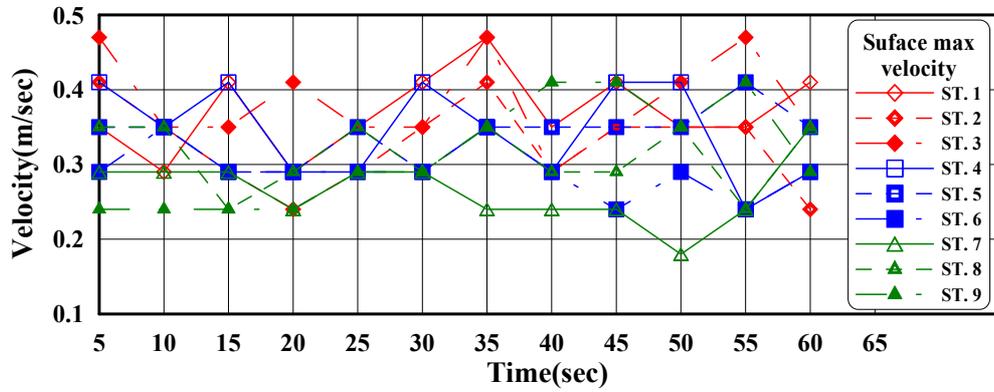


Fig. 3.6 Surveyed Tidal current at surface Case 1

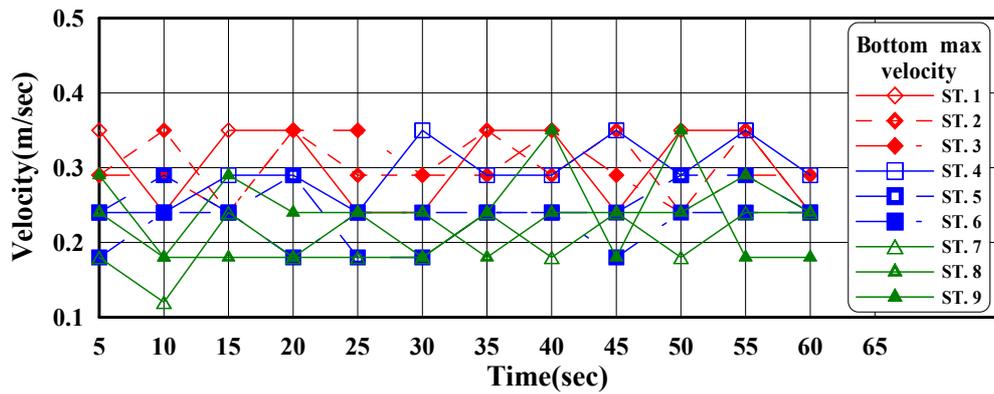


Fig. 3.7 Surveyed Tidal current at bottom Case 1



Fig. 3.8 Current meter



Fig. 3.9 Field survey at 9 station

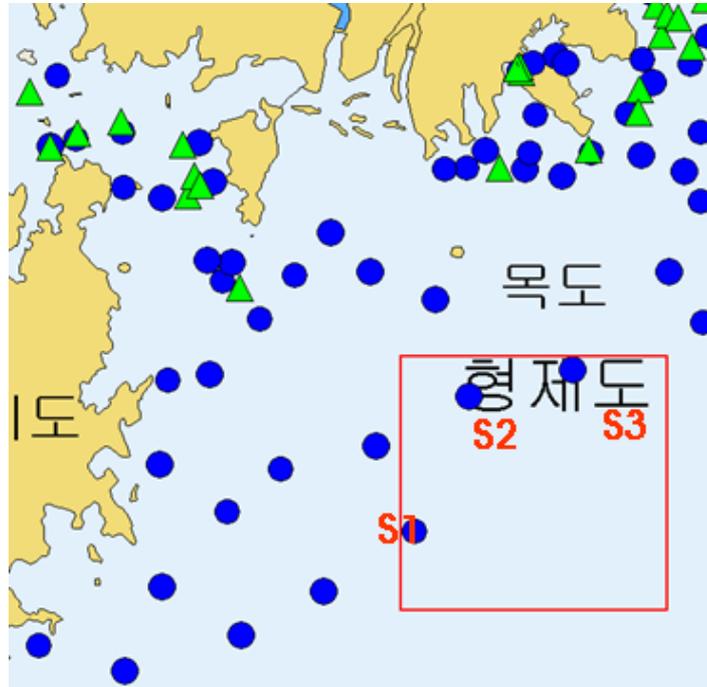


Fig. 3.10 Old Survey data point with NORI

Table 3.6 Old surveyed results at dumping area

Survey point	N(34°50' 00") E(128°02' 00")	Survey date	Strongest year	Spring tide
			Flood current	
			Ebb current	
S1	34°47' 45" 128°57' 25"	1982-02-07	68.1	61.9
			64.3	58.4
S2	34°52' 58" 128°59' 58"	1982-02-09	51.6	46.9
			49.3	44.8
S3	34°54' 00" 128°04' 48"	1982-02-25	48.0	43.6
			47.6	43.2

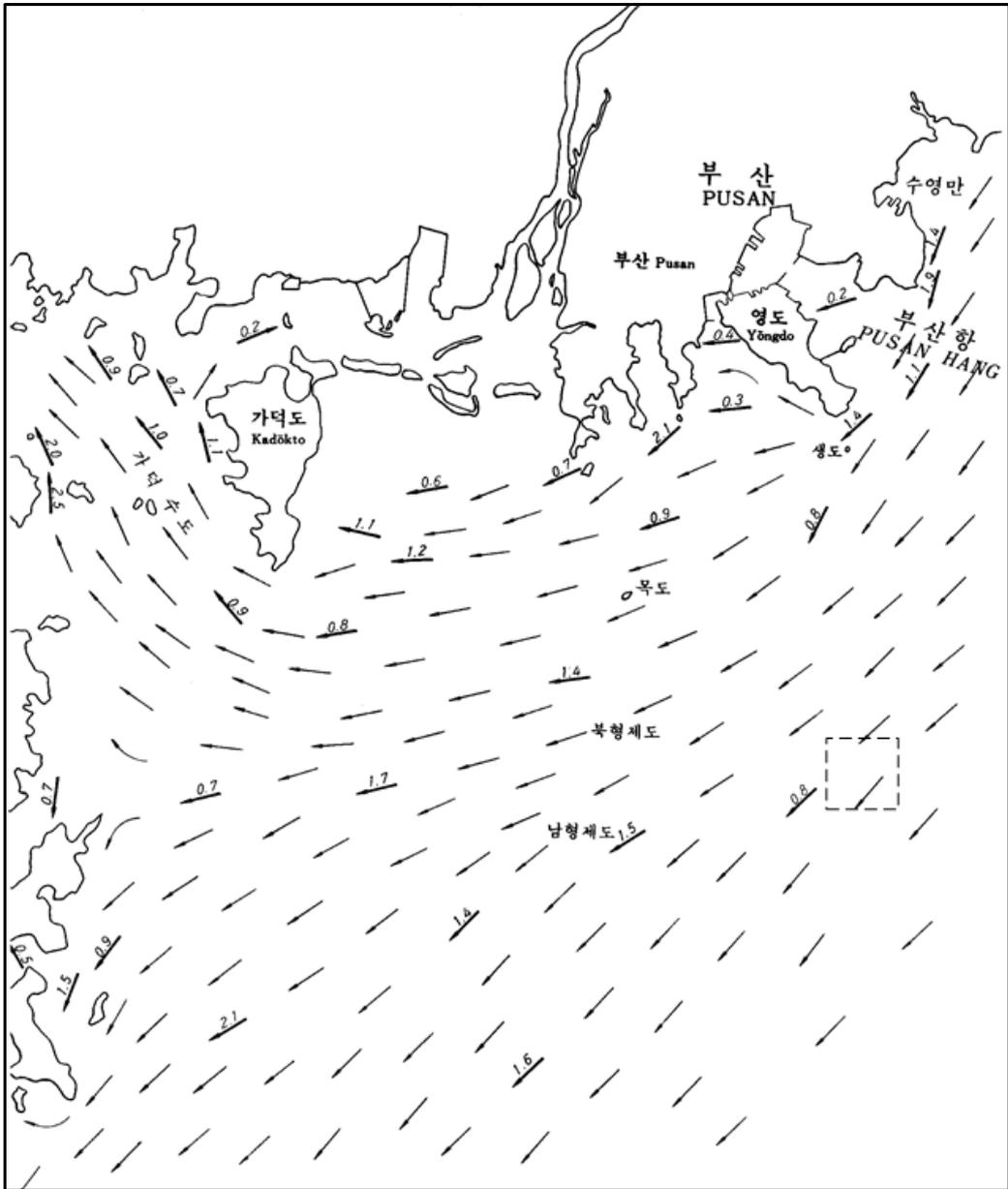


Fig. 3.11 Maximum flood currents (Unit : knot)

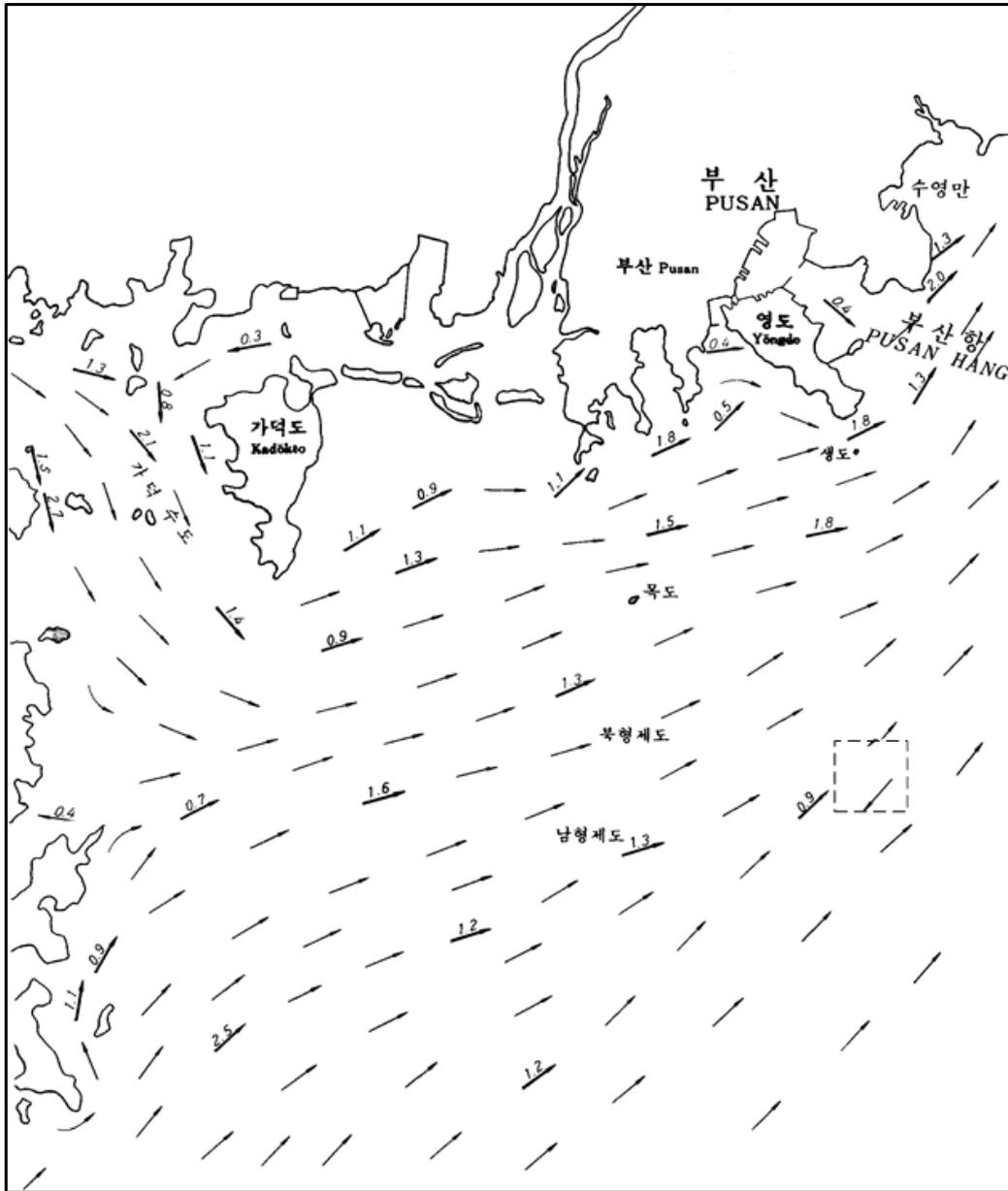


Fig. 3.12 Maximum ebb currents (Unit : knot)

3.5 부유사

GPS를 이용하여 Case 1 투기영역 주변 9개 스테이션, Case 2 투기영역 주변 5개 스테이션으로 이동하여 Fig. 3.15와 같이 해수 채취기를 이용하여 해수를 채취하고 부유사량을 측정하였다. 조사일은 2005년 12월 26일, 2006년 1월 11일, 2월 2일, 2월 13일, 3월 2일, 3월 17일, 3월 31일, 4월 26일, 5월 25일, 6월 28일, 8월 29일, 11월 13일로 약 1년간 조사를 실시하였다. 05년 12월, 06년 3월과 6월에 가장 큰 부유사 농도분포를 보이며 이 시기를 제외하고는 10mg/ℓ 이하의 값을 보이고 있다.

또한, Fig. 3.13과 Fig. 3.14를 분석해 보면 각각의 샘플링 날짜별 농도는 부유사의 농도가 높은 날은 표층과 저층이 높게 나타났으며, 낮은 날은 표층과 저층이 낮게 나타났다.

관측기간 동안 상층의 평균 농도는 5.5mg/ℓ 이며 하층의 평균 농도는 5.4mg/ℓ 인 것으로 조사되었으며 상하층의 평균농도 차는 0.1mg/ℓ 인 것으로 관측되었다. 관측일별 상하층의 농도차이는 -0.9~1.1mg/ℓ 의 분포를 나타내어 상하층의 농도차가 적은 것을 알 수 있다.

저층과 표층의 농도차이는 크게 나타나지 않고 있는 것은 해수의 수직적 순환이 잘 이루어지고 있다는 것을 의미하며, 조류 관측결과와 유사하게 조석시기에 따른 부유사 농도 차이는 나타나지 않고 있다.

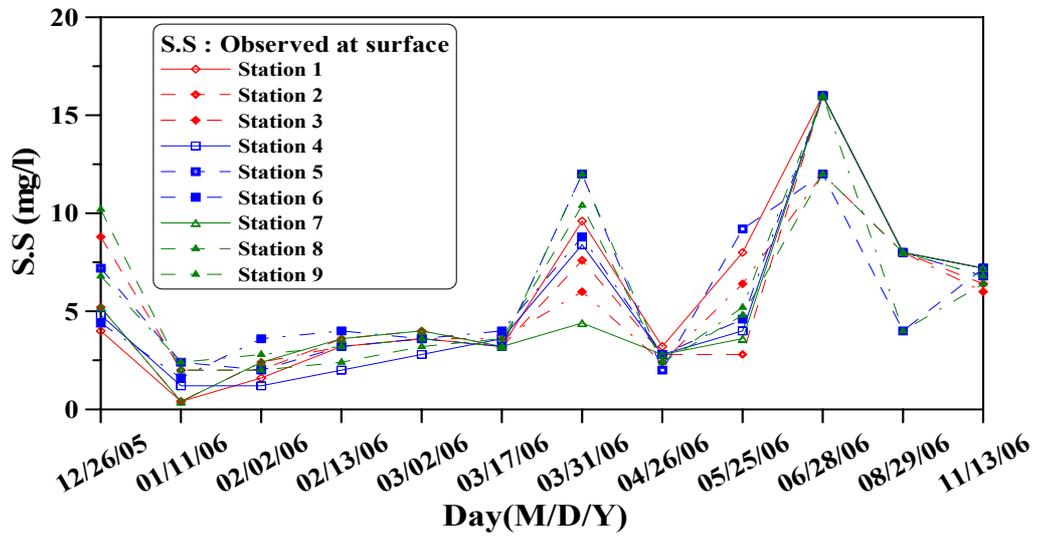


Fig. 3.13 Results of SS survey at surface

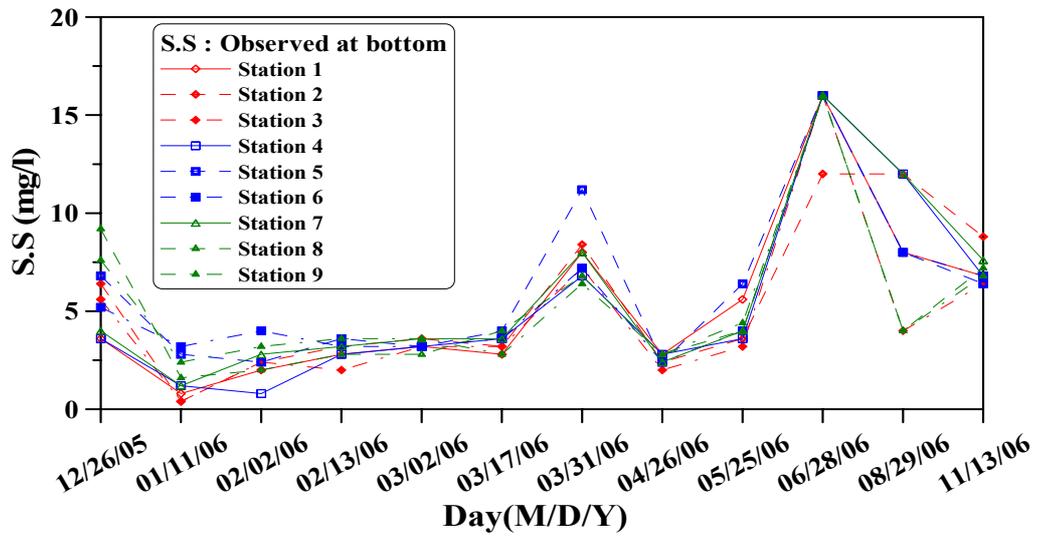


Fig. 3.14 Results of SS survey at bottom



Fig. 3.15 Seawater Sampling at dumping area

Table 3.7 SS distribution at 9 station

Unit : mg/ℓ

Sample date	Range	Surface average	Bottom average	Difference (S-B)
2005/12/26	3.6~10.2	6.3	5.8	0.5
2006/01/11	0.4~3.2	1.4	1.6	-0.1
2006/02/02	1.6~4.0	2.2	2.4	-0.2
2006/02/13	2.0~4.0	3.2	3.0	0.1
2006/03/02	2.8~4.0	3.6	3.3	0.3
2006/03/17	2.8~4.0	3.4	3.4	0.0
2006/03/31	4.4~12.0	8.8	7.8	1.0
2006/04/26	2.0~3.2	2.6	2.5	0.1
2006/05/25	2.8~9.2	5.4	4.3	1.1
2006/06/28	12~16	14.7	15.6	-0.9
2006/08/29	4~12	7.1	8.0	-0.9
2006/11/13	6.0~8.8	6.8	7.1	-0.3
Average	·	5.5	5.1	·

3.6 해류

우리나라 주변의 해류는 일본구주 남쪽에 있는 옥구도 약 100m 부근에서 쿠로시오 분류로부터 분류하여 북서쪽으로 약 0.4~1.0knots의 유속으로 흘러 제주도 동남방부근에서 다시 북동쪽으로 전류하여 대마도 남단에 이른 후 동서 양수로 분산되는데, 그 중 서수로의 유속은 1.0~1.5knots 정도이나, 여름철에는 최강유속이 3knots에 달할 때도 있다. 제주도에서 서해로 흐르는 지류가 있어서, 두 해류가 계절에 따라 유향 및 유속이 변화하여 우리나라 남해안 일대 해류는 계절에 따라 복잡한 변화가 일어나고 있으며, 유향은 대체로 보아 동북쪽이고, 유속은 0.3~0.5knots로 추정된다.

3.7 지질 및 수심

준설 대상해역은 부산광역시 강서구 가덕도 북서쪽 해역으로 우리나라의 전형적인 남해안 지역의 특징인 리아스식 해안을 이루고 주변 해역에는 송도-수도-연도 등의 크고 작은 도서들이 분포하고 있다. 지질은 대부분 화산암류인 백악기 경사계의 유천층군과 화강암 및 맥암 등 관입암류가 주종을 이룬다.

토층의 수직 분포상태는 해상지역이 실트질 점토와 점토질 실트로 구성된 상부 점성토층과 실트질 모래층, 또는 실트 및 모래섞인 자갈층으로 이루어진 하부사질토층으로 구분되어 나타나고, 육상지역은 매립토층 또는 퇴적토층, 풍화토층 및 기반암인 풍화암, 연암, 경암의 순으로 분포되어 있다. 가덕도 서측 해역으로 갈수록 토층두께가 깊어지고 기반암 심도가 1.5km까지 DL(-)60m에 이르며, 다소 불규칙적인 암층분포를 보인다. 가덕도 북서측 해역의 일부는 토층이 두꺼운 편이며 연도 외해측으로 기반암 심도가 DL(-)60m까지 분포하는 양상을 나타낸다. 한편, 육지에는 해안선을 따라 서쪽의 태산, 남산, 옥망산 등

을 중심으로 장년기 내지 노년기에 해당하는 산악이 동서 방향으로 발달하고 있으며, 산 경계에서 발원한 소하천에서 바다로 직접 및 간접적으로 수계의 유입원이 존재한다. 이 해역에는 안골지구 공유수면 매립, 녹산지구 개발 사업이 진행 중에 있고 도서지역 주변에 어패류의 양식장이 분포되어 있다.

또한, 옥망산 해안선으로부터 대안거리 약 50m까지는 0~5m까지의 급경사를 나타내나 그 이후에는 약 5.6m로 수심이 고르다. 송도 남측해안선에서부터 연도 북측해안까지의 수심은 중심부의 5.5m~10.5m 중심에서 양안으로 서서히 얕아지는 형태를 나타낸다. 가덕도 서측의 가덕수도 부근의 수심은 20m~30m를 유지하는 반면 해안부근으로 가면서 10m~20m 정도로 낮아진다. 가덕도 북서측의 용원동방향으로는 점차 10m 이내로 얕아진다.

한편, 준설토 투기해역은 북형제도의 동측 해역으로 수심이 80m 전후의 평평한 저면으로 해저질이 빨과 shell로 이루어져 있고, 목도, 남형제도 및 북형제도 주위에 일부 암반이 형성되어 있는 것으로 조사되었다.

제4장 모형의 검증 및 적용

4.1 모형의 개요

본 연구에서는 투기 해역의 해황을 재현하기 위하여 거제도 동부와 서부산을 포함하고 있으며, 외해역으로는 약 30~40km까지 영역을 확장하여 수치실험시 경계의 영향을 최소화 할 수 있도록 영역을 구축하였다. Fig. 4.1과 같이 격자구성은 엇갈림 격자(staggered grid)에 속하는 Arakawa C-grid를 이용하였으며, 격자의 간격은 100, 200, 400, 800, 1600m로 구성하였으며, 투기해역 부근을 50m 격자로 구성하여(53km × 37.3km) 해상도를 높였으며, 격자의 개수는 338×267개로 구성하였다.

조시 변화에 따른 투기장 인근 해역의 장기적인 유동 특성을 파악하기 위하여 대, 중, 소조기가 포함되는 15일 동안에 걸쳐 수치모의를 수행하였으며, Table 4.1에 개략적인 해수유동 실험의 개요를 정리하였다. 계산영역의 격자망도 및 수심도는 Fig. 4.2에 제시하였다. 즉 준설위치는 부산신항만(부산시 강서구 가덕도 북측 해역일원) 항계내로 어업권, 관업권 등 권리권은 해당사항이 없는 지역이다.

준설토 투기로 인한 확산실험은 부산 신항 개발사업 환경영향평가지 사용한 투기량(13,916m³/day)을 근거로 하여 SS발생량을 산정하였다.

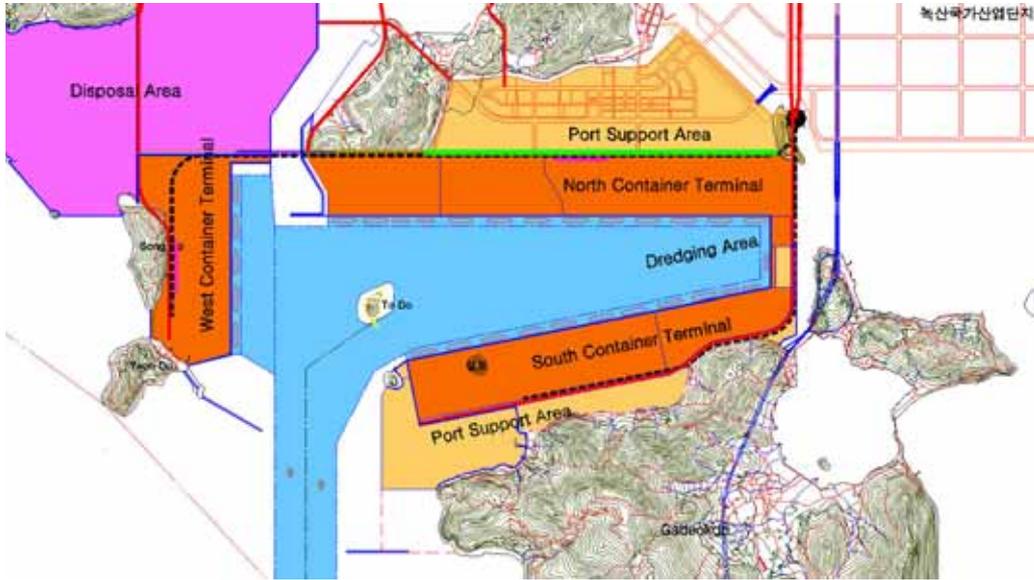


Fig. 4.1 Location map at dredging area

Table 4.1 Summary of tidal circulation model simulation set up

Items		Simulation conditions
Tidal circulation	Cal. area	Eastern part of Geoje Island and southern part of west Busan (70.0km × 35.0km)
	Mesh scheme	338 × 267 (90,246) △S=50,100,200,400,800,1600m Variable mesh
	Cal. time & friction	15days(M2+S2+K1+O1), n (friction coef.) : 0.023

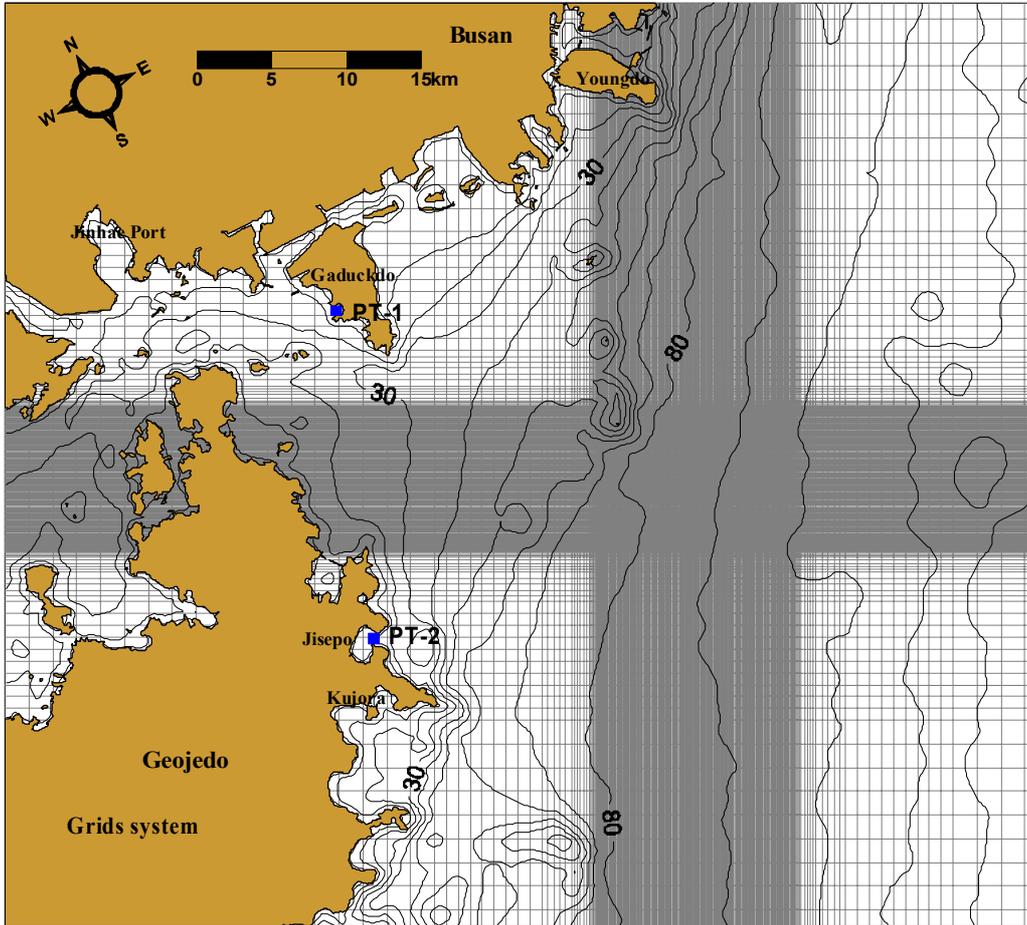


Fig. 4.2 Grids and Bathymetry chart

4.2 모형의 검증

유동장 시뮬레이션은 조위의 개방 경계 조건으로 개방경계면에 위치한 관측 자료를 이용하여 외해측 개방 경계에서 M_2 , S_2 , K_1 , O_1 분조에 의한 조위 변화를 관측 자료에 근거하여 시·공간 함수로 부유사 확산 수치모형의 기본 입력 자료로 구성하였다.

조위 검증을 위하여 Fig. 4.3과 Fig. 4.4의 지세포(PT-1), 가덕도(PT-2)에서 수치시뮬레이션 결과와 현장검조소의 관측값을 비교 하여 조위검증을 실시하였다. 초기 유동은 수치해의 안정을 위해서 유동이 없는 cold start로 하였기 때문에 초기에는 오차가 많이 발생하는 것으로 예측되며 신속히 수치해가 안정되는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 4.5와 같이 투기 해역에서의 조류관측 자료를 바탕으로 최강유속 비교 검증을 실시하였다. 조류의 관측시점이 수치모의에서 나타난 최강 창·낙조류가 아니므로 차이가 있을 수 있으나 관측치가 비교적 계산치의 범주에 들어가는 것으로 볼 수 있다.

Fig. 4.6, Fig. 4.7에 최강 창·낙조시 유속을 나타내었다. Fig. 3.11과 Fig. 3.12와 비교하면 최강 창·낙조시의 유속과 유향이 거의 일치하고 있으며 낙조시의 유속이 창조시에 비해 다소 우세한 것으로 나타나고 있다.

보정된 조위 값은 96% 이상, 조류속 비교를 통한 검증은 72% 이상 정확도를 보이고 있다. 관측 조류속이 약한 것은 관측시기가 대조와 중조사이에 위치했기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 결과에서 조위값과 유속값 및 유향에 있어서 상당한 정밀도를 보이고 있으므로 실험의 신뢰도는 상당히 높을 것으로 예상된다.

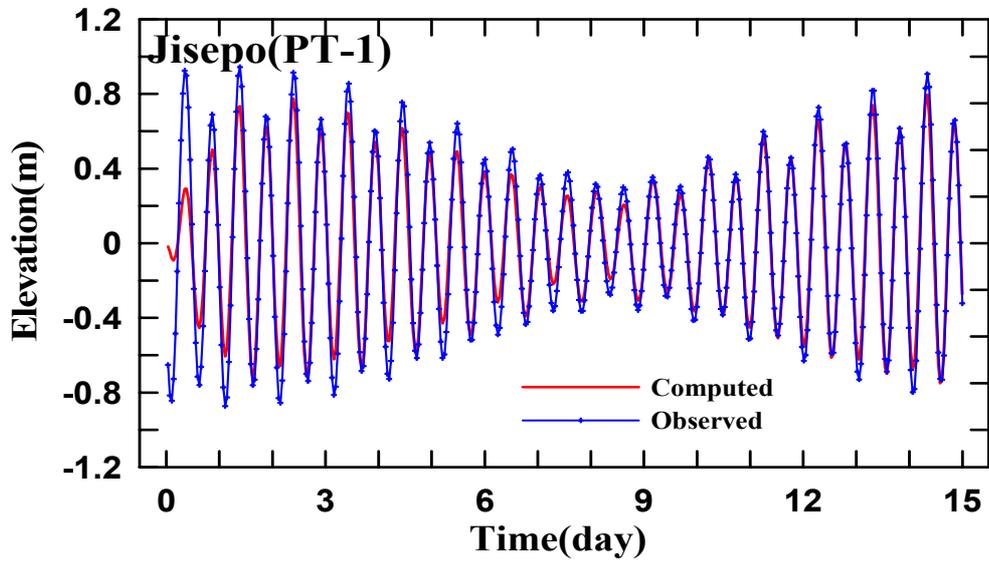


Fig. 4.3 Calibration of tide elevation (PT-1)

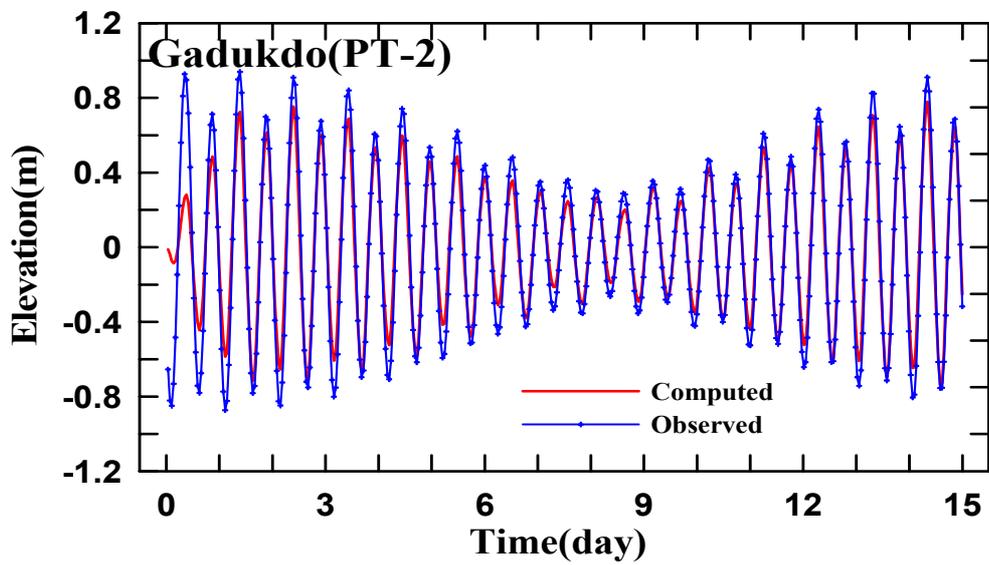


Fig. 4.4 Calibration of tide elevation (PT-2)

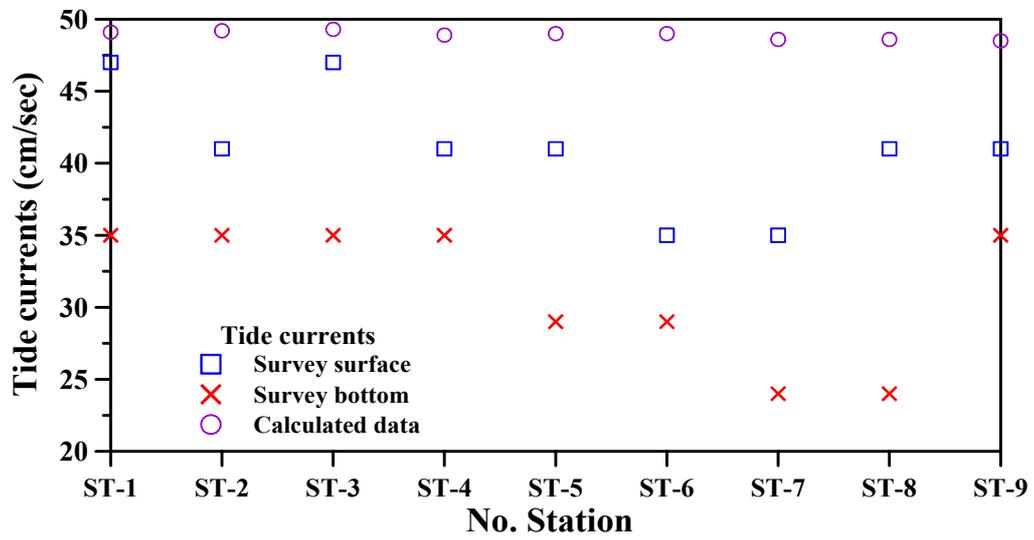


Fig. 4.5 Comparison of max. tide current at ST-1~9

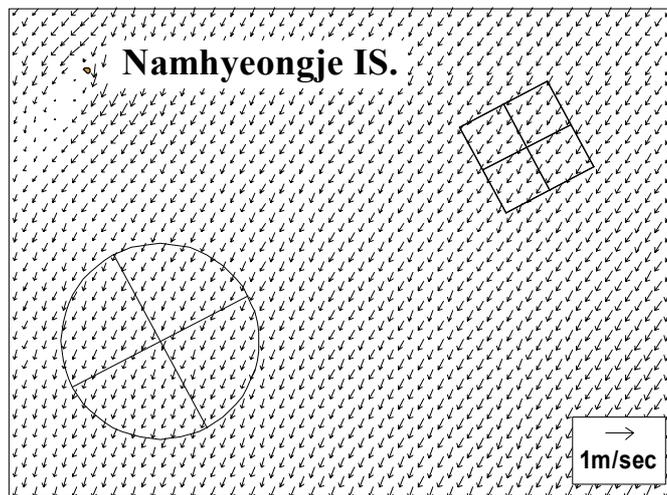
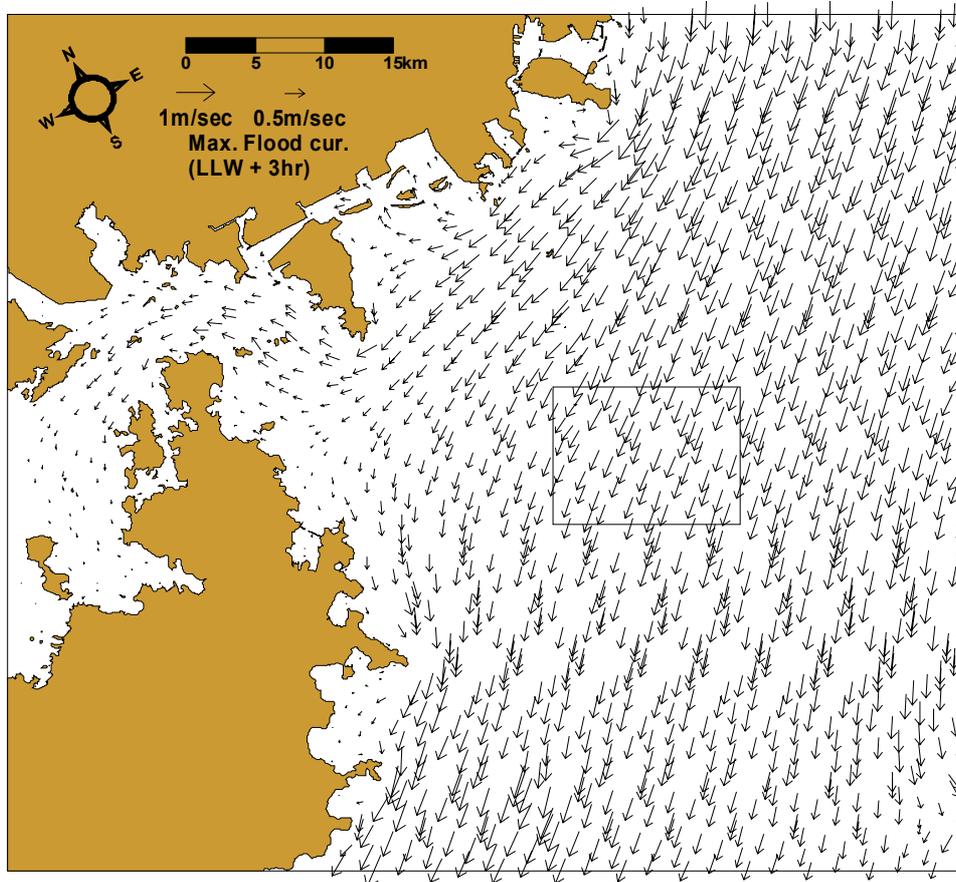


Fig. 4.6 Maximum flood currents

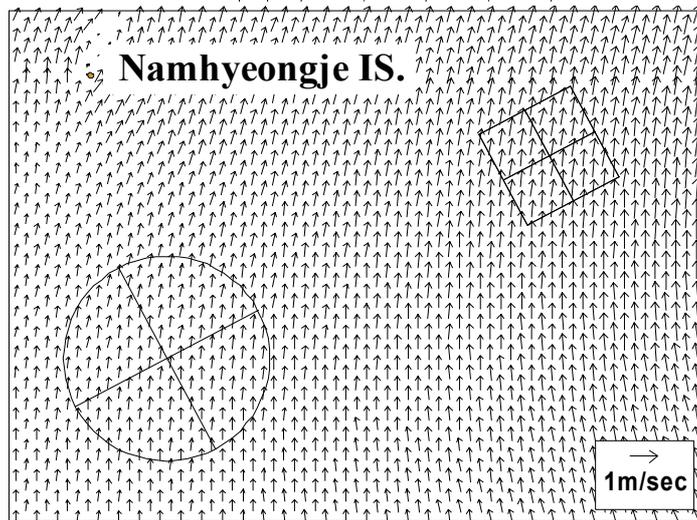
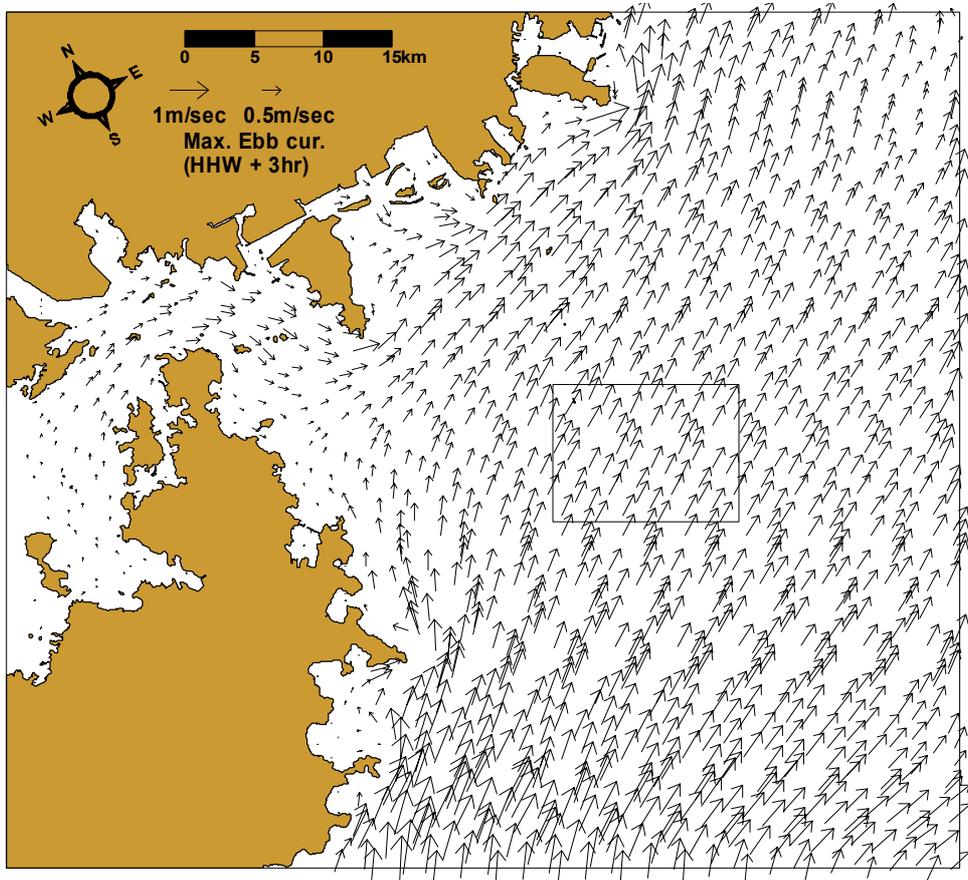


Fig. 4.7 Maximum ebb currents

4.3 부유사 확산 시뮬레이션

항만 건설시 발생하는 준설물의 외해 투기로 인한 확산영향권의 범위를 부유사 확산 수치모형실험을 통하여 예측하였다. 본 절에서 사용하는 유동장은 앞 절에서 분석한 유동장의 시뮬레이션 실행결과이다. 본 부유사 확산 수치모형은 공사시 외해준설토 투기로 발생되는 부유물질에 의한 오염확산 형태를 파악함에 있어 선 수행된 유동장을 외력으로 대, 중, 소조기를 포함하는 15일 동안 수치모의를 수행하였으며 사용된 부유사 퇴적모델은 세립 퇴적물의 부유(suspension), 이류(advection), 침전(settling), 재부유(resuspension) 등을 고려하여 퇴적·침식과 부유사 확산 변화를 계산한다. 그 외 시뮬레이션 조건은 Table 4.2에 제시하였다.

Table 4.2 Summary of SS model simulation set up

Items	Simulation conditions	
SS diffusion	SS source	$13,916\text{m}^3/\text{day} \times 39.6\text{kg}/\text{m}^3 = 45,922.93\text{kg}/\text{hr}$
	Concentration	Initial & Boundary value - $5\text{mg}/\ell$
	Settling velocity	1.25mm/sec

대, 중, 소조기를 포함하는 15일 동안 수치모의를 수행하였으며(Fig. 4.8~ Fig. 4.18), Fig. 4.19에 표시된 농도가 의미하는 것은 출력되는 결과에서 최대 확산범위이다. 계산시간 동안 각 격자에서 최대치만을 추출한 것으로서 이는 동일시간대에 발생한 것은 아니며 해당격자에서 나타날 수 있는 최대농도만을 의미한다.

결과에서 보는 바와 같이, 확산양상은 창·낙조류와 전류시의 방향으로 확

산되고 있으며, $5\text{mg}/\ell$ 등농도곡선을 기준으로 확산면적은 284.02km^2 , 점원에서 최대 확산거리는 동쪽으로는 13.89km , 남쪽으로는 11.89km 까지로 남서방향으로 길게 늘어난 것을 보아 창조시의 조류에 의한 영향이 다소 크게 받는 것으로 예상된다. 이는 낙조시의 유속이 다소 우세하게 나타난 것과는 반대의 결과로서 확산은 조류에 의해서만 결정되는 것이 아니라 수심의 영향에 대해서도 고려해야 함을 나타내는 것으로 사료된다.

또한 창·낙조 방향 및 외해 방향으로 확산되므로 최대농도 분포도 값의 영향을 비교하여도 내륙으로의 퇴적 및 인근 양식장 등의 피해는 미약할 것으로 사료된다.

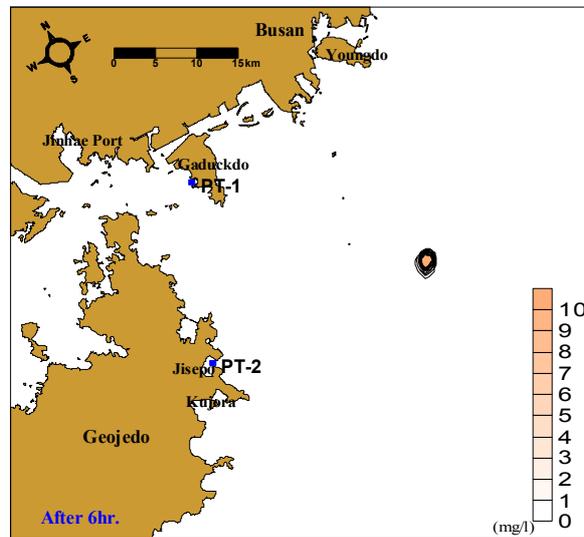


Fig. 4.8 Diffusion distribution after 6hours

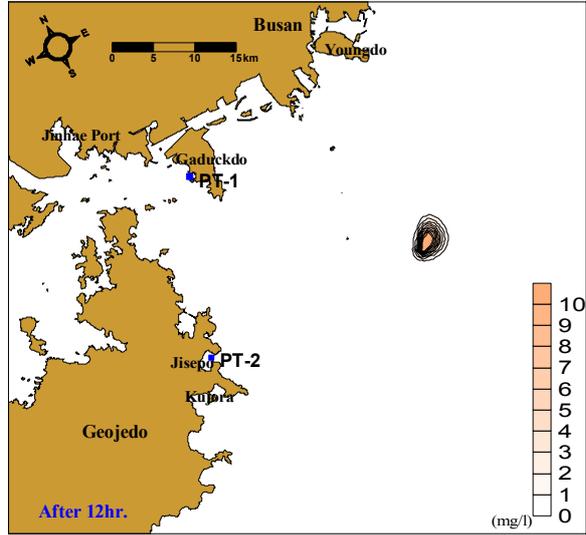


Fig. 4.9 Diffusion distribution after 12hours

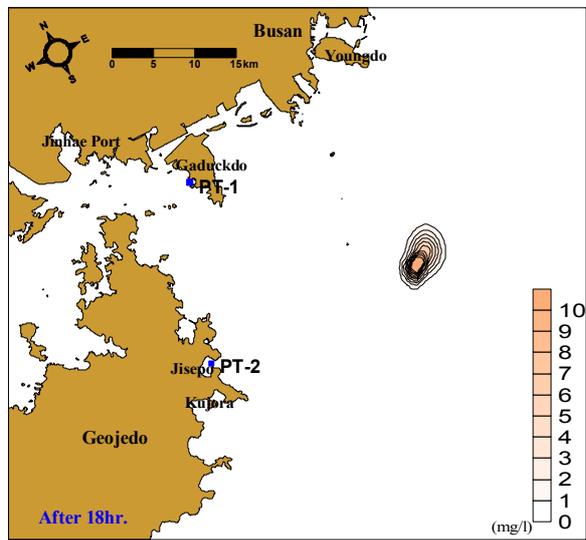


Fig. 4.10 Diffusion distribution after 18hours

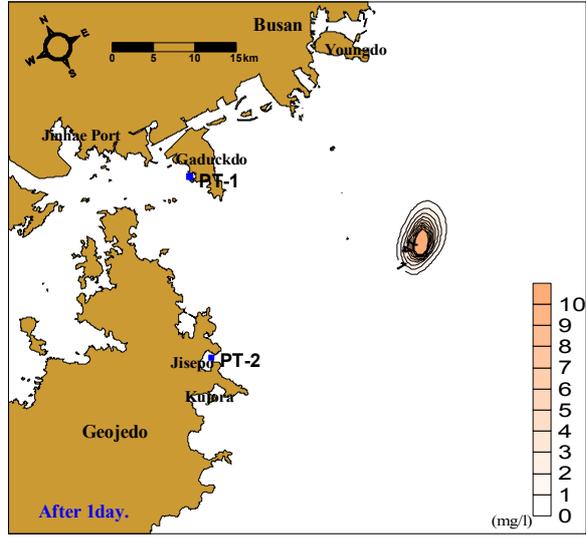


Fig. 4.11 Diffusion distribution after 1day

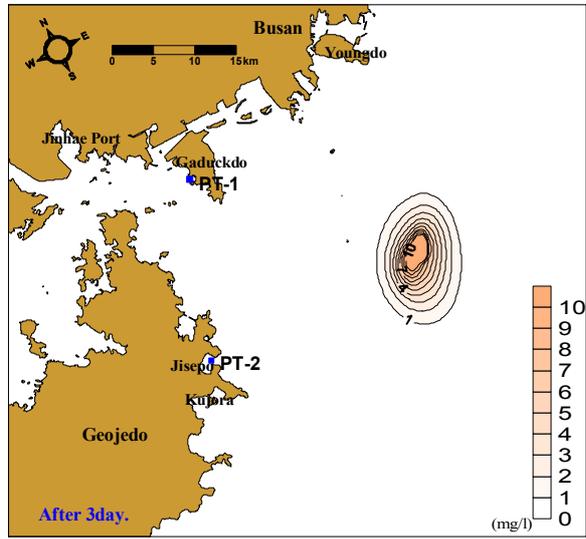


Fig. 4.12 Diffusion distribution after 3days

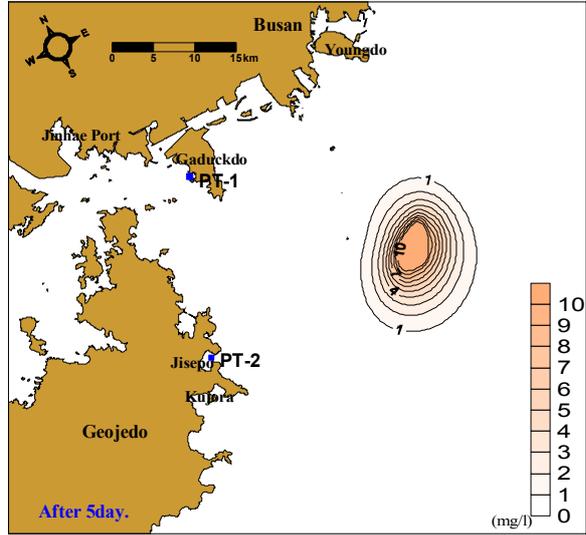


Fig. 4.13 Diffusion distribution after 5days

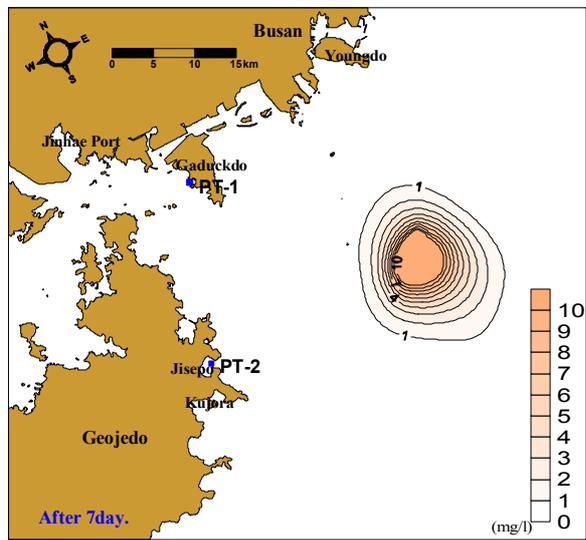


Fig. 4.14 Diffusion distribution after 7days

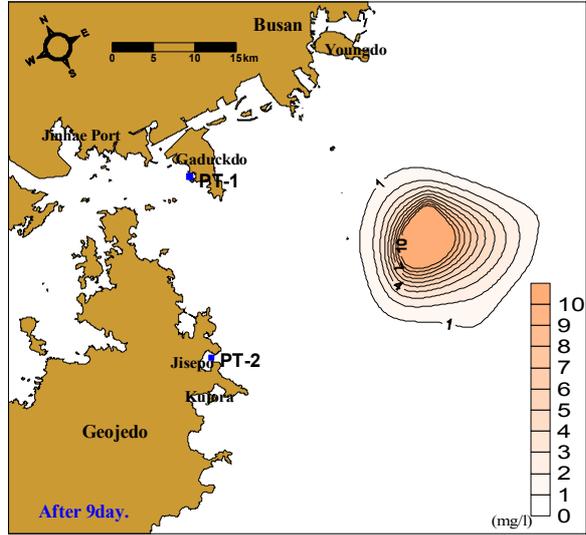


Fig. 4.15 Diffusion distribution after 9days

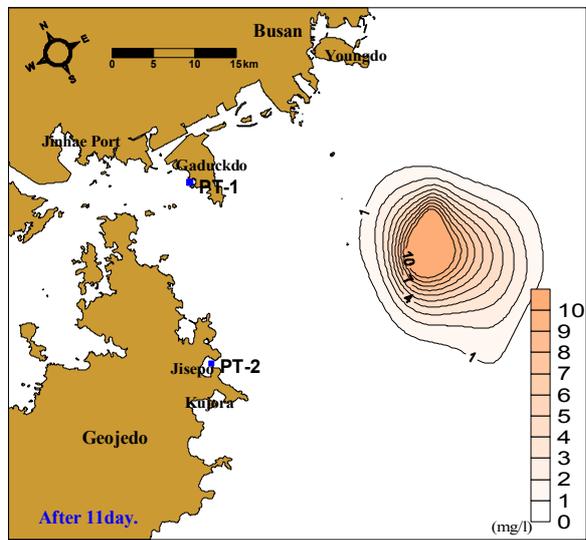


Fig. 4.16 Diffusion distribution after 11days

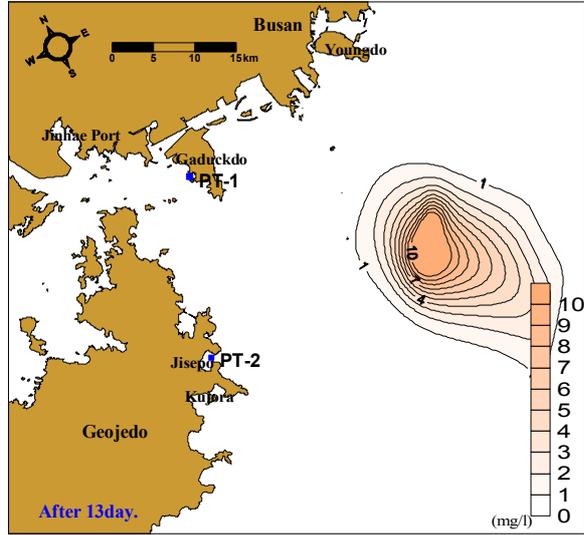


Fig. 4.17 Diffusion distribution after 13days

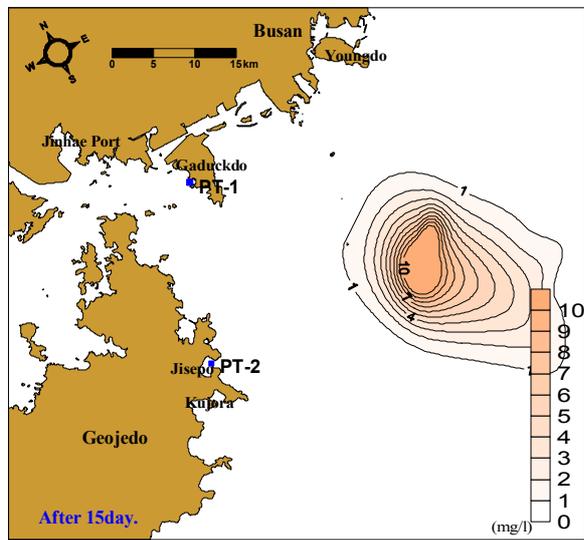


Fig. 4.18 Diffusion distribution after 15days

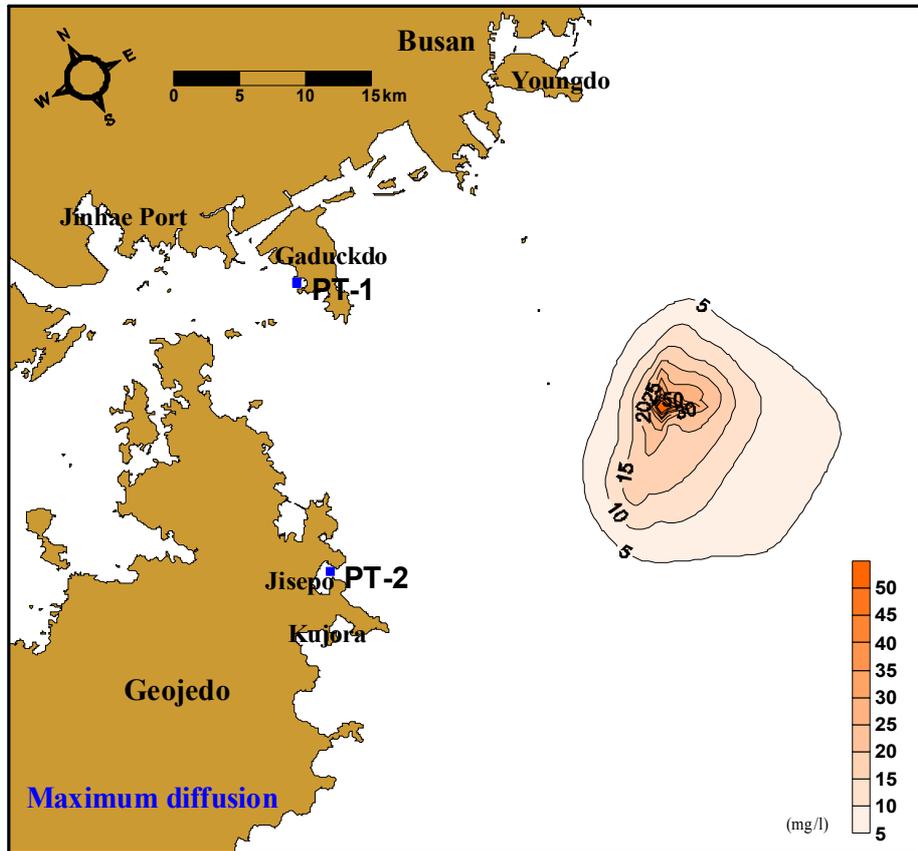


Fig. 4.19 Distribution of maximum SS concentration

4.4 부유사 확산 시뮬레이션 및 현장 관측값 비교

앞 절에서는 최대 확산범위를 파악함으로써 인근해역에 미치는 영향의 범위에 대해 논하였다. 본 절에서는 확산양상을 파악 현장 관측값과 비교하여 확산양상의 정도를 확인해 본다. Case 1, 2의 경우 Fig. 4.20과 Fig. 4.21의 6시간 및 12시간 후의 양상과 비교 하는 것이 1일 2~3회 정도 집중투하 하는 현장과 조건과 가장 유사 할 것으로 보인다. 실제 투기해역에 준설토 투기 후 6, 12시간이 지난 시점에서의 부유사 측정치와 수치모의 결과를 비교한 결과를 Fig. 4.22~Fig. 4.44에 제시하였다. 실제 투기시 순간 방출되지만 수치 실험상에서 투기시 연속 방출되는 점을 고려하면 농도분포의 양상은 어느 정도는 유사하게 나타나고 있지만 농도 값은 상이한 결과를 보이고 있다.

먼저 Case 1의 경우 2005년 12월 26일, 2006년 1월 11일, 2월 2일, 2월 13일, 3월 2일, 3월 31, 5월 25일, 8월 29일, 11월 13일의 관측 값의 경우 북동 남서 방향인 창·낙조 방향으로 확산되고 있는 것을 확인할 수 있으며 위와 같은 관측일의 경우는 외해에 고파랑이 발생하지 않았으며, 바람에이 심하게 불지 않았던 기상조건 이었다. 3장의 파랑 조건에서 조사된 (연간 파고 0.5m 이상의 파랑 출현율은 25.1, 정온율은 74.9%이며, 0.5~0.9m의 파고 출현율은 8.3%, 1.0~1.9m는 6.1%, 2.0~2.9m는 0.7%로 연 9회이며 3.0m 이상의 파고는 나타나지 않았다.) 자료에 의하면 파고가 낮은 날이 많으므로 수치실험 값은 74.9%인 정온한 날에 대해서는 확산양상이 유사할 것으로 사료된다. 반면 3월 17일, 4월 26일, 6월 28일의 현장관측의 경우는 파랑이 높고 파정부분에서 백파 현상이 심하게 발생하여 자연 조건에서 표층에서부터 조류의 영향보다는 쇄파에 의한 난류의 영향을 많이 받아서 확산양상에 패턴이 창·낙조의 방향과 일치 하지 못하는 결과를 보이고 있다.

Case 2의 경우는 2005년 11월 17일, 12월26일, 2006년 1월11일, 2월13일, 4월

26일의 경우는 창·낙조의 방향과 유사하게 나타났으며 4월 26일의 경우는 파랑이 높고 바람이 많이 불었으나, 확산양상이 창·낙조 방향으로 확산되었으며, 2005년 11월 1일, 12월 1일, 12월15일, 2006년 2월 2일, 3월 3일, 3월 17일의 경우는 일정한 양상이 없이 고르게 확산 되는 것을 확인할 수 있었다. 2월 2일의 경우는 기상 조건과 파랑조건이 양호한 관측일임에도 불구하고 확산 양상이 창·낙조의 방향으로 확산되지 않는 특징을 보이고 있다.

준설토 투기점을 기준으로 하여 관측한 SS 농도 자료는 Table 4.3 ~Table 4.6에 요약하여 정리하였다.

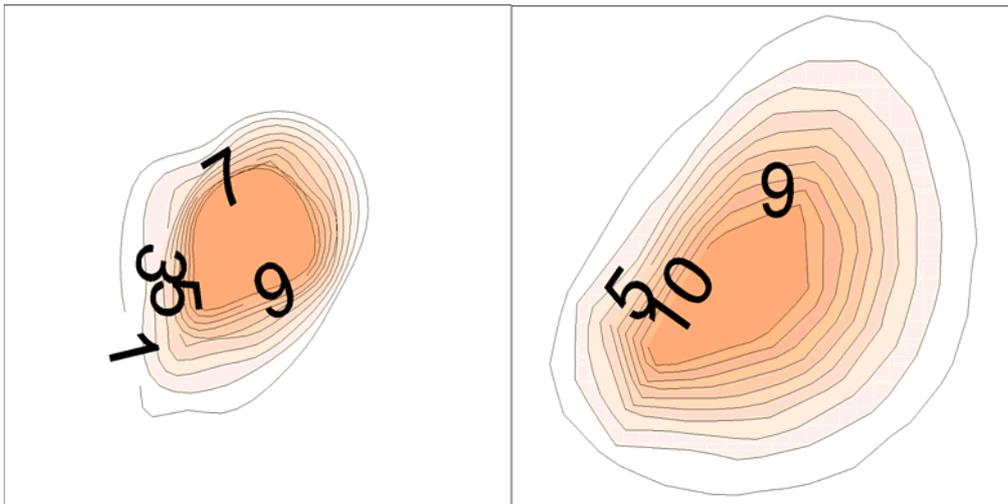


Fig. 4.20 Diffusion distribution
after 6hours (mg/ℓ)

Fig. 4.21 Diffusion distribution
after 12hours (mg/ℓ)

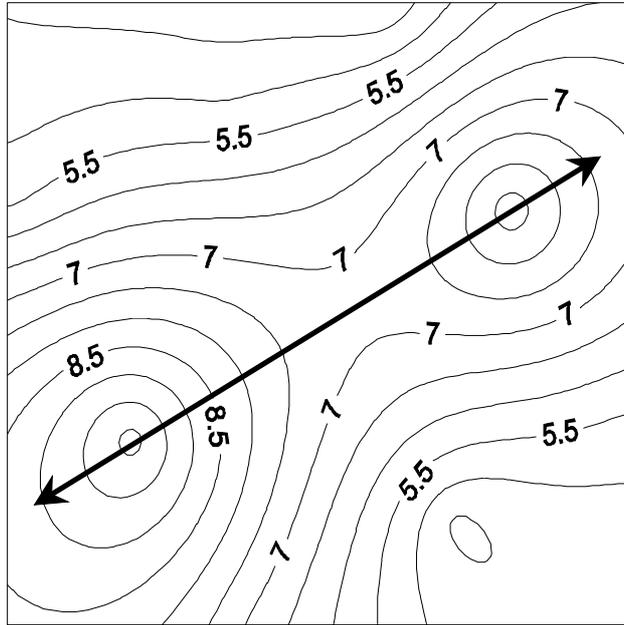


Fig. 4.22 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (05/12/26, mg/ℓ)

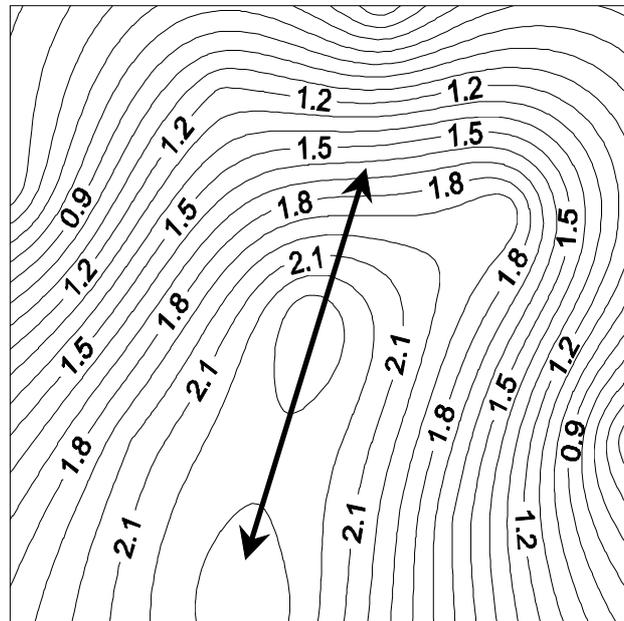


Fig. 4.23 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/01/11, mg/ℓ)

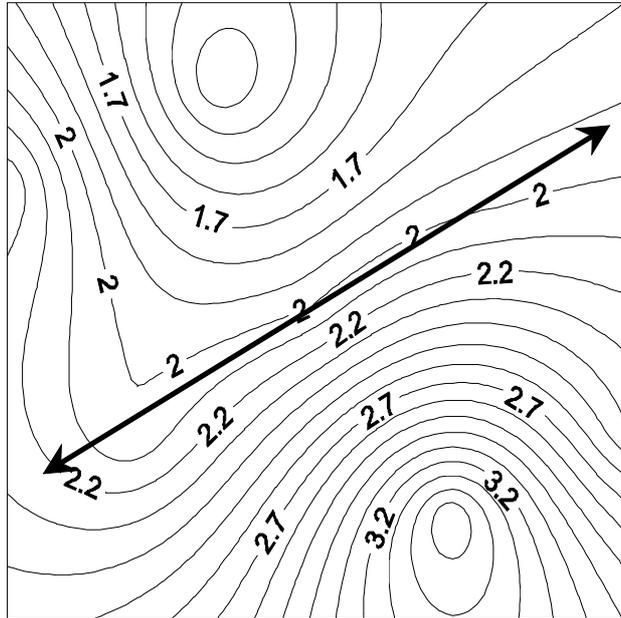


Fig. 4.24 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/01/11, mg/ℓ)

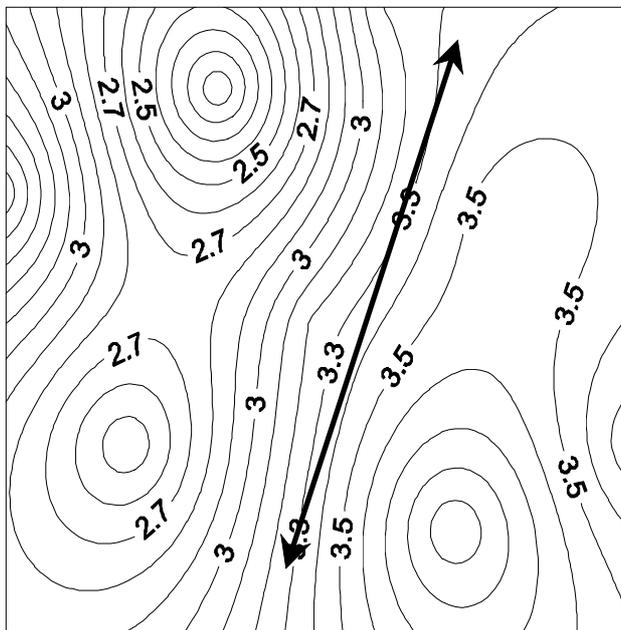


Fig. 4.25 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/02/02, mg/ℓ)

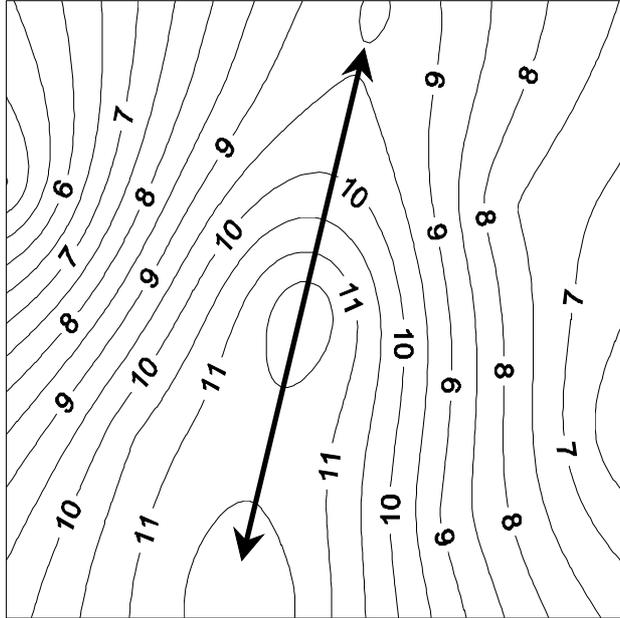


Fig. 4.28 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/03/31, mg/ℓ)

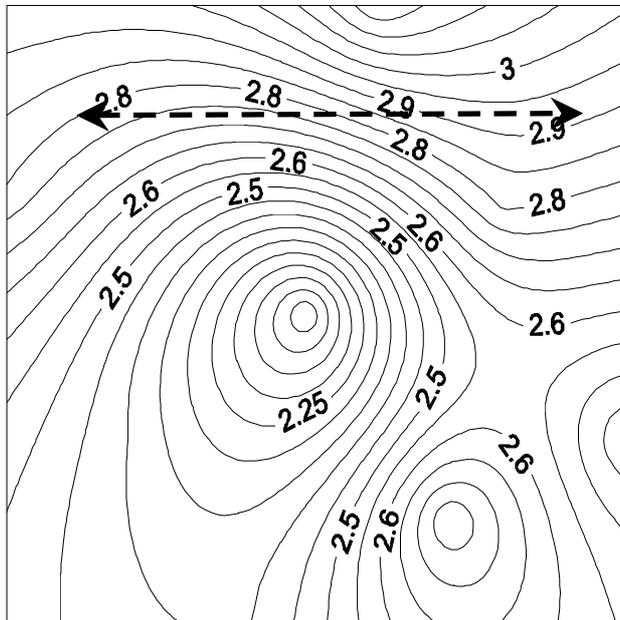


Fig. 4.29 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/04/26, mg/ℓ)

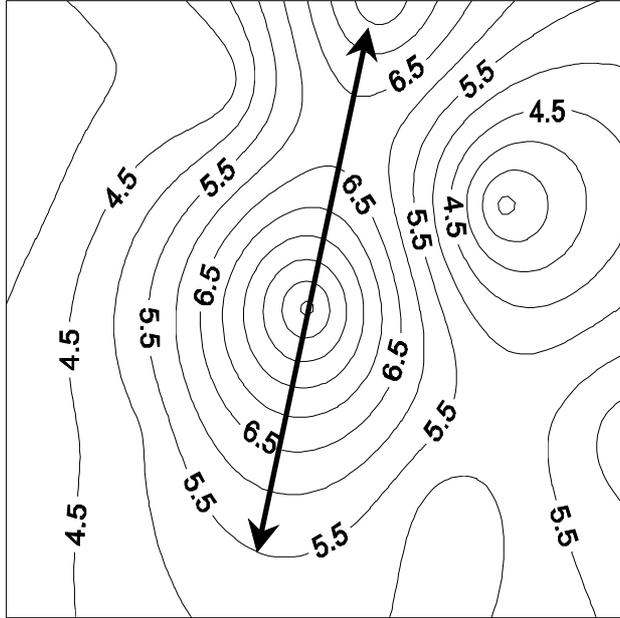


Fig. 4.30 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/06/28, mg/ℓ)

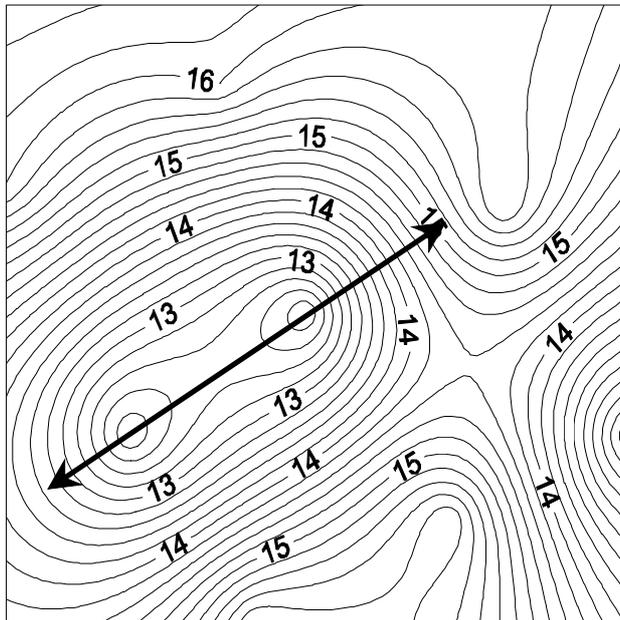


Fig. 4.31 Comparison of diffusion between survey and simulation Case1 (06/08/29, mg/ℓ)

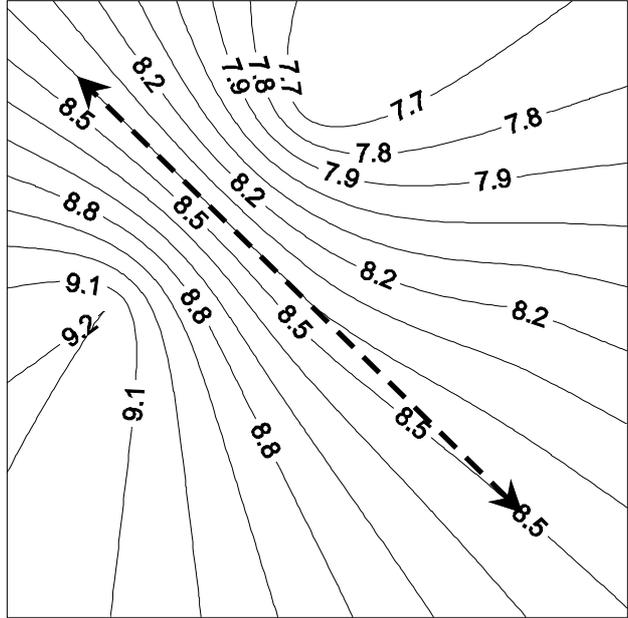


Fig. 4.34 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (05/11/01, mg/ℓ)

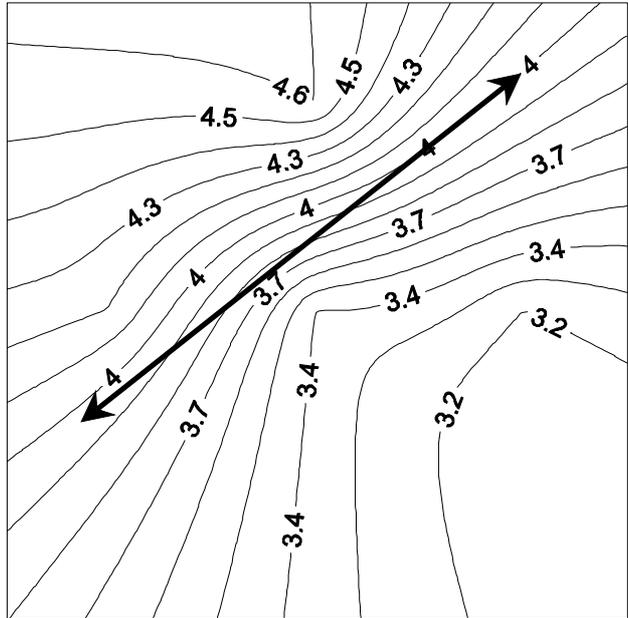


Fig. 4.35 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (05/11/17, mg/ℓ)

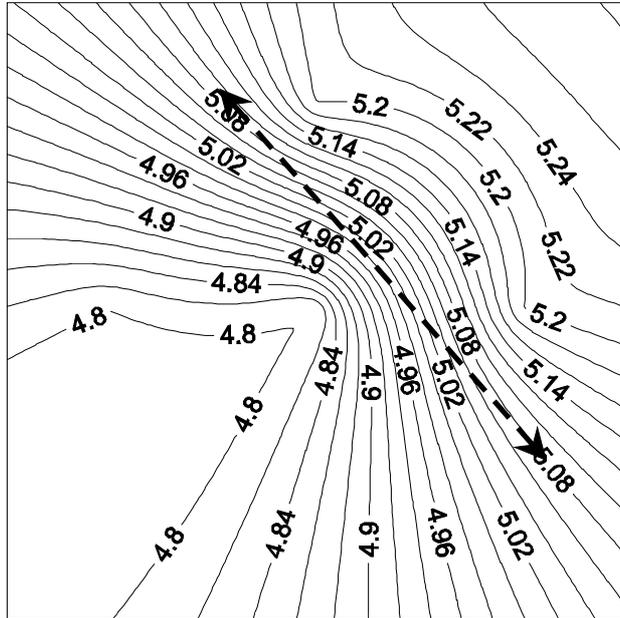


Fig. 4.36 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (05/12/01, mg/ℓ)

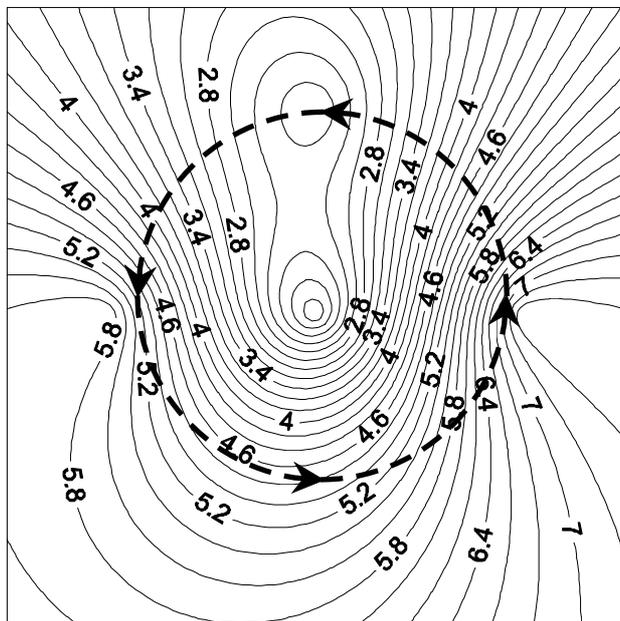


Fig. 4.37 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (05/12/15, mg/ℓ)

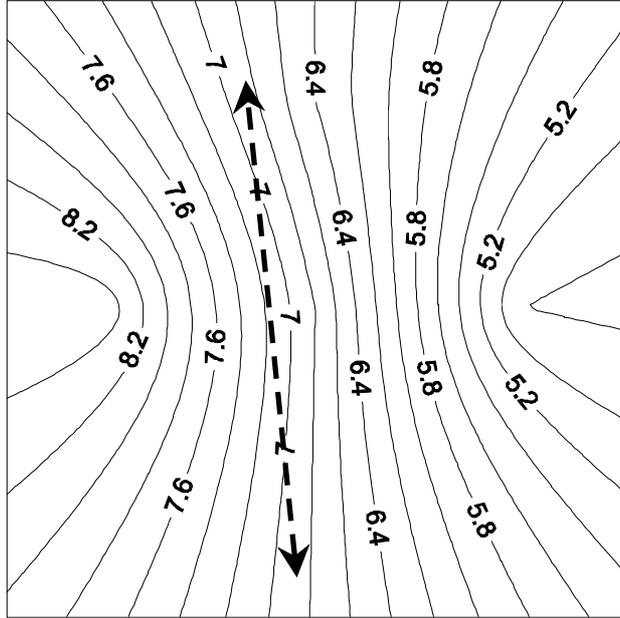


Fig. 4.38 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (05/12/26, mg/ℓ)

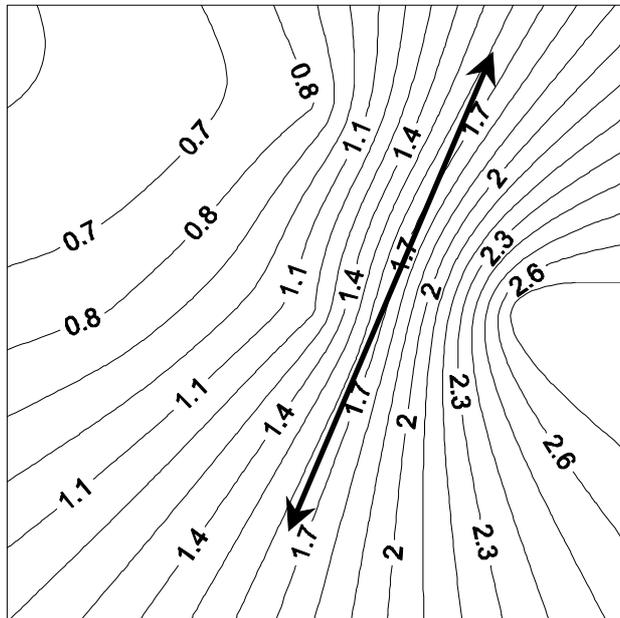


Fig. 4.39 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (06/01/11, mg/ℓ)

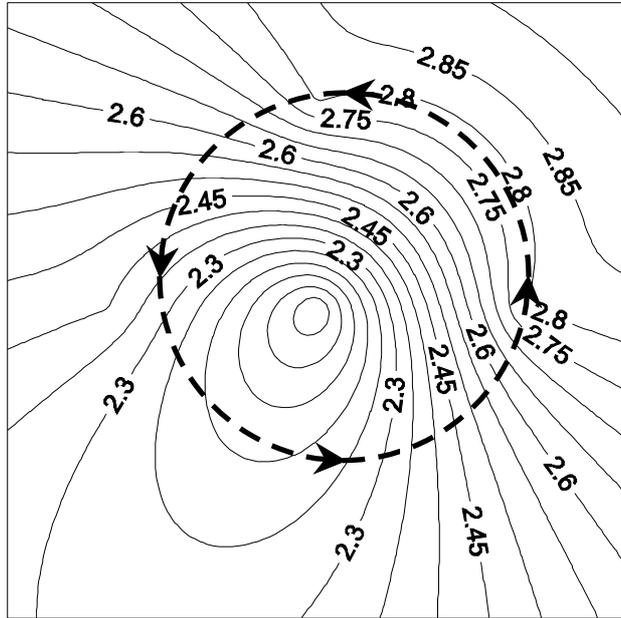


Fig. 4.40 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (06/02/02, mg/ ℓ)

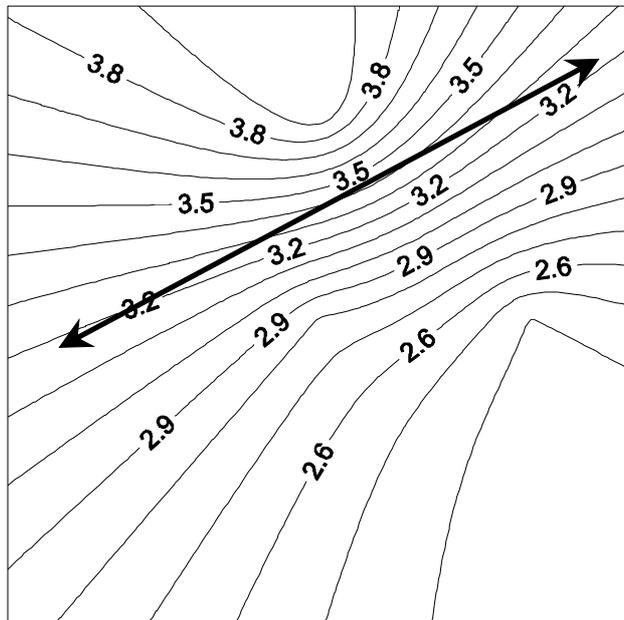


Fig. 4.41 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (06/02/13, mg/ ℓ)

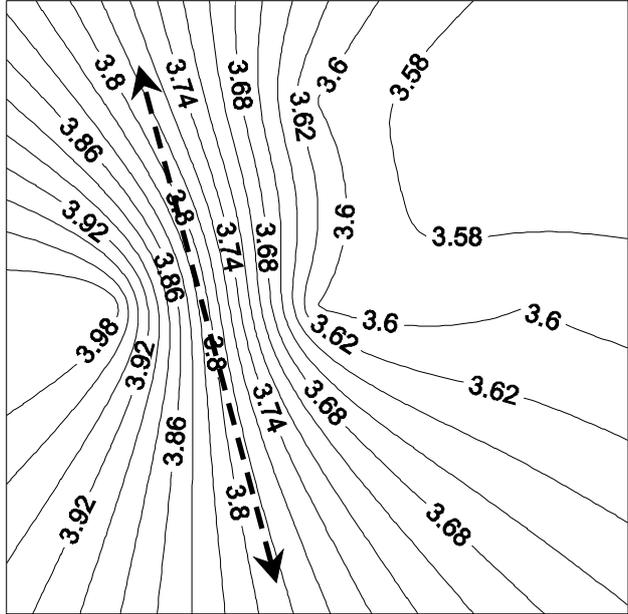


Fig. 4.42 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (06/03/02, mg/ ℓ)

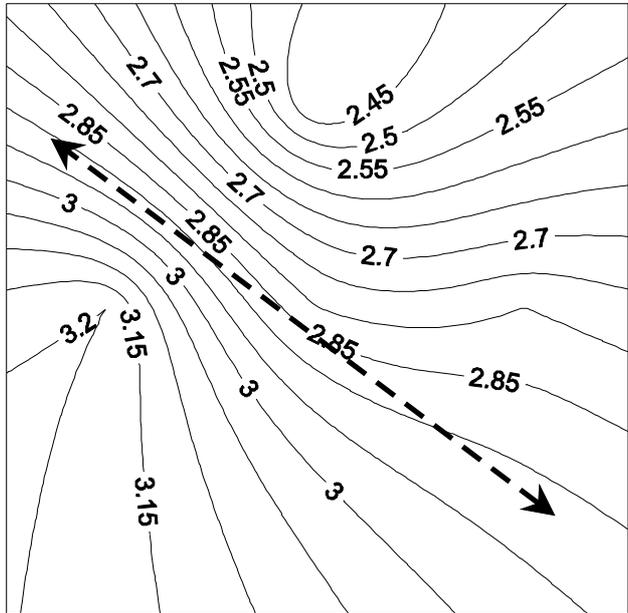


Fig. 4.43 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (06/03/17, mg/ ℓ)

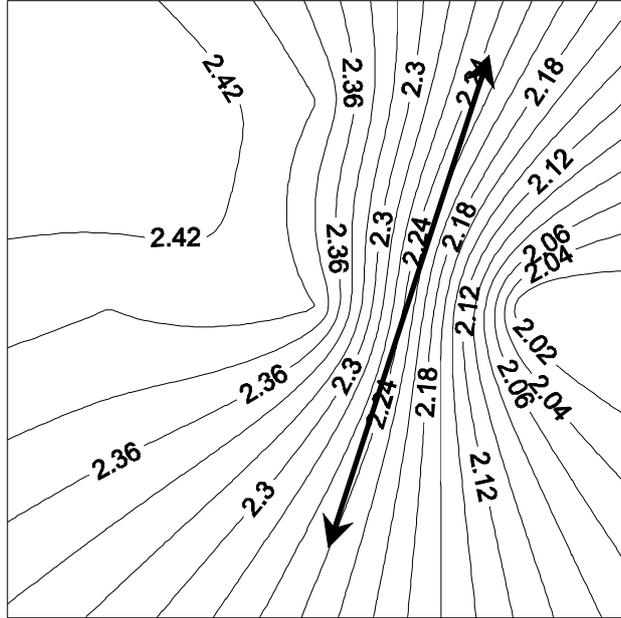


Fig. 4.44 Comparison of diffusion between survey and simulation Case2 (06/04/26, mg/ l)

Table 4.3 Surveyed SS Case 1-1 (mg/ℓ)

		2005/12/26	2006/1/11	2006/2/2	2006/2/13	2006/3/2	2006/3/17
ST.1	Surface	4	0.4	1.6	3.2	3.6	3.2
	Bottom	3.6	0.8	2	2.8	3.2	2.8
ST.2	Surface	8.8	2	2	3.6	4	3.2
	Bottom	6.4	0.4	2.4	3.2	3.6	3.2
ST.3	Surface	5.2	0.4	2.4	3.2	3.6	3.6
	Bottom	5.6	0.4	2.4	2	3.2	3.2
ST.4	Surface	4.8	1.2	1.2	2	2.8	3.6
	Bottom	3.6	1.2	0.8	2.8	3.2	3.6
ST.5	Surface	7.2	2.4	2	3.2	3.6	3.2
	Bottom	6.8	2.8	2.4	3.6	3.2	4
ST.6	Surface	4.4	1.6	3.6	4	3.6	4
	Bottom	5.2	3.2	4	3.2	3.2	3.6
ST.7	Surface	5.2	0.4	2.4	3.6	4	3.2
	Bottom	4	1.2	2.8	3.2	3.6	3.6
ST.8	Surface	10.2	2	2	2.4	3.2	3.6
	Bottom	9.2	1.6	2	2.8	2.8	4
ST.9	Surface	6.8	2.4	2.8	3.2	3.6	3.2
	Bottom	7.6	2.4	3.2	3.6	3.6	2.8

Table 4.4 Surveyed SS Case 1-2 (mg/ℓ)

		2006/3/31	2006/4/26	2006/5/25	2006/6/26	2006/8/29	2006/11/13
ST.1	Surface	9.6	3.2	8	16	8	7.2
	Bottom	8	2.8	5.6	16	8	6.8
ST.2	Surface	7.6	2.8	2.8	16	8	6.4
	Bottom	8.4	2.4	3.6	12	12	8.8
ST.3	Surface	6	2.4	6.4	12	8	6
	Bottom	7.2	2	3.2	16	4	6.4
ST.4	Surface	8.4	2.8	4	16	8	7.2
	Bottom	6.8	2.8	3.6	16	12	6.8
ST.5	Surface	12	2	9.2	12	4	7.2
	Bottom	11.2	2.4	6.4	16	8	6.4
ST.6	Surface	8.8	2.8	4.6	16	8	6.8
	Bottom	7.2	2.4	4	16	8	6.8
ST.7	Surface	4.4	2.8	3.6	16	8	7.2
	Bottom	8	2.4	4	16	12	7.6
ST.8	Surface	10.4	2.4	4.8	12	8	6.8
	Bottom	6.8	2.8	4	16	4	7.2
ST.9	Surface	12	2.4	5.2	16	4	6.4
	Bottom	6.4	2.8	4.4	16	4	6.8

Table 4.5 Surveyed SS Case 2-1 (mg/ℓ)

		2005/11/6	2005/11/17	2005/12/1	2005/12/15	2005/12/26
ST.1	Surface	8.4	3.4	4.8	1.6	6.8
	Bottom	6.8	6.8	4.4	6.4	6.4
ST.2	Surface	9.2	4.2	4.8	6	8.5
	Bottom	10.4	5.8	3.6	4.8	7
ST.3	Surface	7.6	4.6	5.2	2	6.4
	Bottom	5.2	4.4	3.2	7.48	5.2
ST.4	Surface	8.2	3.2	5.2	7.6	4.8
	Bottom	5.6	2.6	4.8	3.6	5.6
ST.5	Surface	8.6	3.8	3.6	2.8	8
	Bottom	10.4	5.4	3.2	4.8	6.4

Table 4.6 Surveyed SS Case 2-2 (mg/ℓ)

		2006/1/11	2006/2/2	2006/2/13	2006/3/2	2006/3/17	2006/4/26
ST.1	Surface	1.2	2	2.8	3.6	2.8	2.4
	Bottom	0.8	1.2	2.4	3.2	3.2	2.8
ST.2	Surface	0.8	2.4	3.2	4	3.2	2.4
	Bottom	1.2	3.6	3.6	3.6	3.2	2.4
ST.3	Surface	0.8	2.8	4	3.6	2.4	2.4
	Bottom	2	3.2	3.2	3.2	2.8	2.8
ST.4	Surface	2.8	2.8	2.4	3.6	2.8	2
	Bottom	1.2	2.4	2.8	4	2.4	1.6
ST.5	Surface	0.4	2	3.2	3.2	3.2	2
	Bottom	1.6	2	2.8	3.6	2.8	2.4

제5장 결론

준설토의 해상투기 공사시 발생하는 투기물질의 거동을 추정하기 위하여 투기 대상해역에서 현장관측과 함께 수치모형실험을 통해 유동장의 변화에 따른 확산과정을 예측하고 이를 비교하였다.

본 연구에서는 부산신항만의 중심에 따른 초과 준설토를 남형제도 일원 외해해상에 투기하는 시점에 정기적으로 유속과 층별 샘플을 채취하여 월별로 변화를 정리하였다. 또한, 해수유동 및 부유사 확산의 수치모의를 위해 해양수산조사원의 관측결과를 토대로 4대분조인 M_2 , S_2 , K_1 , O_2 를 모델입력치로 하였으며, 15일 간의 해수유동 수치모의 결과를 바탕으로 준설토의 외해투기로 인한 외해에서의 부유사 확산양상을 시뮬레이션하였다.

구축된 부유사 확산 모형의 검증은 기존 모형의 안정성에 의지하였으나, 모형의 실험 운용에 따라 결과는 크게 상이할 수 있다는 점에서 실제 확산시 자료를 통한 검증은 매우 드물고 의미가 있으며, 본 연구를 통해 축적된 자료는 준설토의 해상처리에 중요하게 이용될 것으로 본다.

본 연구에서 도출한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 투기해역에서의 대조기시 최강 조류속은 30-50cm/sec 이내로 분포하였으며, 낙조류의 영향이 창조류에 비하여 다소 우세한 것으로 나타났다.
- 2) 준설토 투기 후 시간에 따른 부유사 농도 관측성과와 수치실험 성과를 비교한 결과, 확산양상은 유사하지만 농도값은 상이한 결과를 보였다. 즉, 외해역에서의 확산 양상은 조류와 같은 외력보다는 수심의 영향이 탁월하였다.
- 3) SS 최대 확산 결과, 창조시 조류의 영향이 다소 큰 것으로 분석되었다.
- 4) 수치 실험의 결과 투기해역에서의 대조기시 최강 조류속은 50cm/sec 이

내의 범위에서 낙조류의 영향이 창조류에 비하여 다소 우세하며, 관측치는 수치실험과 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났다.

- 5) 부유사 농도의 공간적 분포는 표·저층간의 큰 차이를 나타내지 않아 혼합 기작이 비교적 잘 일어나는 것으로 분석되었다.
- 6) 준설토 투기 후 시간에 따른 부유사 농도 관측성과와 수치실험 성과를 비교한 결과, 확산양상은 조류의 영향만을 고려하였을 경우와 매우 유사하였다.
- 7) 쇄파현상과 바람의 영향이 크게 나타난 채수일의 농도값은 조류의 영향을 받지 않고 전해역으로 고르게 확산되는 양상을 보였다.
- 8) 채수 분석결과 일별 농도값의 차이는 준설토 투기 후 채수시간의 차이에 의한 것으로 사료된다.
- 9) SS 최대치확산 결과, 창조시의 조류 영향이 다소 크게 나타났다.

그러나, 수치모의 결과와 현장관측에서의 차이는

- 1) 유속관측 및 시료취수 시간이 관측점에 따라 1km ~ 10km 정도를 항해를 하기 때문에 1.5~2.5시간 정도의 차이가 있으며,
- 2) 실제 준설토 투기시 투기와 후 Barge선의 귀항으로 인해 투기 후 표층에서 항주파 및 선박의 스크류에 의해 와류가 발생하여 실제 관측치에 영향을 미친 점 때문에 확산 농도 값이 상이한 결과를 나타내었으므로,
- 3) 따라서, 확산양상의 정도를 향상시키기 위해서는 유속관측 및 시료취수 지역의 확대 및 취수 간격의 단축이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

이정규, 안수환 (1984), “조류에 의한 부유사의 확산에 대한 수치모형,” 대한토목학회 논문집, 제4권, 제4호

한국수자원공사 수자원연구소 (1994), “대하천에서의 오염물질 이송·확산 예측과 저감대책에 관한 연구” 보고서

한국환경정책·평가연구원 (2003), “해수유동 및 부유사확산 예측기법 개선에 관한 연구”, p.198.

해양수산부 (1997), “부산 신히 개발사업 환경영향평가서”, pp. 139-172.

해양수산부 국립해양조사원 (1999), “99 가덕수도 조류관측 결과”, 보고서

해운항만청 (1983), “부산 과량자료 분석 보고서(1978~1982)

Asselin, R. E. (1972), “Frequency filters for time integrations”, Mon. Weather Rev., 100, pp.487-490.

Blumberg, A.F. (1977), “Numerical model of estuarine circulation”, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, 103(HY3), pp. 295-310.

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.

Elder, J. W. (1959), “The dispersion of marked fluid in turbulent shear flow”, Jour. of Fluid Mechanics, 5, pp. 544-560.

Madala, R. V. and S. A. Piacsek (1977), “A semi-implicit numerical model for baroclinic oceans”, J. Comput. Phys., 23, pp. 167-178.

Mellor, G. L. and T. Yamada (1982), “Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems”, Rev. Geophys. Space Phys., 20, No.4, pp.851-875.

Phillips, N. A. (1957), “A coordinate system having some special advantages for numerical forecasting”, J. Meteorol., 14, pp.184-185.

Simans, 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.

Wang, D. and D.W. Kravitz (1980), “A semi-implicit two-dimensional model of estuarine circulation”, Journal of Physical Oceanography, 10(3): pp. 441-454.

감사의 글

먼저 이 논문이 완성되기까지 많은 관심과 격려로 늘 변함없이 따뜻하게 지도해 주신 선배님이자 스승님이신 이중우 교수님께 진심으로 감사드립니다.

2년여 전 토목분야의 새로운 시장이 될 워터프론트인프라 분야에서 선도적인 역할을 하고자 큰 뜻과 남다른 각오로 대학원에 입학하였으나, 바쁜 회사 생활을 핑계로 학문 연구에 좀 더 열심히 하지 못한 점이 못 내 아쉽습니다만 우여곡절 끝에 논문을 마무리 하는 시점에서 지금까지 저를 아끼고 격려해주신 많은 분들께 감사드립니다.

부족한 논문이지만 논문을 완성하는데 많은 조언을 주신 토목과 김태곤 교수님, 김도삼 교수님, 경갑수 교수님, 김태형 교수님 그리고 논문을 세심하게 심사하여 주신 박한일 교수님, 경갑수 교수님께도 감사의 인사를 드립니다. 바쁜 학교생활에도 불구하고 여러 가지로 도움을 주신 향만연구실 재현, 승철, 기담, 기대, 필성, 상길이에게도 후배님들께도 고마운 뜻을 전합니다.

특히 바쁜 현장 생활에도 불구하고 대학원 진학의 기회를 배려해주신 양상용 상무님께 마음으로부터 감사드립니다.

마지막으로 바쁜 직장 생활에도 불구하고 가정을 훌륭하게 이끌어 가는 우리 집의 CEO인 사랑하는 아내와 아빠가 항상 곁에 있어 주지 못함에도 건강하고 밝게 자라주는 사랑하는 명현·아현이에게 이 논문을 바칩니다.

아무쪼록 저에게 많은 도움을 주신 분들에게 직접 찾아뵙고 인사를 드려야 하는 것이 도리이지만 이렇게 글로 써나마 감사의 마음을 전합니다.

그리고 언제 어디서나 최선을 다하고 다른 사람에게 도움을 줄 수 있도록 쉽 없이 정진할 것을 약속드리며 머리숙여 다시 한번 감사의 인사를 올립니다.