

부산신항만수역에서 정상상태 스펙트럼 파랑모델의 적용 및 분석

이학승*, 이우철*, 황호동*, 양상용**, 이종우***

* 한국해양대학교 대학원,

** 한국해양대학교 토목환경시스템공학부 겸임교수,

*** 한국해양대학교 토목환경시스템공학부 교수

Application and Analysis of the Steady State Spectral Wave Model for Coastal Waters at Busan New Port Site

Hak-Seung Lee* · Woo-Chul Lee* · Ho-Dong Hwang* · Sang-Yong Yang** · Joong-Woo Lee***

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

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

요 약 : 복잡한 수심을 가진 연안해역에서 조석, 바람과 파에 의해 발생된 흐름의 영향까지를 고려한 파랑모델의 도입은 대부분의 해안공학 설계나 방재 문제에 매우 중요한 요소이다. 근해역에서 수심변화에 의한 굴절 및 천수효과, 흐름에 의해 유발되는 굴절효과, 파형경사에 따른 쇄파, 회절, 바람에 의한 파의 성장, 파랑 상호간의 간섭 및 에너지 재분포 등을 다룰 수 있다는 점에서 정상상태 스펙트럼 모델의 현장 적용은 지금까지 여러 모델이 다루지 못한 부분을 해소하게 될 것이다. 본 연구에서는 부산 신항만 건설이 이루어지고 있는 가덕인접의 넓은 수역에 대해 파랑의 변환과정을 보다 합리적으로 해석하기 위해 스펙트럼 모델을 적용하고 기존의 모델 결과와 비교 분석하는 것을 골자로 하고 있다. 이러한 시도가 가까운 장래에 항만설계 및 방재시스템 분야에서 보다 안전하고 널리 스펙트럼 모델을 적용하게 하는 계기가 되도록 의도하였다.

핵심용어 : 연안수역, 조석, 항만설계, 방재, 스펙트럼 파랑모델, 에너지 분포, 천수효과, 파형경사, 정상상태, 잉여용력

ABSTRACT : Introduction of wave model, considered the effect of tide, wind and wave induced currents at the coastal waters of complex bathymetry, is a very important factor for most coastal engineering design and disaster protection problems. As the steady state spectral wave model could simulate depth induced wave shoaling and refraction, current induced refraction effect, steepness induced wave breaking, diffraction, wind wave growth, and wave-wave interaction that redistribute energy, this would support and compensate the gap in the real field of design where other wave models could not deal and cause wrong estimation. In this study, for that sense, we applied the spectral wave model to the large coastal waters near Gaduck Island where the Busan new port construction project is going on, for better understanding and analysis of wave transformation process. We also compared the simulation results with the calculated from the existing model. From such a trial of this study, we hope that broader and safer use of the spectral model in the area of port design and disaster prevention system come through in near future.

KEY WORDS : Coastal waters, Tide, Port design, Disaster prevention, Spectral wave model, Energy distribution, Shoaling effect, Wave steepness, Steady state, Radiation stress

1. 서 론

*종신회원, seaprince1@hanmir.com	051)410 4981
*종신회원, dkd123b@hanmail.net	051)203 7113
*종신회원, hxdongvov@hanmail.net	051)203 4981
**종신회원, svyanz2004@kr.yahoo.com	051)703 2382
***종신회원, jwlee@hanara.hhu.ac.kr	051)410 4461

항만의 기본적인 조건은 육상과 해상의 수송수단이 안전하고 지체없이 신속하게 터미널에 접속하여 하역을 하고 돌아갈 수 있도록 하는 여건을 확보하는 것이며, 특히 수역부분은 선박의 출입과 정박이 원활하도록 제반수역시설과 정온한 항내 수면을 유지시켜야 한다. 한편, 항만 및 연안역 개발의 기본 파라메타인 파랑은 지형과 수심이 복잡한 연안해역에서 조석, 바람에 의한 파의 성장 및 감쇄, 흐름의 간섭, 에너지의 재분

포의 가정을 거쳐 다양하게 변하므로, 이를 정량적으로 산정하기 위한 노력은 파랑의 관측과 함께 과거 수십 년간 꾸준히 진행되었다. 최근에는 이러한 파랑과 연안흐름을 연계시키는 시도도 이루어지고 있다(Jonsson, 1990). 또한, 한국 근해의 해안역은 동계계절풍과 태풍에 기인하는 풍파의 영향을 받음에도 불구하고 해안역에서 풍파의 성장이 고려된 파랑변형모델의 개발과 적용이 지연되고 있어서 차폐된 수역이지만 넓은 풍역을 가진 해역에서의 파랑해석에 문제점을 안고 있다. 부산의 가덕도 부근에 위치하게 될 부산신항의 경우도 내측에 위치하고 있으나 상당한 구간이 여전히 외력에 노출되어 있으며, 파랑으로부터 만내의 정온도를 유지하기 위해 동서 방파제와 섬을 잇는 여러 호안이 건설되고 있다. 본 연구는 이상과 같은 점에서 부산 신항만 인근 해역에서 심해설계파와 바람의 영향에 대하여 파고 분포와 정온도의 변화에 대해 정상상태 스펙트럼 파랑모델을 이용하여 실험하고 분석하였다.

2. 기초이론

2.1 지배방정식

파향선을 따라 정상상태의 스펙트럼 파랑 작용 보존에 대한 지배방정식은 다음과 같다(Jonsson, 1990).

$$(C_{ga})_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{C_a C_{ga} \cos(\mu - \alpha) E(\omega_a, \alpha)}{w_r} = \Sigma \frac{S}{w_r} \quad (1)$$

여기서, $E = (\rho_w g)$ 로 나눈 파랑에너지 밀도, $\rho_w =$ 물의 밀도, $S =$ 에너지 근원 및 소산 항, $\mu =$ 파향선 각도, $\omega =$ 각 주파수, $g =$ 중력 가속도, $k =$ 파수, $d =$ 수심이고, 이때 첨자 a 는 절대치, r 은 흐름에 대한 상대값을 의미한다. 파와 흐름의 상호작용은 기준점을 흐름과 함께 움직이는 이동좌표계로 고려하여 다룬다. 이 경우 파의 분산관계는 다음의 식으로 나타낸다(Jonsson 1990).

$$\omega_r^2 = gh \tanh kd \quad (2)$$

이에 비해 절대 각주파수 ω_a 는 다음과 같다.

$$\omega_a = \omega_r + kU \cos(\delta - \alpha) \quad (3)$$

여기서, $U =$ 흐름 속도, $\delta =$ 상대적 흐름의 방향(x 축), $\alpha =$ 파봉선과 직교 방향이다.

C_a 및 C_{ga} 는 절대 파속도와 파의 군속도로 다음과 같다.

$$C_a = C_r + U \cos(\delta - \alpha) \quad (4)$$

$$(C_{ga})_i = (C_{gr})_i + (U)_i \quad (5)$$

파향선 각도 μ 는 다음과 같다.

$$\mu = \tan^{-1} \left(\frac{C_{gr} \sin \alpha + U \sin \delta}{C_{gr} \cos \alpha + U \cos \delta} \right) \quad (6)$$

여기서 첨자 i 는 x 와 y 구성요소에 대한 텐서 표기법이며, 흐름에 대한 상대 파속도와 파의 군속도는 다음과 같다.

$$C_r = \frac{\omega_r}{k} \quad (7)$$

$$C_{gr} = 0.5 C_r \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (8)$$

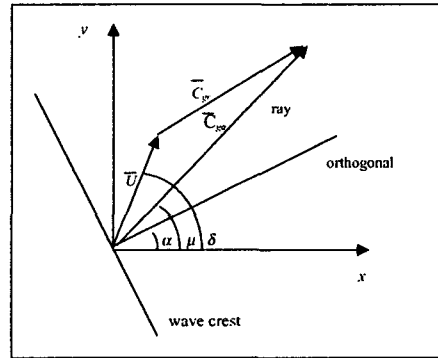


Fig. 1. Definition of wave and current vector.

2.2 파랑의 변형

굴절과 천수효과는 파향선이 진행한 뒤를 따라 파랑 운동 보존을 적용하여 스펙트럼 파랑모델에서 도입된다. 파향선은 한 격자 열로부터 단계적으로 추적된다. 이때 2차원 파랑 스펙트럼은 외해쪽의 처음 격자 열을 초기 입력치로 한다. 해안으로 진행될 때 항 입구에서의 낙조류 흐름과 같은 강한 흐름에 의해서 파의 전파가 저지된다. 이러한 파의 저지현상은 분산방정식의 해가 없을 경우도 있고, 또는 상대적인 군 파속도가 반대로 흐르는 흐름의 크기보다 작을 경우에 파랑 에너지가 흐름에 대해 전파되지 못하기 때문에 일어난다. 심해에서는 흐름이 없을 경우 심해 파속의 $1/4 (0.25gT_a/2\pi)$, 이때 T_a 는 절대 파 주기)보다 큰 크기를 갖는 반대 흐름 때문에 저지현상이 발생한다. 파의 저지현상이 일어나게 되면 파 에너지는 쇄파를 통해 소산된다. Lai, Long & Huang(1989)은 실험 자료를 통해 파 에너지의 저지현상이 일어나지 않는 저주파수에 전달되는 비선형 에너지를 통해 선형저지점을 통과할 수 있다고 하였다. 이 비선형 에너지 전달은 본 연구에서는 제외시켰다. 최절은 파 에너지의 평활법으로 모델에 적용하였다. 모델에서는 다음 식을 이용하여 주어진 주파수와 방향 에너지 스펙트럼을

평활화 하였다.

$$E_j(\omega_a, \theta) = 0.55E_j(\omega_a, \theta) + 0.225(E_{j+1}(\omega_a, \theta) + E_{j-1}(\omega_a, \theta)) \quad (9)$$

여기서, E 는 주파수와 방향의 에너지 밀도이고 아래 첨자 j 는 격자 행의 번호이다. 에너지 근원 및 소산항에서 쇄파의 기준은 수심에 대한 파고 비율의 함수로 적용한다.

$$\frac{H_{mo,max}}{d} = 0.64 \quad (10)$$

이때 H_{mo} 는 에너지에 기초한 제로모멘트 파고이다.

Smith, Resio, & Vincent(1997)와 Battjes(1982) & Battjes & Janssen(1978)은 낙조류상의 불규칙 쇄파를 실험실에서 측정하였고 간단하고 정밀한 Miche 판정식(1951)과 같은 쇄파 관계식을 찾았다.

$$H_{mo,max} = 0.1L \tanh kd \quad (11)$$

식(11)을 제로모멘트 파고에서 최대 한계로 적용한다.

2.3 바람 및 잉여응력

파는 바람으로부터 파랑장으로 운동량의 이송을 통하여 성장한다. 모델에서 파랑장에서의 에너지 플럭스 F_m 은 Resio(1988a)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$F_m = \lambda \frac{\rho_a}{\rho_w} 0.85 C_m \frac{u_*^2}{g} \quad (12)$$

이때, λ = 파랑장으로 직접 전달되는 물의 운동량에 대한 총 기압의 비율을 나타내는 분할 계수(=0.75), ρ_a = 공기의 밀도, ρ_w = 물의 밀도, C_m = 평균 파속, u_* = 마찰 속도 (= 풍속 $\times \sqrt{\text{항력계수}} = U \times \sqrt{C_D}$, $C_D = 0.0012 + 0.000025U$)이다. 스펙트럼에 대한 에너지 증가는 파랑이 격자 셀을 직교하여 진행하는 동안의 시간에 에너지 플럭스를 곱하여 계산한다.

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{\beta C_g \cos \theta_m} \quad (13)$$

여기서, Δt = 상용 이동 시간, Δx = 격자 간격, β = 풍파에 대해 0.9와 동일한 계수, C_g = 스펙트럼의 평균 군속도, θ_m = 격자에 대한 평균 파향이다. 기본조건으로, 해안을

향해(+x방향) 부는 바람만 포함하며 외해로 부는 바람에 의한 감쇄 및 외해로 이동하는 파의 성장은 무시한다. 에너지는 바람으로부터 파로 공급되며 비선형 파-파 상호작용에 통해 재분배된다. 에너지는 저주파수와 고주파수 스펙트럼의 최고점으로부터 이동한다. 모델에서는, 스펙트럼 최대주파수는 취송 거리와 함께 증가한다. 다음은 f_b 의 변화율에 대한 방정식이다.

$$(f_b)_{i+1} = \left[(f_b)^{7/3} - \frac{9}{5} \zeta \left(\frac{u_*}{g} \right)^{4/3} \Delta t \right]^{-3/7} \quad (14)$$

여기서, ζ 는 무차원 상수이다(Resio & Perrie 1989). 바람 입력으로 파랑장에 유입되는 에너지와 고주파수에서의 비선형 플럭스 때문에 생성되는 파랑장에 잔여 에너지 사이의 동적 평형이 일어난다(Resio 1987, 1988a).

잉여응력 텐서는 선형파 이론에 기초하여 다음식을 이용하여 계산한다.

$$S_{xx} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[0.5 \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) (\cos^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha \quad (15)$$

$$S_{yy} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[0.5 \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \sin^2 \alpha - 0.5 \right] df d\alpha \quad (16)$$

$$S_{xy} = \rho_w g \iint E(f, \alpha) \left[0.5 \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) (\sin^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] df d\alpha \quad (17)$$

잉여 응력의 기울기는 다음과 같이 계산한다.

$$\tau_x = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (18)$$

$$\tau_y = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (19)$$

3. 모델의 구성

스펙트럼 파랑모델은 유한차분을 사용하며, 직교 격자로 구성한다. 격자 셀은 정사각형이다 ($\Delta x = \Delta y$). Fig. 2는 격자의 개략도를 나타내며 모델 구성을 위해 대상영역을 Fig. 3과 같이 선택하였다.

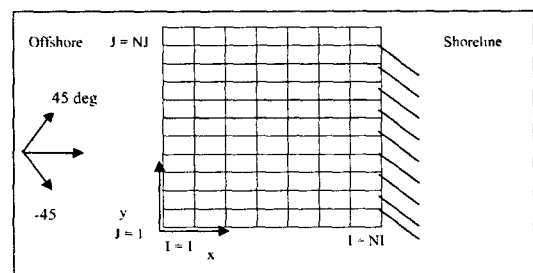


Fig. 2. Schematic diagram of coordinate system.

A~K는 수치실험 결과를 비교 분석하기 위해 선정된 지점을 나타낸다. 설정한 영역은 부산 신항만 건설현장 일대 해역으로 6.66km × 7.96km이고 격자 간격은 20m로 하였으며, 좌표 축을 진북에 대하여 60° 반시계방향으로 기울어지도록 선택하였다. 결과의 비교를 위해 사용한 정상상태의 환경사방정식 모델(Kirby, 1986)의 영역과 격자는 스펙트럼 파랑모델과 동일하다.

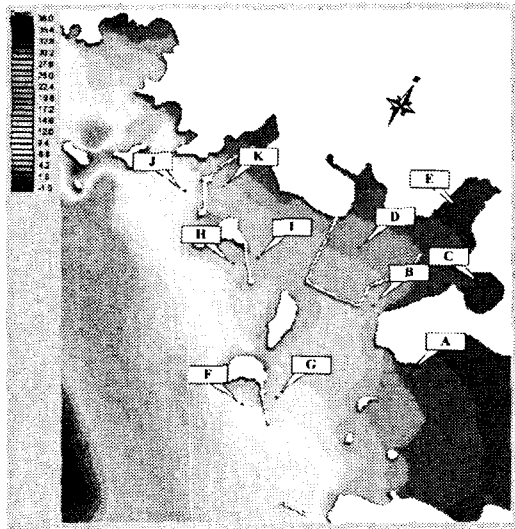


Fig. 3. Study area and selected stations.

4. 수치 실험 및 분석

4.1 입력 조건

모형 실험의 입력 조건으로 S10° W방향 파랑 고려시는 파고 10m, 주기 15sec이며, S방향 파랑 고려시는 파고 10.1m, 주기 14sec이다. 풍속은 25m/s로 SSW방향과 NE방향에 대한 각각의 모형실험을 수행하였다. 흐름의 영향으로 인한 파랑의 변화에 대하여는 현재 수행 중에 있다. 실험 Case는 다음과 같다. Case 1은 파랑 조건(S10W)과 각 방향에 대한 바람 조건(SSW, NW)에 대해 파랑, 파랑-바람의 입력조건을 주어 수행한 것이고, Case 2는 Case 1에서 파랑조건(S)만 수정하여 수행한 것이다. Wv는 파랑 조건이고, Wnd는 바람 조건을 의미한다. 환경사 모델에서는 스펙트럼 모델에서의 파랑 조건만을 입력하여 수행한다.

Table 1. Design condition for deep water wave and wind.

Wind	
Dirction	Speed(m/sec)
NW	25.0
SSW	25.0

Wave				
Direction	Height	Period	Return Period	Remark
S10° W	10m	15 sec	50 year	MOMAF, Typhoon SARAH(1984)
S	10.1m	14 sec	50 year	

Table 2. Incident wave and wind conditions.

Case		Input con.			Remark
		Wave	wind		
			NW	SSW	
Case 1	Wv_S10W	○			
	Wv_S10W-Wnd_NW	○	○		
	Wv_S10W-Wnd_SSW	○		○	
Case 2	Wv_S	○			
	Wv_S-Wnd_NW	○	○		
	Wv_S-Wnd_SSW	○		○	
Wnd_NW			○		
Wnd_SSW				○	

4.2 결과 및 분석

Case 1은 파가 S10° W로 입사하는 경우에 대해 파랑, 바람, 파랑-바람에 대한 입력 조건을 줌으로 수치 실험을 행하였다. Fig. 4는 방향에 따른 에너지 분포를 나타낸다. 그림에서와 같이 Case1은 52° 에서 최대 에너지를 나타내고 있다. Fig. 5는 주파수에 따른 에너지 분포를 나타내고 있다. 주파수 0.32Hz에서 최대 에너지가 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 6은 방향과 주파수에 따른 에너지 분포를 나타내고 있다. Fig. 7은 파랑의 조건만 입력하여 수치 실험을 행한 것이다. 파는 S10° W로 입사하여 섬들 주위에서 회절이 일어나고 수심이 얕아짐으로서 파고가 감소하는 것을 알 수 있다. Fig. 16(풍향 SSW)과 Fig. 17(풍향 NW)은 바람의 조건(풍속 25m/s)만 입력하여 수치 실험을 행한 것이다. 그 결과 바람의 의해 생성된 파는 0.01~0.6m 정도의 파고를 나타내는 것을 알 수 있고 장애물이 없는 외해의 넓은 영역에서 바람에 의한 파가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 8은 파랑이 S10° W로 입사하고 풍향이 SSW이며 풍속이 25/sec인 바람을 입력하여 수치 실험을 행한 것이다. 파랑의 조건만 입력하였을 경우에는 전파되는 거리가 짧아서 서방파제 안으로의 진입이 거의 없었으나 바람의 영향으로 파향이 변화하여 서방파제 안으로의 진입되는 파가 많이 일어나는 것을 볼 수 있다. Fig. 9는 파랑(S10° W)과 바람(풍향 NW, 풍속 25m/sec) 조건에 대하여 수치 실험을 행한 것이다. 파랑만 작용한 경우의 것과 비교할 때 바람의 작용으로 인하여 파향이 풍향 쪽으로 많이 굴절하

고 바람에 의해 파고가 감소하는 것을 알 수 있다.

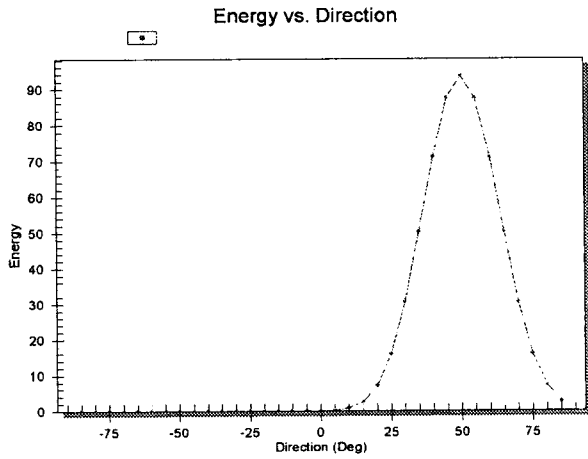


Fig. 4. Energy distribution in terms of wave direction(S10W).

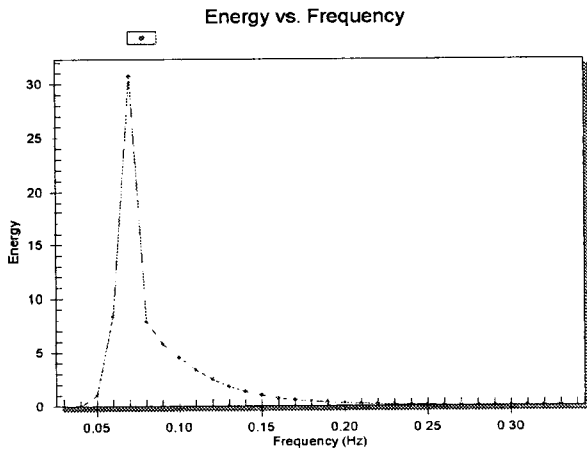


Fig. 5. Energy distribution in terms of wave frequency(S10W).

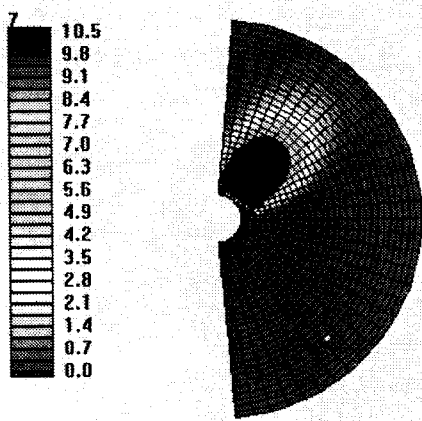


Fig. 6. Frequency and directional wave energy distribution(S10W).

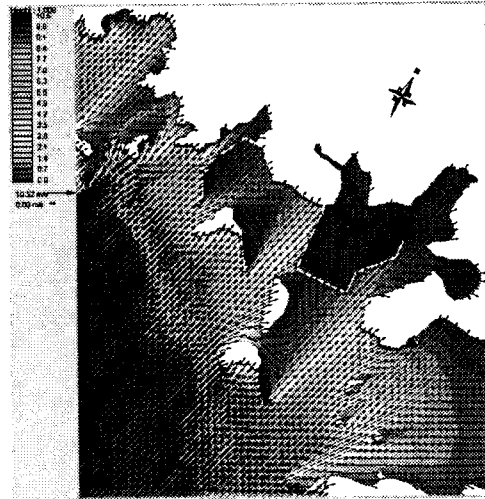


Fig. 7. Wave distribution(S10W).



Fig. 8. Wave(S10W) and Wind(SSW) distributions.



Fig. 9. Wave(S10W) and Wind(NW) wave distributions.

Case 2는 파가 S 방향으로 입사하는 경우에 대해 Case1과 마찬가지로 파랑, 바람, 파랑-바람에 대한 입력 조건을 줌으로 수치 실험을 행하였다. Fig. 10은 방향에 따른 에너지 분포를 나타내는 것으로 방향이 60° 에서 최대 에너지가 나타난다. Fig. 11은 주파수에 따른 에너지 분포를 나타내는 것으로 주파수 0.35Hz일 때 최대 에너지가 나타났다. Fig. 12는 방향과 주파수에 대한 에너지 분포를 나타내고 있다. Fig. 13은 파랑(S)의 조건만 입력하여 수치 실험을 행한 것이다. Fig. 7과 비교했을 때 해안에서의 차이는 크게 없지만 외해에서의 파고의 분포는 파랑이 S10° W 방향으로 입사할 때 좀더 크게 나타나는 것을 알 수 있다. Fig. 14는 파랑(S)과 바람(풍향 SSW, 풍속 25/sec)에 대한 입력 조건을 주어 수치 실험을 행한 것이다. Fig. 15는 파랑(S)과 풍향이 NW이고 풍속 25m/sec인 바람에 대해 수치 실험을 행한 것이다. Case1과 마찬가지로 Case2에서도 바람에 의해 파향이 크게 굴절되고 파고의 변화를 가져오는 것을 알 수 있다.

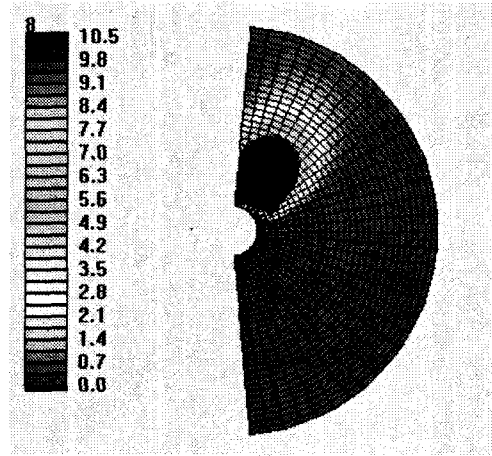


Fig. 12. Frequency and directional wave energy distribution(S)

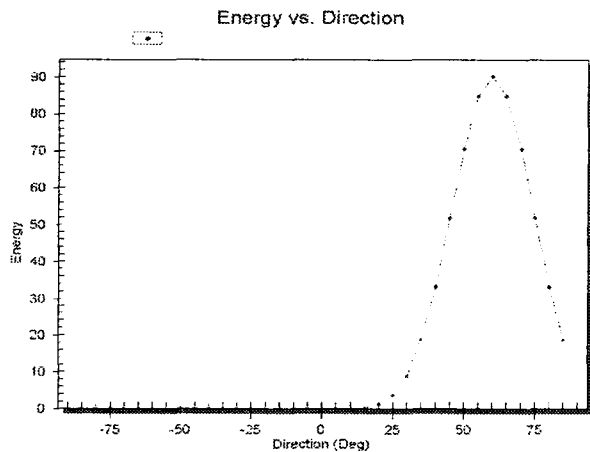


Fig. 10. Energy distribution in terms of wave direction(S).

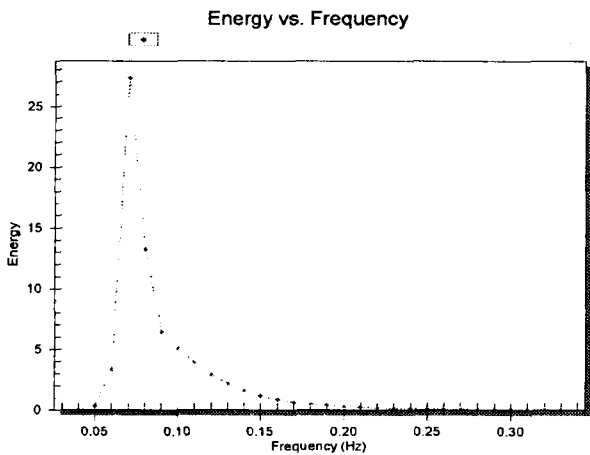


Fig. 11. Energy distribution in terms of wave frequency(S).



Fig. 13. Wave distribution(S).



Fig. 14. Wave(S) and Wind(SSW) wave distributions.



Fig. 15. Wave(S) and Wind(NW) wave distributions.



Fig. 16. Wind(SSW) wave distribution.



Fig. 17. Wind(S) wave distribution.

Case1과 Case2에 대하여 Fig. 3에서 보이는 것처럼 대상 지점을 정하여 파고를 비교 분석해 보았다. Fig. 18은 외해와 접해 있는 방파제 외곽부분(F, H, J)에 대해 각 Case별로 파고를 정리한 것이다. 바람이 영향을 많이 받는 H와 J 지점에서는 파향과 어긋난 바람(NW)에 의해 파고가 많이 감소하는 것을 알 수 있고 섬에 의해 바람의 영향이 감소되는 F 지점에서는 바람의 영향에 관계없이 일정하게 나타났다. Fig. 19는 방파제 내측과 항내에 대해 파고를 정리한 것이다. 방파제 내측과 항내에서는 방파제와 주위의 섬들에 의해 파의 전달이 제약되어 파고가 항외와 비교하였을 때 큰 폭으로 감소하는 것을 알 수 있으며, 모든 Case에 대해 서방파제 내측(C, D, E)에서는 파고가 0~0.2m로 낮게 나타났다. Fig. 20은 파랑 수치모델 프로그램인 환경사 모델의 결과와 비교 분석하였다. 스펙트럼 모델과 환경사 모델의 결과 값을 비교하였을 때 비슷한 양상을 나타내고는 있지만 환경사 모델은 불안정하게 어느 한곳(B, G)에서 높은 수치가 나타나고 있는 반면에 스펙트럼 파랑모델은 비교적 안정적인 수치를 보여 주고 있으며 바람의 조건을 줄 수 있다는 장점을 가지고 있다. Table 3은 각 Case에 따른 각 지점에서의 파고를 정리한 것이다.

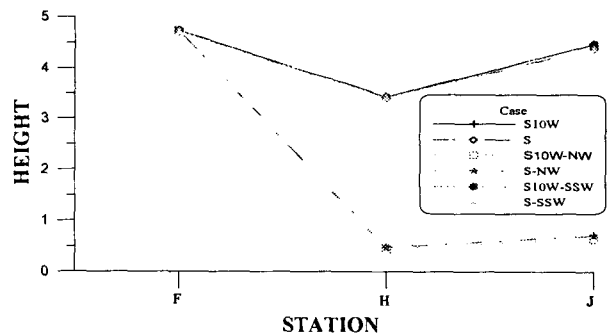


Fig. 18. Wave height distribution at the outside of the breakwaters.

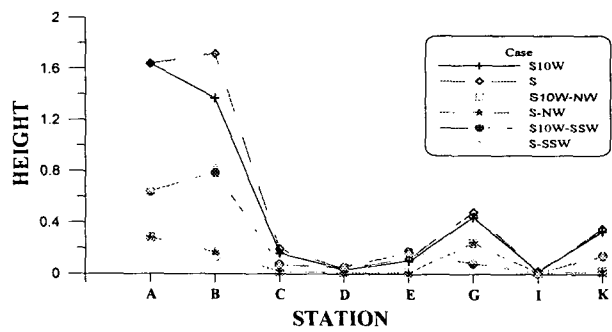


Fig. 19. Wave height distribution inside of the breakerwaters.

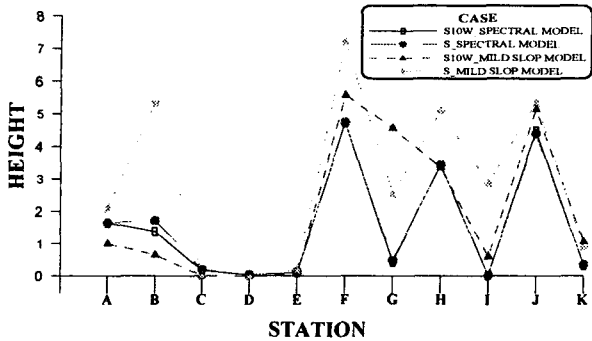


Fig. 20. Comparison of height distribution with Steady-State and Parans model.

5. 결론

파랑에 미치는 바람의 영향을 파악하기 위해 수치실험을 한 결과, 풍향과 풍속이 파랑에 상당한 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 파향과 거의 동일한 방향으로 바람이 작용하는 경우가 파향과 경사되어 작용하는 경우보다 항내의 파랑 진입이 두드러졌고 파고 또한 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구는 스펙트럼 파랑모델을 이용하여 파랑과 바람의 상호작용에 대하여 고찰하고, 파랑의 영향만 고려한 모델과 비교하여 풍파가 항만에 미치는 영향에 대한 연구의 한 사례가 될 것으로 사료되며, 향후에는 실제 조건과 동일하게 흐름과 풍파의 상호작용을 고려한 수치 실험의 연구가 행해져야 한다는 필요성을 느꼈다. 이를 위해서는 순환 모델과 연동하여 수치 실험을 행해져야 할 것이며, 이것이 수행된 이후에는 해안항만 건설에 있어서 풍파와 흐름의 상호작용을 고려한 조건을 적용하여 설계에 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

[1] Jonson, I.G.,(1990). "Wave-current interactions". The sea.9, part A, B, LeMehaute and D. M. Hanes, ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.

[2] Resio, D.T.,(1987). "Shallow-water waves. I: Theory". J. Wtrway., Prt, Coast., and Oc. Engrg., ASCE, 113(3), Pp. 264-281.

[3] Resio, D.T.and Perrie, W.,(1989). "Implications of an f^{-4} equilibrium range for wind-generated waves". J. Phys. Oceanography, 19, Pp. 193-204.

[4] Smith, J.M., Resio, D.T and Zundel, A.K.,(1999). "STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model; Report 1: User's manual for STWAVE version 2.0 Instructional Report CHL-99-1". U.S. Army Engineer Reserch and Development Center, Vicksburg, MS.

[5] Smith, J.M., Sherlock, A.R. and Resio, D.T.,(2001). "STWAVE: Steady-State Spectral Wave Model: User's manual for STWAVE, version 3.0, ERDC/CHL-01-1". U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.

[6] Brigham Young University Environmental Modeling Reseach Laboratory.(2002). "Surface-water modeling system reference manual, version 8.0," Brigham Young University, Provo, UT.

Table 3. Wave height selected wave station.

STATION \ CASE	Spectral model								Mild slop model	
	SSW (Wind)	NW (Wind)	S10W (Wave)-SSW (Wind)	S10W (Wave)-NW (Wind)	S (Wave)-SSW (Wind)	S (Wave)-NW (Wind)	S10W (Wave)	S (Wave)	S10W (Wave)	S (Wave)
A	0	0.04	0.64	0.28	0.66	0.28	1.64	1.64	1	2.11
B	0	0	0.79	0.13	0.86	0.17	1.37	1.72	0.65	5.37
C	0.14	0.01	0.07	0.02	0.07	0.02	0.16	0.19	0	0
D	0.01	0	0.05	0.01	0.06	0.01	0.03	0.04	0	0
E	0.16	0	0.17	0.01	0.17	0.01	0.1	0.12	0.05	0.18
F	0	0.03	4.72	4.73	4.72	4.73	4.73	4.73	5.57	7.21
G	0	0.14	0.08	0.24	0.11	0.24	0.44	0.48	4.56	2.56
H	0	0.02	3.42	0.45	3.42	0.48	3.43	3.43	3.35	5.08
I	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.6	2.87
J	0.01	0.03	4.47	0.65	4.39	0.71	4.47	4.39	5.13	5.36
K	0	0	0.14	0.02	0.15	0.02	0.33	0.35	1.06	0.89