태풍 내습 시 지상 최대풍 추정을 위한 WRF 수치모의 사례 연구 : 태풍 RUSA와 MAEMI를 대상으로

정우식 · 박종길^{1)*} · 김은별 · 이보람

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터,

¹⁾인제대학교 환경공학부/대기환경정보연구센터

(2012년 3월 7일 접수; 2012년 3월 14일 수정; 2012년 4월 10일 채택)

A Case Study of WRF Simulation for Surface Maximum Wind Speed Estimation When the Typhoon Attack : Typhoons RUSA and MAEMI

Woo-Sik Jung, Jong-Kil Park^{1)*}, Eun-Byul Kim, Bo-Ram Lee

Department of Atmospheric Environment Information Engineering,

Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 621-749, Korea

¹⁾*School of Environmental Sciences Engineering, Atmospheric Environment Information Research Center,
Inje University, Gimhae 621-749, Korea*

(Manuscript received 7 March, 2012; revised 14 March, 2012; accepted 10 April, 2012)

Abstract

This study calculated wind speed at the height of 10 m using a disaster prediction model(Florida Public Hurricane Loss Model, FPHLM) that was developed and used in the United States. Using its distributions, a usable information of surface wind was produced for the purpose of disaster prevention when the typhoon attack. The advanced research version of the WRF (Weather Research and Forecasting) was used in this study, and two domains focusing on South Korea were determined through two-way nesting. A horizontal time series and vertical profile analysis were carried out to examine whether the model provided a reasonable simulation, and the meteorological factors, including potential temperature, generally showed the similar distribution with observational data. We determined through comparison of observations that data taken at 700 hPa and used as input data to calculate wind speed at the height of 10 m for the actual terrain was suitable for the simulation. Using these results, the wind speed at the height of 10 m for the actual terrain was calculated and its distributions were shown. Thus, a stronger wind occurred in coastal areas compared to inland areas showing that coastal areas are more vulnerable to strong winds.

Key Words : RUSA, MAEMI, Maximum wind speed estimation, WRF

1. 서론

최근 이상 기상 현상으로 인해 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 빈도는 잦아지고, 피해 규모는 대형화되고 있다. 특히, 2002년과 2003년에 발생한 태풍 RUSA와 MAEMI는 최근에 발생한 태풍 중 우리나라

*Corresponding author : Jong-Kil Park, School of Environmental Sciences Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea
Phone: +82-55-320-3250
E-mail: envpjk@inje.ac.kr

에 가장 큰 피해를 주었기 때문에 이 두 태풍에 대한 국내 연구가 활발히 진행되었다.

현재까지 진행된 선행연구는 태풍의 구조 등과 같이 태풍 특성에 대한 연구와 태풍 피해 발생원인 중 집중호우에 관한 연구가 대부분이었다. 태풍 특성 분석에 대한 연구를 살펴보면, Choi 등(2007)은 태풍 RUSA와 MAEMI를 대상으로 연직 바람시어, REFC(Relative Eddy momentum Flux Convergence), 잠재 소용돌이도를 통해 태풍의 발달과 중위도 상층 기압골과의 연관성을 조사하였고, 박과 김(2002)은 KLAPS(Korea Local Analysis and Prediction System)와 레이다 바람장 자료를 이용하여 태풍 RUSA가 우리나라에 상륙하기 전·후의 태풍 연직 및 수평 구조와 태풍 중심을 분석하였다.

태풍에 의해 발생하는 집중호우에 관한 연구는 주로 태풍 RUSA 기간 동안 피해가 높았던 강원도 영동 지방을 중심으로 한 것이 많았는데, 김과 유(2002)는 종관적인 기압계 분석 및 수렴대의 구조적인 특징과 지형적 요인을 이용한 집중 호우를 분석하였다. 정 등(2002)은 지상일기도, 고층일기도, 단열선도, 수치예상도 등을 이용하여 호우의 원인을 분석하였고, 백과 임(2004)은 WRF 모델을 이용한 수치모의 결과를 통해 집중호우에 영향을 미치는 요인을 분석하고자 하였다.

그러나 태풍에 의해 발생하는 피해는 집중호우뿐만 아니라 강풍에 의해서도 영향을 받게 되고, 태풍 기간 중의 바람 분포는 태풍의 강도, 중심위치, 대상지역의 지형 등 여러 가지 주변 환경에 의해서 급변하게 된다. 실제 태풍 RUSA와 MAEMI의 강풍 발생 지역을 살펴보면, 태풍 RUSA의 경우 대체적으로 서해안의 풍속이 높고, 태풍 MAEMI는 남해안의 풍속이 다른 해안에 비해 2배 정도 강하게 나타났다(김 등, 2006). 이러한 결과를 통해서 태풍의 강도가 비슷하더라도, 태풍의 이동경로 등과 같은 특성이 달라지면 강풍 발생 지역도 변화함을 알 수 있었다. 그리고 태풍 MAEMI 기간을 대상으로 MM5 수치 모의 결과값과 관측값을 비교한 결과, 풍속의 변화경향은 유사하였지만, 모델이 태풍에 의한 돌풍을 모의하지 못해 순간적으로 발생하는 강풍을 나타내지 못했다(이와 오, 2004). 이와 같이 태풍에 의해서 순간적으로 발생하는

강풍의 경우, 대상지역의 지형과 태풍의 특성 등 강풍 발생에 영향을 미치는 요소가 다양하므로 예측이 어렵다.

하지만, 태풍 기간 동안 발생하는 강풍은 재산상 막대한 피해를 유발하기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다. 즉, 이전의 선행연구들은 태풍에 의한 피해유발과 관련하여 대부분 기상학적 관점에서 원인 분석을 수행하였으나, 실질적으로는 이러한 연구 외에, 태풍에 의한 피해 저감과 관련하여 국민들이 사전에 대비할 수 있도록 태풍 내습 시 강풍정보를 미리 제공할 수 있는 연구가 필요한 것이다. 이러한 측면에서 Jung 등(2010)은 MM5 모형 기반인 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System) 자료를 이용하여 태풍 내습 시 개방 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_o)과, 지표면의 거칠기를 고려한 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_a)을 추정하고 이론적으로 발생 가능한 최대순간풍속에 의한 주택의 최대 피해액을 추정하여 강풍에 의한 피해 저감 방안을 마련한 바 있다. 이 때 선행연구에서 산정한 10 m 고도의 풍속은 태풍이라는 특수한 기상 조건에서 관측된 풍속의 연직 분포를 일반화하여 추정된 값으로써, 태풍에 의해 발생할 수 있는 이론적인 최대풍속을 의미하므로 태풍에 의한 강풍의 영향을 평가하기에는 적합하다. 하지만 해당 연구에서 사용된 RDAPS 자료는 격자 간격이 넓어서 상세한 지형 효과까지 고려해야 하는 경우에는 어려움이 있다. 특히 우리나라와 같이 좁은 지역 내에서 복잡다양한 지형적·지리적 특징이 나타나는 경우에는 더욱 조밀한 격자 간격의 고해상도 자료가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 RDAPS 자료를 사용하는 대신 WRF 모형을 이용하여 고해상도 수치모의를 실시하고 이들 결과를 입력자료로 사용하고자 하였다. 이를 통해 미국에서 개발된 재해예측모형인 FPHLM(Florida Public Hurricane Loss Model)을 사용하여 태풍 내습 시 방재 목적으로 활용 가능한 고해상도의 지상풍 정보를 생산하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 모델 구성

본 연구에서 사용된 WRF는 대표적인 차세대 기상

수치예보 모형이다. NCAR(National Center for Atmospheric Research)의 MMM(Mesoscale and Microscale Meteorology) Division, NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)의 NCEP(National Centers for Environmental Prediction) 등 여러 기관에 의해 개발되었다. 그리고 수평으로는 Arakawa-C 격자체계를 사용하는 압축성 비정수 모형이다. 모형의 초기장과 경계 자료에 사용된 입력 자료는 NCEP의 FNL(Final Analysis)자료이며 6시간 간격의 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 자료를 사용하였다. 수치모의를 위한 영역과 구성은 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The configuration of WRF

	Domain 1	Domain 2
Horizontal grid	180X180	277X289
Horizontal resolution	9 km	3 km
Vertical layers	33	
Physical options	WSM6 scheme	
	YSU scheme	
	Noah LSM	
	RRTM Longwave	
	Dudhia Shortwave	
	Monin-Obukhov scheme	
Initial data	NCEP FNL data	

사용된 물리 모수화 방안은 미세 물리 방안으로 WSM6(The WRF Single-Moment 6-class), 경계층에 관한 모수화는 MRF(Medium Range Forecast Model) scheme (Hong 과 Pan, 1996)의 다음 세대라 할 수 있는 Hong 등(2006)의 Yonsei University PBL 방법을 사용하였다. 그리고 장파복사와 단파복사에 관한 물리 과정은 각각 RRTM(Rapid Radiative Transfer Model) 장파 복사 기법과 MM5 short wave(Dudhia, 1989)방법이 사용되었다. 적운 모수화 과정은 Shallow convection을 포함하는 Kain-Fritsch 기법을 사용하였다. 자세한 물리 방안에 관한 설명은 NCAR(2008)에 설명되어 있다.

2.2. 수치모의 결과 검증

본 연구에서는 최근에 발생한 태풍 중 큰 피해를 준 태풍 RUSA 기간(2002년 8월 31일 00UTC~9월 2일 00UTC)과 태풍 MAEMI 기간(2003년 9월 12일 00UTC~9월 14일 00UTC)을 대상으로 수치모의를 실시하였다. 본 연구에서 사용된 WRF의 수치모의 결과가 타당하게 모의되었는지 검증하기 위해 사용한 관측 자료는 기상청에서 제공되고 있는 정시 자료이다.

본 연구에서는, 수치모의 결과 중 풍향, 풍속, 기온을 이용하여 모형의 모의 정도를 살펴보았다. 분석 대상 지점은 태풍이 발생했을 때 상대적으로 피해 확률이 높은 도심지와 해안 지역을 대상으로 6지점(서울, 대전, 안동, 군산, 부산, 목포)을 선정하였고, Fig. 2에 해당 지점의 AWS(Automatic Weather System, 자동 기상관측장비) 위치를 표시하였다.

Fig. 1. Nested model domains used in this study.

Fig. 2. The location of the surface stations used in horizontal time series(108 : Seoul, 133 : Daejeon, 136 : Andong, 140 : Gunsan, 159 : Busan, 165 : Mokpo).

또한 온위, 풍향, 풍속의 연직분포를 이용하여 모형의 모의 정도를 살펴보았는데, 분석 지점으로는 속초, 백령, 포항, 광주, 고산, 오산으로 6지점이다(Fig. 3). 본 연구의 사례 기간 중 누락된 자료가 없는 지점을 중심으로 우리나라 전역을 살펴볼 수 있도록 하였다.

Fig. 3. The location of the surface stations used in vertical profiles(90 : Sokcho, 102 : Baengyeong, 138 : Pohang, 156 : Gwangju, 185 : Gosan, 550 : Osan).

이와 더불어, 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_a)을 산정할 때 필요한 초기 입력 자료가 700 hPa 고도의 풍속이므로, 해당 고도에서의 온위, 풍향, 풍속에 대한 시계열을 나타내어 관측값과 비교한 후 WRF의 모의 정도를 살펴보았다. 분석 지점은 연직 프로파일에서 선정된 지점과 동일하다.

2.3. FPHLM 모형을 이용한 10 m 풍속 산정

FPHLM은 미국 FDFS(Florida Department of Financial Services)에서 개발하여 사용되고 있는 재해 예측모형으로 허리케인에 의한 피해와 손실을 산정하는 데 활용된다. 해당 모형에서 도출되는 10 m 풍속은 일반적으로 관측되는 10분 평균 풍속이 아니라 재해 예측 측면에서 활용 가능한 풍속으로 이론적으로 발생 가능한 최대 풍속을 의미한다. 이 모형을 통해 10 m 풍속을 도출하는 목적은 구조물에 영향을 미칠 수 있는 최대 풍속을 가능한 빠르게 추정하여, 태풍 피해를 최소화할 수 있는 사전 정보를 신속하게 전달하는 데 있다.

FPHLM 모형을 이용한 10 m 풍속 산정 과정은 Franklin 등(2003)의 연구 방법을 적용하였다. 먼저 700 hPa 고도 풍속과 태풍의 RMW(Radius of Maximum Wind, 최대풍속반경)에 따른 조정계수를 이용하여, 300 m 고도 풍속을 산정한다. 다음으로, 300 m 고도 풍속을 이용하여 개방형 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_o)을 산정한다. 그리고 계산된 개방형 지형에서의 10 m 고도 풍속을 이용하여 해당 지역에서의 거칠기 길이 자료를 고려한 실제 지형에서의 마찰속도를 계산한다. 이 과정을 통해 도출된 값들을 이용하여 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_a)을 산정한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수평 시계열 분석 결과

Fig. 4는 태풍 RUSA 기간 동안 선정된 6개 지점의 풍향, 풍속, 기온 요소에 대한 관측값과 수치모의 결과를 비교한 결과이다. 바람의 경우 지형 및 지물에 영향을 많이 받아 다른 기상 요소에 비해 모의하기가 상대적으로 힘들다. 하지만 수치모의 결과가 대체적으로 관측값의 경향성(trend)을 따라 잘 모의되고 있는 것을 알 수 있다. 특히 풍향을 살펴보면 특징에 따라 지

Fig. 4. Time series of observed(black) and simulated(gray) wind direction, wind speed, air temperature during Typhoon RUSA period at (a)Seoul, (b)Daejeon, (c)Andong, (d)Gunsan, (e)Busan, (f)Mokpo.

Fig. 5. Same as Fig. 4 but for Typhoon MAEMI.

점을 두 그룹으로 분류할 수 있는데, 서울, 대전, 군산, 목포를 하나의 그룹으로 볼 수 있다. 이들 네 지점에서는 공통적으로 북풍 계열의 바람이 나타나다가, 9월 1일을 기점으로 풍향이 북서풍, 서풍, 남서풍, 남풍 순인 시계 반대 방향으로 변해감을 알 수 있다. 그리고 안동과 부산을 또 하나의 그룹으로 볼 수 있는데, 이 두 지점의 경우 처음에는 북동풍의 바람이 나타나다가 서서히 동풍, 남동풍, 남풍, 남서풍 순인 시계 방향으로 변화가 앞서 살펴본 네 지점과는 다른 반대 방향으로 풍계가 변해감을 알 수 있다. 이렇게 분류된 6개의 지점이 위치하는 곳을 살펴보면 서울, 대전, 군산, 목포는 서해안 부근에, 안동과 부산은 남해안 부근에 위치하여 이러한 풍계의 특징이 각 지점들의 지리적 위치와 연관되어 있음을 알 수 있다. 시계열의 전체적인 모의 정도를 살펴본 결과, 6개의 지점 중 특히 서울과 군산의 모의 정도가 가장 높게 나타났는데, 두 지역은 모두 해안에서 30 km 이내에 떨어져 있어 비교적 해안가 근처에 위치하고 있다. 이는 지형의 형태가 복잡 다양한 내륙지역보다 지형의 형태가 비교적 평탄한 연안 지역에서 수치모의 결과가 좀 더 좋게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 5는 태풍 MAEMI 기간 동안 선정된 6개 지점의 풍향, 풍속, 기온 요소에 대한 관측값과 수치모의 결과를 비교한 결과이다. 전반적으로 태풍 RUSA의 경우와 마찬가지로 수치모의 결과와 관측값이 비교적

잘 일치하고 있다. 특히 기온의 모의 정도가 좀 더 우수하게 나타났다. 태풍 MAEMI의 풍향 패턴을 살펴보면, 태풍 RUSA와는 다르게 모든 지점이 전체적으로 유사한 패턴을 나타내고 있다. 모든 지점에서 처음에는 북동풍 계열의 바람이 나타나다가 9월 13일 00UTC부터 풍향이 남서풍~북서풍으로 나타나 전체적으로 서풍 계열로 변화였다. 태풍 MAEMI는 2002년부터 2010년 발생한 태풍 중 가장 강한 풍속을 동반한 태풍으로, 태풍의 진로 방향(Fig. 6)은 일본 먼 해상에서 북서쪽을 향해 북상하다가 9월 11일 00UTC를 기점으로 오키나와에서 북동쪽으로 태풍의 진로 방향이 바뀌어 우리나라는 전체적으로 남서풍 계열의 영향을 받고 있다. 따라서 6개 지점을 포함한 우리나라 대부분의 지역은 태풍 MAEMI의 영향권 안에 들기 시작하면서 전체적으로 풍향이 서풍 계열로 전환되었다고 할 수 있다. 그리고 풍속과 기온의 경우에도 관측값의 경향성을 잘 모의하고 있으며, 풍속은 비교적 과대평가를, 기온은 과소평가를 하는 경향이 나타났다.

3.2. 연직 프로파일 분석 결과

수평 시계열 분석뿐만 아니라 연직 프로파일 분석을 통해 수치모의 정도를 살펴보았다. Fig. 7은 태풍 RUSA 기간 중 9월 1일 12UTC에 6개 지점의 온도, 풍향, 풍속 요소에 대한 관측값과 수치모의된 값을 비교한 그림이다. 세 가지 요소 모두 전체적으로 관측값

Fig. 6. Track of the Typhoon MAEMI.

Fig. 7. Vertical profiles of observed(black) and simulated(gray) potential temperature, wind direction, wind speed during Typhoon RUSA period at (a)Sokcho, (b)Baengyeong, (c)Pohang, (d)Gwangju, (e)Gosan, (f)Osan.

Fig. 7. Continued.

을 잘 모의하는 것으로 나타났다. 온위의 경우, 고도가 올라갈수록 높아지며, 풍속의 경우 지표 5 km 이내에서 240~360° 사이의 풍향이, 그 위로는 남풍 계열의 바람이 나타났다. 즉, 고도가 높아짐에 따라 북풍 계열의 바람이 남풍 계열의 바람으로 변함을 알 수 있다. 풍속의 경우 대체로 20 m/s 이내의 바람이 관측되었고, 그 중 오산에서는 수치모의뿐만 아니라 관측에서도 가장 강한 바람이 나타났다. 또한 선정된 6개 지점 모두 지상 3 km 부근에서 가장 높은 풍속 범위를 보이다가 점점 약화되었다. 그리고 풍속보다는 온위와 풍향의 수치모의 결과가 좋게 나타났다. 이렇게 연직 프로파일 분석을 통해 온위, 풍향, 풍속을 비교해본 결과, 전체적으로 관측값에 대한 경향성을 잘 따르는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 태풍 MAEMI 기간 중 9월 14일 00UTC에 6개 지점의 온위, 풍향, 풍속 요소에 대한 관측값과 수치모의값을 비교한 연직 프로파일이다. 태풍 RUSA와 비교하여 몇 가지 차이가 나타났다. 우선 풍향을 보면 태풍 RUSA의 경우 고도에 따라 비교적 다양한 풍계의 변화가 나타났지만, 태풍 MAEMI는 모든 지점

에서 북서풍이라는 일률적인 풍향이 나타났다. 또한 풍속의 경우 대체로 30 m/s 이내의 바람이 관측되어 태풍 RUSA보다 강한 풍속 범위를 나타내었다. 온위는 태풍 RUSA와 전반적으로 유사한 범위와 패턴을 나타내면서 관측값을 잘 모의하였다.

3.3. 700 hPa 고도 자료 분석 결과

본 연구에서 700 hPa 고도 풍속 정보는 방재 측면에서 의미가 있는 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속을 산정하기 위한 입력 자료로 사용되기 때문에 매우 중요하다. 따라서 700 hPa 고도에서의 온위, 풍향, 풍속 관측값과의 비교를 통해 WRF 모형의 모의 정도를 살펴보았다. 태풍 RUSA 기간 동안 각 요소에 대한 시계열을 Fig. 9에 나타내었다. 그림에서 관측값이 불연속적인 형태를 띠는 것은 관측 자료의 누락 때문이다. 온위의 경우 전체적으로 시간의 흐름에 따라 증가하다가 감소하는 경향이 나타났다. 그리고 풍향에서 비교적 일률적인 바람의 형태를 나타내는 고산을 제외한 나머지 다섯 지점에서는 다양한 풍계가 나타났는데, 그 중 속초, 백령, 광주, 오산에서는 시점에 차이가

Fig. 8. Same as Fig. 7 but for Typhoon MAEMI.

Fig. 8. Continued.

Fig. 9. Time series observed(black) and simulated(gray) potential temperature, wind direction, wind speed of 700 hPa level during Typhoon RUSA period at (a)Sokcho, (b) Baengyeong, (c)Pohang, (d)Gwangju, (e)Gosan, (f)Osan.

Fig. 9. Continued.

날 뿐 동풍 계열에서 북풍 계열의 바람으로 급변한 것을 볼 수 있다. 포항에서도 동풍 계열에서 북풍 계열 바람으로 변화하였지만, 급변하기보다는 서서히 변했기 때문에 다른 지역과는 차이가 있다. 풍속은 포항에서 40 m/s 정도로 가장 강한 바람이 나타났으며, 태풍이 소멸되어 가는 9월 2일 00UTC에는 모든 지점에서 풍속이 약화되는 경향을 보였다. 누락된 관측값으로 인해 정확한 비교는 힘들지만, 전체적으로 WRF 결과가 관측값을 잘 모의하는 것을 알 수 있다.

그리고 동일한 기상 요소에 대해 태풍 MAEMI 기간에도 관측값과 비교를 통해 모델의 모의 정도를 살

펴보았다(Fig. 10). 그림을 보면 대체적으로 전체적인 경향성은 관측값을 잘 모의하고 있음을 볼 수 있다. 태풍 RUSA와 비교해보면, 온위의 경우 전체적으로 각 지점마다 유사한 패턴과 온위 범위를 나타내었다. 그리고 풍향의 경우 모든 지점에서 공통적으로 9월 13일 00UTC 이후에 풍향이 북서 계열로 나타났었다. 이런 경향은 Fig. 5에서도 마찬가지로 나타났었는데, 선정된 지점과 고도가 다르지만 유사한 시간대에서 풍향이 북서 계열로 변한다는 것은 공통적으로 나타났다. 그리고 풍속은 전체적으로 태풍 RUSA 보다 약하게 나타났는데, 이는 10 m 고도에서의 풍속 결과와도 일

Fig. 10. Same as Fig. 9 but for Typhoon MAEMI.

치하며, 다른 기상 요소에 비해 다소 낮은 모의 정도를 나타냈다.

3.4. FPHLM 모형에 의한 10 m 고도 풍속 분포

앞의 과정을 통해 WRF 모형을 검증한 결과, 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_a)을 산정하는 데 있어 입력 자료로써 적합하다고 판단되었다. Table 2는 자료 및 방법에서 다룬 FPHLM 모형을 이용하여 최종적으로 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_a)을 산정하는 방법을 예시로 나타낸 것이다.

여기서 700 hPa 고도 풍속과 300 m 고도 풍속이 동일한 이유는 RMW에 따른 조정계수가 1로 동일하기 때문이다. 300 m 고도 풍속은 700 hPa 고도 풍속에 조정계수를 곱하여 산정한다. RMW에 따른 조정계수와 관련된 내용은 Jung 등(2010)의 연구에 자세히 소개되어 있으므로, 여기서는 생략하였다.

본 연구에서는 WRF를 통해 생산된 자료를 이용하여, 최종적으로 토지이용도를 고려한 태풍 RUSA와 MAEMI 내습 시 10 m 고도에서 발생 가능한 최대 지상풍 정보는 Fig. 11~12와 같이 나타낼 수 있다.

풍속 범위는 두 태풍 모두 동일하게 0~30 m/s이고, 색상이 진할수록 강한 풍속대를 나타낸다. 결론적으로 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속인 V_a 는 태풍 MAEMI 보다 태풍 RUSA의 경우에 더 강하게 나타났다. 또한 내륙보다는 연안 지역에서 더 강한 풍속이 분포함을 알 수 있다. 이를 통해 연안 지역이 강한 풍속을 동반하는 태풍에 더 취약하다고 할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 방재의 목적으로 사용되는 3-second-gust 산정에 있어 격자 간격이 넓은 기존의 RDAPS 자료를 보완하기 위해 WRF 모형을 이용한 고해상도 수치모의를 실시하고, 실제 지형에서의 10 m 고도 풍속(V_a)을 구해 그 분포를 살펴보았다. 먼저 본 연구에서 사용한 WRF 모형의 결과 검증을 위해 수평과 연직 방향의 풍향, 풍속 그리고 기온 요소를 관측값과 비교해본 결과, 잘 모의하고 있음을 알 수 있었다. 또한 700 hPa 고도에서의 자료 역시 그 모의 정도가 우수하다고 판단되었다.

이를 바탕으로 기존에 사용된 RDAPS 자료 대신 WRF 모델 결과값을 이용한 실제 지형에서의 태풍 내습 시 발생 가능한 10 m 고도 풍속(V_a)의 분포를 분석할 수 있었고, 전체적인 풍속 분포를 살펴보면 내륙보다는 해안가 주변에서 강풍에 있어 좀 더 취약하게 나타났다. 이는 차후에 자연 재해로 인해 발생하는 피해를 저감하는 데 있어 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2011년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (2011- 0029809). 박종길은 2010년도 인제연구장학재단 교수연구년 지원에 의한 연구결과입니다.

Table 2. Estimation of the 10 m level wind speed for actual terrain(V_a) during Typhoon RUSA (2001/08/31/ 00UTC)

Station	700 hPa wind speed(m/s)	300 m wind speed(m/s)	V_o^* (m/s)	V_a^{**} (m/s)
Seoul	12.0565	12.0565	7.6043	4.1687
Daejeon	20.5515	20.5515	12.9622	10.6193
Andong	21.6300	21.6300	13.6425	11.0496
Gunsan	20.1166	20.1166	12.6879	16.8105
Busan	29.2598	29.2598	18.4547	24.4510
Mokpo	28.6371	28.6371	18.0619	15.5889

* V_o : 10 m level wind speed for open terrain

** V_a : 10 m level wind speed for actual terrain

Fig. 11. Distribution of Va at interval of 12 hours Typhoon RUSA period.

Fig. 12. Same as Fig. 11 but for Typhoon MAEMI period.

참 고 문 헌

- 김백조, 심재관, 최기선, 김주혜, 정효상, 2006, 한반도 상륙 태풍의 진행에 따른 바람분포 특성 - 태풍 루사와 매미 사례의 비교 분석 -, 한국기상학회 학술대회 논문집, 10, 262-263.
- 김진석, 유재훈, 2002, 태풍 전면에서의 강원도 영동지방 집중 호우 연구, 대기지, 12(3), 140-143.
- 박옥란, 김용상, 2002, KLAPS를 이용한 태풍 루사의 역학적 구조 분석, 대기지, 12(3), 274-277.
- 백은혁, 임규호, 2004, 태풍 루사에 의한 강릉지방 집중 호우 발생기작에 관한 연구, 대기지, 14(1), 32-33.
- 이한세, 오재호, 2004, 태풍 매미 내습시의 부산 인근 해안지역 바람 분포 변화에 관한 연구, 한국기상학회 학술대회 논문집, 10, 182-183.
- 정병석, 박광호, 유승아, 정준석, 2002, 2002년 제15호 태풍 루사에 의하여 야기된 영동지방 호우 분석, 대기지, 12(3), 414-417.
- Choi, K. S., Kim, B. J., Park, J. K., 2007, A Case Study on Typhoon-Midlatitude Synoptic System Interaction: Typhoons Rusa(0215) and Maemi(0314), Journal of the Environmental Sciences, 1051-1061.
- Dudhia, J., 1989, Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, J. Atmos. Sci., 46, 3077-3107.
- Franklin, J. L., Black, M. L., Valde, K., 2003, GPS Dropwindsonde Wind Profiles in Hurricanes and Their Operational Implications, J. Weather and Forecasting, 18, 32-44.
- Hong, S. Y., Pan, H. L., 1996, Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a Medium-Range Forecast model, Mon. Wea. Rev., 124, 2322-2339.
- Hong, S. Y., Noh, Y., Dudhia, J., 2006, A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes, Mon. Wea. Rev., 134, 2318-2341.
- NCAR, 2008, Weather Research & Processing: ARW Version 3 Modeling System User's Guide.
- 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, 353-363.