

논문

# 태풍사전방재모델의 예측 정확도 향상을 위한 연구 Part II: GDAPS, RDAPS, GFS 자료별 WRF 민감도 분석

## A Study on Improving the Prediction Accuracy of a Typhoon Disaster Prevention Model Part II: Sensitivity of the WRF Model to GDAPS, RDAPS, GFS Data

나하나, 정우식\*

인제대학교 대기환경정보공학과

Hana Na, Woo-Sik Jung\*

Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Inje University,  
Gimhae, Republic of Korea

접수일 2020년 7월 31일  
수정일 2020년 8월 9일  
채택일 2020년 8월 11일

Received 31 July 2020  
Revised 9 August 2020  
Accepted 11 August 2020

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

**Abstract** Typhoon Disaster Prevention Model was developed and operated to reduce damage caused by typhoons that hit the Korean Peninsula. In this study, the sensitivity analysis of the initial meteorological input data of the WRF modeling, which produce the input data of the Typhoon Disaster Prevention Model, was carried out as a study to improve the accuracy of the Typhoon Disaster Prevention Model. As a result of comparing the simulation of the raw data with the typhoon track and the central pressure, it was found that the central pressure of the typhoon was well simulated in the order of GDAPS, GFS, and RDAPS. For wind speed, the results using GDAPS as the initial input data were best simulated, followed by RDAPS and GFS. 3-Second gust produced by the Typhoon Disaster Prevention Model also showed good results in the order of GDAPS, RDAPS and GFS.

**Key words:** WRF, GDAPS, GFS, RDAPS, Typhoon disaster prevention model, 3-Second gust

### 1. 서론

한반도에 영향을 미치는 여러 자연재해 가운데, 최근으로 올수록 태풍의 빈도와 강도가 증가하면서 이로 인한 피해가 급격히 증가하고 있다. 이에 국내·외에서는 태풍에 동반된 강풍으로 발생하는 피해를 저감하기 위한 사전방재 측면에서의 연구들이 선행되고 있다. 미국의 Florida Department of Financial Services (FDFS)에서는 Florida Public Hurricane Loss Model (FPHLM)을 개발하여 허리케인의 내습 시기 피해 발생지역과 피해액을 규모에 따라 구분하여 허리케인에 대한 강풍사전방재 활동을 수행하고 있으며, 국내에

서도 FDFS에서 개발된 FPHLM을 한반도에 영향을 미치는 태풍에 적용할 수 있도록 개선 및 보완하여 강풍의 피해를 사전에 예측할 수 있는 '태풍동반 강풍피해사전방재모델' (이하, 태풍사전방재모델) 관련 연구들(Na *et al.*, 2018; Jung *et al.*, 2010)이 수행된 바 있다. 이들 연구에서는 태풍사전방재모델의 초기입력자료로 700 hPa 고도에서의 풍속을 사용하는 데 태풍사전방재모델의 활용도를 높이기 위해서는 기본적으로 고해상도에 기반한 이 풍속의 정확도 향상이 매우 중요함을 알 수 있다. 고해상도의 700 hPa 고도 풍속은 Weather Research and Forecasting (WRF) 모델을 활용하여 도출하는 방안이 있는데, 이 경우 궁극적으로

태풍사전방재모델의 예측정확도 향상을 위해서는 WRF 수치모의 결과의 타당성 확보가 매우 중요하게 된다.

WRF 모델의 타당성 평가와 관련된 선행연구를 살펴보면, 고해상도 해수면온도자료 적용에 대한 민감도 연구나 토지피복도 자료별 적용에 따른 모델의 수행력을 평가한 연구, 지표 온도 변화에 따른 민감도 연구, 도시 물리 매개변수에 대한 수행력을 평가한 여러 연구들(Ashish *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2016; Carolina *et al.*, 2014; Jeong and Kim, 2009)이 수행되었지만, 초기기상입력자료에 대한 WRF 모델의 수행력을 평가한 연구는 부족한 편(Mun *et al.*, 2017)이므로 이와 관련된 연구는 필요하다 할 수 있다.

기상청에서는 현재 10km 공간해상도의 Global Data Assimilation Prediction System (GDAPS) 자료를 제공하고 있으므로 한반도를 대상으로 수행하는 WRF 모델링 연구에 있어서는 우리나라의 지형적, 지리적 정보 등이 객관적으로 반영된 이 자료를 초기기상입력자료로 활용하는 것도 하나의 좋은 선택이 될 수 있다. 하지만 그보다 앞서, 여러 연구자들이 WRF 모델링 수행 시 기존에 기상청에서 제공하였던 Regional Data Assimilation Prediction System (RDAPS) 자료를 초기기상입력자료로 많이 사용해 왔고 현재도 여전히 사용하고 있다는 점을 고려해 볼 때, 현재 제공되고 있는 GDAPS 자료를 사용한 WRF 모델링 결과가 RDAPS 자료를 사용한 경우와 비교해 어느 정도 차별적 특성을 보이는지 선행적으로 살펴보는 것이 더 우선적으로 필요하다.

따라서 본 연구에서는 태풍에 대한 사전방재 목적으로 태풍사전방재모델의 활용효율을 높이기 위한 예측정확도 향상 연구로서, 우리나라 기상청에서 제공하는 GDAPS, RDAPS 자료를 사용한 WRF 모델링 수행력 평가를 수행하고, 이와 더불어 WRF 모델을 개발한 NCEP에서 권장하고 있는 Global Forecast System (GFS) 자료(Haifan and William A, 2016; Nick P, 2014)를 활용한 WRF 모델링도 추가적으로 수행하여 각각의 결과를 비교하고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

### 2.1 연구 사례

본 연구에서는 초기기상입력자료(GDAPS, GFS, RDAPS)의 적용이 WRF 수치모의와 더불어 태풍사전방재모델의 수행에 미치는 영향을 살펴보기 위하여, 최근 한반도에 영향을 미친 태풍 중에서 2016년에 발생한 18호 태풍 차바(CHABA)를 연구대상으로 선정하였다(그림 1). 태풍 차바는 기상예보의 측면에서는 태풍의 경로와 강도를 정확히 예보했지만, 실제로는 대규모의 피해가 발생한 태풍이다. 이는 기상청에서는 큰 피해가 발생할 수 있는 만큼의 최대 예상 강수량을 예보하였으나 실제 울산과 경남 등에서 이러한 예보에 적합한 태풍사전방재측면의 대비가 부족해서 더 큰 피해가 발생한 대표적인 사례이다. 한반도 상륙 당시 태풍 중심 기압이 955 hPa, 최대풍속이 시속 144 km에 이를 정도로 강력한 태풍으로, 초속 56.5 m에 달하는 최대풍속이 나타났는데, 이는 바람의 세기를 구분하는 뷰퍼트 풍력계급표 가운데 최고 등급인 12 등급에 해당하였다. 태풍 차바의 1분 평균 최대 풍속은 75 m/s로 미국 합동태풍정보센터(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)가 정의한 슈퍼태풍(1분 최대 풍속 65 m/s) 이상에 해당하기도 한다. 2020년 3월 기준 태풍 차바는 한반도에 상륙한 역대 태풍 중 세 번째로 강력한 태풍으로 기록되며, 약 2,150억원의 피해

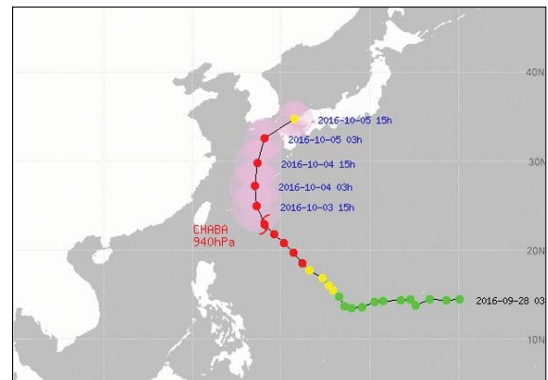


Fig. 1. Track of typhoon CHABA (1618).

**Table 1.** WRF configuration.

	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 bl_pbl_physics sf_surface_physics sf_sfclay_physics ra_lw ra_ws cu_physics	WSM6 scheme YSU scheme Noah LSM Monin-Obukhov scheme RRTM Longwave Dudhia Shortwave Kain-Fritsch scheme	No CPs
Initial data	GDAPS/GFS/RDAPS		

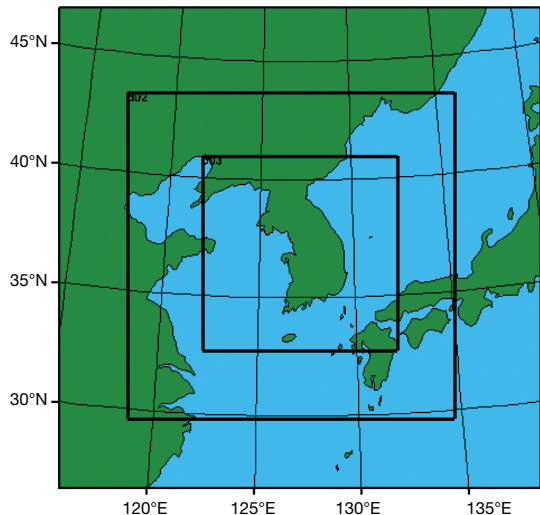
액을 발생시켰으며, 사망자 7명, 실종자 3명의 인명피해를 기록한 태풍이다.

## 2.2 모델 구성 및 실험 설계

### 2.2.1 WRF 수치모델

태풍사전방재모델에 적용되는 시·공간적 고해상도 입력자료를 도출하기 위해 본 연구에서는 WRF 수치모의를 통한 700 hPa 고도 풍속값을 계산하였다. WRF 모델은 University Corporation for Atmospheric Research/National Centers for Atmospheric Research (UCAR/NCEP)에서 날씨의 연구 및 예측을 위해 개발된 수치모델이다. 본 연구에서는 WRF Version 3.8.1의 연구용 WRF-ARW를 사용하였으며, 모델의 물리옵션 및 도메인 구성은 표 1, 그림 2와 같다. WRF 수치모의에 있어 모델의 안정화를 위한 초기 spin-up 시간(MohaddesehA, *et al.*, 2020; Wille, 2015)을 고려하여 전체 모의기간은 2016년 10월 4일 0900 LST~10월 6일 1500 LST까지로 하였으며, 연구에 활용한 분석기간은 우리나라 기상청에서 밝힌 태풍 차바의 한반도 영향기간인 2016년 10월 4일 2100 LST~10월 6일 0300 LST까지로 하였다.

본 연구에서 WRF 수치모의를 수행할 때 초기 기상 입력자료에 따른 효과를 비교 및 분석하기 위하여 본 연구에서는 총 3가지 실험을 수행하였는데, 각각 초



**Fig. 2.** Nested model domains used in this study.

기 기상입력자료로 GDAPS, GFS, 그리고 RDAPS를 사용한 실험으로 설정하였다.

### 2.2.2 태풍사전방재모델

본 연구에서 사용한 태풍사전방재모델은 미국 FDFES에서 개발한 FPHLM을 한반도 영향 태풍에 적용하기 위해 개선 및 보완한 모델이다. 태풍의 내습 시기에 이론적으로 발생할 수 있는 최대순간풍속인 3초 gust를 산정하고 이를 바탕으로 강풍의 영향으로

유발된 피해액을 산정하는 모델로서, Na and Jung (2019)에 모델에 관한 상세한 설명이 소개되어 있으므로 여기서는 생략하였다.

## 2.3 연구 자료

### 2.3.1 기상입력자료

본 연구에서는 초기기상입력자료에 따른 WRF 모델과 태풍사전방재모델의 수행력 정도를 평가하기 위하여 GDAPS, GFS, 그리고 RDAPS 자료를 사용하였다. GDAPS 자료와 RDAPS 자료는 우리나라 기상청에서 United Model (UM)을 기반으로 생산한 자료로서 2010년에 자료 제공을 시작하였으며 2018년 4월경 공식 제공을 중지하고, 현재는 10 km 해상도의 GDAPS 자료로만 제공되고 있다. 본 연구에서는 연구사례 기간인 2016년 10월 4일부터 6일에 해당하는 12 km 해상도의 RDAPS 자료를 활용하였으며, 당시 30 km 해상도의 GDAPS가 제공되고 있는 기간이므로, 10 km

해상도의 GDAPS 재분석 자료를 활용하였다. 27.5 km 해상도의 GFS는 미국 National Centers for Environmental Prediction (NCEP)에서 제공되는 전구모델로서, NCEP에서 권장하고 있는 WRF 모델 입력자료로 여러 국내·외 연구에서 활용되고 있다.

### 2.3.2 관측자료

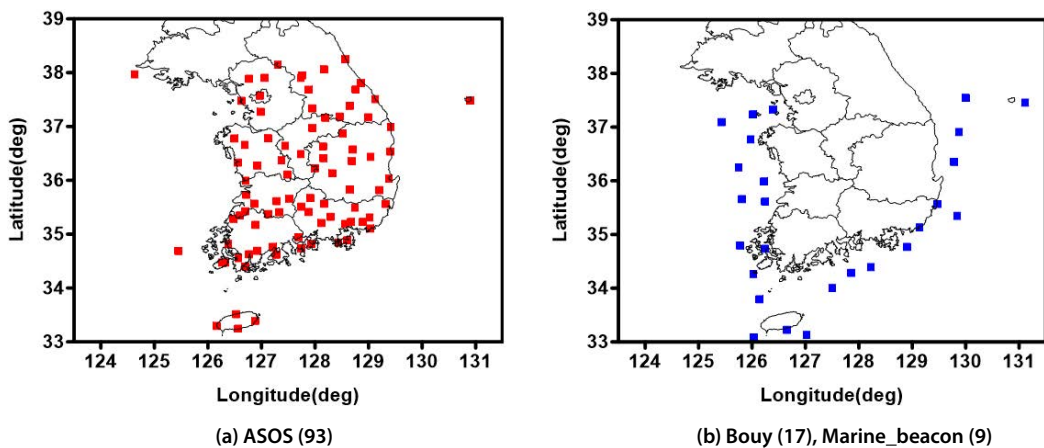
본 연구에서는 WRF 모델 결과의 타당성을 평가하기 위하여 기상관서에서 유인으로 운영되는 종관기상관측장비 (Automated Surface Observing System, ASOS)에서 관측된 기온과 풍속자료를 사용하였으며 (93개 지점), 태풍사전방재모델의 결과인 3초 gust의 민감도 평가를 위해서는 분석에는 기상청 해양부이 (Bouy, 17개 지점)와 등표 (Marine\_beacon, 9개 지점)에서 관측된 GUST 값과 최대순간풍속값을 각각 활용하였다. 이들 GUST 관측값과 최대순간풍속 관측값은 용어에 차이는 있으나, 의미상으로는 동일한 기상요소이다 (기상청 유선확인).

**Table 2.** Meteorological input data for WRF modeling.

Input data	Spatial resolution	Temporal resolution	Prediction time
GFS	27.5 km	6 hr	240 hours
GDAPS	10 km	3 hr	288 hours
RDAPS	12 km	3 hr	87 hours

## 2.4 연구 방법

본 연구에서는 태풍사전방재모델의 입력자료를 생산하는 데 사용되는 WRF 모델의 초기기상입력자료별 민감도 분석을 수행하고, 그 결과를 각각 태풍사전방재모델의 입력자료로 사용함으로써 초기기상입력자



**Fig. 3.** Distributions of ASOS, Bouy, and Marine\_beacon.

료에 따른 태풍사전방재모델의 수행력을 비교분석해 보고자 한다. 이를 위해 모델에서 도출된 10 m 고도에서의 풍속, 2 m 고도에서의 기온을 기상청 ASOS에서의 관측값과 비교분석하였으며 이와 더불어 태풍사전방재모델에서 도출된 3초 gust 결과값과 기상청 해양부이(buoy)에서 관측되는 GUST 값과 등표에서 관측되는 최대순간풍속값을 비교하였다. 모델을 통해 산정된 값들의 직접비교(시계열분석, difference map)의 정성적 분석과 함께 모델의 전반적인 과소·과대모의 정도를 나타내는 평균편차 Mean Bias (MB), 관측값에 대한 모델 결과의 평균적인 오차를 나타내는 Root Mean Square Error (RMSE), 모델 결과와 관측이 일치하는 정도를 나타내는 Index of Agreement (IOA)와 같은 통계값을 활용한 정량적 분석도 수행하였다. 각 지표들은 다음 식 (1), (2), (3)과 같이 정의된다.

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

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

$$MB = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (M_i - O_i) \quad \text{식 (3)}$$

여기서  $N$ 은 관측지점 개수,  $M_i$ 은 모델값,  $O_i$ 는 관측값,  $\bar{O}$ 는 관측값의 평균을 의미한다. MB와 RMSE 값

은 0에 가까울수록 모델의 모의 성능이 높음을 의미하고, IOA 값은 1에 가까울수록 모의 성능이 높은 것을 의미한다.

### 3. 결 과

#### 3.1 초기기상입력자료별 태풍경로와 중심기압

초기기상입력자료별 (GDAPS, GFS, RDAPS) WRF 결과를 비교하기에 앞서 태풍사례에 대한 이들 원시자료의 특성을 각각 살펴보았다. 그림 4는 각각의 초기입력자료 (GDAPS (a), GFS (b), 그리고 RDAPS (c))에 나타난 2016년 18호 태풍 차바(CHABA)의 이동경로를 나타낸 것이다.

각 원시자료에서 나타난 태풍경로를 살펴보면 GDAPS (그림 4(a))와 RDAPS (그림 4(b)) 자료들은 비교적 서로 유사한 경로와 중심위치를 나타내고 있는데, 이는 두 자료 모두 우리나라 기상청에서 운영하는 UM 기반으로 생산된 것이므로 서로 유사한 특성을 나타내는 것으로 볼 수 있으며 이들 두 자료와 달리 GFS (그림 4(b)) 자료는 다소 차이가 있는 것을 알 수 있다. 하지만, 3가지 모든 자료를 보더라도 전반적으로 태풍의 한반도 상륙지점이나 상륙시간대는 유사한 경로를 보이고 있으며 다만, 한반도를 지나 일본으로 향하는 태풍의 약화시기에 있어서의 경로는 좀 더 큰 차이를 나타내고 있다. 그림 5는 우리나라 기상청에서 제공하고 있는 best track 자료와 원시

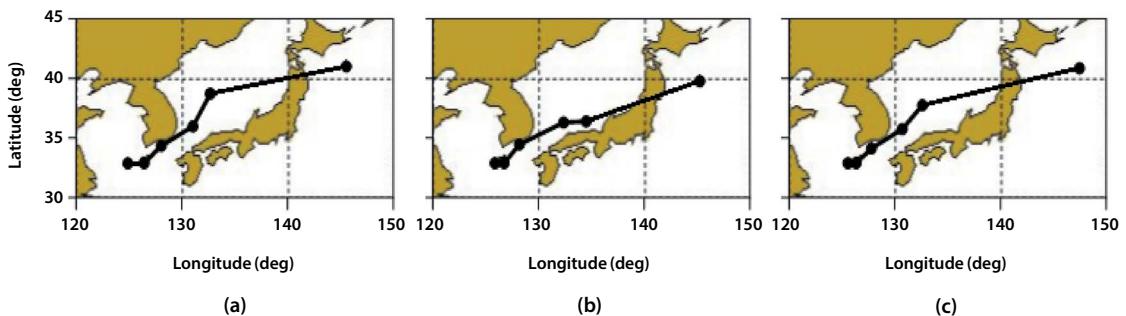
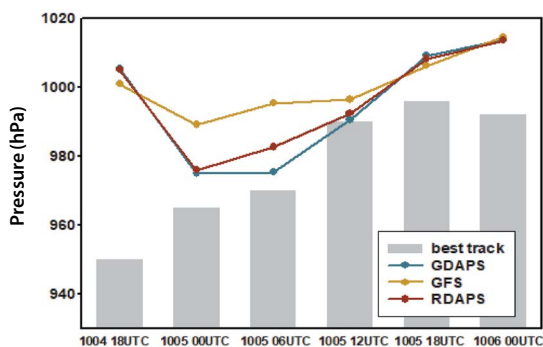


Fig. 4. Typhoon tracks shown in (a) GDAPS, (b) GFS, and (c) RDAPS data (1618 CHABA).

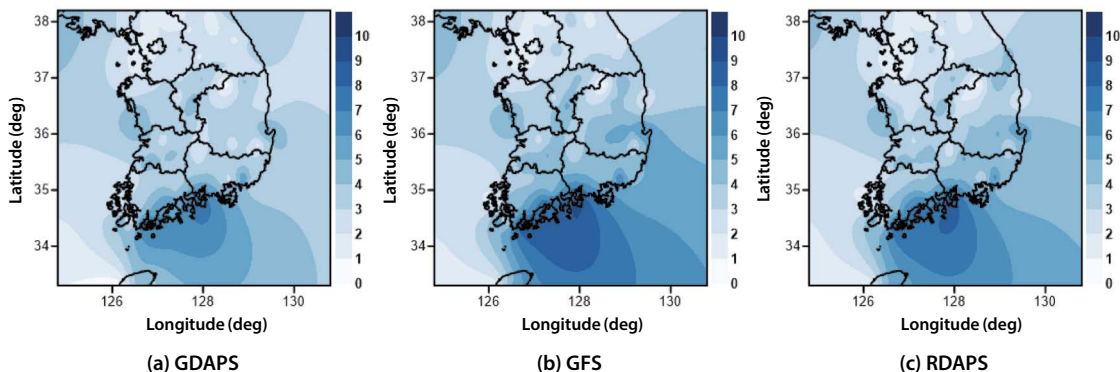
자료(GDAPS, GFS, RDAPS)에 모의된 태풍 차바의 중심기압을 나타낸 것으로 각 자료별 차이의 정도를 알아보기 위한 것이다. 그림을 보면 기준값으로 볼 수 있는 기상청 best track 자료에 나타난 시간대별 태풍 중심기압의 전반적 변화경향은 3가지 자료 모두에서 비슷하게 나타내고 있다. 하지만 중심기압값의 정량적 측면에서의 정확도는 GFS 자료가 best track 자료와 가장 큰 차이를 나타내고 있으며, GDAPS와 RDAPS 자료는 일부 시간대에서의 GDAPS 자료가 best track 값과 더 좋은 일치치를 보이는 것을 제외하고는 거의 유사한 정도에서 GFS 자료보다는 best track 값에 조금 더 가까운 결과를 나타냈다.



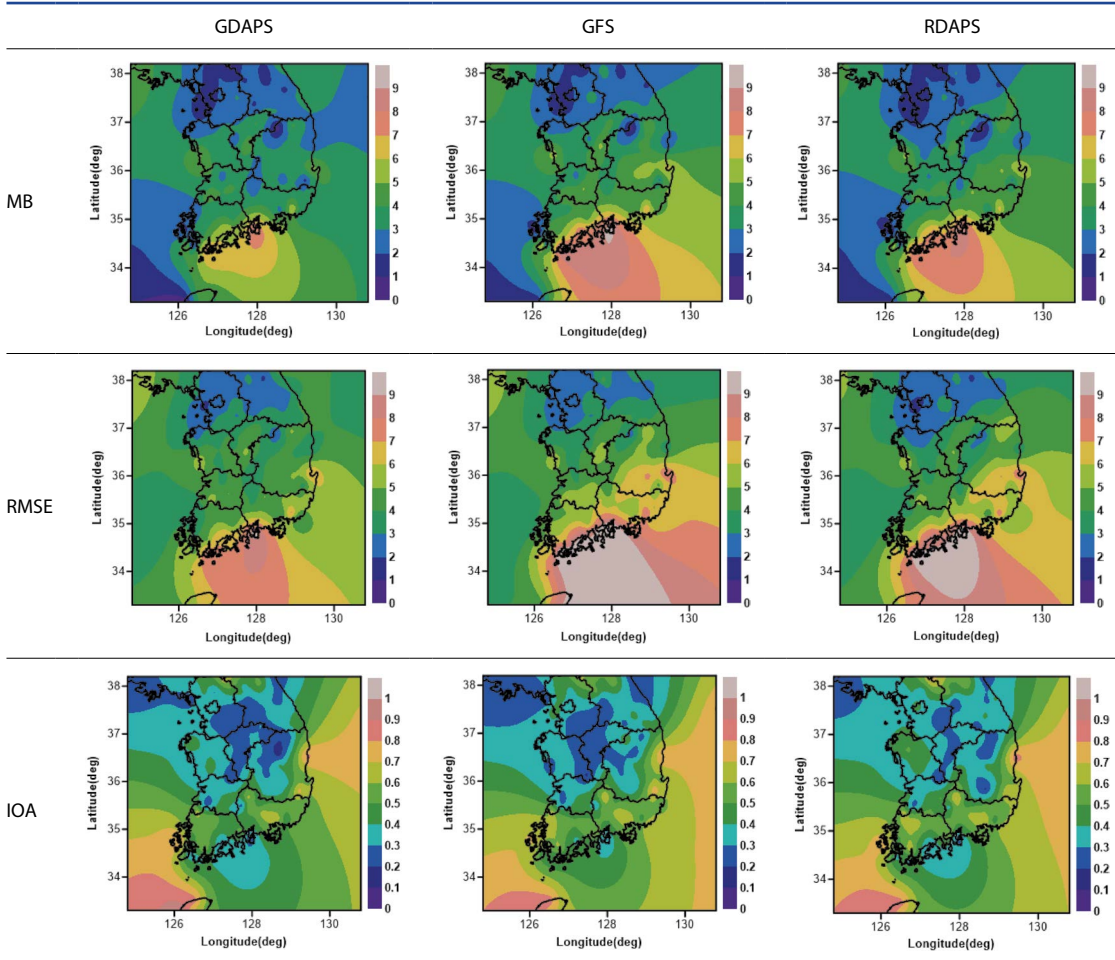
**Fig. 5.** Central pressure of typhoon (gray bar) in the best track of KMA. Color lines show the pressure values in the GDAPS, GFS, and RDAPS data (1618 CHABA).

### 3.2 WRF 수치모의

그림 6은 초기기상입력자료로 GDAPS, GFS, RDAPS를 적용한 각각의 WRF 수치모의를 통해 도출된 93개 ASOS 지점에서의 10 m 고도 풍속 차이값(모델값-관측값) 분포도이다. 그림의 각 지점별 값은 태풍 차바의 한반도 영향기간(2016년 10월 4일 2100 LST~10월 6일 0300 LST) 동안의 시간별 차이값(모델값-관측값)의 평균값이다. 전반적으로, 초기기상입력 자료별로 수치모의된 풍속값과 관측값과의 차이값에 대한 분포도의 경향은 크게 차이나지 않는다. 대부분의 영역에서 초기입력자료에 관계없이 수치모의 결과값이 관측값보다 다소 크게 나타났는데, 특히, 남해 연안지역에 위치한 지점들에서 다소 큰 차이가 나타났다. 이는 선행연구들(Cavalho *et al.*, 2014; Fong *et al.*, 2013)에서 WRF 모델의 과대모의 경향을 지적한 점과 일정부분 관련이 있을 수 있고, 태풍 차바의 중심이 남해 연안을 거치며 진행했던 것을 고려해 보면(그림 1, 그림 4 참조), 태풍 중심부근에서의 급격한 풍속변화를 WRF 모델이 상대적으로 제대로 재현하지 못한 것으로도 볼 수 있다. 모델값과 관측값의 차이 정도를 구체적으로 살펴보면, 초기기상입력자료로 GDAPS를 사용한 경우에는 모델값과 관측값 차이가 0.341~8.106 m/s로 나타났으며(그림 6(a)), GFS를 사용한 경우에는 0.38~9.43 m/s(그림 6(b)), RDAPS의 경우에는 0.524~8.846 m/s로 나타났다. 지점별 차이값의 범



**Fig. 6.** Difference maps showing the degree of agreement between simulated and observed wind speed.

**Table 3.** Distribution of MB, RMSE, and IOA in wind speed.

위를 보면 대체적으로 GDAPS를 초기기상입력자료로 사용한 WRF 수치모의에 있어서 비교적 다소 좋은 결과를 나타낸 것으로 보여진다. 하지만, 태풍의 이동 경로에 따라 중심에서의 거리별 풍속 편차가 큰 태풍의 특성상 이처럼 풍속 차이의 크기만으로 수치모의의 수행력에 대한 직접적인 평가를 하는 것은 다소 한계가 있고 해석상 오류를 유발할 수 있다. 따라서 이러한 차이값의 범위비교 외에 통계분석을 함께 수행하였다.

표 3은 태풍 차바의 한반도 영향기간 동안 시간별 수치모의된 풍속값과 관측값 간의 RMSE, MB, 그리고

**Table 4.** Average MB, RMSE, and IOA for 93 ASOS sites.

	GDAPS	GFS	RDAPS
MB	3.373	3.981	3.677
RMSE	4.337	5.090	4.704
IOA	0.457	0.429	0.447

IOA의 93개 지점별 평균값을 분포도로 나타낸 것이고, 표 4는 지점별 평균 MB, RMSE, 그리고 IOA 각각의 93개 지점 전체 평균값을 나타낸 것이다. 전반적으로 MB, RMSE, 그리고 IOA 분포를 보면 초기기상입력자료로 어떤 것을 사용하느냐에 관계없이 유사한 결

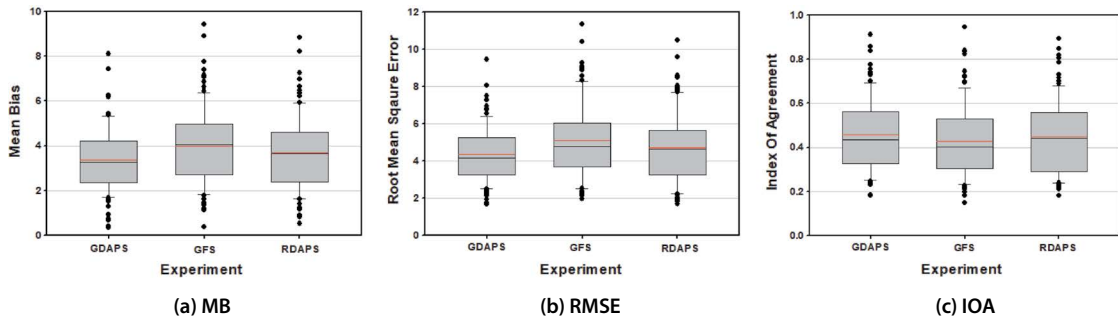


Fig. 7. Box plot of average MB, RMSE, and IOA in wind speed.

과를 보이고 있다. 다만, 모델값과 관측값의 차이 정도를 나타내는 MB와 RMSE 분포를 보면, 대체적으로, 큰 차이값인 붉은색 계열의 면적이 GDAPS의 경우에 다소 작게 나타나고 GFS나 RDAPS에서는 상대적으로 크게 나타나는데, 영역의 크기가 크다는 것은 큰 차이값을 보이는 지점수가 대체적으로 많다고 볼 수 있다. 이와 더불어 표 3과 그림 7에 나타난 93개 지점 전체 평균 MB 값과 RMSE 값이, GDAPS에서, 각각 3.373 m/s, 4.337 m/s로 나타나서 GFS (3,981 m/s, 5.090 m/s)나 RDAPS (3,676 m/s, 4,704 m/s)보다 상대적으로 좋은 결과를 나타내고 있음을 알 수 있으며, IOA에 있어서도, 세 경우 모두 일치도가 다소 낮은 것으로 나타났다지만, MB와 RMSE와 마찬가지로, GDAPS에서 가장 좋은 결과를 보이고 있다.

이상의 결과를 요약해 보면, 본 연구가 WRF 수치모의에 있어 초기기상입력자료가 미치는 수행력의 정도 차이를 평가하기 위한 사전평가 측면에서 태풍 차바를 대상으로 수행한 단일 실험이기는 하지만 초기 기상입력자료로 GDAPS를 사용하는 경우의 WRF 수행력이 GFS나 RDAPS를 사용하는 경우보다 다소 좋은 것으로 나타났다.

### 3.3 태풍사전방재모델 수치모의

여기서는 GDAPS, GFS, RDAPS 자료를 초기기상입력자료로 활용한 각각의 WRF 수치모의 결과를 태풍 사전방재모델의 입력자료로 활용하여 도출한 3초 gust 값의 민감도를 분석하기 위해 26개 지점(부이 17

개 지점, 등표 9개 지점)에서의 관측값(최대순간풍속, GUST)과 비교를 수행하였다. 그림 8은 이들 26개 지점에서 태풍 영향 시간대별 3초 gust 수치모의 결과값과 관측값을 나타낸 것이다. 그림에서 세로축은 3초 gust의 크기를 나타내고, 가로축은 26개 지점을 나타낸 것이다(지점 간 비교가 아닌, 모든 지점에서의 수치모의 정도를 분석하는 것이 주요 목적이므로 복잡한 문자로 표기되는 지점명은 생략하였다). 그림을 보면, 각 태풍영향 시간대에서 각각의 수치모의 결과가 관측값과 좋은 일치를 보이는 것을 알 수 있으며, 더욱이 태풍사전방재모델을 통해 산정된 3초 gust가 대부분의 시간대와 지점에서 관측값보다 조금씩 높게 모의되고 있는 경향을 볼 수 있다. 이것은 사전방재의 측면에서 매우 중요한 의미를 가지는데, 태풍에 동반된 강풍에 의해 발생가능한 피해를 실효적으로 사전에 방재하기 위해서는 상세 지역별로 특정되는 최대 임계풍속값 정보가 매우 중요하며 이러한 최대 임계풍속값이 현장에 적용되기 위해서는 실제 풍속보다 일정부분 높게 제공되어야만 하는데, 본 연구에서 도출된 3초 gust 결과를 보면, GDAPS, GFS, 그리고 RDAPS를 적용한 모든 수치모의 결과에서 관측값보다 일정 정도 높은 값을 보여 방재활용의 목적에, 기본적으로, 적합한 결과를 보여주고 있다. 하지만, 그림 9의 box plot을 보면, 관측값에서 나타나는 3초 gust의 최대값과 최소값, 중앙값, 사분편차값이 GDAPS의 결과와, 상대적으로 GFS, RDAPS에 비해, 비교적 더 좋은 일치를 보이는 것을 알 수 있다. 또한 태풍영향기



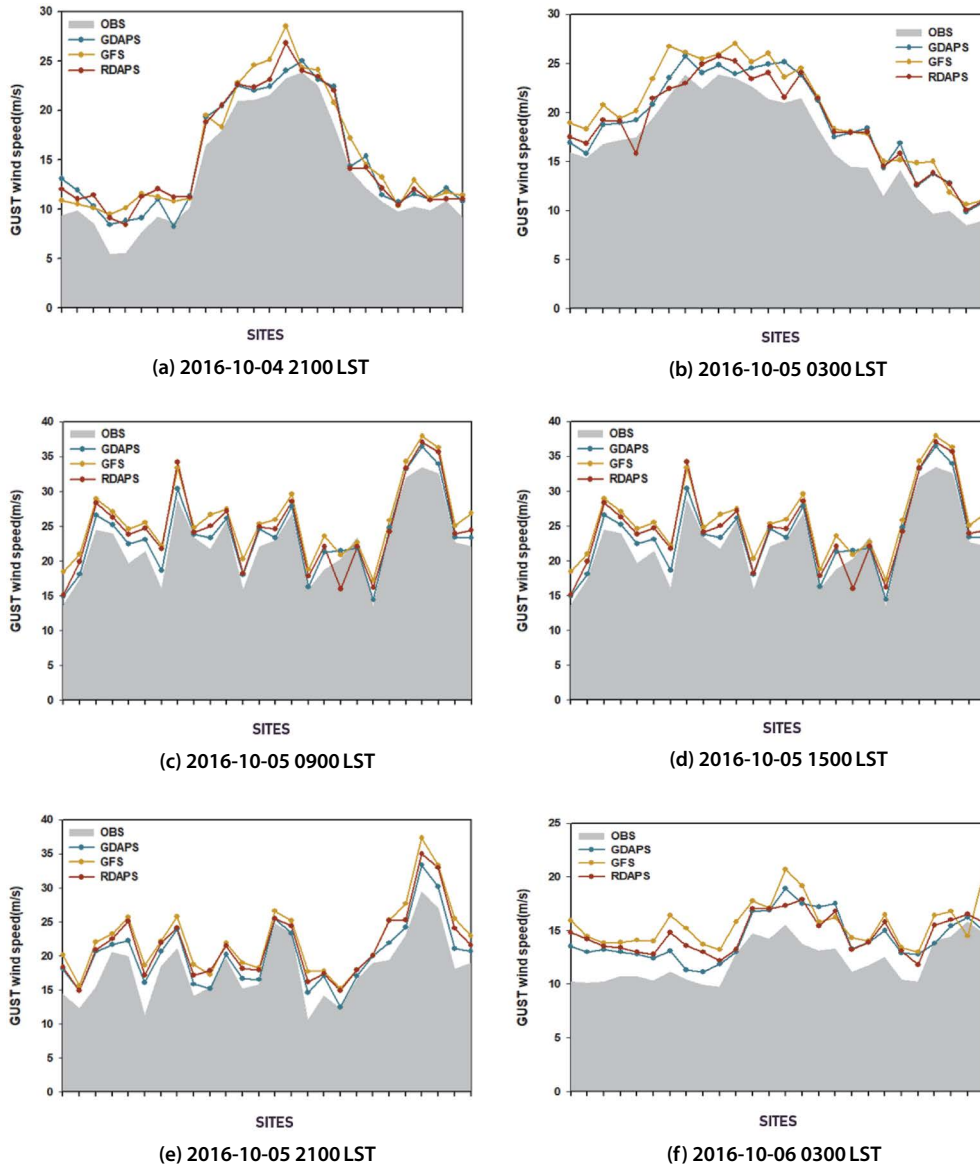


Fig. 8. Comparison of observed and simulated 3-Second gust by sites.

간 동안 26개 모든 지점에서의 시간별 관측값과 모델 값을 비교한 표 5를 보더라도, GDAPS의 MB 값이 2.385 m/s, RMSE 값은 3.410 m/s, IOA 값이 0.746으로 나타나서 GFS의 4.784 m/s, 4.191 m/s, 0.615, RDAPS의 3.745 m/s, 3.670 m/s, 0.697에 비해 좋은 결과를 나타낸 것을 알 수 있다. 이 결과들이, 앞서 설명한 바와

마찬가지로, 초기기상입력자료가 태풍사전방재모델의 수행력에 미치는 영향을 살펴보기 위한 단일 실험에서 도출된 것이기는 하지만, GDAPS를 사용한 결과가 GFS나 RDAPS를 사용한 경우보다 다소 좋은 결과를 나타내는 것으로 나타났다.

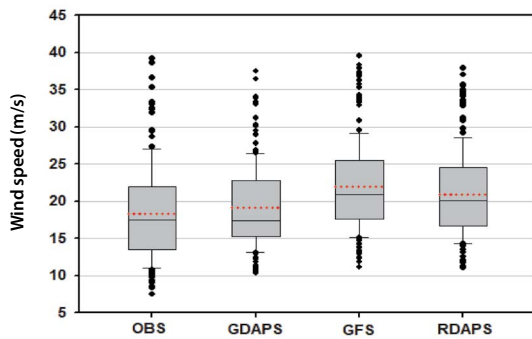


Fig. 9. Box plot of simulated and observed 3-Second gust.

Table 5. Average MB, RMSE, and IOA in 3-Second gust.

	GDAPS	GFS	RDAPS
MB	2.385	4.784	3.745
RMSE	3.410	4.191	3.670
IOA	0.746	0.615	0.697

#### 4. 결 론

본 연구에서는 태풍에 동반된 최대순간풍속인 3초 gust 도출에 활용되는 태풍사전방재모델의 정확도 향상을 위해 초기기상입력자료(GDAPS, GFS, RDAPS) 별 민감도 분석을 수행하였다. 이를 위해 이들 자료별 WRF 수치모의를 수행하고, 이를 바탕으로 태풍사전방재모델의 3초 gust 결과에 대하여 분석하였다. 초기 기상입력자료별 태풍경로, 중심위치를 비교해 본 결과, 우리나라 기상청에서 운용하는 수치모델인 UM기반으로 생산된 GDAPS와 RDAPS는 서로 유사한 경향을 보였으나, GFS와는 다소 다른 결과를 보임을 알 수 있었다. GDAPS, GFS, RDAPS를 각각 초기기상입력자료로 활용한 WRF 수치모의의 풍속값을 관측값과 비교해 본 결과, GDAPS를 초기기상입력자료로 사용한 수치모의가 GFS와 RDAPS에 비해 비교적 좋은 결과를 보였으며, 마찬가지로 초기기상입력자료별 태풍사전방재모델의 민감도 분석을 수행한 결과에서도 GDAPS를 초기기상입력자료로 사용한 경우 태풍 시 기 3초 gust를 가장 잘 모의하는 것으로 나타났다. 태

풍에 동반된 강풍으로 발생가능한 피해를 사전에 진단하고 예측하는 태풍사전방재모델은 현장적용적 측면에서 활용성이 매우 중요하다. 이를 위해서는 신뢰성 있는 강풍관련 정보의 생산이 중요하고, 그러한 목적을 향한 과정의 일환으로 본 연구에서는 태풍사전방재모델의 정확도에 영향을 미치는 초기기상입력자료별 민감도 평가를 수행하였다. 비록, 현재의 연구결과는 다수의 태풍을 대상으로 수행된 연구가 아닌, 단일 태풍사례의 결과이므로, 여기서 도출된 결과가 초기기상입력자료의 질적평가에 정량적 정확도를 담보하지는 않지만, 현재의 수치모의 결과에서 나타난 바와 같이, 초기기상입력자료별로 모델결과에 상당정도 차별적인 수준에서의 서로 다른 풍속값을 생산할 가능성이 있으므로, 이와 관련된 집중연구의 필요성을 제기하는 정도의 결과도출과 목적성에는 일정정도 성과가 있다고 판단된다. 따라서 현재의 시범적 연구를 바탕으로 장기간의 자료에 기록된 한반도 영향태풍에 대한 전반적 평가를 수행한다면 실질적으로 활용가능한 결과도출될 수 있을 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1F1A1068738).

#### References

- Ashish, S., Harindra, J.S.F., Alan, F.H., Jessica, J.H., Michael, B., Fei, C. (2017) Urban meteorological modeling using WRF: a sensitivity study, *International Journal of Climatology*, 37, 1855-1900. <https://doi.org/10.1002/joc.4819>
- Carolina, C., Blanca, M., Jorge, Z.-H. (2014) Sensivity of the surface temperature to changes in total solar irradiance calculated with the WRF model, *Geofisica Internacional*, 53(2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/s0016-7169\(14\)71497-7](https://doi.org/10.1016/s0016-7169(14)71497-7)
- Cavalho, D., Rocha, A., Gesteira, M., Santos, C. (2014) WRF wind

- simulation and wind energy production estimates forced by different reanalyses: Comparison with observed data for Portugal, *Applied Energy*, 117(15), 116-126. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.12.001>
- Florida Department of Financial Services (FDfS) (2005) Florida Public Hurricane Loss Projection Model, Engineering Team Final Report Volume I-III, 48pp.
- Fong, N., Kim, H., Lee, P., Wali, K.A., Bright, D. (2013) A Study of Nocturnal Surface Wind Speed Overprediction by the WRF-ARW Model in Southeastern Texas, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(12), 2638-2653. <https://doi.org/10.1175/jamc-d-13-060.1>
- Haifan, Y., William, A.G. (2016) An Evaluation of QPF from the WRF, NAM, and GFS Models Using Multiple Verification Methods over a Small Domain, *American Meteorological Society*, 31(4), 1363-1379. <https://doi.org/10.1175/waf-d-16-0020.1>
- 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).
- 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*, 24(9), 1199-1210, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/kosae.2009.25.5.432>
- 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). <https://doi.org/10.5322/jes.2010.19.3.353>
- 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 Environmental Science International*, 25(5), 683-694. <https://doi.org/10.5322/jesi.2016.25.5.683>
- Mohaddeseh, A.A., Majid, A., Maryam, R. (2020) Uncertainty reduction in quantitative precipitation prediction by tuning of Kain-Fritsch scheme input parameters in the WRF model using the simulated annealing optimization method, *Meteorological Applications*, 27(4), 1-13. <https://doi.org/10.1002/met.1919>
- 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 Environmental Science International*, 26(12), 1307-1319. <https://doi.org/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). <https://doi.org/10.5322/jesi.2018.27.3.203>
- Na, H.N., Jung, W.S. (2019) Assessment of the Suitability of the Typhoon Disaster Prevention Model according to the Typhoon Maximum Wind Speed Radius and Surface Roughness Length, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 35(2), 172-183, (in Korean with English abstract). <https://doi.org/10.5572/kosae.2019.35.2.172>
- Nick, P.B. (2014) An analysis of the operational GFS simplified Arakawa Schubert parameterization within a WRF framework: A Hurricane Sandy (2012) long-term track forecast perspective, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(2), 378-398. <https://doi.org/10.1002/2014jd022211>
- Wille, J. (2015) Analysis of the AMPS-Polar WRF Boundary Layer at the Alexander Tall Tower! site on the Ross Ice Shelf, Master's thesis, The Ohio State University, 197pp.

## Authors Information

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