



## 논문

# 태풍사전방재모델의 예측 정확도 향상을 위한 연구 Part I: 고해상도 해수면 온도 적용과 기상 자료동화에 대한 WRF 민감도 분석

## A Study on Improving the Prediction Accuracy of a Typhoon Disaster Prevention Model Part I: Sensitivity of the WRF Model to High-Resolution SST Data and Meteorological Data Assimilation

나하나, 정우식\*

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

Hana Na, Woo-Sik Jung\*

Department of Atmospheric Environment Information Engineering/  
Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University

접수일 2019년 3월 29일  
수정일 2019년 4월 17일  
채택일 2019년 4월 18일

Received 29 March 2019  
Revised 17 April 2019  
Accepted 18 April 2019

\*Corresponding author  
Tel : +82-(0)55-320-3932  
E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

**Abstract** The 3-second gust estimated by a typhoon disaster prevention model is a proxy for the maximum wind speed that can occur during a typhoon attack. This information can be very useful for disaster prevention purposes. In order to improve the accuracy of the Weather Research Forecasting (WRF) numerical model, whose results are the input data for typhoon disaster prevention models, this study investigates the sensitivity of the WRF model to high-resolution sea surface temperature data and meteorological data assimilation. In order to do so, analyses of temperature and wind speed have been carried out. Among them, the modeling experiment utilizing high-resolution sea surface temperature data as well as meteorological data assimilation (EXP3) yielded results that best agreed with the observed values. The experiment carried out using only meteorological data assimilation (EXP2) delivered better results than the simulation in which only high-resolution sea surface temperature data were used (EXP1). On the other hand, EXP1 performed slightly better than EXP2 for wind speed estimation. A statistical analysis was performed in order to evaluate the accuracy of the model results. The Root Mean Square Error (RMSE) of temperature estimates was 0.928 for EXP3, and 1.642 for CTL, while the RMSE of wind speed estimates was 2.509 for EXP3, and 3.389 for CTL. These results demonstrate that the highest prediction accuracy is achieved when the model utilizes both the high-resolution sea surface temperature data and the meteorological data assimilation. With this more accurate model, the prediction accuracy of the 3-second gust, which is the maximum wind speed of a typhoon, also can be improved. Finally, this model can be used for disaster prevention, because it can help to reduce the damage caused by typhoons in the Korean peninsula.

**Key words:** WRF, SST, FDDA, Typhoon disaster prevention model, 3-second gust

## 1. 서론

IPCC (2015)에 따르면 기후변화에 의해 극한 기상  
의 발생빈도와 강도가 증가하고 있으며, 그 중에서도

태풍은 전 세계적으로 강도가 증가하고 있다. 이와 관  
련된 여러 요인들 중에서 해수면 온도의 상승은 태풍  
의 강도 증가에 큰 영향을 미친다. 특히, 한반도에 영  
향을 주는 태풍이 발생하고 발달하는 서태평양의 해

수면 온도가 전 지구 해수면 온도보다 더욱 빠른 속도로 상승하고 있고, 중위도 해역에서의 상승폭이 가장 크다. 따라서 한반도 주변의 해수면 온도도 큰 폭으로 상승하면서, 한반도에 영향을 주는 태풍의 강도가 점차 강해질 것으로 예측되고 있다. 이에 국내·외로 태풍의 영향 시기 발생하는 최대풍속의 예측 및 피해와 관련된 국내외 연구들이 수행된 바 있다. 태풍 방재와 관련하여 국외의 연구들(FDFS, 2005; Klawns and Ulbrich, 2003; Sheets, 1990)에서는 태풍의 영향권에 들어가는 기간에 발생할 수 있는 최대풍 및 그 피해와 관련된 기초연구를 수행하여 진단 모델을 개발하고 태풍관련 방재활동의 수행과 태풍 피해보험 분야에 활용한 바 있다. 하지만, 국내에서는 태풍에 의해 발생 가능한 최대풍 산정과 한국형 태풍사전방재모델의 개념 및 개발의 기초연구는 수행되었으나(Na *et al.*, 2018; Kim, 2013; Jung *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2008), 실제 현장에서 태풍사전방재모델을 적용하기 위해 필수적으로 선행되어야 할, 모델결과에 대한 검증과 개선에 관련된 연구는 거의 수행된 바가 없다. 다만, 최근에 와서는 Na *et al.* (2018)의 연구에서 선행 연구들(Jung, 2015; Park *et al.*, 2009; Park *et al.*, 2005)에 의해 구축되어진 태풍사전방재모델의 입력자료로 기상청의 RDAPS (Regional Data Assimilation Prediction System) 수치모델 자료를 사용했던 것과는 달리, WRF (Weather Research and Forecasting) 수치모의 결과를 입력자료로 사용함으로써 고해상도의 자료를 생산하여 활용할 수 있도록 모델을 개선하는 연구정도도 수행된 바 있다.

태풍사전방재모델의 예측 정확도를 높이는데 있어서는 입력자료로 사용되는 WRF 수치모의 결과의 정확도가 매우 중요하다 할 수 있다. 이와 관련된 WRF 수치모의 예측 정확도 향상을 위한 선행연구들을 살펴보면, ERA-Interim 자료와 FNL 재분석자료를 모델의 초기입력자료로 각각 사용하였을 때 모델의 결과를 비교분석하여 모델의 정확도를 평가한 분석(Mun *et al.*, 2017), 고해상도 해수면 온도를 이용한 민감도 실험(Jeong and Park, 2013), 모델 결과의 정확도를 향

상시키기 위한 방안으로 모델의 물리옵션에 따른 차이와 특성 분석(Jeong *et al.*, 2016), 기상자료동화에 따른 민감도 분석(Kim *et al.*, 2016; Choi *et al.*, 2013), 높은 산맥과 다양한 섬의 작용이 중요한 동해안지역을 대상으로 환경부 상세 토지피복도의 개선효과 분석(Jeong and Kim, 2009), 모델의 상세 지표경계자료 입력을 통한 지형지물에 의한 역학적인 흐름의 변화와 지표특성에 의한 미시규모 흐름의 특성 분석(Lee *et al.*, 2008) 등이 수행된 바 있다. 하지만, 이들 연구에서도 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화 적용을 WRF 수치모의에 동시에 적용하여 분석을 수행한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는, 태풍사전방재모델이 사전방재목적으로 활용 가능한 수준에서의 정확도를 제시할 수 있도록 개선하기 위한 선행의 연구로써, 태풍사전방재모델의 기상입력자료로 700 hPa 풍속이 활용되는데, 입력자료 생산에 사용되는 WRF 수치모의의 정확도 향상을 위하여, 고해상도 OSTIA SST자료 및 기상자료동화 과정을 수치모델링에 적용하여 그 결과를 살펴보고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 연구 대상

본 연구에서는 WRF의 고해상도 OSTIA SST자료 및 기상자료동화 적용이 WRF 수치모의에 어떠한 영향을 미치는지 살펴보기 위하여, 최근 한반도에 영향을 미친 태풍 사례 중에서 서해안으로 북상하여 수도권권을 포함한 한반도 전체에 걸쳐 큰 피해를 미친 태풍 볼라벤을 연구 대상으로 선정하였다(그림 1). 태풍 볼라벤은 태풍 매미 이후 가장 강한 풍속인 59.5 m/s의 최대순간풍속이 광주 동구 무등산에서 기록되었으며 태풍으로부터 강하게 유입된 수증기가 산간과 해안에서 충돌하면서 수도권뿐만 아니라 제주도, 남해안, 그리고 지리산 부근에서 200 mm 이상의 매우 많은 비를 내려 막대한 피해를 유발한 태풍이

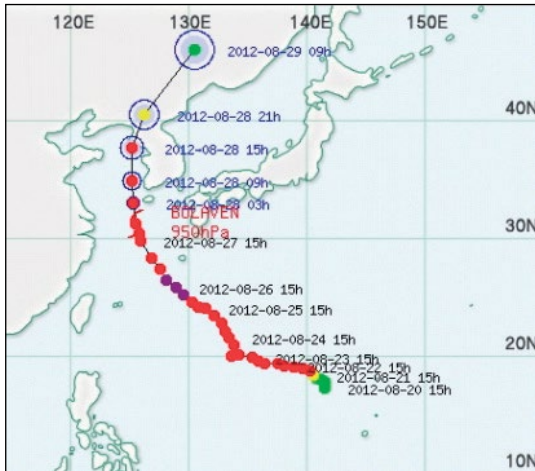


Fig. 1. Track of typhoon 'BOLAVEN' (1215).

다. 본 연구에서는 태풍 볼라벤이 한반도에 영향을 주기 시작한 2012년 8월 27일 0900KST부터 8월 29일 0900KST까지를 분석기간으로 설정하여 연구를 수행하였다.

## 2.2 해수면 온도(이하, SST) 자료

본 연구에서는 WRF 3.7.1 버전을 사용하였다. 이 모델에는 기본적으로 전 지구의 SST자료가 포함되어 있다. 하지만, 이 모델에 포함되어 있는 전 지구 SST 자료는 장기간 기후 평균된 SST이기 때문에, 수치모델링 결과에 큰 영향을 미치는 SST의 시, 공간적 상세 변화를 고려할 수 없다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이 같은 SST의 변화를 고려할 수 없는 문제점을 개선하기 위해, 시간적 변화뿐만 아니라 공간적으로도 고해상도(0.05°)의 간격으로 정보를 제공하며, 여러 연구(Jeong and Park, 2013; Lee *et al.*, 2010)를 통해 한반도 인근에서 가장 좋은 신뢰성을 가지는 것으로 평가된 OSTIA (Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis) 자료를 본 연구의 WRF 수치모델에 사용하였다. OSTIA 자료는 영국 기상청에서 개발된 고해상도의 SST자료로, 기상과 해양 연구에 적용하기 위해 GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment), GHRSS-PP (High Resolu-

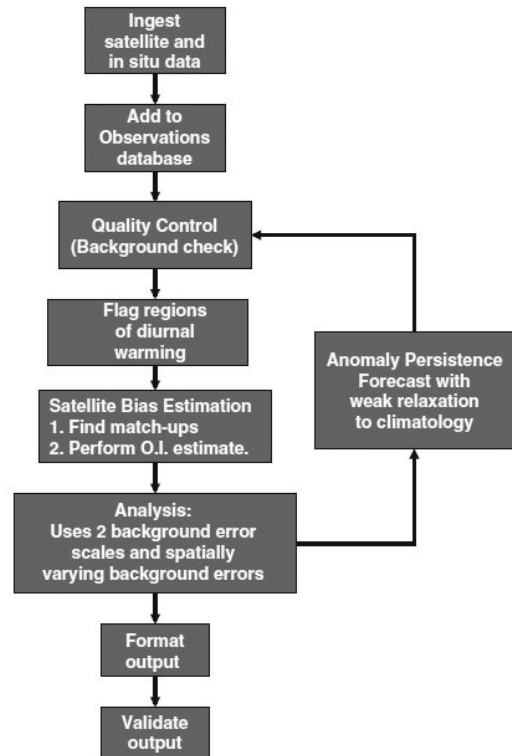


Fig. 2. Flow chart of OSTIA (Stark *et al.*, 2008).

tion Sea Surface temperature Pilot Project) 연구를 통해 지구 전체를 0.05°의 공간 해상도로 분할하여 매 6시간 간격으로 SST와 해빙농도를 제공하고 있다. OSTIA 자료는 SSM-I/DMSP 극초단파, AATSR/Envi-Sat, AVHRR-LAC/NOAA 17 and 18, AVHRR-GAC/NOAA 18, SEVIRI/MSGI 적외 채널과 AMSR-E/Aqua, TMI/TRMM 극초단파 채널 위성 자료를 활용하여 SST와 염분 관측 자료에 대하여 최적 내삽법을 이용한 보정(Stark *et al.*, 2007)을 수행하여 생산된 자료(그림 2)이다. 이들 자료에 대한 검증은 정기적으로 실시하고 있으며, 대서양에서 실시한 EGEE/AMMA 실험의 통계 분석 결과, bias -0.17°C, RMSE 0.39°C로 나타나며, 최근으로 올수록 더 좋은 값을 제공하고 있는 것으로 평가되고 있는 자료(Kim *et al.*, 2015; Stark *et al.*, 2008)이다.

표 1은 우리나라 3면의 해수면에서 기상관측이 수

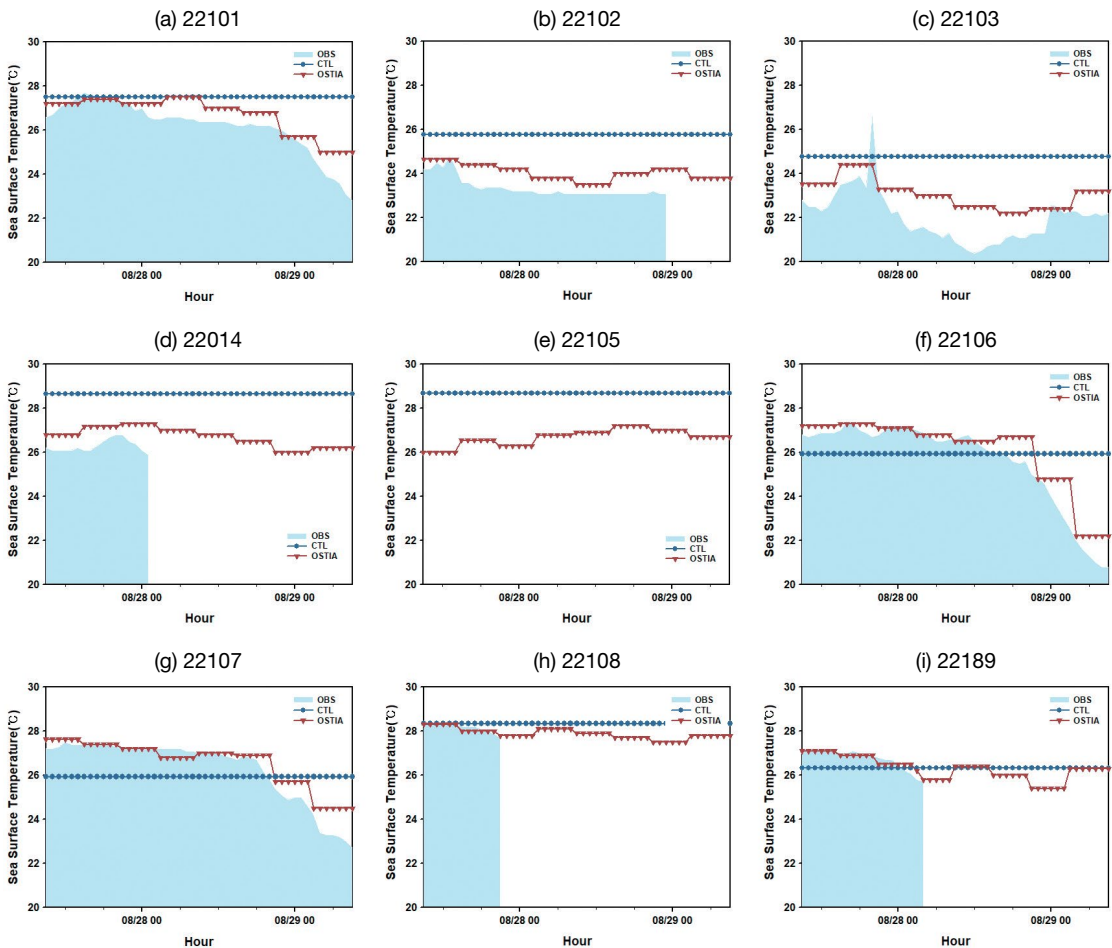
행되고 있는 해양 부이 위치를 나타낸 것이다. 해양 부이는 신속한 기상실황 파악 및 기상예보에 기여하기 위하여, 대기와 해양의 경계에서 발생하는 해양기

**Table 1.** Distribution of buoy point.

| Buoy               | Point distribution |
|--------------------|--------------------|
| Deokjeokdo (22101) |                    |
| Chilbaldo (22102)  |                    |
| Geomundo (22103)   |                    |
| Geojedo (22104)    |                    |
| Donghae (22105)    |                    |
| Pohang (22106)     |                    |
| Marado (22107)     |                    |
| Oeyeondo (22108)   |                    |
| Ulsan (22189)      |                    |

상현상을 관측하는 장비이다.

그림 3은 해양부이에서 관측된 SST와 본 연구에서 사용한 WRF 3.7.1에서 제공하는 기후 평균된 SST, 그리고 시, 공간적으로 고해상도인 OSTIA SST를 함께 나타낸 것이다. 그림에 나타난 지점명은 아래의 표 3을 참고하면 된다. 그림에서 보는 바와 같이, WRF에서 제공되는 기후 평균된 SST는 연구대상기간 동안 관측자료에서 나타난 실제 변화 양상을 전혀 고려하지 못하고 기후평균된 하나의 온도값으로만 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 하자만, 본 연구에서 사용한 고해상도의 OSTIA SST자료는 관측값에서 나타나는 바와 같이 시간에 따른 변화경향을 반영하고 있을 뿐



**Fig. 3.** Comparison of Sea Surface Temperature (SST).

만 아니라 온도값에 있어서도 관측값과 상당히 유사한 정도의 비교적 우수한 정보를 제공하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 기초분석을 바탕으로, 본 연구에서는 그림 3과 같이 관측값을 잘 반영하고 있는 고해상도의 OSTIA SST자료를 WRF 모델의 입력 자료로 사용하여 분석을 수행하였다.

### 2.3 기상자료

해양 부이 자료와 더불어 WRF 수치모델의 타당성 분석을 수행하기 위하여, 종관 기상 관측이 수행되고 있는 기상관측지점의 자료(표 2)를 이용하였다. 여기서, 종관 기상 관측은 정해진 시간의 기상을 파악하기 위해 모든 관측소에서 같은 시간에 실시하는 지상관측을 의미한다. 2017년 기준 품질검사와 결과 정상으로 판정되는 자료가 90% 이상으로 나타난 자료로 총 102개의 지점들 가운데 본 연구에서는 9개의 지점을 임의로 선정하여 활용하였다. 기상관측지점의 풍향, 풍

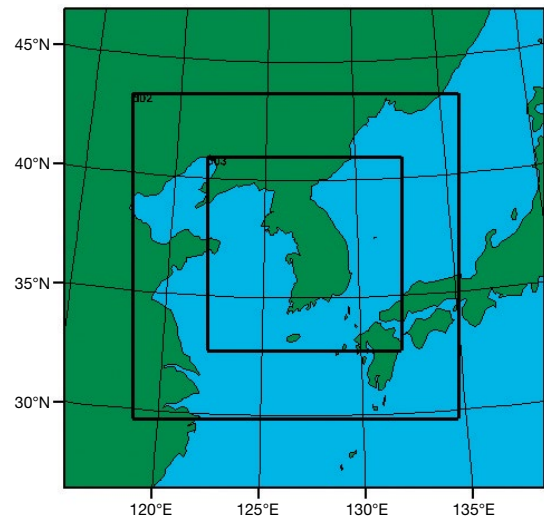
속, 기온 값을 활용하여 WRF 수치모델의 결과와 비교분석을 수행하였다.

### 2.4 실험설계

본 연구에서는 UCAR/NCAR (University Corporation for Atmospheric Research/National Center for Atmospheric Research)에서 개발된 WRF-ARW Version 3.7.1을 사용하였다. 표 3은 본 연구에서 사용한 WRF에 대한 개요를 나타낸 것이며, 그림 4는 WRF 수치모델을 위한 계산영역을 나타낸 것이다. 본 연구의 대상 지역인 한반도를 중심으로 총 3개의 도메인

**Table 2.** Distribution of AWS point.

| AWS                 | Point distribution |
|---------------------|--------------------|
| Baengnyeongdo (102) |                    |
| Seoul (108)         |                    |
| Incheon (112)       |                    |
| Ulleungdo (115)     |                    |
| Daejeon (133)       |                    |
| Daegu (143)         |                    |
| Gwangju (156)       |                    |
| Busan (159)         |                    |
| Seongsan (265)      |                    |



**Fig. 4.** Nested model domains used in this study.

**Table 3.** Configuration of WRF model.

|                       | Domain 1                                                                                                | Domain 2                                                                                                                  | Domain 3  |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Horizontal grid       | 124 × 124                                                                                               | 223 × 223                                                                                                                 | 334 × 334 |
| Horizontal resolution | 27 km                                                                                                   | 9 km                                                                                                                      | 3 km      |
| Vertical layers       |                                                                                                         | 27                                                                                                                        |           |
| Physical options      | mp_physics<br>bl_pbl_physics<br>sf_surface_physics<br>sf_sfclay_physics<br>ra_lw<br>ra_ws<br>cu_physics | WSM6 scheme<br>YSU scheme<br>Noah LSM<br>Monin-Obukhov scheme<br>RRTM longwave<br>Dudhia shortwave<br>Kain-Fritsch scheme | No CPs    |
| Initial data          |                                                                                                         | RDAPS data                                                                                                                |           |

으로 모델을 구성하였으며, two-way nesting을 통해 domain 2, 3의 초기 및 경계 자료를 계산하였다. 도메인 구성은 각각  $85 \times 85$ ,  $172 \times 172$ ,  $304 \times 304$ 로 구성하였으며, 격자 간격은 27, 9, 3 km이다. 연직층수는 27개 층으로 설정하였으며, 미세 물리 방안으로 WSM6 scheme, 대기 경계층에 관한 모수화는 YSU scheme 방안을 사용하였다. 그리고 장파복사(longwave)와 단파복사(shortwave)에 관한 물리과정은 각각 RRTM Longwave과 Dudhia Shortwave를 사용하였으며, 적운 모수화 과정은 Kain-Fritsch 기법을 사용하였다. 본 연구의 모델 초기장과 경계 자료에 사용된 입력 자료는 공간해상도 12 km, 시간 간격 6시간의 기상청의 RDAPS 수치예보자료를 사용하였다. 기상자료동화는 FDDA (Four Dimension Data Assimilation)의 관측 너징 (observational nudging) 기법을 이용하였으며, 기상 자료동화에 사용된 자료는 한반도 지역 내의 연직 종관 관측(라디오존데) 및 수평 관측 자료(ASOS, Automated Surface Observing System)를 이용하였다. Observation nudging은 각 격자점에서 영향반경 내에 있는 관측 지점과 해당 격자점의 거리에 따른 차이값을 이용하여, 가중치를 계산하고, 이를 해당 격자점에 내삽하는 방법이다. 관측값과 수치모의 값의 오차들에 대한 완화항(relaxation time)을 모델에서 계산하여, 관측값과의 오차를 줄이고, 모델의 초기 해상도 향상 및 spin-up 현상을 완화시켜주는 역할을 한다.

초기 spin-up 기간을 고려하여 전체 수치모델링 기간은 2012년 8월 27일 0000KST부터 2012년 8월 29일 1800KST까지로 하였으며, 앞서 언급한 바와 같이, 태풍 볼라벤이 한반도에 실제로 영향을 미친 2012년 8월 27일 0900KST부터 8월 29일 0900KST까지를 분석 기간으로 하였다.

WRF 모델링을 수행하는데 있어, 고해상도 SST의 적용과 기상자료동화에 따른 효과를 비교, 분석하기 위하여 본 연구에서는 총 4가지 실험조건을 구성하였다(표 4). 첫 번째 실험은 WRF 3.7.1 버전에서 기본적으로 제공되는 기후 평균된 장기간의 월평균 SST를 그대로 적용하고 아무런 기상자료동화 과정도 적용

Table 4. Description of experiment.

|                    | CTL | EXP1 | EXP2 | EXP3 |
|--------------------|-----|------|------|------|
| SST update (OSTIA) | -   | ●    | -    | ●    |
| FDDA (obs Nudging) | -   | -    | ●    | ●    |

하지 않는 실험(CTL)이며, 두 번째는 고해상도 SST가 WRF 수치모델링 결과에 어떠한 영향을 미치는지, 그 효과를 살펴보기 위하여 OSTIA SST자료를 WRF 수치모델링에 적용한 실험(EXP1)이고, 세 번째는 기상자료동화가 WRF 수치모델링에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 FDDA (obs nudging)를 적용한 실험(EXP2)이다. 마지막으로 네 번째는 고해상도 SST와 기상자료동화를 모두 적용한 효과를 살펴보기 위하여 OSTIA SST자료와 FDDA (obs nudging)를 동시에 적용한 실험(EXP3)으로 구성하였다.

## 2.5 연구방법

본 연구에서는 WRF 수치모델링의 모의 성능을 정성적으로 평가하기 위하여 시계열 분석을 이용하였으며, 정량적으로 평가하기 위하여 통계지표인 RMSE (Root Mean Square Error), IOA (Index Of Agreement), MAE (Mean Absolute Error), MB (Mean Bias) 분석을 수행하였다. 각 지표들은 다음 식(1), (2), (3), (4)와 같이 정의된다. 여기서  $N$ 은 관측지점 개수,  $M_i$ 은 모델 값,  $O_i$ 는 관측값,  $\bar{O}$ 는 관측값의 평균을 의미한다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2} \quad (1)$$

$$IOA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|M_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (2)$$

$$MAE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |M_i - O_i|}{N} \quad (3)$$

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) \quad (4)$$

분석에 사용된 관측 자료는 해상 부이 및 기상관측 지점의 기온, 풍속, 풍향 자료를 이용하였으며, WRF 수치모델링 결과에서 지상으로부터 10m 고도에서의 풍향, 풍속과 2m 고도에서의 기온 자료를 이용하였다. 통계 지표로 사용한 MB, RMSE, MAE 값은 0에 가까울수록 모델의 모의 성능이 높음을 의미하고, IOA 값은 1에 가까울수록 모델의 모의 성능이 높음을 의미한다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 고해상도 SST와 기상자료동화 과정의 적용에 따른 WRF 모델링 결과를 비교, 분석하기 위하여 본 연구 사례인 태풍 볼라벤이 한반도에 영향

을 미친 기간 동안 총 9개 기상관측지점의 기온, 풍속, 풍향 관측값과 각 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3) 결과값을 비교하였다. 고해상도 OSTIA SST자료를 적용한 실험은 'EXP1'이며, 기상자료동화를 적용한 실험은 'EXP2', 그리고 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화 과정을 모두 적용한 실험은 'EXP3'로 표기하였다.

#### 3.1 시계열 분석

##### 3.1.1 기온

그림 5는 기상대에서 관측된 기온 값과 각 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)에서 계산된 기온 값을 나타낸 그림이다. 대부분의 지점에서 연구대상기간 동안 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화를 모두

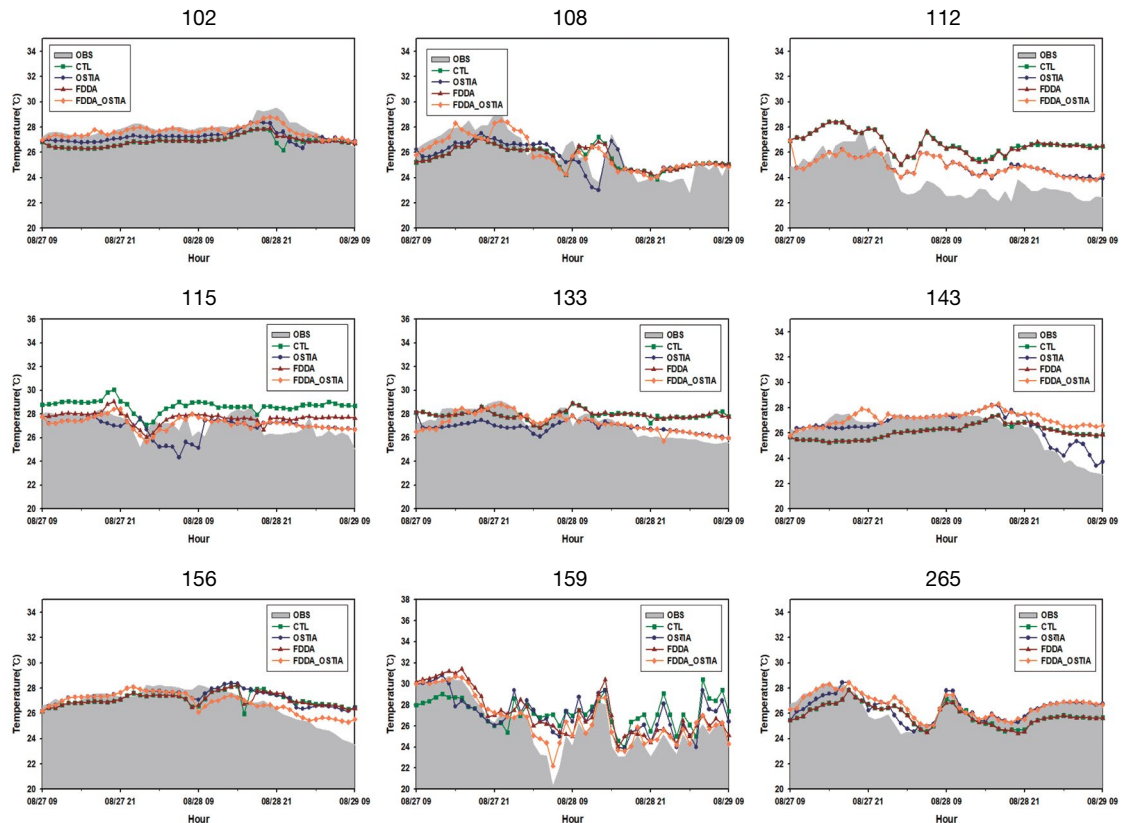


Fig. 5. Temperature of WRF model result and observation.

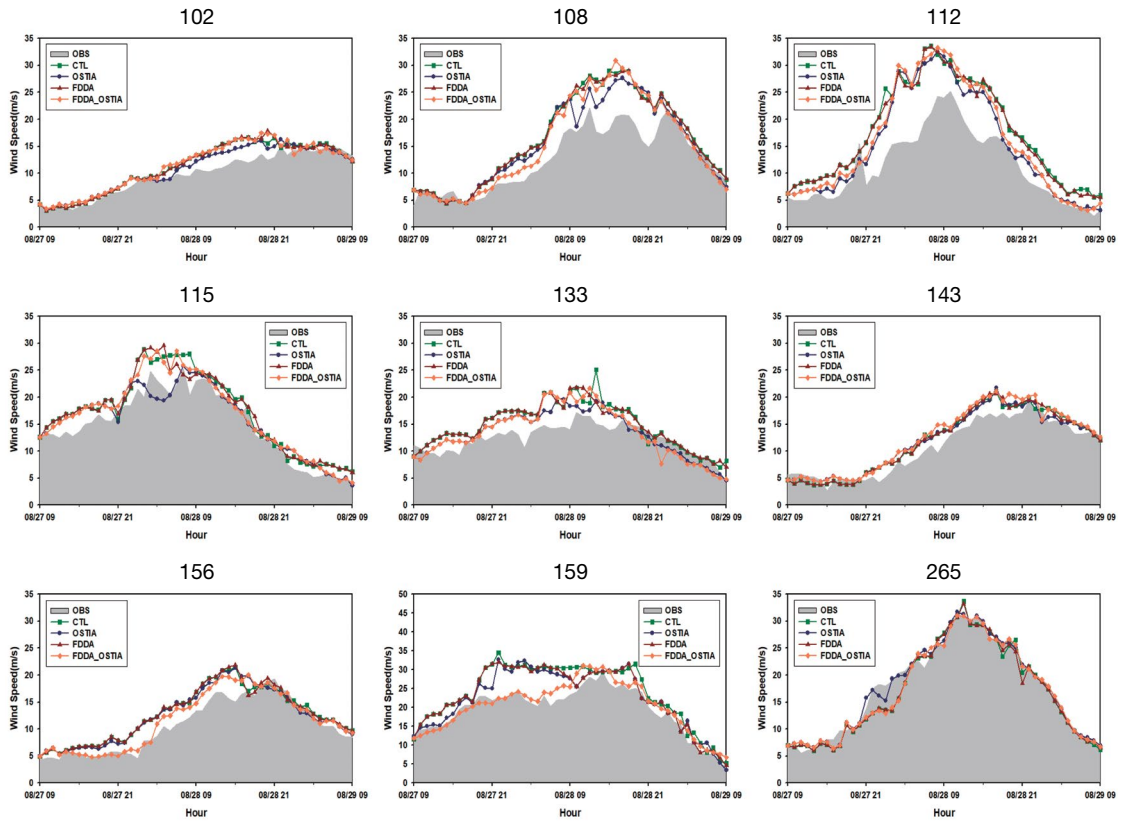


Fig. 6. Wind speed of WRF model result and observation.

적용한 EXP3이 연구대상기간동안 전반적으로 관측 값과 가장 유사한 정도의 결과값을 보이고 시간에 따른 변화 경향도 잘 따르는 좋은 결과로 나타내었다.

이와 더불어, SST자료와 기상자료동화과정 각각의 과정을 단독으로 적용한 실험결과를 비교해 보면, 기온의 경우에는, 고해상도 OSTIA SST자료를 적용한 EXP1이 기상자료동화 과정을 적용한 EXP2의 결과에 비해 다소 좋은 결과를 나타내는 경향을 보였다. 즉, 기온의 경우, 고해상도 해수면 온도를 적용한 실험이 기상자료동화만을 적용한 실험의 결과에 비해 관측값과 조금 더 유사한 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다. 그리고 WRF에서 기본적으로 제공하는 기후 평균된 SST를 고려하고 아무런 기상자료동화 과정이 적용되지 않은 CTL 실험에서의 결과값이 모든 실험 중에서 가장 좋지 않은 결과를 나타낸 것을 알 수 있었다.

### 3.1.2 풍속

그림 6은 기상대에서 관측된 풍속과 각 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)에서 계산된 풍속을 비교하여 나타낸 그림이다. 기온에서 살펴본 바와 마찬가지로, 대부분의 지점에서 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화를 동시에 적용한 EXP3 실험에서의 결과가 다른 실험결과에 비해 관측값을 다소 잘 모의하는 것으로 나타났다.

그러나, SST자료와 기상자료동화과정 각각을 단독으로 적용한 실험(EXP1, EXP2)의 결과를 살펴보면, 6개의 지점(102, 108, 112, 115, 143, 265)에서는 고해상도 OSTIA SST자료를 적용한 EXP1의 결과가 기상자료동화 과정만을 적용한 EXP2의 결과에 비해 관측값과 더 유사한 경향을 보였고, 나머지 3개의 지점(133, 156, 159)에서는 이와 반대의 결과가 나타났다. 하지

만, 전반적인 관점에서 살펴보면, 각 실험결과에서 지점에 따라서 실험별로 결과의 일치도에 차이가 있기는 하지만, 고해상도 SST자료를 적용한 실험인 EXP1의 결과가 기상자료동화과정을 적용한 EXP2에 비해 조금 더 나은 경향을 보이는 것으로 판단되었다.

### 3.1.3 풍향

그림 7은 풍향에 대해서 관측값과 각 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)에서 계산된 풍향을 비교한 것이다. 대부분의 관측값에서 나타나는 동풍 → 남동풍 → 남풍 → 남서풍 → 서풍으로의 변화경향을 각 실험들에서 전반적으로 유사한 경향으로 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 앞서 살펴본 기온과 풍속과 달리, 풍향에서는 대부분의 지점에서 CTL, EXP1, EXP2, EXP3

실험의 결과가 비교적 큰 차이 없이 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타났다. 특히, 159 지점에서 나타난 8월 28일 0300KST부터 급변하는 풍향을 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화 과정을 모두적용한 EXP3에서 잘 재현하는 것으로 나타났다.

### 3.2 통계 분석

WRF 모델 결과의 정량적 분석을 위하여 RMSE, MB, MAE, IOA를 사용하여 통계 분석을 수행하였다. RMSE, MB, MAE 값은 0에 가까울수록 모델의 결과가 타당하다는 것을 의미하며, IOA 값은 1에 가까울수록 모델의 결과가 타당하다는 것을 의미한다. RMSE는 주로 모델의 정확도를 판단할 때 사용되는 지수이며, MB는 모델의 특징(과대모의, 과소모의)등을 판단

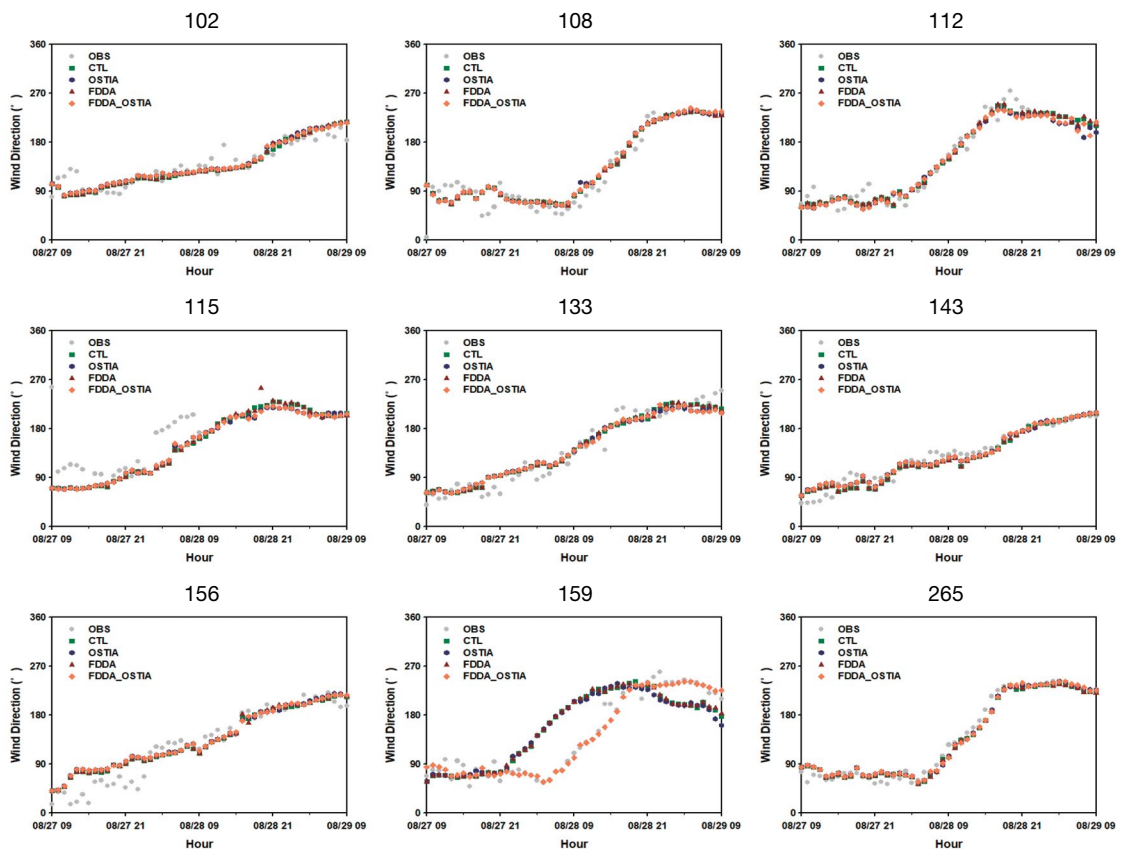


Fig. 7. Wind direction of WRF model result and observation.

할 때 사용되는 지수, MAE는 모델의 결과값의 정확도를 판단할 때 사용되는 지수, 마지막으로 IOA는 모델 결과의 일치도를 판단할 때 사용되는 지수이다.

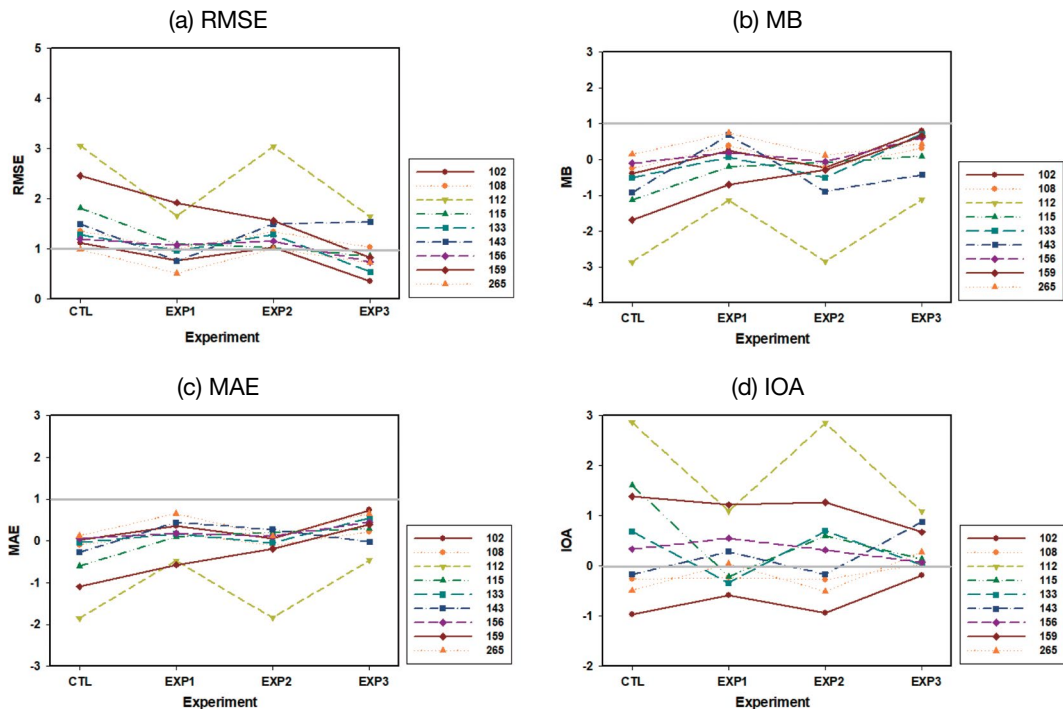
### 3.2.1 기온

표 5~6, 그림 8은 기온 관측값과 각각의 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)에서 도출된 결과를 비교한 통계 분석 결과이다. 표 5를 보면, RMSE의 경우, CTL의 결과에서는 모든 지점이 0.988~3.06에 해당하는 값을 나타내었고 전체 평균 RMSE는 1.642로 나타났다. EXP1의 경우에는 모든 지점에서 0.516~1.922 범위로

나타났고 평균 RMSE가 1.082, EXP2에서는 전 지점이 1.004~3.046의 범위로 1.439의 평균 RMSE가 나타났으며 EXP3에서는 모든 지점에서의 RMSE가 0.353~1.642로 나타났고 평균 RMSE는 0.928이다. MB의 경우, CTL에서는 전 지점이 -2.862~0.142 범위로 나타났고 평균 -0.857의 값을 보였다. EXP1에서는 전 지점이 -1.134~0.739의 범위로 전체 평균은 0.029였고, EXP2는 -2.849~0.121 범위의 값에 평균 -0.556로 나타났으며 EXP3에서는 전 지점에서 -1.117~0.803의 값과 0.231 평균 MB 값을 보였다. MAE의 경우, CTL은 전체 -1.854~0.126, 평균 -0.416으로 나타났으며, EXP1은 전체 -0.572~0.656, 평균 0.116, EXP2는 전체 -1.84~0.272, 평균 -0.159로 나타났다. 그리고 EXP3는 전체 -0.464~0.753, 평균 0.312로 나타났다. 마지막으로 IOA의 경우, CTL은 전체 -0.965~2.864, 평균 0.356으로 나타났으며, EXP1은 전체 -0.592~1.219, 평균 0.116, EXP2는 -0.935~2.85, 평균 -0.159, EXP3

**Table 5.** Mean of temperature statistics.

|      | RMSE  | MB     | MAE    | IOA   |
|------|-------|--------|--------|-------|
| CTL  | 1.642 | -0.857 | -0.416 | 0.356 |
| EXP1 | 1.082 | 0.029  | 0.116  | 0.202 |
| EXP2 | 1.439 | -0.556 | -0.159 | 0.429 |
| EXP3 | 0.928 | 0.231  | 0.312  | 0.631 |



**Fig. 8.** Statistical analysis of temperature.

**Table 6.** Statistical value of temperature.

|     |                   | RMSE  | MB     | MAE    | IOA    |
|-----|-------------------|-------|--------|--------|--------|
| 102 | CTL               | 1.117 | -0.386 | 0.735  | -0.965 |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 0.763 | 0.344  | 0.022  | -0.592 |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.037 | -0.232 | 0.057  | -0.935 |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.353 | 0.221  | 0.363  | -0.091 |
| 108 | CTL               | 1.359 | -0.254 | 0.218  | -0.264 |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.031 | 0.237  | 0.082  | -0.237 |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.343 | -0.223 | -0.105 | -0.272 |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.998 | 0.212  | -0.094 | 0.372  |
| 112 | CTL               | 3.06  | -2.862 | -1.854 | 2.864  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.654 | -1.134 | -0.475 | 1.096  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 3.046 | -2.849 | -1.84  | 2.85   |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 1.642 | -1.117 | -0.464 | 1.003  |
| 115 | CTL               | 1.819 | -1.132 | -0.602 | 1.609  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.094 | -0.206 | 0.24   | 0.803  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.021 | -0.088 | 0.206  | -0.215 |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.854 | 0.083  | 0.096  | 0.134  |
| 133 | CTL               | 1.287 | 0.707  | 0.544  | 0.02   |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 0.963 | 0.071  | 0.037  | 0.338  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.282 | -0.501 | -0.042 | 0.799  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.545 | -0.406 | 0.137  | 0.69   |
| 143 | CTL               | 1.546 | -0.92  | -0.269 | -0.168 |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 0.758 | 0.687  | 0.442  | 0.283  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.501 | -0.887 | 0.272  | -0.168 |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 1.495 | -0.427 | -0.019 | 0.882  |
| 156 | CTL               | 1.195 | 0.678  | 0.451  | 0.072  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.073 | -0.101 | 0.451  | 0.554  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.155 | -0.057 | 0.108  | 0.819  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.741 | 0.192  | 0.081  | 0.678  |
| 159 | CTL               | 2.458 | -1.693 | -1.098 | 1.387  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.922 | -0.703 | -0.572 | 0.88   |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.564 | -0.287 | -0.195 | 1.27   |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.823 | 0.666  | 0.389  | 1.019  |
| 265 | CTL               | 0.988 | 0.142  | 0.126  | -0.488 |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 0.731 | 0.739  | 0.656  | 0.046  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.004 | 0.445  | 0.058  | -0.509 |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 0.516 | 0.121  | 0.656  | 0.898  |

은 -0.191~1.083, 평균 0.631로 나타났다.

하지만, 각각의 지점별 결과를 제시한 표 6과 7을 보면, 각 통계분석(RMSE, MB, MAE, IOA)에 있어 4가지 각각의 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)별로 가장 좋은 값이 나타난 지점수가, RMSE의 경우, EXP3 실험이 8개 지점(102, 108, 112, 115, 133, 156, 159, 265)에서 다른 실험들과 비교해 가장 좋은 결과를 나타내었으며, EXP1 실험은 1개 지점(143)에서 가장 좋은 결과가 나타나서 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료

동화 과정을 모두 적용한 수치모델링의 결과가 상당히 좋은 결과를 제공하는 것을 알 수 있었다. MB의 경우에도, EXP3 실험이 6개 지점(102, 108, 112, 115, 143, 265), EXP2 실험이 2개 지점(156, 159), EXP1 실험이 1개 지점(133)에서 가장 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타나서 RMSE 분석결과와 마찬가지로 EXP3의 결과가 더욱 좋은 수행력을 나타내는 것을 알 수 있었다.

MAE에서는 EXP3 실험이 4개 지점(112, 115, 143, 156), EXP1 실험이 3개 지점(102, 108, 133), EXP2 실험이 2개 지점(159, 265)에서 상대적으로 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타났으나, 앞서 RMSE와 MB 분석에서 나타난 것처럼 EXP3 실험이 다른 실험에 비해 월등히 우수한 결과를 나타내고 있지는 못하였다. 하지만, IOA 분석결과에서는 EXP3 실험이 6개 지점(102, 108, 112, 143, 159, 265), EXP2 실험이 2개 지점(133, 156), EXP1 실험은 1개 지점(115)에서 가장 좋은 결과를 나타내어 EXP3 실험의 결과가 다른 실험에 비해 우수한 수행력을 나타낸 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 종합해 보면, WRF 수치모델링의 기온 수행력에 있어 장기간 기후평균된 SST의 자료를 사용하고 기상자료동화과정이 적용되지 않았던 CTL 실험에서 전반적으로 가장 좋지 않은 결과가 나타나는 것을 알 수 있었고, 해양에서의 고해상도 SST 변화를 고려하고 동시에 기상자료 동화과정을 적용하는 EXP3 실험이 이들 과정 각각을 WRF 수치모델링에 적용하는 실험(EXP1, EXP2)에 비해 더욱 좋은 결과를 도출할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

### 3.2.2 풍속

표 7~8, 그림 9는 풍속에 대한 관측값과 각 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)결과를 비교하여 나타낸 것이다. RMSE의 경우, CTL의 결과에서는 모든 지점이 1.871~5.141에 해당하는 값을 나타내었고 전체 평균 RMSE는 3.389로 나타났다. EXP1의 경우에는 모든 지점에서 1.039~4.234 범위로 나타났고 평균 RMSE가 2.704, EXP2에서는 전 지점이 1.678~5.506의 범위로 3.223의 평균 RMSE가 나타났으며 EXP3에서는 모

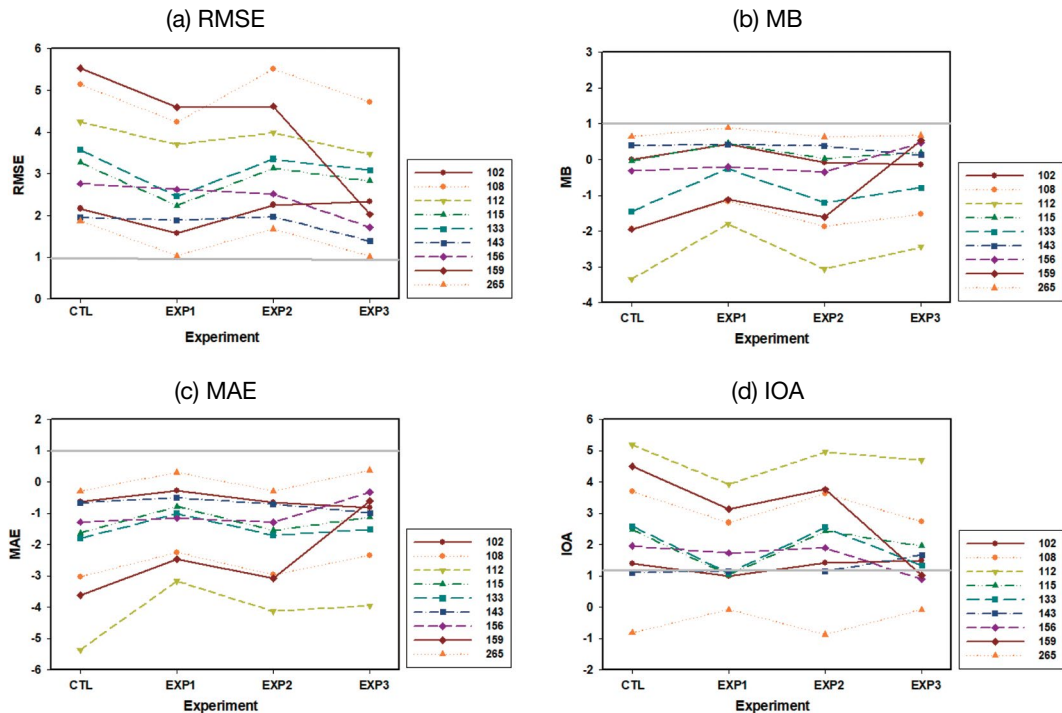
든 지점에서의 RMSE가 1.021~4.718로 나타났고 평균 RMSE는 2.509였다. MB의 경우, CTL에서는 전 지점이 -3.345~0.641로 나타났으며 평균 -0.89의 값을 보였다. EXP1에서는 전 지점이 -1.798~0.888의 범위로 전체 평균은 -0.262였고, EXP2는 -3.066~0.635 범위의 값에 평균 -0.791로 나타났으며 EXP3에서는 전 지점에서 -2.444~0.676의 값과 -0.322 평균 MB 값을 보였다. MAE의 경우, CTL은 전체 -5.363~-0.286, 평균 -2.033으로 나타났으며, EXP1은 전체 -3.168~0.305, 평균 -0.255, EXP2는 전체 -4.134~-0.287, 평균 -1.817로 나타났다. 그리고 EXP3은 전체 -3.965~

0.376, 평균 -1.254로 나타났다. 마지막으로 IOA의 경우, CTL은 전체 -0.82~5.187, 평균 2.453로 나타났으며, EXP1은 전체 -0.075~3.921, 평균 1.742, EXP2는 -0.871~4.958, 평균 2.325, EXP3은 -0.075~4.694, 평균 1.544로 나타났다.

하지만, 기온의 통계분석 결과에서 나타난 바와 마찬가지로, 각각의 지점별 결과를 제시한 표 9와 10을 보면, 각 통계분석(RMSE, MB, MAE, IOA)에 있어 4가지 각각의 실험(CTL, EXP1, EXP2, EXP3)별로 가장 좋은 값이 나타난 지점수가, 특히 RMSE의 경우, EXP3 실험이 9개 지점(102, 108, 112, 115, 133, 143, 156, 159, 265) 모두에서 나머지 다른 실험들에 비해 가장 좋은 결과를 나타내어 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화 과정을 모두 적용한 수치모델링의 결과가 가장 타당한 결과를 제공하는 것을 알 수 있었다. MB의 경우에도, EXP3 실험이 6개 지점(102, 108, 112, 143, 156, 159), EXP2 실험이 2개 지점(115,

**Table 7.** Mean of wind speed statistics.

|      | RMSE  | MB     | MAE    | IOA   |
|------|-------|--------|--------|-------|
| CTL  | 3.389 | -0.89  | -2.033 | 2.453 |
| EXP1 | 2.704 | -0.262 | -0.255 | 1.742 |
| EXP2 | 3.223 | -0.791 | -1.817 | 2.325 |
| EXP3 | 2.509 | -0.322 | -1.254 | 1.544 |



**Fig. 9.** Statistical analysis of wind speed.

**Table 8.** Statistical value of wind speed.

|     |                   | RMSE  | MB     | MAE    | IOA    |
|-----|-------------------|-------|--------|--------|--------|
| 102 | CTL               | 3.164 | 0.149  | -0.657 | 1.398  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 2.338 | 0.430  | -0.272 | 0.599  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 2.252 | -0.077 | -0.627 | 1.416  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 1.574 | 0.002  | -0.110 | 1.088  |
| 108 | CTL               | 5.505 | -1.945 | -3.032 | 3.696  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 4.234 | -1.165 | -2.249 | 2.700  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 5.105 | -1.869 | -2.964 | 3.629  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 4.018 | -1.031 | -2.345 | 1.729  |
| 112 | CTL               | 4.248 | -3.345 | -5.363 | 5.186  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 3.701 | -1.798 | -3.168 | 2.921  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 3.984 | -3.066 | -4.134 | 4.958  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 3.470 | -1.444 | -2.956 | 4.694  |
| 115 | CTL               | 3.268 | -0.037 | -1.625 | 2.479  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 2.236 | 0.452  | -0.779 | 1.031  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 3.135 | 0.027  | -1.548 | 2.434  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 2.025 | 0.196  | -0.125 | 1.956  |
| 133 | CTL               | 3.576 | -1.456 | -1.801 | 2.590  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 2.458 | -0.052 | -1.006 | 1.092  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 3.357 | -1.205 | -1.703 | 2.554  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 2.181 | -0.784 | -0.508 | 1.009  |
| 143 | CTL               | 1.949 | 0.395  | -1.166 | 1.108  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.886 | 0.410  | -0.502 | 1.158  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.968 | 0.386  | -0.705 | 1.148  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 1.386 | 0.131  | -0.991 | 1.067  |
| 156 | CTL               | 2.766 | -0.316 | -1.298 | 1.952  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 2.622 | -0.202 | -1.157 | 1.731  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 2.516 | -0.352 | -1.286 | 1.899  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 1.717 | 0.178  | -0.328 | 0.993  |
| 159 | CTL               | 5.524 | -1.953 | -3.617 | 4.492  |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 4.593 | -1.123 | -2.465 | 3.136  |
|     | EXP2 (FDDA)       | 4.615 | -1.606 | -3.075 | 3.760  |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 2.025 | 0.533  | -0.604 | 1.017  |
| 265 | CTL               | 1.871 | 0.641  | -1.286 | -0.870 |
|     | EXP1 (OSTIA)      | 1.039 | 0.888  | 0.205  | -0.075 |
|     | EXP2 (FDDA)       | 1.678 | 0.535  | -0.287 | -0.858 |
|     | EXP3 (OSTIA_FDDA) | 1.021 | 0.676  | 0.376  | 0.075  |

265), EXP1 실험이 1개 지점(133)에서 가장 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타나서 EXP3 실험이 가장 좋은 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다. MAE의 경우에도, EXP3 실험에서 가장 좋은 결과를 나타내는 지점수가 6개(102, 112, 115, 133, 156, 159)로 나타났으며, 다음으로 EXP1 실험에서 3개 지점(108, 143, 265)이 나타났다. 나머지 IOA 분석결과에서도 다른 통계 분석에서 나타난 결과와 유사하게 EXP3 실험이 9개 비교대상 지점 중에서 대부분인 7개 지점(102, 108,

133, 143, 159, 159, 265)에서 가장 좋은 결과를 나타내었으며, 다음으로 EXP1 실험에서 2개 지점(112, 115)이 나타나서 EXP3 실험의 결과가 다른 나머지 실험들에 비해 우수한 수행력을 나타낸 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 최근으로 올수록 대규모화되고 강도도 강해지고 있는 태풍에 대하여 국내에서 방재적인 목적으로 개발된 태풍사전방재모델의 예측 정확도를 향상하기 위해 태풍사전방재모델의 입력자료를 생산하는 WRF 모델의 고해상도 SST와 기상자료동화과정의 적용에 대한 WRF 모델의 수행력을 평가해 보고자 하였다. 기존의 모델 구동 방법을 적용한 실험(CTL), 고해상도 OSTIA SST자료를 적용한 실험(EXP1), 기상자료동화과정을 적용한 실험(EXP2), 그리고 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화과정을 모두 적용한 실험(EXP3) 각각에 대하여 WRF 수치모델링을 수행하여, 이들 각각의 실험에 대해 모델 결과와 기상 관측지점의 관측값을 비교하고 통계분석을 하였다. 분석 결과, 대부분의 지점에서 고해상도 OSTIA SST자료와 기상자료동화과정을 모두 적용한 실험에서의 결과가 가장 우수한 WRF 수치모델링 수행력을 나타내었으며, 다음으로 고해상도 OSTIA SST자료를 적용한 실험이 비교적 좋은 결과를 나타내었다.

이러한 결과를 추후 태풍사전방재모델의 입력자료를 생산하기 위한 WRF 수치모의 방법에 적용한다면, 최적의 입력자료를 산정할 수 있을 것이며, 정확한 태풍 내습 시기 발생할 수 있는 최대풍속 3-second gust를 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 이를 이용하여 태풍에 대한 사전방재 활동을 수행하고, 태풍의 피해를 효율적으로 저감할 수 있을 것으로 사료되며, 추후, 실제 현장 적용을 위하여, 본 연구에서 수행한 고해상도 SST자료 및 기상자료동화과정을 적용하여 도출된 태풍사전방재모델의 기상입력자료를 생산한다면 실제 태풍이 우리나라에 영향을 미칠 가능성이 제기되는 시점에 현장에서 대응 가능한 실제 강풍 사전

방재 활동에 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 추후 본 연구에서 수행한 WRF모델의 수행력 개선이 태풍 사전방재모델 예측 정확도 개선 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 감사의 글

이 논문은 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입니다(No.2017R1D1A3B03036152).

## References

- Choi, -W., Lee, J.-G., Kim, Y.-J. (2013) The impact of data assimilation on WRF simulation using surface data and radar data: case study, *Korean Meteorological Society*, 23(2), 143-160, DOI: 10.14191/Atmos.2013.23.2.143.
- Florida Department of Financial Services (FDFS) (2005) Florida Public Hurricane Loss Projection Model, Engineering Team Final Report Volume I-III, 48 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2015) Climate Change 2015: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jeong, J.-H., Kim, Y.-K. (2009) The application of high-resolution land cover and its effects on near-surface meteorological fields in two different coastal areas, *Journal of Korean Society for Atmospheric*, 25(5), 432-449. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5572/KOSAE.2009.25.5.432.
- Jeong, J.-H., Oh, I.-B., Kang, Y.-H., Bang, J.-H., An, H.-Y., Seok, H.-B., Kim, Y.-K., Hong, J.-H., Kim, J.-Y. (2016) WRF modeling approach for improvement of air quality modeling in the Seoul metropolitan region: seasonal sensitivity analysis of the WRF physics options, *Journal of the Environmental Sciences International*, 25(1), 67-83. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JESI.2016.25.1.67.
- Jeong, J.-I., Park, R.-J. (2013) A study of the effects of SST deviations on heavy snowfall over the Yellow Sea, *Korean Meteorological Society*, 23(2), 161-169, DOI: 10.14191/Atmos.2013.23.2.161.
- Jung, W.-S. (2015) An estimation of extreme wind speed of typhoon affecting the damage of public and industrial facilities, *Journal of the Environmental Sciences International*, 24(9), 1199-1210. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5572/KOSAE.2019.35.1.036.
- Jung, W.-S., Park, J.-K., Choi, H.-J. (2010) An estimation of amount of damage using the 3-second gust when the typhoon attack, *Journal of the Environmental Sciences International*, 19(3), 353-363. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JESI.2010.19.3.353.
- Kim, J.H., Eom, H.M., Choi, J.K., Lee, S.M., Kim, Y.H., Chang, P.H., (2015) Impacts of OSTIA sea surface temperature in regional ocean data assimilation system, *Journal of Korean Society of Oceanography*, 20(1), 1-15. (in Korean with English abstract), DOI: 10.7850/jkso.2015.20.1.1.
- Kim, J.-S. (2013) On the Characteristics of Damage Scale and Risk Management System by Strong Wind Speed of Typhoon, Master's thesis, Inje University, 109 pp.
- Kim, T.-H., Jeong, J.-H., Kim, Y.-K. (2016) Sensitivity analysis of the WRF model according to the impact of nudging for improvement of ozone prediction, *Journal of the Environmental Sciences International*, 25(5), 683-694. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JESI.2016.25.5.683.
- Klawns -M., Ulbrich, -U. (2003) A model for the estimation of storm losses and the identification of severe winter storms in Germany, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 3, 725-732, DOI: 10.5194/nhess-3-725-2003.
- Lee, H.-W., Jeon, W.-B., Lee, S.-H., Choi, H.-J. (2008) Analysis of numerical meteorological fields due to the detailed surface data in complex coastal area, *Journal of Korean Society for Atmospheric*, 24(6), 649-661. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5572/KOSAE.2008.24.6.649.
- Lee, H.-W., Cha, Y.-M., Lee, S.-H., Kim, D.-H. (2010) Impact of high-resolution sea surface temperature on the simulated wind resources in the southeastern coast of the Korean Peninsula, *Journal of the Environmental Sciences International*, 19(2), 171-184. (in Korean with English abstract)
- Mun, J.-H., Lee, H.-W., Jeon, W.-B., Lee, S.-H. (2017) Impact of meteorological initial input data on WRF simulation comparison of ERA-Interim and FNL data, *Journal of the Environmental Sciences International*, 26(12), 1307-1319. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JESI.2017.26.12.1307.
- Na, H.-N., Park, J.-K., Jung, W.-S. (2018) Building baseline data

- for a typhoon protection system via calculation of the extreme wind speed during a typhoon, *Journal of the Environmental Sciences International*, 27(3), 203-217. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JESI.2018.27.3.203.
- Park, J.-K., Jang, E.-S., Choi, H.-J. (2005) An analysis of meteorological disasters occurred in the Korean Peninsula, *Journal of the Environmental Sciences International*, 14(6), 613-619. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JES.2005.14.6.613.
- Park, J.-K., Jung, W.-S., Choi, H.-J. (2008) The study on the strong wind damage prediction for estimation surface wind speed of typhoon season (I), *Journal of the Environmental Sciences International*, 17(2), 195-201. (in Korean with English abstract), DOI: 10.1155/2019/8063169.
- Park, J.K., Jung, W.S., Choi, H.J. (2009) A selection of representative type the Korean Peninsula detached dwelling for estimate the wind load, *Journal of the Environmental Sciences International*, 18(12), 1417-1426. (in Korean with English abstract), DOI: 10.5322/JES.2009.18.12.1417.
- Sheets, R.-C. (1990) The national hurricane center - past, present, and future, *Journal of Weather and Forecasting*, 5, 185-232, DOI: 10.1175/1520-0434(1990)005.
- Stark, J.-D., Donlon, C.-J., O'Carroll, -A. (2008) Determination of AATSR biases using the OSTIA SST analysis system and a Matchup database, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 25(7), 1208-1217, DOI: 10.1175/2008JTECHO560.1.
- Stark, J.-D., Donlon, C.-J., Martin, M.-J., McCulloch, M.-E. (2007) OSTIA: An operational, high resolution, real time, global sea surface temperature analysis system, *OCEANS 2007-Europe*, 1-4, DOI: 10.1109/OCEANSE.2007.4302251.

### Authors Information

정우식 (인제대학교 대기환경정보공학과 교수)  
나하나 (인제대학교 대기환경정보공학과 박사과정)