Vol.28, No.6, pp.383-394, December, 2016



# 지진동을 받는 3층 강재 프레임 구조물의 지진 거동

허종완<sup>1\*</sup>·차영욱<sup>2</sup>

<sup>1</sup>부교수, 공학박사, 기술사, 인천대학교, 건설환경공학부, <sup>2</sup>석사과정, 인천대학교, 건설환경공학부

# Seismic Behavior of 3-Story Steel Frame Structures Subjected to Ground Motions

Hu, Jongwan<sup>1\*</sup>, Cha, Youngwook<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012, Korea <sup>2</sup>M.E. Student, Dept. of Civil and Environmental Engineering, Incheon National University, Incheon, 22012, Korea

**Abstract -** This study is intended to predict the seismic behavior of the down-scaled 3-story steel frame structures subjected to the real ground motion, and evaluate their structural damage through advanced finite element (FE) analysis results. The FE frame models are designed by considering the effect of the soft story. In addition, the effect of structural asymmetry is also taken into consideration during the nonlinear dynamic analyses. After observing the analysis results, it is reconfirmed that the damage of the steel frame building under the ground motion should be governed by the soft story column rather than the structural mass asymmetry.

Keywords - Steel frame, Ground motion, Seismic behavior, Seismic acceleration, Inter-story drift, Hinge

## 1. 서 론

전 세계적으로 자연재해로 인한 재산과 인명에 가장 큰 손 실을 일으키는 재난은 지진이다. 최근에는 한국에서도 지진 이 발생하는 지진의 빈도가 급격하게 증가하고 있는 추세이 다. 진도 5.0 규모의 지진도 2~3년 주기로 발생하고 있다. 따라서, 한국도 더는 지진으로부터 안전하지 않다고 할 수 있다. 지진이 자주 발생하는 미국과 일본에서는 지진의 하중 에 능동적 혹은 수동적으로 대처하여 지진에 의한 피해를 효 과적으로 저감하는 제진과 면진 시스템에 대한 연구가 활발 히 이뤄지고 있다<sup>[1],[2],[3],[4]</sup>. 하지만, 국내에서는 과거에 지 진 발생과 피해가 작은 사실을 고려하여 단면을 보강하여 지

Copyright © 2016 by Korean Society of Steel Construction \*Corresponding author.

Tel. +82-32-835-8463 Fax. +82-32-835-0775 E-mail. jongp24@inu.ac.kr 진하중에 저항하는 내진 설계에 대한 일부분의 연구만을 수 행하고 있다<sup>[5]</sup>. 최근에는 형상기억합금과 같은 스마트재료 를 활용한 변위 제어 시스템에 대한 연구가 국내에서도 새롭 게 도입되어 수행되고 있다. 하지만, 선진국과 기술적 격차 가 크고 연구 인프라가 미흡한 수준이다<sup>[6]</sup>. 현재까지 빌딩의 내진 공학과 관련하여 컴퓨터와 해석 프로그램의 발달로 정 밀한 유한요소 프로그램을 이용해 상세 해석을 수행한 연구 가 많이 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 Abaqus와 같은 고등적인 유한요소해석 프로그램을 사용하여<sup>[7]</sup> 정밀한 해석 모델을 제작하고 진도 6.5 정도의 설계하중 규모의 지 진 하중을 사용하여 비선형 동적 해석을 수행하고 최종적으 로 구조물의 지진 거동을 예측하고 피해 정도를 평가하고자 한다.

일반적으로 하부층의 기둥과 같은 구조 부재가 취약하게 설계된 경우에는 특히 지진에 대한 피해가 심각하다<sup>[8]</sup>. 오래 된 구조물인 경우에는 오랜 시간에 걸쳐 상부로부터 전달되 는 하중을 지탱하고 있는 하부층 기둥이 상부층 기둥과 비교 하여 노화와 손상이 쉽게 발생한다. 또한, 도심지 중·저층 의 오피스텔의 경우에는 1층에 주차 공간을 확보하기 위하여

Note.-Discussion open until June 30, 2017. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 23, 2016; revised September 27, 2016; approved on October 1, 2016.



Fig. 1. Soft story building and its failure shape under earthquake loading

아래 Fig. 1과 같이 구조물을 적은 단면적의 기둥으로 지지 하는 연약층(Soft Story) 빌딩들이 건립되고 있다. 본 연구 에서는 강재 프레임에 대한 거동만을 고려하였지만 실재로 는 대부분의 지진 손상은 1층의 공간의 활용을 위해 벽체를 설치하지 않아 횡하중에 의해 발생하는 전단력에 대한 저항 력의 약화로 발생한다. 이런 빌딩들은 상부층과 비교하여 하 부층의 강성(Stiffness)이 약하여 지진 하중에 의해 1층 기 둥에 소성 힌지(Plastic Hinge)가 발생하기 쉬우므로, 구조물 전체의 전도와 파괴의 위험이 도사리고 있다<sup>[9],[10],[11],[12],[13]</sup>.

본 연구에서는 1층의 기둥이 상부층의 기둥과 비교하여 손상되어 단면적이 상대적으로 작은 기둥으로 모형화해서 유한요소해석 모델을 제작하고 실재의 지진동을 사용한 비 선형 동적 해석을 시행하여 거동과 파괴를 예측하고자 한다. 이외에 구조물의 중량의 비대칭성도 고려하여 유한요소해석 모델을 제작하였으며 해석을 통하여 비대칭 구조물의 거동 을 예측하였다. 해석의 신뢰성을 확보하기 위하여 구조물을 떠받치는 하부의 지반의 영향성도 고려하여 해석을 수행하였 다. 각각의 모델의 지진 성능을 평가하기 위하여 1층 기둥 하부 에 작용하는 전단 반력을 포함하여 각 층의 변위(Displacement) 와 가속도를 측정하였다. 최종적으로 모델 전체의 변형 형상 과 응력의 분포를 관찰하여 하부층 기둥에서 소성 힌지의 발 생 여부에 의한 파괴를 예측하였다.

#### 2. 해석모델 설계

유한요소해석을 수행하기 위해 축소된 규모로 단 경간 3 층 강재 프레임 구조물을 Fig. 2에서 보는 바와 같이 설계를 하였다. 일반적인 건물 높이와 비교할 때 약 1:12의 비율로 축소를 하였다. 추후에 진동 테이블을 활용한 구조 실험과 비교하기 위해 축소된 모형으로 설계하였다. 기둥의 길이는 공통적으로 310mm 길이로 설계하였으며, 각 층의 강재 슬 래브는 가로와 세로의 길이가 300mm인 정사각형 모양으로 제작했다. 각 층마다 슬래브의 두께는 5mm로 설계하였다. 기둥의 직경은 공통적으로 12mm로 설계를 하였으나 Fig. 3 에서와 같이 1층의 연약층 기둥을 모형화 하기 위해 손상을 가정해 상대적으로 작은 단면적을 구현하여 각각 8mm와 4mm로 축소된 단면적으로 설계를 하였다. 기둥과 슬래브는 단순 용접을 통한 강접 형태의 접합부로 설계하였다. 대칭적 인 프레임 모델의 경우에는 슬래브의 질량이 동일하게 분포 한다고 가정을 하여 설계하였다. 반면에, 비대칭적인 프레 임 모델의 경우에는 슬래브 끝단의 중앙에 집중 질량을 가하



Fig. 2. Schematic drawing of slab & column (unit : mm)



Fig. 3. Schematic drawing of 3-story frame structures (unit : mm)

여 설계하였다. 본 연구에서는 기둥의 손상 정도와 질량의 비대칭성을 조합하여 총 6개의 프레임 구조물을 설계하였으 며, 각각의 거동을 예측하고자 유한요소 해석 모델을 제작하 여 비선형 동적 해석을 수행 하였다.

### 3. 유한요소 모델

기존의 연구들에서 주로 사용된 단순한 모델링을 대신하 여 본 연구에서는 정밀한 Abaqus 프로그램을 사용하여 3차 원 공간에 비선형 재료와 대변형(Large Deformation)을 포 함하는 기하학적인 비선형을 고려하여 고등적인 유한요소 해석을 수행하였다. Fig. 4는 본 연구에서 제시하는 3층 강 재 프레임 구조물에 대한 기본적인 유한요소해석 모델을 보 여주고 있다. 지반과 구조물의 상호 거동을 재현하기 위해 1 층 기둥 하부의 지반을 3차원 8절점 솔리드 요소를 사용하여 제작하였으며 밀도가 1.8ton/m<sup>3</sup> 탄성계수가 200MPa이며 푸아송 비율이 0.3인 탄성적인 토양의 물성값을 입력했다. 그리고 무한에 가까운 지반의 경계조건을 모사하기 위하여 동서남북과 아래 방향으로 무한 요소(Infinite Element)를 사용하여 지반 조건의 모델링을 완성하였다. 그리고 실재의 지진 가속도는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 프레임 구조물 하 부의 3차원 솔리드 요소에 Abaqus 프로그램에서 제공하는 경계조건 중에서 한 방향의 가속도와 구속을 풀어주어 지상 의 프레임 모델에 재하했다. 1층 기둥들 하부와 각층의 가속 도와 변위를 측정하기 위해 Set 포인트를 잡아주고 프로그 램에서 제공하는 History Output 기능을 사용하였다. 기둥 과 슬래브는 각각 1차원 보요소와 2차원 플레이트 요소를 사 용하여 제작하였다. 기둥과 슬래브에 밀도는 7.6ton/m<sup>3</sup>이 고 탄성계수는 207GPa이며 항복응력과 푸아송 비율은 각각 400MPa와 0.3인 비선형적인 강재의 물성치를 입력했다. 기둥과 슬래브는 용접에 의한 접합 효과를 고려하기 위해 기 등을 Master Point로 기둥과 만나는 슬래브의 면적을 Slave Surface로 지정하여 MPC(Multi Point Constrained) 기능 을 사용하여 모델링 하였다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 기둥의 손상 정도와 대칭성 여 부를 조합하여 총 6개의 유한요소해석 모델을 제작하였다.

Case-1 모델은 기둥의 직경이 전 층에 걸쳐서 12mm이며 슬래브의 질량이 균일하게 분포하는 대칭적인 프레임 구조 물로 유한요소해석 모델을 제작했다. Case-2 모델은 기본 적으로 Case-1 모델에 각 층의 슬래브에 질량의 약 25%에 해당하는 1.42kg의 Point Mass를 가하여 제작한 비대칭적 인 유한요소해석 모델이다. Case-3과 Case-5 모델은 Case-1 모델을 기준으로 1층의 기둥들의 직경을 각각 8mm



Fig. 4. Basic finite element (FE) model





Fig. 6. Ground motion data

와 4mm로 제작하였다. 마지막으로 Case-4와 Case-6 모 델은 비대칭 프레임 구조물인 Case-2를 기준으로 1층의 기 둥들의 직경을 각각 8mm와 4mm로 제작을 하였다. Case-1 과 Case-2 모델을 제외하면 4개의 모델은 1층 기둥이 손상 된 연약층 프레임 구조물로 분류할 수 있다.

마지막으로 지반에 지진 가속도를 발생시키기 위하여 1967년 12월 인도의 Koyna 댐을 강타한 진도 6.5 규모의 지 반 지진가속도 데이터를 활용하여 비선형 동적 해석을 수행 하였다(Fig. 6). 이러한 지진 가속도 데이터는 국내의 주요 시설물에 적용되는 설계 규모의 지진 하중이며 3.13초에서 약 0.47g의 최대 지반 가속도(Peak Ground Acceleration, PGA)를 가지고 있다.

비선형 동적해석을 수행하기 위하여 실제 시간을 변수로 활용하는 Dynamic Time Step을 사용하였으며 프로그램에 서 지원하는 Amplitude 기능에 지진 가속도 데이터를 입력 한 후 가속도 경계 조건과 결합하여 지반에서 일축 방향으로 지진 하중을 가하였다. 다음 장에서는 이러한 유한요소해석 모델을 활용하여 비선형 동적해석을 수행한 이후에 각 층마다 발생하는 가속도, 변위를 포함하여 1층 하부의 전단력을 검토 하고 최종적으로는 프레임 전체의 변형 형상과 응력 분포를 관 찰하여 지진 성능과 파괴 형태를 평가하고자 한다<sup>[14],[15],[16],[17]</sup>.

### 4. 해석 결과

Fig. 6에서 제시한 시간에 따른 지반 지진 가속도를 활용 하여 비선형 동적 해석을 수행한 후 각 층마다 변위와 가속도 를 측정하여 지진 성능과 손상 여부를 판단하였다. Fig. 7부 터 Fig. 12까지는 각 모델별로 각 층에서 시간에 따라 발생 하는 상대 변위와 층간 변위 비율(Inter-story Drift Ratio, ISDR)곡선을 보여주고 있다. 여기서, 층간 변위 비율은 각 층마다 기둥의 상부와 하부에서 발생하는 변위 차를 기둥의 높이로 나누어 백분율로 나타내었으며 이 비율은 실제로 기 둥에서 발생하는 응력과 변형률에 직접적인 영향을 준다. 또 한, 각 층마다 발생하는 최대변위도 그래프에 나타냈다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 Case-1 모델의 경우 약 3.93 초에서 2.38mm, 4.31mm, 5.86mm의 변위가 각각 1층, 2 층, 3층에서 발생한다. PGA가 발생한 후에 약 0.8초의 시간 차를 두어 최대 변위가 발생했다. 강재 프레임 모델에서 연 약층 혹은 손상으로 인하여 1층 기둥 직경의 감소 효과가 커 질수록 최대 변위가 점차적으로 증가하였다. Case-1 모델. Case-3 모델 그리고 Case-5 모델 순서로 1층에서의 기둥 의 직경은 12mm, 8mm, 4mm로 감소하지만 1층에서의 최 대 변위는 2.38mm, 3.33mm, 7.34mm로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 특히, 1층과 2층의 기둥 직경의 감소 비율이 급격하게 커질수록 최대 변위도 기하급수적으로 증가함을 살펴볼 수 있다. 최대 변위의 증가로 1층에서 발생하는 층간 변위비율의 값도 동시에 증가함을 살펴볼 수 있다. 특히, Case-5 모델과 Case-6 모델의 경우에는 ASCE 7-05 설계 코드<sup>[18]</sup>에서 제시한 최대 층간 변위 비율의 허용 범위 기준인 2%를 초과하는 것을 보여주고 있다. 이는 두 모델이 Fig. 6 에서 제시한 지진 가속도에서 허용 범위 이상의 변위가 발생 하여 구조물 전체에 붕괴가 일어남을 살펴볼 수 있다. 아울 러 두 모델은 지진이 종료되는 시점에서의 진폭과 잔류변위 의 발생이 상당함을 살펴볼 수 있다. 반면에 구조물의 대칭 과 비대칭성은 최대 변위를 포함하여 변위의 진폭에서도 큰 차이가 없으므로 구조물의 지진 성능에 큰 영향력이 없다고 판단된다. 예를 들면 Case-3 모델과 Case-4 모델에서 1층 의 최대 변위가 각각 3.33mm와 3.25mm이므로 거의 동일 한 수치를 보여주고 있다.

각 층에서 발생하는 변위 이외에 층별로 발생하는 가속도 와 1층 기둥 하부의 전단 반력의 조사도 본 연구에서 제시하 고 있는 프레임 모델의 지진 성능을 평가하기 위해 필요하 다. Fig. 13과 Fig. 14는 Case-1 과 Case-2의 경우에서 각 층에 발생하는 가속도를 보여주고 있으며 Fig. 15는 1층 기 둥 하부에 발생하는 전단 반력과 3층 변위 간의 이력 곡선을 보여주고 있다. 1층 기둥 하부에서 측정한 가속도는 해석에 사용된 지반 지진 가속도 데이터와 PGA, 진폭을 포함하여 거의 비슷한 형태를 보여주고 있다. Case-1 모델과 Case-2



Fig. 7. Displacement and maximum inter-story drift ratio (ISDR) graphs for the Case-1 model



Fig. 8. Displacement and maximum inter-story drift ratio (ISDR) graphs for the Case-2 model



Fig. 9. Displacement and maximum inter-story drift ratio (ISDR) graphs for the Case-3 model



Fig. 10. Displacement and maximum inter-story drift ratio (ISDR) graphs for the Case-4 model



Fig. 11. Displacement and maximum inter-story drift ratio (ISDR) graphs for the Case-5 model



Fig. 12. Displacement and maximum inter-story drift ratio (ISDR) graphs for the Case-6 model







Fig. 14. Seismic accelerations occurring along individual stories for the Case-5 model



Fig. 15. Reaction shear force versus roof displacement curves for individual model cases

도의 증폭 현상이 현저하게 감소하는 것을 관찰할 수 있다. Case-5 모델과 Case-6 모델의 경우 1층 기둥 하부에서 측 정한 가속도와 3층에서 측정한 가속도가 큰 차이가 없음을 살펴볼 수 있다. 이는 연약층의 기둥이 단면적의 감소로 인 하여 강성이 줄어들고 지진에 대하여 유연하게 대응하기 때 문에 일종의 댐퍼와 같은 역할을 하여 상부층의 가속도 증폭 을 약화 시키는 역할을 하기 때문이다. 반면에, 연약층에서 상대적으로 적은 전단력에 많은 변위를 발생시키므로 구조 물 전체의 붕괴를 유발시키는 문제점을 발생시킨다. Fig. 15 에서 보는 바와 같이 Case-1 모델에서 가장 큰 전단력에 저 항하며 가장 적은 최대 변위를 발생시킴을 확인할 수 있다.

모델은 다른 모델과 비교하여 같은 층에서 동일한 시간에 가 속도 값이 더 큰 것을 확인할 수 있다. 각 층에서의 최대 가속 도는 최대변위가 발생하는 3.93초에서 발생하였으며 전단 반력은 가속도의 크기에 비례한다는 사실을 고려할 때 그 시 간에 최대 반력이 발생할 것으로 판단된다. 두 모델의 가속 도 그래프에서는 1층 기둥 하부에서 3층 옥상까지 지반 지진 가속도가 전달되면서 가속도의 증폭 현상이 뚜렷하게 관찰 된다. Case-1 모델의 경우 3.93초에서 기둥 하부의 가속도 는 약 0.45g이지만 3층에서는 7배에 가까운 3.05g의 최대 가속도 값을 보여주고 있다. 아울러 가속도 그래프에서는 1 층 기둥의 단면적이 감소할수록 상부로 전달되는 지진 가속



Fig. 16. Deformed configurations and Mises stress contours distributed over individual model cases

이와 반대로, Case-6 모델은 120N의 최대 전단력을 발생시 키며 7.98mm의 최대 변위를 발생시켜 전단력에 대한 저항 력이 급격하게 감소됨을 확인할 수 있다. 대칭적인 질량 분 포를 가진 프레임 모델들은 집중질량을 가진 비대칭 프레임 모델과 비교했을 때 거의 비슷한 가속도 그래프를 보여주고 있다. 대칭적인 질량 분포를 가진 프레임 모델이 최대 전단 반력이 약간 큰 값을 가지고 있으며 이는 지진에 대한 저항성 이 비대칭 프레임 구조물과 비교하여 일정 부분은 우수하다 고 판단할 수 있다.

Fig. 16은 최대 변위가 발생할 때 각 프레임 모델별로 20 배로 확대한 변형 형상과 응력 분포를 보여주고 있다. 모든 모델에서 슬래브는 탄성 범위 이내의 응력을 가지고 있으며 거의 강체(Rigid)적인 거동을 보여주고 있다. Case-1 모델 과 Case-3 모델의 경우에는 1층에서 가장 큰 층간 변위를 보여주고 있지만 2층과 3층에 발생하는 값과 차이가 크지 않 기 때문에 거의 일직선으로 기울어진 형태의 변형을 보여주 고 있다. 하지만 연약층을 가진 프레임 모델들은 1층에서 급 격하게 증가하는 층간 변위가 발생했고 기둥의 단면이 감소 되는 1층 기둥의 상부에서 응력이 항복 범위를 초과하여 소 성 힌지가 발생함을 살펴볼 수 있다. 특히 Case-5 모델과 Case-6 모델의 경우에는 2층과 3층에서는 층간 변위가 거 의 발생하지 않고 기둥과 슬래브 모두 탄성 이내의 응력분포 를 보여준다. 하지만, 1층에서 상당량의 층간 변위를 보여주 고 있으며 면적이 감소된 기둥에서 항복을 초과하는 응력이 분포되어 전형적인 연약층 붕괴 형상을 보여주고 있다. 따라 서, 하부층의 기둥 단면적의 감소는 구조물의 비대칭적 질량 분포와 비교하여 지진 하중에 대한 저항력 감소로 인해 더 큰 피해를 발생한다고 결론지을 수 있다.

## 5. 결 론

축소된 3층 프레임 구조물에서 기둥의 단면적 감소로 인 한 연약층과 집중 질량의 분포로 인한 비대칭성에 대한 지진 에 대한 거동을 예측하고 성능을 평가하는 것에 초점을 두어 본 연구를 수행하였다. 1층 기둥 면적의 감소와 질량 분포의 비대칭성을 조합하여 총 6개의 프레임 모델을 설계하였으 며, 구조실험을 대신해 실제 지진 데이터를 활용하여 고등적 인 유한요소해석을 실시하여 각 층의 변위, 가속도 및 전단 반력을 측정하였다. 1층의 기둥의 면적의 감소가 클수록 전 단력에 대한 저항력이 낮아져 최대 변위와 최대 층간 변위가 증가하여 연약층에 의한 붕괴 효과를 확실하게 볼 수 있었다. 1층 기둥의 단면적 감소는 지진에 유연하게 대처하여 상

부층으로 전달되는 가속도의 증폭을 막아주지만, 전단 저항 력을 상대적으로 감소시키는 작용을 하였다. 연약층의 분포 여부에 따라서 지진 성능이 큰 차이가 있다. 반면에, 슬래브 질량의 비대칭성 여부는 거동에 있어서 큰 차이점이 없었다. 마지막으로 변형 형상과 응력 분포를 통하여 단면적이 감소

된 기둥에서 항복을 초과하는 응력 분포를 확인할 수 있었으며 소성 힌지에 의한 전형적인 연약층 파괴가 발생됨을 평가할 수 있었다. 따라서 공간 확보를 위하여 기둥의 면적을 감소시켜 구조물에 연약층을 형성하는 것은 지진에 대한 성능 감소와 붕 괴를 초래하는 매우 불안정한 구조 설계임을 본 연구 결과를 통하여 판정 할 수 있다. 향후 해석 결과를 바탕으로 축소된 모 형의 실재의 지진 가속도를 가하여 거동을 재현하는 구조 진동 실험을 수행하여 해석의 결과와 비교하고 다양한 변수를 사용 하여 거동의 미치는 영향력을 검증하고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술사업화지원사업의 연 구비지원(15TBIP-C093001-01)에 의해 수행되었습니다. 본 연구 지원에 깊은 감사를 드립니다. 지원에 깊은 감사를 드립니다.

## 참고문헌(References)

- Hu, J.W. (2015) Response of Seismically Isolated Steel Frame Buildings with Sustainable Lead-Rubber Bearing (LRB) Isolator Devices Subjected to Near-Fault (NF) Ground Motions, *Sustainability*, MDPI AG, Vol.7, No.1, pp.111-137.
- [2] Hu, J.W., and Noh, M.-H. (2015) Seismic Response and Evaluation of SDOF Self-Centering Friction Damping Braces Subjected to Several Earthquake Ground Motions, *Advances in Materials Science and Engineering*, Hindawi, Vol.2015, 397273.
- [3] Seo, J., and Hu, J.W. (2016) Seismic Response and Performance Evaluation of Self-Centering LRB Isolators Installed on the CBF Building Under NF Ground Motions, *Sustainability*, MDPI AG, Vol.8, No.2, pp.109-130.
- [4] Hu, J.W. (2014) Investigation on the Cyclic Response of Superelastic Shape Memory Alloy (SMA) Slit Damper Devices Simulated by Quasi-static Finite Element (FE) Analyses, *Materials*, MDPI AG, Vol.7, No.2, pp.1122-1141.
- [5] 장승필 등(1999) 국가내진성능 목표설정 연구개발, 연구 보고서, 소방방재청.
  Jang, S.P. et al. (1999) *Development of National Seismic Performances Criteria, Research Report*, National Emergency Management Agency, Korea (in Korean).
- [6] 박장선(2014) 형상기억합금의 연구 및 응용동향과 전망, ReSEAT 분석리포트, 한국과학기술정보연구원, 제56권,

pp.1078-1113.

Park, J.S. (2014) Research, Application Trends, and Prospects of Shape Memory Alloys, *ReSEAT Analysis Report*, Korea Institute of Science and Technology Information, Vol.56, pp.1078-1113 (in Korean).

- [7] Dassault Systèmes Simulia Corp. (2013) Abaqus User's Manual, Ver. 6.12, DSS, USA.
- [8] Dya, A.F.C., and Oretaa., A.W.C. (2015) Seismic Vulnerability Assessment of Soft Story Irregular Buildings Using Pushover Analysis, *Procedia Engineering*, Elsevier, Vol. 125, pp.925-932.
- [9] 이한선, 고동우(2003) 저층부에 약층과 비틀림 비정형성을 가진 고층 비정형 RC벽식 구조물의 지진응답, 한국지진공 학회 논문집, 한국지진공학회, 제7권, 제6호, pp.81-91.
  Lee, H.S., and Ko, D.W. (2003) Seismic Response of a High-Rise RC Bearing-Wall Structure with Irregularities of Weak Story and Torsion at Bottom Stories, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, EESK, Vol. 7, No.6, pp.81-91 (in Korean).
- [10] Merczel, D.B., Aribert, J.-M., Somja, H., and Hjiaj, M. (2016) Plastic Analysis-Based Seismic Design Method to Control the Weak Storey Behaviour of Concentrically Braced Steel Frames, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.125, pp.142-163.
- [11] Nazarimofrad, E., and Zahrai, S.M. (2016) Seismic Control of Irregular Multistory Buildings Using Active Tendons Considering Soil-Structure Interaction Effect, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, Vol.89, pp.100-115.
- [12] Nguyen, P.-C., Doan, N.T.N., Ngo-Huu, C., and Kim, S.-E. (2014) Nonlinear Inelastic Response History Analysis of Steel Frame Structures Using Plastic-Zone Method, *Thin-Walled Structures*, Elsevier, Vol.85, pp.220-233.
- [13] Nguyen, P.-C., and Kim, S.-E. (2014) Distributed Plasticity Approach for Time-History Analysis of Steel Frames Including Nonlinear Connections, *Journal of Constructional Steel Research*, Elsevier, Vol.100, pp.36-49.
- [14] 서영일, 나운, 김대중, 김선규(2008) 철골조 구조물의 비탄 성 내진성능평가, 한국강구조학회 2008년 학술발표대회 논문집, 한국강구조학회, pp.13-16. Seo, Y.I., La, W., Kim, D.J., and Kim, S.G. (2008) Seismic Performance Evaluation of Steel Structure Based on Code, *Proceedings of the 19th Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.13-16 (in Korean).
- [15] 이기학, 우성우(2006) 지진 하중을 받는 철골 모멘트 골조

빌딩에 대한 반응수정계수의 평가, 한국강구조학회논문 집, 한국강구조학회, 제18권, 제5호, pp.585-595.

Lee, K., and Woo, S. (2006) Evaluation of Response Modification Factors for Steel Moment Frame Buildings Subjected to Seismic Loads, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.18, No.5, pp.585-595 (in Korean).

[16] 신지욱, 이기학, 이도형, 김수동(2010) 연속지진하중에 대 해 시간종속요소로 보강된 필로티형 5층 건물의 내진거동 연구, 한국강구조학회 2010년 학술발표대회 논문집, 한국 강구조학회, pp.261-262.

Shin, J.U., Lee, K.H., Lee, D.H., and Kim, S.D. (2010) Seismic Behaviors of the Piloti-Type Five Story Building Retrofitted with Time-Dependent Elements Under Various Multiple Earthquakes, *Proceedings of the 21st Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.261-262 (in Korean). [17] 강석봉, 김신애(2010) 반강접 접합부 배치에 따른 비가새 5층 철골골조구조물의 비탄성 시간이력해석, 한국강구 조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제4호, pp.313-324.

Kang, S.B., and Kim, S.A. (2010) Inelastic Time History Analysis of an Unbraced 5-Story Steel Framed Structure for Arrangement of Semi-Rigid Connection, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.22, No. 4, pp.313-324 (in Korean).

[18] American Society of Civil Engineers (2005) Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-05), USA.

요 약: 두본 연구에서는 축소된 3층의 강재 프레임 구조물에 실제 지진동 데이터를 사용하여 고등적인 3차원 유한요소 해석을 통해 거동을 예측하고 손상을 평가하고자 한다. 비선형 동적 해석에서 구조물의 연약층(Soft Story)의 효과와 비대칭성(Asymmetry)을 고려하기 위하여 기둥의 단면적을 축소 시켜 기둥을 손상시키고 집중 질량을 슬래브에 가하여 프레임 모델을 설계를 하였다. 해석 결과 분석을 통해 프레 임 구조물의 손상은 중량의 대칭성 보다는 기둥의 손상과 연약층의 존재에 의해서 결정됨을 본 연구를 통하여 재확인할 수 있다.
 핵심용어: 강재 프레임, 지진동, 지진 가속도, 층간 변위, 소성 힌지