

가새와 강골조를 이용한 저층 RC 구조물의 내진보강

Seismic Retrofit of Reinforced Concrete Structures Using Steel Braces and Moment Frames

휘 짜안 촘* 박 경 훈** 김 진 구†
Huynh, Chanh Trung Park, Kyounghoon Kim, Jinkoo

요 지

본 연구에서는 가새와 강골조를 이용하여 철근콘크리트 모멘트 골조의 내진성능을 보강하는 방법에 대하여 연구하였다. 해석모델은 중력하중에 대해서만 설계된 3층 3경간의 RC 모멘트 골조 건물이다. 먼저 유한요소해석을 이용하여 RC 구조물과 가새 접합부의 응력/변형 분포 상태를 파악하고, 접합부의 응력 집중현상을 방지하기 위하여 철골 모멘트골조를 추가하여 보강설계를 수행하였다. 내진보강을 위한 가새는 일반 철골 가새와 비좌굴 가새의 두가지 종류의 가새를 적용하고, 보강 전후 구조물의 강도 및 연성도를 비선형 정적 및 동적해석을 통해 비교하였다. 해석결과에 따르면 추가되는 철골 모멘트골조와 가새를 동시에 사용할 경우 구조물의 강도 및 연성능력의 증가에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다. 추가되는 철골 모멘트골조는 단면이 크지 않을 경우 강도의 증가에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 내진보강, 비좌굴 가새, 철근콘크리트

Abstract

In this study a seismic retrofit scheme for the reinforced concrete moment framed structures was investigated using steel bracing and moment frames. The analysis model structure is a 3-story 3-bay moment frame structure designed only for gravity load. The stress/strain concentration in brace-RC frame connection was investigated using finite element analysis. To prevent premature joint failure, steel moment frames were placed inside of middle bay of the RC frame. Two types of braces, steel braces and buckling restrained braces(BRBs), were used for retrofit, and the ductility and the strength of the structure before and after the retrofit were compared using nonlinear static and dynamic analyses. According to the analysis results, the strength and ductility of the structure retrofitted by the moment frames and braces increased significantly. The added steel frame did not contribute significantly to the increase of lateral strength mainly because the size is relatively small.

Keywords : seismic retrofit, buckling restrained brace, reinforced concrete

1. 서 론

지진과 같이 극한 하중에 대하여 구조물의 안전성을 보장하기 위하여 구조물의 강도와 안정적인 에너지의 소산능력이 매우 중요하다. 특히 내진설계가 되지 않은 RC 건물의 경우 지진에 취약할 수 있으며, 내진성능을 향상하기 위한 다양한 보강 방법이 적용되고 있다(Moehle, 2000). 그 중에서 가새를 설치하여 보강하는 방법은 노후되어 균열이 발생하였거

나 콘크리트의 강도가 저하된 구조물에 적용될 경우, 가새가 충분히 하중에 저항하기 전에 RC 구조-가새 접합부에 큰 응력이 집중하여 접합부의 파괴가 발생할 수 있으며, 이로 인하여 보강재의 성능을 발휘하지 못하는 결과가 나타날 수 있다.

본 논문에서는 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS CAE(ABAQUS, 2005)를 이용한 유한요소해석을 통해 중력하중만을 고려하여 설계된 저층 RC 건물의 가새 접합부의

† 책임저자, 종신회원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수
Tel: 031-290-7563 ; Fax: 031-290-7570
E-mail: jkim12@skku.edu

* 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정

** (주)CH엔지니어링 주임

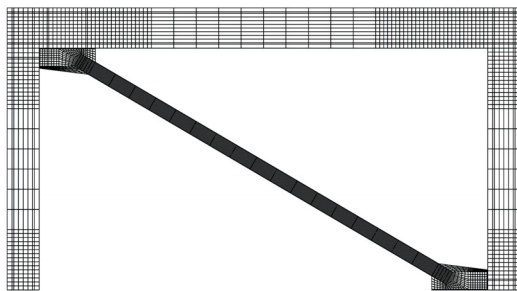
• 이 논문에 대한 토론을 2010년 12월 31일까지 본 학회에 보내주시면 2011년 2월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

파괴 거동을 관찰하고, 철골 골조의 추가 설치 필요성을 검토하였다. 또한 Midas Gen(Midas, 2006)을 이용하여 해석 모델의 비선형 정적 및 동적해석을 수행하고, 추가되는 철골조와 비좌굴 가새의 내진 보강 효과를 검증하였다.

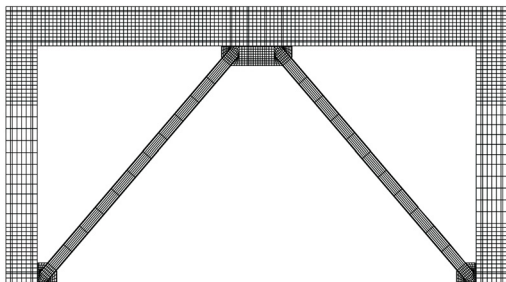
2. 단층 RC 골조의 유한요소해석

철근콘크리트 구조물을 가새로 보강할 경우 가새 구조물 접합부의 응력 및 변형상태를 파악하기 위하여 그림 1과 같은 1층 1경간의 RC 골조를 ABAQUS를 이용하여 유한요소 해석을 수행하였다. 해석 모델의 높이와 경간은 각각 3.5m와 6m, 보와 기둥의 크기는 400X400mm이며, 3차원 솔리드 요소로 모델링하였다. 그림 1(a)와 (b)는 RC 골조를 철골 대각 가새와 역V형의 가새로 보강한 형태이다. 가새 부재는 H-150×150×7/10으로 구성하였다. 가새와 기존 구조물은 접합부에서 앵커볼트로 연결하였다. 콘크리트와 철근의 이력모델은 그림 2와 같다. 해석에 사용된 콘크리트와 철근의 강도는 각각 18MPa 및 400MPa이다. 콘크리트의 강도식은 Mander 등(1988)이 제안한 식을 사용하였으며, 철근의 항복 후 강성비는 3%를 사용하였다. 가새에 사용된 철재는 철근과 동일한 재료 이력 모델을 사용하였다. 콘크리트의 한계 압축변형율은 띠철근의 구속효과를 고려하여 0.007로 설정하였다(Park 등, 1975).

그림 3은 수평 변위 7mm에서 각 모델의 보-가새 접합부



(a) 대각 가새 보강

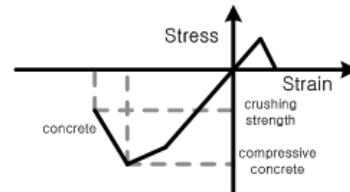


(b) 역 V형 가새 보강

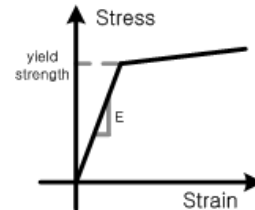
그림 1 유한요소해석 모델

의 변형률을 나타낸 것이다. 전체 모델의 해석결과 큰 압축 변형은 전체 구조물 중에서 극히 일부분에서만 나타나기 때문에 그림 3과 같이 부분적으로 확대하여 표현하였다. 변형률 0.007이상의 변형에서는 콘크리트의 압축 파괴가 발생하므로 이를 확인하기 위해 압축변형률을 0부터 0.007까지 구분하고, 변형이 많이 일어나는 부분을 점차적으로 짙게 표현하였다. 그림 3의 결과에 따르면 대각 가새와 역 V형의 가새만으로 보강이 된 경우에는 접합부에 국부적인 압축 파괴가 좀 더 광범위하게 진행되었다.

표 1은 가새로 보강된 해석모델의 좌측 상단부에 횡력을 가하고 비탄성 정적해석을 수행한 결과이며, 콘크리트가 한계 변형률($\epsilon_{cu}=0.007$)에 이르렀을 때의 수평변위와 인장 철근의 최대 응력, 가새에 작용하는 최대 축력을 나타내었다.

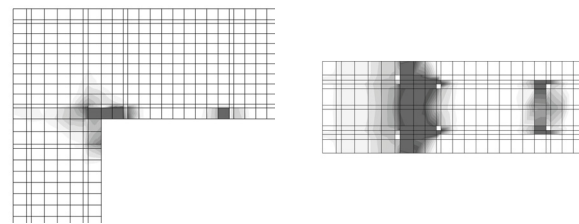


(a) 콘크리트

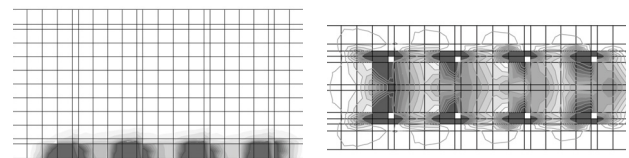


(b) 철근

그림 2 콘크리트와 철근의 응력



옆면 밀면 (a) 대각 가새 보강 모델의 보-가새 접합부



옆면 밀면 (b) 역 V형 가새 보강 모델의 보-가새 접합부

그림 3 각 접합부의 압축변형(수평 변위 7mm)

표 1 보-가새 접합부에서 콘크리트가 한계 변형률에 도달할 때의 수평변위와 철근 및 가새의 응력

해석 모델	수평 변위 (mm)	철근의 최대 인장 응력 (N/mm ²)	가새의 축력 (P/Pcr)
대각 가새	5.6	174.7	0.883(압축)
역V형 가새	4.5	103.0	0.335(인장) 0.657(압축)

표 2 예제 구조물의 부재 크기 및 철근 배근 (단위:mm)

(a) 기둥

기둥 단면	철근 배근
400 × 400	4-D25(D10@200)

(b) 보

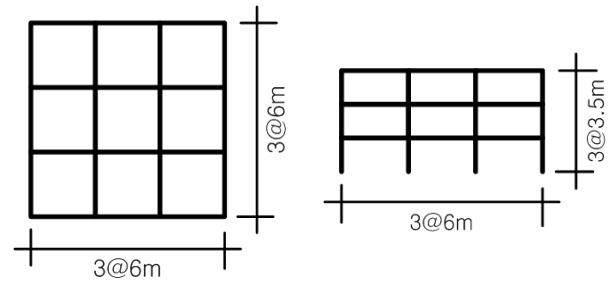
보 단면	철근 배근			
	400 × 500	단부	상부근	3-D19
하부근			2-D19	
중앙부		상부근	2-D19	
		하부근	3-D19	

대각가새로 보강된 경우 수평 변위 5.6mm에서 접합부 콘크리트의 변형률이 한계 변형률에 도달하였으며, 이 때에 철근에 작용한 최대 응력이 174.7 N/mm², 가새에 작용한 축력은 676kN으로 좌굴하중의 88%로 나타났다. 이 결과로부터 대각 가새로 보강한 경우, 기존 RC 구조물과 철골 보강재 모두 탄성상태에서 접합부 콘크리트의 국부적인 파괴가 시작되었음을 알 수 있다. 보-가새의 접합부가 보 경간의 중앙에 위치하는 역 V형 가새로 보강한 모델(그림 1(b))의 경우에는 보-기둥 접합부에 보-가새 접합부가 위치하는 대각 가새에 비해 더 작은 변위에도 콘크리트의 한계 변형률 이상의 압축변형이 발생하였다. 대각 가새가 설치된 경우와 동일하게 가새-보 접합부 앵커볼트 주변에 콘크리트의 최대 강도에 도달한 이후 콘크리트의 한계 변형률을 초과하는 압축변형이 발생하였으며, 이 때 다른 부재의 항복이나 좌굴은 발생하지 않은 것으로 나타났다. 이와 같이 노후된 RC 건물의 경우 콘크리트의 낮은 강도와 기존의 미세 균열로 인하여 가새 접합부의 조기 파괴가 발생함으로써 가새의 보강 효과가 반감될 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 RC 골조 내부에 철골 프레임을 설치하고, 가새를 철골 프레임에 연결함으로써 내진성능 평가 과정에서 접합부의 파괴를 배제하였다.

3. 비선형 정적해석을 통한 거동 평가

3.1 해석모델의 설계

내진설계가 되지 않은 기본 예제구조물은 3층 3경간 철근



(a) 평면 (b)입면
그림 4 예제 해석모델의 평면과 입면

콘크리트 구조물로 평면과 입면은 그림 4와 같다. 예제모델은 고정하중 6.0kN/m², 활하중 2.5kN/m²의 중력하중에 대하여 설계기준을 만족하도록 설계되었다(KBC, 2005). 구조물의 설계에는 설계강도 18MPa의 콘크리트와 강도 400MPa의 SD40 철근을 사용하였다. 각 경간은 모두 6m이며, 층고는 3.5m로 전 층이 동일한 층고를 갖도록 설계하였다. 해석모델은 저층 구조물이며 기둥에 큰 중력하중이 작용하지 않기 때문에 기둥은 최소 철근비인 1%의 철근비로 설계하였다.

3.2 예제구조물의 내진보강

위에서 RC 구조물에 철골가새가 설치된 경우 부재의 항복이나 좌굴이 발생하기 이전에 접합부 앵커볼트의 주변에서 압축파괴가 발생할 수 있는 것으로 나타났다. 이를 방지하기 위하여 가새와 보를 직접적으로 연결하지 않고 접합부의 집중하중을 전 부재로 분산하는 역할을 하는 철골 모멘트골조를 RC 골조의 내부에 추가하였다.

가새는 중앙 경간에 대각선 형태의 가새와 역 V형 가새의 두 가지로 설계하였다. 보강설계는 지진하중에 대한 설계 기준을 만족하도록 하였다(설계스펙트럼 가속도 $S_{DS}=0.44g$, $S_{DI}=0.23g$, 지반조건 C, 내진설계범주 D, 중요도계수 1.0, 반응수정계수 3.0). 보강재는 SS400 강재를 사용하여 설계하였다. 보강용 철골 모멘트골조는 H150×150×6×8로 구성하였으며, 가새는 B150×150×6 각형 강관을 사용하였다. 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 나타내는 것으로 알려져 있다(Tremblay 등, 1999). 본 연구에서는 AISC/SEAOC(2001)에서 제시하는 단면 설계방법에 따라 비좌굴 가새의 단면을 각형 강봉으로 설계하였다. 표 3은 적용된 가새의 크기 및 강도를 나타낸다. 비좌굴 가새의 크기는 압축 항복강도가 일반 가새의 좌굴강도와 유사하도록 결정하였다. 이러한 경우 일반 가새의 인장강도 및 강성은 비좌굴

표 3 보강재의 부재 단면 크기와 항복 하중

	설치 형태	보강재의 단면 크기	항복 하중(kN)	
			인장	압축
일반 가새	대각	B150×150×6	790	399
	역 V형	B150×150×4	549	411
비좌굴 가새	대각	■ 40×40	376	413
	역 V형			

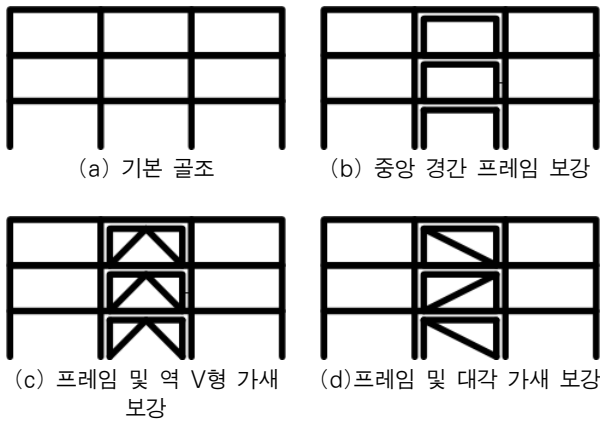


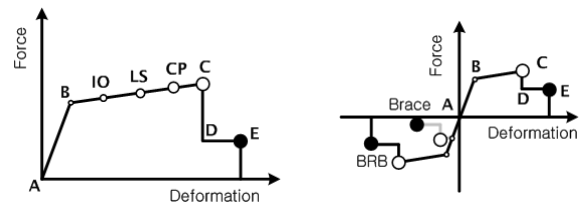
그림 5 해석 모델의 형태

가새 보다 크게 나타나게 된다. 외부 보강재의 구속효과를 고려하여 비좌굴 가새의 압축강도는 인장강도에 비해 약 10%정도 더 크게 적용하였다.

그림 5는 보강 되지 않은 기본 RC 골조 및 중앙경간에 철골 모멘트골조로 보강한 구조물(그림 5(b)), 중앙 경간에 철골 모멘트골조와 역 V형 가새를 보강한 경우(그림 5(c)), 철골 모멘트골조와 대각가새를 보강한 경우(그림 5(d)) 등 총 4개의 해석 모델을 나타낸다. 가새는 일반 가새와 비좌굴 가새 두 가지를 적용하여 결과를 비교하였다. 그림 6은 FEMA 356 (FEMA 356, 2000)에서 제시하는 휨부재의 소성 힌지 및 가새의 거동에 대한 정의를 나타낸다. 철골 보의 항복 변위의 5배, 철골 기둥은 2배, 가새의 압축좌굴은 좌굴 변위의 1.5배, 가새의 인장파괴는 항복변위의 12배에서 초기 파괴가 발생하는 것으로 모델링하였다. 콘크리트 부재의 경우에는 접합부의 성능을 고려하여 항복 이후 일정 각도만큼 변형할 수 있는 것으로 정의하였다. 항복 이후 콘크리트 보의 회전각 0.02rad, 콘크리트 기둥은 0.0057rad에서 강도가 저감되며, 이후 항복 하중의 20%만을 유지하다가, 보의 회전각 0.1rad, 기둥은 0.078rad에서 내력이 모두 제거되도록 하였다.

3.3 기본 모델 및 프레임 설치 모델

구조물의 외부 골조를 분리하여 Midas Genw를 이용하여 비탄성 정적해석을 수행하고 해석결과를 그림 7~그림 12에



(a) 소성힌지

(b) 가새

그림 6 부재의 하중-변위 관계

나타내었다. 그림 7은 기본 골조 및 철골 프레임으로 보강된 골조의 하중-변위 관계를 나타내며, 그림 8은 각 하중 단계 별로 소성힌지의 분포양상을 나타낸다. 기본 골조는 최소철근비의 적용으로 기둥의 모멘트 내력이 보의 모멘트 내력에 비해 약 15%정도 더 크게 설계되었으므로 1층의 보에서 먼저 소성힌지가 발생하였다.

초기 중력하중에 의해 보의 양단부에 작용하는 부모멘트와 횡하중에 의해 보의 우측단부에 작용하는 부모멘트가 더해져 보의 우측단부에서 먼저 소성힌지가 발생하였다. 보의 소성힌지 발생 이후 전체 구조물의 강성이 미미하게 감소하였다. 1층 기둥의 하단부에서 소성힌지가 발생한 이후 보의 항복에 비해 크게 강성이 감소하였다. 1층 기둥 하단부가 파괴됨으로써 전체구조물의 강도가 감소하고, 이후, 다른 1층 기둥의 하단부 모두가 파괴됨으로써 전체 구조물의 강도가 급격하게 감소하였다. 이후 1층 기둥 상부가 파괴됨으로써 1층 모든 기둥의 양단부가 파괴되어 구조물이 갖는 안정성을 상실하였다(그림 8(a)). 그림 8에서 검은 원으로 표시된 부분은 그림 6의 하중-변위 관계에 나타낸 파괴 상태를 나타낸다. 기본 골조는 강기둥 약보로 설계되어 기둥보다 보가 먼저 항복하였으나, 보가 파괴되기 전에 기둥이 먼저 파괴됨으로써 구조물이 붕괴되었다. FEMA 356에서는 콘크리트 기둥의 취성적인 특징을 반영하여 내진 상세가 적용되지 않은 콘크리트 기둥의 소성 회전각(Plastic Rotation Angle)을 콘크리트 보의 약 1/3수준으로 제시하고 있다. 콘크리트 기둥의 취성적인 특징을 해석 모델에 적용하였기 때문에 보의 내력이 기둥의 내력에 비해 작음에도 불구하고, 기둥이 파괴될 때까지 콘크리트 보의 파괴는 발생하지 않았다.

그림 5(b)에 나타난 것과 같이 3층 3경간의 기본 골조의 중앙 경간에 H150×150×7×10의 철제 프레임을 설치한 경우에는 철제 프레임이 없을 경우에 비해 전체적으로 강도와 강성이 소폭 증가하였다. 이것은 철골 프레임의 주 설치 목적이 가새의 집중하중을 RC 부재에 분산시키는 것이라 작은 단면으로 구성되었기 때문이며, 좀 더 큰 단면이 설치된 경우 보강 효과가 증가할 것으로 예상된다.

3.4 역V형 가새로 보강된 모델

중앙 공간에 철골 프레임을 설치하고 역 V형의 가새로 보강을 한 경우(그림 5(c)) 하중-변위 관계 및 소성힌지 분포 양상을 그림 9 및 10에 나타내었다. 비좌굴 가새의 단면적은 압축항복 강도가 일반 가새의 좌굴강도와 동일한 값을 갖도록 설계하였으므로, 일반 가새에 비해 작은 부재단면으로 인해 작은 최대 인장하중과 축강성을 갖는다. 결과적으로 일반 가새로 보강된 구조물의 초기 강성이 비좌굴 가새가 설치된 모델의 강성보다 다소 크게 나타났다.

일반 가새를 설치한 경우 압축력을 받는 가새가 좌굴한 이후 곧 콘크리트 보와 기둥이 항복하여 강도가 급격히 감소하지만, 비좌굴 가새가 설치된 경우 1층 가새가 먼저 항복한 후에도 항복한 가새 및 다른 층의 가새들이 횡력에 지속적으로

로 저항하여 더욱 큰 최대강도를 나타내는 것으로 나타났다. 그림 10(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 공간에 위치한 보의 중앙부가 항복하기 때문이다. FEMA 356에 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 소성힌지가 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 소성힌지가 발생하고, 이후 1층의 두 우측 공간의 기둥이 우측부터 차례로 파괴되어 전체 구조물의 강도가 감소하였다. 1층 기둥 하단부의 기둥 파괴 이후 1층 모든 콘크리트 기둥과 철골기둥의 양단부에 소성힌지가 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 증가하

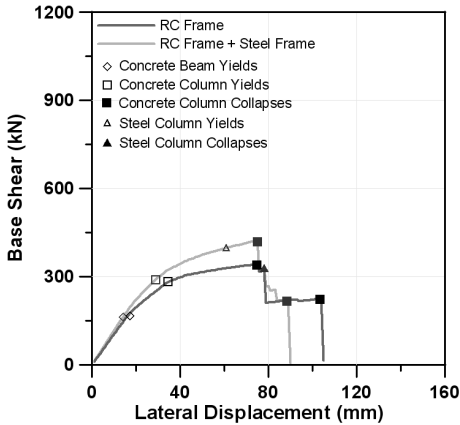


그림 7 기본 RC 골조와 철골 프레임 보강 모델의 Pushover Curve

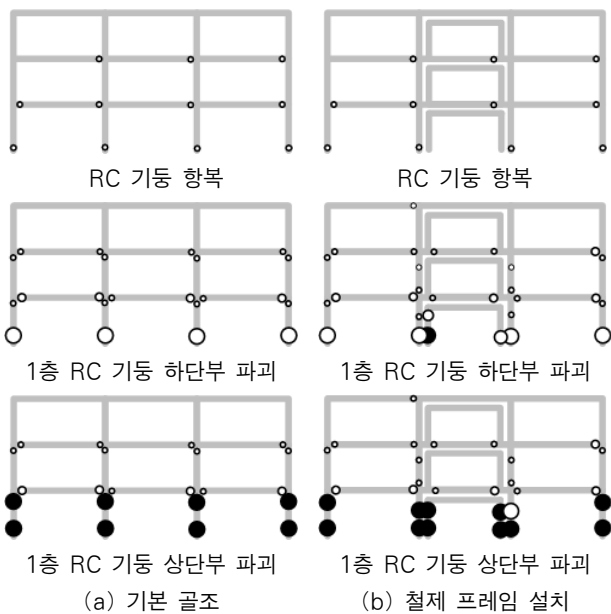


그림 8 기본 RC 골조와 철골 프레임 보강 모델의 소성 힌지 분포

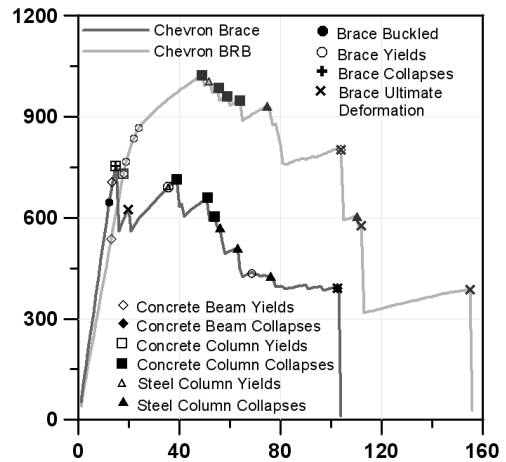


그림 9 역 V형 가새 보강 골조의 Pushover Curve

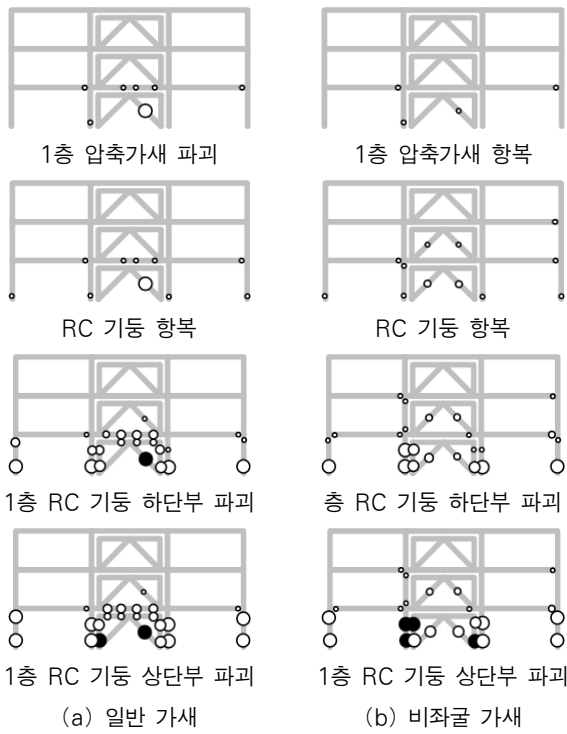


그림 10 역 V형 가새 보강 골조의 소성 힌지 분포

였지만, 전체적으로 대부분의 소성힌지가 1층 부재에 집중됨으로써 약층이 형성되어, 비좌굴가새가 설치된 경우에 비하여 구조물의 최대 강도가 작게 나타남을 알 수 있다.

중앙 공간에 역 V형의 비좌굴 가새를 보강한 경우 1층 우측 경간 보의 우측단부에서 소성힌지가 발생한 뒤 1층 좌측 경간 보의 우측단부와 1층 압축가새가 동시에 항복하였다. 이후에 1층 콘크리트 기둥의 하단부, 1층 인장가새, 2층 압축가새, 2층 인장가새의 순서로 소성힌지가 발생하며 지속적으로 횡력에 저항하였다. 1, 2층의 모든 가새가 항복하는 과정에서 1층 콘크리트 기둥의 하단부에서 소성힌지가 발생하였다. 이후 1층의 모든 콘크리트 기둥의 하단부가 항복함으로써 지속적으로 구조물의 내력이 감소하였다. 1층의 철골 기둥은 1층의 모든 콘크리트 기둥이 항복하는 과정 중에 항복하였으며, 콘크리트 기둥이 파괴된 이후 철골 기둥도 파괴되며 강도가 급격히 감소하였다. 이후 1층 인장가새가 파괴하였으며 이와 동시에 가새가 연결된 콘크리트 보의 중앙 부분이 항복함으로써 전체 구조물의 내력이 급격하게 감소하였다. 1층의 모든 기둥 및 인장가새가 극한 변형에 도달한 이후 압축가새가 횡력에 저항하다가 구조물이 붕괴되었다.

3.5 대각 가새로 보강한 모델

그림 11과 12는 중앙 공간에 대각형 일반 가새와 BRB로 보강한 모델(그림 5(d))의 하중-변위 관계 및 소성힌지 발생

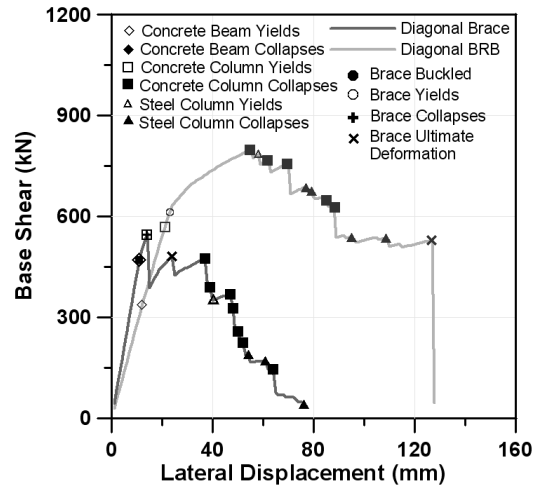


그림 11 대각 가새 보강 골조의 Pushover Curve

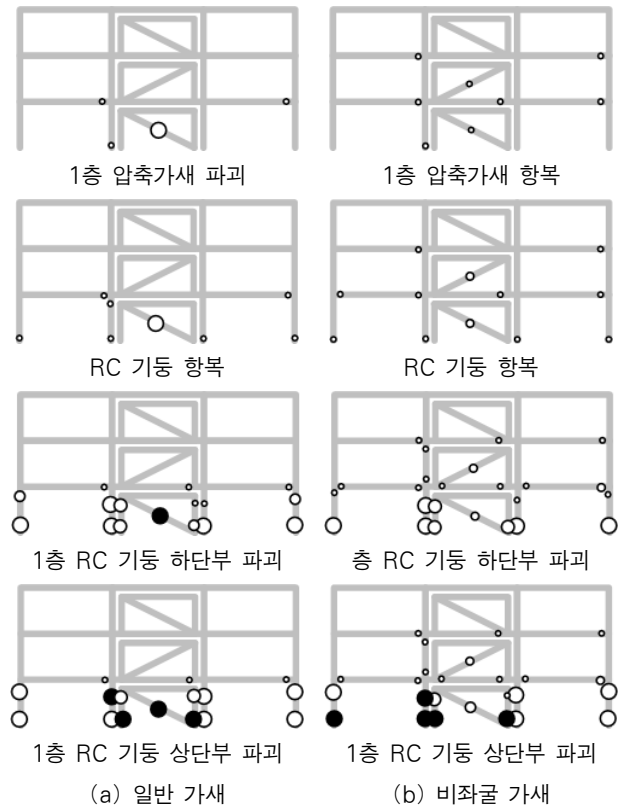


그림 12 대각 가새 보강 골조의 소성 힌지 분포

양상을 나타낸다. 해석 결과에 따르면 일반가새가 설치된 경우 1층 콘크리트 보의 항복과 가새의 좌굴이 동시에 발생한 후, 1층 콘크리트 기둥이 항복하고 가새가 파괴되었다. 가새가 파괴된 후에 1층 콘크리트 기둥들의 상하부에 전체적으로 소성힌지가 발생한 뒤 1층 가새가 극한 변형에 이르러 구조물의 내력이 감소하였다. 이후 1층의 콘크리트 기둥과 철골 기둥이 파괴에 이르면서 전체 구조물의 내력이 감소하였다. 역V형 일반가새가 설치된 경우와 같이 소성힌지가 1층에 집

중되어 발생하였으며, 최대 강도가 역V형 가새가 설치된 경우 보다 작게 나타났다. 중앙 경간에 대각 비좌굴 가새로 보강한 경우 1층 일부 콘크리트 보와 기둥에 소성흔지가 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 일부 콘크리트 부재가 먼저 항복하는 결과를 나타내었다. 1층의 콘크리트 보, 기둥과 가새가 항복한 이후, 중앙 경간의 좌측 기둥이 가장 먼저 파괴에 이르렀다. 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 비좌굴 가새가 설치된 경우와 유사하며, 일반 가새가 설치된 경우와 비교하여 소성흔지가 더 많은 부재로 분산되어 발생하였다.

4. 시간이력 해석결과

비좌굴 가새를 이용하여 보강하기 전 후의 해석모델을 그림 13에 나타낸 동서방향의 El Centro 지진(최대지반가속도 0.357g)을 이용하여 시간이력 해석을 수행하였다. 표 4에는 각 해석모델의 최대변위 및 영구변위를 나타내었고 그림 14는 최대변위의 시간이력을 나타낸 것이다. 무보강 RC 골조의 경우 약 51mm의 최대 변위와 약 9mm의 영구 변위가 발생하여 소성 변형이 발생한 것을 알 수 있다. 철골 프레임만 설치된 경우 최대 변위는 큰 차이가 없으나 영구변위가 약 반으로 감소하는 것으로 나타났다. 추가적으로 역V형 및 대각선 비좌굴 가새가 설치된 경우에는 최대 변위가 약

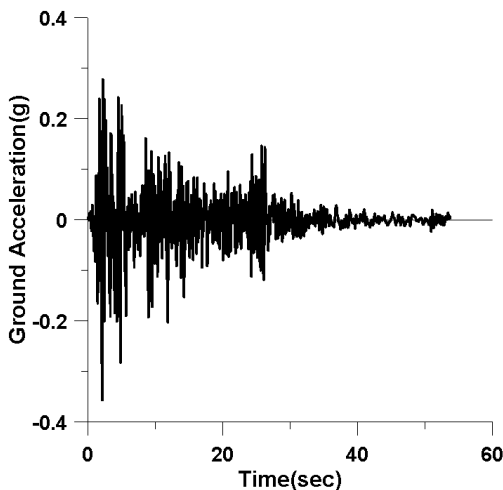
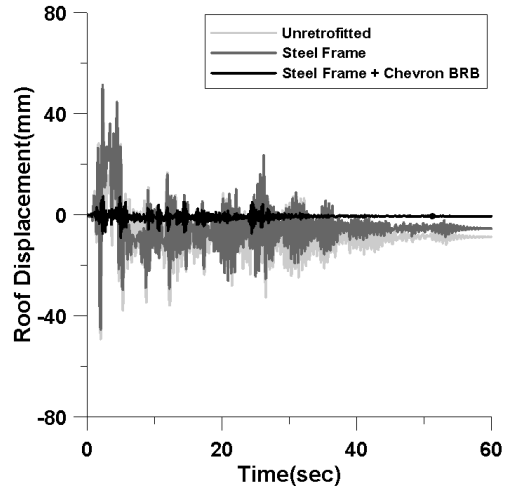


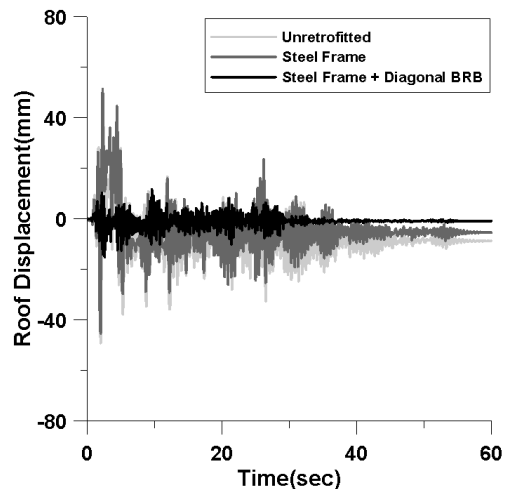
그림 13 El Centro 지진의 지반 가속도

표 4 구조물 지붕층의 최대 변위와 영구 변위 (단위 : mm)

보강 형태	최대 변위	영구 변위
비보강	50.74	8.66
철제 프레임	54.09	4.62
철제 프레임 및 역 V형 BRB	19.79	1.50
철제 프레임 및 대각 BRB	25.40	3.13



(a) 역 V형 비좌굴 가새 설치한 경우



(b) 대각 형태의 비좌굴 가새 설치한 경우

그림 14. 예제 구조물의 시간에 따른 지붕층 변위

20mm와 25mm로 대폭 감소하였으며, 영구 변위 또한 약 1.5mm와 3mm로 상당히 감소하였다.

그림 15는 시간이력 해석결과 얻어진 최대 층간변위를 나타내며, 역V형 비좌굴 가새가 설치된 경우 층간 변위가 가장 감소함을 알 수 있다. 철골 모멘트골조만으로 보강한 경우에는 1층의 층간 변위를 감소시키는 것은 극히 미비하지만 이에 비해 2층과 3층의 층간 변위는 다소 감소하는 것으로 나타났다.

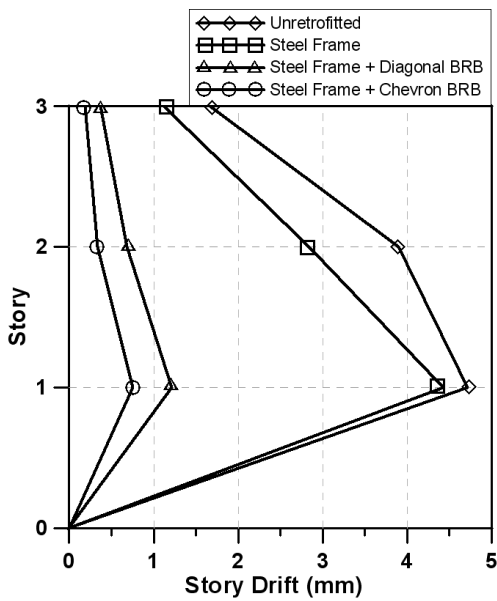


그림 15 예제 구조물의 층간 변위

5. 결 론

본 논문에서는 비내진 설계된 철근 콘크리트 골조로 이루어진 저층의 노후 공동주택의 내진성능을 향상시키기 위한 구조물의 보강방법에 대해 연구하였다. 이를 위하여 비선형 정적 해석과 시간이력 해석을 수행하여 추가되는 철골 모멘트골조와 가새의 내진보강 효과를 검증하였다.

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 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2005년도 건설핵심 기술연구개발사업(C105A1050001-05A0505-00210)에 의한 것임.

참 고 문 헌

Tremblay, R, Degrange, D, Blouin, J. (1999) Seismic Rehabilitation of a Four-Story Building with a Stiffened Bracing System. Proceeding of the 8th Canadian Conference on Earthquake Engineering, Vancouver.

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

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

Mander, J.B., Prestley, M.J.N., Park, R. (1988) Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete, *Journal of Structural Engineering*, 113(8).

Moehle, J.P. (2000) State of Research on Seismic Retrofit of Concrete Building Structures in the US, US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures.

Park, R., Paulay, T (1975) Reinforced Concrete Structures, Wiley.

Korea Building Code (2005) Architectural Institute of Korea.

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

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

- 논문접수일 2010년 4월 13일
- 논문심사일
 - 1차 2010년 4월 22일
 - 2차 2010년 7월 1일
- 게재확정일 2010년 8월 12일