

고강도강 내진성능 향상부재를 적용한 건물 성능 비교

김문정^{1*} · 하태욱² · 조석희³

¹과장, 현대건설, 기술연구소, ²대리, 현대건설, 기술연구소, ³부장대우, 현대건설, 기술연구소

Examination of Seismic Performance for Structure with Seismic Members made by High Strength Steel

Kim, Moonjeong^{1*}, Ha, Tae Uk², Cho, Sukhee³

¹Senior Researcher, Hyundai E&C, Mabuk, 446-716, Korea

²Researcher, Hyundai E&C, Mabuk, 446-716, Korea

³Head Researcher, Hyundai E&C, Mabuk, 446-716, Korea

Abstract - Seismic members like damper do not have any treatment of preventing story stiffness reduction after elastic yielding of stories causing story collapse. This paper suggests a method able to prevent story stiffness reduction using high-strength steel. This paper suggests these also : (1) High-strength steel stud column reinforcing story stiffness reduction until story drift 0.02rad can be designed in small area without adjusting layout. (2) Suggested seismic member installing at lowest level shows effects to preventing deformation concentration under huge seismic waves.

Keywords - Seismic design, Seismic member, HSA800, High-strength steel, Non-linear time history analysis

1. 서론

최근 건축 트렌드가 상대적으로 지진 등의 돌발 자연 현상에 취약한 고층, 대공간, 비정형 건축으로 진행되는 것과 함께 2010년 전후로 발생한 거대 지진의 영향으로 국내에서도 내진설계에 대한 관심이 높아지고 있다. 이에 공공건물을 중심으로 예전에 비하여 댐퍼 등의 내진성능 향상부재를 적용하는 사례가 많아지고 있으며, 공공건물 뿐 아니라 아파트 등의 일반주거에서도 보다 강화된 내진설계의 적용 요구가 증가하고 있어 SH, LH와 같은 공사에서 진행하는 아파트에서는 이미 내진성능 향상부재를 적용하는 단지가 나타나고 있다.

현재 국내의 내진성능 향상부재의 대부분은 댐퍼가 차지하고 있다. 이러한 선형복 형식의 내진성능 향상부재는 지진 에너지를 건축물의 주요 구조부재보다 먼저 흡수하여 주요 구조부의 에너지 분담율을 낮춰주어 주요 구조부재가 탄성 항복상태에 진입하는 것을 막아주는 원리를 가지고 있는데, 적용되는 에너지 흡수장치의 종류에 따라 비교적 낮은 단가로 높은 효율을 얻을 수 있기에 오래전부터 내진성능 향상부재로 선호되고 있다.

한편, 2010년 전후로 전세계적으로 진도 6 을 초과하는 거대 지진이 다수 발생하게 되었고, 이 결과, 개정된 내진설계를 적용한 건물도 심각한 손상을 입은 사례가 다수 보고되었다^[1]. 즉, 기존의 내진성능 향상부재는 에너지 흡수 능력을 초과하는 일정 이상의 지진 하중을 받게 되면 보와 기둥 등의 주요 구조체의 탄성항복 및 이에 따른 강성 저하를 방지하지 못하게 되므로 층 내력의 저하가 진행되게 되며 특히 고층 건물의 경우 자중 등의 중력하중에 의한 P-delta 효과 등의 부수적 효과가 나타나게 된다. 이로 인해 강성이 약화된 건물 하부층이 과도한 변형을 일으키게 되어 건물 붕괴와 같은 심각한 손상으로 발전할 가능성이 높아진다^{[2],[3]}.

Note.-Discussion open until December 31, 2015. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 19, 2014; revised February 5, 2015; approved on March 26, 2015.

Copyright © 2015 by Korean Society of Steel Construction

*Corresponding author.

Tel. +82-31-280-7350 Fax. +82-31-280-7678

E-mail. moonjeong.kim@hdec.co.kr

이에 본 논문에서는 이와 같은 구조물, 특히 고층 건물에서 나타나는 하부층 층강성 저하와 이에 의한 붕괴를 방지하기 위해 인장강도 800MPa급의 고강도강 강재를 사용한 내진성능 향상부재의 적용 방안을 제시한다. 본 논문은 고강도강 내진향상부재의 성능을 다음과 같은 순서로 설명한다.

- (1) 층 소성화 후 층강성 저하를 방지하는 고강도강 내진성능 향상부재의 소개
- (2) 비선형 해석 조건 설명 및 2차원 골조 해석을 통한 성능 검증
- (3) 구조부재를 간략화 한 기존 건물에 대한 고강도강 내진향상부재 적용에 의한 성능향상 검증

2. 고강도강 내진성능 향상부재의 개요

2.1 고강도강 내진성능 향상부재 적용 개념

지진 등의 거대 수평하중에 의해 건물 주요골조부재가 탄성 항복 상태에 진입하게 되면 부재 단부에 소성 힌지가 형성되게 된다. 이러한 소성 힌지는 작은 하중에서도 과도한 회전각을 발생시키는데 이로 인하여 층간변형이 진행됨에 따라 항복 후 층 강성 증가율 α 값은 탄성 상태보다 낮은 수치 혹은 0을 나타내게 된다(Fig. 1). 일반적으로 층 강성 증가율 α 는 상부층의 하중을 부담하는 건물 하부층에서 P-delta 효과의 영향 등과 같은 기하학적인 효과로 인해 상부층보다 수치가 더욱더 낮게 나타나는데 특히 고층 및 초고층건물에서는 이 항복 후 층 강성 증가율 α 의 값이 마이너스 값으로 나타나는 경우가 있다.

층 강성 저하는 지진과 같이 건물의 층간변형이 과도하게 발생하는 경우 층 파괴를 유도할 수 있는 심각한 현상이다. 이러한 손상을 방지하기 위하여 기존의 내진성능 향상부재는 지진 시 주요 부재에 소성힌지가 생성되는 것을 방지하는 방식을 취하였지만 거대 지진, 특히 내진설계 기준을 초과하는 지진이 발생할 경우에는 기존 내진성능 향상부재의 용량을 초과하는 손상이 나타나게 되어 주요 구조부재에 소성힌지가 생성되는 것을 방지하지 못하게 될 가능성이 높다.

이에 본 논문에서는 일반강의 항복강도의 약 2배에 달하는 HSA800 고강도강재 부재를 이용하여 주요 부재에 소성힌지가 생성되어 그 변형이 일정정도 진행된 후에도 층 내력을 유지시키는 고강도강 내진성능 향상부재의 성능을 해석

을 통하여 확인하고자 한다.

2.2 작용 메커니즘

일본 등 내진설계 선진국에서는 소성상태에 진입한 층의 내력이 변형과 더불어 저하하는 것을 방지하기 위하여 인명 대피가 가능한 일정구간까지 층강성 증가율 α 가 마이너스 값으로 열화되는 것을 막기 위한 여러 가지 대책을 제시하였다. 이러한 대책 중 하나가 본 논문에서 소개하는 고강도강 부재를 이용한 방법이며 그 메커니즘은 다음 Fig. 1과 같다.

Fig. 1을 살펴보면 고강도강 부재는 일반강으로 구성된 구조부재가 탄성 항복한 이후에도 탄성을 유지하는 것으로 가정되며, 내진성능 향상부재로서 저하된 층강성을 보완하여 주는 방식이다. 이 때, 고강도강 부재는 최적 성능 발휘 및 최적 요구 단면적을 위하여 수평하중 이외의 다른 하중에는 저항하지 않도록 설정되는 것이 권장되므로 거대 수평하중이 발생하지 않을 경우에는 구조체로서 역할을 하지 않는 것이 일반적이다. 이에 Fig. 1에서 알 수 있듯 고강도강은 이격 등과 같은 방법을 통해 일정이상의 층간변형이 발생한 경우에만 강성을 발휘하도록 구성할 필요가 있다. 또한 이 구

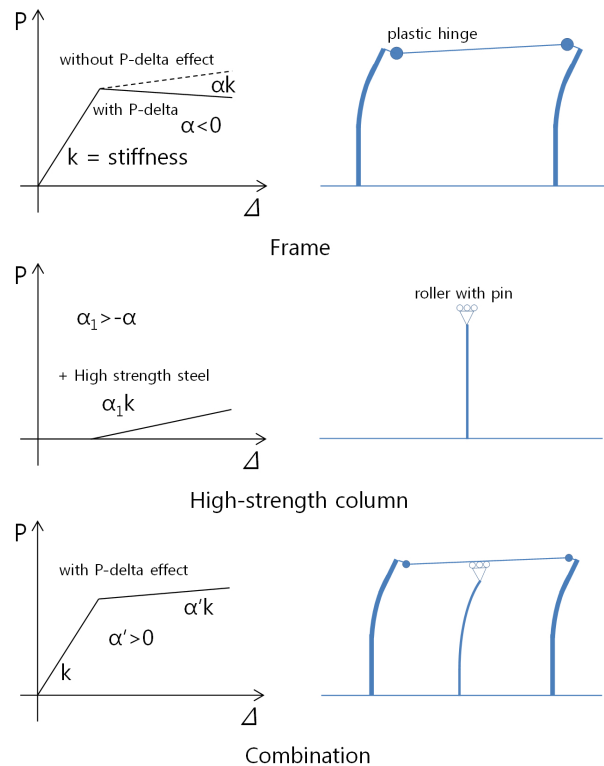


Fig. 1. Improved seismic mechanism using high-strength steel stud column

조보강 방식은 지진하중 뿐 아니라 다른 거대 하중으로 인하여 층강성의 주요부분을 담당하고 있는 부재에 소성항복이 발생, 층강성이 저하되는 경우에도 동일한 개념으로 적용될 수 있는 이점이 있을 뿐 아니라 이미 충분한 내진응력을 보유하도록 내진설계 되었지만 설계 당시 예상하였던 레벨을 초과하는 지진에 영향을 받는 경우 매우 유효하다.

2.3 기존 방식과의 차이

본 논문에서 제시하는 고강도강 내진성능 향상부재는 시공방법의 간소화 및 실 건물에서의 운용 등으로 기존에 제시된 방법들과 달리, 상부 구조물에 구속되지 않는다고 가정한다. 기존 발표된 연구에서 나타난 고강도강 내진성능 향상부재의 경우, 지진이 일어나는 경우 Fig. 2의 (a)와 같이 상부가 구속 고정된 상부 롤러의 형태로 풀어나가고 있으나^{[4],[5],[6]} 실제로 설치당시 상부 구조와 이격되어 있던 해당 부재가 수평 이동에 의해 상부구조와 완전히 밀착될 확률은 큰 편이 아니

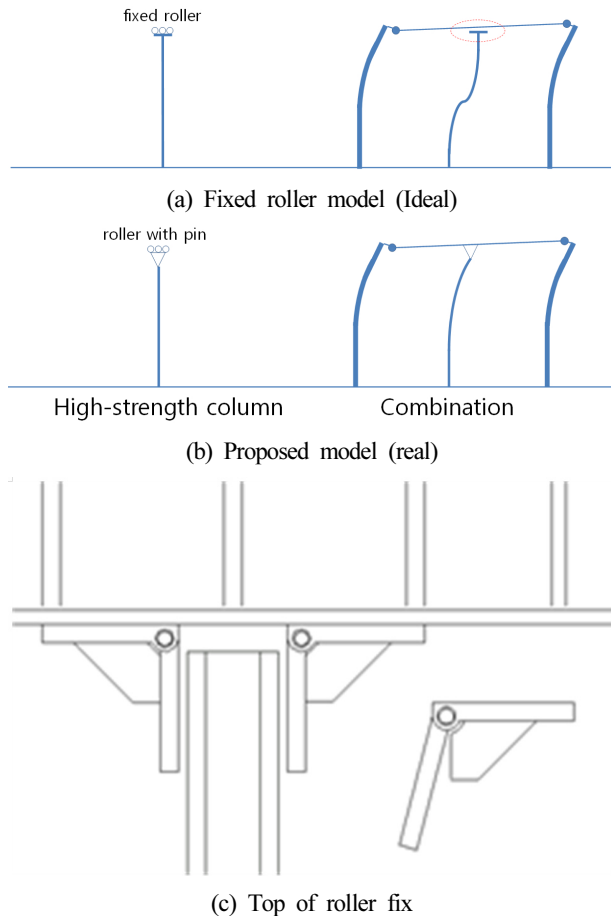


Fig. 2. Seismically improved models

라고 판단된다. 이에 본 논문에서는 Fig. 2의 (b) 형식으로 상부가 핀으로 연결된 롤러로 해석하도록 한다. (특허등록 제 10-1403660호)^[7] 각 부재 계산시의 강성은 식 (1)과 식 (2)에 나타낸다. 본 개량 방식의 실제 성능실험 모델 사진을 다음 그림 Fig. 2(c)에 나타낸다.

$$\text{모델 (a)} : \alpha_1 k = \frac{12EI_{\text{보강}}}{h^3} \quad (1)$$

$$\text{모델 (b)} : \alpha_1 k = \frac{3EI_{\text{보강}}}{h^3} \quad (2)$$

3. 2차원 구조를 이용한 수치해석

3.1 모델 개요

본 장에서는 고강도강 내진성능 향상부재의 효과 및 설계를 기본적으로 검증하기 위하여 다음 Fig. 3과 같은 20층 3스팬의 2차원 프레임 Model A와 Model A에 고강도강 내진성능 향상부재를 적용한 Model B를 수치해석 한다. 각 프레임 부재는 항복강도 490MPa의 일반강으로 하였고 비선형 모델은 Bi-Linear로 하며 2차 강성비 α 는 0.01로 하였다. 수직하중은 1m²당 10kN으로 가정하며 보강복형 구조를 쉽게 유도하기 위하여 바닥강성은 무시하였다. 수치해석은 상용 프로그램인 Perform 3D^[8]를 이용하였다. Model B의 내진성능 향상부재인 중간기둥은 HSA800을 가정하였으며 단면 2차 모멘트계수 I는 비선형 정적해석 결과와 상기 식 (2)를 이용하여 계산한다. Model B에는 내진성능 향상부재를

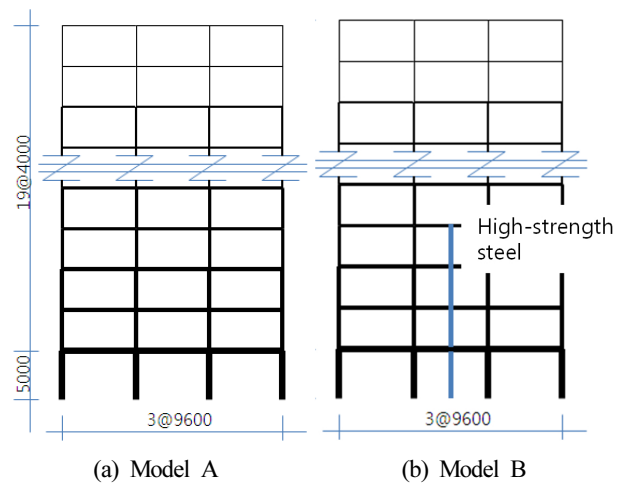


Fig. 3. Analysis model of 2-D

1~7층까지 적용하였다.

3.2 해석 개요

모드 해석의 결과 각 모델의 1차 고유주기는 각각 Model A=3.867sec, Model B=3.787sec로 계산되어 거의 동일한 것으로 판단한다. 본 장에서 사용하는 비선형 동적해석은 비선형 시간이력해석을 이용하며 감쇠율은 강성감쇠 2%로 가정하였다. 또한, 사용 지진파는 기존 선행 연구들과의 비교를 위하여 일본에서 범용적으로 쓰이는 일본 기준 레벨 2 및 FEMA 기준 Life Safety 레벨에 해당하는 설계용 인공지진파 BCJ L2^[9]를 선택하였다. 해석에서는 P-delta 효과를 고려한다.

3.3 해석 결과

3.3.1 비선형 정적해석

Fig. 4에 P-delta 효과를 고려한 상태에서 시행한 Model A와 B의 비선형 정적해석 결과를 나타낸다. 결과에 의하면 P-delta 효과에 의하여 단순 라멘모델인 Model A에서는 5층 이하의 하층부에서 변형과 더불어 층 내력 저감 현상이 나타나고 있는 것이 관찰되며 고강도강 내진성능 향상부재를 적용한 Model B에서는 층 내력 저감현상이 일정 변형동안

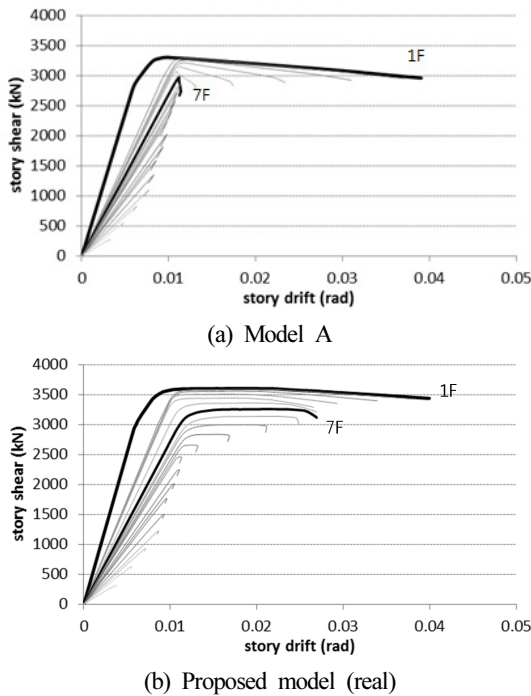


Fig. 4. Story shear vs story drift

완화된 것을 알 수 있다.

3.3.2 비선형 동적해석

건물붕괴로 인한 인명보호 레벨을 가정하여 작성된 인공 지진파 BCJ L2의 증폭 지진에서의 모델 거동을 Fig. 5에 나타낸다. Fig. 5에 의하면 설계용 지진파에서는 Model A와 B가 최대 층간변형각 0.015~0.02rad 사이에서 거의 비슷하게 거동하는 것이 나타나지만, 설계용 지진을 초과한 1.2배 증폭된 지진파에서는 확연하게 Model A가 하부층에서 층간 변형각 0.04rad를 초과하는 붕괴에 가까운 거동을 보이는 반면, Model B는 설계용 지진파에서와 비슷한 형상을 유지하는 것이 관찰된다.

또한, 1.2배 증폭시킨 BCJ L2 × 1.2 지진 하에서의 보 부재 소성 이력곡선을 다음 Fig. 6에 제시한다. 그림에는 저층부, 중층부, 고층부로 나누어 중간 스펠에 위치한 보 단부의 소성이력을 점검하였다. 최대층간변형각 결과인 Fig. 5에

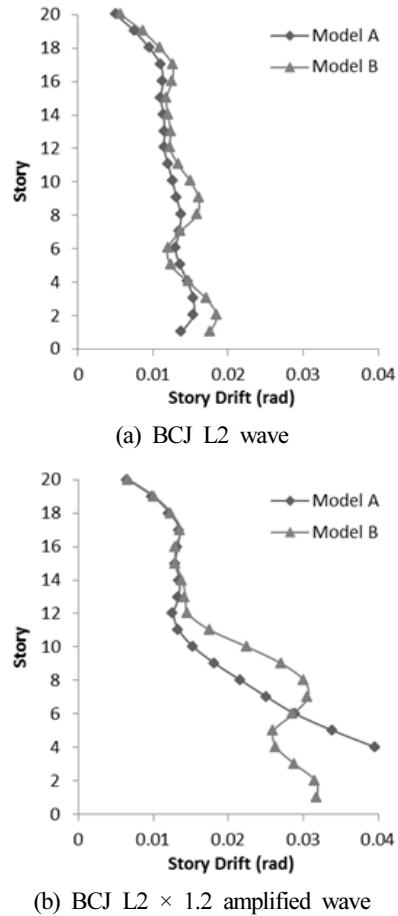


Fig. 5. Maximum story drift

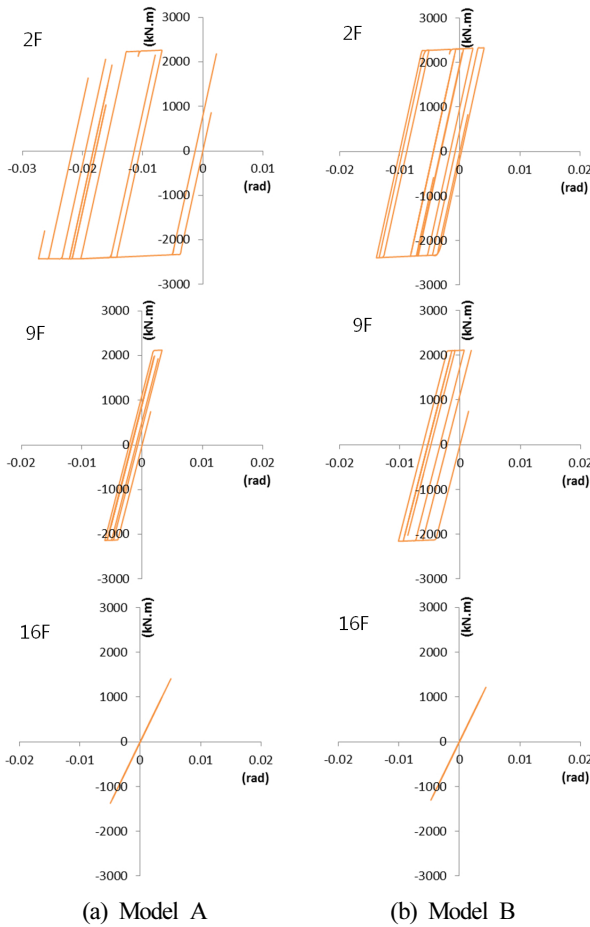


Fig. 6. Inelastic behavior of midspan beam end

의하면 거의 동일한 고유주기를 가진 모델도 고강도강 내진 성능 향상부재 적용(Model B)에 따라 같은 지진에서 더욱 안정적인 거동을 하는 것이 관찰되는데 Fig. 6을 살펴보면, Model A의 경우 소성변형이 하부층에 집중되는 경향이 나타나나 Model B의 경우에는 하부층의 소성변형이 완화되며, 소비되지 못한 지진 에너지가 중층부에 전이되어 전 층에서 고르게 소성에너지가 소비되는 것을 유추할 수 있다.

4. 실 구조물을 이용한 수치해석

4장에서는 기존에 실제로 지어진 고층 건물을 대상으로 비선형 해석을 실시, 3장의 결과를 기초로 하여 계산, 설계된 고강도강 내진성능 향상부재 적용 유무에 의한 성능 향상을 알아보도록 한다.

4.1 모델 개요

4장의 해석모델은 15층 건물로 SRC 기둥, 강 및 강-콘크리트 합성보로 구성된 철골철근콘크리트 건물을 대상으로 하였다. 구조 단면은 대체적으로 벽체=두께 300mm, 보=600×300mm, 기둥=800×800mm로 재료, 단면 및 층 하중 등은 실제 모델과 같은 수치를 적용하였다. 단, 수치해석시 나타날 가능성이 큰 해석 특이점을 최대한 억제하기 위하여 모델링 시 도어 설치를 위한 간벽 등 부차적 벽체를 제거하여 콘크리트 코어 벽체를 단순화 시켰다. 기본 모델의 구조도는 다음 Fig. 7과 같다.

모델 부재의 비선형 모델은 각 부재에 따라 다음과 같이 정의하였다. 단, 4장에서 모델의 2차 강성비 α 는 3장과 달리 FEMA의 추천에 맞추어 6%로 설정하였고, 강성저감율 역시 FEMA 규정^[10]에 맞추었다. 4장의 모델에서도 3장과 같이 바닥강성은 무시하였다.

- (1) H 형강부재 : Bi-Linear
- (2) 합성보 : 강성저감이 있는 Tri-Linear

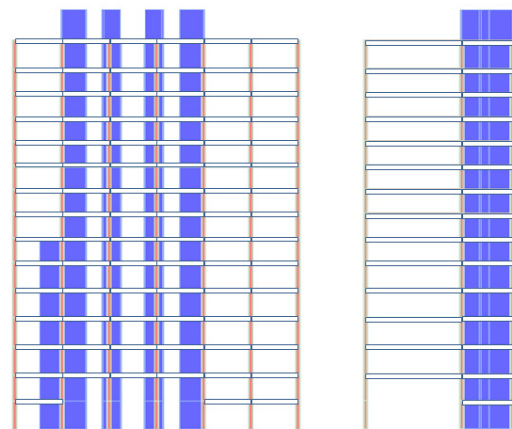
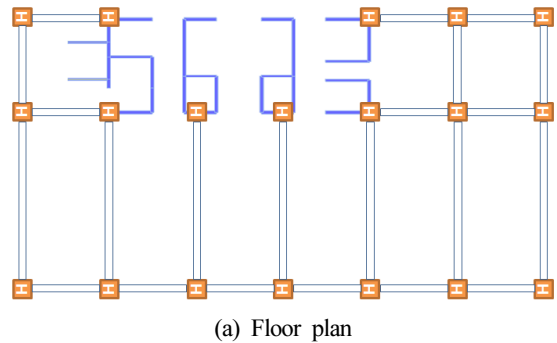


Fig. 7. Floor plan & elevation (basic model)

- (3) SRC기둥 : 강성저감이 있는 Bi-Linear
- (4) 코어 벽체 : 재료물성 Fiber 모델

4.2 해석 개요

본 모델의 비선형 해석에는 3장과 마찬가지로 Perform 3D를 사용하였다. 모드 해석의 결과 기본모델(이하 Model 1)은 3.448sec로 계산되었다.

비선형 시간이력해석에 사용하는 지진파는 3장과 동일한 인공지진파 BCJ L2이며, 층붕괴 현상을 알아보기 위하여 BCJ L2 이외에도 1.2배, 1.5배 증폭시킨 BCJ L2 증폭과 역시 해석에 이용하였다. 해석에서는 P-delta 효과를 고려한다. 지진파의 방향은 정적해석과 동일하게 장변방향으로 한다.

4.3 기본모델 : Model 1의 해석결과

4.3.1 비선형 정적해석

Model 1의 비선형 정적해석 결과를 다음 Fig. 8에 나타낸다. 해석 결과를 살펴보면 P-delta 효과에 의해 변형의 진행과 함께 층강성이 저하되는 것이 관찰된다.

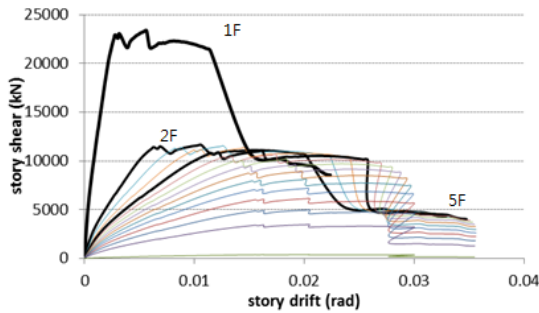


Fig. 8. Story shear vs story drift (Model 1)

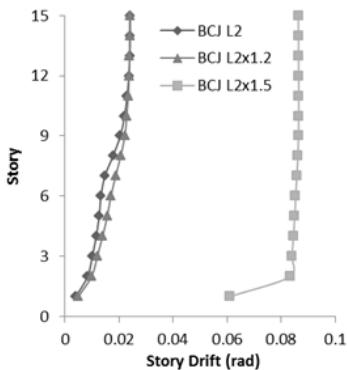


Fig. 9. Maximum story drift (Model 1)

4.3.2 비선형 동적해석

Model 1의 비선형 동적해석 결과 중 지진시의 최대변형각을 다음 Fig. 9에 나타낸다. 해석 결과를 살펴보면 BCJ L2 지진과 1.2배 증폭시킨 지진에서는 최대변형각 0.03rad의 선형적 움직임을 나타내는 것을 알 수 있으나 1.5배 증폭시킨 지진에서는 BCJ L2 지진에서 가장 층간변형이 작게 나타난 하층부에서 변형이 0.06rad를 초과하는 것이 관찰되어 붕괴에 가깝다는 것을 판단할 수 있다.

4.4 내진성능 향상부재 적용모델 : Model 2

4.4.1 내진성능 향상부재 설계

4.3의 해석결과 (1)을 참고하여 5층까지 P-delta 효과로 인해 저감된 층강성을 보충할 수 있는 고강도 H형강 기둥을 설계하였다. 고강도강 기둥의 배치위치는 모델 형상 및 실 구조 및 모멘트 항복 효과를 고려하여 선택하였고 Fig. 10에 표기한다. 보강기둥은 각층에 2개 삽입을 가정하여 1층에는 H-500×500×20×50의, 2층부터 5층까지는 H-450×450×20×40의 단면을 가진 H 형강을 적용하였다. Model 2의 1차 고유주기는 3.437sec로 계산되어 모델 1의 고유주기 3.448sec와 거의 동일한 것으로 판단된다.

4.4.2 비선형 정적해석 결과

고강도 H 형강 기둥을 내진성능 향상부재로 적용한 Model 2의 정적 비선형 해석결과를 다음 Fig. 11와 Table 1에 제시한다. Fig. 11을 살펴보면 고강도강 내진성능 향상부재를 적용한 Model 2의 층 내력은 KBC2009에서 규정한 층간변형각 0.01~0.015rad까지 저감되지 않으며 대부분의 층에서 Model 1보다 내력저감이 시작되는 층간변형각이 늘어난 것을 알 수 있다.

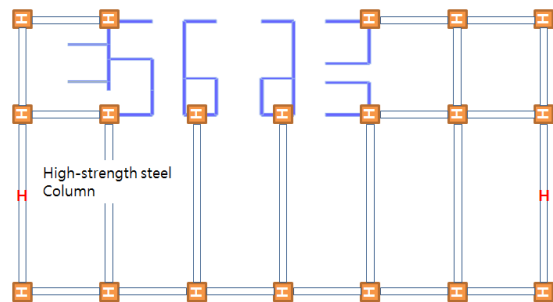


Fig. 10. Floor plan of Model 2

Table 1. Result of push-over analysis

Maximum story shear force (kN)						
Floor	1	2	3	4	5	6
Model 1	11675	11635	11518	11320	11026	10636
Model 2	11949	11903	11784	11582	11283	10884
Limited story drift keeping designed shear force (rad)						
Floor	1	2	3	4	5	6
Model 1	0.011	0.020	0.022	0.024	0.026	0.027
Model 2	0.010	0.025	0.028	0.029	0.031	0.032

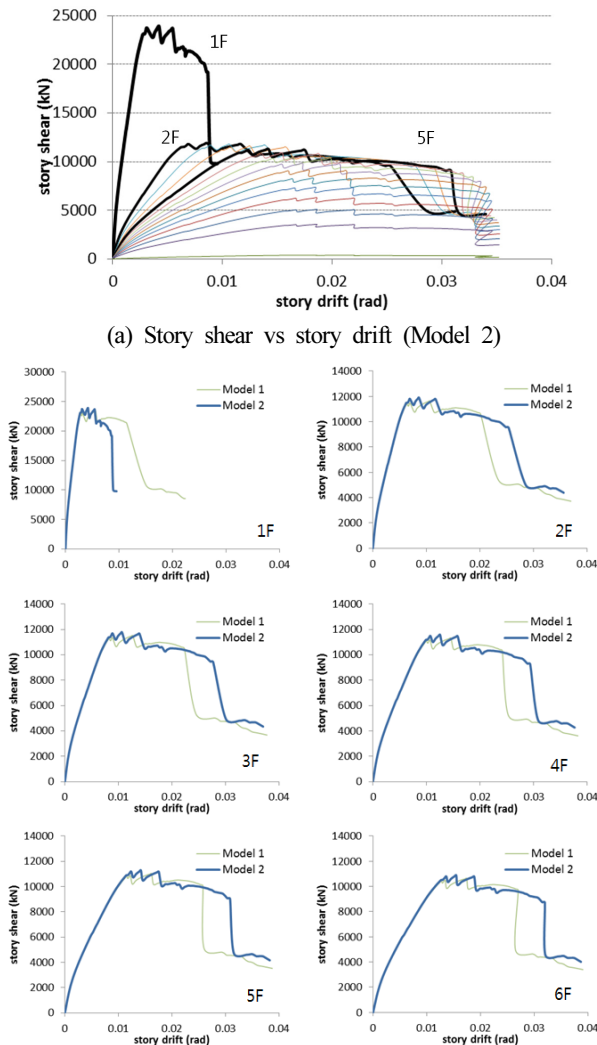


Fig. 11. Story shear vs story drift

4.4.3 비선형 동적해석 비교

Fig. 12에는 Model 1과 Model 2의 인공지진파 BCJ L2와 1.5배 증폭시킨 BCJ L2 지진파를 적용한 비선형 시간이력해

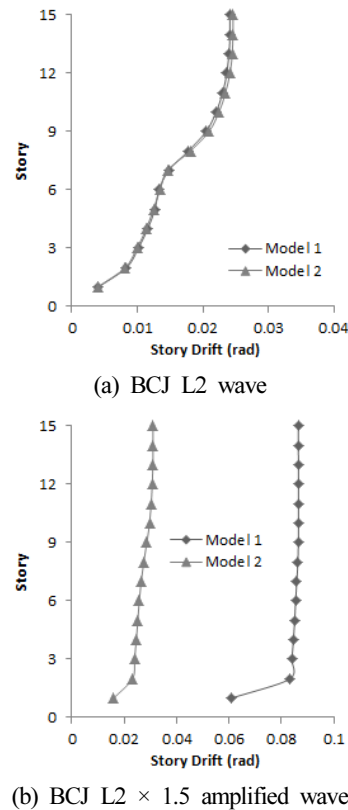


Fig. 12. Maximum story drift

석 결과를 제시한다. 그림을 살펴보면 BCJ L2 지진파를 적용하였을 때의 Model 1과 Model 2의 결과는 거의 일치하며 내진성능 향상부재의 효과 뿐 아니라 내진부재 적용에 의한 층강성 증가 등 부수적인 효과 역시 관찰되지 않는다. 그러나 Model 1에서 층 붕괴가 나타난 BCJ L2 지진파의 1.5배 증폭파에서의 결과를 비교하여 보면 Model 2의 최대 층간변형각이 증폭되지 않은 고유 BCJ L2 지진파 하에서의 거동과 비슷한 정도로 나타나 변형이 약 1/6~1/4 정도 저감된 것이 관찰된다.

5. 결론

비교적 소성화 모델을 명확하게 설정할 수 있는 강재 구조를 기초로 한 2차원 및 3차원 모델의 수치 해석을 통하여 고강도강으로 제작되는 내진성능 향상부재의 효과를 검증한 결과 다음과 같이 나타났다.

- (1) 변형과 동시에 P-delta 효과 등으로 수평 보유내력이 저감하는 구조물의 경우, 일정수준 이상의 거대 수평하중 하에서 층 붕괴가 일어날 가능성이 높다.
- (2) 수평 보유내력이 변형의 진행과 상관없이 일정 구간동안 유지되는 구조물의 경우, 설계기준을 초과하는 거대 지진 하에서 피난시간 확보 혹은 붕괴 방지의 보완 효과를 발휘한다.
- (3) 논문에서 제안된 800MPa의 고강도강을 이용하여 골조의 소성화 항복 후 저감된 수평내력을 보강하는 탄성 부재를 설계하는 경우, 비교적 작은 단면으로 최대 층간변형각 0.02rad 까지 내력 저감을 보강할 수 있는 것을 알 수 있다.
- (4) 제안된 800MPa 고강도강 내진성능 향상부재를 적용한 경우, 최저 적용으로도 설계 레벨을 상회하는 거대 지진에서 과다변형집중방지에 상당한 효과를 발휘하는 것을 확인하였다.
- (5) 내진성능 향상부재로 제안된 기둥 형태의 고강도강 부재는 브레이스와 같은 다른 수평내력 보강부재와 달리 최소한의 면적을 요구하는 수직부재로, 공간활용 및 대실 면적을 최대한으로 하는 부가적인 장점이 있으므로 향후 적극 사용될 것으로 기대된다.

참고문헌(References)

- [1] Architectural Institute of Japan (2011) Website about Higashi Nihon Huge Earthquake in AIJ, available in <<http://www.aij.or.jp/higashinihondaishinsaikanren.html>>, retrieved January 1, 2014 (in Japanese).
- [2] Uetani, K. and Tagawa, H. (1996) Deformation Concentration Phenomena in the Process of Dynamic Collapse of Weak-beam-type Frame, *AIJ Journal of Structural and Construction Engineering*, Vol.483, pp.51-60.
- [3] Tagawa, H., Uetani, K., Tachibana, A., and Yoshidam N. (1998) Experimental Study on Collapse Behavior of Weak-beam Planner Frame Subjected to Repeated Horizontal Loading, *AIJ Journal of Structural and Construction Engineering*, Vol.513, pp.89-96.
- [4] Araki, Y., Kim, M.J., Hamada, Y., and Kimura, H. (2010) Prevention of Excessive Residual Deformation by Controlling Post-yield Story Stiffness Using High-strength Steel Stud Column, *Steel Construction Engineering*, Vol.17, No.65 (in Japanese).
- [5] Hamada, Y., Kimura, H., Kim, M.J., Araki, Y., and Uetani, K. (2008) A Method for Suppressing Deformation Concentration Phenomena in a Steel Tall Frame Using High Strength Steel Column, *Proceedings of Annual Meeting of Architectural Institute of Japan* (in Japanese).
- [6] Japanese Industrial Property (2004) Registration Number JP,3807360,B.
- [7] Korean Intellectual Property office (2014) Registration Number 10-1403660.
- [8] Perform 3D : Computer and Structures, Inc. (2006) Perform-3D Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures, Version 4, CSI, Berkeley.
- [9] Building Center of Japan(1992), BCJ L2 wave, available in <<http://www.bcj.or.jp/download/wave.html>>, retrieved January 1, 2014 (in Japanese).
- [10] Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (2000), FEMA 356, available in <http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1444-20490-5925/fema_356.pdf>, retrieved January 1, 2014 (in Japanese).

요 약 : 댐퍼를 비롯한 대부분의 내진성능 향상 부재는 골조를 구성하는 주요구조부재가 소성상태에 진입한 다음 나타나는 층 강성 저하에 대한 대처가 없어 대지진 시 건물의 층 파괴를 방지하지 못할 가능성이 높다. 이에 본 논문은 건물의 주요부재가 탄성항복한 뒤에도 건물의 층 강성을 일정기간 유지시킬 수 있는 고강도강 내진성능 향상부재를 제안한다. 본 논문에서는 다음과 같은 사실을 알 수 있다. (1) 골조의 소성화 항복 후 저감된 수평내력을 보강하는 탄성 부재를 제안방식으로 설계 시 기존 면적을 방해하지 않는 작은 단면으로 최대 층간변형각 0.02rad 까지 내력 저감 보강 가능 (2) 제안 내진성능 향상부재의 최저 적용으로도 설계 레벨을 상회하는 거대 지진에서 과다변형집중방지에 상당한 효과를 발휘하는 것을 확인

핵심용어 : 내진설계, 내진부재, HSA800, 고강도강재, 비선형 시간이력해석
