

외부접합형 카고메 감쇠시스템을 사용한 철근콘크리트 라멘조 공동주택 비탄성 지진 응답 제어

허무원¹, 천영수², 이상현^{3*}

Inelastic Seismic Response Control of the RC Framed Apartment Building Structures Using Exterior-Installed Kagome Damping System

Moo-Won Hur¹, Young-Soo Chun², Sang-Hyun Lee^{3*}

Abstract: Various passive energy dissipation systems have been proposed and widely applied to real building structures under seismic load due to their high energy-dissipation potential and low cost for installation and maintenance. This paper presents nonlinear dynamic analysis results of the effectiveness of exterior-installed Kagome damping system(EKDS) in passively reducing seismic response. Kagome damping system proposed by previous studies has isotropic and bi-linear hysteretic characteristics and the installation configuration is newly presented in this study. The 15 and 20 story RC framed apartment buildings are used for verifying the effectiveness of the EKDS. The stiffness ratio of the damper supporting column to the original building, the number of the dampers, and the installed stories were considered as design parameters. Numerical results demonstrated that the EKDS were very effective in reducing both the two horizontal directional seismic responses by just using smaller number of exterior-installed damping system when compared to the traditional one-directional inter-story installed damping systems.

Keywords: Isotropic, Bi-linear, Exterior-Installed Kagome damping, Nonlinear-dynamic analysis

1. 서 론

최근 들어 국내 및 아시아 주변 국가들에서 크고 작은 지진이 다수 발생하고 있어 지진피해를 줄일 수 있는 내진설계에 대한 관심이 증가하고 있다. 내진설계 방법 중 초기 설치비용 및 지진 후 복구비용이 적게 든다는 이점이 있어 최근 감쇠구조가 선호되고 있으며, 감쇠구조는 지진 경험이 많은 일본 및 미국 등 해외에서 특히 널리 활용되고 있는 구조이다.

국내에서도 감쇠구조에 대한 필요성이 대두되면서 감쇠장치를 도입한 건물들이 다수 설계 및 건설되고 있으며, 감쇠장치 중 저렴한 비용으로 높은 에너지소산능력을 제공할 수 있고, 설치와 유지관리가 용이하다는 장점이 있어 강재이력형 감쇠장치를 이용한 수동형 감쇠구조시스템이 널리 사용되고 있다(Lee et al., 2012, 2010; Oh et al., 2005). 하지만 국내 공동주택의 대부분을 이루고 있는 벽식구조의 경우 강재이력형

감쇠장치를 적용하는데 어느 정도 한계가 있다. 이는 주된 항력 저항시스템으로 사용되는 전단벽이 초기강성은 매우 큰 반면 항복변위가 낮기 때문에 감쇠장치를 적용하여 감쇠능력을 확보하기 위해서는 감쇠장치의 초기강성이 전단벽에 비하여 월등히 크고 항복변위가 매우 작으면서 충분한 연성능력을 확보할 수 있는 감쇠장치가 있어야만 한다는 현실적으로 만족하기 어려운 조건 때문이다(Oh, 2012).

반면 보-기둥으로 이루어진 라멘조의 경우 큰 변형능력을 부과할 수 있다는 특징을 이용하여 지진력 저항시스템은 탄성 상태를 유지하면서 감쇠시스템의 소성거동에 의하여 지진 에너지를 소산토록 하는 유강 혼합 구조의 개념을 적용하는 것이 용이하다. 따라서 강재이력형 감쇠장치를 이용하여 공사비를 크게 증가시키지 않으면서도 우수한 내진성능의 확보가 가능하기 때문에 공동주택 구조에 있어서도 요구성능에 맞춘 다양한 감쇠기술의 개발에 관심이 모아지고 있다.

이 논문에서는 이러한 기술개발의 일환으로 기존 연구(Hur et al., 2015)에서 제안된 외부설치형 카고메 감쇠시스템(Exterior-installation Kagome Damping System, 이하 EKDS)을 이용한 철근콘크리트 라멘조 공동주택을 대상으로 15층 건물과 20층 건물에 적용 시 지지구조물의 설치 높이에 따른 지진응답 개

¹정회원, 단국대학교 건축공학과, 연구교수

²정회원, LH 토지구획연구원, 연구위원

³정회원, 단국대학교 건축공학과 부교수, 교신저자

*Corresponding author: lshyun00@dankook.ac.kr

•본 논문에 대한 토의를 2016년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 7월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

선효과를 비선형 정적해석과 동적해석을 통해 비교하여 제시함으로써 EKDS가 중·고층 건물에 유효하게 적용될 수 있음을 검증해 보고자 한다.

또한, 상기 조건에서 건물규모와 EKDS의 설치 높이에 따른 경제성을 함께 제시함으로써 실무적용을 위한 기초 자료를 제공하고자 한다. 감쇠구조를 실무에 적용함에 있어서 비용증감 문제는 가장 큰 이슈 중의 하나이다. 감쇠구조는 감쇠 장치의 특성과 적용방법, 그리고 구조시스템에 따라 그 성능과 경제적인 효과가 크게 달라질 수 있기 때문이다.

따라서 이 연구에서는 먼저 연구대상 건물을 건축구조기준(KBC 2009, 국토해양부)에 따라 내진설계를 수행하였으며, 이 건물의 동적응답을 감쇠구조의 지진응답 개선효과를 검증하는 비교기준으로 사용하였다. 감쇠구조는 ASCE/SEI 7-10(ASCE, 2010)에서 제시하고 있는 설계방법에 따라 감쇠시스템을 제외한 나머지 지진력 저항시스템이 설계 밀면전단력의 80.0% 이상을 부담하도록 설계하여 지진응답 개선효과와 함께 경제적인 설계의 가능성도 함께 검토하였다.

2. 연구대상 건물

연구대상 건물은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 4세대 조합의 장방형 평면으로 구성되어 있다. 계단실과 엘리베이터 코어는 전단벽으로 이루어져 있으며, 장변방향으로 4.0 m, 4.6 m 및 3.5 m의 모듈을 가지는 기둥이 배열되고 단변방향은 10.8 m의 단일스팬으로 두 개 기둥이 슬래브를 지지하는 모듈로 구성되어 있다. 이러한 평면구성은 내부공간의 자율성을 최대한 확보하기 위한 건축적인 요건의 의한 것으로 최근의 아파트 평면의 경향을 반영한 것이다. 연구대상 건물의 층수는 15층 건물 및 20층 건물이며, 층고는 3.0 m이다. 고유치 해석으로부터 얻은 연구대상 건물의 주기를 Table 1에 나타내었고, Fig. 2에는 연구대상 건물의 모델링 형상을 도시하였다.

Table 1 Period of Model buildings

Story	1st Mode	2nd Mode	
Without EKDS	1.71 sec	1.64 sec	
15 stories	EKDS-1F~3F*	1.70 sec	1.62 sec
	EKDS-1F~5F*	1.68 sec	1.57 sec
20 stories	Without EKDS	2.56 sec	2.40 sec
	EKDS-1F~3F*	2.55 sec	2.38 sec
	EKDS-1F~5F*	2.52 sec	2.30 sec

(*) EKDS-1F~3F(1F~5F) : Installation of EKDS up to 3rd(5th) floor

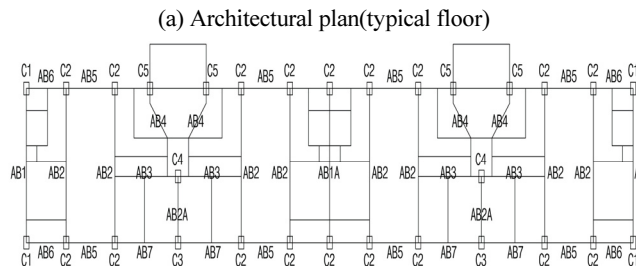
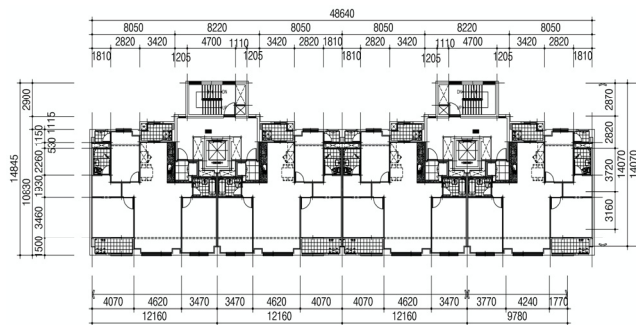


Table 2 Strength of concrete and steel

Material	Content	
Concrete	1F ~ 5F	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
	6F ~ 11F	$f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
	11F ~ 25F	$f_{ck} = 24 \text{ MPa}$
Steel	Less than HD13	$f_y = 500 \text{ MPa}$
	More than HD16	$f_y = 600 \text{ MPa}$

Table 3 Seismic design parameters

Coefficient of regional difference(A)	0.176
Site class	S_d
Response modification factor(R)	5.0
Displacement amplification factor(C_d)	4.5
Importance factor(I_E)	1.5

Table 4 Base shear of wind and earthquake load

Story	Wind load(kN)	Earthquake(KN)	
		1.0 BS	0.8 BS
15 stories	X-dir	571.2	5,564.3
	Y-dir	3349.8	5,564.3
20 stories	X-dir	841.6	6,274.8
	Y-dir	5043.9	6,274.8

비교한 것으로 지진하중이 풍하중 보다 큰 것으로 검토되어 저감된 지진하중(0.8 BS)을 적용할 경우 구조부재의 부재력 감소로 경제적인 설계가 가능할 것으로 예상된다.

0.8 BS 구조의 검토는 설계의 편의를 위하여 1.0 BS 단면을 유지하면서 철근물량을 조정하는 방법으로 수행하였다. 검토 결과, 각 층수별 각 부재의 물량 감소폭은 Table 5와 같이 나타났다. 물량감소는 보의 철근 물량감소폭이 크게 나타났으며, 기둥과 벽의 물량도 어느 정도는 감소함을 확인하였다. 15층 건물의 경우 내진설계 된 건물에 비해 약 12.5%의 감소를 나타내었고, 20층 건물의 경우는 약 8.0% 감소를 나타내었다. 상기 검토로부터 지진력 저항시스템의 물량감소에 의한 경제적인 설계의 가능할 것으로 예상되며 감쇠구조에 있어서 실제적인 경제성은 감쇠장치와 그 설치시스템의 비용을 포함해야 하므로 감쇠장치와 그 적용방법에 따라 경제적인 설계 여부가 좌우된다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 보면 상기의 물량감소는 적용 감쇠시스템의 종류에 따라 전체적인 비용증가를 가져올 수도 있다. 상기와 같은 조건에서 물량 감소폭이 크지 않았던 원인을 분석해 보면 크게 2가지로 분석해 볼 수 있다.

첫 번째 이유는 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 내부공간의 자유도 확보를 위하여 연구대상 건물의 구조에서는 단변방향으로 장

Table 5 Comparison of reinforcement amounts

Story	1.0 BS(kN)				0.8 BS(kN)			
	Column	Beam	Wall	Total	Column	Beam	Wall	Total
15 stories	764	1,466	264	2,494	655	1,333	194	2,182 (87%)
20 stories	1,200	2,200	342	3,742	1,143	2,006	294	3,443 (92%)

스팬 구조를 채택함에 따라 부재의 단면이 중력하중에 지배되는 경향이 나타났기 때문이다. 특히 단변방향으로 설치된 보의 경우 장경간에 따른 처짐의 영향으로 대부분 중력하중에 의하여 단면이 결정되어 물량감소의 폭이 매우 작게 나타났다. 따라서 감쇠구조로서 보다 경제적인 설계를 위해서는 중력하중보다 지진하중의 지배비율이 높은 구조를 대상으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

두 번째 원인은 고강도 철근의 사용을 들 수 있다. 많은 단면들이 최소철근비에 지배되는 경우가 발생하였음에도 불구하고 고강도 철근을 사용함으로써 전체 단면의 강도를 상승시키고 결국 골조비용의 증가를 초래하고 있기 때문이다. 이 경우 낮은 강도의 철근을 사용함으로써 보다 낮은 경제성을 확보할 수도 있으나 여기서는 자세한 비교를 생략하기로 한다.

4. 내진구조와 감쇠구조의 지진응답 비교

4.1 EKDS 특징

이 연구에서 적용된 EKDS는 기존연구(Hur et al., 2015)에서 제안한 시스템으로 건물의 외부에 독립된 쉐일레버형 지지구조물을 별도로 축조하고, 건물의 바닥레벨과 지지구조물 사이에 감쇠장치를 설치하여 지지구조물의 강성과 건물의 강성차에 의한 상대변형에 의하여 감쇠장치의 변형을 유도한 시스템이다. Fig. 3은 EKDS의 개념을 도식화하여 나타낸 것이다. 또한, 감쇠시스템에 적용된 감쇠장치는 와이어를 소재로 한 다공질의 카고메 트러스구조로서 등방성의 특징과 함께 무게대비 강도가 크고, 큰 전단변형에 의한 에너지 흡수율이 높으며, 구조물의 기둥 단면 크기 및 벽체 두께에 따라 모듈화가 가능하기 때문에 병렬배열로 요구강도 충족이 가능하다. 그리고 내부공간이 대부분 비어 있는 다공질 구조로서 부피에 비하여 소형, 경량으로 시공의 용이성 및 작업성이 우수할 뿐만 아니라 등방형으로 에너지 흡수능력이 지진하중의 방향에 영향을 받지 않는 특징을 보유하고 있다(Hwang et al., 2013). Table 6과 Fig. 4는 이 연구에서 적용한 감쇠장치의 이력 특성 값과 이력루프를 나타낸 것이다.

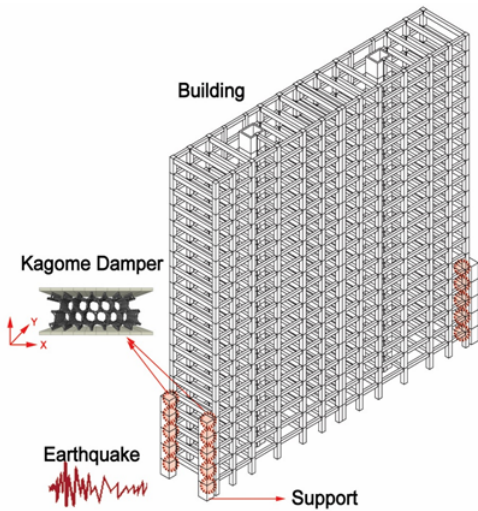


Fig. 3 Concept diagram of EKDS

Table 6 Specifications of Kagome damper

Damper Height(mm)	Yield Strain(%)	Ultimate Strain(%)	Yield Stress (MPa)	Ultimate Stress(MPa)
200	0.23	15	0.79	1.31

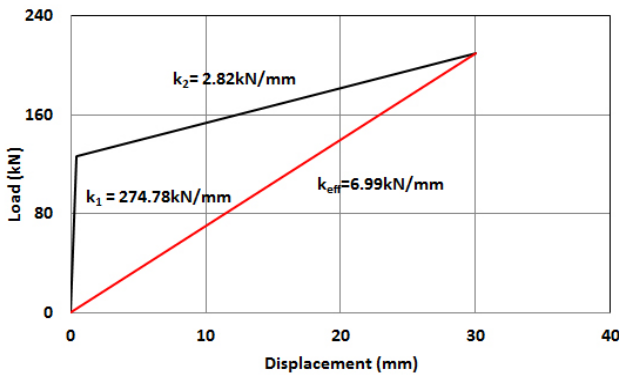
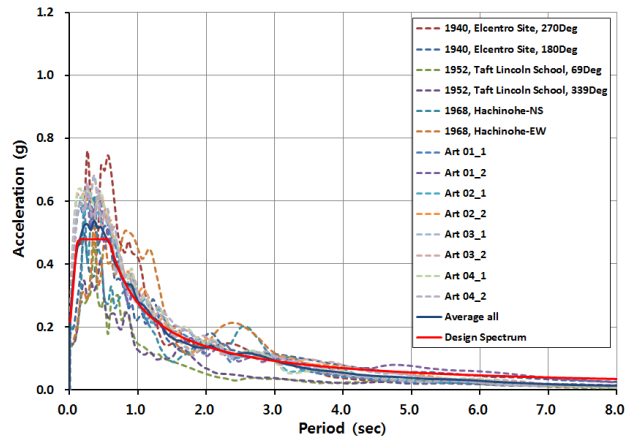


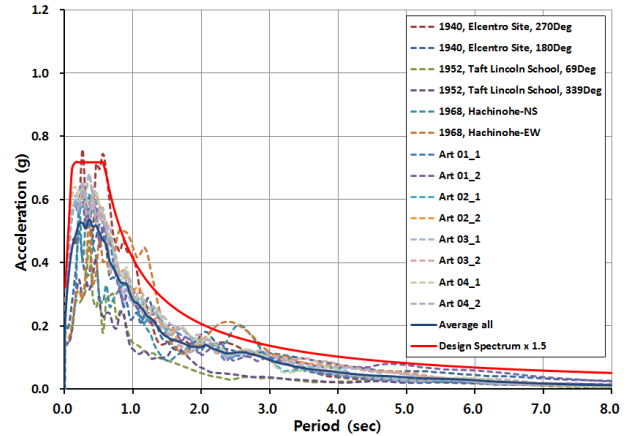
Fig. 4 Hysteretic characteristics of Kagome damper

4.2 비선형 해석모델

비선형 동적해석에 사용된 프로그램은 Perform-3D Ver 5.0 으로서 부재의 비선형 특성을 부재의 강성과 변형능력으로 표현할 수 있으며, 재료 비선형과 부재의 비선형을 모두 고려할 수 있다. 보 및 기둥 부재 비선형의 경우 하중조건과 변형에 따라 부재에 발생하는 소성힌지의 특성을 이용하여 FEMA 356(2000)에서 제시하는 비선형 특성으로 모델링 하였고, 전단벽의 경우 Perform-3D를 이용하여 레이어모델(Layered model)로 구성하여 해석하였다. 부재의 유효강성 및 재료 비선형 모델의 구성은 대한건축학회 성능설계지침(안)(AIK, 2014)을 따랐으며 콘크리트 모델은 Mander model을 철근모델은 이선형 모델을 사용하였다.



(a) Design base earthquake



(b) Maximum Considered Earthquake

Fig. 5 Scaled response spectra of earthquake data

4.3 지진파

해석에 사용된 지진파는 비교적 안정된 지반에서 관측된 기록파 (El-Centro 1940, Taft 1952, Hschinohe 1968) 3개와 인공지진파 4개를 선정하여 총 7개의 지진파를 사용하였으며, KBC2009 0306.7.4.12(설계지진파의 선정)에 따라 대상 건물의 가정된 지반조건인 S_D 지반의 설계스펙트럼에 적합하게 크기를 조정(Scaling)하여 해석에 반영하였다. Fig. 5는 이 연구에서 사용된 7개 지진파에 대하여 설계지진레벨과 최대지진레벨로 보정된 결과를 나타낸 것이다.

4.4 예비설계

0.8 BS의 비선형 시간이력해석에 선행하여 효율적인 감쇠 시스템의 적용 높이, 강성비 그리고 감쇠장치의 사이즈는 밀면전단력 약 20.0% 감소와 최상층변위 약 10.0% 감소 목표를 만족하도록 기존연구(Hur et al., 2015) 결과를 활용하였으며, 이를 Table 7에 정리하여 나타내었다. 설계는 15층과 20층에 대해 EKDS를 각각 1F~3F 및 1F~5F를 적용하여 검토하였다.

Table 7 Static analysis result

Building	EKDS	Stiffness ratio	Damper size(mm)
15 stories	1F~3F	7.0	600×600
	1F~5F	2.5	400×400
20 stories	1F~3F	7.0	700×700
	1F~5F	2.8	500×500

4.5 비선형 정적해석 결과

15층 건물에 EKDS를 1F~3F 및 1F~5F 적용 시 비선형 정적 해석 후 FEMA 440(2005) 방법으로 성능점을 구한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 1.0 BS의 X방향 및 Y방향 성능점은 0.0029와 0.0047을 나타내었다. 하지만, 0.8 BS에 EKDS를 1F~3F 적용 시 설계지진레벨에 대한 각 방향별 성능점의 경우 X방향은 0.0028을 나타내었고, Y방향은 0.0037을 나타내었다. 또한, 0.80 BS에 EKDS를 1F~5F 적용 시 설계지진레벨에 대한 각 방향별 성능점의 경우 X방향은 0.0028을 나타내었고, Y방향은 0.0036을 나타내었다. 이 값들은 설계지진레벨 시의 목표성능기준 0.015를 하회하는 값으로 안정된 거동을 나타내고 있음을 알 수 있다.

20층 건물에 EKDS를 1F~3F 및 1F~5F 적용 시 비선형 정적 해석 후 15층 결과와 동일한 방법으로 성능점을 구한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 20층 건물의 1.0 BS의 X방향 및 Y방향 성능점은 0.0030과 0.0048을 나타내었다. 하지만, 0.8 BS에 EKDS를 1F~3F 적용 시 설계지진레벨에 대한 X방향 및 Y방향 성능점은 0.0027과 0.0038을 나타내었다. 또한, 0.8 BS에 EKDS를 1F~5F 적용 시 설계지진레벨에 대한 X방향 및 Y방향 성능점은 0.0025와 0.0034를 나타내었다.

0.8 BS에 EKDS를 적용한 15층 건물과 20층 건물 모두 최대지진레벨에 대하여도 붕괴방지 수준인 0.02의 목표성능을 만족하는 수준으로 이 레벨에 대하여서도 구조물이 충분하게

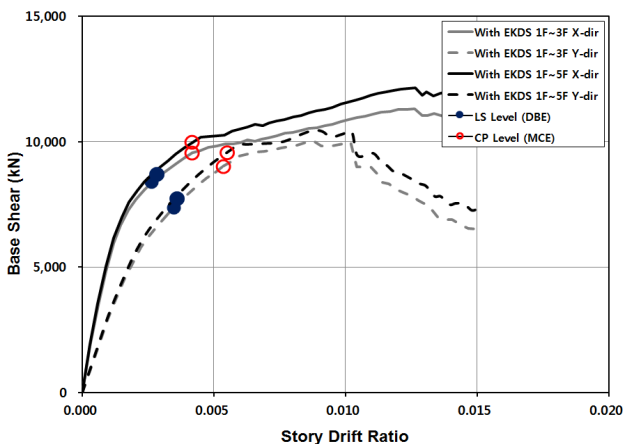


Fig. 6 Push-over results(15 stories)

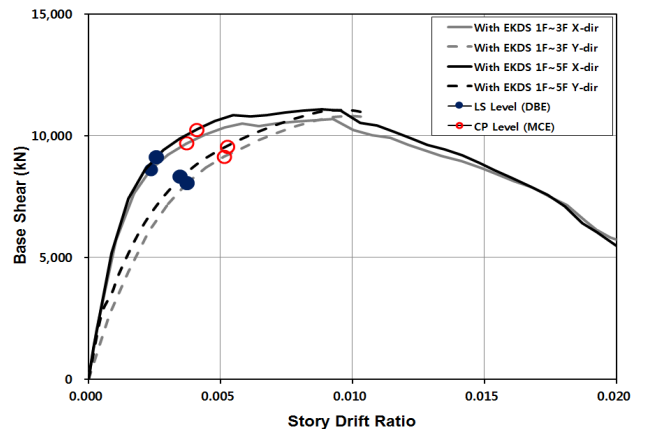


Fig. 7 Push-over results(20 stories)

안정한 거동을 하고 있음을 확인할 수 있었다.

4.6 비선형 동적해석 결과

Table 8은 0.80 BS에 EKDS를 1F~3F와 1F~5F 적용한 15층 건물 및 20층 건물의 비선형 동적해석결과의 평균값을 1.0 BS와 비교하여 나타낸 것이며, Fig. 8부터 Fig. 11까지는 이를 도식화 하여 나타낸 것이다.

15층 건물에 EKDS 1F~3F 적용 시의 최상층 최대응답변위 결과, X방향 및 Y방향 모두 약 10.0% 정도 감소하는 결과를 나타내었다. 또한, EKDS 1F~5F 적용 시에는 X방향은 약 15.0% 감소되었고, Y방향은 약 10.0% 감소효과를 나타내었다. 20층 건물에 EKDS를 1F~3F 및 1F~5F 적용한 결과, X방향의 경우 약 12.0%정도 감소효과를 나타내었고, Y방향의 경우는 약 15.0%~20.0% 정도 감소하는 결과를 나타내었다. 이는 최상층 최대응답변위 감소효과로만 본다면 EKDS가 15층 건물보다는 20층 건물에 적용하는 것이 더 효과적인 것을 알 수 있다. 설계지진레벨 시와 최대지진레벨 시의 층간변형각 검토 결과, 0.8 BS로 설계된 15층 건물 및 20층 건물에 EKDS를 1F~3F 및 1F~5F 각각 적용한 결과 KBC 2009에서 허용하는 층간변형 조건을 모두 만족하는 것으로 나타났다.

지지구조물의 부담 밀면전단력을 제외하고 대상건물의 밀면전단력을 비교한 결과, 각 지진파별로 다소 차이는 있으나 평균적으로 15층 건물에 EKDS를 1F~3F 적용 시 X방향의 경우 약 30.0%의 감소효과가 나타났으며, Y방향은 약 20.0%의 감소효과가 나타났다. 또한, EKDS를 1F~5F 적용 시 X방향은 약 30.0%의 감소효과가 나타났고, Y방향은 약 23.0%의 감소효과가 나타났다. 20층 건물에 EKDS를 1F~3F 및 1F~5F 적용 시 X방향은 약 22.0%의 감소효과를 나타냈고, Y방향은 약 23.0%의 감소효과를 나타내었다. 이러한 결과는 목표인 밀면전단력 20.0% 저감과 유사한 결과로서 EKDS의 유효성을 확인할 수 있었다.

Table 8 Nonlinear time-history analysis results

Building		Top displacement(cm)		Base shear(kN)	
		X-dir	Y-dir	Story drift	Base shear
1.0 BS	15-stories	10.3	15.7	9,605	8,971
	20-stories	14.9	23.7	10,896	10,645
0.8 BS-EKDS-1F~3F	15-stories	9.3(90.3%)	14.3(91.1%)	6,746(70.2%)	7,228(80.6%)
	20-stories	13.3(89.3%)	20.3(85.7%)	8,661(79.5%)	8,333(78.3%)
0.8 BS-EKDS-1F~5F	15-stories	8.8(85.4%)	14.0(89.2%)	6,910(71.9%)	6,985(77.9%)
	20-stories	13.1(87.9%)	19.4(81.9%)	8,540(78.4%)	8,198(77.0%)

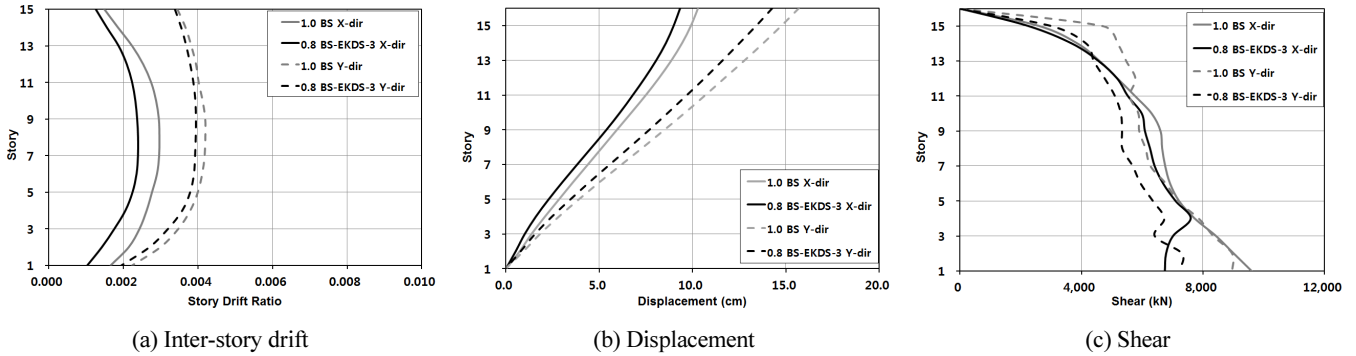


Fig. 8 Nonlinear time-history analysis results of EKDS(Installaion of EKDS up to third story, 15 stories)

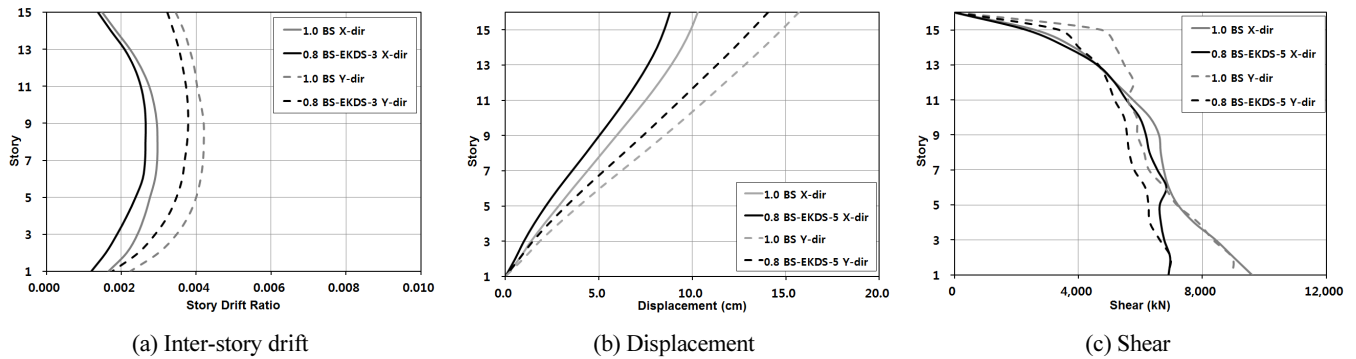


Fig. 9 Nonlinear time-history analysis results of EKDS(Installaion of EKDS up to fifth story, 15 stories)

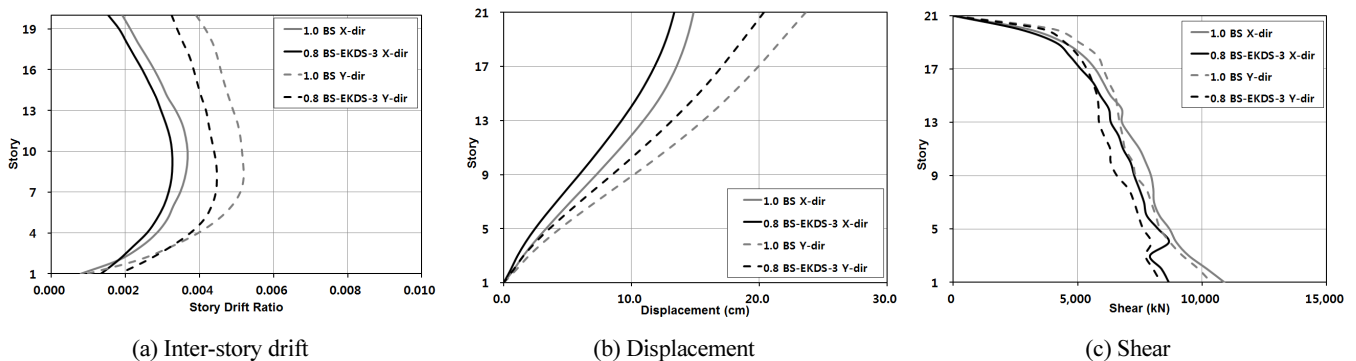


Fig. 10 Nonlinear time-history analysis results of EKDS(Installaion of EKDS up to third story, 20 stories)

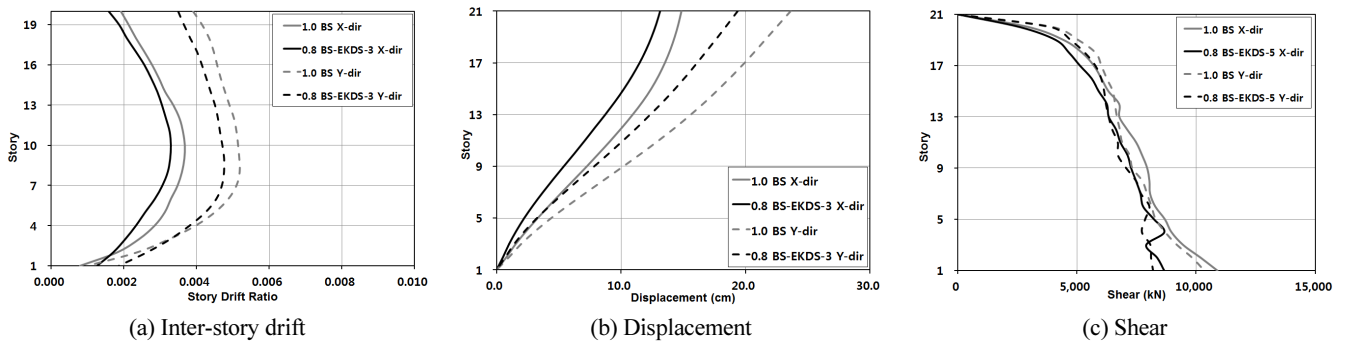


Fig. 11 Nonlinear time-history analysis results of EKDS(Installation of EKDS up to fifth story, 20 stories)

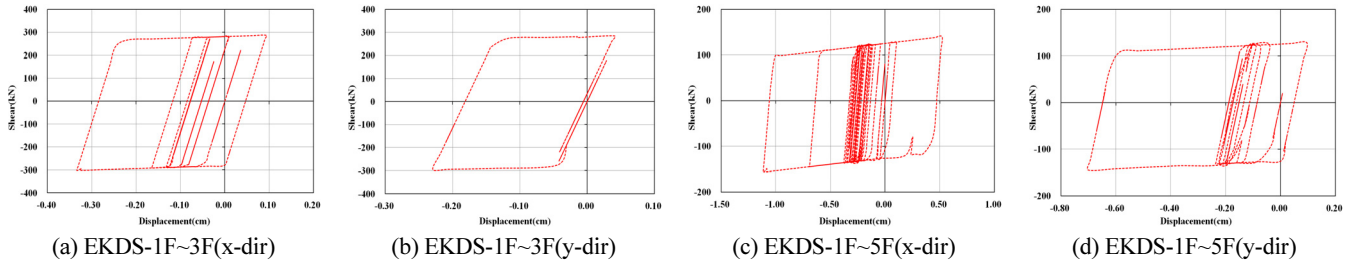


Fig. 12 Hysteresis loops of damper(EI-centro 270 Deg earthquake, 15 stories)

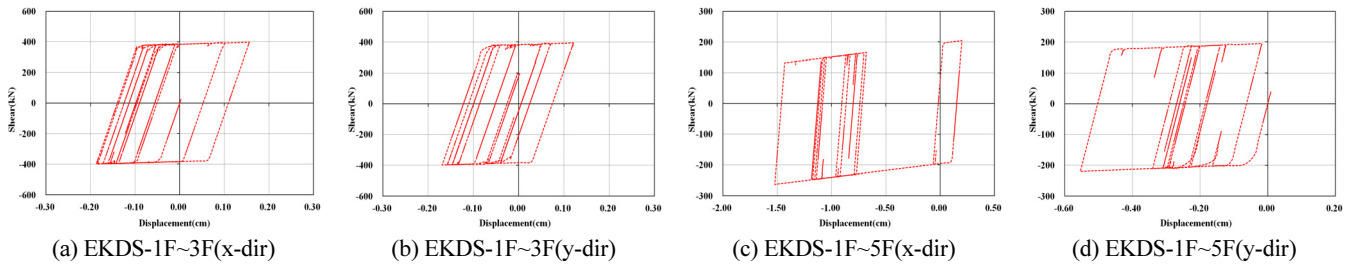


Fig. 13 Hysteresis loops of damper(EI-centro 270 Deg earthquake, 20 stories)

Fig. 12와 Fig. 13에 15층 건물과 20층 건물에 적용된 EKDS의 최상층(3F 및 5F)에 설치된 감쇠장치의 응답이력을 EI-centro 270 Deg 지진파에 대하여 각각 나타내었다. 그림으로부터 감쇠장치가 항복하여 입력된 지진파의 에너지소산에 기여하였음을 확인할 수 있다. 하지만, 이 연구에서는 탄성해석 결과를 바탕으로 감쇠장치를 전 층 동일하게 배치함에 따라 일부 지진파의 경우 감쇠장치가 충분한 소성거동을 나타내지 못하는 것이 관측되었다. 그러므로 보다 향상된 결과를 얻기 위해서는 감쇠장치를 더 세분화하여 최적화를 도모할 필요가 있는 것으로 사료된다.

5. 결론

본 논문에서는 EKDS를 이용한 15층 건물 및 20층 건물의 지진응답 개선효과를 비선형 정적 및 동적해석을 통해 분석

하였다. 해석결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 감쇠구조로 설계 시 경제성을 검토하기 위하여 연구대상 건물을 기존 내진설계방법과 지진력 저항 시스템이 설계 밀면전단력의 80.0%만을 부담하도록 감쇠구조로 설계한 결과, 철근물량이 내진설계 대비 감쇠구조 15층 건물의 경우 철근은 약 11.6% 감소되었고, 20층 건물의 경우 철근은 약 8.0% 감소가 가능한 것으로 확인되었다. 단, 연구에서 고려한 설계조건으로 감쇠구조 설계 시 내진설계 대비 골조의 물량감소량은 20층 건물의 경우 감쇠장치의 설치비용을 고려하면 경제성 확보가 용이치 않을 것으로 검토되었다. 이는 내부공간의 자율성 확보를 위한 무리한 구조계획에 따른 결과로서 대부분의 부재들이 지진하중보다는 중력하중에 지배되어 설계되는 경우가 많기 때문이다. 또한, 사용 강재의 강도가 높아 최소철근비로서 단면이 결정되는 부재의 경우 과도한 배근으로 결정되는 사례가 발생

하였기 때문인 것으로 판단된다.

2) 비선형 정적 및 동적 해석결과, 연구대상 건물들에 EKDS 적용 시 경제적이고 효과적인 감쇠구조시스템을 형성할 수 있을 것으로 판단된다. 이 연구에서는 연구대상 건물들의 설계지진력을 밀면전단력의 80.0%만을 부담하도록 재 설계된 모델에 EKDS를 설치하여 비선형 정적해석 및 비선형 동적해석을 수행하였다. 비선형 정적 해석결과, 설계지진레벨과 최대지진레벨 시 모두 목표성능기준을 하회하는 값으로 안정된 거동을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 또한, 감쇠구조의 경우 내진설계 대비 80.0%에 해당하는 설계밀면전단력으로 설계하였음에도 불구하고 비선형 동적해석결과 밀면전단력과 최상층 최대응답변위 감소로 살펴볼 때 내진구조와 비교하여 더 향상된 거동이 기대된다는 점에서 EKDS의 유효성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 한국연구재단 도약연구지원사업(과제번호: 2015 R1A2A1A10054506)에 의한 결과의 일부이며 이에 감사드립니다.

References

1. AIK (2015), Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Residential Buildings, Architectural Institute of Korea.
2. Applied Technology Council (2005), Improvement of Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440 Report.
3. ASCE (2010), ASCE/SEI 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Reston: American Society. of Civil

- Engineers, 179-197.
4. Federal Emergency Management Agency (2000), Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 356 Report.
5. Hur, M. W., Lee, S. H., Chun, Y. S. (2015), Vibration Control Effect of the Framed Building Structures according to the Stiffness Ratio of Exo-type Damping System and Damper Device Yield Ratio, *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, 19(5), 38-44.
6. Hur, M. W., Lee, S. H., Chun, Y. S., (2015), Vibration Control of the Framed Building Structures Using KGDS System with Isotropic Damping Devices, *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, 19(2), 52-59.
7. Hwang, J. S., Park, S. C., Kang, K. J. (2013), A Study on the Hysteresis properties and Mathematical Model of Kagome Truss Damper, *Architectural Institute of Korea*, 29(9), 21-29.
8. KBC, Korean Building and Commentary (2009), Architectural Institute of Korea, 88-90.
9. Lee, H. H., Kim, S. I. (2010), Metallic Damper Shape and Cyclic Behavior for the Seismic Capacity Improvement of Building Structures, *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, 14(3), 123-130.
10. Lee, H. H., Kim, S. I. (2012), Hysteretic Behaviors of Metallic Dampers with the Various Slit Shape, *Journal of Korea institute for Structural Maintenance Inspection*, 16(2), 206-207.
11. Oh, S. H., (2012), Optimal vibration control Design Methodology of Apartments, LH technology seminar.
12. Oh, S. H., Kim, Y. J., Ryu, H. S., Choi, H. B., Kang, C. H. (2005), Hysteresis Behavior of Beam-to-Column Connections with Elasto-Plastic Hysteretic Dampers, *Architectural Institute of Korea*, 25(1), 635-638.

Received : 01/05/2016

Revised : 01/28/2016

Accepted : 04/14/2016

요 지 : 이 논문은 지진응답을 감소시키기 위해 외부설치형 카고메 감쇠시스템의 유효성을 비선형 동적 해석 결과를 통해 나타내었다. 이전의 연구에 의해 제안된 카고메 감쇠시스템을 활용하여 본 연구에서는 등방성, 이선형 이력특성 및 설치구성이 새롭게 제안하였다. 또한, 외부접합형 카고메 감쇠시스템의 여러 가지 효과를 15층 및 20층 철근콘크리트 라멘조 아파트를 대상으로 검증하였다. 원구조물에 대한 감쇠장치 지지구조물의 강성비, 감쇠장치의 수량 및 설치 층수는 설계변수로 고려하였다. 수치해석결과, EKDS는 기존의 한 방향 층간에 설치되는 감쇠시스템과 비교할 때 더 작은 수를 적용하여도 두 방향의 지진하중을 감소시키는데 매우 효과적임을 입증되었다.

핵심용어 : 등방성, 이선형, 외부설치형 카고메 감쇠시스템, 비선형 동적해석