Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 20, No. 3, May 2016, pp.083-092
http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2016.20.3.083
pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

비선형 동적해석을 통한 국내 비보강 조적조 건축물의 내진성능 평가

백은림[1], 김정현[2], 이상호[3]*

Evaluation of the Seismic Performance for Domestic URM Buildings Using Nonlinear Dynamic Analysis

Eun-Rim Baek[1], Jung-Hyun Kim[2], Sang-Ho Lee[3]*

Abstract: The purpose of this study is to evaluate the seismic performance of domestic unreinforced masonry(URM) buildings using nonlinear dynamic analysis. For that, the nonlinear hysteresis models suggested in the previous research were validated for the dynamic analysis. The results of the shaking table test were compared with the dynamic analysis results using the suggested nonlinear hysteresis models. As a result, the nonlinear hysteresis models were expected to be applicable to the dynamic analysis of URM buildings. Based on the models, the dynamic analysis of domestic URM buildings varying the number of stories and opening ratio was carried out. The analysis results showed that most of the domestic URM buildings were very vulnerable to design earthquake in Korea.

Keywords: URM, Seismic performance, Hysteresis model, Nonlinear dynamic analysis, Opening ratio

1. 서 론

비보강 조적조 건축물은 구조가 간단하고 시공이 편리하여 전 세계적으로 저층 주거시설 및 공공시설 등의 구조형식으로 많이 이용되고 있다. 국내의 경우에도 1970년대 이후, 경제발전과 함께 대도시의 인구가 증가함에 따라 주택공급 부족현상이 발생하여 이를 해결하고자 저층 조적조 주택이 대규모로 건설되었으며, 최근에는 신축되는 조적조 건축물이 거의 없음에도 불구하고 저층 건축물의 약 45% 이상을 차지하고 있다(National Disaster Management Institute, 2008). 이와 같은 기존의 조적조 건축물은 내진설계가 거의 적용되지 않았으며, 사용연수가 20~40년 가량으로 대부분이 노후화되어 있어 내진성능이 부족할 것으로 판단된다.

비보강 조적조의 내진성능을 확보하기 위해서는 정밀한 내진성능의 평가가 선행되어야 하며, 국내에서도 이에 관한 연구가 기존에 수행된 바 있다. Yi et al.(2005)은 형상비 및 개구부 유무를 변수로 한 조적벽체의 실험을 통하여 국내 실정에 적합한 파괴모드 및 강도식을 제안하였으며, Heo and Lee (2009)는 조적조 프리즘과 사인장 조적조에 대한 분리균열 모델을 이용한 유한요소해석을 수행하여 해석모델의 유효성을 검증하고 기존 비보강 조적조 건축물의 내진성능을 평가하였다. 또한, 미국의 ATC-40(1996)에서 제시한 성능스펙트럼법, FEMA-273(1997)에서 제시한 변위계수법 및 일본의 구조내진지표(Is)에 의한 평가법 등을 비교 분석하여 국내 여건에 적합한 내진진단법을 개발하고, 이를 적용하여 국내 기존 건축물의 내진성능을 평가한 바 있다(National Disaster Management Institute, 2009).

이들 기존 연구에서는 조적벽체의 파괴모드를 고려한 강도식을 평가하고 이를 적용하여 내진성능을 평가하였지만, 지진하중 하에서 부재의 다양한 파괴모드에 따른 거동을 평가할 수 있는 비선형 이력거동 특성은 고려되지 않았다. 이에 Baek et al.(2014)은 기존 조적벽체의 정적 반복가력 실험결과를 바탕으로 조적벽체의 파괴모드를 고려한 비선형 이력모델을 제안한 바 있다. 그러나 정적 반복가력에 의한 실험-해석결과의 비교를 통한 검증만을 수행하였으며, 해석적으로 보다 정확한 비보강 조적조의 내진성능을 평가하기 위해서는 비선형 동적해석의 적용성에 대한 검증이 반드시 필요하다 하겠다.

본 연구에서는 선행연구(Baek, 2014)에서 제안된 비보강 조적벽체의 정적 비선형 해석모델에 대한 비선형 동적해석의 적용성을 검증하고, 이를 적용하여 조적조의 내진성능에 크

[1]정회원, 부산대학교 지진방재연구센터 선임연구원
[2]정회원, 대성구조이엔씨 기사
[3]정회원, 부산대학교 건설융합학부 교수, 교신저자
***Corresponding author:** sangho@pusan.ac.kr
•본 논문에 대한 토의를 2016년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Copyright Ⓒ 2016 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. 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.

게 영향을 미칠 것으로 예상되는 층수 및 개구부 비율을 변수로 하여 국내 기존 비보강 조적조 건축물의 내진성능을 평가하고자 한다.

2. 조적조 비선형 해석모델의 적용성 검증

2.1 해석모델의 개요

조적조 건축물을 구성하는 조적벽체의 해석모델은 Baek et al.(2014)이 제안한 비선형 이력거동 모델을 적용한다. 조적벽체는 Fig. 1과 같이 부재의 양단부 및 중앙부에 휨, 전단, 축거동을 하는 비선형 스프링을 가지는 선형부재로 모델화한다. 휨거동에서의 항복강도는 개구부(Door, Window 등)를 가지는 벽체는 FEMA(1997)에서 제안한 Rocking(식 (2)) 과 Toe Crushing(식 (3)) 중 작은 값으로, 개구부가 없는 순수벽체의 경우에는 한국시설안전공단(2008)에서 제안한 강체회전 강도식인 식 (5)를 적용하여 평가한다. 전단 거동의 경우, 개구부의 유무와 관계없이 식 (1)및 식 (4)와 같은 Sliding 및 Diagonal Tension 강도(FEMA, 1997) 중 최소값을 항복강도로 평가한다.

또한 개구부가 있는 벽체의 경우, 개구부 상부 및 하부의 벽체는 무시하고 개구부간 Pier 벽체만을 하나의 벽체로 모델링한다. 이 때, 개구부 상하부 벽체의 Pier 벽체에 대한 구속효과를 고려하여 Pier 벽체의 단부에 강역(Rigid Zone)으로 가정하며, 그 길이는 FEMA(1997)에서 제안한 바와 같이 전체 벽체 높이에서 식 (6)의 유효높이를 제외한 값으로 가정한다.

조적벽체의 거동을 나타내는 이력곡선 모델은 각각의 파괴모드에 따른 이력특성을 고려하여 Fig. 2와 같은 복원력 모델로 가정하며, 복원력 모델의 특성값은 Table 1에 나타낸다.

$$\text{Sliding} : \ V_s = v_{me} A_n \tag{1}$$

$$\text{Rocking} : \ V_r = 0.9 \alpha P \left(\frac{L}{H} \right) \tag{2}$$

$$\text{Toe Crushing} : \ V_{tc} = \alpha P \left(\frac{L}{H} \right) \left(1 - \frac{f_a}{0.7 f'_m} \right) \tag{3}$$

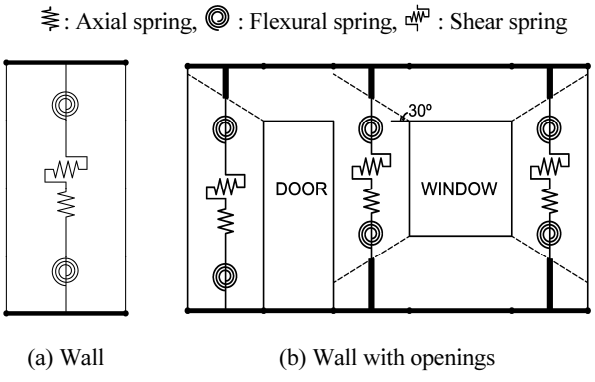
$$\text{Diagonal Tension} : \ V_{dt} = f_{dt} A_n \left(\frac{L}{H} \right) \sqrt{1 + \frac{f_a}{f_{dt}}} \tag{4}$$

$$V_{r,tc} = 180 \alpha \sqrt{P} \left(\frac{L}{H} \right) \left(1 + \frac{f_a}{0.5 f'_m} \right) \tag{5}$$

여기서, v_{me}는 수평줄눈 미끄러짐 전단강도(MPa), A_n은 벽체 단면적(mm^2), P는 축하중(N), L은 벽체의 길이(mm), H는 벽체의 높이(mm), f'_m, f_a, f_{dt}는 각각 조적조 프리즘의 압축강도(MPa, 축응력(MPa), 대각인장응력(MPa, $0.05 f'_m$), α는 경계조건에 따른 계수값(고정단 : 1.0, 자유단 : 0.5)이다.

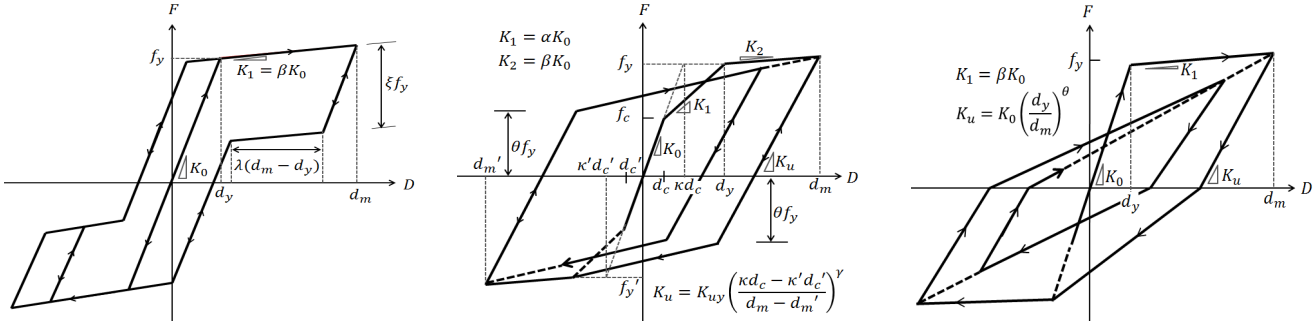
$$h_{eff} = h' + \frac{1}{3} \left(\frac{h_s}{h'} - 1 \right) L \tag{6}$$

여기서, h_{eff}는 Pier의 유효높이(mm), h'는 개구부 상부에



(a) Wall (b) Wall with openings

Fig. 1 Analysis models



(a) Rocking and toe crushing models (b) Sliding model (c) Diagonal tension model

Fig. 2 Hysteresis models of nonlinear spring according to failure mode

Table 1 Properties of hysteresis models

Factor	Rocking or toe crushing	Sliding	Diagonal tension
α	-	0.05	-
β	0.01	0.01	0.01
θ	-	0.7	0.5
ξ	0.1~0.3	-	1
λ	0.8	-	-
γ	-	0.5	-
Φ	-	1	-

서 Pier 방향으로 30°를 적용한 대각선의 중심과 개구부 최하단부의 중심과의 거리(mm), h_s는 Pier의 순높이(mm), L은 Pier의 폭(mm)이다.

2.2 비선형 동적해석의 적용성 검증

2.2.1 진동대 실험 개요

기존 2층 비보강 조적조 건물의 진동대 실험(Lee et al., 2010)에 수행되었던 실험체는 실물크기의 조적조 건축물을 대상으로 하여 그 일부를 발췌한 구조물의 형태의 모델로서, 기존 조적조 건물에 대한 사전 분석을 통해 벽체와 개구부 형상을 바탕으로 그 비율이 가장 높은 형상을 실험체에 적용하

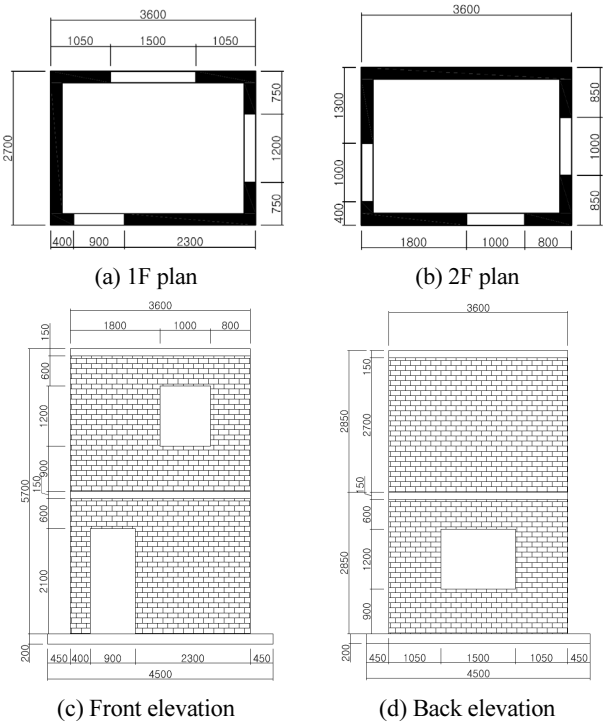


Fig. 3 Plan and elevation of test specimen(unit: mm)

Table 2 Properties of masonry element(unit: MPa)

Compressive strength	Young's modulus	Shear modulus
14.5	2140.6	856.2

였으며, 개구부의 형태 및 크기는 Fig. 3에 나타낸다. 시험체 형상은 2층 조적조 건물로, 가로 3.6 m, 세로 2.7 m, 층고 2.7 m의 총 높이 5.4 m, 총 중량 47.7 ton이다. 조적벽체는 1.0B 쌓기로 시공하였으며, 가진방법은 El-Centro NS 방향(PGA=357 cm/sec^2, duration=53.72 sec) 지진파의 가속도를 10, 20, 60, 100, 120, 140% 비율로 증가시키면서 1방향으로 가진하였다.

2.2.2 해석 방법

3차원 구조해석 프로그램인 CANNY(Li, 2009)를 이용하여 진동대 실험체에 대한 비선형 동적해석을 수행한다. 실험체의 조적조 벽체는 2.1절에서 설명한 바와 같이 부재의 휨, 전단, 축 거동을 표현하는 비선형 스프링을 가지는 선형부재로 모델화하며, 개구부를 가지는 벽체에서는 개구부 상부 및 하부의 벽체는 무시하고 개구부간 Pier 벽체만을 모델링한다. 조적벽체의 거동을 나타내는 이력곡선은 Fig. 2와 같이 각각의 파괴모드에 따른 이력특성을 고려한 복원력 모델로 가정하며, 조적조의 재료적 특성은 실험에 사용한 재료실험(프리즘)을 바탕으로 Table 2와 같이 가정한다.

해석에 사용한 지진파는 실험과 동일한 El-Centro NS파를 사용하며, 60, 100, 120%의 비율로 가속도를 증가시키면서 연속적으로 해석을 수행한다.

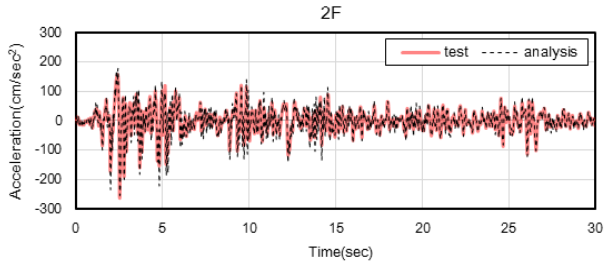
2.2.3 해석 결과

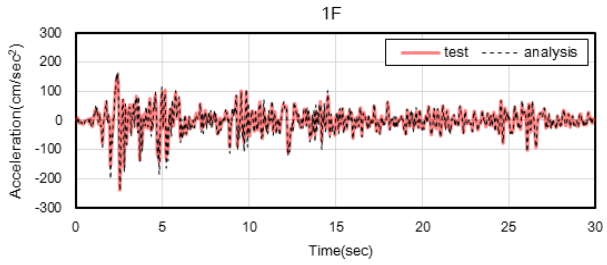
2.2.3.1 가속도 시간이력

본 해석방법으로 수행된 해석결과를 각 가진 Scale에 따른 실험결과와 비교하여 응답가속도는 Fig. 4에, 가진 Scale(60, 100, 120%)별 주파수 분석을 통한 탁월주기를 비교하여 Table 3과 Fig. 5에 각각 나타낸다. 실험결과와 해석결과의 시간이력을 비교한 결과, 가진 Scale 60, 100%에서의 최대 응답 가속도값 및 응답의 전반적인 경향이 유사하게 나타났다. 가진 scale 120%에서의 최대 응답 가속도값은 실험값에 비해 약 30%작게 나타났으나, 응답 및 탁월주기의 전반적인 경향은 유사하게 나타났다.

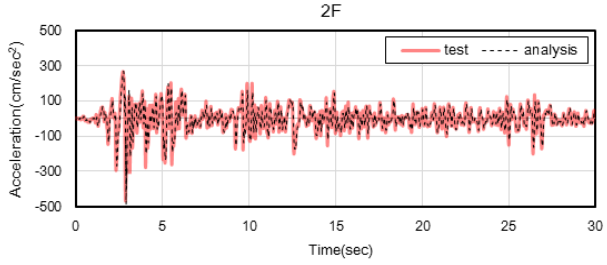
2.2.3.2 파괴양상

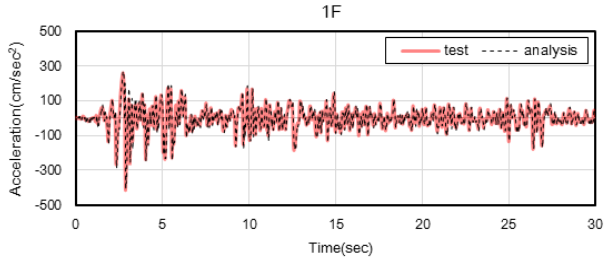
진동대 실험에서 균열 및 손상이 발생한 벽체를 대상으로 실험시 파괴양상과 해석결과에서의 파괴모드를 비교·분석한다. 진동대 실험체의 파괴양상은 가진 Scale 100%에서 1층 정면 개구부 주위에 미세균열이 발생하였으며, 가진 Scale 120%에서 1층 정면 개구부 주위 균열의 폭과 길이가 증가하였다.



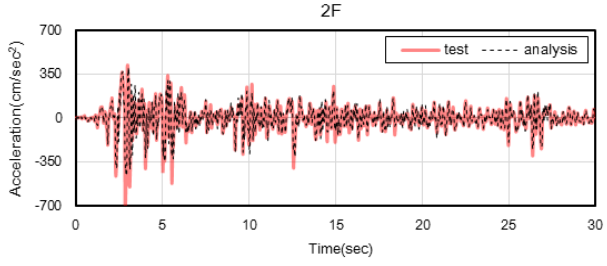


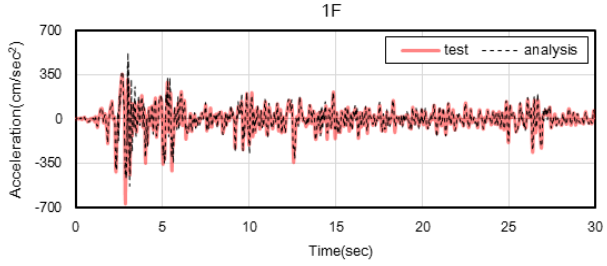
(a) Scale 60%





(b) Scale 100%



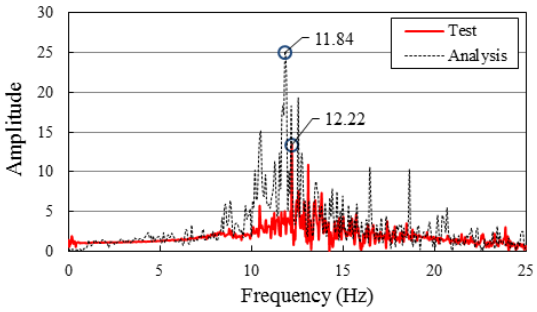


(c) Scale 120%

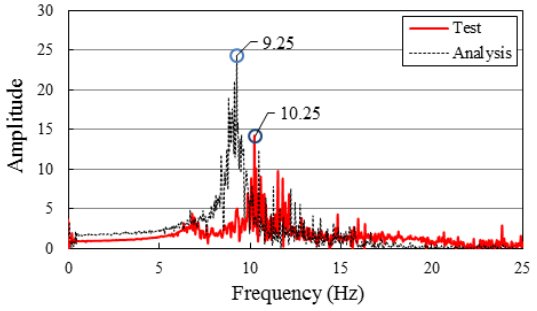
Fig. 4 Comparisons of response accelerations of test and analysis

Table 3 Comparison of predominant periods

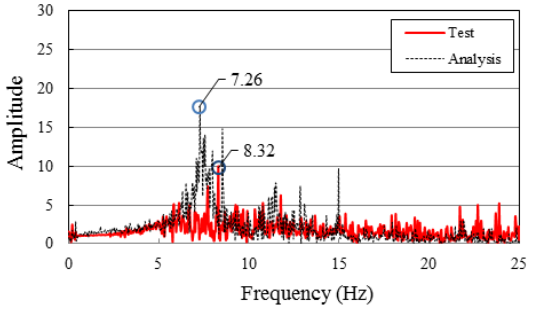
Excitation scale (%)	Predominant period(sec)		
	Test	Analysis	Analysis/ Test
60	0.081	0.084	1.03
100	0.097	0.108	1.11
120	0.117	0.137	1.17



(a) Scale 60%



(b) Scale 100%

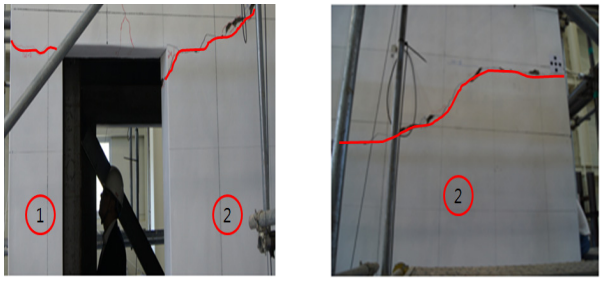


(c) Scale 120%

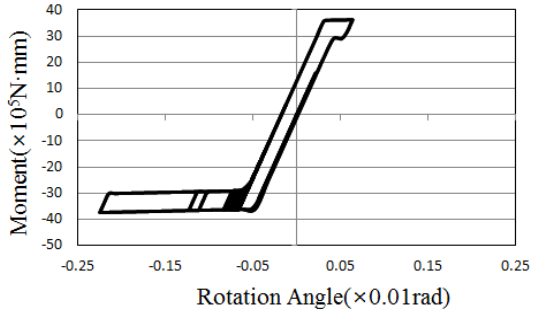
Fig. 5 Comparisons of predominant frequencies

이에 균열이 발생한 지진 Scale 120%에서의 개구부 벽체 파괴양상과 해석결과의 이력 거동결과를 비교하여 Fig. 6에 나타낸다.

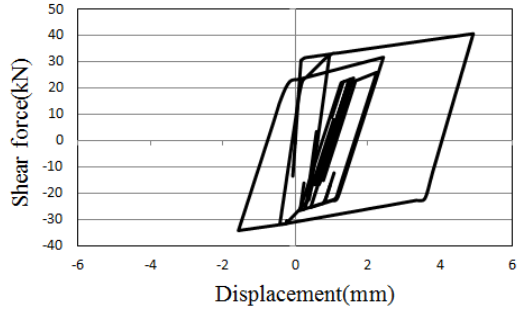
실험결과에서 개구부 벽체는 개구부를 중심으로 형상비가 다른 좌우 벽체의 파괴양상이 상이한 것을 확인할 수 있었다. 벽체 ①번(L: 400 mm)의 경우에는 개구부 상부 모서리 부분에서 휨균열이 발생한 이후 균열이 증가함에 따라 벽체가 휨거동에 지배되어 회전강체와 같이 거동하여, 이는 강체회전



(a) Cracks on the wall of 1F(Test)



(b) Bending behavior of No.1 wall



(c) Shear behavior of No.2 wall

Fig. 6 Cracks and hysteresis behaviors

파괴(Rocking) 유형과 유사한 것으로 판단된다. 벽체 ②번(L: 2300 mm)의 경우에는 초기에는 ①번 벽체와 유사하게 끝단 모서리 부분에 균열이 발생하였으나 이후 수평줄눈 모르타르 접합부에서 균열이 발생하였으며, 줄눈을 따라 대각선 방향으로 균열이 증가함에 따라 이는 미끄러짐 전단파괴(Sliding) 또는 사인장파괴(Diagonal Tension)와 유사하다고 판단된다.

해석결과, ①번 벽체의 이력거동은 실험결과와 비슷하게 강체회전파괴(Rocking)에 지배적으로 거동하였으며, ②번 벽체의 파괴모드 또한 미끄러짐 전단파괴(Sliding)에 지배적으로 거동하여 실험에서의 파괴양상과 유사한 결과를 나타내었다.

위와 같은 실험결과와 해석결과의 비교를 통해, 선행연구(Baek et al., 2014)에서 제안된 파괴모드를 고려한 비보강 조적벽체의 비선형 해석모델은 비선형 동적해석 수행시 적용이 충분히 가능하며, 조적조 건축물의 파괴 형상 또한 예측이 가능할 것으로 판단되어진다.

3. 국내 비보강 조적조 건축물에 대한 동적 해석

3.1 해석 대상 모델의 개요

본 연구에서는 국내 기존 조적조 건축물의 층수 및 개구부 비율을 변수로 비선형 지진응답해석을 수행하여 내진성능을 평가하고자 한다. 층수 및 개구부 비율의 변수를 설정하기 위하여 Yi et al.(2006)이 수행한 단독주택 35채 및 다세대주택 31채의 현황조사를 바탕으로 개구부 비율에 따른 건축물의 분포정도를 분석하였으며 이를 Fig. 7에 나타낸다. 국내 비보강 조적조의 평균 개구부 비율(개구부길이/전체벽체길이)은 26% 정도로 나타났으며, 조사된 조적조 건축물 중에서 전체 대상의 95%에 해당하는 개구부 비율 10~45%과 비슷하게 생각되어지는 국내 비보강 조적조 건축물 5개동을 대상으로 하여 해석을 수행하고자 하며, 이에 대한 평면도는 Fig. 8에 나타낸다. 선정된 5개동 건축물은 2층으로 되어 있으나, 1, 2, 3층으로 가정하여 층수에 대한 변수를 고려한다. 5개동의 모델명은 Fig. 9와 같이 '구조형식-개구부 비율(%)-층수'의 형식으로 표기하기로 한다.

3.2 해석 방법

해석에 적용된 하중조건은 상시하중인 고정하중 및 활하중, 지진하중을 함께 고려한다. 연직하중의 산정에 관한 가정은 Table 4에 나타낸다. 고정하중(DL)은 보호모르타르, 방수모르타르 및 콘크르트 슬래브, 천정을 고려하여 산정하며, 활하중(LL)은 건축구조기준(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2009)에서 제시하고 있는 기본 등분포활하중 중에서 주택에 해당하는 활하중으로 가정한다.

지진하중은 건축구조기준의 설계지진파의 선정에 따라 비교적 안정된 지반에서 관측된 3개 지반운동(El-Centro, Taft,

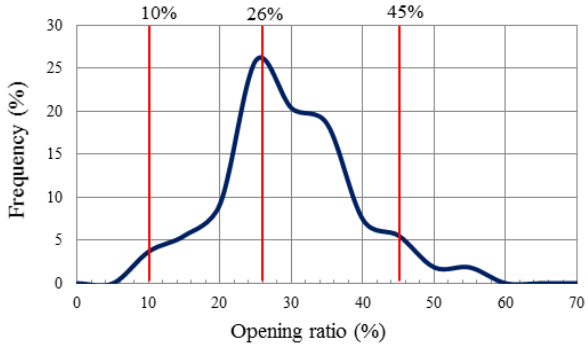
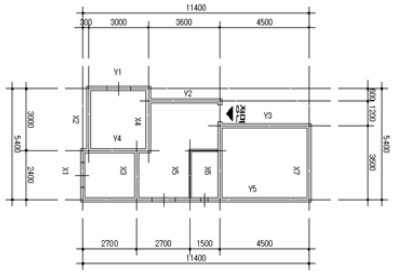
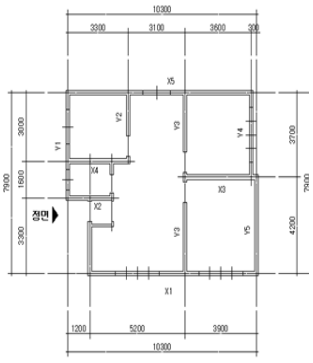


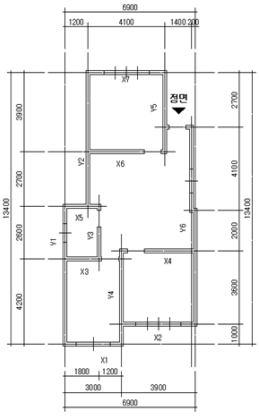
Fig. 7 Distribution of the opening ratio of domestic masonry buildings



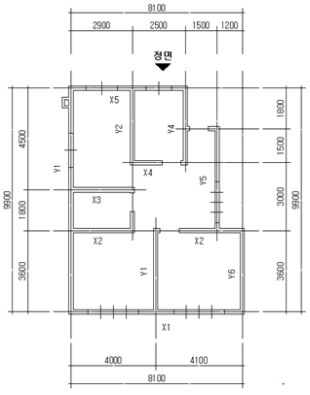
(a) M-10-1~3



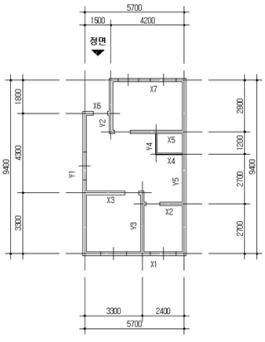
(b) M-22-1~3



(c) M-32-1~3



(d) M-36-1~3



(e) M-47-1~3

Fig. 8 Floor plan for analysis of masonry buildings(unit:mm)

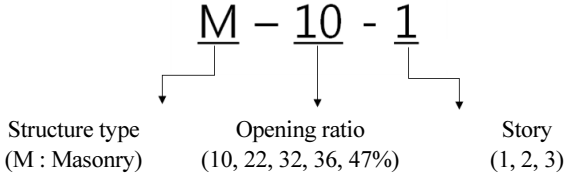


Fig. 9 Model designation

Northridge)을 사용한다. 개별 지반운동은 성분별로 5% 감쇠비의 응답스펙트럼을 작성하고 평균값이 대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 지반에 따른 설계스펙트럼의 1.3배보다 10% 이상 작지 않도록 배율을 조정하며, 그 결과를 설계가속도스펙트럼과 비교하

Table 4 Vertical loads of masonry building

Type of load		Unit load(kN/m^2)	
		1F~2F	Roof
Slab	DL	5.3	4.7
	LL	2.0	2.0
Wall		4.4	4.4
Parapet		-	4.4

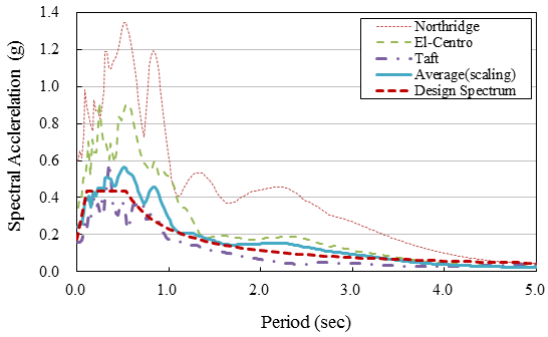


Fig. 10 Seismic spectrums

여 Fig. 10에 나타낸다. 지반의 설계용 스펙트럼은 대상 건물이 위치한 서울지역에 많은 분포를 보이고 있는 Sc지반으로 가정하며, 해석 모델은 2.2.2절에서 전술한 바와 동일하다.

3.3 층간변위각에 의한 손상도 기준

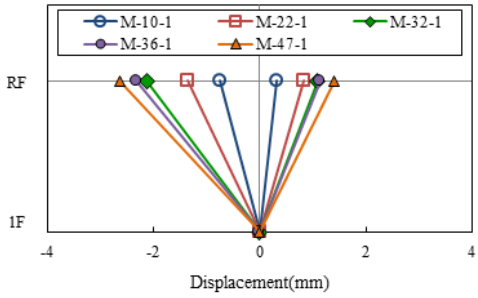
일반적으로 지진하중에 대한 구조적 피해는 수직부재의 수평변형에 의해 평가하게 되며, 건축물의 4단계 손상상태를 이용하여 각각에 대응되는 층간변위(Inter-story drift)를 건축물의 손상도 기준으로 이용할 수 있다. 기존 건축물의 내진성능 평가 및 보강에 관한 기준으로서 널리 활용되고 있는 FEMA 356(2000)에서는 개별 구조시스템의 유형별로 손상상태를 정의하고, 각각에 대해 층간변위각 지표를 제시하고 있다. Table 5는 FEMA 356에서 제시하고 있는 층간변위각 지표를 정리한 것이다. 참고로, Slight는 기능수행 단계(Operational Level)로 일부 부재에 미세균열이 발생한 상태, Moderate는 즉시거주 단계(Immediate Occupancy Level)로 전반적으로 균열이 발생하고 일부 부재가 항복하는 상태, Extensive는 인명안전 단계(Life Safety Level)로 일부 부재가 극한상태에 도달한 상태, Complete는 붕괴방지 단계(Collapse Prevention level)로 구조물이 붕괴 하거나 붕괴직전인 상태를 의미한다.

Table 5 Damage state criteria in inter-story drift

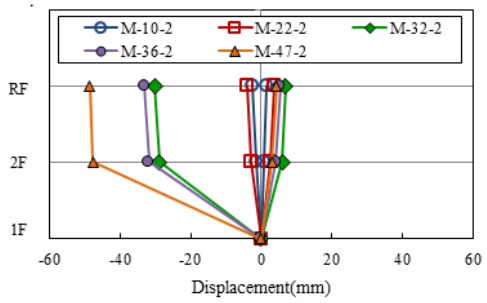
Structure type	Damage state criteria in inter-story drift(%)			
	Slight	Moderate	Extensive	Complete
URM walls	0.15	0.3	0.6	1.0

Table 6 Analysis results

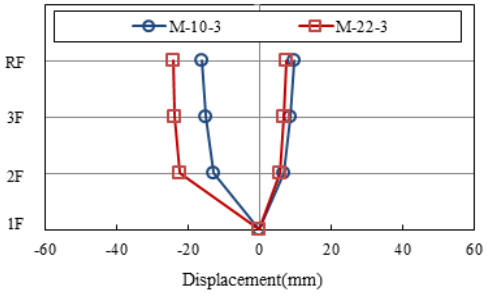
Model type	Period (sec)	Total weight (kN)	Inter-story drift angle(%)	Damage State
M-10-1	0.07	740.4	0.024	Slight
M-10-2	0.12	1480.8	0.050	Slight
M-10-3	0.21	3018.2	0.420	Moderate
M-22-1	0.09	1179.0	0.045	Slight
M-22-2	0.14	2383.4	0.100	Slight
M-22-3	0.22	3758.4	0.480	Moderate
M-32-1	0.10	897.6	0.070	Slight
M-32-2	0.20	2154.3	1.000	Complete
M-32-3	0.24	2774.4	12.00	Complete
M-36-1	0.10	819.28	0.070	Slight
M-36-2	0.21	1848.8	1.065	Complete
M-36-3	0.25	2712.3	12.00	Complete
M-47-1	0.13	738.3	0.080	Slight
M-47-2	0.22	1441.0	1.500	Complete
M-47-3	0.30	2303.9	12.30	Complete



(a) 1-story masonry building



(b) 2-story masonry building



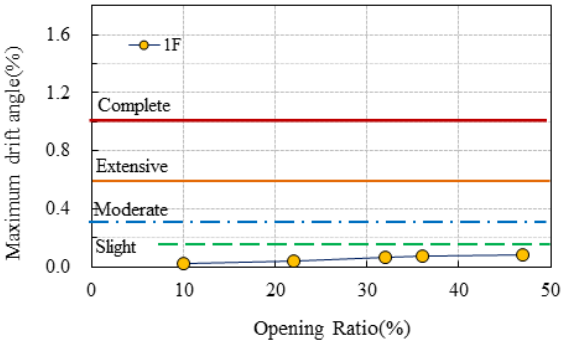
(c) 3-story masonry building

Fig. 11 Peak response displacements according to the opening ratio and the building story

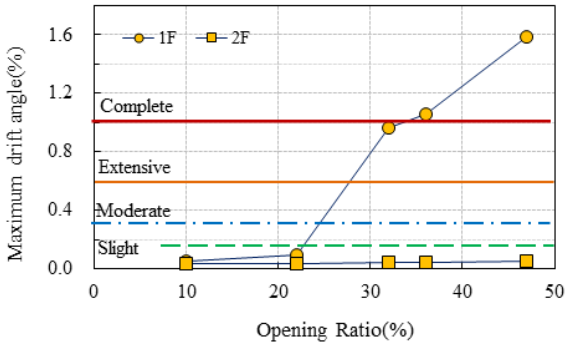
3.4 해석 결과

3.4.1 동적응답

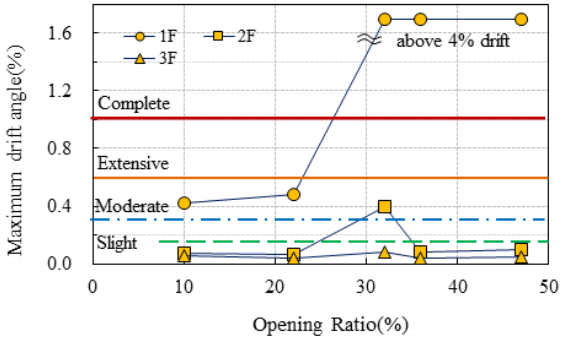
해석에서 사용한 3개의 입력 지진파 중에서 가장 큰 응답을 나타낸 Northridge 지진파에 대한 국내 비보강 조적조의 해석 결과를 Table 6에, 그 중에서 층수 및 개구부 비율에 따른 최대 응답변위, 층간변위각 및 손상상태를 각각 Fig. 11, Fig. 12에 나타낸다. 탁월주기는 개구부 비율의 증가에 따라 1층 조적조 건축물은 0.07~0.13초, 2층 조적조 건축물은 0.12~0.22초, 3층 조적조 건축물은 0.21~0.30초까지 비례적으로 증가하였으며, 1, 2, 3층 조적조 건축물 모두 개구부 비율이 증가함에 따라 응답변위 역시 증가하였다. 2, 3층 조적조 건축물의 경우 1층의



(a) 1-story masonry building

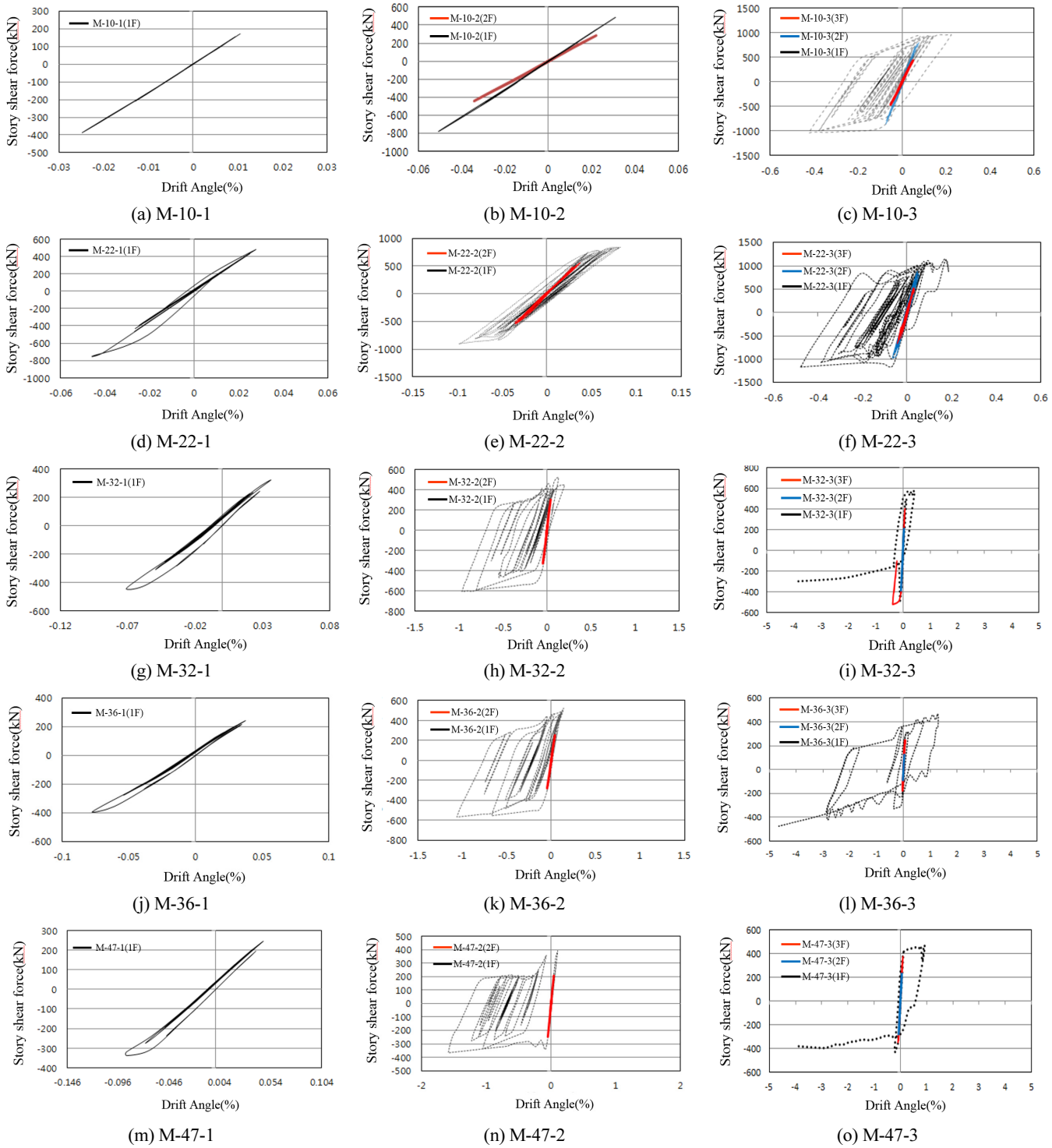


(b) 2-story masonry building



(c) 3-story masonry building

Fig. 12 Drift angles according to the opening ratio and the building story



(a) M-10-1 (b) M-10-2 (c) M-10-3

(d) M-22-1 (e) M-22-2 (f) M-22-3

(g) M-32-1 (h) M-32-2 (i) M-32-3

(j) M-36-1 (k) M-36-2 (l) M-36-3

(m) M-47-1 (n) M-47-2 (o) M-47-3

Fig. 13 Relationships of story shear force - drift angle

층간변위가 가장 크게 발생하여 1층에서 가장 많은 손상이 발생 할 것으로 판단된다. 참고로, 3층 조적조 건축물의 경우에는 개구부 비율이 32, 36, 47% 일 때 층간변위가 4%를 초과하여 해석을 중단하였다.

3.4.2 층전단력-변형각 관계 및 파괴모드

각 모델에 대한 층전단력과 층간변형각의 관계를 Fig.13에 나타낸다. 1층 조적조 건축물은 개구부 비율에 관계없이 거의 탄성으로 거동하였으며, 개구부 비율 10, 22%의 조적조 2층 건물 역시 거의 탄성으로 거동하였다. 개구부 비율 32, 36,

47%의 2층 조적조 건축물과 개구부 비율 10, 22%의 3층 조적조 건축물은 모두 1층에서 가장 큰 층간변위각과 층전단력이 발생하였다. 파괴모드는 1층의 경우 해석 초기에 개구부 주위의 형상비(L/H)가 작은 벽체가 강체회전(Rocking) 모드에 지배적 거동으로 항복하였으나, 이후 내부 형상비(L/H)가 큰 벽체가 지진하중에 저항하여 미끄러짐 전단(Sliding) 모드에 지배적으로 거동하며, 상부층은 강체거동을 하는 것으로 판단된다.

3.4.3 손상도

FEMA 356에서 제시하고 있는 손상상태별 층간변위각 기준에 따라 해석대상 비보강 조적조 건축물의 내진성능을 평한 결과, 1층에서 가장 많은 손상이 발생하는 것으로 나타났으며, 개구부 비율에 관계없이 비보강 조적조 1층의 경우 경미한 손상에 해당하는 층간변위각을 보이고 있다. 비보강 조적조 2층인 경우 개구부 비율 10, 22%일 때 기능수행 가능한 단계인 Slight 손상이 발생하였으나, 개구부 비율 32%이상일 경우 구조물이 붕괴하거나 붕괴직전상태인 Complete 손상이 발생하여 내진성능이 취약한 것으로 판단된다. 비보강 조적조3층의 경우 개구부 비율 10, 22%일 때 Moderate 손상, 개구부 비율 32%이상일 때 Complete 손상이 발생하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 선행연구(Baek et al., 2014)에서 제안한 비보강 조적조 비선형 해석모델의 비선형 동적해석에 대한 적용성을 평가하기 위해 비보강 조적조 진동대 실험결과와 비교 분석하여 신뢰성을 검증한 다음, 층수 및 개구부 비율에 따른 국내 비보강 조적조 건축물의 비선형 동적해석 결과를 분석하고 내진성능을 평가한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 제안된 비보강 조적조 비선형 해석모델을 적용하여 동적해석을 수행한 결과, 해석결과의 탁월주기가 실험결과에 비해 0.003~0.02sec 길었으나 그 차이는 크지 않았으며, 응답가속도 역시 해석결과와 실험결과의 전체적인 경향은 유사하게 나타나 제안된 비선형 해석모델은 비선형 동적해석 수행시 적용 가능하다고 판단된다.
2) 국내 비보강 조적조 건축물의 비선형 동적해석 수행결과, 1층의 경우 해석 초기에 개구부 주위의 형상비(L/H)가 작은 벽체가 강체회전(Rocking) 모드에 지배되어 항복하였으나 이후 내부 형상비(L/H)가 큰 벽체가 지진하중에 저항하여 미끄러짐 전단(Sliding) 모드에 지배적으로 거동하였으며, 상부층은 강체거동을 하였다.
3) 1층 조적조 건축물의 경우, 개구부 비율에 상관없이 Slight 손상상태에 해당되어 비교적 지진피해가 작을 것으로 판단되나, 기존 건축물의 대부분을 차지하고 있는 2층 건물인 경우 개구부 비율 32%이상일 때 구조물이 붕괴하거나 붕괴직전상태인 Complete 손상이 발생하며, 3층의 경우 개구부 비율 10, 22%일 때 Moderate 손상, 개구부 비율 32%이상일 때 Complete 손상상태에 해당되는 심각한 피해가 발생할 것으로 예상된다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

References

1. Architectural Institute of Korea (2009), Korean Building Code and Commentary, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (in Korean).
2. Baek, E. L., Kim, J. H., Lee, S. H., Oh, S. H. (2014), Nonlinear Analysis Model Considering Failure Mode of Unreinforced Masonry Wall, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection,* 18(4), 33-40 (in Korean).
3. Federal Emergency Management Agency (1997), NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Washington, D.C..
4. Federal Emergency Management Agency (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, American Society of Civil Engineers(ASCE).
5. Heo, J. S., Lee, S. H. (2009), Analytical Study on the Seismic Capccity for Existing Masonry Building in Korea, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 13(6), 75-87 (in Korean).
6. Lee, Y. J., Lee, J. H., Oh, S. H., Lee, S. H. (2011), Shaking Table Test of a 2-Story Masonry Building for Evaluation the Seismic Performance, *Proceedings of Korean Society of Hazard Mitigation*, Asan 2, 46-46 (in Korean).
7. Li, K. (2009), CANNY Manual.
8. National Disaster Management Institute (2008), Development of the Seismic Fragility Function for Unreinforced Masonry Buildings, National Disaster Management Institute, Seoul (in Korean).
9. National Disaster Management Institute (2009), Study on Seismic Retrofitting Techniques for Unreinforced Masonry Buildings, National Disaster Management Institute, Seoul (in Korean).
10. Yi, W. H., Lee, J. H., Oh, S. H., Yang, W. J., Kang, D. E. (2005), A Study on Evaluation of Shear Capacity of Unreinforced Masonry Wall, *Journal of the Architectural institute of Korea Structure & Construction*, 21(10), 3-10(in Korean).

Received : 01/18/2016
Revised : 02/26/2016
Accepted : 04/04/2016

요 지 : 본 연구의 목적은 비선형 동적해석을 통한 국내 비보강 조적조의 내진성능을 평가하는데 있다. 보다 정밀한 내진성능 평가를 위해 조적벽체의 파괴모드를 고려한 비선형 이력모델을 이용하고자 하나, 선행연구의 비선형 이력모델은 정적반복가력해석에 대한 검증만이 수행되었다. 이에 본 연구에서는 진동대실험과 동적해석 결과를 비교하여 제안한 비보강 조적조 비선형 해석모델의 신뢰성을 검증한 다음, 국내 비보강 조적조 건축물의 비선형 동적해석을 수행하고 결과를 분석하여 내진성능을 평가하였다. 그 결과, 1층의 조적조 건축물의 경우 개구부율에 관계없이 비교적 지진피해가 작은 반면, 2층 이상의 국내 비보강 조적조 건축물의 대부분이 국내에 발생가능한 지진에 취약하였다.

핵심용어 : 비보강조적조, 내진성능, 이력모델, 비선형동적해석, 개구부 비율