경량 목구조 지붕 쉬딩 시스템에 대한 강풍 취약도 평가기법 개발

Wind Fragility Development for Roof Sheathing System of Light-Frame Wood Structure

함희정* · 이승수** · 김호정***

Ham, Hee Jung · Lee, Sungsu · Kim, Ho-Jeong

Abstract

This paper presents a fragility assessment for roof sheathing in light-frame wood constructions built in high wind regions. A fragility methodology is developed to assess the performance of roof sheathing subjected to wind-induced building pressures. The goal of this study is to develop a fragility model for roof sheathing system using available resistance test data, recently developed wind load statistics and building code. A typical baseline building considering different geographic locations is investigated using a Monte Carlo simulation method. Fragilities of the baseline building considering three different levels of damages are developed as a function of 3 second gust wind speed. The fragility methodology described in this paper can be used to estimate physical vulnerability and financial loss of light-frame wood construction in high wind regions.

Key words : Fragility, Risk, Monte Carlo simulation, Light-frame wood construction, Roof sheathing system

요 지

본 논문에서는 강풍 지역에 건설된 경량 목구조 건축물의 취약도 구축 방안이 연구되었다. 강풍 취약도를 구축하기 위하여 경량 목구조 건축물에 작용하는 풍하중과 지붕 쉬딩 시스템의 저항 성능이 비교되었다. 본 연구는 지붕 쉬딩 시스템에 대한 강풍 취약도 모형을 파악 가능한 쉬딩의 저항성능과 최근의 구축된 풍하중의 통계치 및 기준을 사용하여 개발하는 것에 목적을 갖는다. 본 연구에서는 지리적으로 상이한 위치에 건설된 일반적 형태의 건축물에 대한 취약도를 몬테카를로 모사모형을 기반으로 연구하였으며, 강풍 취약도는 3가지 손상 정도를 고려하여 3초 돌풍의 함수로 개발되었다. 본 연구에서 기술한 취약도 평가방법은 강풍 지역에 건설된 경량 목구조 건축물에 대한 물리적 취약정도 및 경제적 피해 평가 방안으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

핵심용어 : 취약도, 위험도, 몬테카를로 모사, 경량 목구조, 지붕 쉬딩 시스템

1. 서 론

국내에 경량 목구조 건축물이 보급되기 시작한 것은 1990년대 이후로, 미국 및 캐나다로부터 건설부재가 수입되어 신축되고 있다. 투바이포공법으로도 불리는 이 경량 목구조는 단면이 2인치 X 4인치(혹은 6인치)의 각재를 사용하여 수평 및 수직 격판이 상호 긴밀하게 결합되어 수평·수직 하중에 저항하는 상자형 구조(box system)를 갖고 있다.

한국에서 경량 목구조 공법은 건설의 용이성 및 친환경성 때문에 구조계산 없이 3층 이하의 단독주택과 소규모 숙박시설 등의 건축물에 많이 적용되고 있다. 그러나 이 경량 목구조 건축물은 강풍에 취약한 시설물 중의 하나로 파악되고 있

다. 최근 미국을 내습한 허리케인으로 인한 피해에 대한 보고에 의하면 상당부분의 경량 목구조 건축물의 피해는 지붕 쉬딩(sheathing) 및 창호 시스템의 파괴로부터 기인하는 것으로 평가되고 있다(Li, 2006; Pinelli 등, 2009).

2005년 건축법 개정을 통해 독립적인 구조의 한 형식으로 인정받기 시작한 경량 목구조 건축물의 설계법은 상당부분 미국 및 캐나다의 설계기준을 차입하여 사용하고 있다(KBC, 2009). 이 설계법은 부재의 선택 및 연결방법에 대하여 명시하고 있으나 명시적인 기준을 적용하였을 경우 건축물이 한국의 강풍 환경에 적합한지에 대한 정보는 제공하지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 경량 목구조 건축물의 지붕 쉬딩 시스템에 대하여 취약도 평가 방안을 개발하고, 대표적인 강풍

*정회원. 강원대학교 공과대학 건축공학과 교수(E-mail: heejham@kangwon.ac.kr)

Member. Professor, Department of Architectural Engineering, Kangwon National University

**교신저자. 정회원. 충북대학교 공과대학 토목공학부 교수(Tel : +82-043-261-3344, Fax : +82-043-275-2377, E-mail: joshua@cbnu.ac.kr)

Corresponding Author. Member. Professor, Division of Civil Engineering, Chungbuk National University

***단국대학교 건축대학 건축학과 부교수

Associate Professor, Department of Architecture, Dankook University

지역인 제주지역을 대상으로 경량 목구조 건축물의 파괴확률을 평가하였다. 본 연구에서는 몬테카를로 모사모형(Monte Carlo simulation engine)을 기반으로 건축물에 작용하는 풍하중과 지붕 쉬딩 시스템의 저항성능을 비교하여 강풍 취약도를 구축하였으며, 몬테카를로 모사모형 기반으로 파악한 태풍 위험요인의 확률분포와 강풍 취약도의 합성곱(convolution)으로 제주 지역에 대한 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩 시스템의 파괴확률 즉 위험도를 평가하였다.

2. 강풍 취약도 모형의 이론적 배경

2.1 건축물의 강풍 취약도

확률적 안전성 평가는 강풍과 같은 외력에 대한 건축물의 성능 및 신뢰도(reliability)를 평가할 때에 사용된다.

건축물의 강도 및 변형과 관계된 한계상황을 묘사하는 풍하중과 저항의 변수를 $X=(X_1, X_2, \dots, X_n)$ 이라고 할 때, 건축물의 안전범위는 식 (1)과 같이 정의 될 수 있다(Schultz 등, 2010).

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1)$$

식 (1)에서 $g(\cdot)$ 는 풍하중과 저항능력의 상관관계를 나타내는 함수이며, Z 는 값이 $>0, =0, <0$ 에 따라 각각 구조적 안전상황, 균형상황, 한계상황을 묘사한다. 건축물의 파괴확률은 식 (2)와 같이 $g(X) < 0$ 구간에 대하여 풍하중과 저항능력의 변수 X 의 다변수 밀도함수를 연속 적분하여 얻을 수 있다(Whittaker와 Hamburger, 2007).

$$P_f(Z < 0) = \int \dots \int_{g(x) < 0} f_X(X) dX \dots dX \quad (2)$$

대부분의 건축물의 경우 식 (2)로 표현된 파괴확률은 해석적 방법으로 파악하기 어려우며, 일반적으로 일차·이차 근사법(first & second order approximations)과 몬테카를로 모사기법을 적용하여 파악하고 있다(Schultz 등, 2010). 외력의 요구(Demand, D)를 주변수로 분리하여 임의의 풍속 v 발생시의 건축물에 대한 한계상황의 확률 즉 위험도를 정리하면 식 (3)과 같다(Ham 등, 2009).

$$P(LS) = \int_0^\infty P(LS|D=v)P(D=v)dv \quad (3)$$

여기서 $P(LS|D=v)$ 는 외력의 요구가 임의의 풍속일 경우($D=v$)의 건축물에 대한 조건적 한계상황의 확률(conditional limit state probability)인 취약도이고, $P(D=v)$ 는 외력의 요구가 임의의 풍속일 경우($D=v$)의 발생확률이다. 식 (3)에 나타난 취약도 $P(LS|D=v)$ 는 건축물에 대한 안전성 평가 시 매우 중요한 것으로 50년, 100년 등의 다양한 재현주기 풍속과 같은 특정한 외력의 요구에 대한 건축물의 내풍성능을 평가하거나, 반대로 건축물의 내풍성능이 대응할 수 있는 풍속의 정도를 판단하는데 사용될 수 있다.

강풍 취약도 관련 문헌에 의하면 일반적으로 건축물의 구

조적 취약도 $P(LS|D=v)$ 는 식 (4)와 같이 로그정규(lognormal) 누적확률분포(cumulative density function, CDF) 형태로 모형화 될 수 있다(Lee, 2005; Shanmugam, 2011; Unanwa 등, 2000).

$$P(LS|D=v) = \Phi \left[\frac{\ln(v) - m_R}{\zeta_R} \right] \quad (4)$$

위 식에서 $\Phi(\cdot)$ 는 정규분포함수, m_R 은 모평균, ζ_R 은 $\ln(v)$ 의 표준편차를 나타낸다. 이 로그정규누적분포의 표준편차는 L 에 의하면 그 값이 0.3 이하일 때 변동계수(coefficient of variation, COV)와 거의 같아지는 특성을 가지고 있다(Li, 2006).

2.2 몬테카를로 모사모형

본 연구에서는 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩의 저항성능과 풍하중을 확률적으로 비교하기 위하여 Fig. 1에 보이는 몬테카를로 모사모형을 개발하였다. 몬테카를로 모사모형에서는, 풍향, 풍속, 건축물의 형태에 대한 각각의 변수를 입력하고 반복적 계산을 통하여 그 결과 값을 얻을 수 있다. 본 몬테카를로 모사모형은 각각의 3초 돌풍 풍속에 대하여 정규

Fig. 1. Flowchart of MCS engine

분포로 가정한 확률분포로부터 임의로 추출한 표본자료를 이용하여 동적속도압, 풍방향계수, 외압 및 내압 풍압력계수, 부재의 저항성능을 모사하게 된다.

또한 본 모사모형에서는 로그정규분포 형태의 강풍 취약도를 통계적 일관성을 유지하며 산정하기 위하여 풍하중과 저항성능에 대한 한계상황을 묘사하는 식 (1)을 반복수행 하였다.

3. 경량 목조 건축물의 강풍 취약도 모형

본 연구에서는 몬테카를로 모사모형을 기반으로 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩에 대한 강풍 취약도를 파악하기 위하여 대상 건축물의 형태, 지붕 쉬딩의 저항성능 및 풍하중의 확률적 특성치, 지붕에 작용하는 풍향을 다음과 같이 모형화 하였다.

3.1. 대상 건축물

대상 목구조 건축물은 지상 1층 규모의 박공형 지붕형태를 가지는 단일 건축물이다. 건물의 지붕 처마는 고려하지 않았으며, 지붕 외장재를 제외한 지붕프레임과 지붕 쉬딩 모두 경량 목구조를 사용하였다. 자세한 목구조 건축물의 특성은 Table 1에 나타난 것과 같다.

Fig. 2는 본 연구에서 모형화한 목구조 건축물의 지붕 쉬딩, 외장재, 개구부 등의 형태를 보이고 있다.

대상 건축물의 지붕 쉬딩의 배치는 Fig. 3과 같다. 지붕 쉬딩은 총 32개의 패널로 구성 되어있으며, 쉬딩의 위치에 따라 크게 4종류의 패널로 분류하였다. 쉬딩 패널의 크기는 패널 ①, ②, ④는 1.22m×2.44m의 크기를 가지며, 패널 ③은 1.22m×1.22m의 크기를 갖는다.

Table 1. Characteristics of prototype building

Plan dimension	6.9 m × 12.2 m
No. of stories	1
Roof type	Gable
Roof slope	19.5°
Roof frame spacing	61
Overhang	None

Fig. 2. Configuration of prototype building

Fig. 3. Layout of roof sheathing (unit: mm)

3.2 쉬딩의 고정하중

쉬딩에 작용하는 고정하중으로는 쉬딩 패널의 자중만을 고려하였으며, 기존 연구에서 파악한 쉬딩 자중에 대한 정보에 따라 고정하중의 분포는 정규분포로 가정하였으며 모평균은 168 kN/m²로 변동계수는 0.10로 산정하였다(Lee, 2005).

3.3 쉬딩 저항성능의 통계치

쉬딩에 사용된 패널은 12 mm 두께의 CDX(C·D등급 혼용)의 패널로서 미국 APA(American Plywood Association)에서는 이 CDX 패널을 경량 목구조 건축물의 바닥, 벽, 지붕 쉬딩 시스템용으로 분류하고 있다. CDX 패널은 웅이, 상처 등으로 외관상 외장재로 사용은 적합하지 않으며 습기에 대한 저항력은 있는 재료로 중·저가의 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩으로 많이 사용되고 있다.

쉬딩을 고정하기 위한 연결재로는 방청못을 사용한다. KBC 2009에서는 목구조 접합부에 사용되는 연결못에 대하여 CMN50(지름 2.87 mm, 길이 50.8 mm) 방청못(이하 6d로 기술)과 CMN65(지름 3.33 mm, 길이 63.5 mm) 방청못(이하 8d로 기술)을 사용하도록 규정하고 있다(KBC, 2009). 쉬딩 패널과 못의 결합으로 인한 쉬딩의 저항성능(Lee, 2005)은 Table 2에 나타나 것과 같이 8d 규격의 못을 사용할 시 6d를 사용한 경우보다 저항성능이 크며, 작은 패널(1.22 m×1.22 m)이 큰 패널(1.22 m×2.44 m)에 비해서 저항성능이 큼을 파악할 수 있다.

Table 2. Summary of resistance statistics

Nail type/ spacing (cm)	Panel size	Mean (kN/m ²)	COV	CDF
CMN50 6d ^a (15.2 cm/30.5 cm)	1.22m×2.44m	1.20	0.15	Normal
	1.22m×1.22m	1.53	0.15	Normal
CMN65 8d ^b (15.2 cm/30.5 cm)	1.22m×2.44m	2.76	0.20	Normal
	1.22m×1.22m	3.51	0.20	Normal

^a:2.87 mm diameter, 50.8 mm long

^b:3.33 mm diameter, 63.5 mm long

3.4 풍하중의 통계치

본 연구에서는 대상 건축물 지붕 쉬딩에 작용하는 풍하중을 산정하기 위해서 ASCE 7-05 기준의 풍하중 산정식을 수정하여 사용하였다. ASCE 7-05 기준에서는 풍하중을 크게 주풍하중 저항시스템(main wind-force resisting system, MWFRS)용과 컴포넌트와 외장재(component and cladding, C&C)용으로 구분하여 규정하고 있다(ASCE, 2006). 본 연구에서는 지붕 쉬딩의 취약도를 산정하기 위하여 식 (5)와 같은 컴포넌트와 외장재 설계용 풍하중 기준을 변환한 산정식을 사용하였다.

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

식 (5)에서 α 는 풍하중 기준에 포함된 안전율을 제거하는 계수(Cope, 2004), q_h 는 평균 지붕높이(h)에서 계산된 동적속

도압, GC_p 는 돌풍계수와 외부압력계수의 곱, GC_{pi} 는 돌풍계수와 내부압력계수의 곱을 각각 나타낸다. 임의의 높이 z 에서의 동적속도압은 ASCE 7-05 기준에 의하면 식 (6)과 같다.

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d V^2 I (N/m^2) \quad (6)$$

이 식에서 K_z 는 지표조도계수, K_{zt} 는 지형계수, K_d 는 풍방향계수, I 는 중요도계수, V 는 기본풍속(m/s)으로 10 m에서의 3초 돌풍 풍속을 의미한다.

Table 3은 본 연구에 적용된 풍하중의 통계치를 보이고 있다. 통계치 중 K_z , K_d , GC_{pi} 는 이전 연구(Cope, 2005; Li, 2005; Ham 등, 2009)의 결과에서 얻을 수 있었으며, K_{zt} 와 I 는 고정된 값으로 1을 사용하였다.

Table 4는 패널에 작용하는 외압계수(GC_p)의 분포를 나타낸다. 쉬딩 배치 위치에 따라서 외압계수의 공칭값은 각각 다르다. 표의 왼쪽 그림에서 지붕의 바깥쪽인 Zone 2와 3의 외압계수의 공칭값이 지붕 안쪽 부분인 Zone 1에 비해서 큰 것을 알 수 있다. 패널 위치에 따른 외압계수의 공칭값은 식 (5)에 의하여 산정되었다. 또한 외압계수의 모평균은 쉬딩의 위치에 따라 구해진 외압계수의 공칭값에 Ham 등에 의한 외압계수 공칭값과 모평균의 비율을 적용하여 산정되었다(Ham 등, 2009).

지붕에 작용하는 풍방향은 ASCE 7-05 기준을 기초로 전 방향(all wind direction), 용마루 직각방향(normal to ridge wind direction), 용마루 평행방향(parallel to ridge wind direction)으로 나누어 가정하였으며, 이에 따라 각 풍향에서 발생할 수 있는 쉬딩의 파괴모드를 고려하여 파괴가 예상되는 쉬딩 패널에 앞서 산정한 외압계수의 모평균과 변동계수를 각각 적용하였다.

Table 3. Summary of wind load statistics

	Category	Nominal	Mean	COV	CDF
K_z	Exposure B 0.0m~9.1m	0.70	0.71	0.19	Normal
	Exposure C 0.0m~4.6m	0.85	0.82	0.14	Normal
	Exposure D 0.0m~4.6m	1.03	0.99	0.14	Normal
K_d	Components & cladding	0.85	0.89	0.16	Normal
GC_{pi}	Enclosed	0.18	0.15	0.33	Normal
	Partially enclosed	0.55	0.46	0.33	Normal
K_{zt}	Deterministic (1.0)				
I	Deterministic (1.0)				

Table 4. Summary of external pressure coefficient for prototype building

Wind pressure zone (ASCE 7-05)				Distribution of external pressure coefficients on sheathing panels		
Zone 3	Zone 2	Zone 1	All direction	Normal to ridge direction	Parallel to ridge direction	
-2.6	-1.7	-0.9

	Nominal	Mean	COV	Number of sheathing panels		
				All direction	Normal to ridge direction	Parallel to ridge direction
a	-1.861	-1.768	0.12	8	0	4
b	-1.532	-1.455	0.12	12	10	2
c	-1.500	-1.425	0.12	4	0	2
d	-0.900	-0.855	0.12	8	16	10
Total number of sheathing panels				32	26	18

4. 대상 건축물의 강풍 취약도

본 연구에서는 앞에 기술한 풍하중과 쉬딩 시스템의 저항 성능을 몬테카를로 모사기법을 사용하여 비교하고 강풍 취약도를 평가하였다. 강풍 취약도 평가를 위한 지붕 시스템의 파괴 단계는 Table 5와 같이 소파괴, 중파괴, 대파괴의 3단계로 구분하였다.

경량 목구조 건축물에 적용된 지붕 쉬딩 시스템에 대한 강풍 취약도의 특징은 다음과 같다.

4.1 강풍 취약도의 특징

Fig. 4는 대상 건축물 지붕 쉬딩 시스템에 대한 강풍 취약도를 보이고 있다.

그림에서 강풍 취약도는 전방향 풍향, 지표조도구분 B와 C, 파괴단계 1, 6d의 연결못을 사용하였을 때의 쉬딩 파괴의 초과확률로 표현되어 있다. 그림에서 기호는 몬테카를로 모사에 의한 강풍 취약도를 나타내며 실선은 식 (4)를 사용한 로그정규분포 취약도를 나타낸다. 로그정규분포에 사용된 쉬딩 시스템의 모평균과 표준편차는 몬테카를로 모사모형에서 얻어진 취약도를 회기분석하여 파악되었다. 회기분석 시 취약도를 모형화하기 위한 다양한 확률분포가 평가되었으며 로그정규분포가 최적의 강풍 취약도 모형임을 파악할 수 있었다. 그림으로부터 식 (4)의 로그정규분포가 강풍 취약도를 잘 모형화하고 있음을 알 수 있다. Table 6은 Fig. 4에 나타난 취약도의 모평균과 표준편차를 보이고 있다. 이 표로부터 지표조도 B에 위치한 쉬딩 시스템의 모평균 값은 지표조도 C에 위치한 쉬딩 시스템의 모평균 값보다 작으나 표준편차 값은 더 큰 것을 알 수 있다. 이것은 Table 3에 나타난 것과 같이 지표조도구분 B와 C에서 지표조도계수 K_z 의 모평균과

Table 5. Damage state for prototype building

Damage state	Damage description	Sheathing failure
1	Minor damage	≥ 1 panel
2	Moderate damage	$\geq 10\%$ of panels
3	Severe damage	$\geq 25\%$ of panels

Fig. 4. Wind fragilities (exposures B and C)

변동계수가 다른 것에 기인한다.

Fig. 5는 지붕 쉬딩 시스템 파괴 단계별 취약도를 보이고 있다. 이 강풍 취약도는 전방향 풍향, 지표조도구분 C, 8d의 연결못을 사용하였을 때 얻어진 것이다. 그림으로부터 지붕 쉬딩 시스템에 대한 파괴단계가 높아짐에 따라 취약도의 값이 낮아짐을 알 수 있다.

Fig. 6은 대상 건축물 지붕 쉬딩에 대한 풍향의 영향을 보이고 있다. 이 강풍 취약도는 지표조도구분 D, 파괴단계 1, 8d의 연결못을 사용할 때에 해당된다. 그림에서 취약도에 대한 풍향의 영향은 전방향, 용마루 직각방향, 용마루 평행방향에 대하여 비교되었다. 그림을 통하여 태풍 중심을 모사하는 전방향 풍향에 대한 지붕 쉬딩의 취약도가 가장 취약한 것을 알 수 있다.

Table 6. Lognormal parameters of wind fragilities

Exposure	Damage state	Lognormal fragility	
		Median m_R	Standard deviation ζ_R
B	1	3.685	0.143
C		3.762	0.123

Fig. 5. Wind fragilities (damage states 1, 2, 3)

Fig. 6. Effects of wind direction on fragilities

Fig. 7. Validation of current MCS engine

4.2 강풍 취약도의 검증

본 연구에서 개발한 경량 목구조 건축물에 대한 강풍 취약도의 타당성을 평가하기 위하여, 1992년 미국을 강타한 허리케인 앤드류(Andrew) 내습 직후 조사된 플로리다(Florida)주 가옥 쉬딩 피해자료(FEMA, 2010)와 본 연구에서 개발한 몬테카를로 모사모형의 결과를 비교하였다. 또한 본 연구에서는 기존 강풍 피해 예측 프로그램 중 유일하게 공개된 HAZUS-MH 허리케인 모듈의 모사결과와도 비교를 수행하였다. 본 비교를 위해 개발된 몬테카를로 모사모형에서는 피해지역 가옥에 작용하는 풍하중이 앞서 기술한 3가지 풍향으로 균일하게 발생한다고 가정하였다.

Fig. 7은 지붕 쉬딩이 1개 이상 파괴된 박공지붕을 갖는 경량 목구조 건축물의 파괴빈도를 보이고 있다. 그림에서 쉬딩의 파괴빈도는 8d의 연결못을 100% 사용하는 경우와 6d와 8d 연결못을 각각 40%와 60% 혼합하여 사용하는 경우로 나누어 비교되었다. 이 비교로부터 본 연구에서 개발한 몬테카를로 모사모형의 결과(MCS)는 허리케인 앤드류 피해자료(Andrew) 및 미국 국토안보부의 모사결과(HAZUS)와 비교적으로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

4.3 구조적 방재대책 수립을 위한 취약도의 활용

일반적으로 구조적 방재대책 수립의 기초자료로 재해 위험요인의 정도, 시설물의 노출도, 시설물 취약도, 긴급 대응 및 복구 능력 등을 구성요소로 하는 재해 위험도지수(disaster risk index, DRI)가 사용된다(Esnard 등 2011). 본 연구에서는 재해 위험도지수의 구성요소 중 개발된 강풍 취약도와 문헌에서 파악한 태풍 위험요인의 확률을 이용하여 제주지역에 대한 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩 시스템의 강풍 위험도를 산정하였다.

이 강풍 위험도 산정을 위하여 Fig. 8과 Table 7에서 보이는 6d와 8d의 연결못을 갖는 강풍 취약도가 적용되었다.

강풍 위험요인의 확률분포는 태풍 시뮬레이션에 대한 선행연구(Lee and Ham, 2011)의 결과가 적용되었다. Table 8은 본 연구에서 적용한 제주지역에 대한 강풍 위험요인을 웨이블(Weibull) 분포로 평가한 확률밀도함수의 특성치를 보이고 있다.

Fig. 9는 제주지역에 대한 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩 시스템의 풍속 및 재현주기별 파괴확률을 보이고 있다. 그림

Fig. 8. Effects of nail types on fragilities

Table 7. Lognormal parameters of wind fragilities

Nail type	Damage state/ exposure	Lognormal fragility	
		Median m_R	Standard deviation ζ_R
6d	1/D	3.595	0.125
8d		3.900	0.144

Table 8. Weibull parameters of wind hazard

Location	Weibull distribution	a	b
Jeju	$P(LS D=v) = \left(\frac{av^{a-1}}{b^a}\right) \exp\left(-\frac{v^a}{b^a}\right)$	2.5	22.8

Fig. 9. Wind risk of prototype building

으로부터 8d의 연결못을 적용할 경우 재현주기 100년 풍속에 대한 쉬딩 시스템의 파괴는 0.3%인 반면 6d의 연결못을 적용하면 5% 정도의 파괴확률을 보이는 것을 알 수 있다.

이 결과는 만약 건축물에 대한 강풍 위험도지수로 1%의 위험도가 사용된다면 제주지역에 건설된 6d의 연결못을 갖는 경량 목구조 건축물 지붕 쉬딩 시스템에 대한 구조적 방재대책이 필요하다는 것을 의미한다.

5. 결 론

강풍 발생 지역에 위치한 경량 목구조 건축물의 강풍 취약도 개발을 위한 본 연구의 결과는 다음과 같다. 본 연구에서는 몬테카를로 모사모형을 개발하여 확률적 풍하중과 지붕 쉬딩 시스템의 확률적 저항능력을 비교하고 강풍 취약도를 평가하였다. 개발된 강풍 취약도 평가모형을 통하여 강풍 취약도에 대한 접합못, 풍향, 지표조도구분 등의 영향을 정량적으로 파악할 수 있었다. 또한 본 연구에서 제안한 태풍 위험도 평가방안을 통하여 제주지역을 대상으로 지붕 쉬딩 시스템의 파괴확률 즉 위험도를 평가할 수 있었다. 결론적으로 본 방법론을 사용하여 건축물에 설치된 쉬딩 시스템의 성능을 정량적으로 파악하여 보다 안정적이고 경제적인 구조적 방재계획이 가능하다고 판단된다. 이와 더불어 본 취약도 및 위험도 평가 방법론을 홍수, 화재 등과 같은 잠재된 자연재해에 적용하여 자연재해로 발생할 수 있는 시설물에 대한 위험도를 평가할 수 있을 것이라 판단된다. 추후로 본 연구에서 평가한 경량 목구조 건축물의 강풍 취약도에 대한 국내 실측 데이터와의 비교 및 검증이 필요하다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업의 지원으로 수행한 ‘도시 기후·환경 변화 적응을 위한 내풍 방재기술개발’ [NEMA-자연-2012-52]과제의 성과입니다.

References

ASCE (2006) *Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE Standard 7-05)*, American Society of Civil Engineers.

Cope, A. (2004) *Predicting the vulnerability of typical residential buildings to hurricane damage*. Ph.D. dissertation, Civil Engineering Department, University of Florida.

Esnard, M., Sapat, A. and Mitsova, D. (2011) An index of relative

displacement risk to hurricanes, *Nat Hazards*, Vol. 59, pp. 833-859.

FEMA (2010) *Multi-hazard loss estimation methodology hurricane model*, Technical Manual, Department of Homeland Security, Washington, D.C.

Ham, H., Lee, S. and Kim, H. (2009) Development of Typhoon Fragility for Industrial Buildings, *Proceeding of the 7th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering*, Taipei.

KBC (2009) *Korean building code*. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, No. 2009-1245.

Lee, K. (2005) *Site-specific load models and hazards for probability-based design*. Ph.D. dissertation, Civil Engineering Department, Oregon State University.

Lee, S. and Ham, H. (2011) Evaluation of regional risk for industrial buildings subjected to typhoon hazard, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, pp. 77-83.

Li, Y. (2005) *Fragility methodology for performance-based methodology of wood-frame residential construction*. Ph. D. dissertation, Civil Engineering Department, Georgia Institute of Technology.

Li, Y. (2006) Hurricane damage to residential construction in the US: importance of uncertainty modeling in risk assessment, *Engineering Structures* Vol. 28, pp. 1009-1018.

Pinelli, J., Torkian, B., Gurley, K., Subramanian, C. and Hamid, S. (2009) Vulnerability Curves to Predict Loss on Mitigated Residential Buildings, *Proceedings of the 11th Americas Conference on Wind Engineering*, San Juan.

Schultz, M., Gouldby, B. and Simm, J. (2010) *Beyond the factor of safety: developing fragility curves to characterize system reliability*, EREC SR-10-1, US Army Corps of Engineers.

Shanmugam, B. (2011) *Probabilistic assessment of roof uplift capacities in low-rise residential construction*. Ph. D. dissertation, Civil Engineering Department, Clemson University.

Unanwa, C., McDonald, J., Mehta, K. and Smith, D. (2000) The development of wind damage bands, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 84, pp. 119-149.

Whittaker, N. and Hamburger, O. (2007) Next-Generation Performance Based Earthquake Engineering, *Proceeding of the 11st International Conference on Modern Design*, Hanoi.

◎ 논문접수일 : 2012년 11월 22일
◎ 심사의뢰일 : 2012년 11월 26일
◎ 심사완료일 : 2012년 11월 29일