

# 고대 민가의 구조 및 목조 프레임의 수평내력에 관한 연구

## A Study on the Structure and Lateral Loading Capacity of Wooden Frame of Ancient Commoner's House

서정문\*      최인길\*\*      전영선\*      이종림\*\*\*      신재철\*\*\*\*      허택영\*\*\*\*\*  
Seo, Jeong Moon      Choi, In Kil      Choun, Young Sun      Lee, Jong Rim      Shin, Jae Chul      Heo, Taek Young

### 국문요약

삼국시대 이후 근대까지 민가의 가장 보편적인 형태였던 초가삼간의 평균적인 상세 구조를 제시하였다. 목조 프레임이 주로 사용되었으며 프레임의 조인트는 사개맞춤이 일반적이었다. 초가삼간을 구성하는 평주 및 고주 프레임의 정적 수평내력을 1:1 실험모델을 통하여 평가하였다. 기둥 상부 조인트의 형태 및 심벽이 수평내력에 미치는 영향과 조인트의 파괴모드를 분석하였다. 실험결과 평주 프레임의 극한 수평내력은 1,090 N, 파괴시 최대 수평변위는 400 mm(1/6 rad)이었다. 고주 프레임의 경우 이들 값은 각각 4,160 N 및 250 mm(1/9.6 rad)이었다. 프레임의 거동은 모두 조인트의 거동에 지배되었으며 매우 큰 비선형성을 보였다. 조인트의 파괴모드는 평주 프레임의 경우 화통가지의 전단파괴, 고주 프레임의 경우 화통가지의 휨파괴가 주요한 모드였다.

**주요어** : 민가의 구조, 프레임, 조인트, 수평내력, 파괴모드

### ABSTRACT

Structural details of the three-bay-straw-roof house which was the most common form of residence as a commoner's house during ancient period are suggested. Wooden frames are used in the house. The typical form of joint used is Sagaemachum. The static lateral loading capacity of the frames is evaluated through the test on full scale models. The effects of joint type at the column head and wooden lattice on the lateral loading capacity and the failure modes of frames are analyzed. The ultimate lateral loading capacity and displacement of the ordinary frame at failure are 1,090 N and 400 mm(1/6rad), respectively. These values for the frame with high column are 4,160 N and 250 mm(1/9.6rad), respectively. The behavior of joint at column head controls the overall lateral loading capacity of the frame and shows very large nonlinearity. The general failure modes of joint for an ordinary frame and a frame with high column are shear and bending failure at the branches of Sagaemachum, respectively.

**Key words** : structure of commoner's house, frame, joint, lateral loading capacity, failure mode

## 1. 서 론

우리 나라의 지진피해에 관한 역사기록 중 대표적인 것은 신라 혜공왕 15년(779년)의 “땅이 흔들리고 민가가 무너져 100여명이 죽었다”라는 기록이다.

민가의 붕괴에 관한 역사지진의 진도를 평가한

결과<sup>(1,2)</sup>는 평가자에 따라 MM진도 8-10까지 편차를 보인다. 이를 지진가속도로 환산하면 경험식에 따라 최소 0.14 g에서 0.63 g, 최대 0.52 g에서 2.75 g까지 매우 큰 편차를 보여 실제 발생하였던 지진의 크기를 유추하기 곤란하다.

이러한 편차의 가장 큰 요인은 평가자의 주관적인 판단과 함께 진도 산출에 사용되는 MM진도 상의 가옥 구조와 우리 나라 민가의 구조가 상이한 점이라고 추정된다.

본 연구는 이와 같은 불확실성 요인을 가능한 한

\* 정회원 · 한국원자력연구소 책임연구원 공학박사  
\*\* 정회원 · 한국원자력연구소 선임연구원  
\*\*\* 정회원 · 전력연구원 부장 공학박사  
\*\*\*\* 충남대학교 토목공학과 교수  
\*\*\*\*\* 정회원 · 전력연구원 일반연구원

배제하여 역사지진의 최대 지진가속도를 역으로 추정하기 위한 일련의 연구의 일환으로 수행되었다. 이를 위해 먼저 역사기록에 나타나는 민가의 상세 구조에 관한 연구를 수행하였고, 민가를 구성하는 목조 프레임에 대한 수평내력을 실험을 통하여 평가하였다.

우리 나라의 민가에 관한 기존의 연구는 주로 가옥의 평면적인 배치에 중점을 두었다. 조선시대 민가의 일반적인 구조는 계층적, 지역적으로 큰 차이를 보이나, 농경사회의 절대 다수를 차지하였던 일반 소농의 가옥은 초가삼간이었으며 전국적으로 분포하였다.<sup>(3,4)</sup> 삼국시대 및 고려시대의 민가도 조선시대의 민가와 대동소이할 것이라는 다수 학자들의 견해에 근거하여 본 연구에서는 역사 기록상의 민가를 일반 소농의 초가삼간으로 가정하였다. 초가삼간의 상세 구조에 관하여는 현재까지 연구된 사례가 없기 때문에 전국의 민속마을에 대한 답사 및 전문가의 자문을 통하여 원형(prototype) 모델을 설정하였다.

초가삼간을 구성하는 목조 프레임은 지진시 발생하는 수평력을 지지한다. 목조 프레임의 수평내력은 일반적으로 조인트에 의해 지배되며 매우 큰 비선형, 비탄성 거동을 보인다.<sup>(5)</sup> 우리 나라 목구조의 전형적인 조인트는 사개맞춤으로서 이는 일본이나 미국 등에서 사용하는 조인트와는 매우 상이하며, 재료로서는 상대적으로 강도가 약한 소나무가 사용된다. 그러나, 이를 고려한 우리 나라 목조 프레임의 수평내력, 파괴양상 등에 관한 연구는 현재까지 이루어진 바가 없다.

우리 나라에는 현재에도 사개맞춤으로 지어진 많은 목조 가옥이 존재한다. 고베 지진 시 대부분의 인명 피해가 목조 가옥의 붕괴에 의한 것임을 고려할 때, 우리 나라 목조 가옥의 내진성에 관한 연구가 보다 활발히 이루어져야 할 것이다.

## 2. 초가삼간의 구조

초가삼간의 가장 일반적인 구조는 그림 1(a)와 같이 방 2개 및 부엌 1개와 전퇴로 구성되는 외퇴집이다.<sup>(3,4)</sup> 초가삼간의 폭은 3.6 m, 길이는 7.2 m 이

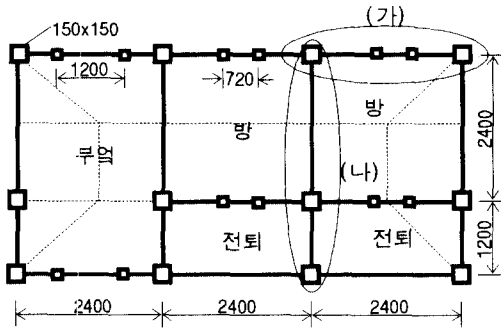
다. 기둥은 모두 15 cm 인 각재가 사용되며, 외진주의 기둥은 길이 2.4 m인 평주이고 내진주의 기둥 2개는 길이 2.94 m인 고주이다. 모서리 기둥은 기둥 윗쪽이 안쪽으로 1/80의 기울기를 갖는다.

외진주의 평주는 기둥 상단에서 도리 및 들보로 연결된다. 가장 일반적인 연결방법은 그림 2와 같은 사개맞춤이다. 그리고, 기둥의 상·하부에는 상인방 및 하인방이 가로로 연결된다. 인방의 연결에는 폭 15 mm, 깊이 30 mm의 장부맞춤이 사용된다. 부엌 문과 방문은 인방 사이에 세로로 문설주를 연결한 다음 설치되며, 방 및 부엌의 양쪽에 대청으로 설치된다(그림 1(b)).

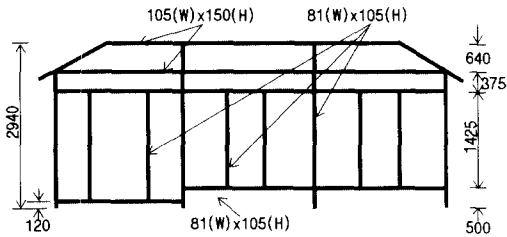
고주는 기둥 상단에서 장방향으로 도리에 의해 연결되며, 고주와 평주를 연결하는 들보의 중앙에는 그림 1(c)와 같이 동자주가 세워진다. 동자주끼리는 도리에 의해 기둥 상단에서 장방향으로 연결되며, 고주와 동자주는 단방향으로 연결된다. 동자주와 고주 상단의 연결에는 사개맞춤이 사용된다. 고주 상부에서 2개의 단방향 들보는 장부맞춤에 의해 연결되고 직경 24 mm의 나무못 4개로 보강된다.

4개의 모서리 기둥과 고주 및 동자주 상단의 도리는 주너에 의해 연결된다. 그리고, 고주 상단의 장방향 도리는 외진주의 평주와 사개맞춤으로 연결되며, 동자주 상단의 장방향 도리와 외진주 평주의 도리가 연결된다. 고주 및 동자주의 장방향 도리 위에는 직경 90 mm의 동연이 300 mm 간격으로 설치된다. 서까래는 직경이 90 mm이며 300 mm 간격으로 설치된다. 서까래, 동연 등의 연결에는 보통 벗집으로 만든 새끼가 이용된다. 지붕은 서까래 위에 산자를 덮고 5~7cm 정도의 보토를 한 다음 최종적으로 30~45cm 정도의 이엉을 얹어 구성하였다. 지붕의 무게는 약 170kg/m<sup>2</sup>로서 매우 무거운 편이다.

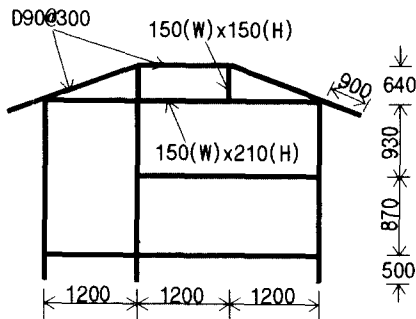
벽체는 골조 사이에 그림 3과 같은 심벽을 설치하여 만든다. 심벽은 목심과 수수깡, 싸리나무 등으로 짜여 있으며 그 위에 흙을 발랐다. 주추는 일반적으로 다듬지 않은 판석형의 돌이 사용되었다. 기둥 하단은 주추와 기둥의 접촉면이 완전히 밀착될 수 있도록 주추의 요철을 고려하여 기둥을 그랭이 질하여 얹혀 놓는다.



(a) 평면도



(b) 정면도



(c) 측면도

그림 1 초가삼간의 평면 및 단면도

### 3. 실험 모델의 제작 및 설치

#### 3.1 모델의 제작

본 연구에서는 목조가옥 프레임의 장방향 및 단방향의 수평내력을 평가하기 위하여 그림 1(a)의 (가) 및 (나) 부분에 해당하는 평주 프레임과 고주

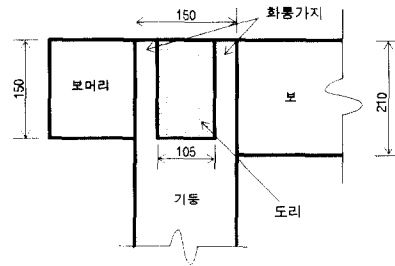
프레임에 대한 1:1 모델을 제작하였다. 프레임의 제작에 사용된 재료는 강원도에서 채취한 소나무를 사용하였다. KS규격에 따라 수행된 목재의 강도, 함수율, 비중 등의 실험 결과는 표 1과 같다.

표 1 모델에 사용된 소나무의 재료특성

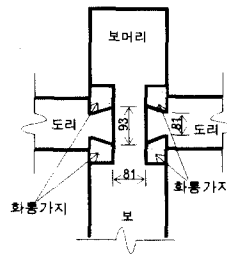
구분	힘 시험	압축시험		전 단 시험	인 장 시험
		종	횡		
함수율(%)	15.5	21.0	19.5	14.0	11.5
비중	0.55	0.44	0.46	0.57	0.48
강도( $kg/cm^2$ )	539	206	33	129	772

평주 프레임은 도리가 기둥에 ① 완전히 끼워진 형태; ② 4/5정도 끼워진 형태; ③ 완전히 끼워진 형태에서 심벽이 설치된 서로 다른 3가지 모델을 제작하였다. ①, ②는 보통집과 허술하게 지어진 집의 차이를, ①, ③은 보통집에서 심벽의 영향을 분석하기 위한 것이다. 그림 4에 평주 프레임의 구조를 보였다.

고주 프레임(그림 5)은 내력의 평균값을 구하기 위해 동일한 형태로 2개를 제작하였다.



(a) 측면도



(b) 평면도

그림 2 사개맞춤 상세도



그림 3 전통 초가집 벽체의 형태

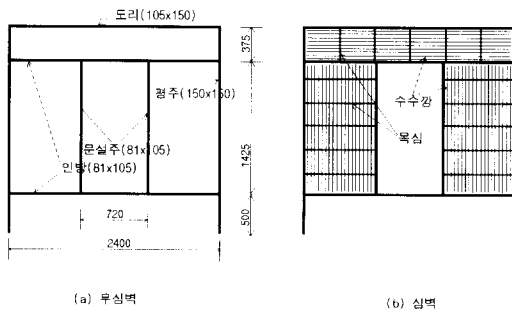


그림 4 평주 프레임의 형태

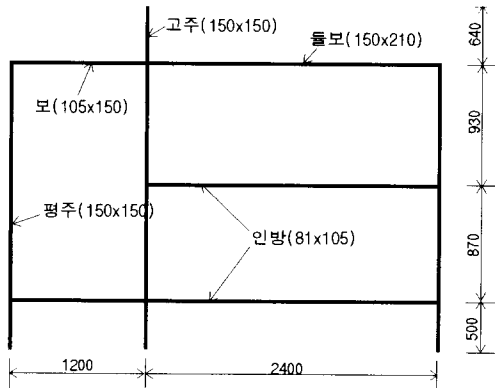


그림 5 고주 프레임의 형태

### 3.2 모델의 설치 및 시험 방법

프레임은 그림 6에서와 같이 수직으로 설치하였다. 양 기둥의 하단은 바닥에 고정된 철제 프레임과 연결되어 있다. 목재 프레임의 상단은 반력벽에 연결된 유압가력기와 수평으로 연결되어 있다. 유압가

력의 하중 용량은 10톤, 변위 한계는 200 mm이다. 기둥의 비틀림을 방지하기 위하여 프레임의 좌우에 철제 프레임을 설치하였다. 기둥 하단의 경계 조건은 힌지로 가정하고 그림 7과 같은 장치를 제작하여 사용하였다. 실제 가옥의 기둥과 주주의 경계 조건은 매우 복잡하여 이를 정확히 모델링하기는 어렵다. 그러나, 무게중심이 기둥상단에 있고 뼈대의 유연성이 크며, 기둥 하단의 그랭이질 때문에 수평력 작용시 미끄러짐보다는 회전모드가 상대적으로 클 것으로 판단되므로 힌지 경계를 채택하였다. 변위계는 들보 또는 도리의 하단에서 200 mm 지점의 기둥에 각각 설치되었다.

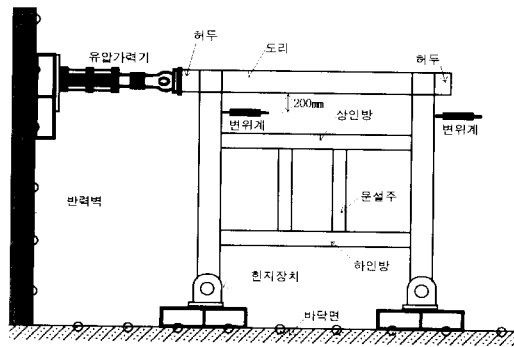
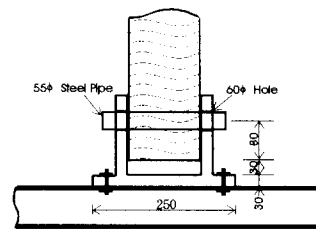
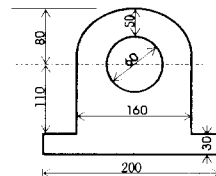


그림 6 평주 프레임 시험 장치도



(a) Front View



(b) Side View

그림 7 기둥 하부 고정장치 상세도

실험은 변위제어 방법을 사용하여 0.2mm/sec의 속도로 수행하였다. 데이터의 측정은 유압가력기의 스트로크(Stroke)와 각 거동에 설치된 변위계의 변위를 측정하였다. 데이터는 10 Point/mm의 간격으로 측정하였다. 유압가력기의 시험한계인 200 mm 까지 실험을 수행한 후에는 파괴시 변위 및 파괴모드를 분석하기 위하여 유압가력기 및 변위계를 제거하였으며, 와이어로프를 수평으로 연결하여 파괴에 도달할 때까지 변위를 가하였다. 조인트가 파괴된 순간을 음향 및 육안으로 확인한 후 그 때의 수평변위를 측정하고 파괴모드를 분석하였다.

#### 4. 실험 결과 및 분석

##### 4.1 평주 프레임의 수평내력 및 파괴모드

3가지 평주 프레임의 수평하중-변위 곡선을 그림 8에 나타내었다. 그림에서 평주 프레임의 거동은 매우 큰 비선형성을 보여주며 뚜렷한 항복점이 존재하지 않는다. 재하과정에서 변위가 증가함에 따라 강도도 전반적으로 증가하나 미소한 강도의 증감이 매우 빈번하게 발생한다. 이는 연결부의 조임상태 및 마찰저항의 변화에 의한 것으로 판단된다.

완전한 사개맞춤으로 제작된 평주 프레임(S-A1)의 극한 수평내력은 1,184 N, 사개맞춤에서 도리 높이의 4/5정도가 끼워진 프레임(S-A2)의 극한 수평내력은 952 N으로서 S-A1에 비해 S-A2의 극한강도가 약 20% 감소하였다. 심벽이 설치된 프레임(S-A3)의 경우 수평내력은 S-A1에 비해 약간 증가할 것으로 예상되었으나 극한 수평내력은 1,090 N으로서 오히려 약 8%가 감소하였다. 이는 심벽이 목조 프레임의 수평내력에 미치는 영향이 매우 미미하며, 조인트 제작상의 숙련도의 차이로 인한 것으로 추정된다. 실험 결과로부터 보통 프레임의 극한 수평내력은 약 1,090 N, 허술하게 제작된 프레임의 극한 수평내력은 약 952 N으로 추정할 수 있다. 일본 건축학회의 기준<sup>6)</sup>에 따라 층간변위 1/120rad시의 값을 수평내력으로 정의할 경우 평주 프레임의 수평내력은 490 N이다.

파괴시 프레임의 평균 수평변위는 약 400 mm(1/6 rad)로 측정되었다. 조인트의 파괴는 모두 화통가치의 전단파괴로 관찰되었으며 대표적인 파괴모드를 그림 9에 보였다.

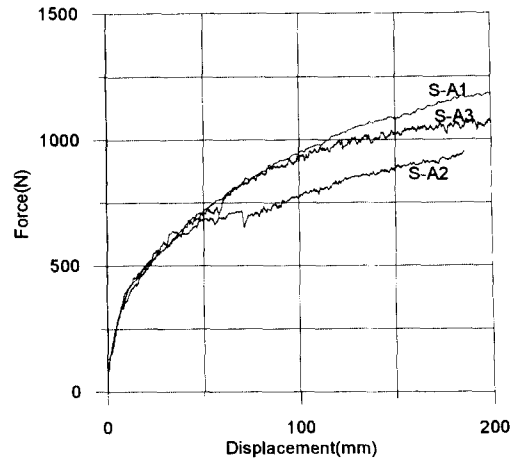


그림 8 평주 프레임의 수평하중-변위 곡선

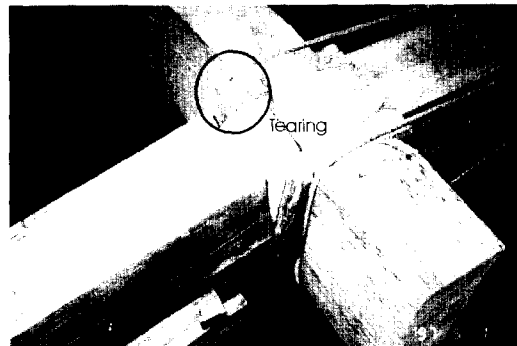


그림 9 평주 프레임의 파괴형상

##### 4.2 고주 프레임의 수평내력 및 파괴모드

동일한 형태로 제작된 고주프레임(S-B1 및 S-B2)에 대한 실험결과로부터 구한 수평하중-변위 곡선을 그림 10에 보였다. 고주 프레임의 전반적인 거동은 평주 프레임의 경우와 유사하다. 두가지 고주 프레임의 거동은 수평변위 113.9 mm를 기준으로 해서 이보다 적은 변위에서는 거의 일치하나 이보다 큰 변위에서는 차이를 보인다. 이는 조인트 제작상의 숙련도의 차이로 추정된다.

고주 프레임의 경우 극한 수평내력은 평균 4,160 N으로서 평주 프레임에 비해 매우 크다. 이것은 평주 프레임의 경우에는 사개맞춤에서 두 개의 화통가치에 의해 하중을 받으나, 고주 프레임의 경우에는 네 개의 화통가치 모두에서 하중을 받기 때문이다. 일본 건축학회의 기준에 따라 고주 프레임의 수

평내력을 평가하면 1,100 N이다.

고주 프레임의 파괴시 수평변위의 평균은 약 250 mm(1/9.6rad) 이었다. 조인트의 파괴모드는 모두 화통가지의 휨파괴로 관찰되었으며 대표적인 파괴 형상을 그림 11에 보였다. 프레임의 파괴는 평주에서 먼저 발생하였고, 고주와 들보의 연결부에서는 나무못의 휨파괴가 발생하였다.

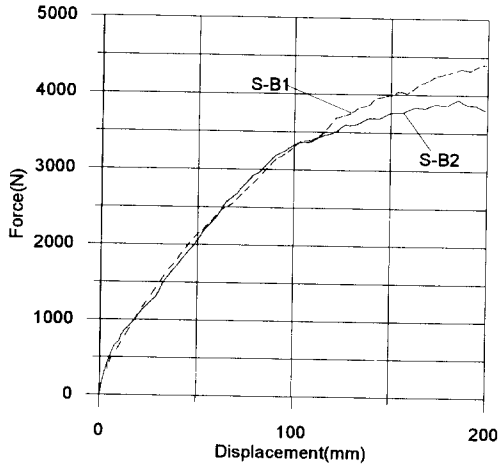


그림 10 고주 프레임의 수평하중-변위 곡선



그림 11 고주 프레임의 파괴형상

## 5. 결 론

본 연구에서는 고대 민가의 가장 보편적인 형태

이었던 초가삼간의 상세 구조를 제시하였다. 초가삼간을 구성하는 목조 프레임은 신선한 소나무를 사용하여 실물 크기로 제작하였으며 수평내력 실험을 수행하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 고대 민가의 가장 보편적인 형태는 초가삼간이며 목조 프레임이 주로 사용되었다. 프레임의 조인트는 사개맞춤이 가장 보편적이었다.
2. 목조 프레임의 수평하중-변위 관계는 매우 큰 비선형성을 보이며, 수평내력은 조인트의 거동에 지배되고 속련도에 따라 편차를 보인다. 평주 및 고주 프레임의 극한 수평내력은 각각 1,080 N 및 4,160 N이며, 사용한계(1/120 rad) 시의 수평내력은 각각 490 N 및 1,100 N이다.
3. 프레임의 극한 수평내력은 사개맞춤의 형태에 따라 차이를 보이며, 심벽의 영향은 무시할 정도이다.
4. 기둥-도리로 구성된 평주 프레임의 파괴는 화통가지의 전단파괴, 기둥-보로 구성된 고주 프레임의 파괴는 화통가지의 휨 파괴가 주요 파괴모드이다. 파괴시 최대 변위는 평주 프레임의 경우 약 400 mm(1/6 rad), 고주 프레임의 경우 약 250 mm(1/9.6rad)이다.

본 연구에서 수행한 목조 프레임의 수평내력 평가 결과는 추후 수행될 이력거동 특성평가와 함께 고대 민가의 내진성 평가에 활용될 수 있으며 또한 현존하는 목조가옥 및 문화재의 내진성능 평가시 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 그러나, 우리나라 전통 목조 가옥의 내진성을 보다 정확히 평가하기 위해서는 가옥의 사용연수 또는 목재의 부패정도 및 부재의 크기를 고려한 수평내력 실험이 보다 많이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 한국에너지연구소, "한반도의 지진위험도", KAERI/RR-380/82, 1982.
2. Lee, K., "Earthquakes in Korea," *Proceedings of the 1996 Symposium on Seismology in East Asia*, Oct.15-18, 1996, Taejon, Korea, pp.5-12.
3. 신영훈, 한국의 살림집, 열화당, 열화당 미술선서 37, 1983.

4. 김홍식, 한국의 민가, 한길사, 1992. *Proceedings of Pacific Timber Engineering Conference, 1994.*
5. Foliente, G., "Hysteresis Characterization and Modelling of Timber Joints and Structures,"
6. 日本建築學會, 建築耐震設計における保有耐力と變形性能, 1981.