콘크리트 벽식구조의 취약도 곡선에 대한 변수 연구

Parametric Study on Fragility Curves of Concrete Wall Structures

김 효 진* 박 홍 근** 이 영 욱***
Kim, Hyo Jin Park, Hong Gun Lee, Young Wook

ABSTRACT

In the past study, the fragility curve for the evaluation of earthquake resistance and earthquake-related damage of concrete bearing wall structures were studied. The fragility curve represents the probability of being in or exceeding a given damage state such as Slight, Moderate, Extensive or Complete structural damage state, and is defined as a cumulative lognormal distribution. Each fragility curve is characterized by median and lognormal standard deviation values. We performed parametric pushover analysis for typical 12 and 24 stories apartment buildings. Based on the results, the fragility curves of concrete wall structures were standardized. Using the fragility curve, engineers can directly evaluate the probability of a damage state to a spectral displacement of interest.

1. 서론

지진이 발생했을 경우 신속한 수습대책을 위해서는 구조물의 피해에 대한 정확한 추정과 예측이 요구된다. 뿐만 아니라 구조물의 경제적인 리모델링을 위해서도 내진성능과 위험도를 정확히 평가하는 것은 중요하다. 미국이나 일본 등의 경우 지진 재해 예측에 관한 연구를 수행하여 지진 재해 평가 시스템을 구축하고 지진 재해 대응 계획을 수립하는데 활용하고 있다. 우리나라의 경우 지진 피해 예측에 관한 연구는 아직 미진한 실정이다. 우리나라에도 체계적이고 통합적인 시스템을 마련하기 위해서는 우리나라에서 흔히 사용되는 구조시스템의 내진성능과 피해정도를 예측할 수 있는 자료가 마련되어야한다.

국내에서는 거주자들의 남향에 대한 선호도와 시공의 편리성, 경제성 등의 이유로 대규모로 벽식구조 아파트가 건설되어 왔다. 본 연구에서는 미국의 지진 피해 예측 프로그램인 HAZUS[1]의 방법론을 활용하여 90년대에 건설된 판상형 벽식구조 아파트의 높이와 규모에 따라 지진에 대한 응답특성과 그 응답특성이 취약도 곡선에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 취약도 곡선

건물 취약도 곡선은 구조적 또는 비구조적인 피해상태가 일정수준을 넘는 확률을 정의하는 함수

* 정회원, 서울대학교 건축학과 석사과정
** 정회원, 서울대학교 건축학과 부교수
*** 정회원, 군산대학교 건축학과 교수

로서 로그정규누적분포함수로 정의하며, 성능곡선의 특성, 피해정도와 지반 운동과 관련된 편차의 불확실성을 반영한다. 어떤 구조형식에 대한 취약도 곡선이 정의되면, 지진피해 정도에 관련된 스펙트럴 변위에 대한 그 구조물의 단계별 피해확률을 직접 평가할 수 있다 .HAZUS에 의하여 구조 시스템의 피해상태(damage state, ds)는 없음(None), 약함(Slight), 보통(Moderate), 심함(Extensive), 붕괴(Complete)의 5단계로 정의된다. 주어진 스펙트럴 변위 S_d에 대해서, 특정한 피해상태 ds에 있거나 넘을 확률은 다음 식 (1)과 같은 함수로 정의된다. 여기서, $\bar{S}_{d,ds}$는 피해상태 ds에 이르는 평균스펙트럴 변위의 중앙값으로서, 건물의 높이에 피해상태 ds를 정의하는 층간변위비를 곱한 값으로 계산된다. 또한 β_{ds}는 구조적인 피해상태 ds에 변동성을 나타내는 자연 로그의 표준 편차, 그리고 Φ는 표준 정규누적 분포 함수를 의미한다.

$$P[ds \mid S_d]=\Phi[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln(\frac{S_d}{S_{d,ds}})] \quad (1)$$

이 때 β_{ds}는 식 (2)로부터 구할 수 있다. 이 식에서 β_c, β_d, $\beta_{M(S_{da})}$는 각각 성능스펙트럼의 변동성을 나타내는 로그표준편차 매개변수, 요구스펙트럼의 변동성을 나타내는 로그표준편차 매개변수, 구조적인 피해상태 ds의 중앙 기준값을 추정하는데 있을 불확실성을 나타내는 로그 표준 편차 매개변수를 나타낸다.

$$\beta_{ds}=\sqrt{(\beta_c \times \beta_d)^2+(\beta_{M(S_{da})})^2} \quad (2)$$

HAZUS에서는 요구 변동성의 정의하려는 목적으로, 중앙값 요구 스펙트럼은 모든 진앙과 지반상태에서 같은 형태라고 가정해서, β_d는 단주기에서는 0.45, 장주기에서는 0.5의 값이 적용된다. 또한 $\beta_{M(S_{da})}$값 역시 모든 구조형식과 모든 피해단계에서 0.4라고 가정된다.

3. 대상 구조 모델 및 해석방법

대상 모델은 전국에 분포한 90년대에 설계되고 시공된 아파트 중에서 24층과 12층 각각 10개의 모델을 선택하였다. 모델로 2호, 3호, 4호, 복도식 아파트 등 다양한 평면의 아파트를 선정하였다. 벽구조물의 전반적 구조성능을 나타내는 전체 바닥 면적에 대한 벽체의 면적 비율은 각각 그림 1과 그림 2와 같다.

이들 모델에 대해 MIDAS GEN 프로그램을 이용해서 푸쉬오버해석을 수행하였다. 그림 3과 그림 4는 12층과 24층 각각 10개의 모델 중 하나의 평면과 푸쉬오버해석 결과를 보여준다.

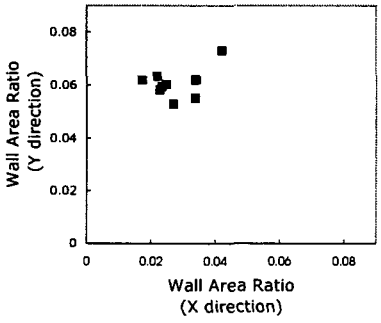

그림 3 12층 모델의 X,Y 방향 벽넓이의 비율

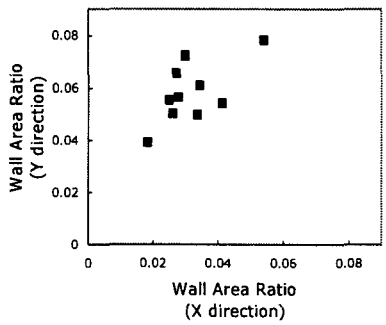

그림 1 24층 모델의 X,Y 방향 벽넓이의 비율

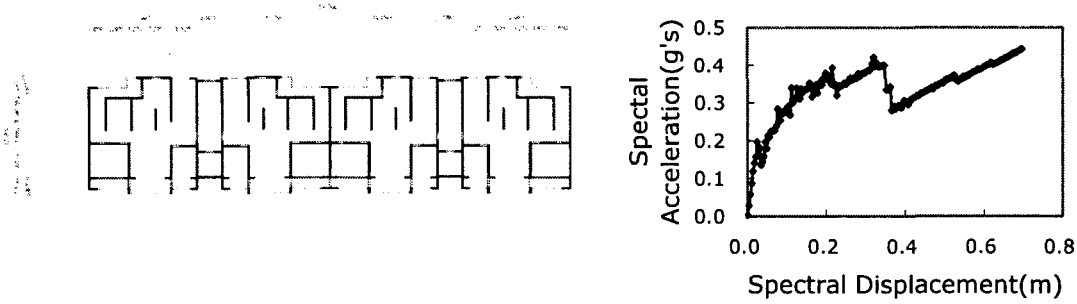

그림 3 12층 모델 구조평면과 푸쉬오버 곡선

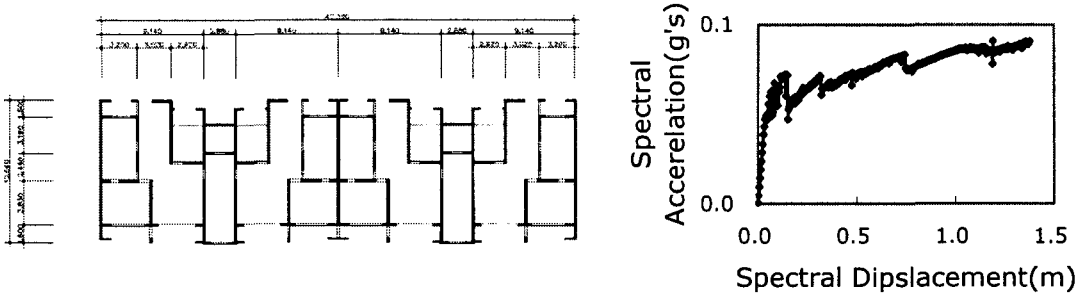

그림 4 24층 모델 구조평면과 푸쉬오버 곡선

4. 해석 결과 및 분석

전단벽식 아파트의 피해상태는 스펙트럴 변위에 의해서 결정되는데, HAZUS에 따라서 0.2%, 0.4%, 1%, 2%를 각각 Slight, Moderate, Extensive, Complete의 피해상태를 결정하는 층간변위비로 정하였다. HAZUS의 경우 층간변위비는 특정 건물 유형을 가진 100개의 건물 중 50개의 건물이 이 해당되는 피해상태에 도달할 때를 의미한다. 높이 31.2m의 12층 아파트와 높이 24층 62.4m의 아파트에서 각 층간변위비에 해당하는 높이에서의 성능스펙트럼의 확률을 나타내는 로그표준편차 매개변수 β_c와 피해상태 ds에 이르는 스펙트럴 변위의 자연 로그의 표준 편차 β_{ds} 값은 표 1과 같다.

표 1의 값을 식 (1)에 대입하여 각각 그림 5와 그림 6과 같은 12층과 24층 전단벽식 아파트의 취약도 곡선을 나타낼 수 있다.

표 1 전단벽식 아파트의 취약도 곡선 매개변수

Building Property		Interstory Drift of Damage State			
Type	Height(m)	Slight	Moderate	Extensive	Complete
12층	31.2	0.001	0.004	0.010	0.020
24층	62.4	0.001	0.004	0.010	0.020

Spectral Displacement(m)											
Slight			Moderate			Extensive			Complete		
$\bar{S}_{d,ds}$	β_c	β_{ds}	$\bar{S}_{d,ds}$	β_c	β_{ds}	$\bar{S}_{d,ds}$	β_c	β_{ds}	$\bar{S}_{d,ds}$	β_c	β_{ds}
0.03744	0.4373	0.4458	0.07488	0.4854	0.4558	0.1872	0.5521	0.4709	0.3744	0.6040	0.4836
0.07488	0.1951	0.4117	0.14976	0.3089	0.4288	0.3744	0.2438	0.4182	0.7488	0.1731	0.4093

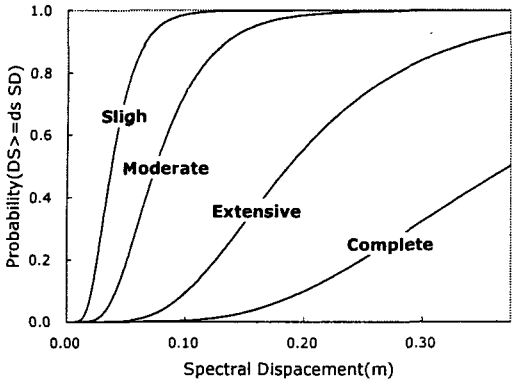

그림 5 12층 벽식 아파트의 취약도 곡선

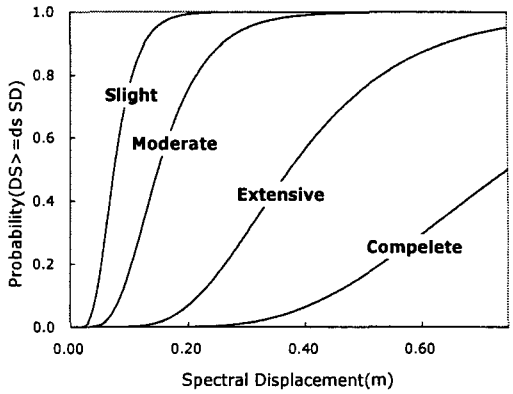

그림 6 24층 벽식 아파트의 취약도 곡선

5. 결론

본 연구에서는 푸쉬오버해석을 통하여 구조물의 성능을 구하고 이 결과를 이용하여 90년대에 건설된 12층과 24층의 판상형 콘크리트 벽식구조 아파트의 취약도곡선을 제시하였으며, 이를 통하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

(1) 12층 판상형 콘크리트 벽식구조 아파트의 피해상태 ds에 이르는 스펙트럴 변위의 자연 로그의 표준 편차 β_{ds}가 24층 아파트의 표준편차보다 그 값이 더 큰데, 건물의 높이가 높아질수록 β_{ds}값이 작아지는 경향은 HAZUS와도 일치한다. 이는 12층 아파트의 β_c값이 24층 아파트보다 크기 때문이다.

(2) 성능스펙트럼 방법을 이용하여 요구 스펙트럼(demand spectrum)과 성능곡선(capacity curve)이 만나는 성능점(performance point)을 알아낸다면, 이 성능점의 스펙트럴 변위를 본 취약도 곡선에 대입하여 판상형 콘크리트 벽식구조 아파트가 입을 확률을 바로 알아낼 수 있다.

앞으로 콘크리트 강도의 변동성이 취약도 곡선에 미치는 영향도 연구할 예정이다.

참고문헌

1. NIBS, Earthquake Loss Estimation Methodology-HAZUS 99 Technical Manual, *Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.,* 1997
2. NIBS, Multi-hazard Loss Estimation Methodology-HAZUS-MH MR1 Advanced Engineering Building Module Technical and User's Manual, *Federal Emergency Management Agency, Washington D.C.,* 2003
3. Kircher, C.A.. Nasaar, A.A., Kustu, O. and Holmes, W.T., "Development of Building Damage Function for Earthquake Loss Estimation", *Earthquake Spectra,* Vol. 13, NO. 4, 1997
4. 한국지진공학회, "지진위험도 추정을 위한 알고리즘 분석 연구", 소방방재청 국립방재연구소, 2005