

## 부산연안에서 폭풍해일고의 추정

허동수\* · 염경선\*\* · 김지민\*\*\* · 김도심\*\*\*\* · 배기성\*

\*경상대학교 토목환경공학부 해양산업연구소

\*\*경상대학교 대학원 토목환경공학부

\*\*\*한국해양대학교 대학원 건설환경공학부

\*\*\*\*한국해양대학교 건설환경공학부

## Estimation of Storm Surges on the Coast of Busan

DONG-SOO HUR\*, GYEONG-SEON YEOM\*\*, JI-MIN KIM\*\*\*, DO-SAM KIM\*\*\*\* AND KI-SUNG BAE\*

\*Institute of Marine Industry, Division of Civil and Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

\*\*Division of Civil and Environmental Engineering, Graduate School, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

\*\*\*Division of Construction and Environmental Engineering, Graduate School, Korea Maritime University, Busan, Korea

\*\*\*\*Division of Construction and Environmental Engineering, Korea Maritime University, Busan, Korea

**KEY WORDS :** Typhoon Maemi 태풍 매미, Typhoon Sarah 태풍 사라, Typhoon Thelma 태풍 셀마, Numerical simulation 수치시뮬레이션, Storm surge height 폭풍해일고, Coast of Busan 부산연안

**ABSTRACT:** Each year, the coast of Busan is badly damaged, due to storm surge. The damages are greatly dependent upon the local peculiarities of the region in which the storm surge occurs. So, in order to prevent/reduce recurrence of the disaster due to the storm surge, it is very important to investigate the fluctuation characteristics of the storm surge height, related to the local peculiarities at each coastal area in which the occurrence of the disaster is expected. In this paper, using the numerical model, the storm surge was simulated to examine its fluctuation characteristics at the coast of Busan. Typhoons of Sarah (5914), Thelma (8705) and Maemi (0314), which caused terrible damage to the coastal areas along the coast of Busan in the past, were taken as an object of the storm surge simulations. Moreover, the storm surge due to virtual typhoons, which were combined with the characteristics of each proposed typhoon (Maemi, Sarah, Thelma), compared to the travel routes of other typhoons, was predicted. As expected, the results revealed that the storm surge heights are enhanced at the coastal region with the concavity like a long-shaped bay. Also, the storm surge heights, due to each typhoon, were compared and discussed at major points along the coast of Busan, related to the local peculiarities, as well as the characteristics and the travel route of the typhoon.

### 1. 서 론

우리나라 남해안의 동부에 해당하는 부산의 연안역은 지금 까지 대형태풍의 진로상에 놓임으로 인하여 거의 매년 태풍으로 인한 막대한 연안재해를 입어왔으며, 1959년도의 14호 태풍 Sarah 및 2003년도의 14호 태풍 Maemi는 근래에 부산연안에 엄청난 물적 및 인적피해를 초래한 대표적인 대형급의 태풍이었다. 이와 같은 대형태풍의 발생은 급격한 지구환경변화와 더불어 향후 발생빈도가 더욱 빈번할 것으로 예측되고 있고, 또한 태풍의 규모 및 재해 규모도 증대될 것으로 예상되고 있다.

태풍에 의한 피해는 일반적으로 강풍에 의한 가옥 등의 붕괴와 더불어 발생하는 폭풍해일(조위편차)에 의한 해수면상승으로 인한 침수피해가 큰 요인이며, 여기서 폭풍해일의 경우는 만조와 만하는 경우에 해안가의 저지대에 광범위한 범람을 야기시켜 침수로 인한 많은 물적피해와 인적피해를 발생시키게 된다. 이와 같이 부산연안에서 연안재해의 주요한 인자인 폭풍

해일의 위험성이 대한 인식이 비교적 높아지고 있으며, 최근 2003년도의 14호 태풍 Maemi에 의한 엄청난 재해를 입은 후로 폭풍해일에 관한 연구가 국내에서 다소간 수행되었으며, 그의 대표적인 연구로 강용균(2004), 강윤구(2005), 강윤구 등(2004), 김경우 등(2004), 최병호(2004), 최병호 등(2004) 및 Kawai et al.(2005a, b)을 들 수 있지만 과거의 태풍에 의한 폭풍해일고의 특성뿐만 아니라, 부산연안내에서도 지역별로 큰 편차를 나타내는 폭풍해일고의 지역적인 분포특성은 충분히 검토되고 있지 않다. 이와 같은 과거의 대형태풍을 포함한 폭풍해일고의 지역적인 분포특성은 지역내에서 연안방재계획의 수립 및 연안재해예보에 주요한 요소이므로 조속히 검토되어야 할 과제이다.

따라서 본 연구에서는 폭풍해일의 피해에 가장 많이 노출되어 있는 부산연안역을 대상으로 폭풍해일고의 검토를 위한 수치시뮬레이션을 실시하였다. 먼저 2003년 9월 12일 경남 사천에 상륙(당시 중심기압 950hPa)하여 경남 및 부산연안역에 막대한 피해를 입혔고, 과거 태풍중에 태풍규모와 재해규모의 양측면에서 각종 기록을 경신한 14호 태풍 Maemi를 대상으로 폭풍해일고를 산정하였다. 다음으로

교신저자 허동수: 경남 통영시 인평동 445번지

055-640-3152 dshur@nongae.gsnu.ac.kr

과거의 기록에서 부산을 포함한 우리나라 남해동부연안에 큰 피해를 발생시킨 1959년 14호 태풍 Sarah와 1987년 5호 태풍 Thelma 상륙시의 부산연안역에서의 폭풍해일고를 재현하였다. 단, 재현계산시에는 현재의 해저지형을 이용하였다. 또한 내습가능한 폭풍해일에 의한 위험성을 충분히 검토하기 위하여 태풍 Maemi, Sarah 및 Thelma 상륙시의 이동경로에 이들 각각의 태풍특성(중심기압, 태풍의 이동속도 및 태풍반경)을 조합시킨 조건하의 폭풍해일고를 시뮬레이션으로부터 산정하여, 향후 충분히 발생할 수 있는 가상의 태풍에 의한 폭풍해일고의 지역별 분포특성을 검토하였다.

## 2. 폭풍해일 시뮬레이션

### 2.1 기초방정식

본 연구의 폭풍해일 수치시뮬레이션에는 저기압에 의한 수면상승과 바람에 의한 수면상승을 고려한 비선형장파이론과 단층모델을 적용하였다. 폭풍해일추산에 이용하는 해상풍(해면상 10m 높이에서 바람)은 2.4절에서 설명되는 Myers and Malkin(1961)의 기압분포를 가정한 태풍모델로부터 추산된 자유대기풍(기압경도풍과 태풍의 이동에 의한 바람장)에 해면마찰을 고려하였다. 일반적으로 자유대기풍을 해상풍으로 변환시킬 때, 해면상의 풍속의 연직분포가 대수분포인 것을 감안하여 자유대기의 바람장에 0.6~0.7 정도의 풍속 저감율을 곱하여 사용하며, 경도풍의 풍향을 저압부를 향해 약 30의 각도로 편향시켜서 사용하며, 위경도에 따라 그 값은 변화한다. 이와 같이 대상으로 하는 태풍들(Sarah, Thelma, Maemi)의 풍속에 따라 풍속의 저감율과 편향각의 값을 다르게 적용하여야 하나, 본 연구에서는 계산의 편의상 풍속의 저감율을 0.67, 풍향의 편향각을 30로 일정하게 설정하였다.

본 연구에 이용된 기초방정식은 다음의 연속식 (1)과 운동방정식 (2)~(4)로 구성된다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= fv - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial x} \\ &+ A_h \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{dv}{dt} &= -fu - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial y} \\ &+ A_h \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\frac{dw}{dt} = -g - \frac{1}{\rho_w} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (4)$$

여기서,  $x, y$ 는 수평방향으로,  $z$ 는 연직방향으로 취한 좌표계이고,  $u, v, w$ 는 각각  $x, y, z$ 방향의 유속성분이다. 그리고  $f$ 는 Coriolis계수,  $\rho_w$ 는 해수의 밀도,  $p$ 는 수압,  $A_h$ 와  $A_v$ 는 수평 및 연직와동접성계수,  $g$ 는 중력가속도이다.  $\eta$ 는 폭풍해일에 의한 수면변위이다.

식 (1)을 해저  $z = -h$ 에서 해면  $z = \eta$ 까지 적분하면 다음의 식 (5)를 얻는다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

여기서,  $N, M$ 은 다음의 식 (6)과 같이 나타낼 수 있으며,  $D$ 는 기본수심  $h$ 과 폭풍해일에 의한 수면변위  $\eta$ 를 합한 전수심이다.

$$\left. \begin{aligned} M &= \int_{-h}^{\eta} u dz = U(h + \eta) = UD \\ N &= \int_{-h}^{\eta} v dz = V(h + \eta) = VD \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

식 (4)를  $z$ 방향에 대해서 적분하면 다음의 식이 얻어진다.

$$p = \rho_w g(\eta - z) + p_0 \quad (7)$$

여기서,  $p_0$ 는 수면에서의 기압이다.

식 (7)을 식 (2) 및 (3)에 대입하여 해저  $z = -h$ 에서 해면  $z = \eta$ 까지 적분하면 다음의 식 (8)과 (9)가 얻어진다.

$$\begin{aligned} &\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{MN}{D} \right) \\ &= fN - gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_0}{\partial x} \\ &+ \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_w} + A_h \left( \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{N^2}{D} \right) \\ &= -fM - gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{D}{\rho_w} \frac{\partial p_0}{\partial y} \\ &+ \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_w} + A_h \left( \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,  $\tau_{sx}$ 와  $\tau_{sy}$  및  $\tau_{bx}$ 와  $\tau_{by}$ 는 해면 및 해저에서  $x, y$ 방향으로 각각의 전단력이며, 다음의 식 (10)과 (11) 및 식 (12)와 (13)으로 나타내어진다.

$$\tau_{sx} = \rho_a C_D W_x \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (10)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_D W_y \sqrt{W_x^2 + W_y^2} \quad (11)$$

$$\tau_{bx} = \frac{\rho_w g n^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (12)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho_w g n^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (13)$$

여기서,  $\rho_a$ 는 대기밀도,  $W_x$ 와  $W_y$ 는 해면상 10m에서 각각  $x, y$ 방향으로 풍속,  $n$ 은 Manning의 조도계수이다. 식 (10)과 식 (11)에 포함되는 해면저항계수(항력계수)에 대해서는 아직까지 검토해야 할 요소가 많이 존재하며, 이러한 해면저항계수를 조절함에 의해 과거에 내습한 폭풍해일고를 고정으로 재현할 수 있으나, 폭풍해일고의 예측적인 측면에서는 어떠한 값을 이용해야 할지 아직 불명확한 상태이다. 따라서 이와 관련된 많은 경험값이 제안되어 있지만, 본 연구에서는 Mitsuyasu and Kusaba(1984)에 의한 제안식을 사용하였다.

$$C_D = \begin{cases} (1.290 - 0.024W)/10^3 & (W < 8) \\ (0.581 + 0.063W)/10^3 & (W \geq 8) \end{cases} \quad (14)$$

이상과 같은 폭풍해일의 시뮬레이션을 위해서는 연속식 (5)와 비선형장파방정식 (8) 및 (9)를 동시에 수치적으로 풀어야 하며, 이에 수치기법으로 유한차분법을 적용하였다.

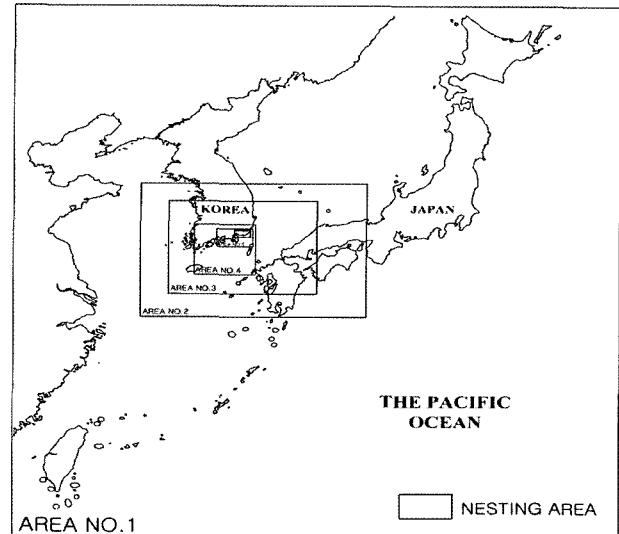
## 2.2 계산대상영역

폭풍해일 시뮬레이션의 대상영역은 Fig. 1(a)에 나타내는 것과 같이 태풍의 주경로를 포함하기 위해 한국 및 일본과 태평양을 포함하는 광역으로 설정하였다.

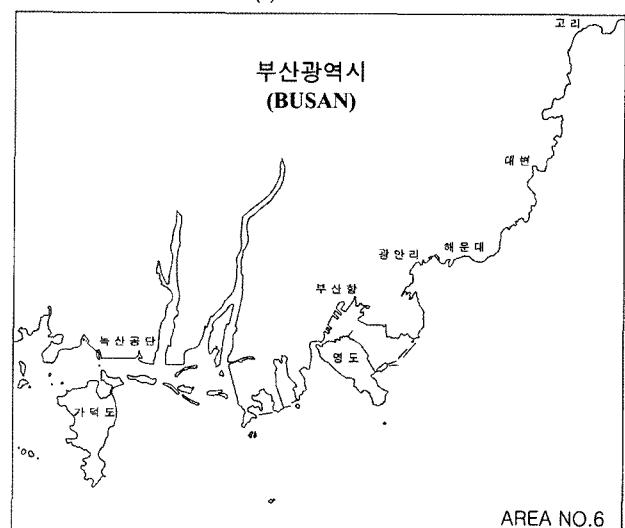
관심영역에서의 계산정도를 높이기 위하여 계산영역을 제1영역에서 제6영역까지 Nesting하여 계산을 수행하였다. 계산격자는 제1영역에서 32.4km의 격자크기로 시작되어, 순차적으로 16.2km, 5.4km, 1.8km, 600m로 작아지는 격자간격을 사용하였으며, 관심의 대상영역인 제6영역 즉, Fig. 1(b)에 나타내는 부산연안역에 있어서 최소격자간격은 200m로 설정되었다.

## 2.3 계산에 이용된 태풍경로 및 조건

Fig. 2는 본 연구에서 대상으로 하는 태풍 Sarah(5914)와 Thelma(8705) 및 Maemi(0314)의 진행경로를 나타내며, 그림으로부터 3개의 태풍은 남부연안을 통과하는 대표적인 정상진행 경로라는 것을 알 수 있다. 태풍 Sarah(5914)는 한반도로 직접 상륙하지 않고 부산 앞바다를 통과하였으나, 태풍이 남해안에 상륙할 당시의 기압심도(대기압 1013hPa)과 태풍중심기압과의 기압차)가 68hPa로써 태풍 Maemi(기압심도 63hPa)나 Thelma



(a) Wide area



(b) Object area

Fig. 1 Area of storm surge simulation

(기압심도 43hPa)가 남해안에 상륙할 당시 보다 높은 수치를 나타내고 있다. 전라남도 고흥반도 인근으로 상륙하여 한반도의 중앙을 관통한 태풍 Thelma(T8705)는 Rusa(T0215) 이전 한반도에 내습한 태풍 가운데 재산피해로서는 최고를 기록하였다(이종섭 등, 1990). 또한 과거최대태풍으로 인식되고 있는 태풍 Maemi는 경남 사천 부근의 해안으로 상륙하여 북북동진하여 경남 함안을 거쳐 경북 울진해안을 통해 동해상으로 진출하였다.

본 연구에서는 전술한 바와 같이 태풍 Maemi뿐만 아니라 부산연안역에 인적·물적으로 큰 재해를 발생시킨 태풍 Sarah 및 Thelma에 의한 폭풍해일고의 수치시뮬레이션을 실시하였다. 또한 이들 과거 태풍의 조합에 의한 4개의 가상태풍에 대해서도 수치시뮬레이션을 수행하였으며, 계산에 이용된 태풍경로 및 조건의 조합을 Table 1에 나타내었다.

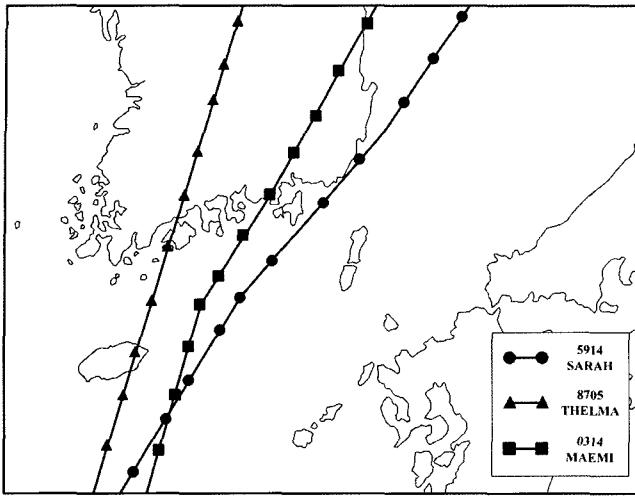


Fig. 2 Route of typhoons used to numerical simulation

Table 1 Typhoon conditions and routes used in storm surge simulation

Conditions	Routes	Case
Sarah	Sarah	Case-1
Thelma	Thelma	Case-2
Maemi	Maemi	Case-3
Sarah	Thelma	Case-4
Sarah	Maemi	Case-5
Maemi	Sarah	Case-6
Maemi	Thelma	Case-7

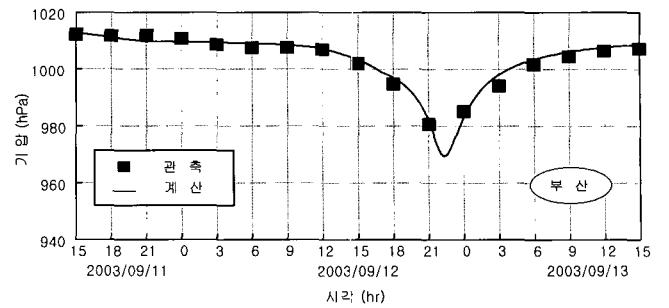
#### 2.4 수치시뮬레이션의 타당성 검증

폭풍해일고의 시뮬레이션을 실시함에 있어서 우선 태풍 Maemi에 대한 수치계산을 수행하여 본 연구에서 설정한 계산 조건 및 수치시뮬레이션기법의 타당성을 검토하였다. 폭풍해일의 추산에 이용된 기압분포에는 다음의 Myers and Malkin(1961)의 분포식을 사용하였고, 최대풍속반경  $r_0$ 는 남해안의 관측기압으로부터 구하였다.

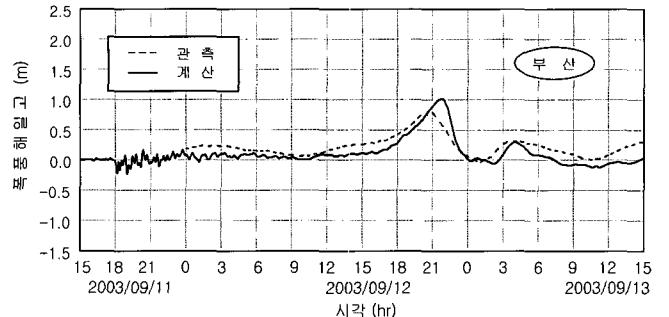
$$p = p_c + \Delta p \exp\left(-\frac{r_0}{r}\right) \quad (15)$$

여기서,  $p$ 는 태풍의 중심으로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 점에서의 기압,  $p_c$ 는 태풍의 중심기압,  $\Delta p$ 는 기압심도,  $r_0$ 는 태풍 반경이다.

Fig. 3(a)는 태풍 Maemi의 통과시에 부산항검조소에서 관측된 기압과 수치시뮬레이션에 의한 기압의 시간변화를 비교한 결과이다. 횡축과 종축은 각각 시간 및 기압변화를 나타내고, 짙은 사각형은 관측치를 실선은 계산치를 각각 나타낸다. Fig. 3(a)을 통해 알 수 있는 바와 같이 계산치는 관측치를 잘 재현



(a) Time variations of pressure



(b) Time variations of storm surge

Fig. 3 Comparison between measured and calculated at Busan tide station

하고 있다. Fig. 3(b)는 태풍 Maemi 내습시에 부산항검조소에서 관측된 폭풍해일고와 수치계산으로부터 얻어진 폭풍해일고의 시간변화를 각각 비교하고 있다. 점선은 관측치이고, 실선은 계산치를 의미한다. 폭풍해일고의 피크치에서 계산치가 약간 과대평가되고 있지만, 계산치와 관측치와의 전반적인 일치성을 살펴보면 연안형상에 따른 폭풍해일고의 위험성 검토라는 측면상 본 연구의 수치모델은 충분한 정도를 가지고 있는 것으로 판단된다.

향후 조석, 밀도 성층, Wavesetup 및 육상 지형의 영향 등을 고려할 경우 더욱 높은 정도의 폭풍해일고를 재현할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 최대폭풍해일고 분포

Fig. 4는 Table 1에 나타내고 있는 각 경우에 대해 추정된 최대폭풍해일고의 공간분포를 나타내고 있다. 먼저 과거내습태풍인 태풍 Sarah, Thelma 및 Maemi에 대한 수치계산결과를 살펴보면 Fig. 4(a)의 태풍 Sarah는 부산을 안전반원상에 두고 남해안을 통해 부산 앞바다로 통과하였고, Fig. 4(b)의 태풍 Thelma가 부산을 위험반원상에 두고 이동하였지만 부산연안으로부터 멀리 떨어진 전라남도 고흥반도지역으로 상류한 관계로 Fig. 4(a)의 태풍 Sarah가 Fig. 4(b)의 Thelma 내습시보다 높은 조위편차를 발생시켰다. 또한 태풍 Sarah(중심기압 945hPa) 내습시가 Thelma(중심기압 970hPa) 내습시보다 낮은 중심기압을 나타낸 것도 태풍 Thelma보다 Sarah 내습시에 보

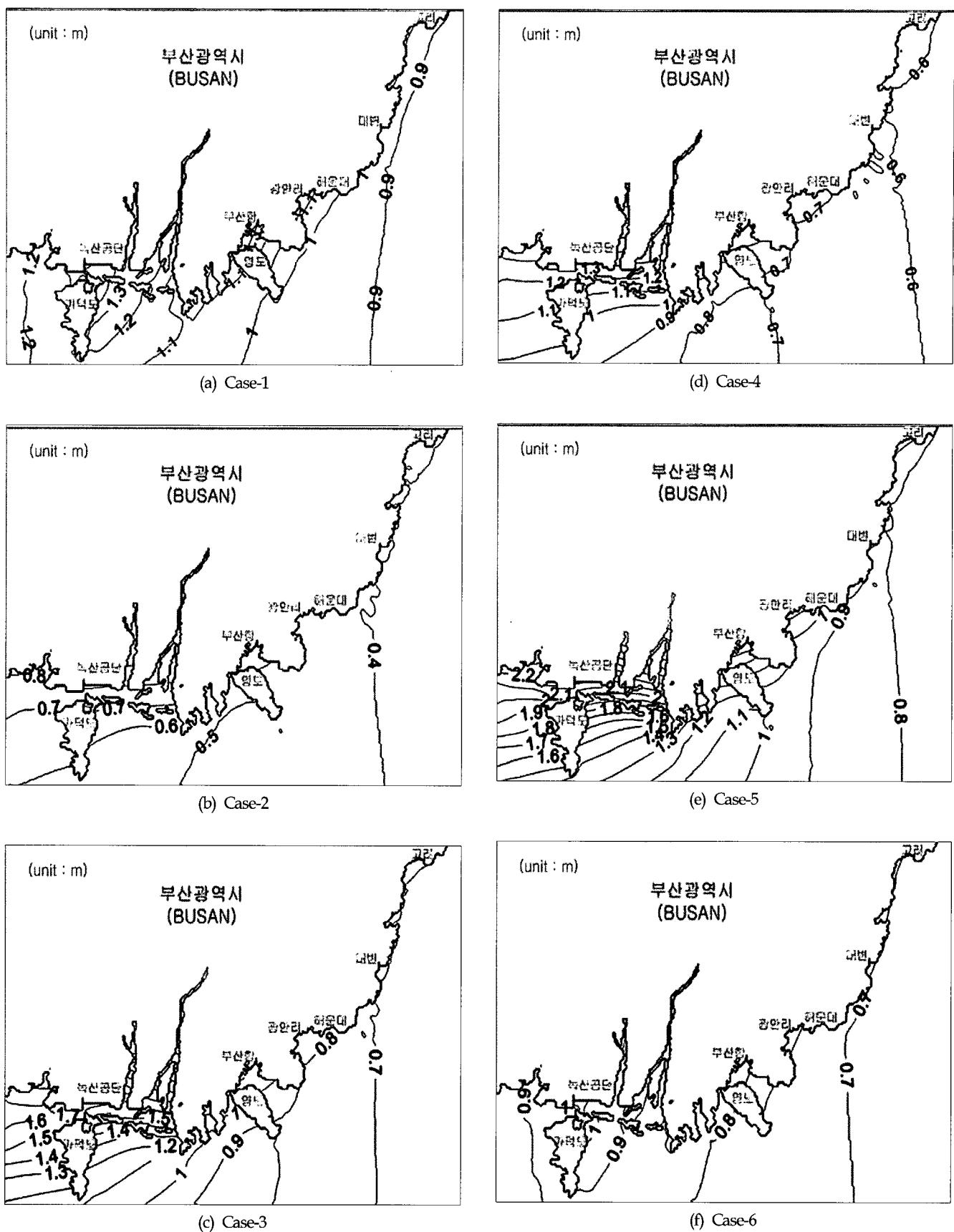


Fig. 4 Distribution of maximum storm surge

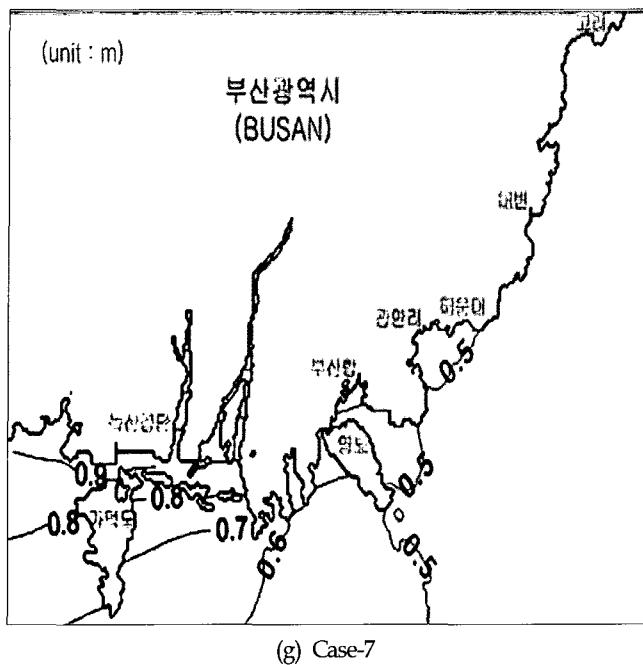


Fig. 4 Distribution of maximum storm surge(continued)

다 높은 조위편차를 발생시킨 이유로 들 수 있다. Fig. 4(a)의 태풍 Sarah는 부산을 안전반원상에 두고 진행하였고, 반면에 Fig. 4(c)의 태풍 Maemi는 부산을 위험반원상에 두고 진행한 관계로 녹산공단 및 가덕도 인근의 부산 서부연안은 태풍 Maemi(Case-3)가 높은 조위편차를 나타내었고, 광안리 및 해운대를 비롯한 부산 동부연안은 태풍 Maemi(중심기압 950hPa) 보다 중심기압이 낮은 태풍 Sarah 내습시가 보다 높은 조위편차를 기록하였다. 하지만 Fig. 4(b)와 (c)의 태풍 Maemi와 Thelma의 비교에서는 Fig. 4(c)의 태풍 Maemi 내습시가 부산의 전연안역에서 높은 조위편차를 나타내었다. 이는 태풍 Thelma와 Maemi의 진행경로 및 중심기압으로부터 충분히 유추되는 결과이다. 이상의 과거에 내습한 태풍(Sarah, Thelma, Maemi)에 있어서 부산 서부연안에는 태풍 Maemi, 부산 동부연안에는 태풍 Sarah 내습시에 가장 높은 폭풍해일고를 기록하였다.

다음으로 가상태풍에 대한 수치해석결과를 살펴본다. Case-4와 Case-5는 태풍 Sarah가 Thelma와 Maemi의 경로로 통과한 경우로, 결과에 의하면 태풍 Thelma와 Maemi의 내습시보다 20~50cm나 높은 조위편차를 발생시켰다. 그러나 태풍 Maemi가 Sarah의 경로로 통과한 Case-6의 경우는 태풍 Sarah보다도 낮은 조위편차를 나타내었고, 태풍 Maemi가 Thelma의 경로로 통과한 Case-7의 경우에는 실제 태풍 Thelma의 경우보다 10cm정도 높은 조위편차를 나타내었다. 이는 최대중심기압이 높고 태풍진행방향의 우측이 더 높은 폭풍해일고를 나타낸다는 일반적인 태풍의 특성으로부터 예측할 수 있는 결과이다.

이상으로부터 태풍의 이동경로의 영향을 보면 태풍 Maemi 내습시에, 중심기압의 영향을 보면 태풍 Sarah 내습시에 각각 부산연안에서 큰 조위편차를 나타냄을 알 수 있다. 또한 부산 서부연안에서는 Case-5의 경우에 높은 폭풍해일고가 발생됨을

알 수 있으며, 부산 동부연안에서는 태풍 Sarah 내습시인 Case-1에서 높은 폭풍해일고가 발생됨을 알 수 있다. 또한 일반적으로 폭풍해일고는 외양에 면한 연안에서보다는 수괴의 진행이 차폐되는 지역이나 만의 형상을 갖고 수심이 얕은 만의 내부에서 더욱 높게 발생하는 것으로 알려져 있는데 이러한 경향을 Fig. 4에서 볼 수 있다. 거의 모든 태풍조건에 있어서 녹산공단지역과 낙동강 하구지역에서의 조위편차가 외양에 면한 연안보다 높게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

### 3.2 최대폭풍해일고의 비교

부산 연안역의 각 지역 특성에 따른 폭풍해일의 변동을 검토하기 위하여 Fig. 5에 나타낸 것과 같은 28개 지점에서 최대폭풍해일고를 산출하였다. Fig. 6에 과거에 내습한 태풍(Maemi, Sarah, Thelma)과 이를 조합한 4개의 가상태풍에 대한 수치시뮬레이션으로부터 각각의 조건에 대한 지역별 최대폭풍해일고를 나타내었으며, 또한 Table 2에는 이러한 결과치를 수치로 나타내었다. 본 연구에서는 편의상 No.1~No.14를 부산 서부연안으로, No.15~No.28를 부산 동부연안으로 구분하여 나타내었다.

부산 서부연안역에 속한 No.1(가덕도 천성항), No.2(부산신항 전면), No.3(녹산공단 전면), No.4(괴정천)에서는 Fig. 8(a)에서 알 수 있는 바와 같이 태풍 Maemi(Case-3) 내습시와 Case-5의 경우에 높은 폭풍해일고가 나타났다. 특히 Case-5의 No.4(괴정천)는 과거태풍의 최대치인 태풍 Maemi(Case-3) 내습시 1.9m보다 60cm나 높은 2.5m의 조위편차를 나타냈다. 이러한 지역에서 특히 높은 폭풍해일고를 나타내는 것은 태풍의 특성(중심기압, 이동속도, 태풍반경)과 이동경로의 영향도 있지만 녹산공단 전면과 가덕도 사이의 협수로로 인하여 수괴의 진행이 차폐되고, 낙동강 하구와 같이 만의 길이가 길고 수심이 얕은 지역적 특성이 큰 영향을 미친것으로 판단된다(강윤구 등, 2004; 이종섭 등, 2004).

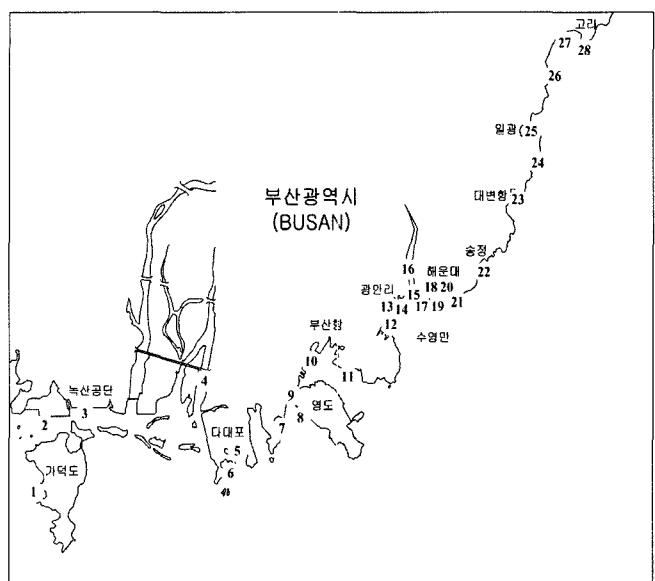


Fig. 5 Data extraction point around Busan coast

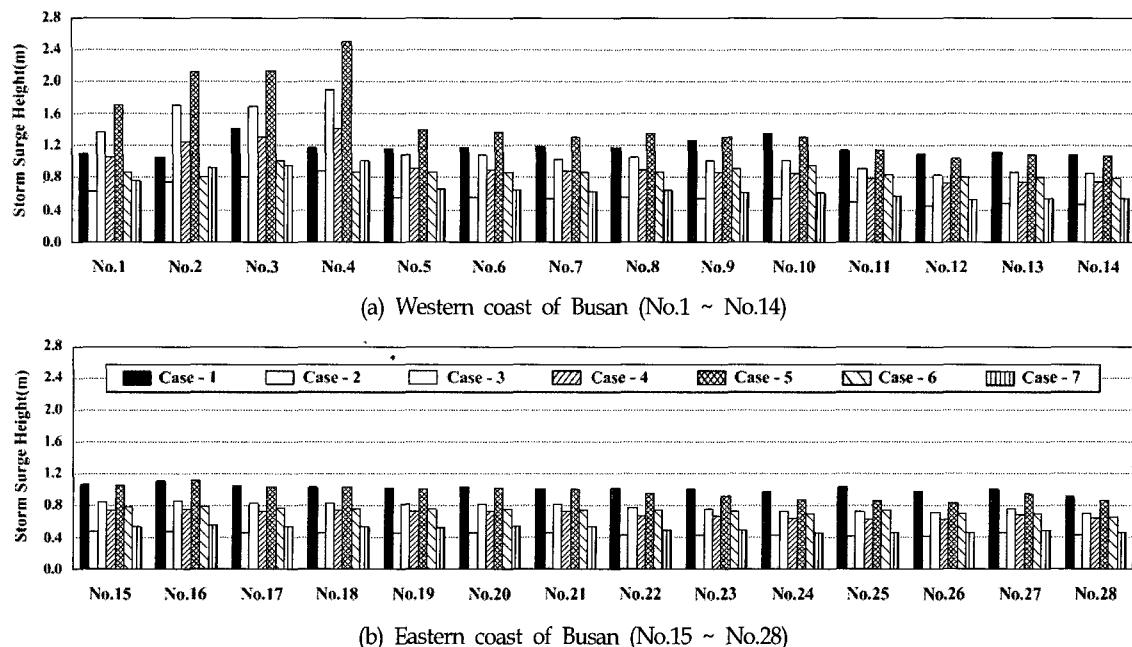


Fig. 6 Comparison of maximum storm surge according to difference of typhoon conditions

Table 2 Comparison of maximum storm surge according to difference of typhoon conditions

Point	Calculated site	Case-1 (m)	Case-2 (m)	Case-3 (m)	Case-4 (m)	Case-5 (m)	Case-6 (m)	Case-7 (m)
No.1	Gadeokdo Cheonseong harbor	1.10	0.63	1.36	1.05	1.70	0.86	0.76
No.2	Busan newport	1.06	0.75	1.71	1.25	2.12	0.81	0.92
No.3	Noksan industrial estate	1.41	0.80	1.69	1.30	2.14	1.02	0.96
No.4	Goejeong rivulet	1.17	0.88	1.90	1.41	2.50	0.86	1.01
No.5	Dadaepo(upper)	1.16	0.56	1.09	0.91	1.40	0.87	0.66
No.6	Dadaepo(lower)	1.17	0.56	1.08	0.90	1.37	0.87	0.65
No.7	Songdo beach	1.19	0.54	1.03	0.88	1.30	0.87	0.63
No.8	Yeongdo Namhang-dong	1.18	0.55	1.05	0.90	1.35	0.86	0.64
No.9	Busan tide station	1.26	0.54	1.02	0.86	1.31	0.91	0.62
No.10	Busan port	1.35	0.54	1.01	0.85	1.31	0.96	0.61
No.11	Gamman C/Y	1.14	0.50	0.91	0.79	1.15	0.84	0.57
No.12	Samick beach town	1.10	0.46	0.83	0.73	1.04	0.80	0.52
No.13	Gwangalli beach	1.12	0.48	0.86	0.75	1.09	0.81	0.54
No.14	Gwangalli amusement part	1.09	0.47	0.85	0.75	1.07	0.79	0.54
No.15	Millak waterside park	1.07	0.47	0.84	0.74	1.05	0.78	0.53
No.16	Suyeong river	1.10	0.48	0.86	0.76	1.10	0.79	0.55
No.17	Hanwha resort	1.05	0.46	0.82	0.73	1.04	0.77	0.53
No.18	Maritime tourist hotel	1.03	0.46	0.83	0.74	1.04	0.76	0.53
No.19	Dongbak island	1.02	0.46	0.81	0.72	1.01	0.75	0.52
No.20	Haeundae beach	1.04	0.46	0.81	0.73	1.02	0.76	0.53
No.21	Haeundae Mipo	1.01	0.46	0.81	0.73	1.01	0.74	0.53
No.22	Songjeong beach	1.02	0.43	0.77	0.67	0.94	0.74	0.49
No.23	Daebyeon harbor	1.00	0.43	0.75	0.67	0.92	0.72	0.49
No.24	Duho harbor	0.97	0.42	0.72	0.64	0.87	0.70	0.46
No.25	Ilgwang beach	1.03	0.41	0.72	0.62	0.86	0.74	0.45
No.26	Chilam harbor	0.98	0.41	0.71	0.62	0.83	0.70	0.45
No.27	Imnang beach	1.00	0.45	0.75	0.68	0.94	0.70	0.49
No.28	Gori nuclear power site	0.91	0.42	0.70	0.63	0.85	0.65	0.46

하지만 Fig. 6(b)에서와 같이 부산 동부연안에 가까워지면 서부연안과 같은 높은 폭풍해일고를 나타내는 곳은 없다. 이는 부산 동부연안이 얇은 내만이나 차폐영역이 존재하지 않는 대체적으로 평활한 해안선으로 이루어져있기 때문이며, 동부연안의 수위상승에는 지형적인 영향보다는 태풍의 특성(중심기압, 이동속도, 태풍반경)과 이동경로가 주요한 영향을 미치는 것으로 판단된다. 이와 같이 태풍의 특성과 이동경로에 따라 폭풍해일고에 큰 차이가 발생될 수 있다는 것을 알 수 있으며, 연안의 평면적인 형상 및 수심 등이 폭풍해일고에 큰 영향을 준다는 사실을 확인할 수 있다. 따라서 폭풍해일의 내습시에 불리한 지형특성과 얕은 수심 및 긴 내만을 갖는 연안에서는 특별한 주의와 대책이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근 부산연안역에 엄청난 피해를 입힌 태풍 Maemi(0314)와 이전에 인적·물적으로 큰 재해를 발생시킨 태풍 Sarah(5914)와 Thelma(8705)를 대상으로 부산연안의 각 지역별로 상세한 폭풍해일고를 추정하였고, 또한 과거 태풍 조합에 의한 4개의 가상태풍에 대해서도 수치시뮬레이션을 수행하였다. 또한 본 해일고의 타당성을 검증하기 위하여 태풍 Maemi 통과시에 부산기상대와 부산항검조소에서 관측된 기압 및 폭풍해일고의 시간변화와 본 연구에 의한 수치해석결과치를 각각 비교·분석하였으며, 이로부터 전반적인 좋은 대응성을 확인할 수 있었다. 보다 정도 높은 폭풍해일고를 추산하기 위하여 조석, 밀도성층, 하천수의 유입, Wave-setup 등을 고려할 필요가 있고, 또한 해상풍의 추산에 육상지형의 영향을 고려할 수 있는 모델(3D-MASCON model, 3D-SOLA model) 등을 적용할 필요가 있을 것으로 판단되며, 이들은 향후 해결되어야 할 과제이다. 이하에 본 연구에서 얻어진 주요한 사항을 나타내면 다음과 같다.

- (1) 과거에 내습한 태풍(Sarah, Thelma, Maemi)의 수치시뮬레이션으로부터 부산 서부연안에서는 태풍 Maemi가, 부산 동부연안에서는 태풍 Sarah가 가장 높은 폭풍해일고를 나타내었다.
- (2) 과거태풍을 조합시킨 상황하에서 부산 서부연안 및 동부연안 모두 태풍 Sarah를 Maemi의 이동경로로 진행시킨 경우가 가장 높은 폭풍해일고를 나타내었다.
- (3) 부산 서부연안에서는 녹산공단 전면과 가덕도 사이의 협수로로 인하여 수괴의 진행이 차폐되고, 더불어 낙동강하구와 같이 만의 길이가 길고 수심이 얕은 지형적인 특성으로 조위편차가 크게 나타났으며, 부산 동부연안에서는 대체적으로 평활한 해안선으로 이루어져 있기 때문에 지형적인 영향보다는 태풍의 특성(중심기압, 이동속도, 태풍반경)과 이동경로에 영향을 크게 받는다.

#### 후 기

본 연구를 수행하기 위해 많은 도움을 주신 일본 항만공항기술연구소 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- 강용균 (2004). "태풍 '매미' 통과시의 해일공명", 한반도 해역의 고파·폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해안·해양공학회, pp 57-62.
- 강윤구 (2005). "태풍 매미 내습시 해일·고파랑에 의한 호안·안벽에서의 수위증가 패턴 고찰", 한국해양공학회지, 제19권, 제6호, pp 22-28.
- 강윤구, 토미타, 김도삼, 안성모 (2004). "태풍 매미내습시 남동연안에서의 해일·파랑에 의한 침수재해 특성", 한반도 해역의 고파·폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해안·해양공학회, pp 35-43.
- 김경옥, 야마시타 (2004). "해파-해일 복합현상에 의한 해일고산정, 한반도 해역의 고파·폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해안·해양공학회, pp 81-86.
- 이종섭, 주귀홍, 장선덕 (1990). "부산 연안 폭풍해일의 변동양상과 수치예측", 한국해안·해양공학회 논문집, 제2권, 제2호, pp 104-111.
- 이종섭, 한성대 (2004). "마산시의 해일방재대책 방향설정에 관한 고찰", 한반도 해역의 고파·폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해안·해양공학회, pp 45-47.
- 최병호 (2004). "태풍 매미호에 의한 해안 재해", 한반도 해역의 고파·폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해안·해양공학회, pp 1-34.
- 최병호, 엄현민, 김현승, 정원무, 심재설 (2004). "Wave-Tide-Surge Coupled Simulation for Typhoon Maemi", 한반도 해역의 고파·폭풍해일 워크숍 논문집, 한국해안·해양공학회, pp 121-144.
- 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, 제19권, 제2호, pp 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, pp 446-453.
- Mitsuyasu, H. and Kusaba, T. (1984). "Drag Coefficient over Water Surface under the Action of Strong Wind, Journal of Natural Disaster Science, Vol 6, No 2, pp 43-50.
- 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.

2006년 3월 8일 원고 접수

2006년 6월 7일 최종 수정본 채택