

흙벽 실험에 의한 목조 건축물의 내진성능 평가

Seismic Capacity Evaluation of Wood Structure Using Soil-Wall Test

김혜원*·양원직**·오상훈***·이정환****·박병철*****·이원호*****

Kim, Hye-Won · Yang, Won-Jik · Oh, Sang-Hoon · Lee, Jung-Han · Park, Min-Kyu · Park, Byung-Cheol · Yi, Waon-Ho

요약

본 연구는 목조 건축물 흙벽의 수평가력실험 결과를 이용한 내진성능 평가를 목적으로 한다. 흙벽 실험 시험체는 기둥과 보 결합방식에 따라 민도리, 초익공, 장여방식으로 분류되고 벽체 형태에 따라 창문, 문, 전면 벽체, 인방 부재수 등으로 계획을 하였다. 12개 흙벽 시험체의 가력결과, 전면 벽체 시험체는 변위각 1/30에서 가장 큰 강성 저하율을 보이며 중인방과 수직재가 있는 벽체는 에너지 소산능력이 가장 큰 것으로 나타났다. 기존 연구로부터 목조 건축물 항복점 평가방법을 이용하여 등가탄소성 곡선으로 나타낸 전단 내력은 민도리방식이 프레임과 전면 벽체일 경우 가장 크고, 전단응력은 벽체 개구율에 따라 다르게 나타났다. 실험결과로부터 적용 대상 건축물의 X, Y방향 구조성능을 산출하고 구조내진지표와 역량스펙트럼을 이용하여 내진성능 평가를 실시한 결과, 대상 목조 건축물은 내진성이 있으므로 평가되었다.

keywords : 목조 건축물, 흙벽 실험, 벽체 내력, 내진성능 평가

1. 서론

국내 역사지진으로 인한 목조 건축물의 피해사례는 우리나라가 지진에 결코 안전하지 않다는 것을 알려주며 일본 한신·아와지 지진의 목조 건축물 붕괴와 최근 발생한 아이티 지진은 기존 건축물의 내진성능 확보가 부족할 경우 무너지는 건축물에 의하여 막대한 인명피해가 발생한다는 것을 보여주고 있다. 국내 목조 건축물의 흙벽 실험 연구가 부족한 상황에서 본 연구는 동일한 부재 크기에 따른 다양한 벽체 종류의 구조성능을 비교, 분석하고 그 결과를 이용하여 내진성능 평가를 실시하고자 한다.

2. 흙벽 가력 실험

2.1. 실험 개요

목조 건축물 흙벽 시험체는 부재 크기 및 결합 방식, 벽면 형태 등을 조사, 분석하여 시험체 크기를 결정하였다. 흙벽 시험체 종류는 다음 표 1과 같이 기둥과 보 결합 방식에 따라 민도리, 초익공 방식, 장여 수장 방식으로 나누고 장여 수장 방식은 벽면 형태에 따라 7개로 계획, 민도리, 초익공 방식은 프레임과 전면 벽체 시험체로, 또한 프레임 결구를 힌지로 하여 흙벽만을 평가하기 위한 흙벽 시험체로 구성하였다.

* 정회원 · 국립방재연구소 선임연구원, 공학박사, kimhw0114@korea.kr

** 광운대학교 에센스 구조연구센터 연구교수, 공학박사, wjyang@kw.ac.kr

*** 정회원 · 부산대학교 건축학부 교수, 공학박사, osh@pusan.ac.kr

**** 정회원 · 국립방재연구소 시설연구사, 공학박사, ljhunk@korea.kr

***** 정회원 · 국립방재연구소 시설연구관, 공학박사, bcpark@korea.kr

***** 정회원 · 국립방재연구소 소장/광운대학교 건축공학과 교수, 공학박사 whyi@kw.ac.kr

표 1. 흙벽 시험체의 종류 및 실험 전경

장여수장 방식							결구 힌지
							흙벽 시험체
프레임	문	창문	중인방 1개	중인방 2개	인방1개+수직재	전면벽체	
민도리 방식		초익공 방식					
프레임	전면벽체	프레임	전면벽체				

※ 벽체 높이(2690mm), 벽체 길이(2400mm), 흙벽 두께(80mm), 기둥(180×180×2690mm), 보 단면(180×200mm), 장여(85×140×2460mm), 도리(150×180×3480mm), 중인방(85×113×2390mm)

2.2. 실험 결과

그림 1은 흙벽 시험체의 하중-변위 곡선으로 흙벽으로 채워져 있는 시험체는 대부분 1/120rad.에서 흙벽 균열이 발생하고 1/60rad.에서 흙벽 탈락이 시작되며 1/30rad.에서는 흙벽 탈락으로 인해 심재가 드러나기도 하고, 하인방에서 빠진 심재가 하중 이력 그래프에 영향을 주기도 하였다. 또한, 전단 균열이 발생하거나 흙벽이 탈락하면 하중이 감소하는 경향을 보였고, 벽체 형태 가운데 중인방 수와 수직재의 구성에 따라 최대하중이 크게 변화하며, 개구부의 크기에 따라서도 하중 이력 그래프의 경향이 다르게 나타나기도 하였다.

프레임 시험체 중 민도리 프레임은 1/15rad.에서 도리 결구부분이 파괴되고, 초익공 프레임은 주두 윗부분에서 밀리는 현상이 발생하기까지 하중이 계속 증가하는 경향을 보였고, 장여 프레임은 가력 도중 액츄에이터와 시험체의 접촉이 일어나 정방향으로 가력을 대체하였으며, 흙벽 시험체는 프레임 결구가 가력 도중 파괴되어 가력을 중단하였다. 결합방식의 차이에서는 민도리 프레임의 하중이 가장 큰 것으로 나타났다.

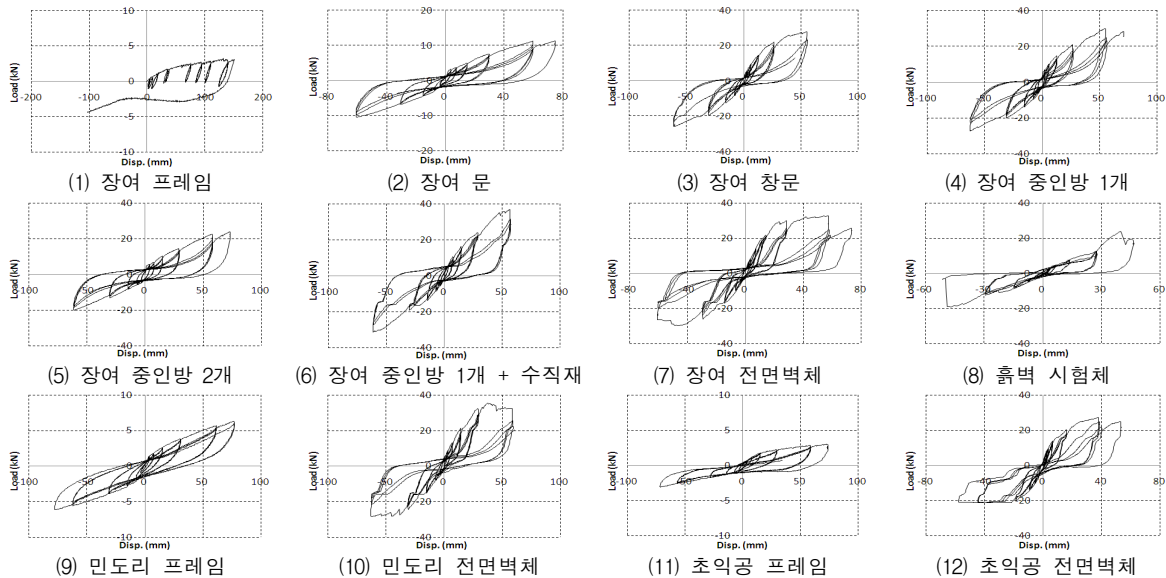


그림 1. 흙벽 시험체의 하중-변위곡선

3. 목조 건축물의 내진성능 평가

3.1. 흙벽 구조성능

기존 연구로부터 목조 건축물의 항복점 평가방법을 이용하여 흙벽 시험체의 항복점(P_y)과 $(0.2/D_s)/P_u$, $(2/3)P_{max}$, 실험값의 1/120 가운데 가장 작은 값을 단기 기준전단내력으로 정하고 그 값의 $(3/4)$ 값을 단기 기준 허용전단내력으로, 실험의 최대 하중값과 단면적으로 전단응력 등을 구한 것을 나타내면 다음 표 2와 같다. 전단내력이 가장 큰 벽체는 민도리, 장여, 초익공 벽체 순이고 벽체 내부의 중인방보다는 수직재에 의해 전단내력이 커진 것을 알 수 있다. 복원력특성과 전단응력은 에너지소산능력과 종국내력(P_u), 최대하중(P_{max})이 가장 큰 중인방 1개와 수직재, 민도리 벽체가 가장 큰 것으로 나타났다.

표 2. 흙벽 구조 성능

시험체	항복하중 (kN)	최대하중 (kN)	강성 K와 0.8Pmax의 완전탄소성 직선 (mm) (mm) (kN)			연성지수 (Du/Do)	최소값이 기준전단내력 (Po)				허용전단내력 (kN)	복원력 특성 (kN)	전단응력 (MPa)	
	P_y	P_{max}	Do	Du	P_u	μ	(1) P_y	(2) $(0.2/D_s) \times P_u$	(3) $(2/3) \times P_{max}$	(4) 실험값 1/120	$P_o \times 0.75$	$P_u \times 0.75$	$P_{max}/\text{단면적}$	
전면 벽체	창문	15.36	26.73	21.66	100.37	21.93	4.63	15.36	12.61	17.82	18.88	9.46	16.54	(0.15)
	문	8.65	14.09	60.32	132.75	12.28	2.20	8.65	4.53	9.39	5.97	3.40	9.21	(0.08)
	중인방 1개	14.34	28.75	24.93	77.36	23.51	3.10	14.34	10.73	19.17	17.11	8.05	17.63	0.16
	중인방 2개	16.76	27.72	59.11	115.38	24.38	1.95	16.76	8.31	18.48	11.50	6.23	18.24	0.16
	중인방1개와 수직재	16.65	35.21	30.70	82.09	29.65	2.67	16.65	12.36	23.47	19.25	9.27	22.24	0.20
	장여 벽체	20.44	31.20	16.40	110.58	24.45	6.74	20.44	17.28	20.80	27.01	12.96	18.34	0.18
	민도리 벽체	20.77	35.45	17.28	111.82	26.65	6.47	20.77	18.42	23.63	23.28	13.81	19.99	0.20
초익공 벽체	13.86	27.06	10.73	68.21	22.16	6.36	13.86	15.17	18.04	23.39	10.40	16.62	0.15	
프레임	장여 프레임	1.78	3.16	66.19	131.82	2.67	1.99	1.78	0.92	2.10	1.09	0.69	2.0	
	민도리 프레임	3.58	7.08	43.35	93.21	5.93	2.15	3.58	2.15	4.72	3.02	1.62	4.46	
	초익공 프레임	1.75	3.19	22.42	109.47	2.72	4.88	1.75	1.61	2.13	2.02	1.21	2.04	

3.2. 적용 대상 목조 건축물

적용 대상 목조 건축물은 정읍에 위치한 김동수 가옥 안사랑채로 평면의 형태는 一자형태이고 건물면적은 $79m^2$, 건물높이 5.31m, 지붕하중은 414kN로 건축물의 장변을 X방향, 단변을 Y방향으로 하여 흙벽 배치에 따른 복원력 특성을 방향별로 나타내면 그림 2와 같다.

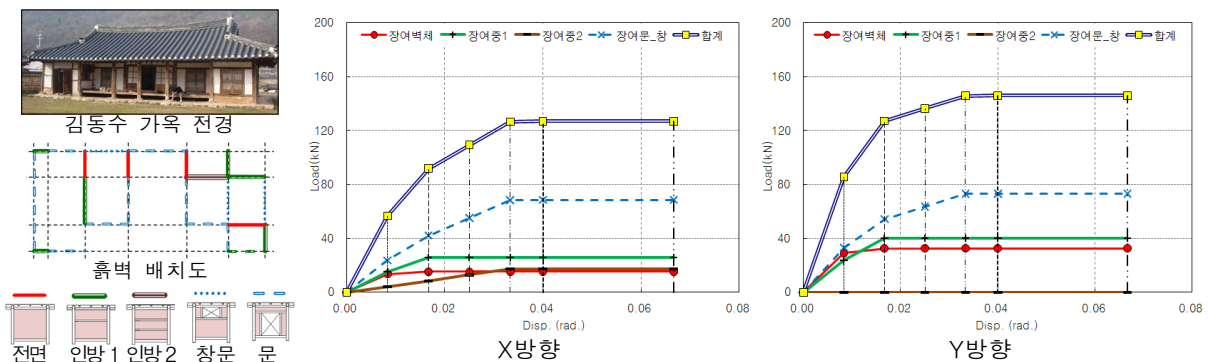


그림 2. 김동수 가옥 X, Y방향의 복원력 특성

3.3. 구조내진지표를 이용한 내진성능 평가

흙벽 실험결과로부터 산출한 전단응력을 이용하여 김동수 가옥 안사랑채의 구조내진지표(I_S)와 구조내진 판정지표(I_{SO})를 구하면 다음 표 3과 같다. 내진성능 평가결과, 구조내진 지표(I_S)가 X방향 0.31, Y방향 0.37로 구조내진 판정지표(I_{SO}) 0.148보다 큰 값을 가지게 되어 지진발생시 “내진성이 있음”으로 판정되었다.

표 3. 구조내진지표와 판정지표 결과

적용 대상	구조내진지표 (I_S)							구조내진 판정지표 (I_{SO})
	Q(t)	$\Sigma W(t)$	C	F	E_o	$S_D \times T$	I_s	
X방향	23.45	42.24	0.56	0.80	0.44	0.70	0.31	$I_{SO} = \frac{\gamma}{\phi} \times A \times \frac{1}{R} \times I_E \times C$ $= \frac{1.0}{0.65} \times 0.11 \times \frac{1}{2} \times 1.0 \times 1.75 = 0.148$
Y방향	28.02		0.56	0.80	0.53		0.37	

3.4. 역량 스펙트럼을 이용한 내진성능 평가

앞서 김동수 가옥 벽체로부터 산출한 복원력 특성으로부터 등가강성, 등가주기를 구하고 지반종류는 Sc, KBC-2005에서 제시하는 설계스펙트럼 가속도를 이용하여 응답가속도와 응답변위를 구하면 다음 그림 3과 같다. X, Y방향의 응답변위는 모두 약 0.002rad.으로 내진성능 판정결과 “손상전”의 판정을 얻었다.

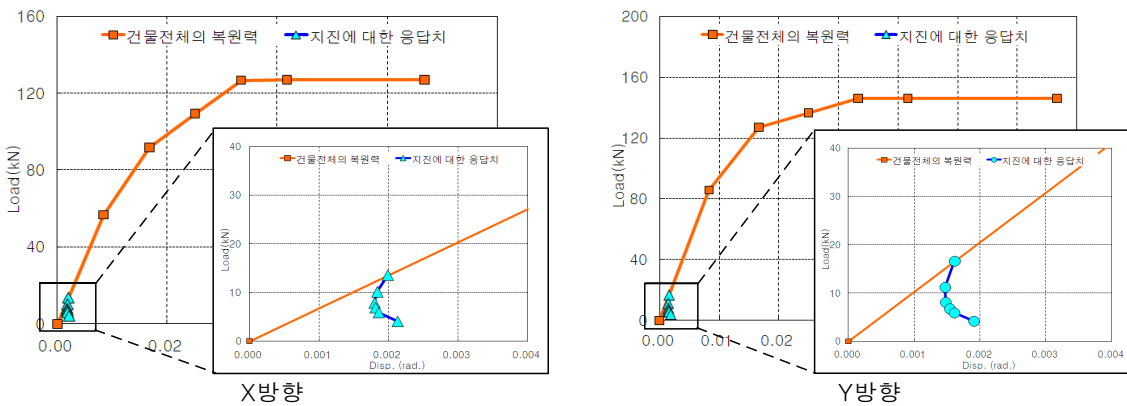


그림 3. 역량스펙트럼을 이용한 내진성능 평가 결과

4. 결론

목조 건축물에 대한 구조실험을 실시하여 흙벽에 대한 전단내력과 전단응력, 복원력 특성에 대하여 분석, 제시하였고, 그 결과를 이용하여 내진성능 평가를 실시한 결과, 적용 대상 건축물이 내진성 있음으로 판정받았다. 그러나, 흙벽의 건진성과 경년변화, 시공상 차이 등에 의한 변수 고려와 내진성능 평가법의 선택에 있어서는 좀 더 많은 실험 연구와 분석이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 국립방재연구소 (2008) 목조 건축물의 내진성능 평가항목 개발을 위한 조사연구
- 국립방재연구소 (2009) 목조 건축물의 내진성능 평가항목에 따른 내진진단법의 개발