

영일만 신항 건설에 따른 항만 정온도의 변화

김지연* · 이종우** · 이학승*** · 양상용****

*한국해양대학교 산업기술연구소 객원연구원, ** 토목환경시스템공학부 교수
*** 울산신항컨테이너터미널(주), **** 한국해양대학교 토목환경시스템공학부 겸임교수

Variation of Harbor Response due to Construction of A New Port in Youngil Bay

Ji-Yeon Kim* · Joong-Woo Lee** · Hak-Seung Lee*** · Sang-Yong Yang****

* Korea Institute of Industrial Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
, ** Division of Civil and Environmental System Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea
*** Ulsan New Container Terminal Corporation

요약 : 복잡한 수심을 가진 연안해역에서 파랑의 천수효과, 굴절, 회절, 부분반사, 해저마찰, 쇄파의 영향까지를 고려한 파랑모델의 도입은 대부분의 해안공학 설계나 방재 문제에 매우 중요한 요소이다. 파랑이 심해역에서 수심이 얇은 천해역으로 이동함에 따라, 파랑의 기본적 특성이 변하며, 파에너지는 천해역과 섬, 해안 보호 구조물, 불규칙한 연안 경계와 다른 지리적 특징에 의하여 파봉선을 따라 재분산된다. 또한, 쇄파가 발생하는 쇄파대에서나, 해안선 및 구조물의 경계에서 반사된 파가 그 입사파와 상호 작용을 하는 영역을 통과하면서 급격한 변화를 일으킨다. 확장사방정식 파랑모델의 현장 적용은 지금까지 여러 모델이 다루지 못한 파랑변환과정을 이해하는데 도움을 줄 것이다. 본 연구에서는 영일만 신항만의 건설이 이루어질 영일만 내의 넓은 수역에 대해 파랑의 변환과정을 보다 합리적으로 해석하기 위해 확장환경사방정식 파랑모델을 구성하고, 신항건설 전,후의 해면변동과 신항만 개발에 따른 포항 구항해역 및 포항 신항해역 등 인접해역에서의 정온도 변화를 비교 분석하는 것을 골자로 하고 있다. 이러한 시도가 광역항만권 개발에서 쉽게 누락시킬 수 있는 기존항만에 대한 파생적 영향을 반드시 분석하도록 하는 계기가 될 것으로 본다.

핵심어 : 연안해역, 굴절 및 회절, 쇄파, 방재, 확장환경사방정식, 파랑모델, 에너지 재분산

Abstract : Introduction of wave model, considered the effect of shoaling, refraction, diffraction, partial reflection, bottom friction, breaking at the coastal waters of complex bathymetry, is a very important factor for most coastal engineering design and disaster prevention problems. As waves move from deeper waters to shallow coastal waters, the fundamental wave parameters will change and the wave energy is redistributed along wave crests due to the depth variation, the presence of islands, coastal protection structures, irregularities of the enclosing shore boundaries, and other geological features. Moreover, waves undergo severe change inside the surf zone where wave breaking occurs and in the regions where reflected waves from coastline and structural boundaries interact with the incident waves. Therefore, the application of mild-slope equation model in this field would help for understanding of wave transformation mechanism where many other models could not deal with up to now. The purpose of this study is to form an extended mild-slope equation wave model and make comparison and analysis on variation of harbor responses in the vicinities of Pohang Old Harbor and Pohang New Port, etc. due to construction of New Port in Youngil Bay. This type of trial might be a milestone for port development in macroscale, where the induced impact analysis in the existing port due to the developemnt could be easily neglected.

Key words : Coastal waters, Refraction and diffraction, Bottom friction, Breaking, Disaster prevention, Extended mild-slope equation, Wave model, Energy redistribution

1. 서 론

파랑의 상태는 모든 해안프로젝트에서 가장 중요한 파라미터로 작용한다. 그러나 대부분 아주 적은 양의 파랑관측 데이터만이 토목 시공과 설계에 사용되고 있는 실정이다. 그러한 이유는 파랑의 현장관측과 물리적 모델실험이 아주 어렵고,

많은 자본과 시간을 필요로 하기 때문이다. 그러므로 필요로 하는 해양 정보를 검증된 수치 모델로 분석하고 그 결과를 해안프로젝트에 반영하는 것이 일반화되어 있다.

최근까지는, 심해에서 연안 설계 구역으로의 파향선(wave ray)을 추적하여 파랑의 변화를 알아내는 선형파랑파향이론이 많이 사용되어 왔다. 이 가정의 결과에서, 물리학적인 회절이

* 대표저자 : 김지연(중신회원), yeonna@kornet.net, 051)410-4981
** 중신회원, jwlee@mail.hhu.ac.kr, 051)410-446
*** 중신회원, seaprince1@hanmir.com, 051)203-4981
**** 중신회원, syyang2004@yahoo.co.kr, 051)703-2382

파향선 모델에서는 완전히 무시되었기 때문에 파랑의 교차와 혼합 현상이 발생할 때 이 이론은 적용할 수가 없었다.

1980년대 초부터 해안 설계자들과 연구자들은 굴절과 회절에 의한 복합적 영향의 중요성을 인식하여 이론들을 정립하고 수치 모델들을 조합하기 시작하였다. 실제로 심해로부터 천해로의 굴절과 회절의 복합적 영향을 적절히 묘사 가능한 몇몇의 파동이론들이 존재한다(Demirbilek and Webster, 1998). 이들 이론 중의 하나가 수정완경사방정식(Modified mild slope equation)이다. 이 식은 수심평균, 타원형 미분 방정식으로서 한 파장내에 수심과 흐름의 변화율이 아주 작다고 가정하고, 해저마찰을 고려하여 완경사방정식을 수정한 것이다.

연안의 파랑의 예측에 있어서 어려운 점은 파랑이 쇄파역 내에 진입하였을 때 쇄파가 어디에서 발생할 것인가 하는 것이다. 현재 사용되는 수치모델에서, 쇄파영역은 계산 전에 알려져 있지 않고 파고에 대한 수심의 비에 의한 기준 또는 쇄파 공식으로 정한다. 육지로 둘러싼 경계면에서의 부분 반사 및 쇄파로 인한 소산 또한 확장완경사모델(Extended mild slope model)에서 경험적으로 포함시킬 수 있다. 완경사모델의 축소 버전이라 할 수 있는 포물선형 근사(parabolic approximation)라고 불리는데 이는 많은 해안, 해양공학 문제에 대해 완경사 모델에서 가정과 근사화 과정에서 부정확하거나 부적절한 수치적 예측을 일으킬 수 있는 과도한 계산 과정을 상당히 줄일 수가 있다. 포물선형 근사는 여러 실험실의 연구와 현장 적용으로 이미 폭넓게 증명되었다(Berkhoff et al., 1982; Liu and Tsay, 1984; Kirby and Dalrymple, 1984; Panchang et al., 1998). 포물선형 모델에 대한 세부적인 내용은 Booij(1981), Kirby(1983), Liu(1983), Liu and Tsay(1984), Kirby and Dalrymple(1984)를 참고하면 된다.

그러나 항만에서처럼 반사파가 가장 큰 고려사항일 때는 포물선형 근사는 반사를 무시하므로 적용할 수 없어 확장완경사 방정식을 사용하여야 한다.

2. 기초이론

2.1 기본방정식

연안의 표면파랑 모델을 구축하기 위하여 2차원 타원형 완경사 파랑 방정식을 사용하기로 한다. 그 기본 방정식은 식 (1)과 같다.

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

여기서 $\hat{\eta}(x, y)$ = 복소해면변동함수, σ = 각주파수 (radians/sec), $C(x, y)$ = 위상속도(phase velocity) = σ/k , $C_g(x, y)$ = 군속도 (group velocity) = $\frac{\partial \sigma}{\partial k} = nC$, $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right)$, $k(x, y)$ = 수심 $d(x, y)$ 에서 선형분산 관계식 $\sigma^2 = gk \tanh(kd)$ 를 만족하는 파수(= $2\pi/L$)를 가리킨다.

식 (1)은 임의의 모양의 해안영역에서의 파랑의 굴절과 회절 그리고 반사가 고려된 방정식이다. 그러나, 해안영역에서는 이 외에도 해저면의 마찰, 쇄파 등의 다른 인자들도 파랑의 거동에 영향을 미치게 되며, 이를 고려하면 완경사 방정식은 다음과 같이 확장이 가능하다:

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

여기서 w 는 마찰항이고 γ 는 쇄파파라메타이다. 본 연구에서는 Dalrymple et al.(1984)에 따라 아래와 같은 진폭 감쇠계수를 사용하여 마찰항을 나타낸다.

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

여기서 $a(= H/2)$ 는 파랑의 진폭이고 f_r 은 마찰계수이다. 이 마찰계수는 레이놀즈수와 저면조도에 좌우되며, Madsen (1976)과 Dalrymple et al.(1984)를 참조하였다. 일반적으로, 계수 f_r 의 크기는 Manning의 소산계수 또는 조도계수 n 과 비슷한 범위의 값을 가지며, 공간 (x, y) 의 함수로서 f_r 을 지정할 때 항내 진입에 따른 손실요소를 위해 항만입구에 더 큰 값을 부여한다. 쇄파 파라메타인 γ 에는, 다음의 식을 사용한다 (Dally et al., 1985; Demirbilek, 1994).

$$\gamma = \frac{\chi}{d} \left(1 - \frac{\Gamma^2 d^2}{4a^2} \right) \quad (4)$$

여기서 χ 는 일정한 값(0.15)이고, Γ 는 경험상수(0.4)를 사용하기로 한다.

위의 관계식 외에도, 비선형파의 시뮬레이션은 완경사방정식을 이용하여 실험할 수 있다. 이것은 이러한 시뮬레이션에 중요하다고 알려진 진폭의존 파랑분산을 고려하여 가능하다. 식 (1) 및 (2)에 있는 선형분산관계식을 비선형 산란관계식으로 정리하면 다음과 같다.

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

여기서

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= \frac{\cosh(4kd) - 2 \tanh^2(kd)}{8 \sinh^4(kd)} \\ F_2 &= \left(\frac{kd}{\sinh(kd)} \right)^4 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.2 경계조건

엄밀히 말해 불투과성 직립벽에 직교하는 흐름은 벽을 통과할 수 없으므로 $\partial \eta / \partial n = 0$ 이 되어야한다. 그러나, 해안선이나 투과성 구조물에 대해서는 다음과 같은 부분반사경계조건이 적용된다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial n} = \hat{a} \hat{\eta} \quad (7)$$

여기서 복소계수로 다음과 같이 사용한다. 이때 K_r 은 반사 계수를 나타낸다.

$$\alpha = ik \frac{1 - K_r}{1 + K_r} \quad (8)$$

개방경계를 따라 유출되는 파량은 무한대로 진파되어 결국 소멸되는데 이를 위해서는 Sommerfeld의 방사조건(Radiation condition)을 아래와 같이 적용한다.

$$\lim_{kr \rightarrow \infty} \sqrt{kr} \left(\frac{\partial}{\partial r} - ik \right) \hat{\eta}_s \rightarrow 0 \quad (9)$$

여기서 $\hat{\eta}_s$ 는 산란파의 포텐셜로 Mei(1983)가 제시하였는데, 의도하는 산란파의 포텐셜 $\hat{\eta}_s$ 는 환경사방정식의 해이고, 식 (9)의 방사조건식을 만족한다. 이는 다음과 같이 나타내어 줄 수 있다.

$$\hat{\eta}_s = \sum_{n=0}^{\infty} H_n(kr) (\alpha_n \cos n\theta + \beta_n \sin n\theta) \quad (10)$$

여기서 $H_n(kr)$ 은 제1종 Hankel함수이다. 제2종 Hankel함수는 무한대에서 Sommerfeld 방사조건을 만족하지 않으므로 식 (10)에서 제외되었다.

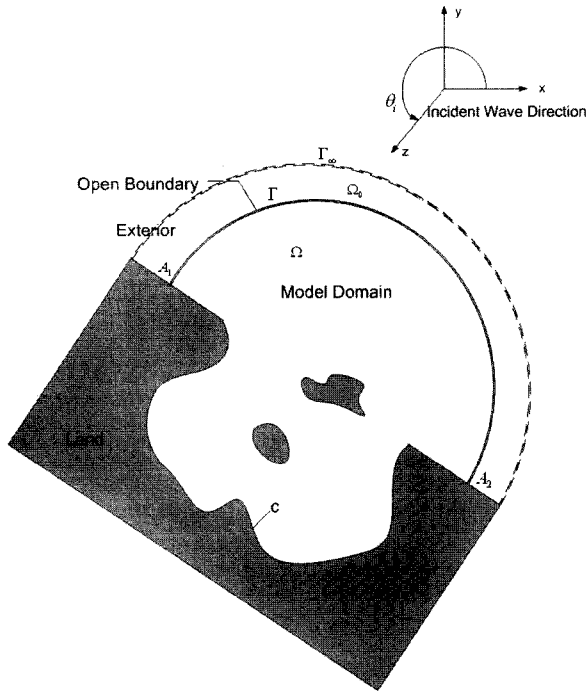


Fig. 1 Definition sketch of model domain

그러나 $\hat{\eta}_s$ 는 일정수심의 외부 영역을 필요로 한다. Fig. 1에 향한 문제에서도, 식 (10)에서 나타난 산란파의 포텐셜은

개방경계와 관련된 단면 A_1 및 A_2 에서 직선상의 완전반사 해안선을 필요로 한다. 이 문제를 극복하기 위하여, Xu et al.(1996)은 개방경계조건에서 대안을 개발하였다. 즉, 개방경계를 따라 다음의 포물선형근사를 포함시켰다.

$$\frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial r} + p \hat{\eta}_s + q \frac{\partial \hat{\eta}_s}{\partial \theta^2} = 0 \quad (11)$$

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 채용하였다. 모델영역 Ω 내에서, 확장환경사방정식이 적용한다. 반원형호 Γ 를 따라서 개방경계조건으로 포물선형 근사를 사용한다.

3. 모델의 구성

식(2)와 같이 정리된 확장 환경사방정식은 파랑의 굴절, 구조물에 의한 파랑의 회절 및 부분반사, 해저마찰에 의한 에너지손실, 쇄파, 해저면의 급격한 경사 및 곡률을 고려한 종합적인 파의 변형식이 된다. 여기에서 복합요소(Hybrid element)를 사용한 수치모델의 구성을 Fig.1의 복잡한 형상을 가진 항만에 적용하는데 입사파는 식 (12)와 같이 정의된다(Demirbilek and Gaston, 1985).

$$\hat{\eta}_I = A e^{ikr \cos(\theta - \theta_I)} = A \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n i^n J_n(kr) \cos n(\theta - \theta_I) \quad (12)$$

여기서 A는 입사파의 진폭, θ_I 는 x축과 이루는 입사파향, J_n 은 제1종 n차 Bessel함수이고, n=0일 때 $\epsilon_n = 1$, 그이외의 경우 $\epsilon_n = 2$ 이다. 식(2)의 해를 결정하기 위해서는 대상으로 하는 영역의 경계상에서 경계조건이 부과되지 않으면 안된다. 경계조건으로는 Fig.1과 같이 유한해역구간 Ω 에서의 해안 또는 구조물의 경계 C에서는 목적에 따라 파랑에너지를 부분 흡수하는 고정경계조건을, 무한해역구간 Ω_0 에서의 개방경계면 Γ_∞ 외측 무한원방에서는 산란파에 대하여 방사조건(radiation condition)을 적용하기로 한다.

무한요소 영역인 외부영역 Ω_0 에서 총파랑은 입사파와 산란파의 합으로 식 (13)과 같다.

$$\hat{\eta}_{ext} = \hat{\eta}_I + \hat{\eta}_s \quad (13)$$

이를 일반식으로 정리하면,

$$\nabla \cdot (\bar{a} \nabla \hat{\eta}) + \bar{b} \hat{\eta} = 0 \quad (14)$$

여기서, $\bar{a} \equiv CC_g$, $\bar{b} \equiv \frac{C_g}{C} \sigma^2 + i\sigma\omega + iC_g \sigma \gamma$ 이다.

개방해역에서의 파랑장은 $\hat{\eta}_{ext} = \hat{\eta}_I + \hat{\eta}_R + \hat{\eta}_s$ 이며 이를 정리하면

$$\hat{\eta}_{ext} = 2A \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n i^n J_n(kr) \cos \theta_1 \cos n\theta + n \sum_{n=0}^{\infty} H_n(kr) \alpha_n \cos n\theta \quad (15)$$

가 되어 이를 지배방정식에 적용하고, Galerkin유한요소 정식화를 통해 경계조건과 함께 지배방정식을 대수방정식인 식 (16)의 선형행렬식으로 정리하여 반복법(Iterative method)로 연립방정식을 풀어 파랑장을 구할 수 있게 된다.

$$[A]\{\hat{\eta}\} = \{f\} \quad (16)$$

완경사 방정식 파랑모델의 대상 영역은 Fig. 2에서 보이는 것과 같이 포항구항, 포항신항, 그리고 영일만신항을 모두 포함하고 있다. 모델은 유한요소망으로 삼각형 가변요소를 적용하였으며, 각 요소의 간격은 10~100m이다. 최대 수심은 1.0m에서 51.3m이다. 대상영역에 적용된 요소수는 신항개발 전 115,718개, 신항개발 후 102,294개이다. 좌표축은 x축의 양의 방향을 진북에서 120도 방향으로 선택하였다. Fig. 3은 영일만 신항을 포함시킨 대상해역을 유한요소망으로 구성한 것이며, Fig. 4의 A~N은 수치실험 결과를 비교 분석하기 위해 선정된 지점을 나타낸다.

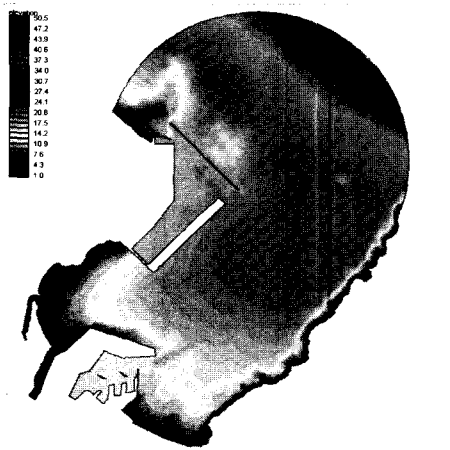


Fig. 2 Study area and depth for model simulation.



Fig. 3 Generated finite element mesh for study area.

4. 수치 실험 및 분석

본 연구에서는 확장 완경사방정식에 기초한 파랑모델을 영일만 신항이 건설중인 해역에 적용하여 신항 건설에 따른 항내 정온도의 변화를 알아보고자 한다. 정온도의 변화를 비교하기 위하여 영일만 신항 건설 전·후로 나누어 항내의 파고와 증폭비를 비교 분석하였다.

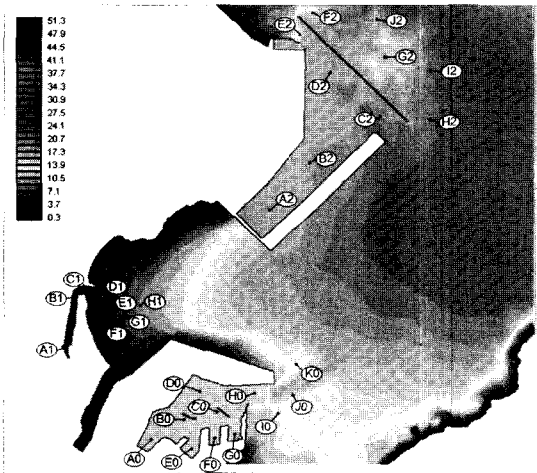


Fig. 4 Selected stations for model simulation

4.1 입력 조건

모형실험의 수심자료는 이 해역에 대한 해양조사원 간행 수치해도(Chart No. 146)를 이용하여 입력하였다. 영일만 신항에서 항내의 수심을 계획 수심인 20m로 수정하였다. 파랑의 입력조건으로는 파향이 NE이고, 파고는 7m, 주기는 12sec이다. Table 2는 각 계산 case별 조건을 나타내며 표에서 linear는 선형분산 조건, linear-break는 선형분산 및 쇄파의 조건, nonlinear는 비선형 분산 조건, nonlinear-break는 비선형 분산 및 쇄파의 조건을 의미한다.

Table 1 Incident wave condition for design wave.

Wave				
Direction	Height	Period	Return Period	Remark
NE	7.0m	12 sec	50 year	MOMAF, Typhoon SARAH(1984)

Table 2 Simulation conditions.

Port Project	Case	Wave Condition
Before Yeongil New Port	Case 1	linear
	Case 2	linear-break
	Case 3	nonlinear
	Case 4	nonlinear-break
After Yeongil New Port	Case 5	linear
	Case 6	linear-break
	Case 7	nonlinear
	Case 8	nonlinear-break

4.2 결과 및 분석

의해에서 심해 설계파고를 적용한 결과 먼저 영일만 신항
 ○ 건설되기전 선형분산파의 조건만으로 수치 실험한 경우에는 NE 방향에서 입사하는 파랑이 굴절 및 천수효과가 반영되
 ○ Fig. 5에서와 같이 포항구항의 항외에서는 파고가 1.49~3.18m인 반면, 항내로 들어오면서 파고가 급격히 줄어 0.1~0.25의 파고가 형성된다. 한편, 포항신항의 경우는 항외에서 1.17~4.41m의 파고가 형성되며 항내에서는 0.04~0.54m의 낮은 파고가 형성된다. Fig. 6은 선형분산 및 쇄파 조건으로 수치 실험한 결과이다. 이 때 구항의 항외에서 파고는 0.84~2.73m의 파고가 형성되며, 항내에서는 전 조건의 결과보다 더 작은 0.04~0.07m정도의 파고가 형성되었다. 신항에서는 항외에서 항외에서 1.76~2.72m의 파고가 형성되며 항내로 들면서 0.03~0.51m의 낮은 파고가 형성된다. Fig. 7은 비선형 분산을 조건으로 실험한 결과이며, 구항의 경우 항내에서는 0.08~0.13m의 파고가 발생하며, 항외에서는 0.96~2.78m의 파고가 발생하였다. 신항에서는 항외에서 항외에서 1.22~3.56m, 항내에서는 0.03~0.58m로 반응하여 선형분산과만 고려한 상황보다는 파고가 낮았다. Fig. 8은 비선형 분산과 쇄파조건을 복합하여 수치 실험한 결과이다. 구항의 항외는 0.70~1.91m의 파고가 형성되며, 항내에서는 0.04~0.07m정도의 파고가 발생하는 것으로 나타났고, 포항 신항에서는 항외 1.08~2.44m의 파고가, 항내에서는 0.02~0.50m의 비교적 낮은 파고가 형성된다.

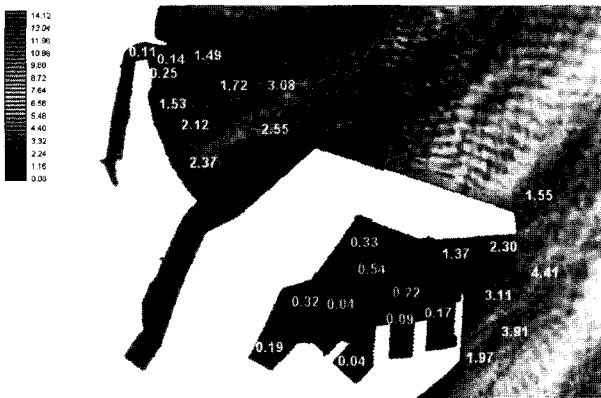


Fig. 5 Linear dispersion wave height(Pohang old and new port)

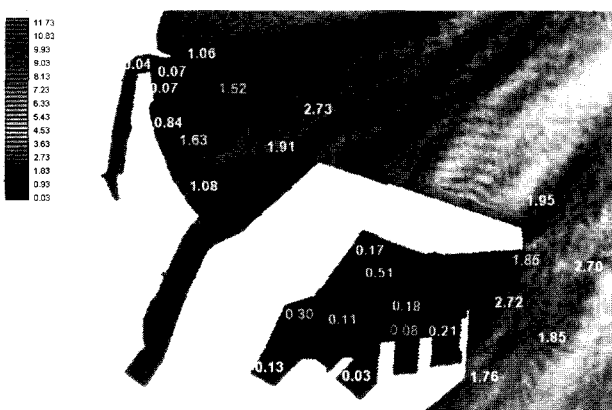


Fig. 6 Breaking included wave height(Pohang old and new port)

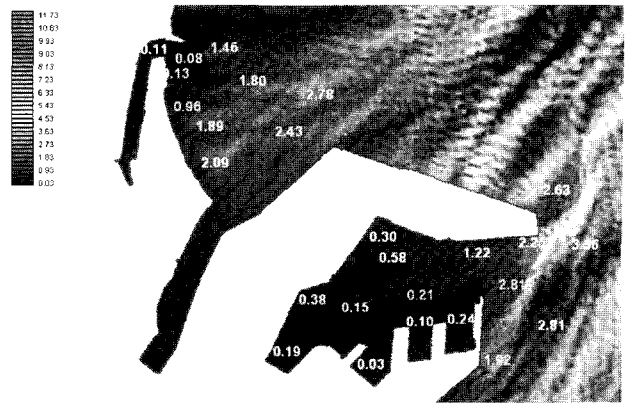


Fig. 7 Nonlinear dispersion wave height (Pohang old and new port)

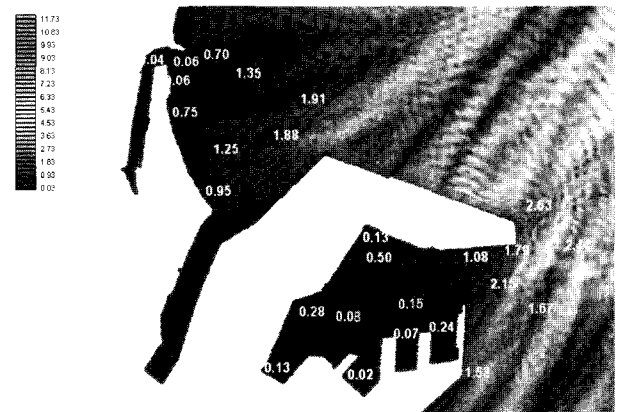


Fig. 8 Nonlinear dispersion and breaking included wave height (Pohang old and new port)

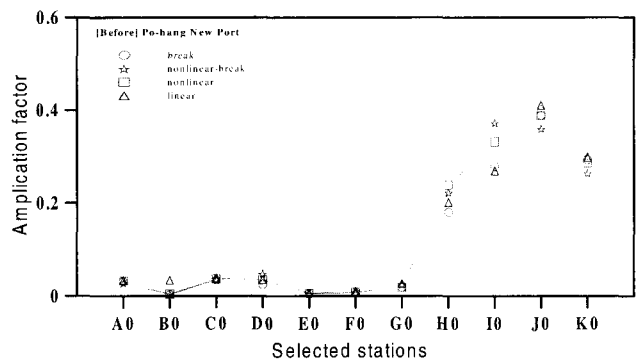


Fig. 9 Amplification factor of Pohang New Port before construction of New Port in Yeongil Bay

영일만 신항이 건설된 후에 대한 결과에서는 선형분산파의 실험조건만으로는 Fig.13과 같이 나타났다. 영일만 신항의 방파제의 반사효과로 항외에서는 2.43~3.21m로 비교적 높은 파고가 발생했지만 항내에는 0.05~0.42m의 낮은 파고가 발생했다. Fig. 14에서는 선형분산 및 쇄파의 조건으로 수치 실험한 결과이다. 마찬가지로 항외에서는 이전보다 다소 낮으나 1.7~2.7m의 비교적 높은 파고가 발생하였으며, 항내에서는 0.03~0.33m의 낮은 파고가 발생하여 항내의 정온도는 양호한 상태

영일만 신항 건설에 따른 항만 정온도의 변화

를 나타내었다. Fig. 15는 비선형 분산의 조건에서 수치실험을 한 결과이다. 항내에서 0.05~0.36m로 낮은 파고가 발생했으며, 항외에서는 2.17~2.64m의 비교적 높은 파고가 발생하였다. 마지막으로 Fig. 16에서는 쇄파와 비선형 분산 조건을 복합하여 수치실험한 결과이다. 항내에서는 0.02~0.26m로 가장 낮은 파고 분포를 나타내었고, 항외에서는 1.04~2.60m로 줄었지만 큰 변화를 가져온 것은 아니다.

고가 2.52~3.67m로 다소 감소하였고, 방파제의 효과로 항내에서는 0.02~0.42m의 낮은 파고가 발생하므로 항내의 정온도는 양호한 상태이다.

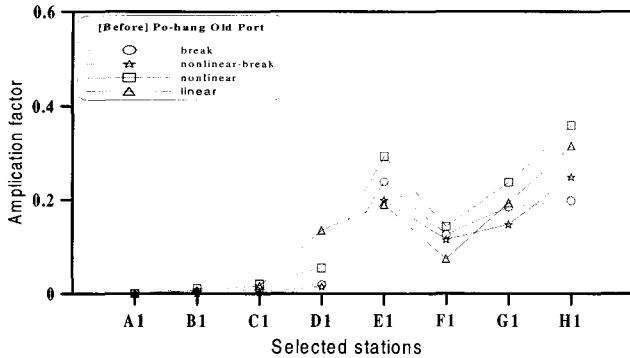


Fig. 10 Amplification factor of Pohang Old Port before construction of New Port in Yeongil Bay

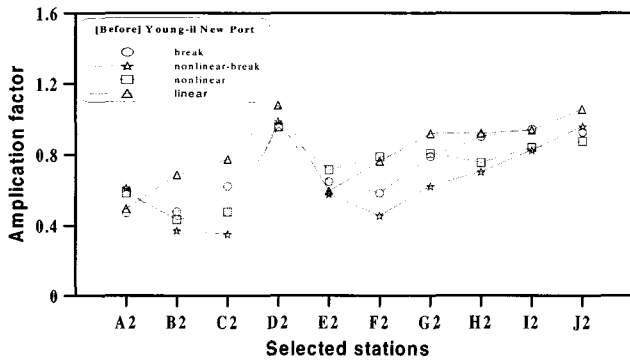


Fig. 11 Amplification factor of at the site of Pohang New Port before construction of New Port in Yeongil Bay

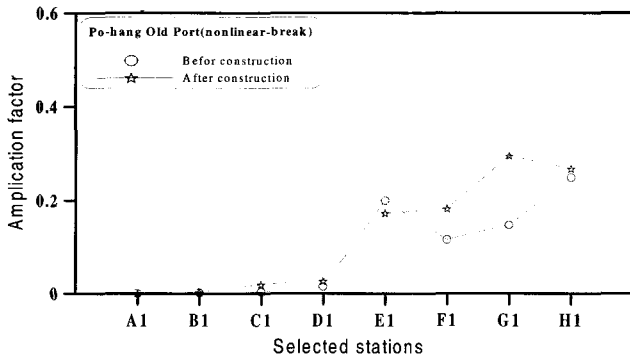


Fig. 12 Amplification factor of at Pohang Old Port for the case of nonlinear-break

이상으로 영일만 신항에서는 신항건설 전 대상부지에서의 파고는 3~8m로 매우 높았으나, 건설 후에는 항외에서의 파

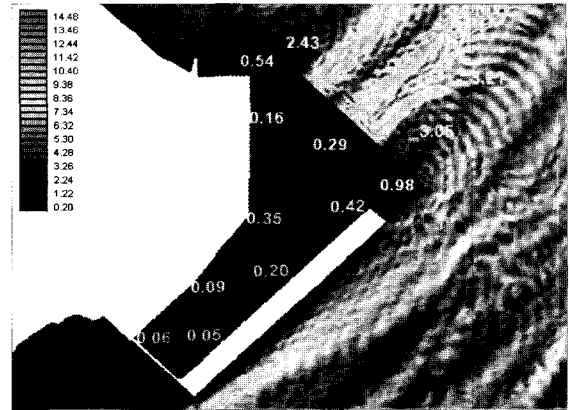


Fig. 13 Linear dispersion wave height (Yeongil Bay New Port)

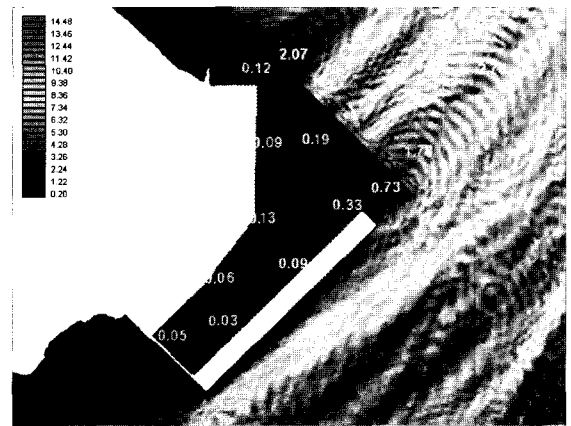


Fig. 14 Breaking included wave height (Yeongil Bay New Port)

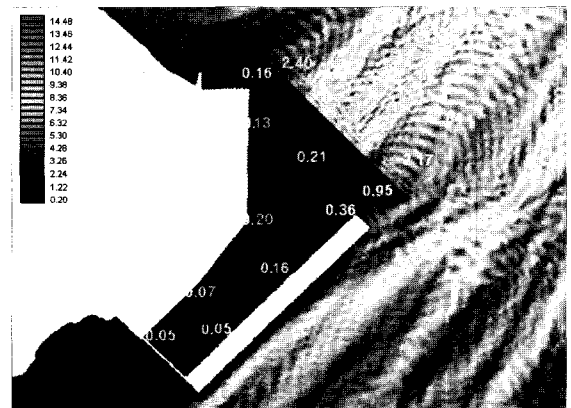


Fig. 15 Nonlinear dispersion wave height (Yeongil Bay New Port)

환경, Fig. 9~Fig. 11은 영일만 신항 개발 전에 포항 구항, 포항 신항 및 영일만 신항 후보지에서 선택한 비교적점에 대

한 실험조건 Case 1~Case 4를 상호 비교 한 것이며, Fig. 17~Fig. 19는 영일만 신항 개발 후에 3개 항만역에서 선택한 비교지점에 대한 실험조건 Case 5~Case 8을 상호 비교 한 것이다. 지점에 따라 다소 차이가 있으나, 결과는 선형분산, 비선형분산, 선형분산 및 쇄파, 비선형 분산 및 쇄파조건의 적용 순으로 항만반응이 감소되는 것으로 나타났다.

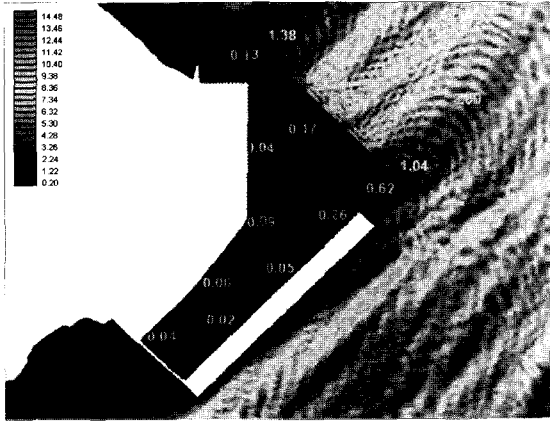


Fig. 16 Nonlinear dispersion and breaking included wave height (Yeongil Bay New Port)

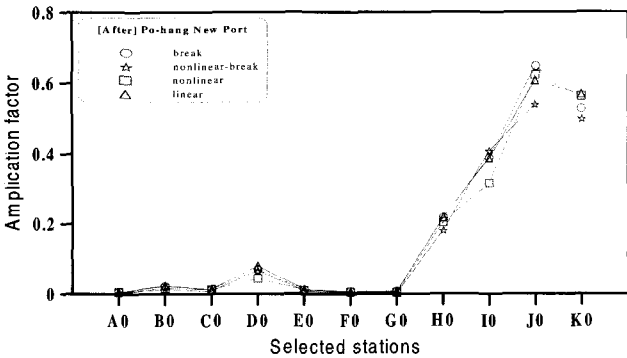


Fig. 17 Amplification factor of Pohang New Port after construction of New Port in Yeongil Bay

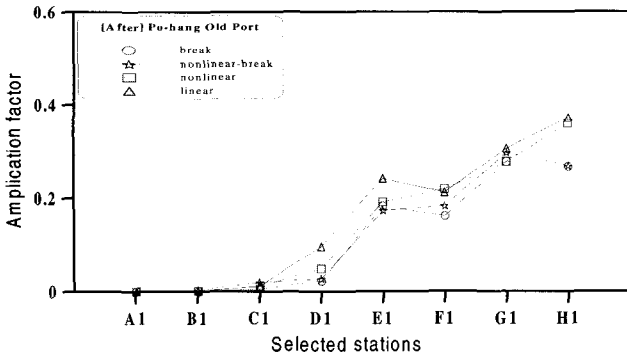


Fig. 18 Amplification factor of Pohang Old Port after construction of New Port in Yeongil Bay

따라서, 수치모델을 쇄파현상을 제외하거나 선형분산조건

으로 단순화 시킨 형태로 적용해온 것과는 경우에 따라서 많은 차이가 있으므로 비선형분산 및 쇄파조건으로 연안해역에서의 파랑에 관한 수치실험을 수행하여야 할 것으로 판단된다.

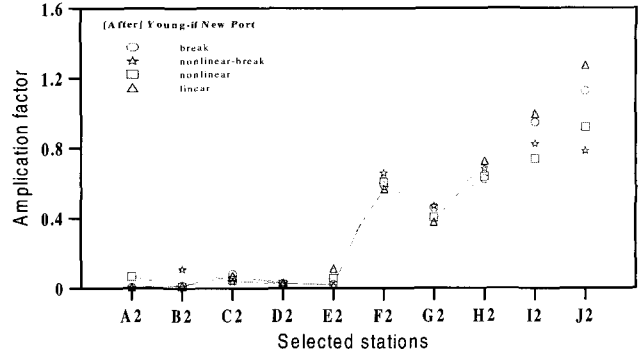


Fig. 19 Amplification factor of at the site of Pohang New Port after construction of New Port in Yeongil Bay

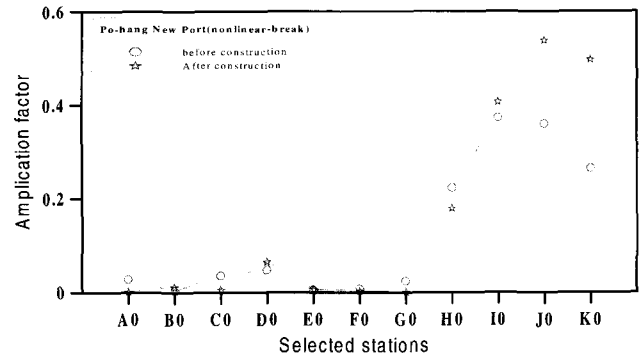


Fig. 20 Amplification factor of at Pohang New Port for the case of nonlinear-break

또한 영일만 신항 건설 전후에 쇄파와 비선형 분산 조건을 적용하여 포항구항과 신항의 파고비를 비교한 결과를 Fig. 12 및 Fig. 20에 각각 제시하였다. 포항구항에서는 영일만 신항건설 후보다 신항건설 전에 항내의 파고비가 조금 더 낮게 나타났으며, 포항신항에서는 영일만 신항건설전보다 신항건설 후에 항내의 파고비가 조금 더 낮게 나타났다. 이것은 영일만 신항 계획에서 대규모 방파제 건설로 인해 반사 및 회절로 인한 영향이 포항 구항과 신항에 영향을 미친 탓으로 판단된다.

5. 결론

지금까지의 일반적인 항만의 정온도를 분석할 때 쇄파조건을 고려하지 않은 해저 마찰 경계면에서의 흡수 조건 또는 선형분산관계식 만으로 많이 다루어 왔다. 그러나 본 연구에서는 대상영역이 쇄파가 발생하는 영역에 위치하여, 쇄파-비선형 분산의 조건을 적용하여 항만내 파랑반응 특성을 비교하였다. 쇄파-비선형 분산 조건을 적용시 포항구항과 신항에서의 파고값들을 비교해보면 포항구항에서는 항내 파고비가 영일

만 신항 건설 전보다 신항 건설 후에 조금 더 높게 발생했으며, 항외에서 또한 신항건설 전보다 건설 후에 높은 파고비를 나타내었다. 포항신항에서는 항내에서 건설 전의 파고비가 건설 후보다 높은 파고비가 나타났으며, 외항에서는 건설후에 더 높은 파고비를 나타냈다. 아울러 각 case 별로 수행한 수치 모델실험에서 항만을 포함한 연안해역에서는 비선형분산 및 쇄파조건으로 파랑에 관한 수치실험을 수행하는 것이 합리적인 임을 알았다.

또한, 지금까지는 새로운 항만의 정온도를 분석할 때 항만 개발이 진행되는 대상해역에 국한하여 수치실험으로 분석을 수행해왔지만, 본 연구에서는 영일만 신항 건설로 인하여 주위 항들에 대한 정온도까지를 수치실험으로 분석하였다. 앞으로 영일만과 같은 대규모만의 항만 프로젝트 사업에서 인접해역의 항만이나 해안에 미치는 영향까지도 분석하여 종합적인 설계되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 건설부 (1987), "목포신항 파랑조사 및 모델실험 용역 보고서".
- [2] Berkhoff, J. C. W., Booij, N., and Radder, R. C. (1982), "Verification of numerical wave propagation models for simple harmonic linear waves", *Coastal Engineering*, Vol.6, pp.255-279.
- [3] Demirebilek, Z. and Webster, W. C. (1992), "Application of the Green-Naghdi Theory of Fluid Sheets to Shallow -water Wave Problems", Report 1: Model Development, Report 2: User's Manual and Examples for GNWAVE, U.S. Army Waterways Exp. Station, *Tech Reports CERC-92-1 and CERC-92-13*, Vicksburg, MS.
- [4] Demirebilek, Z. and Webster, W. C. (1998), "A Shallow water wave theory based on Green-Naghdi formulation", *Handbook of Coastal Engr.*, Vol.4 (ed. Herbich, J.B.), Gulf Publ. Co.
- [5] Demirebilek, Z. (1994), "Comparison between REFDIFS and CERC Shoal Laboratory Study, *Unpublished Report*, Waterways Exp. Station, Vicksburg, MS, p.53.
- [6] Demirebilek, Z., Xu, B., and Panchang, V. (1996a), "Uncertainties in the validation of harbor wave models", *Proc. 25th Intl. Coastal Engr. Conf.*, pp.1256-1267.
- [7] Demirebilek, Z., Briggs, M. and Green, D. (1996b), "Wave-current interaction at Inlets", *Proc. 25th Intl. Coastal Engr.*, pp.1219-1232.
- [8] Dally, W.R., Dean, R.G., and Dalrymple, R.A. (1985), "Wave height variation across beaches of arbitrary profile", *J. Geophys. Research*, Vol. 90, pp.1917-1927.
- [9] Liu, P.L.-F. (1983), "Wave-current interactions on a slowly varying topography", *J. Geophys. Research*, Vol.88, pp.4421-4426.
- [10] Mei, C. C. (1983), "*The applied dynamics of ocean surface waves*", John Wiley, New York.
- [11] Panchang, V. G. , Xu, B., and Demirebilek Z. (1996), "Wave models for coastal applications, *Handbook of Coastal Engineering*, Vol. 4.

원고접수일 : 2004년 4월 28일

원고채택일 : 2004년 6월 8일