

ORIGINAL ARTICLE

한반도 비태풍시기 강풍의 공간적 분포 특징
- 관측 자료와 강풍특보 자료 -

나하나 · 정우식*

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

Spatial Distribution of Strong Winds on the Korean Peninsula
during the Non-Typhoon affecting Period
- Observations and Strong Wind Special Report-

Hana Na, Woo-Sik Jung*

Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University, Gimhae 50834, Korea

Abstract

The spatial characteristics of typhoon-class strong wind during the non-typhoon period were analyzed using a cluster analysis of the observational data and of special strong wind advisories and warnings issued by the Korean Meteorological Administration. On the Korean Peninsula, strong winds during non-typhoon periods showed a wide variety of spatial characteristics. In particular, the cluster analysis showed that strong winds could be classified into six clusters on the Korean Peninsula, and that the spatial distribution, occurrence rate of strong winds, and strong wind speed in each cluster were complex and diverse. In addition, our analysis of the frequency of issuance of special strong wind warnings showed a significant difference in the average frequency of strong wind warnings issued in metropolitan cities, with relatively high numbers of warnings issued in Gyeongsangbuk-do and Jeollanam-do, and low numbers of warning issued inland and in other metropolitan cities. As a result of the changing trend in warnings issued from 2004 to 2019, Ulsan and Busan can be interpreted as having a relatively high number of warnings; the frequency of strong wind warnings issuances and strong wind occurrences in these cities is increasing rapidly. Based on the results of this study, it is necessary to identify areas with similar strong wind characteristics and consider specific regional standards in terms of disaster prevention.

Key words : Non-typhoon period, Strong wind, Cluster analysis, Advisory, Warning

1. 서론

최근 지구온난화가 가속화되며 한반도에서는 강한 태풍의 내습, 장마 장기화, 강도 높은 폭염 등의 여러 기상 재해변화로 인한 피해가 증가하고 있다. 특히, 최근에는

태풍영향시기가 아닌 비태풍 기간에도 ‘태풍급 강풍’이라 불리는 강한 풍속의 발생빈도와 그 강도가 급격히 증가하며 그로 인한 피해 또한 커지고 있다. 한반도에서의 강풍과 관련된 최근의 선행연구들을 살펴보면, 주로 태풍에 동반되는 강풍에 대한 연구(Na and Jung, 2020,

Received 27 August, 2021; Revised 6 September, 2021;

Accepted 10 September, 2021

*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.

Park et al., 2020)가 대부분일 뿐만 아니라, 비태풍시기의 강풍관련 연구(Ham et al., 2017; Kim et al., 2020)가 있지만 풍속의 일별자료를 사용하고 있다는 측면에서 강풍피해의 주요 원인인 순간돌풍에 의한 강풍을 다루고 있지는 않다는 점에서 다소의 아쉬움이 있다. 이러한 측면에서 보면, 현 시점에서 한반도 ‘비태풍시기 강풍’에 대한 체계적 연구가 필요하지만 국내에서는 비태풍시기 강풍관련 다양한 연구들이 여전히 부족하고, 비태풍시기 강풍의 시·공간적 특징을 분석한 선행연구만이 수행(Na and Jung, 2021)된 바 있다. Na and Jung(2021)의 연구에 따르면 과거부터 현재까지 장기간의 자료분석을 통해 우리나라 전역에서 비태풍시기에 강풍이 발생하는 확률과 풍속이 매우 복잡다양한 분포와 특성으로 나타나고 해상도 개념의 상세단위 지역별로 더욱 구체적이고 상세한 분석적 연구가 필요함을 제시하고 있다.

우리나라 기상청에서는 태풍 및 강풍을 포함하여 호우, 대설, 황사, 강풍, 지진 등 11개 위험요소별로 주의보와 경보로 구분하여 특보를 발표하고 있다. 본 연구에서 분석주제로 선정된 비태풍시기 강풍과 관련성이 있다고 판단되는 강풍특보에 관련된 연구로는 예측 기법에 대한 연구(Seo, 2017), 산불과의 상관분석에 대한 연구(Won et al., 2012; Kang et al., 2016)가 수행된 바 있으나, 방재적인 측면에서의 분석인 강풍특보에 대한 지역별 특징, 발령 횟수 등에 대한 분석은 매우 부족하다. 또한, 국내 강풍특보 기준의 경우, 전국을 동일한 기준에 적용하며, 강풍주의보와 강풍경보 총 2단계로 구성되어 있으나, 국외 강풍특보 기준으로는 공간적, 기준의 상세화가 적용되어 있다. 일본의 경우 8개의 지역을 구분하며, 육상과 해상을 구분하여 발표하고 있으며, 미국의 경우 동부, 중부, 서부, 남부로 나누어 발표하며, 권역별 기준이 있다. 또한, 중국의 경우 4개의 기준으로 상세화되어 발표하고 있다. 앞서 발표한 비와 같이 한반도 비태풍시기 강풍에 대한 기초연구를 수행한 Na and Jung(2021)에서는 우리나라의 강풍 발생확률과 풍속이 매우 복잡하고 다양하다는 결과를 도출한 바 있다. 따라서, 국내에서도 강풍특보의 기준을 구체화하고 상세화할 필요성이 있으며, 이를 위한 기초분석이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 복잡하고 다양하게 나타나는 한반도 비태풍시기 강풍의 구체적인 특징을 분석하기 위하여, 기상관측이 수행되는 관측지점 전체를 대상으로 군집분

석을 수행하고자 한다. 또한, 추가적으로 강풍특보가 발령되는 공간적 최소단위인 광역시도별 강풍특보의 발령 빈도에 대한 공간적 분포특징 및 기초분석을 수행하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구자료

2.1.1. 관측자료

본 연구에서 사용한 풍속자료는 우리나라 기상청이 현재 운용중인 종관기상관측장비(ASOS, Automated Synoptic Observing System, 102개소) 및 부이(bouy, 17개소) 그리고 등표(beacon, 9개소) 관측지점, 총 128곳(Fig. 1)에서 관측된 시간별 자료를 사용하였는데, 이 풍속자료 중에서 기상청 기준 ‘강풍’에 해당하는 14 m/s 이상의 풍속자료만을 대상으로 분석을 수행하였다.

분석기간은 강풍특보자료와의 연관 분석을 수행하기 위해, 2004년부터 2019년까지 최근 16년간을 대상으로 하였는데, 특히, 이 기간 동안 태풍의 한반도 영향기간을 제외한 연중 모든 기간을 ‘비태풍시기’로 설정하여 분석을 수행하였다. 따라서 2004년부터 2019년까지 한반도 영향태풍 기간을 제외한 모든 기간 동안 발생한 강풍자료가 분석에 활용되었다. 참고로, 태풍이 한반도에 영향을 미친 기간은 기상청에서 공식적으로 제공하고 있다.

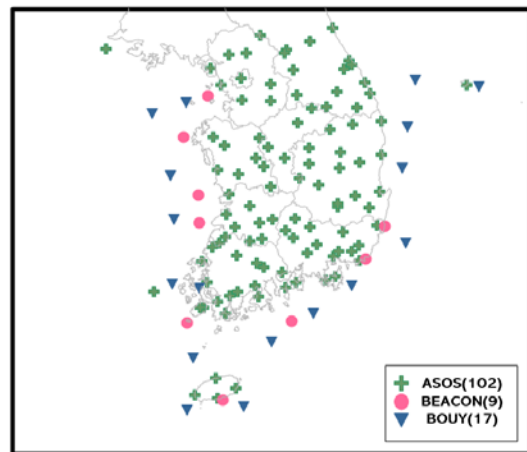


Fig. 1. Distribution of the observation points operated by the Korea Meteorological Administration as of 2019(+:ASOS, ●:Beacon, ▼:Bouy).

본 연구에서 분석에 활용한 총 128개 관측지점 중에서 ASOS 지점은 대부분 다양한 지형고도의 내륙에 위치하고 있고, 해당 관측지점에서의 풍속은 기상청의 기상관측지침에 따라 지상 10 m 고도에서 관측되고 있다. 그런데, 일반적으로, 풍속은 해발고도에 따라 지형 할증 효과 등과 같은 풍속변화가 발생하기 때문에 해발고도가 상이한 지점에서 관측된 풍속을 그대로 비교하기에는 상당한 무리가 따른다. 따라서 본 연구에서는 해발고도가 각기 다른 이들 ASOS 지점에서 관측된 풍속을 보정하여 동일고도 조건에서의 풍속으로 변환하기 위하여 식(1)(Pryor et al., 2005; Jiang et al., 2010; Wan et al., 2010)의 방법을 사용하여 고도 평준화를 실시하였다.

$$\frac{U(Z_{10})}{U(Z_a)} = \left(\frac{Z_{10}}{Z_a}\right)^\alpha \quad (1)$$

식(1)에서 U는 풍속, Z_{10} 은 10 m 고도, Z_a 는 실제 관측 고도를 나타낸다. α 는 선행연구(Peterson and Hennessey, 1978; Weisser and Foxon, 2003)에서 사용한 1/7을 적용하였다.

2.1.2. 강풍특보자료

기상청의 강풍특보 자료는 강풍주의보와 강풍경보로 구분되어 제공된다. 강풍주의보와 강풍경보 기준에 대해 살펴보면, 강풍주의보는 육상에서 풍속 50.4 km/h(14 m/s) 이상 또는 순간풍속 72.0 km/h(20 m/s) 이상이 예상될 때 발령되며(다만, 산지에서는 풍속 61.2 km/h(17 m/s) 이상 또는 순간풍속 90.0 km/h(25 m/s) 이상이 예상될 때), 강풍경보는 육상에서 풍속 75.6 km/h(21 m/s) 이상 또는 순간풍속 93.6 km/h(26 m/s) 이상이 예상될 때(다만, 산지는 풍속 86.4 km/h(24 m/s) 이상 또는 순간풍속 108.0 km/h(30 m/s) 이상이 예상될 때) 발령된다. 참고로, 기상청에서는 해발고도가 600 m 이상인 지역은 산지로 구분하고 있으므로 이 고도 이상의 해발고도에 위치한 관측지점에서는 산지에서의 조건에 따라 특보가 발령된다.

기상청에서 발령하는 강풍특보는 17개 광역시도(서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 광주, 울산, 세종, 경기도, 경상남도, 경상북도, 충청남도, 전라남도, 전라북도, 충청북도, 강원도, 제주도) 단위로 발령되고 해제되는데, 각 광역시도별로 육상에 설치되어 있는 기상관측장비(ASOS,

AWS(Automatic Weather System), 등)에서 관측된 10분 평균 최대풍속값이 광역시도 내의 단 한 지점에서라도 기준을 초과하면 해당 광역시도 전체에 강풍특보가 발령되는 반면, 해당 광역시도의 모든 관측지점이 강풍 기준 이하의 풍속으로 내려가야만 강풍특보는 해제된다. 현재는 강풍특보가 발령되는 지역명이 광역시도 단위로만 제공되고 있어, 향후의 관점에서, 시군구 또는 읍면동과 같이 상세지역별 행정단위로 발령할 필요성도 있다고 판단된다.

2.2. 군집분석

현재 우리나라에서 운용 중인 총 128개 관측지점에서 발생한 비태풍시기 강풍에 있어서의 지역별 분포 특성 등을 살펴보기 위해 군집분석을 수행하였다. 군집분석은 분석요소 간의 유사도(similarity) 또는 거리(distance)에 근거하여 집단으로 묶는 통계적인 방법으로 특정 현상의 객관적인 패턴을 분류할 수 있는 유용한 방법이다. 유사도에 근거하여 개체들을 알려지지 않은 군집을 형성하고, 형성된 군집의 특성을 분석함으로써 군집 간의 관계를 분석할 수 있다. 군집분석은 군집의 추출방법에 따라 다양한 방법들이 있는데, 본 연구에서 사용된 계층적 방법은 가장 보편적이면서 많이 사용되는 방법으로, 거리가 가까운 개체들이 군집을 이루어 가면서 최종적으로 모든 개체들이 하나의 군집을 이루도록 하는 방법이다. 계층적 군집방법은 군집 간의 거리를 어떻게 정의하느냐에 따라 최단연결법, 최장연결법, 평균연결법, 와드법으로 구분된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 비태풍시기 강풍군집

연구대상 128개 각 관측지점별로 2004년부터 2019년까지 비태풍시기 동안 강풍의 발생비율과 강풍의 평균 풍속을 도출한 후, 계층적 군집방법인 최단연결법, 최장연결법, 와드법, 평균연결법을 이용하여 군집분석을 수행하였다. 이들 각각에 방법에 대한 군집분석을 수행한 결과, 모두 군집의 수가 6개 일 때 가장 적합한 것으로 분석되었다. 6개의 군집 중에서, 군집 1은 전체의 절반이 넘는 67개 지점(52.3%)이 해당하는 것으로 나타났고, 다음으로 군집 2가 24개 지점(18.8%), 군집 4가 18개 지점(14.1%), 군집 5가 10개 지점(10.2%), 군집 3은 4개

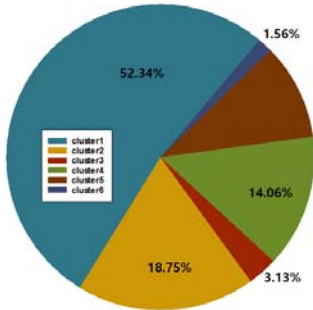


Fig. 2. Percentage of clusters.

Table 1. Number and percentage of clusters

	observational points	%
cluster 1	67	52.3
cluster 2	24	18.8
cluster 3	4	3.1
cluster 4	18	14.1
cluster 5	13	10.2
cluster 6	2	1.6
sum	128	100

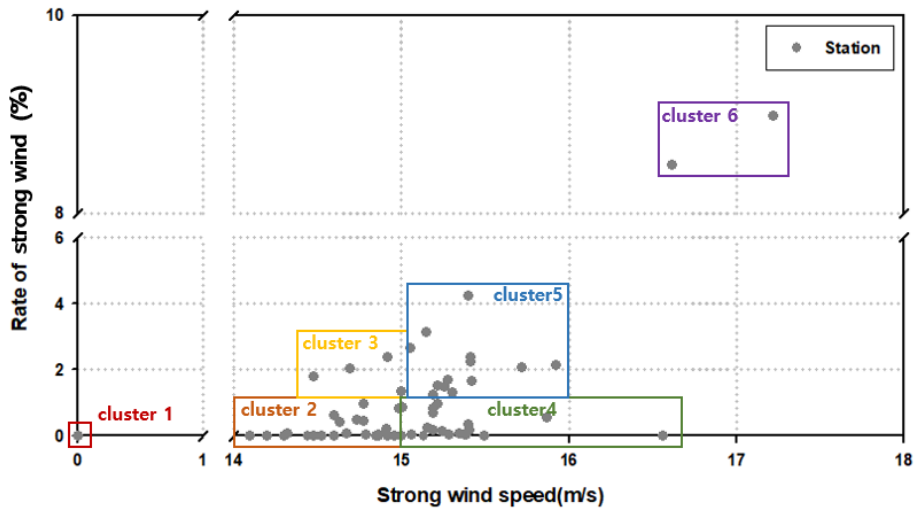


Fig. 3. Graph of the average strong wind speed and the occurrence rate of strong winds. Observation points are classified by cluster.

지점(3.1%), 그리고 군집 6 이 2개 지점(1.6 %)로 나타났다(Fig. 2, Table 1).

Fig. 3은 연구대상 각각의 관측지점별로 비태풍시기 전 기간 동안의 강풍 발생비율과 강풍 평균풍속을 나타낸 것으로, 전체 128개 지점의 군집분류도 함께 표기한 것이다. 각 군집의 특징은 Fig. 4의 box plot과 Table 2를 활용하여 구체적으로 설명할 수 있다. 군집 1은 관측이 수행된 이후, 비태풍시기에 강풍의 발생이 없었던 지점들의 군집으로 이에 따라 강풍 발생비율과 풍속 모두 0의 값을 나타내고 있다. 군집 2에 해당하는 지점들의 평균 강풍 발생비율은 0.2% 였으며 강풍 평균풍속은 14.7 m/s로 나타나서 다른 군집에 비해 상대적으로 약한 강도

의 강풍 풍속을 나타내며, 강풍 발생비율 또한 낮은 경향을 가지는 군집으로 나타났다. 군집 3에 해당하는 지점들은 평균 강풍 발생비율이 1.9%로 나타나서 군집 2에 비해서는 강풍 발생빈도가 많은 특징을 보이지만 강풍의 평균풍속은 14.8 m/s로 군집 2와 거의 유사한 수준으로 나타나서 강풍의 강도가 비교적 약한 경향을 나타내는 지점들이었다. 군집 4는 평균 강풍 발생비율이 0.3%로 나타나서 군집 2와 유사하게 강풍의 발생비율은 낮았지만, 강풍의 평균풍속은 15.4 m/s로 군집2와 3에 비해 강한 경향을 나타내는 특징이 있었다. 군집 5는 군집 3과 유사하게 강풍의 발생비율이 2.1%로 높게 나타나면서 강풍의 평균풍속 또한 군집 4와 같이 15.4 m/s로 강한

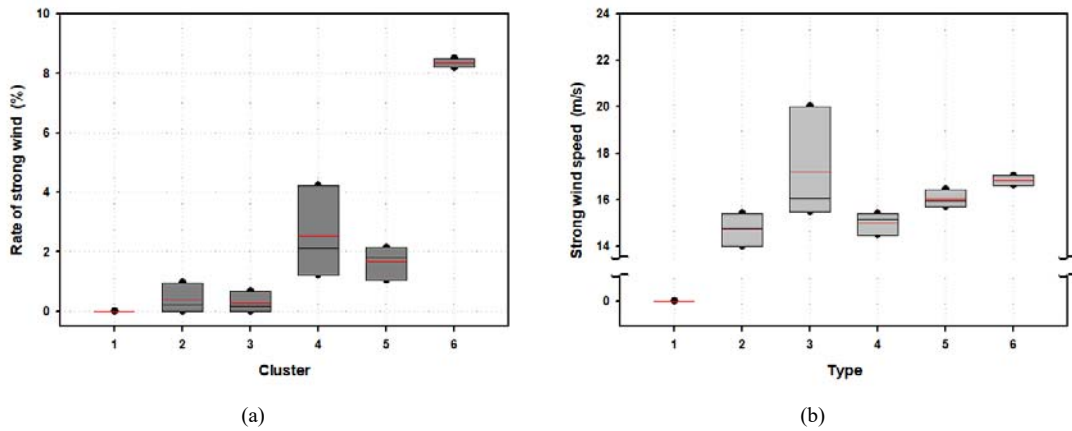


Fig. 4. Box plot of the (a) occurrence rate of strong wind (%) and, (b) strong wind speed (m/s) for clusters 1-6. The box plot shows the maximum observation below the upper fence, and minimum observation, mean (red line), and median (black line).

Table 2. The occurrence rate of strong winds in cluster 1-6, strong wind speed, average wind speed

	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6
Occurrence Rate of Strong wind (%)	0	0.2 (0~1.0)	1.9 (1.3~2.4)	0.3 (0~1.0)	2.1 (1.2~4.2)	8.7 (8.5~9.0)
Strong wind speed (m/s)	0	14.7 (14.1~15.0)	14.8 (14.5~15.0)	15.4 (15.0~16.6)	15.4 (15.1~15.9)	16.9 (16.6~17.2)
Average wind speed (m/s)	1.7 (0~2.9)	3.4 (1.4~6.0)	6.8 (6.2~7.2)	3.8 (1.9~6.2)	6.1 (5.1~7.6)	7.0 (6.9~7.1)

강도의 강풍 풍속을 나타냈다. 마지막으로 군집 6은 평균 강풍 발생비율이 다른 5개 군집에 비해 월등히 높은 비율인 8.7%로 나타났으며, 강풍의 평균풍속 또한, 전체 6개로 구분된 군집 중에서 가장 강한 16.9 m/s로 나타나서, 이 군집은 강한 강풍이 자주 발생하는 특징이 있었다.

이상의 결과를 바탕으로, 우리나라 각 지역별로 위치하고 있는 128개 분석대상 지점들이 각각 어떠한 군집에 해당하는지, 그리고 어떠한 분포적 특징을 나타내는지 살펴보기 위하여 각 지점들을 군집별로 표기하여 나타내 보았다. Fig. 5는 128개 각 지점들을 군집별로 구분하여 함께 나타낸 것이고, Fig. 6은 각각의 군집별로 각 군집에 해당하는 지점만 구분하여 나타낸 것이다. Fig. 5와 6을 보면, 군집 1은 서귀포 지점을 제외하고는 모든 지점들이 내륙에 위치하고 있고 군집 2는 서해와 남서해 도서 지역, 동해 연안지역, 그리고 내륙에 고루 분포하고 있으며, 군집 3은 4개 지점 모두 해상의 부이 관측지점으로

나타났다. 군집 4는 대부분 해안에 가까운 연안부근에 위치하는 경향을 보였으며, 군집 5는 군집 4와 유사하게 연안지역도 있었지만, 부이와 등표와 같이 해상에 위치한 지점들이 해당되었다. 그리고 군집 6은 2개의 지점으로, 앞서 살펴본 바와 같이 강풍의 발생비율도 높고, 강풍의 풍속 또한 상대적으로 가장 강한 경향을 보였는데, 제주도 고산과 경남 해역에 위치한 간여암 지점이 이 군집에 해당되었다.

3.1.1. 군집별 특징

3.1.1.1. 군집 1

군집 1은 Fig. 4와 Table 2에 나타낸 바와 같이, 연구 대상기간 동안 비태풍시기에는 14 m/s 이상의 강풍이 발생하지 않은 지점들로 구분되었는데, 전체 128개 관측지점의 절반이 넘는 67개 지점이 해당되었다. 이 지점들은 서귀포 지점을 제외하고는 모두 내륙에 위치한 ASOS 지점들로서 우리나라 내륙 대부분 지역에서는 비태풍

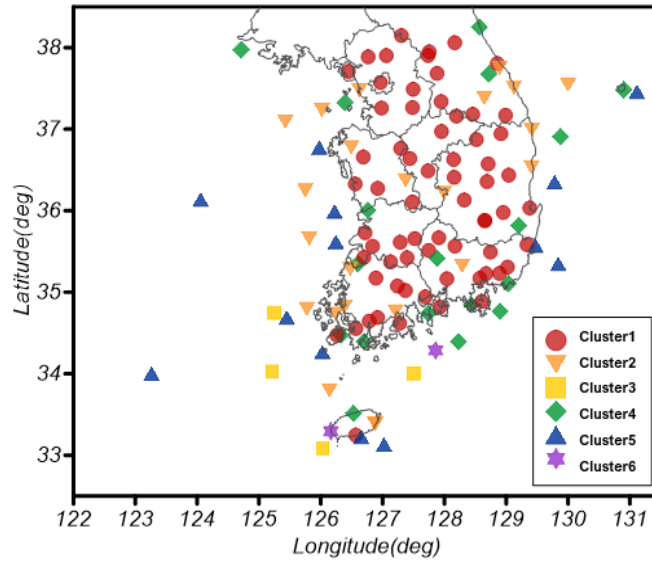


Fig. 5. Distribution of ASOS, buoy, and beacon sites on the Korean Peninsula, classified into cluster 1-6.

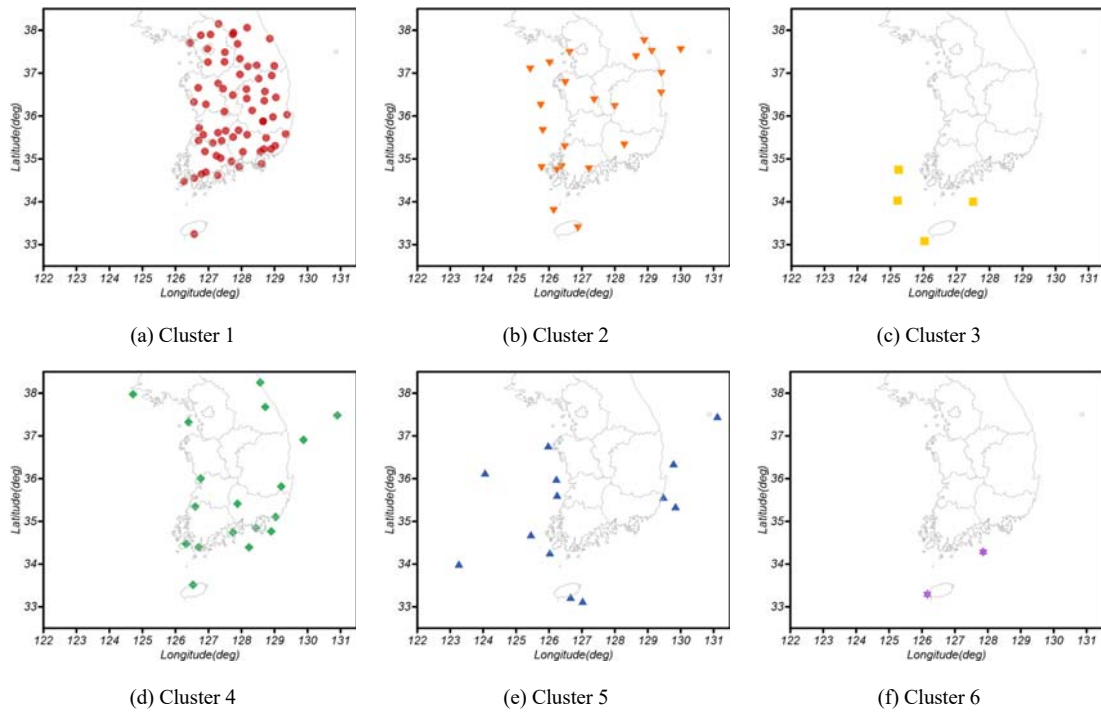


Fig. 6. Distribution of observation points for cluster 1-6.

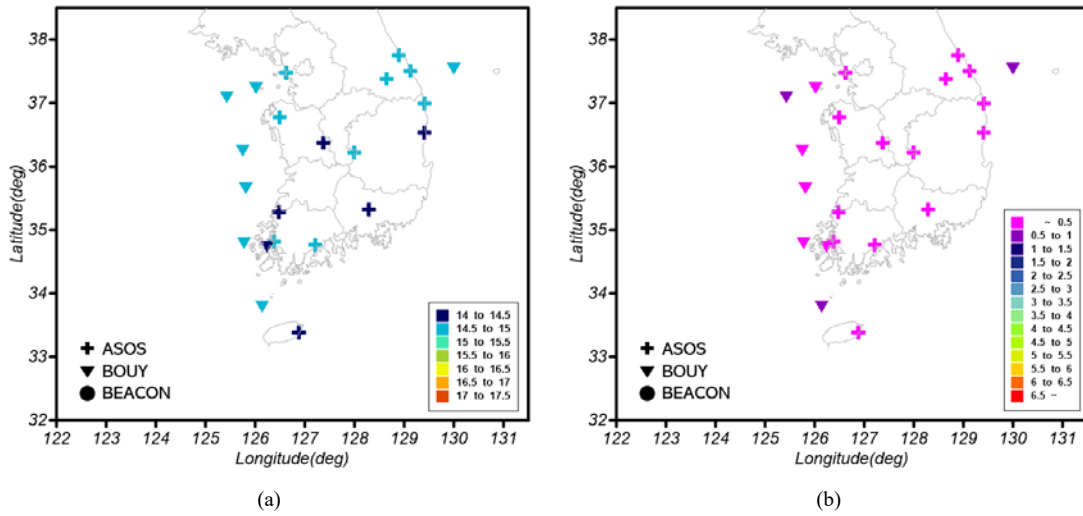


Fig. 7. Distribution of (a) the strong wind speed(m/s) and (b) the occurrence rate of strong winds (%) recorded at the observation points included in Cluster 2.

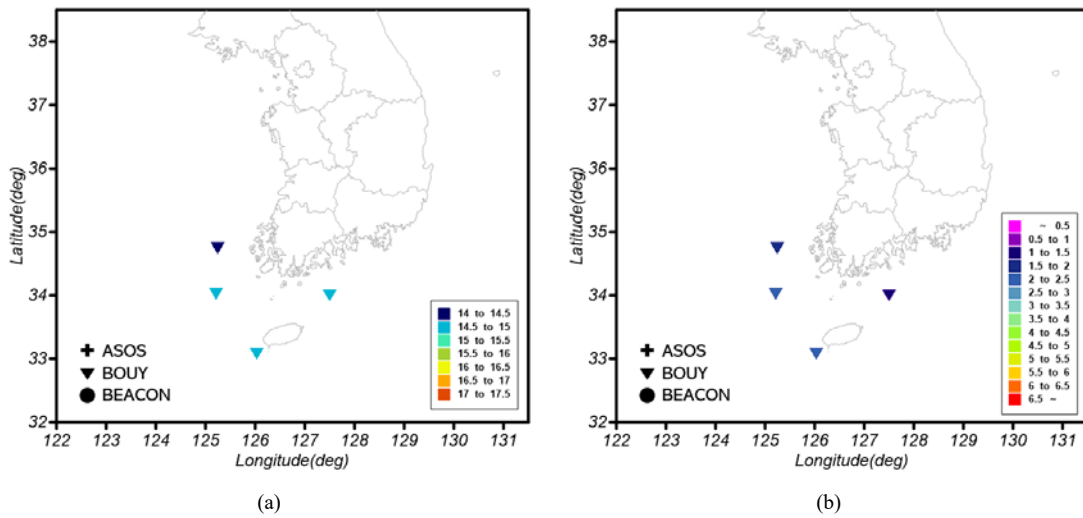


Fig. 8. Same as Fig. 7, but showing for Cluster 3.

시기에 2004년부터 최근까지 14 m/s 이상의 강한 바람이 기록되지 않은 것으로 나타났다. 하지만, 이 지점들 중에 순간적으로 나타나는 돌풍인 최대순간풍속 기록에는 14 m/s 이상의 강풍이 나타나기도 하였다.

3.1.1.2. 군집 2

군집 2는 다른 군집들에 비해 발생한 강풍의 풍속과 발생비율 모두 비교적 낮은 경향을 나타내는 특징을 보

였다. 즉, 이 군집에 해당하는 지점들에서는 강풍의 평균 풍속이 14.1~15.0 m/s (전 지점평균 14.7 m/s)로 나타났으며, 강풍 발생비율 또한 0~1.0% (전 지점평균 0.2%)로 나타나서 상대적으로 낮은 비율을 보였다. 이 군집에 해당하는 지점들의 위치를 보면, 다른 군집들과는 달리, 내륙에 위치한 ASOS 지점들도 있고, 해상에 위치한 부이, 등표지점도 포함되는 특징을 보였다. 이 군집에 해당

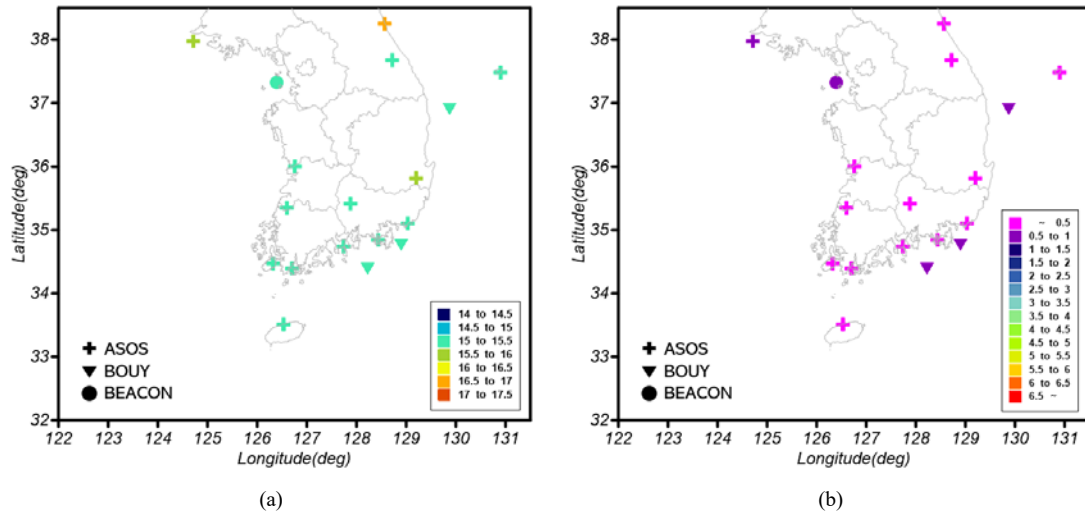


Fig. 9. Same as Fig. 7, but showing for Cluster 4.

하는 부이와 등표지점들은 전반적으로 서해 해역일대에 위치한 지점들이라는 특징을 보였다.

3.1.1.3. 군집 3

군집 3에는 4개 지점이 해당되었는데, 모두 해안에 위치한 부이(가거도, 거문도, 마라도, 홍도)지점들으로써 모두 남서 해역에 위치하는 특징을 보였다. 이 지점들에서는 비태풍시기 동안 강풍의 평균풍속이 14.5~15.0 m/s (전 지점평균 14.8 m/s)로 비교적 약한 경향을 보였으나 발생비율은 다른 군집에 비해 상대적으로 높은 1.3~2.4% (전 지점평균 1.9%)로 나타났다. 즉, 이 군집에 해당하는 지점들에서는 강풍이 강하지는 않지만 자주 발생하는 특징이 있으므로 해상조업 등의 해상활동 측면에서 상시적 관점에서의 강풍에 대한 사전방재가 필요하다고 볼 수 있다.

3.1.1.4. 군집 4

군집 4는 강풍의 발생비율은 낮으나 평균풍속은 높은 특징을 나타내는 지점들이 해당되었는데, 각 지점들에서의 강풍 평균풍속은 15.0~16.6 m/s (전 지점평균 15.4 m/s)로 나타났으며, 발생비율은 0.1~1.0% (전 지점평균 0.3%)을 보였다. 즉, 이 군집에 해당하는 지점이나 지역에서는 강풍이 자주 나타나지 않으므로 강풍피해에 대한 사전대비가 부족한 경우가 많은 반면, 낮은 빈도라도 발

생하는 강풍은 다른 지역에 비해 더 강한 경향을 나타내므로 피해 정도가 커질 수 있는 위험성이 높아 사전방재 측면에서 더 큰 관심을 가질 필요가 있다. 군집 4에 해당하는 부이와 등표지점들이 모두 남해와 동해 일대에 위치한 특징을 보였다.

3.1.1.5. 군집 5

군집 5는 앞선 4개 군집에 비해 상대적으로 더 높은 강풍 발생비율과 더 강한 강풍 평균풍속을 나타낸 지점들로 구성되었다. 이 군집에 해당하는 지점들에서의 강풍 발생비율은 1.2~4.2% (평균 2.1%)로 상대적으로 높게 나타났으며 강풍 평균풍속 또한 15.1~15.9 m/s (평균 15.4 m/s)로 더 강한 특징을 보였다. 이 군집에 해당하는 총 13개의 관측지점 중에서 ASOS 지점은 한 지점(목포)만 포함되었고, 나머지 12개 지점들은 모두 해양부이와 등표지점으로 나타났다. 이 군집에 해당하는 지점 및 지역에서는 비태풍시기에도 다른 지역에 비해 더 강한 강풍이 더 자주 발생하여 강풍피해 정도와 발생가능성으로 볼 때, 상시적 관점에서의 강한 강풍에 대한 사전방재대책을 강화할 필요가 있다고 볼 수 있다.

3.1.1.6. 군집 6

군집 6에는 2개의 지점(제주도 고산지점, 남해상의 등표인 간여암지점)이 해당되어, 전체 지점수 대비 구성비는

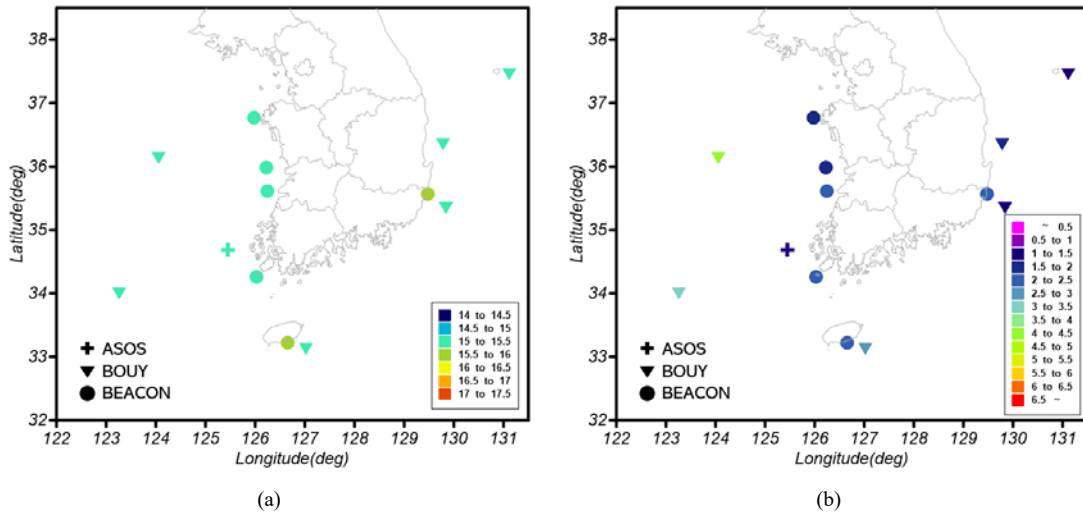


Fig. 10. Same as Fig. 7, but showing for Cluster 5.

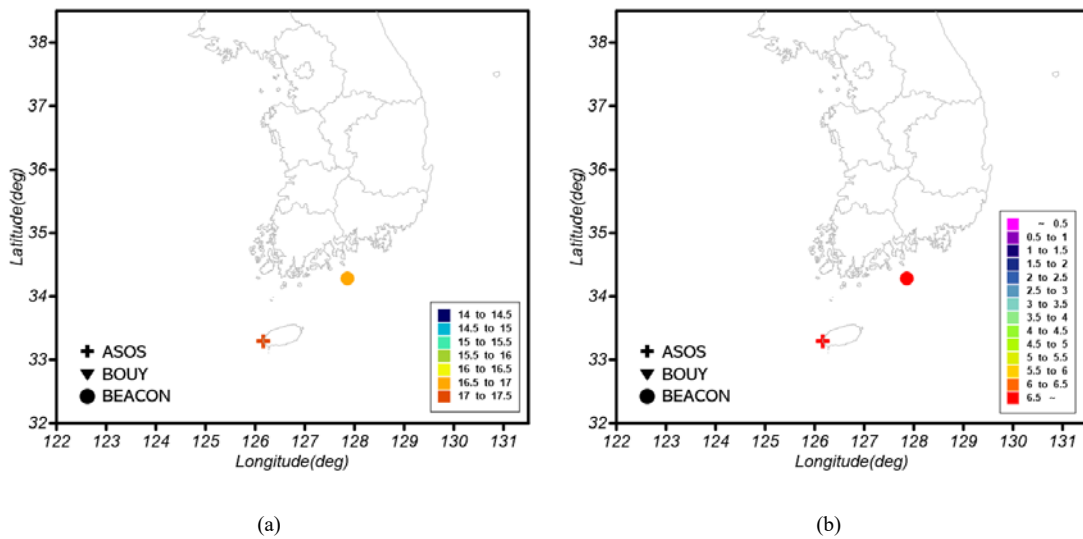


Fig. 11. Same as Fig. 7, but showing for Cluster 6.

작지만, 다른 나머지 모든 지점들에 비해 강풍의 특이성은 뚜렷하여 별도의 군집으로 분류된 것으로 볼 수 있다. 즉, 이 지점들에서의 강풍 발생비율을 보면, 다른 군집들에서 나타나는 0~5%에 비해 월등히 높은 8.5~9.0% (전 지점평균 8.7%)를 나타내었으며, 강풍의 평균풍속 또한 16.6~17.2 m/s (전 지점평균 16.9 m/s)로 나타나서 다른 모든 군집들과 비교해 볼 때 매우 강한 강도의 강풍이 발

생하는 것으로 나타났다. 따라서 이 지점들이 위치한 해역이나 주변일대에는 매우 강한 강풍으로 인한 피해발생 가능성이 매우 높다는 점을 참고하여 태풍시기 방재대책에 준하는 수준에서의 강풍발생에 따른 사전방재 대책의 강화와 보완 및 재검검이 필요하다고 볼 수 있다.

이상의 결과를 살펴보면, 각 지점별 비태풍시기 강풍의 발생비율과 풍속은 한반도 내에서 6개의 군집으로

Table 3. Number of strong wind advisories issued by region from 2004 to 2019

Metropolises	Year																Total	Average
	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Seoul	0	1	2	1	4	6	4	0	11	2	4	4	6	2	2	4	53	3.3
Busan	3	13	13	15	11	22	30	34	36	26	32	22	36	76	83	104	556	34.8
Daegu	0	0	2	0	0	0	4	0	6	0	2	2	6	4	8	4	38	2.4
Incheon	17	57	42	65	100	47	48	43	92	4	56	74	94	28	88	126	981	61.3
Gwangju	5	6	2	7	2	11	5	2	10	0	2	6	8	0	2	2	70	4.4
Daejeon	1	4	2	9	0	5	0	0	6	0	0	0	4	0	0	0	31	1.9
Ulsan	3	19	13	12	5	20	19	32	34	24	32	22	32	34	36	39	376	23.5
Sejong	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0	0	0	4	0	0	2	10	1.3
Gyeonggi	1	7	4	8	16	24	18	6	33	10	18	24	28	18	26	36	277	17.3
Gangwon	9	32	40	27	26	48	54	25	59	43	64	46	36	72	68	80	729	45.6
Chungbuk	0	0	2	7	5	10	12	2	22	4	4	8	6	2	4	6	94	5.9
Chungnam	6	32	18	29	17	28	15	16	30	25	28	24	26	22	24	38	378	23.6
Jeonbuk	53	124	107	157	79	132	123	102	132	110	132	118	126	124	122	148	1889	118.1
Jeonnam	24	43	78	118	91	112	86	88	94	58	82	52	118	136	130	162	1472	92.0
Gyeongbuk	47	108	97	134	109	131	110	137	120	107	112	142	130	178	172	170	2004	125.3
Gyeonnam	3	14	13	27	17	26	38	42	54	27	40	38	44	30	38	36	487	30.4
Jeju	5	26	30	48	22	47	33	30	26	40	38	20	44	52	74	58	593	37.1
Total	177	486	465	664	504	669	599	559	769	480	646	602	748	778	877	1015	10,038	628.2
Average	11.1	30.4	29.1	41.5	31.5	41.8	37.4	34.9	45.2	28.2	38.0	35.4	44.0	45.8	51.6	59.7	590.5	37.0

Table 4. Number of strong wind warnings issued by region from 2004 to 2019

Metropolises	Year																Total	Average
	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
Seoul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Busan	0	0	0	1	0	7	0	0	2	0	2	2	6	6	0	8	34	2.1
Daegu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Incheon	1	2	5	8	8	2	0	0	3	4	0	6	14	2	0	8	63	3.9
Gwangju	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.1
Daejeon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0.1
Ulsan	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	2	0	4	2	0	4	17	1.1
Sejong	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Gyeonggi	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	7	0.4
Gangwon	0	6	8	0	0	4	4	0	2	4	2	0	1	6	8	4	49	3.1
Chungbuk	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
Chungnam	1	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	8	0.5
Jeonbuk	2	10	12	18	5	8	8	4	12	4	12	0	16	12	12	18	153	9.6
Jeonnam	0	0	4	8	4	12	13	2	12	2	8	4	0	4	6	14	93	5.8
Gyeongbuk	4	2	8	12	12	21	8	10	2	6	0	0	8	18	16	26	153	9.6
Gyeonnam	0	0	0	1	0	7	0	2	4	0	2	4	0	2	0	4	26	1.6
Jeju	0	6	0	0	0	4	2	2	0	2	6	0	8	2	0	6	38	2.4
Total	8	26	37	48	29	70	35	20	41	22	34	16	59	54	42	104	645	40.3
Average	0.5	1.6	2.3	3.0	1.8	4.4	2.2	1.3	2.4	1.3	2.0	0.9	3.5	3.2	2.5	6.1	37.9	2.4

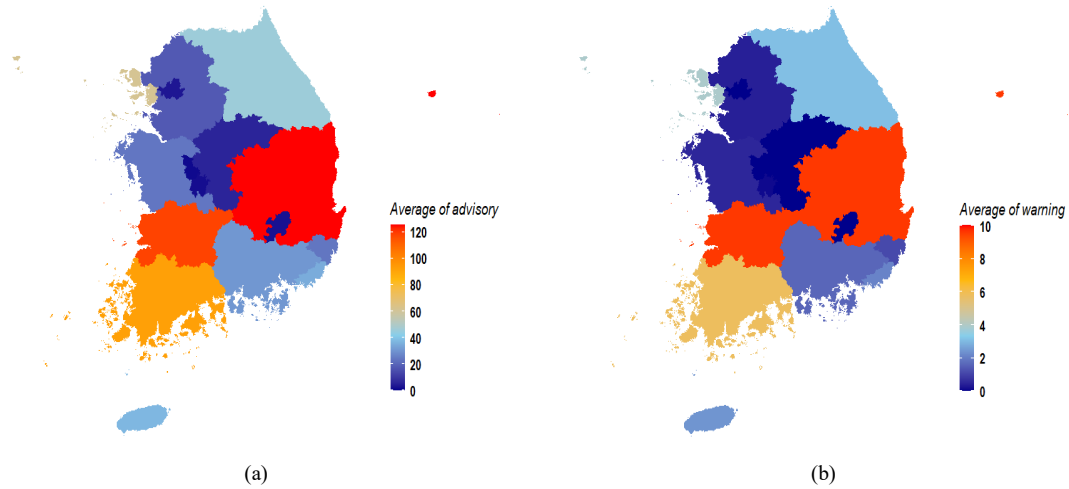


Fig. 12. Distribution of the average number of (a) strong wind advisories and (b) strong wind warnings issued by region from 2004 to 2019.

구분되며, 군집별 관측지점 분포와 비태풍시기 강풍의 특징이 다양하고 복잡하게 나타난다.

하지만, 우리나라의 비태풍시기에 발생하는 강풍이 상세 지역별로 다양한 특성을 나타내는 것에 비해 강풍 피해 예방 및 대비측면에서 제공되는 우리나라의 강풍특보는 지역별 맞춤형으로 각 지역별 기준값이 다르게 설정되어 있는 외국의 강풍특보 발령기준과는 달리, 지역별 구분 없이 한반도 전역을 동일한 기준으로 설정하여 발령되고 있다. 앞서 분석에서도 나타난 바와 같이, 상세 지역별 강풍발생의 특징 및 분포가 우리나라가 가진 지형적, 지리적 특수성과 복잡성에 기반하는 비균일적 경향성을 보인다는 점을 고려해 볼 때, 한반도 전체를 하나의 동일한 기준값에 기반하여 강풍특보를 발령하는 것에 있어서는 현실적용의 합리성과 타당성, 그리고 예측력 강화의 측면에서 추가적 분석이 필요하다고 할 수 있다.

이러한 측면에서, 본 연구에서는 우리나라에서 그동안 제공된 기상청의 공식 강풍발령 자료를 바탕으로 지역별 발생현황을 조사해 보았다. 현재, 기상청에서 발령되는 강풍특보는 광역시도 단위로만 제공되고 있어, 관련 분석 또한 광역시도 단위로 수행하였다.

3.2. 광역시도별 강풍특보

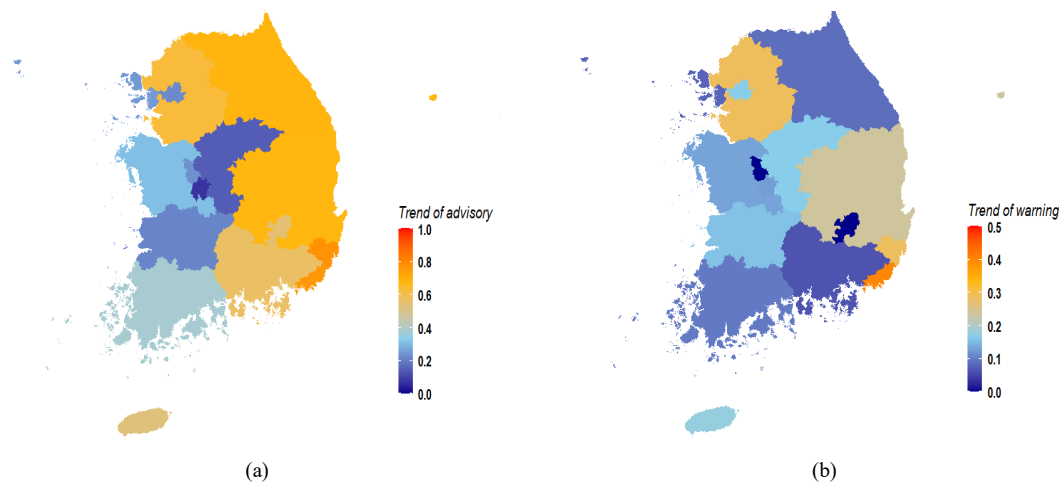
Table 3과 4는 기상청 강풍특보 발령자료가 제공되기 시작한 2004년부터 2019년 최근까지 총 16년간 연도별

강풍주의보와 강풍경보의 발령빈도를 나타낸 것이다(세종특별자치시는 2012년부터 자료가 제공됨).

강풍주의보(Table 3) 발령현황을 보면, 연구대상기간 동안 광역시도별로 총 발령건수 기준으로 10~2004회(전국 평균 590.5회), 그리고 연평균 발령건수 기준으로는 1.3~124.3회(전국 연평균 37회)의 강풍주의보가 발령된 것으로 나타났다. 광역시도별로는, 경북에서 연평균 125.3회로 가장 자주 발령되었으며, 다음으로 전북(118.1회), 전남(92.0회) 순으로 발령빈도가 높았다. 반면, 세종특별자치시는 연평균 1.3회로 강풍주의보 발령 횟수가 가장 적었으며, 다음으로 대전(1.9회), 서울(3.3회) 순으로 적게 발령되었다. 강풍경보(Table 4) 발령현황도 각 지자체별로 총 발령건수 기준으로 0~153회(전국 평균 38회), 그리고 연평균 발령건수 기준으로는 0~9.6회(전국 연평균 2.4회)로 나타났는데, 각 지자체별로, 서울과 대구, 그리고 세종과 충북에서는 강풍경보가 발령되지 않았으며 전북과 경북에서는 가장 빈번히(연평균 9.6회) 발령되는 경향을 보였다. 즉, 그림 12에서 나타난 바와 같이, 강풍주의보(Fig. 12a)와 강풍경보 모두 경북과 전남, 전북에서 연평균 발생빈도가 상대적으로 높게 나타났고, 서울, 대전, 대구, 세종, 경기, 충북이 다른 지역에 비해 상대적으로 발생빈도가 낮은 경향을 보였다. 즉, 지형적, 지리적 조건이 복잡다양한 우리나라에서는

Table 5. Trend in the issuance of strong wind advisories and warnings.

	Strong wind advisory	Strong wind warning
Seoul	0.222	0.167
Busan	0.757	0.403
Deagu	0.548	-
Incheon	0.248	0.079
Gwangju	0.069	0.128
Deajeon	0.072	0.128
Ulsan	0.772	0.290
Sejong	0.233	-
Gyeonggi	0.63	0.291
Gangwon	0.678	0.087
Chungbuk	0.145	0.167
Chungnam	0.31	0.133
Jeonbuk	0.213	0.157
Jeonnam	0.382	0.097
Gyeongbuk	0.676	0.236
Gyeongnam	0.571	0.064
Jeju	0.530	0.177

**Fig. 13.** Distribution of trend of the strong wind (a) advisories and (b) warnings from 2004 to 2019.

비태풍시기 강풍주의보 및 강풍경보의 발령이 지역별로 다양하게 나타났음을 알 수 있다.

Table 5는 2004년부터 2019년까지 광역시도별로 강풍주의보와 강풍경보 발령빈도의 선형추세분석 결과를 나타낸 것이다. 분석을 수행한 결과, 모든 광역시도에서

강풍주의보 뿐만 아니라 강풍경보 또한 최근으로 갈수록 증가하고 있는 것으로 나타났다. 강풍주의보의 경우, 지역별로 증가범위가 다양(0.069~0.772)하게 나타났는데, 부산과 울산, 그리고 강원, 경북, 경기도가 상대적으로 큰 증가경향을 보였고 광주와 대전은 비교적 작은 증가경향을

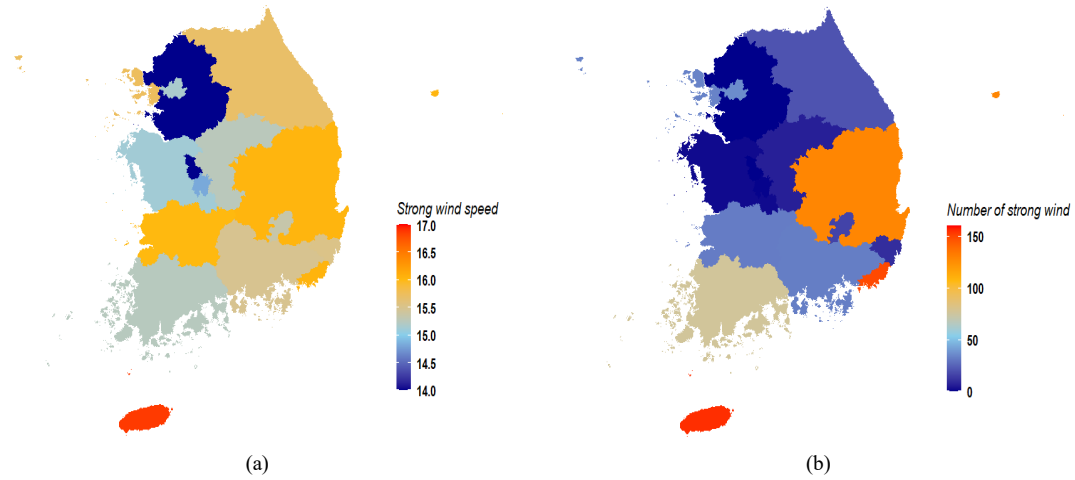


Fig. 14. Distribution of the average of (a) strong wind speed and (b) number of strong winds issued by region from 2004 to 2019.

보였다. 전반적으로, 영남권과 강원권, 그리고 경기도 지역이 한반도 서부권역인 전라도와 충청도보다 더 큰 증가경향을 나타냈다(Fig. 13a). 강풍경보 또한, 강풍주의보와 마찬가지로, 모든 지역에서 증가(0.064~0.403)하는 경향을 보였는데, 강풍주의보와 유사하게, 부산과 울산이 다른 지역에 비해 상대적으로 큰 값을 나타내었다(Fig. 13b). 강원도는 강풍주의보 증가가 상대적으로 큰 경향을 보였던 것과는 달리 강풍경보의 증가경향은 매우 작게 나타났다.

이와 더불어, 광역시도별 강풍특성과 강풍특보 발령 현황을 비교해 보았다. 다만, 본 연구에 사용된 비태풍시기 관측지점별 강풍자료는 1시간 간격의 시간별 풍속자료이고, 우리나라 기상청의 강풍특보는 육상에 설치되어 있는 ASOS, AWS 등의 기상관측장비에서 관측된 10분 평균 최대풍속값을 사용하므로 강풍특보 자료를 관측지점별 강풍자료와 직접적으로 단순 비교하기에는 일정부분 한계가 있다. 하지만, 강풍특보 자체가 바람이 강하게 나타나는 중관기상학적 조건과 밀접히 관련되어 있고, 이러한 중관기상학적 배치나 여건은 짧은 시간 내에 급변하지 않는다는 점을 고려하면 비교분석이 의미를 가진다고 판단된다. 현재 우리나라의 강풍특보는 광역시도 단위로 발령되며, 강풍특보 발령에 활용되는 기상자료는 육상에 설치된 기상관측지점 자료만을 사용한다는 점을 고려하여, 각 광역시도별 비태풍시기 강풍 특성분석 또

한 육상에 설치된 102개 ASOS 지점자료만을 활용하였다.

Fig. 14는 연구대상기간 동안 비태풍시기 강풍의 평균풍속과 발생횟수를 광역시도별로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 제주와 부산에서 강풍의 평균풍속과 발생횟수가 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 경향을 보이고 있으며 경북과 전북 또한 나머지 지역에 비해 평균풍속과 발생횟수가 비교적 높게 나타났다. 하지만 전남의 경우에는, 이와 반대로, 다른 지역에 비해 강풍의 평균풍속은 낮으나 발생횟수는 다소 높은 것으로 나타났다.

Fig. 15는 연평균 광역시도별 비태풍시기 강풍의 풍속과 발생횟수, 그리고 강풍주의보와 강풍경보의 발령횟수를 함께 나타낸 것이다. 그림을 보면, 전반적으로 광역시도별 강풍에서 나타나는 평균풍속 및 발생횟수의 특성이 해당 지역에서의 강풍특보 발령상황과 정확히 비례하는 것으로 보기에 다소 무리가 있지만, 비태풍시기에 발생한 강풍의 풍속과 발생빈도가 높은 지역에서는, 대체로, 강풍특보(강풍주의보와 강풍경보)의 발령빈도가 비교적 높은 경향이 있는 것으로 나타났다. 즉, 제주, 부산, 경북, 전북과 같이 강풍의 풍속과 빈도가 다른 지역에 비해 비교적 높게 나타난 지역에서는 강풍주의보와 강풍경보 발령의 빈도 또한 상대적으로 다소 높은 경향이 보였다. 비록 강풍의 풍속과 발생횟수가 가장 높았던 제주와

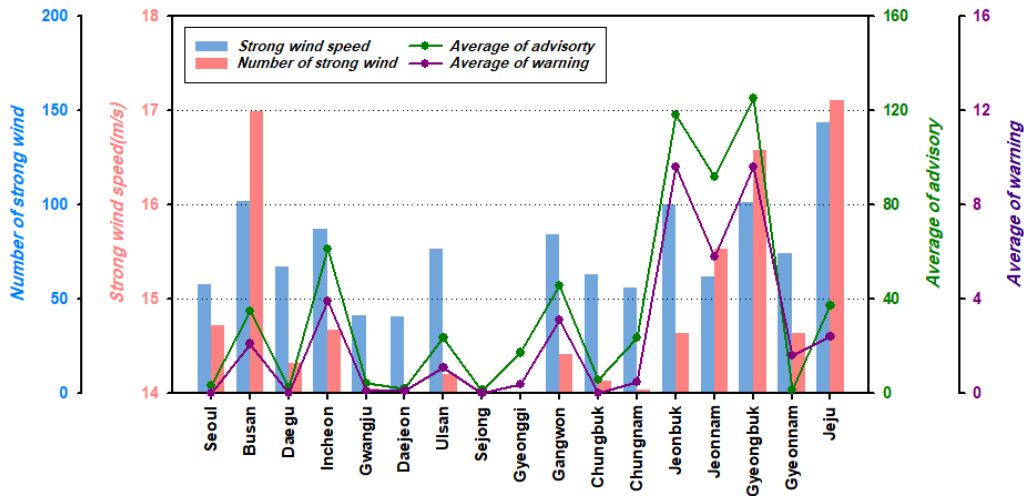


Fig. 15. Average number of strong winds, strong wind speed, strong wind advisories and strong wind warnings by region.

부산에서 강풍주의보와 강풍경보 횟수가 가장 많지는 않았지만, 대체적으로는 각 광역시도별 강풍의 특징과 강풍특보 발령의 정도를 서로 비교해볼 때, 강풍이 강하거나 자주 발생하는 지역에서는 강풍특보의 횟수 또한 비교적 많이 나타나는 경향이 있는 것으로 나타났다. 다만, 현재 연구에서는 각 지역별 강풍특성 분석과 강풍특보 발령정보에 있어서의 자료간 이질적 한계로 인해 심층적 정량분석에 일정부분 한계가 있지만, 각 관측지역에서 파악된 강풍자료들의 추가 및 재분석과정(예를 들면, 해당기간의 AWS 자료를 분석에 포함하거나 ASOS 자료에서 강풍발생 횟수의 결정방식 등)을 수행한다면 더 구체적인 상관정보가 도출될 수 있을 것으로 보이며, 차후 추가연구에서 살펴볼 필요가 있다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 최근으로 올수록 빈번하게 발생하여 큰 인적, 물적 피해를 야기하는 비태풍시기 ‘태풍급/폭풍급 강풍’의 특징을 살펴보기 위하여 기상청 관측 지점(ASOS, 부이, 등표)의 시간별 풍속자료와 기상청에서 발령하는 공식 강풍특보(강풍주의보, 강풍경보) 자료를 활용하여 분석을 수행하였다.

연구대상기간(2004~2019) 동안 우리나라에서 발생한 비태풍시기 강풍은 강풍기준(14 m/s)을 초과하는 비

율 및 초과된 강풍들의 평균풍속 측면에서 6개의 군집으로 분류되었다. 이들 분석결과에서의 주요점은, 각 군집에서 나타난 강풍 발생비율과 풍속범위에 따른 다양한 특징들을 바탕으로 도출 가능한 여러 가지 분석적 내용이 있을 수 있으나 그 중에서도 최근 들어 급증하는 비태풍시기 강풍의 발생과 관련해서는, 피해위험도의 측면에서 강풍에 대한 사전방재 대책이 우리나라 전역에 있어 일률적이어서는 효과적 대비나 실효적 방안이 마련되기 어려울 수 있으므로 제반적 검토의 필요성을 강조하는데 있다.

이와 더불어, 우리나라 광역시도별 강풍특보 발령빈도 특징을 분석한 결과, 지형지리 조건이 복잡다양한 우리나라에서는 비태풍시기에 강풍주의보 및 강풍경보의 발령빈도가 각 광역시도별로 다양하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 광역시도별 강풍발령 특징을 바탕으로 각 광역시도별 강풍발생 자료와 비교해 본 결과, 대체적으로 각 광역시도별로 강풍이 강하거나 자주 발생하는 지역에서는 강풍특보의 횟수 또한 비교적 많이 나타나는 경향이 있는 것으로 나타났다. 물론, 강풍자료와 강풍특보자료에 있어서의 자료간 이질적 한계로 인한 한계가 있지만, 강풍이 나타나는 종관기상학적 조건의 일정기간 항상성에 기반해 볼 때, 일정 정도의 분석적 의미는 있는 것으로 판단된다. 이 분석에서의 주요점은, 현재 우리나라에서 발령하고 있는 강풍특보가 지역별 강풍발생의

특징이 고려되지 못하고 전국을 하나의 균일한 조건으로만 설정되어 있을 뿐만 아니라, 발령의 공간적 해상도 또한 광역시도 단위로만 발령되어, 상세 단위별 지역에 따라서는 강풍특보의 과다발령에 따른 일상 및 경제활동(어업 및 해양업 등)에 있어서의 과도한 제약이 발생하거나 과소발령에 따른 인적물적 피해가 증폭될 가능성이 있게 되므로 강풍특성이 다양한 상세 지역별로 특화된 강풍기준에 대한 심층적 연구의 필요성을 강조하는데 있다.

감사의 글

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

REFERENCES

Ham, J. H., Jung, H. Y., Gwak, K. H., 2017, Characteristics of strong wind distribution on the Korean peninsula using synoptic weather observation data, Proceedings of the Korean Meteorological Society Conference, 589-590.

Jiang, Y., Luo, Y., Zhao, Z., Tao, S., 2010, Changes in wind speed over China during 1956-2004, *Theor. Appl. Climatol.*, 99, 421-430.

Kim, H. Y., Kim, B. J., Nam, H. G., Jung, J. H., Shim, J. K., 2020, Climatological spatio-temporal variation of strong wind in Korea, *Atmosphere*, 30, 47-57.

Na, H. N., Jung, W. S., 2020, 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, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*,

36(4), 522-532.

Na, H. N., Jung, W. S., 2021, Characteristics of strong winds on the Korean peninsula during the non-typhoon period: data analysis for 116 years from 1904 to 2019, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 37, 55-65.

Park, J. Y., Kim, O. J., Lee, J. W., Lee, S. K., 2020, A Study on the establishment of typhoon context awareness information through analysis of disaster cases, *J. Soc. Dis. Infor.*, 16, 430-439.

Peterson, E. W., Hennessey, J. P., 1978, On the use of power laws for estimates of wind power potential, *J. Appl. Meteor.*, 17, 390-394.

Pryor, S. C., Schoof, J. T., Barthelmi, R. J., 2005, Empirical downscaling of wind speed probability distributions, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 110, D19109.

Wan, H., Wang, X. L., Swil, V. R., 2010, Homogenization and trend analysis of Canadian near-surface wind speeds, *J. Climate.*, 23, 1209-1225.

Weisser, D., Foxon, T. J., 2003, Implications of seasonal and diurnal variations of wind velocity for power output estimation of a turbine: a case study of Grenada. *Int. J. Energy Res.*, 27, 1165-1179(Observation Data, Journal of the Korea Meteorological Association Conference, 589-590).

-
- Doctor's course. Ha-Na Na
Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University
hana717@nate.com
 - Professor. Woo-Sik Jung
Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University
wsjung1@inje.ac.kr