

부산 신항만에서 수로 및 박지 준설에 따른 항만정온도의 변화 분석

이중우* · 이학승** · 이훈*** · 양상용****

* 한국해양대학교 건설환경공학부 교수, ** 울산신항컨테이너 터미널(주),
*** 한국해양대학교 토목환경공학과 대학원 **** 한국해양대학교 건설환경공학부 겸임교수

Analysis of Harbor Responses due to the Dredging Work at Waterway and Mooring Basin in Busan New Port

Joong-Woo Lee* · Hak-Seung Lee** · Hoon Lee*** · Sang-Yong Yang****

*,**** Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

** Ulsan New Container Terminal Corporation

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

요 약 : 최근 부산 신항만의 1단계 개발이 북 컨테이너 터미널쪽으로 가시적으로 나타나고, 12,000TEU 대형 컨테이너선을 서비스할 수 있도록 접근 수로 및 박지의 수심을 기존 15m 에서 18m로 준설작업을 통해 중심시킵과 아울러, 신항만의 웅동만 내 일부 수역을 매립하는 것으로 항만배후지 부분의 매립계획에 대한 수정이 논의되고 있다. 더구나 2003년 태풍 매미의 내습 이후 이곳 해역에서 항만구조물 설계의 기준이 되는 입사 파랑의 변화로 인해 각 부두에서의 극한파랑조건 및 항만 내 정온도에도 다소의 변화가 발생할 것으로 예상되어 각 부두에서의 정온도 분석이 뒤따라야 한다. 따라서 본 연구에서는 이들 변화에 대한 수치모델을 구성하고 실험을 수행한 후 현장 계측 자료와 함께 실험결과를 비교 하였으며, 아울러 유동장에 대해서도 검토하였다. 결과, 전반적으로 항만의 반응이 증가되는 편이나 우려할 수준에 이르지 않는 반면 일부 구간에서는 태풍내습 시 대비하여야 하는 경우도 발생하였다.

핵심용어 : 접근수로, 박지, 매립, 수심, 준설작업, 입사파랑, 정온도, 유동

Recently the first stage of construction for Busan new port emerged over the sea surface at the north container terminal site. With this, there are lot of discussions and debates on increasing the water depth at the approaching channel and mooring basin from the existing 15m to 18m by dredging work in order to be able to serve 12,000TEU containership, and at the same time, correction to the reclamation plan of hinterland at the part of Undong Bay of the new port site. Since the attack of typhoon "Maemi" in 2003, it is expected that the design wave parameters for coastal and harbor structures in this area would be somewhat changed and so the extreme wave condition at each terminal and tranquility of berthing area does, and, therefore, it is necessary to analyze the tranquility at each berth. Hence in this study, we constructed a wave model for these conditions and performed simulation together with the circulation model simulation, compared with the field data collected. The result showed the increase of the harbor response throughout the basin but not severe condition. However, a certain location needs to be prepared for the rough sea condition when a severe typhoon hit the site.

KEY WORDS : Approach channel, Mooring basin, Recalvation, Water depth, Dredging work, Incident wave, Tranquility, Circulation

1. 서론

부산항은 동북아에서 가장 좋은 입지를 갖추고도 시설확충 경쟁에서 뒤지면서 중국항만들의 추격에 밀려 3위에서 5위로 추락했다. 다시 한번 세계적인 항만으로 거듭나기 위해서 가덕도 북부해역 일원에 부산 신항만 개발이 단계적으로

추진되어 2006년 1월에는 북컨테이너 터미널 1단계 3개 선석이 조기 개장하게 된다.

그러나 향후 부산 신항만 개발 계획에서 12,000TEU 정도의 세계적 컨테이너 선박의 대형화 추세에 맞추고 향후 기존 선박보다 큰 대형 선박의 접안을 고려하여 수로 및 박지를 기존의 15m 에서 준설작업을 통해 18m 로 중심시키고 아울러 신항만 배후지의 확대를 위해 항만내 웅동만 수역의 일부를 매립하는 계획의 변경을 검토 중에 있다.

새롭게 항만개발을 추진함에 고려하여야 할 가장 중요한

* 종신회원 : jwlee@mail.hhu.ac.kr 051)410-4461
** 종신회원 : seaprin1@hanmir.com 051)410-4981
*** 정회원 : vulcan98@hanmail.net 051)410-4981
**** 종신회원 : syyang2004@yahoo.co.kr 051)410-4981

부분 중의 하나로 항내의 정온도를 들 수 있다. 항만내의 정온도는 평상시 항만접이안 및 하역 등 항만의 가동율에 파급효과를 가져오는 것은 물론 극한 파랑이 내습할 때에는 구조물 안정에도 큰 영향을 미치기도 한다. 2003년 태풍 매미의 내습으로 인하여 기존 해안 항만 구조물 설계 기준에 극한 파랑의 변화를 반영할 필요가 발생하였으며, 일부 구간이지만 웅동만 부분매립으로 인한 해안선 변경과 준설수심의 변화로 기존의 정온도 및 해역의 순환 계산에 차이가 수반될 수밖에 없다. 따라서, 자연적 및 인위적인 여건의 변화로 인하여 항만내의 정온도나 구조물 안정에 미칠 영향을 검토하고, 주변 해역경계의 변화에 따라 해수유동의 변화를 파악하여 현재 진행되고 있는 부산신항만 건설에 재고하여야 할 인자를 분석하고자 한다.

2. 적용방정식 및 수치해석기법

2.1 파랑장

연안의 표면파랑 모델을 구축하기 위하여 2차원 타원형 완경사 파랑 방정식을 사용하기로 한다. 이 식은 임의의 모양의 해안영역에서의 파랑의 굴절과 회절, 반사, 그리고 해안영역에서 해저면의 마찰, 쇄파 등의 다른 인자들도 파랑의 거동에 영향을 미치게 되므로 이를 고려하면 완경사 방정식은 식 (1)과 같이 확장이 가능하다.

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \hat{\eta}) + \left(\frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\sigma w + iC_g \sigma \gamma \right) \hat{\eta} = 0 \quad (1)$$

여기서, $\hat{\eta}(x,y)$; 복소해면변동함수

$$\sigma = \frac{2\pi}{T} ; \text{각주파수 (radians/sec)}$$

$$C(x,y) = \sigma/k ; \text{위상속도 (phase velocity)}$$

$$C_g(x,y) = \frac{\partial \sigma}{\partial k} = nC ; \text{군속도 (group velocity)}$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$$

$k(x,y)$ = 수심 $d(x,y)$ 에서 선형분산관계식 $\sigma^2 = kg \tanh(kd)$ 을 만족 하는 파수 ($=2\pi/L$) 를 가리키며, w = 마찰항, γ = 쇄파파라미터를 나타낸다. 이 때 마찰항은 식 (2)와 같이 Dalrymple et al.(1984)의 진폭 감쇠계수를 사용한다.

$$w = \left(\frac{2m\sigma}{k} \right) \left[\frac{2f_r}{3\pi} \frac{ak^2}{(2kd + \sinh 2kd) \sinh kd} \right] \quad (2)$$

이 때, $a = H/2$ 로 파랑의 진폭이며, f_r = 마찰계수이다.

위의 관계식 외에도, 비선형파의 시뮬레이션을 위해 진폭을 고려한 파랑분산관계를 사용한다. 식 (1)에 있는 선형분

산관계식을 비선형 산란관계식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\sigma^2 = gk \left[1 + (ka)^2 F_1 \tanh^5 kd \right] \tanh \{ kd + ka F_2 \} \quad (3)$$

$$F_1 = \frac{\cosh(4kd) - 2 \tanh^2(kd)}{8 \sinh^4(kd)}$$

$$F_2 = \left(\frac{kd}{\sinh(kd)} \right)^4 \quad (4)$$

대상해역이 직립인공구조물이나 돌제, 자연 사빈 및 섬 등 다양한 경계를 가지고 있으므로 식 (5)의 부분반사경계조건을 적용한다.

$$\frac{\partial \hat{\eta}}{\partial n} = \alpha \hat{\eta} \quad (5)$$

α 는 복소계수로 $\alpha = ik \frac{1-K_r}{1+K_r}$ 이며, K_r = 반사계수를 나타

낸다. 한편, 개방경계를 따라 유출되는 파랑은 무한대로 전파되어 결국 소멸되도록 하기 위해 식 (6)과 같이 Sommerfeld의 방사조건(Radiation condition)을 적용한다.

$$\lim_{kr \rightarrow \infty} \sqrt{kr} \left(\frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \hat{\eta}_s \rightarrow 0 \quad (6)$$

여기서, $\hat{\eta}_s$ = 산란파의 포텐셜

r = 중심 축에서부터 임의의 점까지의 거리

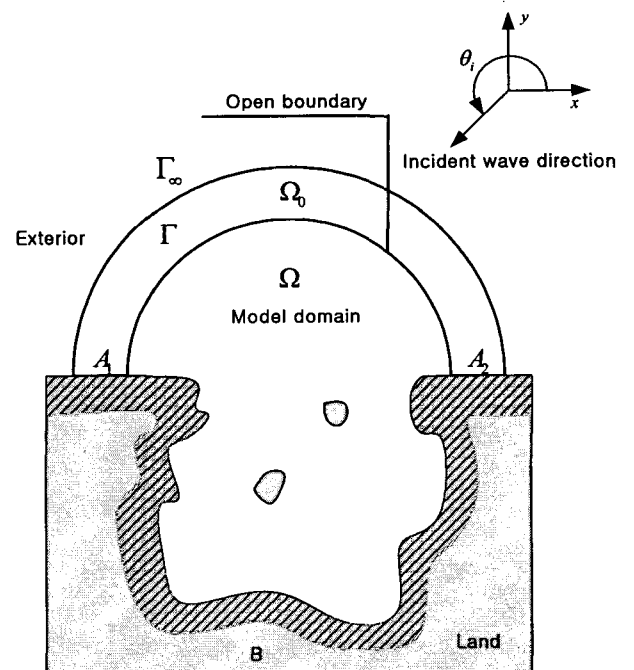


Fig. 1 Definition sketch of model domain

그러나 $\hat{\eta}_s$ 는 일정수심의 외부 영역을 필요로 한다. Fig.1과 같은 항만 문제에서도 산란파의 포텐셜은 개방경계와 관련된 단면 A_1 및 A_2 에서 직선상의 완전반사 해안선을 필요로 한다. 이 문제를 극복하기 위하여, Xu et al.(1996)의 개방경계조건으로 반원형호 Γ 를 따라 포물선형근사를 포함시켰다.

$$\frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial r} + p\hat{\eta}_s + q\frac{\partial \hat{\eta}_s^2}{\partial \theta^2} = 0 \quad (7)$$

여기서, $p = \frac{k^2 r^2 + k_0^2 r^2 + ik_0 r + \frac{1}{4}}{2ik_0 r^2}$, $q = \frac{1}{2ik_0 r^2}$ 이다.

이때 k_0 는 개방경계 Γ 를 따라 평균수심에 상응하는 파수를 채용하였고 모델영역 Ω 내에서는 확장환경사방정식을 적용한다.

2.2 흐름장

대상해역에서 변화된 수심과 해안경계로 인한 흐름의 작용을 다루기 위해 장주기 흐름을 야기하는 수면변동에 대해서 지배방정식으로 수심 적분된 식 (8)의 연속방정식 및 식 (9), (10)의 운동방정식을 도입한다. 지배방정식은 유한 요소의 Galerkin 가중 잔차법을 적용하여 해석하기로 한다.

연직적분 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y}(UH) + \frac{\partial}{\partial y}(VH) = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} - fU \quad (9)$$

$$= -g\frac{\partial[\zeta + P_s/g\rho_0 - \alpha\eta]}{\partial y} + \frac{\tau_{xy}}{H\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{H\rho_0} + \frac{M_y}{H} - \frac{D_y}{H} - \frac{B_y}{H}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} - fV \quad (10)$$

$$= -g\frac{\partial[\zeta + P_s/g\rho_0 - \alpha\eta]}{\partial x} + \frac{\tau_{xx}}{H\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{H\rho_0} + \frac{M_x}{H} - \frac{D_x}{H} - \frac{B_x}{H}$$

여기서

$$U, V = \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} u, v \, dz = x, y \text{ 방향의 수심 적분된 유속}$$

$u, v = x, y$ 방향의 연직적으로 변화하는 유속

$H = \zeta + h =$ 총 물이 차지하는 열의 두께

$h =$ 수심, $\zeta =$ 지오이드로부터의 자유수면 경계

$M_x, M_y = x, y$ 방향의 연직 적분된 측면응력 기울기

$D_x, D_y = x, y$ 방향의 운동량 소산

$\rho =$ 염도와 수온변화에 의한 물의 시 공간적으로 변하는 밀도



Fig. 2 Aerial view of the site

ρ_0 ; 물의 기준 밀도

τ_{sx}, τ_{sy} ; x, y 방향의 수면에서의 응력

τ_{bx}, τ_{by} ; x, y 방향의 해저에서의 응력

P_s ; 수면에서의 대기압

η ; 뉴턴 평형 조석 포텐셜

E_h ; 연직방향으로 적분된 측면 응력 계수

3. 모델의 구성

3.1 파랑장

파랑모델의 대상영역은 Fig. 3과 같은 영역을 선택하였다. 확장 환경사 방정식을 지배방정식으로 하는 유한 요소법으로 격자를 구성하였다. 최대 수심은 가덕도 서측해역에서 35.0m이다. 대상영역은 41.73m²으로서, 격자 셀은 삼각형이며, 격자간격은 60.0m이다. 좌표축은 진북방향으로 선택하였다. Fig. 4는 항내정온도 비교를 위해 부두별 평균구간을 나타내는 것이다.

3.2 흐름장

Fig. 5는 본 연구에서 순환모델을 실험할 대상역이다. 순환 모델은 유한 요소법으로 구성하였다. 메쉬 간격은 10m에서 500m로 가변 메시를 사용하였다. Fig.5는 순환모델의 계산영역을 나타내는 것으로, 모델의 영역은 동서로는 낙동강 하구에서 통영입구까지이며, 남북으로는 가덕도 남단에서 진해만 입구까지로 면적은 1044.3km²이다. 최대 수심은 가덕도 남단 해역에서 53.9m이다.

4. 수치 실험 및 분석

본 연구에서는 확장 환경사방정식에 기초한 파랑모델을 부산 신항이 건설 중인 해역에 적용하여 항로 준설 및

Table 1 Incident wave condition for wave field calculation

Wave				
Direction	Height	Period	Return Period	Remark
S	10.1 m	14 sec		MOMAF, Typhoon SARAH(1959)
S	13 m	13.8 sec		Typhoon MAEMI (2003)

Table 2 Set up the cases for wave simulation condition

Case	Dredging		Reclamation		Island(Todo)	
	15m	18m	Before	After	With	Without
1	○		○		○	
2	○		○			○
3	○			○	○	
4	○			○		○
5		○	○		○	
6		○	○			○
7		○		○	○	
8		○		○		○

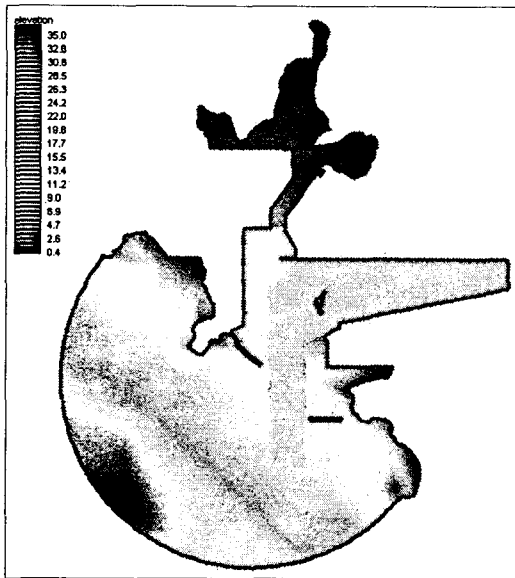


Fig. 3 Water domain and depth for wave simulation

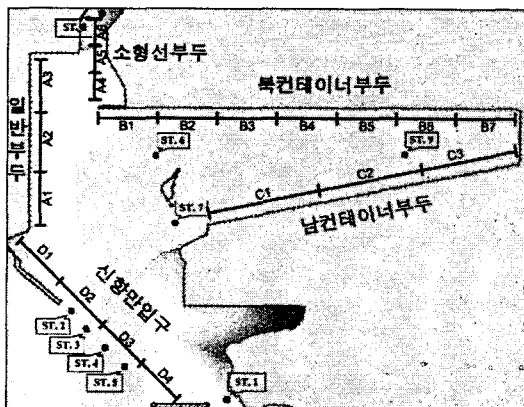


Fig. 4 Selected stations for comparison

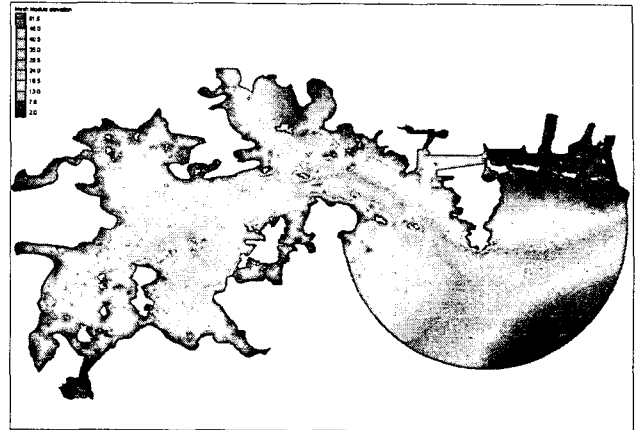


Fig. 5 Water domain and depth for tide simulation

주변 공사계획의 변화에 따른 항만 정온도의 변화를 알아보려고 하고, 수심 적분된 연속방정식 및 운동방정식을 지배방정식으로 하는 흐름모델을 적용하여 부산 낙동강하구로부터 통영입구까지 부산 신항을 포함하는 영역으로 신항 내 관심영역의 케이스별 최강 창·낙조류의 변화를 살펴봄으로서 여건변화에 따른 항만 내 유속변화를 비교분석하였다.

4.1 입력조건

파랑장 수치모형실험의 입력 조건은 Table 1과 같이 태풍 사라 및 매미 내습시 파랑조건으로서 태풍 사라의 파고는 10m, 주기는 14sec이며, 태풍 매미시 파고는 파고 13m, 주기는 13.8sec(권 등, 2005)이다. Table 2에서는 대상영역에 대한 실험을 조건별로 정리하였다. 항로 및 주요 정박지에서 준설수심의 변화 여부(15m,18m), 옹동만 지역의 매립 여부(매립전·후), 그리고 신항만 내 섬(토도)의 유무에 따라서 각각의 조건별로 수치 실험을 수행하였다.

흐름장 수치모형실험의 수심자료는 이 해역에 대한 해양조사원 간행 수치해도(Chart No. 202, 206)를 이용하여 입력하였으며, 부산 신항만이 완공되었을 경우로 가정하여 항내의 수심을 현행 15m와 12000TEU급 선박이 통항할 수 있도록 수심을 18m로 설정하여 수치모형실험을 수행하였다. 모델에서 사용한 주요 입력자료 중 개방경계에서의 분조는 국립해양조사원에서 제공하는 조석정보 제공 시스템의 자료를 이용하여 개방경계의 시작과 끝인 지세포와 다세포의 M2, S2분조를 이용하였다. 해저마찰계수(C_f)는 0.015를 적용하였다

4.2 결과 및 분석

본 연구에서는 Table 1과 같은 파랑 입력조건을 이용하여 수치실험을 각 케이스별로 수행하였고, 기존 설계서의 수치실험(해양수산부, 1997) 결과와 비교분석하였다.

Table 3과 Fig. 6,7은 기존의 수치 실험결과와 본 연구에서 수행한 태풍 매미의 극한 파랑을 이용하여 수치 실험 한 결과를 나타내고 있다. Table 3에서와 같이 태

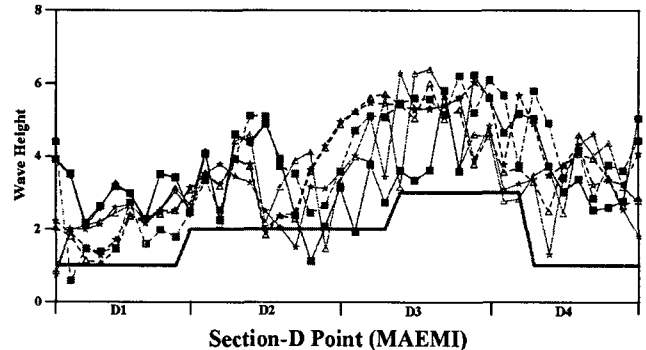
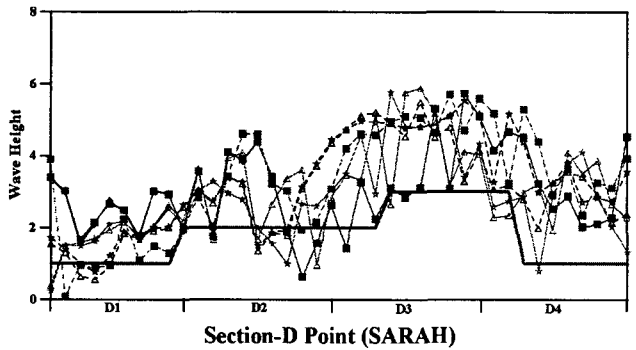
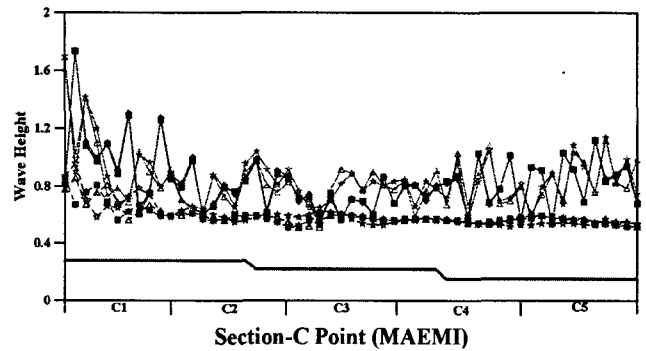
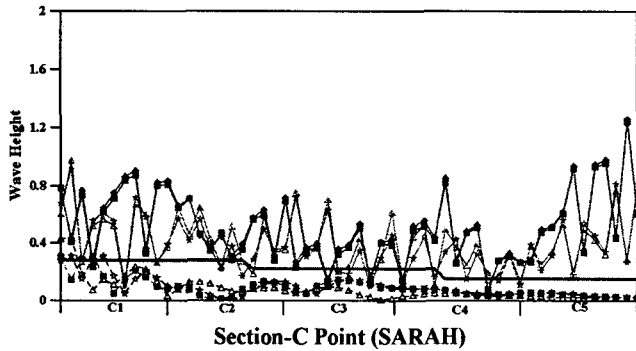
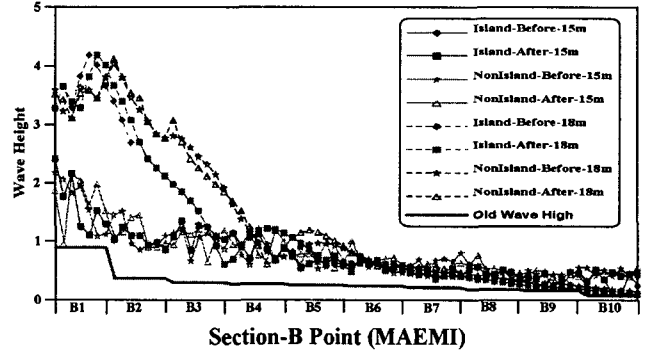
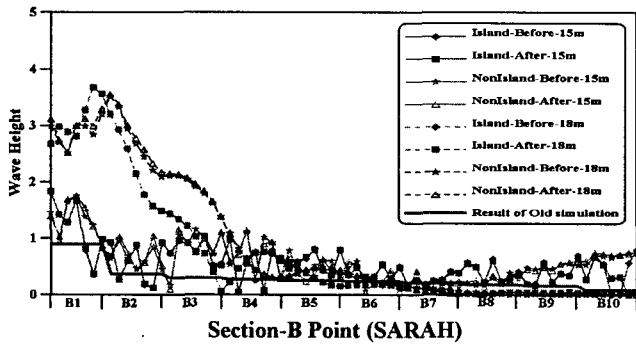
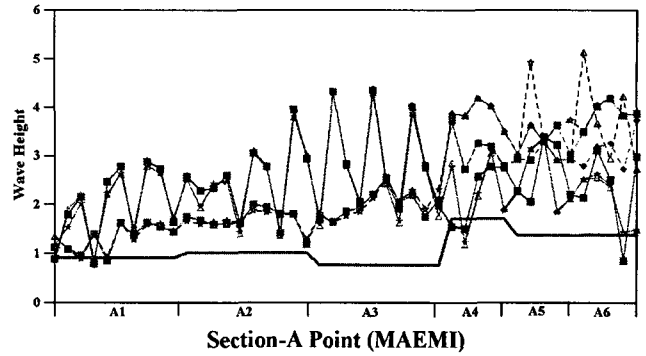
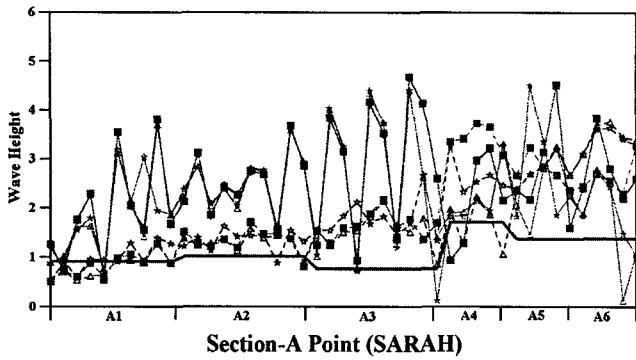


Fig. 6 Wave height distribution at the selected stations for typhoon SARAH

Fig. 7 Wave height distribution at the selected stations for typhoon MAEMI

풍 매미의 입력조건으로 수치실험 한 결과가 태풍 사라 입력조건으로 수치 실험한 것 보다 평균 0.1~0.7m 높게 나타났다.

토도의 존재 유무에 따른 수치 실험 결과는 수심 15m 및 18m일 때 각 케이스 별로 항 내 전체적인 파고의 분포는 큰 차이를 보이지 않았지만 소형선 부두 A4구간과

북 컨테이너부두 B1~B4구간에서 토도가 없을 때 평균 파고가 0.1~1.0m 높게 나타났다.

매립의 유무에 따라 수치 실험한 결과는 각 케이스별로 항 전체적으로 변화가 없는 것으로 나타났다.

항 내 준설 수심을 15m에서 18m로 증심하여 수치 실험한 결과 기존 설계 수심인 15m일 때 일반 부두 및 소

Table 3 Comparison of wave predictions between the existing and present model study

(Unit : m)

부두	소구간	현행 설계안 평균파고	SARAH 조건별 평균파고								MAEMI 조건별 평균파고							
			항로 15m, S				항로 18m, S				항로 15m, S				항로 18m, S			
			섬有 기준	섬無 기준	섬有 매립	섬無 매립	섬有 기준	섬無 기준	섬有 매립	섬無 매립	섬有 기준	섬無 기준	섬有 매립	섬無 매립	섬有 기준	섬無 기준	섬有 매립	섬無 매립
일반 부두	A1	0.91	1.91	1.80	1.93	1.82	0.84	0.97	0.84	0.81	1.95	1.92	1.95	1.94	1.31	1.30	1.31	1.33
	A2	1.01	2.54	2.54	2.53	2.51	1.34	1.34	1.34	1.31	2.56	2.49	2.55	2.49	1.70	1.69	1.70	1.70
	A3	0.76	2.94	2.55	2.96	2.68	1.65	1.77	1.65	1.56	2.86	2.76	2.85	2.75	2.01	2.03	2.01	2.01
소형선 부두	A4	1.71	2.11	2.21	2.12	2.24	3.44	2.66	3.44	1.68	2.24	2.24	2.23	2.24	3.88	3.13	3.14	3.88
	A5	1.37	2.75	2.75	2.76	2.37	2.76	2.76	2.76	2.77	2.63	2.55	2.63	2.56	3.16	3.70	3.16	3.16
	A6	1.38	2.77	1.91	2.77	1.68	2.65	3.41	2.65	3.48	2.32	2.10	2.32	2.08	3.14	3.89	3.88	3.74
북 컨테이너 부두	B1	0.89	1.19	1.32	1.19	1.35	3.12	2.89	3.12	2.97	1.64	1.68	1.64	1.74	3.70	3.49	3.66	3.71
	B2	0.37	0.55	0.66	0.56	0.72	2.25	2.75	2.24	2.83	1.03	1.11	1.03	1.12	2.67	3.32	2.81	2.57
	B3	0.30	0.78	0.87	0.77	0.88	0.89	1.86	0.89	1.89	1.13	1.01	1.13	1.06	1.40	2.43	1.40	1.22
	B4	0.27	0.55	0.70	0.54	0.69	0.60	0.55	0.60	0.55	0.90	0.90	0.90	0.95	1.06	1.06	1.06	1.11
	B5	0.25	0.58	0.52	0.58	0.43	0.33	0.40	0.33	0.45	0.69	0.76	0.69	0.77	0.83	0.96	0.84	0.78
	B6	0.24	0.40	0.28	0.40	0.33	0.18	0.25	0.18	0.27	0.71	2.93	0.71	0.83	0.73	0.74	0.73	0.73
	B7	0.21	0.27	0.14	0.27	0.21	0.08	0.10	0.08	0.07	0.62	0.83	0.63	0.74	0.67	0.60	0.67	0.65
	B8	0.18	0.41	0.25	0.39	0.27	0.03	0.02	0.03	0.03	0.73	0.72	0.73	0.79	0.57	0.63	0.58	0.57
	B9	0.16	0.38	0.50	0.36	0.50	0.04	0.01	0.04	0.04	0.71	0.74	0.71	0.74	0.54	0.60	0.54	0.54
	B10	0.08	0.41	0.68	0.30	0.71	0.05	0.02	0.05	0.04	0.69	0.87	0.82	0.85	0.54	0.57	0.53	0.60
남 컨테이너 부두	C1	0.28	0.60	0.46	0.58	0.48	0.13	0.14	0.13	0.16	0.95	0.91	0.93	0.90	0.64	0.67	0.64	0.70
	C2	0.22	0.40	0.34	0.38	0.38	0.10	0.10	0.10	0.06	0.74	0.81	0.74	0.79	0.57	0.58	0.57	0.66
	C3	0.15	0.56	0.36	0.54	0.37	0.04	0.04	0.04	0.03	0.83	0.83	0.83	0.84	0.56	0.54	0.56	0.56
항 입구 (방파제 뒤)	D1	-	2.49	1.75	2.51	1.79	1.49	1.64	1.49	1.51	2.33	1.92	2.33	1.88	2.09	1.91	1.99	1.99
	D2	-	2.79	2.50	2.79	2.84	3.10	2.92	3.10	2.86	2.81	2.88	2.81	2.88	3.24	3.11	3.23	3.45
	D3	-	3.53	4.42	3.53	4.28	4.91	4.98	4.91	4.67	4.01	4.62	4.01	4.64	5.31	4.99	5.41	5.24
	D4	-	3.29	2.61	3.30	2.92	3.74	3.48	3.74	2.88	3.63	3.04	3.63	3.25	4.33	3.74	3.89	3.57

Table 4 Maximum tidal currents for flood and ebb tides

(Unit : m/sec)

		지점별 최대 유속								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Is(15)	창조	0.083	0.094	0.262	0.093	0.009	0.063	0.046	0.207	0.040
	낙조	0.062	0.098	0.318	0.072	0.012	0.065	0.035	0.177	0.036
Is(18)	창조	0.077	0.086	0.246	0.087	0.009	0.055	0.037	0.206	0.035
	낙조	0.058	0.089	0.297	0.066	0.012	0.062	0.038	0.177	0.043
Non Is(15)	창조	0.083	0.094	0.262	0.093	0.008	0.050	0.035	0.207	0.040
	낙조	0.061	0.099	0.318	0.072	0.012	0.058	0.027	0.177	0.036
Non Is(18)	창조	0.063	0.077	0.086	0.246	0.087	0.009	0.044	0.028	0.206
	낙조	0.056	0.058	0.089	0.297	0.067	0.012	0.055	0.028	0.177
Is(15)	창조	0.091	0.096	0.263	0.095	0.009	0.065	0.047	0.356	0.042
	낙조	0.072	0.106	0.320	0.080	0.012	0.067	0.035	0.305	0.037
Is(18)	창조	0.086	0.087	0.247	0.091	0.009	0.057	0.039	0.356	0.036
	낙조	0.064	0.097	0.301	0.072	0.012	0.057	0.029	0.305	0.031
Non Is(15)	창조	0.091	0.096	0.263	0.095	0.009	0.052	0.034	0.356	0.042
	낙조	0.072	0.106	0.320	0.080	0.012	0.059	0.025	0.305	0.037
Non Is(18)	창조	0.087	0.088	0.248	0.091	0.008	0.043	0.028	0.356	0.036
	낙조	0.064	0.097	0.301	0.072	0.012	0.050	0.019	0.305	0.031

형선 부두에서의 파고 분포가 북 컨테이너부두 및 남 컨테이너부두에 비해 높게 나타났으며, 설계변경에 따른 수심 18m에서의 수치실험을 수행한 결과는 일반 부두 A1 구간의 파고가 기존 설계수심일 때보다 1.91m에서 0.84m로 감소하였고 소형선부두의 경우 A4구간에서는 기존 수심15m에서 2.11m에서 3.44m로 다소 높은 파고 분포를 나타내었다. 북 컨테이너 부두의 경우를 살펴보면

북 컨테이너부두 B1, B2, B3 구간에서는 파고의 분포가 기존수심15m일 때 1.19m에서 3.12m로 2.5배 가량 높은 파고가 발생하였고 부두의 안쪽 B4~ B10 구간은 파고 분포가 보다 낮게 나타났다. Fig. 8~9는 18m로 항로를 준설하고 토도가 있을 때와 없을 때의 등파고선도를 보여준다. Fig. 10~11은 15,18m 수심에 따른 등파고선도를 보여준다.

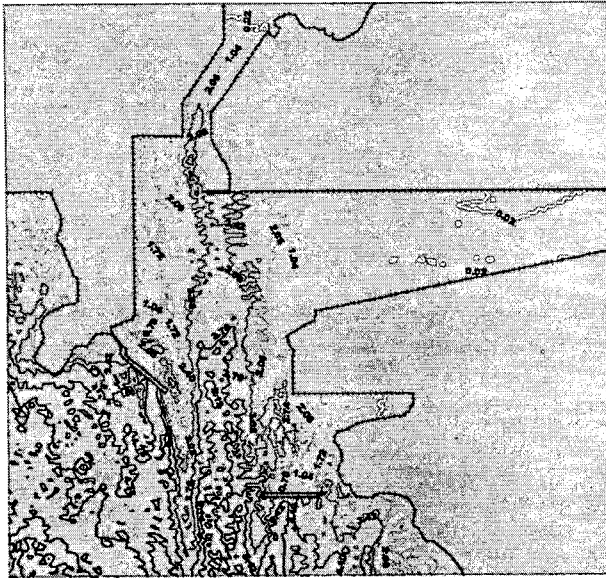


Fig. 8 Wave height distribution without Todo
(18m dredging and reclamation applied)

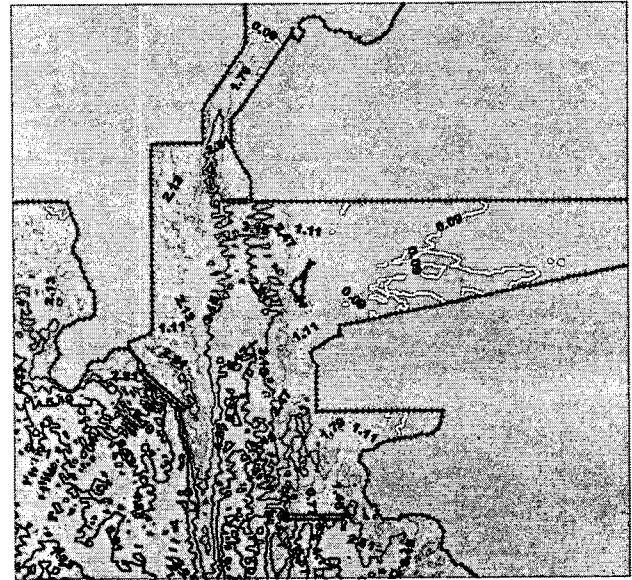


Fig. 9 Wave height distribution with Todo
(18m dredging and reclamation applied)

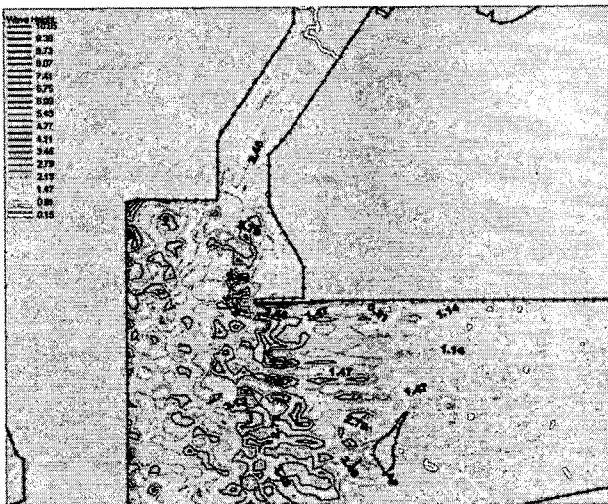


Fig. 10 Wave height distribution with 15m dredging
(with Todo applied)

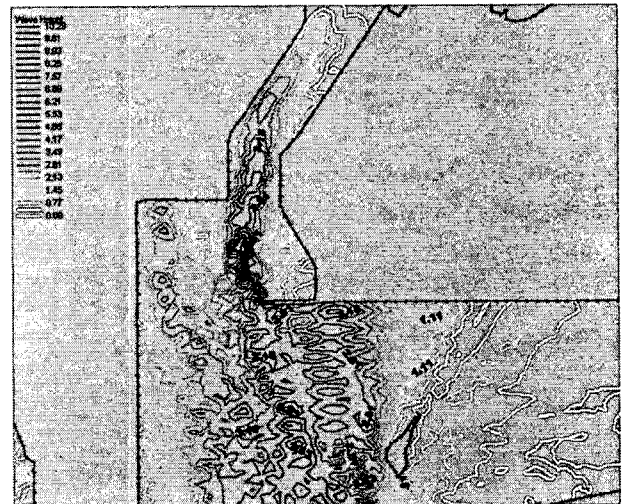


Fig. 11 Wave height distribution with 18m dredging
(with Todo applied)

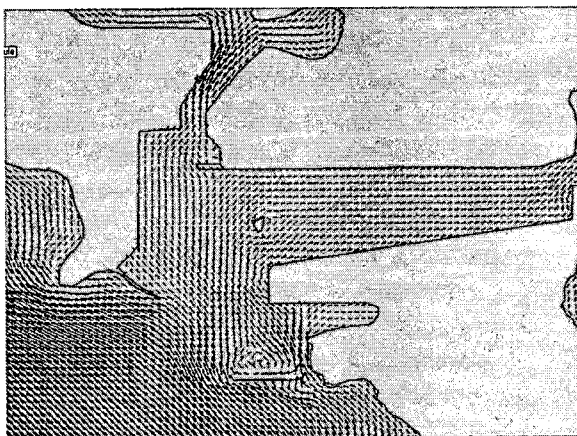


Fig. 12 Maximum flood current for 18m dredging

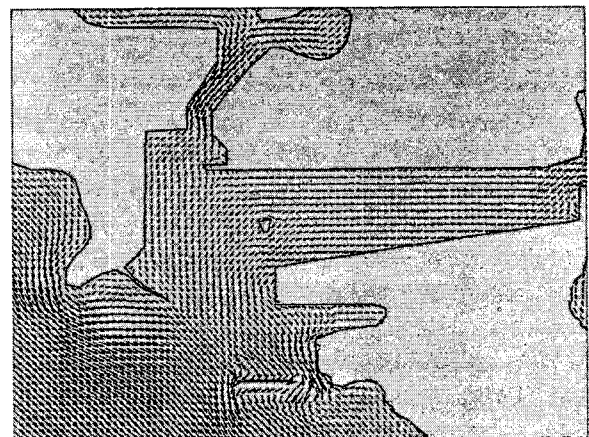


Fig. 13 Maximum ebb current for 18m dredging

유동모델을 적용하여 각 케이스별로 창·낙조 시 각 절점의 최대유속을 Table 4에 정리하였다. 거의 모든 절점에서 섬(토도)의 유무에 대하여서는 유속의 변화가 없는 것으로 나타났으나, 섬 주위의 절점 6, 7에서는 섬을 제외한 경우가 유로 폭이 넓으므로 섬이 있는 경우보다 유속이 0.011~0.014 m/s 감소하였다.

또한, 웅동만의 매립여부에 의한 유속의 변화는 항 전체적인 구간에서 그 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 항로 수심 준설에 의한 최대유속의 변화는 모든 절점에서 창·낙조 시 15m수심일 때 보다 18m수심일 때 0.001~0.009m/s 정도 감소하였으며, 큰 변화는 보이지 않았다. Fig. 12~13은 항로 수심을 18m로 준설하였을 때 최대창조류와 최대낙조류를 나타낸다. 최강창조류는 각 케이스별로 저조시부터 2시간 24분~2시간 56분 이후에 최대 유속이 발생하였고, 최강낙조류는 고조시에서부터 3시간~3시간 52분 이후에 최대 유속이 발생하였다.

5. 결론

본 연구에서는 대규모 부산 신항 개발 계획에 따라 웅동만의 매립여부와 토도의 존재여부 또한 대규모 선박의 통항 시 갖추어야 될 항로의 중심 여부를 중심으로 파랑 변화 실험과 해수유동 실험을 병행하였다. 부산 신항만 내 웅동만에서 부분적인 매립의 경우에 대하여서는 항 전체적으로는 파랑의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 토도의 존재 유무에 따른 항내 정온도 수치 실험 결과는 기존의 계획에서 수로 및 선석별 수심을 18m로 중심했을 경우 파고가 B1~B4구간에서 부분적으로 소폭 증가하였고, 방파제 역할을 한 토도를 제외시키고 수심이 18m일 경우에 각 케이스별로 최대 파고가 나타났다.

항로 준설에 의한 영향으로는 항 전체적으로 파고가 높게 나타났고 특히, 파의 영향을 직접 받는 북 컨테이너 부두 B4~B10구간에서 다소 높은 파고가 나타났다.

해수 유동의 형태는 전체적으로 큰 변화가 없었으나 항로 수심에 따라서는 최대유속의 변화가 모든 절점에서 창·낙조 시 15m수심일 때 보다 18m수심일 때 0.001 ~ 0.009m/s 정도 감소하였다.

따라서 실험 결과 항내 주요 수심이 18m로 중심될 경우 파고가 다소 높게 나타났으나, 향후 선박의 대형화 및 항만 경쟁력 강화의 관점에서 볼 때 항내의 파고가 증가하더라도 항내 중심은 필요하지만, 토도섬의 존재 유무는 토도섬이 제거 될 경우 항로에 따른 대형 선박의 통항은 안전할 것이나 완전 제거 시 신항만 건설비에 버금가는 대규모 경비가 소요되어 비경제적이다. 또한 부두의 방파제 역할을 하는 섬을 제거 했을 때 태풍 매미와 같은 초대형 태풍 도래 시 일부부두에 피해가 예상된다. 그러므

로 토도를 제거하는 점은 항로의 안정성에는 어느 정도 도움이 될지 모르나 경제성의 관점에서는 문제가 커져 사업추진에 어려움이 따를 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

- [1]해양수산부(1997), "부산 신항 방파제 실시설계 용역 수치 모형실험보고서"
- [2]Dalrymple, R. A., Kirby, J. T., and Hwang, P. A. (1984). Wave Diffraction due to areas of high energy dissipation, *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, 110, 67-79.
- [3]Xu, B., V. G. Panchang and Z. Demirebilek, (1996). Exterior Reflections in Elliptic Harbor Wave Models, *J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engr.*, 122, 118-126.
- [4]Kim, H., Park, C. Y., "Prediction of changes in tidal system and deltas at Nakdong estuary due to construction of Busan new port", *Coastal Engineering VI*, 91-100
- [5]권소현, 이중우(2005), "태풍 내습에 따른 해안에서의 재해위험 예측에 관한 연구", 한국해양대학교 대학원, 석사학위논문