

뇌우 동반 돌풍의 시공간분포 분석

Spatial and Temporal Analysis of Thunderstorm Wind Gust

이 승 수* 김 준 영**

Sung Su Lee Jun Yeong Kim

요 약 본 연구는 2002년부터 2009년까지 국내에서 발생한 돌풍에 대한 시계열 및 공간분포를 분석하였다. 태풍 기간 동안에 발생한 돌풍에 대해서는 제외하였으며, 지형에 의한 풍속 할증 효과는 KBC 2005 기준을 적용하여 보정하였다. 분석 결과, 돌풍 발생 빈도는 해안지역을 따라 높은 빈도가 나타났으며, 대상 기간 중 최대 286회의 발생 빈도를 보였다. 본 연구에서는 뇌우에 의한 돌풍과 종관 기상에 의해 발생한 돌풍의 시계열 분포의 비교를 통해 뇌우에 의한 돌풍의 불확실성이 높음을 확인하였다. 또한 누적운량과 뇌우 돌풍의 공간적 상관분석을 통해 두 인자간 높은 상관관계가 있음을 근거로 하여 돌풍에 대한 공간적 위험도를 평가하는데 활용할 수 있음을 제시하였다.

키워드 : 뇌우 돌풍, 지형 할증, 공간 분포, 돌풍 위험도

Abstract This study presents the analysis of temporal and spatial distribution of occurrences of wind gust over Korea from 2002 to 2009. The events during typhoons are excluded and the topographical effects on the wind speed are also corrected using KBC (2005). As the results, the frequency of the occurrences is as high as 286 and the higher occurrences appear mainly along the coastal area. This study also shows that the uncertainty of the appearance of wind gust during thunderstorm is much higher than in synoptic wind by comparing wind speed records for both events. This study also found that the spatial distribution of cumulative cloud quotient is closely correlated to that of occurrences of thunderstorm wind gust, which suggests the possible utilization of the cloud quotient as weighting factors in assessing wind gust risk.

Keywords : Thunderstorm Gust, Topography effect, Spatial Frequency, Gust Risk

1. 서 론

국내에서 발생하는 강풍에 의한 피해는 최근 수년 동안 급격한 증가 추세에 있다. 이러한 강풍에 의한 피해는 종관규모의 기상현상뿐만 아니라 소규모 지역 단위의 기상현상에 의해서도 극심하게 된다(Fig. 1).

특히 국지적으로 빠른 시간 내에 발생과 소멸의 단계를 거치며 순간적으로 강한 돌풍을 유발하는 뇌우의 경우 대비하기 어려울 뿐만 아니라 관측하기조차 용이하지 않다. 국내 기상청의 경우 이러한 뇌우의 기상규모를 meso- γ 로 정의하고 있으며, 이는 2km~20km의 범위를 갖는 기상현상을 의미한다. 이처럼 뇌우의 규모는 최소 2km로 국소적인 지역에 발생하여 피해를 줄 수 있다. 하지만 국내의 경우 뇌우 동반 돌풍에 대한 연구가 활발하게 진행되지 않고 있으며, 주로 사례에 근거한 뇌우 발생환경 분석 연구가 수행되었다.

Cho[5]는 국내 호남지역에 발생한 대표적인 뇌우에 동반된 돌풍 사례를 이용한 연구를 수행한 바 있다. 뇌우가 발생한 날의 위성영상, 레이더영상, 낙뢰영상, 일기도, 수치예보자료 등을 이용하여 뇌우 발생 시 기상상황과 기상특성을 파악하여 발생특성을 분석하였다. 또한 Heo[8]는 중부지방 중 오산, 수원, 성남 지역의 1981 - 1990기간의 하계 뇌우에 대하여 기온, 바람, 기압배치의 특성을 조사하고, 뇌우의 발생·발달에 영향을 미치는 물리적 요인을 연구하였다. 이를 통해 뇌우의 발생·발달은 상층과 하층의 절대적인 수증기량보다 대기불안정도에 기인한다는 것을 제시하였다. 또한 선행 연구와 마찬가지로 뇌우는 하계에 집중적으로 발생하는 것으로 나타났다.

국외의 경우 뇌우에 대한 다양한 연구가 수행되었다. Ashley[2]는 미국 National Weather Service WSR-88D Reflectivity Data를 이용하여 1997-2006 기간의

[†]This work was supported by the research grant of the Chungbuk National University in 2011

* Sungsu Lee, Professor, Chungbuk National University, joshua@cbnu.ac.kr (Corresponding Author)

** Jun Yeong Kim, Graduate Student, Chungbuk National University, newdildily@gmail.com

6~9월에 발생한 뇌현상 (Lightning)에 대한 발생일수와 발생횟수에 대해 카운트를 수행하였다. 그리고 National Land Cover Data의 LANDSAT 5, 7자료와 USGS의 UAVLD (Urban Areas Vector Layer Dataset)의 자료를 통해 대상 지역에 도시 중심부로부터 떨어진 거리에 따라 도시 지역과 교외 지역으로 구분하고 도시화에 따른 뇌우 빈도의 증가를 보여주었다. 또한 Choi 등 [3, 4]는 태풍에 의한 돌풍, 뇌우동반돌풍 및 비뇌우돌풍의 기상학적 발생원인 등에 대한 연구를 수행한 바 있다. 또한 Smith[12]은 미국 전역에 대하여 발생한 바람 중 50knot 이상의 바람을 돌풍으로 분류하고, 돌풍이 발생한 날에 대해 40km 해상도를 갖는 공간격자의 3X3 영역 안에 낙뢰가 관측될 경우 이를 뇌우에 의한 돌풍으로 분류하여 미국 전역에 대한 뇌우동반 돌풍의 빈도분포지도를 작성하였다. 유사한 연구는 호주에 대해서도 수행된 바 있다 [9].



Figure 1. Wind Gust Damages

본 연구에서는 우리나라에 관측된 풍속 자료와 뇌현상 자료를 이용하여 돌풍 발생의 공간적 분포를 분석하였으며, 특히 뇌현상이 동반되는 경우의 돌풍을 뇌우 동반 돌풍으로 정의하고, 분류된 뇌우 동반 돌풍의 시계열분포를 통해 시공간적 분포 특성을 분석하였다.

2. 연구방법

국내의 경우 돌풍에 대한 뚜렷한 기준이 마련되어 있지 않은 실정이다. 하지만 기상청에서는 기상현상에 대해 위험도가 높게 평가될 경우 기상 특보를 발령하고 있다. 강풍 특보의 경우 주의보와 경보로 구분되며 주의보는 내륙 20m/s 산지 25m/s의 순간풍속이 예상될 때 발령된다. 또한 소방방재청에서는 기상청의 강풍 특보로 피해가 발생할 수 있는 기준으로 판단하고 있다. 따라서 본 연구에서는 안전측면을 고려하여 내륙 및 산지에 순간풍속 20m/s 이상의 풍속이 관측될 경우 이를 돌풍으로 분류하였다. 분류된 돌풍이 발생한 날에 대해 기상청에서 제공하는 1분 평균 풍속

을 통해 풍속 시계열분포 특성을 분석하였다. 또한 연구 대상 기간인 2002.01 - 2009.06 에 대해 발생했던 뇌우 돌풍을 분류하여 국내 전역에 대한 빈도분포를 분류하였다.

Fig. 2는 뇌우돌풍 분류 수행절차를 나타내는데, 첫 번째 단계로 지형에 대한 영향을 보정하였다. 일반적으로 바람이 평지가 아닌 산, 언덕, 경사지를 지날 경우 풍속이 할증되는 현상이 발생하는데 기상대 주변 지형에 따라서 할증된 순간최대풍속이 관측될 수 있다 [11, 14]. 따라서 관측 풍속에 대해 지형의 영향을 보정하였다. 보정하는 방법으로는 건축구조 설계기준 2005[1]에서 제시하고 있는 지형할증지수 보정 방법을 역으로 적용하였다. 두 번째로 연구범위에 포함되지 않는 태풍에 의한 돌풍을 제외하기 위해 국내에 영향을 미친 태풍 이력을 통해 태풍의 영향을 받은 날에 발생한 강풍에 대해서 제외하였다. 세 번째로 뇌현상이 발생한 날 관측되었을 경우의 돌풍을 뇌우 돌풍으로 분류하였다. 이를 위해서는 뇌현상 발생 여부에 대한 자료의 분석이 필요하다. 기상청에서 제공하는 뇌현상 관련 자료로는 뇌전이 지표에 도달했을 경우에 대한 관측 자료인 낙뢰 영상자료가 있는데, 이는 대기 상황에 따라 구름 사이에서 발생하는 방전 등에 대한 데이터는 포함되지 않는다. 보다 명확한 뇌우에 의한 돌풍을 구분해내기 위해 낙뢰 이외에도 구름내의 방전이나 번개 및 천둥과 같은 기상 현상도 포함되어야 한다. 기상청은 ‘기사자료’라는 형식으로 뇌전 및 천둥, 번개 등 뇌현상에 대한 데이터가 포함되어 있는 정성적 기상현상을 일 단위로 제공하는데 [6,7], 본 연구에서 돌풍 발생일의 뇌현상의 발생 여부를 기상청이 제공하는 기사자료에 의해 판단함으로써 뇌우 동반 돌풍의 분류 기준으로 설정하였다.

이상의 절차에 따라 분류된 뇌우돌풍에 대한 공간적 분포특성을 분석하기 위해 빈도분포지도를 작성하였다.



Figure 2. Classification Process of Thunderstorm Wind Gust from Wind Speed Records

3. 연구내용

3.1 돌풍의 공간적 분포

2002.01-2009.06 기간의 지형 영향이 보정 된 일순간 최대풍속을 통해 돌풍을 구분해 내기 위한 방법으로 기상청의 기상특보 발령 기준을 적용하였다. 따라서 순간풍속이 20m/s 이상이 발생할 경우 돌풍으로 분류하였다. 또한 태풍에 의한 강풍에 경우 본 연구범위에 포함되지 않기 때문에 국내에 영향을 미친 태풍의 발생일에 관측된 강풍은 제외하였다. 이렇게 분류된 돌풍이 발생한 날 뇌우현상이 관측 되었을 경우 이를 뇌우에 의한 돌풍으로 분류하였다.

Fig. 3의 왼쪽 그림은 관측풍속만을 이용한 돌풍의 빈도로 Table 1의 (a)에 해당하고 Fig. 3의 오른쪽 그림은 태풍과 지형에 의한 영향을 배제한 후의 돌풍의 빈도를 나타내며 Table 1의 (b)에 해당한다. 지형의 영향이 가장 많이 반영된 지역은 제주도 고산지역으로 총 550여회에서 280여회로 약 50% 가량 감소했다. 이는 고산 기상대의 경우 절벽에 위치해 있기 때문에 지형에 따른 영향을 많이 받기 때문인 것으로 판단되며, 다른 지역에 경우에도 이러한 영향이 반영되어 횡수가 감소하였다.

일반적으로 어떠한 사건에 대해 위험한 정도를 판단 할 때 그 현상의 강도와 빈도 측면으로 접근을 한다 [10]. 하지만 강도와 빈도뿐만 아니라 위험도를 평가하는 중요한 인자 중 하나는 불확실성이라 할 수 있다. Fig. 4는 상주 지역에서 발생한 비뇌우돌풍 발생일과 뇌우발생일의 1분 평균 풍속 시계열을 나타낸다. 비뇌

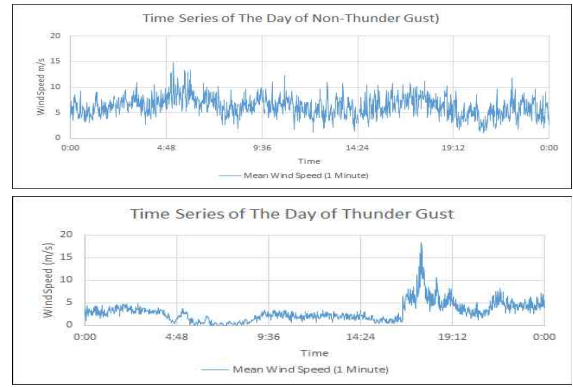


Figure 4. One-Minute Averaged Wind Speed Record with and without Thunderstorm in Sangju

우돌풍 발생일에 대한 풍속 시계열의 경우 최대 풍속과 최대풍속이 아닌 경우의 풍속 분포를 살펴보면 평균적으로 높은 풍속을 오랜 시간동안 유지함으로써 강풍에 대해 예측 가능할 것으로 판단되는 반면, 뇌우 발생일에 대한 풍속 시계열의 경우 최대풍속 발생 이전에 풍속은 평균적으로 낮은 풍속을 유지하고 있는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 패턴은 강풍의 발생을 예측하고 대비하는 입장에서 예측하기 쉽지 않을 것이다. 즉, 뇌우에 의한 돌풍은 발생에 대한 불확실성에 의해 그 위험도가 더 높다고 할 수 있다. 하지만 앞서 언급한 내용과 같이 뇌우에 의한 돌풍은 예측은 물론 관측조차 용이하지 않은 국지적이고 단기적인 기상 현상이다. 따라서 불확실성에 따른 위험성이 높은 뇌우 돌풍에 대한 공간적 빈도 분석하였다. 뇌우 돌풍의

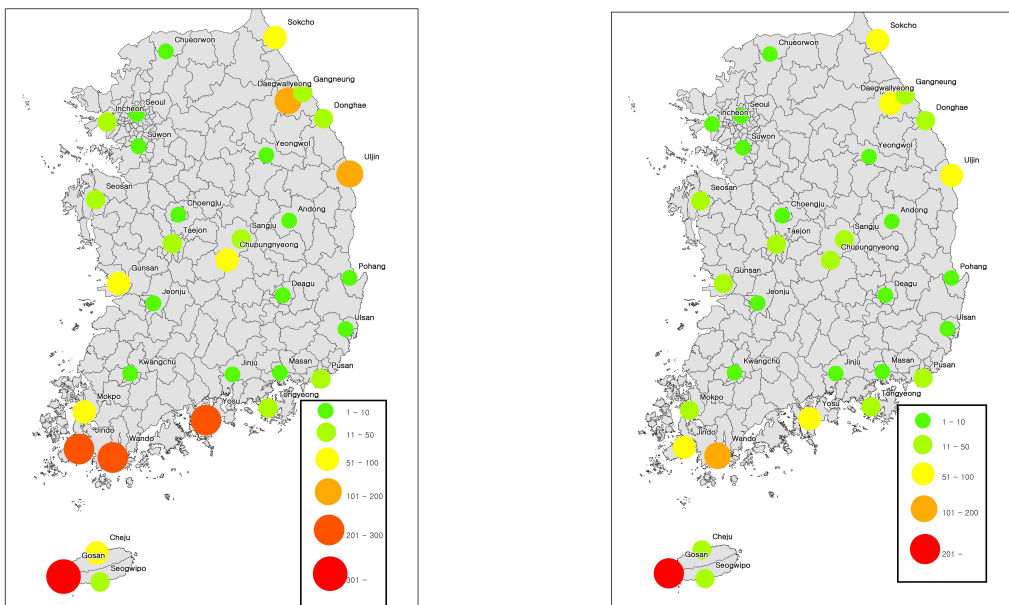


Figure 3. Wind Gust Counts from Observation(Left), after Correction of Topographic Effects(Right)

빈도를 분석하기 위해 앞서 분류된 태풍과 지형의 영향을 보정한 돌풍이, 발생 한 날에 뇌현상이 발생하였을 경우 이를 뇌우 돌풍으로 판단하고 분류된 뇌우 돌풍의 횟수 분석하였다.

Fig. 5는 이런 방법을 통해 분류한 뇌우 돌풍의 빈도를 나타내며 Table 1 (c)에 해당한다. 결과를 볼 때 전체 관측 돌풍의 발생 빈도에 비해 뇌우 동반 돌풍

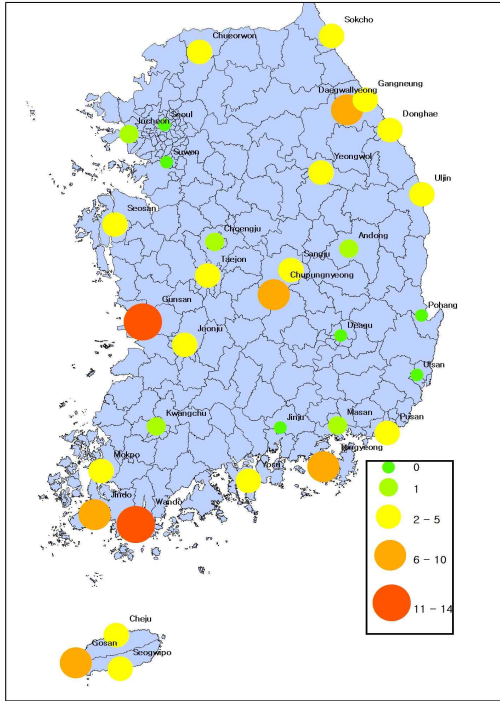


Figure 5. Thunderstorm Gust Count Map

Table 1. Wind Gust Counts from Observation (a), After Topographical Correction (b) and Thunderstorm Gust (c)

Weather Station	(a)	(b)	(c)	Weather Station	(a)	(b)	(c)
Sokcho	53	53	3	Gunsan	55	47	12
Chueorwon	7	5	2	Jeonju	8	8	2
Daegwallyeong	193	84	8	Masan	5	5	1
Gangneung	40	35	2	Kwangchu	8	1	1
Donghae	50	34	3	Pusan	47	29	4
Incheon	19	2	1	Tongyeong	38	22	6
Yeongwol	8	6	3	Mokpo	96	36	2
Seosan	16	14	5	Yosu	237	70	4
Ulsan	113	57	4	Wando	208	148	14
Choengju	2	2	1	Jindo	300	91	8
Taejon	17	13	4	Cheju	62	26	5
Chupungnyeong	57	48	6	Gosan	558	286	10
Andong	5	5	1	Seogwipo	38	36	5
Sangju	18	17	2	Seoul	8	1	0
Suwon	1	1	0	Ulsan	6	6	0
Pohang	6	4	0	Jinju	3	3	0
Daegu	1	1	0				

발생 빈도는 감소하였으나, 공간적 분포는 해안 지역에 집중되는 특성은 매우 유사한 것으로 나타났다.

3.2 기상요소와 뇌우돌풍발생의 상관도

앞서 수행한 뇌우 돌풍의 공간적 분포는 전국 유인 관측소 중 33개 지점에 대해 수행한 결과로서, 이러한 결과를 통해 국내 전 지역에 대한 분포를 추정하기에는 한계점이 존재한다. 따라서 뇌우 돌풍 공간적 분포 변화에 대해 이해하기 위해서 발생 요인과의 관계를 분석할 필요가 있다. Fig. 6은 뇌우 돌풍 빈도의 분포와 1988년부터 2007년까지의 누적운량을 비교한 것이다. 누적 운량은 기상청에서 제공하는 자료로서 하늘을 덮고 있는 구름의 비율을 나타내는 값이다.

Fig. 6에서 나타난 것처럼 두 현상은 유사한 공간 분포를 나타내며, 두 분포의 공간 상관도는 0.65로 비교적 높은 상관도를 보이고 있어, 뇌우와 적란운의 관계를 보여주고 있다. 이는 Randall 등 [9]이 누적운량, 특히 적란운과 대기의 강한 하강 (Downdraft)의 공간 분포 비교를 통해 얻은 결론과 일치하고 있다. 이 결과로부터 뇌우 동반 돌풍 발생 빈도 자료가 부족한 지역에 대해서 누적운량분포가 간접적 지표로 이용될 수도 있음을 나타내고 있으나, 서해안에 위치한 군산 주변 지역과 같이 뇌우 동반 돌풍과 누적운량의 공간 분포가 낮은 상관도를 보이는 이유에 대한 연구가 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

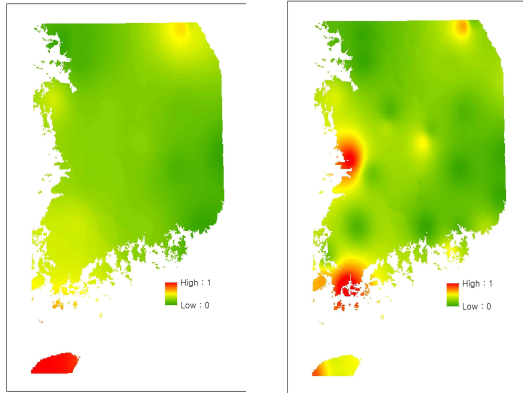


Figure 6. Cumulative Cloud Amount (Left) and Thunderstorm Gust Counts (Right)

3.3 시계열 분석을 통한 뇌우돌풍의 특성

Fig. 4에 나타난 바와 같이 뇌우 돌풍과 비뇌우돌풍의 시간적 진행 과정은 분명한 차이를 보인다. 뇌우 동반 돌풍은 비뇌우돌풍에 비해 최고풍속이 관측되기 이전에 저풍속이 발생하다가 갑작스럽게 강풍이 발생하는 것을 알 수 있다.

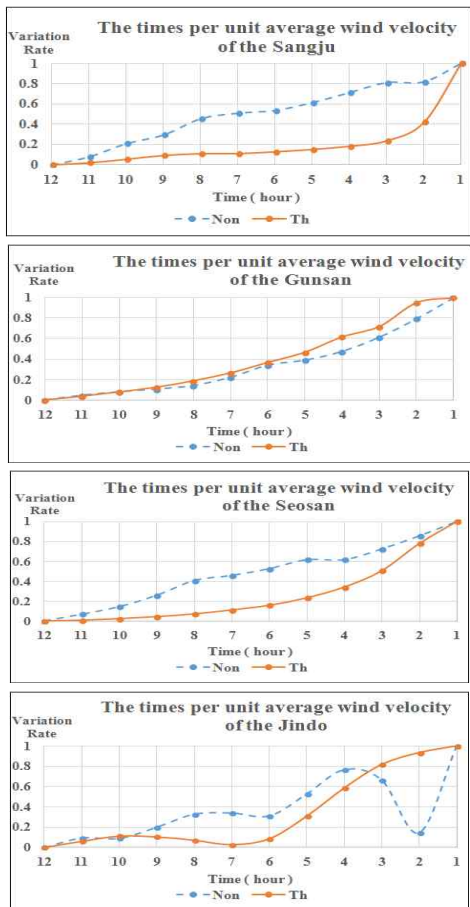


Figure 7. Rate of Change of Averaged Wind Speed

Table 2는 뇌우돌풍과 비뇌우돌풍 발생일에 평균 풍속과 최고 풍속을 나타내는데, 비뇌우돌풍에 비해 뇌우 돌풍은 평균 풍속이 낮은 반면 최고 풍속은 상회하거나 거의 비슷하여, 뇌우 돌풍이 갑작스럽게 발생함을 보여준다. Fig. 7은 뇌우돌풍과 비뇌우돌풍의 최고 풍속이 발생한 시점의 1시간에서 12시간 전에 평균 풍속의 변화를 보여준다. 비뇌우돌풍은 대체로 일정한 변화를 보이는 반면 뇌우 돌풍은 평균 시간이 짧아질수록 급격한 증가를 보인다. 이러한 결과는 강풍발생에 대한 불확실성이 뇌우에 의한 돌풍의 경우가 더 높다는 것을 보여준다.

Table 2. Daily Mean and Peak of Wind Gust on Days of Non-Thunderstorm and Thunderstorm

Weather Station	Classification	Mean Wind Velocity (m/s)	Peak Wind Velocity (m/s)
Sangju	Non-Thunder Wind Day	6.25	14.9
	Thunder Wind Day	2.92	18.4
Gunsan	Non-Thunder Wind Day	6.10	16.7
	Thunder Wind Day	3.69	17.3
Seosan	Non-Thunder Wind Day	7.13	17.4
	Thunder Wind Day	4.05	16.4
Jindo	Non-Thunder Wind Day	11.75	16.1
	Thunder Wind Day	9.04	18.1

4. 결론

본 연구에서는 2002년부터 2009년까지 우리나라에서 발생한 돌풍의 시공간적 분석을 수행하였다. 관측 풍속에 대해 태풍에 의한 풍속을 제외하고 지형의 영향에 대해 보정하여 수행하였으며, 결과로 해안 지역을 따라 비교적 높은 발생 빈도를 나타남으로써 돌풍 위험도가 높은 지역으로 판단할 수 있다. 돌풍은 일반적으로 중관 규모의 기상 또는 meso-g와 같이 소규모 단위의 기상으로부터 발생한다. 본 연구에서는 기상청이 제공하는 정성적 기상현상보고인 기사자료를 통해 뇌우에 의한 돌풍과 비뇌우돌풍을 분류하였으며, 뇌우 동반 돌풍과 비뇌우돌풍의 풍속 시계열을 비교함으로써 뇌우에 의한 돌풍의 불확실성이 높음을 보였다. 비록 뇌우 돌풍의 발생 횟수가 비뇌우돌풍에 비해 낮을지라도, 불확실성에 의해 사전 대비를 위한 시간적 여유가 적어 상대적으로 위험도는 더 높을 수 있다고 할 수 있다. 또한 본 연구에서는 누적 운량과의 상관관계를 통해 뇌우 돌풍과 누적 운량과의 관계를 분석 하였으며, 이를 통해 추후 지역적 돌풍의 위험도

를 추정하는데 활용 할 수 있음을 제시하였다.

References

- [1] Architectural Institute of Korea, 2005, Korea Building Code.
- [2] Ashley, W.S; Mace, L.B; Stallins, J. 2012, Urban-induced Thunderstorm Modification in the Southeast United States, Climatic Change, 113:481-498.
- [3] Choi, E.C.C. 2000, Wind Characteristics of Tropical Thunderstorm, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 84(2):215-226.
- [4] Choi, E.C.C; Hidayat, F.A. 2002, Gust Factors for Thunderstorm and Non-Thunderstorm Winds, International Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 90: 215-226.
- [5] Cho, E.H. 2009, A Study on the Gust with Thunderstorm in Honam Area, Journal of the Chosun National Science, 2(2):101-130.
- [6] Eom, H.S; Suh, M.S. 2009, Statistical Characteristics of Recent Lightning Occurred over South Korea, Journal of Korean Earth Science Society, 30(2):210-222.
- [7] Eom, H.S; Suh, M.S. 2010, Analysis of Stability Index for Lightning by Using Upper Air Observation Data over South Korea, Atmosphere Meteorological Society, 20(4):467-482.
- [8] Heo, B.H; Kim, K.E.; Min, K.D., 1994, Synoptic Thermodynamic Characteristics of Air Thunderstorms Occurring in the Middle Region of South Korea during the Summer, Journal of the Korean Society of Tobacco Science, 30(1): 49-63.
- [9] Kuleshov Y; de Hoedt G; Wright W; Brewster A. 2002, Thunderstorm distribution and frequency in Australia, Australian Meteorological Magazine, 51:145-154.
- [10] Lee, S; Chang, E.M. 2009, Application of GIS to Typhoon Risk Assessment, The Journal of GIS Association of Korea, 17(2):243-249.
- [11] Seong, M.H; Park, K.S; Choi, S.H. 2010, Estimation of Topographic Factor of Wind Speed Using Geographic Information, Journal of Korea Spatial Information Society, 18(3):13-22.
- [12] Smith B.T; Winters, A.C; Mead, C.M; Dean, A.R; Castellanos, T.E. 2010, Measured severe wind gust climatology of thunderstorms for the contiguous United States, 25th Conf, Severe Local Storms.
- [13] Xu, K.M; Randall, D.A. 1999, Updraft and Downdraft Statistics of Simulated Tropical and Midlatitude Cumulus Convection, Ninth ARM Science Team Meeting Proceedings, 22-26.
- [14] Yohana, N.M; Lee, S; Lee, Y.K; Kim, H.S. 2009, Topographic Factors for Wind Speed In Undulating Terrain: A Case Study for Korean Peninsula, Journal of Wind Engineering Institute Korea, 13(2):67-73.

논문접수 : 2013.05.06
수 정 일 : 2013.06.27
심사완료 : 2013.07.12