

목조건축은 지진에 가장 안전한 건축물

■ 글·사진 _ 박문재 (국립산림과학원 목재성능과)

일본 고베(1995년)나 중국 쓰촨 성(2008년)에 강진이 발생하여 수많은 피해가 발생하였다는 소식을 접하면서, 우리나라도 지진에 예외적인 지대가 아니라는 인식이 확산되고 있다. 2005년부터 3층 이상 또는 연면적 1천㎡ 이상의 건축물에 대한 내진설계가 건축법상 의무화되는 등 내진기준이 크게 강화되었다.

우리나라에서 목조주택은 단독주택뿐 아니라 도심 인근의 단지형 주택 또는 타운하우스 등으로 규모화하고 있다. 목조주택의 시공 건수와 규모도 확대되고 있으며, 조만간 4층규모의 공동주택까지 지어질 전망이다. 나아가 대단면

구조재와 구조용 집성재 등을 활용한 대규모 상업용 건축물이 들어서기 시작하여 한옥 호텔과 골프클럽하우스 등으로 시공되고 있다. 이미 시공되어 가동중인 목조 롤러코스터를 비롯하여 목구조 돔구장 등 초대형 레포츠시설을 시공하려는 움직임도 감지되고 있다. 국토해양부 등 관련 부처에서는 전통목조건축의 현대화를 전제로 전통과 현대를 융합하는 목조건축의 보급에 박차를 가하고 있어 목조건축의 내진성능에 대한 관심도 높아지고 있다.

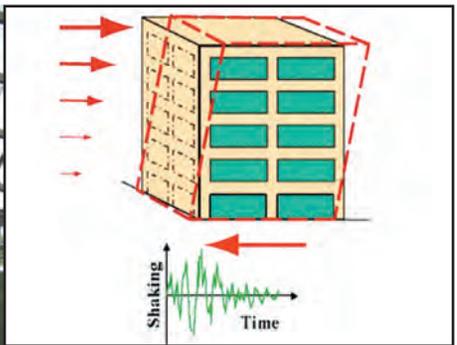
지진학자들은 전 지구적으로 최근 발생한 수많은 지진 사례조사와 이론적 고찰, 대규모의 실험을 통하여 건축물의 지진 응답에 영향을 미치는 파라미터를 구명하였다. 이 파라미터는 건축물이 시공된 대지에서 지반 이동 특징과 건축물의 동적 특성, 건축물의 강성과 강도, 연성으로 기술되는 변형 특성에 의하여 결정된다. 목조건축은 건축물의 구조에 의하여 결정되는 두 가지 파라미터, 즉 건축물의 동적 특성과 변형 특성에 의하여 내진성능이 우수한 건축물로 입증되었다. 또한 목조건축은 목재의 우수한 진동감쇠와 가벼운 구조체로 인하여 지진발생시 피해가 가장 적게 발생하게 된다. 본인이 참관한 바 있는 중국 상하이 동지대학과 일본 쓰쿠바 토목연구소에서 수행된 실제 규모의 3층 목조건축에 대한 진동 시험을 통하여서도 목조건축의 내진성능이 우수함이 입증되었기에 이러한 특성을 2009년에 개정된 건축구조기준(KBC 2009)의 내진설계 규정에 반영하여 가는 중이다.



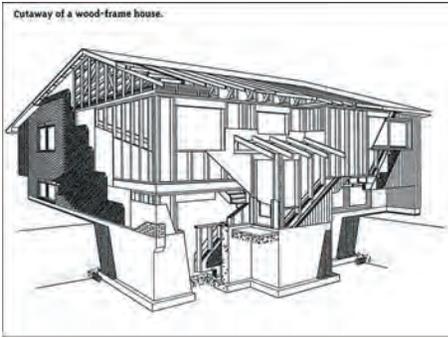
대규모 목조건축물 시공사례
레이크힐스 순천 컨트리 클럽하우스의 구조용 집성재 건축물



초대형 레포츠 시설 시공사례
일본 미야자키 현의 고노하나 돔



건축물의 지진응답 모식도



경골 목조주택의 구조요소 개념도



알래스카 지진(1964)
토양 붕괴 지역에서 목조주택의 구조완전성 유지



캘리포니아 주 샌페르난도 지진(1971)
목조건축물의 연약층에 의한 파괴

목조건축이 지진하중에 견디는 내력성능

지난 수십 년간 세계에서 발생한 지진 피해를 조사한 결과, 지진학자들은 건축물의 거동이 측정된 최대 지표면가속도(중력가속도, g에 대한 비율로 나타냄)와 관련된다는 사실을 발견하였다. 지진피해 조사결과 대부분의 목조건축물은 강진에서 나타나는 최대 지표면가속도 0.6g 이상에 노출된 경우에도, 지진의 진동에 의하여 심한 구조적 피해나 붕괴가 발생하지 않았으며 사상자도 거의 발생하지 않았다.

더욱이 내진설계가 잘 된 현대식 목조건축물은 이러한 지진 진동에 대하여 육안으로 관찰되는 어떠한 피해도 발생하지 않을 정도로 우수한 내진성능을 나타내었다. 목조건축물도 드물게는 부적합한 시공사례가 있었는데, 이 경우 목조건축물도 피해발생으로부터 예외가 될 수 없었다. 목조건축물이 지진 피해를 입은 원인을 살펴보면, 설치한 수평 가새가 부족하거나 연약 1층구조, 부적합한 기초와의 접합, 발생한 지반 운동이 시공 당시의 건축법 규정을 초과한 경우 등에 기인한 것을 확인할 수 있었다.

목조건축 구조요소의 특징

일반적인 현대식 경골 목조건축은 콘크리트 기초로 시공되며, 기초 위에 장선과 덮개를 사용하여 플랫폼이 형성되면서 1층의 바닥구조가 완성된다. 이 플랫폼은 기초에 앵커볼트로 고정되며, 이 위에 설치하는 벽체는 토대와 스타드, 덮개로 시공하여 일체화시킨다. 지붕구조는 벽체의 위

갈도리 위에 접합되며, 서까래나 지붕트러스 위에 덮개를 시공한다. 다층 목조 공동주택도 기본적으로 동일한 패턴을 따르며, 내진설계 규정과 상세에 적합하게 시공하여 내진성능을 충분히 확보할 수 있다.

기둥-보 방식의 목조건축물은 기본적으로 주춧돌이나 기초 위에 기둥을 세우고 기둥과 기둥 사이를 수평부재인 보로 접합한 구조로서 적절한 구조형식을 통하여 내진성능을 확보할 수 있다. 국내의 기둥-보 방식 전통 목조건축물은 외국과 비교할 때 매우 독특한 구조형식을 보유하고 있기 때문에, 이들 건축물에 대한 내진성능 평가와 함께 체계적인 내진설계 기준 연구가 필수적이다. 국립산림과학원에서는 목조건축물의 내진성능에 대한 연구를 지속적으로 수행하면서 설계기준 개발을 위한 데이터베이스를 구축해 나갈 계획이다.

목조건축물의 지진 피해 조사 결과

진도 M8.4의 알래스카 지진(1964년)은 20세기 북미에서 발생한 가장 큰 지진의 하나로, 앵커리지의 인구밀집지역에서 대규모 지반 진동을 발생시켰다. 지반 침하와 대규모 수평 및 수직의 지반 변위가 동시에 발생하여, 기초와 기초상부의 구조물에 극심한 피해를 입혔으며, 수많은 건축물이 붕괴되고 많은 주민이 사망하였다. 목조건축물은 붕괴된 경사지에서 미끄러져 내려가거나 대규모 지반 운동에 노출된 경우에도 구조완전성을 유지하는 특징을 보여 주었다.

캘리포니아 주 샌페르난도 지진(1971년)은 진도 M6.7로 서 LA 북쪽의 부도심에서 발생하여 많은 단독주택과 아울러 병원, 상업용 건축물에 피해가 발생하였고, 64명의 사망자를 냈다. 보강되지 않은 조적식 4~5층의 군인병원이 붕괴되어 46명의 사망자가 발생했다. 기록된 최대 지표면 가속도를 기준으로 그린 등고선에 따르면 최대 지표면 가속도 0.6g 이상이었던 샌페르난도의 주거지역에서 많은 피해가 발생하였다.

그러나 현대식 목조주택은 성능이 그대로 유지되었으며, 특히 생명 안전 기준이 적용될 때 더욱 그러하였다. 목조주택은 지붕무체가 가볍고 내진구조가 대체로 반영된 구조로 시공되고 있어 지진에 가장 안전한 것으로 판단되었다.

일본 한신 고베 지진(1995년)은 근래에 가장 큰 피해를 본 지진 중 하나로서, 피해액 1조 US\$와 6,000여 명의 사망자가 발생하는 기록을 수립하였다. 리히터 지진계로 규모 M6.8이었다. 최대 지표면가속도는 인구 밀집지역에서 0.8g로 기록되었으며, 남부 고베 등의 지역에서 0.6g의 최대 지표면가속도를 기록하였다. 이 지역은 이 정도 규모의 지진을 예상치 못하였기 때문에, 지진에 대한 준비가 미흡한 채로 건축물이 설계 시공되었다.



캘리포니아 주 샌페르난도 지진(1971)
5층 일반건축물의 파괴

광범위한 피해가 발생한 가운데서도, 많은 신축 건축물은 지진 피해 없이 그대로 보전되어 육안으로 피해상황을 확인할 수 없는 경우가 많았다. 이들 건축물에는 대부분 철골 구조로 지은 고층 건축물과 아울러 2, 3층의 현대식 목조건축물도 포함되어 있었다. 이 지역 목조건축물 중 피해가 가장 컸던 것은 제2차 세계대전을 전후하여 시공된 건축물이었다. 최대 지표면가속도 0.6g 이상의 강진에서, 오래된 주택은 황폐화되었으나 현대 목조건축물, 즉 기둥-보 구조와 경골 목조주택은 심각한 피해 없이 잘 보전될 수 있음이 입증되었다.

국내에 시공되는 목조건축물에 예상되는 피해

국내에 시공되는 목조건축은 일반적으로 북미 등 지진피해 조사 결과를 반영한 건축법에 따라 시공될 뿐 아니라, 목조건축의 우수한 내진성능으로 인하여, 지진피해가 크지 않을 것으로 생각된다. 하지만, 건축법상 주요 구조부와 접합부 상세 등 내진설계규정이 미비하고, 내진설계 및 시공 기술력, 경험이 부족한 상황이다. 특히 다층 목조공동주택을 지을 경우 강진 발생시 피해가 우려되어, 관련 법규의 개정에 따른 시공기술력의 확보가 시급히 요청된다.



수평 가세의 부족에 의한 파괴



고베 지진(1995)
경골 목조주택은 피해가 없으나, 사진 속 아파트는 심한 피해를 받음

내진 설계

목조건축의 내진설계 규정은 2009년 상반기 중 건축구조기준을 개정할 때 반영될 예정이다. 건축물은 건축법과 건축구조기준에 따라 내진설계가 이루어진다. 내진설계는 하중내력의 개념과 설계로부터 시작하여, 시공과 유지·보수 단계까지 이어진다. 이때 주요 고려사항은 다음과 같다. 이 중 대부분의 사항이 준수되어야 하지만, 때로 간과되거나 무시되어 재앙이 발생한 이후에야 문제점이 발견되는 경우가 많다.

불안정한 경사지와 연약 토양층은 기초의 파괴와 건축물의 손상 또는 붕괴로 이어질 수 있다. 외벽에 창문과 개구부가 너무 많아 진동에 저항하는 벽체량이 부족하면, 심각한 피해나 붕괴를 일으키는 '연약층(weak storey)' 현상을 유발할 수 있다. 설계단계에서 접합부 상세를 면밀히 검토하고, 시공단계에서 시공기술력을 향상시키는 것은 건축물이 지진에 저항하는 데 필요한 강도와 일체성을 부여하는 데 필수적인 일이다.

지진에 대비해 향후 국내 목조건축에 필요한 사항
법규정에 적합하게 내진설계된 현대 목조건축물은 건축



신축 현대식 목조건축물은 피해가 없으나 오래된 건축물에서 피해 발생

물의 강도와 강성, 연성 등 구조완전성을 부여한다. 목조건축물은 최대 지표면가속도 0.6g 이상의 대규모 지진에 의한 진동에서도 심각한 피해 없이 견디며, 건축법에 규정된 생명 안전 규정을 만족시킬 수 있음을 보여준다. 지진에 노출된 목조건축물 거의 대부분이 피해 없이 보전된다는 사실은 수많은 지진 결과 보고서에 의하여 입증되고 있다.

최근의 지진에 노출된 목조건축물의 피해가 상대적으로 매우 적은 것으로 나타난 많은 사례 분석결과로 보아, 목조건축물은 지진피해 방지를 위한 엄격한 기준을 충분히 만족시킬 수 있는 구조임에 틀림없다. 다만, 연약층 현상은 건축물의 붕괴와 사상자, 피해를 줄이기 위하여 주의가 필요하다.

건축물의 내진설계는 개념과 설계로 시작하여, 시공과 유지·보수 단계까지 일관되게 이어져야 한다. 설계시 부재와 접합부 상세, 수평 가새, 연약층, 기초와의 접합 등에 의한 수평하중 저항구조에 유의하여야 한다. 시간 흐름에 따라 주택에서 발생하는 열화와 내진성능 손실방지를 위한 유지·보수가 뒤따라야 한다.