

# 확률 모형 기반의 아파트 창호 시스템 강풍 위험도 평가

함희정<sup>1</sup> · 윤우석<sup>2\*</sup> · 최승훈<sup>2</sup> · 이승수<sup>3</sup> · 김호정<sup>4</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 도시건축학부, <sup>2</sup>강원대학교 건축공학과, <sup>3</sup>충북대학교 토목공학부, <sup>4</sup>단국대학교 건축학과

## Assessment of Extreme Wind Risk for Window Systems in Apartment Buildings Based on Probabilistic Model

Hee Jung Ham<sup>1</sup>, Woo-Seok Yun<sup>2\*</sup>, Seung Hun Choi<sup>2</sup>, Sungsu Lee<sup>3</sup> and Ho-Jeong Kim<sup>4</sup>

<sup>1</sup>School of Urban and Architecture, Kangwon National Univ., Chuncheon, 24341, Korea

<sup>2</sup>Department of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., Chuncheon, 24341, Korea

<sup>3</sup>School of Civil Engineering, Chungbuk National Univ., Cheongju, 28644, Korea

<sup>4</sup>Department of Architecture, Dankook Univ., Yongin, 06289, Korea

### Abstract

In this study, a coupled probabilistic framework is developed to assess wind risk on apartment buildings by using the convolution of wind hazard and fragility functions. In this framework, typhoon induced extreme wind is estimated by applying the developed Monte Carlo simulation model to the climatological data of typhoons affecting Korean peninsular from 1951 to 2013. The Monte Carlo simulation technique is also used to assess wind fragility function for 4 different damage states by comparing the probability distributions of the window system's resistance performance and wind load. Wind hazard and fragility functions are modeled by the Weibull and lognormal probability distributions based on simulated wind speeds and failure probabilities. The modeled functions are convoluted to obtain the wind risk for the different damage levels. The developed probabilistic framework clearly shows that wind risk are influenced by various important characteristics of terrain and apartment building such as location of building, exposure category, topographic condition, roof angle, height of building, etc. The risk model presented in this paper can be used as tools to predict economic loss estimation and to establish wind risk mitigation plan for the existing building inventory.

**Keywords** : risk assessment, wind fragility, wind hazard, probabilistic model, Monte Carlo simulation method

### 1. 서 론

1904년부터 2008년까지 우리나라에 영향을 미치는 태풍의 개수는 연 평균 3.1개이며, 이 기간 동안 재산피해는 약 16조원을 넘는다(Lee, 2012). 또한 지구 온난화 등으로 인하여 과거보다 강한 풍속을 동반한 태풍이 증가될 것으로 예측되고 있어 향후 태풍에 의한 인적, 경제적 피해가 커질 가능성이 있다(Lee *et al.*, 2011). 그러나 국내에서는 태풍으로 발생한 강풍에 의한 피해를 논리적으로 예측할 수 있는 위험도 평가(risk assessment)에 대한 연구가 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 태풍으로 발생한 강풍에 의한 위험도를 평가할 수 있는 확률 모형을 개발하고, 국내 대표적

주거시설물인 아파트의 창호 시스템에 대한 강풍 위험도를 세 개의 도시(부산, 대전, 서울)에서 정량적으로 평가하였다.

강풍 위험도 평가를 위한 확률 모델은 강풍이 발생될 확률을 의미하는 강풍 위험(extreme wind hazard)과 임의의 풍속에서 대상물이 파괴될 확률을 의미하는 강풍 취약도(wind fragility)를 수치적으로 모형화하는 방법으로 개발되었다.

강풍 위험은 과거 태풍에 대한 기후학적 데이터에 몬테카를로 모사(MCS: Monte Carlo simulation) 기법(Lee *et al.*, 2007a)을 적용하여 모사된 태풍 동반 극한 풍속을 고려하여 평가되었다. 아파트에 대한 강풍 취약도 모형은 산업시설물(Lee *et al.*, 2011)과 저층 목조 주거시설(Ellingwood,

\* Corresponding author:

Tel: +82-33-250-7280; E-mail: topsky27@naver.com

Received October 13 2015; Revised October 28 2015;

Accepted October 29 2015

©2015 by Computational Structural Engineering Institute of Korea

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.

2004) 등의 국내외 강풍 취약도 평가 연구로부터 검증된 확률론적 방법론인 MCS 기법을 기반으로 개발되었다.

본 연구에서는 강풍 위험에 대한 아파트 형태의 영향성을 파악하기 위하여 지붕 경사각, 건물의 높이, 주호 수 등의 변화에 따른 위험도가 평가되었으며, 지리·지형적 요인의 영향성을 파악하기 위하여 상이한 평가지역, 지표조도구분, 지형 등에 따른 위험도가 평가되었다.

## 2. 위험도 평가의 이론적 배경

### 2.1 위험도의 정의

강풍 위험과 강풍 취약도가 상호 독립적인 확률 분포라고 가정한다면 강풍 위험도 평가를 위한 확률 모델은 식 (1)과 같이 두 확률 분포의 합성곱(convolution)으로 표현될 수 있다(Lee *et al.*, 2013; Li *et al.*, 2006).

$$P_f = \int_0^{\infty} g_x(v) \cdot F_r(v) dv \quad (1)$$

여기서,  $g_x(v)$ 는 강풍 위험,  $F_r(v)$ 는 강풍 취약도를 각각 의미한다.

### 2.2 태풍 동반 강풍 위험 평가 방법론

태풍 동반 강풍 위험  $g_x(v)$  계산 시 평가하고자 하는 특정 위치의 태풍발생에 대한 통계값이 적어 연 최고풍속의 회귀 분석을 통한 풍속 산정방법을 적용할 수 없다. 따라서 일반적으로는 기후학적 특성에 대한 확률 분포 모형을 MCS 기법에 적용하여 이들 태풍을 모사한 후 해당 위치의 풍속을 추정한다.

한국에 영향을 미치는 태풍 자료로는 RSMC(Regional Specialized Meteorological Center) 도쿄태풍센터에서 제공하는 최상경로(best tracks) 자료가 사용될 수 있다.

태풍의 기후학적 특성을 나타내는 변수에는 중심기압 깊이, 최단접근거리, 태풍이동속도, 태풍이동방향 등이 있다. MCS 기법을 사용하여 중심기압 깊이, 최단접근거리, 태풍이동속도, 태풍이동방향을 평가하기 위해서는 각각의 변수에 대한 확률 분포가 필요하고, 이는 일반적으로 각각 웨이블(Weibull), 균일(uniform), 감마(Gamma), 극대치(extreme value) 분포로 표현될 수 있다(Lee *et al.*, 2007a). 최대풍속반경의 산정에는 Fujii(1998)가 일본에 피해를 준 강한 태풍을 대상으로 제시한 중심기압 깊이와 최대풍속반경과의 관계식이

적용될 수 있다.

특정 지역에서의 재현기간 별 풍속은 각 변수들의 확률 분포로부터 발생시킨 다수의 가상태풍 결과에 물리적 모형을 적용하여 추정한다.

물리적 모형에는 바람장 모형과 중심기압 모형이 포함된다. 한반도에 작용하는 태풍에 대한 바람장은 Batts(1980)의 바람장 모형을 기반으로 최대풍속반경 185.2km까지 적용될 수 있도록 확장된 Lee(2007b)의 바람장 모형을 적용하여 평가될 수 있다. 중심기압 모형에는 태풍이 육지에 상륙할 때 중심기압이 상승하는 효과를 반영한 Fujii(1998)의 중심기압상승 모형이 사용될 수 있다.

전술된 방법으로 모사된 태풍 동반 강풍 위험  $g_x(v)$ 은 식 (2)의 웨이블 분포로 평가될 수 있다.

$$g_x(v) = \left(\frac{av^{a-1}}{b^a}\right) \exp\left(-\frac{v}{b}\right)^a \quad (2)$$

여기서,  $a$ 와  $b$ 는 웨이블 분포의 파라메타이다.

### 2.3 강풍 취약도 평가 방법론

강풍 취약도  $F_r(v)$ 는 식 (3)의 한계상태방정식과 같이 저항성능의 확률 분포와 풍하중 확률 분포의 차를 비교함으로써 평가될 수 있다.

$$Z = R - W \quad (3)$$

여기서,  $Z$ 는 풍하중에 의한 창호 시스템의 안전 여유치(margin of safety),  $R$ 는 창호 시스템의 저항성능 확률 분포,  $W$ 는 풍하중의 확률 분포를 의미한다(Schultz *et al.*, 2010).  $Z < 0$ 는 대상 창호 시스템의 파괴상태(failure state)를 의미한다.

구조적 취약도는 Ham(2014a), Ko(2009), Lee(2005), Lee(2013), Yun(2015)의 연구 결과와 같이 로그정규누적 분포 함수로 모형화될 수 있다. 본 연구에서는 MCS 기법으로 평가한 강풍 취약도를 식 (4)과 같이 로그정규누적분포의 파라메타로 모형화하였다.

$$F_r(y) = \Phi \left[ \frac{\ln(y) - m_R}{\zeta_R} \right] \quad (4)$$

여기서,  $\Phi$ 는 정규분포함수,  $m_R$ 은 모평균,  $\zeta_R$ 은 표준편차를 의미한다.

### 3. 강풍 위험 및 아파트 취약도 평가

#### 3.1 지역별 강풍 위험 평가

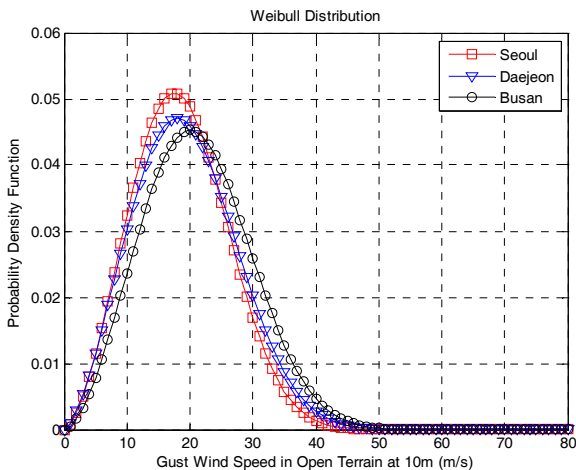
본 연구에서는 태풍 최대풍속반경을 제외한 태풍의 4가지 기후학적 특성은 서로 독립적이라고 가정하였다. 1951년부터 2013년까지 수집된 중심기압이 1,000hPa 미만 태풍의 기후학적 특성들에 대한 확률 분포를 기반으로 각각의 평가 지역에서 20,000개의 모의 태풍을 MCS 기법으로 발생시켰다. 태풍 동반 강풍 위험 평가 지역으로부터 반경 250km 이내에 존재하는 시간 동안 태풍 시물레이션을 실시하였으며, 태풍의 이동방향과 이동속도는 250km 반경 영역에서 일정하다고 가정하였다.

본 연구에서의 평가 지역은 해안가 지역, 수도권 지역, 내륙 지역에 대한 강풍 위험을 평가하기 위하여 부산, 대전, 서울이 선정되었다. Table 1은 3개 평가 지역에 대한 태풍 동반 강풍 위험의 웨이블 분포 매개변수와 100년 재현주기 풍속을 나타낸다(Lee *et al.*, 2011).

**Table 1** The parameters of the Weibull distribution and corresponding wind speed

Location	Latitude	Longitude	<i>a</i>	<i>b</i>	Wind speed (100 year)
Busan	35.1°N	129.0°E	23.77	2.71	41.8m/s
Daejeon	36.4°N	127.4°E	21.85	2.56	39.7m/s
Seoul	37.6°N	126.9°E	20.91	2.67	37.1m/s

Fig. 1은 3개 지역에 대한 태풍 동반 강풍 위험의 확률 분포를 나타내고 있다. 확률 분포로부터 상대적으로 높은 최빈값(mode)과 25m/s 이상의 높은 풍속은 서울보다 저위도인 대전과 부산에서 발생하는 것을 확인할 수 있다.

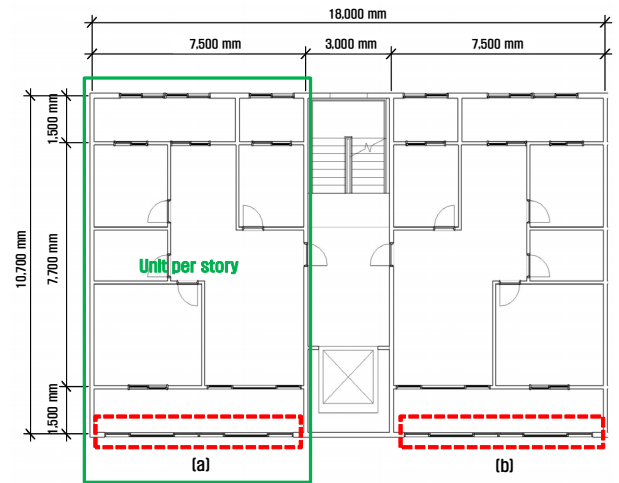


**Fig. 1** Probability density functions of wind speeds obtained from typhoon simulation

#### 3.2 아파트 취약도 평가

##### 3.2.1 대상 아파트 모형

취약도 평가를 위하여 선정한 아파트는 Fig. 2와 같은 평면을 갖는다. 강풍으로 인한 건축물의 피해는 구조체가 아닌 외장재에서 발생하게 된다. 본 연구에 적용된 강풍에 의하여 파괴되는 아파트의 외장요소는 2005년도 건축법 시행령 개정 이전에 설치된 발코니 창호 시스템이다. 창호 시스템은 유리, 메탈바, 고정앵커, 고정철물로 구성된다(Yun *et al.*, 2015).



**Fig. 2** Plan view of apartment

본 연구에서 사용된 창호 시스템의 크기는 3,300mm(폭)×2,100mm(높이)이다. 아파트 1세대에 해당하는 1주호에는 전면 발코니에 2개의 창호 시스템이 설치되어 있다. 창호 시스템은 설치되는 지역에 따라 유리두께, 메탈바 두께 등의 차이가 있으나, 본 연구에서는 부산, 대전, 서울에 설치되어 있는 창호 시스템의 물리적 특성은 동일한 것으로 가정하였다. 취약도 평가를 위하여 아파트 형태는 12개의 기본모델(baseline model)로 분류되었으며, 기본모델에 대한 건물

**Table 2** Description of baseline models

Baseline model No.	Story	Roof angle	Unit per story
1	5	$\theta = 0^\circ$	4
2	12	$\theta = 0^\circ$	4
3	15	$\theta = 0^\circ$	4
4	5	$\theta = 0^\circ$	8
5	12	$\theta = 0^\circ$	8
6	15	$\theta = 0^\circ$	8
7	5	$\theta > 10^\circ$	4
8	12	$\theta > 10^\circ$	4
9	15	$\theta > 10^\circ$	4
10	5	$\theta > 10^\circ$	8
11	12	$\theta > 10^\circ$	8
12	15	$\theta > 10^\circ$	8

높이, 지붕 경사각, 주호 수의 정보는 Table 2와 같다.

지리적 특성에 따른 강풍 취약도를 평가하기 위하여 지표 조도구분을 ASCE 7-10 기준과 같이 B, C, D로 구분하였다. 지형에 따른 풍속할증이 강풍 취약도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 환경부에서 제공하는 대분류 토지피복지도로부터 시가화 지역에 대한 위치정보를 이용하여 Fig. 3과 같이 시가화 지역 전체의 지형계수  $K_{zt}$ 의 분포를 분석하였다. 본 연구에서는 지형계수 분포의 평균인 1.02와 최대치 1.26에 대한 영향성을 평가하였다.

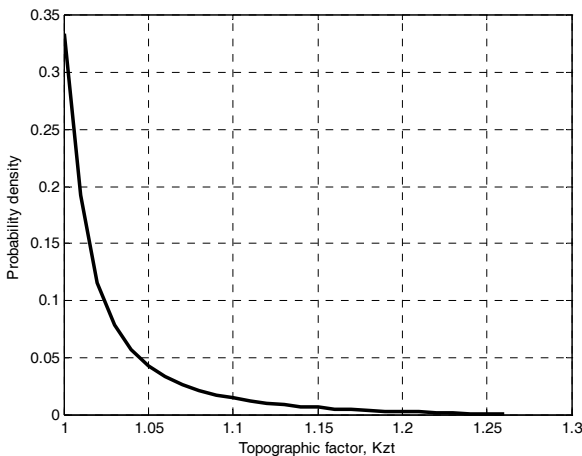


Fig. 3 Probability density function of topographic factors

3.2.2 풍하중의 확률 분포

식 (3)과 같이 창호 시스템의 한계상태방직식을 평가하기 위해서는 풍하중과 저항성능의 확률 분포가 산정되어야 한다. 본 연구에서는 풍하중 계수들의 확률 분포에 대한 평균과 COV(Coefficient of Variation)를 파악한 후 식 (5)의 풍하중 산정식을 이용하여 풍하중의 확률 분포를 평가하였다 (ASEC, 2010; Ellingwood *et al.*, 1999).

본 연구에서 확률적 풍하중은 ASCE 7-10 기준의 외장재 풍하중 산정식에서 안전율을 제거하여 산정하였다.

$$W = \alpha [q_z(GC_p) - q_h(GC_{pi})] \tag{5}$$

여기서,  $\alpha$ 는 0.8로써 ASCE 7-10 기준에 적용된 안전율을 제거하기 위한 계수이다(Cope, 2004).  $q_z$ 는 임의 높이  $z$ 에서의 속도압,  $q_h$ 는 평균 지붕높이에서의 속도압,  $GC_p$ 는 외압계수,  $GC_{pi}$ 는 내압계수를 의미한다.

선행 연구들을 통해 파악한 풍하중 산정계수의 통계치는 Table 3과 같다(Ellingwood *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2005). Table 3의 외압계수( $GC_p$ )의 평균은 ASCE 7-10 기준에서 제시하고 있는 외압계수의 공칭값(nominal value)이

적용되었다. 정압과 부압에 대한 외압계수의 COV는 0.12로 설정하였다(Ellingwood *et al.*, 1999). 내압계수는 한계상태 방직식에 의하여 창호 시스템이 파괴되지 않으면 밀폐 상태, 파괴되면 부분밀폐 상태로 고려되었다(Lee *et al.*, 2005; Yun *et al.*, 2015). 풍속할증계수  $K_{zt}$ 는 지형의 형상, 경사, 높이 등에 관한 함수이다. 본 연구에서는 풍속할증계수를 건축물 하중기준에 기초하여 결정론적(deterministic) 값으로 적용하였다(Architectural Institute of Korea, 2009).

Table 3 Summary of wind load statistics

	Category	Mean	COV	PDF
$K_d$	Components & Cladding	0.89	0.16	Normal
$GC_p$	Components & Cladding	Nominal	0.12	Normal
$GC_{pi}$	Enclosed	0.15	0.33	Normal
	Partially Enclosed	0.46	0.33	Normal

3.2.3 창호 시스템의 강풍 저항성능

본 연구에서는 창호 시스템에 대한 목업(mock-up) 실험을 통하여 파악한 통계치로 저항성능의 확률 분포를 모형화하였다. 목업 실험은 KS F 3117에 의하여 수행되었다(Kim *et al.*, 2015a).

풍하중으로 인하여 수직 메탈바가 항복되면 급격한 변형이 발생하여 유리가 파괴되기 때문에 수직 메탈바의 항복 시점에서 창호 시스템이 파괴되는 것으로 정의하였다. 이에 저항성능의 확률 분포 계산시 필요한 창호 시스템 저항성능의 평균과 COV 값은 메탈바의 항복 시점의 응력값을 이용하여 계산하였다(Kim *et al.*, 2015b). 본 연구의 목업 실험으로부터 파악한 창호 시스템 저항성능의 통계치인 평균과 COV 값은 각각 1,201N/m<sup>2</sup>와 0.11이다

3.2.4 아파트의 강풍 취약도

본 연구에서는 창호 시스템의 강풍 취약도는 Table 4와 같이 4개의 피해 단계(FEMA, 2010)로 나누어 평가되었다.

Table 4 Definition of damage states

Damage state (DS)	Damage description	Failure of window system
DS1	Minor	≥ One window system
DS2	Moderate	≥ 10%
DS3	Severe	≥ 20%
DS4	Destruction	≥ 33%

창호 시스템의 피해 단계는 취약도 평가 대상 기본모델의 전체 창호 시스템 개수 중 파괴된 창호 시스템 개수의 비로 정의된다(Ham *et al.*, 2014a; Yun *et al.*, 2015).

본 연구에서 평가한 강풍 취약도의 예시는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4는 기본모델 6에 대한 지표조도구분 D 상태에서의 강풍 취약도를 나타낸 것이다. Fig. 4에서 심볼(symbol)로 표시된 값은 MCS 기법을 사용하여 계산한 값이며, 실선으로 표시된 값은 로그정규누적분포의 파라미터로 모형화한 결과이다.

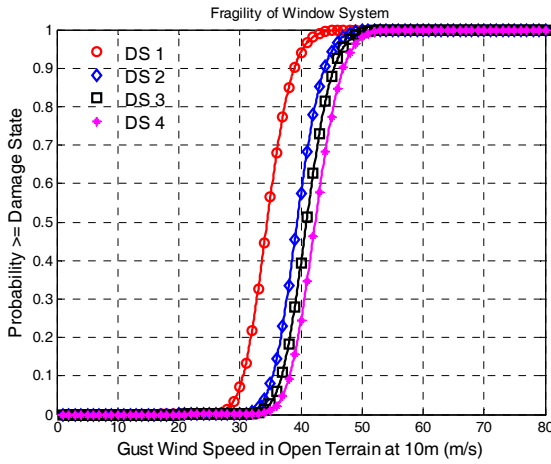


Fig. 4 Fragility curves of baseline model 6(Exposure D)

Fig. 4의 강풍 취약도 곡선을 모형화하기 위한 로그정규누적분포의 파라미터는 Table 5와 같다. Table 5의 평균 제곱근 오차(RMSE: Root Mean Square Error) 결과와 같이 로그정규누적분포가 MCS 기법을 사용하여 평가한 강풍 취약도의 결과를 근사히 모사하는 것을 알 수 있다.

Table 5 Lognormal cumulative distribution parameters of wind fragility and RMSE

Damage state	$m_R$	$\zeta_R$	RMSE
DS1	3.539	0.095	0.15
DS2	3.673	0.084	0.05
DS3	3.711	0.081	0.05
DS4	3.745	0.081	0.67

아파트 창호 시스템의 강풍 취약도 평가로부터 지표면조도구분과 지형의 영향을 고려하여 12개 기본모델에 대한 72종의 취약도가 구축되었다. 논문 인쇄면의 제한으로 인하여 평가된 취약도 중 대표적인 취약도를 다음 장 '아파트에 대한 강풍 위험도'에서 제시한다.

#### 4. 아파트에 대한 강풍 위험도

본 장에서는 MCS 기반의 강풍 위험도 평가 체계로부터 파악한 다양한 지리·지형적 요인(강풍의 발생지, 지형, 지표면조도)과 아파트 형태적 요인(지붕 경사각, 건물 높이)에 대한 영향성을 검토한다.

#### 4.1 지역별 강풍 위험의 영향

Fig. 5는  $\theta > 10^\circ$ 의 지붕 경사각과 12층 높이를 갖는 기본모델 8의 강풍 위험도를 부산, 대구, 서울에 대하여 비교하고 있다. Fig. 5에서 퍼센트(%)로 표시된 수직축은 위험도, 하단의 수평축은 노풍도 C에서의 3초 평균풍속을 나타낸다. Fig. 5에서 실선은 풍속별 위험도를, '●'은 100년 재현주기 풍속에 해당하는 위험도를 나타낸다. 본 위험도 분석을 위하여 적용된 기본모델 8에 대한 강풍 취약도는 지표조도구분 C와 피해 단계는 DS1에 대하여 평가되었다. 취약도의 로그정규분포 파라미터는 Table 6과 같다.

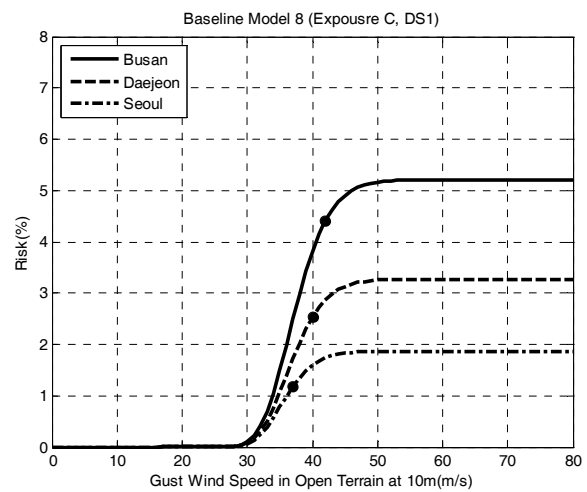


Fig. 5 Effects of regional wind hazard on wind risk

Table 6 Lognormal cumulative distribution parameters of baseline model 8(Damage State, DS1)

Damage state	$m_R$	$\zeta_R$
DS1	3.593	0.095

Fig. 5로부터 부산, 대전, 서울 지역에서의 최대 강풍 위험도는 각각 약 5.3%, 3.3%, 1.9%임을 알 수 있다. 또한 부산, 대전, 서울 지역에서의 100년 재현주기 풍속에 대한 위험도는 각각 약 4.4%, 2.6%, 1.3%로, 부산과 대전 지역의 값이 서울보다 약 1.7배와 3.4배 큰 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 동일한 형태의 아파트일 경우에도 위치하는 지역의 상이한 강풍 위험으로 인하여 강풍 위험도가 크게 달라지는 것을 알 수 있다.

#### 4.2 지형에 의한 풍속 할증의 영향

Fig. 6은 대전 지역에 위치한  $\theta > 10^\circ$ 의 지붕 경사각과 12층 높이를 갖는 기본모델 8에 대한 강풍 위험도를 지형계

수 값 1.00, 1.02, 1.26에 대하여 비교하고 있다. 본 위험도 분석을 위하여 적용된 기본모델 8에 대한 강풍 취약도는 지표조도구분 C와 피해 단계 DS1에 대하여 평가되었다. 취약도의 로그정규분포 파라미터는 Table 7과 같다.

Fig. 6으로부터 지형계수가 1.0인 평지에서는 최대 3.3%의 강풍 위험도가 나타나는 것에 반해 지형에 의하여 풍속이 빨라져 지형계수가 1.26인 지역에서는 약 7.5%까지 최대 강풍 위험도가 증가하는 것을 알 수 있다. ●로 표시된 100년 재현주기 풍속에 대한 강풍 위험도 역시 지형에 의해서 풍속이 빨라짐에 따라 2.5%에서 6.7%까지 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 언덕 및 경사지 정상 부근 등에서 발생하는 풍속의 빨라짐은 강풍 위험도에 큰 영향을 줄 수 있는 것을 알 수 있다.

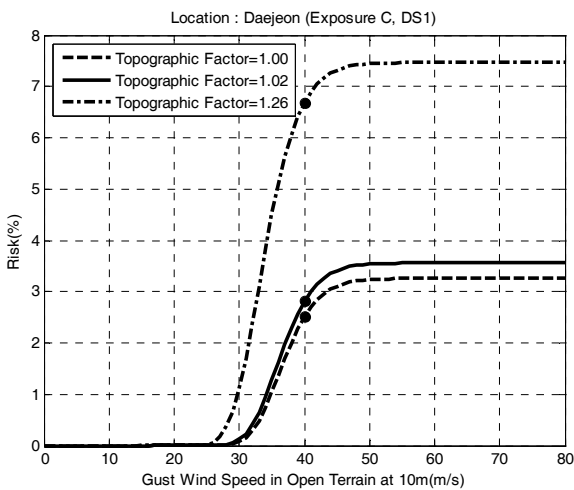


Fig. 6 Effects of topography factor on wind risk

Table 7 Lognormal cumulative distribution parameters of baseline model 8(Damage State, DS1)

Damage state	Topography factor	$m_R$	$\zeta_R$
DS1	1.00	3.593	0.095
	1.02	3.584	0.099
	1.26	3.477	0.099

### 4.3 지표조도의 영향

Fig. 7은 서울 지역에 위치한 12층 높이의 평지붕을 갖는 기본모델 5에 대한 강풍 위험도를 지표조도구분에 따라 비교하고 있다. 본 위험도 분석을 위하여 적용된 기본모델 5에 대한 강풍 취약도는 지표조도구분 B, C, D와 피해 단계 DS1에 대하여 평가되었다. 각각의 지표조도구분에 따른 취약도의 로그정규분포 파라미터는 Table 8과 같다.

Fig. 7으로부터 지표조도구분이 B에서 C, D로 증가하면서 최대 강풍 위험도는 약 0.2%에서 약 1.3%, 2.4%로 각

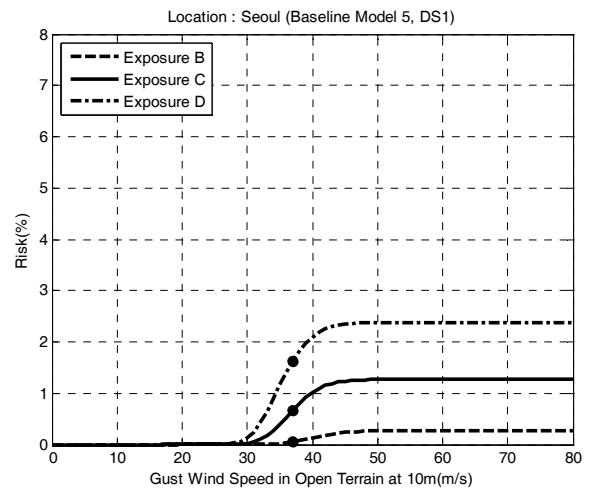


Fig. 7 Effects of terrain exposure on wind risk

Table 8 Lognormal cumulative distribution parameters of baseline model 5(Damage State, DS1)

Exposure category	$m_R$	$\zeta_R$
B	3.763	0.095
C	3.632	0.096
D	3.566	0.094

각 증가하는 것을 알 수 있다. ●로 표시된 100년 재현주기 풍속에서 대한 강풍 위험도 역시 지표면조도구분이 B에서 D로 변화함에 따라 0.1%에서 1.8%로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 지표조도구분이 B에서 D로 변화할수록 지표조도계수  $K_z$ 가 높아지고, 그에 따라 풍하중이 증가하여 강풍 위험도가 커지기 때문이다.

### 4.4 아파트 지붕 경사각의 영향

Fig. 8은 부산 지역에 위치한 5층 높이에 평지붕과 박공

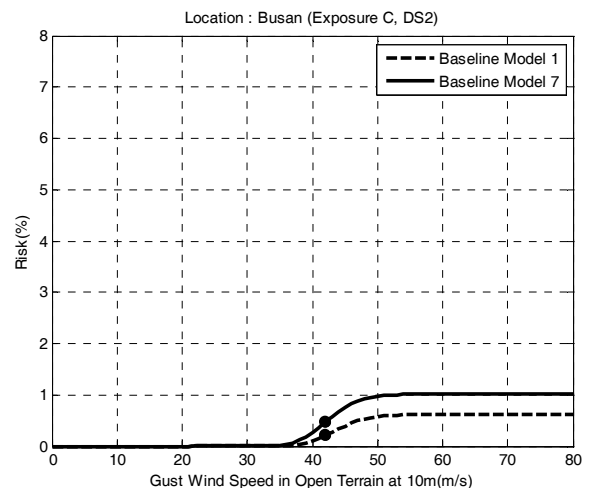


Fig. 8 Effects of roof angle on wind risk

**Table 9** Lognormal cumulative distribution parameters of baseline models 1 and 7(Damage State, DS2)

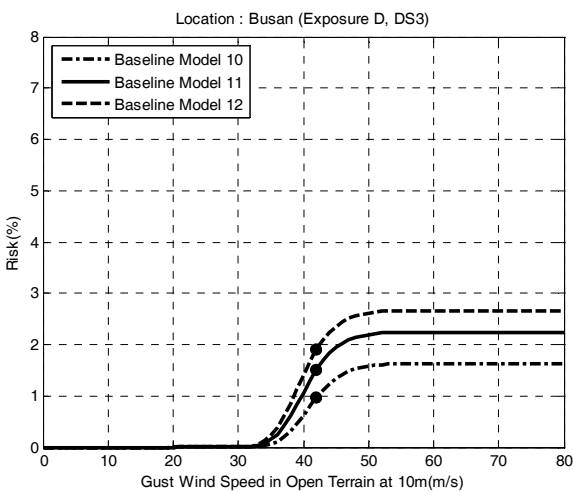
Baseline model No.	$m_R$	$\zeta_R$
1	3.811	0.089
7	3.768	0.088

지붕을 갖는 기본모델 1과 7의 강풍 위험도를 비교하고 있다. 본 위험도 분석을 위하여 적용된 기본모델 1과 7에 대한 강풍 취약도는 지표조도구분 C와 피해 단계 DS2에 대하여 평가되었다. 각각의 기본모형에 대한 취약도 로그정규분포 파라미터는 Table 9와 같다.

Fig. 8로부터 평지붕과 박공지붕의 최대 강풍 위험도는 각각 약 0.6%, 1.0%를 나타나고 있다. 또한 ●로 표시된 100년 재현주기 풍속에서의 평지붕과 박공지붕의 강풍 위험도는 각각 0.3%, 0.5%로 박공지붕이 평지붕보다 약 1.7배 큰 위험도를 갖는 것을 알 수 있다. 이는 평지붕을 갖는 아파트 벽체의 외압계수가 박공지붕을 갖는 아파트의 경우 보다 10%로 작게 작용하기 때문이다(Architectural Institute of Korea, 2009; ASCE 7-10, 2010).

#### 4.5 아파트 높이의 영향

Fig. 9는 부산 지역에 위치한  $\theta > 10^\circ$ 의 지붕 경사각과 5층, 12층, 15층 높이를 갖는 기본모델 10, 11, 12의 강풍 위험도를 비교하고 있다. 본 위험도 분석을 위하여 적용된



**Fig. 9** Effects of building height on wind risk

**Table 10** Lognormal cumulative distribution parameters of baseline models 10, 11, and 12(Damage State, DS3)

Baseline model No.	$m_R$	$\zeta_R$
10	3.721	0.085
11	3.687	0.083
12	3.668	0.082

기본모델들에 대한 강풍 취약도는 지표조도구분 D와 피해 단계 DS3에 대하여 평가되었다. 각각의 기본모델에 대한 취약도의 로그정규분포 파라미터는 Table 10과 같다. Fig. 9로부터 아파트의 높이가 5층에서 15층으로 높아짐에 따라 최대 강풍 위험도는 각각 약 1.6%에서 2.7%로 상승하는 것을 알 수 있다.

또한 ●로 표시된 100년 재현주기 풍속에서의 높이 증가에 따른 강풍 위험도는 약 0.9%에서 1.9%로 증가하고 있다. 이로부터 건물의 높이가 높아질수록 지표조도계수  $K_z$ 가 증가하여 강풍 위험도가 커짐을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 강풍 위험과 강풍 취약도의 합성곱을 통하여 강풍 위험도를 평가할 수 있는 확률적 체계를 수립하였고, 수치적으로 개발한 모형으로 아파트 창호 시스템의 강풍 위험도를 평가하였다. 강풍 위험 모형은 1951년부터 2013년까지에 한반도에 영향을 준 태풍의 기후학적 자료로부터 확률 분포를 파악하고 몬테카를로 모사 기법에 적용하여 개발되었다. 또한 몬테카를로 모사 기법을 적용하여 아파트의 취약요소인 창호 시스템의 저항성능과 풍하중 확률 분포의 비교를 통해 4가지 피해단계에 대한 구조적 파괴확률을 평가할 수 있는 취약도 모형이 개발되었다. 개발된 몬테카를로 모사 기법으로 평가한 강풍 위험과 강풍 취약도는 각각 웨이블 분포와 로그정규분포로 곡선맞춤되었으며, 합성곱을 통한 강풍 위험도 평가에 사용되었다. 본 연구에서 개발한 확률적 위험도 평가 체계를 통하여 평가 지역, 지표조도, 지형, 지붕 경사각, 건물 높이 등이 아파트 창호 시스템의 강풍 위험도에 미치는 영향성을 정량적으로 평가할 수 있었다.

본 연구를 통하여 개발된 강풍 위험도 평가 모델은 평가 지역의 존재하는 건축물에 대한 데이터베이스와 결합하여 손실 추정 및 피해 저감 대책 수립 등의 분야에서 활용이 가능할 것으로 판단된다. 향후 연구에서는 본 연구에서 개발된 강풍 위험도 모델과 실제 피해사례와의 비교를 통하여 위험도 평가 모델의 적합성을 검증할 계획이다.

### 감사의 글

본 연구는 정부(국민안전처)의 재원으로 자연재해저감기술 개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임(MPSS-자연-2015-81). 또한 2015년도 강원대학교 대학회계 학술연구조성비로 연구하였음(과제번호-520150045).

## References

- Architectural Institute of Korea** (2009) *Korean Building Code-Structural*, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, p.772.
- ASCE** (2010) *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures(ASCE 7-10)*, American Society of Civil Engineers, Virginia, p.608.
- Batts, M.E., Simiu, E., Russell, L.R.** (1980) Hurricane Wind Speeds in the United States, *J. Struct. Div., ASCE*, 106(10), pp.2001~2016.
- Cope, A.** (2004) Predicting the Vulnerability of Typical Residential Buildings to Hurricane Damage, Ph.D. Dissertation, Civil Engineering Department, University of Florida, Florida, p.222.
- Ellingwood, B.R., Rosowsky, D., Kim, J.H.** (2004) Fragility Assessment of Light-Frame Wood Construction Subjected to Wind and Earthquake Hazards, *J. Struct. Eng.*, 130(12), pp.1921~1930.
- Ellingwood, B.R., Tekie, P.B.** (1999) Wind Load Statistics for Probability-Based Structural Design, *J. Struct. Eng.*, 125(4), pp.453~463.
- FEMA** (2010) *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hurricane model. Technical Manual*, Department of Homeland Security, Washington, D.C., p.551.
- Fujii, T.** (1998) Statistical Analysis of the Characteristics of Severe Typhoons Hitting the Japanese Main Islands, *Mon. Weather Rev.*, 126(4), pp.1091~1097.
- Ham, H.J., Yun, W.S., Kim, H.J., Lee, S.S.** (2014a) Evaluation of Extreme Wind Fragility for Balcony Windows Installed in Mid/Low-Rise Apartments, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 14(01), pp.19~26.
- Kim, J.Y., Kim, H.J., Kim, J.Y.** (2015a) Evaluation of Capacities of Windows Systems with Full Scale Mock-up Test, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 15(1), pp.57~62.
- Kim, J.Y., Kim, J.Y., Kim, H.J., Moon, K.H.** (2015b) Evaluation of Probabilistic Capacities of Old Window Systems in Residential Buildings for Strong Winds, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, 15(1), pp.09~16.
- Ko, H., Park, Y.K., Lee, D.G.** (2009) Fragility Analysis of RC Moment Resisting Frame with Masonry Infill Walls, *J. Comput. Struct. Eng. Inst. Korea*, 22(4), pp.355~362.
- Lee, J.S.** (2012) *Understanding of Natural Disasters*, Goomibook, South Korea, p.618.
- Lee, K.H., Rosowsky, D.** (2005) Fragility Assessment for Roof Sheathing Failure in High Wind Regions, *Eng. Struct.*, 27(6), pp.857~868.
- Lee, S.S., Ham, H.J.** (2011) Evaluation of Typhoon Risk on Sandwich Panel Building Systems, *J. Archi. Inst. Korea*, 27(1), pp.77~84.
- Lee, S.S., Ham, H.J., Kim, H.J.** (2013) Fragility Assessment for Cladding of Industrial Buildings Subjected to Extreme Wind, *J. Asian Archi. & Build. Eng.*, 12(1), pp.65~72.
- Lee, Y.K., Lee, S., Kim, H.S.** (2007a) Estimation of Typhoon-Induced Extreme Wind Speeds over Coastal region of Gyeongsangnam-do Province, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, pp.85~89.
- Lee, Y.K., Lee, S., Park, C.W.** (2007b) Analysis on Radii of Maximum Sustained Winds of Typhoons around Korean Peninsula, *J. Wind Eng. Inst. Korea*, 11(2), pp.203~210.
- Li, Y., Ellingwood, B.R.** (2006) Hurricane Damage to Residential Construction in the US: Importance of Uncertainty Modeling in Risk Assessment, *Eng. Struct.*, 28(7), pp.1009~1018.
- Schultz, M., Gouldby, B., Simm, J.** (2010) *Beyond the Factor of Safety: Developing Fragility Curves to Characterize System Reliability*, US Army Corps of Engineers, Washington, p.50.
- Yun, W.S., Ham, H.J., Kim, H.J., Lee, S.S.** (2015) Evaluation of Extreme Wind Fragility of Balcony Window Systems in Apartments, *J. Archi. Inst. Korea*, 31(4), pp.3~11.



## 요 지

본 연구에서는 강풍 위험과 강풍 취약도의 합성곱을 통하여 강풍 위험도를 평가할 수 있는 확률적 체계를 수립하였으며, 수치적으로 개발한 모형으로 아파트 창호 시스템의 강풍 위험도를 평가하였다. 강풍 위험 모형은 1951년부터 2013년까지에 한반도에 영향을 준 태풍의 기후학적 자료를 몬테카를로 모사기법에 적용하여 개발되었다. 또한 몬테카를로 모사기법으로 창호 시스템의 저항성과 풍하중의 확률 분포를 비교하여 강풍에 대한 4가지 피해단계의 구조적 파괴확률을 평가할 수 있는 취약도 모형이 개발되었다. 개발된 몬테카를로 모사기법으로 평가한 강풍 위험과 강풍 취약도는 각각 웨이블 분포와 로그정규분포로 곡선맞춤 되었으며, 합성곱을 통한 강풍 위험도 평가에 사용되었다. 본 연구에서 개발한 확률적 위험도 평가 체계를 통하여 평가지역, 지표조건, 지형, 지붕 경사각, 건물 높이 등이 아파트 창호 시스템의 강풍 위험도에 미치는 영향성을 정량적으로 평가할 수 있었다. 향후 본 연구를 통하여 개발된 강풍 위험도 평가 모델은 평가지역의 존재하는 건축물에 대한 데이터베이스와 결합하여 손실추정 및 피해 저감대책 수립 등의 분야에서 활용이 가능할 것으로 판단된다.

**핵심용어** : 위험도 평가, 강풍 취약도, 강풍 위험, 확률 모형, 몬테카를로 모사기법