

2006-2007년 한반도 인근 폭풍해일 특성

유승협† · 이우정*

(원고접수일 : 2009년 3월 27일, 원고수정일 : 2009년 5월 11일, 심사완료일 : 2009년 5월 12일)

Characteristics of Storm Surge near the Korean Peninsula in 2006 - 2007

Sung Hyup You† and Woo-Jeong Lee*

Abstract : In this study, a two-dimensional storm surges/tide prediction model called the Storm surges/Tide Operational Model (STORM) was applied as the operational forecast model of the Korea Meteorological Administration (KMA). The operational model results were verified for two years (2006-2007) using observed results from tidal stations. Comparisons of modeled and observed storm surges show that larger differences at the western coast of Korea than at the southern and eastern coasts. The averaged root mean square error between the modeled and observed storm surges height are 0.16 m and 0.10 m in 2006 and 2007, respectively.

Key words : STORM, Storm surges, RMSE

1. 서 론

기상청/국립기상연구소에서는 슈퍼컴을 이용하여 해양기상 예측시스템을 현업화 하여 해양 예보에 활용하고 있으며 해양기상 모델 결과를 DB화하는 노력을 기울이고 있다. 2002년부터 매 1년 동안의 해양기상 예측 결과(해상풍, 파랑)를 제공하였으며 2006년부터는 폭풍해일 예측결과 또한 자료 제공을 시작하였다. 자료 제공에 사용되는 폭풍해일 모델은 우리나라 주변해역을 포함하는 수평 해상도 1/12° 의 고해상도 지역 폭풍해일/조석 예측모델 (STORM : Storm Surges/Tide Operational Model)⁽¹⁾로서 2005년에 시험운영을 수행하였고 2006년 7월 1일부터 정식 현업운영

을 실시하고 있다.

폭풍해일은 주로 태풍 발생시에 발생하게 되는데 우리나라에 영향을 미치는 북서태평양에서의 태풍은 지난 35년 (1971~2005) 동안 평균적으로 1년에 26개가 발생하였고 그 중 평균 3개의 태풍이 우리나라에 영향을 주었다⁽²⁾. 약 5조원의 재산 피해를 주었던 2002년 태풍 Rusa 와 2003년 태풍 Maemi의 예와 같이 최근 태풍이 대형화 되면서 태풍으로 인한 인적·재산 피해는 점차 대형화되고 있다. 특히 태풍 내습시의 우리나라 해안지역의 기상현상은 복잡한 해안선과 크고 작은 섬들로 인한 지역적 특성으로 인해 매우 복잡한 기상 및 해양현상이 나타나고 있다. 이와 같은 해안 및 연안 재해 감소를 위해서 태풍으로 발생하는 폭풍해일에 대한

† 교신저자(기상청/국립기상연구소 지구환경시스템연구과, E-mail:shyou@kma.go.kr, Tel: 02-6712-0361)

* 기상청/국립기상연구소

보다 정확한 예측의 필요성이 부각되었을 뿐만 아니라, 경제적 손실과 해양재해에 따른 인명피해를 줄이고 보다 선진화된 해양문화생활과 경제생활을 도모하기 위해서도 무엇보다 폭풍해일의 예측 정확도 향상의 필요성이 요구되어지고 있다.

이 논문에서는 한반도 주변 해역의 폭풍해일 특성을 분석하기 위해 2006년부터 2007년까지 제공된 지역 폭풍해일/조석 예측모델 (STORM)의 결과와 국립해양조사원에서 운영하는 우리나라 주변의 검조소 자료와 비교검증을 실시하였다. 또한 2년 동안 우리나라에 영향을 준 대표적인 태풍을 선정하여 모델에 의해 산출된 폭풍해일고를 검조소 자료와 비교하여 예측정확도를 산출하였다.

2. 폭풍해일/조석 예측 모델

본 논문에서 사용된 지역 폭풍해일/조석 예측모델 (STORM)의 영역은 20~52°N, 115~150°E로써 위도와 경도방향으로 1/12° 크기의 격자로 구성하였다(Fig 1). 모델은 Princeton Ocean Model (POM)^[3]을 근간으로 개발되었다. 조석 모델의 경우 고해상도 조석 모델 결과^[4]에서 추출한 조화상수 자료를 경계조건으로 사용하여 주요 8개 분조(M₂, S₂, N₂, K₂, K₁, O₁, P₁, Q₁)에 대해 모의되도록 구성하였다. 수심자료는 미국 국립지리자료원(National Geographic Data Center)에서 제공한 ETOPO-5를 사용하였고 최소수심을 10m로, 최고 수심을 6000m로 설정하였다. 자세한 STORM의 특성은 Table 1에 기술하였다.

STORM은 현재 기상청에서 폭풍해일 예측을 위한 현업 예보 시스템으로써 매일 00, 12 UTC에 48시간 예측치를 산출하게 된다. 입력자료는 기상청에서 현업모델로 운영중인 RDAPS(Regional Data Assimilation Prediction System)이며 RDAPS에서 산출된 자료 중에서 해면기압과 해상풍 자료가 STORM의 입력자료로 이용된다. 특히 STORM은 북서태평양에서 발생하여 우리나라에 영향을 미치는 태풍에 대해 2차원의 폭풍해일고를 산출할 뿐만 아니라 주요연안 지점의 48시간 폭풍

해일/조석고를 산출하게 된다. 이러한 48시간 예측 폭풍해일/조석고 결과와 우리나라 전 연안에 국립해양조사원에서 운영중인 검조소 자료를 이용하여 모델과 관측자료 사이의 통계적인 분석을 실시하였다. Fig. 1에는 분석에 사용된 검조소 총 30개 지점의 위치를 보여주고 있다.

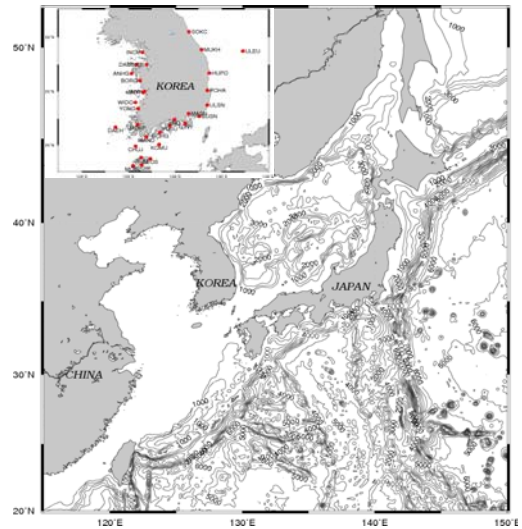


Fig. 1 Modeled area with topography and locations of the selected coastal stations (Left upper).

Table 1 General Specifications of the STORM

	STORM (Storm surges/Tide Operational Model)
Model	2-D Ocean Circulation Model (POM base)
Coordinate System	Spherical Coordinate
Model Domain	115°E-150°E, 20°N-52°N
Horizontal Resolution (Number of Grids)	1/12° by 1/12° (421×385)
ΔT	600 sec
Prediction Time	48hour (00, 12 UTC)
Initial Field	hot start
Input Data	RDAPS (Sea Wind, Pressure), 8 Tidal constituents

3. 결과

3.1 2차원 폭풍해일고 분포

Fig. 2와 3에 2006년과 2007년의 모델에서 계산된 월별 폭풍해일고의 표준편차를 나타내었다. 2006년에는 1월부터 4월까지 평균 10cm에서 최대 20cm의 폭풍해일 표준편차를 서해 지역에 보이고 있으며 서해 연안 및 중국 본토 동쪽 연안이 매우 큰 폭풍해일고의 변동폭을 보이고 있는데 이는 동계의 강한 저기압 발생에 기인한 것으로 사료된다. 동계에 연안지역의 큰 폭풍해일고 표준편차는 5월과 6월에 감소하였다가 7월부터 태풍의 영향이 발생하고 있다. 7월부터 10월까지 태풍의 영향으로 일본 남부 해역과 류큐 열도의 높은 폭풍해일 표준편차가 나타난다. 8월의 10호 태풍 Wukong의 영향으로 인한 일본 혼슈 남부 해역에 넓은 지역에 걸쳐 폭풍해일고 표준편차 변화가 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수가 있다. 9월의 대만 동쪽 해역의 13호 태풍 Shanshan의 영향과 10월의 태평양 해역에서의 18호 태풍 Soulik의 영향이 나타나고 있음을 알 수가 있다. 11월과 12월은 앞선 1월과 2월의 강한 저기압에 의해 발생하는 서해의 높은 폭풍해일고 표준편차와 유사한 양상을 보이고 있다.

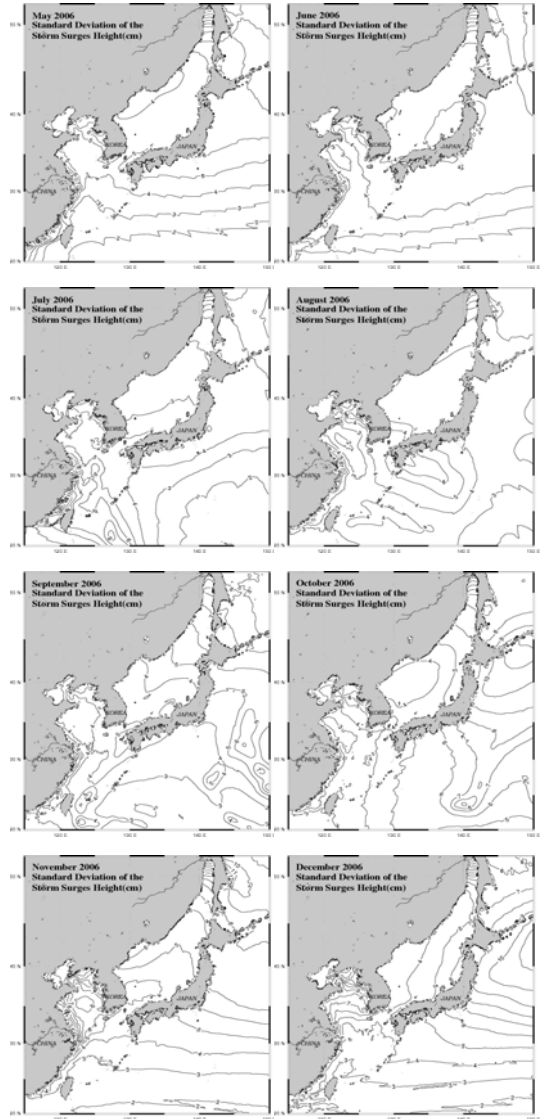
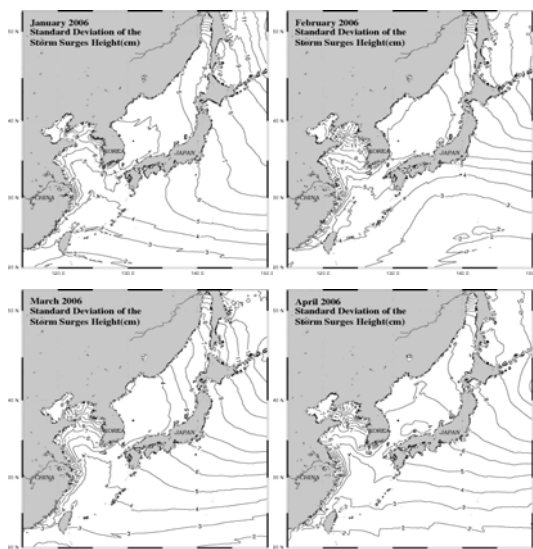


Fig. 2 Standard deviation of Storm Surges height in 2006

2007년도 동계기간의 서해의 폭풍해일고 표준편차 또한 지역적으로 2006년과 유사하게 저기압에 의한 높은 표준편차 특성을 보이고 있다. 2007년에 하계의 경우에는 7월의 4호 태풍 Manyi와 7월 8월에 걸쳐 일본 남부 해역에 영향을 주었던 5호 태풍 Usagi의 영향이 가장 크게 나타난다. 또한 일본에 직접적인 영향을 주었던 9호 태풍 Fitow와 대만과 중국에 가장 큰 피해를 주었던 12호 태풍

Wipha의 영향으로 2007년 9월과 10월에 걸쳐 가장 두드러진 최대 10cm의 폭풍해일 표준편차를 보였다.

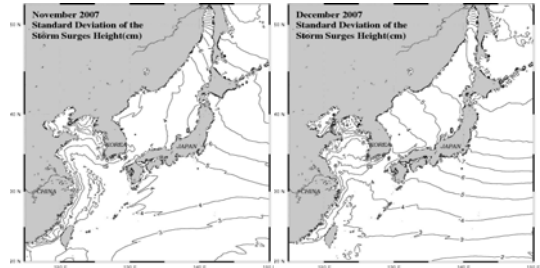
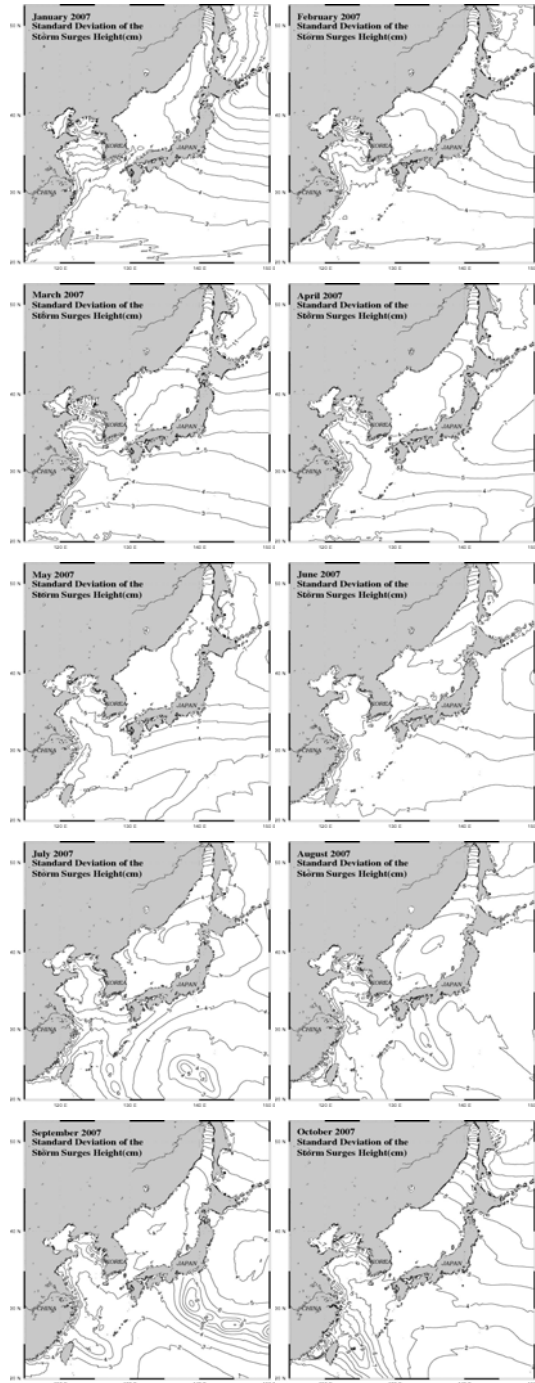


Fig. 3 Standard deviation of Storm Surges height in 2007

3.2 검조소 자료를 이용한 모델 검증

2006년부터 2007년까지의 기상청 현업 폭풍해일 모델(STORM)과 국립해양조사원 연안검조소 조위자료를 이용하여 폭풍해일고를 비교하였다. 모델의 폭풍해일 결과와 비교하기 위해 연안 검조소 조위 자료를 조화분해 하여 조석 성분을 제거한 폭풍해일고와 모델 결과를 비교하였다. Table.2에 18개 지점 (인천, 안흥, 보령, 군산외항, 목포, 대흑산도, 추자도, 완도, 거문도, 여수, 통영, 마산, 부산, 제주, 서귀포, 포항, 묵호, 울릉도)에서의 2006년과 2007년 각각 1년간의 전체 폭풍해일고의 모델결과와 관측치의 bias와 RMSE(Root Mean Square Error)를 정리하여 나타내었다.

Table 2 Annual mean statistics for the storm surges height between the observation and model

	bias (m)		RMSE (m)	
	2006	2007	2006	2007
Incheon	-0.001	-0.002	0.146	0.143
Anheung	-0.002	-0.004	0.526	0.118
Boryeong	-0.009	-0.008	0.151	0.126
Gunsan-out	0.005	-0.007	0.348	0.133
Mokpo	-0.003	-0.009	0.151	0.135
Daeheuksan-do	-0.005	-0.013	0.104	0.084
Chuja-do	-0.011	-0.019	0.101	0.092
Wando	-0.017	-0.023	0.090	0.093
Geomun-do	-0.011	-0.019	0.078	0.080
Yeosu	-0.017	-0.023	0.087	0.083
Tongyeong	-0.016	-0.021	0.091	0.083
Masan	-0.033	-0.019	0.380	0.082
Busan	-0.011	-0.016	0.072	0.075
Jeju	-0.012	-0.018	0.078	0.076
Seowipo	-0.014	-0.021	0.074	0.095
Pohang	-0.016	-0.015	0.173	0.072
Mukho	-0.013	-0.015	0.067	0.071
Ulleung-do	-0.014	-0.010	0.075	0.084
Ave.	-0.01	-0.01	0.16	0.10

Fig. 4와 5에는 주요 지점의 모델과 관측의 폭풍해일고를 비교하여 나타내었다.

폭풍해일고의 모델과 관측치의 bias 결과를 보면 모두 음의 bias를 나타낸다. 즉 모델에서 예측한 폭풍해일고가 관측치에 비해 낮게 모의하고 있음을 알 수가 있다. 18개 지점에 대한 2006년과 2007년의 평균 bias는 -0.01 m 로 나타났다. 각 지점 별 bias는 지역적으로 큰 차이를 나타내고 있지 않지만 마산과 완도에서의 bias가 다른 지점에 비해 큰 값을 나타내고 있다.

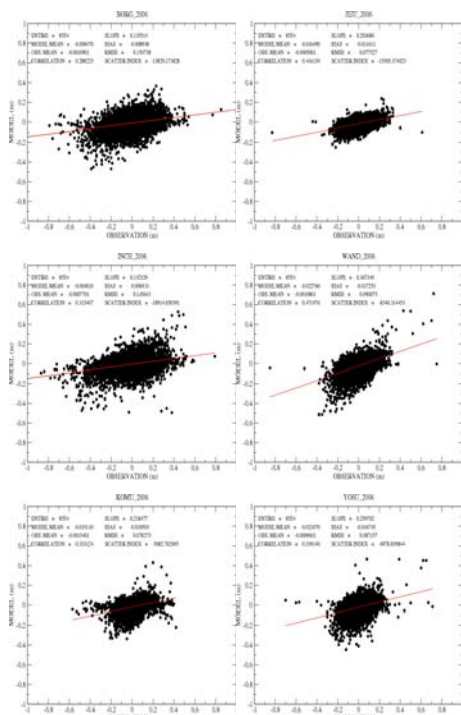


Fig. 4 Scatter plots of storm surges heights observed by tidal stations and calculated by STORM in 2006

모델과 관측치 사이의 RMSE 결과를 보면 조석 차이가 크게 나타나는 서해 연안 지점의 RMSE가 크게 나타나는데 2006년의 경우 안흥 지점에서 0.526 m 의 가장 큰 RMSE 값을 보였다. $0.1\sim 0.5\text{ m}$ 의 큰 RMSE를 보이는 서해안 지점 비교와 달리 남해안과 동해안 지점의 RMSE는 감소하는 것을 알 수가 있다. 동해안의 묵호에서

0.067 m 의 RMSE를 보이고 있으나 마산과 포항 지점에서 RMSE 값이 각각 0.380 과 0.173 m 로 다른 남해안과 동해안 지점에 비해 크게 나타났음을 알 수가 있다. 2007년의 경우도 2006년과 마찬가지로 서해안 지점에서 큰 RMSE 값을 나타내고 있으며 인천 지점에서 0.143 m 의 가장 큰 RMSE를 보였으며 서, 남해안 지점에서는 RMSE 최소값이 2006년과 마찬가지로 묵호에서 0.071 m 로 나타났다. 또한 서해안 지점에서 0.1 m 이상의 RMSE 값을 나타내고 있지만 2006년의 경우와 달리 전 지점에 걸쳐 모델과 관측치의 차이가 큰 변동이 없이 매우 안정되게 나타났음을 알 수가 있다. 2006년의 전지점의 평균 RMSE 값은 0.16 m 이고 2007년에는 전지점 평균이 0.10 m 로 나타나 2007년의 모델과 관측의 차이가 2006년에 비해 적게 나타났다.

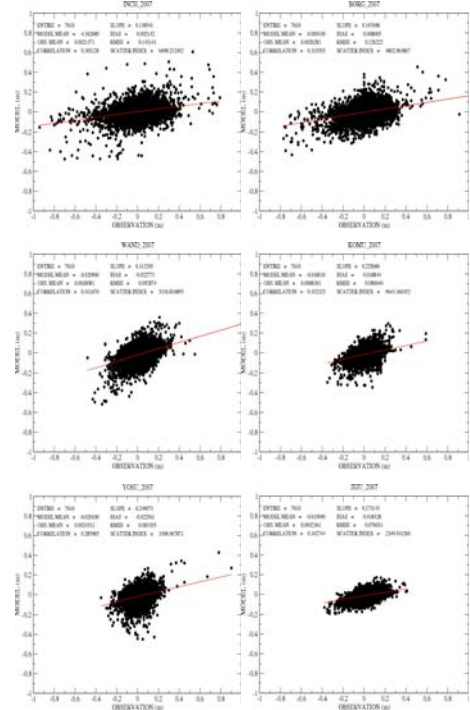


Fig. 5 Scatter plots of storm surges heights observed by tidal stations and calculated by STORM in 2007

Fig. 4와 5에 나타난 폭풍해일고의 산포도를 보

면 관측치의 경우 매우 큰 폭의 분포를 보이는 것에 비해 모델에서 예측한 폭풍해일고는 낮은 수치를 보이고 있다. 특히 이러한 경향은 서해안 지점 비교에서 뚜렷하게 나타나는데 이는 조석의 크기가 상대적으로 매우 큰 서해안 지점의 변화가 큰 폭풍해일고를 모델이 잘 모사하고 있지 못함을 알 수가 있는데 이에 대한 입력장의 정확도 개선 및 모델에서 조석 효과를 좀더 잘 고려될 수 있도록 모델 변수의 정확도 개선이 필요할 것으로 생각된다.

3.3 태풍 기간 동안의 예측 정확도

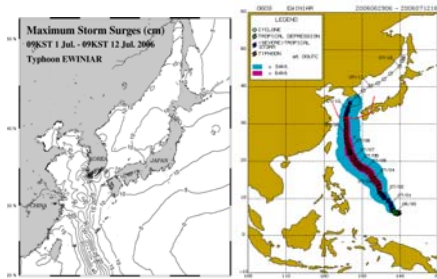
Fig. 6 에는 본 연구에 사용된 2006년 태풍 Ewiniar 와 2007년 태풍 Manyi의 태풍 경로와 이를 따라 계산 된 최대 폭풍해일고 결과를 나타내고 있다. 각 폭풍해일고 결과에서 태풍 경로를 따라 높은 폭풍해일고를 모델이 잘 모사하고 있음을 알 수가 있다. 2006년 태풍 Ewiniar의 경우 류큐 열도 남쪽에서 최대 45cm 의 폭풍해일고를 나타내며 서해안으로 태풍이 이동하면서 0.35m 의

폭풍해일고를 유지하며 서남해안에 영향을 미치고 있음을 알 수가 있다. 2007년도 태풍 Manyi의 경우 북서 태평양에서의 0.5m 이상의 강한 폭풍해일고가 동중국해 까지 유지되었고 일본 남쪽의 매우 넓은 지역에 걸쳐서 태풍에 의한 폭풍해일고의 영향이 크게 나타나고 있음을 알 수가 있다.

Fig. 7(a)에서는 2006년과 2007년의 2개의 태풍(Ewiniar, Manyi)이 우리나라에 영향을 미친 기간 동안의 폭풍해일 예측 모델과 검조소와의 조석/폭풍해일고의 각 예보시간별 (12, 24, 36, 48 시간) bias 값을 나타내었다. 2006년 비교에서는 폭풍해일 예측 모델과 18개 지점 검조소(인천(IN), 안흥(AN), 보령(BO), 군산외항(KS), 목포(MO), 대흑산도(DA), 추자도(CH), 완도(WA), 거문도(KO), 여수(YO), 통영(TO), 마산(MA), 부산(BU), 제주(JE), 서귀포(SO), 포항(PO), 목호(MU), 울릉도(UL))에 대해 비교하였고 2007년에는 12개 지점 (평택(PY), 대산(DA), 장항(JA), 위도(WI), 영광(YE), 진도(JI), 고흥(GO), 모슬포(MO), 성산포(SS), 울산(UL), 후포(HU), 속초(SO))를 추가하였다. 태풍 Ewiniar의 경우 양, 음의 bias 가 번갈아 가면서 나타나는데 인천이 최고 0.18 m 의 양의 bias를 나타내며 보령과 제주가 각각 -0.28 m 와 -0.18 m 의 음의 bias를 나타내었다. 2007년도 태풍 Manyi 경우에는 모델 결과와 관측지점을 18개 지점에서 30개로 늘려서 비교를 실시하였다. 태풍 MANYI 의 경우 인천, 영광, 마산, 후포, 목호, 울릉도를 제외하고는 음의 bias를 나타내었다. 마산의 경우 최대 0.13 m bias를 나타내었으며 장항의 경우 -0.31 m 의 큰 음의 bias를 나타내었다.

Fig. 7(b)에서는 2개의 태풍이 우리나라에 영향을 미친 기간 동안의 폭풍해일 예측 모델과 검조소와의 조석/폭풍해일고의 각 예보시간별 (12, 24, 36, 48시간) RMSE(Root Mean Square Error) 값을 나타내었다. 앞서 bias와는 달리 RMSE 결과에서는 서해안 지점의 결과가 남해안, 동해안 지점 비교에 비해 매우 큰 값을 보이고 있다. 태풍 EWINIAR 의 경우 서해안 지점 외에 제주와 서귀포 지점에서 각각 0.26 m 와 0.20 m 의

(a) Typhoon Ewiniar



(b) Typhoon Manyi

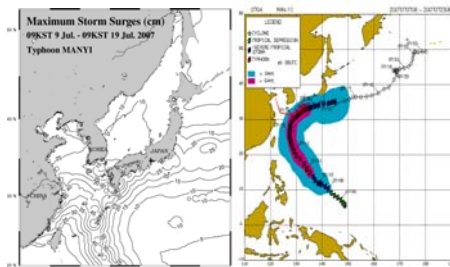


Fig. 6 Maximum storm surges heights and best tracks for the Typhoon Ewiniar (a) and Manyi (b).

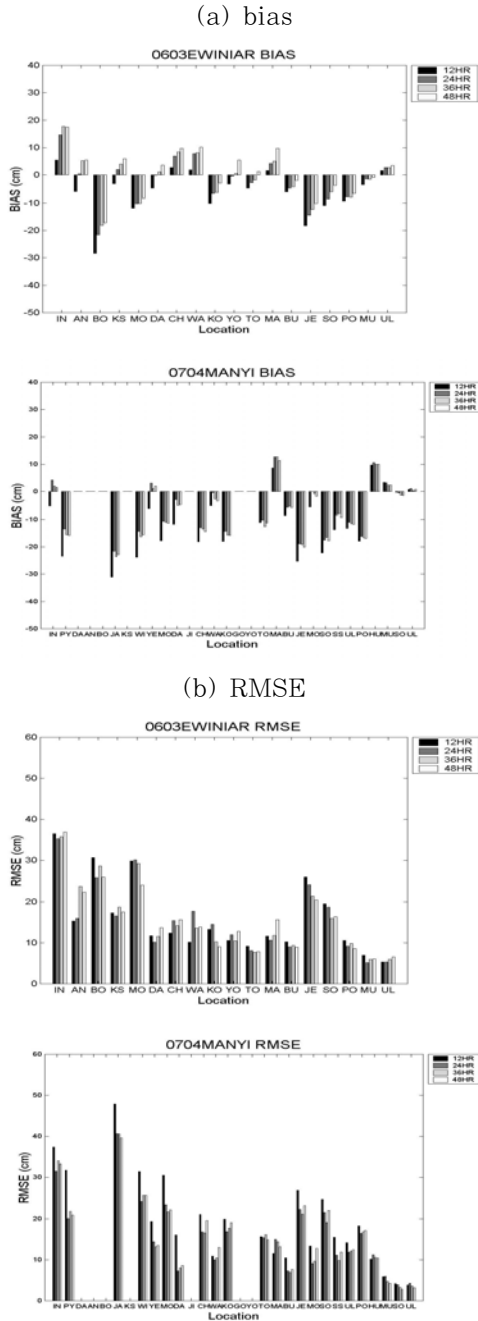


Fig. 7 Bias (a) and RMSE (b) variations of sea level for 12, 24, 36, 48 hours forecasting between STORM predicted results and National Oceanographic Research Institute(NORI) tide gauge observations for Typhoon EWINIAR (0603) and MANYI(0704)

큰 RMSE 값을 보인다. 인천 지점에서 최대 0.37m 의 RMSE 수치를 보이지만 전 비교 지점의 평균 RMSE 값이 다른 태풍 경우에 비해 낮게 나타난다. 기존 18개 지점에서 30개 지점으로 비교 지점을 늘린 2007년도 태풍의 경우에는 새로 추가된 장항 지점의 RMSE 값이 크게 나타난다. 태풍 MANYI의 경우 가장 큰 0.48m 의 RMSE 값이 장항 지점에서 나타나며 앞선 태풍 경우에서 RMSE 값이 컸던 인천, 제주, 서귀포, 포항을 포함하여 위도 목포의 경우도 0.2m 이상의 RMSE 값을 나타내었다. 48시간 예보 평균 bias 는 태풍 Ewiniar와 Manyi 가 동일하게 0.16m 로 나타났다.

4. 결 론

본 논문에서는 2년 동안 STORM 에서 계산된 월별 폭풍해일고의 표준편차 분석에서는 동계의 강한 저기압에 의해 발생하는 높은 폭풍해일고의 표준편차를 확인할 수 있었으며 춘계에 폭풍해일고의 표준편차가 줄어들었다가 하계의 태풍의 영향으로 생기는 높은 폭풍해일고의 표준편차를 확인할 수 있었다. 연안 주요지점의 검조소 자료와 모델과의 폭풍해일고 비교에서는 폭풍해일예측을 위해 사용된 RDAPS 의 해상풍과 해면기압등의 입력장 및 계절에 따라 모델이 관측치에 비해 폭풍해일고를 과대 혹은 과소 모의하는 경향을 나타내고 있다. RMSE 평균은 2006년이 0.16m, 2007년이 0.10m 로 모델과 관측치의 차이가 향상되었음을 알 수가 있다. 우리나라에 영향을 주었던 2개의 태풍에 대한 48시간 예보치의 평균 RMSE는 0.16m 로 나타나 1년 평균치와 유사하게 나타났다.

향후 기상청에서는 RDAPS을 대체하는 영국 기상청의 통합모델인 UM(Unified Model) 모델을 개발 중인데 폭풍해일 모델에 UM 모델 결과를 입력장으로 이용하여 폭풍해일 예측의 정확성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 또한 현재 기상청에서는 연안에서의 상세한 파랑 예측을 위해 1km 수평격자의 연안 상세 파랑 예측시스템을 현업운영

중에 있다. 폭풍해일 또한 연안 파랑 모델과 동일한 영역과 해상도 (1km) 의 연안 폭풍해일 모델 개발을 완료하였으며 2009년에 시험운영을 통해 2010년경에 정식 현업 운영을 실시할 계획이다. 고해상도의 연안 폭풍해일 모델로 예측된 폭풍해일 특성을 관측자료와의 비교를 통해 보다 정확한 폭풍해일 특성을 파악할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 기상청/국립기상연구소의 협동연구사업인 “해일예측시스템 정확도 개선평가”, 주요사업인 “관측기술지원 활용연구”와 한국해양연구원의 NAP 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] 유승협, 서장원, 이호만, 이다운, 윤용훈, “고해상도 광역 폭풍해일 예측기술 개발”, 2005년도 춘계 기상학회 논문집, pp. 390-391, 2005.
- [2] 기상청, “태풍에 관한 장단기 연구계획 수립 및 태풍센터 설립방안 조사”, p. 160, 2005.
- [3] Mellor, G. L., “Users guide for a three dimensional primitive equation, numerical model”. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, Princeton University, Princeton, NJ, p. 41, 1998.
- [4] Matsumoto, K., T. Takanezawa and M. Ooe, “Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimetry data into hydrodynamic model: A global model and a regional model around Japan”, J. Oceanogr., **55**, pp. 567-581, 2000.

저 자 소 개



유승협 (劉承協)

1973년 1월생, 1998년 한양대학교 지구해양학과 졸업, 2000년 동대학원 졸업(이학석사), 2005년 일본 큐슈대학 총합이공학부 대기-해양시스템학 전공 졸업(이학박사), 현 기상청/국립기상연구소 지구환경시스템연구과 기상연구사



이우정 (李雨貞)

1982년 12월생, 2005년 공주대학교 대기과학과 졸업, 2007년 동대학원 졸업(이학석사), 현 기상청/국립기상연구소 지구환경시스템연구과 연구원