

# 태풍 내습으로 인한 연안역 해일 취약성 평가

강태순\*† · 오형민\*\* · 이해미\*\*\* · 엄호식\*\*

\*, \*\* (주)지오시스템리서치 연안관리부, \*\*\* 한국환경정책·평가연구원 미래환경전략연구그룹

## Storm Surge Vulnerability Assessment due to Typhoon Attack on Coastal area in Korea

Tae-Soon Kang\*† · Hyeong-Min Oh\*\* · Hae-Mi Lee\*\*\* · Ho-Sik Eum\*\*

\*, \*\* Dept. of Coastal Management, GeoSystem Research Corp., Gunpo 15807, Korea

\*\*\* Future Environmental Strategy Research Group, Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea

**요 약 :** 본 연구에서는 해일예측모델링을 통하여 연안역의 해일고를 산정하고, 취약성평가 기법을 적용하여 취약등급을 평가하였다. 해일예측모델링은 ADCIRC 모형을 적용하여 2000년~2014년까지의 27개 태풍을 모의하였으며, 상위 영향 6개 태풍에 대하여 검증하였다. 계산결과는 관측결과와 유의미한 검증결과를 보였다. 진해만, 사천만, 광양만, 천수만 및 경기만 등 주요 내만 연안역에서 해일고가 높게 나타났으며, 산출된 해일고 자료를 이용하여 표준화, 정규화 및 등급화 과정을 거쳐 해일 취약성 평가를 수행하였다. 평가결과, 진해만, 사천만, 광양만 등에서 취약지수가 4~5등급을 보였으며, 이는 해일의 특성상 영향을 직접 받는 내만역이 취약함을 의미한다. 반면 전남 서부 내만의 취약지수(1~3등급)는 상대적으로 양호하게 나타났으며, 이는 지난 15년간 이 지역을 통과한 태풍이 크게 영향을 미치지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 이러한 상대적 불확실성을 보완하기 위해서는 지형적 민감도를 고려한 보다 장기간의 영향누적을 통한 취약성 평가가 필요하다.

**핵심용어 :** 해일예측모델링, 태풍, 해일고, 취약성평가, 지수

**Abstract :** In this study, we have estimated the storm surge heights using numerical modeling on coastal area, and then evaluated the vulnerability index by applying the vulnerability assessment techniques. Surge modelling for 27 typhoons affected from 2000 to 2014 were simulated by applying the ADCIRC model. The results of validation and verification was in significant agreement as compared with observations for the top 6 ranking typhoons affected. As results, the storm surge heights in Jinhae Bay, Sacheon Bay, Gwangyang Bay, Cheonsu Bay and Gyeonggi Bay were higher than other inner coastal areas, then storm surge vulnerability assessment was performed using a standardization, normalization and gradation of storm surge heights. According to results of storm surge vulnerability assessment, index of Jinhae Bay, Sacheon Bay, Gwangyang Bay etc. are estimated to be vulnerable(4~5) because of the characteristics of storm surge such as inner bay are vulnerable compared with exposed to the open sea areas. However, index in the inner bay of western Jeonnam are not vulnerable(1~3) relatively. It may not appear the typhoons affected significantly for the past 15 years. So, the long-term vulnerability assessment with the sensitivity of geomorphology are necessary to reduce the uncertainty.

**Key Words :** Storm surge modelling, Typhoon, Surge heights, Vulnerability assessment, Index

### 1. 서 론

해일(surge)은 폭풍, 지진 등에 의하여 바닷물이 비정상적으로 상승하여 육지로 범람하는 것을 총칭한다. 이러한 해일은 해수면이 높아지는 사리 시에는 그 피해가 가중되어져

큰 피해가 발생할 수 있다. 우리나라의 경우 하계 시 해수온 상승에 의한 열팽창의 영향으로 해수면이 타 계절에 비해 상대적으로 높은 시기이며, 특히 백중사리 시에는 저기압 통과만으로도 서해안 저지대의 범람 피해가 우려되는 실정이다. 천체현상 즉 천문조에 의한 해면승강은 규칙적으로 반복되기 때문에 장기간에 걸친 조위예보가 가능하나 태풍이나 저기압의 영향을 받을 경우 폭풍이나 현저한 기압강하

† Corresponding Author : kangts@geosr.com, 070-7019-0610

## 태풍 내습으로 인한 연안역 해일 취약성 평가

로 인해 예보조위와 일치하지 않는 해면상승이 일어나게 되는데 이를 폭풍해일(storm surge)이라 하며, 우리나라의 경우 대부분 하계 태풍의 접근에 의해 발생하는 경우가 많다(Kang et al., 2010). 이때 조위는 더욱 높아져 저지대 농경지나 연안시설, 가옥, 인명 등에 큰 피해를 준다. 한편, 바람이 바다에서 육지방향으로 불면 해면에 작용하는 마찰력에 의해 해수는 육지 측으로 운반, 축적되어 해수면 상승을 야기한다. 이를 바람에 의한 해면상승(wind setup)이라고 부르며, 특히 한국 서해안과 같은 완경사의 간사지가 분포하고 있는 해역에서 범람을 심화시키는 원인이 된다.

이와 관련된 연구로 Kang(2015)은 태풍발생시기의 조석과 해일 비선형 특성분석을 통해 태풍과 해일 발생패턴을 침투형과 지속형으로 구분하여 해석하였으며, Park(2010)은 MIKE21 모형을 이용한 실시간 예측기술 기반의 조석-해일 결합모형을 구축하고 조석, 해일에 대한 정확성 및 적용성 검토를 위해 태풍 MAEMI(0314) 사상을 재현하였다. Kim et al.(2007)은 고파랑과 폭풍해일의 결합에 의한 월파랑 산정과 대상지역 배후에서의 침수경향 범람 특성을 규명하였으며, Yoon et al.(2014)은 태풍에 의한 해안범람 수치모의시 폭풍해일과 강우에 의한 침식을 추가로 고려하여, 누적강우량, 우수의 배수 및 해수의 상승에 따른 역류현상을 모델에 결합하여 해안 도시범람을 모의하였다. Kang et al.(2010)은 마산만에 대한 해일범람모의를 통하여 매립지의 취약성에 대한 연구한 바 있다.

본 연구에서는 ADCIRC(ADvanced CIRCulation) 모형을 이용한 해일예측모델링과 취약성 평가기법을 활용하여 우리나라 연안의 해일 취약성을 평가하고 취약등급을 산정하고자 한다.

### 2. 우리나라에 영향을 미친 태풍현황

우리나라에 영향을 미치는 태풍은 일반적으로 북태평양 서쪽 5°N~25°N, 120°E~160°E의 광범위한 해역에서 많이 발생한다. 태풍발생의 온상이 되는 이 해역에서는 7월부터 9월까지 남반구의 남동무역풍이 지리상의 적도를 넘어서 북반구로 불어 들어오게 되며, 북쪽 해상에서는 북동무역풍이 불어와 적도전선을 형성하게 된다(Korea Meteorological Administration, 2011). 우리나라는 북동진하는 태풍의 길목에 위치하여 매년 2~3개의 태풍이 주로 6~9월에 영향을 미치게 되며, 강풍과 호우 및 해일의 형태로 자연재해를 유발시킨다. 태풍은 그 자체로 또는 장마전선 등 중위도 기상현상과의 상호작용으로 추가적인 피해를 유발하기도 하며(Cha et al., 2009), 연안역에서 발생하는 극심한 피해는 해수면의 높이가 태풍이나 집중호우 등의 악기상 상황에서 극값을 기록할 때 대부분

발생하게 된다(Choi and Moon, 2008).

1951년 이후 2014년까지 북태평양에서 발생한 태풍은 1,673개로 이 중 203개의 태풍이 한반도에 직접적인 영향을 주었다. 평년(1981~2010년) 기준으로 연 25.6개의 태풍이 발생하였으며, 평균 3.1개의 태풍이 한반도에 직접 영향을 미치는 것으로 나타났다(National Typhoon Center, <http://typ.kma.go.kr/TYPHOON/>). 한반도에 직접적인 영향을 미치는 태풍은 많은 피해를 발생시키는데, Ministry of Public Safety and Security(2013)에 따르면 최근 10년간(2003~2012년) 원인별 피해현황 중 태풍으로 인한 피해액은 전체 피해액 중 약 55.6%를 차지해 발생횟수는 적으나 인명, 피해액, 공공시설의 피해 규모에서 차지하는 비율이 높은 것으로 나타났다. 이렇듯 한반도에 직접적인 영향을 주었던 주요 태풍을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Typhoons affected around Korea(2000~2014)

No.	Name	Year	No.	Name	Year
0012	PRAPIROON	2000	1004	DIANMU	2010
0014	SAOMAI		1007	KOMPASU	
0205	RAMASUN	2002	1009	MALOU	
0209	FENGSHEN		1105	MEARI	2011
0215	RUSA		1109	MUIFA	
0314	MAEMI	2003	1207	KHANUN	2012
0410	NAMTHEUN	2004	1210	DAMREY	
0415	MEGI		1214	TEMBIN	
0418	SONGDA		1215	BOLAVEN	
0514	NABI	2005	1216	SANBA	2013
0603	EWINAR	2006	1324	DANAS	
0613	SHANSHAN		1408	NEOGURI	
0711	NARI	2007	1412	NAKRI	2014
•	•	•	1419	VONGFONG	

※ No typhoon in 2001, 2008, 2009

### 3. 해일고 예측모델링

#### 3.1 사용모형

연안역에서 연최대폭풍해일고를 산출하기 위하여 폭풍해일 모의에 가장 널리 적용되는 ADCIRC(Luetlich et al., 1992) 모형을 적용하였다. 이 모형은 North Carolina대학의 Luetlich와 Notre Dame대학의 J. J. Westerink가 개발하고, Chippada et al.(1996)에 의해 병렬화가 수행되어 현재 미국 등 국외에서 폭풍해일 예보와 허리케인의 연구에 사용되고 있는 유한요소모형으로 정밀한 경계처리가 가능하고 장기간 동안 넓은 영역에서 해수순환을 모의할 수 있으며, 해상풍에 따른 폭

풍해일고를 계산할 수 있다. ADCIRC 모형은 Wet/Dry가 발생하는 한계수심을 적용하여 이동경계조건을 고려하고, 한계수심 값은 사용자에게 의해 임의로 변경 가능하여 대상해역에 적합한 범람모의를 수행할 수 있다. 그리고 내부유통경계(internal overflow boundary) 설정에 의한 범람 재현이 가능하고, 내부경계에서 유통이 발생할 수 있는 수위를 격자마다 적용하여 실제 지형과 가까운 환경을 재현할 수 있다. 또한 비정렬격자(unstructured grid)를 사용함으로써 광역에서 협역까지 점차적으로 작아지는 삼각형 형태의 격자 구성이 가능하다. 이러한 격자 구성은 실제 해안선의 정밀한 재현을 가능하게 한다.

3.2 모형구축 및 실험조건

해일고 예측 수치모의 계산은 태풍진행경로 및 모의기간 등을 고려하여 서해, 동해 및 동중국해 전역을 포함하는 영역으로 격자망을 구축하였다(Fig. 1). 계산영역의 해안선 및 수심은 국립해양조사원에서 발행하는 수치해도의 자료를 사용하였으며, 해도상의 수심을 보간하여 각 격자점의 수심을 추출하였다. 실험에 적용된 대상 태풍은 2000년부터 2014년까지 우리나라에 상륙 또는 영향을 주었던 27개 태풍을 선정하였다. 실험에 적용한 수위조건은 약최고고조위를 적용하였고, 격자크기는 외해역에서는 최대 30 km, 연안역에서는 최소 20 m의 정밀격자망을 구성하였으며 실험에 대한 개요는 Table 2와 같다.

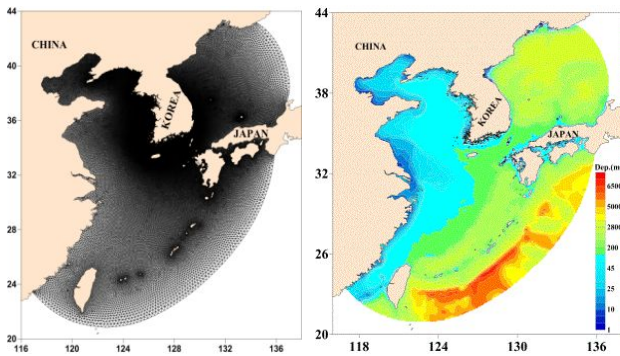


Fig. 1. Model grid system and bottom topography.

2000년부터 2014년까지 대상지역에 상륙 및 큰 영향을 주었던 주요 태풍 27개(Table 1)를 대상으로 각 태풍별 폭풍해일고를 산출하였으며, 대상태풍의 이동경로는 Fig. 2에 나타내었다. 수치실험의 모의기간은 각 태풍별로 3~4일 동안 수행하였으며, 계산시간간격은 계산안정성을 고려하여 1초로 입력하였다.

Table 2. Introduction of storm surge numerical modelling

Category	Contents
Model	ADCIRC V49.21(Luettich et al., 1992)
Input data	2000~2014 : 27 Typhoons affected around Korea by KMA and JMA, JTWC
Verification	Tidal observation stations by KHOA
Grid system	Unstructured grid system Min. 20 m ~ Max. 30 km
Domain	East Sea, Yellow Sea and East China Sea
Depth data	Digital charts(Korea Hydrographic and Oceanographic Agency)
Run time	3~4 days each typhoons
Time interval	1 sec.
Drag coef.	Max=0.003 by Luettich and Westerink(2004)
Wind generation	Asymmetric hurricane vortex algorithm(NWS=9)

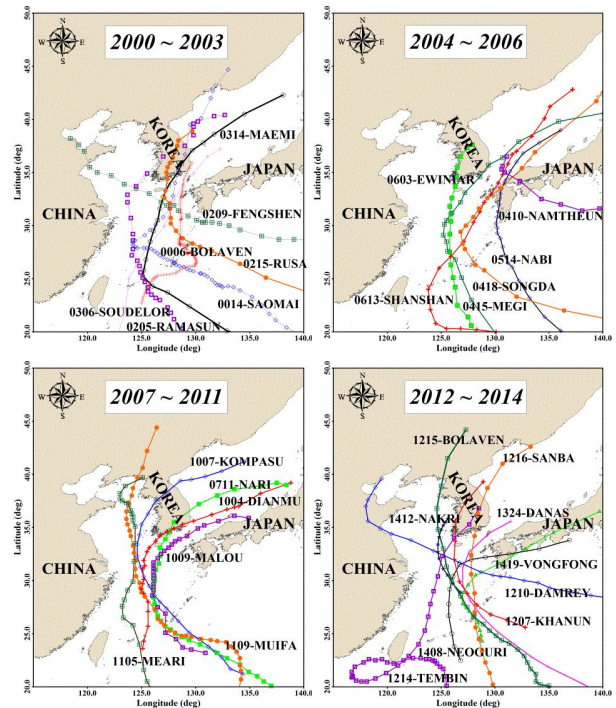


Fig. 2. Typhoon tracks affected around Korea(2000~2014).

폭풍해일고 모의시 태풍의 중심기압 및 이동의 중심위치, 최대풍속반경, 이동속도 등 제반 정보가 중요하다. 이러한 태풍정보를 활용하여 일반적인 태풍모의시 대칭된 동심원으로 가정한 Holland(1980)식 또는 Fujita식에 근거하여 모사

## 태풍 내습으로 인한 연안역 해일 취약성 평가

를 하고 있다. 하지만 실제 관측된 태풍은 대부분 비대칭성을 나타내고 있어 태풍의 위치 및 기압장 분포에 따라 풍향 및 풍속에 큰 차이를 보이게 된다. Xie et al.(2006)은 풍향 및 풍속에 따른 큰 차이를 개선하기 위해 Holland(1980)식을 수정하여 최대풍속이 태풍 방위각에 따라 달라지는 비대칭 정도풍 분포식을 다음과 같이 제시하였다.

$$P(r, \theta) = P_c + (P_n - P_c) \exp^{-[R_{\max}(\theta)/r]^B} \quad (1)$$

여기서  $P$ 는 기압을 나타내며  $r$ 은 태풍중심으로부터의 반경  $\theta$ 는 방위각을 나타낸다.  $P_c$ 는 태풍중심 기압,  $P_n$ 은 주변 기압이며  $R_{\max}$ 는 최대풍속반경을 나타낸다. 최대풍속반경은 태풍의 방위각에 따라 달라지게 되는데, Xie et al.(2006)이 제안한 비대칭 정도풍 산정식에서는 태풍의 방위각 즉, 4분면에 따른 최대풍속반경이 고려되어 비대칭형으로 바람장을 표현한다. 태풍의 바람장을 비대칭의 변형된 식을 적용하면 대칭으로 적용한 결과에 비해 보다 더 실측치에 가까운 값을 얻을 수 있다(Suh and Kim, 2012).

현재 태풍정보를 제공하는 기관은 KMA(Korea Meteorological Administration), JMA(Japan Meteorological Agency) 및 JTWC(Joint Typhoon Warning Center)이다. 본 연구에서는 보다 실제적인 태풍현상을 모의하기 위하여 태풍의 비대칭 자료를 제공하는 JTWC자료를 적용하였다. ADCIRC 모형은 동심원 태풍과 비대칭태풍을 모두 모의할 수 있으며, 본 연구에서는 태풍의 비대칭성을 고려할 수 있는 해상풍산출 모듈(NWS=9)을 적용하였다. 각 기관별 태풍이동경로, 중심기압, 강풍반경, 최대풍속 등의 자료 검토의 자세한 설명은 다음 절에서 다루기로 한다.

### 3.3 모형검증 및 분석

해일고 예측 수치모델링의 유의성을 판단하기 위하여 우리나라에 큰 영향을 준 것으로 판단되는 상위 6개 태풍 [SAOMAI(0014), RUSA(0215), MAEMI(0314), MEGI(0415), NABI(0514), NARI(0711)]에 대하여 검증을 수행하였다. 검증대상 태풍의 발생기간, 중심기압 및 최대풍속을 Table 3에 제시하였으며, 검증 대상태풍의 이동경로는 Fig. 3에 제시하였다. 검증시 활용된 관측자료 중, 태풍 RUSA(0215), MAEMI(0314), MEGI(0415)는 국립해양조사원의 기준조석관측소에서 관측된 1분 해수위 관측자료(여수, 마산, 통영, 부산)를 활용하였으며, 그 밖의 태풍에 대해서는 1시간 간격 해수위 관측자료(여수, 마산, 통영, 가덕, 부산)를 활용하였다.

Table 3. Typhoons for verification

No.	Name	Period	Pressure (hPa)	Wind Speed(m/s)
0014	SAOMAI	2000.09.01 - 09.19	925	51.3
0215	RUSA	2002.08.22 - 08.31	950	43.2
0314	MAEMI	2003.09.04 - 09.16	910	56.7
0415	MEGI	2004.08.14 - 08.22	970	35.1
0514	NABI	2005.09.04 - 09.07	925	51.3
0711	NARI	2007.09.11 - 09.18	935	54.0

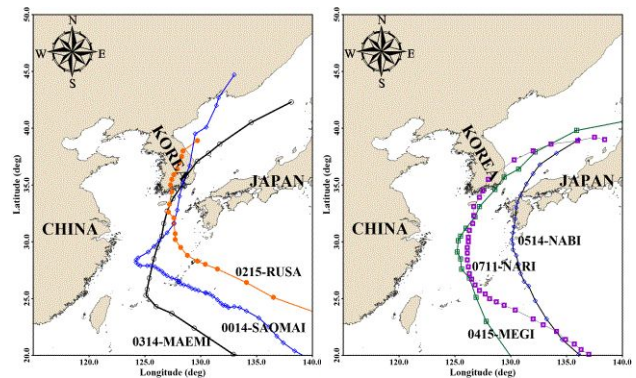


Fig. 3. Typhoon tracks for verification.

수치모델로 계산된 해일고와 관측해일고 시계열을 Fig. 4에 도시하였다. 수치모델로 실제 자연현상을 재현함에 있어 모든 물리적인 변수를 완벽하게 재현할 수 없으나, 그림에서 보는 바와 같이 시간경과에 따른 해일고 변화 양상 및 최대해일고를 수치모델이 잘 재현하고 있다.

최대해일고에 대한 정량적인 값을 제시하고자 관측치와 계산치의 절대상대오차(absolute relative error, ARE)와 오차(Error)를 다음과 같이 나타내었다.

$$ARE(\%) = \frac{|O_i - C_i|}{O_i} \times 100 \quad (2)$$

$$Error = C_i - O_i \quad (3)$$

여기서  $O_i$ 는 관측자료,  $C_i$ 는 모델결과를 나타낸다. 절대상대오차(ARE)는 관측자료와 모델결과의 절대적 크기차이를 백분율로 나타낸 값으로, 백분율 값이 작을수록 모델결과가 관측자료를 절대적인 크기 면에서 잘 재현한다는 것을 의미한다. 오차는 모델결과와 관측자료와의 차이를 나타내는 것으로 자세한 결과를 Table 4에 제시하였다.

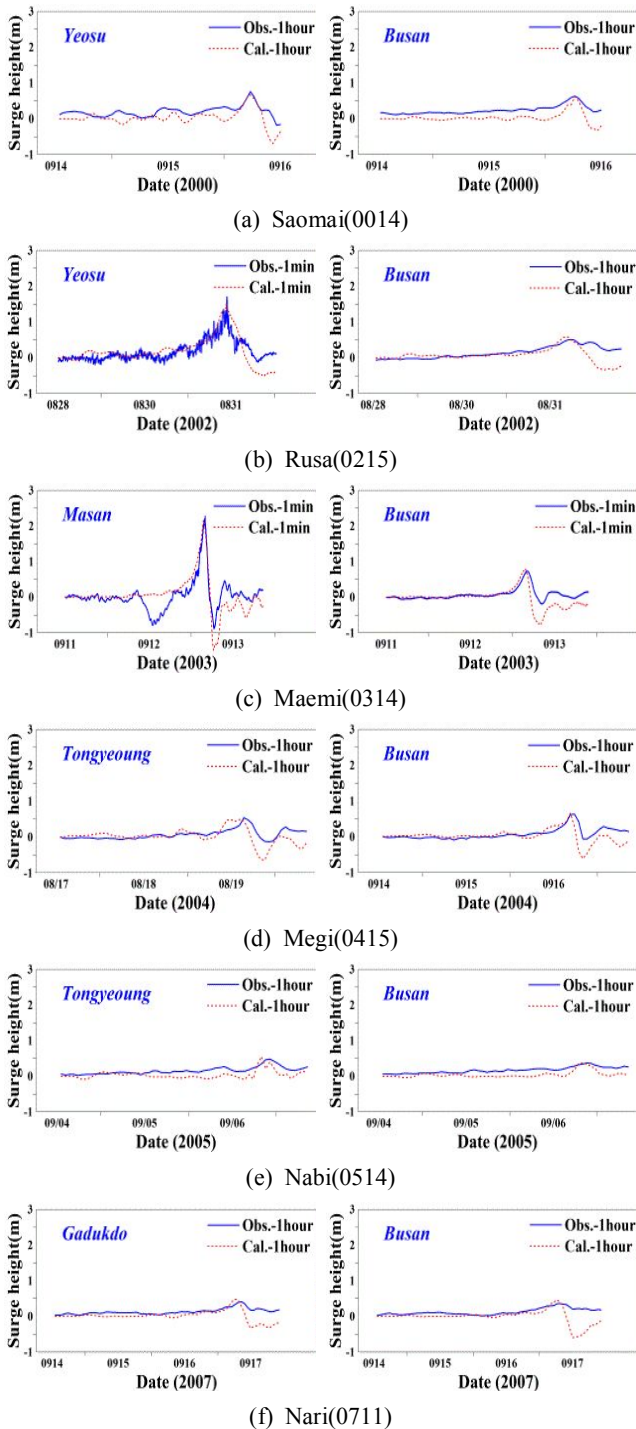


Fig. 4. Verification of surge heights at tidal observation stations.

분석결과를 살펴보면, 절대상대오차는 0.0~14.5%이며, 최대오차는 NABI(0514) 통과시 통영지역에서 14.5%와 오차 7 cm로 나타났다. 최소오차는 NABI(0514) 통과시 부산에서 절대상대오차 0.0%, 오차 0 cm로 나타났다. 여기서 오차 0 cm

는 최대해일고 값을 정확히 예측하였다는 것을 의미하나, 태풍 관측에 따른 오차 및 모델 수행에 대한 오차 등 여러 변수에 따른 오차가 발생하기에 완벽하게 태풍을 재현하였다고 하기에는 무리가 따른다. 이상의 결과에서 태풍별·지역별 다소 차이는 있으나, 최대해일고에 대한 평균 절대상대오차는 8%이다. 이는 최대해일고가 100 cm라고 할 경우 8 cm의 차이를 보이는 것이며, 매우 정도 높은 최대해일고가 산출된 것으로 사료된다. 본 최대해일고 성과는 후술할 해일 취약성평가에 활용된다.

Table 4. Comparison of max. surge heights at tidal observation stations

No.	Name	Area	Max. surge height(cm)				
			Interval	Obs.	Cal.	ARE(%)	Error
0014	SAOMAI	Yeosu	1hour	76.0	67.0	11.8%	-9.0
		Busan	1hour	63.0	62.0	1.6%	-1.0
0215	RUSA	Yeosu	1min	170.0	153.0	10.0%	-17.0
		Busan	1min	51.0	58.0	13.7%	7.0
0314	MAEMI	Masan	1min	227.0	217.0	4.4%	-10.0
		Busan	1min	76.0	83.8	10.2%	7.8
0415	MEGI	Tongyeong	1min	54.0	49.0	9.2%	-5.0
		Busan	1min	63.0	66.0	4.7%	3.0
0514	NABI	Tongyeong	1hour	48.0	55.0	14.5%	7.0
		Busan	1hour	37.0	37.0	0.0%	0.0
0711	NARI	Gadeok	1hour	42.0	48.0	14.2%	6.0
		Busan	1hour	39.0	44.0	12.8%	5.0

그리고 6개의 검증 대상태풍에 대한 기압장 및 바람장, 해일고에 대한 공간분포 스냅샷(snapshot)을 Fig. 5에 제시하였다.

해일고 모형의 재현성을 높이기 위해서는 정확한 태풍정보가 필요하다. 본 연구에서 적용한 태풍정보는 앞서 언급한 바와 같이 비대칭 태풍 바람장을 고려할 수 있는 JTWC의 자료를 사용하였다. 각 기관에서 제공하는 태풍정보의 경우 대개 비교적 유사한 정보를 제공하고 있으나, 특정 태풍사상에 대해서는 이동경로 및 중심기압, 최대 풍속 등에서 다소 차이를 보이고 있다(Fig. 6). 이는 제공되는 태풍정보의 불확실성이 내포하고 있음을 의미하며 태풍정보의 불확실성을 감안하였을 때, 앞서 제시한 평균 90% 이상의 정확도는 만족할 만한 검증 정도를 보이는 것으로 사료된다.

## 태풍 내습으로 인한 연안역 해일 취약성 평가

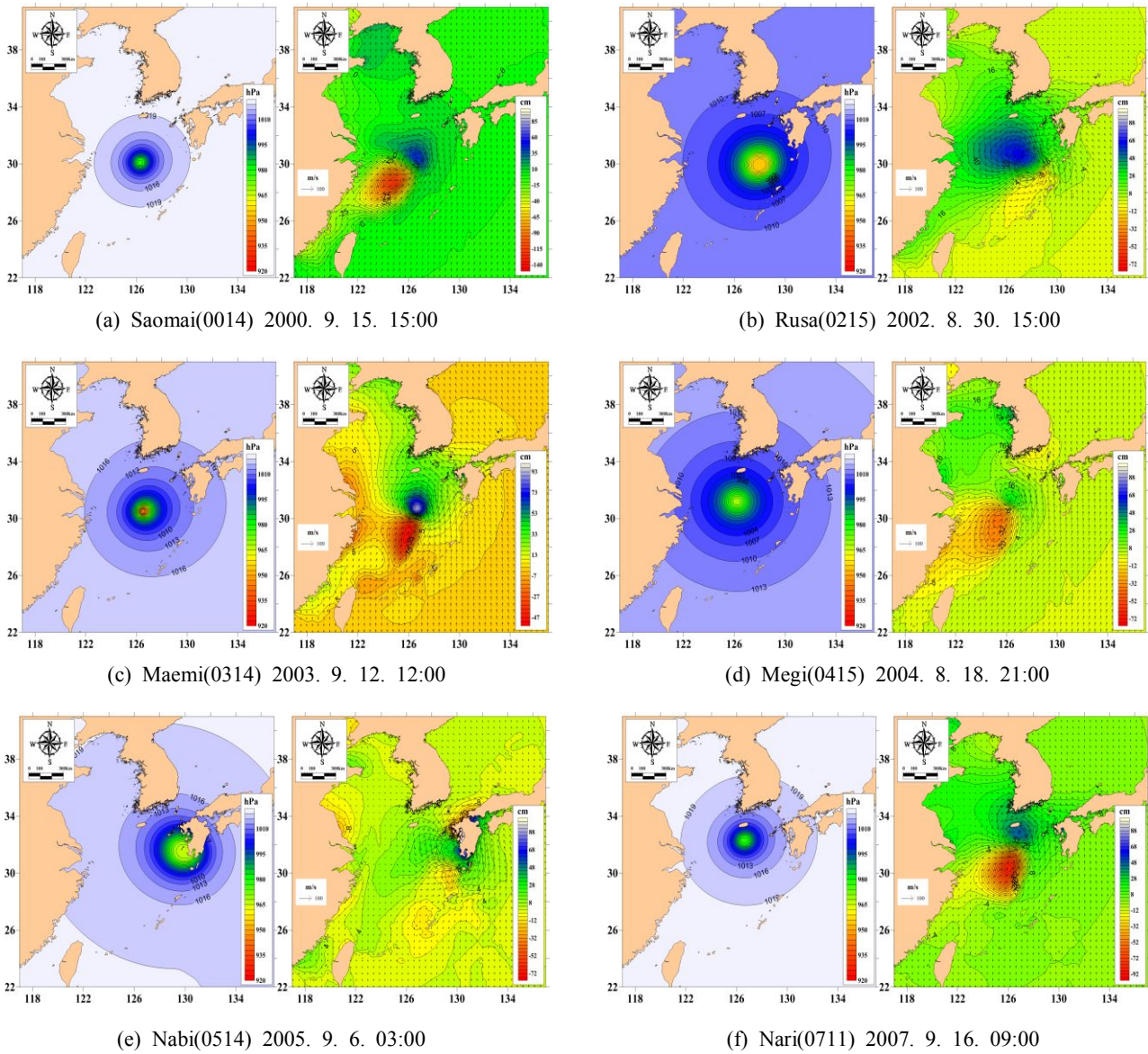


Fig. 5. Distribution of air pressure and surge height fields by typhoons.

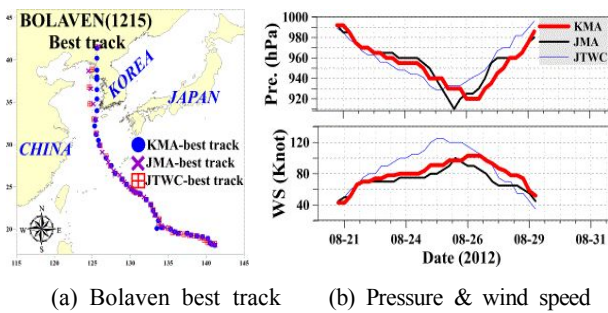


Fig. 6. Comparison of typhoon information(KMA, JMA, JTWC).

## 4. 해일 취약성 평가

해일 취약성 평가를 위해 2000년~2014년 동안의 최대 해일고를 중첩하였으며(Fig. 7), 연안역을 250 m×250 m의 정방격자화하여 해안선과 맞물린 격자에 예측된 해일고를 부여하였다. 이때 정방격자 내에 여러 개의 해일고 셀이 있을 경우 평균값을 취하였다. 취약성평가는 SOPAC(2014), UNEP(2005), Nardo et al.(2005) 등이 제안한 방법을 사용하였으며, 해일고 자료를 표준화, 정규화하고, 최종적으로 등급화하여 지수로 도출한다.

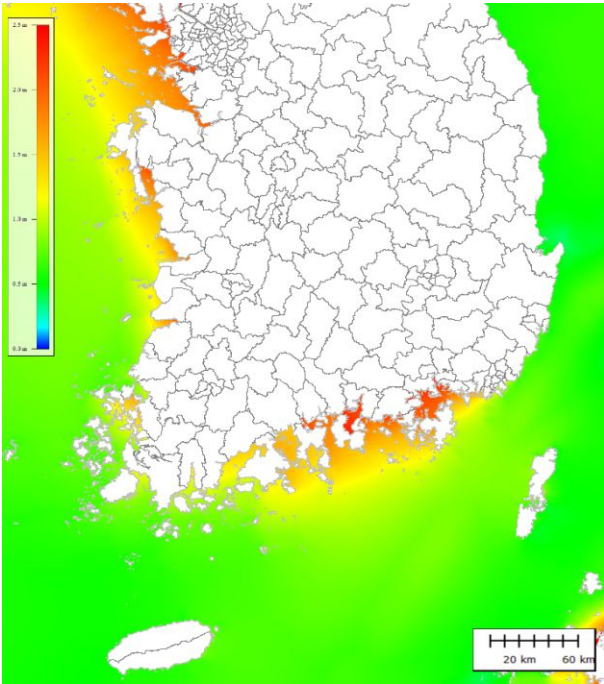


Fig. 7. Max. storm surge heights during 2000–2014.

표준화는 일종의 무차원화과정(non-dimensionlization)으로 정규성 검정(normality test)을 거친다. Nardo et al.(2005)는 Ranking, Z-score, Re-scaling 등의 표준화 방법을 소개하였고, UNEP(2005)과 Yoo and Kim(2008) 등은 Z-score, Re-scaling 방법 등을 사용하였으나, 이 표준화 방법은 이상치(extreme value)에 의하여 자료구조가 왜곡되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 누적확률분포를 제안하였다. 해일고 자료는 제곱근변환(square root transformation)을 적용하였으며, 유의수준 0.05에서 K-S 및  $\chi^2$  test를 만족하는 것으로 나타났다. 이들 자료는 누적확률분포를 이용하여 표준화하였으며(Fig. 8), 산정결과는 항상 0과 1사이 분포한다.

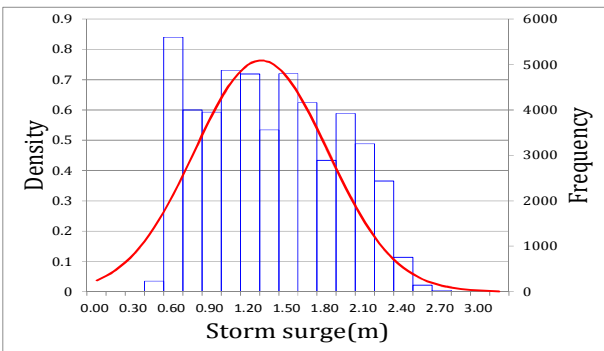


Fig. 8. Results of storm surge vulnerability assessment.

한편, 누적확률값  $F(x)$ 는 항상 0~1사이 분포하여 0.2 간격으로 각각의 구간을 5등급화 하였다(Table 5). 여기서 1등급은 취약성이 매우 낮음을, 5등급은 매우 높음을 의미한다.

Table 5. Normalization of storm surge data

Category	Storm surge					
Cumulative distribution function	$x' = \sqrt{x}$					
	$F(x') = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma'} e^{-\frac{(x'-m')^2}{2\sigma'^2}}$					
Rating range	1 :		$x$	$\leq$	0.83	
	2 :	0.83	$<$	$x$	$\leq$	1.10
	3 :	1.10	$<$	$x$	$\leq$	1.37
	4 :	1.37	$<$	$x$	$\leq$	1.71
	5 :	1.71	$<$	$x$		

해일 취약성 평가 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 평가결과, 남해안에서는 부산 가덕도 해안으로부터 전남 여수신항까지의 해안선 중 내만역에 해당하는 진해만, 사천만, 광양만에서 취약지수가 4~5등급으로 분포하였으며, 서해안에서는 고흡만, 금강하구, 천수만 및 경기만 등 주요 내만 연안역에서 5등급으로 나타났다. 해일의 특성상 내만역이 취약하고, 외해로 노출된 지역은 상대적으로 낮은 취약도를 나타내었다. 전남 서부 내만의 취약지수(1~3등급)가 상대적으로 양호하게 나타났으나 이는 지난 15년간의 태풍이 크게 영향을 미치지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 불확실성을 보완하기 위해서는 보다 장기간의 영향누적을 통한 취약성 평가가 필요하다.

한편, 본 연구에서는 대상연안의 지형(표고 및 경사)에 대한 고려가 누락되어 있다. 이는 전남 해안이 상대적으로 낮은 해일고를 갖더라도 대상연안의 표고가 낮으면 더 취약해지며, 진해만, 사천만, 광양만처럼 높은 해일고를 보이더라도 대상 연안의 표고가 높다면 덜 취약해 질 수 있다는 것을 의미한다. 이후 연구에서는 지형적 민감도를 고려한 취약성 평가가 요구된다.

## 5. 요약 및 결론

우리나라 연안에서의 해일 취약성평가를 위하여 2000년~2014년에 걸쳐 우리나라에 영향을 끼친 태풍을 대상으로 해일수치모델링을 수행하고, 그 결과를 바탕으로 연안에서의 최대해일고 분포를 산출하였다. 해일고 검증결과 절대상대 오차 평균 약 8% 이내의 검증정도를 보였다.

## 태풍 내습으로 인한 연안역 해일 취약성 평가

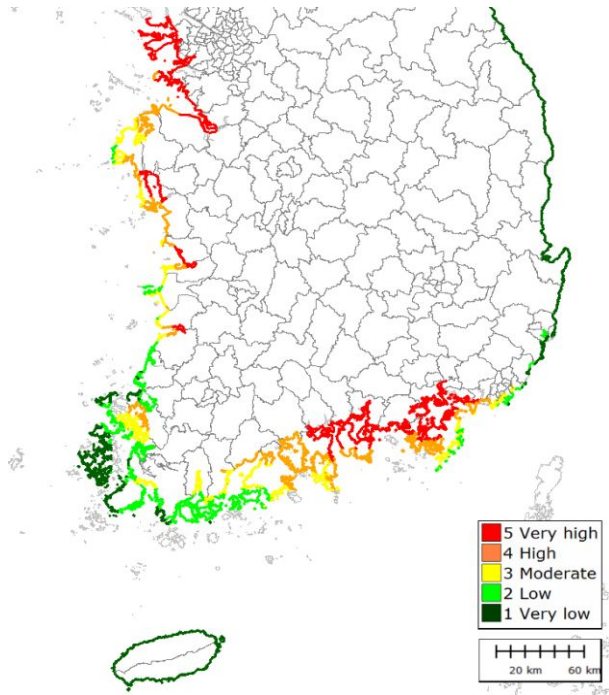


Fig. 9. Results of storm surge vulnerability assessment.

앞서 언급한 바와 같이 태풍정보가 갖고 있는 불확실성을 감안하면 매우 정도 높은 해일고의 산출이 이루어진 것으로 판단된다. 최대해일고 분포는 과거 15년간의 27개 태풍사상에 대하여 산출된 값으로, 남해에서는 진해만, 사천만 및 광양만 등의 남해중부지역에서 높은 해일고 분포를 보였으며, 서해에서는 곰소만, 금강하구, 천수만 및 경기만 등에서 높은 해일고 분포를 보였다. 서해남부와 남해서부 지역에서는 상대적으로 낮은 해일고 분포를 보였다. 본 연구에서는 해일고 자체만을 가지고 해일취약성 평가를 실시하였으며, 해일고가 높게 나타난 앞서 언급한 지역에서 4~5등급의 해일취약성이 높은 것으로 분석되었다. 목포 및 신안군 도서지역의 경우에는 1~3등급의 해일취약성을 보여 해일에 대한 취약성은 낮은 것으로 분석되었다. 이상의 결과는 과거 15년간의 태풍을 대상으로 실시한 결과이며, 해일취약성이 상대적으로 낮은 지역은 태풍이 인접하여 내습하지 않았거나, 인접하여 내습하는 경우에도 태풍의 강도가 약했기 때문으로 사료된다.

본 연구의 해일취약성은 폭풍해일고에 대한 평가이며 보다 엄밀한 의미에서의 폭풍해일 취약성을 평가하기 위해서는 저지대 지형적 민감도를 고려한 해일에 의한 침수/범람을 대상으로 평가하는 것이 바람직할 것이다.

침수/범람을 모의하기 위해서는 연안지역에서의 고해상도의 수치표고자료를 바탕으로 육지역에 대한 초고해상도(10 m 이하)의 수치격자망을 구축하여야 하며, 수치모델링의 구

축 및 운영에 많은 노력을 요하게 된다. 본 연구는 향후 침수/범람에 의한 연안취약성을 평가하기 이전 단계의 연구 성과이며, 향후 본 연구에서 구축한 폭풍해일 수치모델에 연안 저지대에서의 침수/범람을 모의하여 우리나라 주요 연안지점에서의 침수/범람에 대한 취약성을 평가할 계획이다.

## 감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01047-5012015)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

## References

- [1] Cha, E. J., H. S. Hwang, K. J. Yang, S. H. Won, S. W. Ko, D. H. Kim and H. J. Kwon(2009), Characteristics of Tropical Cyclones over the Western North Pacific in 2008, Atmosphere, Korean Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 19, No. 2, pp. 183-198.
- [2] Chippada, S., C. N. Dawson and M. F. Wheeler(1996), Parallel computing for finite element models on surface water flows. Computational Methods in Water Resources XI, Computational Mechanics Publications, Southampton, U.K., pp. 63-70.
- [3] Choi, E. S. and I. J. Moon(2008), The Variation of Extreme Values in the Precipitation and Wind Speed during 56 Years in Korea, Atmosphere, Korean Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 18, No. 4, pp. 397-416.
- [4] Holland, G. J.(1980), An Analytic Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes. Mon. Wea. Rev., 108, pp. 1212-1218.
- [5] Kang, J. W.(2015), Typhoon-surge Characteristics in Relation with the Tide-surge Interaction, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 27, No. 1, pp. 25-37.
- [6] Kang, T. S., S. R. Moon, S. Y. Nam and J. S. Shim(2010), The Vulnerability of the Reclaimed Seashore Land Attendant Upon Storm Surge/ Coastal Inundation, Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol. 24, No. 1, pp. 68-75.
- [7] Kim, D. S., J. M. Kim, G. H. Lee and S. D. Lee(2007), Inundation Analysis Considering Water Waves and Storm Surge in the Coastal Zone, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 21, No. 2, pp. 35-41.
- [8] Korea Meteorological Administration(2011), Typhoon white paper, pp. 4-6.
- [9] Luettich, R. A. and J. J. Westerink(2004), Formulation and



Numerical Implementation of the 2D/3D ADCIRC Finite Element Model Version 44.XX, pp. 18-40.

Received : 2015. 09. 18.

- [10] Luettich, R. A., Jr., J. J. Westerink and N. W. Scheffner (1992), ADCIRC : an advanced three-dimensional circulation model for shelves, coasts, and estuaries, Report 1 : Theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL, Coastal Eng. Res. Crt., U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS., pp. 1-137.

Revised : 2015. 10. 19.

Accepted : 2015. 10. 27.

- [11] Ministry of Public Safety and Security(2013), Disaster yearly report in 2012, pp. 17-28.
- [12] Nardo, M., M. Saisana, A. Saltelli and S. Taranta(2005), Tools for Composite Indicators Building, European Communities, p. 52.
- [13] National Typhoon Center (<http://typ.kma.go.kr/> TYPHOON/), Korea Meteorological Administration (last date accessed: 17 October 2015).
- [14] Park, S. J.(2010), Effects of Typhoon's Characteristics on the Storm Surge and Coastal Inundation Simulation, Interdisciplinary Program of Civil & Environmental Engineering, Graduate of Mokpo National University. pp. 50-101.
- [15] SOPAC(2014), Environmental Vulnerability Index, <http://gsd.spc.int/environmental-vulnerability-index>.
- [16] Suh, S. W. and H. J. Kim(2012), Typhoon Surge Simulation on the West Coast Incorporating Asymmetric Vortex and Wave Model on a Fine Finite Element Grid, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 24, No. 3, pp. 166-178.
- [17] UNEP(2005), Assessing Coastal Vulnerability-Developing a Global Index for Measuring Risk, <http://www.unep.org/publications/>.
- [18] Xie, L., S. Bao, L. J. Pietrafesa, K. Foley and M. Fuentes (2006), A real-time hurricane surface wind forecasting model: formulation and verification, Monthly Weather Review, Vol. 134, No. 5, pp. 1355-1370.
- [19] Yoo, G. Y. and I. E. Kim(2008), Development and application of a climate change vulnerability index, Korea Environment Institute, pp. 44-45.
- [20] Yoon, S. B., J. H. Lee, G. H. Kim and J. H. Song(2014), Development of Storm Sewer Numerical Model for Simulation of Coastal Urban Inundation due to Storm Surge and Rainfall, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, Vol. 26, No. 5, pp. 292-299.