

점성감쇠기가 설치된 모멘트골조의 연쇄붕괴 저항성능

Progressive Collapse Resisting Capacity of Moment Frames with Viscous Dampers

김진구† 이승준* 최현훈**
Kim, Jinkoo Lee, Seung-Jun Choi, Hyun-Hoon

요 지

본 논문에서는 비선형 동적해석방법을 이용하여 점성감쇠기가 설치된 철골조 건물의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하였다. 감쇠기가 설치된 2경간 보-기둥 부분골조를 이용하여 주기 및 항복강도의 변화에 따른 감쇠력의 효과를 검토하였다. 해석 결과에 따르면 감쇠비가 증가할수록 기둥이 제거된 지점의 수직변위가 감소하는 것으로 나타났으며, 탄성시스템 뿐만 아니라 비탄성시스템에서도 효과가 있는 것으로 나타났다. 감쇠기가 설치된 15층 3경간 철골 모멘트골조의 비탄성해석을 통하여 감쇠기의 효과를 검증한 결과, 기둥이 제거될 경우 처짐이 작게 발생하는 6m 경간 모델보다 처짐이 크게 발생하는 9m 경간 모델의 경우에 감쇠기의 효과가 더욱 크게 나타났다.

핵심용어 : 점성감쇠기, 모멘트골조, 연쇄붕괴, 보-기둥 부분골조, 비선형해석

Abstract

In this paper the progressive collapse resisting capacity of steel moment frames with viscous dampers was evaluated by nonlinear dynamic analysis. The effects of dampers installed in steel beam-column sub-assemblages with varying natural period and yield strength were evaluated after sudden removal of a column. According to the parametric study the vertical displacement general decreased as the damping ratio of the system increased, and the dampers were effective both in elastic and elasto-plastic systems. The nonlinear dynamic analysis results of the 15-story analysis models showed that the decrease in vertical deflection of the structure with 9m span length, which showed larger deflection, was more predominant than that of the structure with 6m span length.

Keywords : viscous dampers, moment frames, progressive collapse, beam-column sub-assemblage, nonlinear analysis

1. 서 론

연쇄붕괴는 예상하지 못한 비정상하중에 의하여 발생한 구조부재의 국부적인 손상으로 인하여 구조물 일부 혹은 전체가 연쇄적으로 붕괴를 일으키는 현상을 말한다. 비정상하중은 폭발, 차량 및 비행기 충돌, 화재 등 발생 가능성이 다소 낮지만, World Trade 센터 붕괴사고와 같이 큰 인명 및 재산 피해로 이어질 수 있다. 현재 연쇄붕괴 방지 설계 방법으로 사용되는 대표적인 방법인 대체경로법(alternative path method)은 비정상하중에 의하여 주요 구조부재가 파괴된다

고 가정하여 이를 제거한 후, 제거된 부재의 하중을 인접부재로 재분배하여 나머지 구조요소들이 그로 인한 하중을 부담할 수 있는지 확인하는 방법이다. 미국 General Service Administration(GSA, 2003)과 Department of Defense (DoD, 2005)에서는 대체경로법을 사용한 연쇄붕괴 방지에 관한 해석 및 설계지침을 제시하고 있다.

FEMA-356(2000)에서는 연쇄붕괴 해석을 위한 대체경로법을 수행하는 방법으로 선형정적 및 동적해석, 비선형정적 및 동적해석의 네 가지 방법을 제시하고 있다. 이러한 다양한 연쇄붕괴 해석 방법들에 대하여 정적해석법은 비정상하

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

* 성균관대학교 초고층·장대교량학과 대학원 석사과정

** 정회원 · 삼성물산 기술연구센터 선임연구원

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

중에 의하여 기둥이 갑작스럽게 제거되는 동적효과를 반영하지 못하는 한계가 있으며(Kaewkulchai 등, 2003), Marjanishvili (2004)는 대체경로법을 수행하는 방법들 중에서 비선형동적해석법이 실제와 가장 가까운 결과를 도출한다고 주장하였다.

ATC-40(1996)과 FEMA-273(2000)에 의하면 건물의 내진성능을 향상시키는 방안에는 건물의 강도와 강성을 증가시키는 방법, 건물의 변형능력을 향상시키는 방법, 면진장치 혹은 에너지 소산장치(energy dissipation device)를 설치하는 방법 등이 있다. 이 중에서 마찰감쇠기(friction damper), 소성감쇠기(hysteretic damper), 점성감쇠기(viscous damper), 점탄성감쇠기(viscoelastic damper) 등과 같은 수동형 에너지 소산장치는 장치의 설계, 설치 및 교체가 용이하여 신축 건물과 기존 건물에도 적용이 가능하고, 내진성능 향상 뿐만 아니라 풍하중에 의한 진동저감 성능이 우수하여 그 적용사례가 많다.

본 연구에서는 먼저 보와 기둥으로 구성된 부분골조 모델의 주기와 감쇠기의 감쇠비를 달리하며 기둥이 제거될 경우 감쇠력이 구조물의 응답에 미치는 영향을 분석하였다. 그리고 횡하중 제어를 위하여 감쇠기가 설치된 15층의 철골 구조물의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하고, 감쇠기를 설치하지 않은 구조물 응답과의 차이를 분석하였다.

2. 연쇄붕괴 해석법

연쇄붕괴 해석은 주요 구조부재가 비정상하중에 의하여 파괴되는 시나리오를 예상하고, 이러한 구조부재의 부분적인 손상이 연쇄붕괴로 이어질지에 대한 평가를 수행하는 것이다. 현재 GSA와 DoD 가이드라인에서 제시한 연쇄붕괴의 가능성을 평가하기 위한 대표적인 방법으로는 본 연구에서 사용한 정적해석법과 동적해석법이 있다. 이러한 방법들은 충격하중을 어떻게 고려하는가에 의하여 구분되며, 연쇄붕괴 거동은 기둥이 제거되는 매우 짧은 시간에 상부 구조물이 자유낙하하며 발생하는 충격하중에 의하여 진동이 발생한 이후 진동변위응답이 감소하는 형태를 나타낸다.

정적해석법의 경우, 그림 1과 같이 기둥이 파괴되었을 때 해당 골조에 발생하는 동적인 충격효과를 고려하기 위하여 고정하중(DL)과 적재하중(LL)의 조합에 동적증폭계수 2를 적용한 $2(DL+0.25LL)$ 의 하중조합을 적용하도록 규정하고 있다. 비선형정적해석은 pushover 해석법을 응용한 pushdown 해석을 통하여 수행할 수 있다. Pushdown 해석은 기둥이 제거된 위치의 수직변위를 점차적으로 증가시키면서 이 때 요구되는 하중을 계산하는 변위제어 방식으로 수행된다. 이러한 pushdown 해석을 통하여 각 변위단계에서 구조물의 저항능

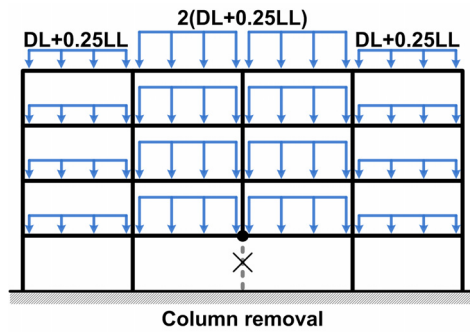


그림 1 비선형정적해석 시 적용하는 중력하중 조합(GSA, 2003)

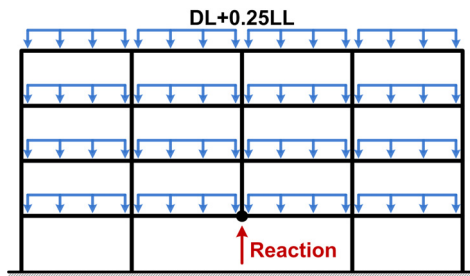


그림 2 비선형동적해석 시 적용하는 중력하중 조합(GSA, 2003)

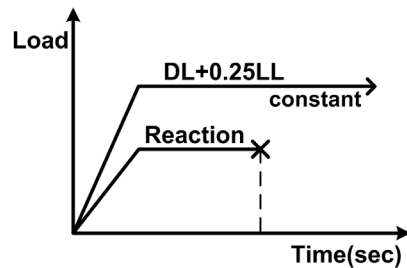


그림 3 연쇄붕괴 해석을 위한 동적하중 가력 방법

력을 평가하는 것이 가능하다.

동적해석법은 비정상하중으로 인하여 기둥이 제거되는 동적효과를 모사하기 때문에 동적증폭계수의 고려없이 수행된다(그림 2). 즉, 동적해석법은 그림 3에서 보는 바와 같이 모든 경간에 적용한 $DL+0.25LL$ 의 하중조합과 기둥이 제거된 지점에서 기둥이 본래 받던 부재력을 일정 시간 동안 점진적으로 증가시키면서 가력하여 구조물이 비정상하중을 받기전의 안정화 상태를 구현한다. 이와 같이 구조물이 안정된 상태를 유지한 후 반력을 순간적으로 제거하는 방식으로 기둥이 제거되는 효과를 구현한다.

3. 부분골조 모델을 이용한 변수분석

연쇄붕괴 발생 시 구조물의 응답에 대한 감쇠(damping)의 영향을 분석하기 위하여 그림 4에 나타낸 보-기둥 부분골조(beam-column sub-assembly)를 구성하였다. 부분골조의 중앙에 수직으로 감쇠기가 연결되어 있으며, 하부 기둥

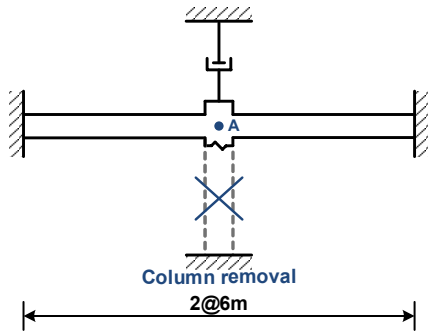


그림 4 보-기둥 부분골조 모델의 형태

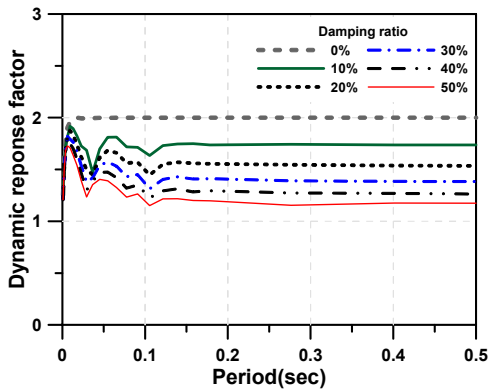


그림 5 보-기둥 부분골조의 주기 및 감쇠에 따른 동적응답계수

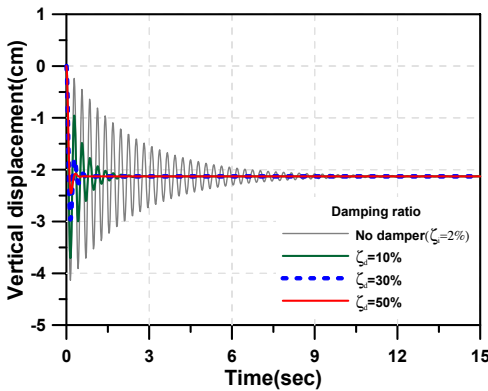
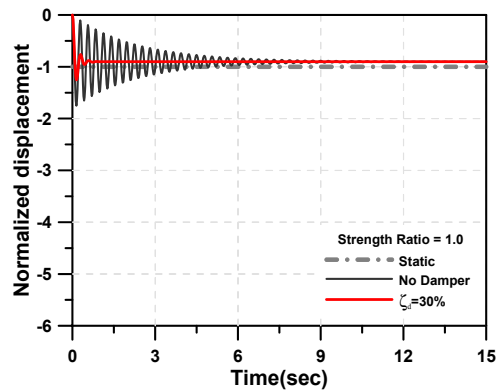


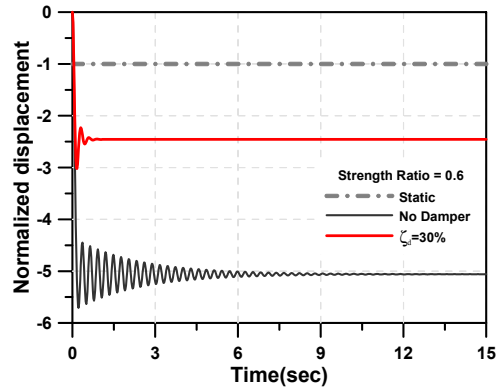
그림 6 감쇠비에 따른 수직변위의 시간이력

이 갑자기 제거되는 것으로 가정하였다. 보에 고정하중 5.0 kN/m², 적재하중 2.5kN/m²을 가하고 연쇄붕괴 해석을 범용 해석프로그램인 SAP2000을 이용하여 수행하였다. 보의 크기는 H 500×200×10/16이며, 강재 종류는 SS400이다.

부분골조 보의 길이를 달리하는 방법으로 주기를 변화시키며 다양한 감쇠비에 대하여 선형동적해석을 수행하고 정적해석 결과와의 비인 양의 부호로 표현한 동적응답계수(dynamic response factor)는 그림 5와 같다. 해석결과에 따르면 매우 작은 주기(0.05초 이하)를 제외한 대부분의 주기에 있어서 동적응답계수가 2.0 이하로 나타나는 것을 알 수 있다. 감쇠비가 0 일 때는 동적 응답이 정적 응답의 두 배가 되는 것을 알 수



(a) 강도비 1.0



(b) 강도비 0.6

그림 7 강도비 변화에 따른 감쇠의 효과

있고, 감쇠비가 증가할수록 1.0으로 수렴하는 것으로 나타났다. 그림 6은 그림 4에서 나타낸 것과 같이 경간의 길이가 6m인 부분골조의 기둥 제거 지점에서의 수직변위 시간이력이다. 여기서 부분골조의 고유감쇠비(inherent damping ratio, ζ_i)는 2%로 가정하였고, 감쇠기의 감쇠비(ζ_d)를 10%에서 50%까지 증가시켰다. 감쇠비가 증가함에 따라 진동이 급격히 감소하였고, 최대 수직변위도 줄어들었다. 경간 6m의 부분골조가 기둥 제거 후에 탄성상태의 거동을 나타내므로 감쇠의 적용에 관계없이 구조물의 최종 변위는 모두 동일함을 알 수 있다.

경간이 6m인 부분골조의 항복강도의 변화에 따른 감쇠비의 영향을 파악하기 위하여 비선형동적해석 결과의 변위를 정적 해석 결과에 의한 변위로 나눈 정규화된 변위(normalized displacement)의 시간이력을 그림 7에 나타내었다. 감쇠기를 설치하지 않은 철골 구조물 고유감쇠비(ζ_i)는 2%이고, 감쇠기 설치 모델의 경우 감쇠기의 감쇠비(ζ_d)는 30%로 가정하였다. 그림 7(a)에서 강도비 1.0은 감쇠기 설치 전후의 부분골조에서 최종 변위가 동일한 탄성시스템을 의미하며, 그림 7(b)는 항복강도가 60%로 감소한 시스템을 나타낸다. 강도비가 작아질수록 감쇠기 적용 전후의 수직변위차가 커지므로 감쇠가 더욱 효과적으로 작용했음을 알 수 있다.

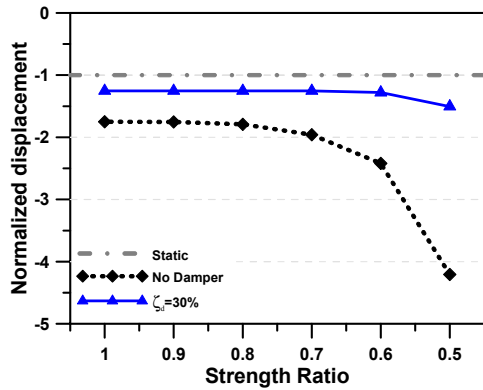


그림 8 강도비 변화에 따른 동적응답비

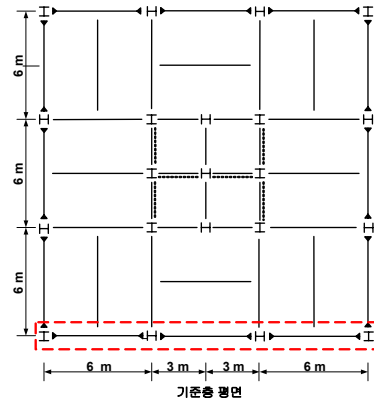


그림 9 6m 경간 예제 구조물의 평면

따라서 예제 모델이 비탄성 상태가 되어 수직변위가 증가함에 따라 감쇠비의 증가가 구조물의 연쇄붕괴 방지에 효과적으로 작용한 것으로 나타났다. 또한 기둥 제거로 발생한 초기 진동제어 효과는 모든 경우에 있어서 고르게 나타났으며, 일반적인 건물에 있어서 연쇄붕괴 발생 후 기둥이 제거될 때의 동적 충격효과 완화에 감쇠기가 효과적으로 작용할 것으로 예상된다.

감쇠기가 설치되지 않은 경우($\zeta_d=2\%$)와 감쇠기가 설치된 경우($\zeta_d=30\%$) 강도비 변화에 따른 경간 6m 부분골조 모델의 정규화된 변위는 그림 8과 같다. 감쇠기가 적용되지 않은 경우에 강도비가 감소함에 따라 수직변위의 동적응답계수가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 감쇠기가 적용되지 않은 모델의 비선형 동적해석 결과에 따르면 강도비 0.6에서 0.5로 감소할 때 동적응답비가 큰 폭으로 증가하였다. 부재의 판폭 두께비와 하중의 형태에 따라 한계상태를 IO(Immediate Occupancy), LS(Life Safety), CP(Collapse Prevention)로 규정하고 있는 FEMA-356(2000)에 따르면 강도비가 0.6인 경우에 보의 처짐이 -5.7cm로 IO 단계에 해당하는 초기 단계의 소성힌지가 발생하였고, 강도비가 0.5인 경우에는 보의 처짐이 -10.1cm로 CP 단계의 소성힌지가 발생하였다.

그러나 감쇠기가 설치된 경우에는 같은 구간에서 정규화된 변위가 -1.3에서 -1.5로 소폭만 감소하여, 강도비가 작은 경우에도 동적응답계수가 급격히 증가하는 현상은 발생하지 않았다. 따라서 감쇠기의 설치는 소성변형 구간에서 처짐이 점차 크게 발생하였을 때 효과적이며, 이러한 감쇠기의 설치로 인한 연쇄붕괴 방지효과는 보의 변형이 커질수록 증가하는 것으로 나타났다.

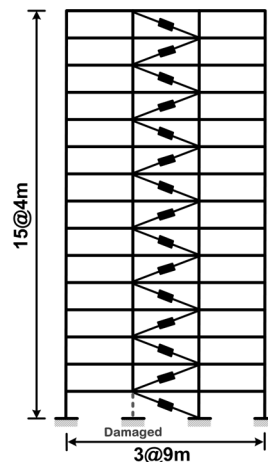


그림 10 점성감쇠기가 설치된 구조물의 기둥 제거 위치

표 1 해석모델의 구조부재 크기 (단위 : mm)

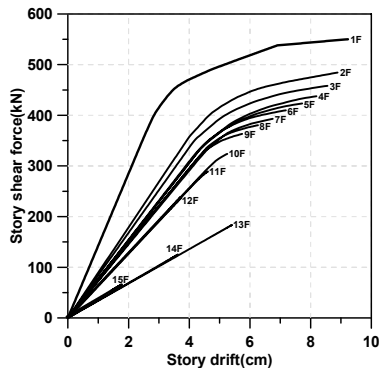
(a) 6m 경간 모델

층	외부기둥	내부기둥	보
1~3	H 304×301×11/17	H 350×357×19/19	H 350×175×7/11
4~6	H 300×300×10/15	H 344×348×10/16	H 350×175×7/11
7~9	H 298×299×9/14	H 304×301×11/17	H 354×176×8/13
10~12	H 250×255×14/14	H 300×300×10/15	H 354×176×8/13
13~15	H 200×204×12/12	H 200×204×12/12	H 350×175×7/11

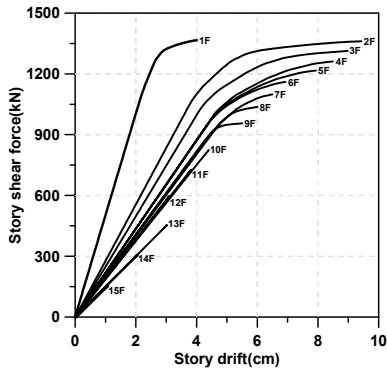
(b) 9m 경간 모델

층	외부기둥	내부기둥	보
1~3	H 428×407×20/35	H 458×417×30/50	H 482×300×11/15
4~6	H 406×403×16/24	H 428×407×20/35	H 482×300×11/15
7~9	H 400×408×21/21	H 406×403×16/24	H 482×300×11/15
10~12	H 394×405×18/18	H 394×398×11/18	H 482×300×11/15
13~15	H 394×398×11/18	H 300×305×15/15	H 482×300×11/15

예제 구조물은 그림 9~10과 같은 평면과 입면을 가진 경간 길이 6m와 9m의 15층 3경간 철골조 건물이다. 각 층의 층고는 4m로 모든 층에서 동일하며, 외부 골조는 횡력에 저항하도록 모멘트골조로 설계하고, 내부 골조는 외부골조와



(a) 6m 경간 구조물



(b) 9m 경간 구조물

그림 11 예제 구조물의 층강성

표 2 예제 구조물의 층별 수평강성(kN/cm)

층	경간 6m	경간 9m
1	142.5	501.5
2	89.5	278.6
3	84.1	249.2
4	76.5	218.2
5	76.6	217.5
6	77.2	218.2
7	72.7	200.7
8	73.9	202.3
9	73.8	204.6
10	64.1	187.6
11	63.7	190.5
12	64.0	191.2
13	33.9	150.2
14	34.5	149.3
15	35.1	148.1

한지 접합하여 중력하중에만 저항하도록 설계하였다. 골조의 설계는 고정하중 5.0kN/m², 활하중 2.5kN/m²를 적용하였으며, 풍하중은 노풍도 A, 기본풍속 30m/sec, 중요도계수 1.1, 가스트 영향계수는 2.5로 적용하였다. 설계 지진하중은 지역계수 0.22, 지반계수 Sc, 중요도계수 1.2, 반응수정계수는 철골 가새골조로서 중간 모멘트골조를 가지는 이중 골조시스템에 해당하는 5를 적용하였다. 예제 구조물의 기둥은

SM490강재를 사용하였고, 가새와 보는 SS400강재를 사용하였다. 예제 구조물의 설계는 Midas Genw을 이용하여 수행하였으며, 각 부재의 크기는 표 1에 나타내었다.

해석모델의 층질량은 경간 6m 모델에서 28kN·ses²/m이고 경간 9m에서 62kN·ses²/m이며, 각 층에서 모두 동일하다. 구조물의 수평강성은 예제 구조물의 1차 모드에 비례하는 하중을 수평방향으로 가력하는 pushover 해석법을 이용하여 산정하였다. 각 층에 가력되는 전단력의 합을 해당 층의 층간 변위로 나눈 층별 수평강성을 그림 11과 표 2에 나타냈으며, 층강성은 층이 증가할수록 감소하는 경향을 보인다.

4.2. 예제 구조물의 해석 모델링

비선형 동적해석을 위하여 그림 9의 점선으로 표시한 외부 골조를 2차원으로 모델링하여 해석하였다. 해석모델의 경간이 6m에서 9m로 변할 때 수직방향 주기가 약 0.206에서 0.213초로 증가하였다. 그림 5에 따르면 이 구간에서 감쇠비가 증가할수록 기둥 제거로 인한 동적응답이 감소하는 것을 알 수 있다. 횡하중에 대하여 20%의 추가 감쇠비(감쇠비의 감쇠비, ζ_d)를 갖도록 식 (1)을 사용하여 감쇠비의 크기를 산정하였다. 여기서 모든 층에 동일한 감쇠상수를 가진 감쇠기가 그림 10에서 나타낸 바와 같이 설치되고, 그림 12처럼 보와 θ 각을 이룬다고 가정하였다(김진구 등, 2001). 식 (1)에서 ζ_d 는 점성감쇠기의 감쇠비이고, T 는 구조물의 고유주기, C_i 는 i 층의 감쇠계수, θ_i 는 감쇠기와 보 사이의 기울기, m_i 는 i 층의 질량, 그리고 ϕ_i 는 i 층에서의 모드변위를 나타낸다(그림 12).

$$\zeta_d = \frac{T \sum_i C_i \cos^2 \theta_i (\phi_i - \phi_{i-1})^2}{4\pi \sum_i m_i \phi_i^2} \quad (1)$$

비선형해석을 수행하기 위하여 부재의 힘-변형 관계는 항복이후 최대 저항력에 도달한 이후 저항성능이 감소되는 그림 13과 같은 하중-변위모델을 사용하였다. 연쇄붕괴에 관한 GSA 기준에서는 연쇄붕괴 발생을 방지하기 위하여 철골 부재의 구조요소와 전체 시스템에 대한 최대 허용 연성도(ductility)와 회전각의 변형 한계값을 표 3과 같이 제시하고 있다. 그러나 GSA에서 제시한 기준에서는 부재의 폭-두께비나 보-기둥 접합부의 형태에 따라 상세하게 분류되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 부재의 판폭 두께비와 하중의 형태에 따라 부재의 상태를 상세하게 규정하고 있는 FEMA-356(2000)의 기준에 따라 부재의 이력곡선을 모델

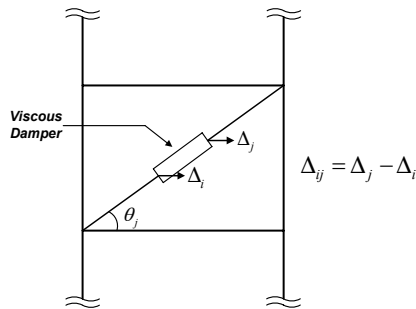


그림 12 점성감쇠기의 상대변위

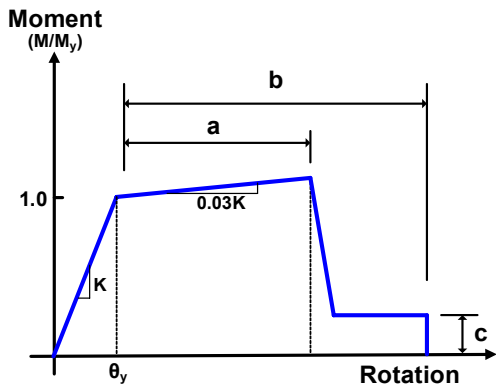


그림 13 힘 부재의 이력모델

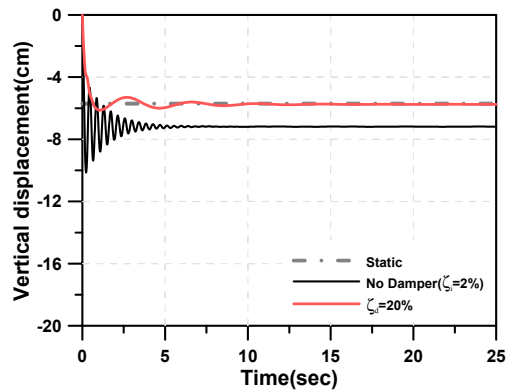
표 3 골조의 한계 변위(GSA, 2003)

COMPONENT	DUCTILITY(μ)	ROTATION (θ , radians)
Steel Beams	20	0.21
Steel Columns (tension controls)	20	0.21
Steel Columns (compression controls)	1	-
Steel Frame	-	0.035

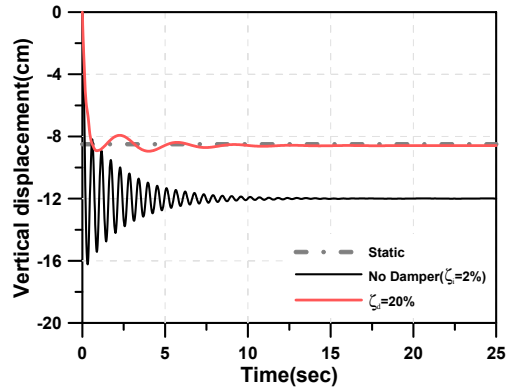
링하였다. 비선형 힘-변위를 관계를 규정하는 계수들(a, b, c)은 6m 경간 모델 보의 경우 a=8.4, b=10.4, c=0.56로 산정된다. 비선형 동적해석의 결과는 제거된 기둥 위치의 반력이 제거된 시점부터 표현하였고, 구조물의 고유감쇠비는 2%로 가정하였다.

4.3 해석 결과

점성감쇠기가 설치된 해석 모델의 연쇄붕괴 저항성능을 평가하기 위하여 SAP2000을 이용하여 1층 기둥을 제거하고 연쇄붕괴 해석을 수행하였다. 점성감쇠기가 설치된 예제 구조물의 입면과 기둥의 제거 위치는 그림 10과 같다. 점성감쇠기는 동적 특성에 의하여 거동하기 때문에 비선형 동적해석을 수행하였다.



(a) 6m 경간 구조물



(b) 9m 경간 구조물

그림 14 비선형 동적해석 결과

그림 14는 해석 모델의 비선형 동적해석 결과를 나타낸 것이다. 표 3에 나타난 GSA 기준에 규정된 보의 한계 회전 각인 0.035rad를 부재의 파괴 기준으로 설정하였다. 경간이 6m, 9m인 구조물의 한계 처짐은 GSA 가이드라인에 따라 21cm, 31.5cm에 해당하며, 비선형 동적해석 결과에 의하면 구조물의 수직변위가 이 기준을 초과하는 경우는 없는 것으로 나타났다. 비선형동적 시간이력곡선에 표시된 점선은 같은 중력하중 하에서 선형정적해석을 통한 수직변위를 나타낸 것으로, 기둥 제거 후의 동적 충격효과로 인하여 동적 처짐이 정적 처짐보다 더 크게 발생한 것을 알 수 있다. 경간이 길어지면 재료의 비선형적인 힘-변위 관계로 인하여 부재가 항복하는 소성현상이 발생하므로 이 차이가 점차 커지는 경향을 보였다. 해석결과에 따르면 감쇠기를 설치한 경우 6m 경간에서 최대 수직 처짐이 -10.1cm에서 -6.1cm로, 9m 경간에서 -16.2cm에서 -8.9cm로 감소한 것으로 나타났다. 감쇠기를 설치한 모델에서 모두 초기 진동 제어 효과를 보였으며, 기둥이 제거된 직후 발생하는 동적인 충격효과를 감소시키는데 효과적이었던 것으로 나타났다.

그림 15는 감쇠기 설치 전 후의 소성현상 분포를 나타낸다. 감쇠기가 설치되지 않은 경우 기둥의 제거 후 해당 경간

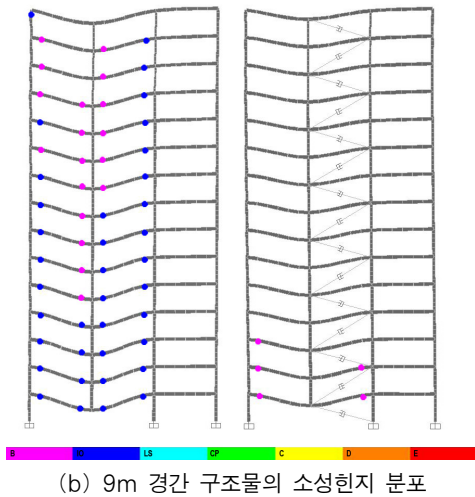
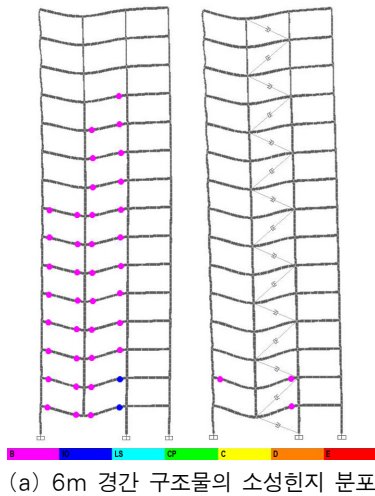


그림 15 경간 별 감쇠기 설치 전 후의 소성힌지 분포 비교

의 보에 많은 소성힌지가 발생하였고, 경간 6m보다 경간 9m의 예제 모델에서 소성힌지가 더 많이 발생한 것을 알 수 있으며, 이는 구조물의 경간이 증가함에 따라 수직 방향 강성이 감소하기 때문이다. 그리고 감쇠기의 설치 후에 예제 구조물의 소성힌지 분포가 대폭 감소하여 초기단계의 소성힌지만 국부적으로 발생한 것을 확인할 수 있는데, 이는 그림 14에서 나타낸 바와 같이 예제구조물의 최종변위가 선형정적 해석 결과보다 미소하게 증가하는 결과와 일치함을 보인다. 소성힌지가 경간 9m 모델에서 6m 모델의 경우 보다 더욱 많이 발생하였지만, 감쇠기의 설치 후에 제어된 소성힌지의 분포를 보았을 때 경간의 길이가 길고 수직 처짐이 커질수록 감쇠기가 연쇄붕괴 방지에 효과적으로 작용함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 선형 및 비선형 동적해석 방법을 이용하여

감쇠기가 연쇄붕괴 저항성능에 미치는 영향을 평가하였다. 보-기둥 부분골조 모델을 이용하여 시스템의 주기와 항복강도가 달라짐에 따라 연쇄붕괴에 대한 감쇠기의 효과를 검토하였다. 이를 바탕으로 15층 3경간 철골조 건물에 20%의 일정한 감쇠비를 가지도록 감쇠기를 설치하고 연쇄붕괴에 대한 감쇠기 설치 효과를 검토하였다.

해석 결과에 따르면 점성감쇠기는 기둥 제거 후 동적 충격하중에 의한 초기 진동 제어에 효과적인 것으로 나타났으며, 구조물이 소성 단계에 접어들수록 감쇠로 인한 수직 처짐 제어 효과가 증가하는 것으로 나타났다. 6m와 9m 경간의 15층 철골조 건물의 경우 감쇠기 설치 후에 구조물의 소성힌지 발생이 대폭 제어되는 것으로 나타났다. 감쇠기의 효과는 6m 구조물의 경우보다 9m 구조물에서 더욱 현저하게 나타났다.

본 연구에서는 점성감쇠력만 존재하는 점성감쇠기를 대상으로 연구하였으며, 추후 좀 더 다양한 에너지 소산장치가 적용된 구조물의 연쇄붕괴 방지 성능 및 감쇠기 최적 위치 등에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국연구재단 국가지정연구실사업(R0A-2006-000-10234-0)의 지원으로 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김진구, 최현훈 (2001) 능력스펙트럼법을 이용한 다층 철골조 건물의 적정 감쇠기 산정, 한국지진공학회 논문집 5(2), 2001, pp.103~111.

AISC (2000) Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago.

ATC-40 (1996) Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Building, Applied Technology Council, Redwood City, California.

FEMA (2000) NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-273, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

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

GSA (2003) Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects, The U.S. General Services Administration.

Kaewkulchai, G., Williamson, E.B. (2003) Dynamic Behavior of Planar Frames during Progressive Collapse, *16th ASCE Engineering Mechanics Conference*, July 16-18.

KBC (2005) 건축구조설계기준, 대한건축학회

Marjanishvili, S.M. (2004) Progressive Analysis Procedure for Progressive Collapse, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, pp.79~85.

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

SAP2000 (2004) Structural Analysis Program, *Computers and Structures*, Berkeley.

Unified Facilities Criteria(UFC)-DoD (2005) Design of Buildings to Resist Progressive Collapse, *Department of Defense*.

- 논문접수일 2010년 4월 21일
- 논문심사일
1차 2010년 4월 30일
2차 2010년 7월 20일
- 게재확정일 2010년 7월 22일