



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0133252
(43) 공개일자 2024년09월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G06Q 50/26 (2024.01) G06F 17/10 (2006.01)
G06Q 10/04 (2023.01) G06Q 50/10 (2012.01)
(52) CPC특허분류
G06Q 50/26 (2024.01)
G01W 1/10 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0026977
(22) 출원일자 2023년02월28일
심사청구일자 2023년02월28일

(71) 출원인
인제대학교 산학협력단
경남 김해시 인제로 197, 내 (어방동, 인제대학교)
(72) 발명자
정우식
부산광역시 북구 화명대로12번길 60(화명동)
나하나
경상남도 김해시 인제로188번길 3-10, 305호(어방동)
(74) 대리인
오위환, 정기택

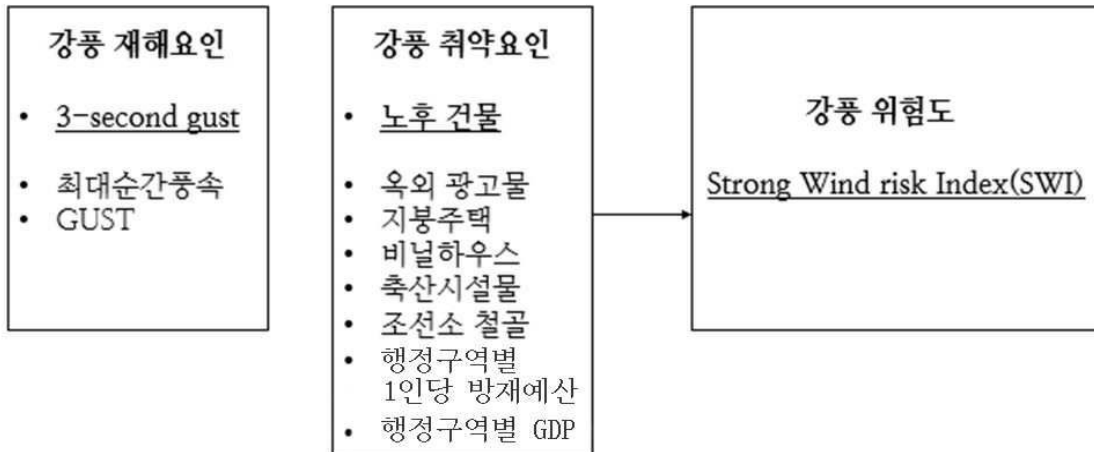
전체 청구항 수 : 총 18 항

(54) 발명의 명칭 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법

(57) 요약

본 발명은 태풍에 동반된 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며 복합기상재해의 효율적인 사전방재가 가능하도록 한 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법에 관한 것으로, 실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리부; 행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리부; 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수를 산출하는 강풍위험지수 산출부;를 포함하는 것이다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06F 17/10 (2013.01)

G06Q 10/04 (2023.01)

G06Q 50/10 (2015.01)

G01W 2201/00 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711169411
과제번호	2020R1F1A1068738
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	한반도 영향태풍 맞춤형 통합정보기반 다중규모 강풍피해사전방제시스템 구축 및 현
장적용화	
기여율	1/1
과제수행기관명	인제대학교 산학협력단
연구기간	2020.06.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)에서 강풍위험 지수에 기반한 의사결정지원 기상정보를 출력하기 위하여 적어도 하나의 프로세서를 포함하는 전자 장치가,

실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리부;

행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리부;

태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수를 산출하는 강풍위험지수 산출부;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)은 기상수치모델링을 위하여, WRF(Weather Research and Forecasting Model)을 사용하고,

WRF 수치모델링을 수행할 때 기상청에서 제공하고 있는 RDAPS(Regional Data Assimilation and Prediction System) 자료 및 GDAPS(Global Data Assimilation and Prediction System) 자료를 사용하고,

예측 정확도를 높이기 위한 추가 WRF 수치모델링시에는 GFS(Global Forecast System) 자료를 사용하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 강풍 재해요인 처리부는 최대순간풍속(3-second gust)을 산출하기 위하여,

지상 10m 고도에서 발생하는 3초 동안의 평균 풍속인 태풍 시기 순간최대풍속인 3초 gust에 의해 발생할 수 있는 주택에 대한 피해액을 추정하는 모형으로 RAM(Risk Assessment prediction Model)을 사용하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 강풍 재해요인 처리부는,

한반도 영향 태풍의 연직 구조에서 나타나는 특징을 보완하고, 강한 풍속이 나타나는 태풍 중심 근처에서의 정확한 풍속 예측을 위해, 700hPa 고도의 풍속으로 300m 고도의 풍속을 산정한 후 지표면의 거칠기를 적용하여 지상풍을 산정하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 5

제 3 항에 있어서, 최대순간풍속(3-second gust)이 위치와 태풍의 최대풍속반경(Radius of Maximum Windspeed, RMW)에 따라 다르게 나타나는 것을 해결하기 위하여,

RMW에 따른 구간별 조정함수(Adjustment Function, Adj)를 적용하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 태풍의 RMW를 도출하기 위하여,

$$\ln R_{\max} = 2.556 - 0.000050255 \Delta p^2 + 0.042243032 \Psi$$

으로 계산하고,

여기서, R_{\max} 는 최대풍속반경, $\Delta p(hPa)$ 는 태풍 중심기압과 주변 기압의 차이, $\Psi(^{\circ})$ 는 태풍 중심의 위도인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 7

제 6 항에 있어서, RMW에 따른 구간별 조정함수를 지점 간의 거리에 따라 각각 구역별로,

$$Adj(r) = 1.25 - \frac{0.2}{14.8km} (r - (R_{\max} - 7.4km))$$

$$Adj(r) = 1.05 - \frac{0.05}{30km} (r - (R_{\max} + 7.4km))$$

으로 산정하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 8

제 7 항에 있어서, 300m 고도의 풍속(m/s) (U_{300})을,

$$U_{300} = U_{700} \times Adj(r)$$

으로 산출하고.

여기서, U_{700} 은 700hPa 고도의 풍속(m/s) 이고, 700hPa 고도의 풍속에서 추정된 300m 고도 풍속을 개방형 지형에서의 10m 고도 풍속(V_o)으로 추정하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 10m 고도 풍속(V_o)은,

$$V_o = U_{300} \frac{\ln(10/Z_{oo})}{\ln(300/Z_{oo})}$$

으로 산출하고,

여기서, V_o 는 개방형 지형에서의 10m 고도 풍속, U_{300} 은 300m 고도의 풍속, Z_{oo} 는 개방형 지형에서의 거칠기 길이인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 개방형 지형에서의 마찰속도(U_o^*), 실제 지형에서의 마찰속도(U_a^*)를,

$$U_o^* = V_o \times \frac{0.4}{[\ln(10.0/0.03)]}$$

$$U_a^* = \frac{U_o^*}{[Z_{oo}/Z_{oa}]^{0.0706}}$$

으로, 계산한 후,

$V_a = (U_a^*/0.4)(\ln(10/Z_{oa}))$ 으로 실제 지형에서의 10m 고도의 풍속으로 산정하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 태풍 영향 시기에 발생 가능한 최대풍속(3-second gust)을 산정하기 위해 태풍 시기 실제 지형에서의 10m 고도의 풍속에 gust factor를 적용하고,

$$u^* = \frac{0.4 V_a}{\ln\left(\frac{10}{Z_{oa}}\right)}$$

마찰속도(u^*)를 으로 계산한 후,

$$\eta = 1 - 6f\left(\frac{10}{u^*}\right)$$

에 대입하여 10m 고도를 기준으로 고도 조정계수(η)를 이용하여 gust factor를 구하고,

u^* 은 마찰속도이고, f 는 코리올리 계수, η 는 고도 조정계수인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 계산된 마찰속도와 10m 고도 조정계수를 이용하여 풍속에 대한 표준편차를,

$$\sigma_u(z) = \frac{7.5 \eta u^* \left(0.09 \ln\left(\frac{10}{Z_{oa}}\right) + 0.583\right)^{\eta^{16}}}{\left(1 + 0.156 \ln\left(\frac{u^*}{f \cdot Z_{oa}}\right)\right)}$$

으로 구하고,

풍속에 대한 표준편차를 이용하여 3초에 대한 표준편차를,

$$\sigma(z, 3) = \sigma_u(z) \left(1 - 0.193 \left(\frac{I_t}{3} + 0.1\right)\right)^{-0.68}$$

으로 구하고,

$\sigma_u(z)$ 는 풍속에 대한 표준편차이고, $\sigma(z, 3)$ 는 3초에 대한 풍속의 표준편차, I_t 는 시간매개변수(integral scale time parameter)로서 10m 고도에서는 4.96으로 주어지는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 3초 바람에 대한 peak factor를 계산하기 위하여 바람 변동 주기율을,

$$Cr = \frac{0.0007 + 0.213 \left(\frac{I_t}{3}\right)^{0.654}}{I_t}$$

으로 산정하고,

산정된 바람 변동 주기율과 풍속에 대한 표준편차, 3초에 대한 표준편차를

$$P_f(3) = \left[\sqrt{2 \ln(600Cr)} + \frac{0.557}{\sqrt{2 \ln(600Cr)}} \right] \frac{\sigma_u(z, 3)}{\sigma_u(z)}$$

대입하여

peak factor를 산정하고,

여기서, Cr은 바람변동 주기율이고, $P_f(3)$ 는 3초 주기의 peak factor인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 14

제 13 항에 있어서, Gust factor를 구하기 위하여,

$$T_{il} = \frac{\sigma_u(z)}{U_h}$$

경도 난류 강도(T_{il})를 U_h 으로 구하고,

여기서, T_{il} 는 경도 난류 강도이고, U_h 는 10m 고도에서의 풍속인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 15

제 14 항에 있어서, peak factor와 경도 난류 강도를 이용하여

$$G_{10min,3} = 1 + T_{il} P_f(3)$$

gust factor를 계산하고,

3초 gust(V_3)는 실제 지형에서의 10m 고도 풍속(V_a)에 gust factor를 고려하여 $V_3 = V_a \times G_{10min,3}$ 으로 산정하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 16

제 1 항에 있어서, 강풍위험지수 산출부는,

태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여

$$SWI = 3s\ gust \times \frac{B}{\bar{B}}$$

으로 강풍위험지수(Strong Wind risk Index SWI)를 산정하고,

여기서, $3s\ gust$ 는 발생 가능한 최대순간풍속, B 는 행정구역별 노후 건축물 수, \bar{B} 는 행정구역별 전체건물 수인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템.

청구항 17

의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)에서 강풍위험 지수에 기반한 의사결정지원 기상정보를 출력하기 위하여 적어도 하나의 프로세서를 포함하는 전자 장치에서 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출을 위한 동작이 수행되고,

실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리 단계;

행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리 단계;

태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수

를 산출하는 강풍위험지수 산출 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서, 강풍위험지수 산출 단계에서,

태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여

$$SWI = 3s\text{ gust} \times \frac{B}{\bar{B}}$$

으로 강풍위험지수(Strong Wind risk Index SWI)를 산정하고,

여기서, $3s\text{ gust}$ 는 발생 가능한 최대순간풍속, B 는 행정구역별 노후 건축물 수, \bar{B} 는 행정구역별 전체건물 수인 것을 특징으로 하는 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 방법.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 복합기상재해의 사전방재에 관한 것으로, 구체적으로 태풍에 동반된 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며 복합기상재해의 효율적인 사전방재가 가능하도록 한 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0002] 한반도 영향 태풍의 빈도와 강도 모두 급격히 증가하고 있으며, 그로 인해 막대한 피해가 발생하고 있다.
- [0003] 특히, 한반도 영향 태풍이 발생하고 성장하는 서태평양과 한반도 주변 해수역의 해수온이 전 세계 평균 해수온 증가율보다 빠른 속도로 증가하면서 한반도에 영향을 미치는 태풍의 강도가 점차 강해지고 있다.
- [0004] 태풍으로 유발되는 기상재해는 강풍, 호우, 해일 등의 단일 현상으로서의 기상재해가 아닌 지역 곳곳에서 동시에 발적으로 발생할 수 있는 기상재해의 성격이 강하므로 단순한 단일기상재해로의 접근이 아닌 복합기상재해로서의 사전대비 및 평가가 요구된다.
- [0005] 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에서는 증가하는 기상재해로 인한 피해를 줄이기 위하여 '영향예보'에 대한 지침을 구축하고, 기상 영향예보를 권고하고 있다.
- [0006] 이에 미국 기상청(National Weather Service, NWS)의 영향기반 의사결정 지원 기상정보 서비스 Weather-Ready Nation(WRN) 패러다임 전환을 선언하였고, 실제 기후변화에서 기후위기의 시대에 접어들어, 태풍에 대한 영향예보를 권고하고 있다.
- [0007] 이와 같이 국제사회에서는 지구의 기후가 '변화'하는 수준을 넘어, '위기' 상황에 놓여 있으며, 그 위험성을 좀더 직관적이고, 확실하게 표현해야 한다는 취지에서 기후 변화가 아닌 기후위기라는 용어를 사용해야 한다는 목소리가 높아지고 있다.
- [0008] 기후변화란 인간 활동으로 인해 온실가스의 농도가 변함으로써 상당 기간 관찰되어 온 자연적인 기후변동에 추가로 일어나는 기후체계의 변화를 의미하며, 기후 위기란 기후변화가 극단적인 날씨뿐만 아니라 물 부족, 식량 부족, 해수면 상승 등 인류 문명에 회복할 수 없는 위험을 초래하는 것을 의미한다.
- [0009] 전 세계는 기후변화가 심각해져, 이미 회복 불가능한 위험에 놓여있다고 평가하고 있다.
- [0010] 기후변화의 잠재적 환경 영향 및 사회경제적 영향에 대한 현재 지식수준의 포괄적 평가를 세계에 제공하고자 유엔환경프로그램(UN Environment Program, UNEP)과 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에 의해 설립된 국가 간 기후변화 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화에 대한 이해, 원인, 잠재적 영향력, 대응 방안 등을 다루는 평가보고서를 발간하고 있다.
- [0011] IPCC에서 가장 최근 발간된 제6차 보고서(2022)에 따르면 전 세계는 이미 지구온난화로 인해 기후변화가 초래되었으며, 명백한 인류의 영향임을 밝혔고 세계 모든 지역에서 기후 이변이 발생하고 있으며, 앞으로 광범위한 혼

란을 초래할 수 있을 것이라 하였다. 또한, 기후변화에 적응하기 위한 인류의 노력에도 불구하고, 인간이 초래한 기후변화는 자연과 인간의 삶에 광범위한 손실과 피해를 주고 있으며, 대응 한계를 넘어서 일부의 변화는 이미 돌이키기 어렵다고 결론지었다.

- [0012] 특히, WMO가 공개한 '글로벌 기후 현황 보고서(2021)'에 따르면 온실가스 농도, 해수면 상승, 해수 온도 증가, 해양 산성도 등이 지난해 최고치를 기록하며, 2020년 이후의 기후변화는 역대 최악의 값을 기록하였으며, 이는 시작에 불과할 것이라 경고하고 있다. 특히, 이산화탄소 농도가 산업화(1850~1900년)가 일어나기 이전과 비교하여, 2020년 413.2ppm으로 이전보다 149%에 이르는 수준으로 과거의 예측보다 더 빠르게 진행되고 있으며, 빠른 기후변화로 인해 전 세계적으로 자연재해의 급격한 변화가 이루어 지고 있다고 밝혔다.
- [0013] 특히, 최근 30년간(1970~2019년) 전 세계 자연재해의 피해자료를 분석한 결과, 태풍은 가뭄(65만 명)에 뒤이어 57만 7,232명의 인명피해로 전체 자연재해 중에서 상위 2순위로 기록되었으며, 재산피해는 약 5,210억 달러로, 전체 자연재해 중에서 가장 큰 피해를 유발한 것으로 나타났다.
- [0014] WMO는 그 원인으로 다양한 기상재해 중에서 태풍을 포함한 열대저기압이 홍수, 강풍 등의 복합기상재해를 동반하므로 가장 큰 경제적 손실이 나타난다고 하였다. 이를 바탕으로 IPCC(2021)는 전 세계에 '한 가지 기상 현상의 피해가 아닌 여러 가지 기상 현상을 동시에 당하게 될 것'이라 경고하였다.
- [0015] 이러한 지적에 기반하여, 세계 여러나라에서는 태풍을 포함한 열대성 저기압을 단일기상재해가 아닌 복합기상재해로 다루고 있다.
- [0016] 즉, 전 세계 여러 국가에서는 'Multi-Hazard' 라는 키워드로 열대성 저기압에 동반된 다중재해 혹은 복합기상재해의 위험을 평가하는 연구를 수행하고 있는데, 특히, 베트남, 호주, 미국, 중국, 대만, 일본 등의 나라에서는 태풍에 동반된 강풍, 호우, 폭풍해일, 산사태 등의 복합기상재해를 대상으로 지역별 위험 예측연구뿐만 아니라, 실제 현업에도 활용하고 있다.
- [0017] WMO(2010)에서는 날씨를 예측하는 예보 정확도가 매우 향상되었음에도, 복잡적이고 대형화되는 기상재해로 증가하는 피해를 줄이기 위하여 기상 현상 중심의 정보를 제공하는 '기상 현상예보'에서 기상 현상과 더불어 날씨와 취약요인으로 인해 예상되는 사회경제적 영향을 개인의 수준에서 활용할 수 있도록 함께 제공하는 '기상 영향예보'로의 변화를 권고하고 있다.
- [0018] 이에 세계 각국에서는 기상 영향예보의 도입을 적극적으로 추진하고 있으며, 현업에 활용하고 있다.
- [0019] 그러나 이러한 노력에도 불구하고, 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 위험도의 정밀한 산출에 어려움이 있어 기후위기 시대에 개인 또는 지자체 수준에서의 활용 가능성을 목적으로 상세 지역별 특성이 고려된 시스템을 구축하는데 한계가 있다.
- [0020] 특히, 국내에서는 태풍의 위험도를 산출하여 제공하지만, 단일 기상재해에 대한 정보만이 제공되고 있다. 하지만 태풍이라는 종관학적 기상현상의 영향으로는 강풍, 호우, 해일, 고농도 대기오염과 같은 복합기상재해가 발생하여 복합기상재해에 대한 위험도가 필요하다.
- [0021] 현재의 태풍 위험도 제시에 관련된 프로그램과 기술에서는 진로예측과 기상학적 규모만 고려한 위험을 제시하기 때문에 복합기상재해 방재 활동에 활용할 수 없다는 제한이 있다.
- [0022] 따라서, 기후위기 시대에 필요한 태풍 영향예보의 기반을 구축하기 위하여, 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 위험도를 정밀하게 산출하여 태풍에 동반된 복합기상재해의 효율적인 사전방제가 가능하도록 하는 새로운 기술의 개발이 요구되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0023] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 제10-1230012호
- (특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 제10-1624858호
- (특허문헌 0003) 대한민국 공개특허 제10-2011-0136255호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0024] 본 발명은 종래 기술의 복합기상재해 사전방재 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 태풍에 동반된 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며 복합기상재해의 효율적인 사전방재가 가능하도록 한 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0025] 본 발명은 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며, 개인 또는 지자체 수준에서의 활용 가능성을 높일 수 있도록 한 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0026] 본 발명은 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출하여 기후위기 시대에 필요한 태풍 영향예보의 기반을 효율적으로 구축할 수 있도록 한 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0027] 본 발명은 강풍 위험도 산출시에 강풍 재해요인(3-second gust, 최대순간풍속, GUST)과 강풍 취약 요인(노후 건물, 옥외광고물, 지붕주택, 비닐하우스, 축산시설물, 조선소철골, 행정구역별 1인당 방재예산, 행정구역별 GDP)을 고려하여 강풍 위험도(SWI)를 산출하여 효과적인 방재정보를 제공할 수 있도록 한 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.
- [0028] 본 발명의 다른 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0029] 상기와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템은 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)에서 강풍위험 지수에 기반한 의사결정지원 기상정보를 출력하기 위하여 적어도 하나의 프로세서를 포함하는 전자 장치가, 실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리부; 행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리부; 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수를 산출하는 강풍위험지수 산출부;를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0030] 다른 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 방법은 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)에서 강풍위험 지수에 기반한 의사결정지원 기상정보를 출력하기 위하여 적어도 하나의 프로세서를 포함하는 전자 장치에서 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출을 위한 동작이 수행되고, 실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리 단계; 행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정 구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리 단계; 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수를 산출하는 강풍위험지수 산출 단계;를 포함하는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

- [0031] 이상에서 설명한 바와 같은 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법은 다음과 같은 효과가 있다.
- [0032] 첫째, 태풍에 동반된 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며 복합기상재해의 효율적인 사전방재가 가능하도록 한다.
- [0033] 둘째, 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며, 개인 또는 지자체 수준에서의 활용 가능성을 높일 수 있도록 한다.
- [0034] 셋째, 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출하여 기후위기 시대에 필요한 태풍 영향예보의 기반을 효율적으로 구축할 수 있도록 한다.
- [0035] 넷째, 강풍 위험도 산출시에 강풍 재해요인(3-second gust, 최대순간풍속, GUST)과 강풍 취약 요인(노후 건물, 옥외광고물, 지붕주택, 비닐하우스, 축산시설물, 조선소철골, 행정구역별 1인당 방재예산, 행정구역별 GDP)을 고려하여

강풍 위험도(SWI)를 산출하여 효과적인 방재정보를 제공할 수 있도록 한다.

도면의 간단한 설명

- [0036] 도 1은 본 발명에 따른 의사결정 지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS) 구성도
- 도 2는 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출을 위한 개념을 나타낸 구성도
- 도 3은 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 구성도
- 도 4는 3초 gust 산정 과정을 나타낸 플로우 차트
- 도 5는 RMW(Radius of Maximum Windspeed)와 JTWC에서 제공되는 65kts 강풍반경과의 비교분석 결과 그래프
- 도 6은 전체 64개 태풍의 RMW 안쪽 영역의 관측값 52개와 RMW 바깥쪽 영역에서의 관측값 256개 각각을 RAM에서 계산된 3초 gust와 비교하여 영역별로 나타낸 그래프
- 도 7은 RMW 안쪽과 바깥쪽 상관계수 비교 구성도
- 도 8은 행정구역별 노후 건축물 비율을 나타낸 구성도
- 도 9는 연도별 노후 건축물 비율 산정 그래프
- 도 10은 분석연도의 건물 피해 및 분석연도의 강풍위험지수 비교 그래프
- 도 11은 강풍위험지수 및 태풍에 대한 영향 기간 전체의 행정구역별 평균값 비교 그래프
- 도 12는 연도별 강풍위험지수 그래프
- 도 13은 행정구역별 평균 강풍위험지수의 분포도
- 도 14는 행정구역별 강풍위험지수의 변화추세를 분포도
- 도 15는 강풍위험지수의 월별 분포도
- 도 16은 태풍 진로 유형별 강풍위험지수의 분포도

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0037] 이하, 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법의 바람직한 실시 예에 관하여 상세히 설명하면 다음과 같다.
- [0038] 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법의 특징 및 이점들은 이하에서의 각 실시 예에 대한 상세한 설명을 통해 명백해질 것이다.
- [0039] 도 1은 본 발명에 따른 의사결정 지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS) 구성도이고, 도 2는 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출을 위한 개념을 나타낸 구성도이다.
- [0040] 본 개시에서 사용되는 용어는 본 개시에서의 기능을 고려하면서 가능한 현재 널리 사용되는 일반적인 용어들을 선택하였으나, 이는 당 분야에 종사하는 기술자의 의도 또는 판례, 새로운 기술의 출현 등에 따라 달라질 수 있다. 또한, 특정한 경우는 출원인이 임의로 선정한 용어도 있으며, 이 경우 해당되는 발명의 설명 부분에서 상세히 그 의미를 기재할 것이다. 따라서 본 개시에서 사용되는 용어는 단순한 용어의 명칭이 아닌, 그 용어가 가지는 의미와 본 개시의 전반에 걸친 내용을 토대로 정의되어야 한다.
- [0041] 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있음을 의미한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0042] 특히, 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위들은 적어도 하나의 프로세서를 포함하는 전자 장치로 구현될 수 있고, 기능이나 동작을 처리하는 방식에 따라 전자 장치에 적어도 하나의 주변 장치가 연결될 수 있다. 주변 장치들은 데이터 입력 장치, 데이터 출력 장치, 데이터 저장 장치를 포함할 수 있다.
- [0043] 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법은 태풍에 동반된 강풍 위험도를 정밀하게 산출

하며 복합기상재해의 효율적인 사전방재가 가능하도록 한 것이다.

- [0044] 이를 위하여, 본 발명은 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며, 개인 또는 지자체 수준에서의 활용 가능성을 높일 수 있도록 하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0045] 본 발명은 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출하여 기후위기 시대에 필요한 태풍 영향예보의 기반을 효율적으로 구축할 수 있도록 하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0046] 본 발명은 강풍 위험도 산출시에 강풍 재해요인(3-second gust, 최대순간풍속, GUST)과 강풍 취약 요인(노후 건물, 옥외광고물, 지붕주택, 비닐하우스, 축산시설물, 조선소철골, 행정구역별 1인당 방재예산, 행정구역별 GDP)을 고려하여 강풍 위험도(SWI)를 산출하여 효과적인 방재정보를 제공하는 구성을 포함할 수 있다.
- [0047] 본 발명의 강풍 취약 요인에서 행정구역별 1인당 방재예산, 행정구역별 GDP를 고려하는 이유는 다음과 같다.
- [0048] 지역 방재예산은 회계연도별로 구성되는 지자체의 예산 중 지자체 내 발생할 수 있는 각종 재난 및 재해로부터 지역 내 재산 등의 피해를 최소화하기 위해 사용되는 예산이다.
- [0049] 재난 발생 시 대피시설 확보, 비상 급수 및 전력 공급 시설 확보, 방재장비 보강 등 직접적으로 재난 피해를 저감하기 위한 정비사업이 포함되며 비상시 대책 수립 등의 비구조 적 재난관리 업무도 포함된다.
- [0050] 지역 방재예산은 해당 지역에서 구성된 세출에 대한 입출을 기준으로 제작된 통계항목이며, 행정안전부에서는 각 지자체별로 한 해 동안 방재 목적으로 사용된 세출항목을 계상하여 지방재정통합공개시스템을 통해 결산내역을 제공하고 있다.
- [0051] 본 발명에서는 해당 자료 중 부문별 세출 자료의 재난방재민방위 항목을 수집하여 각 지자체별연도별 방재예산 자료를 구축하여 태풍에 동반된 복합기상재해에 대한 강풍 위험도를 정밀하게 산출할 수 있도록 한다.
- [0052] 본 발명은 도 1에서와 같이, 한반도 영향 태풍에 대한 영향예보 개념을 도입하기 위하여, 기후 위기 시대, 한반도 영향 태풍에 대한 영향예보의 기반인 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)을 개발 및 구축하기 위한 것이다.
- [0053] 본 발명에서는 복합적이고 다양한 기상재해를 동반하는 태풍에 대한 효율적인 정보제공 및 방재 활동을 위하여 태풍 영향 시기 한반도에서 나타나는 모든 복합기상재해를 다루는 것으로 TRS를 구성한다.
- [0054] 본 발명에 따른 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)은 '태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템'을 통하여 강풍 위험도 정보를 받아 의사결정지원 기상정보를 출력한다.
- [0055] 본 발명에 따른 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)은 기상수치모델링으로 NOAA 산하단체인 National Centers for Environmental Prediction(NCEP)에서 개발된 현업과 연구 모두에 활용하기 적합한 기상수치모델이자 기상 시뮬레이션 시스템인 Weather Research and Forecasting Model(WRF)를 활용할 수 있고, 이로 제한되지 않는다.
- [0056] WRF는 기상 연구 및 예측 응용 프로그램 모두를 위해 개발된 차세대 중규모 수치 기상 예측 시스템으로, 두 개의 동적 코어, 자료 동화 시스템, 병렬 계산을 지원하는 특징을 갖는다.
- [0057] WRF는 전처리 과정, 자료 동화 과정, one-way nesting(단방향 등지화) 및 two-way nesting(양방향 등지화)를 포함하는 물리, 역학적 처리 과정 및 후처리 과정을 수행한다.
- [0058] 그리고 WRF 수치모델링을 수행할 때 기상청에서 제공하고 있는 RDAPS와 Global Data Assimilation and Prediction System(GDAPS)를 사용한다.
- [0059] 본 발명에서는 TRS의 예측 정확도 향상을 목표로 TRS의 입력자료로 활용되는 WRF 결과의 예측 정확도를 높이기 위한 과정으로, 한반도 기상청에서 제공하는 GDAPS, RDAPS 자료를 사용한 WRF 모델링 수행력 평가를 수행하고, 이와 더불어 WRF를 개발한 NCEP에서 권장하고 있는 기상입력자료인 Global Forecast System(GFS)자료를 활용한 WRF 수치모델링도 추가로 수행할 수 있다.
- [0060] 태풍에 동반된 복합기상재해로는 강풍, 호우, 해일이 있으며, 일반적인 인식과는 달리, 고농도 대기오염이 있다.
- [0061] 기상 영향예보는 재해 발생에 대한 경고를 넘어, 해당 지역의 취약성을 고려하여 지역적으로 차별화된 영향을 제공하는 예보이다.

- [0062] 따라서, 기상 영향예보의 기반을 구축하는 것을 목적으로 본 발명에 따른 TRS에서는 태풍에 동반된 복합기상재해인 강풍, 호우, 해일, 대기오염에 대한 기상학적 위험성, 규모를 재해요인(hazard)으로 정의하고, 지역 특성 및 취약성을 취약요인(vulnerability)으로 정의하여, 재해요인과 취약요인을 모두 반영하여 위험지수(risk)를 산출한다.
- [0063] 위험지수를 산정하기 위해 고려한 재해요인은 주로 태풍에 의해 나타나는 기상 현상의 정량적인 규모이다. 이를 산정하는 가장 정확한 방법은 태풍의 영향 시기 실제 관측된 자료를 통해 판단하는 것이다.
- [0064] 그러나 관측자료는 공간적 제한과 태풍 영향 시기의 자료 결측으로 인해 위험성을 정량화하기에는 어려움이 따른다. 따라서 본 발명에서는 시공간적 고해상도의 재해요인을 산정하기 위하여, 기상수치모델링(강풍, 호우, 해일) 및 광화학수치모델링(고농도 대기오염)을 활용한다.
- [0065] 이와 같은 태풍에 대한 영향예보의 기반인 의사결정지원 기상정보 시스템(Typhoon-Ready System, TRS)에 적용하기 위한 강풍 위험도 산출에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0066] 도 3은 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 구성도이다.
- [0067] 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템은 도 3에서와 같이, 실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리부(10)와, 행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리부(20)와, 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수를 산출하는 강풍위험지수 산출부(30)를 포함한다.
- [0068] 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 방법은 실제 지형에서의 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust)을 강풍 위험도 산출시에 사용하는 강풍 재해요인으로 산출하는 강풍 재해요인 처리 단계와, 행정구역별로 기준 년도를 경과한 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하는 강풍 취약요인 처리 단계와, 태풍시기 발생 가능한 최대순간풍속(3-second gust) 및 행정구역별 노후 건축물 비율을 이용하여 강풍위험 지수를 산출하는 강풍위험지수 산출 단계를 포함한다.
- [0069] 먼저, 강풍위험지수에 관하여 정의하면 다음과 같다.
- [0070] 강풍이란 14m/s 이상의 풍속을 가진 바람으로, 열대성 저기압인 태풍은 강한 바람을 동반한다. 태풍에 동반된 강풍은 태풍이 근접하면서부터 통과할 때까지 비교적 긴 시간 지속하며, 실제 장시간 지속되는 바람으로 인한 피해는 비교적 발생하지 않는 편이다.
- [0071] 그러나 태풍 영향 시기에 순간적으로 바람의 세기와 방향이 요동하는 경우 갑작스러운 강풍과 요란이 발생하는 경우를 돌풍이라고 하며, 이때 강풍으로 인한 실제 피해가 다수 발생한다.
- [0072] 태풍의 강풍 피해는 태풍에 동반된 지속풍이 아닌 돌풍에서 주로 발생한다.
- [0073] 따라서 본 발명에서는 태풍에 동반된 강풍의 재해요인을 평가하기 위하여 태풍의 내습 시기 발생 가능한 최대순간풍속인 돌풍 개념의 3초 gust를 활용한다.
- [0074] 3초 gust를 산정하는데 활용한 Risk Assessment prediction Model(이하 RAM)(Na and Jung, 2018; 2019; 2020)은 태풍 영향 시기 50년 빈도로 지상 10m(33ft) 고도에서 발생하는 3초 동안의 평균 풍속, 즉 태풍 시기 순간최대풍속인 3초 gust에 의해 발생할 수 있는 주택에 대한 피해액을 추정하는 모형으로 미국의 기상학, 풍력 및 구조 공학, 컴퓨터 과학, Geographic Information System(GIS), 통계, 금융 및 보험 분야의 전문가들이 모여 개발한 Florida Public Hurricane Loss Model(FPHLM)를 참고하여, 우리나라의 실정에 맞도록 개선되어, 개발된 모델(Na and Jung, 2019)이다.
- [0075] RAM의 태풍 영향 시기 지상에서 발생 가능한 최대풍속 3초 gust 산정 과정은 다음과 같다.
- [0076] 도 4는 3초 gust 산정 과정을 나타낸 플로우 차트이다.
- [0077] 허리케인 눈 주변의 Dropsonde 관측(Flanklin et al, 2003)을 통해 허리케인의 눈 주변에 나타나는 풍속의 연직 구조는 일반적인 기상 상황에 나타나는 풍속의 연직 구조와 달리 700hPa 고도에서 지상으로 갈수록 점차 증가하다가 500m 고도에서 최대를 이루었다가, 300m 이하에서는 고도가 낮아질수록 풍속이 점차 감소하는 모습을 보인다.
- [0078] 따라서, 본 발명에서도 한반도 영향 태풍의 연직 구조에서 나타나는 특징을 보완하고, 강한 풍속이 나타나는 태

풍 중심 근처에서의, 정확한 풍속 예측을 위해, 700hPa 고도의 풍속으로 300m 고도의 풍속을 산정한 후 지표면의 거칠기를 적용하여 지상풍을 산정한다.

[0079] 3초 gust는 위치와 태풍의 최대풍속반경(Radius of Maximum Windspeed, RMW)에 따라 다르게 나타나기 때문에 RMW에 따른 구간별 조정함수(Adjustment Function, Adj)의 적용이 필요하다.

[0080] 과거 선행연구들에서는 중위도 지역에 가장 적합한 수학적 1을 이용하여 태풍의 RMW를 직접 계산하여 도출한다.

수학적 1

[0081]
$$\ln R_{\max} = 2.556 - 0.000050255 \Delta p^2 + 0.42243022 \psi$$

[0082] 여기서, R_{\max} 는 최대풍속반경, Δp (hPa)는 중심기압의 깊이(태풍 중심기압과 주변 기압의 차이), ψ (°)는 태풍 중심의 위도이다.

[0083] 하지만, 이는 단순히 중위도 지역 전체에 적합하다고 선정된 공식으로 한반도에 적용할 수는 있지만 적합하다고 할 수는 없다. 따라서, 본 발명에서는 한반도 영향 태풍에 적합한 RMW 산정을 위하여 국내외 선행 경험공식을 활용하여 태풍이 초여름(7월 초)부터 가을(10월 초)까지 꾸준히, 다양한 진로의 태풍이 한반도에 영향을 주었던 2018년 한반도에 영향을 미친 태풍 5개(쁘라삐룬, 짜미, 솔릭, 룬비아, 콩레이)를 대상으로 분석한다.

[0084] 추가로, 본 발명에서는 더욱 강한 바람이 나타나는 RMW의 안쪽 영역과 바깥쪽 영역으로 구분하여, 각 경험공식을 활용하여 산정된 3초 gust의 예측 정확도 분석을 수행한다.

[0085] 그리고 산출된 RMW의 평가에는 RMW와의 비교와 가장 적합하다고 분석된 JTWC에서 제공되는 65kts 강풍반경과의 비교분석을 수행한다.

[0086] 도 5는 RMW(Radius of Maximum Windspeed)와 JTWC에서 제공되는 65kts 강풍반경과의 비교분석 결과 그래프이다.

[0087] 분석 결과, JTWC의 65kts 강풍반경을 기준으로 각 경험공식은 RMW를 작게 또는 크게 산정하고 있었다.

[0088] 표 1은 JTWC의 65kts 강풍반경을 기준으로 각 경험공식과의 상관관계를 살펴본 결과이다. Kordi, Kang, Anthes, Hiroshi의 경험공식이 유의한 상관관계를 보인다고 분석되었으며, Hiroshi의 상관계수가 0.908로 가장 좋은 결과를 나타내었다.

[0089] 반대로 Holland 경험공식을 활용하여 산정한 RMW는 JTWC의 65kts 강풍반경과 0.126의 상관계수를 가지며 비교적 일치하지 않는 결과로 나타났다.

표 1

	KORDI	Kang	Anthes	Graham	Holland	Vickery	Hiroshi
Pearson correlation	0.624**	0.604**	0.616**	0.282	0.126	0.300	0.908**

[0090]

[0091] 도 6은 2002년부터 2020년까지 한반도에 영향을 준 태풍 64개를 대상으로 각각의 전체 태풍 기간, 해양부이와 등표 관측에서 측정된 GUST와 최대순간풍속 값을 활용하여, 전체 64개 태풍의 RMW 안쪽 영역의 관측값 52개와 RMW 바깥쪽 영역에서의 관측값 256개 각각을 RAM에서 계산된 3초 gust와 비교하여 영역별로 나타낸 것이다.

[0092] 태풍의 전체 영역에서 상대적으로 더욱 강한 바람이 나타나는 RMW의 안쪽(RED)과 바깥쪽(BLUE)으로 구분하여 RAM에서 계산된 3초 gust와 기상청 해양부이, 등표 관측의 'GUST'값과의 차이를 나타낸 것이다.

[0093] 태풍의 영역에서 상대적으로 더욱 강한 바람이 나타나는 RMW 안쪽에서의 풍속 차이가 -0.14~3.46m/s이고 RMW 바깥쪽에서는 -1.99~5.24m/s로 나타나며, RMW 안쪽에서 차이가 더 작은 것을 알 수 있다.

[0094] 이러한 관점에서 RMW 안쪽과 바깥 영역 결과를 보면, 전반적으로 3초 gust가 좋은 결과를 나타내고 있지만, RMW 안쪽과 바깥쪽을 나누어 구체적으로 살펴보면, 도 7에서와 같이, 태풍에 대한 사전방재 측면과 강풍 재해요인의 관점에서 더욱 중요한 의미가 있는 RMW 안쪽에서 상관계수가 0.957로 RMW 바깥쪽 상관계수인 0.868 보다 높은 값을 보이며, RMW 안쪽 영역에서 더욱 정확도가 높은 것을 확인하였다.

[0095] 강풍 재해요인 처리에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0096] 본 발명에서는 분석을 통해 한반도 영향 태풍에 가장 적합하다고 분석된 RMW를 활용하였고, RMW 구간에 따라 Adj(r)를 추정하였다.

표 2

	Inner RMW		RMW		Outer RMW	
Eye	30km~300km	30~7.4km	7.4km~	~7.4km	7.4~30km	30km~300km
Adj	1.00	(b)	(a)		(b)	1.00

[0097]

수학식 2

$$\ln R_{\max} = 2.556 - 0.000050255 \Delta p^2 + 0.042243032 \Psi$$

[0098]

[0099] 수학식 2에서 $\Psi(^{\circ})$ 는 태풍의 위도를 나타내고, $\Delta p(hPa)$ 는 기압의 차이로 태풍 주변 기압과 중심기압의 차이를 나타내며, $\Delta p(hPa)$ 는 1000hPa로 선정하여 계산하였으며, RMW와 표 2의 지점 간의 거리에 따라 각각 (a)구역, (b)구역별 Adj를 산정하여 활용하고, 수학식 3 및 수학식 4를 활용한다.

수학식 3

$$Adj(r) = 1.25 - \frac{0.2}{14.8km} (r - (R_{\max} - 7.4km))$$

[0100]

수학식 4

$$Adj(r) = 1.05 - \frac{0.05}{30km} (r - (R_{\max} + 7.4km))$$

[0101]

수학식 5

$$U_{300} = U_{700} \times Adj(r)$$

[0102]

[0103] 수학식 5에서 U_{300} 은 300m 고도의 풍속(m/s), U_{700} 은 700hPa 고도의 풍속(m/s) 이다.

[0104] 700hPa 고도의 풍속에서 추정된 300m 고도 풍속을 개방형 지형에서의 10m 고도 풍속(V_o)으로 추정하였으며, 수학식 6에서와 같다.

수학식 6

[0105]
$$V_o = U_{300} \frac{\ln(10/Z_{oo})}{\ln(300/Z_{oo})}$$

[0106] 여기서, V_o 는 개방형 지형에서의 10m 고도 풍속, U_{300} 은 300m 고도의 풍속, Z_{oo} 는 개방형 지형에서의 거칠기 길이를 의미한다.

[0107] 다음과 같이 산정된 개방형 지형에서의 10m 고도의 풍속은 수학식 7 및 수학식 8의 과정을 통해 개방형 지형에서의 마찰속도(U_o^*), 실제 지형에서의 마찰속도(U_a^*)를 계산한 후, 수학식 9의 과정으로 실제 지형에서의 10m 고도의 풍속으로 산정한다.

수학식 7

[0108]
$$U_o^* = V_o \times \frac{0.4}{[\ln(10.0/0.03)]}$$

수학식 8

[0109]
$$U_a^* = \frac{U_o^*}{[Z_{oo}/Z_{oa}]^{0.0706}}$$

수학식 9

[0110]
$$V_a = (U_a^*/0.4)(\ln(10/Z_{oa}))$$

[0111] 다음으로 태풍 영향 시기에 발생 가능한 최대풍속인 3초 gust를 산정하기 위해서 700hPa 고도 풍속으로부터 추정된 태풍 시기 실제 지형에서의 10m 고도의 풍속에 gust factor를 적용한다.

[0112] gust factor를 구하는 방법으로는 ESDU(1983)의 gust factor 산정 방법으로 사용하고, gust factor를 산정하는 방법으로는 수학식 10을 통해 마찰속도(u^*)를 계산한 후, 수학식 11에 대입하여 10m 고도를 기준으로 고도 조정계수(η)를 이용한다.

[0113] 마찰속도와 코리올리 계수(coriolis parameter)를 이용하여 10m 고도를 기준으로 고도 조정계수를 수학식 11에서와 같이 산정한다.

수학식 10

$$u^* = \frac{0.4 V_a}{\ln\left(\frac{10}{Z_{oa}}\right)}$$

[0114]

수학식 11

$$\eta = 1 - 6f\left(\frac{10}{u^*}\right)$$

[0115]

[0116] 위의 식에서 u^* 은 마찰속도이고, f 는 코리올리 계수, η 는 고도 조정계수이다.

[0117] 계산된 마찰속도와 10m 고도 조정계수를 이용하여 풍속에 대한 표준편차를 수학식 12에서와 같이 구하고, 이때 풍속은 3초당 1회 주기에 대한 빈도를 고려하므로 풍속에 대한 표준편차를 이용하여 3초에 대한 표준편차를 수학식 13에서와 같이 구한다.

수학식 12

$$\sigma_u(z) = \frac{7.5 \eta u^* \left(0.09 \ln\left(\frac{10}{Z_{oa}}\right) + 0.583\right)^{\eta^{16}}}{\left(1 + 0.156 \ln\left(\frac{u^*}{f \cdot Z_{oa}}\right)\right)}$$

[0118]

수학식 13

$$\sigma(z, 3) = \sigma_u(z) \left(1 - 0.193 \left(\frac{I_t}{3} + 0.1\right)\right)^{-0.68}$$

[0119]

[0120] $\sigma_u(z)$ 는 풍속에 대한 표준편차이고, $\sigma(z, 3)$ 는 3초에 대한 풍속의 표준편차, I_t 는 시간매개변수(integral scale time parameter)로서 10m 고도에서는 4.96으로 주어진다.

[0121] 다음으로 3초 바람에 대한 peak factor를 계산하기 위해서는 바람 변동 주기율을 수학식 14에서와 같이 산정하고, 이렇게 산정된 바람 변동 주기율과 풍속에 대한 표준편차, 3초에 대한 표준편차를 수학식 15에 대입하여 peak factor를 산정한다.

수학식 14

$$Cr = \frac{0.0007 + 0.213 \left(\frac{I_t}{3} \right)^{0.654}}{I_t}$$

[0122]

수학식 15

$$P_f(3) = \left[\sqrt{2 \ln(600Cr)} + \frac{0.557}{\sqrt{2 \ln(600Cr)}} \right] \frac{\sigma_u(z, 3)}{\sigma_u(z)}$$

[0123]

[0124] 여기서, Cr은 바람변동 주기율이고, $P_f(3)$ 는 3초 주기의 peak factor이다.

[0125] Gust factor를 구하기 위해서는 peak factor 외에도 경도 난류 강도(T_{il})가 필요하며 이는 수학식 16을 통하여 산정한다.

수학식 16

$$T_{il} = \frac{\sigma_u(z)}{U_h}$$

[0126]

[0127] 여기서, T_{il} 는 경도 난류 강도이고, U_h 는 10m 고도에서의 풍속이다.

[0128] 이상의 과정에서 구해진 peak factor와 경도 난류 강도를 이용하여 수학식 17에서와 같이 gust factor를 계산한다.

[0129] 그리고 최종적으로 추정하고자 하는 3초 gust(V_3)는 수학식 18에서와 같이 실제 지형에서의 10m 고도 풍속(V_a)에 gust factor를 고려하여 산정한다.

수학식 17

$$G_{10min,3} = 1 + T_{il} P_f(3)$$

[0130]

수학식 18

$$V_3 = V_a \times G_{10min,3}$$

[0131]

[0132] 강풍 취약요인 처리에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

[0133] 건물은 시간이 지날수록 재료의 열화 및 손상 등으로 성능이 저하된다. 특히, 강풍, 지진, 화재와 같이 예측하기 어렵고 건물에 직접적인 손상을 주는 재난의 경우에는 사전에 충분한 점검과 관리, 방재가 이뤄지

지 않으면 큰 인명 및 재산피해가 발생한다.

- [0134] 기후변화로 인한 도시지역의 노후 건축물에 대한 재해피해를 분석한 결과에 따르면, 노후 건축물은 기상재해에 취약한 요소로 분류되며 안전에 대한 관리가 매우 중요하다고 한다. 또한, 노후 건축물의 재해로 인한 피해를 가중시키는 '건축물 노후화' 정도와 '순간풍속'이 있으며, 태풍에 동반된 강풍으로 인한 노후 건축물의 재해 위험성은 매우 심각한 것으로 분석되고 있다.
- [0135] 따라서, 본 발명에서는 태풍에 동반된 강풍에 대한 행정구역별 취약요인을 고려하기 위하여, 행정구역별 노후 건축물 자료를 적용한다.
- [0136] 본 발명의 일 실시 예에서 노후 건축물 자료는 국토교통부의 건축물 생애 이력 관리시스템을 활용하여 구축한다.
- [0137] 건축물 생애 이력 관리시스템은 건축에 대한 패러다임 변화, 안전관리 강화, 유지관리 통합을 위해 추진되어온 시스템으로 규모와 구조, 경과연수에 따라 코드를 분류하여 건축물을 관리한다.
- [0138] 본 발명에서는 행정구역별 '35년 이상의 건축물' 인 노후 건축물 자료를 추출하고 행정구역별 노후 건축물 비율을 산정하여 강풍위험 지수 산출에 적용한다.
- [0139] 도 8은 행정구역별 노후 건축물 비율을 나타낸 구성도이고, 도 9는 연도별 노후 건축물 비율 산정 그래프이다.
- [0140] 도 9를 보면, 연도별로 편차가 심하므로 분석에 활용하기 위하여 연도별 자료를 구축하고 적용한다.
- [0141] 또한, 노후건축물비율은 전국적으로 하나의 자료로 매년 제공되고있다.
- [0142] 그러나 도 8에서와 같이, 같은 해의 노후 건축물 수 자료이더라도 행정구역별로 큰 차이를 보인다. 따라서 지역별 취약성을 고려하기 위하여, 본 발명에서는 행정구역별 전체 건물 수를 고려하여, 노후 건축물 비율을 직접 산정한다.
- [0143] 강풍위험지수 산출에 관하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0144] 본 발명에서는 강풍에 대한 취약요인으로 선정한 노후 건축물 자료를 3초 gust에 적용하여 강풍위험지수(Strong Wind risk Index SWI)를 산정한다.

수학적식 19

[0145]
$$SWI = 3s_{gust} \times \frac{B}{\bar{B}}$$

- [0146] 여기서, $3s_{gust}$ 는 발생 가능한 최대순간풍속, B 는 행정구역별 노후 건축물 수, \bar{B} 는 행정구역별 전체건물 수이다.
- [0147] 도 10은 분석연도의 건물 피해 및 분석연도의 강풍위험지수 비교 그래프이다.
- [0148] 강풍위험지수의 정확도를 판단하기 위하여 재해연보에서 기록된 실제 피해자료와의 비교분석한 결과를 설명하면 다음과 같다.
- [0149] 도 10에서 회색 막대그래프는 분석연도의 건물 피해를 나타낸 것이고, 붉은색 꺾은 선 그래프는 본 발명에서 산정한 분석연도의 강풍위험지수를 나타낸다.
- [0150] 강풍위험지수와 건물피해가 가장 컸던 해는 2011년도이며, 태풍이 발생하지 않은 2009년을 제외하고 2013년이 강풍위험지수가 48.1로 가장 낮은 지수를 나타냈다. 건물의 피해 또한 2011년이 170채로 가장 높게 나타났으며, 건물피해가 발생하지 않았던 해도 총 4개의 연도(2006, 2008, 2013, 2017년)로 2013년이 포함되어 있다.
- [0151] 실제 건물피해의 연도별 증감을 강풍위험지수가 비교적 잘 따르고 있는 것으로 분석되고 있어, 본 발명에서 산정한 강풍위험지수는 태풍에 동반된 강풍으로 인한 건물피해를 살펴보기 적합한 것으로 사료된다.
- [0152] 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법에 위한 강풍위험지수에 관한 정확도를 분석하

면 다음과 같다.

- [0153] 도 11은 강풍위험지수 및 태풍에 대한 영향 기간 전체의 행정구역별 평균값 비교 그래프이다.
- [0154] 도 11은 2002년부터 2021년까지 우리나라에 영향을 준 태풍 전에 대하여 과거 태풍부터 최근 태풍까지 강풍위험지수를 산정하고, 태풍에 대한 영향 기간 전체의 행정구역별 평균값을 산정하고, 이를 과거 태풍부터 최근 태풍까지 순서대로 나타낸 것이다.
- [0155] 전체 태풍에 대하여 강풍위험지수는 최소 28.0 ~ 최대 188.7(평균 84.2)로 나타났다. 강풍위험지수가 가장 작았던 최소값은 28.0으로 태풍 리피(1304)가 기록되었으며, 강풍위험지수가 가장 높았던 최대값은 188.7로 태풍 루사(0215)가 기록되었다. 실제 강풍위험지수가 가장 높게 나타난 태풍 매미는 매우 강한 바람을 동반했다는 가장 큰 특징이 있었으며, 제주에서 최대순간풍속 60m/s를 기록하였던 태풍으로, 이 기록은 역대 한반도 영향 태풍 가운데 가장 높은 기록이다. 과거 태풍부터 최근 태풍까지 우리나라의 강풍위험지수는 증감의 변동이 많았지만, 전체적으로는 증가하는 추세를 나타내며, 태풍에 동반된 강풍의 위험이 최근으로 올수록 증가하는 것으로 나타났다.
- [0156] 도 12는 연도별 강풍위험지수 그래프이다.
- [0157] 도 12는 태풍을 연도별로 분류하여, 2002년부터 2021년까지 20년간 연도별 강풍위험지수를 나타낸 것이다,
- [0158] 2009년은 태풍의 영향이 없었기 때문에 제외하고, 강풍위험지수가 2002년에 87.6으로 가장 높게 나타났으며, 2014년에 48.1로 가장 낮게 나타났다. 2002년은 4개의 태풍(라마순, 나크리, 핑센, 루사)의 영향을 받은 해로, 가장 높은 강풍위험지수를 나타낸 태풍 루사가 포함되어있다.
- [0159] 또한, 태풍 라마순은 전체 태풍들 가운데 8순위의 높은 강풍위험지수를 나타내었기 때문으로 분석할 수 있다.
- [0160] 강풍위험지수는 2010년 이후 이전 연도에 비해 높은 강풍위험지수가 나타나고 있었으며, 2019년 81.0으로 전체 분석연도 가운데 2순위로 기록되어, 과거에 비해 높은 값을 나타내며, 강풍위험지수는 과거부터 최근으로 올수록 증가하는 것으로 나타났다.
- [0161] 이는 추후 태풍에 동반되어 나타나는 행정구역별 강풍위험지수는 증가할 수 있다는 것을 의미한다.
- [0162] 도 13은 행정구역별 평균 강풍위험지수의 분포도이다.
- [0163] 분석 기간 한반도에 영향을 미친 태풍 전체에 대한 행정구역별 평균 강풍위험지수의 분포를 나타낸 것으로, 강풍위험지수가 가장 높게 나타난 지역은 울산 동구로 나타났다. 반대로 강풍위험지수가 가장 낮게 나타난 지역은 경기 용인시 수지구로 나타났다.
- [0164] 전체 분포에서 강풍위험지수가 비교적 높은 지역은 경상북도 일부 지역과 전라남도의 도서 지역에서 높은 것으로 나타났다. 수도권 지역을 살펴보면, 상대적으로 서울시와 인천은 주변 지역(경기도 일부)과 비교하면 비교적 높은 강풍위험지수로 나타나는 특징이 있었다.
- [0165] 도 14는 행정구역별 강풍위험지수의 변화추세를 분포도이다.
- [0166] 행정구역 전체를 평균한 강풍위험지수는 평균 변화추세 값이 양의 값(0.01)으로 약하게 증가하는 것으로 나타났다.
- [0167] 행정구역별로 변화추세 결과를 살펴보면, 최대값은 0.29로 경기도 고양시에서 나타났으며, 최소값은 -0.07로 경북 성주군에서 나타났다.
- [0168] 변화추세 값의 분포를 보면 남서 해안지역들에서는 양의 값으로 증가하는 추세로 나타났으며, 반면, 동해안을 포함한 내륙지역에서는 음의 값으로 감소하는 추세로 나타났다. 특히, 경기도, 경상남도, 제주도에서는 뚜렷하게 증가하는 것으로 나타났다. 이처럼 도 13에서와 같이 평균 강풍위험지수 또한 지역별로 차이가 나타났지만, 도 14에서와 같이 변화추세도 지역별 편차가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.
- [0169] 태풍이 영향을 주었던 월별로 강풍위험지수를 분류하여 분석한 결과는 다음과 같다.
- [0170] 평균값이 가장 높은 달은 9월로 나타났으며, 최소값이 가장 낮은 달은 5월로 나타났다. 태풍의 계절이라 불리는 여름(7월, 8월)은 비교적 낮게 나타났다. 반면, 강풍위험지수가 가장 높았던 9월은 가을 태풍에 해당하며, 10월 강풍위험지수 또한 비교적 높은 편으로 나타났다.

표 3

	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
Average	67.8	89.6	72.6	85.5	92.1	84.5

[0171]

[0172]

본 발명의 분석 결과인 가을 태풍은 최근 영향빈도가 증가하고 있는 점과 함께 분석한다면, 영향빈도가 증가하는 가을 태풍은 동반되어 나타나는 강풍 위험 또한 높은 것으로 나타나며, 그 위험이 더욱더 가중될 것으로 해석할 수 있다.

[0173]

강풍위험지수의 행정구역별 분포를 월별로 분류하여 살펴보면 다음과 같다.

[0174]

도 15는 강풍위험지수의 월별 분포도이다.

[0175]

강풍위험지수의 월별 분포에서 강풍위험지수가 가장 높았던 9월은 수도권지역과 전남 도서지역과 경상도 일부지역에서 비교적 높은 강풍위험지수가 기록되었으나, 두번째로 높았던 6월은 수도권지역과 전남도서지역, 경상도 일부지역에서 비교적 높았지만, 9월은 6월과 비교하여, 수도권은 더욱더 낮은 위험지수가 나타났으나, 해안지역(전남도서지역, 경상도 지역)이 높은 위험지수로 나타났다.

[0176]

강풍위험지수를 진로 유형별로 분석한 결과는 다음과 같다.

[0177]

강풍위험지수를 진로 유형별로 분석하면 강풍위험지수가 가장 높은 진로는 type3으로 태풍이 서해로 북상한 후 발해만이나 중국으로 상륙하여 한반도에 영향을 주는 경우 가장 높게 나타났다. 다음으로는 type2로 태풍이 남해안에 상륙하여 한반도에 영향을 주는 진로를 가지는 경우 가장 높았다. 평균값은 type3, type2 순으로 높게 나타났으나, 최대값은 type2가 가장 높은 것으로 나타났다. 강풍위험지수가 가장 낮은 진로는 태풍이 일본을 거치면서 한반도에 영향을 주는 type7이 가장 낮게 나타났다.

표 4

	Type1	Type2	Type3	Type4	Type5	Type6	Type7
Average	96.2	113.8	131.3	90.0	84.5	65.2	63.4

[0178]

[0179]

도 16은 태풍 진로 유형별 강풍위험지수의 분포도이다.

[0180]

태풍 진로 유형별 강풍위험지수의 분포를 보면, 강풍위험지수가 가장 높았던 type3은 주로 전라도와 수도권 일부 지역, 즉, 서해안을 따라 비교적 높은 것으로 나타났으며, 다음으로 강풍위험지수가 높았던 type2는 서해안에서는 낮은 강풍위험지수가 나타났으나, 경상남북도, 강원도에서 비교적 높게 나타났다. 서해안에 상륙하여 영향을 주는 태풍인 type1은 다른 진로와 비교하여 보면, 수도권 지역에서 비교적 높은 강풍위험지수가 나타났다.

[0181]

이상에서 설명한 본 발명에 따른 태풍에 동반된 강풍 위험도 산출 시스템 및 방법은 태풍에 동반된 강풍 위험도를 정밀하게 산출하며 복합기상해의 효율적인 사전방제가 가능하도록 한 것으로, 강풍 위험도 산출시에 강풍 재해요인(3-second gust, 최대순간풍속, GUST)과 강풍 취약 요인(노후 건물, 옥외광고물, 지붕주택, 비닐하우스, 축산 시설물, 조선소철골)을 고려하여 강풍 위험도(SWI)를 산출하여 효과적인 방제정보를 제공할 수 있도록 한 것이다.

[0182]

이상에서의 설명에서와 같이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 본 발명이 구현되어 있음을 이해할 수 있을 것이다.

[0183]

그러므로 명시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 하고, 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구 범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에

포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

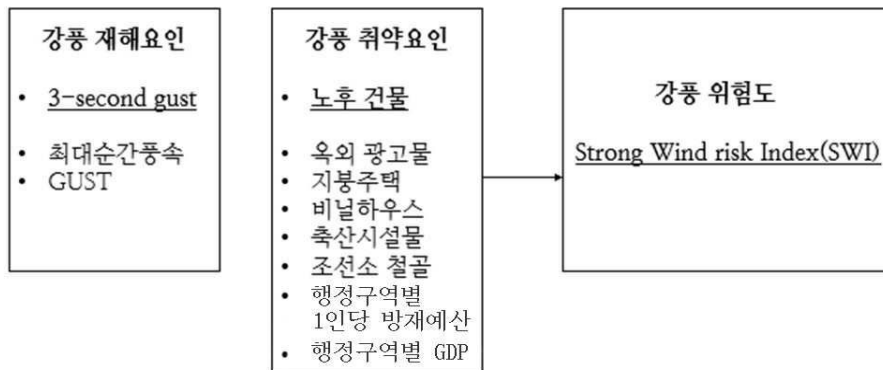
- 10. 강풍 재해요인 처리부
- 20. 강풍 취약요인 처리부
- 30. 강풍위험지수 산출부

도면

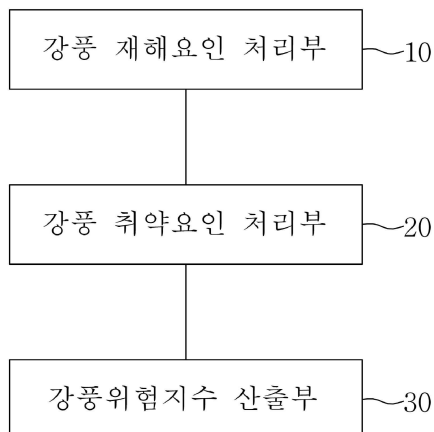
도면1



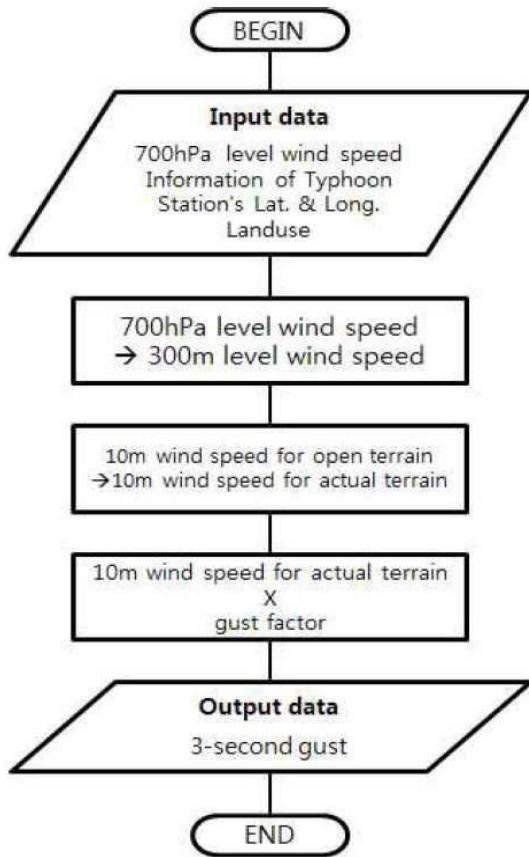
도면2



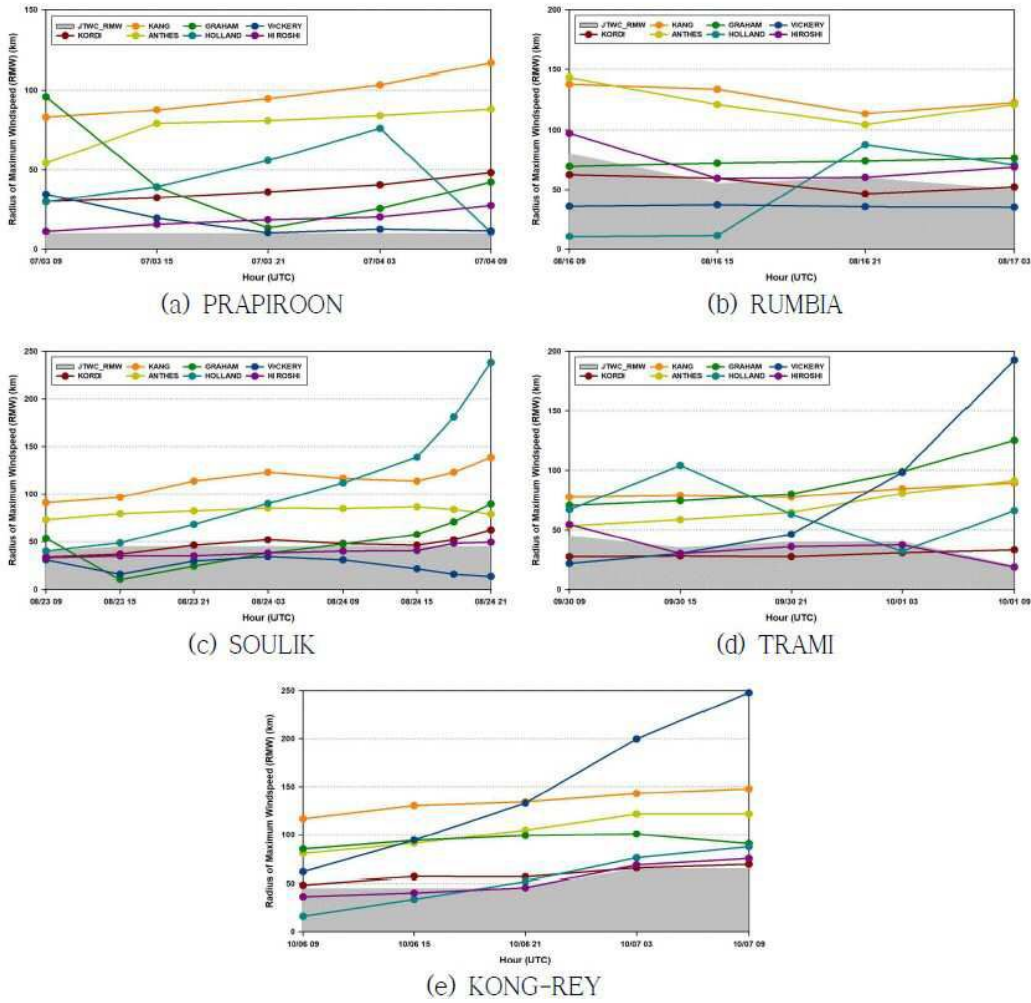
도면3



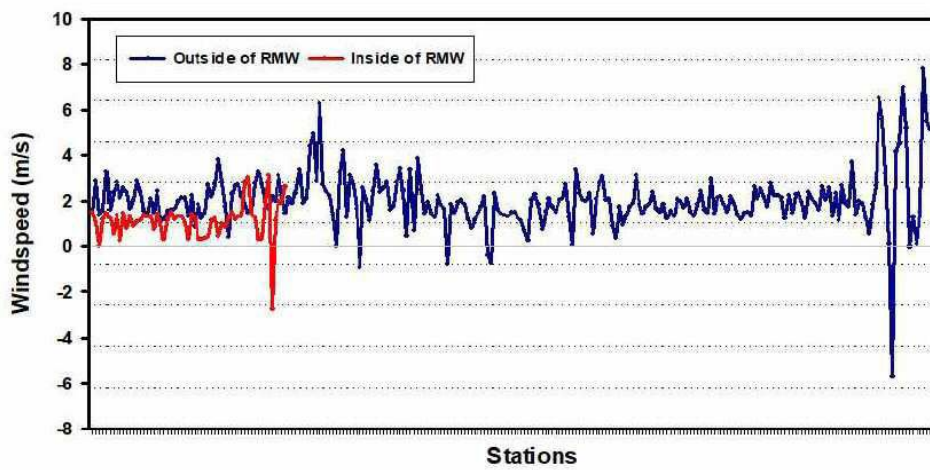
도면4



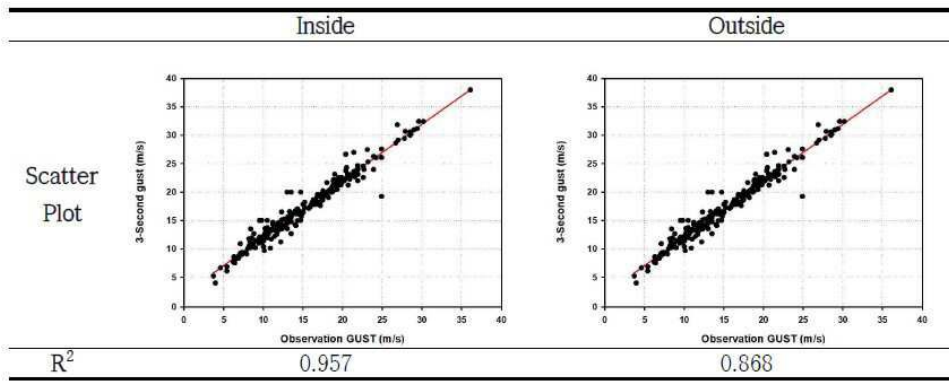
도면5



도면6



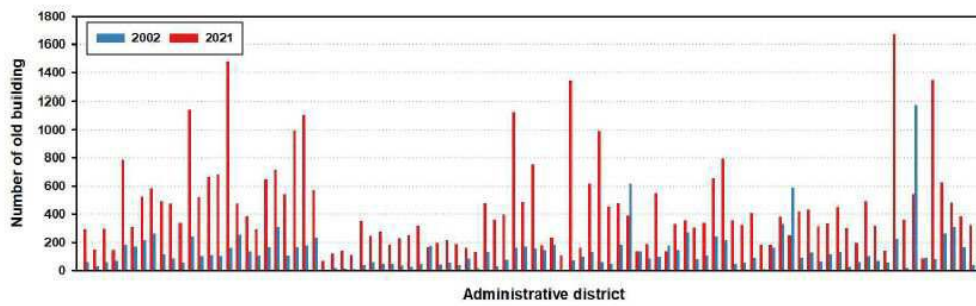
도면7



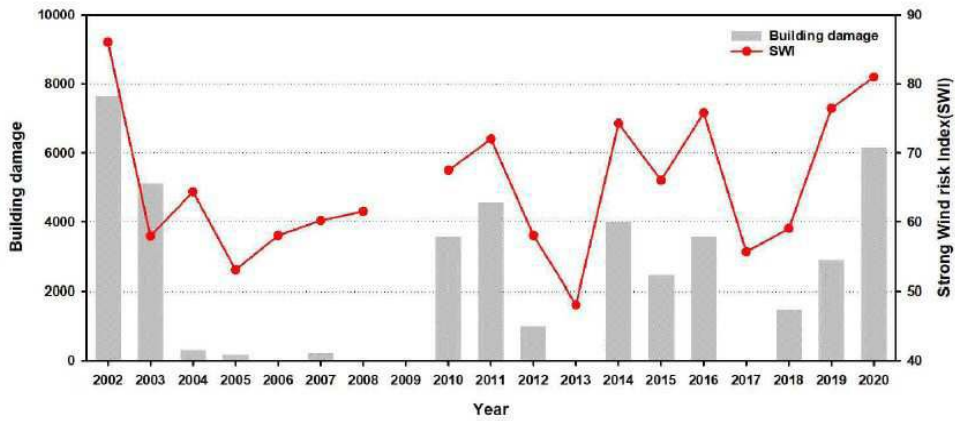
도면8



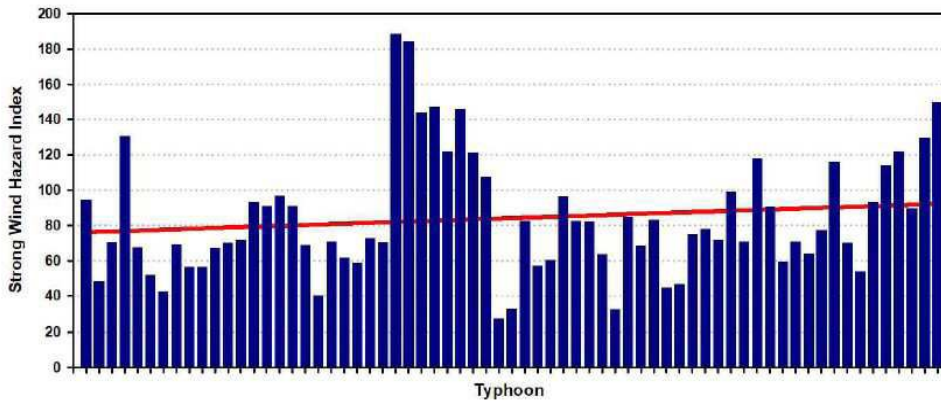
도면9



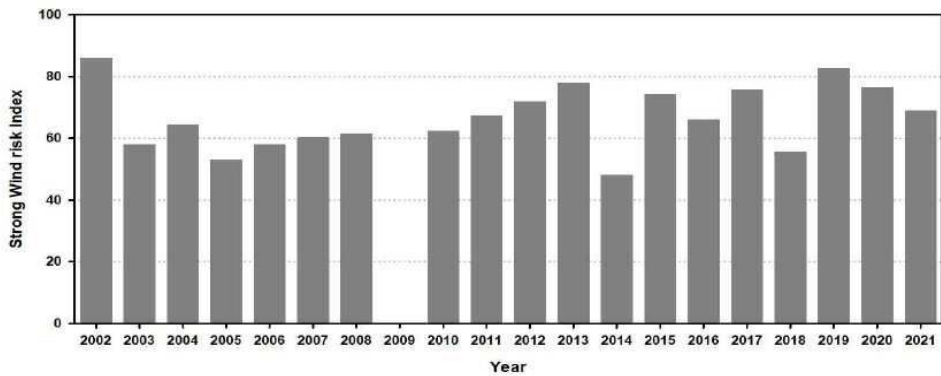
도면10



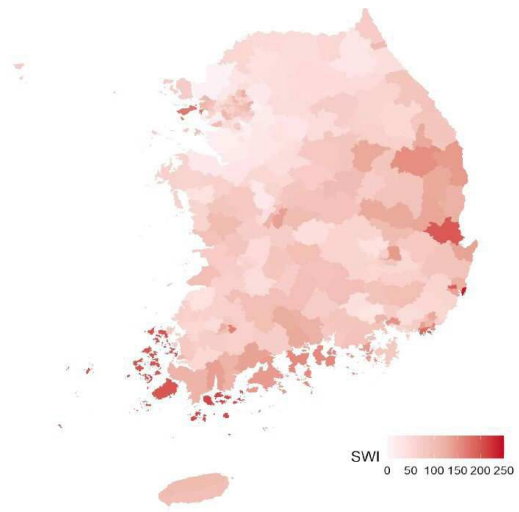
도면11



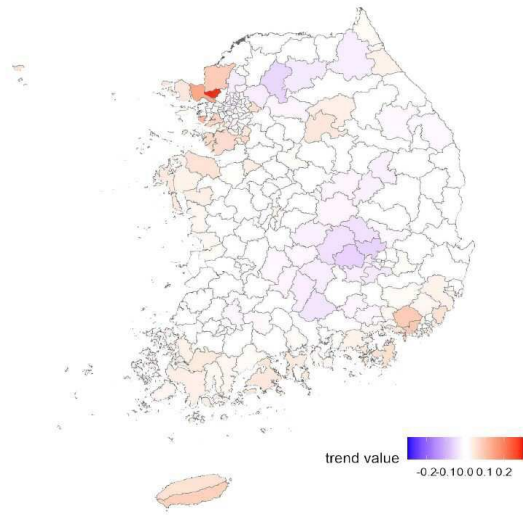
도면12



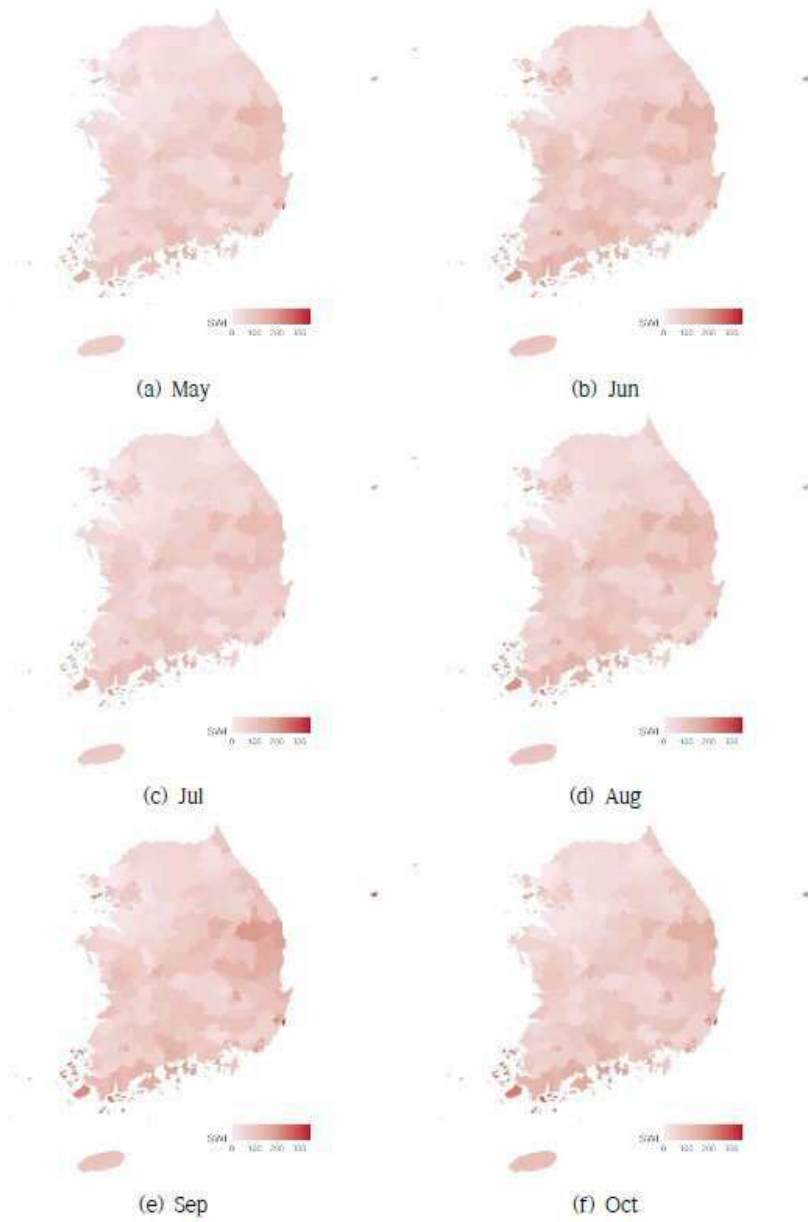
도면13



도면14



도면15



도면16

