Journal of the Research Institute of Industrial Technology. Vol. 23, 2006

SWAN에 의한 남서 도서해역에서 설계 요소의 검토

김강민*, 강석형**, 이중우***, 이훈*, 금동호****

* 한국해양대학교 대학원 토목환경공학과

** 한국해양대학교 건설환경공학부 겸임교수, (주)세일종합기술공사 항만부

*** 한국해양대학교 건설환경공학부 교수

**** 부산항만공사

Investigation of Design Parameters with SWAN Model at Southwest Coast

*Kang-Min Kim** · *Suk-Hyung Kang*** · *Joong-Woo Lee**** · *Hoon Lee** · *Dong-Ho Keum*****

* *Department of Civil and Environmental Engineering, Graduate school of Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea*

** *Seil Engineering Co., Ltd. Port and Costal Development Institute, Seoul 150-051, Korea*

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

**** *Busan Port Authority, Busan 600-016, Korea*

요 약 : 최근 한반도를 내습하는 폭풍의 규모가 커지고 이에 대한 피해도 증가하고 있는 실정이어서 외해로 개방된 도서해역이나 연안역에 대한 재해방지를 위한 설계파라메터의 재산정이 필요한 상황이다. 기존의 설계 파라메타는 심해 설계파랑이나 바람자료만을 입력값으로 한 규칙파 모형으로 계산되어, 바람에 의한 파의 성장, 파랑 상호간의 간섭 및 에너지 재분포 등을 다룰 수 없는 문제점에 노출되어 있었다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 파랑과 바람에 의한 파의 발달 및 상호간섭을 고려할 수 있는 정상상태 스펙트럼 모델의 하나인 SWAN(Simulation WAves Nearshore)모형을 이용하여 파랑변형 수치모의를 수행하였다. 연구 대상영역에 대한 기존의 설계 파라메타의 비교 결과, 기존 결과와 큰 차이를 나타내고 있으며, 특히, 이들 해역에서 도출한 결과는 장래 항만설계 및 방재 분야에서 널리 이용될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 폭풍, 설계 파라메타, 설계파랑, 선형규칙파 모형, SWAN, 재해방제

ABSTRACT : *Recently, the storms which hit Korean Peninsula are getting bigger, and the damages from the storms are wide spreaded. Thus, an approach with disaster prevention to offshore area and/or opened island area is necessary. The existing wave design parameter was calculated with linear regular wave models inputting deep water design wave or wind sources. so it wasn't able to deal with wind-induced waves, interactions with waves, and redistribution of wave energy simultaneously. In this study, we made numerical simulation with SWAN(Simulation Waves Nearshore) Model which can consider development of waves and winds and their interference. The result from this model shows much different with those from existing model's. so the result from this study, especially in this modeling area, could be used for harbor design and coastal disaster prevention field in the future.*

KEY WORDS : Storm surge, Design parameter, Design wave, Linear regular wave models, SWAN, Disaster prevention

1. 서 론

최근 한반도에 내습하는 폭풍의 규모가 커지고 이에 따른 피해도 증가하고 있는 실정이다. 이에 따라 해안 및 항만구조물 설계에 중요한 요인 중 하나인 파고, 주기, 파향 등의 설계 파라메타 결정은 최근의 외력변화를 고려한 접근이 필요한 실정이다. 특히, 도서해역이나 외해로 개방된 연안역에서의 중요도는 더욱 크다고 할 수 있다.

*	kikami@seileng.com	02)840-5182
**	dolphin@seileng.com	02)840-5000
***	jwlee@mail.hhu.ac.kr	051)410-4461
*	qnfzks98@hotmail.com	051)410-4981
****	shkwon@pba.co.kr	051)999-3210

일반적으로 이러한 연안역에서의 설계 파라메타는 시간과 비용적인 측면에서 파랑의 현장관측과 물리적 모델실험이 아주 어렵기 때문에 검증된 해양 정보를 이용하여 수치모형으로 분석하고 결정된다.

근래에는, 심해에서 연안 설계 구역으로의 파랑변형실험은 규칙파에 의한 모형이 보편적으로 사용되어 왔으나 최근 들어, 바람, 에너지 감쇠, 비선형 파랑 간 간섭 등을 동시에 고려할 수 있는 해석모형이 등장하고 있다. 본 연구에서는 이러한 모형 중 세계적으로 가장 널리 쓰이고 있는 파랑모형 중 하나인 제3세대 풍파모형인 SWAN(Simulation WAves Nearshore)을 이용하여 수치모의를 수행하였다.

실험은 한국 남서 연안에 위치한 소안군도 보길도 남서쪽 해역을 대상으로 하여 수행하였다. 실험 순서는 각 입력조건에 따라 모형을 구성하고, 수치모의를 수행하여 나온 결과를 기존 결과와 비교·검토하였으며, 추출된 설계 파라메타에 대하여 바람과 파가 기여하는 정도를 분석하여 보다 정밀도 높은 결과를 도출하려 하였다.

2. 기초이론

2.1 기본방정식

SWAN은 Delft 대학에서 개발된 제3세대 풍파모형으로서 심해 풍파모형인 WAM, WAVEWATCH와 더불어 세계적으로 가장 널리 쓰이고 있는 파랑모형 중 하나이다. SWAN은 심해입사파, 바람, 해저면 및 해류 조건으로부터 연안역, 호수 및 하구의 파랑을 계산한다[19]. 이 모델의 기본방정식은 파랑작용 평형방정식(wave action balance equation)이다.

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta}=\frac{S}{\sigma} \tag{1}$$

여기서, c는 각 공간상의 전파속도, σ는 상대 주파수, θ는 파향, $S(=S(\sigma,\theta))$는 에너지의 생성, 소산, 전달을 표현하는 에너지 소스항, $N(\sigma,\theta)$는 작용 밀도 스펙트럼(action density spectrum)으로, 작용 밀도 스펙트럼과 에너지 밀도 스펙트럼 $E(\sigma,\theta)$의 관계식은 다음과 같다.

$$N(\sigma,\theta)=\frac{E(\sigma,\theta)}{\sigma} \tag{2}$$

평형방정식의 좌변 제1항은 작용의 시간변화량, 제2항과 제3항은 지리적 공간에서의 작용의 전파, 제4항은 σ상에서 수심과 해류의 변화로 인한 상대 주파수의 이동, 제5항은 θ상의 수심과 흐름에 의한 굴절을 나타낸다.

정상상태로 가정할 경우 파동 평형방정식에서 독립변수인 시간 즉, 첫 번째 항은 방정식으로부터 제거되고 각각의 평형방정식의 각 항은 다음과 같이 유한차분법으로 수치기법으로 근사화 된다.

1) 지형적인 공간에서 전파항

$$\frac{\partial c_x N(\sigma,\theta)}{\partial x}\simeq\frac{[c_x N]_{i_x}-[c_x N]_{i_x-1}}{\Delta x} \tag{3}$$

$$\frac{\partial c_y N(\sigma,\theta)}{\partial y}\simeq\frac{[c_y N]_{i_y}-[c_y N]_{i_y-1}}{\Delta y} \tag{4}$$

2) 스펙트럼 공간에서 전파항

$$\frac{\partial c_\sigma N(\sigma,\theta)}{\partial \sigma}\simeq\frac{(1-\nu)[c_\sigma N]_{i_\sigma+1}}{2\Delta\sigma}+\frac{+2\nu[c_\sigma N]_{i_\sigma}-(1+\nu)[c_\sigma N]_{i_\sigma-1}}{2\Delta\sigma} \tag{5}$$

3) 방향 공간에서 전파항

$$\frac{\partial c_\theta N(\sigma,\theta)}{\partial \theta}\simeq\frac{(1-\eta)[c_\theta N]_{i_\theta+1}}{2\Delta\theta}+\frac{+2\eta[c_\theta N]_{i_\theta}-(1+\eta)[c_\theta N]_{i_\theta-1}}{2\Delta\theta} \tag{6}$$

여기서, i_x, i_y, i_θ 와 i_σ는 각 공간상의 격자수(grid counter)이며, ν, η는 스펙트럼 공간상의 풍상차분(upwind difference)이나 중앙차분(central difference)의 정도를 결정하는 계수로, 주기와 방향공간에서 수치적 확산(numerical diffusion)을 조절한다.

평형방정식의 우변은 에너지 유입항과 에너지 소산항의 합을 나타내며 이는 파랑의 생성, 소산 및 비선형 상호작용에 의한 에너지 전달이 포함된다.

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} \tag{7}$$

여기서, S_{in}은 바람에 의한 에너지 유입, S_{ds}는 에너지 소산, S_{nl}는 4파 비선형상호작용이다.

바람 에너지가 파로 전이되는 것은 [17]에 의한 공진기구(resonance mechanism)와 [14]의 전단기구(feed-back mechanism)로 나타나는데, 이러한 기구에 대응되는 각항은 선형적인 발달과 지수적인 발달의 합으로 다음과 같이 표현된다.

$$S_{in}(\sigma,\theta)=A+BE(\sigma,\theta) \tag{8}$$

여기서, A(선형적 발달)는 [5]의 식을 사용하였다. B(지수적 발달)는 [18]식과 [11], [12]식 중에서 선택하여 사용한다.

백파에 의한 에너지 소산은 [8]이 제안한 표면펄스모형

Collection

(pulse-based model)을 응용하여 나타내었다. SWAN 모형에서는 [13]식과 [12]식을 선택적으로 사용한다.

[13]의 바람 입력식을 사용한 경우 백파 소산 $S_{ds,br}$은 다음 식으로 주어진다.

$$S_{ds,br}(\sigma,\Theta) = -\Gamma\tilde{\sigma}\frac{k}{\tilde{k}}E(\sigma,\Theta) \tag{9}$$

여기서, Γ는 경사 종속계수, k는 파수, $\tilde{\sigma}$는 평균주파수, $\tilde{k}$는 평균 파수를 나타낸다.

[12]의 바람 입력에 대응하는 백파 소산 모형은 다음과 같다.

$$\Gamma = C_{ds}\left[(1-\delta)+\delta\frac{k}{\tilde{k}}\right]\left(\frac{\tilde{s}}{\tilde{s}_{PM}}\right)^{p} \tag{10}$$

여기서, C_{ds}, δ, p는 수치상수로 [13]과 [12]에 의한 값을 사용하며, $\tilde{s}$는 아래 식으로 표현되는 파형경사, $\tilde{s}_{PM}$은 PM 스펙트럼[16]의 $\tilde{s}$의 값($\tilde{s}_{PM} = 3.02\times10^{-3})^{1/2}$)이다.

$$\tilde{s} = \tilde{k}\sqrt{E_{tot}} \tag{11}$$

여기서, E_{tot}는 총에너지로 다음과 같이 정의된다[19].

$$\tilde{\sigma} = \left(E_{tot}^{-1}\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\frac{1}{\sigma}E(\sigma,\Theta)\,d\sigma\,d\Theta\right)^{-1} \tag{12a}$$

$$\tilde{\sigma} = \left(E_{tot}^{-1}\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\frac{1}{\sqrt{k}}E(\sigma,\Theta)\,d\sigma\,d\Theta\right)^{-2} \tag{12b}$$

$$E_{tot} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}E(\sigma,\Theta)\,d\sigma\,d\Theta \tag{12c}$$

저면에 의한 에너지 소산은 저면 마찰, 저면 운동, 투수 및 불규칙 저면의 산란 등에 의하여 발생한다. SWAN 모형에서는 [20]의 식을 사용하여 저면마찰 소산 $S_{ds,b}$을 계산하였다.

$$S_{ds,b}(\sigma,\Theta) = -C_{bottom}\frac{\sigma^2}{g^2\sinh^2 kd}E(\sigma,\Theta) \tag{13}$$

여기서, C_{bottom}은 저면마찰계수이다.

파랑장에서 수심에 의해 발생하는 쇄파에 의한 파랑 에너지 소산의 계산에는 단파 모형이 적용된다[4]. [6]은 파랑 스펙트럼에 비례하는 쇄파 소산 공식을 도출하였으며, 이 공식을 쇄파에 의한 에너지 소산식으로 사용하였다.

$$S_{ds,br}(\sigma,\Theta) = -\frac{\alpha_{BJ}Q_b\bar{\sigma}H_m^2}{8\pi}\frac{E(\sigma,\Theta)}{E_{tot}} \tag{14}$$

여기서, α_{BJ}는 수치상수, Q_b는 쇄파율, H_m는 최대파고로 $H_m = \gamma d$로 계산된다. γ는 [5]식을 사용하여 계산하였다.

$$\gamma = 0.55 + 0.88e^{-0.012\cot\beta} \quad \text{for } 0<\beta<0.1 \tag{15}$$

여기서, β는 해저면의 경사, α_{BJ}는 쇄파 발달의 관측으로부터 추정될 수 있으며, 모형에서는 1.0을 적용하였다.

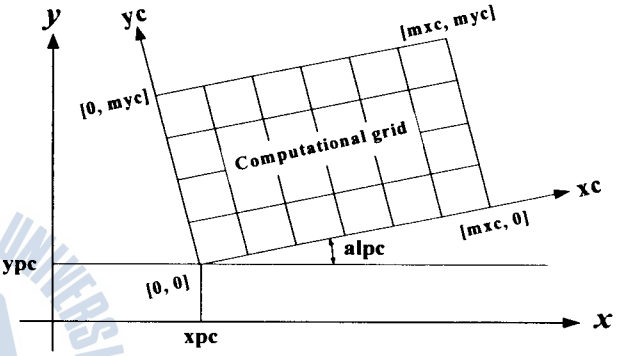

Fig. 1 Transform of Coordinates considering the incident wave direction.

SWAN 모형에서 격자는 3가지 방법으로 사용할 수 있다. 즉, Δx와 Δy가 일정한 고정격자, Δx와 Δy가 다른 가변격자, 곡선격자이다.

지형공간에서 일차풍상차분법, 스펙트럼공간에서 여러 변수들을 풍상차분법과 중앙차분법을 같이 사용하는 음해법으로 해석한다.

3파 비선형작용을 계산하기 위해 [7]이 사용한 LTA (Lumped Triad Approximation)근사법을 선택하였다. 4파 비선형상호작용은 [9]에 의해 제안된 DIA(Discrete Interaction Approximation)근사법을 사용하여 해석하였다.

모형에서 사용된 JONSWAP 스펙트럼은 다음과 같다.

$$S(f) = \alpha g^2(2\pi)^{-4}f^{-5}e^{-\frac{5}{4}\left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}}\gamma^{e^{-\frac{1}{2}\frac{(f-f_m)^2}{\sigma^2 f_m^2}}}} \tag{16}$$

여기서, α는 Phillips 상수, f_m는 첨두주파수, γ은 첨두향상계수이다.

σ는 스펙트럼의 폭을 결정하는 파라메터로 다음과 같다.

$\sigma = \sigma_a$ for $f \le f_m$

$\sigma = \sigma_b$ for $f > f_m$

[10]이 북해에서 관측한 심해파랑자료의 분석결과에 의하면

dCollection

α와 f_m은 취송거리와 풍속의 함수로 결정되며, γ, σ_a, σ_b의 평균값은 각각 3.3, 0.07, 0.09로 나타난다. 특히, γ의 분포범위는 1.0 ~ 6.0이다.

유의파고 H_s와 파향 $\bar{\theta}$은 식 (17)과 식 (18)과 같이 정의된다.

$$H_s = 4\sqrt{\int\int E(\omega,\theta)\,d\omega d\theta} \tag{17}$$

$$\bar{\theta} = \tan^{-1}\left\{\int \sin\theta E(\sigma,\theta)d\sigma d\theta \int \cos\theta E(\sigma,\theta)d\sigma d\theta\right\} \tag{18}$$

2.2 경계조건

지형공간과 스펙트럼 공간에서의 경계조건은 해안선을 통과하거나 계산영역을 지날 경우에는 완전히 흡수되는 것으로 한다. 개방경계에 해안지역이 포함되어 있을 경우에는 입사되는 에너지를 허용하지 않으며, 심해 개방경계에서만 에너지가 입사될 수 있다.

3. 모형의 구성

3.1 심해 설계파

심해파 제원은 우리나라 연안 67개 지점 16개 방향에 대하여 HYPA모형으로 추산된 파랑장 자료 정보가 수록되어 있는 [3]을 참조하여 1979~1996년까지의 심해 설계파고를 대상으로 극치분석(extreme analysis)을 실시하여 각 방향별 50년 빈도 파고를 결정하였다. 또한, 심해 설계파 주기는 항만시설물 설계기준서 [2]에서 $T_{1/3} = 3.86\sqrt{H_{1/3}}$식을 사용하여 파고에 대한 주기를 산정하였다. Table. 1에 추정된 심해파의 빈도별 파고와 주기를 나타내었다.

3.2 심해 풍속

[1]에 수록된 1978~2003년 풍향별 연 최대풍속 자료를 수집하여 심해 설계파를 추정한 것과 같이, 극치분석을 통하여 빈도별 최대풍속을 산정하였다.

산정된 최대풍속은 지속시간, 고도, 마찰에 대한 보정을 최종적으로 수행한 후, 보정된 풍속을 입력자료로 사용하였다. 보정에 사용된 보정식은 다음과 같으며, 빈도별 보정풍속은 Table 2에 제시하였다.

$$\frac{U_t}{U} = 1.2777 + 0.296\times\tanh\left(0.9\log_{10}\frac{45}{t}\right) \tag{19}$$

여기서, U는 1시간 평균 풍속(m/s), U_t는 매시별 10분간 평균 풍속(m/s), t는 10분이다.

$$U_z = \frac{U}{5.75\sqrt{\gamma^2}\log_{10}\frac{Z}{z_0}} \tag{20}$$

여기서, $Z = H + H_s + h_a$ 이고, U_z는 해면상 10m의 보정풍속(m/s), U는 관측풍속(m/s), γ^2은 해면의 저항계수(3×10^{-3}), z_0는 해면의 조도계수(6.7×10^{-3}), Z는 관측높이(m), H는 관측지점의 고도(m), H_s는 기준해면의 높이(m), h_a는 풍속계의 지상높이(m)이다.

$$U_A = 0.71U_z^{1.23} \tag{21}$$

여기서, U_A는 보정 후 풍속, U는 보정 전 풍속이다.

Table 1 Deepwater design wave height and period

dir. \ return per.		2	5	10	50	100
W	Height(m)	3.3	4.0	4.4	5.2	5.5
	Period(s)	7.0	7.7	8.1	8.8	9.0
NW	Height(m)	5.4	6.1	6.4	6.7	7.1
	Period(s)	8.9	9.5	9.7	9.9	10.2
WNW	Height(m)	4.7	5.5	6.1	6.8	7.8
	Period(s)	8.3	9.0	9.5	10.0	10.7
S	Height(m)	1.6	2.1	2.4	2.9	3.7
	Period(s)	4.8	5.5	5.9	6.5	7.4
SW	Height(m)	1.7	2.1	2.4	2.7	3.3
	Period(s)	5.0	5.5	5.9	6.5	7.0
SSW	Height(m)	1.7	1.9	2.1	2.2	2.3
	Period(s)	5.0	5.3	5.5	5.7	5.8

Table 2 Calibrated value of wind speed (단위:m/s)

dir. \ return per.	2	5	10	50	100
W	11.47	13.73	15.15	18.61	19.97
NW	16.34	19.97	21.49	23.46	23.88
WNW	12.21	15.02	17.00	21.49	23.32
S	8.93	12.46	14.89	20.52	23.04
SW	8.46	10.73	12.34	15.94	17.53
SSW	7.99	10.97	13.48	20.39	23.88

Collection

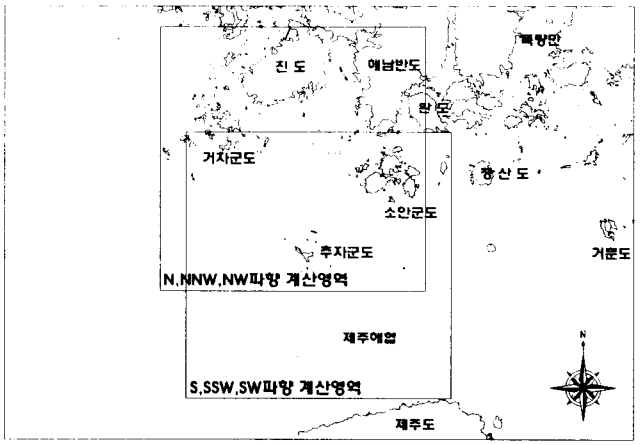

Fig. 2 Location map and calculated area

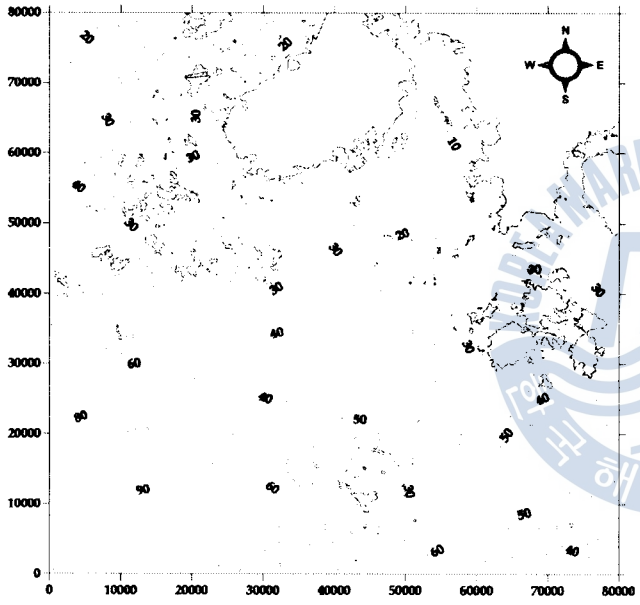

Fig. 3 Bathymetric chart

3.3 계산영역

수치모의를 위한 계산영역은 경계의 영향을 받지 않으면서도 계산에 있어서 경제적으로 설정되어져야 한다. Fig. 2에 제시된 바와 같이 대상해역은 소안군도 보길도 남서쪽에 위치한 해역에 대한 외해 심해파랑 및 풍파를 충분히 모의할 수 있도록 W, NW, WNW계열, S, SW, SSW계열에 대한 계열별 계산영역을 설정하여 계산을 수행하였다.

계산영역은 80.0km×80.0km의 광역으로 구성하였으며, 격자간격은 200m 등방격자로 하였다. 기준해면은 인근의 완도항 약최고만조위(Approx. H.H.W)인 4.06m로 보정하였다. 수심 및 지형도는 Fig. 3에 제시하였다.

4. 수치 실험 및 분석

파랑변형실험은 앞서 극치분석에 의해 추산된 심해 설계파제원과 풍속 보정을 거친 바람자료를 입력자료로 하여 수행되었다. 소안군도 보길도 서쪽 전면해역의 4개 비교 정점을 설정하여 각 파향별 설계 파라메타인 파고, 주기, 파향 등을 비교 · 분석하였다. 분석된 자료를 토대로 하여 가장 큰 영향을 미칠 것으로 판단되는 파향을 대상으로 기존의 설계 파라메타와의 비교를 수행하였으며, 또한 파랑, 바람에 의한 영향을 비교 · 검토하였다. 비교정점은 Fig. 4에 도시하였다.

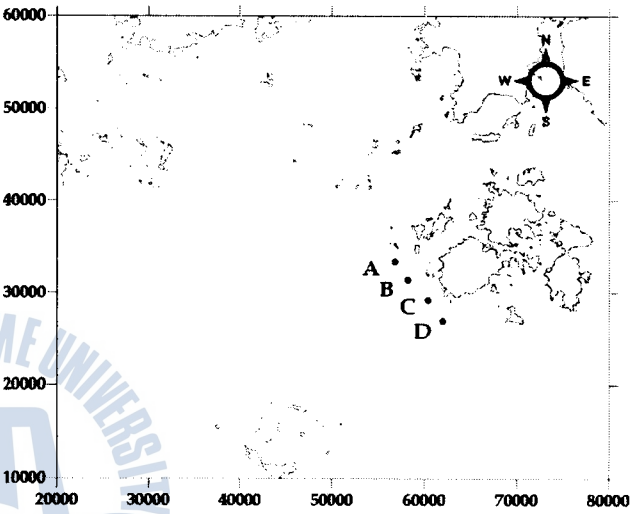

Fig. 4 Selected stations for comparison

4.1 설계 파라메타

각 파향별 실험결과는 Table 3에 제시하였다. 파향은 W(x축)기준으로 반시계방향으로 나타내었다. 외해에서 심해 설계파와 풍속을 적용한 결과, 비교정점 A, B, C, D 모두 W계열에서는 WNW파향이, S계열에서는 S파향이 파고, 주기 모두 크게 나타났다. WNW파향은 파고는 4.9~5.3m, 주기는 6.9~7.1sec의 분포를 보이며, 파향은 S88°E~N84°E로 나타났다. S파향은 파고는 4.6~4.8m, 주기는 6.1~6.2sec의 분포를 보이며, 파향은 S1°E~S3.2°E로 나타났다.

가장 큰 값을 보이는 WNW파향에 대한 파고벡터도와 등파고선도를 Fig. 7~8에 제시하였다.

4.2 파랑과 바람에 의한 영향 검토

실제 연구대상 지역에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 파고, 주기 외에 파향이 검토되어져야 한다. 파향을 고려할 경우, 가장 크게 영향을 미칠 것으로 판단되는 요소는 W계열에서는 NW파향, S계열에서는 SW파향이다. NW, SW파향을 대상으로 하여 파랑, 바람에 대한 영향을 검토하기 위하여 바람만을 고려했을 경우, 파랑만을 고려했을 경우, 모두를 고려했을 경우를 대상으로 실험을 수행하였다. 실험결과는 Table 4와 Fig. 9~10에 각각 제시하였다. 파고에 대한

dCollection

결과, SW파향은 파랑에 의한 영향이, NW파향은 바람에 의한 영향이 큰 것으로 나타났으며, 주기에 대한 결과는 SW파향은 파랑에 의한 영향이, NW파향 또한, 파랑에 의한 영향이 우세한 것으로 나타났다.

NW파향에 대한 모의결과는 Fig. 11~13에 제시하였다.

Table 3 Calculated result at the selected stations

		W	NW	WNW	S	SW	SSW
A	파고(m)	4.7	4.3	5.1	4.6	3.3	4.4
	주기(sec)	6.7	5.9	6.9	6.1	5.3	6.1
	파향(°)	15.7	343.4	5.7	89.0	46.4	72.0
B	파고(m)	4.5	4.3	5.0	4.6	3.2	4.4
	주기(sec)	6.6	5.9	6.7	6.2	5.2	6.1
	파향(°)	11.1	342.5	2.3	88.6	45.2	71.9
C	파고(m)	4.2	4.5	4.9	4.8	3.3	4.5
	주기(sec)	6.3	6.2	6.8	6.2	5.3	6.2
	파향(°)	10.2	344.7	1.5	87.7	47.6	72.4
D	파고(m)	4.5	4.7	5.3	4.7	3.3	4.5
	주기(sec)	6.6	6.4	7.1	6.2	5.3	6.2
	파향(°)	5.6	345.6	358.9	86.8	47.8	71.4

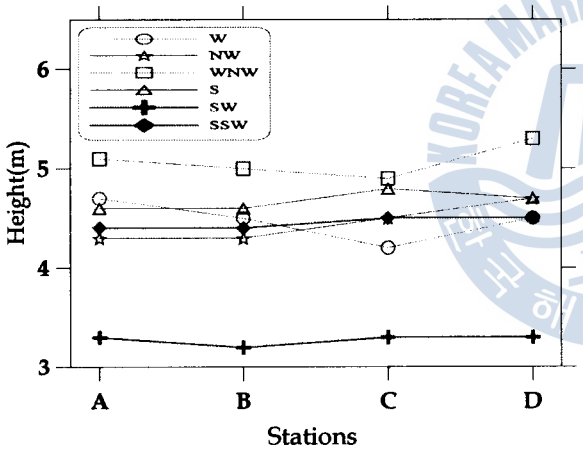

Fig. 5 Comparison of wave height in terms of direction

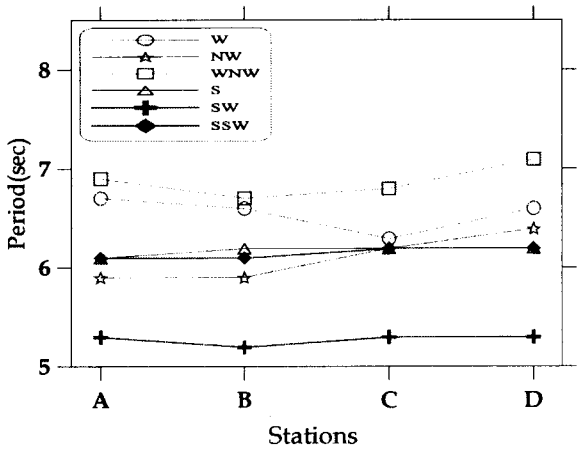

Fig. 6 Comparison of wave period in terms of direction

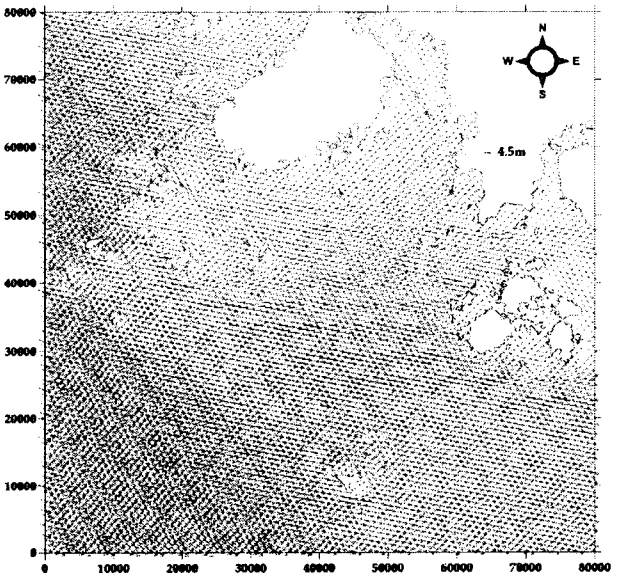

Fig. 7 Wave vector on WNW direction

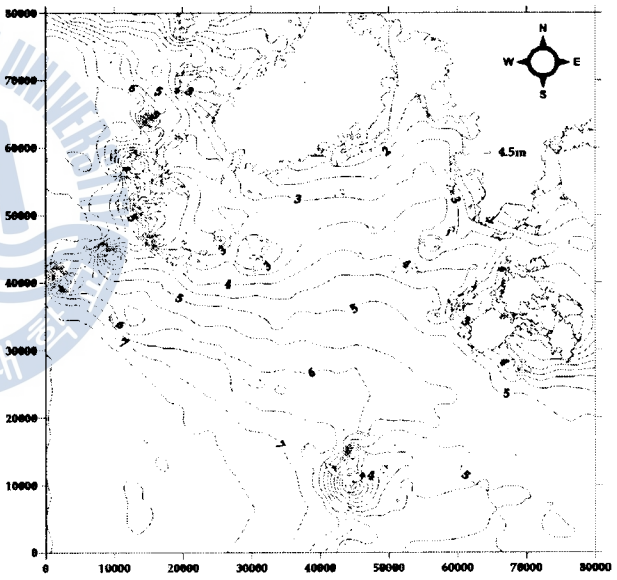

Fig. 8 Contour of wave height on WNW direction

Table 4 Calculated waves at the selected stations

		NW(wave)	SW(wave)	NW(wind)	SW(wind)
A	파고(m)	1.7	3.2	3.6	2.7
	주기(sec)	6.4	6.0	5.2	4.8
	파향(°)	13.7	45.1	333.1	48.4
B	파고(m)	1.6	3.0	3.7	2.6
	주기(sec)	6.2	6.2	5.3	4.7
	파향(°)	12.4	41.8	332.7	47.5
C	파고(m)	1.7	3.1	3.8	2.7
	주기(sec)	6.4	6.4	5.4	4.8
	파향(°)	8.6	52.4	335.8	48.4
D	파고(m)	1.9	3.2	3.9	2.6
	주기(sec)	6.8	6.5	5.5	4.7
	파향(°)	1.5	56.1	336.9	48.9

Collection

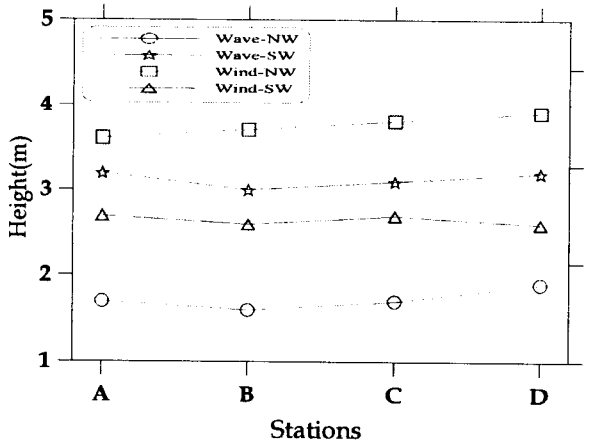

Fig. 9 Comparison of wave height with respect to NW, SW direction

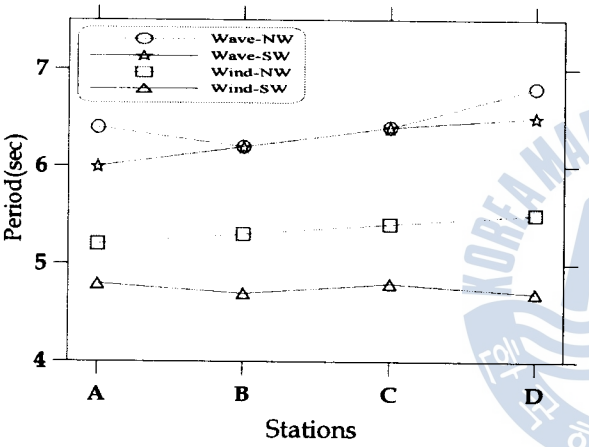

Fig. 10 Comparison of wave period with respect to NW, SW direction

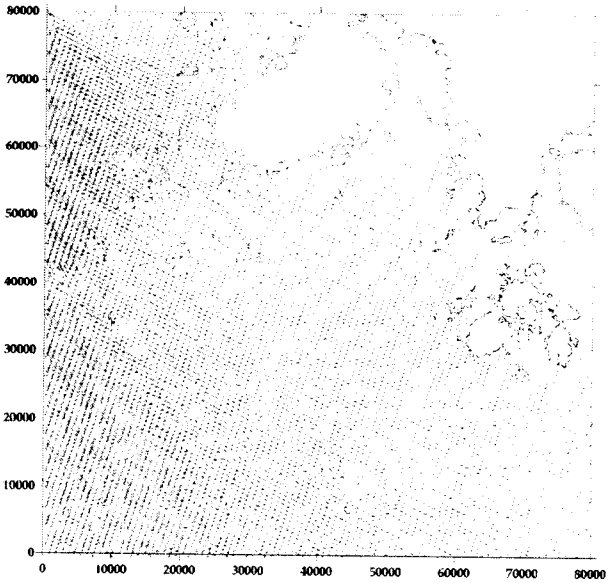

Fig. 11 Wave vector by incident wave from NW direction

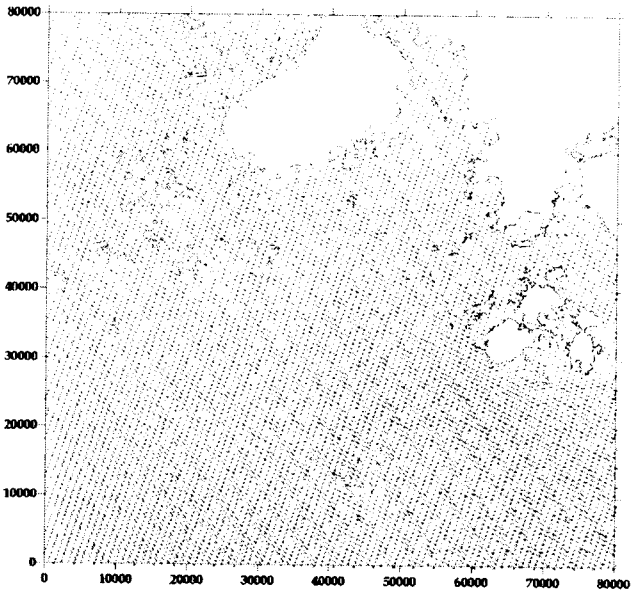

Fig. 12 Wave vector by incident wind from NW direction

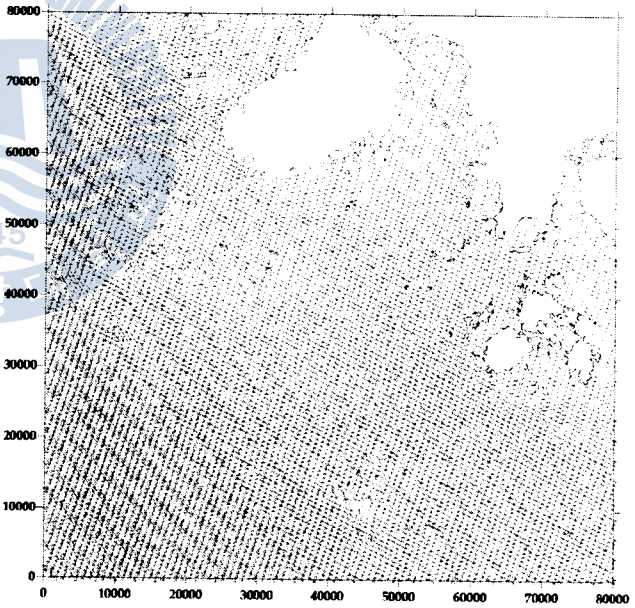

Fig. 13 Wave vector by incident wave and wind from NW direction

5. 결 론

본 연구에서는 심해 설계파와 연최대풍속에 대한 극치분석한 심해 입사 조건을 근거하여 남해 서부 연안에 위치한 소안군도 보길도를 대상으로 하여 설계 파라메타를 추출하였다. SWAN모형을 이용한 광역 파랑변형실험을 통하여 대상해역은 각 파향별로 파고는 4.6~5.8m의 분포를 보이며, 주기는 6.1~7.1sec를 나타내었다. 또한 파고에 대해서 SW파향

dCollection

은 파랑에 의한 영향이, NW파향은 바람에 의한 영향이 큰 것으로 나타났으며, 주기에 대해서 SW파향은 파랑에 의한 영향이, NW파향 또한, 파랑에 의한 영향이 우세한 것으로 나타났다.

즉 대상해역의 남쪽 개방경계 부근에 제주도가 위치하여 S계열의 경우는 파랑의 영향이 바람의 영향보다 탁월한 것으로 나타났다. W계열은 파고는 바람에 의한 영향이, 주기는 파랑에 의한 영향이 탁월하게 나타났다. 바람이 발달할 수 있는 충분한 풍역을 가져 파고는 증폭되었으나 바람의 영향이 탁월하여 주기의 변화는 작은 것으로 판단된다.

또한, 바람의 영향, 파랑의 영향에 서로 상쇄될 수준이 아니기 때문에 두 조건을 모두 고려하여 수치실험을 수행하는 것이 합리적인 것임을 알았다.

한편, 지금까지의 규칙파 모형을 이러한 외해에 개방된 해역에 사용하는 것은 기존의 수치실험 결과와 비교하였을 경우, 파고뿐만 아니라 주기에서도 큰 변화가 있어 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 기상청 (1978~2003), 기상연보

[2] 해운항만청 (1993), 항만시설물설계기준서

[3] 해양수산부 (1997), 장기 파랑 산출 자료집

[4] Battjes, J.A. and Janssen, J.P.F.M. (1978), "Energy loss and set-up due to breaking of random waves", Proc. 16th int. Conf. Coastal Engineering, ASCE, pp.569-587

[5] Cavaleri, L. and Malanotte-Rizzoli, P. (1981), "Wind wave prediction in shallow water: Theory and applications". J. Geophys.Res., 86, No.C11, 10, 961-10, p.973

[6] Eldeberky, Y. and Battjes, J.A. (1995), "Parameterization of triad interactions in wave energy models", Proc. Coastal Dynamics Conf. '95, Gdansk, Poland, pp.140-148

[7] Eldeberky, Y. (1996), "Nonlinear transformation of wave spectra in the nearshore zone, Ph.D. thesis", Delft University of Technology, Department of Civil Engineering, The Netherlands

[8] Hasselmann, K. (1974), "On the spectral dissipation of ocean waves due to whitecapping", Bound.-layer Meteor., 6, 1-2, pp.107-127

[9] Hasselmann, S., Hasselmann, K., Allender, J.H. and Barnett, T.P. (1985), "Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in a gravity wave spectrum. Part II: Parameterizations of the nonlinear transfer for application in wave models", J. Phys. Oceanogr., 15, 11, pp.1378-1391

[10] Hasselmann, K., Barnett, T.P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D.E., Enke, K., Ewing, J.A., Gienapp, H., Hasselmann, D.E. , Kruseman, P., Meerburg, A., Müller, P., Olbers, D.J., Richter, K., Sell, W. and Walden, H. (1973), "Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)", Dtsch. Hydrogr. Z. Suppl., 12, A8

[11] Janssen, P.A.E.M. (1989), "Wave induced stress and the drag of air flow over sea waves", J. Phys. Oceanogr., 19, pp.745-754

[12] Janssen, P.A.E.M. (1991), "Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting", J. Phys. Oceanogr., 21, pp.1631-1642

[13] Komen, G.J., Hasselmann, S., and Hasselmann, K. 1984: On the existence of a fully developed windsea spectrum, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1271-1285

[14] Miles, J.W. (1957), "On the generation of surface waves by shear flows", J. Fluid Mech., 3, pp.185-204

[15] Nelson, R.C. (1987): Design wave heights on very mild slopes: An experimental study, *Civil. Eng. Trans., Inst. Eng. Aust.*, 29, 157-161

[16] Pierson, W.J. and Moskowitz, L. (1964), "A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S.A. Kitaigorodskii, J. Geophys. Res., 69, 24, pp.5181-5190

[17] Phillips, O. M. (1957), "On the generation of waves by turbulent wind", J. Fluid Mech., 2, pp.417-445

[18] Snyder, R.L., Dobson, F.W., Elliott, J.A. and Long, R.B. (1981), "Array measurement of atmospheric pressure fluctuations above surface gravity waves", J. Fluid Mech., 102, pp.1-59

[19] WAMDI Group (1988), "The WAM model-a third generation ocean wave prediction model", J. Phys. Oceanogr., 18, pp.1775-1810

[20] Weber, S.L. (1991), "Bottom friction for wind sea and swell in extreme depth-limited situations", J. Phys. Oceanogr., 21, pp.149-172

원고접수일 : 2005년 12월 23일
원고채택일 : 2006년 1월 7일

dCollection