

# 지진특성 및 가옥의 노후도를 고려한 역사지진의 지진규모 추정

## Estimation of Magnitude of Historical Earthquakes Considering Earthquake Characteristics and Aging of a House

서 정 문\*      최 인 길\*\*  
Seo, Jeong Moon      Choi, In Kil

### 국문요약

지진규모, 진앙거리, 지반조건 및 가옥의 노후도를 고려하여 역사지진의 규모를 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. 가옥의 경년에 따른 노후도는 목조 프레임의 수평내력에 관한 이력특성이 선형적으로 감소하는 것으로 가정하였다. 초가삼간을 1절점계의 1자유도 모델로 모델링하였으며, 비선형 이력특성은 개량형 Double-Target 모델을 이용하였다. 해석결과 원거리 지진에 대해서는 지진규모, 지반조건 및 노후도에 상관없이 매우 적은 피해를 보였다. 중거리 지진의 경우 연약지반에서 규모 6.5 이상의 지진시 반파 이상의 피해가 발생하였다. 근거리 지진의 경우 지반조건 및 노후도에 상관없이 규모 6.5 이상에서 반파 이상의 피해를 나타내었다. 우리 나라 역사지진의 규모는 약 6.2로 추정된다. 우리 나라에 적합한 지반가속도-진도의 경험식을 제안하였다.

**주요어** : 지진특성, 노후도, 초가삼간, 역사지진, 지진규모

### ABSTRACT

The magnitudes of historical earthquake records related with house collapses are estimated considering the magnitude, epicentral distance, soil condition and aging of a house. Eighteen artificial time histories for magnitudes 6-8, epicentral distances 5 km-350 km and hard and soft soil condition were generated. Nonlinear dynamic analyses were performed for a traditional three-bay-straw-roof house. The aging effect of the house was modeled as such that the lateral loading capacity of wooden frames represented by hysteretic stiffness was decreased linearly with time. The house was idealized by one degree-of-freedom lumped mass model and the nonlinear characteristics of wooden frames were modeled by the Modified Double-Target model. For far field earthquakes, minor damages were identified regardless of magnitude, soil condition and aging of the house. For intermediate field earthquake, earthquake magnitude greater than 6.5 caused severe damages in soil sites. For near field earthquake, severe damages occurred for magnitude greater than 6.5 regardless of soil condition and aging of the house. It is estimated that the magnitude of historical earthquakes is about 6.2. An empirical equation of magnitude-intensity relationship suitable to Korea is suggested.

**Key words** : earthquake characteristics, aging effect, three-bay-straw-roof house, historical earthquake, earthquake magnitude

## 1. 서 론

토목·건축 구조물 및 원자력발전소와 같이 중요한 산업기반 시설 및 공공 구조물에 대한

내진안전성 확보는 매우 중요하다. 이러한 구조물의 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

\* 정회원 · 한국원자력연구소 책임연구원

\*\* 정회원 · 한국원자력연구소 선임연구원

미흡한 실정이기 때문에 지진재해도는 전반적으로 보수적인 경향을 보여 왔다.

우리 나라의 지진재해도 평가는 주로 역사 문헌상에 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 역사지진에 의한 피해가옥의 형태를 추가삼간으로 추정하고 이를 구성하고 있는 평주 및 고주 프레임의 수평내력 실험<sup>(1),(2)</sup>을 수행한 바 있다. 또한 추가삼간의 1/4 축소모델에 대한 진동대 실험<sup>(3),(4)</sup>을 통하여 우리 나라 전통 추가삼간의 지진시거동 및 내진성을 평가하였다.

목조 구조물은 시간이 경과함에 따라 노후되고 그에 따라 구조부재의 강도 및 강성도 저하된다.<sup>(5)</sup> 목구조의 노후 원인은 일반적으로 흰개미 등의 해충에 의한 피해, 목재의 수축, 팽창에 따른 연결부의 이완, 곰팡이에 의한 부패 등을 들 수 있다. 이러한 목조가옥의 해충 피해, 노후화에 따른 내력감소로 인하여 지진시 그 피해가 매우 크게 나타나게 된다.<sup>(6),(7)</sup>

본 연구에서는 기 발표된 연구결과를 바탕으로 지진규모, 진앙거리, 지반조건 및 가옥의 노후도를 고려하여 역사지진의 규모를 추정하였다. 지진규모 6-8, 진앙거리 5 km-350km, 단단한 지반 및 연약 지반 특성을 갖는 18개의 인공지진파를 작성하여 우리 나라 전통 추가삼간에 대한 비선형 동적해석을 수행하였다.

가옥의 경년에 따른 노후도는 목조 프레임의 수평내력에 관한 이력특성이 선형적으로 감소하는 것으로 가정하였다. 해석에는 신축 가옥, 신축후 20년, 50년 및 100년이 경과한 목조가옥이 고려되었다. 동적해석에는 추가삼간을 1 질점계의 1 자유도 모델로 모델링하였으며, 비선형 이력특성은 개량형 Double-Target 모델을 이용하였다. 해석 결과를 이용하여 가옥의 피해정도를 평가하고 역사문헌상에 기록된 가옥 붕괴와 관련된 역사지진의 지진규모를 추정하였다.

그리고, 우리 나라에 적합한 규모-진도 상관식을 제시하였다.

## 2. 인공지진파의 작성

지진동의 진동수특성은 진원특성, 지진파의 전파경로의 특성, 관측점 근방의 국부적인 지반구조의 특성 등에 따라 다르다. 지금까지 지진의 규모와 거리에 따른 지진동의 진동수특성 변화 및 최대 가속도 크기의 변화 등에 대한 실험적 및 해석적인 방법에 관한 연구가 일부 연구자에 의해 수행되었다. 본 연구에서는 일본 및 미국 등에서 발생한 대규모 지진파에 대한 분석결과를 근거로 작성된 Ohsaki 등의 연구결과<sup>(8),(9)</sup>를 기초로 하여 국부적인 지반조건을 고려한 응답스펙트럼으로 변환하였다. 변환된 응답스펙트럼에 부합하는 인공지진파를 작성하였다.

지진동의 최대속도를 10kine(cm/sec)으로 표준화한 Ohsaki의 속도응답스펙트럼(감쇠비 5%)은 표 1과 같다. 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<sup>(10)</sup> 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

$\Delta$  : 진앙거리

연약지반의 경우 일반적으로 지진동의 크기가 증가하면 표층지반을 구성하는 지반이 비선형특성을 나타냄에 따라 기반에 입사된 지진동의 강도와 지표의 지진동의 비가 변화하

표 1 Ohsaki의 속도응답스펙트럼값

Field	Magnitude, M	Epicentral Distance, Δ(km)	Control Point									
			A		B		C		D		E	
			T <sub>A</sub>	S <sub>V</sub>	T <sub>B</sub>	S <sub>V</sub>	T <sub>C</sub>	S <sub>V</sub>	T <sub>D</sub>	S <sub>V</sub>	T <sub>E</sub>	S <sub>V</sub>
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
Intermediate	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<sub>V</sub> : Spectral Value Normalized to 10 kine(cm/sec)

게 된다. 이와 같은 지반의 비선형특성이나 표층지반의 진동수특성에 의한 지진동의 불확실성을 감소시키고, 지진동의 추정정도를 높일 목적으로 Masata 등<sup>(11)~(13)</sup>은 공학적 기반면에서의 지진 데이터를 이용하여 지표에서의 지진동 예측모델을 제안하였다. 본 연구에서는 이를 이용하여 기반면에서 정의된 설계응답스펙트럼을 부지의 지반특성을 고려하여 지표에서의 설계응답스펙트럼으로 변환하였다.

기반면에서의 가속도응답스펙트럼은 식 (2)와 같이 지표면에서의 응답스펙트럼으로 변환된다.

$$S_s = \beta_s \cdot S_r(M, \Delta, T, h) \quad (2)$$

여기서 S<sub>s</sub> : 변환된 지표지진동의 가속도응답스펙트럼 값

β<sub>s</sub> : 스펙트럼 변환계수

S<sub>r</sub> : 기반면에서의 가속도응답스펙트럼 값

M : 지진의 규모

Δ : 진원까지의 거리

T : 주기(sec)

h : 감쇠비

위의 식에서 응답스펙트럼 변환계수 β<sub>s</sub>는

통상 보링 조사에 의해 얻을 수 있는 N값에 의해 산출한 S<sub>n</sub>과 기반면까지의 깊이 d<sub>b</sub>를 이용하여 계산한다.<sup>(11)~(13)</sup> S<sub>n</sub>은 지표면으로부터 15m-20m 깊이에서의 연약 정도를 나타내는 변수로서 이 값이 크면 지반이 연약한 것을, 작으면 단단한 것을 나타낸다. S<sub>n</sub>값의 범위는 N값이 0인 매우 연약한 지반일 경우는 0.8, N값이 50인 단단한 지반의 경우는 -0.7 정도이다. 본 연구에서는 지표에서 기반암까지의 깊이가 20m 인 것으로 가정하고 단단한 지반 및 연약지반의 N값의 평균을 각각 30 및 6으로 가정하였으며, 이 때의 S<sub>n</sub> 값은 각각 -0.35, 0.51이다.

이상과 같은 방법으로 구한 진앙거리, 지진 규모 및 지반조건별 가속도 응답스펙트럼은 그림 1~3과 같으며, 각각의 영주기가속도(ZPA; Zero Period Acceleration)는 표 2와 같다. 그림에서 지진동수 영역에서 연약지반의 스펙트럼 값이 우세하게 나타나고 있다. 연약지반의 ZPA 가속도는 단단한 지반에 비해 전반적으로 적은 값을 나타내며 근거리 지진일수록 현저하다. 중거리 지진의 경우 최대 지반가속도는 단단한 지반에서 약 0.33g, 연약지반에서 약 0.22g

이며, 근거리지진의 경우 최대 지반가속도는 규모 6에서 지반조건에 따라 0.4g-0.7g의 범위를 보인다. 각각의 스펙트럼에 부합하는 총 18개의 인공지진가속도-시간이력을 CARES 프로그램<sup>(14)</sup>을 사용하여 작성하였다. 근거리, 중거리 및 원거리 지진의 인공지진 가속도-시간이력을 그림 4~6에 보였다.

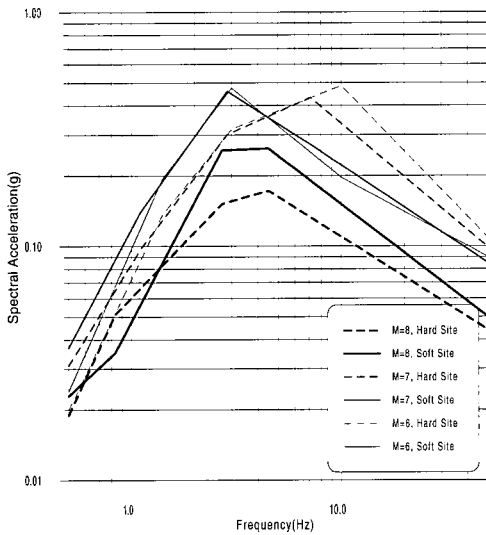


그림 1 원거리 지진의 지표지진 가속도 응답스펙트럼

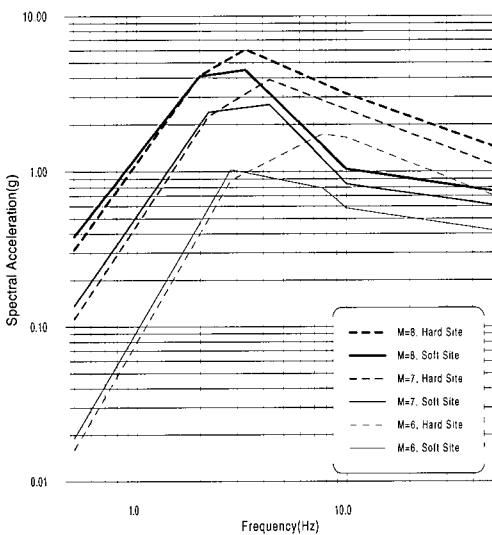


그림 2 중거리 지진의 지표지진 가속도 응답스펙트럼

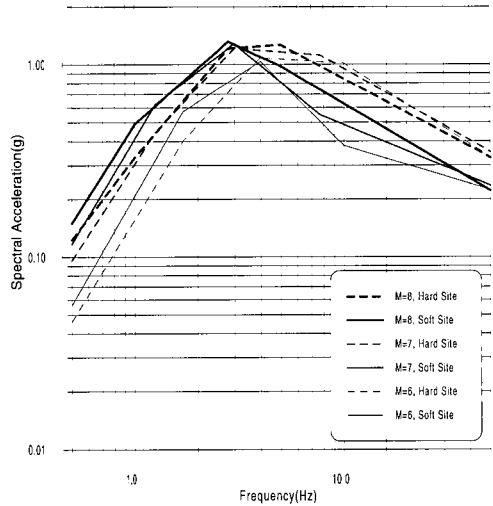


그림 3 근거리 지진의 지표지진 가속도 응답스펙트럼

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
Intermediate	8	120	Hard	0.109
			Soft	0.090
	7	45	Hard	0.352
			Soft	0.236
Near	8	25	Hard	0.331
			Soft	0.224
	7	10	Hard	1.444
			Soft	0.757
6	5	Hard	1.111	
		Soft	0.610	
			Hard	0.707
			Soft	0.402

지진특성 및 가옥의 노후도를 고려한 역사지진의 지진규모 추정

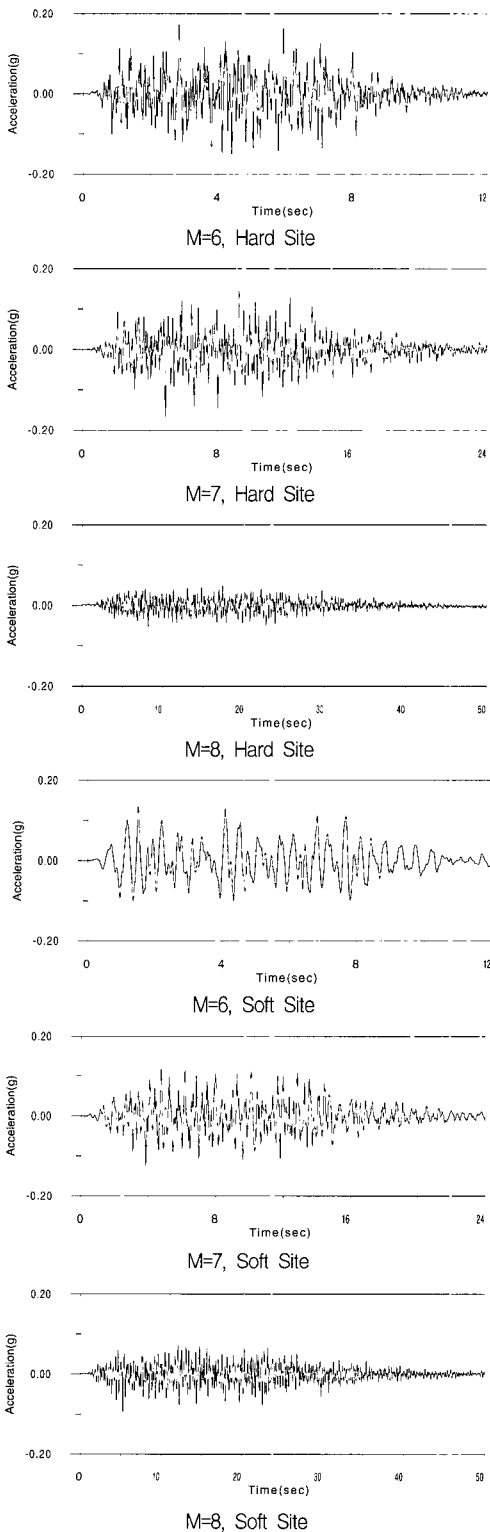


그림 4 인공지진 가속도-시간 이력(원거리지진)

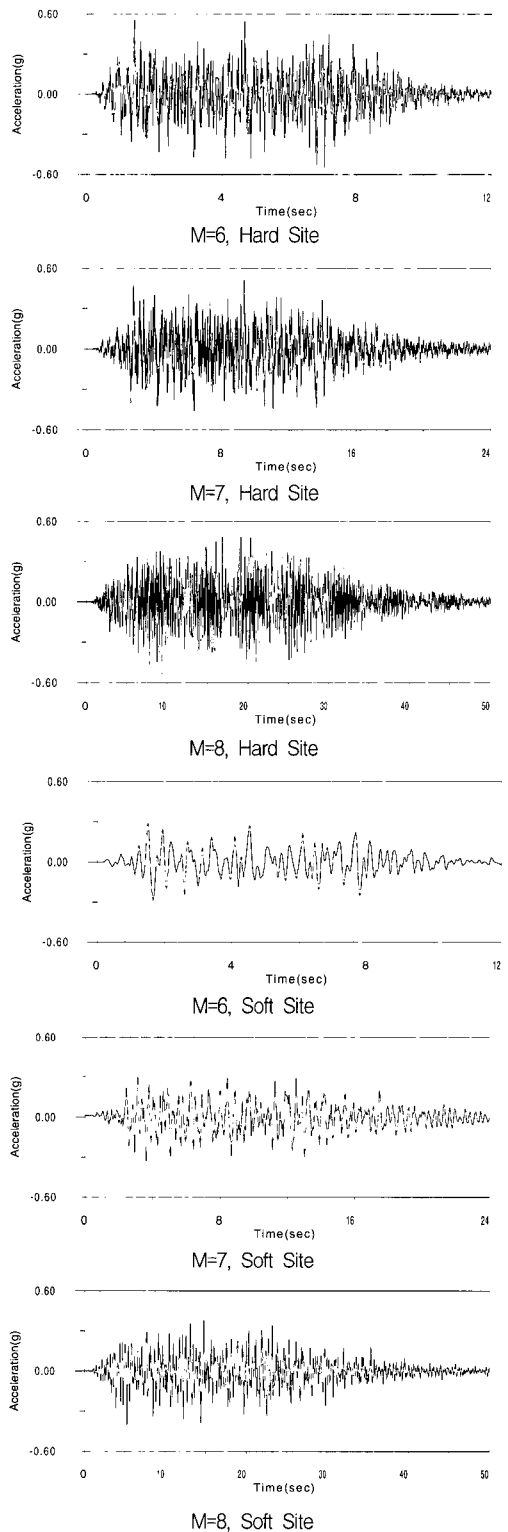


그림 5 인공지진 가속도-시간 이력(중거리지진)

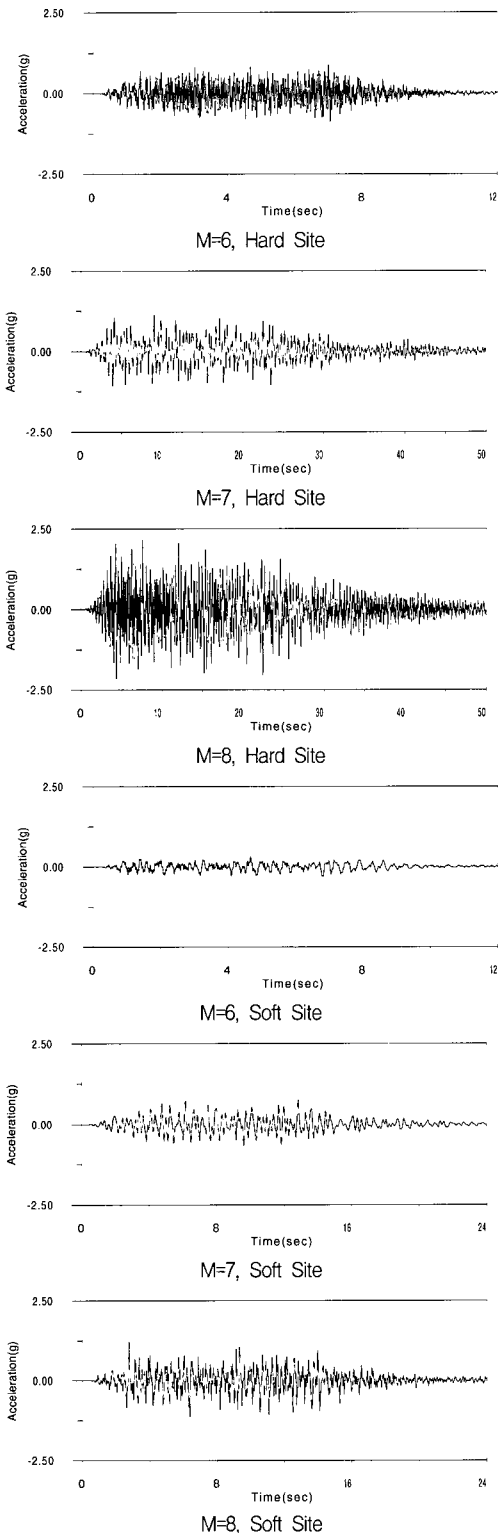


그림 6 인공지진 가속도-시간 이력(근거리지진)

### 3. 목구조의 노후도 모델링 및 초가삼간의 비선형 동적 응답

#### 3.1 노후도 모델링

우리 나라 목조가옥의 노후도에 따른 잔존내력에 관한 연구는 전무하다. 본 연구에서는 일본 목조가옥의 잔존내력 평가방법을 사용하였다. 일본의 목조가옥에 있어서 노후도는 경년에 따른 내력저하로 표현된다. 일반적으로 목조가옥의 사용연수에 따른 잔존내력은 식 (3)과 같이 선형적으로 감소하는 것으로 추정한다.<sup>(15)</sup>

$$\text{잔존내력} = 1 - \frac{\text{경년수}}{150} \quad (3)$$

본 연구에서는 목조 프레임의 수평내력 특성이 식 (3)의 우변과 같이 감소한다고 가정하였으며, 이를 개량형 Double-Target<sup>(2)-(4)</sup> 모델에 적용하면 그림 7과 같다. 해석에 고려된 가옥의 경년은 신축, 20년, 50년 및 100년이며 각각에 대한 개량형 Double Target 모델의 변수값을 표 3에 보였다.

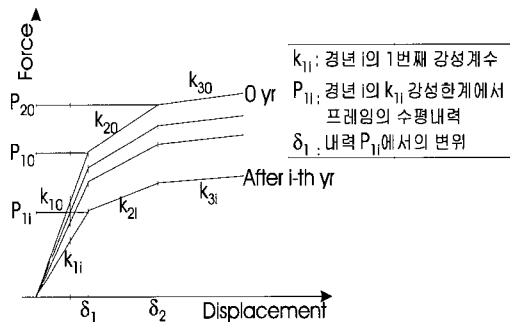


그림 7 경년에 의한 목조 프레임의 내력저하 특성

표 3 가옥의 노후도에 따른 개량형 Double-Target 모델의 강성계수

	경년수			
	신축	20년	50년	100년
$K_{11}(\text{N/mm})$	236.0	205.3	157.3	77.9
$K_{21}(\text{N/mm})$	57.2	49.8	38.1	18.9
$K_{31}(\text{N/mm})$	34.9	30.3	23.2	11.5
$\delta_1(\text{mm})$	10.8			
$\delta_2(\text{mm})$	30.4			

### 3.2 초가삼간의 비선형 동적응답

전술한대로 지진규모, 진앙거리 및 지반특성에 따라 작성한 총 18개의 인공지진 가속도-시간 이력을 이용하여 목조가옥의 노후도별 지진시 거동해석을 수행하였다. 해석에는 초가삼간을 1자유도의 1질점계로 모델링하였으며, 해석에 사용된 목조가옥의 비선형 모델은 개량형 Double-Target 모델이다. 지진규모, 진앙거리, 지반의 종류 및 노후도별 초가삼간의 거동해석결과를 표 4~5에 나타내었다. 표에서의 응답은 초가삼간의 기둥 상부에서의 값이다.

표 4는 초가삼간의 최대 응답변위를 나타낸 것이다. 표에서 지진규모가 동일하여도 연약지반에서의 최대 변위가 단단한 지반에서 보다 크게 발생함을 알 수 있다. 근거리 지진의 경우 지반조건에 무관하게 지진규모가 증가할수록 변위는 증가하는 경향을 보인다. 중거리 지진의 경우 단단한 지반에서는 지진규모가 증가할수록 변위는 증가하나 연약지반에서는 규모 7인 경우에도가 최대 변위를 보이며, 노후

도가 증가할수록 변위가 현저하게 증가한다. 원거리 지진의 경우에는 지반조건에 무관하게 규모 7의 지진에서 최대 변위를 보인다. 특기할 점은 규모 6의 지진시 근거리보다는 중거리에서 더 큰 응답을 보인다. 이는 규모 6의 근거리 지진이 상대적으로 많은 고진동수 성분을 포함하고 있기 때문이다. 표에서 가옥의 노후도에 따른 최대 변위의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 내력이 저하됨에 따라 가옥의 고유진동수가 저진동수대로 이동하여 응답량에 큰 변화가 없기 때문이다.

표 5는 초가삼간의 최대 가속도응답을 보인다. 표 2의 입력가속도의 크기와 비교하면 지진규모, 지반조건 및 노후도에 관계없이 응답가속도가 입력가속도에 비해 매우 작게 나타남을 알 수 있다. 이는 초가삼간이 매우 유연한 구조로서 비선형,비탄성 특성이 크고 목조프레임의 감쇠비가 매우 크기 때문이다. 그리고, 오래된 가옥일수록 응답가속도는 현저하게 감소하는 경향을 보인다. 근거리 지진의 경우

표 4 지진, 지반 특성 및 노후도별 초가삼간의 최대 응답변위

입력지진			최대 응답 변위(mm)			
지반 조건	진앙 거리	규모	신축	20년 경과	50년 경과	100년 경과
암반지반	원거리	6	7.9	7.2	7.8	7.4
		7	13.1	13.8	14.0	16.3
		8	9.3	9.2	8.8	10.9
	중거리	6	20.8	20.7	19.4	18.4
		7	32.0	34.0	35.1	37.1
		8	49.1	51.1	54.1	52.2
	근거리	6	10.3	10.3	10.2	10.0
		7	49.3	49.7	50.5	50.9
		8	104.5	105.1	106.1	107.3
연약지반	원거리	6	13.1	13.3	13.7	15.7
		7	18.3	19.3	20.7	20.4
		8	8.6	9.3	12.0	19.3
	중거리	6	26.3	28.1	32.4	38.5
		7	56.3	59.9	68.5	92.3
		8	57.0	58.3	61.2	64.3
	근거리	6	11.1	11.0	10.8	10.2
		7	64.9	65.6	65.3	62.1
		8	149.1	149.2	158.4	172.9

표 5 지진, 지반 특성 및 노후도별 초가삼간의 최대 응답가속도

입력지진			최대 응답 가속도(gal)			
지반 조건	진앙 거리	규모	신축	20년 경과	50년 경과	100년 경과
암반지반	원거리	6	20.1	17.6	15.7	9.5
		7	30.7	28.8	25.0	16.9
		8	18.5	16.5	13.8	9.7
	중거리	6	51.0	45.9	37.4	22.7
		7	77.9	71.8	61.1	39.4
		8	73.9	69.5	61.5	42.9
	근거리	6	43.9	39.8	33.4	21.8
		7	140.9	130.4	112.3	76.5
		8	229.1	214.0	187.8	132.6
연약지반	원거리	6	28.9	25.6	20.5	16.0
		7	36.5	34.0	29.7	19.6
		8	18.1	17.1	15.4	11.7
	중거리	6	57.1	52.4	44.5	30.4
		7	75.5	67.3	54.5	35.7
		8	73.9	69.2	60.5	40.8
	근거리	6	37.9	34.4	29.1	19.1
		7	108.8	101.2	88.0	59.5
		8	203.7	192.6	172.3	125.9

단단한 지반에서의 가속도응답이 연약지반에서보다 크며, 지진규모가 증가할수록 응답은 증가한다. 원거리 지진의 경우 지반조건에 무관하게 규모 7에서 최대 가속도응답을 보인다. 중거리 지진의 경우에는 가옥의 노후도에 따라 규모 7 또는 8에서 최대 가속도응답을 보인다.

#### 4. 피해수준 및 역사지진의 규모 평가

##### 4.1 민가의 피해수준

목조구조물의 지진해석 결과로부터 실제의 피해 규모를 평가는 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 뿐만 아니라 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 100mm 이상인 경우 완파로 평가하고 있으며, 50mm 이상인 경우 반파로 평가하고 있다.<sup>(16),(17)</sup> 이것을 일본가옥의 평균 층고를 고려하여 변형각으로 환산하면 완파의 경우 1/30rad, 반파의 경우 1/60rad이다.

우리 나라의 경우 경사도 또는 층간 변형 상태에 따라 목조가옥의 파괴수준을 판단할 수 있는 근거가 전무한 실정이다. 따라서 일본의 판단기준을 우리 나라의 목조가옥에 적용시키면 완파는 80mm 이상의 변위, 반파는 40mm 이상의 변위를 피해기준으로 설정할 수 있다.

이러한 피해기준에 따라 전항의 초가삼간의 지진해석 결과를 평가하기 위하여 그림 8~10에 지진규모, 진앙거리, 지반특성 및 가옥의 노후도에 따른 최대 변위응답의 변화를 나타

내었다. 그림 8의 원거리 지진의 경우 가옥의 피해는 지진특성, 지반조건, 노후도에 관계없이 피해는 반파이하로 나타났다. 규모 7의 지진에서 최대 피해가 발생하며 대체적으로 연약지반상의 가옥에서 상대적으로 피해가 크다. 그림 9의 중거리 지진의 경우 연약지반에서는 규모 6.5 이상에서 노후도에 무관하게 반파 이상의 피해를 보인다. 단단한 지반의 경우 노후도에 무관하게 규모 7.3 이상에서 반파의 피해를 보인다. 특기할 점은 연약지반에서 규모 8보다는 규모 7에서 최대 피해를 보인다는 점이다. 그림 10의 근거리 지진의 경우 연약지반에서는 노후도에 무관하게 규모 6.5-7.2 범위에서 반파를 보이며, 단단한 지반에서는 규모 6.7-7.5의 범위에서 반파를 보인다. 근거리 지진의 경우 규모 7.5 이상이면 지반조건 및 노후도에 무관하게 완파됨을 보인다.

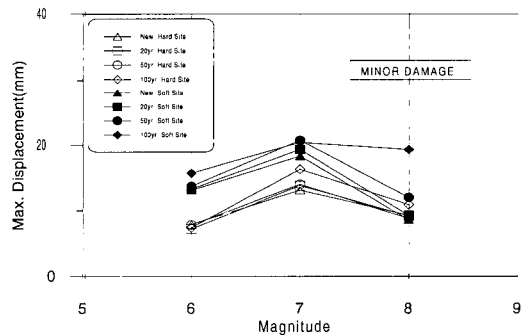


그림 8 원거리 지진에 대한 최대응답 변위

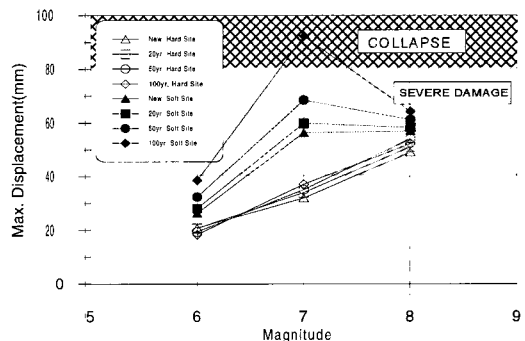


그림 9 중거리 지진에 대한 최대응답 변위



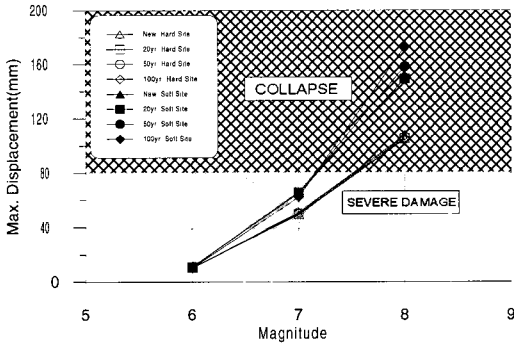


그림 10 근거리 지진에 대한 최대응답 변위

## 4.2 역사지진의 규모 평가

역사지진의 가옥붕괴에 관한 가장 일반적인 내용은 “민가가 무너지고 죽은 사람이(많이) 있었다”이다. 삼국시대의 지진피해 기록이 주로 도읍지에 국한되었을 것이라는 점을 고려한다면 위와 같은 피해는 10여 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.

전항의 피해수준 평가에서 근거리 지진의 경우 연약지반 및 단단한 지반에서 가옥의 노후도에 무관하게 각각 규모 6.5 및 6.7에서 반파되는 것으로 나타났다. 중거리 지진의 경우 연약지반에서는 규모 6.5 이상에서 노후도에 무관하게 반파 이상의 피해를 보였으며 50년 이상 경과된 가옥의 경우 규모 약 6.2에서부터 반파의 피해가 발생하였다. 그리고, 단단한 지반의 경우 노후도에 무관하게 규모 7.3 이상에서 반파의 피해를 보였다.

따라서 대표적인 연약지반인 경주에서의 지진피해 기록은 평균 진앙거리 약 15km의 중거리지진으로서 지진규모는 약 6.2로 추정된다. 역사지진중 단단한 지반에서의 가옥피해로 추정할 만한 기록은 거의 없으나 연약지반에

서와 유사한 수준으로 추정된다.

암반지반 및 연약지반 조건에 대한 축소모델의 진동대 실험 결과<sup>(3),(4)</sup>로부터 우리나라 민가의 파괴에 관한 역사지진을 진도-가속도의 경험식을 이용하여 평가할 경우 최대 진도는 MM진도 VIII로 추정되었다.<sup>(4)</sup> 따라서 본 연구 결과로부터 우리나라에 적합한 진도-규모 환산식을 구하면 Gutenberg and Richter<sup>(18)</sup>가 제안한 다음의 식 (4)가 타당하다.

$$M = \frac{2}{3}I + 1.0 \quad (4)$$

여기서, M은 지진규모, I는 진도를 나타낸다.

## 5. 결 론

지진의 규모 및 진앙거리, 지반조건 및 부재의 노후도에 따른 추가삼간의 지진시 거동을 해석하였다. Ohsaki 스펙트럼을 이용하여 지반운동을 정의하고 인공지진파를 작성하였다. 가옥의 노후도는 경년에 따라 잔존내력이 감소하는 것으로 가정하였다. 비선형 동적해석을 수행하여 구한 층간 변위응답을 이용하여 추가삼간의 피해정도를 평가하고 이로부터 역사지진의 규모를 추정하였다. 본 연구결과 도출된 결론은 다음과 같다.

가옥파괴에 관한 우리나라 역사지진의 규모는 약 6.2이며, 진앙거리는 약 15 km 전후의 근거리지진으로 추정된다. 우리나라에 적합한 진도-규모 환산식은 Gutenberg and Richter가 제안한 식이다.

본 연구는 한정된 스펙트럼을 이용한 결과로서 보다 정확한 평가를 위해서는 우리나라에 적합한 규모 및 거리에 따른 다양한 스펙트럼의 개발이 이루어져야 할 것이다. 또한 향후 목재의 노후도에 따른 부재의 특성이 규명되어야 하며, 우리나라의 지진규모는 지질, 지진학적 연구결과와 함께 종합적으로 재평가되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, 허택영, "고대 민가의 구조 및 목조 프레임의 수평내력에 관한 연구", 한국지진공학회 논문집, 제1권 제2호, 1997.
2. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, "수평 교변하중에 대한 초가삼간 목조프레임의 이력특성 평가", 한국지진공학회 논문집, 제1권 제3호, 1997.
3. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, "전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 (I) : 암반지반 조건", 한국지진공학회 논문집, 제1권 제4호, 1997.
4. 서정문, 최인길, 전영선, 이종립, 신재철, "전통 초가삼간 가옥의 내진성능 평가 실험 (II) : 연약지반 조건", 한국지진공학회 논문집, 제1권 제4호, 1997.
5. 문화재관리국, "금산사 실측조사 보고서" 1987.
6. 鎌田輝男, "淡路島における木造建物の被害状況について", 1995年兵庫縣南部地震 -木造建物の被害, 日本建築學會近畿支部, 1995.
7. 鈴木祥之, 藤原悌三, "神戸市中央區における木造建物の被害", 1995年兵庫縣南部地震 -木造建物の被害, 日本建築學會近畿支部, 1995.
8. Osaki, Y., *Guideline for Evaluation of Basic Design Earthquake Ground Motions*, 1979.
9. Hisada, T., Ohsaki, Y., Watabe, M., and Ohta, T., "Design spectra for stiff structures on rock," *Proc. 2nd Intern. Conf. Microzonation*, 1978.
10. 신진수, 이종립, 박창업, "한반도 남부의 지진과 감쇠특성", 한국지진공학회 1998년도 춘계학술대회 논문집, 1998.
11. Sugito, M., Kameda, H., Goto, H., and Hirose, K., "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.
12. Kameda, H., and Nojima, N., "Simulation of risk-consistent earthquake ground motion," *Annuals Report No. 30B-2, Disas. Prev. Res. Inst., Koyto University*, 1987.
13. Sugito, M. and Kameda, H., "Prediction of nonstationary earthquake motions on rock surface," *Proc. of JSCE Structural Eng. Earthquake Eng.*, Vol. 2, No. 2, 1985.
14. Xu, J., Philippacopoulos, A. J., Miller, C. A., and Costantino, C. J., *CARES(Computer Analysis for Rapid Evaluation of Structures)*, Vol. 2, NUREG/CR-5588, BNL NUREG-52241, 1990.
15. 鈴木有, "木造建物はなぜ大被害を生じたか?", 平成7年兵庫縣南部地震の被害調査に基づいた實証的分析による被害の検証, 京都大學防災研究所, 1996, pp. 4-110~4-119.
16. Kitahara. A. and Fujiwara, T., "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.
17. Kitahara. A. and Fujiwara, T., "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.
18. Gutenberg and Richter, "Earthquake magnitude, intensity, energy and acceleration," *Bull. Seis. Soc. Am.*, Vol. 46, 1956, pp. 105.