Journal of Environmental Science International
28(4); 441~454; April 2019

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.4.441

ORIGINAL ARTICLE

한반도 영향 태풍의 월별 최대풍 특징과 사례 연구 – 태풍 루사 · 매미 · 곤파스 · 볼라벤을 대상으로 –

나하나 · 정우식*
인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

Characteristics of Monthly Maximum Wind Speed of Typhoons Affecting the Korean Peninsula - Typhoon RUSA, MAEMI, KOMPASU, and BOLAVEN -

Hana Na, Woo-Sik Jung*
Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea

Abstract

The present study analyzes the characteristics of 43 typhoons that affected the Korean Peninsula between 2002 and 2015. The analysis was based on 3-second gust measurements, which is the maximum wind speed relevant for typhoon disaster prevention, using a typhoon disaster prevention model. And the distribution and characteristics of the 3-second gusts of four typhoons, RUSA, MAEMI, KOMPASU, and BOLAVEN that caused great damage, were also analyzed. The analysis show that between May and October during which typhoons affected the Korean Peninsula, the month with the highest frequency was August(13 times), followed by July and September with 12 occurrences each. Furthermore, the 3-second gust was strongest at 21.2 m/s in September, followed by 19.6 m/s in August. These results show that the Korean Peninsula was most frequently affected by typhoons in August and September, and the 3-second gusts were also the strongest during these two months. Typhoons MAEMI and KOMPASU showed distribution of strong 3-second gusts in the right area of the typhoon path, whereas typhoons RUSA and BOLAVEN showed strong 3-second gusts over the entire Korean Peninsula. Moreover, 3-second gusts amount of the ratio of 0.7 % in case of RUSA, 0.8 % at MAEMI, 3.3 % at KOMPASU, and 21.8 % at BOLAVEN showed as "very strong", based on the typhoon intensity classification criteria of the Korea Meteorological Administration. Based on the results of this study, a database was built with the frequencies of the monthly typhoons and 3-second gust data for all typhoons that affected the Korean Peninsula, which could be used as the basic data for developing a typhoon disaster prevention system.

Key words : 3-second gust, Typhoon, Disaster prevention model

Received 4 April, 2019; **Revised** 17 April, 2019;
Accepted 18 April, 2019
***Corresponding author**: Woo-Sik Jung, Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea
Phone : +82-55-320-3932
E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
ⓒ This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 지구온난화로 인해 기후변화가 진행되고 있으며, 기후변화로 인해 전 세계 자연재해의 강도와 그로 인한 피해가 증가할 것으로 전망되었다(IPCC, 2015). 특히, KMA(2014)에 따르면 한반도에 영향을 주는 태풍의 빈도는 줄어들지만, 강도가 더욱 강해질 것으로 전망되고 있다. 실제 2000년 이후 태풍 루사, 매미, 곤파스, 볼라벤과 같이 강도가 강한 태풍이 한반도에 직접적으로 영향을 미치며, 막대한 인명 및 재산피해가 나타났다. 기상관측이 시작된 이래 약 110년(1904~2018년) 간 한반도에 영향을 미친 태풍에 의해 기록된 순간 최대풍속과 재산피해액 기록을 살펴보면(KMA, 2018), 상위 5위 이내의 기록이 2000년 이후의 태풍에 의한 것으로 나타나 있는데, 더욱이 이러한 기록들이 과거에 비해 최근으로 올수록 보다 강력한 태풍에 의한 것이다. 이러한 측면에서, 최근 강해지는 태풍으로 인해 발생하는 피해를 저감시키기 위한 많은 노력이 이루어지고 있는데, 그 중에서도 특히, 태풍과 관련되어 피해규모를 사전에 예측하는 태풍사전방재시스템의 구축과 활용의 중요성이 커지고 있다. 그동안, 국내에서는 태풍에 관련된 선행연구(Lee, 2002; Oh et al., 2011; Kim et al., 2014; Ju et al., 2017)들이 많이 수행되었으나, 이들 연구에서는 주로, 태풍 시기의 강수분석을 바탕으로, 태풍이 지나간 이후의 물적피해와 관련된 분석이 수행되었다. 하지만, 이러한 사후 분석적 연구에 비해 더욱 중요한 것은, 태풍 내습 가능성을 바탕으로 발생 가능한 피해에 대한 사전예방 및 방재적 측면에서 태풍 시기의 강풍을 예측하고, 피해발생 가능성과 관련된 사전적 연구와 분석이지만, 이와 관련된 연구는 여전히 부족한 실정이다.

국외에서는 태풍 내습 시 발생하는 강풍에 대한 사전방재 측면의 여러 연구들이 수행된 바 있는데, 특히, 미국의 Florida Department of Financial Services (FDFS, 2005)에서는 태풍에 의한 방재 모델로 개발한 Florida Public Hurricane Loss Model (FPHLM)을 이용하여 허리케인의 내습시기 강풍으로 인해 피해가 발생할 수 있는 지역과 그 피해를 예측한 바 있다. 또한 Malmstadt et al.(2009)의 연구에서는 연도별, 월별, 진로별 허리케인의 내습시기 발생했던 강풍의 특징을 분석하여, 보험 및 방재활동에 활용하였다. 반면, 국내에서는 Park et al.(2008)이 FDFS(2005)를 참고하여 태풍에 의해 발생하는 피해를 예측하기 위하여, 지상에서 발생하는 풍속의 예측에 관련된 연구를 수행한 바 있으며, Jung et al.(2010)은 태풍 매미에 대한 정확한 지상풍 및 태풍에 의해 발생 가능한 피해액을 추정함으로써, 태풍의 피해에 대한 사전 방재활동을 수행할 수 있는 한국형 태풍사전방재모델의 기초 연구를 수행하였다. 이후 Kim(2013)의 연구를 통해 과거 한반도에 영향을 미친 태풍을 대상으로 태풍 내습시기 지상에서 발생 가능한 최대풍속 3-second gust와 피해액을 산정하였고, 이를 기초로 하여 태풍의 위기관리시스템 구축을 제안하였다. Park et al.(2015)의 연구에서는 태풍사전방재모델의 초기 입력자료 Regional Data Assimilation Prediction System (RDAPS) 수치 모델 자료의 예보장과 분석장을 이용하여 태풍 내습시기 발생 가능한 3-second gust와 피해액의 분포도를 살펴보고, 상관성 분석을 이용하여 태풍사전방재모델의 초기 입력자료에 대한 적합성을 평가하였다. 또한, Jung(2015)은 공공·산업시설에 대한 태풍 내습 시 3-second gust를 산정하여, 태풍에 의한 피해를 감소시키기 위한 연구를 수행함으로써 실제 현장에서 활용 가능한 수준에서의 태풍사전방재모델을 구축하였다. Na et al.(2018)의 연구에서는 태풍사전방재모델을 시·공간적 고해상도의 자료 생산을 위해 WRF수치모의를 적용할 수 있도록 개선하였다.

이에 본 연구에서는 선행연구들에서 구축된 태풍사전방재모델을 활용하여 최근 한반도 영향을 미친 태풍들 가운데 대표 태풍(루사, 매미, 곤파스, 볼라벤)을 대상으로, 태풍 내습시 발생 가능한 최대풍 3-second gust를 산정하고, 한반도에 영향을 미친 태풍을 대상으로 한반도에 태풍이 내습한 월별로 구분하여, 태풍 내습 시 발생 가능한 최대풍속을 산정함으로써 한반도에서 발생한 태풍과 관련된 강풍관련 기초자료를 구축하고, 실제 방재활동에서 현장전문가 및 행정부서의 정책 수행 및 판단의 객관적 자료제공을 목표로 제반 분석을 수행하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 연구 대상 기간

본 연구에서는 기상 관측이 시작된 1904년부터 2018

Table 1. List of typhoons affecting the Korean Peninsula(2002-2015)

Typhoon number	Typhoon name	Typhoon number	Typhoon name
0205	RAMASUN	1004	DIANMU
0208	NAKRI	1007	KOMPASU
0209	FENGSHEN	1009	MALOU
0215	RUSA	1105	MEARI
0304	LINFA	1109	MUIFA
0306	SOUDELOR	1112	TALAS
0310	ETAU	1207	KHANUN
0314	MAEMI	1210	DAMREY
0407	MINDULLE	1214	TEMBIN
0410	NAMTHEUN	1215	BOLAVEN
0415	MEGI	1216	SANBA
0416	CHABA	1304	LEEPI
0418	SONGDA	1315	KONG-REY
0514	NABI	1324	DANAS
0603	EWINIAR	1408	NEOGURI)
0610	WUKONG	1411	HALONG
0613	SHANSHAN	1412	NAKRI
0704	MAN-YI	1419	VONGFONG
0705	USAGI	1509	CHAN-HOM
0711	NARI	1511	NANGKA
0807	KALMAEGI	1512	HALOLA
		1515	GONI

년까지 한반도에 영향을 미친 태풍의 일 최대풍속과 재산 피해액의 기록을 기준으로, 2000년 이후 발생한 태풍이 상위 5위 내에 포함되어 있다는 점(KMA, 2018)과 Weather Research and Forecasting (WRF) 수치모델의 입력자료인 기상청 RDAPS 자료가 2002년부터 제공되고 있다는 점을 고려하여, 2002년부터 2015년까지를 본 연구의 대상기간으로 선정하였다. 한반도 영향 태풍은 Park et al.(2006)의 분류 방법을 사용하여 분류하였으며, 그 결과 연구 기간 동안 한반도에 영향을 미친 태풍은 Table 1과 같이 총 43개로 나타났다.

본 연구에서는 태풍 3-second gust의 특징 등을 분석하기 위하여 연구 대상 기간 동안 한반도에 영향을 미친 태풍들 중에서 대표 사례를 선정하여 연구를 수행하였다(Table 2). 한반도에 영향을 미친 태풍들을 대상으로, 기상 관측이 시작된 이후 일 최대풍속의 최고치를 기록한 태풍 루사(0215), 최대 재산 피해액을 기록한 태풍 매미

Table 2. A Case study of typhoons affecting the Korean Peninsula

Typhoon number	Typhoon name	Typhoon impact period
0215	MAEMI	2002/08/29 00UTC ~ 2002/09/02 00UTC
0314	RUSA	2003/09/10 00UTC ~ 2003/09/14 00UTC
1007	KOMPASU	2010/08/31 00UTC ~ 2010/09/03 00UTC
1215	BOLAVEN	2012/08/28 00UTC ~ 2012/08/30 00UTC

Table 3. List of monthly classification of typhoon(2002-2015)

Month	Frequency	Typhoon number
5	1	0304
6	3	0306,1105,1304
7	12	0205,0208,0209,0407,0603,0704,0807,1207,1408,1509,1511,1512
8	13	0310,0410,0415,0610,0705,1004,1109,1210,1215,13151411,1412,1515
9	12	0215,0314,0416,0418,0514,0613,0711,1007,1009,1112,1214,1216
10	2	1324,1419
	43	

(0314), 서울을 포함한 수도권 지역을 강타하여 큰 피해를 입힌 태풍 곤파스(1007), 전국에 걸쳐 짧은 기간이지만 막대한 피해를 입힌 태풍 볼라벤(1215)을 본 연구에서 대표 태풍 사례로 선정하여 분석하였다.

2.1.2. 한반도 영향 태풍의 월별 분류

표 3은 전체 대상 태풍의 월별 3-second gust 발생 빈도를 나타낸 것이다. 특히, 연구 대상 태풍 중에서, 한반도에 영향을 미친 기간이 2개의 월에 걸쳐 나타난 경우에는 재해연보 자료를 확인하여, 실제로 태풍의 피해가 많이 나타났던 날들이 포함된 월을 해당 태풍이 영향을 미친 월로 정의하였다. 예를 들어, 태풍 루사의 경우 2002년 8월 31일부터 9월 2일까지, 2개의 월에 걸쳐 한반도에 영향을 미쳤으나, 먼 바다에 위치하여 한반도에 미친 영향이 적었던 8월보다 한반도에 상륙하여 실질적으로 많은 피해가 나타났던 9월을 발생월로 분류하여 분석을 수행하였다. 이를 바탕으로, 연구대상기간동안 한반도에 영향을 미친 총 43개의 태풍을 대상으로 월별 발생횟수를 분석한 결과, 5월 1회, 6월 3회, 7월, 9월 12회, 8월 13회, 10월 2회로 나타났다.

2.2. 연구 방법

2.2.1. 태풍사전방재모델

본 연구에서는 태풍 내습시기 발생 할 수 있는 최대풍인 3-second gust를 산정하기 위해서 태풍사전방재모델을 이용하였다. 태풍사전방재모델은 미국의 FDFS에서 개발한 FPHLM을 국내에 적용하기 위하여 한반도에 적합한 형태로 개선되었으며(Jung, 2015), 태풍 영향 시기 50년 빈도의 주기로 지상 10m(33ft)에서 발생하는 3초 동안의 최대풍속, 즉, 태풍 내습시기 발생할 수 있는 최대풍을 의미하는 3-second gust를 산정하고, 그로 인해 발생 할 수 있는 피해액을 추정하는 기능을 포함하고 있다. 본 연구에서는 태풍사전방재모델에서 3-second gust를 산정하는 모듈을 사용하였다. 태풍사전방재모델의 3-second gust 모듈 모식도는 다음(Fig. 1)과 같다.

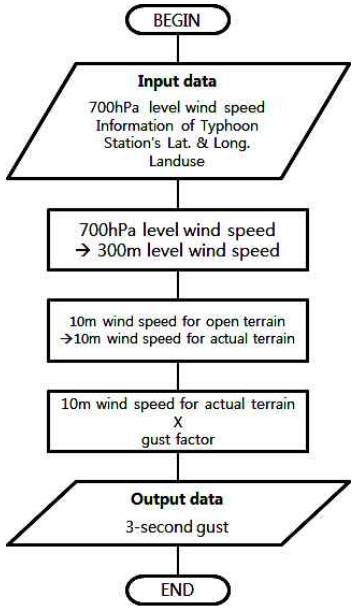


Fig. 1. Flow chart of Risk Assessment prediction Model (Na et al., 2018).

태풍사전방재모델의 입력자료에는 700 hPa의 풍속과 태풍의 정보(태풍 중심 위·경도, 중심 최저기압, 최대풍속반경), 거칠기 길이가 사용된다. Flanklin et al.(2003)의 태풍 영향 시기 태풍의 눈 주변 Dropsonde 관측에서

	Inner RMW		RMW		Outer RMW	
Eye	30km~300km	30~7.4km	7.4km~	~7.4km	7.4~30km	30km~300km
Adj	1.00	1.25	(a)		(b)	1.00

Fig. 2. 300 m level increase factors to continuous distances from the RMW.

태풍의 연직 구조가 일반적인 기상에서 나타나는 풍속의 연직 구조와 달리 700 hPa에서 지상으로 갈수록 풍속이 증가하고, 500 m에서 최대를 이룬 후, 300 m 이하에서는 고도가 낮아질수록 풍속이 점차 감소하는 특징이 나타났다. 태풍사전방재모델은 이러한 태풍의 특징을 보완하고, 정확한 풍속을 추정하기 위해, 700 hPa의 풍속으로 300 m의 풍속을 계산한 후, 개방형 지형에서의 10 m 고도 풍속을 계산하였다. 이 후 지표면의 거칠기를 적용하여 실제 지형의 10 m 고도 풍속을 산정하였다. 이 과정에서 태풍 영향 시기에 태풍의 중심으로부터 최대풍속이 나타나는 거리인 최대풍속반경(Radius of Maximum Wind speed, RMW)과 풍속을 구하고자 하는 지점의 거리(r)를 이용하며, 또한, Fig. 2와 같이 각 구간에 따른 조정함수(Adjustment Function, Adj)의 적용이 필요하다. 다음의 식 (1)과 식 (2)를 활용하는데, 이는 태풍의 중심에서부터 풍속을 구하고자 하는 지점까지의 거리에 따라 각각 (a)구역, (b)구역의 조정계수 계산식이다. 이처럼 조정계수를 직접 계산하여 3-second gust를 산정하게 되면, 지점에서 나타나는 오류를 최소화할 수 있다는 장점이 있다.

$$Adj(r) = 1.25 - \frac{0.2}{14.8km}(r - (R_{\max} - 7.4km)) \quad (1)$$

$$Adj(r) = 1.05 - \frac{0.05}{30km}(r - (R_{\max} + 7.4km)) \quad (2)$$

또한 본 연구에서는 태풍사전방재모델의 입력자료로 사용되는 700 hPa 풍속자료를 6시간 간격의 기상청 RDAPS(수평해상도 30 km)를 사용한 선행연구(Park et al., 2008; Jung et al., 2010; Kim, 2013)와 달리 WRF를 통해 매 시간 간격의 고해상도(수평해상도 3 km)의 700 hPa 풍속자료를 산정하여 입력자료로 사용하며, 보다 상세하고 구체적인 3-second gust를 산정하였다.

2.2.2. WRF 수치모의

태풍사전방재모델의 입력자료인 고해상도의 700 hPa 풍속 자료를 생산하기 위하여 WRF수치모의를 실시하였다. WRF는 미국 National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) 산하 기관인 National Centers for Environmental Prediction (NCEP) 현업 활용과 연구 모두에 적합한 수치예보모델이자 기상 시뮬레이션 시스템이다. 본 연구에 사용된 WRF는 버전 3.5.1로 2015년 9월에 업데이트 되었으며, 이전 버전과 비교하여 대기 복사, 자료동화 등 많은 부분들이 개선 및 수정되었다. WRF 수치모델은 연구용으로 사용되는 Advanced Research WRF (이하 ARW)와 현업용으로 사용되는 Non-hydrostatic Mesoscale Model (NMM)로 두 가지 버전으로 제공된다. 본 연구에서는 연구에 적합한 ARW를 사용하였다.

Fig. 3은 WRF수치모의를 위해 본 연구에서 구성한 영역을 나타낸 것이다. 도메인1은 한반도를 중심으로

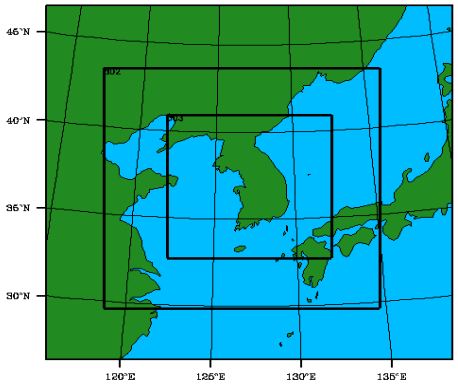


Fig. 3. Nested model domains used in this study.

Table 4. The configuration of WRF modeling

		domain 1	domain 2	domain 3
Horizontal grid		85×85	172×172	304×304
Horizontal resolution		27 km	9 km	3 km
Vertical Layers			27	
Physical options	mp_physics		WSM6 scheme	
	bl_pbl_physics		YSU scheme	
	sf_surface_physics		Noah LSM	
	sf_sfclay_physics		Monin-Obukhov scheme	
	ra_lw		RRTM Longwave	
	ra_ws		Dudhia Shortwave	
	cu_physics		Kain-Fritsch scheme	No CPs
initial data			RDAPS data	

Table 5. Standard of typhoon intensity classification

Classification	Maximum wind speed
weak	17 m/s ~ 25 m/s
moderate	25 m/s ~ 33 m/s
strong	33 m/s ~ 44 m/s
very strong	more than 44 m/s

동북아시아 일부를 포함하는 영역으로 설정하였으며, two-way nesting을 이용하여 모델의 초기 및 경계 자료를 생산하였다. 각 영역별 수평해상도를 비롯한 물리 옵션 등의 자세한 모델 구성은 Table 4에 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 태풍의 3-second gust 분석

본 연구에서는 대표 태풍으로 선정된 태풍 루사, 매미, 곤파스, 볼라벤의 3-second gust를 분석하고자 한다. 분석 방법으로는 태풍사전방재모델을 활용하여 각 태풍의 3-second gust를 산정하여, 그 분포를 살펴보았으며, 3-second gust를 기상청 태풍 강도 분류 기준(Table 5)에 따라 분류하고, 이를 분석하였다.

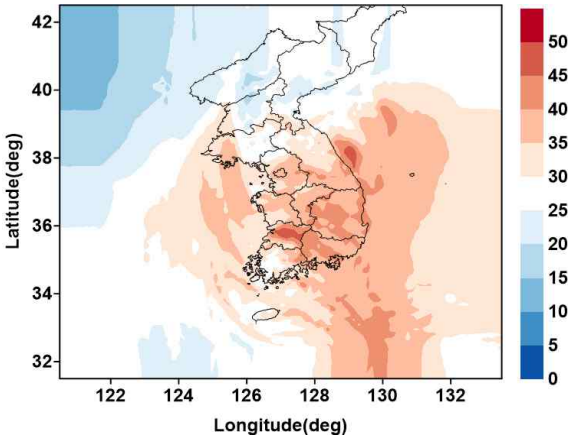
3.1.1 태풍 루사(0215)

Table 6은 태풍 루사의 3-second gust 분포와 기상청 태풍 강도 분류 기준에 따른 분석 결과이다. 태풍 루사의 3-second gust 분포를 보면 동해, 경상 남·북도 일부와 전라북도 일부 지역에서 40 m/s 이상의 3-second gust가 나타났으며, 전라남도, 제주도, 충청남도 일부 지역을 제외한 한반도 전체에서 30 m/s의 3-second gust가 나타났다. 주로 남·동해안을 중심으로 강한 3-second gust 영역이 나타나는 특징을 보였으며, 내륙에서는 전라북도 지역에서 강한 3-second gust가 나타났다. 3-second gust를 기상청의 태풍 강도 분류 기준에 따라 분류하여 살펴보면, 33~44 m/s가 45.2%로 가장 많이 나타났으며, 두 번째로는 25~33 m/s가 40.3%로 많이 나타났다. 태풍 강도 '매우 강'에 해당하는 44 m/s 이상의 3-second gust가 0.7% 비율로 주로 강원 북부 앞바다, 전라북도 일부 지역에서 나타났다.

3.1.2. 태풍 매미(0314)

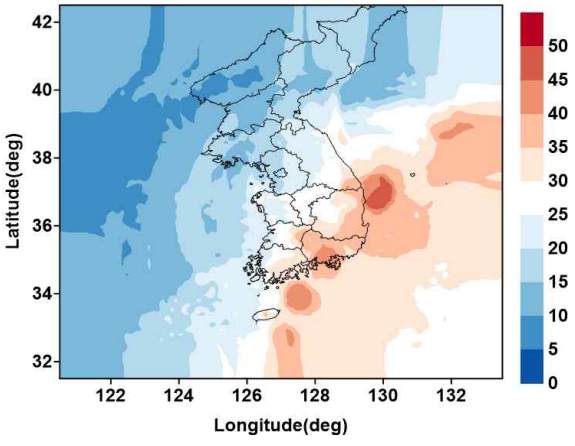
Table 7은 태풍 매미의 3-second gust 분포와 기상청 태풍 강도 분류 기준에 따른 분석 결과를 나타낸 것이다. 태풍 매미의 경우, 남해에 상륙하여 강원 북부로 빠져나간 경로를 보이는데, 태풍 경로의 우측 영역으로 강한 3-second gust가 나타나는 것을 알 수 있다. 태

Table 6. 3-second gust of RUSA(0215)



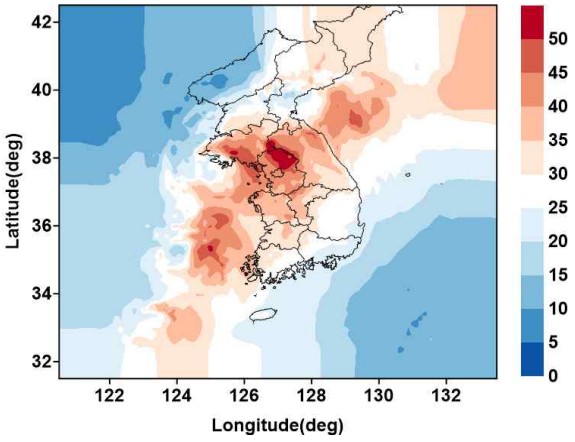
Classification	3-second gust	Ratio (%)
-	less than 17 m/s	1.3
weak	17~25 m/s	12.5
moderate	25~33 m/s	40.3
strong	33~44 m/s	45.2
very strong	more than 44 m/s	0.7

Table 7. 3-second gust of MAEMI(0314)



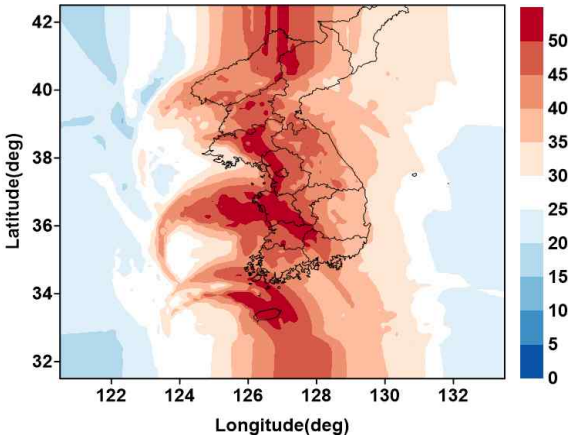
Classification	3-second gust	Ratio (%)
-	less than 17 m/s	37.7
weak	17~25 m/s	21.1
moderate	25~33 m/s	21.4
strong	33~44 m/s	19.0
very strong	more than 44 m/s	0.8

Table 8. 3-second gust of KOMPASU(1007)



Classification	3-second gust	Ratio (%)
-	less than 17 m/s	25.0
weak	17~25 m/s	25.9
moderate	25~33 m/s	25.3
strong	33~44 m/s	20.5
very strong	more than 44 m/s	3.3

Table 9. 3-second gust of BOLAVEN(1215)



Classification	3-second gust	Ratio (%)
-	less than 17 m/s	0.2
weak	17~25 m/s	11.6
moderate	25~33 m/s	31.1
strong	33~44 m/s	35.2
very strong	more than 44 m/s	21.8

Table 10. Frequency of impact of typhoon and 3-second gust by month

	5	6	7	8	9	10
Frequency	1	3	12	13	12	2
3-second gust(m/s)	17.1	17.4	17.8	19.7	20.3	14.5

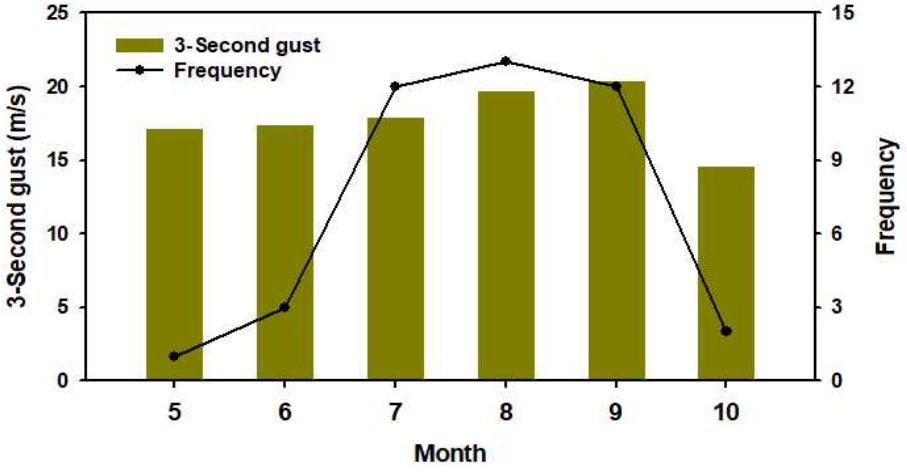


Fig. 4. Frequency of impact and Average of 3-second gust.

풍 매미는 우리나라가 기상 관측을 시작한 1904년 이후, 한반도에 영향을 미친 기간 동안 태풍의 중심부 기압이 가장 낮았던 강력한 대형 태풍으로써, 경상도 및 강원도, 그리고 남해안과 동해안 일부 지역에서 35 m/s 이상의 강한 3-second gust가 나타났으며, 특히, 동해 일부 지역에서는 45 m/s 이상의 매우 강력한 3-second gust가 나타났다. 3-second gust를 기상청의 태풍 강도 분류 기준에 따라 분류하여 살펴보면, 17 m/s 미만의 3-second gust가 37.7%로 가장 많이 나타났으며, 25~33 m/s의 3-second gust가 21.4%로 두 번째로 높게 나타났다. 기상청의 태풍 강도 분류 '매우 강'에 해당하는 44 m/s 이상의 3-second gust는 0.8%의 비율로 경상북도와 강원도 앞바다에서 나타났다.

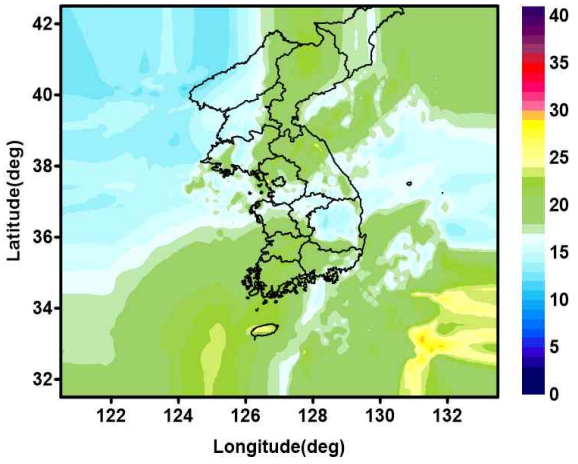
3.1.3. 태풍 곤파스

Table 8은 태풍 곤파스의 3-second gust 분포를 나타낸 것이다. 태풍 곤파스의 경우 서해, 경기도, 충청도, 강원도 일대에서 35 m/s 이상의 3-second gust가 나타났으며, 서해 먼 바다에서는 45 m/s 이상의 강한 3-second gust가 나타났다. 3-second gust를 기상청의 태풍 강도 분류 기준에 따라 분류하여 살펴보면, 17 m/s 미만이 25%, 17~25 m/s가 25.9%, 25~33 m/s가 25.3%로 유사하게 나타났으며, 기상청 태풍 강도 분류 '매우 강'에 해당하는 44 m/s 이상의 3-second gust는 3.3%로 서해 앞바다, 경기도 일부 지역에서 나타났다.

3.1.4. 태풍 볼라벤

Table 9는 태풍 볼라벤의 결과를 나타낸 것으로, 한반도 전역에 걸쳐 25 m/s 이상의 3-second gust가 나타났으며, 특히, 서해를 포함한 제주, 전라도, 경기도, 충청도, 경상도, 강원도 일부 지역에서 44 m/s 이상의 매우 강한 3-second gust가 분포하는 것을 알 수 있다. 3-second gust를 기상청의 태풍 강도 분류 기준에 따라 분류하여 살펴보면, 기상청 태풍 강도 분류 33~44 m/s의 3-second gust가 35.2%로 가장 많이 나타났으며, 25~33 m/s의 3-second gust가 31.1%로 두 번째로 많이 나타났다. 태풍 강도 '매우 강'에 해당하는 44 m/s 이상의 3-second gust가 21.8%로 높게 나타났다. 제주도 전역과 남·서해안, 전라도, 경상도 일부, 경기도, 강원도 일부 지역에서 강한 3-second gust가 나타났다.

Table 11. Monthly Distribution of 3-second gust

	May	
3-second gust		
percentage(%)	less than 17 m/s	40.1
	17~25 m/s	58.9
	25~33 m/s	1.0
	33~44 m/s	-
	more than 44 m/s	-

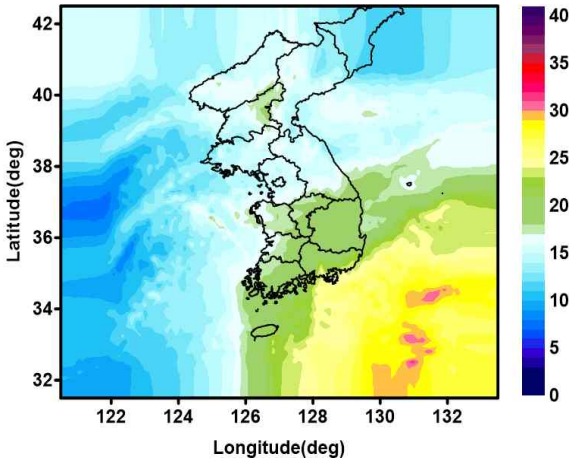
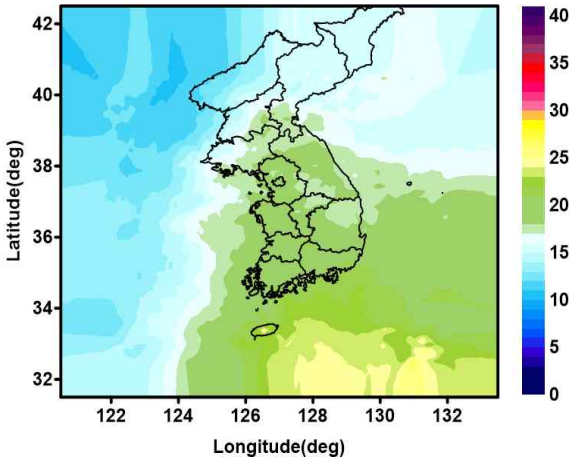
	June	
3-second gust		
percentage(%)	less than 17 m/s	62.0
	17~25 m/s	26.1
	25~33 m/s	0.9
	33~44 m/s	-
	more than 44 m/s	-

Table 11. (Continued)

	July	
3-second gust		
percentage(%)	less than 17 m/s	47.0
	17~25 m/s	52.8
	25~33 m/s	0.2
	33~44 m/s	-
	more than 44 m/s	-

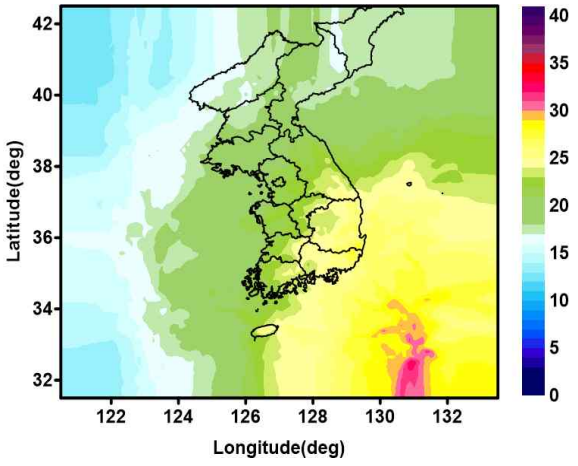
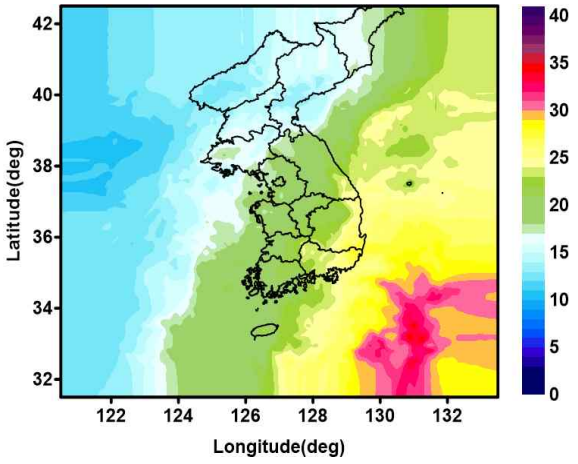
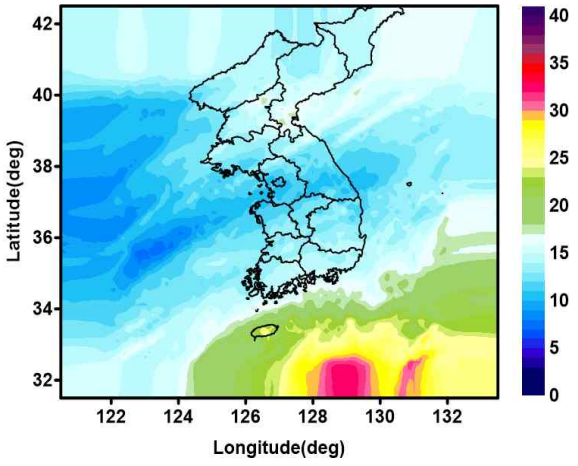
	August	
3-second gust		
percentage(%)	less than 17 m/s	-
	17~25 m/s	20.1
	25~33 m/s	72.4
	33~44 m/s	7.6
	more than 44 m/s	-

Table 11. (Continued)

	September	
3-second gust		
percentage(%)	less than 17 m/s	-
	17~25 m/s	21.6
	25~33 m/s	46.8
	33~44 m/s	31.6
	more than 44 m/s	-

	October	
3-second gust		
percentage(%)	less than 17 m/s	86.2
	17~25 m/s	12.6
	25~33 m/s	1.2
	33~44 m/s	-
	more than 44 m/s	-

3.2. 월별 3-second gust

앞서 제시한 표 3과 같이, 태풍이 한반도에 영향을 미친 월별 태풍의 평균 3-second gust를 살펴보았다. 태풍이 영향을 미친 월은 5월에서 10월까지 6개의 월이었는데, 각 월별로 영향 태풍의 평균 3-second gust 값을 분석한 결과, 표 10과 그림 4와 같이 나타났다.

태풍백서(2011)에 따르면 우리나라에 관측이 개시된 이래 107년간(1904-2010년) 한반도에 영향을 미친 태풍은 모두 327개로 나타났으며, 한반도에 영향을 미친 태풍의 수를 월별로 살펴보면 5월 2회, 6월 18회, 7월 94회, 8월 122회, 9월 83회, 10월 8회로 나타났다. 현재 기준으로 가장 최근에 발간된 태풍백서(2011)는 1904년에서 2010년을 연구 기간으로 선정하여 분석하였고, 본 연구에서는 2002년에서 2015년을 대상으로 분석하여 본 연구에서는 태풍백서와 달리 2011년 이후 5년 자료가 추가되었으므로, 최근 경향을 살펴볼 수 있다는 장점이 있다.

본 연구의 연구결과 또한 태풍백서(2011)의 결과와 유사한 순서로 월별 영향 빈도가 나타났다. 가장 많은 태풍이 영향을 준 월은 8월로 13회, 다음으로는 7월, 9월이 12회로 두 번째로 높게 나타났다. 7월, 8월, 9월 한반도에 영향을 미친 태풍이 연구 기간 중 86%를 차지했으며 5월, 6월, 10월에는 드물게 나타났다. 태풍의 영향 빈도가 가장 많이 나타난 8월에는 3-second gust 값이 19.6 m/s로 전체에서 두 번째로 높은 값을 보이며, 태풍의 3-second gust 값이 가장 높게 나타난 9월의 경우 7월과 동일하게 태풍의 영향 빈도가 12회로 전체에서 두 번째로 높게 나타났다. 태풍백서(2011)의 결과와 비교하여 보면, 최근에는, 9월이 특히, 한반도에 영향을 미치는 태풍의 영향 빈도가 증가했다는 것을 알 수 있었다. 8월, 9월은 태풍의 영향 빈도와 3-second gust 값이 높게 나타난 월이기도 하며, 한반도 주변의 해수면 온도가 높은 월로 태풍의 경로 및 강도가 어떻게 변화할지 예측하기 어렵기 때문에 더욱더 방재활동에 주력해야 할 것으로 판단할 수 있다.

태풍이 한반도에 영향을 미친 월별 3-second gust 분포를 살펴보면 6월, 7월, 8월, 9월 순으로 시간이 갈수록 강풍 영역이 남동해안부터 점차 한반도로 확장되는 경향이 나타났다. 9월, 10월 태풍의 평균 3-second gust가 높게 나타났지만 높은 3-second gust 영역이 남동해안에서 나타났고, 8월이 실제 한반도에 강풍 영역이 넓게 나타난 것을 확인할 수 있었다.

5월은 1번 한반도에 태풍이 영향을 주었으며, 7월, 8월, 9월은 한반도에 영향을 미치는 태풍의 빈도가 많이 나타나고 있는데 비교적 강한 33~44 m/s의 3-second gust가 다른 월에 비해 많이 나타났다. 특히, 9월의 경우, 높은 3-second gust가 한반도 경상남도, 경상북도, 강원도를 포함한 동해상에 강한 3-second gust가 나타나며 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 2002년부터 2015년 한반도에 영향을 미친 태풍을 대상으로 발생 가능한 최대풍속, 즉 극한 개념의 최대풍을 산정하여 태풍의 한반도 내습 월별 분석과 연구 기간 태풍들 가운데 대표 태풍 사례(루사, 매미, 곤파스, 볼라벤)를 선정하여 3-second gust의 DB를 구축하였고, 분포와 특징을 분석하였다.

분석을 수행한 결과, 루사, 매미, 곤파스, 볼라벤의 3-second gust 분포는 각 태풍의 경로와 유사하게 나타났으며, 매미와 곤파스는 태풍의 경로의 우측 영역에서 강한 3-second gust가 분포하는 경향이 있었고 루사와 볼라벤은 한반도 전체에서 강한 3-second gust 영역이 나타났다. 특히, 모든 태풍에서 기상청 태풍 강도 분류 기준 '매우 강'에 해당하는 44 m/s 이상의 풍속이 한반도의 일부에서 나타났다. 이와 더불어, 연구 대상 기간 전체 한반도에 영향을 미친 태풍의 월별 영향 빈도와 3-second gust를 살펴본 결과, 태풍의 영향 빈도는 태풍백서(2011)의 결과와 유사하게 나타났다. 태풍백서(2011)의 분석 기간은 1954년에서 2010년으로, 본 연구의 분석 기간은 2002년에서 2015년으로, 2011년 이후의 5년 자료가 추가로 분석되며 과거의 태풍과 최근의 태풍으로 나누어 비교해 볼 수 있었다. 분석 결과, 과거보다 9월 한반도에 영향을 미치는 태풍의 빈도가 증가한 것을 확인할 수 있었다. 9월은 3-second gust 값이 가장 높게 나타난 월로 태풍의 방재활동에 주력해야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 통해 최근 한반도에 영향을 미친 대표 태풍 루사, 매미, 곤파스, 볼라벤의 3-second gust 정보와 연구 기간 한반도에 영향을 미친 태풍 전체의 월별

영향 빈도와 3-second gust 정보를 DB화 하였으며, 이러한 자료를 태풍의 사전 방재 시스템의 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 판단되며, 최근으로 올수록 가을 태풍이라 불리는 9월, 10월 태풍의 영향 빈도가 증가함에 따라, 추후 연구 기간을 연장하여 구체적인 분석이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

REFERENCES

Florida Department of Financial Services(FDFS), 2005, Florida public hurricane loss projection model, Engineering Team Final Report Volume I-Ⅲ, 48.

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.

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.

Ju, Y. H., Kim, Y., Park, J. H., 2017, An Analysis of major issues in the inventory system for counting damage on buildings and facilities due to heavy rains and typhoons and a proposal for its improvement, J. Korea Planning Association, 52(3), 237-261.

Jung, W. S., 2015, An Estimation of extreme wind speed of typhoon affecting the damage of public and industrial facilities, J. Environ. Sci. Int., 24(9), 1199-1210.

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, J. Environ. Sci. Int., 19(3), 353-363.

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.

Kim, Y. S., Kang, J. W., Shim, J. S., Park, S. J., 2014, Surge aspects with respect to the typhoon characteristics, J. Korean Society of Civil Engineers, 14(10), 1215-1216.

KMA, 2011, Typhoon White Book, 11-1360016-000001-01, 345.

KMA, 2014, Korean Climate Change Assessment Report 2014, ISBN 978-89-954715-3-1, 40.

KMA, 2018, National Typhoon Center, http://typ.kma.go.kr/TYPHOON/index.jsp.

Lee, S. G., 2002, Damage state and countermeasures by typhoon Rusa (Landslide), J. Korea Society of Civil Engineers, 50(10), 40-49.

Malmstadt, J., Scheitlin, K., Elsner, J., 2009, Florida hurricanes and damage costs, Southeastern Geographer, 49(2), 108-131.

Oh, J. H., Seo, K. D., Kim, Y. O., 2011, An Analysis of the strength and duration of typhoons affecting the Korean peninsula over the past 60 years, J. Korea Society of Civil Engineers, 31(2), 121-128.

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), J. Environ. Sci. Int., 17(2), 195-201.

Park, J. K., Kim, B. S., Jung, W. S., Kim, E. B., Lee, D. G., 2006, Changes in statistical characteristics of typhoons affecting Korean peninsula, J. Korean Society for Atmospheric, 16(1), 1-17.

Park, J. K., Lee, B. R., Jung, W. S., 2015, Compatibility for the typhoon damages predicted by Korea risk assessment model input data, J. Environ. Sci. Int., 24(7), 865-874.

• 나하나, 인제대학교 대기환경정보공학과 대학원생
hana717@nate.com
• 정우식, 인제대학교 대기환경정보공학과 교수
wsjung1@inje.ac.kr