

구조물의 내진성능 보강을 위한 보-기둥 접합형 감쇠장치

Beam-Column Junction Type Damper of Seismic Performance Enhancement for Structures

노 정 태*·우 성 식**·이 상 현†·정 란***

Noh, Jung-Tae, Woo, Sung-Sik, Lee, Sang-Hyun, Chung, Lan

Key Words : Seismic performance enhancement (내진성능보강), damper(보-기둥 접합형 감쇠장치), Numerical analysis (수치해석)

ABSTRACT

In this study, a beam-column junction type damper is proposed which saves the inner and outer space for the installation of damping devices and allows easy adjustment of control performance. The result of the numerical analysis indicated that the displacement response and base shear of a single degree of freedom system by seismic load, El Centro 1940 was reduced with yield moment of the joint hinge and the specific yield moment ratio δ of the joint hinge existed for the optimal seismic performance. In addition, the dynamic nonlinear characteristics, effects of yielding and dependence of natural period of bi-linear system with the junction type damper is identified. The analysis of multi-degree of freedom system showed that responses of the controlled structures was reduced significantly as the number of a story increases and yield moment ratio decreases when the system is excited by seismic load and sine wave. On top of that, it was also observed that energy dissipation at the joint connected with the dampers was remarkable during excitation.

1. 서 론

최근 들어 예측이 어려운 풍하중, 지진하중과 같은 동적 하중에 대하여, 대형 건축 및 토목 구조물의 안정성과 사용성을 확보하기 위한 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 감쇠장치를 설치하여 건물에 감쇠를 추가하는 진동제어방법도 연구되어 및 실제 구조물에 설치되고 있으며, 이러한 에너지 소산형 감쇠장치에는 부가 질량 기구, 가변 강성·감쇠 기구와 에너지 소산형 감쇠기 등이 있다.¹⁾

에너지소산형 감쇠장치의 원리는 입력된 에너지의 일부를 마찰 또는 항복에 의해 축적시키거나 소산시켜 구조물에 미치는 피해를 줄여주는 것이다.

이러한 에너지 소산형 감쇠기 중 마찰현상을 이용한 마찰형감쇠기는 구조물의 고유주기 변화가 10~20% 범위 내에서 에너지소산 능력을 증가시킨다. 또한 지진발생 이후에도 필요에 따라 감쇠장치의 교체가 가능하며 항복 마찰력의 크기에 따라 에너지 소산능력을 비교적 쉽게 조절할 수 있는 장점이 있어 지진저항 능력이 부족한 기존 구조물에 적용하기 효율적인 진동제어 방법이다.²⁾

기존의 철골 모멘트 골조 시스템은 보와 패널존의 비탄성 거동을 통해 높은 연성능력과 에너지소산능력을 지니는 우수한 횡력 저항 시스템으로 인식되어 왔다.³⁾ 하지만 미국 Northridge(1995) 지진 발생시 150개 이상의 철골 모멘트 골조에서 지진 피해를 입은 것으로 확인되었고, 피해의 대부분은 보-기둥 접

† 단국대학교 건축공학과, 조교수
E-mail : lshyun00@dankook.ac.kr
Tel : (31) 8005-3735, Fax : (031) 8005-2643
* 단국대학교 건축공학과, 석사과정
** 단국대학교 건축공학과, 박사과정
*** 단국대학교 건축공학과, 교수

합부에서 취성적 파단인 것으로 나타났다(Mahin, 1998). 이러한 철골 모멘트 골조 시스템에서의 접합부 문제를 해결하기 위해 많은 실험과 해석적 연구가 진행되었으며 그 결과 새로운 접합부와 개발되었다.⁴⁾

기존의 감쇠장치들은 구조물에 작용하는 동적하중을 집중시키기 위해 건물의 가새, 칸막이벽 또는 프레임 내부에 설치되었다. 하지만 감쇠장치가 기둥과 보 주변의 공간을 차지하거나 구조물 외관에 변화시키는 등 공간을 소모하는 경우가 많다. 따라서 지진하중이 구조물에 작용할 때 에너지가 가장 집중되는 보와 기둥 접합부에 설치가 가능하고 내부공간이 축소되지 않는 접합형 감쇠장치의 개발이 필요하다.

또한, 일반적으로 감쇠장치는 설치할 구조물의 고유주기 및 물리적 특성과 예상되는 동적하중의 특성을 고려하여 설계되기 때문에 설치 이후에는 감쇠력의 조절이 어렵다. 따라서 감쇠장치 마찰면의 에너지 소산을 통해 제어성을 조절하고 감쇠기의 교체가 용이한 새로운 횡력 저항 시스템의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 구조물의 내진성능 보강하기 위해 지진하중이 작용하였을 때, 에너지가 가장 집중되는 기둥과 보의 접합부에 별도의 가새로 내부공간의 축소 없이 설치가 가능한 새로운 접합형 감쇠기를 제안하였다. 아울러, 제안된 기둥-보 접합형 감쇠기가 설치된 시스템에 대한 수치해석을 통하여 접합형 감쇠기의 제어 성능과 에너지 소산능력을 평가하고 최적의 제어 성능을 검토하였다.

2. 보-기둥 접합형 감쇠기

본 연구에서는 선행연구에서 제안한 보단부 접합형 감쇠기가 설치된 증축형 모듈을 기반으로 하였다.¹¹⁾ 증축형 모듈은 Figure 1에서와 같이 기존 구조체의 벽체 상단과 신축되는 구조체의 기둥의 하단이 결합되어 상기 벽체의 길이방향으로 연장되는 둘 이상의 기둥과 신축 구조체의 두 기둥이 각각 거동 가능하게 결합되는 상부보로 구성되며, 이렇게 구성된 기둥의 횡방향 거동에 따른 기둥과 상부보 간의 회전각이 발생할 때, 미끄럼이 발생하는 면에 Figure 2의 형상을 갖는 마찰패드를 장착하고, 벽체와 상부보 간의 각도를 변경시키는 힘을 감쇠시키는 감쇠수단을 포함하여 구성된다.

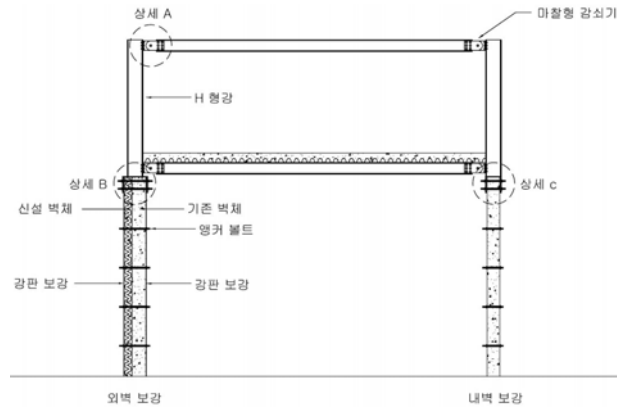


Figure 1 Story-increased module with beam-end rotational damper

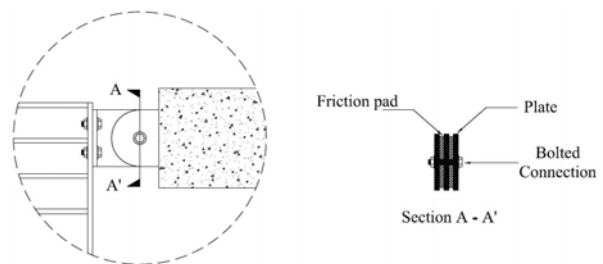


Figure 2 Beam-end rotational damper

구조물의 해석은 접합부의 경계조건에 따라 크게 달라지므로, 본 연구에서 제안하는 이선형 힌지 접합부 모델과 접합부가 고정단인 경우와 회전단인 경우로 구분하여 모델링하고, 각각의 해석 결과를 비교하였다. 회전단 해석모델은 횡하중에 의해 구조물에 발생하는 소성힌지를 접합부 힌지의 항복모멘트에 따라 조절하여 모델링하였다. 이를 위해 우선 비선형 정적 해석(Nonlinear static analysis)을 수행하여 횡하중에 대한 부재의 항복모멘트(M_y)를 파악하였다. 파악된 M_y 에 대한 접합부의 항복 모멘트(M_h)를 비(δ)를 1, 0.5, 0.1, 0.05, 0.01로 산정하여, 감쇠기 회전에 따른 시스템의 응답 특성을 비교, 검토하였다. 부재와 접합부의 항복 모멘트 비(δ)는 식 (1)을 사용하여 산정하였다.

$$\delta = M_h / M_y \times 100 \quad (1)$$

여기서, M_y 와 M_h 는 각각 횡력에 의한 부재의 항복모멘트와 보-기둥 접합형 감쇠기의 항복모멘트로, 고정단의 경우 δ 는 100이며 회전단은 0이다.

3. 단자유도 시스템 수치해석 및 결과

3.1 단자유도 모델

수치해석을 위한 단자유도 모델은 층 높이가 4 m, 층 질량 30 ton, 기둥강성(EI) 2,564 kN·m², 그리고 감쇠비를 5%로 설정하였고, 각 요소는 축 방향으로 강체로 가정하였다. 지지 조건은 고정단이며, 보와 기둥의 단면은 각각 W14×283, W8×10으로 구성하였다.

해석은 보-기둥 접합형 감쇠기 설계를 위한 비선형 정적해석과, 최대가속도 0.342 g인 El Centro (1940, NS)지진을 사용한 시간이력 해석을 수행하였다.

Figure 3은 보-기둥 접합부의 항복모멘트 특성을 달리하여 0.2m까지 변위제어를 통한 비선형 정적해석을 통해 나타난 구조물의 밀면전단력-변위 이력을 나타낸 것이다.

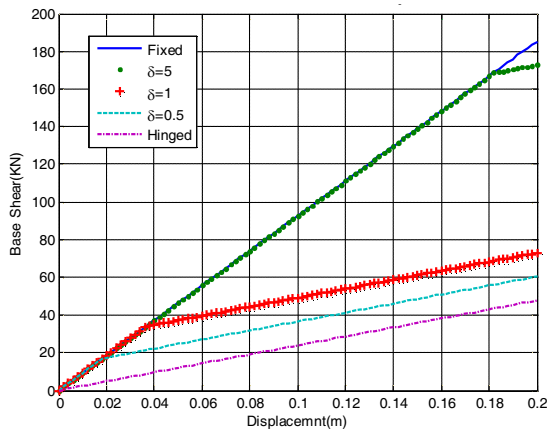


Figure 3. Load-displacement response of SDOF model

Figure 3과 같이 기둥과 보가 고정단일 경우, 목표변위가 될 때까지 보가 항복하지 않아 소성힌지가 발생하지 않는다. 이는 최상층 변위가 0.2m 지점에서의 접합부의 모멘트가 184.72 kN·m로 보의 소성모멘트 (M_p) 3,368 kN·m는 물론 항복모멘트(M_y) 2,858 kN·m에도 미치지 못했기 때문이다. 하지만 단부조건이 회전단(Hinged)인 경우, 접합부의 힌지가 모멘트를 전달하지 못하기 때문에 소성힌지가 발생하지 않고, 보 하부의 지지단의 모멘트만 계속 증가한다.

Figure 4는 보-기둥 접합부에 설치된 감쇠장치의 항

복모멘트비(δ)에 따른 거동 및 항복구간을 나타낸 것으로, δ 가 5인 힌지는 90step(변위 0.18m) 지점에서 회전이 발생하기 시작하였고, 이때 보단부의 휨모멘트는 168.09 kN·m이다. 이는 보의 소성모멘트 3368.15 kN·m의 약 5%에 해당하는 값으로 감쇠기가 예상한 모멘트에서 슬립이 발생하는 합리적인 모델링이 된 것으로 판단된다. δ 가 1인 힌지 프레임은 보에 33.68 kN·m의 모멘트가 발생할 때 힌지에 슬립이 발생하였다. 이는 보 항복모멘트의 1%에 해당하며 δ 가 0.5일 때는 스텝 10에서 M_p 의 0.5%인 16.84kN·m의 모멘트에서 힌지가 항복하였다. 이상의 접합부 힌지의 매개변수 δ 에 관한 정적 비선형 해석결과를 통해 제안된 기둥-보 접합형 감쇠기 모델링의 타당성을 입증하였고 접합형 감쇠기가 설치된 철골 프레임 모델의 응답제어성능을 평가를 할 수 있다.

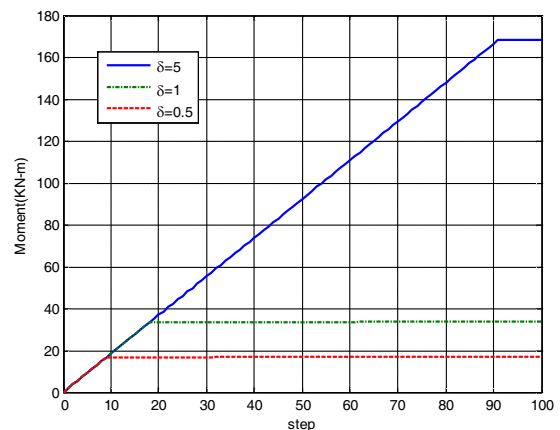


Figure 4. Plastic hinge of beam-column joint by yielding moment ratio (δ)

Figure 5는 고정단 접합부에 의해 탄성 거동하는 시스템과 힌지의 항복으로 인해 비탄성 거동을 하는 시스템에 대한 시간이력 해석을 통한 변위응답 시간이력으로, 탄성시스템과 달리 비탄성시스템은 항복한 후에 자신의 초기평형위치를 중심으로 진동하지 않는다. 탄성거동을 하는 고정단 시스템은 변위가 0인 수평축을 대칭으로 변위 응답이 분포하는 반면, 지진하중에 의해 항복하는 힌지 시스템은 비탄성 거동으로 인해 수평축에 비대칭인 응답 분포를 보인다.

이는 항복이 구조물을 초기평형위치로부터 밀려나게 하고, 또 다시 항복하는 경우에 의해서 이동되기 전까지 새로운 평형위치를 중심으로 진동하기 때문인

Table 1 Result of analysis by joint properties

	Yielding	Joint yielding moment(kN-m)	Response of time history analysis			
			Peak base shear(kN)	Variation (%)	Peak Displacement(m)	Variation (%)
Fixed	Elastic	3368.15	271.2	0	0.2928	0
$\delta=5$	Plastic	168.09	198.9	-27	0.3077	5
$\delta=2$		67.36	96.02	-65	0.208	-29
$\delta=1$		33.68	68.2	-75	0.1804	-39
$\delta=0.5$		16.84	70.82	-73	0.2483	-15
$\delta=0.1$		3.37	77.49	-71	0.3213	10
Hinged		0	83.78	-69	0.3512	20

것으로 판단된다.

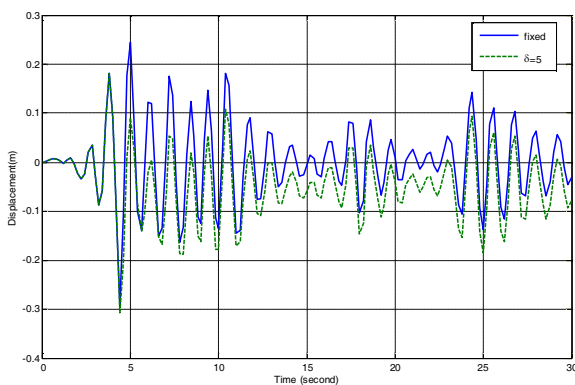


Figure 6. Time history of displacement for linear system and bi-linear system

Figure 6은 단부조건과 δ 별 시간이력 해석결과로, 그림에서와 같이 고정단 보-기둥 접합부에 항복모멘트 이상의 모멘트가 발생하였을 때 일정한 모멘트를 유지하면서 힌지가 회전하게 된다. 따라서 접합부 힌지의 회전을 통해 입력에너지의 소산이 발생되어 변위 응답이 감소하게 됨을 알 수 있다. 하지만 δ 가 0.5% 일 때부터 다시 증가하여 힌지일 때 변위응답이 크게 증가하였다.

Figure 7은 밀면 전단력에 대한 시간이력으로, 보-기둥 접합부가 고정단일 때 최대 밀면전단력을 보이며 변위 응답과 마찬가지로 δ 가 1%가 될 때까지 응답이 감소함을 확인 할 수 있다. 하지만 δ 가 1%보다 작아지는 힌지 시스템에서는 단부가 힌지가 될 때까지 밀면전단력이 점차 증가한다. 역시 보-기둥 접합형 감쇠장치가 구조물의 수평변위로 인해 회전하면서 에너지가 소산되어 응답제어 효과가 나타난 것으로 판단된다. 이를 통해 수치해석에 사용된 단층 구조물의 경우 접합부 힌지가 고정단의 소성모멘트의 1%의 모멘트에서 항복하는 경우가 최적의 응답 저감효과를 갖

는 것으로 나타났다.

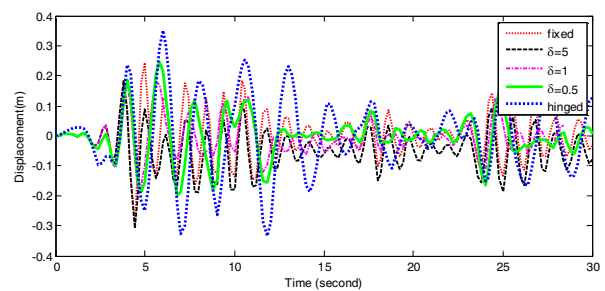


Figure 7. Time history of displacement

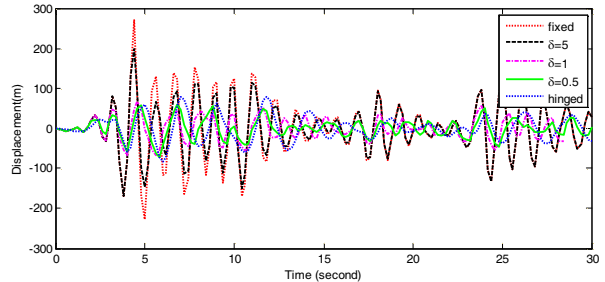


Figure 8. Time history of base shear

Figure 9는 해석모델의 감쇠력-변위 이력곡선으로 (a)와 같이, 단부가 고정단인 시스템은 접합부 힌지가 지진하중에 의해 매우 작은 회전을 하였기 때문에 선형의 이력곡선을 보이며 이는 힌지에서 소산된 에너지가 거의 없음을 의미한다. 하지만 (b)~(d)는 외력에 의해 감쇠장치의 회전이 발생하여 충분한 에너지 소산작용을 하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과를 접합부 설계특성에 따라 Table 1에 나타내었다.

접합부가 고정단일 경우 보의 소성모멘트(M_p)에서 소성힌지가 발생하였고, 접합부 힌지를 δ 가 작아질수록 힌지의 항복모멘트도 줄어든다. 지진하중에 의한 최대 밀면전단력은 δ 가 5% 이하일 때 급격히 감소하고 최대 변위응답 역시 감소하다가 δ 가 0.5%를 기준으로

다시 증가하여 회전단일 때 최대변위응답이 발생하였다.

가장 우수한 응답저감 효과를 갖으며 δ 가 5 이하일 때 응답의 급격한 변화를 보이는 것으로 나타났다.

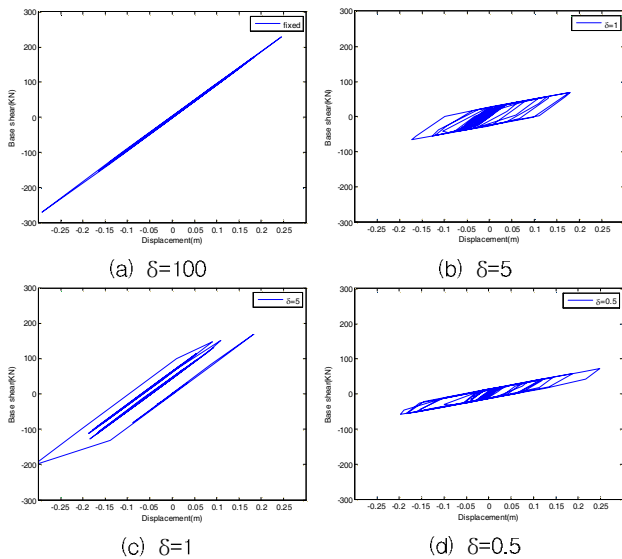
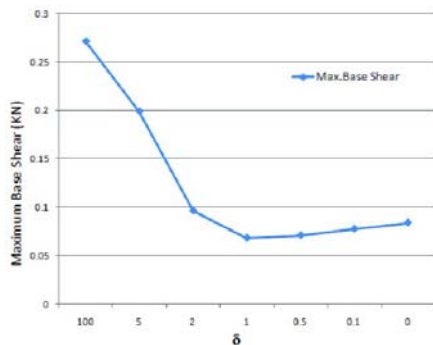
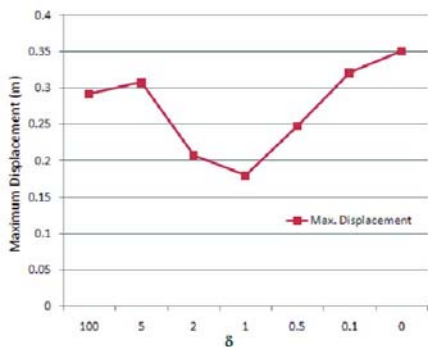


Figure 9. Hysteresis loop of beam-column junction type damper ($T=1.14\text{sec}$, $\xi=0.05$)



(a) Base shear



(b) Displacement

Figure 10 Peak response by beam-end joint

Figure 10은 δ 에 따른 최대 밀면전단력과 최대 변위 응답의 추이를 보여준다. δ 가 1일 때, 즉 힌지의 항복 모멘트가 골조 소성모멘트 M_p 의 1%로 정의된 경우

4. 다자유도 시스템 수치해석 및 결과

4.1 해석 모델

보 단부에 설치되는 보-기둥 접합형 감쇠기의 다자유도 해석결과를 바탕으로 다양한 주기를 갖는 다자유도 구조물의 접합부 특성과 대한 감쇠장치 설치 후, 항복모멘트비(δ)의 변화에 따른 응답저감성능을 검토하기 위하여 수치해석 모델을 설정하고, 조화하중 및 지진하중을 이용한 시간이력 해석을 수행하였다.

해석모델은 스펠 6m, 높이 18m이고 기둥과 보가 각각 $W10 \times 100$, $W14 \times 283$ 의 단면을 갖는 단층 철골 프레임으로 질량 5ton, 강성 $213.42\text{kN}\cdot\text{m}^2$, 그리고 감쇠비 5%인 기준모델(Figure 11(a))과 보-기둥 접합형 감쇠장치 설치를 위해 기둥에 등간격으로 1, 2, 3 개의 보를 추가(Figure 11 (b)~(e))하였으며, 기둥과의 접합부는 모멘트 힌지로 정의하여 항복강도 비 δ 를 100(고정단), 10, 5, 3, 1로 변화시켜 접합형 감쇠기의 특성을 설정할 수 있도록 모델링하였다. 추가된 보에 따른 1~4 DOF 구조물의 고유주기의 변화는 각각, 1.4 초, 0.81 초, 0.64 초, 0.56 초이다.

조화하중 해석은 해석 모델의 1차 모드 고유주기와 동일한 주기를 갖고, 최대가속도 $1\text{m}/\text{sec}^2$ 인 조화하중을 사용하였으며, 지진하중 해석은 El Centro (1940, NS) 하중을 사용하였다.

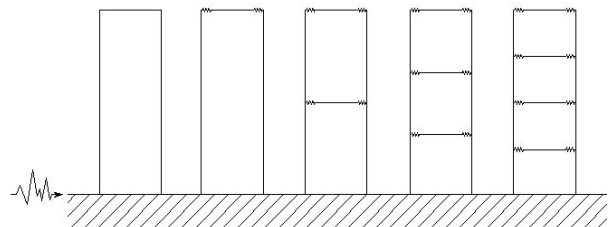


Figure 11. Analysis model of structures:(a) Fixed SDOF (b) case1 (c) case2 (d) case3 (e) case4

4.2 조화하중에 대한 다자유도 구조물응답

보-기둥 접합부를 고정단일 때와 접합형 감쇠기가 설

치에 따른 구조물에 공진시의 증폭된 응답을 자유도의 수와 δ 의 변화에 따라 비교하였다.

Figure 12는 보강되지 않은 접합부가 고정단인 단자유도 철골 프레임과 δ 가 100%인 감쇠장치 설치 개수에 따른 조화하중 시간이력 해석결과를 나타낸 것으로, 그림에서와 같이, 단자유도, case 2, case 4인 구조물에 공진이 발생하였을 때 증폭된 변위응답에서 중간층 보강으로 자유도가 증가할수록 정상상태에서의 최대 변위응답이 큰 폭으로 감소함을 알 수 있다. 이는 자유도가 늘어날수록 구조물의 횡강성이 증가하기 때문으로 판단된다.

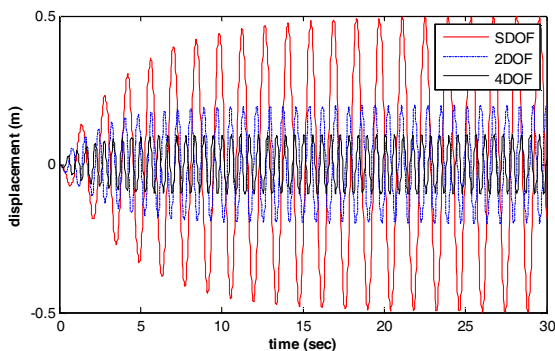


Figure 12. Displacement response of harmonic excitation ($\xi = 0.05$, $\delta = 100$)

Figure 13은 3 개의 보-기둥 접합형 감쇠장치가 추가된 case 4 해석구조물의 δ 별 변위 응답을 보여준다. 고정단 접합부 일 때 비해, δ 가 5%, 1%인 경우, 변위응답이 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 보의 소성모멘트 이전에 보-기둥 접합형 감쇠장치가 먼저 항복하여 회전이 발생하고 이에 따른 충분한 에너지 소산이 발생하기 때문이다.

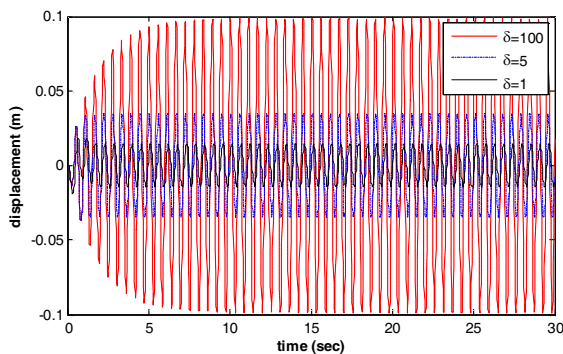


Figure 13. Displacement response of 4-DOF structure by δ ($T_n=0.56$, $\xi=0.05$)

Figure 14는 단층 모델과 4층 모델의 최상층 변위응답을 FFT 변환하여 나타낸 결과로, 다자유도 시스템이 단자유도 시스템에 비해 보강에 따른 강성 증가로 인해 고유주기가 짧아져 큰 주파수 성분이 많이 나타난다.

공진이 발생한 이후 변위응답의 경우 1차 모드가 지배적이며 2차와 3차 모드는 거의 영향이 없는 것으로 나타났다. 앞선 해석결과를 미루어 예상한 바와 같이 접합부 힌지의 δ 값이 작아질수록 모든 주파수 대역에서 응답이 감소한다. 접합형 감쇠기가 설치되지 않은 시스템에 비해 δ 가 10, 5, 1%인 경우 공진 시 최대 응답이 각각 20, 48, 81% 수준으로 감소하였다.

Figure 15는 조화하중에 대한 단자유도 및 4층 구조물의 최상층 가속도 응답에 대한 FFT 결과로, 앞선 변위응답과 마찬가지로 δ 가 10인 시스템의 최대 응답이 비제어 시스템 응답에 비해 30%, δ 가 5인 경우 65%, δ 가 1인 경우 87% 까지 감소하여, 1%의 항복 모멘트비를 갖는 감쇠장치 설치 시 가장 큰 응답 저감 효과를 얻을 수 있는 것으로 판단된다. 이는 접합형 감쇠기 설치 시, 공진이 발생한 구조물의 변위, 가속도 응답이 정상상태에 도달한 이후 접합부 힌지의 항복으로 인한 제어효과가 있음을 알 수 있다.

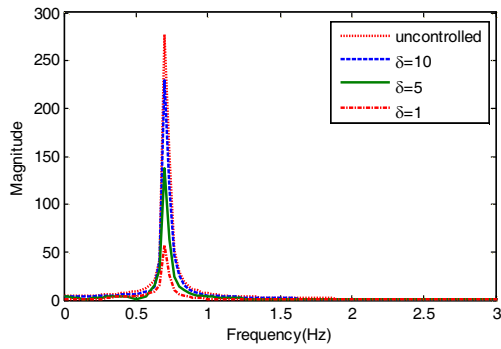
4.3 지진하중에 대한 구조물 응답

4.1절에서 언급한 해석모델에 El Centro 지진하중을 사용한 시간이력 해석을 통해 파악된 최대변위와 최대 밀면전단력을 Table 2에 나타내었다.

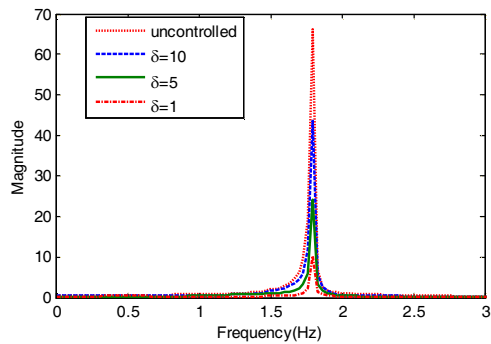
Table 2에서와 같이 감쇠장치 설치 전 변위응답에 비해 δ 가 줄어들수록 모든 해석 case에서 최대 변위 응답이 줄어들다가 δ 가 1%일 때, 변위 응답이 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이는 단자유도 구조물에 대한 지진해석과 및 다자유도 구조물의 조화하중 해석 결과와 상이한 결과로, 감쇠장치에 의한 회전에 의해 에너지가 소산되어 변위응답이 저감되나 너무 낮은 항복 모멘트에서 항복하게 되면 오히려 변위응답 제어성능이 감소한 것으로 판단된다.

따라서 감쇠장치 설계 시, 설계 대상 하중에 따른 최적 항복모멘트비를 고려해야 할 것으로 판단된다.

해석에 따른 최대 밀면전단력의 분포는 층수의 증가에 따라서 전단력이 증가하고 있으나, 감쇠장치의 항복 모멘트가 작아질수록, 즉 δ 가 감소할수록 모든 해

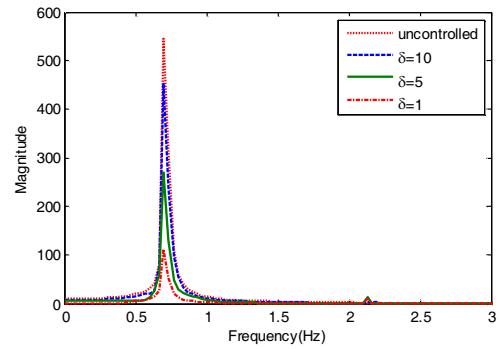


(a) SDOF ($f_n = 0.71, \zeta = 0.05$)

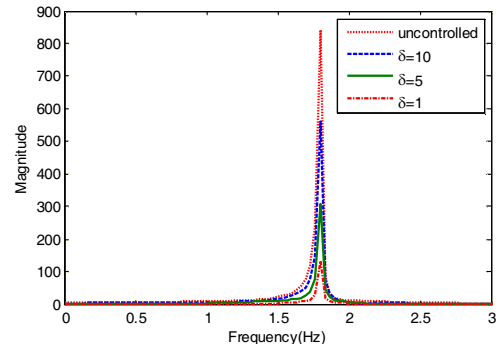


(b) 4DOF ($f_n = 1.79, \zeta = 0.05$)

Figure 14. Displacement response of FFT analysis



(a) SDOF ($f_n = 0.71, \zeta = 0.05$)



(b) 4DOF ($f_n = 1.79, \zeta = 0.05$)

Figure 15. Acceleration response of FFT analysis

석 case에서 밀면전단력이 줄어드는 것으로 나타났다. 이는 횡하중이 구조물에 작용할 때 접합부 힌지가 회전하는 시스템은 모멘트를 일정 크기 이상 전달하지 않기 때문이다.

Figure 16~19은 δ 에 따른 최상층 변위 응답의 시간 이력으로, δ 와 무관하게 보강을 위한 중간층 수가 늘어날수록 최대 변위 응답이 줄어드는 것을 알 수 있다. 해석모델의 case 별 δ 의 영향을 살펴보면, 보강 전 단층 구조물의 경우 δ 가 3일 때 최소 변위 응답 0.195 m로 가장 큰 변위 응답 저감 성능을 나타내었으나, 1개의 중간층이 추가된 case 1 모델은 δ 가 증가할수록 최상층 변위 응답이 커지는 것으로 나타났다. 또한 3층과 4층 해석모델은 δ 가 5일 때 까지 응답이 감소하다가 5 이후로 다시 증가하는 것으로 나타났다. 이는 접합부 힌지의 항복모멘트가 보의 소성모멘트의 5%에 해당할 때 지진하중에 의한 변형으로 최적의 에너지 소산능력을 발휘한 것으로 판단된다.

Table 2 Response for δ and degree of freedom

δ	case	Peak displacement (m)	Peak base shear(kN)
100	1	0.090	18.43
	2	0.102	94.47
	3	0.084	166.7
	4	0.076	251.2
10	1	0.090	18.43
	2	0.111	99.6
	3	0.087	129.8
	4	0.08	194.6
5	1	0.090	18.43
	2	0.078	59.05
	3	0.065	86.53
	4	0.059	116.5
3	1	0.090	18.43
	2	0.066	40.5
	3	0.065	62.54
	4	0.057	85.12
1	1	0.074	9.54
	2	0.081	27.37
	3	0.068	35.76
	4	0.072	42.66

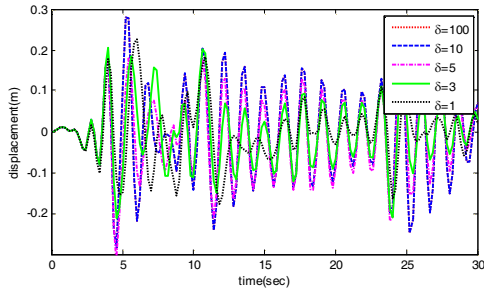


Figure 16. Displacement response of SDOF structure ($\xi = 0.05$, $T = 1.4$ sec)

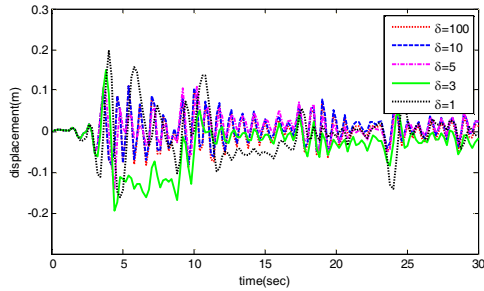


Figure 17. Displacement response of 2DOF structure ($\xi = 0.05$, $T = 0.81$ sec)

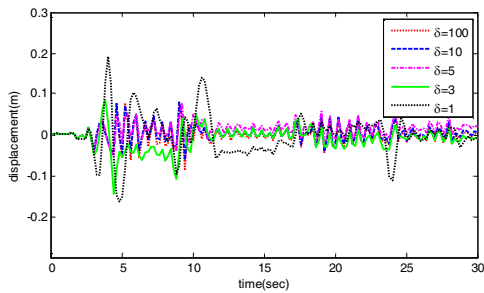


Figure 18. Displacement response of 3DOF structure ($\xi = 0.05$, $T = 0.64$ sec)

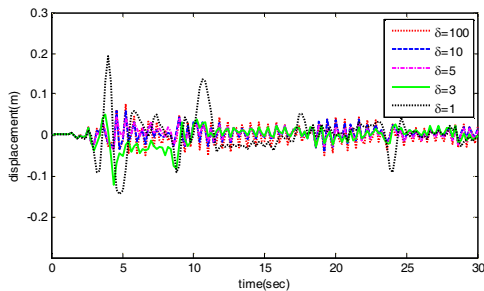


Figure 19. Displacement response of 4DOF structure ($\xi = 0.05$, $T = 0.56$ sec)

5. 결론

본 연구에서는 기동-보 접합형 감쇠기를 설치한 구조물의 수치해석을 통해 내진성능보강 효과를 검토하였다. 본 연구에서 수행된 수치해석 연구의 결과는 다음

과 같다.

- (1) 제안된 보-기둥 접합형 감쇠기가 설치된 단자유도 구조물의 지반운동에 대한 시간이력 결과, 접합부 힌지의 항복이후 비탄성 거동을 하는 이선형 시스템은 초기 위치에서 벗어난 위치를 중심으로 진동하는 비대칭적 거동을 나타내었다.
- (2) 다자유도 시스템의 조화하중에 대한 최상층 변위 응답은 자유도가 늘어날수록 구조물의 고유주기가 작아져 점점 감소하였고 지진하중에 대한 시간이력 해석결과, 자유도 구조물의 최상층 변위 응답과 밀면 전단력은 중간층이 추가되고 δ 가 작을수록 줄어든다.
- (3) 단자유도 및 다자유도 해석결과, 모두 특정 δ 값에서 최대 응답저감 성능을 나타낸 후, 응답이 다시 증가하는 현상이 발생하였으며, 본 해석결과에서는 단자유도 구조물과 다자유도 구조물의 최적 항복모멘트비가 각각 1%와 3%로 파악되었다.

후 기

이 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원이 위탁시행한 첨단도시개발사업(과제번호 : 05-건설핵심-D06)과 과학기술부가 출연하고 한국과학재단이 위탁 시행한 특정기초 연구사업 (과제번호: R01-2007- 000-10872-0)에 의한 결과의 일부임.

참고문헌

- (1) Soong T. T. and Dargush G. F., 1997, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", John Wiley&Sons, New York.
- (2) Min, Kyung-Won, Kim, Hyung-Seop, 2003, "Performance Based Design of Friction Dampers for Seismically Excited Structures", Earthquake Engineering Society of Korea, v7. n6. pp. 17-24.
- (3) Anil K. Chopra, Dynamics of Structures, Prentice Hall(Second Edition), 2004.
- (4) Applied Technology Council, 1996, "Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings,"

Report ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City, California.

(5) Federal Emergency Management Agency, 1997, "NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings," Reports FEMA-273 (Guidelines) and 274(Commentary), Federal Emergency Management Agency, Washington, D. C.

(6) Chun-Hee Bae, Yeon-Whan Kim, Sang-Hyun Lee and Young-Pil Park, 2007, "Shaking Table Test of a Full Scale 3 Story Steel Frame with Friction Dampers", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No.9, pp. 862-873.

(7) Hong-Nan Li et al., 2003, "Studies on seismic reduction of story-increased buildings with friction layer and energy-dissipated devices", Earthquake Engineering and Structural Dynamics.

(8) Nippon Steel Corporation, 2005, "Development of DYNA-FRAME with Steel Damper at the Bottom Flange of Beam-End for Passive Response-Controlled Structures", Nippon Steel Technical Report, No.29.

(9) Woo, Sung-Sik, Lee, Sang-Hyun, 2008, "Seismic Performance Enhancement of Building Structures with Beam-end Rotation Type Dampers", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 18, No.6, pp. 589-597.