

목조가옥의 지진거동 분석을 통한 역사지진의 진도평가

Intensity Estimation of Historical Earthquakes through Seismic Analysis of Wooden House

최 인 길, 서 정 문

한국원자력연구소

대전광역시 유성구 유성우체국 사서함 105호

요 약

고대 전통 목조가옥인 초가삼간의 지진시 거동해석을 통하여 역사문헌상에 나타난 가옥붕괴와 관련된 역사 지진의 진도를 추정하였다. 지진규모 6-8, 진앙거리 5 km-350 km, 단단한 지반 및 연약 지반 특성을 갖는 18개의 인공지진파를 작성하여 우리 나라 전통 초가삼간에 대한 비선형 동적해석을 수행하였다. 기동 상단의 최대변위량을 이용하여 가옥의 피해수준 및 MMI진도를 평가하였다. 우리나라 초가삼간의 구조 및 특성을 고려해 볼 때 가옥파괴와 관련된 역사지진의 최대크기는 MMI진도 VIII 정도로 추정된다.

ABSTRACT

The intensity of historical earthquake records related with house collapses are estimated by the seismic analyses of traditional three-bay-straw-roof house. Eighteen artificial time histories for magnitudes 6-8, epicentral distances 5 km - 350 km and hard and soft soil condition were generated for the analyses. Nonlinear dynamic analyses were performed for a traditional three-bay-roof house. Damage level of the wooden house according to the input earthquake motions and the MMI intensity were estimated by maximum displacement response at the top of columns. Considering the structural characteristics of the three-bay-straw-roof house, the largest historical earthquake record related to the house collapse is about MMI VIII.

1. 서론

토목, 건축 구조물 및 원자력발전소와 같이 중요한 산업기반 시설 및 공공 구조물에 대한 내진안전성 확보를 위해서는 무엇보다 내진설계 수준을 결정하기 위한 지진재해도의 정확한 평가가 요구된다. 그러나, 우리 나라는 강진 계기자료가 전무하고 우리 나라에서 발생하는 지진의 제반 특성에 관한 연구가 매우 미흡한 실정이기 때문에 지진재해도는 전반적으로 보수적인 경향을 보여 왔다.

우리 나라의 지진재해도 평가는 주로 역사문헌상에 나타난 지진 피해 기록에 의존해 왔다. 그러나, 역사지진의 크기를 정량적으로 평가할 수 있는 평가 자료의 부족으로 인하여 지진재해도에는 많은 불확실성을 내포하고 있다. 지진재해도의 불확실성을 저감하기 위한 연구의 일환으로 저자

등은 역사지진의 피해가옥의 형태를 초가삼간으로 추정하고 이를 구성하고 있는 평주 및 고주 프레임의 수평내력 실험^(1~3)을 수행한 바 있다. 또한 초가삼간의 1/4 축소모델에 대한 진동대 실험^{(4),(5)}을 통하여 우리 나라 전통 초가삼간의 지진시 거동 및 내진성을 평가하였다.

본 연구에서는 지진규모 6-8, 진앙거리 5 km-350 km, 단단한 지반 및 연약 지반 특성을 갖는 18개의 인공지진파를 작성하였으며, 이들 각각의 인공지진에 대한 경험식에 의한 진도평가를 수행하고 이들을 입력지진으로 하여 우리 나라 전통 초가삼간에 대한 비선형 동적해석을 수행하였다. 동적해석에는 초가삼간을 1 질점계의 1 자유도 모델로 모델링하였으며, 비선형 이력특성은 개량형 Double-Target 모델을 이용하였다. 해석 결과를 이용하여 가옥의 피해정도를 평가하고, 가옥의 피해정도에 따른 진도평가를 통하여 역사문헌상에 기록된 가옥 붕괴와 관련된 역사지진의 진도를 추정하였다.

2. 입력지진의 작성

본 연구에서는 일본 및 미국 등에서 발생한 대규모 지진파에 대한 분석결과를 근거로 작성된 Ohsaki 등의 연구결과^{(6),(7)}를 기초로 하여 국부적인 지반조건을 고려한 응답스펙트럼으로 변환하였다. 변환된 응답스펙트럼에 부합하는 총 18개의 인공지진파를 작성하였다.

지진동의 최대속도를 10 kine(cm/sec)으로 규준화한 Ohsaki의 속도응답스펙트럼(감쇠비 5%)은 표 1과 같다⁽⁸⁾. 표에서 지진규모를 6, 7, 8로 구분하고, 진앙거리에 따라 지진을 원거리, 중거리 및 근거리 지진으로 구분하였으며, 각각에 대한 속도스펙트럼상의 통제점의 값을 규정하고 있다. 지진규모 및 진앙거리가 증가할수록 저진동수 성분이 탁월함을 알 수 있다.

지진규모 및 진앙거리에 따른 최대 지반가속도를 산정하기 위하여 우리 나라 남부의 지진파 감쇠특성을 고려하여 신진수⁽⁹⁾ 등이 제안한 식 (1)과 같은 감쇠식을 이용하였다.

$$\ln(a) = 0.49 + 1.2M - 0.84 \ln \Delta - 0.0061 \Delta \quad (1)$$

여기서, a : 최대 지반가속도(gal)

M : 지진규모

Δ : 진앙거리

연약지반의 경우 일반적으로 지진동의 크기가 증가하면 표층지반을 구성하는 지반이 비선형특성을 나타냄에 따라 기반에 입사된 지진동의 강도와 지표의 지진동의 비가 변화하게 된다. 이와 같은 지반의 비선형특성이나 표층지반의 진동수특성에 의한 지진동의 불확실성을 감소시키고, 지진동의 추정정도를 높일 목적으로 Masata 등^(10~12)은 공학적 기반면에서의 지진 데이터를 이용하여 지표에서의 지진동 예측모델을 제안하였다. 본 연구에서는 이를 이용하여 기반면에서 정의된 설계응답스펙트럼을 부지의 지반특성을 고려하여 지표에서의 설계응답스펙트럼으로 변환하였다. 역사지진기록중 비교적 피해가 큰 지진이 경주지역에 집중되어 있으며, 경주지역의 경우 두께 20 m 내외의 충적층 지반이 많이 분포되어 있다. 이러한 경주지역의 지반조건을 모사하기 위해 경주지역의 지반특성을 고려하여 연약지반상의 지반가속도 응답스펙트럼을 작성하였다.

이상과 같은 방법으로 구한 진앙거리, 지진규모 및 지반조건별 가속도 응답스펙트럼은 그림 1

표 1. Ohsaki의 속도응답스펙트럼값

Field	Magnitude, M	Epicentral Distance, Δ (km)	Control Point									
			A		B		C		D		E	
			T _A	S _v	T _B	S _v	T _C	S _v	T _D	S _v	T _E	S _v
Near	8	25	0.02	0.6	0.10	10	0.30	30	0.50	30	2.0	12
	7	10		0.7	0.10	11	0.23	24	0.45	24		7
	6	5		1.2	0.10	17	0.13	21	0.35	21		3
Inter-mediate	8	120		0.5	0.20	18	0.35	32	1.00	32		26
	7	45		0.5	0.13	11	0.33	28	0.80	28		19
	6	15		0.6	0.10	10	0.25	24	0.60	24		12
Far	8	350		0.5	0.22	26	0.37	44	1.20	44		42
	7	150		0.5	0.14	15	0.35	38	0.90	38		32
	6	60		0.5	0.10	10	0.33	33	0.70	33		20

T : period(sec)
S_v : Spectral Value Normalized to 10 kine(cm/sec)

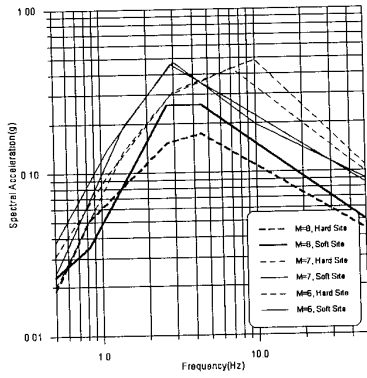


그림 1. 원거리 지진의 지표지진 가속도 응답스펙트럼

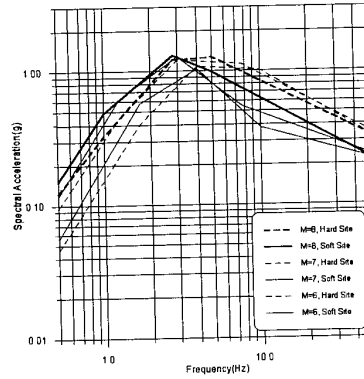


그림 2. 중거리 지진의 지표지진 가속도 응답스펙트럼

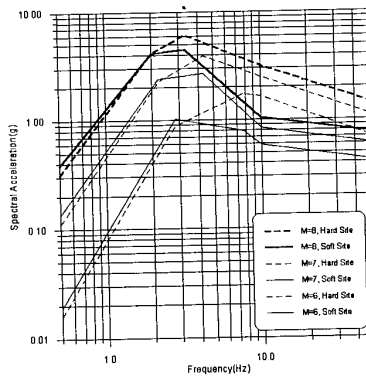


그림 3. 근거리 지진의 지표지진 가속도 응답스펙트럼

~ 3과 같으며, 각각의 영주기가속도 (ZPA; Zero Period Acceleration)는 표 2와 같다. 각각의 스펙트럼에 부합하는 총 18개의 인공지진가속도-시간이력을 CARES 프로그램⁽³⁾을 사용하여 작성하였다.

표 2. 지진규모, 진앙거리 및 지반조건별 영주기가속도

Field	Magnitude, M	Epicentral Distance, Δ(km)	Site Condition	ZPA(g)
Far	8	350	Hard	0.044
			Soft	0.050
	7	150	Hard	0.099
			Soft	0.085
	6	60	Hard	0.109
			Soft	0.090
Intermediate	8	120	Hard	0.329
			Soft	0.222
	7	45	Hard	0.352
			Soft	0.236
	6	15	Hard	0.331
			Soft	0.224
Near	8	25	Hard	1.444
			Soft	0.757
	7	10	Hard	1.111
			Soft	0.610
	6	5	Hard	0.707
			Soft	0.402

3. 최대가속도와 진도의 관계

공학적인 지진 지반운동의 척도는 지진가속도가 일반적으로 사용된다. 그러나 우리나라 역사지진과 같이 정성적인 피해상황 기술로서 이루어진 지진기록에 대하여 이들 지진의 지진가속도 또는 규모를 추정하는 것은 매우 어려운 일이며, 따라서 이들 지진에 대한 정량적인 척도로서 통상 진도가 사용되고 있다. 지진학자에 의해 평가된 우리나라 역사지진의 크기는 MMI 또는 JMA로 평가되어 있다. 지진규모 및 거리에 따라 작성된 입력지진파의 진도를 추정하기 위하여 진도-지진가속도 상관관계식을 이용하였다.

진도-지진가속도 상관관계식은 관측된 지진자료로부터 만들어진 경험식으로 주어지며 다음과 같은 5개의 대표적인 관계식으로 나타낼 수 있으며⁽⁴⁾ 이를 그림으로 나타내면 다음의 그림 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 이들 경험식들간의 편차는 매우 크게 나타났다.

$$\text{Trifunac and Brady(1975)} \quad \log a = 0.014 + 0.3I \quad (2)$$

$$\text{Ambraseys(1974)} \quad \log a = -0.16 + 0.36I \quad (3)$$

$$\text{Hershberger(1956)} \quad \log a = -0.9 + 0.43I \quad (4)$$

$$\text{Gutenberg and Richter(1956)} \quad \log a = -0.5 + 0.33I \quad (5)$$

$$\text{Murphy and O'Brien(1977)} \quad \log a = 0.25 + 0.25I \quad (6)$$

여기서, I 는 MMI진도를 나타내며, a 는 최대지반가속도(gal)를 나타낸다.

이들 경험식을 이용하여 각각의 입력지진에 대한 진도를 계산해 보면 다음의 표 3과 같다. 표 3에서 나타난 바와 같이 동일한 지반가속도에 대한 진도가 상당한 차이를 나타내고 있다. 가장 낮은 진도를 나타내는 Ambraseys의 제안식에 의한 진도는 V ~ IX의 분포를 나타내고 있으며, 가장 큰 진도를 나타내는 Gutenberg and Richter의 제안식에 따르면 VI ~ XI의 분포를 보여주고 있다.

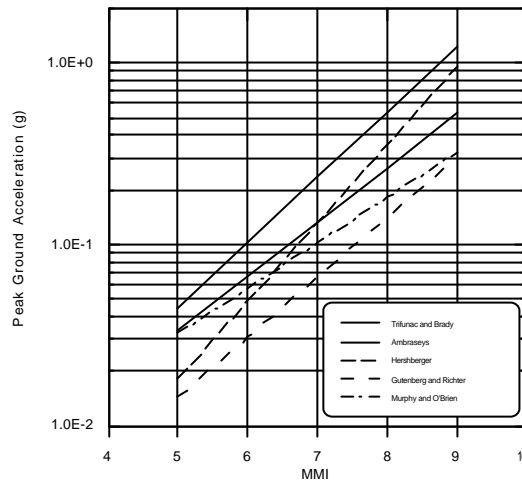


그림 4. 경험식별 진도-최대가속도 상관관계

표 3. 검토대상 지진의 최대가속도에 따른 경험식별 진도분포

Field	Magnitude, M	Site Condition	ZPA(g)	Trifunac and Brady	Ambraseys	Hershberger	Gutenberg and Richter	Murphy and O'Brien
Far	8	Hard	0.044	V	V	VI	VI	VI
		Soft	0.050	VI	V	VI	VII	VI
	7	Hard	0.099	VII	VI	VII	VIII	VII
		Soft	0.085	VI	VI	VII	VII	VII
	6	Hard	0.109	VII	VI	VII	VIII	VII
		Soft	0.090	VI	VI	VII	VII	VII
Intermediate	8	Hard	0.329	VIII	VII	VIII	IX	IX
		Soft	0.222	VIII	VII	VIII	IX	VIII
	7	Hard	0.352	VIII	VII	VIII	IX	IX
		Soft	0.236	VIII	VII	VIII	IX	VIII
	6	Hard	0.331	VIII	VII	VIII	IX	IX
		Soft	0.224	VIII	VII	VIII	IX	VIII
Near	8	Hard	1.444	X	IX	IX	XI	XII
		Soft	0.757	X	VIII	IX	X	X
	7	Hard	1.111	X	IX	IX	XI	XI
		Soft	0.610	IX	VIII	IX	X	X
	6	Hard	0.707	IX	VIII	IX	X	X
		Soft	0.402	IX	VIII	VIII	IX	IX

4. 지진해석 및 피해정도 평가

4.1 초가삼간의 비선형 지진해석

전술한대로 지진규모, 진앙거리 및 지반특성에 따라 작성한 총 18개의 인공지진 가속도-시간 이력을 이용하여 목조가옥의 지진시 거동해석을 수행하였다. 해석에는 초가삼간을 1자유도의 1질점계로 모델링하였으며, 해석에 사용된 비선형 모델은 개량형 Double-Target 모델이다^(2~5). 초가삼간의 거동 해석결과 각각의 입력지진에 따른 초가삼간의 최대변위를 표 4의 (a)열에 나타내었다. 표에서 응답은 초가삼간의 기둥 상부에서의 값이다.

4.2 피해수준 평가

목조구조물의 지진해석 결과로부터 실제의 피해 규모를 평가하는 것은 매우 어려운 일이며 이에 관한 연구도 전무한 실정이다. 특히 정량적 해석결과로부터 완파, 반파 등 정성적인 피해수준을 설정하기는 용이하지 않다. 지진 피해 평가기준을 설정하기 위해서는 최대응답량, 누적 소성변형 뿐만아니라 구조물의 기능상실 등에 대한 평가가 종합적으로 이루어져야 할 것이다.

일본의 경우 과거 일본에서 발생한 대규모 지진시 목조가옥의 피해조사를 토대로 가옥의 층간 변위의 크기에 따라 가옥의 피해수준을 판단한다. 층간 변위가 100 mm 이상인 경우 완파로 평가하고 있으며, 50 mm 이상인 경우 반파로 평가하고 있다^{(15),(16)}. 이것을 일본가옥의 평균 층고를 고려하여 변형각으로 환산하면 완파의 경우 1/30 rad, 반파의 경우 1/60 rad이다.

우리 나라의 경우 경사도 또는 층간 변형 상태에 따라 목조가옥의 파괴수준을 판단할 수 있는 근거가 전무한 실정이다. 따라서 일본의 판단기준을 우리 나라의 목조가옥에 적용시키면 완파(붕괴)는 80 mm 이상의 변위, 반파는 40 mm 이상의 변위를 피해기준으로 설정할 수 있다. 이 기준에 근거하여 20 mm 이내의 경우 경미한 피해를 입은 것으로 판정하였으며, 40 mm 이내의 경우 비교적 소규모피해를 입은 것으로 판정하였다. 각각의 입력지진에 대한 피해정도의 평가를 표 4의 (b)열에 나타내었다.

4.3 피해수준에 따른 진도평가

목조가옥의 피해정도에 따라 진도를 정량적으로 평가하는 데에는 상당한 불확실성이 내포되어 있다. 특히 MM진도(Modified Mercalli Intensity Scale)나 JMA진도(Japanese Meteorological Agency; 일본기상청 진도계급)의 경우 자국의 목조가옥의 특성에 따라 평가하므로 인하여 이를 이용하여 우리나라 목조가옥의 피해정도에 따라 진도를 정확히 평가하는 것은 매우 어려운 일이다. MM진도의 경우 잘 지어진 목조가옥이 붕괴되었을 경우 이를 진도 X으로 평가하고 있다. JMA 진도 기준의 경우 비교적 목조가옥의 피해상황에 따른 지진의 진도평가 기준이 비교적 상세히 기술되어 있다. 1996년 개정된 JMA 진도기준에 따르면 진도 5(弱)의 경우 내진성이 낮은 목조주택의 경우 벽이나 기둥이 파손되기도 하며, 진도 5(强)에서는 벽이나 기둥이 파괴되거나 기우는 것으로 나타났다. 진도 6(弱)의 경우 내진성이 낮은 건물은 붕괴되는 것이 발생하며 내진성이 높은 건물도 벽이나 기둥이 파손되기도 한다. JMA 진도 5(弱), 5(强) 및 6(弱)은 각각 MM진도 VII, VIII, IX에 해당한다.

수평내력실험 및 진동대 시험 결과^(1~5) 우리나라의 전통가옥은 수평저항력이 매우 약하며 무거운 지붕으로 인하여 저진동수 특성을 갖는 것으로 나타났다. 또한 이러한 저진동수 특성으로 인하

여 가옥이 연약지반상에 위치할 경우 지진의 피해를 크게 입는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합하해 보면 MMI진도 VIII 이상이 되면 우리나라 목조가옥의 경우 상당한 피해를 입을 것으로 추정할 수 있다. 각각의 지진해석 결과에 따른 피해상황에 대한 MMI 진도 평가를 표 4의 (c)열에 나타내었다.

표 4. 초가삼간의 최대 응답변위 및 피해판정

입력지진			최대 응답 변위, 피해판정 및 진도평가		
지반조건	진앙거리	규모	최대변위(mm) (a)	피해판정 (b)	진도평가 (c)
암반지반	원거리	6	7.9	경미한 피해	VI
		7	13.1	"	VI
		8	9.3	"	VI
	중거리	6	20.8	소규모 피해	VII
		7	32.0	"	VII
		8	49.1	반파	VIII
	근거리	6	10.3	경미한 피해	VI
		7	49.3	반파	VII
		8	104.5	완파(붕괴)	IX 이상
연약지반	원거리	6	13.1	경미한 피해	VI
		7	18.3	"	VI
		8	8.6	"	VI
	중거리	6	26.3	소규모 피해	VII
		7	56.3	반파	VIII
		8	57.0	"	VIII
	근거리	6	11.1	경미한 피해	VI
		7	64.9	반파	VIII
		8	149.1	완파(붕괴)	IX 이상

5. 역사지진의 진도 평가

역사지진의 가옥붕괴에 관한 기록중 가장 큰 지진은 779년에 발생한 것으로 100여명의 인명피해가 발생하였다. 삼국시대의 지진피해 기록이 주로 도읍지에 국한되었을 것이라는 점을 고려한다면 이같은 피해는 20여 채 전후의 가옥이 파괴된 소규모의 피해로 유추할 수 있을 것이다. 왜냐하면 제한된 공간에 많은 피해가 집중적으로 발생하였다면 지진피해는 매우 큰 것으로 기록되었을 것이기 때문이다. 그리고 이러한 피해는 평균적인 가옥에 비해 훨씬 적은 내력을 가진 가옥에서 발생하였다고 추정하는 것이 타당할 것이다. 역사지진 기록중 가옥의 붕괴 또는 인명사상에 관련된 기록을 종합하면 다음의 표 5와 같다. 표에서 보는 바와 같이 동일한 역사지진기록에 대하여 지진학자 마다 서로 다른 진도평가 결과를 보여주고 있다. 본 연구에서는 본 연구에 앞서 수행한

초가삼간 가옥의 진동대 실험 결과 및 본 연구결과를 종합하여 각각의 역사지진기록에 대한 진도 평가를 수행하였으며 그 결과를 표 5에 나타내었다. 표에 보는 바와 같이 우리나라에서 발생한 최대지진의 진도는 VIII 정도로 추정할 수 있다.

우리나라 전통가옥과 서양 목조가옥의 구조특성의 차이로 인해 기존 경험식을 그대로 적용하는 것은 곤란하다. 본 연구의 해석결과로부터 판단한 진도와 가속도의 관계를 경험식들과 함께 그림 5에 나타내었다. 그림에서 ▲는 단단한 지반의 경우이며, ●는 연약지반의 경우에 해당한다. 단단한 지반의 경우 Ambraseys의 식과 유사한 경향을 보여주고 있으며, 연약지반의 경우 Trifunac and Brady가 제시한 식과 유사한 경향을 보여주고 있다.

표 5. 가옥붕괴 및 인명사상과 관련된 역사지진의 진도 비교

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

*주 : ()안의 지역은 역사문헌명에 따른 추정지역

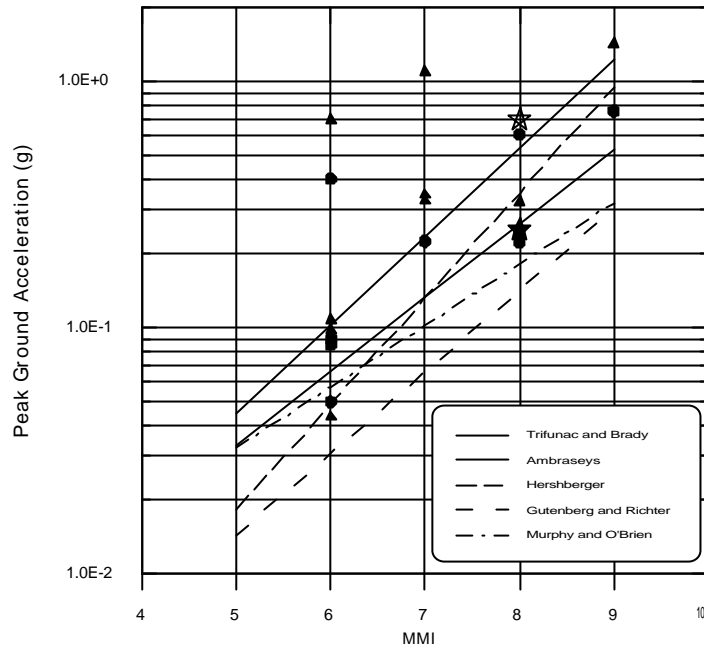


그림 5. 진도평가에 따른 진도-최대가속도 상관관계
 (▲: 단단한 지반, 해석; ●: 연약지반, 해석;
 ☆: 단단한 지반, 실험; ★: 연약지반, 실험)

6. 결론

본 연구는 지진의 규모, 진앙거리 및 부지의 지반특성에 따른 다양한 인공지진파를 이용하여 우리나라 전통 초가삼간의 지진해석을 수행하고 이를 통하여 가옥의 붕괴 및 인명사상과 관련된 역사지진의 진도를 추정하였다. 지진해석 결과와 기 수행된 초가삼간 가옥의 내력평가 및 진동대시험 결과를 종합하면 우리나라에서 발생한 최대지진의 진도는 MMI VIII 정도로 추정된다. 지진가속도로부터 지진의 진도를 평가할 경우 지진가속도와 진도의 관계는 지반조건에 따라 상이한 결과를 보여주고 있으며, 단단한 지반의 경우 Ambraseys, 연약지반의 경우 Trifunac and Brady에 의해 제시된 경험식과 유사한 경향을 보여주고 있다. 그러나 이러한 결과는 한정된 해석결과에 따른 것으로 더욱 신뢰성 있는 결과를 도출하기 위해서는 다양한 해석 및 평가가 요구된다.

보다 정확한 진도평가를 위해서는 우리나라 가옥의 다양한 형태, 노후도 등에 따른 영향, 지반에 따른 영향 등을 고려한 많은 실험과 해석이 수행되어야 하며, 우리나라의 지진 전파특성, 지반특성 및 가옥의 특성 등이 반영된 독자적인 진도평가기준 설정이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기연구개발 사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1. 서정문, 최인길, 전영선, 이종림, 신재철, 허택영, "고대 민가의 구조 및 목조 프레임의 수평내력에 관한 연구", 한국지진공학회 논문집 제1권 제2호, 1997.
2. 서정문, 최인길, 전영선, 이종림, 신재철, "수평 교번하중에 대한 초가삼간 목조프레임의 이력 특성 평가", 한국지진공학회 논문집 제1권 제3호, 1997.
3. Jeong-Moon Seo, In-Kil Choi, and Jong-Rim Lee, Static and Cyclic Behavior of Wooden Frames with Tenon Joints under Lateral Load, ASCE J. of Structural Engineering, Vol.125, No.3, pp. 344-349, 1999.
4. 서정문, 최인길, 전영선, 이종림, 신재철, "전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 (I) : 암반 지반 조건", 한국지진공학회 논문집 제1권 제4호, 1997.
5. 서정문, 최인길, 전영선, 이종림, 신재철, "전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 (II) : 연약지반 조건", 한국지진공학회 논문집 제1권 제4호, 1997.
6. Osaki, Y., Guideline for Evaluation of Basic Design Earthquake Ground Motions, 1979.
7. T. Hisada, Y. Ohsaki, M. Watabe, and T. Ohta, "Design Spectra for Stiff Structures on Rock", Proc. 2nd Intern. Conf. Microzonation, 1978.
8. 서정문, 최인길, "지진특성 및 가옥의 노후도를 고려한 역사지진의 지진규모 추정," 한국지진공학회 논문집, 제2권, 제4호, 1998.
9. 신진수, 이종림, 박창엽, "한반도 남부의 지진파 감쇠특성", 한국지진공학회 1998년도 춘계학술대회 논문집, 1998.
10. Masata Sugito, Hiroyuki Kameda, Hisada Goto, and Kenji Hirose, "Conversion Factor between Earthquake Motion on Rock Surface and Soil Surface with Consideration on Nonlinearity of Soil Layers", Annuals, Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., 1986.
11. Hiroyuki Kameda and Nobuoto Nojima, Simulation of Risk-Consistent Earthquake Ground Motion, Annuals Report No. 30B-2, Disas. Prev. Res. Ins., Kyoto University, 1987.
12. Masata Sugito and Hiroyuki Kameda, "Prediction of Nonstationary Earthquake Motions on Rock Surface", Proc. of JSCE Structural Eng./Earthquake Eng., Vol2, No.2, 1985.
13. J. Xu, A. J. Philippacopoulos, C. A. Miller, and C. J. Costantino, CARES(Computer Analysis for Rapid Evaluation of Structures), Vol. 2, NUREG/CR-5588, BNL-NUREG-52241, 1990.
14. Applied Technology Council, ATC-13 : Earthquake Damage Evaluation Data for California, National Science Foundation, 1985.
15. Akio Kitahara and Teizo Fujiwara, Fundamental Study on Seismic Hazard Estimation of Various Types of Structures in Urban Area(1), Annuals of Disaster Prevention Research Institute, No. 31B-1, Kyoto University, Japan, 1988.
16. Akio Kitahara and Teizo Fujiwara, Fundamental Study on Seismic Hazard Estimation of Various Types of Structures in Urban Area(3), Annuals of Disaster Prevention Research Institute, No. 33B-1, Kyoto University, Japan, 1990.