

확률모델을 이용한 저층시설물의 강풍위험도 평가

Estimation of Strong Wind Risk on Lower-Rise Buildings using Probabilistic Model

1. 서론

최근의 통계에 의하면, 우리나라의 경우 태풍 등 강풍에 의한 피해는 자연재해 중 가장 큰 것임을 알 수 있다. 그간의 경과를 보면 1959년도의 태풍 사라호를 포함한 수많은 태풍으로 인해 막대한 규모의 인명과 재산손실, 특히 국가 기반시설의 피해는 가히 천문학적이다. 최근의 경우를 보면 2002년 태풍 루사로 5조 1천억 이상, 2003년 태풍 매미로 4조 7천억 이상의 규모로 피해가 집계되었으며, 이로 인한 복구비로 각각 9조와 6조 이상의 국가재정이 투입되는 등 기상의 새로운 경향으로의 변화로 인한 강풍피해가 빈번하게 발생하고 있으며, 그 피해규모도 증가하고 있는 실정이다. 특히 공장, 비닐하우스, 축사, 가옥 등과 같은 건물 및 기타시설물 즉 사유시설물의 피해가 급격히 증가하고 있다. 사유시설물의 중 산업시설물의 피해는 비단 시설물 자체의 피해에 그치지 않고, 생산 활동의 중단을 고려할 시 2차적인 경제적 피해가 국가 경제에 미치는 영향이 막대하다. 그러나 현재 국내의 경우, 태풍 등과 같은 강풍피해에 대한 사유시설물의 위험도를 추정할 수 연구가 부재한 형편이다. 이에 본 연구에서는 강풍에 대한 피해가 심각한 사유시설물 중 저층시설물에 대한 강풍위험도 평가기법을 확률론적 접근방법을 통하여 국내 최초로 개발하고자 한다.

2. 이론적 배경

강풍재해의 경우 한 구조물에 대한 임의 한계상태의 확률은 (Lee and Rosowsky, 2005) 식 (1)과 같이 구조물의 취약성함수 (fragility function)와 재해함수의 (hazard function) 중합적분을 통하여 구할 수 있다.

$$P(LS) = \int_0^{\infty} Fr(v)Gx(v)dv \quad (1)$$

식 (1)에서 $Fr(v)$ 는 풍속 v 에 대한 구조물 강풍취약성함수로 누적분포의 형태를 가지며, $Gx(v)$ 는 강풍재해 함수로써 누적분포의 여함수로 (CDF complement function) 표현될 수 있다.

구조물의 강풍취약성이란 임의의 강풍에 대한 구조물이 저항할 수 있는 확률을 의미하며, 일반적으로 식 (2)와 같이 로그정규분포함수의 형태로 모형화할 수 있다.

$$Fragility = Fr(v) = \Phi\left[\frac{\ln(v) - m_R}{\zeta_R}\right] \quad (2)$$

식 (2)에서 $\Phi(\cdot)$ 는 정규분포함수이며 m_R 과 ζ_R 는 각각 모평균과 모분산을 나타낸다.

3. 저층시설물의 강풍위험도 평가

3.1 저층시설물

본 연구에서는 다양한 지붕형태와 노풍도에 (B, C, D) 대하여 저층시설물의 강풍위험도를 평가하였다. 본 연구를 위하여 모형화한 여섯 형태의 저층시설물은 각각 Prototype 1 ~ Prototype 6으로 명하였다. 그림 1과 표 1은 Prototype 1 ~ Prototype 6의 지붕형태, 지붕물매, 처마의 유무를 보이고 있다. Prototype 5와 6은 각각 Prototype 1과 2의 모양과 같은 평면 및 지붕 형태를 가지나 30cm의 지붕처마를 추가로 갖고 있다.

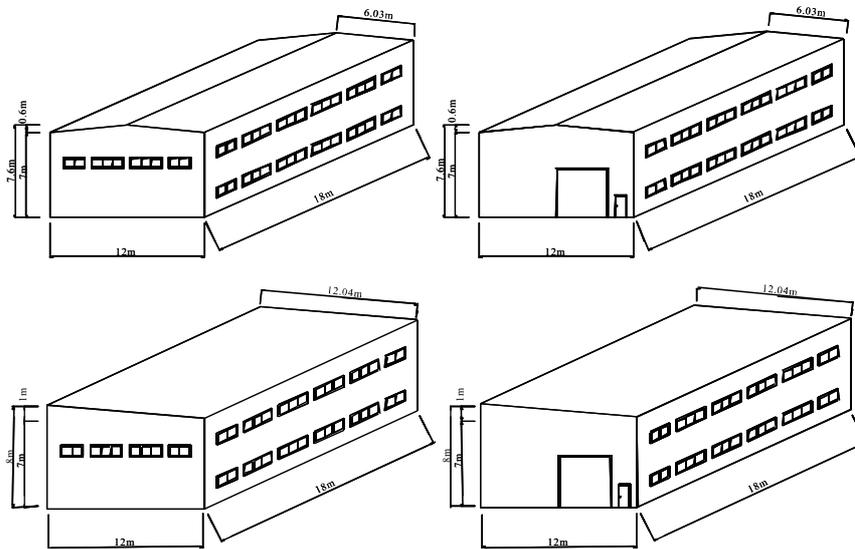


그림 1. Prototype 1, 4 저층시설물의 형태

표 1. 저층시설물 모형의 형태 및 특징

특성	Prototype 1	Prototype 2	Prototype 3	Prototype 4	Prototype 5	Prototype 6
평면 크기	12m x 18m					
지붕 형태	박공	박공	다중박공	편지붕	박공	박공
지붕 물매	6°	10°	10°	5°	6°	10°
지붕 처마	없음	없음	없음	없음	30cm	30cm

3.2 강풍재해함수

본 연구에서는 태풍 매미 내습 시 비교적 피해가 컸던 부산지역에 위치한 저층시설물에 대하여 강풍위험도를 평가하였다. 강풍재해함수는 2006년까지의 기상청 강풍데이터를 식 (3)에 나타난 것과 같이 Gumbel 극한분포의 여함수로 모형화 함으로서 얻었다.

$$G(v) = 1 - e^{-e^{-a(v-b)}} \quad (3)$$

식 (3)에서 a 와 b 는 각각 확률분포를 수직축에 대하여 신축시키는 척척 (scale) 변수와 확률의 분포를 수평축에 대하여 이동시키는 위치 (location) 변수이다. 본 연구에서 얻은 부산지역의 척척변수와 위치변수는 각각 0.34와 22.1이다.

3.3 저층시설물 강풍취약성함수

그림 1과 표1에 나타난 저층시설물에 대한 강풍취약성함수는 풍하중과 (ASCE, 2002) 시설물 저항능력의 확률분포를 몬테칼로로 모사하여 (Cope, 2004) 구축하였으며, 최종적으로 취약성함수를 식 (2)의 로그정규분포의 형태로 모형화하였다. 그림 2는 Prototype 1 저층시설물에 대한 노풍도 B와 D에서의 강풍취약성함수를 보이고 있다. 그림에서 심볼은 몬테칼로로 모사를 통하여 얻어진 취약성함수이며 실선은 로그정규분포를 사용하여 얻어진 취약성함수이다. 그림에서 Damage 1 ~ 4는 시설물 외장재의 취약성 정도로서 각각 패널 1장이 또는 1개의 개구부 이상이 파괴될 확률, 10% 이상이 파괴될 확률, 20% 이상이 파괴될 확률, 33% 이상이 파괴될 확률을 의미한다.

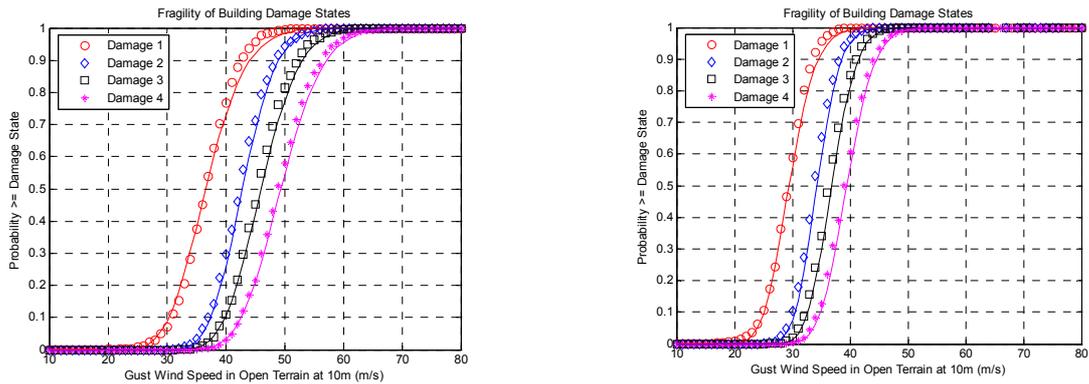


그림 2. Prototype 1 저층시설물의 취약성함수 (왼쪽 노풍도 B, 오른쪽 노풍도 D)

3.4 저층시설물 강풍위험도

그림 3과 4는 위에서 얻은 강풍재해함수와 강풍취약성함수를 식 (1)에 적용하여 얻은 부산지역에 위치한 저층시설물의 강풍위험도이다. 그림 3으로부터 Prototype 1 시설물의 위험도는 노풍도가 B에서 D로 증가하면서 4배 이상 증가함을 알 수 있다. 그림 4의 왼쪽 그림으로부터 박공지붕의 물매가 커지거나 다중박공으로 변함에 Prototype 1 저층시설물의 위험도가 증가함을 알 수 있다. 또한 그림 4의 오른쪽 그림으로부터 강풍위험도는 박공지붕의 물매가 커짐에 따라 지붕처마의 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

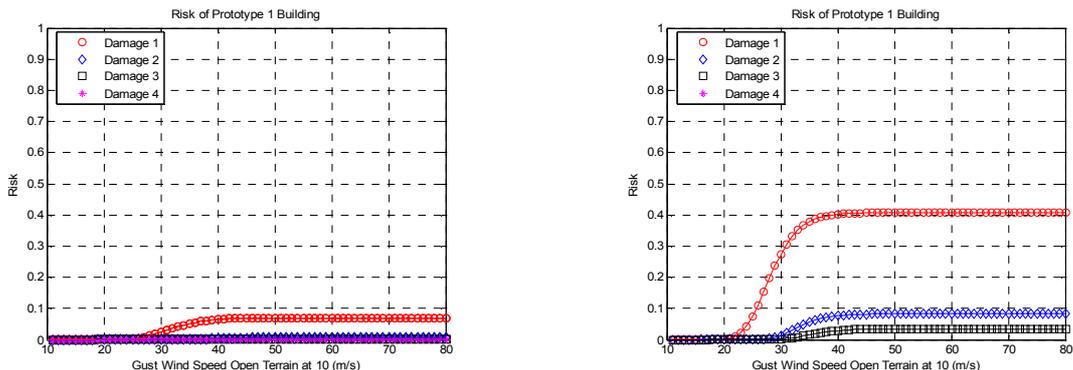


그림 3. Prototype 1 저층시설물의 강풍위험도 (부산: 왼쪽 노풍도 B, 오른쪽 노풍도 D)

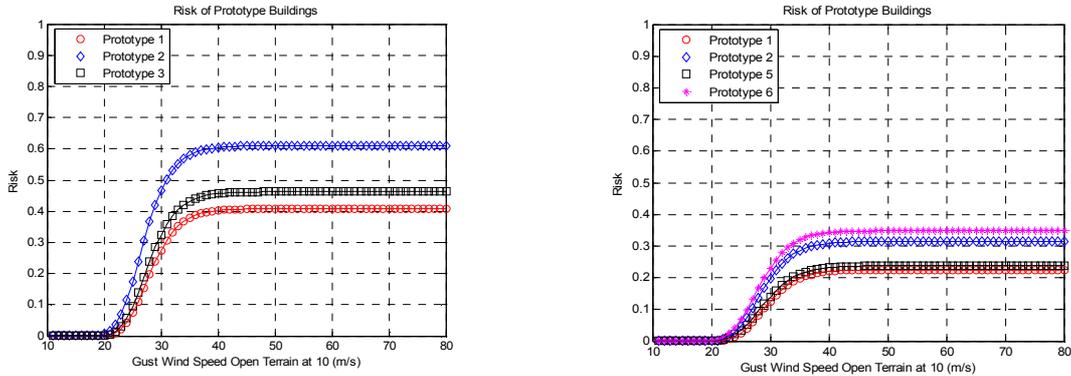


그림 4. 저층시설물 Damage State 1의 강풍위험도 (부산: 왼쪽 노풍도 D, 오른쪽 노풍도 C)

4. 결론

본 연구에서는 강풍위험도 모형을 개발하고 강풍 발생지역에 위치한 저층시설물의 강풍위험도를 평가하였다. 강풍위험도모형 개발을 위하여 재해함수는 기상데이터를 이용하여 모형화하였고 저층시설물 강풍취약성함수는 풍하중과 시설물 저항능력의 확률분포를 비교하여 평가하였다. 본 위험도 평가방법의 적용을 통하여 강풍에 대한 저층시설물의 내풍성능을 예측할 수 있었으며, 강풍위험도에 영향을 미치는 노풍도, 지붕형태, 지붕물매, 처마의 영향 등을 파악할 수 있었다. 또한, 본 방법론을 지진, 폭설, 폭우, 화재 등 다양한 자연재해에 적용하여 구조물의 위험도 및 경제적 손실을 평가하는 것 역시 가능하다고 판단된다.

참고문헌

1. ASCE (2003), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE Standard 7-02)*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
2. Lee, K. H. and Rosowsky, D. V. (2005) "Fragility Assessment for Roof Sheathing Failure in High Wind Regions", *Engineering Structures*, Vol. 27, 857-868.
3. Cope, A. (2004), "Predicting the Vulnerability of Typical Residential Buildings to Hurricane Damage", Ph.D. dissertation, Civil Engineering Department, University of Florida, FL.