

접촉요소를 적용한 전통목조 도리방향 프레임의 변위이력 시뮬레이션에 관한 연구

Simulation of displacement history using contact element in traditional wooden frame

황종국* · 홍성길** · 정성진*** · 이영욱**** · 김남희***** · 배병선*****

Hwang, Jong-Kook · Hong, Sung-Gul · Jung, Sung-Jin · Lee, Young-Wook · Kim, Nam-Hee · Bae, Byung-Sun

ABSTRACT

To examine the behaviors of traditional wooden structural frame in Korea in direction of beam, an experimental study was performed. The interior frame of Daewoongjeon of Bongjeongsa was selected as a model, which has two short exterior columns and one high inside column. The experimental frame has 1/2 scale and lateral forces are applied at high inside column by using drift control. The vertical gravity loads are applied on the frame. From the results of experiment it was shown that the stiffness and lateral capacity of the frame was increased when vertical loads are applied and the force - drift relationship in positive load direction was not same as in negative load direction. And push-over analysis are performed by using macro model in which the rotational and shear springs which were derived from the another experiments of subassemblies were used. The numerical analysis with macro model showed a good correspondence with the experiment within 2% story drift.

Keywords: traditional wooden structure, contact element, finite element

1. 서론

안전진단은 전통목조문화재의 보수여부를 판단하기 위한 중요한 과정이 되었다. 현재, 전통목조문화재의 안전진단을 위해서 재료의 열화, 구조체 변형의 정도, 구조해석 등 다양한 과정이 적용되어지고 있다. 현재 시점에서 문제로 인식되는 부분은 조사된 결과가 독립적으로 판단되어서는 의미가 적을 수밖에 없지만 종합하기에는 연구결과가 부족하다는 점을 들 수 있다.

- * 한국전통문화학교 전통건축학과, 조교수
- ** 서울대학교 건축학과, 부교수
- *** 한남대학교 건축학부 건축공학전공, 부교수
- **** 군산대학교 건축공학과, 부교수
- ***** 서울대학교 교량설계핵심기술연구단, 공학박사
- ***** 국립문화재연구소 건조물실장

구조해석의 경우에도 하중 값을 정하는 것부터 불분명하며, 집합부의 거동을 근사적으로 표현할 수 있는 방법에 관한 이론적 타당성도 부족한 상태이다. 결론적으로 부재의 구조성능에 관한 판단, 구조물의 안정성에 관한 판단, 구조물에 작용하는 하중에 관한 판단, 구조물 각 부재에 분산된 힘의 크기에 대한 판단 등 구조체의 안정성을 판단하기 위한 대부분의 부분에서 불확실성이 존재하고 있는 것이다.

국립문화재연구소에서는 이러한 문제를 인식하고 목조 건조물문화재의 구조성능을 판단할 수 방법의 연구에 착수하여 전통목구조 프레임의 보 방향의 수평내력 특성을 확인하기 위한 연구를 진행하였다. 본 연구는 전통목구조의 3차원 특성을 규명하기 위한 목적에서 프레임의 보 방향 수평 내력에 이어 도리방향의 수평내력의 성능을 확인하기 위한 목적을 갖고 있다.

도리방향의 프레임 실험체를 제작하였다. 프레임 실험체는 귀기둥을 포함하여 기둥2개와 창방 평방으로 구성하였다. 공포 위의 부분은 하중으로 고려하였다. 무엇보다 중요한 시도로 이 실험체의 거동을 예측할 수 있는 수치해석의 방법을 찾고자 시도하였다. 수치해석 모델은 유한요소법을 적용하였으며, 부재와 부재가 접촉하는 부분에는 접촉요소(contact element)를 배치시켰다.

해석결과는 실험결과와 비교하였다. 본 연구에서는 목재의 물리적 특성은 해석변수로 고려하지 않았다. 상당한 오류가 있을 것으로 예측되지만 문제의 단순화를 위해서 재료의 물리적 특성은 등방성 재료인 것으로 가정하였으며, 우선은 목재와 목재간의 마찰계수만을 해석변수로 고려하였다.

2. 프레임 실험

2.1 실험체

봉정사 대응진 도리 방향 프레임의 거동을 모사하기 위하여 그림 1와 같은 1/2 스케일 크기의 프레임을 제작하였다. 프레임 실험체 구성에 적용된 기본적인 개념은 파악할 수 없는 미지의 변수를 가능한 줄이고자 하였다. 따라서, 기둥 하부의 지점 조건에 의한 영향을 제거하기 위해서 기둥 하부의 지점조건을 힌지로 구성하였다. 또한 공포 부분은 프레임의 강성에 영향을 주지 않는다고 판단하여 하중점으로만 작용할 수 있도록 구성하였다.

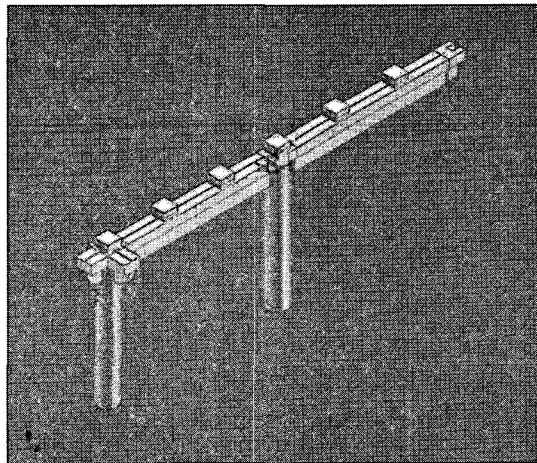


그림 1 도리방향 프레임 실험체

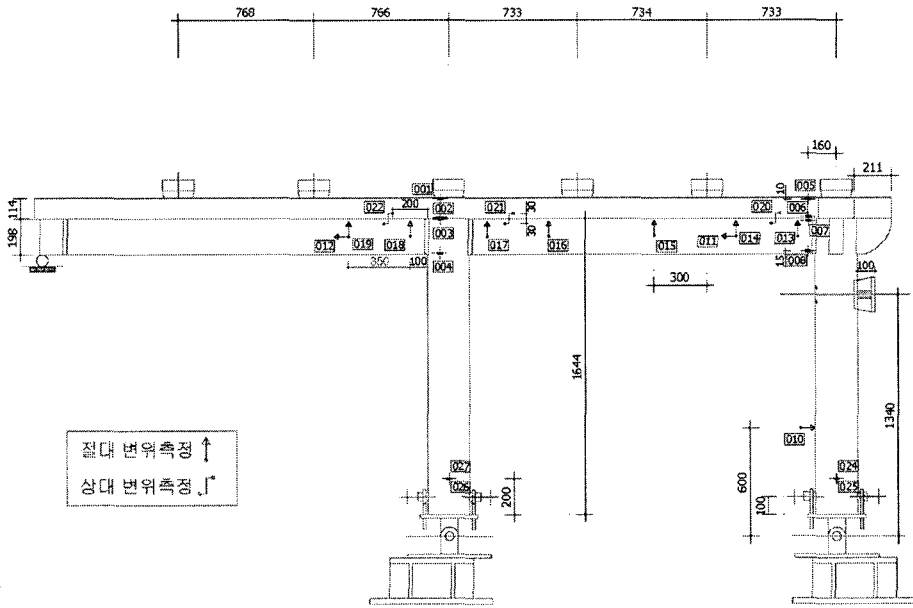


그림 2 도리방향 프레임 실험체

2.2 가력하중

(1) 수평하중

액츄에이터 가력방향과 직각방향으로의 움직임을 구속하기 위하여서 구조체에 브라켓을 설치하고 2축 방향으로 움직일 수 있는 스틸 볼을 부착하였다. 이러한 브라켓을 3개 설치하여 액츄에이터 가력방향 직각방향으로의 실험체 움직임을 구속하였다.

수평하중은 변위조절을 통해서 가하였다. 최대변위를 층강변위비 4%로 설정하고 8단계로 구분하여 각 단계마다 3 cycle로 적용하였으며, 정확한 값은 다음 표와 같다.

표 2 실험체 수평변위이력

	1단계	2단계	3단계	4단계	5단계	6단계	7단계	8단계
층간 변위비 (%)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Actuator 진폭 (높이 1340mm)	6.7	13.4	20.1	26.8	33.5	40.2	46.9	53.6
평방 상단 진폭 (높이 1878mm)	9.39	18.78	28.17	37.56	46.95	56.34	65.73	75.12

- 1) 모든 하중은 sin파로 하며 주기는 90초로 통일함.
- 2) 각 단계는 3 Cycle로 구성
- 3) 각 단계의 실험시간은 $90 \times 3 \text{ cycle} = 270 \text{ 초}$
- 4) 총 실험시간은 $270 \times 8 \text{ 단계} = 2,160 \text{ 초}$

수평변위를 발생시키는 방법으로 2개의 기둥에 동일한 상황을 발생시키기가 어려워 귀기둥에 액츄에이터를 부착하여 수평변위이력을 작용시켰다. 액츄에이터 작용 중심점의 높이는 기둥 하부 현지 지점으로부터 1340mm 높이인 곳이다.

(2) 수직하중

수직하중의 작용방법에서 고려한 부분은 실험체가 수평방향으로 움직이기 때문에 이 움직임에 의해서 실험체에 작용하는 수직하중의 크기에 변화가 있어서는 안된다는 점이다. 실험체에 작용하는 수직하중을 수평방향의 움직임으로부터 완전히 자유롭게 하기 위해서 무게추를 매다는 방식을 사용하였다. 다음 그림에서처럼 각 공포에 작용하는 하중의 크기를 10000N으로 보고 이에 해당하는 철판을 매달았다. 수평방향 진동에 의해서 수평방향으로의 동적 하중이 발생하지 않도록 수평변위이력의 주기를 가능한 느리게 조절하였다.

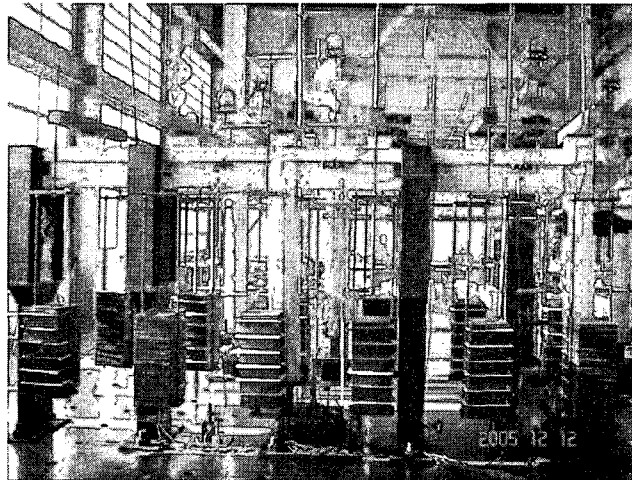


그림 3 수직하중의 가력모습

2.3 실험결과

액츄에이터의 수평 변위가력에 따른 하중의 관계곡선을 얻었다. 정방향의 최대내력은 3.56 kN이고 부방향의 최대내력은 3.64 kN으로 나타났다. 그림과 같이 정방향과 부방향의 반복이력 곡선은 동일한 형상을 나타내고 있으며, 최대값 이후 내력이 감소되는 현상을 보여주고 있다. 정방향과 부방향에서 모두 30mm(층간 변위비 2.3%)를 초과하면서 내력이 감소된다. 정방향과 부방향 그림에서 차이는 1%의 변위비 가력시 정방향은 강도의 감소가 급작스럽게 발생하였다.

정방향과 부방향에서 약간의 핀칭(pinching) 현상이 보이고 있는데, 이러한 현상은 창방이 기둥 내부에서 밀리면서 발생하는 것이다. 어느 정도 밀리다 창방의 단부와 기둥이 접촉하면 다시 강성이 증가한다. 대부분 창방의 하부와 기둥이 마찰로 접촉하기 전에 그림 5.5와 같이 약간의 간격이 있음을 볼 수 있으나, 정방향 하중이 가력되면 창방의 하부와 기둥의 하부가 접촉되고 상부는 간격이 넓어지는 것을 목격하게 된다. 따라서 기둥과 평방 사이에 있는 이러한 간격이 수평하중과 변위이력에서 핀칭현상이 일어나는 주요 원인임을 알 수 있다.

수평하중에 의한 초기 층간변위비 0.5%시의 모멘트와 층간변위비의 유효강성은 다음과 같다.

$$2.56\text{kN} \cdot 1.34\text{m} / 0.005 \text{ rad} = 686.1 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$$

최대값에 액추에이터의 높이 0.915를 곱하고 보의 팔길이 0.72m로 나누면 보가 저항하는 최대저항 평균 모멘트의 값이다. 그림 5.6과 같이 보에 소성힌지가 발생하여 붕괴메카니즘이 발생한다고 가정하면 정방향의 최대 내력은 평주와 우주의 최대모멘트의 합력을 팔길이로 나눈값으로

$$4.35 \text{ kN}\cdot\text{m} / 1.34 \text{ m} = 3.25 \text{ kN}$$

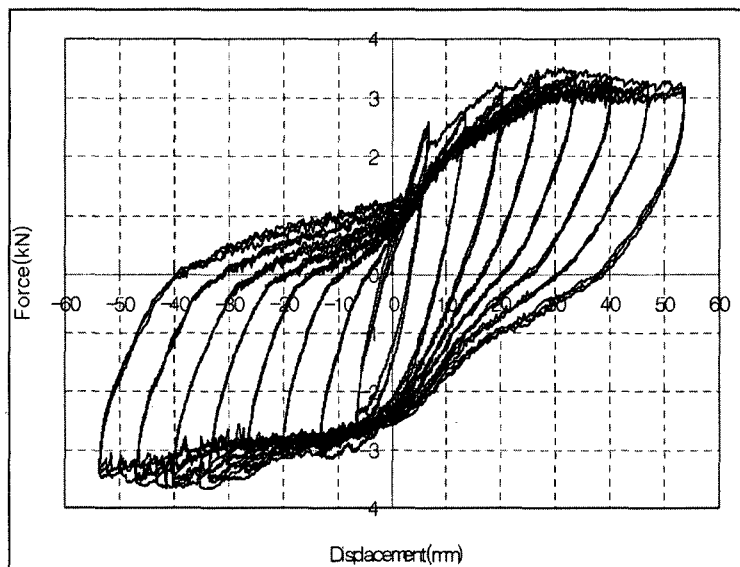


그림 4 수평 하중-변위 이력

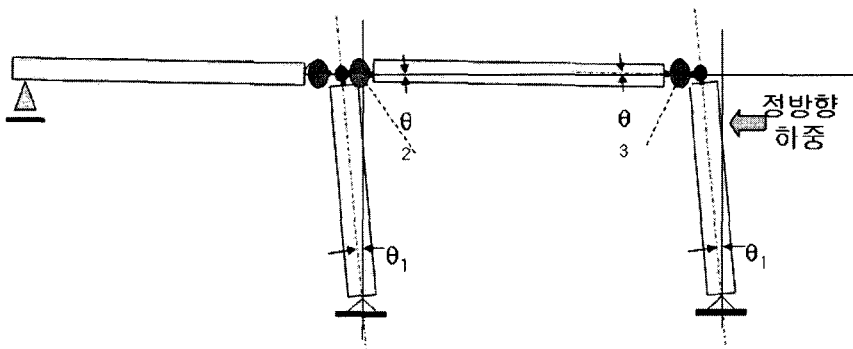
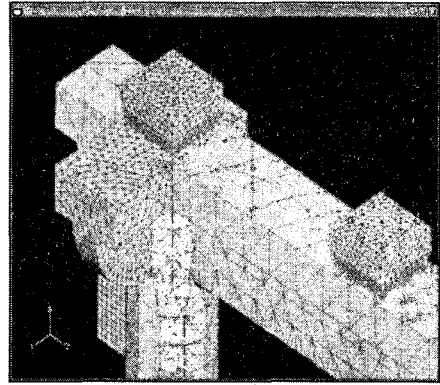
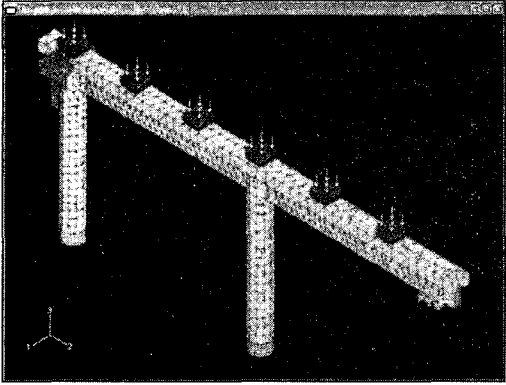


그림 5 보의 소성힌지 발생에 의한 붕괴 모델

3. 프레임 해석

3.1 해석모델

도리방향 실험체의 수치해석은 유한요소법을 적용하여 수행하였다. 해석프로그램은 ABAQUS 6.5를 사용하였으며, 접촉요소는 General contact element를 사용하였다.



감사의 글

본 연구는 2005년도 국립문화재연구소 발주 전통목구조 구조성능평가 연구용역 결과의 일부임을 밝힙니다.

참고문헌

국립문화재연구소(2005.12) 목조문화재 구조성능 평가 연구용역 최종보고서