

전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험(I) : 암반지반 조건

A Test on the Aseismic Capacity of a Traditional Three-bay-straw-roof House(I) : Rock Site Condition

서 정 문* 최 인 길** 진 영 선* 이 중 립*** 신 재 철****
Seo, Jeong Moon Choi, In Kil Choun, Young Sun Lee, Jong Rim Shin, Jae Chul

국문요약

우리 나라 전통 초가삼간의 1/4 축소모델을 제작하여 암반지반 조건에 대한 내진성능 실험을 수행하였다. Nahanni 지진파를 사용하여 최대 지반가속도 0.1g~0.6g 범위에서 거동을 분석하였다. 탄성한계내에서 초가삼간의 고유진동수는 장방향의 경우 약 1.66 Hz, 단방향의 경우 약 2.15 Hz이다. 탄성한계에서의 감쇠비는 약 7%이다. 수평방향의 가속도응답은 입력에 비해 감소하며 입력가속도 수준이 증가할수록 감소율이 증가한다. 이는 사개맞춤으로 만들어진 목조 프레임의 비선형·비탄성 특성 때문이다. 전통 초가삼간 가옥은 고진동수가 지배적인 암반지반에서 매우 큰 내진성능을 나타내었다.

주요어 : 전통초가삼간, 내진성능, 축소모델시험, 암반지반조건

ABSTRACT

The aseismic capacity of a traditional three-bay-straw-roof wooden house for rock site condition is quantitatively estimated. One 1/4 scale model was tested for the Nahanni Earthquake with peak ground accelerations from 0.1g to 0.6g. The natural frequency of the wooden house in elastic range is 1.66 Hz and 2.15 Hz in longitudinal and transversal direction, respectively. Damping ratio of the house in elastic range is 7%. The horizontal acceleration response of the house is significantly reduced compared with the input motion due to the nonlinear inelastic characteristics of the Sagae-machum joint of the frame. The traditional wooden house has high aseismic capacity in the rock site condition where high frequency contents of motion are predominant.

Key words : traditional wooden house, aseismic capacity, model test, rock site condition

1. 서 론

건물, 교량, 원자력발전소, 각종 플랜트 등 중요한 산업시설의 내진설계 수준을 적절한 수준으로 결정하는 것은 매우 중요하다. 이것은 구조물의 중요성이나 수명 등에 비추어 높은 수준의 내진설계를 요구할 경우 과도한 투자로 인한 국가 경쟁력 상실, 낮은 수준의 내진설계 시에는 큰 인명 및

경제적 손실을 초래할 가능성이 있기 때문이다. 우리 나라 원자력발전소의 지진안전성 평가를 위한 지진 재해도 분석⁽¹⁾에는 신라본기, 각종 실록 등에 기록된 지진 기록이 주로 사용되어 왔다. 현재까지 조사된 역사지진 기록은 약 1,900여 개에 달한다.

역사지진 기록을 이용한 지진 재해도 분석시 일반적으로 평가해야 할 중요한 요소의 하나는 지진의 진도이다. 역사지진 기록에서 가장 일반적인 것은 감각기관의 감지 및 가옥의 피해에 관한 것이다.

이들 지진 기록 중 가옥의 피해기록은 상대적으로 큰 지진의 진도를 비교적 객관적으로 평가할 수 있는 중요한 단서를 제공한다. 역사 기록에 나타난

* 정회원 · 한국원자력연구소 책임연구원
** 정회원 · 한국원자력연구소 선임연구원
*** 정회원 · 전력연구원 부처장
**** 충남대학교 교수

가옥의 붕괴 및 인명 손실과 관련된 지진 기록은 표 1과 같다.⁽²⁾ 표에서 유사한 지진 피해 및 동일한 지진 피해기록에 대한 진도 평가 결과에 큰 차이를 보이며, 진도 5에서 10까지의 범위를 보인다. 이와 같은 큰 불확실성은 평가자가 정성적으로 표현된 진도표를 근거로 하여 진도를 평가함에 따라 주관적인 요소가 많이 포함되었기 때문이다.

그리고, 표 1에서 큰 지진 피해가 경주지역에서 상대적으로 많이 발생되었음을 알 수 있다. 지진 시 가옥의 피해는 지반조건 및 가옥의 특성에 따라 상이하다. 대표적인 예로써 1995년 1월 발생한 코베 지진시 대부분의 피해가 연약지반상에 건설된 목조 가옥에서 발생하였다. 경주지역 및 일부 옛 도읍지는 모래, 자갈 등으로 구성된 충적층 지반이며, 기타 대부분의 지역은 암반지반이다.

전형적인 농경사회였던 조선시대까지 서민의 가옥은 초가삼간이 가장 일반적이었으며, 초가삼간은 횡력에 약한 목구조로서 목조프레임의 수평거동은 큰 비선형성을 보인다.^{(3),(4)}

본 연구에서는 암반지반 상의 전통 초가삼간의 내진성능을 평가하기 위한 지진 실험을 수행하였다.

실험에는 초가삼간^{(3),(4)}에 대한 1/4 축소모델을 사용하였다. 모델의 뼈대 제작에는 풍화작용 등에 의한 강도 손실이 거의 없는 신선한 우리 나라 소나무를 사용하였다. 입력 지진은 일반적인 암반지반 조건을 모사하기 위하여 1985년 12월 북미 동부에서 발생한 Nahanni 지진 기록을 사용하였다. 본 연구에서는 실험 및 해석 결과를 이용하여 거동특성을 분석하였으며 역사지진의 진도평가를 위한 자료를 제시하였다.

표 1 가옥붕괴 및 인명사상과 관련된 역사기록

일 시 (년/월/일)	발 생 지 역	내 용	MM진도
27/	(경기도 광주)	땅이 흔들리고 사람이 사는 집들이 기울고 넘어졌다	7~9
100/	경주	땅이 흔들려 민가를 넘어뜨리고 죽은 사람도 있었다	8~10
304/	경주	땅이 흔들려 민가를 무너뜨리고 죽은 사람이 있었다	8~10
458/	경주	땅이 흔들리고 금성(경주)의 남문이 스스로 부서졌다	6~8
502/	(평남서부)	땅이 흔들리고 민가가 무너져 땅바닥에 깔리게 되어 죽은 사람이 있었다	8~10
510/	(경주)	땅이 흔들리고 사람들의 집이 무너져 죽은 사람이 있었다	8~10
779/	경주	땅이 흔들리고 민가가 무너져 죽은 자가 100여명이나 되었다	8~10
1036/7/23	개성,경주	(중략) 흙담집과 여막집들이 많이 무너졌으며, 경주는 심해서 3일 만에야 그쳤다	7~8
1260/6/24	개성	땅이 크게 흔들리고 기와집과 담이 무너지고 부서졌는데 개성에서 더욱 심했다	7~8
1455/1/24	경상도,전라도	(중략) 담과 집이 무너지고 사람이 많이 깔려 죽었다	8~10
1518/7/2	한반도전역	(중략) 궁궐내의 담들이 부서져 넘어졌으며, 민가가 무너졌으므로 남녀노소가 모두 밖으로 나와 노숙을 하여 암사를 면했다	8~10
1613/7/16	(지역미상)	새벽에 지진이 일어나 큰 우뢰와 같은 소리가 났으며 담과 집이 많이 부서졌다	5~8
1757/7/30	덕산	충청도 덕산에 지진이 일어나 죽은 사람이 있었다	8
1760/8/30	경상도,함경도	(중략) 금산, 선산 등의 읍과 함경도 문천군에서는 지진으로 죽은 사람이 무릇 4명이었다	8

*주 : ()안의 지역은 역사문헌명에 따른 추정지역

2. 축소모델의 제작 및 설치

조선시대 및 그 이전의 가장 일반적인 가옥은 일반 소농이 살던 전퇴가 있는 초가삼간이었다.^{(3),(4)}

초가삼간의 뼈대는 기둥과 도리, 보 및 인방으로 구성된다. 부재의 크기는 비교적 크며 재료로서는 소나무가 사용되었다. 뼈대를 형성하고 있는 기둥-보, 기둥-도리의 연결은 사개맞춤이, 기둥-인방의 연결은 장부맞춤이 일반적으로 사용되어 왔으며 도리에 비해 보에 큰 부재가 사용되었다. 또한 벽체는 수수깡, 찌리나무 등으로 짜여 있으며 그 위에 흙을 발랐다. 지붕은 서까래 위에 산자를 덮고 0.05~0.07 m 정도의 보트를 한 다음 최종적으로 0.30~0.45 m 정도의 뱃집으로 만든 이엉을 엮어 구성하였다.

지붕의 무게는 약 170 kg/m² 로서 매우 무거운 편이다. 주추는 일반적으로 다듬지 않은 판석형의 돌이 사용되었다.

기둥의 하단은 주추의 요철에 맞추어 그랭이질을 하여 밀착시켰다.

본 실험에서는 인공질량 모델을 사용하였다.⁽⁵⁾ 축소모델은 원형의 1/4이며 각 부재의 연결부도 동일한 비율로 제작하였다. 축소모델의 설계에 사용된 상사법칙은 표 2와 같다. 축소모델의 뼈대는 그림 1과 같이 신선한 소나무를 이용하여 제작하였다. 지붕의 총 자중 8,300 kg과 벽체 자중의 1/2인 5,300 kg 및 부가 인공질량을 환산하여 지붕에 등분포 질량으로 작용시켰다. 축소모델에 부과되는 총 무게는 930 kg으로서 0.15 m(폭) x 0.60 m(길이) x 0.025 m(두께)의 철판을 이용하였다. 우리나라 초가삼간의 경우 앞서 기술한 바와 같이 벽체에 토벽이 설치되어 있다. 그러나, 초가삼간을 구성하고 있는 목조 프레임의 정적 수평내력 실험 결과⁽¹⁾ 심벽이 프레임의 수평내력에 미치는 영향은 매우 미미하여 모델제작 시 이를 무시하였다.

표 2 인공질량모델에 의한 상사법칙

변 수*	차 원	인공질량모델		실험모델
		임의재료	동일재료	
길이(l_r)	L	l_r	l_r	1/4
시간(t_r)	T	$l_r^{1/2}$	$l_r^{1/2}$	1/2
진동수(ω_r)	T ⁻¹	$l_r^{-1/2}$	$l_r^{-1/2}$	2
속도(v_r)	LT ⁻¹	$l_r^{1/2}$	$l_r^{1/2}$	1/2
중력가속도(g_r)	LT ⁻²	1	1	1
가속도(a_r)	LT ⁻²	1	1	1
질량(M_r)	FL ⁻¹ T ²	$E_r l_r^2$	l_r^2	1/16
변형률(ϵ_r)	-	1	1	1
응력(σ_r)	FL ⁻²	E_r	1	1
탄성계수(E_r)	FL ⁻²	E_r	1	1
변위(δ_r)	L	l_r	l_r	1/4
힘(F_r)	F	$E_r l_r^2$	l_r^2	1/16

* 아래첨자 r은 모델과 실제구조물의 변수의 비를 나타냄
(즉, $l_r = l_{model} / l_{prototype}$)

기둥과 주추의 경계는 완전한 힌지로 가정하고 그림 2와 같이 볼베어링을 특별히 제작하여 기둥에 연결한 다음 진동대에 고정된 10 mm 두께 철판 위에 설치하였다. 기둥 하단의 경계를 힌지로 가정한 이유는 그랭이질로 인해 마찰계수가 매우 증가하며 질량 중심이 유연한 뼈대구조의 상부에 놓이게 됨으로써 구조물의 거동이 미끄러짐보다는 회전에 가까울 것이라고 판단하였기 때문이다.

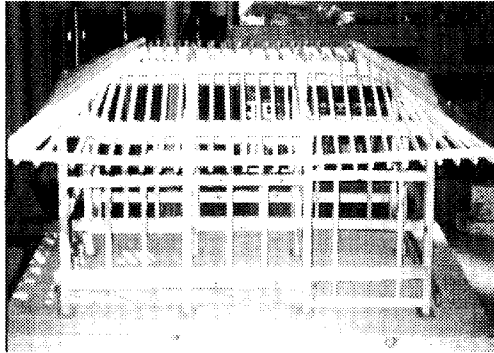


그림 1 실험에 사용된 1/4 축소모델의 뼈대

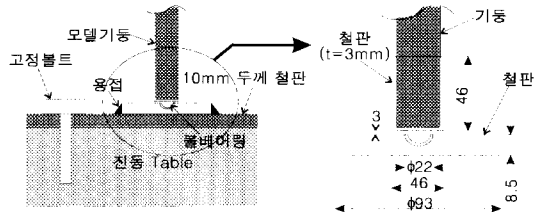


그림 2 축소모델의 기둥하단 경계부 상세도

3. 축소모델의 실험

본 실험에 사용된 진동대는 한국기계연구원이 보유하고 있는 MTS진동대이다. 진동대의 특성 및 제원은 표 3과 같다.

기둥 상단에 가속도계(B&K4370)와 ±25 mm 용량의 변위계(Tokyo Sokki)를 그림 3과 같은 위치에 설치하고 3방향(x,y,z)의 가속도와 수평방향(x,y)의 변위를 측정하였다. 공간상의 제약으로 인하여 가속도계는 기둥과 근접한 위치의 횡방향 틀보에 설치하였으며 변위계는 보 하단에서 0.1 m 아래의 기둥에 설치하였다. 변위계의 설치 시 모델의 비틀림 영향을 고려하기 위한 별도의 장치를 제작하여 사용하였다. 그림 4와 그림 5에 각각 가속도계 및 변위

계가 설치된 모습을 보였다.

입력운동으로는 암반지반에서 계측된 Nahanni 지진(규모 6.4, 진앙거리 8km, 원진심도 18km) 기록을 사용하였으며 가속도-시간 이력은 그림 6과 같다. Nahanni 지진의 최대 수평지진가속도는 1.176g, 연직지진가속도는 2.35g 이며 지속시간은 약 20초이다. Nahanni 지진의 최대지반가속도로 표준화한 지반가속도 응답스펙트럼은 그림 7과 같다. 실제 실험에서는 그림 6의 가속도-시간 이력을 상사법칙(표 2 참조)에 따라 시간은 1/2로 압축하여 사용하였으나 가속도 진폭은 원래의 값이 사용되었다.

실험은 최대 지반가속도 수준을 0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g, 0.5g, 및 0.6g의 6단계로 0.1g 씩 증가시키면서 수행하였다. 3방향 지진파를 동시에 입력시켰으며, 연직성분은 수평성분의 2/3로 하였다. 또한 축소모델의 고유진동수 및 감쇠비 측정을 위해 시험 전 및 각 가속도 단계별 시험 후 백색잡음(White Noise)파를 이용한 랜덤 진동시험을 수행하였다. 시험에 사용한 백색잡음파는 그림 8과 같으며 백색잡음파의 최대가속도는 0.025g 이다.

표 3 6자유도 진동대의 규격 및 성능

Specification	Performance
최대적재하중(Ton)	30
진동대 규모(m x m)	4.0 x 4.0
진동 방향	3축 병진, 3축 회전
최대변위(mm)	H=±100, V=±67
최대속도(m/s)	H=75, V=50
최대가속도(g)	H=1.5, V=1.0
최대허용편심(m)	H=0.5, V=2.5
최대진동주파수(Hz)	50
구동 방식	Electrohydraulic Servo
제어 방식	Analog/Digital Control
동시계측/분석능력(Ch)	56

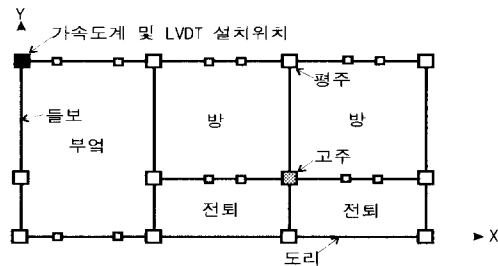


그림 3 계측센서의 부착위치

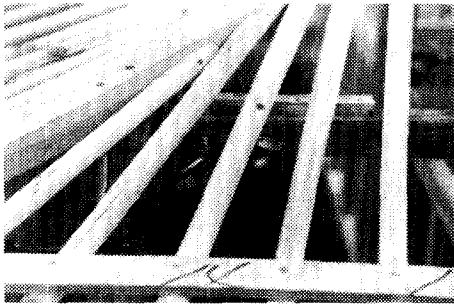


그림 4 가속도계의 설치 사진

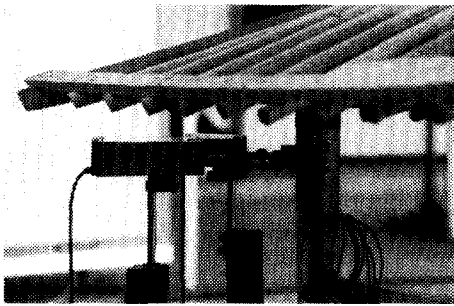


그림 5 변위계의 설치 사진

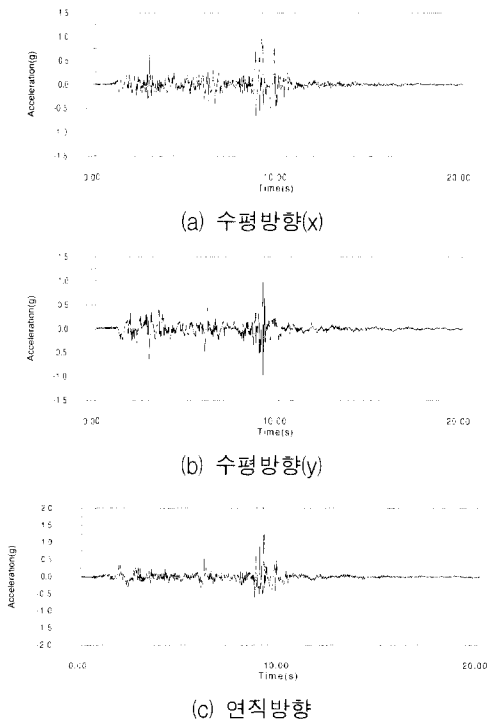


그림 6 Nahanni 지진의 가속도-시간 이력 (1985년 12월, 북미 동부, 암반지반)

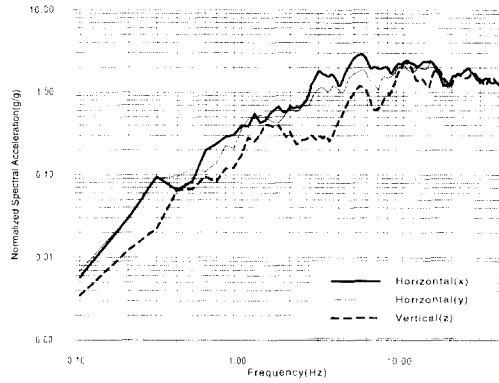


그림 7 Nahanni 지진의 규준화 응답스펙트럼

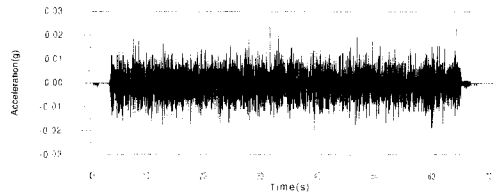


그림 8 백색잡음파의 시간이력

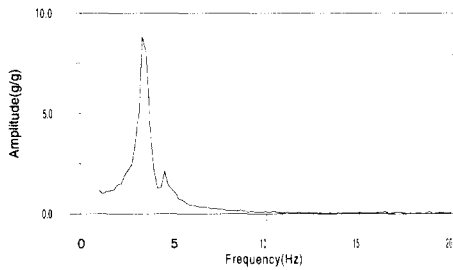
4. 실험결과 및 분석

4.1 고유진동수 및 감쇠비

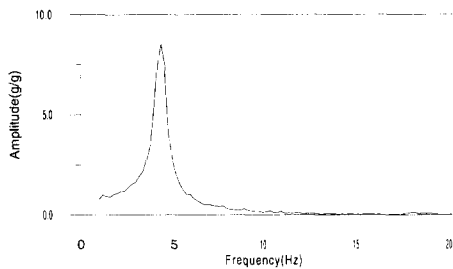
미소 진폭의 백색잡음파를 입력으로 하여 랜덤 진동실험으로부터 구한 모델의 전달함수를 그림 9에 나타내었다. 모델의 장방향(x방향) 및 단방향(y방향)의 탄성한계내 고유진동수는 각각 3.32 Hz 및 4.29 Hz로 나타났다. 이를 표 2의 상사법칙을 이용하여 원형(Prototype) 구조의 진동수로 환산하면 각각 1.66 Hz, 2.15 Hz이다. 그리고, 전달함수로부터 축소모델의 감쇠비를 Bandwidth법에 따라 계산한 결과 양 방향 모두 약 7%로 나타났다. 1950년대 이전의 일본 전통 목조가옥^{(6),(7)}의 평균 고유진동수 2.5 Hz 및 탄성한계내 감쇠비 6%~8%와 비교할 때 우리나라의 초가삼간이 매우 유연한 구조이며 감쇠비는 비슷한 수준임을 알 수 있다. 고유진동수의 차이는 주로 지붕의 무게에 의한 것으로 일본 초가의 경우 평균 중량은 약 60~75 kg/m²이다.

그림 10 및 11에는 0.1g 및 0.6g의 입력에 대한 모델의 가속도응답 파워스펙트럼(Power Spectrum)을 나타내었다. Parzen Window를 이용하여 평활화한 결과 0.1g 입력시 장방향 및 단방향의 탁월진동수는 각각 3.02 Hz, 3.71 Hz를 나타내며, 0.6g의 입

력에 대해서는 장방향 및 단방향의 탁월진동수가 각각 1.46 Hz, 2.15 Hz를 나타내고 있다.

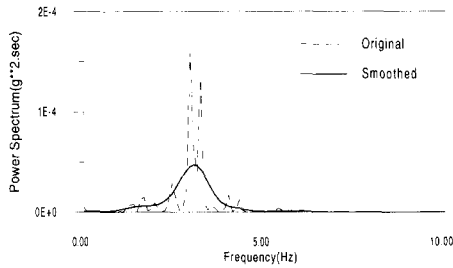


(a) 장방향(x) 전달함수

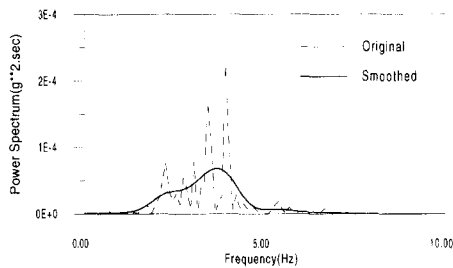


(b) 단방향(y) 전달함수

그림 9 백색잡음 입력에 대한 1/4 축소모델의 전달함수

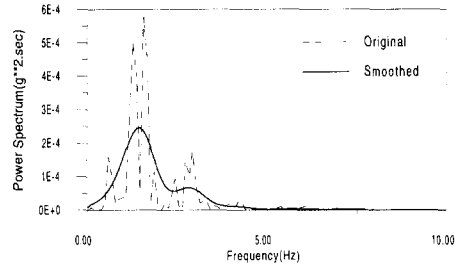


(a) 장방향

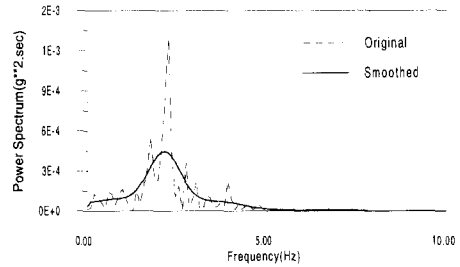


(b) 단방향

그림 10 0.1g 입력에 대한 축소모델 가속도응답의 Power Spectrum



(a) 장방향



(b) 단방향

그림 11 0.6g 입력에 대한 축소모델 가속도응답의 Power Spectrum

4.2 응답특성

최대 지반가속도를 0.1g ~ 0.6g 까지 0.1g 씩 증가시켜 실험을 수행하여 기동상부에서 측정된 가속도 및 변위 응답의 최대값을 표 4에 나타내었다. 표에서 모델의 수평성분 가속도응답은 입력에 비해 감소하며 그 감소비율은 입력 가속도의 크기가 증가할수록 증가한다. 예로서 0.1g의 입력에 대한 가속도응답은 입력가속도의 약 60%~70%를 보여주고 있으나, 0.6g의 입력에 대해서는 가속도응답이 입력의 약 30%를 나타낸다. 이는 전통 초가삼간을 구성하는 프레임의 비선형·비탄성 특성이 매우 크기 때문이다. 그리고, y방향의 응답이 x방향에 비해 전반적으로 적다. 이것은 y방향 입력지진이 x방향에 비해 에너지가 다소 적기 때문이다. 연직방향의 가속도응답은 입력에 비해 전반적으로 증가하나 그 비율은 입력가속도의 크기가 증가할수록 감소하는 경향을 보인다.

변위응답은 입력 가속도 수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 입력가속도 수준 0.2g 및 0.3g에서 y방향 변위가 x방향보다 크게 나타난 이유는 고진동수 성분의 최대(Peak) 가속도가 약 160% 크게 입력된 영향으로 판단되었다. 그리고, x

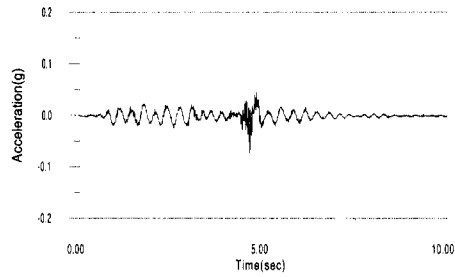
방향에 비해 y방향의 변위는 상대적으로 작으며 이는 입력지진의 차이 때문이다.

0.1g 및 0.6g의 입력지진에 대한 기둥 상부에서의 가속도 및 변위응답 시간이력을 각각 그림 12~15에 나타내었다. 그림의 수평방향 가속도응답 시간 이력에서 입력지진파의 고진동수 성분이 상당히 감소하였고, 모델의 고유진동수에 따라 진동함을 알 수 있다. 그러나, 진동대의 기계적 진동에 따라 발생된 고진동수 성분이 일부 추가되었다. 일례로 0.1g의 입력에 대한 x방향의 입력지진(Specified Input), 진동대 운동(Table Motion) 및 축소모델 응답(Model Response)에 관한 가속도 응답스펙트럼을 그림 16에 대표적으로 나타내었다. 그림에서 모델의 1차 고유진동수 범위인 1 Hz~4 Hz 대역에서는 입력지진과 진동대 운동이 잘 일치하나 4 Hz 이상의 진동수 대역에서는 진동대 운동이 큰 것을 알 수 있다. 변위응답 시간이력은 입력지진의 크기에 따라 현저한 차이를 보이며 0.6g의 경우 구조물은 매우 큰 소성거동을 함을 알 수 있다. 그림 17에 0.6g 실험 후의 축소모델을 보여주고 있다. 그림에서 소성 거동 후 약간의 영구변형이 발생되어 우측으로 약간 기울어졌음을 알 수 있다.

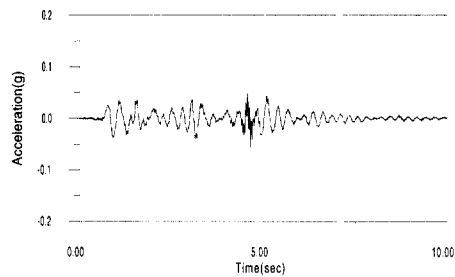
표 4 가속도 수준별 최대응답 가속도 및 변위

입력가속도 수준	최대가속도응답(g)			최대변위응답 (mm)	
	x	y	z	x	y
0.1 g	0.07	0.06	0.09	1.19	1.08
0.2 g	0.10	0.07	0.18	2.85	3.28
0.3 g	0.12	0.08	0.25	3.91	5.89
0.4 g	0.06*	0.06*	0.06*	6.24	4.69
0.5 g	0.18	0.09	0.37	7.83	6.21
0.6 g	0.17	0.16	0.38	9.84	7.40

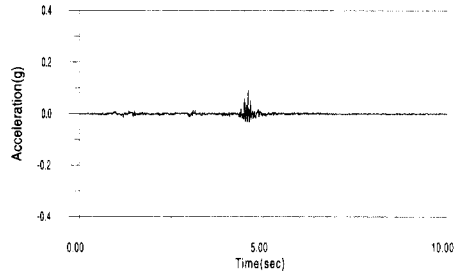
* 가속도 데이터의 계측이 불완전하여 분석대상에서 제외



(a) 장방향

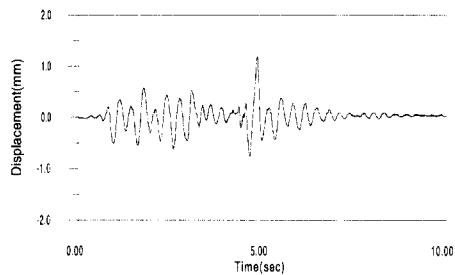


(b) 단방향

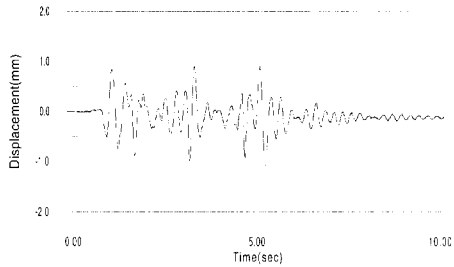


(c) 연직방향

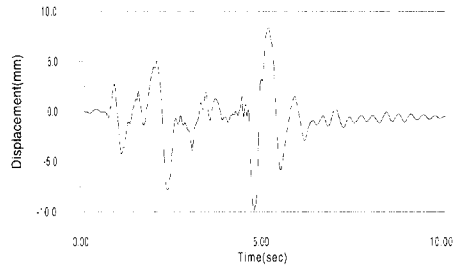
그림 12 0.1g 입력에 대한 축소모델의 응답 가속도-시간 이력



(a) 장방향

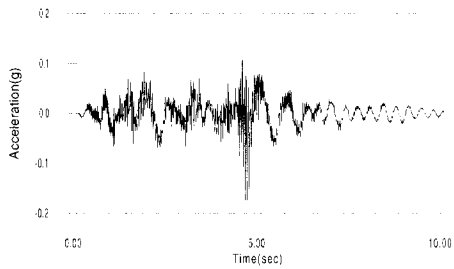


(b) 단방향

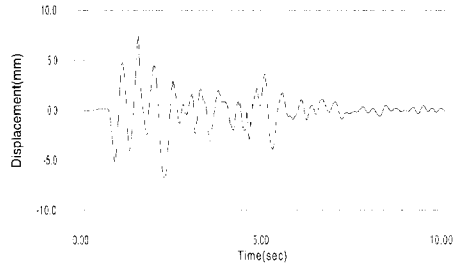


(a) 장방향

그림 13 0.1g 입력에 대한 축소모델의 응답 변위-시간 이력

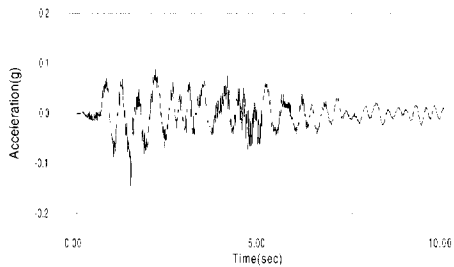


(a) 장방향



(b) 단방향

그림 15 0.6g 입력에 대한 축소모델의 응답 변위-시간 이력



(b) 단방향

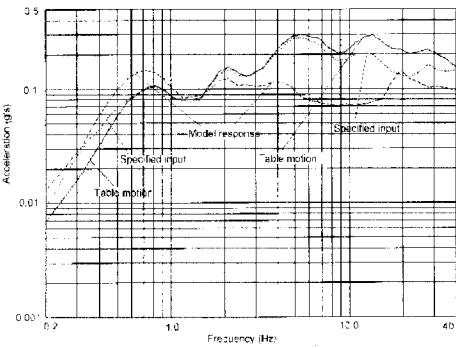
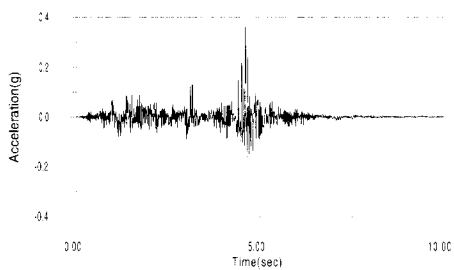


그림 16 입력, 진동대 및 축소모델의 가속도 응답 스펙트럼 비교, 입력가속도 = 0.1g, x방향 입력, 10% 감쇠비



(c) 연직방향

그림 14 0.6g 입력에 대한 축소모델의 응답 가속도-시간 이력



그림 17 0.6g 실험 후의 축소모델 사진

5. 비선형 지진해석

비선형 해석에는 축소모델을 1자유도의 1절점계로 모델링하였다. 복원력 특성은 목조 프레임의 수평내력에 관한 실험 및 개량형 Double-Target 모델의 모사 결과⁽⁴⁾를 이용하였다. 감쇠비는 목조 프레임의 이력곡선의 이력당 일량과 에너지 소비량과의 관계로부터 구한 등가 점성감쇠비를 사용하였으며^{(4),(8)} 그 값은 장방향의 경우 27%, 단방향의 경우 13%이다. 그림 18 및 그림 19는 지진가속도 0.6g의 Nahanni 지진 입력에 대한 해석 및 실험결과 구한 축소모델 기동상부에서의 가속도응답 시간이력과 변위응답 시간이력을 비교한 것이다. 그림에서 해석결과는 1방향 지진입력에 대한 것이고, 실험결과는 3방향 지진성분이 동시에 입력된 것이다. 해석결과의 위상은 실험결과와 잘 일치하나 y방향에서 다소 차이를 보인다. 가속도 시간이력에서 해석결과의 최대 진폭은 큰 차이를 보인다. 이것은 상당부분이 진동대의 잡음의 영향으로 판단되며, 일부는 연직방향 지진성분 및 비틀림의 영향으로 판단된다. 그림 20은 0.6g에 대한 모델의 하중-변위 이력곡선을 나타낸 것으로 모델의 비선형 거동을 대표적으로 보여주고 있다.

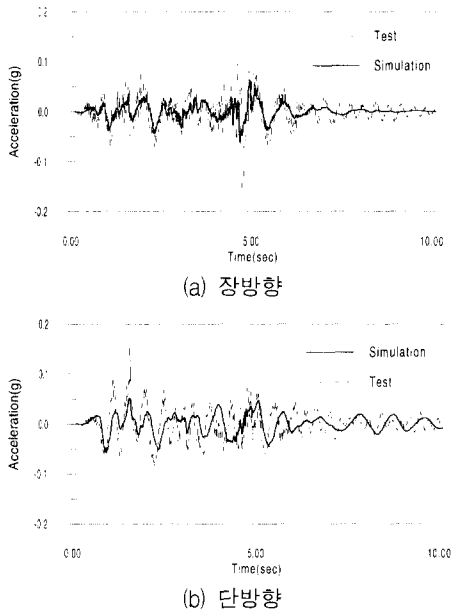


그림 18 0.6g 입력에 대한 실험 및 해석에 의한 가속도응답 비교

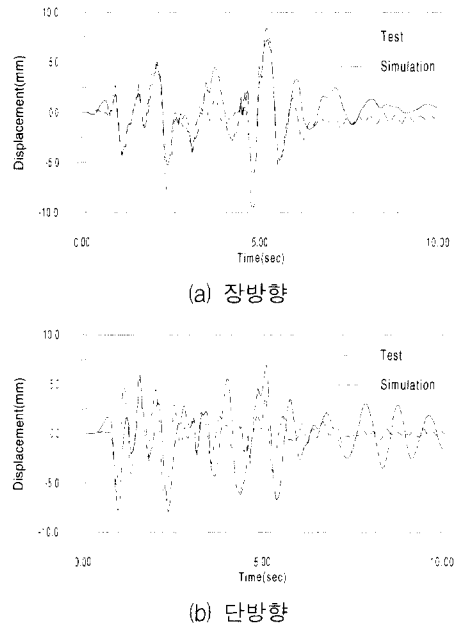


그림 19 0.6g 입력에 대한 실험 및 해석에 의한 변위응답 비교

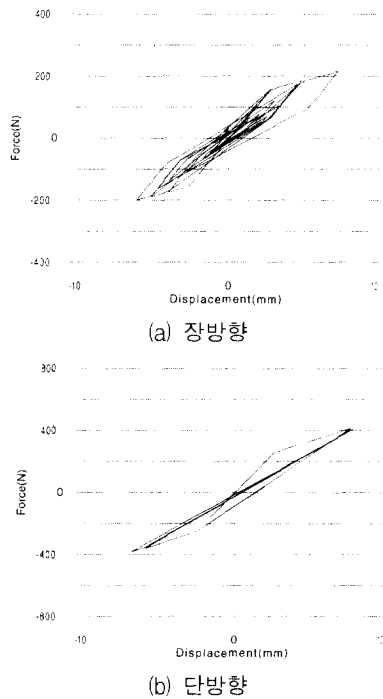


그림 20 해석에 의한 축소모델의 하중-변위 이력곡선

6. 결 론

우리 나라 전통 초가삼간의 1/4 축소모델을 제작하여 암반지반 조건에 대한 내진성능 실험을 수행하였다. Nahanni 지진파를 사용하여 최대 지반가속도 0.1g~0.6g 범위에서 거동을 분석하였다. 분석 결과 초가삼간의 지진시 거동특성은 다음과 같다.

- (1) 우리 나라 전통 초가삼간은 수평내력이 매우 작고 지붕 무게가 매우 무거워 저진동수 특성을 나타낸다. 랜덤 진동실험 및 지진입력 실험결과 초가삼간의 탄성한계 내에서의 고유진동수는 장방향의 경우 1.66 Hz, 단방향의 경우 2.15 Hz로 추정되었다. 탄성한계에서의 감쇠비는 양방향 모두 약 7%이다.
- (2) 수평방향의 가속도응답은 입력에 비해 감소하며 입력가속도 수준이 증가할수록 감소율이 증가한다. 이는 사개맞춤으로 만들어진 목조 프레임의 비선형.비탄성 특성 때문이다. 연직방향의 가속도응답은 입력에 비해 증가한다.
- (3) 전통 초가삼간 가옥은 저진동수 특성으로 인하여 고진동수가 지배적인 지진하중에 대하여 매우 큰 내진성능을 나타내었다. 입력 지진가속도 0.6g에서 가속도응답은 약 30%로 감소하였으나 큰 소성 변위응답을 보였다.
- (4) 지진재해도 분석을 위한 전통 목조가옥의 지진 피해 특성을 파악하기 위해서는 가옥의 노후화에 따른 내력 저하, 해충 및 부패 등에 의한 강도감소 및 가옥이 위치한 지반조건 등에 따른 거동분석이 포괄적으로 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

1. 한국전력공사 기술연구원, 영광 1,2호기 확률론적 안전성 평가(1단계) 최종보고서, KRC-89N-

T03, 제4권, 1992.

2. 한국에너지연구소, 한반도의 지진위험도, KAERI/RR-380/82, 1982.
3. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, 허택영, "고대 민가의 구조 및 목조 프레임의 수평내력에 관한 연구", 한국지진공학회 논문집, 제1권 제2호, 1997.
4. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, "수평교번하중에 대한 초가삼간 목조 프레임의 이력 특성 평가", 한국지진공학회 논문집, 제1권 제3호, 1997.
5. Mills, R. S., Krawinkler, H., and Gere, J. M., *Model Tests on Earthquake Simulators Development and Implementation of Experimental Procedures*, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 39, Stanford University, 1979.
6. Seo, Jeong-Moon and Choi, In-Kil, "Experimental Study on the Seismic Response Characteristics of Ancient Commoner's Wooden House for PSHA of NPP," *Proceedings of International Workshop & Seminar on Probabilistic Seismic Hazard Analysis*, Taejon, Korea, 1997.
7. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, 허택영, "전통 초가삼간 가옥의 지진응답특성 실험", 한국지진공학회 1997년도 추계학술대회 논문집, 1997.
8. Foliente, G. C., and Zacher, E. G., "Performance Tests of Timber Structural Systems under Seismic Loads," *Proceedings of a Research Needs Workshop on Analysis, Design and Testing of Timber Structures under Seismic Loads*, Forest Products Laboratory, University of California, 1994.