

재해연보 기반 지역특성을 반영한 강풍피해예측함수 개발 : 경상지역을 중심으로

Development of Estimation Functions for Strong Winds Damage Reflecting Regional Characteristics Based on Disaster Annual Reports : Focused on Gyeongsang Area

노정래¹ · 송창영^{2*}Jung-Lae Rho¹, Chang-young Song^{2*}¹Chief Researcher, Korea Institute of Disaster & Safety, Seoul, Republic of Korea²CEO, Korea Institute of Disaster & Safety, Seoul, Republic of Korea*Corresponding author: Chang-young Song, song4624@daum.net

ABSTRACT

Purpose: In this study, a strong wind damage prediction function was developed in order to be used as a contingency during disaster management (preventive-preventive-response-recovery). **Method:** The predicted strong wind damage function proposed in this study took into account the re-enactment boy power, weather data and local characteristics at the time of damage. The meteorological data utilized the wind speed, temperature, and damage history observed by the Korea Meteorological Administration, the disaster year, and the recovery costs, population, vinyl house area, and farm water contained in the disaster report as factors to reflect the regional characteristics. **Result:** The function developed in this study reflected the predicted weather factors and local characteristics based on the history of strong wind damage in the past, and the extent of damage can be predicted in a short time. **Conclusion:** Strong wind damage prediction functions developed in this study are believed to be available for effective disaster management, such as decision making by policy-makers, deployment of emergency personnel and disaster prevention resources.

Keywords: Strong Wind, Disaster Statistics, Damage Estimation Function, Weather Factor, Disaster Management

요약

연구목적: 본 연구에서는 재난관리(예방-대비-대응-복구) 중 대비차원으로 활용하고자 강풍피해예측함수를 개발하였다. **연구방법:** 본 연구에서 제안하는 강풍피해예측함수는 재해연보이력, 피해당시 기상자료 그리고 지역특성을 고려하였다. 기상자료는 기상청에서 관측한 풍속과 기온, 피해이력에 해당하는 통계자료는 재해연보, 그리고 지역특성을 반영하기 위한 요소로는 재해연보 상 수록된 복구비, 인구, 비닐하우스 면적, 농가수 등을 활용하였다. **연구결과:** 본 연구에서 개발한 함수식은 과거에 발생한 강풍피해이력을 기반으로 예측되는 기상인자와 지역특성을 반영하였으며, 단시간에 피해규모를 예측할 수 있다. **결론:** 본 연구에서 개발한 강풍피해예측함수는 정책결정자들의 의사결정, 비상인력 및 방재자원의 배치 등과 같은 효율적인 재난관리에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어: 강풍, 재해통계, 피해예측함수, 기상인자, 재난관리

Received | 4 November, 2019.

Revised | 18 November, 2019.

Accepted | 11 June, 2020

 OPEN ACCESS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in anymedium, provided the original work is properly cited.

서론

최근 세계적으로 기후변화가 이슈화 되고 있는 가운데 우리나라의 기후변화 진행속도는 지구 평균보다 빠르게 진행되고 있는 실정이다(NOAA, 2015). 기후변화는 단기성·집중성 이상기후의 발생 빈도와 강도를 높이고 있으며, 도시개발과 고밀도화, 산업시설 집중화·노후화는 재난 취약성을 높이고 있다. 그 결과, 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 대규모 인명 및 재산 피해와 사회적 혼란을 야기하는 초대형 자연재해로부터 위협받고 있다. 이에 따라 대형화, 가속화되는 자연재난에 대응할 수 있는 역량강화의 필요성이 제기되고 있다.

행정안전부에서 해마다 발간하는 최근 10년('07~'16)의 재해연보(Ministry of Public Safety and Security, 2016)에 의하면 매년 호우, 태풍, 강풍, 대설 풍랑 등 자연재난으로 인하여 많은 피해가 발생하고 있다. 최근 10년 연평균 인명피해(사망·실종)는 16명, 재산피해는 3,596억 원(2016년도 생산자물가지수 환산)에 달한다. 자연재난의 피해규모와 범위를 어느 정도 예측할 수 있다면, 그에 대한 초기 대응이 가능할 것으로 판단된다. 특히, 정책결정자들의 의사결정에 도움을 줄 수 있을 것이며, 비상인력 및 방재자원의 배치, 방재시설 및 취약지역의 점검 등과 같은 대비차원의 효율적인 재난관리가 가능할 것으로 판단된다.

강풍은 기상청의 예측을 통해 강풍 주의보나 경보를 발표하고 있으며, 태풍 발생 시 강풍과 호우를 포괄하여 태풍 주의보나 경보를 발표한다. 특히 태풍 내습 시 순간적으로 발생하는 강한 돌풍(Gust)은 인명과 재산피해를 초래한다. 그럼에도 불구하고 호우 및 태풍피해에 대한 분석 연구는 지속적으로 진행되고 있으나, 강풍에 대한 피해 분석 연구는 낮은 발생 빈도와 피해 규모의 이유로 다른 재해유형에 비해 연구가 부족한 실정이다(Song et al., 2016). 반면 미국 연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency, FEMA)을 비롯한 유럽에서는 태풍과 폭풍 등 강풍에 의한 피해규모를 예측하여 기상예보 및 사전방재활동에 적용하고 있으며, 재해보험과 복구 및 재해 예산 편성에 적용하고 있다(Heneka et al., 2008; Heneka et al., 2006; Klawa et al., 2003). 강풍에 관련된 연구동향은 다음과 같다.

Seo(2004)는 2003년 발생한 태풍 매미(Maemi)에 대해서 연안지역에 발생한 피해들을 강우 및 강풍피해로 나누어 정리하여 재해특성을 분석하고, 태풍피해를 줄이고자 대책 및 개선방안에 대하여 제안한 바 있다. 그리고 Kim et al.(2006)은 태풍시기 강풍의 극값과 피해현황, 그리고 주요 강풍발생지역의 강풍발생특성을 파악하여 건축물이나 구조물의 건설시 참고자료로 활용할 수 있도록 제시하였다. 또한, Cho et al.(2006)은 강풍으로 인한 고층아파트의 외장재 파손에 대한 연구에서 태풍에 의한 외장재 파손이 극렬하게 일어난 부산의 한 고층아파트 단지를 대상으로 풍동 실험을 하여, 강풍이 아파트 외장재를 파괴하는 정도를 분석한 바 있다.

Park et al.(2008)은 태풍의 접근 시 재해 예방에 이용될 재해예측모형을 개발하기 위한 초기 연구로 Franklin et al.(2003)의 연구에 따라 태풍에 의한 바람을 이용하여 10 m 고도의 지상풍을 추정하는 방법을 태풍 루사(Rusa)를 사례로 적용하였다. Kim(2013)은 3-second gust에 따른 한국형 Risk Assessment Model를 활용하여 행정구역별 주택 한 채의 피해액 경향을 추정 한 결과, 돌풍의 강도나 진로에 관계없이 각 시·군·구별 가구수의 분포와 비슷한 경향을 보였다. 그리고 Lee(2013)은 엑셀의 회귀분석을 활용하여 여러 형태의 피해규모 예측모형을 개발했다. 예측모형은 9개의 권역(강원도, 수도권, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 제주도)에 대해 태풍 시 강우량과 풍속에 대한 상관성을 분석하고, 복합특성에 따른 각각의 최적의 상관계수를 산출한 바 있다. 또한 Zhai et al.(2014)는 미국 국립허리케인센터(National Hurricane Center, NHC)의 폭풍 데이터를 기반으로 1988~2012년까지 73개 열대저기압의 바람 속도와 폭풍 크기에 따른 피해를 조사하여 최대풍속과 크기를 고려한

피해액 산정을 위해 폭풍의 진행 속도, 바람의 지속시간, 방향, 강수비율, 강수량과 같이 피해액에 영향을 미치는 요소를 분석하였다.

위와 같이 피해를 저감하기 위한 개선방안 제안, 피해액 경향성 분석, 예측모델 개발 등이 주를 이루었다. 그러나 현재까지 국내에서는 강풍을 대상으로 재해통계자료를 활용하여 재난으로 인한 피해를 예측 및 대비하는 연구사례는 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 과거에 발생한 재해 통계자료를 기반으로 예측되는 기상인자와 지역특성을 반영하여 단시간에 피해규모를 예측할 수 있는 강풍피해예측함수를 제안하고자 한다.

연구방법 및 자료수집

연구방법

본 연구에서 제안하는 강풍피해예측함수는 재해연보이력, 피해당시 기상자료 그리고 지역특성을 고려하였다. 기상자료는 기상청에서 관측한 풍속과 기온, 피해이력에 해당하는 통계자료는 재해연보, 그리고 지역특성을 반영하기 위한 요소로는 재해연보 상 수록된 복구비, 인구, 비닐하우스 면적, 농가수 등을 활용하였다.

앞서 언급한 피해이력, 기상관측자료, 지역변수를 데이터베이스로 구축하였으며, 예측함수의 예측력을 평가하기 위해 학습구간과 예측구간으로 구분하였다. 시군구 단위로 함수를 개발하기 위해 피해이력의 부족으로 지역의 군집화를 수행하였다. 학습구간에 해당하는 피해이력을 대상으로 군집지역별 회귀계수를 산정하였으며, 예측구간에 해당하는 피해이력을 가지고 예측력을 평가하였다. 최종적으로 학습구간과 예측구간의 구분 없이 군집지역별 회귀계수를 결정함으로써 강풍피해 예측함수를 개발하였으며, 연구 순서는 Fig. 1과 같다.

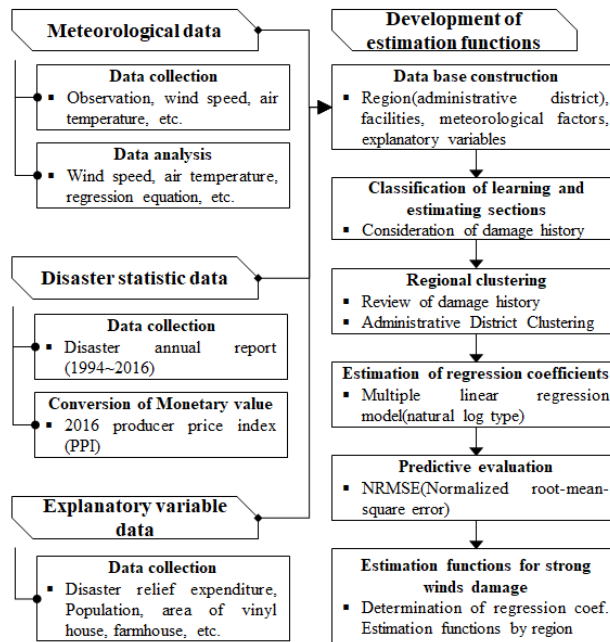


Fig. 1. Research process

자료수집

강풍피해이력

본 연구에서 활용되는 통계자료는 시군구 단위별 피해이력이 수록하기 시작한 1994년부터 2016년까지이다. 강풍피해이력뿐만 아니라 태풍 및 풍랑피해 시 강풍피해를 고려하기 위해 강풍피해 시설물을 정의하였다.

호우로 인한 피해인 침수(농경지, 도시, 건물)와 풍랑으로 인한 피해인 선박, 항만, 어항, 방조제, 사방, 수산증양식, 어망 및 어구는 강풍피해 시설물에서 제외하였다. 즉, 재해연보 상 공공시설 13개와 사유시설 10개 중에서 공공시설 10개(도로, 하천, 소하천, 수도, 학교, 철도, 수리, 군시설, 소규모, 기타), 사유시설 7개(건물, 농경지, 축대 및 담장, 가축, 축사 및 잠사, 비닐하우스, 기타사유시설)를 고려하였다. 이를 고려하여 태풍 피해이력 중 침수피해가 없는 이력과 풍랑 피해이력 중 해안지역(78개 시군구)을 제외한 내륙지역의 피해이력을 추가하였다.

여기서 풍랑이란 해상에서 바람에 의해 일어나는 파도이며, 바람에 따라 미세한 파도가 나타나다가 풍속이 1~2 m/s 이상이 될 때 이때의 파도를 의미한다(Choo et al., 2017b). 따라서 육상에서 발생하는 강풍과 공간적으로 차이가 존재한다.

물가 변동으로 인한 피해액 산정 가치가 해마다 다르기 때문에 특정 기준시기를 정하여 물가차이를 환산할 필요가 있다(Choo et al., 2017a). 따라서 본 연구에서는 한국은행 경제통계시스템의 생산자물가지수를 이용하여 2016년 기준으로 배수를 산정하였고, 1994년부터 2016년까지의 피해액을 Fig. 2와 같이 물가상승배수를 고려하여 환산하였다.

기투자 요소로서 재해연보 상에 수록된 복구비를 본 연구에 반영하였다. 일반적으로 복구비는 재해 발생 후 피해 집계 및 복구 계획을 통해 집행되기 때문에 같은 해에 강풍피해가 여러 번 발생하였더라도 피해발생 및 복구기간을 감안하여 연단위로 합산하였다. 또한 예측 시 복구비를 반영하기 위해 이전 피해사상 시 발생한 연단위 복구비를 현재 시점에 적용하였다. Fig. 3은 경상남도 거창군의 강풍피해이력으로 연단위 복구비가 반영되는 방법을 도시화한 것이다.

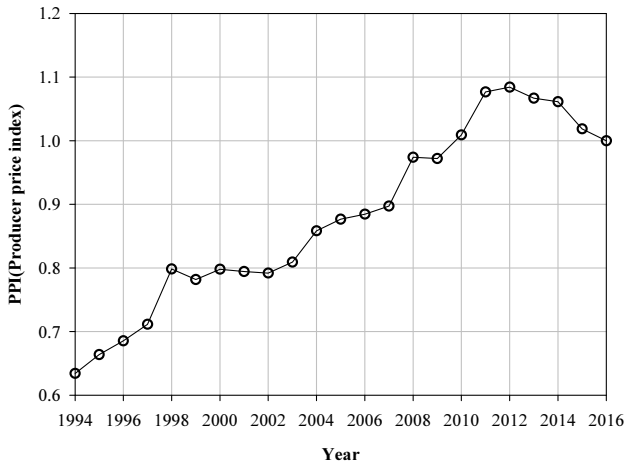


Fig. 2. Producer price index

Region	BEG_DATE	END_DATE	e3	e4
Geochang-gun	2005-09-06	2005-09-18	9.800	0.000
Geochang-gun	2006-04-17	2006-04-21	12.426	9.800
Geochang-gun	2007-03-04	2007-03-08	9.114	12.426
Geochang-gun	2007-09-13	2007-09-18	9.673	12.426
Geochang-gun	2010-09-01	2010-09-03	0.000	18.788
Geochang-gun	2011-08-06	2011-08-10	10.240	0.000
Geochang-gun	2012-04-02	2012-04-04	7.905	10.240
Geochang-gun	2012-08-25	2012-08-30	14.245	10.240
Geochang-gun	Estimation			22.150

Fig. 3. Application of disaster relief fund

기상자료

기상자료는 재해연보 피해이력(1994년부터 2016년까지)을 포함하여 관측개시일이 1994년 이전인 종관기상관측장비

(ASOS : Automated Surface Observing System)로 부터 관측된 자료를 활용하였다. 구축항목은 최대순간풍속, 최대풍속, 평균풍속, 평균기온, 최저기온, 최고기온이며, 1991년부터 2017년까지 일단위로 구축하였다.

여기서, 최대풍속(Maximum wind speed)이란 하루 24시간 중 임의의 10분간의 평균 풍속 중 가장 세게 불었던 풍속을 의미하며, 최대순간풍속(Maximum instantaneous wind speed)은 1일 86,400회 관측된 어느 임의의 한순간(1초 풍속)에 나타난 풍속 자료 중 가장 세게 불었던 풍속을 의미한다.

피해예측함수의 목적은 재난관리(예방-대비-대응-복구) 중 대비차원으로 피해발생이 예상될 때 단시간에 피해규모를 예측하는 것이다. 따라서 피해예측함수에 포함된 기상변수는 예측이 가능한 인자들로 구성되어야 한다.

기상청 동네예보는 3시간 단위로 날씨, 강수확률, 강수량, 기온, 풍속, 습도가 예보되고 있다(Fig. 4). 그러나 최대순간풍속은 예보 되지 않는다. 따라서 기상청 ASOS 지점별 1991년 혹은 관측개시일부터 2017년의 자료를 기반으로 94개의 종관기상관측소 지점의 최대순간풍속과 최대풍속간의 회귀식을 산정하였다(Fig. 5).

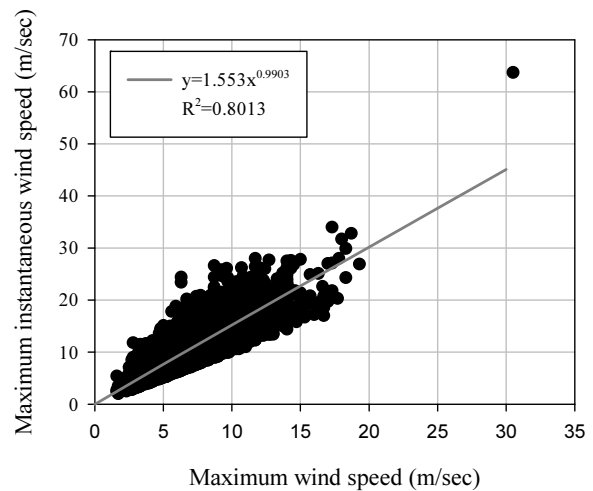
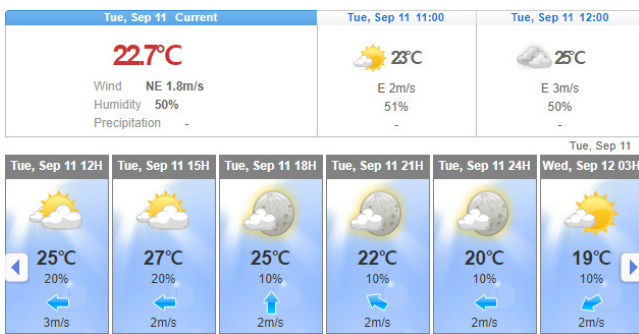


Fig. 4. AKMA region forecast (Sources : <http://www.kma.go.kr/eng/index.jsp>) Fig. 5. Correlation between wind speeds at Sokcho station

여기서, y축은 최대순간풍속, x축은 최대풍속, R2는 결정계수를 나타낸다.

지역특성자료

지역특성을 나타내는 자료는 인구, 가족, 소득과 소비, 노동, 교육, 보건 등 다양하게 조사되었으며, 지역사회지표를 작성하고 있는 광역시도는 모두 1년 주기로 작성하고 있는 것으로 나타났다(Statistics Korea, 2013). 그러나 지역사회지표 작성의 증가 추세는 기초자치단체에서도 나타나고 있어 2005년 이후 지역 사회조사를 작성하는 기초자치단체는 급격히 증가하여 2013년 기준으로 약 40여 개 지역에서 자체적으로 지역사회조사를 작성 하였으며, 점차 증가하는 추세이다.

그러나 본 연구의 시간적 범위는 1994년도부터 2016년까지로 1990년대, 2000년대의 지역사회지표의 미구축으로 다양한 지표를 반영할 수 없다. 따라서 과거 통계자료가 존재하며 강풍피해 시설물과 관련된 지표들을 조사하였다.

재해연보 상 시설물별 강풍피해는 Fig. 6과 같이 비닐하우스(32.55%), 기타사유시설(19.56%), 기타공공시설(16.48%) 순으로 분석되었다. 따라서 1994년부터 연별·지역별(시군구 단위)로 구축된 지역특성자료에 해당하는 인구수, 농가수, 비닐하우스 면적을 본 연구에 반영하였다.

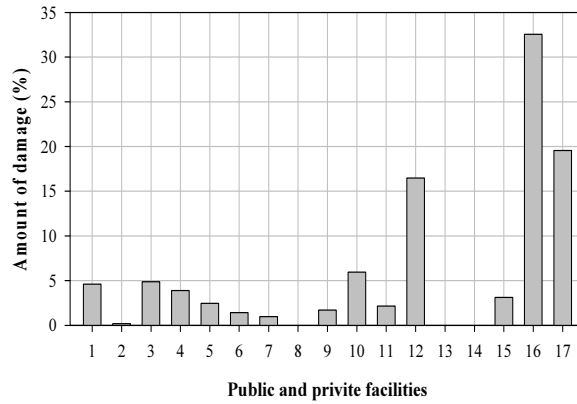


Fig. 6. Amount of damage by facilities

여기서, y축은 강풍피해액(%)을 나타내며, x축은 공공 및 사유시설을 의미한다. 1에서 12까지는 공공시설물로 1은 건물, 2는 농경지, 3은 도로, 4는 하천 및 교량, 5는 소하천, 6은수도, 7은 학교, 8은 철도, 9는 수리시설(하천제방 등), 10은 군시설, 11은 소규모 시설, 12는 기타공공시설이다. 그리고 13에서 17은 사유시설로 13은 축대 및 담장, 14는 가축, 15는 축사 및 잠사, 16은 비닐하우스, 17은 기타사유시설이다.

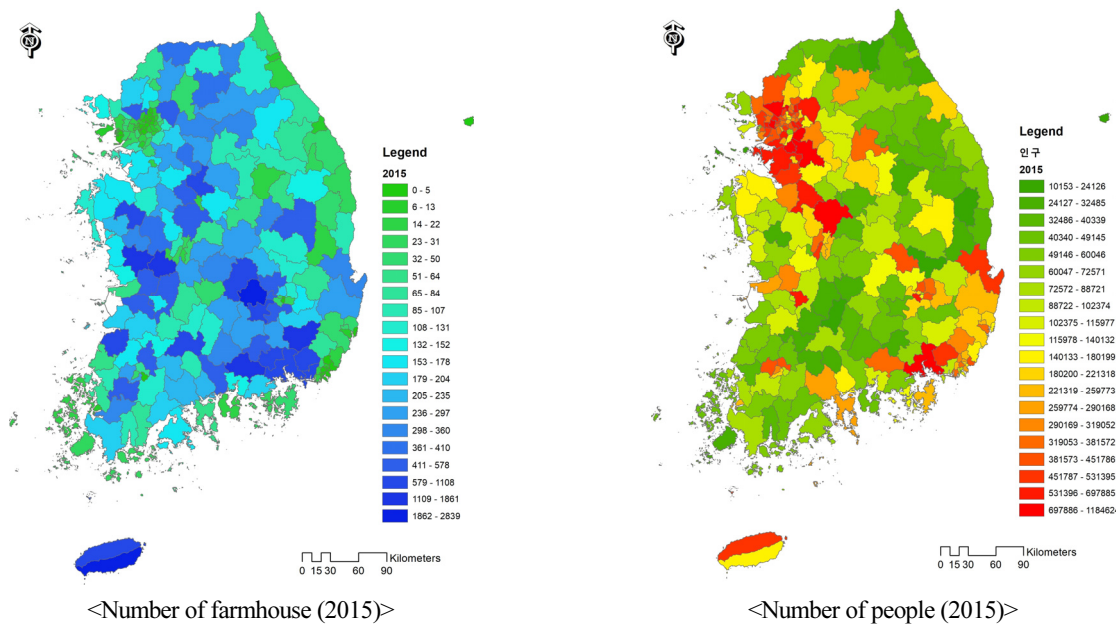


Fig. 7. The number of farmhouse and the number of people per unit of 229 cities, counties and districts, respectively

인구수는 통계청에서 1년 단위로 구축하고 있으며, 2015년 행정단위 기준(229개 시군구 단위)으로 이를 재구축하였다. 그리고 농가수 및 비닐하우스 면적은 5년 단위로 제공하는 있으며, 마찬가지로 시군구 단위별로 농가수 및 비닐하우스 면적을 1995년, 2000년, 2005년, 2010년, 2015년의 자료를 기반으로 구축하였다. Fig. 7은 2015년 229개 시군구 단위별로 각각 농가수(가구)와 인구 수(명)를 나타낸다.

강풍피해예측함수 개발

종속변수와 독립변수

종속변수는 설명이 되는 변수를 의미하며, 독립변수는 설명을 하는 변수를 의미한다. 다시 말해, 독립변수는 종속변수를 설명하기 위해 활용되는 변수를 의미하고 종속변수는 독립변수로 인해 설명이 되는 변수를 뜻한다. 본 연구에서 종속변수는 시군구별 강풍피해액으로 설정하였고, 독립변수는 지역면적, 풍속 및 기온, 복구비, 인구수, 농가수, 비닐하우스 면적으로 설정하였다(Table 1).

Table 1. Variable descriptions

Name	Variable	Remarks
y4	시군구별 강풍 피해액에 자연로그를 취해준 형태	종속변수
area	해당 피해 지역 (시군구) 면적 (km ²)	
w1	최대순간풍속 (m/sec)	
w2	최대풍속 (m/sec)	
w3	평균풍속 (m/sec)	
w4	평균기온 (°C)	
w5	최저기온 (°C)	독립변수
w6	최고기온 (°C)	
e4	ln(연도별 복구비)	
p2	연도별 인구수 (천 명)	
v1	연도별 농가수 (가구)	
v2	연도별 비닐하우스 면적 (ha)	

구간분류 및 군집화

강풍피해예측함수의 예측력을 향상시키기 위해 학습구간과 예측구간으로 구분하였다. 여기서 학습구간은 피해예측 프로토타입을 개발하기 위해 사용되는 피해이력이며, 예측구간은 개발된 함수식의 예측력을 평가하기 위한 피해이력을 의미한다. 각 구간의 분류방법은 Fig. 8과 같이 연도별 강풍피해이력 건수를 분석한 다음 전체 피해건수의 3분의 2를 학습구간, 나머지 3분의 1을 예측구간으로 분류하였다. 1994년부터 2016년까지 시군구 단위의 강풍피해이력은 총 1,286 건으로 1994년부터 2011년까지 861 건(67%), 2012년부터 2016년까지 425 건(33%)로 분석되었다. 따라서 1994년부터 2011년까지를 학습구간으로, 나머지 이력을 예측구간으로 설정하였다.

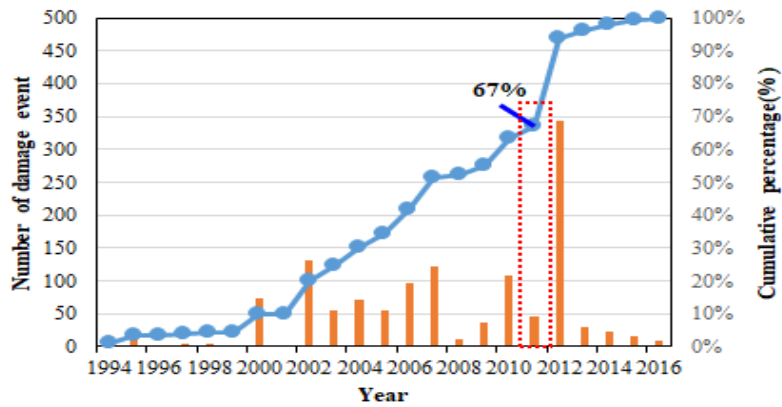


Fig. 8. Analysis of the number of damage events

여기서, 좌측 y축은 연도별 피해이력의 수, 우측 y축은 피해이력의 누적백분율 그리고 x축은 연도를 나타낸다.

군집화는 지역별 피해이력 수와 지리적 위치를 고려하였다. 강원(18개 시군구), 경기(서울, 인천 포함 66개 시군구), 경남(부산, 울산 포함 39개 시군구), 경북(대구 포함 31개 시군구), 전남(광주, 제주 포함 29개 시군구), 전북(14개 시군구), 충남(15개 시군구), 충북(대전, 세종 포함 17개 시군구)의 총 8개 지역으로 구분하였다. Fig. 9는 전국 229개 시군구 단위별로 군집화 현황과 피해이력 수를 나타낸다.

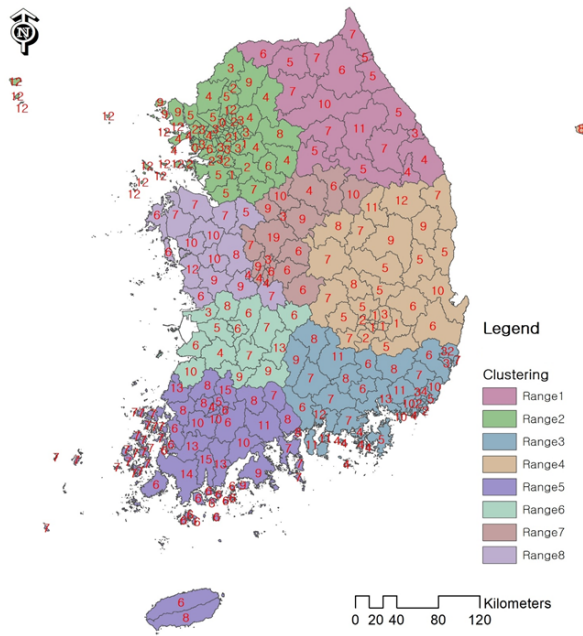


Fig. 9. Clustering result

회귀계수 산정 및 예측력 평가

회귀계수 산정 및 예측력 평가는 앞서 기술한 재해통계이력과 독립변수(기상자료 및 설명변수)가 구축된 다음 군집화 및 구간분류가 선행되어야 한다. 피해예측함수는 Eqs. (1)과 같은 형태로 피해액이 음수로 산정되는 것을 피하기 위해 자연로그 형태의 다중선형회귀모형을 이용하여 회귀계수를 산정하였다. 그리고 예측력 평가는 Eqs. (2)와 같이 NRMSE (Normalized Root Mean Square Error)를 이용하였다. NRMSE는 추정된 함수 모형이 주어진 자료에 예측된 값과 실제 값의 차이를 측정하는 척도로 사용되는 RMSE (Root Mean Square Error)를 관측된 데이터 범위로 정규화 한 것이다.

$$LN(y) = a + bx_1 + cx_2 + \dots \tag{1}$$

$$NRMSE = \frac{SE}{X_{obs,max} - X_{obs,min}} \tag{2}$$

여기서, $X_{obs,max}$ 은 최대 관측된 값, $X_{obs,min}$ 은 최소 관측된 값을 말한다.

Table 2와 Table 3은 전 지역의 회귀계수 산정결과이며, 예측력 평가결과 NRMSE는 8.4615%로 분석되었다. 따라서 Eqs. (1)을 피해예측함수의 프로토타입으로 결정하였다.

Table 2. Results of regression constants |

Division	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
y-intercept	8.3603	9.4570	12.3734	10.5491
w1	0.0201	0.0323	0.0066	
w2	-0.3727	-0.1473	0.0109	
w3	1.0779	0.2969	-0.2713	
w4	0.1579	0.0617	0.2393	
w5	-0.0485	-0.0409	-0.1444	
w6	-0.0044	0.0103	-0.1334	0.0553
e4	0.0711	0.0060	-0.0005	
p2	-0.0020	0.0017	0.0003	
v1	-0.0003	-0.0002	0.0000	
v2	-0.0072	-0.0016	-0.0001	
area	0.0009	-0.0003	-0.0008	

Table 3. Results of regression constants II

Division	Class 5	Class 6	Class 7	Class 8
y-intercept	9.5000	11.9412	9.8577	10.0818
w1	-0.0005	0.0933	0.1137	
w2	-0.0771	-0.0275	-0.0778	
w3	0.1951	-0.3472	-0.3896	
w4	-0.1315	0.2677	0.0563	
w5	0.1185	-0.0581	-0.0606	
w6	0.0369	-0.2784	0.0074	0.0033
e4	0.0584	0.0130	0.0363	
p2	0.0025	0.0002	0.0008	
v1	-0.0003	-0.0004	0.0001	
v2	-0.0001	0.0006	-0.0033	
area	0.0004	0.0024	0.0002	

강풍피해예측함수 개발

본 절에서는 학습구간과 예측구간을 구분하지 않고 최종 회귀계수를 결정하여 경상지역의 시군구 단위별 바람(강풍) 피해예측함수를 개발하였다. 경상도 지역은 경남, 경북, 부산, 대구, 울산으로 총 70개 시군구로 구성되었으며, 앞서 산정한 프로토타입 중 다음 Fig. 10, Fig. 11은 Class3과 Class4가 이에 해당된다. 시군구별 피해이력수를 고려하여 기존 2개의 군집지역을 48개로 세분화하였다.

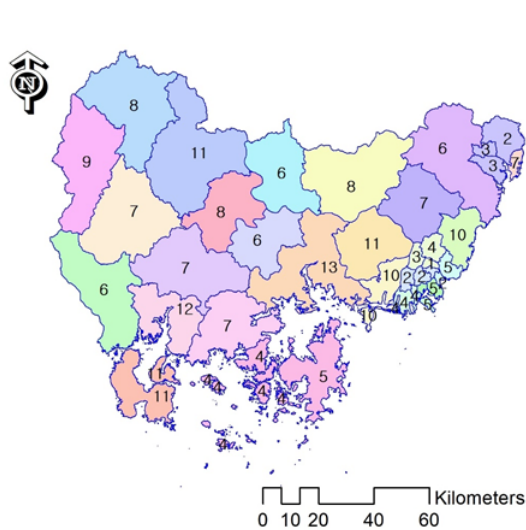


Fig. 10. Class 3

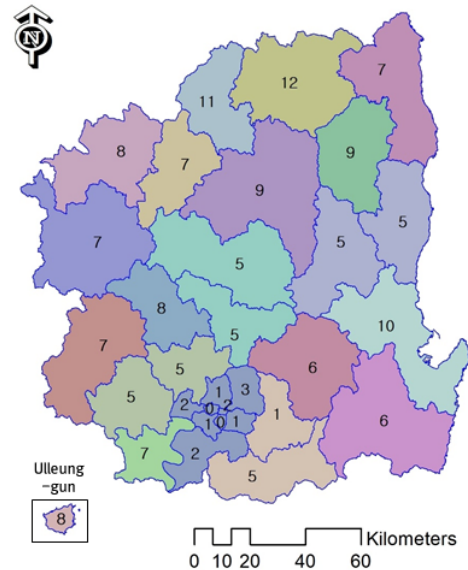


Fig. 11. Class 4

실제피해액과 산정피해액의 NRMSE는 4.7286%로 분석되었으며, 강풍피해예측함수를 시군구 단위별로 보면, 경상남도 고성군과 울산광역시 동구의 결정계수는 각각 0.9349, 0.9962로 분석되었다(Fig. 12, Fig. 13).

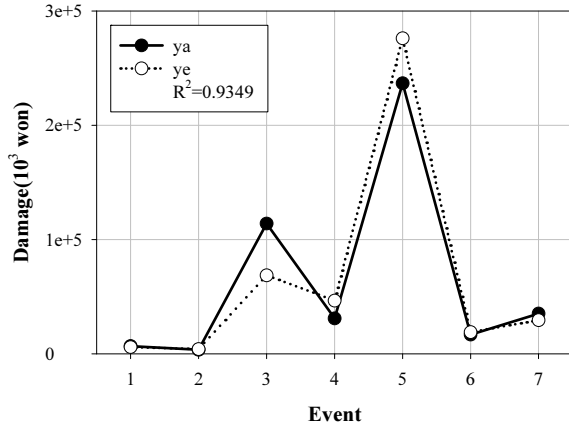


Fig. 12. Goseong-gun, Gyeongsangnam-do

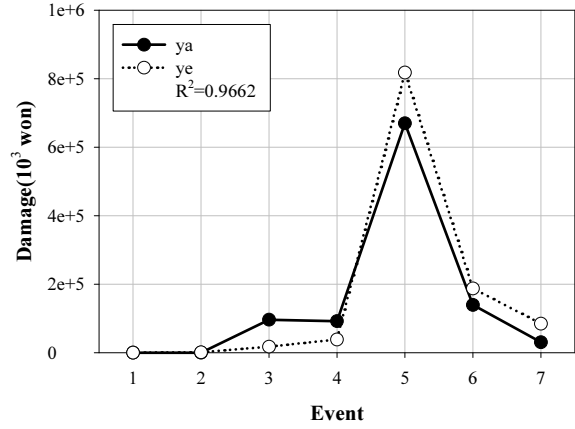


Fig. 13. Dong-gu, Ulsan

여기서 x축은 피해사상, y축은 피해액, ya는 실제피해액, ye는 예측피해액, R2는 결정계수를 나타낸다.

최종적으로 도출된 피해예측함수식은 Table 4와 Table 5에 요약하였으며, 함수식의 형태는 Eqs. (3)과 같다. 그리고 ‘area’ 회귀계수는 해당 지자체의 면적을 곱하여 y절편(a)으로 상수화하였다.

$$LN(y) = a + bw1 + cw2 + dw3 + ew4 + fw5 + gw6 + he4 + ip2 + jv1 + kv2 \tag{3}$$

Table 4. Results of estimation functions for strong winds damage | (Class 3)

Division	1	2	3	4
y-intercept	16.7910	47.7305	19.2672	41.0540
w1	0.0275	-0.1243	-0.1358	-0.0458
w2	-0.1142	0.5166	0.5647	0.1905
w3	-0.9012	-4.2895	-0.3017	-3.3901
w4	-0.0933	0.6936	1.2084	0.1426
w5	0.1066	-0.4823	-0.5272	-0.1779
w6	0.1514	-0.6849	-0.7487	-0.2526
e4	0.0851	0.4241	0.0941	0.1889
p2	-0.0261	0.1180	0.1290	0.0435
v1	-0.0112	-0.0404	-0.0801	-0.0039
v2	0.0022	-0.0101	-0.0110	-0.0037
R²	0.9946	0.9349	0.7624	0.9375

여기서, 1은 거창군, 2는 고성군, 3은 남해군, 4는 밀양시, R2는 결정계수를 나타낸다.

Table 5. Results of estimation functions for strong winds damage II (Class 4)

Division	5	6	7	8
y-intercept	41.6358	30.8995	31.3214	-7.3256
w1	0.2368	0.2840	-0.8182	-0.1711
w2	-1.0496	-1.2585	3.6257	0.7584
w3	1.4327	2.4203	-25.6149	-1.0473
w4	2.2651	2.9955	-9.6100	-1.8063
w5	-0.8060	-0.9665	2.7845	0.5824
w6	-1.8364	-2.2021	6.3440	1.3270
e4	0.1044	0.2411	-0.8417	0.1755
p2	-0.1069	-0.1282	0.3693	0.0772
v1	-0.0050	0.0005	-0.0100	0.0007
v2	-0.0003	-0.0004	0.0012	0.0002
R²	0.9340	0.8833	0.9775	0.9154

여기서, 5는 상주시, 6은 영덕군 7은 예천군, 8은 의성군, R2는 결정계수를 나타낸다. 그리고 w1은 최대순간풍속, w2는 최대풍속, w3은 평균풍속, w4는 평균기온, w5는 최저기온, w6은 최고기온, e4는 복구비, p2는 인구, v1은 농가수, v2는 비닐하우스 면적이다.

Table 4와 Table 5에 제시한 결과는 비교적 실제피해액과 예측피해액이 잘 맞는 결과에 해당되며, 그밖에 경상남도 거제시의 경우 결정계수는 0.2276, 경상북도 봉화군은 0.6787, 경상북도 영양군은 0.346 등으로 통계이력과 기상조건에 따라 시군구별 결과는 상이한 것으로 분석되었다.

결론 및 고찰

본 연구에서는 재해통계자료를 기반으로 지역특성을 반영하여 단시간에 피해규모를 예측할 수 있는 강풍피해예측함수를 개발하였다. 재해연보상 강풍피해는 호우피해와 달리 피해이력이 많지 않기 때문에 태풍(침수가 발생하지 않은 사상) 및 풍랑(내륙지역 피해)피해 시 강풍피해이력을 추가하였다. 또한 지역특성을 반영하기 위해 연도별 복구비, 인구, 농가수, 비닐하우스 면적, 기상관측자료를 활용하였다. 전국을 8개 지역으로 군집화 한 다음 예측력 평가를 실시하여 프로토타입을 결정하였으며, 경상지역을 대상으로 군집세분화를 통해 시군구 단위별 강풍피해예측함수를 산정하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구에서 개발한 강풍피해예측함수식을 통해 어느 정도 피해규모를 예측하는데 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, 강풍피해예측함수는 기상청 동네예보의 예측되는 기상인자(w1 ~ w6)를 함수식에 적용하여 단시간에 그 피해규모의 예측이 가능하다.

셋째, 본 연구에서 제안한 방법론을 기반으로 시군구 단위의 피해이력이 지속적으로 추가된다면 신뢰도 높은 피해예측함

수를 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 경상지역뿐만 아니라 전국을 대상으로 피해예측함수의 고도화를 통해 국가수문기상 재난안전 공동활용 시스템의 ‘풍수해피해예측시스템’에 탑재될 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 행정안전부 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(MOIS-재난-2015-05)

References

- [1] Cho, K.P., Hong, S.I. (2006). “Wind damages of claddings of high-rise apartment building under strong wind.” *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 22, No. 2, pp. 43-50.
- [2] Choo, T.H., Kwak, K.S., Ahn, S.H., Yang, D.U., Son, J.K. (2017a). “Development for the function of Wind wave damage estimation at the western coastal zone based on disaster statistics.” *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 18, No. 2, pp. 14-22.
- [3] Choo, T.H., Yun, G.S., Kwon, Y.B., Park, S.J., Kim, S.R. (2017b). “Proposal for wind wave damage cost estimation at the southern coastal zone based on disaster statistics.” *Journal of the Korea Contents Association*, Vol. 17, No. 4, pp. 267-274.
- [4] Franklin, J.L., Black, M.L., Valde, K. (2003). “GPS dropwindsonde wind profiles in hurricanes and their operational implications.” *Weather and Forecasting*, Vol. 18, No. 1, pp. 32-44.
- [5] Heneka, P., Hofherr, T., Ruck, B., Kottmeier, C. (2006). “Winter storm risk of residential structures? model development and application to the German state of Baden-Württemberg.” *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 6, No. 5, pp. 721-733.
- [6] Heneka, P., Ruck, B. (2008). “A damage model for the assessment of storm damage to buildings.” *Engineering Structures*, Vol. 30, No. 12, pp. 3603-3609.
- [7] Kim, B.J., Kim, H.K., Lee, S.L., Yoo, J.E. (2006). “On the characteristics of the damage and occurrence of high winds in Korea.” *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, Vol. 18, No. 3, pp. 79-86.
- [8] Kim, J.S. (2013). On the Characteristics of Damage Scale and Risk Management System by Strong Wind Speed of Typhoon. Master’s thesis of Inje University.
- [9] Klawa, M., Ulbrich, U. (2003). “A model for the estimation of storm losses and the identification of severe winter storms in Germany.” *Natural Hazards and Earth System Science*, Vol. 3, No. 6, pp. 725-732.
- [10] Lee, S.I. (2013). Study on Damage Scale Prediction by Rainfall and Wind Velocity with Typhoon. Master’s thesis of Suncheon University.
- [11] Ministry of Public Safety and Security (2016). The 2016 Annual Natural Disaster Report.
- [12] National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2015). Global Analysis.
- [13] 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 Environmental Science International*, Vol. 17, No. 2, pp. 195-201.
- [14] Seo, K.W. (2004). “Disaster characteristics analysis at Busan coastal areas by typhoon Maemi in 2003.” *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 25-32.
- [15] Song, C.Y., Yang, B.S. (2016). “Gale disaster damage investigation process provement plan according to correlation

analysis between wind speed and damage cost -Centering on disaster year book-.” Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 31, No. 2, pp. 119-126.

[16] Statistics Korea (2013). Manual of community indicators.

[17] Zhai, A.R., Jiang, J.H. (2014). “Dependence of US hurricane economic loss on maximum wind speed and storm size.” Environmental Research Letters, Vol. 9, No. 6, 064019.