

ORIGINAL ARTICLE

## 한반도 태풍시기 강풍유발 피해액 산정의 정확도 향상을 위한 기초자료의 고도화

윤희성 · 정우식\*

인제대학교 대기환경정보공학과/대기환경정보연구센터

### Basic Data Advancement for Improving the Accuracy of Estimating the Damage Cost Caused by Strong Winds on the Korean Peninsula during Typhoon Periods

Hee-Seong Yun, Woo-Sik Jung\*

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

#### Abstract

In this study, type analysis was conducted along with the advancement of basic data to calculate the maximum damage caused by strong winds during the typhoon period. The result of the damage by region showed that in 2012, the difference in damage was clearly distinguished as the region was classified in detail. In addition, the result of the annual damage in 2011 was strong on the west coast, and in 2016, the damage to the southeast coast was significant. In 2012, the 3-second gust was relatively stronger on the west and southeast coasts than in 2011, and the winds blew stronger along the southeast coast in 2016. Monthly damage data showed that the damage to the west coast was high in August, and the damage to the southeast coast was high in October from 2002 to 2019. The 3-second gust showed the result of wide expansion throughout the southern coast of the Korean Peninsula in October. As a result, the damage differs for type because the intensities and paths of typhoons vary depending on their characteristics, the 3-second gust blows differently by region based on regional characteristics, and the sale price is considered in metropolitan cities.

**Key words** : 3-second gust, Maximum damage, Typhoon, Type analysis, Korean Peninsula

#### 1. 서론

최근 점차 강해지고 있는 태풍의 강도는 기후변화와 관련이 있는데, ‘기후변화에 관한 정부간 협의체’인 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 보고서를 보면 지구온난화로 인해 태풍의 강도가 강해

지는 추세임을 전망하고 있다(IPCC, 2007). 또한, Emanuel(2005)은 지구온난화에 따른 북서 태평양에서의 태풍 강도가 잠재적 상승함과 동시에, 실제 태풍의 강도 또한 해수면 온도의 증가에 따라 계속해서 증가하고 있음을 예측한 바 있으며, Elsner et al.(2008)은 지구온난화가 진행됨에 따라 태풍의 강도와 발생률 모두에

Received 4 January, 2022; Revised 12 January, 2022;

Accepted 17 January, 2022

\*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.

대해서 강풍에 취약한 지역은 더욱 강렬한 피해를 받을 수 있다고 하였다. 최근 10년(2010~2019년)간 우리나라에서 발생한 자연재해로 인한 총 피해액은 약 3조 5300억 원이었는데, 이 중에서 태풍으로 인한 피해액이 전체의 54.2%로 가장 높게 나타나면서, 전체의 절반을 넘어서는 피해의 규모를 나타내었다(Ministry of the Interior and Safety, 2019).

자연재해로 인한 피해를 저감하기 위해서는 피해 규모의 예측을 통한 사전방재적 관점에서의 접근이 가장 필요하고 효율적이라 볼 수 있다. 특히, 위에 제시한 바와 같이, 여러 자연재해 중에서도 태풍으로 인한 경제적 손실과 인명사고는 매우 크고 위험한 수준으로 나타날 수 있다. 특히, 태풍으로 인한 재해는 대부분 강한 바람을 동반하는 강풍과 많은 비를 동반하는 집중호우에 의해 나타나게 되는데, 국내에서 수행된 태풍에 동반된 강풍으로 인한 피해에 관한 연구들을 살펴보면, Cho et al.(2005)는 풍압실험을 수행하여 건물들간의 상호작용으로 인한 다양한 풍압분포 현상이 풍향에 따라 건축물의 외장재에 피해 차이가 발생한다는 점을 제시한 바 있고, 태풍 경로와 태풍에 의한 피해액 자료를 이용하여 월별 및 태풍 경로별로 태풍의 빈도와 피해액, 시·군별 피해액 분포를 분석한 Kim et al.(2015)은 매 10년 기간별로 볼 때, 1990년대 이후 태풍의 규모가 강화되면서 그로 인한 피해액이 급격하게 증가하고 있음을 분석한 바 있다. 하지만 이들 연구에서는 태풍에 동반된 강풍으로부터 발생 가능한 최대피해액을 분석하기에는 기존의 태풍자료를 분석하거나, 주요 태풍시기(Rusa, Maemi 등)를 분석하였기 때문에 구체적인 최대피해액을 산정하기에는 다소 불충분하다. 그러므로, 보다 구체적으로 태풍 시기의 강풍으로 인해 외벽, 유리창, 지붕 등 각 부분에서 발생하는 피해 정도를 고려하여, 발생 가능한 최대피해액을 구체적으로 산정할 수 있는 연구가 필요하다. 이와 유사한 방안적 측면에서 태풍에 동반된 강풍으로 인한 주택 요소별 피해확률을 고려하여 피해액을 산정한 연구(Jung et al., 2009)가 수행된 바 있지만, 우리나라 전역에서의 피해액 산정에 있어 광역시도 단위의 저해상도 입력자료가 고려되어, 실생활 적용 및 응용 측면에서 실질적으로 요구되는 시군구 단위에서의 피해액 정보가 아니었다는 실용적 측면에서의 아쉬움이 있었다. 국외의 연구들을 살펴보면, Stewart(2003)는 건물이 받을 피해

의 정도를 취약선 곡선에 따른 풍속별 피해확률로 산정하여 피해 척도를 제시하면서, 건물 취약성은 주택 유형이나 요소별 재료 등으로 인해 계산값이 달라질 수 있다는 결과들을 제시한 바 있다. 또한, Smith and Henderson(2016)도 피해 정도의 취약성은 건물의 구성 요소의 구조, 그리고 재료별로 피해액과 복구비가 추정되기 때문에 건물의 주요피해 요소별로 피해 정도를 추정하지 않으면 객관적 산정이 어렵다는 점을 강조한 바 있다.

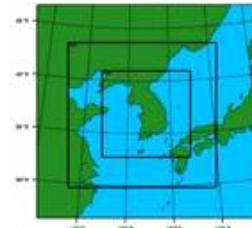
따라서, 본 연구에서는 선행연구에서 수행하지 못한 고해상도 개념에서의 태풍에 동반된 강풍으로 발생 가능한 피해액을, 선행연구와 달리, 시군구 단위의 각 상세 지역별로 산정하고자 하였다.

## 2. 자료 및 방법

우리나라 전역의 시군구별로 태풍에 동반된 강풍으로 유발되는 발생 가능한 최대피해액을 산정하기 위해, 2002년부터 최근인 2019년까지 한반도에 영향을 준 총 60개 태풍을 분석대상으로 설정하였다. 피해액을 산정하기 위해서는 태풍에 동반된 최대순간풍속(3-second gust)을 도출하여야 하는데, 이를 위해, 본 연구진의 선행연구(Na and Jung, 2020)에서와 같이 기상장 수치모델인 WRF (Weather Research and Forecasting) 모델을 사용하여 최대순간풍속을 도출하였다. 연구대상 기간 동안 태풍에 동반된 강풍 피해액을 연도별, 태풍별, 그리고 전체 시군구별로 산정하기 위해서는 태풍백서(2011)와 한반도 영향 태풍 분석보고서(2010~2019)에서 제공하는 태풍정보와 재해연보(Ministry of the Interior and Safety, 2019)와 통계청 국가통계포털에서 제공하는 주택총조사 자료(2002~2019)를 사용하였다. 또한, 피해액 산정에서 기준이 되는 주택가격은 한국부동산원의 부동산통계정보시스템(R-ONE)(Korea Real Estate Board, 2019)에서 제공하는 매년 전국의 시군구별 단독주택 가격을 적용하였다. 또한, 연구대상 기간 동안 시군구별로 행정구역의 변동정보와 단위의 변경을 고려했으며, 상세 지점별 자료 중에서도, 연도에 따라 변화하는 지역별 데이터와 권역별 데이터(서울, 경기, 부산)는 해당연도의 자료를 조사하여 모두 고려하였고, 그에 따른 매매가격과 매매가격지수 또한 해당 연도별 갱신자료를 모두

**Table 1.** WRF physics option

|                       | Domain 1  | Domain 2 | Domain 3 | Domain |
|-----------------------|---|----------|----------|--------|
| Horizontal grid       | 124×124   | 223×223  | 334×334  |        |
| Horizontal resolution | 27 km   | 9 km     | 3 km     |        |
| Vertical Layers       | 27  |          |          |        |
| Physical options      | mp_physics WSM6 scheme<br>bl_pbl_physics YSU scheme<br>sf_surface_physics Noah LSM<br>sf_sfclay_physics Monin-Obukhov scheme<br>ra_lw RRTM Longwave<br>ra_ws Dudhia Shortwave<br>cu_physics Kain-Fritsch scheme |          |          | No CPs |
| Initial data          | GDAPS   |          |          |        |



적용하였다.

**2.1. WRF 수치모델**

태풍에 동반된 최대순간풍속을 산정하기 위해서는 태풍사전방재모델을 활용하는데, 이때 입력자료로 활용되는 700 hPa 풍속을 산정하기 위해서는 기상분야 및 날씨 진단 및 예측분야에서 많은 연구자들이 사용하고 있으며 고해상도 기상정보 생산에 효율적인 WRF 수치모델을 활용하였다(Table 1). 본 연구에서는 WRF Version 3.7.1을 사용하였으며, 입력자료는 기상청에서 제공하는 전 지구 지역예보모델인 RDAPS (Regional Data Assimilation Prediction System) 자료를 적용하였다 (Na and Jung, 2020).

**2.2. 태풍사전방재모델**

본 연구에 사용한 태풍사전방재모델은 태풍에서 유발되는 최대순간풍속을 계산하고, 이를 바탕으로 강풍으로 유발되는 피해액을 도출할 수 있는데, 이 부분에서 700 hPa 고도에서의 풍속정보를 활용하여 지상 10 m 고도 강풍을 추정하고, 이를 바탕으로 주택 피해확률을 산정한 후, 지역별 주택가격을 적용하여 피해액을 산정하였다. 이 모델은 미국 Florida Department of Financial Services (FDFS, 2005)에서 개발한 FPHLM (Florida Public Hurricane Loss Model)을 참고하여, 국내에 영

향을 미치는 태풍에 적용하기 위하여 한반도의 지리적, 지형적 특징이 반영된 계산과정 및 입력자료의 수정을 통해 한반도에 최적화된 형태로 개선한 것으로써, 계산된 최대순간풍속(3초 gust) 값은 기상청에서 관측하고 있는 해양부이와 등표지점의 GUST 및 최대순간풍속과 적합도 및 정확도 측면에서 타당하다는 것이 규명된 바 있다(Jung, 2015; Na and Jung, 2019).

본 연구에서는 태풍에 의해 발생 가능한 최대피해액 산정의 고도화 및 현실화 측면의 추가적인 개선을 위해 피해액 산정의 기초자료인 주택가구수는 통계청의 주택총조사 자료(2002~2019년)를 바탕으로 각 시군구별 변동정보를 적용하였으며, 시군구별 강풍정보의 정확한 추정을 위해 선행연구(Jung et al., 2010; Jung, 2015; Na and Jung, 2019)에서 적용한 저해상도(10 km 및 12 km 간격) 풍속정보 또한 고해상도(3 km 간격)화 하였다. 또한, 주택별 피해액 산정의 현실화를 위해 한국부동산원의 부동산통계정보시스템(R-ONE)에서 매년 제공하는 단독주택 평균 매매가격정보를 적용하였으며, 연도별 화폐가치 변동에 의한 피해액 산정의 오류를 제거하기 위해 국민재난안전포털에서 제공하는 ‘화폐가치 기준연도’를 정보를 적용하여 피해액을 2019년 화폐기준으로 산정하였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 상세 권역별 피해액

본 연구에서는 한반도의 복잡한 지형적 조건을 고려하고, 시군구 단위 구분과 더불어 더욱 고해상도 개념의 정보인 권역별 주택가격정보 등의 자료를 고려하여 더욱 현실적인 피해액 정보를 산정하고자 하였다. 이를 위해, 한국부동산원에서 매년 광역시도별로 제공되는 전국주택가격동향조사의 정보를 각각 적용하였다. 즉, 연도별 행정구역의 변동과 권역별 구분(서울시, 부산시, 경기도)의 변동정보도 해당 시기별로 적용하였는데, 예를 들어, 2010년에 마산시와 진해시, 그리고 창원시가 1개의 창원시(5개 구)로 행정구역이 변경되어 본 연구에서도, 2010년 이전에는 각 도시별 피해액을 산정하였으나 2010년부터는 5개 구별로 피해액을 산정하였다. 이와 같이, 이 외의 연구대상 전 기간 동안 시군구별 모든 행정구역 개편에 따른 피해액 변동을 각각 산정하였다. 또한, 전국주택가격동향조사는 기본적으로 매년 광역시도 단위로 제공되고 있지만, 2012년부터 서울시와 부산시, 그리고 경기도는 생활권의 다양성 등으로 인해 권역을 더욱 세분화하여 권역별로 주택가격정보를 제공하고 있다. 즉, 2012년을 기준으로 서울시는 2개 권역에서 5개 권역별로 주택가격정보가 제공되고 있고, 부산시는 1개 권역에서 3개 권역별로, 그리고 경기도는 1개 권역에서 7개 권역별로 주택가격정보를 제공하고 있다.

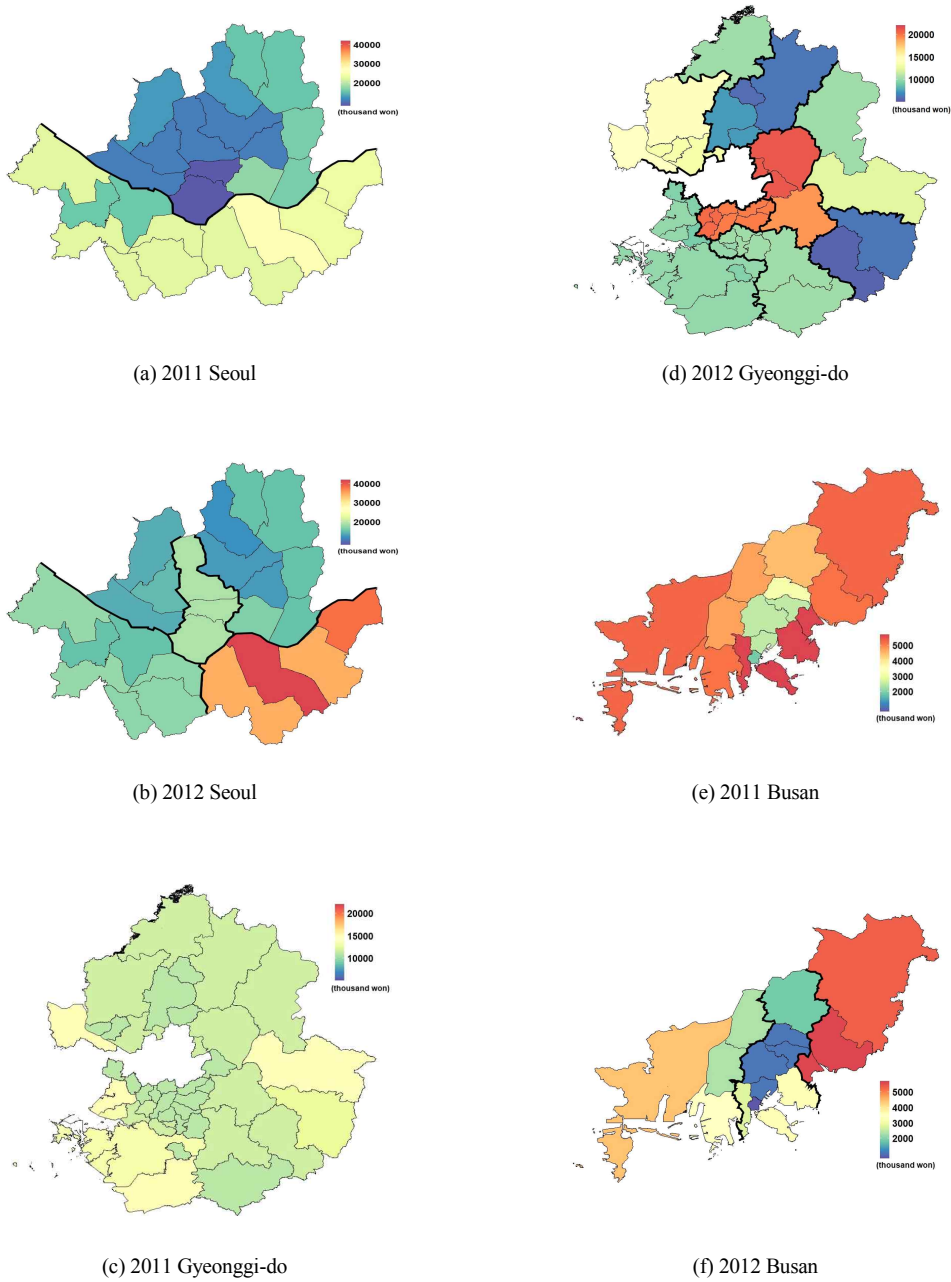
Fig. 1은 서울과 부산, 그리고 경기도 지역에 권역별로 주택가격정보가 제공되기 전인 2011년과 제공되기 시작한 2012년도의 각 도시의 시군구별 피해액을 나타낸 것이다. 2011년의 피해액 분포를 나타낸 Fig. 1(a), Fig. 1(c), Fig. 1(e)은 서울시 25개 구별, 경기도 44개 시군별, 부산시 16개 구군별 가구당 최대피해액을 나타낸 것으로, 각 시도별로 2011년 태풍 무이파(MUIFA, 1109)와 2012년 태풍 볼라벤(BOLAVEN, 1215) 시기에 산정된 시군구별 피해액이다. 위에서 설명한 바와 같이, 2011년에는 서울시는 권역(굵은 검은 실선)이 2개, 경기도와 부산시는 1개로 구분되지만, 2012년에는 더욱 세분화된 권역으로 구분되어 서울시는 5개, 경기도는 7개, 그리고 부산시는 3개로 권역이 더욱 세분화되어 있다. 즉, 2012년도에는 각 시도별로 주택가격정보가 좀 더 현실을 반영하는 자료로 피해액 계산에 활용되었음을

알 수 있다.

#### 3.2. 연도별 피해액

연도별로 태풍특성과 피해지역에 따라 발생하는 피해가 다르므로, 연도별 시군구 단위의 최대피해액 산정 연구는 방재적 차원에서 더욱 필요하다. 본 연구에서는 시법적으로 생활권역이 나뉘는 시점임과 동시에, 수도권과 서해안 지역의 피해가 강하게 나타났던 2011년과 2012년, 남동해안 지역의 피해가 강했던 2016년에 대해서 분석을 진행하였다(Fig. 2).

2011년 태풍의 피해액(Fig. 2(a))은 수도권에서 막대한 피해가 나타났는데, 이는 2011년 한반도 영향 태풍 중에서도 서해안 지역에 주로 피해를 나타낸 태풍 메아리와 무이파의 영향이 상당 부분 차지한 것으로 사료된다. 그중 태풍 메아리는 한반도 6월 영향 태풍 중에서 유일하게 북서진하였으며, 속도도 최대 80 km/h까지 올라가면서 일반 태풍의 두세 배의 결과를 기록한 바 있으며, 태풍 무이파는 따뜻한 바다 위를 느리게 이동하며 발달하면서 피해가 가중되었고, 최대순간풍속의 극값이 경신되면서 그 위력을 입증하였다. 이때, 2011년 태풍의 가장 큰 피해를 받은 지역은 서울 강남구로, 가구당 평균 최대피해액이 약 1,600만 원의 피해가 나타났으며, 이때의 3초 gust는 28.6 m/s로 나타났다. 이후로 경기도, 인천 지역의 피해액이 높게 산정되었고, 2011년 태풍의 3초 gust(Fig. 2(b))에서는 한반도의 대부분 지역에서 20 m/s 이상의 높은 풍속대를 보였으며, 그중 인천광역시 용진군에서 33.1 m/s의 가장 강한 풍속이 나타났다. 또한, 2002~2011년까지는 서울과 경기도, 부산의 권역이 상세한 분류로 나누어진 것이 아닌, 큰 분류로 평균 매매가격이 적용되었기 때문에 지역 구분에 따른 피해액의 차이가 크게 나타나지 않아 대부분 유사한 경향을 보였다. 이때, 서울 권역은 강북권, 강남권으로 나누어졌으며, 경기도와 부산은 권역이 나누어지지 않아, 해당 광역시도의 대표 평균 매매가격이 적용되었다. 2012년(Fig. 2(d))의 경우, 서울 강남구에서 약 2,100만 원의 높은 피해액이 산정되었는데, 이는 한반도 내륙을 통과하면서 전체적인 피해를 준 태풍과 서해안 지역에 주로 피해를 주는 태풍이 많았기 때문에 나타난 결과로 사료되며, 그 중에서도 역대 태풍 재산피해 순위(통계기간: 1904 ~ 2019년) 중 재산피해와 최대순간풍속, 최저해면 기압에



**Fig. 1.** The distribution shows maximum damage costs for (a) 2011 Seoul, (b) 2012 Seoul, (c) 2011 Gyeonggi-do, (d) 2012 Gyeonggi-do, (e) 2011 Busan, and (f) 2012 Busan, for each administrative district. The 2011 maximum damage cost simulated typhoon MUIFA(1109) while the 2012 maximum damage cost simulated typhoon BOLAVEN (1215).

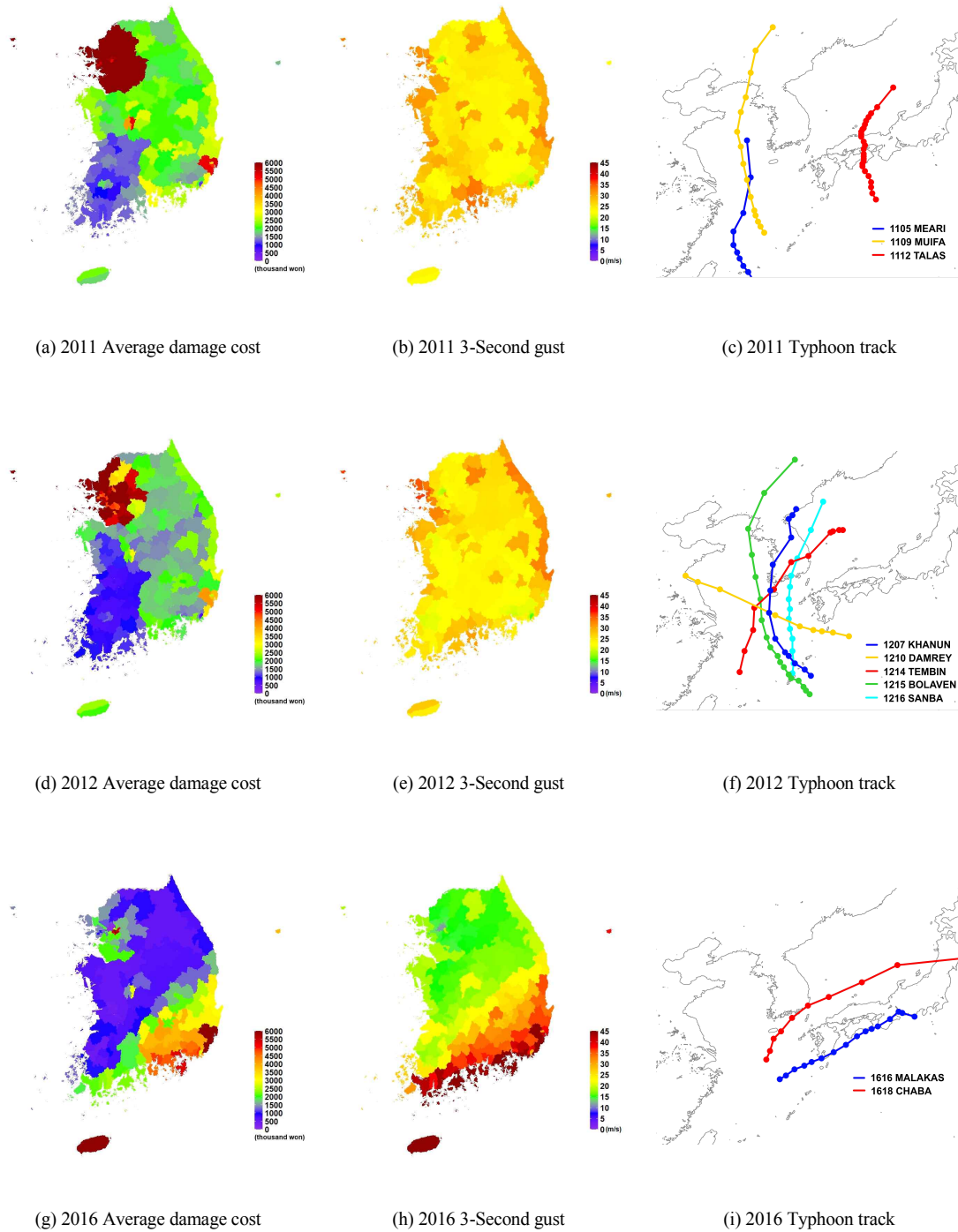


Fig. 2. Distribution of yearly average damage cost caused by typhoons from 2002 to 2019.

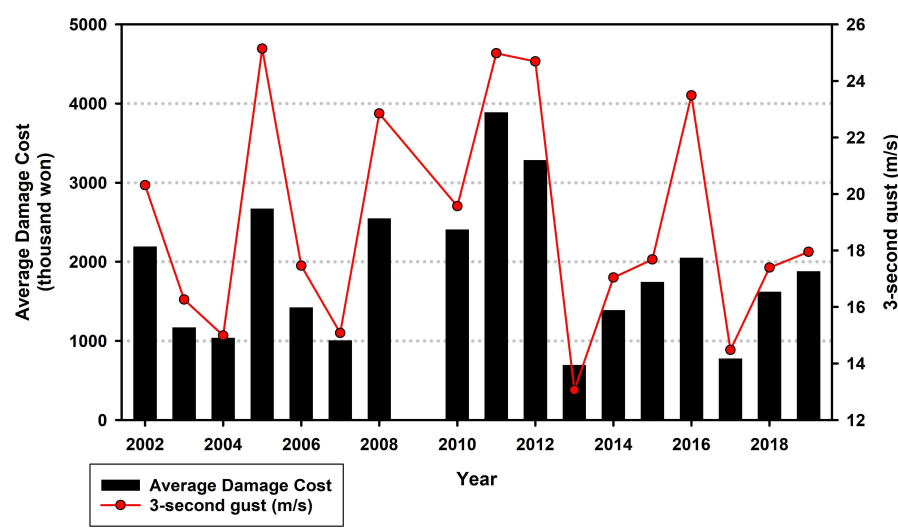


Fig. 3. Comparison of the yearly average damage cost of typhoons (black bars) from 2002 to 2019. The red line shows 3-second gust.

대해서 순위 10위 안에 자리한 태풍 블라벤의 영향이 컸을 것으로 판단된다. 태풍 블라벤은 서귀포시에서 945 hPa 중심기압과 45 m/s 최대풍속을 보였으며, 이후 북동진하여 서해로 빠져나갔지만, 한반도 내륙이 태풍의 위험반원에 위치하여 피해 규모가 지속적으로 증가하였다. 또한, 태풍 카눈, 산바, 덴빈 등이 한반도 내륙에 북상하면서 평균적인 피해가 증가하였을 것으로 사료된다. 2012년 태풍의 3초 gust(Fig. 2(e))는 2011년과 비교했을 때, 25 m/s 이상의 풍속이 비교적 더 나타났으며, 그중 인천 해안지역의 풍속은 35 m/s 이상을 나타내어 인접 지역의 피해가 높게 산정되었다. 2012년은 서울과 경기도, 부산의 권역이 상세하게 분류되는 시점으로 2011년 피해액 분포도와 비교할 때, 권역별 평균 매매가격 차이에 따른 피해액 구분이 더욱 뚜렷한 결과를 나타냈다. 다음의 2016년 태풍의 피해액(Fig. 2(g))은 울산지역을 포함한 남동해안 지역에서 피해가 강하게 나타났으며, 그중 피해가 가장 높게 나타난 울산시 북구의 가구당 최대피해액은 약 950만 원으로 산정되었다. 이는 태풍 차바의 영향이 컸을 것으로 사료되며, 당시 950 hPa의 중심기압과 43 m/s의 강한 풍속으로 북동진하여 부산에 북상하였고, 인접 지역인 울산과 남해안, 제주도 일대에

피해가 증가하였다. 이는 3초 gust(Fig. 2(h)) 분포와 대부분 비례하는 분포가 나타났으며 이때, 가장 높은 3초 gust는 서귀포시에서 59.2 m/s의 매우 강한 풍속이 나타났다.

본 연구의 연도별 평균 최대피해액과 3초 gust를 함께 시계열 그래프로 나타내었을 때, 풍속에 비례하여 피해액이 잘 산정되고 있음을 확인할 수 있다(Fig. 3). 여기서, 2005년과 2008년, 2016년은 단일 태풍피해로, 3초 gust 값이 평균이 된 것이 아닌, 단일 값으로 산정되면서 높게 나타난 것으로 사료되며, 2009년의 경우, 한반도 영향 태풍이 없었으므로 결과에서 제외되었다. 이 결과와 함께 주요 7대 광역시인 서울, 부산, 울산, 대구, 대전, 광주, 인천의 시계열 그래프를 함께 살펴보았다(Fig. 4). 서울의 경우(Fig. 4(a)), 약한 풍속에도 비교적 높은 피해액이 나타났으며, 특히, 2011~2012년에 강한 피해를 나타냈는데, 이는 주로 서해안으로 북상하는 경로의 태풍으로 인한 강풍 피해가 주요인으로 보이며, 2012년의 경우, 2011년과 비교할 때, 풍속이 더 높음에도 피해가 낮은 것은 권역 구분에 따른 시세의 증감으로 인해 나타나는 결과로 보인다. 부산의 경우(Fig. 4(b)), 2005년과 2016년에 피해액이 높게 나타났는데, 이는 단일 태풍

피해로 인한 피해액과 3초 gust가 높게 산정된 것도 있지만, 이때의 태풍 경로가 남해안과 동해안을 지나면서, 피해의 비중이 증가하는 경향을 나타냈다. 다음으로 울산(Fig. 4(c))은 풍속이 강하게 나타나는 경향이 나타났는데, 이는 서해안 지역에 피해를 주는 태풍의 수가 상대적으로 적으며, 남해안으로 올라와 한반도를 관통하거나 동해안에 주로 피해를 주는 태풍으로 인해 울산의 피해가 비교적 강하게 나타나는 것으로 보인다. 대구(Fig. 4(d))와 대전(Fig. 4(e)), 광주(Fig. 4(f))의 경우는 큰 특징 없이 풍속에 따른 피해액의 변화를 확인할 수 있었으며, 그중 광주의 경우, 다른 광역시에 비해 풍속과 평균 매매가격이 낮아 피해액이 전체적으로 적은 결과를 나타냈다. 인천(Fig. 4(g))은 근접 지역인 서울과 비교했을 때, 풍속은 인천이 높으나, 피해액은 서울에서 높게 나타나는 결과를 보였다. 이는 평균 매매가격이 고려되었으며, 2012년의 경우, 풍속은 높으나 피해액이 낮게 산정된 것은, 2012년의 평균 매매가격이 2011년보다 낮게 책정되어 나타나는 결과로, 본 연구에서 고려했던 근거 자료가 잘 적용되고 있음을 나타냈다.

### 3.3. 월별 피해액

Fig. 5는 월별 태풍피해액과 3초 gust의 전국 분포를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 예시적으로 수도권 지역을 포함한 서해안 지역에 강한 피해가 나타난 8월과 남동해안 지역의 피해가 강했던 10월을 대상으로 분석을 진행하였다. Lee and Lee(1998)의 선행연구에 따르면, 8월 하순에 내습하는 태풍의 수는 전체의 15%에 불과하지만, 피해액은 37%로 8월 하순의 태풍의 강도가 강한 것을 알 수 있으며, 이 시기 한반도 영향 태풍은 대체로 서해안을 따라 북상하여 중부지방을 통과하는 경향을 보였고, 서해를 통과하는 태풍이 동해를 따라 북상하는 경우보다 약 3.8배 큰 피해를 받았음을 제시하였다. 이것은 태풍의 강도가 같을지라도, 서해안을 지나는 경로의 태풍은 한반도 전역이 위험반원에 위치하여 동해를 통과하는 경우보다 더 큰 영향을 초래할 수 있음을 분석하였다. 이때, 본 연구의 분석기간 동안 한반도에 영향을 미친 태풍 58개(피해액 0원 태풍 제외) 중에서 8월과 10월의 태풍 빈도는 각각 21개, 5개로 약 36%, 9%의 비율을 나타냈으며, 피해액의 비율은 각각 약 38%, 7%로, 상대적으로 10월보다 8월의 피해가 강하게 나타난 점으로 볼 때,

Lee and Lee(1998)의 연구결과와 유사하다. 본 연구의 8월 평균 최대피해액 분포(Fig. 5(a))를 보면, 수도권의 피해가 집중적으로 분포하였고, 이때의 가구당 평균 최대 피해액은 약 300~1,000만 원으로 넓은 피해분포를 나타냈으며, 3초 gust(Fig. 5(b))는 평균적으로 내륙보다 해안 지역의 경우에 넓고 강하게 나타나는 경향을 나타냈다. 또한, 10월의 경우, 한반도 태풍 영향시기 중에서도 가을 태풍의 경향을 보고자 한 Na and Jung(2020)의 선행연구에, 한반도 태풍내습 시 태풍경로별 나타나는 최대풍속 분포특성 연구를 진행한 Na et al.(2019)의 선행연구를 참고하여, 7가지 Type의 태풍경로 자료를 적용하여 6~8월 태풍과 9~10월 태풍을 비교해본 결과, 과거(2002~2010년)보다 최근(2011~2019년)으로 올수록 9, 10월의 가을태풍 중에서도, 남해안에 상륙하여 한반도에 영향을 미치는 경로인 Type 2 발생 비율이 점차적으로 증가하면서 17 m/s 이상의 영역이 제주도를 포함한 한반도 남해안 전역과 강원 내륙 및 전라 연안지역까지 넓게 확대되었으며, 태풍에 동반된 3초 gust의 영역이 넓어짐과 동시에 강해지고 있음을 제시한 바 있다. 이때, 본 연구의 10월 태풍 3초 gust 분포도인 Fig. 5(d)에서도 알 수 있듯이, 8월과 비교해볼 때, 10월 3초 gust의 분포가 남동해안에서 넓게 확대되는 모습을 확인할 수 있었고, 강도 또한, 강해지는 경향을 나타냈다. 이때, 남동해안 지역은 약 20~30 m/s의 풍속이 불었으며, 그중 울산과 제주에서 강한 풍속에 따른 피해액이 높게 산정되었고, 약 400~650만 원의 가구당 평균 최대피해액을 나타냈다(Fig. 5(c)). 결과적으로, 본 연구의 월별 결과와 추가로 수행한 태풍 경로에 따른 분석은 서로 다른 분석이나, 두 결과의 상관관계를 확인할 수 있었으며, 태풍의 특성과 경로 유형에 따른 지역적 피해분포의 차이가 명확히 드러나기 때문에, 이와 관련된 연구의 필요성이 대두된다. 또한, 본 연구의 결과를 피해 저감에 활용한다면 피해지역에 발생할 수 있는 광범위한 영향에 대해서 사전방재 차원에서의 중요한 자료가 될 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 연구에서는 2002년부터 2019년까지 한반도에 영향을 미친 태풍에 대해서, 태풍에 의한 재산피해가 발생했을 때, 발생 가능한 최대순간풍속인 3초 gust에 따른



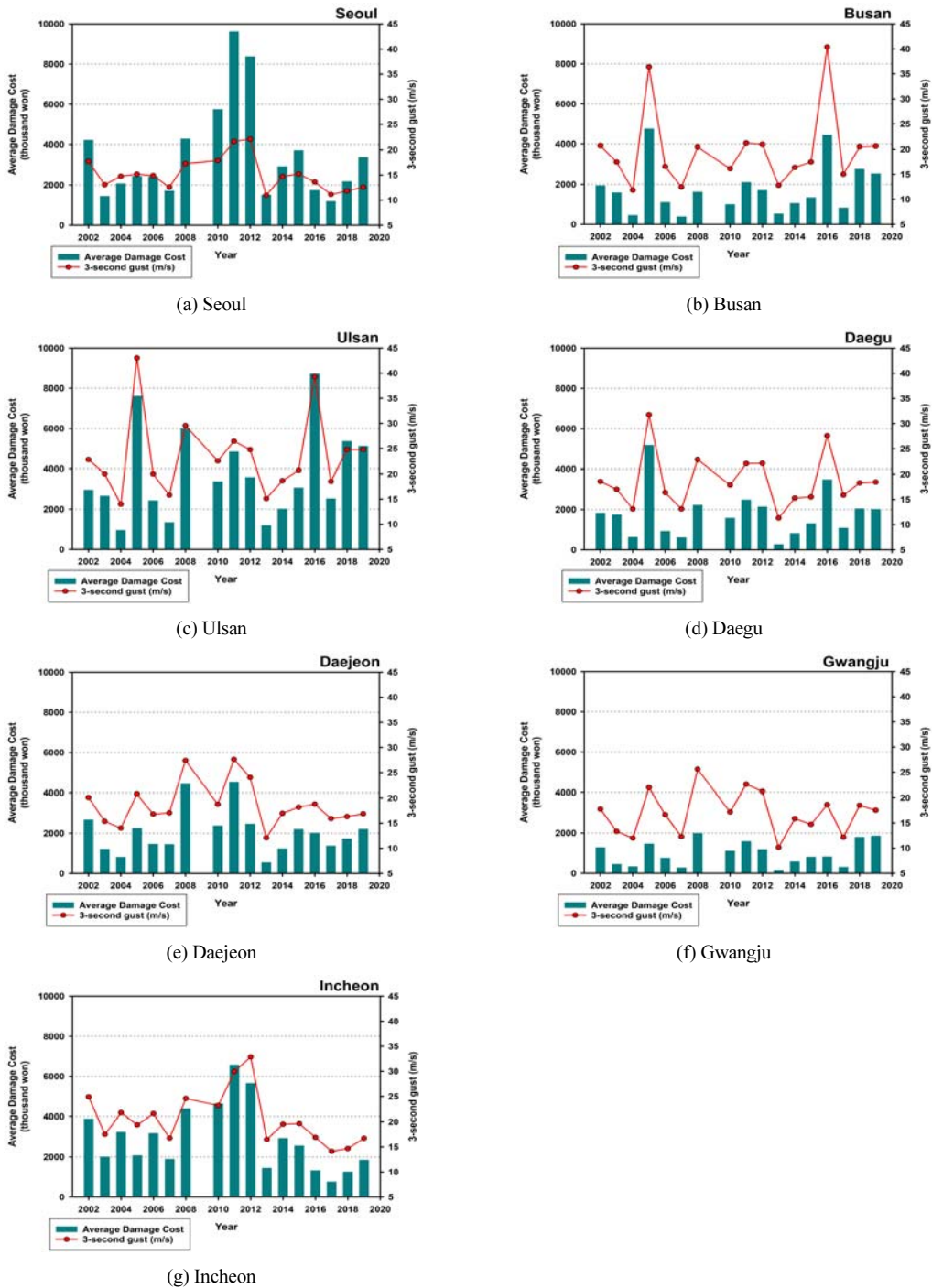


Fig. 4. Yearly time series graph of metropolitan cities from 2002 to 2019. The green bar shows the average damage cost and the red line shows 3-second gust.

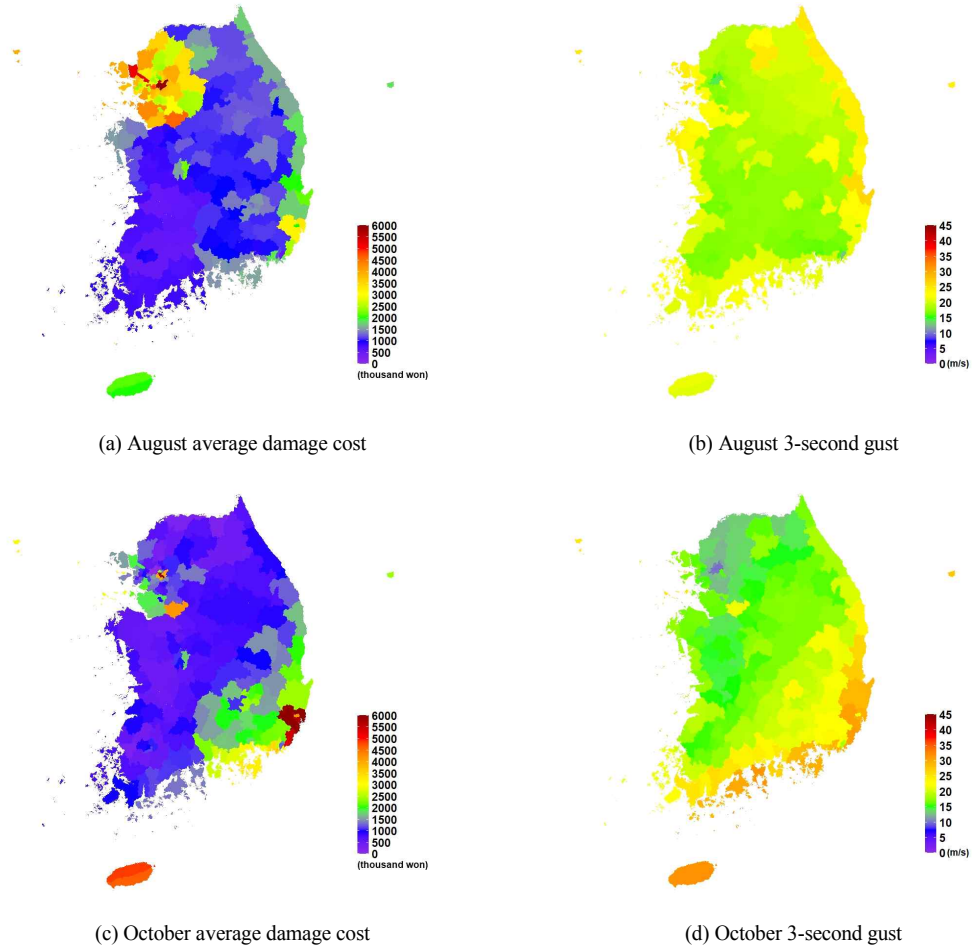


Fig. 5. Distribution of monthly average damage cost caused by typhoons from 2002 to 2019.

최대피해액의 산정과 함께 고해상도의 입력자료 활용과 주택가격 및 주택수 등의 자료를 적용하여 더욱 타당한 피해액을 산정하고자 하였다.

분석을 수행한 결과, 지역에 따른 차이뿐만 아니라 지역 내 권역별 구분이 고려되면서 피해액의 차이가 나타났으며 행정구역 변경에 따른 피해액 차이 또한 살펴볼 수 있었다. 연도별로는 2011년 태풍의 평균 최대피해액이 가장 높게 산정되었으며, 7개 광역시 중에서는 평균 매매가격이 높게 책정된 서울에서 가장 큰 피해가 나타났고, 그다음으로 인천과 울산의 피해액이 높게 산정되었다. 또한, 월별 결과를 보면, 8월에는 서해안으로 북상하는 경로의 태풍이 강한 경향이 나타나 수도권의 피해

가 집중적이었고, 10월의 경우, 빈도와 피해는 8월과 비교했을 때는 적었으나, 과거에 비해 최근으로 올수록 점차 빈도가 증가하면서, 남동해안에 상륙하는 경로로 인한 피해가 점차 증가하는 추세를 나타냈다.

이러한 결과들을 바탕으로, 지역별 정보가 상세하게 고려된 사전방재정보의 정확하고 구체적인 도출은 실제 방재행정의 측면에서 더욱 중요성이 높아질 것으로 사료된다.

감사의 글

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

R1F1A1068738).

## REFERENCES

- Cho, K. P., Kim, W. S., Hwang, K. S., 2005, Wind damages of claddings of high-rise apartment buildings under strong wind, *Architectural Research (AR)*, 25, 91-94.
- Elsner, J. B., Kossin, J. P., Jagger, T. H., 2008, The increasing intensity of the strongest tropical cyclones, *Nature*, 455, 92 - 95.
- Emanuel, K., 2005, Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years, *Nature*, 436, 686-688.
- Florida Department of Financial Services (FDfs), 2005, Florida public hurricane loss projection model, Engineering Team Final Report Volume I -III, 48.
- Jung, W. S., Park, J. K., Choi, H. J., 2009, An Evaluation of the economic damage scale in Gyeongsangnam-do by an attack of typhoon Maemi, *Proceeding of the 49th Meeting of Korean Society for Atmospheric Environment*, 148-150.
- 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, 353-363.
- Jung, W. S., 2015, An Estimation of extreme wind speed of typhoon affecting the damage of public and industrial facilities, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 24, 1199-1210.
- Kim, S. Y., Joh, C. H., Lee, S. H., 2015, Change of damage and damage areas caused by typhoon in South Korea, *J. Clim. Res.*, 10, 123-134.
- Korea Meteorological Administration, 2019, Korean peninsula impact typhoon analysis report, 11-1360000-001533-10, Jeju, Korea.
- Korea Meteorological Administration, 2011, Typhoon white book, 11-1360016-000001-01, 221-229, Jeju, Korea.
- Korea Real Estate Board, 2019, R-One Real Estate Statistics Viewer, [https://www.reb.or.kr/r-one/statistics/statisticsViewer.do?menuId=HOUSE\\_21111](https://www.reb.or.kr/r-one/statistics/statisticsViewer.do?menuId=HOUSE_21111).
- Lee, E. G., Lee, H. Y., 1998, Spatial distribution and causative factors of typhoon disasters in Korea, *J. Geol. Soc. Korea*, 33, 179-190.
- Ministry of the Interior and Safety, 2019, Statistical yearbook of natural disaster, 11-1741000-000002-10, Sejong, Korea.
- Na, H. N., Jung, W. S., 2019, Assessment of the suitability of the typhoon disaster prevention model according to the typhoon maximum wind speed radius and surface roughness length, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 35, 172-183.
- Na, H. N., Jung, W. S., Park, J. K., 2019, A Study on the characteristics of maximum wind speed distributions by typhoon track in the Korean peninsula, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 35, 36-48.
- Na, H. N., Jung, W. S., 2020, Autumn typhoon affecting the Korean peninsula - past and present characteristics, *J. Korean Soc. Atmos. Environ.*, 36, 482-491.
- Smith, D. J., Henderson, D. J., 2016, Vulnerability modeling for residential housing, 18th Australasian Wind Engineering Society Workshop, 6-8 July 2016, McLaren Vale, SA, Australia.
- Statistics Korea, 2019, Housing Census, [https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M\\_01\\_01&vwcd=MT\\_ZTITLE&parmTabId=M\\_01\\_01&outLink=Y&entrType=#content-group](https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&outLink=Y&entrType=#content-group).
- Stewart, M. G., 2003, Cyclone damage and temporal changes to building vulnerability and economic risks for residential construction, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 91, 671-676.
- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007, Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Geneva, Switzerland.

- 
- Master's course. Hee-Seong Yun  
Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University  
namgyuri7@naver.com
  - Professor. Woo-Sik Jung  
Department of Atmospheric Environment Information Engineering/Atmospheric Environment Information Research Center, Inje University  
wsjung1@inje.ac.kr