



03

필로티형 중저층 RC 구조의 구조성능 평가 및 보강

Evaluation and Retrofit of Pilotitype Lowtomidrise RC Buildings

전성하 SeongHa Jeon
인천대학교 건축학과 박사과정

박지훈 JiHun Park
인천대학교 도시건축학부 부교수

1. 머리말

필로티형 건축물은 우리나라 중저층 주거용 건물인 다세대/다가구 주택에서 많이 볼 수 있는 구조형식이다. 이는 2002년 이후에 주차장 관련 법령이 강화되면서 1층에 필로티 형식의 주차공간을 두는 다세대/다가구 주택이 급격히 늘어나기 시작했다. 다세대/다가구 주택의 층수는 건축법에 의해 3층 또는 4층으로 제한되었으나 필로티형 1층 주차장을 층수에 산입하지 않아 대부분 4층 혹은 5층으로 되어 있다. 2005년 7월에 내진설계 적용범위가 3층 이상의 건물로 변경되기 이전 이들 건물은 내진설계의 사각지대에 있었다. 통상적으로 이와 같은 건물은 필로티 층이 기둥만으로 구성되어 있는 것이 아니라 계단실이 설치된 코어부를 갖는 것이 대부분이다. 반면에 상부층은 보나 기둥 없이 벽체로만 구성되어 있다. 이들 상부층 벽체는 공간의 구획을 위해서 매우 복잡한 단면형상을 갖는다. 또한 상부층의 벽체는 공간 구획을 위해 2층 바닥에서 보가 없는 부분에 설치되는 경우가 빈번하게 발생하며, 셋백을 위해 외벽이 오프셋으로 설치되면서 마찬가지로 하부에 보가 없는 상태에서 슬래브 위에 외벽이 설치되는 경우도 빈번하다. 결과적으로 이와 같은 구조물은 충분히 신뢰할 수 있는 비선형 해석모델의 구축이 어렵기 때문에 비선형 해석을 통해서 거동을 예측하는 것이 매우 어렵다. 따라서 주요 구조요소의 성능에 대한 규명과 함께 현행 성능평가 지침을 적용함에 있어서 발생하는 문제점들을 파악할 필요가 있다. 또한 적절한 보강기법의 제안에 앞서 기존 콘크리트 구조물 보강에 활용되는 후설치 앵커와 관련하여 내진보강 지침에서 고려되어야 할 사항 및 앵커성능의 개선 방안에 대해서도 간략히 짚어보고자 한다.

2. 필로티형 건축물의 내진성능 평가

2.1 내진성능평가 절차

국내에서 일반적으로 많이 적용되고 있는 내진성능평가 지침인 한국시설안전공단 ‘기존 시설물 내진성능 평가 및 향상요령’에 따르면 내진성능평가의 절차는 예비평가, 1단계 상세평가, 2단계 상세평가의 순서로 진행되며, 하위 단계에서 내진성능이 불충분한 것으로 나타나는 경우 상위 단계의 평가방법을 적용하여 내진성능이 충분한 것으로 나타나면 내진성능이 충족되는 것으로 판정하고 그렇지 않은 경우에는 내진보강을 수행하게 된다. 필로티형 다세대/다가구 건

축물의 경우 비정형성으로 인해 예비평가를 적용할 수 없기 때문에 선형동적해석에 의한 1단계 상세평가 또는 선형정적해석에 의한 2단계 상세평가를 수행하여야 한다. 그러나 단순한 필로티 층과는 달리 상부층의 복잡한 형태와 부분적으로만 벽체를 지지하는 전이보는 2단계 상세평가를 어렵게 한다. 따라서 본 연구에서는 1단계 상세평가를 통해 간략히 내진성능 평가를 수행하기 위한 지침을 제시하는 것을 목표로 하고 있다. 특히 이와 같은 건축물은 민간건축물로 비선형해석에 기초한 상세한 내진성능 평가를 적용하기에는 시간과 비용이 많이 소요된다. 따라서 이와 같은 건축물의 내진성능 평가는 상세한 해석보다는 간단한 성능평가를 통해 내진보강의 필요성을 판정하고 가장 취약한 부분을 식별하여 최소한의 보강을 통해 붕괴방지 성능수준을 확보하는 것이 현실적으로 적용 가능한 내진보강 방안이라고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 선형동적해석에 기초한 1단계 상세평가를 하되 필로티 하부구조에서의 벽체와 기둥 사이에서의 하중 재분배를 적용하여 내진성능 평가를 수행하는 방안을 연구하고 있다. 1단계 상세평가는 구조물의 비선형성이 강한 경우 적용할 수 없는 방법이지만 필로티형 건물은 필로티층에 손상이 집중되고 상부층의 피해는 상대적으로 적기 때문에 필로티층의 손상만 충분히 예측할 수 있다면 충분히 적용 가능한 대안으로 판단된다. 또한 비선형 해석을 적용하더라도 필로티층만 비선형 모델링을 적용하고 상부층은 탄성으로 모델링하여 소요되는 시간과 노력을 저감할 필요성이 있다. 본 연구에서는 실제 필로티형 건물의 구조해석 모델을 활용하여 그와 같은 평가 절차의 개발을 수행하고 있으며, 향후 다양한 실제 필로티형 중저층 건물을 대상으로 충분한 검증해석을 수행할 예정이다(그림 1).

2.2 벽체 성능평가 실험 및 모델

필로티형 건물의 하부구조에서 가장 중요한 역할을 하는 수직부재는 코어의 전단벽이다. 벽체의 강성이 기둥에 비해 상대적으로 훨씬 크기 때문에 우선적으로 벽체 대부분은 횡하중이 집중된다. 주변의 기둥부재는 탄성 상태에서 하중을 적게 부담하지만 필로티층의 층간변위가 증가함에 따라 변형 요구량이 증가한다. 기둥

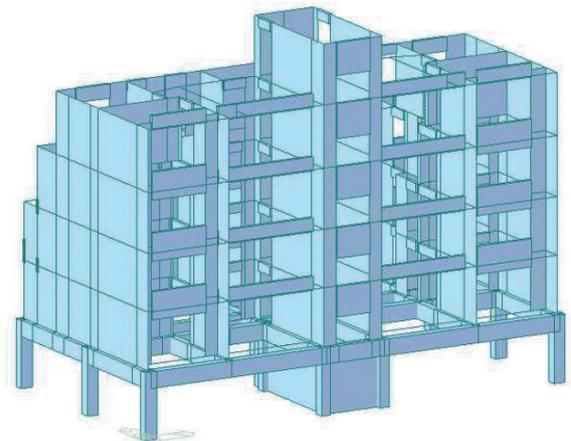


그림 1. 필로티형 중저층 RC 건축물

부재의 변형요구량을 지배하는 것은 기본적으로 강성이 큰 전단벽체이며, 코어의 위치에 따라서 비틀림으로 인해 변형이 증폭될 수 있다. 따라서 전단벽체의 성능을 정확히 평가하는 것이 기둥의 변형요구량을 산정하는데 있어서 중요하다. 한국시설안전공단 '기존 시설물 내진성능 평가 및 향상요령'은 ASCE 4106에 제시된 벽체 모델링 변수를 채택하고 있으며, 철근 이음에 대한 평가방법은 수록되어 있지 않다. 최근에 ASCE 4106이 ASCE 4113으로 개정되면서 모델링 변수들이 일부 개정된 바 있고, 기존의 모델링 변수의 정확도를 평가하고 개정 여부를 판단할 필요성이 발생하였다. 특히 중소규모 다세대/다가구 주택의 건설현장에서는 충분한 이음 길이가 확보되지 못한 채로 시공되는 경우가 많이 있기 때문에 국내 평가 지침에도 이에 대한 고려의 필요성이 제기될 수 있다. 또한 기둥의 변형요구량 평가를 위해서 벽체 강성의 정확한 평가가 요구되므로 변형 증가의 요인이 되는 균열 및 정착부 슬립에 의한 횡변위 등에 대한 고려가 필요하다.

본 연구에서는 단부의 경계조건별로 RC 전단벽 실험체를 제작하여 반복가력 실험을 수행하였다(사진 1). 경계부에 기둥이 있는 경우에는 해당 기둥 하부의 겹침 이음 길이를 규정보다 짧게 제작하였고, 벽체와 기초부는 나누어서 타설하여 최대한 기존 구조물의 시공현장 실무에 근접하게 제작하였다. 전단 균열 발생 이후의 강성저감, 정착부 철근 슬립, 겹침이음 강도 등을 모두 반영한 경우(그림 2)와 같이 실험 결과를 잘 근사화하는 것으로 나타났으며, 이에 반해 시설안전공단의 평가지침은 벽체의 강도와 강성을 모두 과대평가하는 것



사진 1. 단부에 기둥이 있는 전단벽 실험체

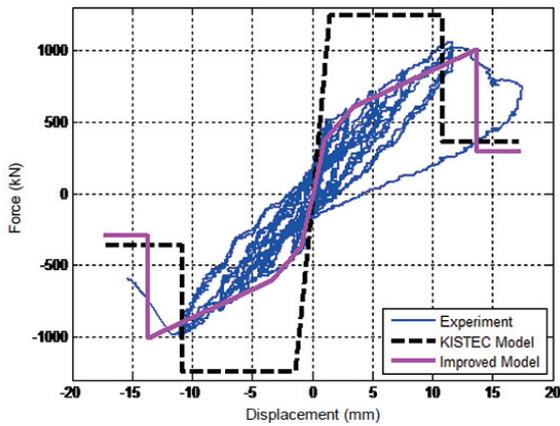


그림 2. 실험결과와 모델의 비교

으로 나타났다. 결과적으로 향후 시설안전공단의 내진 성능평가 지침이 개정된다면 이와 같은 사항들이 반영될 필요가 있으며, 기존의 다른 실험연구 결과와의 비교검증, 개정된 모델이 필로티형 건물의 내진성능에 미치는 영향 평가 등에 대한 연구가 수반되어야 할 것으로 판단된다.

3. 콘크리트용 후설치 앵커

3.1 앵커 성능 검증실험

RC 구조물의 내진보강을 위해서는 경화된 기존 콘크리트와 보강부재의 접합을 위해서 후설치 앵커가 광범위하게 사용된다. 보강부재가 의도한 바의 성능을 발휘하기 위해서는 기존 구조체와의 접합부가 충분한 강성 및 강도를 갖고 있어야 한다. 본 연구에서는 국내에서 시판되고 있으면서 시험보고서를 구비한 부착식, 확

장형 및 언더컷 앵커를 대상으로 대표적인 앵커성능시험 지침인 ACI 355 및 ETAG 001의 규정에 맞춰 균열 콘크리트에서의 반복가력 시 앵커성능 실험을 수행하였다(사진 2). 이를 통해 높은 강도의 변동성을 확인할 수 있었으며, 앵커의 종류에 따라서는 10~20mm의 큰 변위가 발생할 수 있음을 확인하였다. 특히 부착식 앵커의 경우에 여러 실험에서 예상보다 작은 강도와 큰 변위가 발생하여 친공 후 분진 제거 등에 있어 철저한 관리가 요구되는 것으로 나타났다.

앵커 관련 기준은 현재 ACI 31814에서 정식 챕터로 편입되었고 부착식 앵커까지 다루고 있으나 2012년에 개정된 국내 콘크리트구조기준에서는 아직 부록에 수록되어 있고 내진보강 실무에서 널리 활용되고 있는 부착식 앵커는 다루지지 않고 있는 실정이다. 따라서 향후 콘크리트구조기준의 지속적인 보완이 필요할 것으로 판단된다. 또한 균열 콘크리트에서 반복하중에 대한 성능을 발휘해야 하는 내진보강용 앵커의 특성상 요건을 갖춘 성능시험 결과의 구비는 필수 요건이기 때문에 향후 내진보강 지침에서는 제3차 검토 등을 통해서 이를 반드시 확인할 수 있도록 규정할 필요성이 있다.

3.2 앵커 변위 및 강도감소계수

통상적으로 내진성능평가에 있어서는 기존부재와 보강부재의 접합부가 별도의 요소로 모델링되지 아니한다. 즉, 완전한 강접합을 가정하고 구조해석이 수행된다. 그러나 실질적으로 내진 보강 시 기존 구조체와 보강부재의 접합부에서 많은 변형이 발생하여 보강부재에 힘이 전달되지 않고 강성 및 강도 증대 효과가 저하됨이 여러 실험결과를 통해 보고된 바 있다. 그러나



사진 2. 앵커 전단성능 실험

ASCE 4113을 비롯해서 ‘기존 시설물 내진성능 평가 및 향상요령’에 이르기까지 내진성능평가 지침들은 후설치 앵커 접합부에 강도저감계수를 적용하지 아니하고 있다. 통상적으로 후설치 앵커의 공칭강도가 90% 신뢰도에 대한 5% 유의수준에 상응하는 실험기반 특성강도로 정해지고는 있으나 공칭강도에만 맞춰서 설계하는 경우 앵커 변위의 제한은 보장할 수 없다. 특히 전단의 경우에는 10~20mm 내외의 큰 변위가 실험에서 관찰되었다. 이는 보강 부재의 양쪽 단부에 앵커접합부가 적용됨을 감안하면 1% 내외의 층간변위비 수준까지도 앵커접합부의 변형에 의해 지배될 수 있음을 의미한다. 따라서 앵커의 변위를 제한할 필요가 있으나 앵커의 시험보고서는 발행기관에 따라 변위에 대한 정보를 제공에서 제시하고 있는 경우도 있고 그렇지 않은 경우도 있다. EOTA(European Organization for Technical Approvals)에서 발생하는 앵커 시험평가 보고서에서는 사용하중에서의 변위 정보를 제시하고 있으나 ICC(International Code Council)에서 발행하는 보고서에서는 변위 정보가 제공되지 않는다. 또한 현재로서는 변위를 고려한 설계법이 제시되어 있지 않은 상황이다. 따라서 앵커의 변위를 제한하기 위해서는 앵커접합부를 별도의 구조요소로 모델링하지 않는 한 충분한 접합부 강성 확보를 위해서 신축구조물과 마찬가지로 앵커접합부에 강도감소계수를 적용하여 설계하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

또한 앞서 설명한 앵커 성능실험에서 공칭강도에 미달하는 시편이 있었으나 대체로 강도감소계수를 적용한 설계 강도는 충족하였기 때문에 시공 시 품질관리 수준을 감안하여 기존 건축물의 내진성능 평가에 있어서 후설치 앵커에 관한 강도감소계수의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 앵커 전단성능 향상

전단에 의해 저항하는 앵커는 주로 <그림 3>과 같이 파단 전에 앵커 주변부 콘크리트가 압괴되어 강성이 저하된다. 앞서 언급한 바와 같이 보강부재의 접합부는 충분한 강성을 확보하는 것이 핵심이다. 따라서 앵커의 전단성능을 향상시키기 위한 방법으로 기존 앵커에 너트를 체결하여 보강하는 방법을 제안하였다. <사

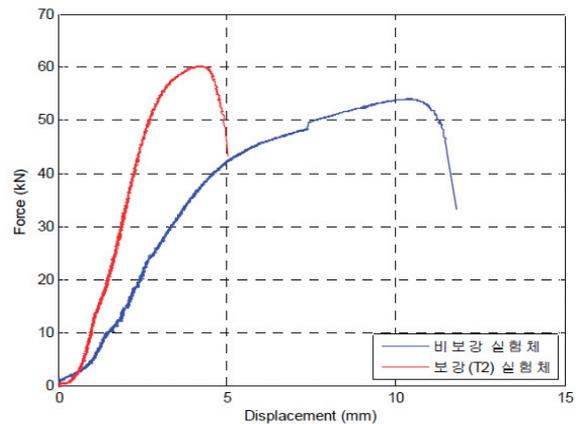
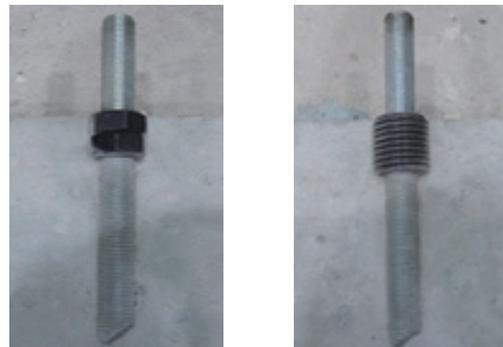


그림 3. 앵커 전단성능 향상 효과



(a) 일반 고력 너트 이용 (b) 나사산 가공 너트 이용

사진 3. 앵커 전단성능 향상공법

진 3)과 같이 일반 고장력 너트로 보강하는 방법과 별도로 제작된 양면 나사산 너트로 보강하는 방법을 제안하였다. 전자는 별도의 제작비용이 들지 않으므로 비용 측면에서 유리한 반면 후자는 보강너트와 증대부의 부착이 향상되는 장점이 있다. 실제 실험결과 강성은 2배 내외로 향상되고 강도는 20% 정도의 소폭 증가효과가 있는 것으로 나타나 접합부의 강성 증진을 통해 내진보강 효과의 신뢰도 향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 맺음말

지진재해 대책법이 2009년에 제정되어 내진보강 시행의 법적근거가 마련되고 다수의 학교 및 관공서 건물을 중심으로 내진보강이 시행되어 오고 있다. 그러나 지진에 취약한 필로티 형식이 가장 많이 발견되는 다세대/다가구 주택은 도시 주거지역의 큰 부분을 차지하고 있고, 규모상 내진설계 대상에서 상당기간 동안 제외되

어 왔음에도 불구하고 민간 건축물의 특성상 법적으로 내진보강을 강제할 수 없기 때문에 여전히 많은 건축물들이 지진 재해에 무방비 상태로 노출되어 있다. 비록 우선순위에 있어서 공공건축물이 갖는 중요성을 무시할 수 없지만, 많은 인구가 거주하고 있는 민간건축물 또한 언제 올지 모르는 지진 피해에 대해서 경각심을 갖고 대비하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 경제적인 보강공법의 개발 및 그 적용을 위해 기술과 제도 측면에서 다각도의 노력이 필요할 것이다. 

담당 편집위원 : 엄태성(단국대학교) tseom@dankook.ac.kr



전성하 박사과정은 현재 인천대학교 건축학과에서 박사과정에 재학중이다. 내진공학연구실에서 다양한 연구 프로젝트와 실무에 참여하고 있으며, 현재 필로티형 철근콘크리트 건축물 구조성능 평가 및 보강 기술 개발에 관한 연구에 참여하고 있다.
wings616@inu.ac.kr



박지훈 교수는 서울대학교 건축학과에서 불규칙 기전에 대한 동적응답의 확률분포에 기초한 건축구조물의 진동 제어 연구로 박사학위를 취득하였으며, 현재 인천대학교 도시건축학부 교수로 재직하고 있다. 주요 연구분야는 진동 제어, 내진설계, 내진성능평가 및 보강, 콘크리트용 후설치 앵커 등이며, 우리 학회 정회원으로서 활동하고 있다.
jhpark606@inu.ac.kr

콘크리트학회지 광고료 인상 안내

우리 학회 콘크리트학회지는 1989년 창간 이후 매호 평균 3,500부를 격월간으로 발간, 관련 학계 연구자 및 업계 전문가에게 보급하여 콘크리트 공학기술의 발전에 크게 기여하고 있습니다.

이번 학회지편집위원회에서는 콘크리트학회지 발간 부수 증가 및 관련 업계의 학회지 인지도 상승 등의 이유로 그동안 학회지 발간 초창기부터 유지하던 광고료를 2015년도 제2차 학회지편집위원회 의결로 아래와 같이 인상하기로 하였습니다.

학회지 광고 수익을 통하여 학회지 종이 인쇄본의 질적인 향상뿐만 아니라 pdf 파일 및 e-magazine 제공 등으로 다양한 디지털 매체 환경 변화에 따른 회원 여러분의 요구에 부응하고 내용면에서도 관련 연구자 및 현장에 계신 회원 여러분께 도움이 되는 학회지를 발간하도록 하겠습니다. 

광고비 인상 시기

2015년 6월 계약분부터 ~

광고비 인상 내역

게재면	금액	게재면	금액
표 2	120만원	간지 1	110만원
표 3	120만원	간지 2 ~	100만원
표 4	150만원	내지	70만원

사단법인 한국콘크리트학회

TEL : (02)568-5984~7 FAX : (02)568-1918 <http://www.kci.or.kr>