역량스펙트럼 해석에 의한 비보강 조적조 건축물의 지진취약도함수 매개변수 분석

Parameter Analysis of the Seismic Fragility Function for URM Buildings Using Capacity Spectrum Analysis

이 정 한* • 박 민 규** • 김 혜 원* • 정 우 영*** • 박 병 철**** • 이 원 호*****
Lee, Jung-Han • Park, Min-Kyu • Kim, Hye-Won • Jung, Woo-Young • Park, Byung-Cheol • Yi, Waon-Ho

요 약

본 연구는 HAZUS에서 제시하고 있는 비보강 조적조 건축물의 구조적 손상상태에 대한 지진취약도함수와 관련하여 층간변위율 및 스펙트럼 변위 등의 매개변수를 평가하고 또한 국내 상황에 적합한 기존 비보강 조적조 건축물의 지진취약도곡선의 도출을 목적으로 하였다. 국내 상황을 고려한 지진피해를 추정하기 위하여 먼저 기존 비보강 조적조 건축물의 현황파악 및 지진취약도함수 산출방법을 분석하였다. 일반적으로 HAZUS에서 제시하고 있는 지진취약도함수는 역량스펙트럼을 변환시킨 가속도-변위응답 스펙트럼법을 기본적으로 사용하는 상황으로 국내 기존 비보강 조적조 건축물에 대한 지진취약도함수 개발을 위하여 Midas GEN Ver.741 구조해석프로그램을 사용하여 실제 23개동의 비보강 조적조 건축물을 대상으로 역량스펙트럼 해석을 수행하였다. 연구결과를 통하여 지진취약도함수의 주요 매개변수인 손상상태별 층간변위율 및 스펙트럼 변위를 제시하였다.

keywords : 역량스펙트럼 해석, 비보강 조적조, 지진취약도함수, 매개변수

1. 서 론

전 세계적으로 지진발생에 따른 비보강 조적조 건축물의 붕괴로 막대한 인명·재산피해가 지속적으로 발생하고 있는 상황으로 국내 주거건축물 중 대다수를 차지하고 있는 비보강 조적조 건축물에 대한 지진재해 시 피해 추정 및 저감 대책이 마련이 시급한 상황이다. 본 연구는 소방방재청 지진재해대응시스템의 피해예측에 있어서 주요 핵심내용 중 하나인 지진취약도곡선 도출과 관련하여 우리나라 주거 건축물의 대부분을 차지하고 있는 비보강 조적조 건축물을 대상구조물로 한정하여 국내 상황에 적합한 비보강 조적조 건축물의 지진취약도함수 개발을 위해 역량스펙트럼 해석을 수행 및 지진취약도곡선의 비교분석을 통하여 지진취약도함수의 주요 매개변수를 평가, 국내실정에 적합한 매개변수를 제시하고자 한다.

* 정회원 • 국립방재교육연구원 방재연구소 선임연구원, 공학박사 ljhunk@nema.go.kr, kimhw0114@nema.go.kr
** 국립방재교육연구원 방재연구소 연구원, 공학석사 minkyupark@nema.go.kr
*** 국립방재교육연구원 방재연구소 시설연구사, 공학석사 poungu@nema.go.kr
**** 국립방재교육연구원 방재연구소 시설연구관, 공학박사 bcpark@nema.go.kr
***** 정회원 • 국립방재교육연구원 방재연구소 연구소장, 공학박사 whyi@kw.ac.kr

2. 기존 연구현황

2.1. 국내 비보강 조적조 현황 및 설계기준

소방방재청 지진대응시스템에 등록된(2008년 12월 현재) 국내 비보강 조적조 건축물의 분포현황을 살펴보면 비보강 조적조 건축물의 경우 타 구조시스템에 대하여 지역별로 46.8% 가량의 균등한 비율로 분포하며 상대적으로 높은 빈도를 보이고 있는 상황이다. 국내 기존 비보강 조적조의 경우 건축법 및 건축물의 구조기준등에관한규칙 규정에 의한 "건축물의 구조내력에 관한 기준"에 따라 설계 및 시공되었다. 2005년 KBC-2005 개정 이후 비보강 조적조는 허용응력설계법, 강도설계법 그리고 경험적설계법 등 세 가지 설계법 중 어느 한 규정을 따르도록 규정하고 있지만 대부분 경험적설계법에 의해 설계 및 시공되며 본 경험적설계법의 경우 건축물의 구조내력에 관한 기준을 대부분 따르고 있는 것으로 나타났다.

2.2. 지진취약도함수 매개변수

HAZUS에서는 지진취약도곡선의 도출을 위해 먼저 건축물의 구조시스템을 유형별, 사용용도별로 분류하고 있다. 지진취약도를 평가하기 위하여 각 구조시스템별로 약함(Slight), 보통(Moderate), 심함(Extensive), 붕괴(Complete)의 4단계로 손상상태를 정의하고 있으며, 각 손상상태에 도달할 때의 스펙트럼 변위 및 표준편차로부터 지진취약도곡선을 도출한다. 특정한 손상상태(ds)의 기준값을 정의하는 스펙트럼 변위는 역량스펙트럼의 성능점에서 결정되며 식 (1)과 같이 분포되는 것으로 정의된다. 이때, 주어진 스펙트럼 변위에 대해서, 특정한 손상상태에 있거나 넘을 확률은 다음 식 (2)와 같고, 손상상태의 기준 값에 건물이 도달할 때 표 1에서 보는 바와 같은 스펙트럼 변위의 중앙값과 자연로그편차 등을 매개변수로 하여 식 (2)를 통해 지진취약도곡선을 도출할 수 있다.

$$S_d = S_{d.ds}\epsilon_{ds} \tag{1}$$

$$P[ds \mid S_d] = \Phi[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}})] \tag{2}$$

여기서, S_d : 스펙트럼 변위, $S_{d,ds}$: 손상상태 ds의 스펙트럼 변위 평균값

ϵ_{ds} : β_{ds}에 따라서 임의로 변하는 로그변수, β_{ds} : ds에서 스펙트럼 변위의 자연로그표준편차

$\bar{S}_{d,ds}$: ds 기준 값에 대한 스펙트럼 변위의 중앙값, Φ : 표준정규누적분포함수

표 1. 비보강 조적조 지진취약도곡선 매개변수

Interstory Drift at Threshold of Damage State				Spectral Displacement (mm)							
				Slight		Moderate		Extensive		Complete	
Slight	Moderate	Extensive	Complete	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta	Median	Beta
0.0024	0.0048	0.0120	0.0280	8.13	1.15	16.51	1.19	41.15	1.20	96.01	1.18

3. 역량스펙트럼 해석을 이용한 지진취약도곡선

3.1. 손상상태별 층간변위율

지진취약도곡선을 도출 시 국내 비보강 조적조 건축물의 경우 미국의 비보강 조적조 건축물과 구조양식 및 사용재료가 다르기 때문에 HAZUS에서 제시하고 있는 손상상태별 층간변위율의 적용에 무리가 따르는

상황으로 본 연구에서는 한국시설안전기술공단 “건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침” 중 건축물의 수평 기울기에 대한 상태평가등급 기준에서 제시하고 있는 층간변위율을 표2와 같이 적용한다.

표 2. HAZUS 및 국내 상태평가등급 기준에 따른 손상상태별 층간변위율

	Slight	Moderate	Extensive	Complete
HAZUS	0.0024 (1/417)	0.0048 (1/208)	0.0120 (1/83))	0.0280 (1/36)
국내 상태평가등급 기준	0.0020 (1/500)	0.0040 (1/250)	0.0067 (1/150)	0.0100 (1/100)

3.2. 역량스펙트럼 해석을 이용한 지진취약도곡선

비보강 조적조 건축물에 대한 역량스펙트럼 해석을 위하여 부재비선형거동 및 비보강 조적조에 대한 비탄성힌지 속성을 고려할 수 있는 midas GEN Ver.741(해외판) 및 층별 연직하중 재하를 위한 midas SDS Ver.340 등 두 개의 프로그램을 사용하여 역량스펙트럼 해석을 수행한다. 해석대상 건축물 선정에 있어서 이원호(2006) 등의 연구로부터 서울특별시 성동구 소재 단독주택, 다세대주택, 근린생활시설 등 총 23개 동을 해석대상 건축물로 선정하였고 각 건축물의 X방향과 Y방향으로 구분하여 해석을 수행하였다. 역량스펙트럼 해석을 위해 먼저 표 3 및 그림 1과 같은 다세대주택의 평면을 해석대상으로 그림 2와 같이 모델링하며, 각 조적벽체는 비선형 보요소로 모델링한다. 역량스펙트럼 해석결과로부터 하중단계별 층간변위율과 스펙트럼 변위를 얻을 수 있으며, 해석결과로부터 구한 스펙트럼 변위는 다음 표 4와 같다.

표 3. 해석예제의 구조적 특성

벽체 길이 (m)	벽체단면적 (m^2)	벽량 (cm/m^2)	건축 면적 (m^2)	층고 (m)	층수
33.20	6.64	46.28	71.74	2.7	2

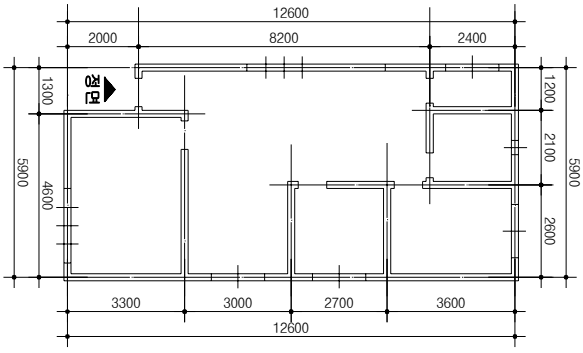

그림 1. 해석예제 평면

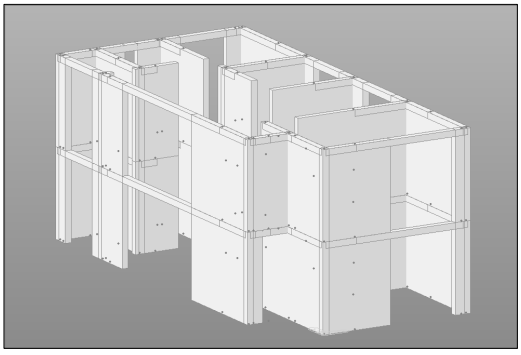

그림 2. 해석예제 모델링

표 4. 층간변위율 기준에 따른 각 손상상태별 스펙트럼 변위

		Sm	Mm	Em	Cm
HAZUS	Sd (mm)	8.13	16.51	41.15	96.01
HAZUS 층간변위율 적용 시	SdH (mm)	14.20	28.72	71.70	164.76
	SdH/Sd	1.747	1.740	1.742	1.716
	Drift Ratio	0.0024 (1/417)	0.0048 (1/208)	0.0120 (1/83))	0.0280 (1/36)
국내 상태평가 등급기준 층간 변위율 적용 시	SdK (mm)	12.10	24.09	40.14	60.11
	SdK/Sd	1.488	1.459	0.976	0.626
	Drift Ratio	0.0020 (1/500)	0.0040 (1/250)	0.0067 (1/150)	0.0100 (1/100)

23개동의 기존 조적조 건축물에 대하여 X, Y 방향으로 나누어 역량스펙트럼 해석을 수행한 결과 국내 상태평가등급 층간변위율을 적용 할 경우 HAZUS의 스펙트럼 변위에 비해 “Slight, Moderate” 손상상태에서는 각각 1.488배, 1.459배 큰 값으로 나타났으며, “Extensive, Complete” 손상상태에서는 스펙트럼 변위가 각각 0.976배, 0.626배로 작은 값으로 나타났다. 역량스펙트럼 해석결과에 따른 각 손상상태별 스펙트럼 변위를 비교한 결과 HAZUS의 층간변위율을 적용 할 경우 해당 손상상태에서의 스펙트럼 변위의 증가로 인해 피해가 과소평가될 우려가 있는 것으로 사료된다. 즉, 국내 기존 비보강 조적조 건축물의 경우 상대적으로 열악한 시공환경 및 노후화 등으로 인하여 변형능력이 현저히 떨어질 것으로 예상되고 있는 상황으로 시설안전기술공단에서 제시하고 있는 국내 상태평가등급 기준의 층간변위율 적용이 타당한 것으로 사료된다. 국내 비보강 조적조 건축물의 지진취약도함수에 대하여 각 손상상태별 층간변위율과 스펙트럼 평균 변위를 표 4의 국내 상태평가 등급기준 층간변위율 적용 시와 같이 제시하며, 각 매개변수 적용에 따른 국내 비보강 조적조 건축물의 지진취약도곡선은 그림 3과 같다.

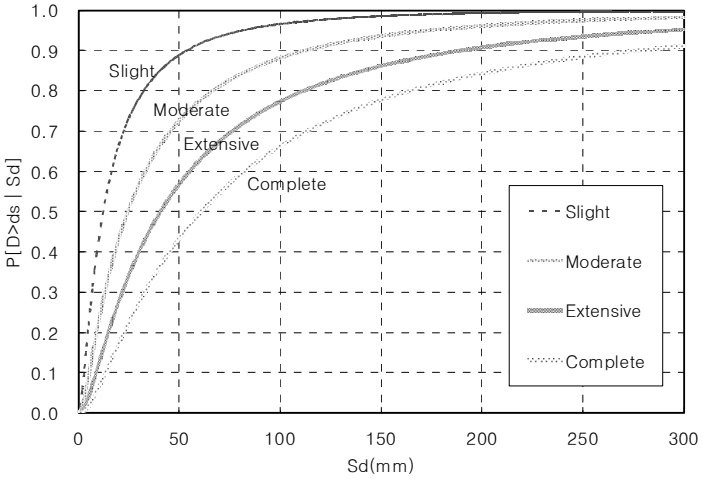

그림 3. 국내 비보강 조적조 건축물에 대한 지진취약도곡선

4. 결론

국내 상태평가등급 기준의 층간변위율 적용 시 스펙트럼 변위가 HAZUS의 스펙트럼 변위에 비해 “Slight, Moderate” 손상상태에서는 각각 1.488배, 1.459배 큰 값으로, “Extensive, Complete” 손상상태에서는 각각 0.976배, 0.626배로 작은 값으로 나타났다. 지진취약도함수 주요매개변수인 층간변위율의 경우 국내 상태평가등급 기준의 적용이 타당한 것으로 사료되며, 국내 기존 비보강 조적조 건축물의 스펙트럼 변위를 “Slight” 12.10, “Moderate” 24.09, “Extensive” 40.14, “Complete” 60.11로 각각 제시 한다.

참고문헌

마이다스아이티 (2008) MIDAS GEN Ver.741(해외판), MIDAS SDS Ver.340.

박병철 외 (2008) 비보강 조적조 건축물의 지진취약도함수 개발, 국립방재연구소.

오금호 외 (2007) 저층 구조물의 지진취약도함수 도출기법 비교검토, 국립방재연구소.

이원호 외 (2006) 조적조 건물의 내진성능향상 및 고층화 실현방안을 위한 연구, 건설교통부.

한국시설안전기술공단 (2008) 건축물 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 국토해양부