

지형을 고려한 해상풍 모델(MASCON)과 SWAN 모델의 결합에 의한 천해파랑 산정 Shallow Water Wave Hindcasting by the Combination of MASCON and SWAN Models

김지민* · 허동수** · 김창훈* · 김도삼*

Ji Min Kim*, Dong Soo Hur**, Chang Hoon Kim* and Do Sam Kim*

요 지 : 천해파랑을 산정하기 위하여 천수, 굴절, 회절, 반사 및 쇄파 등의 파랑변형요소를 고려하는 대부분의 수치모델은 천해역에서의 바람장을 수치모델과 결합하여 천해파랑을 산정하고 있다. 그리고, 일반적으로 천해역에서 바람장을 산정하는 경우에 태풍모델로부터 얻어진 바람장을 해상풍으로 변환하여 사용하고 있다. 그러나, 이러한 해상풍 산정법은 해상풍의 평가에 중요한 요소로 작용될 수 있는 육상지형의 영향에 대해서는 고려하고 있지 않다. 본 연구는 천해역에서의 해상풍 산정에 대하여 육상지형의 영향을 고려함으로써, 결과적으로 정도 높은 천해파랑산정을 목적으로 한다. 먼저 지역적으로 차폐 및 개방되어 있는 해역을 대상으로 태풍모델로부터 얻어진 해상풍과 본 연구에서 적용하는 육상지형의 영향을 고려할 수 있는 MASCON모델로 산정된 해상풍의 결과를 상호 비교 · 검토한다. 그리고, 각 모델로부터 얻어진 해상풍을 SWAN모델에 적용하여 천해파랑을 산정하며, 이의 결과를 상호 비교 · 검토한다. 검토된 결과로부터 정도 높은 천해파랑산정을 위한 MASCON모델의 필요성을 논의한다.

핵심용어 : 천해파랑, 지형 특성, MASCON모델, SWAN 모델, 해상풍

Abstract : Shallow water waves are hindcasted from sea wind fields, which include wave transformations such as shoaling, refraction, diffraction, reflection and wave breaking. In case of estimating sea wind field in shallow water, the sea wind revised from free wind obtained by the typhoon model is widely used. However, this method is not able to consider the effect of land topography on the wind field, which will be important factor for shallow water wave forecasting and hindcasting. In this study, therefore, the effect of land topography on sea wind field in shallow water is investigated for shallow water wave forecasting and hindcasting with high accuracy. The 3-D MASCON model is introduced to consider the influence of land topography on the wind field. And, for two areas divided by the topographical characteristics, i.e. shielded and opened coastal areas, sea wind field is examined by comparison between initial wind field by typhoon model and modified wind field by 3-D MASCON model. Finally, applying these sea wind fields to SWAN model, the results of shallow water wave calculated in shielded and opened coastal areas are compared, and, also, the effect of MASCON model on shallow water wave forecasting and hindcasting is discussed.

Keywords : shallow water wave, topographical characteristic, MASCON model, SWAN model, sea wind

1. 서 론

삼면이 바다로 둘러싸여 해안지역의 비율이 높으며, 국토가 좁고 인구가 많은 우리 나라와 같은 환경에서는 연안

매립으로 대표되는 해안지역개발이 불가피할 경우가 많다. 이러한 연안역의 개발과 보전사업의 계획 및 설계에 있어서 주요 외력조건은 일반적으로 태풍에 의한 고파랑과 이상조위에 의한 수위상승이다. 이 중에서 고파랑의 설계과

*한국해양대학교 건설환경공학부(Department of Construction and Environmental Engineering, Korea Maritime University)

**교신저자, 경상대학교 토목환경공학부 해양산업연구소(Institute of marine industry, Department of Ocean Civil Engineering, Gyeongsang National University, Tongyoung 650-160, Korea. dshur@nongae.gsnu.ac.kr)

는 태풍 내습시에 파랑의 통계적 특성으로 산정되는데, 근래에 급격한 지구환경변화에 따른 이상기후로 인하여 태풍의 규모와 강도가 커지고 있고, 향후 발생빈도도 더욱 증가할 것으로 예측되며, 더불어 재해규모도 증대될 것으로 예상되고 있다. 이와 같이 연안역에서 연안재해의 주요한 인자인 폭풍해일의 위험성에 대한 인식이 비교적 높아지고 있고, 최근 2003년도의 14호 태풍 Maemi에 의한 엄청난 재해를 입은 후로 폭풍해일에 관한 연구도 활발히 수행되고 있다(강윤구 등, 2004; 김경욱 등, 2004; 최병호 등, 2004; Kawai et al., 2005a, 2005b; 허동수 등, 2006). 그리고, 해안항만구조물의 설계에서 가장 중요한 외력인 파고는 주어진 심해설계파 조건을 이용하여 천해설계파로 산정되며, 이러한 천해설계파 산정은 일반적으로 수치시뮬레이션을 이용한다. 최근의 태풍 내습에 따른 대상해역에서 파랑장의 영향을 추정하여 연안사업의 적절한 평가를 수행하기 위한 방안의 일환으로, 빈번한 이상기후의 영향을 고려한 신 심해설계파가 추정되었다(한국해양연구원, 2005).

이와 같이 연안방제를 위한 다각도의 노력이 활발히 이루어지고 있고, 최근 태풍에 의한 바람장 등의 영향까지도 고려하여 보다 정도 높은 천해파랑을 산정하고 있다. 특히 태풍에 의한 바람장을 이용하여 천해파랑을 산정하는 경우 태풍 내습시 자유대기풍상태의 바람장을 해상풍으로 변환하여 사용하는 경우가 대부분이며, 육지의 영향을 고려한 바람장을 천해파랑산정에 사용하는 경우는 매우 미진한 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 육상지형의 영향을 고려한 바람장을 산출하기 위하여 MASCON모델(Goto and Shibaki, 1993)을 이용하며, 이러한 육상지형의 영향이 고려된 바람장으로부터 얻어진 해상풍이 천해파랑산정에 미치는 영향을 알아보고자 한다. 먼저 경남 남해안 일대의 해역을 대상으로 태풍 Maemi와 태풍 Sarah의 내습 시, MASCON 모델로 산정된 해상풍의 타당성을 확인하고, 다음으로 지역적으로 차폐 및 개방되는 해역특성이 분명한 부산광역시 강서구 녹산국가산업단지 전면해역과 부산광역시 수영구 광안리 주변해역을 대상으로 기존의 태풍모델로 산정된 해상풍과 육상지형의 영향을 고려할 수 있는 MASCON 모델로 산정된 해상풍을 SWAN모델에 적용하여 천해파랑을 산정하며, 그 결과를 상호 비교검토함으로써 정도 높은 천해파랑산정을 위한 MASCON모델의 필요성을 논의한다.

2. 수치계산수법

2.1 바람장 추산모델의 기초방정식

2.1.1 태풍모델

태풍중심 부근의 기압분포는 동심원으로 근사할 수 있기 때문에 이러한 특징을 이용하여 태풍의 기압분포를 가정하는 방법을 일반적으로 태풍모델이라고 칭하고 있으며, 태풍의 기압분포 추정식으로는 주로 Myers and Malkin(1961)의 분포식(1)이 이용되고 있다.

$$p_r = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (1)$$

여기서, Δp 는 기압심도, p_c 는 태풍의 중심기압, p_r 는 태풍의 중심으로부터 r 만큼 떨어진 점에서의 기압, r_0 는 태풍반경으로 태풍중심으로부터 최대풍속발생지점까지의 거리를 나타내는 파라미터이다.

태풍의 중심위치 및 태풍권내의 등압선정보로부터, Δp 와 r_0 가 구해지면, 임의지점에 있어서의 기압분포가 식 (1)에 의해 계산되고, 이로부터 태풍을 중심으로 하는 대칭풍(경도풍)의 풍속, 태풍의 이동에 의해 발생하는 풍속, 이 두개의 풍속을 합성한 풍속은 각각 다음과 같이 추산된다.

태풍의 중심부는 주변에 비해 기압이 낮기 때문에 그 기압차로 인해 바람이 불게 되며, 지구가 자전하고 있기 때문에 북반구에서는 오른쪽 방향으로 힘(Coriolis력)이 작용한다. 이로 인하여 태풍의 중심주변으로 반시계방향으로 부는 경도풍이 발생한다. 해면에 있어서 마찰의 영향을 받지 않는 상공에서 경도풍의 풍속 U_{gr} 은 기압경도력, 원심력 및 Coriolis력의 평형으로부터 다음의 식과 같이 주어질 수 있다.

$$\frac{1}{\rho_a} \frac{\partial p_r}{\partial r} = \frac{U_{gr}^2}{r} + f U_{gr} \quad (2)$$

여기서, r 은 등압선의 곡률반경이다.

Myers and Malkin(1961)의 분포식 (1)에 의한 기압분포를 가정한 다음 식 (2)을 풀면 다음의 식 (3)이 얻어진다.

$$U_{gr} = -\frac{rf}{2} + \sqrt{\left(\frac{rf}{2}\right)^2 + \frac{\Delta p r_0}{\rho_a r} \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right)} \quad (3)$$

경도풍의 풍속 U_{gr} 으로부터 해상풍의 풍속 U_1 으로 환산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$U_1 = C_1 U_{gr} \quad (4)$$

여기서, C_1 은 경도풍에서 해상풍으로의 보정계수(저감율)

이며 폭풍해일의 추산치가 관측치와 일치하도록 산정되는 경험치로 통상 0.6~0.7정도(紫木, 2004)의 값을 가지며, 본 연구에서는 0.67을 적용하였다. 또한, 해상풍의 풍향에 관해서는 경도풍의 풍향이 저압부에 편향하도록 반시계방향으로 30°(紫木, 2004)정도 변화시켰다.

태풍의 이동에 의해 발생하는 풍속 U_2 는 다음 식 (5)로 표현된다.

$$U_2 = C_2 \frac{U_{gr}(r)}{U_{gr}(r_0)} V_T \quad (5)$$

여기서, V_T 는 태풍의 진행속도이며, C_2 는 비례정수로서 통상 식 (5)의 보정계수 C_1 과 같거나 그 이상의 값을 이용한다. U_2 의 방향은 태풍의 진행속도와 동일하다.

이상으로부터 파랑추산에 이용되는 합성풍의 풍속과 풍향은 식 (4)와 식 (5)의 벡터합의 크기와 방향을 이용한다.

2.1.2 MASCON모델

MASCON모델의 기초방정식은 비압축성의 대기에 대해 질량보존식을 나타내는 다음의 연속식으로 주어진다.

$$\frac{\partial u_m}{\partial x} + \frac{\partial v_m}{\partial y} + \frac{\partial w_m}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

여기서, u_m, v_m, w_m 은 x, y, z 방향의 풍속성분이다.

MASCON모델은 태풍모델에 의해 얻어진 바람장(u_m^0, v_m^0, w_m^0)을 초기치로 하여 다음에 주어지는 변분방정식(7)의 보정량 $E(u_m, v_m, w_m, \lambda)$ 가 최소가 되도록 풍속(u_m, v_m, w_m)을 산정한다.

$$\begin{aligned} E(u_m, v_m, w_m, \lambda) &= \int_V [\alpha_1^2 \{(u_m - u_m^0)^2 + (v_m - v_m^0)^2\} + \alpha_2^2 (w_m - w_m^0)^2 \\ &+ \lambda \left(\frac{\partial u_m}{\partial x} + \frac{\partial v_m}{\partial y} + \frac{\partial w_m}{\partial z} \right)] dx dy dz \quad (7) \end{aligned}$$

여기서, u_m, v_m, w_m 는 질량보존식을 만족하도록 조정된 풍속성분, u_m^0, v_m^0, w_m^0 는 초기풍속성분, λ 는 Lagrange의 미정계수, $\alpha_i (i=1,2)$ 는 Gauss의 정도계수로 다음의 식으로부터 산정된다.

$$\alpha_i = \frac{1}{2} \sigma_i^{-2} \quad (8)$$

여기서, σ_i 는 관측오차이며, 이는 풍속성분에서 관측된 풍속성분의 기울기를 나타낸다. α_1 과 α_2 의 비(α_1/α_2)는

조정된 풍속의 수평성분과 연직성분의 상대적인 크기를 결정하는 계수이다.

식 (7)의 최소해를 가지는 Euler-Lagrange의 방정식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$u_m = u_m^0 + \frac{1}{2\alpha_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial x} \quad (9)$$

$$v_m = v_m^0 + \frac{1}{2\alpha_1^2} \frac{\partial \lambda}{\partial y} \quad (10)$$

$$w_m = w_m^0 + \frac{1}{2\alpha_2^2} \frac{\partial \lambda}{\partial z} \quad (11)$$

또한, 이 방정식들은 다음의 경계조건을 만족하여야 한다.

$$x\text{방향의 경계: } n_x \lambda \delta(u_m) = 0 \quad (12)$$

$$y\text{방향의 경계: } n_y \lambda \delta(v_m) = 0 \quad (13)$$

$$z\text{방향의 경계: } n_z \lambda \delta(w_m) = 0 \quad (14)$$

여기서, $\delta(\cdot)$ 는 괄호 내 변수의 제1변분, n_x, n_y, n_z 는 각각 외향법선의 단위벡터이다. 식 (9)~(11)을 각각의 방향으로 미분하고, 변분방정식(7)에 대입하면 다음과 같은 Poisson형의 미분방정식이 얻어진다.

$$\frac{\partial^2 \lambda}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \lambda}{\partial y^2} + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right)^2 \frac{\partial^2 \lambda}{\partial z^2} = -2\alpha_1^2 \left(\frac{\partial u_m^0}{\partial x} + \frac{\partial v_m^0}{\partial y} + \frac{\partial w_m^0}{\partial z} \right) \quad (15)$$

위의 식으로부터 λ 를 구하여 식 (6)과 식 (9)~(11)에 대입하면 질량보존식을 만족하도록 조정된 u_m, v_m, w_m 가 얻어진다. 이 때, 이용되는 저면 및 측면의 경계조건은 다음 식과 같다.

$$\frac{\partial \lambda}{\partial n} = 0 \quad (16)$$

2.2 파랑추산모델 SWAN의 기초방정식

SWAN Model의 기본식은 식 (17)과 같이 주어진다(Hasselmann et al., 1973).

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial X} C_X N + \frac{\partial}{\partial Y} C_Y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S}{\sigma} \quad (17)$$

여기서, $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta)/\sigma$ 로서 wave action density spectrum, σ 는 각 주파수, θ 는 파향을 나타낸다. 그리고, 좌변의 첫 번째 항은 국소적인 시간변화를 나타내며, 두 번째와 세 번째 항은 이류항을 나타낸다. 네 번째 항은 수심과 흐름의 변화에 의해 발생하는 상대주파수의 변화를 나타내고, 다섯 번째 항은 수심과 흐름으로 인한 굴절에 의

한 변화를 나타낸다. 그리고, C_x , C_y 는 각각 X , Y 방향의 전파속도(군속도)를, C_σ 와 C_θ 는 σ 와 θ 공간에서의 전파속도를 각각 나타낸다. 우변의 항 $S(=S(\sigma, \theta))$ 는 파랑 스펙트럼을 구성하는 성분파로의 에너지입출력을 나타낸 것으로, 파랑의 생성, 소산 및 성분파간의 비선형상호작용에 의한 에너지전달을 포함한다.

$$S = S_{in} + S_{ds} + S_{nl} \quad (18)$$

여기서, S_{in} 은 바람에 의한 파랑으로의 에너지유입을 나타내며, S_{ds} 는 쇄파와 저면마찰 및 백파 등에 의한 에너지 소산항을, S_{nl} 은 비선형상호작용에 의한 스펙트럼 성분간의 에너지전달을 나타내고 있다. 다른 수식이나 변수 등 SWAN 모델에 대한 보다 자세한 사항에 대해서는 Booij et al.(2004)에 자세히 나타나 있으므로 참고하기 바란다. 그리고, 데이터 해석에 사용되어지는 유의파고(H_s), 파향(θ_m), 평균주기(T_m)는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$H_s = 4\sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \quad (19)$$

$$\theta_m = \arctan\left[\frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}\right] \quad (20)$$

$$T_m = 2\pi \left(\frac{\int \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\int E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right) \quad (21)$$

여기서, $E(\omega, \theta)$ 는 분산 밀도 스펙트럼이고, ω 는 도플러 효과를 포함하는 분산관계식에 의해 결정되는 절대각 주파수이다. 그리고, 유의주기(T_s)는 일반적으로 다음과 같이 정의된다(Goda, 1985).

$$T_s \approx 1.2T_m \quad (22)$$

3. 해석결과

3.1 MASCON모델에 의한 해상풍 추산

태풍의 주경로를 포함한 Fig. 1과 같은 영역을 대상으로 육상지형을 고려하지 않은 해상풍과 육상지형이 고려된 MASCON모델에 의해 계산된 해상풍을 상호 비교검토한다. 이때 격자크기는 600 m의 등방격자로 하였으며, 고려된 격자수는 방향 및 방향으로 각각 247개, 166개이다. 그리고 해상풍 산정을 위하여 고려된 태풍은 태풍 Sarah(1959년 14

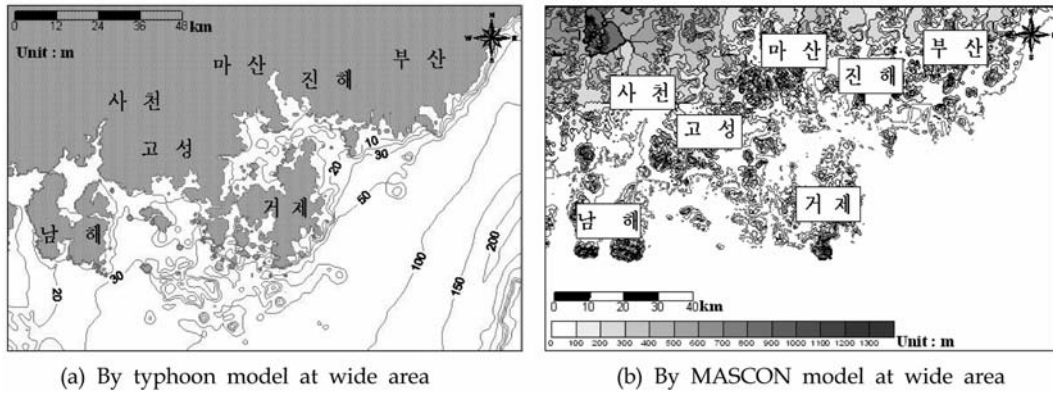


Fig. 1. Simulation area and contour line for sea wind field.

Table 1. Characteristics of typhoon Sarah

시각	경도 (°E)	위도 (°N)	기압침도 (hPa)	태풍반경 (km)	이동속도 (km/h)
5909151800	125.000	26.000	108.0	35.0	24.0
5909160000	125.000	27.300	108.0	33.0	22.2
5909160600	125.000	28.500	78.0	51.0	32.3
5909161200	125.700	30.100	78.0	52.0	37.4
5909161800	126.600	32.000	78.0	55.0	42.9
5909170000	128.000	34.000	68.0	71.0	44.1
5909170600	129.900	35.800	63.0	96.0	56.0
5909171200	132.200	38.200	48.0	134.0	62.0
5909171800	135.200	40.600	43.0	170.0	43.3

Table 2. Characteristics of typhoon Maemi

시각	경도 (°E)	위도 (°N)	기압심도 (hPa)	태풍반경 (km)	이동속도 (km/h)
0309111500	125.300	25.900	0.0	38.0	10.0
0309111800	125.400	26.300	46.5	38.0	15.0
0309112100	125.600	27.000	83.0	38.0	20.0
0309120300	125.800	28.400	73.0	40.0	25.0
0309120600	126.100	29.500	68.0	40.0	30.0
0309120900	126.500	30.500	68.0	38.0	35.0
0309121200	126.900	31.700	68.0	38.0	35.0
0309121500	127.000	32.700	68.0	50.0	40.0
0309121700	127.300	33.500	68.0	55.0	40.0
0309122100	128.300	34.800	63.0	50.0	45.0
0309130300	129.700	36.900	43.0	90.0	45.0
0309131500	134.800	40.500	33.0	110.0	45.0

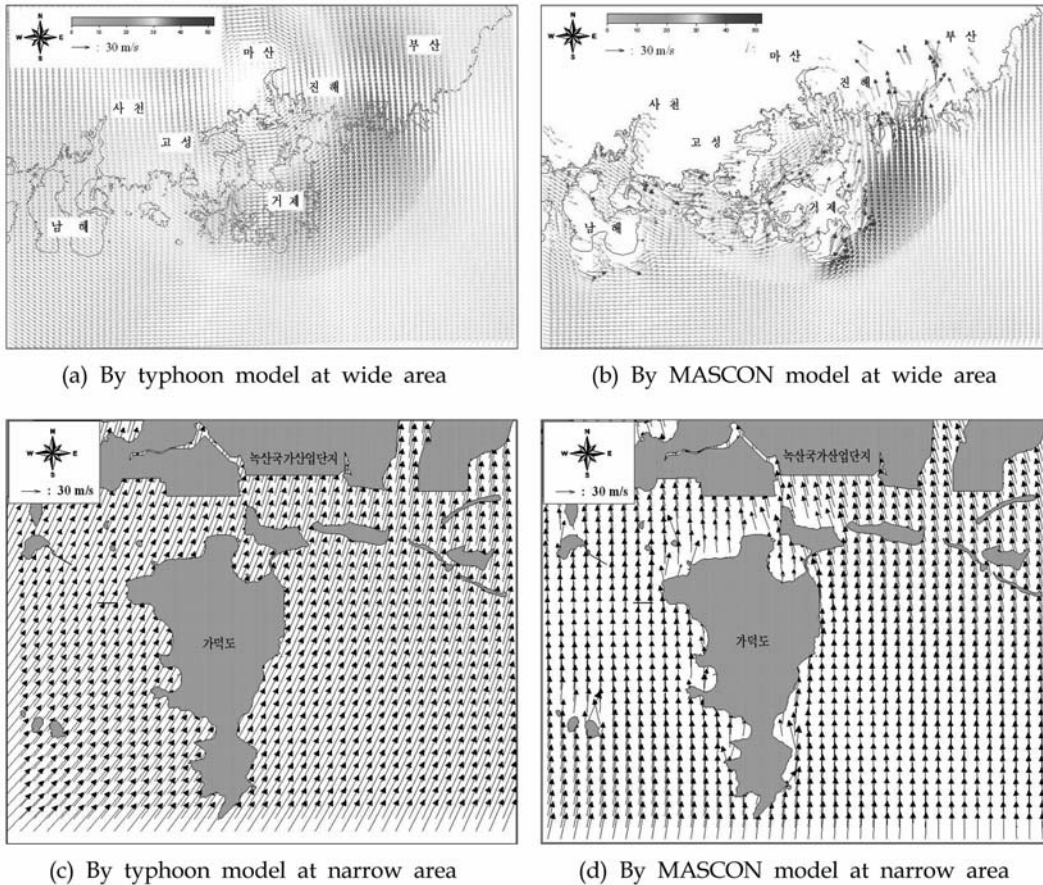


Fig. 2. Comparison of sea wind field for typhoon Maemi.

호)와 태풍 Maemi(2003년 14호)의 경우이며, 이 둘 태풍의 입력치로서 Table 1과 2에 나타낸 바와 같이 기압심도, 태풍반경, 이동속도 등의 태풍정보가 이용되었다.

Fig. 2(a)와 (b)는 각각 태풍 Maemi 내습 시, 태풍모델에 의해 얻어진 자유대기풍으로부터 산정된 해상풍과 MASCON 모델로 산정된 해상풍을 나타내고 있으며, 최대폭풍해일고

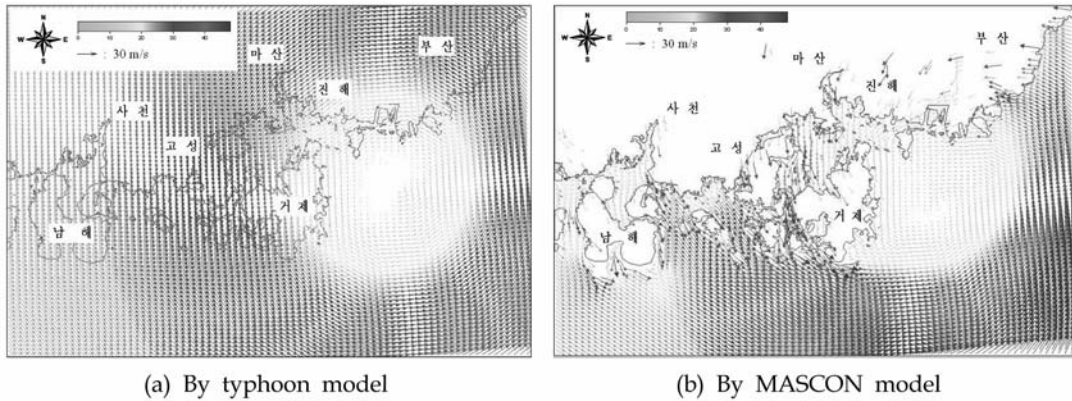


Fig. 3. Comparison of sea wind field for typhoon Sarah.

의 발생시간인 2003년 09월 12일 22시의 경우이다(한국토지공사, 2005). 그림을 살펴보면 태풍의 중심이 육상에 존재하기 때문에 그 위치가 명확히 나타나지는 않지만 MASCON 모델로 산정한 해상풍(Fig. 2(b))은 자유대기풍에 대한 풍속 저항계수만을 고려하여 산정한 해상풍(Fig. 2(a))과 비교하여 육지역의 지역적 특성에 따른 바람장의 영향을 명확히 나타내는 것을 알 수 있다. Fig. 2(a)와 Fig. 2(b)에서 살펴본 바람장을 보다 면밀히 고찰하기 위하여 가덕도 인근에서의 바람장을 Fig. 2(c)와 Fig. 2(d)에 나타내었다. 태풍모델에 의해 얻어지는 해상풍에 지역적 요소가 고려될 경우 바람장의 변화가 발생하게 되는데 이로 인해 천해파랑 추산에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

Fig. 3(a)는 태풍 Sarah 내습 시, 최대폭풍해일고의 발생 시간인 1959년 09월 17일 03시의 경우(한국토지공사, 2005), 태풍모델에 의한 해상풍을, Fig. 3(b)는 같은 시각에 MASCON 모델로 추정된 해상풍을 나타낸 그림이다. Fig. 3(b)는 Fig. 3(a)와 비교하여 태풍중심이 육상지형의 영향으로 위치가 약간 이동된 것을 볼 수 있다. 이러한 원인은 지역의 영향으로 인한 풍향과 풍속의 변화가 무풍지대의 풍향과 풍속에 영향을 미친 결과로 판단되며, 전반적으로 MASCON 모델은 육상지형의 영향으로 인한 해상풍의 변화를 잘 표현하고 있는 것을 알 수 있다.

기상적인 단순한 지형배치를 설정하여 각 지형배치 따른 풍장의 변화 또는 풍속과 풍향의 변화 크기와 그 영향 등 MASCON모형의 기본 특성에 대해서는 紫木秀之(2004)와 Kawai et al.(2005a)등을 참고하기 바라며, 본 논문에서는 따로 나타내지 않는다.

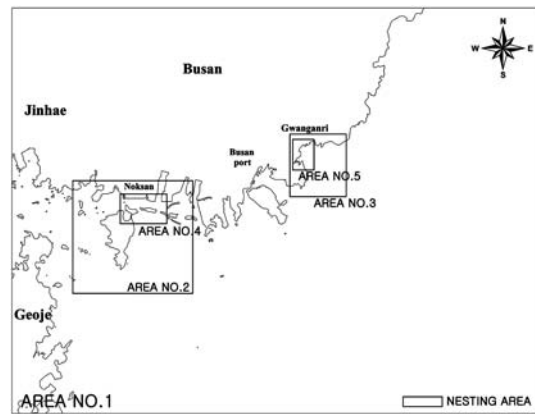


Fig. 4. Computational area of SWAN model.

3.2 천해파랑산정

차폐 및 개방이라는 지역적 특성이 분명한 해역으로 판단되는 부산광역시 강서구 녹산국가산업단지외 수영구 광안리 주변해역을 대상으로 태풍모델과 MASCON모델로 산정한 해상풍을 각각 SWAN모델과 결합하여 천해파랑을 추산하였다.

SWAN모델의 계산에 이용된 계산영역은 Fig. 4에 나타내는 바와 같고 각 영역의 격자크기는 광역 200 m, 중역 50 m, 그리고 협역은 20 m로 각각 설정하여 순차적으로 계산을 수행하였다. 고려된 계산영역의 수심데이터와 해안선은 기본적으로 수치해도를 이용하였으며, 협역에서 충분하지 않은 수심데이터에 대해서는 실제 측량데이터를 추가하여 사용하였다. 그리고 각 영역의 계산에 사용한 바람장 데이터는 태풍 Maemi, 태풍 Sarah의 경우이다. 또한, 계산에

Table 3. Design wave conditions in deepwater and water levels at Noksan and Gwanganri

Area	연안격자점번호	유의파고 $H_s(m)$	유의주기 $T_m(s)$	파향 (θ_m)	Approx. HHW(m)	Storm surge height (m)	Design water level (m)
Noksan	53(N34°80', E128°83')	9.63	14.18	S	1.906	1.69	3.596
	54(N34°80', E129°00')	12.47	15.54	SSE			
Gwanganri	55(N34°94', E129°17')	9.91	14.33	S	1.137	1.12	2.257
	56(N34°94', E129°33')	12.25	15.16	SSE			
	57(N35°08', E129°50')	8.04	11.54	E			
		9.99	12.91	SSE			

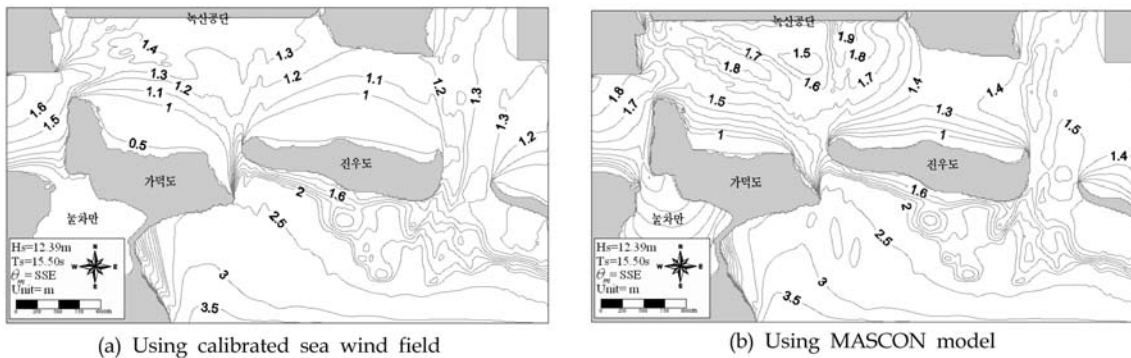


Fig. 5. Comparison of wave height distributions around Noksan in case of typhoon Maemi.

사용한 신 심해설계파 제원(한국해양연구원, 2005)은 해당 지역에 큰 영향으로 작용될 수 있는 연안격자점의 값을 선택하였으며, 조위 및 폭풍해일고의 값은 해양수산부(2005)와 허동수 등(2006)을 참고하였다. Table 3에 각 해당지역에 대한 연안격자점의 신심해파제원, 조위 및 폭풍해일고의 제원을 제시한다.

Fig. 5는 녹산국가산업단지 전면해역에 대한 태풍 Maemi 시의 해상풍을 SWAN모델에 적용하여 산정한 천해파랑의 일례를 나타낸 그림으로 제시된 천해파랑은 Table 3의 연안격자점번호 54번에 대한 신 심해설계파제원($H_s=12.39$ m, $T_m = 15.50$ sec, $\theta_m = SSE$)이다. 이는 태풍 Maemi 내습시의 파랑조건(한국컨테이너부두공단, 2003)에 근접한다. Fig. 5(a)는 태풍모델을 이용하여 산정한 해상풍을, Fig. 5(b)는 육상지형을 고려한 MASCON모델에 의해 산정된 해상풍을 이용하여 추산된 천해파랑의 파고분포를 나타내고 있다. 그림을 살펴보면 녹산국가산업단지 전면에서의 파고분포는 Fig. 5(a)의 경우보다 Fig. 5(b)에서 약간 크게 주어지는 것을 알 수 있다. 그리고, 외해에 비해 상대적으로 차폐된 지역(녹산국

가산업단지-가덕도-진우도)에서의 등파고선도를 살펴보면 Fig. 5(a)에 비해 Fig. 5(b)의 경우가 복잡하게 나타나는 것을 관찰할 수 있으며 이는 육상지형이 고려된 국지적인 바람장의 형성이 크게 작용한 것으로 판단된다.

Fig. 6은 Fig. 5에서 논의한 녹산국가산업단지의 경우와 비교하여 상대적으로 개방된 해역인 광안리 주변해역을 대상으로 산정된 천해파랑의 일례이다. 이 때 파랑조건은 Table 3의 조건 중 연안격자점번호 56번에 대한 신 심해설계파제원($H_s=10.37$ m, $T_m = 12.83$ sec, $\theta_m = SE$)을 이용하였으며, 적용된 해상풍은 태풍 Sarah의 바람장이며, Fig. 6(a)는 태풍모델에 의해 얻어진 해상풍을, Fig. 6(b)는 MASCON모델에 의한 해상풍을 SWAN모델에 적용하여 산정된 파고분포를 나타내고 있다. 그림을 살펴보면 Fig. 5의 녹산국가산업단지 전면과 비교하여 Fig. 6의 광안리 주변해역은 상대적으로 개방된 해역이기 때문에 지역적 요소를 고려하여도 바람장의 변화가 그다지 크지 않으며, 따라서 파고의 변화도 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

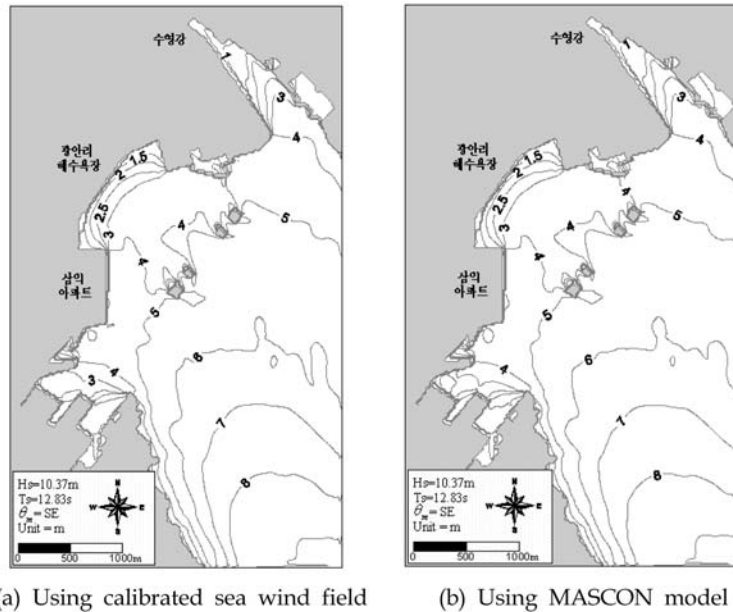


Fig. 6. Comparison of wave height distributions around Gwanganri in case of typhoon Sarah.

4. 결 론

본 연구에서는 지역적 특성으로서 차폐와 개방되어 있는 부산광역시 강서구 녹산국가산업단지 전면해역과 부산광역시 수영구 광안리 주변해역을 대상으로 기존의 태풍모델에 의한 해상풍과 본 연구의 MASCON모델에 의한 해상풍을 SWAN모델에 적용하여 천해파랑을 산정하였다. 결과에 의하면 차폐된 해역(녹산국가산업단지 전면해역)에서 MASCON 모델로 산정한 해상풍을 천해파랑산정에 이용하는 경우태풍모델에 의한 해상풍을 천해파랑산정에 이용한 경우에 비해 다소 복잡하고 높은 파고분포를 나타내었고, 상대적으로 개방된 해역(광안리 주변해역)에서는 육상지형이 천해파랑의 산정에 미치는 영향은 그다지 크지 않은 것을 알 수 있었다.

따라서 차폐된 지역에서의 해상풍 뿐만 아니라 복잡한 육상지형이 접해 있는 해역의 천해파랑산정에 있어서 해상풍을 이용할 경우, 본 연구에서 검토된 MASCON모델과 같이 육상지형을 고려할 수 있는 해상풍 산정 모델의 이용이 필요할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서는 상대적으로 개방된 해역에서의 천해파랑산정에 MASCON모델에 의한 해상풍을 이용할 경우, 그다지 큰 영향은 발견되지 않았으나, 바람장 산정을 위한 격자의 해상도를 높인다면 개방된 해역이라 할지라도 육상

지형의 영향이 나타날 것으로 판단되며, 이는 차후의 과제로 남겨둔다.

참고문헌

- 장윤구, 富田孝史, 김도삼, 안성모 (2004). 태풍 매미내습시 남동연안에서의 해일파랑에 의한 침수재해 특성, 한반도 해역의 고파폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해양해양공학회, 35-43.
- 김경옥, 山下隆男 (2004). 해파-해일 복합현상에 의한 해일 고 산정, 한반도 해역의 고파폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해양해양공학회, 81-86.
- 최병호, 임현민, 김현승, 정원무, 심재설 (2004). Wave-Tide-Surge Coupled Simulation for Typhoon Maemi, 한반도 해역의 고파폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해양해양공학회, 121-144.
- 한국토지공사 (2005). 녹산산단 태풍매미 피해원인 분석용역 보고서.
- 한국해양연구원 (2005). 전해역 심해설계과 추정 보고서 (II).
- 한국컨테이너부두공단 (2003). 부산항 컨테이너크레인 태풍 피해 원인조사 용역보고서.
- 해양수산부 (2005). 항만 및 어항설계기준.
- 허동수, 염경선, 김지민, 김도삼, 배기성 (2006). 부산연안에서 폭풍해일고의 추정, 한국해양공학회지 20(3), 37-45.
- Booij, N., Haagsma, I.J.G., Holtjuijsen, L.H., Kieftenburg,

- A.T.M.M., Ris, R.C., Van Der Westhuysen, A.J. and Zijlema, M. (2004). SWAN-User manual. Delft University of Technology, Environmental Fluid Mechanics Section, available from <http://www.fluidmechanics.tudelft.nl/swan/index.htm>(Version 40.41AB, Desember 2004).
- Goda, Y. (1985). Random Seas and Design in Maritime Structures, University of Tokyo.
- Goto, C. and Shibaki, H. (1993). A Hindcast of Marine Surface Wind Including Effects of Land Topography, Report of Port and Harbour Research Institute, 32(3), 65-97.
- 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), *Ergänzungsheft zur Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe 12*(A8).
- Kawai, H., Kim, D.S., Kang, Y.K., Tomita, T. and Hiraishi, T. (2005a). Hindcasting of Storm Surge at Southeast Coast by Typhoon Maemi, *한국해양공학회지*, 19(2), 12-18.
- Kawai, H., Kim, D.S., Kang, Y.K., Tomita, T. and Hiraishi, T. (2005b). Hindcasting of Storm Surges in Korea by Typhoon 0314(Maemi), *Proceeding of the 15th International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE*, 446-453.
- Myers, V.A. and Malkin, W. (1961). Some Properties of Hurricane Wind Fields as Deduced from Trajectories, U.S. Weather Bureau, National Hurricane Research Project, Report 49.
- 紫木秀之 (2004). 波浪·高潮·津波の数値計算と沿岸防災支援システムへの用に關する研究, 東京大學 博士學位論文.

Received December 5, 2006

Accepted February 10, 2007