

# 노후 RC 건물의 내진 보강

## Seismic Retrofit of Old Reinforced Concrete Buildings

휘 짜안 축\* · 박 종 열\*\* · 김 진 구\*\*\*

Huynh, Chanh Trung · Park, Jongyeol · Kim, Jinkoo

### 요 약

본 논문에서는 비내진 설계된 철근콘크리트 골조로 이루어진 저층의 노후공동주택의 내진성능을 향상시키기 위한 구조물의 보강방법에 대해 연구하였다. 이를 위하여 비선형 정적 해석과 시간 이력 해석을 수행하여 추가되는 철골 모멘트골조와 가새의 내진보강 효과를 검증하였다. 해석결과에 따르면 H150×150×6×8로 구성된 철골 모멘트골조는 탄성구간에서는 하중의 약 1%, 구조물이 항복한 이후, 최대 3.5%까지 하중을 부담하여 자체적으로 지진하중에 대한 저항 성능은 크지 않았다. 그러나 철골 모멘트골조와 가새를 동시에 사용함으로써 접합부의 조기 파괴를 방지하고 구조물의 내진성능을 큰 폭으로 증진시킬 수 있는 것으로 나타났다.

**keywords** : 내진 보강, 비좌굴 가새, 철근 콘크리트

## 1. 서 론

가새 골조는 구조물에 탄성거동을 전제로 하여 풍하중에 대한 구조물의 저항 성능을 확보하기 위한 효과적인 시스템이나, 지진과 같은 극한의 하중이 작용할 경우 가새의 좌굴로 인해 횡력 저항 성능이 급격히 감소한다. 이에 비하여 비좌굴 가새는 부재의 항복 이후에도 큰 변위가 발생할 때까지 안정적인 거동을 지속함으로써 일반 가새에 비해 더 많은 에너지를 소산하므로, 지진과 같은 극한 하중에 대해 더 뛰어난 성능을 나타낸다. 철근 콘크리트 골조 (이하 RC 골조)의 경우 보강재를 연결하기 위해 콘크리트에 앵커볼트를 삽입하여 강판을 고정하고, 강판에 가새를 용접하여 설치한다. 그러나 RC 구조물, 특히 노후되어 균열이 발생하였거나 콘크리트의 강도가 저하된 구조물의 경우 가새와 같은 보강재가 충분히 하중에 저항하기 전에 접합부에 큰 응력이 집중하여 접합부의 파괴가 발생할 수 있으며, 이로 인하여 보강재의 성능을 발휘하지 못하는 결과가 나타날 수 있다.

본 논문에서는 범용 유한요소해석프로그램인 ABAQUS CAE (2006)를 이용한 유한요소 해석을 통해 중력 하중만을 고려하여 설계된 저층의 RC 건축물을 가새만으로 보강할 경우 접합부의 파괴 거동을 관찰하고, 철골 골조의 추가 설치 필요성을 검토하였다. 또한 Midas Gen (2006)을 이용하여 해석 모델의 비선형 정적 및 동적해석을 수행하고, 추가되는 철골조와 비좌굴 가새의 내진 보강 효과를 검증하였다.

## 2. 예제 구조물의 설계

\* 학생회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 hctews@yahoo.com

\*\* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정 hotji0914@naver.com

\*\*\* 정회원 · 교신저자, 성균관대학교 건축공학과 정교수 jkim12@skku.edu

내진 설계가 되지 않은 기본 예제구조물은 3층 3경간 철근 콘크리트 구조물로 평면과 입면은 그림 1과 같다. 예제모델은 고정하중  $6.0\text{kN/m}^2$ , 활하중  $2.5\text{kN/m}^2$ 의 중력하중에 대하여 설계기준(KBC 2005)을 만족하도록 설계되었다. 구조물의 설계에는 설계강도 18 MPa의 콘크리트와 강도 400 MPa의 SD40 철근을 사용하였다. 각 경간은 모두 6m이며, 층고는 3.5m로 전 층이 동일한 층고를 갖도록 설계 하였다. 해석모델은 저층 구조물이며 기둥에 큰 중력하중이 작용하지 않기 때문에 기둥은 최소철근비인 1%의 철근비로 설계하였다.

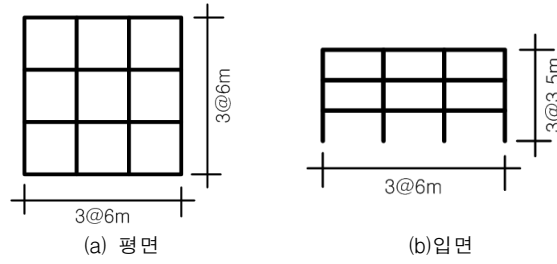


그림 1. 예제 해석모델의 평면과 입면

내진보강을 위한 가새는 그림 2와 같이 중앙 경간에 대각선 형태의 가새와 역 V형 가새의 두 가지로 설계하였다. 보강설계는 지진하중에 대한 설계 기준을 만족하도록 하였다 (설계스펙트럼 가속도  $S_{DS} = 0.44g$ ,  $S_{D1} = 0.23g$ , 지반조건 C, 내진설계범주 D, 중요도계수 1.0, 반응수정계수 3.0).

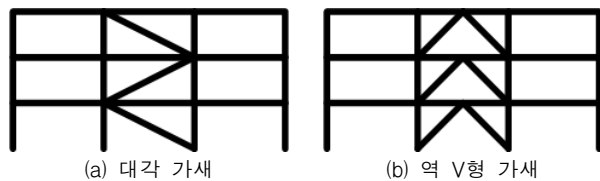


그림 2. 가새의 설치 형태

보강재는 SS400 강재를 사용하여 설계하였다. 일반 가새의 경우 정사각형 각형강관을 사용하고, 비좌굴 가새는 각형강봉을 심재로 구성하고 각형강관으로 좌굴에 대해 구속하는 형식의 비좌굴 가새를 사용하였다. 비좌굴 가새는 AISC/SEAOC (2001)에서 제시하는 단면 설계방법에 따라 가새의 단면을 설계하였다. 보강용 철골 모멘트골조는 H150×150×6×8로 구성하였다. 표 2는 적용된 가새의 크기 및 강도를 나타낸다. 비좌굴 가새의 크기는 압축 항복강도가 일반 가새의 좌굴강도와 유사하도록 결정하였다. 이러한 경우 일반가새의 인장강도 및 강성은 비좌굴가새 보다 크게 나타나게 된다. 외부 보강재의 구속효과를 고려하여 비좌굴 가새의 압축강도는 인장강도에 비해 약 10% 정도 더 크게 적용하였다.

### 3. 보강된 모델의 내진성능 평가

중앙 경간에 철골 프레임을 설치하고 가새로 보강을 한 경우 하중-변위 관계 및 소성힌지 분포를 그림 3-6에 나타내었다. 그림 3과 5(a)는 역V형 일반 가새로 보강한 경우 소성힌지 분포양상을 나타내며, 하중이 증가하며 1층에 위치한 압축가새가 먼저 좌굴한 뒤 1층 콘크리트 보에 소성힌지가 발생하였다. 이것은 일반 가새가 설치된 경우 압축가새의 좌굴 이후 인장가새와의 강도 차이로 인한 수직방향 불균형력 (unbalanced

force)의 영향으로 1층 중앙 경간에 위치한 보의 중앙부가 항복하기 때문이다. FEMA 356 (2000)에 따라 철골 가새의 최대 압축 변위를 좌굴변위의 1.5배로 정의하여 바로 좌굴 이후에도 어느 정도 강도를 일부 유지하도록 모델링하였다. 결과적으로 압축가새가 좌굴하중에 도달하고 콘크리트 보의 항복이 진행된 후 압축가새가 파괴 상태에 이르러 구조물의 내력이 급격하게 감소하는 결과를 나타내었다. 압축가새의 파괴와 동시에 콘크리트 기둥 부재들에 소성현지가 발생하였다. 압축가새의 파괴와 콘크리트 기둥의 항복 이후, 압축가새의 변형이 극한값에 도달하여 압축가새의 내력이 완전하게 제거됨으로써 전체 구조물의 강도가 저하되는 결과를 나타내었다. 그 이후 2층의 압축가새가 좌굴하고, 1층 철골 기둥의 하단부가 항복하였다. 철골 프레임의 경우 전체 횡하중에 비해 매우 작은 부분에 대해서 저항하고, 2층의 가새는 1층의 가새에 작용하는 하중에 비해 극히 미비한 양이기 때문에 전체 구조물의 강성을 감소하는데 영향을 미치지 못하였다. 1층 좌측의 두 콘크리트 기둥의 하단부에서 소성현지가 발생하고, 이후 1층의 두 우측 경간의 기둥이 우측부터 차례로 파괴되어 전체 구조물의 강도가 감소하였다. 1층 기둥 하단부의 기둥 파괴 이후 1층 모든 콘크리트 기둥과 철골 기둥의 양단부에 소성현지가 발생하였으며, 곧 인장가새가 극한 변형 상태에 이르러 1층의 모든 부재가 횡력에 대한 저항 능력을 완전히 상실함으로써 구조물이 붕괴되었다. 보강이 되지 않은 기본 RC 모델에 비하여 최대 강도가 두 배 이상 증가하였지만, 전체적으로 대부분의 소성현지가 1층 부재에 집중됨으로써 약층이 형성되어, 비좌굴가새가 설치된 경우에 비하여 구조물의 최대 강도가 작게 나타남을 알 수 있다. 그림 4와 6은 중앙 경간에 대각형 일반 가새와 BRB로 보강한 모델의 하중-변위 관계 및 소성현지 발생양상을 나타낸다. 해석 결과에 따르면 역V형 일반가새가 설치된 경우와 같이 소성현지가 1층에 집중되어 발생하였으며, 최대 강도가 역V형 가새가 설치된 경우 보다 작게 나타났다. 중앙 경간에 대각 비좌굴 가새로 보강한 경우 1층 콘크리트 보와 기둥에 소성현지가 발생한 후 1층 가새가 항복하였다. 비좌굴 가새 부재는 동일한 압축 강도를 갖는 일반 가새에 비해 강성이 작기 때문에 콘크리트 부재에 더 큰 하중이 작용하여 일반 가새가 설치된 경우에 비하여 콘크리트 부재가 먼저 항복하는 결과를 나타내었다. 1층의 콘크리트 보, 기둥과 가새가 항복한 이후, 중앙 경간의 좌측 기둥이 가장 먼저 파괴에 이르렀다. 이는 콘크리트 기둥 옆에 설치된 철골 기둥으로 인해 휨에 의한 콘크리트의 압축대가 철골기둥에 집중되어 기존 콘크리트 기둥은 인장력이 크게 작용하여 파괴가 일찍 발생하였다. 반면, 중앙 경간의 우측 기둥은 압축력이 크게 작용하여 4개의 기둥 중 가장 늦게 파괴되었다. 1층 모든 기둥의 상, 하단부가 모두 파괴된 이후 압축가새가 파괴 상태에 도달하여 구조물의 내력을 완전히 상실하였다. 비좌굴 가새가 적용된 경우, 일반 가새가 설치된 경우에 비하여 강성은 약간 작지만 최대 강도와 연성도가 크게 증가하는 것으로 나타났다. 전체적인 거동은 역V형 비좌굴가새가 설치된 경우와 유사하며, 일반가새가 설치된 경우와 비교하여 소성현지가 더 많은 부재로 분산되어 발생하였다.

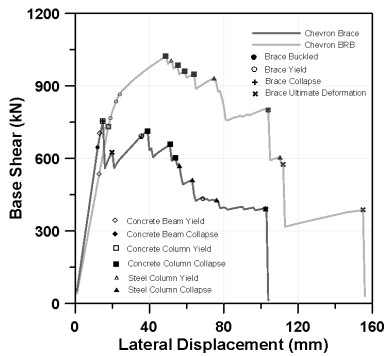


그림 3. 역 V형 가새 보강 골조의 Pushover Curve

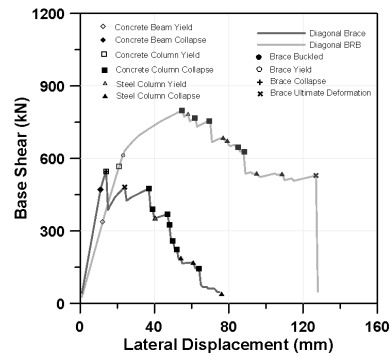
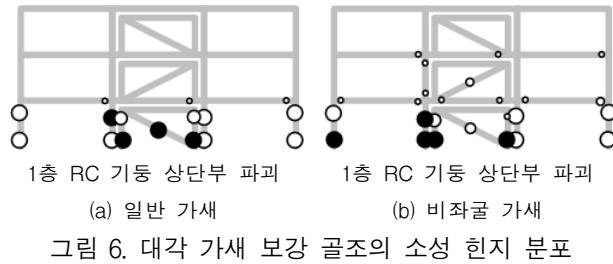
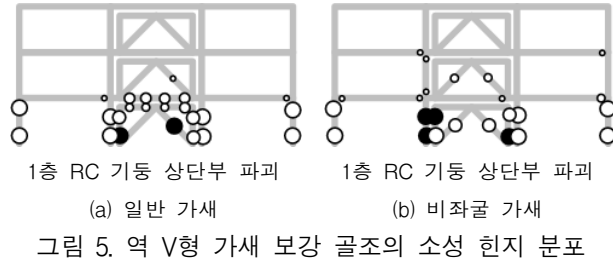


그림 4. 대각 가새 보강 골조의 Pushover Curve



#### 4. 결 론

노후 RC 구조물과 고강도의 철골가새를 앵커볼트를 이용하여 직접 접합하는 방식은 가새의 접합부에 국부적인 파괴를 야기할 수 있다. 이를 방지하기 위해 추가적인 철골 모멘트골조를 설치하고 가새를 연결하여 가새의 부재력이 기존 구조체에 분산되어 전달되도록 함으로써 국부적인 파괴를 방지할 수 있다. 해석결과에 따르면 H150×150×6×8로 구성된 철골 모멘트골조는 탄성구간에서는 하중의 약 1%, 구조물이 항복한 이후, 최대 3.5%까지 하중을 부담하여 자체적으로 지진하중에 대한 저항 성능은 크지 않았다. 그러나 철골 모멘트골조와 가새를 동시에 사용함으로써 접합부의 조기 파괴를 방지하고 구조물의 내진성능을 큰 폭으로 증진시킬 수 있는 것으로 나타났다. 특히 좌굴이 방지된 비좌굴 가새를 사용함으로써 소성변형이 한 층에 집중되지 않고 더욱 많은 부재들이 횡력에 저항하는데 참여하도록 하여 좀 더 큰 내진 보강 효과를 얻을 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2005년도 건설핵심 기술연구개발사업(C105A1050001-05A0505-00210)에 의한 것임.

#### 참고문헌

ABAQUS CAE (2006), General Finite Element Analysis System for Windows, 2005.

Midas Genw (2006), General Structure Design System for Windows, 2006.

Korea Building Code (2005), Architectural Institute of Korea, 2005.

AISC/SEAOC (2001), Recommended Provision for Buckling- Restrained Braced Frames, Structural Engineers Association of Northern California, 2001

FEMA 356 (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-356, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.