



논문

한반도 태풍내습 시 태풍경로별 나타나는 최대풍속 분포특성 연구

A Study on the Characteristics of Maximum Wind Speed Distributions by Typhoon Track in the Korean Peninsula

나하나^{1),3)}, 정우식^{1),3),*}, 박종길^{2),3)}

¹⁾인제대학교 대기환경정보공학과, ²⁾인제대학교 환경공학과

³⁾인제대학교 대기환경정보연구센터

Hana Na^{1),3)}, Woo-Sik Jung^{1),3),*}, Jong-Kil Park^{2),3)}

¹⁾Department of Atmospheric Environment Information Engineering, Inje University

²⁾Department of Environmental Engineering, Inje University

³⁾Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University

접수일 2019년 1월 2일

수정일 2019년 1월 25일

채택일 2019년 1월 25일

Received 2 January 2019

Revised 25 January 2019

Accepted 25 January 2019

*Corresponding author

Tel : +82-(0)55-320-3932

E-mail : wsjung1@inje.ac.kr

Abstract In this study, the typhoon disaster prevention model was used to estimate the maximum wind speeds during the track of typhoons that affected the Korean peninsula from 2002 to 2015. RSMC Tokyo Typhoon Center's best track data and the WRF numerical modeling results using the RDAPS data from the KMA were used as input data. The frequency of the influence according to the track type of all typhoons that affected the Korean peninsula during the study period (2002~2015) was analyzed. As a result, Type 7, which affects the Korean peninsula after passing Japan, was the most common, followed by Type 2, which landed directly on the Korean peninsula having arrived through the South Sea of Korea. The monthly track type of typhoons that affected the Korean peninsula were also analyzed. In September, Type 2 and Type 7 typhoons were observed frequently. The highest frequency of the maximum wind speed of 3-Second gust that can occur during a typhoon attack was observed for Type 2. The distribution of Type 2 showed a high frequency of 3-Second gust throughout the Korean peninsula, including the South and East Sea of Korea. In the case of the Type 2 track, which has a direct impact on the Korean peninsula due to typhoons landing from the South Sea, the frequency of occurrence was the second highest throughout the study period, and the 3-Second gust value, which is the maximum wind speed that could occur during a typhoon attack, was the highest. If this information is used as basic data in the typhoon disaster prevention system, it will contribute to future typhoon disaster prevention.

Key words: Typhoon track, WRF, RAM, 3-Second gust

1. 서론

전 세계는 최근 지구온난화로 인해 해수의 온도가 상승하고 있으며, 그로 인해 태풍이 위력이 점차 강해지면서, 태풍의 발생 빈도가 증가하고 강도 또한 강해지고 있다. 특히, IPCC (2015)에 따르면, 서태평양과 한반도 주변의 해수면 온도가 빠른 속도로 증가하면서, 서태평양에서 발생한 태풍이 한반도에 영향을 크게 줄 것으로 전망되고 있으며, 슈퍼태풍이 발생하여

영향을 미칠 수 있다는 예측(Kim *et al.*, 2015; Hur *et al.*, 2008)이 있다. 지구온난화에 의한 해수의 온도 상승은 태풍의 강도 및 크기의 대형화에 직접적인 원인이 되며, 실제 한반도에서는 태풍의 강도가 강해짐에 따라 태풍에 의해 발생하는 인명 및 재산 피해가 증가하는 경향을 보인다.

태풍에 관련된 여러 정보 중에서도 태풍 경로는 태풍에 의한 피해를 최소화하는데 있어 매우 기본적이며 중요한 요소이다. 태풍의 경로에 관련된 선행연구

를 살펴보면, 태풍의 경로 유형 구분(Ahn *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 1992), 태풍의 경로에 영향을 주는 해수의 온도 등 기상요소와 관련된 연구(Moon and Choi, 2011)와 통계적인 기법(Son *et al.*, 1998), 신경망을 이용한 태풍의 경로 예측 연구(Park, 1997)들이 주로 수행되어 왔으나, 이들 연구에서는 기상현상으로 발생 가능한 피해 예측에 필수적인 최대풍속과 관련된 내용이 집중적으로 다루어진 측면이 부족했다.

태풍의 피해 저감을 위한 사전 방재 측면에서의 선행연구를 살펴보면, 미국의 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency, FEMA)을 비롯하여 미국의 대학과 유럽 등에서는 허리케인에 동반된 강풍에 의한 피해 규모를 미리 예측하여, 사전 방재 활동에 적극적으로 적용하고, 재해 보험에 적용하고 있으며, Florida Department of Financial Services (FDFS)에서 개발된 Florida Public Hurricane Loss Model (FPHLM)을 이용하여 허리케인 내습 시기에 발생 가능한 피해 지역과 피해 비용을 그 피해 규모에 따라 구분하여 사전에 예측해줌으로써 사전방재 활동을 실시하고 있다. 또한, Florida대학의 Forrest (2004)는 허리케인 내습 시기 관측과 모델링을 통해 건물의 하중과 내습 기간 및 거칠기 길이 등이 고려된 10분 주기의 최대풍속을 도출하여 태풍의 경로 및 경로 유형별 피해 영역과 피해 규모를 예측하고 재난관리체계에 따른 사전방재 관련 활동에 직접적인 정보를 제공하고 있다. 국내에서의 태풍 사전 방재 측면에서의 선행연구를 보면, Park *et al.* (2008)은 태풍피해 예측에 활용 가능한 지상에서의 풍속예측 기법을 연구하였고, Jung *et al.* (2010)은 태풍 매미에 대한 지상풍 및 피해액을 추정함으로써 태풍내습 시 사전 방재에 활용 가능한 태풍사전방재시스템의 기초연구를 수행하였다. Kim (2013)은 Jung *et al.* (2010)의 연구를 바탕으로 3-Second gust 산정식과 피해액 산정 과정 개선을 통해 모형의 정확도를 향상시키고 개선된 모형(RAM, Risk Assessment prediction Model)을 이용하여, 한반도에 영향을 미친 태풍에 대해서 3-Second gust와 피해액을 산정하였으며, 태풍이 내습하였을 때 나타날

수 있는 최대의 피해액을 도출하는 태풍위기관리시스템 구축을 제안하였다. 또한, Jung (2015)은 최근 공공 및 산업시설에 영향을 미치는 태풍의 최대풍속을 도출하여 태풍에 의해 발생 가능한 피해에 대한 저감 예측에 관한 연구를 수행하였다. 최근 Na *et al.* (2018)의 연구에서는 태풍사전방재모형을 고해상도의 결과를 산정할 수 있게 개선하였으며, 모형을 활용하여 연별, 엘니뇨·라니냐 발생에 따른 태풍내습 시 발생 가능한 최대풍속의 특징을 살펴보고, 기초자료를 구축한 바 있다. 하지만, 최근 우리나라에 영향을 미친 전체 태풍을 대상으로 분석한 결과는 제시되지 않아, 우리나라가 태풍에 의한 피해가 나타날 가능성이 어떠한지를 사전 판단할 수 있는 종합적 기상정보는 분석되고, 보고된 바가 없다.

따라서 본 연구에서는 태풍과 관련된 종합적 기상 정보 구축의 한 방편으로, 태풍의 피해를 저감하기 위하여 사전 예측적인 측면에서, 최근 한반도에 영향을 미친 전체 태풍을 대상으로 태풍의 경로별로 발생 가능한 최대풍속을 추정하여 각 경로 유형별로 한반도에서 발생 가능한 최대 풍속 분포와 그 특징을 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구 대상 및 기간

본 연구에서는 한반도에 영향을 미친 태풍을 연구 대상으로 하였다. 최근 약 110년간 한반도에 영향을 미친 태풍의 순간 풍속과 재산 피해액 기록을 살펴보면, 상위 1위에서 5위까지 모두 2000년 이후의 태풍이 기록되었으므로 2002년부터 2015년까지 발생한 태풍을 연구대상으로 설정하였다.

한반도에 영향을 미친 태풍을 분류하는 방법에 대한 연구로는 여러 선행연구가 있다. 기상청의 국가태풍센터는 태풍 중심이 32~40°N, 128~138°E에 위치하며, 한반도에 영향을 미치는 경우를 한반도에 영향을 미친 태풍으로 정의한다(KMA, 2011). Lee *et al.*

(1992)은 7월과 8월, 그리고 9월에 태풍의 이동경로가 위도 25°N, 경도 110~140°E에 위치한 태풍 중에서 한반도에 상륙, 또는 동해와 남해, 그리고 서해를 지나 갔던 태풍을 한반도에 영향을 미친 태풍으로 정의한 바 있다. 또한 Park *et al.* (2006)은 북태평양의 서부에서 발생한 태풍 중에서 위도 25°N와 경도 110~140°E를 지나가는 경로를 가지면서 한반도 내륙을 지난 경우와, 태풍 중심이 120~135°E에 위치한 태풍 중에서 중국 또는 일본을 통과한 태풍을 한반도에 영향을 미친 태풍으로 정의하였다. 또한 태풍의 이동경로가 중국과 일본을 지나가지만 한반도가 그 태풍에 영향을 받았는지 정확히 알 수 없는 경우에는 이 시기의 강수량 자료를 분석하여 태풍경로에 인접한 지역의 평균 누적 강수량이 100 mm가 되거나 어느 한 지점이라도 최대 누적강수량이 250 mm 이상으로 나타나면 한반도에 영향을 미친 태풍이라 하였다. 본 연구에서는 비교적 기준이 객관적으로 분류되어 있는 Park *et al.* (2006)의 결과를 이용하였다. 이를 이용하여 본 연구의 대상기간 동안에는 전체 태풍 중에서 43개의 태풍이 대상으로 분류되었다(표 1).

2.2 태풍의 경로 유형

앞서 언급한 바와 같이, 한반도 영향 태풍의 경로 분류와 관련된 연구들(Ahn *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 1992)에서는 일본이나 중국 등 한반도 주변 국가를 걸쳐 한반도에 영향을 미친 경로와 그 근해를 거쳐 한반도에 태풍이 상륙한 경우를 구분하지 않은 기준을 제시하고, 특이한 경로를 갖는 유형은 제외되었기 때문에 한반도에 영향을 미친 태풍을 모두 포함하지 못한 한계가 있었다. 이에 본 연구에서는, 이러한 이상 경로를 포함하여 한반도에 영향을 미친 태풍들을 대상으로 경로유형을 구분한 Park *et al.* (2006)의 분류 방법(표 2)을 사용하여 태풍의 경로를 7가지 유형으로 구분하였다. 분석을 수행한 결과, 연구 기간 한반도에 영향을 미친 총 43개의 태풍 경로 유형은 다음(표 4)과 같이 나타났다.

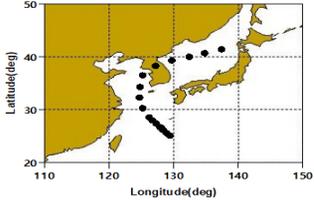
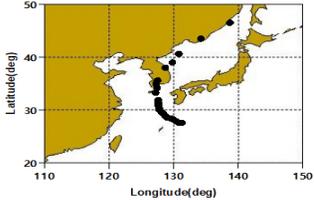
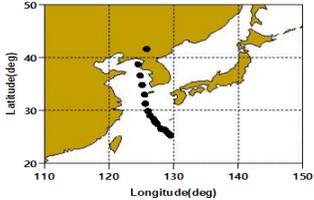
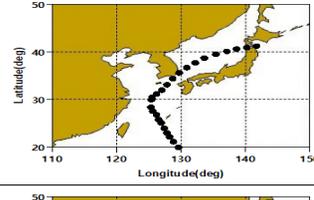
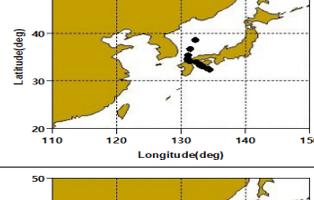
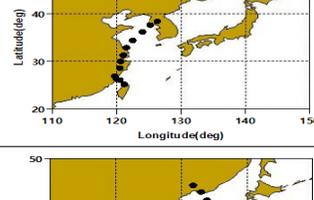
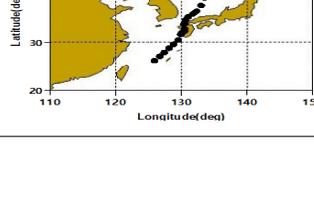
2.3 연구 방법

본 연구에서는 한반도에 영향을 미친 태풍의 경로에 따른 태풍내습 시 발생 가능한 최대풍속을 분석하기 위하여 태풍 피해를 저감시키기 위해 국내에서 개

Table 1. List of typhoons affecting the Korean peninsula (2002~2015) (Na *et al.*, 2018).

Typhoon number	Typhoon name	Typhoon number	Typhoon name
0205	RAMMASUN	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

Table 2. Typhoon track affecting the Korean peninsula.

	Typhoon track	Path*
Type 1		Move to northward in the Yellow Sea and landing the west coast
Type 2		The typhoon go on the shore of southern coast
Type 3		Move to northward in the Yellow Sea and lading the China or Bo Hai
Type 4		Pass along the Straits of Korea and go through a northern East Sea
Type 5		Pass along the Japan and move to northward in the East Sea
Type 6		Pass along the China (effect of Korean Peninsula)
Type 7		Pass along the Japan and affecting the Korean Peninsula

*Park et al. (2006)

발된 태풍사전방재모델을 사용하였고, 태풍사전방재 모델의 입력자료인 700 hPa의 풍속은 고해상도의 자료를 생산하기 위하여 기상청에서 제공하는 RDAPS (Regional Data Assimilation Prediction System) 수치 모델자료를 입력자료로 사용하여 WRF (Weather Research and Forecasting) 수치모의를 통해 생산하였다.

2.3.1 WRF 수치모의

본 연구에서는 WRF Version 3.5.1을 사용하였으며, 연구용으로 개발된 WRF-ARW를 사용하였다. 한반도를 중심으로 고해상도 도메인(수평격자간격 3 km)을 구성하였으며, two-way nesting을 이용하여 도메인 2,

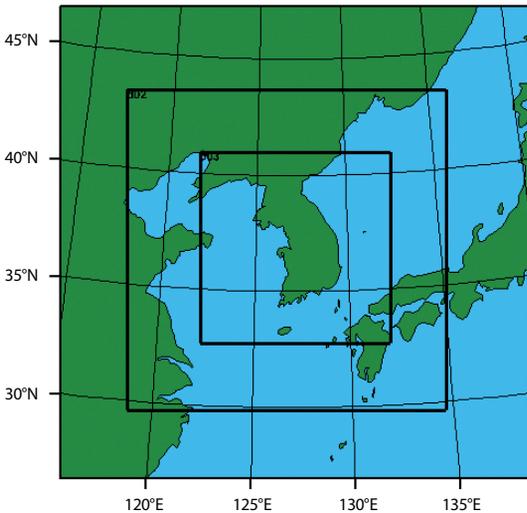


Fig. 1. Nested model domains used in this study.

3의 초기 및 경계 자료를 생산하였으며 도메인은 각각 85×85 , 172×172 , 304×304 격자로, 격자 간격은 27, 9, 3 km으로 구성하였다(그림 1). 기상청 RDAPS 수치예보 자료를 입력자료로 이용하였으며, 모델의 도메인구성, 물리 옵션과 초기자료에 대한 구성은 다음(표 3)과 같다.

2.3.2 태풍사전방재모델(RAM, Risk Assessment prediction Model)

본 연구에서 사용한 한국형 RAM (Jung *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2008)은 한반도에 영향을 미친 태풍에서 발생 가능한 최대 풍속과 그로 인해 발생하는 피해액을 예측하는 모델로써, 태풍의 피해에 대한 사전 방재 활동을 통한 피해저감에 활용하기 위해 개발되었다. 이 모델은 WRF 수치모의를 통해 도출된 700 hPa 풍속 자료를 입력자료로 사용하여, 태풍에 의해 발생할 수 있는 최대 풍속인 3-Second gust를 산정하는 모델로써 추가적으로 RAM에 요구되는 초기 입력자료는 거칠기 길이, 태풍의 정보(중심 위·경도, 중심 기압, 최대 풍속 반경)이다(그림 2).

2. 결과 및 고찰

3.1 태풍의 경로에 따른 발생빈도

표 4는 본 연구에서 선정한 2002년부터 2015년까지 한반도에 영향을 미친 43개의 태풍을 경로 유형별로 분류한 것이다. 분석 결과, 연구 기간 동안 일본을 거쳐

Table 3. 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 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		RDAPS data	

Table 4. Type of typhoon affecting the Korean peninsula (2002~2015).

Type	Typhoon name (Typhoon number)	Frequency (ratio, %)
1	Rammasun (0205), Kompasu (1007), Khanun (1207), Nakri (1412)	4 (9.1)
2	Nakri (0208), Rusa (0215), Maemi (0314), Ewiniar (0603), Nari (0711), Dianmu (1004), Sanba (1216)	7 (16.3)
3	Fengshen (0209), Meari (1105), Muifa (1109), Damrey (1210), Bolaven (1215), Chanhon (1509)	6 (14.0)
4	Soudelor (0306), Megi (0415), Malou (1009), Tembin (1214), Danas (1324), Leepi (1304)	6 (14.0)
5	Namtheun (0410), Wukong (0610), Talas (1112)	3 (7.0)
6	Mindulle (0407), Kalmaegi (0807)	2 (4.7)
7	Linfa (0304), Etau (0310), Chaba (0416), Songda (0418), Nabi (0514), Shanshan (0613) Man-yi (0704), Usagi (0705), Kong-Rey (1315), Neoguri (1408), Halong (1411), Vongfong (1419), Nangka (1511), Halola (1512), Goni (1515)	15 (34.9)

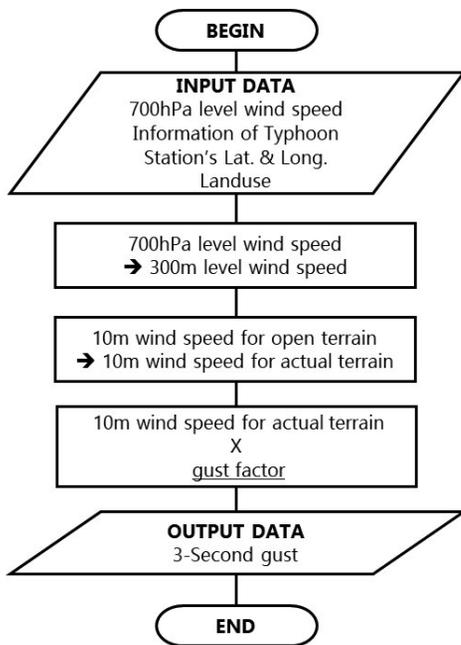


Fig. 2. Flow chart of RAM.

한반도에 영향을 주는 경로 (Type 7)가 15개 (34.9%)로 가장 많이 나타났으며, 남해안을 통해 상륙하는 경로 (Type 2)는 7개 (16.3%)로 나타났다. 또한, 서해로 북상하여, 발해만이나 중국으로 상륙하는 경로 (Type 3)와 대한해협을 지나서 동해의 북쪽 방향으로 지나가는 경로 (Type 4)가 각각 6개 (14.0%)로 나타났다.

같은 방식으로 분석을 진행하였던 Park *et al.* (2006)의 연구 기간이 1954년부터 2003년까지였고, 본 연구

에서는 최근에 한반도에 영향을 미친 태풍의 경향을 살펴볼 수 있는 2002년부터 2015년까지의 기간을 분석하였으므로, 과거 한반도에 영향을 미친 태풍과 최근 한반도에 영향을 미친 태풍의 진행경로를 비교하여 살펴보았다. 비교 분석한 결과, 과거 (1954년~2003년)에는 중국을 거치면서 한반도에 영향을 미치는 경로 (Type 6)를 나타낸 태풍의 비율이 24.6%로 가장 높았던 반면, 최근으로 올수록 Type 6의 경로를 가진 태풍의 비율이 4.7%로 현저히 낮게 나타나고 일본을 거치면서 한반도에 영향을 미치는 Type 7의 경로를 가지는 태풍의 비율이 34.1%로 가장 높게 나타났다. 또한, 한반도의 남해안에 상륙하여, 직접적으로 영향을 미치는 Type 2의 비율도 증가하고 있는 것으로 나타났다.

표 5는 태풍의 경로 유형을 월별로 구분한 결과이다. 분석 결과, 한반도에 영향을 미친 모든 태풍이 5월부터 10월 사이에 나타났으며, KMA (2011)에서 정의한 한반도의 태풍 계절 (typhoon season)인 7월부터 9월 사이에 가장 많이 한반도에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 과거에는 한반도에 영향을 미친 전체 태풍에서 9월에 영향을 태풍의 비율이 5~10%를 차지했던 반면 (KMA, 2011; Park *et al.*, 2006), 최근에는 9월에 한반도에 영향을 준 태풍의 비율이 전체의 27.9%로 나타나서, 최근으로 올수록, 과거에 비해 9월에 한반도에 영향을 미치는 태풍이 크게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 9월 영향 태풍들의 경로를 살펴보면, 남해안으로 직접 상륙하여 한반도에 영향

Table 5. Monthly occurrence frequency and ratio of typhoon for typhoon track type.

Month	Type							Total	Ratio (%)
	1	2	3	4	5	6	7		
5	-	-	-	-	-	-	1	1	2.3
6	-	-	1	2	-	-	-	3	7.1
7	2	2	2	-	-	2	4	12	27.9
8	1	1	3	1	2	-	5	13	30.2
9	1	4	-	2	1	-	4	12	27.9
10	-	-	-	1	-	-	1	2	4.6
Total	4	7	6	6	3	2	15	43	100
Ratio (%)	9.8	17.1	14.6	12.2	7.3	4.9	34.1	100	-

Table 6. Yearly occurrence frequency for typhoon track type.

Year	Type						
	1	2	3	4	5	6	7
2002	1	2	1	-	-	-	-
2003	-	1	-	1	-	-	2
2004	-	1	-	1	1	1	2
2005	-	1	-	-	-	-	1
2006	-	-	-	-	-	-	1
2007	-	-	-	-	-	-	2
2008	-	-	-	-	1	1	-
2009	-	-	-	-	-	-	-
2010	1	1	-	1	-	-	-
2011	1	-	2	-	1	-	-
2012	-	1	2	1	-	-	-
2013	-	-	-	2	-	-	1
2014	1	-	-	-	-	-	3
2015	-	-	1	-	-	-	3
Total	4	7	6	6	3	2	15
Ratio (%)	9.8	17.1	14.6	12.2	7.3	4.9	34.1

Table 7. List of type of typhoon EAST and WEST.

	WEST (Type 1, 3, 6)	EAST (Type 4, 5, 7)
Typhoon list	Rammasun (0205), Kompasu (1007), Khanun (1207), Nakri (1412), Fengshen (0209), Meari (1105), Muifa (1109), Damrey (1210), Bolaven (1215), Chanhon (1509), Mindulle (0407), Kalmaegi (0807)	Soudelor (0306), Megi (0415), Malou (1009), Tembin (1214), Danas (1324), Leepi (1304), Namtheun (0410), Wukong (0610), Talas (1112), Linfa (0304), Etau (0310), Chaba (0416), Songda (0418), Nabi (0514), Shanshan (0613) Man-yi (0704), Usagi (0705), Kong-Rey (1315), Neoguri (1408), Halong (1411), Vongfong (1419), Nangka (1511), Halola (1512), Goni (1515)
Total	12	24

을 주는 경로(Type 2)와 일본을 거쳐 한반도에 영향을 주는 경로(Type 7)가 다른 유형에 비해 높게 나타남을 알 수 있다.

태풍의 경로 유형을 연도별로 비교해보면(표 6), 한반도에 영향을 미친 태풍이 없었던 2009년은 제외하고, 연도별로 태풍경로에 있어 특별한 특징을 보이지

는 않았다. 개략적으로 연도별 태풍경로의 발생 경향을 살펴보면, 2003~2007년, 그리고 2013~2015년에는 Type 7의 태풍이 한반도에 영향을 많이 미쳤으며, 2010~2012년에는 Type 3 유형의 태풍이 비교적 많은 영향을 미친 것으로 나타났다.

본 연구에서 살펴본 태풍은 모두 43개이다. 이 중에서 한반도의 동쪽으로 진행하는 경로(Type 4, 5, 7, 총 24개)와 서쪽으로 진행하는 경로(Type 1, 3, 6, 총 12개)를 가진 태풍이 전체(총 43개)의 약 84% 정도를 차지하고 있다. 즉, 한반도의 남해 방향으로 진행하여 영향을 미치는 경로(Type 2)는 전체의 약 16% 밖에 되지

않으므로, 전반적으로 한반도에 영향을 미치는 태풍은 한반도의 동쪽이나 서쪽으로 진행하는 경로를 가지는 경우가 대부분이다. 따라서 본 연구에서는 한반도에 주로 많은 영향을 미치는 한반도의 동쪽과 서쪽으로 진행하는 태풍에서 나타나는 특징을 살펴보고자 하였다.

한반도를 기준으로 서쪽으로 진행하며 한반도에 영향을 미치는 태풍의 경로(Type 1, 3, 6)를 ‘WEST’로 정의하고, 한반도를 기준으로 동쪽으로 진행하며 한반도에 영향을 미치는 태풍의 경로(Type 4, 5, 7)를 ‘EAST’로 정의하여 경로별 태풍의 영향 빈도(표 7, 8, 그림 3)를 분석해 보았다.

Table 8. Number of type of typhoon EAST and WEST.

Year	Type	
	WEST (Type 1, 3, 6)	EAST (Type 4, 5, 7)
2002	2	0
2003	0	3
2004	1	4
2005	0	1
2006	0	2
2007	0	2
2008	1	0
2009	0	0
2010	1	1
2011	3	1
2012	2	1
2013	1	3
2014	1	3
2015	0	3
Total	12	24

3.2 태풍의 경로에 따른 3-Second gust

한반도에 영향을 미친 태풍의 경로별로 3-Second gust의 분포를 살펴본 결과(그림 4), 그림 4(a)는 태풍이 서해안으로 북상하여, 서해에 상륙하는 경로인 Type 1로, 한반도 대부분의 영역에 걸쳐 15 m/s 이상의 3-Second gust가 나타났으며, 한반도 남부 내륙지역에서는 30 m/s 이상의 강한 바람이 분포하는 것으로 나타났다. 그림 4(b)는 태풍이 남해안에 상륙하여 한반도에 영향을 미치는 경로인 Type 2로, 경기도, 충청도 일부 지역을 제외한 전역에 걸쳐 25 m/s 이상의 3-Second gust가 나타났으며, 특히, 경상도와 전라도 일부 지역에서 35 m/s 이상의 강한 3-Second gust가 나타

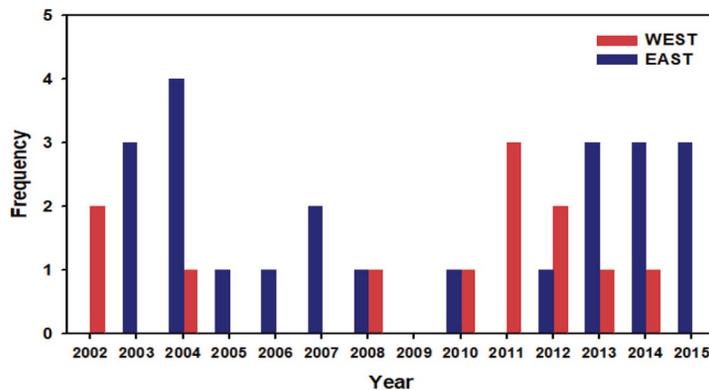


Fig. 3. Frequency of typhoon EAST and WEST (2002~2015).

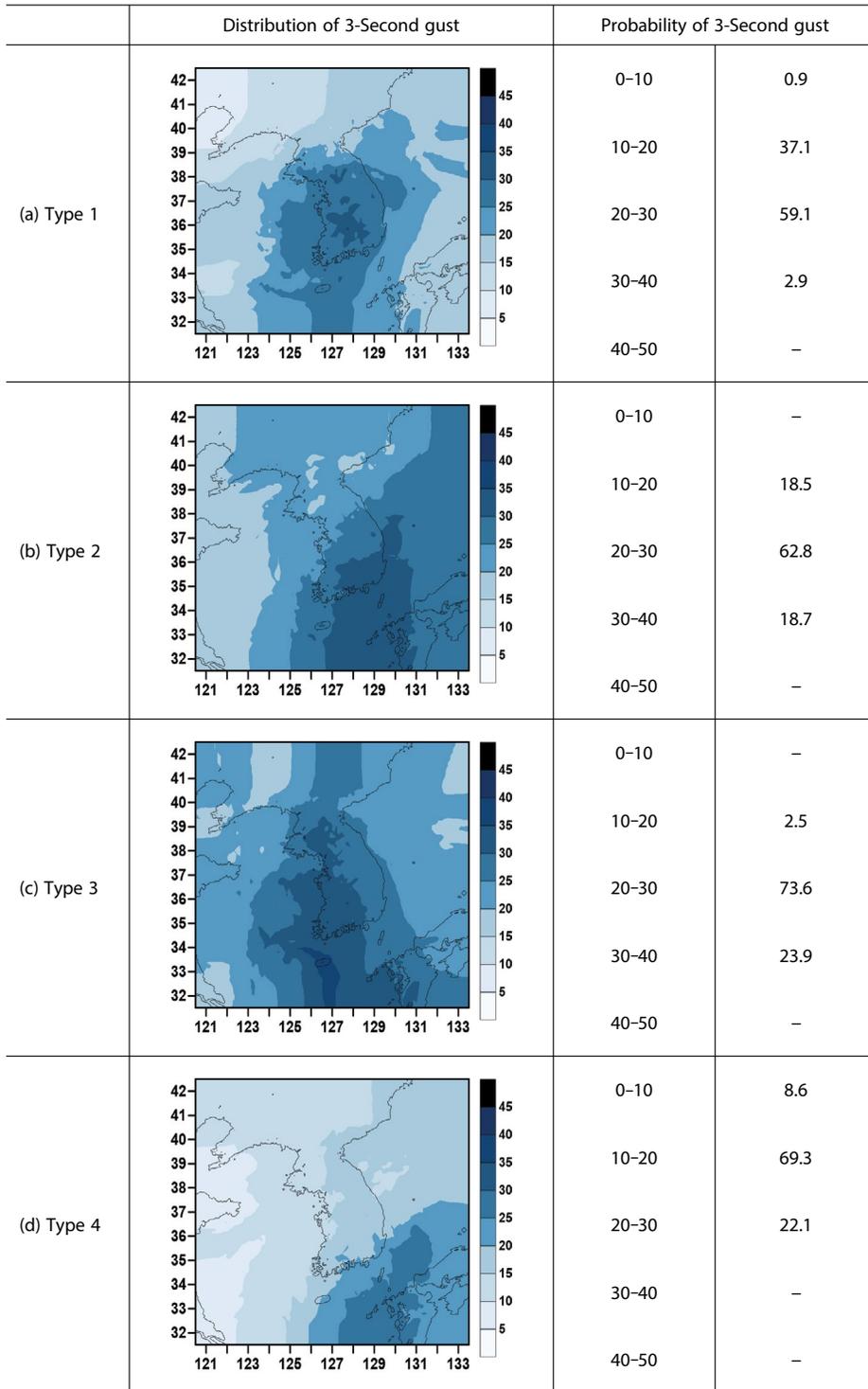


Fig. 4. Distribution and Probability of 3-Second gust by typhoon track type.

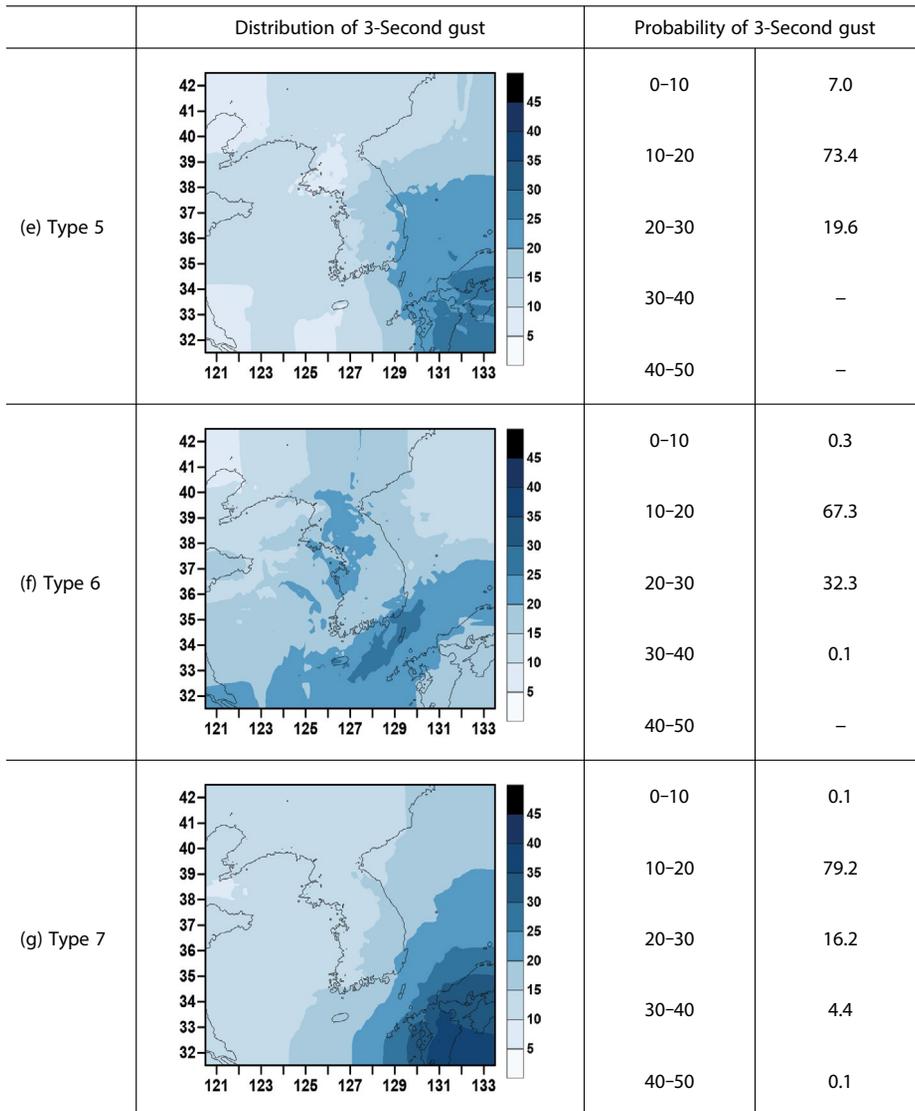


Fig. 4. Continued

났다. 그림 4(c)는 태풍이 서해로 북상한 후 중국이나 발해만으로 상륙하는 경로인 Type 3으로, 한반도 전체에 걸쳐 25 m/s 이상의 3-Second gust가 나타났으며, 제주도, 전라도, 충청도 일부 지역에 걸쳐 35 m/s 이상의 강한 3-Second gust가 나타났다. 그림 4(d)는 태풍이 대한해협을 통과한 후 동해 북부로 빠져나가는 경로인 Type 4로, 한반도 전역에서는 20 m/s 이하

의 비교적 약한 3-Second gust가 나타났으며, 남해안을 따라 해상 먼 바다까지 20 m/s 이상의 3-Second gust가 분포하여 Type 1, 2, 3과는 다른 경향을 나타내고 있었다. 그림 4(e)는 태풍이 일본을 거쳐 동해로 북상하는 경로인 Type 5로, Type 4와 마찬가지로 한반도 전역에서는 20 m/s 이하의 비교적 약한 3-Second gust가 나타났다. 또한 동해안을 따라 동해 먼 바다까지 20

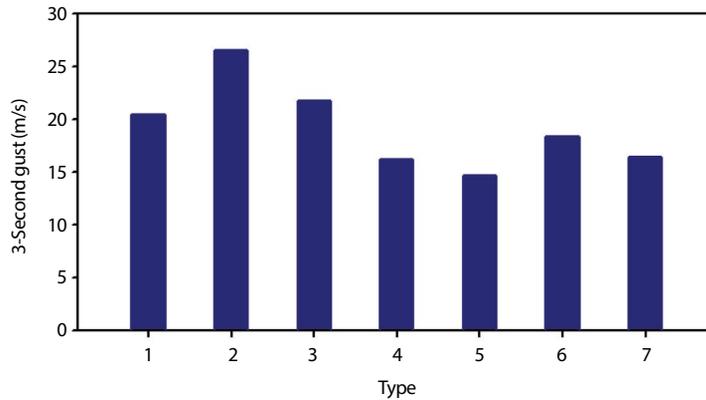


Fig. 5. 3-Second gust of typhoon track type.

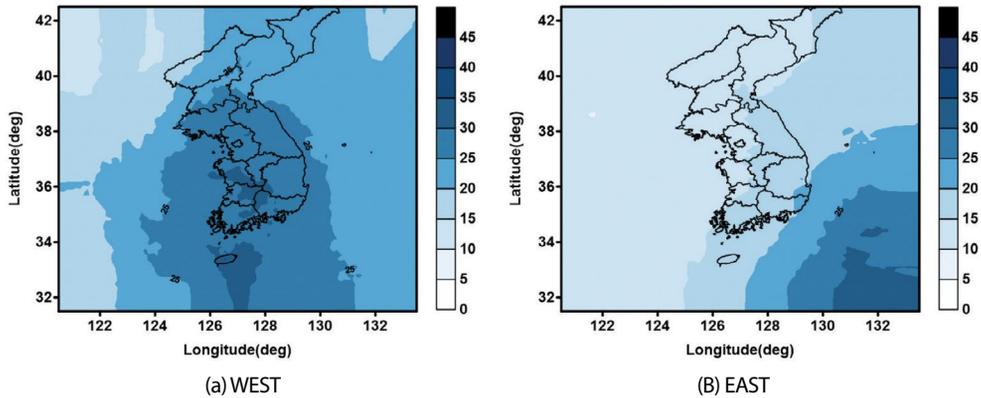


Fig. 6. Distribution of Typhoon (a) WEST and (b) EAST.

m/s의 3-Second gust가 나타났다. 그림 4(f)는 태풍이 중국을 거쳐 한반도에 영향을 미치는 경로인 Type 6으로, 수도권과 충청도 지역, 그리고 남해안에 걸쳐 20 m/s 이상의 비교적 강한 3-Second gust가 나타났다. 그림 4(g)는 태풍이 일본을 거쳐 한반도에 영향을 미치는 경로인 Type 7로, 한반도 남동연안지역 일부를 제외하고는 전역에서 20 m/s 이하의 비교적 약한 3-Second gust가 분포하는 것을 알 수 있었다.

그림 5는 연구대상기간 전체 태풍의 경로 유형별 3-Second gust 평균을 나타낸 것이다. 평균값을 산정한 방법으로는 태풍이 한반도에 내습한 전 시간대, 모든 격자점에서의 3-Second gust 값을 이용하여 각 태

풍의 3-Second gust 평균값을 산정하였으며, 이를 이용하여 각 경로별 평균 3-Second gust 값을 산정하였다.

분석 결과, 그림에서 나타난 바와 같이, 한반도의 남해안에 상륙하여 한반도에 영향을 주는 경로인 Type 2의 태풍에서 가장 강한 3-Second gust (26.5 m/s)가 나타났으며, 태풍이 서해로 진행하여 발해만 또는 중국내륙으로 진행되는 경로인 Type 3에서 두 번째로 강한 3-Second gust (21.8 m/s)가 나타났다. 그 다음으로는 태풍이 서해로 북상하여 서해안에 상륙하는 경로인 Type 1에서 강한 3-Second gust (20.5 m/s)가 나타났다. 반대로, 일본을 거쳐 동해로 북상하는 경로인 Type 5에서는 전체 7가지 경로 중에서 가장 약한 3-

Second gust (14.7 m/s)가 나타났다.

앞서 살펴본 바와 같이, 한반도에 영향을 미치는 태풍의 약 84%는 한반도의 동쪽과 서쪽을 지나는 경로를 가지고 있는 것으로 나타났다. 따라서 이러한 경로를 가지는 태풍에서 발생하는 3-Second gust는 어떠한 분포 특징을 가지고 있는지 살펴보고자 하였다.

그림 6은 태풍이 한반도를 기준으로 서쪽으로 북상하고, 한반도에 영향을 미치는 경로 WEST와 한반도를 기준으로 동쪽으로 북상하고, 한반도에 영향을 미치는 경로 EAST의 각 태풍의 내습 시 최대 풍속 3-Second gust의 분포를 나타낸 그림이다. WEST의 경우 제주도와 전라북도, 경상남도를 걸치는 일부 지역에 30 m/s 이상의 풍속대가 나타났으며, 한반도의 대부분의 지역에 25 m/s 이상의 3-Second gust가 나타났다. EAST의 경우 WEST보다 한반도에 낮은 풍속대인 10~20 m/s의 3-Second gust가 주를 이루고 있었으며, 경상남도과 경상북도의 일부 지역에 20~25 m/s의 3-Second gust가 나타났다. WEST와 EAST를 비교하여 분석하면 EAST의 경우 한반도의 남동해안을 포함한 일부 지역에 20~25 m/s의 비교적 강한 3-Second gust가 나타나는 반면, WEST의 경우 한반도 전체에 25 m/s 이상의 강한 3-Second gust가 나타났고, 일부 지역에는 30 m/s 이상의 강한 3-Second gust가 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 2002년부터 2015년 한반도에 영향을 미친 전체 태풍을 대상으로 태풍내습 시 이론적으로 발생 가능한 최대풍속 3-Second gust를 산정하여, 태풍의 경로별로 나타나는 특징들을 분석하였다. 또한 경로별로 각 격자별 3-Second gust의 정보를 담은 고해상도 DB를 구축하여 태풍사전방재시스템을 위한 기초 연구를 수행하고자 하였다.

분석을 수행한 결과, 전체 연구 기간 동안 Type 2의 태풍이 7회, Type 3, 4의 태풍의 6회로 높게 나타나고

있었으며, 최근 영향 빈도가 증가하고 있는 9월의 태풍은 Type 2와 Type 7이 높게 나타났다. 여러 유형의 태풍 경로들 중에서 태풍이 남해안에 상륙하여 한반도에 영향을 미치는 Type 2의 평균 3-Second gust가 가장 높게 나타나고 있기 때문에 태풍내습 시기 방재 활동에 더욱 주력해야 할 것으로 판단된다. 또한, 한반도를 기준으로 동쪽과 서쪽으로 태풍이 진행되는 경로를 각각 EAST와 WEST로 구분하여 분석한 결과, 최근 들어 태풍이 한반도를 기준으로 동쪽으로 진행하며, 한반도에 영향을 미치는 경로인 EAST의 태풍이 많은 영향을 미치는 것으로 나타났고, 분포에서는 WEST의 경우, 한반도 전역에 비교적 강한 3-Second gust가 나타났고, 한반도의 남동해안을 포함한 일부에 높은 3-Second gust가 나타났다. 태풍의 경로 유형들 중에서 Type 2의 평균 3-Second gust가 가장 높게 나타나고 있는 동시에, 3-Second gust의 분포에서 강한 3-Second gust 영역이 한반도에서 나타나며, Type 2의 경우 태풍내습 시기 방재 활동에 더욱 주력해야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과를 통해 한반도가 태풍의 영향을 받는 경우에 발생할 수 있는 최대의 풍속인 3-Second gust에 대한 태풍의 경로 유형별 특징과 각 격자별 고해상도의 DB자료는 태풍사전방재시스템의 활용 및 구축에 유용한 정보가 될 수 있을 것이다.

감사의 글

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

References

- Ahn, S.H., Kim, B.J., Lee, S.L., Kim, H.K. (2008) The Characteristics of Disaster by Track of Typhoon Affecting the Korean Peninsula, Journal of Korean Society of Haz-

- ard Mitigation, 8(3), 29-36. (in Korean with English abstract)
- Forrest, J. (2004) Measurement, Modeling and Simulation of Ground-Level Tropical Cyclone Winds, Master's thesis, Florida University, pp. 203.
- Hur, D.S., Lee, H.W., Lee, W.D., Bae, K.S. (2008) Storm Surge Height on Busan and Gyeongnam coastal region by an Attack of Super-Typhoon, Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 20(1), 128-136.
- 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.
- 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)
- 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)
- Kim, B.J., Lee, S.L., Kim, H.G., Park, J.K., Choi, B.C. (2007) Analysis of typhoon damage characteristics according to typhoon course in Korean Peninsula, Journal of the Korean Meteorological Society Spring Conference, 486-487.
- 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, pp. 109.
- Kim, S.Y., Joh, C.H., Lee, S.H. (2015) Change of Damages and Damage Areas Caused by Typhoon in South Korea, Journal of Climate Research, 10(2), 121-135.
- Korea Meteorological Administration (KMA) (2011) Typhoon White Book, National Typhoon Center, 11-1360016-000001-01, pp. 345.
- Lee, D.K., Jang, D.E., Wee, T.K. (1992) Typhoons Approaching Korea, 1960-1989 Part I: Statistics and Synoptic Overview, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 28(2), 133-147. (in Korean with English abstract)
- Moon, I.J., Choi, E.S. (2011) A Definition and Criterion on Typhoons Approaching to the Korean Peninsula for the Objective Statistical analysis, Atmosphere, Journal of Korean Meteorological Society, 21(1), 45-55. (in Korean with English abstract)
- 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)
- 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)
- Park, J.K., Kim, B.S., Jung, W.S., Kim, E.B., Lee, D.G. (2006) Changes in Characteristics of Typhoon Affecting the Korean Peninsula, Atmosphere, Journal of Korean Meteorological Society, 16(1), 1-17. (in Korean with English abstract)
- Park, S.J. (1997) Prediction of Typhoon Path Using Neural Networks, Master's thesis, Pohang University of Science and Technology Graduate School of Information and Communication, pp. 49.
- Son, K.T., Baik, J.S., Kim, H.A., Oh, J.H. (1998) Analysis of Typhoon Track Patterns using the Statistical Multivariate Data Analysis, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 34(2) 346-354. (in Korean with English abstract)

Authors Information

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