

# 등방성 이력형 강재댐퍼를 이용한 RC 라멘조 아파트건물의 지진응답 개선

## Mitigating Seismic Response of RC Framed Apartment Building Using Isotropic Hysteretic Steel Dampers

천영수<sup>1</sup> · 방종대<sup>2</sup>

Young-Soo Chun<sup>1</sup> and Jong-Dae Bang<sup>2</sup>

(Received February 25, 2014 / Revised April 16, 2014 / Accepted April 29, 2014)

### 요 약

수동형 제진장치를 이용하는 제진구조는 수년간 개발이 지속되고 있으며, 1990년대 중반이후로 여러 나라들에서 실무적인 적용이 빠르게 증가되고 있다. 국내의 경우 이러한 제진장치 중 강재이력형 댐퍼가 비교적 저렴한 비용과 설치와 관리가 용이하다는 이유로 건물의 내진설계를 위하여 보편적으로 많이 적용되고 있다. 이 논문에서는 건물의 지진응답을 개선하기 위하여 적용된 소위 카고메댐퍼로 불리는 등방성 강재이력형 댐퍼(Isotropic Hysteretic Metallic Damper, IHMD)의 유효성에 대한 해석적인 사례연구를 제시하고 있다. 연구대상 건물은 18층 규모의 철근콘크리트 라멘조 아파트건물로 해석결과를 통하여 IHMD의 실효성을 실증적으로 보여주고 있다. 해석결과는 IHMD가 건물의 지진응답을 줄일 수 있는 매우 효과적인 방법임을 검증하고 있다.

**주제어 :** 등방성, 이력형 강재댐퍼, 제진구조, 지진응답 개선, 라멘조 아파트건물

### ABSTRACT

Passive energy dissipation systems for seismic applications have been under development for a number of years with a rapid increase in implementations starting in the mid-1990s in many countries. A metallic hysteretic damper has most commonly been used for seismic protection of structures in domestic area because they present high energy-dissipation potential at relatively low cost and easy to install and maintain. This paper presents an analytical case study of the effectiveness of isotropic hysteretic metallic damper(IHMD) called Kagome as a passive dissipative device in reducing structural response during seismic excitation. An eighteen-story RC framed apartment building is studied with and without IHMD. Results demonstrate the feasibility of these techniques for seismic mitigation. The inclusion of supplemental passive energy dissipation devices in the form of IHMD proved to be a very effective method for significantly reducing the seismic response of the building investigated.

**Key words:** Isotropic, Hysteretic Metallic Damper, Passive Energy Dissipation System, Mitigating Seismic Response, RC Framed Apartment Building

## 1. 서 론

제진구조는 지진에 대한 경험이 많은 미국, 일본, 뉴질랜드 등 외국에서는 실무에서 널리 활용되고 있는 구조로서 지진 다발 지역의 경우 초기 설치비용 및 지진 후 복구비용이 적게 든다는 이점이 있어 면진구조와 비교하여 중·약진 지역에서 특히 선호도가 높은 구조이다.

최근 우리나라에서도 제진구조에 대한 필요성이 대두되면서 제진구조를 도입한 건물들이 다수 건설되고 있으며, 저렴한 비용으로 높은 에너지소산능력을 제공할 수 있고, 설치와 유지관리가 용이하다는 장점이 있어 강재이력형 댐퍼를 이용한 수동형 제진구조시스템이 널리 사용되고 있다.

하지만 국내 아파트구조의 주종을 이루고 있는 벽식구조의 경우 강재이력형 제진장치를 적용하는데 어느 정도 한계

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(주저자: cysoo@lh.or.kr)

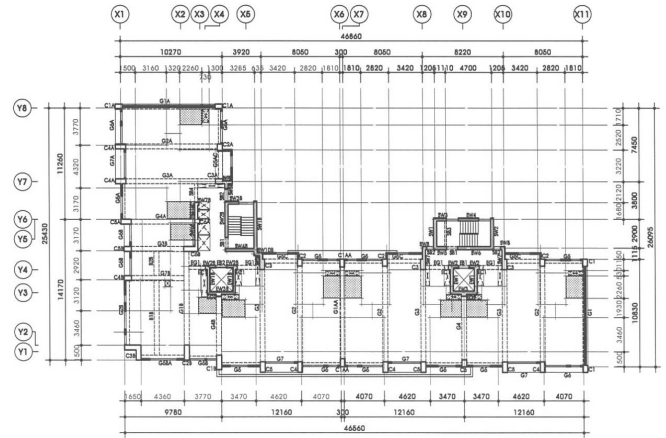
2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(교신저자: jdbang@lh.or.kr)

가 있다. 이는 주된 횡력저항시스템으로 사용되는 전단벽이 초기강성은 매우 큰 반면 항복변위가 낮아 제진장치를 적용하여 제진능력을 확보하기 위해서는 초기강성이 전단벽에 비하여 월등히 크고 항복변위가 매우 작으면서 충분한 연성능력을 확보할 수 있는 제진장치가 있어야만 한다는 현실적으로 만족하기 어려운 조건 때문이다(오상훈, 2012). 반면, 라멘조의 경우 큰 변형능력을 부과할 수 있다는 특징을 이용하여 지진력저항시스템은 탄성상태를 유지하면서 감쇠시스템의 소성거동에 의하여 지진에너지를 소산토록 하는 유강혼합구조의 개념을 적용하는 것이 용이하다. 따라서 강재이력형 댐퍼를 이용하여 공사비를 크게 증가시키지 않으면서도 우수한 내진성능의 확보가 가능하기 때문에 아파트 구조에 있어서도 요구성능에 맞춘 다양한 제진기술의 개발에 관심이 모아지고 있다.

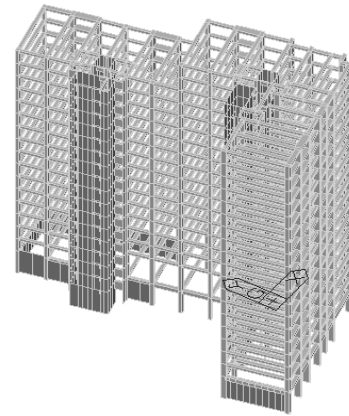
이 논문은 이러한 기술개발의 일환으로 등방성 이력형 강재댐퍼인 카고메댐퍼를 이용한 RC 라멘조 아파트건물의 지진응답 개선효과에 대하여 해석적으로 검토한 결과를 제시하고 있다. 연구목적 달성을 위하여 연구대상 건물은 먼저 건축구조기준(KBC 2009, 국토해양부)에 의한 내진설계가 수행되었으며, 이 건물의 동적응답이 제진구조의 지진응답 개선효과를 검증하는 비교기준으로 사용되었다. 제진구조는 ASCE/SEI 7-10(ASCE, 2010)<sup>1)</sup>에서 제시하고 있는 설계방법에 따라 감쇠시스템(damping system)을 제외한 나머지 지진력저항시스템이 설계밀면전단력의 75% 이상을 부담하도록 설계하였다. 실무적인 관점에서 제진구조의 적용에 따른 비용증감 문제는 가장 큰 이슈 중의 하나이다. 또한 제진구조는 제진장치의 특성과 적용방법, 그리고 구조시스템에 따라 그 성능과 경제적인 효과가 크게 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지진력저항시스템을 기준에서 요구하는 최소요건인 설계밀면전단력의 75%만을 부담하도록 설계된 최적화 구조를 검토하여 경제적인 설계의 가능성도 함께 검토하였다.

## 2. 연구대상 건물

연구대상 건물은 그림 1에 나타난 바와 같은 지하 1층, 지상 18층의 L자 판상형 철근콘크리트 라멘조 아파트로서, 기준층의 층고는 3.1m이며 건물의 전체 높이는 56.6m이다. 건물 스패의 기본모듈은 3.4m×10.8m, 4.0m×10.8m, 4.6m×10.8m로서 건물의 장변방향으로는 3.4m, 4.0m, 4.6m의 비교적 짧고 다양한 스패를 지니고 있는 반면 단변방향은 10.8m의 단일스패스로 구성되어 있다. 이러한 평면구성은 내부공간의



(a) 기준층 구조평면도



(b) Midas 모델링

그림 1. 연구대상 건물

자율성을 최대한 확보하기 위한 건축적인 요건에 의한 것으로서 최근의 아파트 평면의 경향을 반영한 것이다.

## 3. 지진력저항시스템 최적화 및 경제성 검토

제진구조의 적용에 따른 경제적인 설계의 가능성을 검토해 보기 위하여 건축구조기준(KBC 2009, 국토해양부)에 의해 내진설계된 건물(Seismic Force-Resisting System, SFRS)과 ASCE/SEI 7-10 기준에서 요구하는 최소요건인 설계밀면전단력의 75%만을 부담하도록 설계된 건물(0.75\*SFRS)을 대상으로 골조물량을 비교하였다. 설계 시 적용된 철근과 콘크리트의 강도는 표 1과 같으며, 풍하중의 적용조건은 설계기본풍속 30m/sec, 노풍도 B, 중요도 계수 1.0이고, 지진하중의 적용조건은 표 2와 같다.

표 3은 연구대상 건물에 적용된 풍하중과 지진하중을 비교한 것으로 지진하중이 풍하중보다 큰 것으로 검토되어 저감된 지진하중(밀면전단력의 75%)을 적용할 경우 구조부재의 부재력 감소로 경제적인 설계가 가능할 것으로 예상된다.

0.75\*SFRS 구조의 1차 최적화 검토는 기존 SFRS의 단면

1) 건축구조기준(KBC)에서는 2013년 개정을 통하여 제진구조에 관한 규정을 새롭게 도입할 예정이며, 이 규정은 ASCE/SEI 7-10을 근간으로 작성되었으므로 본 논문에서는 이 규정을 직접 적용하였다(대한건축학회, 2013).

을 유지하면서 철근물량을 최소화하는 방법으로 수행하였다. 검토결과, 이 경우는 기둥과 벽체가 최소 철근량에 의해 부재 배근이 결정되는 경우가 많아 철근물량의 감소량이 미미하였다. 이와 같은 이유로 최종 검토 시에는 먼저 지진과 풍하중

표 1. 콘크리트 및 철근 강도

재 료	종 류	
콘크리트	지하1층~6층 바닥	$f_{ck} = 30\text{MPa}$
	6층~11층 바닥	$f_{ck} = 27\text{MPa}$
	11층 이상	$f_{ck} = 24\text{MPa}$
철 근	HD13이하	$f_y = 500\text{MPa}$
	HD16이상	$f_y = 600\text{MPa}$

표 2. 지진 하중

구 분	적 용 계 수
지역계수	0.191
지반 종류	$S_D$
내진설계범주	D
반응수정계수	5.0(철근콘크리트 보통전단벽)
시스템초과계수	2.5
변위증폭계수	4.5
중요도계수	1.2

표 3. 풍하중과 지진하중 밀면 전단력 비교

	풍하중(kN)	지진하중(kN)	0.75×지진하중(kN)	비 고
X-DIR	3,680.70	7,634.581(5,453.27)	5,577.44(3,983.89)	
Y-DIR	1,735.54	7,634.581(5,453.27)	5,577.44(3,983.89)	

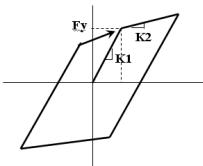
※ ( )값은 사용하중

표 4. 기준총 물량 비교

부재	재료	원설계	최적화 후	비고
기둥	철근	5.432ton	5.361ton	1.3%절감
	콘크리트	28.28m <sup>3</sup>	25.424m <sup>3</sup>	10.1%절감
벽체	철근	2.147ton	1.854ton	13.6%절감
	콘크리트	44.927m <sup>3</sup>	30.742m <sup>3</sup>	31.5%절감
보	철근	18.349ton	17.754ton	3.3%절감
	콘크리트	48.91m <sup>3</sup>	48.91m <sup>3</sup>	-

표 5. 카고메뎀퍼 유닛의 특성

와이어직경(mm)	$\delta_y$ (mm)	$\delta_{max}$ (mm)	K1(kN/mm)	K2(kN/mm)	$F_y$ (kN)	$F_{max}$ (kN)	r	$K_{eff}$ (kN/mm)
0.9	0.48	30	520.83	6.30	250	436	0.0121	14.53



$\delta_y$  : 항복변위,  $\delta_{max}$  : 최대변위, K1 : 초기강성, K2 : 항복 후 강성,  $F_y$  : 항복하중,  $F_{max}$  : 최대하중, r : 강성비율(K2/K1),  $K_{eff}$  : 최대변위 시 유효강성

을 만족하도록 건물의 부재 단면을 최적화하였으며, 이 최적화된 단면을 기준으로 SFRS와의 물량을 비교하였다. 구조물량 비교 시 이음과 정착길이는 고려하지 않았다. 2차 검토결과, 각 부재의 물량 감소폭은 표 4와 같이 수평강성에 기여도가 큰 벽체의 물량 감소폭이 크게 나타났으며, 기둥과 보의 물량도 어느 정도는 감소함을 확인하였다. 콘크리트는 전체 물량 대비 약 86% 수준으로 14% 감소하였으며, 철근의 경우 약 96.3%로 3.7% 감소하였다. 2차 최적화의 경우는 기둥과 벽체에서 부재 단면의 최적화로 콘크리트 물량 감소가 철근 감소폭에 비해 큰 것으로 나타났다.

상기 검토로부터 지진력저항시스템의 물량감소에 의한 경제적인 설계의 가능성은 확인하였으나 제진구조에 있어서 실제적인 경제성은 제진장치와 그 설치시스템의 비용을 포함해야 하므로 제진장치와 그 적용방법에 따라 경제적인 설계의 여부가 좌우된다고 볼 수 있다. 이러한 관점에서 보면 상기의 물량감소는 만족스러운 결과를 제시하고 있지 못하다.

이러한 결과의 원인은 크게 2가지로 분석해 볼 수 있다. 첫째, 그림 1에서 볼 수 있듯이 내부공간의 자유도 확보를 위하여 예제건물의 구조에서는 단변방향으로 장스팬 구조를 채택함에 따라 부재의 단면이 중력하중에 지배되는 경향이 크게 나타났기 때문이다. 특히 단변방향으로 설치된 보의 경우 장스팬에 따른 처짐의 영향으로 대부분 중력하중에 의하여 단면이 결정되어 물량감소의 폭이 매우 작게 나타났다. 따라서 제진구조로서 보다 경제적인 설계를 위해서는 중력하중보다 지진하중의 지배비율이 높은 구조를 대상으로 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 두 번째 원인은 고강도 철근의 사용을 들 수 있다. 1차 검토에서도 알 수 있듯이 많은 단면들이 최소철근에 지배되는 경우가 발생하였음에도 불구하고 고강도철근을 사용함으로써 전체 단면의 강도를 상승시키고 결국 골조비용의 증가를 초래하고 있기 때문이다.

## 4. 내진구조와 제진구조의 지진응답 비교

### 4.1 감쇠시스템

이 연구에서 적용된 제진장치는 와이어를 소재로 한 다공질의 카고메뎀퍼로서 등방성의 특징과 함께 무게대비 강도가

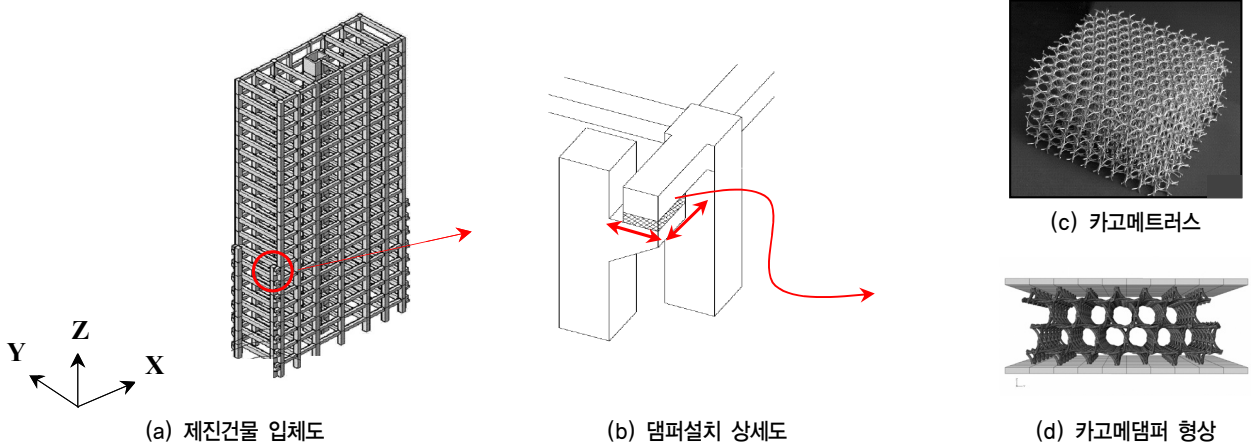
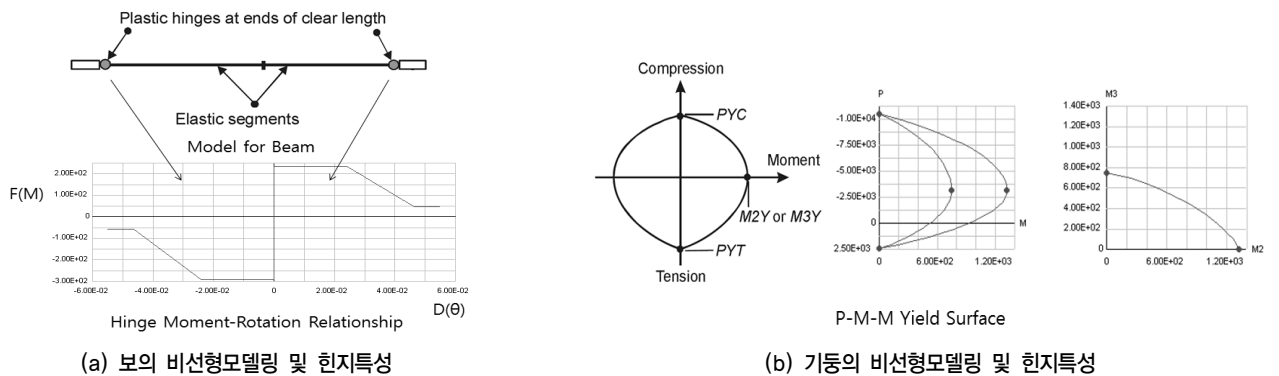
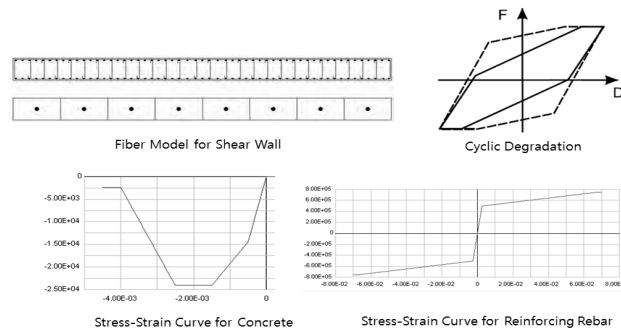


그림 2. 카고메댐퍼 및 그 적용방법



(a) 보의 비선형모델링 및 한지특성

(b) 기둥의 비선형모델링 및 한지특성



(c) 전단벽의 비선형특성

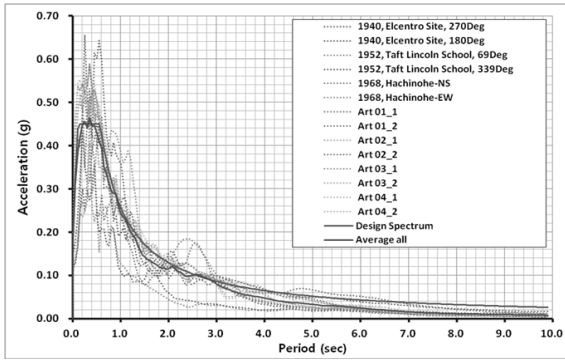
그림 3. 해석에 사용된 비선형모델

크고 전단변형에 의한 에너지흡수율이 높은 특징을 지니고 있다(황재승 등, 2013). 일반적으로 변위의존형의 강재댐퍼는 이선형(bi-linear)의 특성을 갖는 것으로 모델링되며, 표 5는 본 연구에서 적용한 카고메댐퍼 유닛의 이력특성값을 정리하여 나타낸 것이다. 댐퍼의 적용방식은 유강혼합구조의 개념을 응용한 형태로서 건물 외부에 별도의 강한 기둥을 설치하여 건물과 이 기둥구조의 상대적인 주기차(강성차)를 이용하고, 댐퍼를 평면적으로 움직이도록 설치하여 임의방향의 지진에 모두 대응하도록 고안된 시스템이다. 댐퍼와 부재간의 연결은 부재 내에 매립된 연결철물과 댐퍼 상, 하판의 볼트접

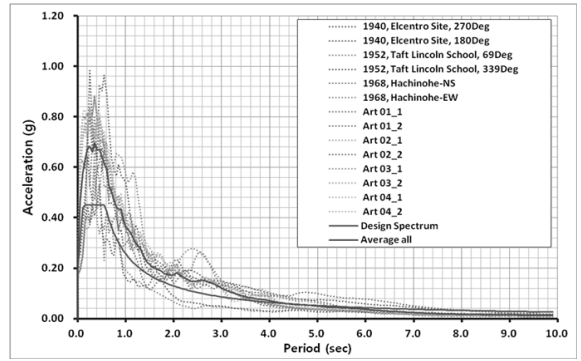
합으로 한다. 그림 2는 카고메댐퍼의 형상과 적용방법을 나타낸 것이다.

#### 4.2 비선형 해석모델

비선형해석에 사용된 프로그램은 Perform 3D로서 부재의 비선형특성은 부재의 강성과 변형능력으로 표현할 수 있으며, 재료 비선형과 부재의 비선형을 모두 고려할 수 있다. 부재 비선형의 경우 하중조건과 변형에 따라 부재에 발생하는 소성힌지의 특성으로 보 및 기둥 부재는 FEMA356 (ASCE41, 2000)에서 제시하는 비선형 특성을 이용하였으며, 전단벽의



(a) DBE scale factor = 0.6963



(b) MCE scale factor = 1.0445

그림 4. 해석에 사용된 지진파

경우 Perform 3D를 이용하여 화이버(Fiber)모델로 구성하여 해석하였다. 그림 3은 각각 보, 기둥, 전단벽의 비선형모델을 나타낸 것이다. 댐퍼는 그림 2에서 보듯이 표 5의 이력특성을 이용하여 건물로부터 연장된 보와 외곽기둥의 브라켓을 연결하는 스프링으로 모델링하였다.

### 4.3 지진파

지진응답의 시간이력해석은 지반조건에 상응하는 적어도 7개의 지반운동을 사용하여 해석할 경우 결과 값의 평균치를 계산해 평가하는 것이 허용된다. 본 연구에서는 3개 계측파와 4개의 인공지진파를 이용하였으며, 건축구조기준(KBC 2009 0306.7.4.1)에 부합하도록 스케일링하여 해석하였다. 그림 4는 본 연구에서 사용된 7개 지진파에 대하여 DBE(Design Based Earthquake)와 MCE(Maximum Considered Earthquake)레벨로 보정된 결과를 나타낸 것이다.

### 4.4 등가선형화 예비설계

이 절에서는 전체 제진구조의 비선형 시간이력해석에 선행하여 효율적인 제진장치의 용량 및 설치위치를 검토하기 위하여 수행된 ASCE/SEI 7-10의 등가수평력절차에 의한 예비설계 사례연구 결과를 정리하였다. 댐퍼의 설치는 건물의 모드형상을 고려하여 저층부 5개층, 중층부 3개층, 고층부 2개층 설치의 경우로 나누어 검토하였으며, 고층부는 외부기둥의 강성구현에 어려움이 있어 12층 이상은 고려하지 않았다. 그림 5는 ASCE/SEI 7-10에서 제시하고 있는 등가선형화기법의 개념을 나타낸 것으로,  $D_{yd}$ 는 댐퍼항복변위로 단자유도화한 건물에 적용한 댐퍼의 모든 부재가 항복했을 때의 변위,  $D_0$ 는 제진건물의 등가 기본진동주기를 반영하기 위하여 지진력저항시스템과 감쇠시스템의 총 강도의 적정 강도수준의 변위로 일반적으로 60%강도 수준으로 정한다.  $D_y$ 는 감쇠시스템과 지진력저항시스템의 등가항복변위,  $D_{yf}$ 는 감쇠시스템이 없는 지진력저항시스템만의 항복변위이다. 또한 명시된 모든 변위는 등가의 최상층 변위를 의미한다.

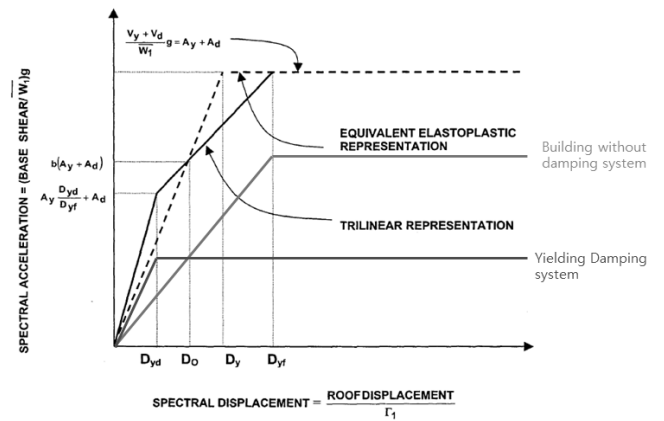


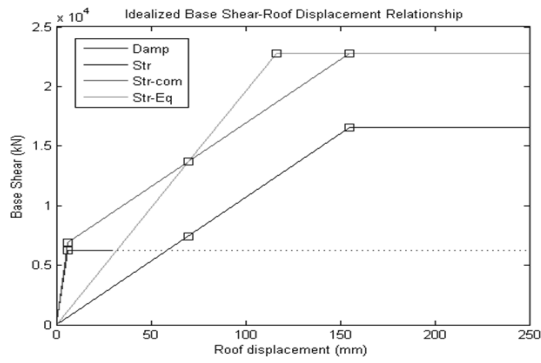
그림 5. 감쇠기 적용 건물의 등가선형 모델

#### 4.4.1 Case 1 : 저층부 1~5층 제진장치 설치 시

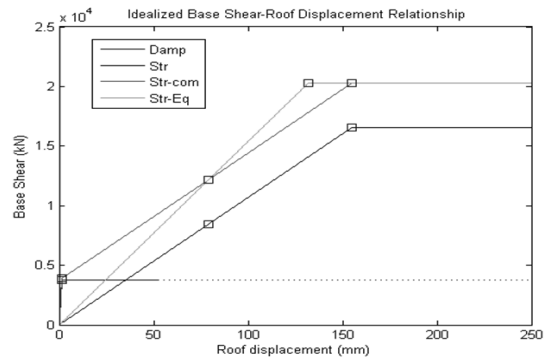
250kN 항복력의 카고메댐퍼를 1~5층까지 총 25개를 설치하였을 경우, 그림 6과 같이 등가모델이 구성되며 제진장치로 인한 제어 감쇠비는 약 6% 증가되는 것으로 검토되었다. 많은 제진장치에 비하여 감쇠비가 크게 증가하지 않은 이유는 5층까지의 층변위가 작아 모든 제진장치가 항복하여 제어력을 발휘하는 이력변위가 작기 때문으로 판단된다.

#### 4.4.2 Case 2 : 중층부 6~8층 제진장치 설치 시

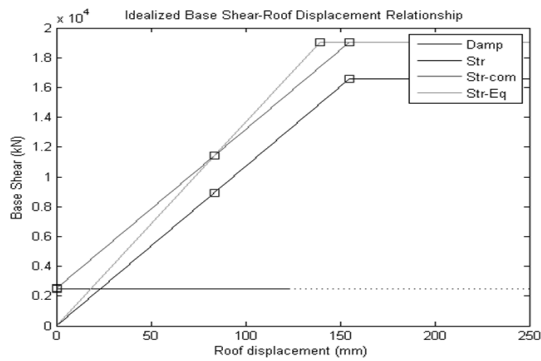
중층부 6~8층에 걸쳐 3개층에 카고메댐퍼 총 15개를 설치하였을 경우, 12% 감쇠비 증가효과가 있는 것으로 검토되었으며 Case 1에 비하여 보다 작은 제어력으로 큰 제진효과를 거둘 수 있는 것으로 나타났다. 그 이유는 외부 제어구조물이 강체이며 제어층의 층변위가 하부층 보다 크기 때문에 이력감쇠의 효과가 크게 나타났기 때문으로 판단된다. 하지만 8층에 설치된 제진장치는 변형능력의 한계를 초과한다. 현재 고려된 모델의 경우 변위의 한계 없이 고려한 것이기 때문에 실제 외부제진의 설치위치는 8층 미만으로 고려하는 것이 적절할 것으로 판단된다.



(a) 저층부 1~5층 제진장치 설치 시



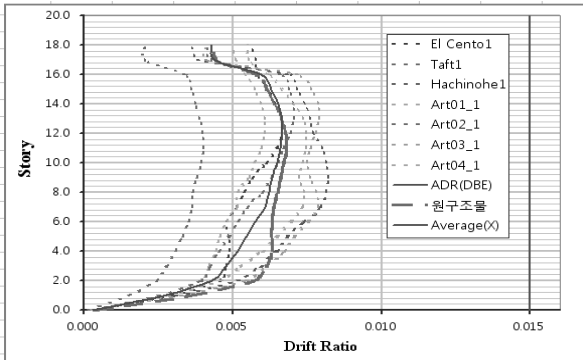
(b) 중층부 6~8층 제진장치 설치 시



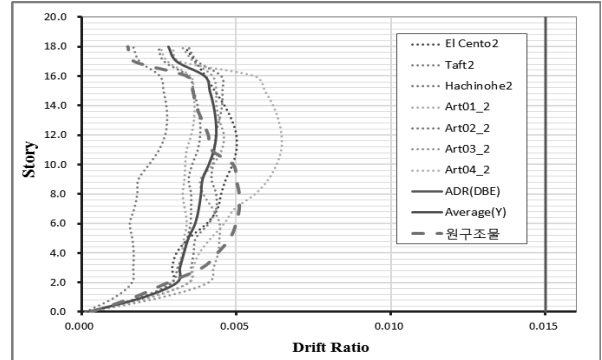
(c) 고층부 11~12층 제진장치 설치 시

\* Damp=이력감쇠시스템의 항복강도와 제어변위  
 Str=감쇠장치가 없는 원구조물의 등가모델  
 Str-com=감쇠시스템과 원구조물이 합쳐진 3선형 시스템 모델  
 Str-Eq=이선형의 등가구조물로 치환된 삼선형의 제진구조물

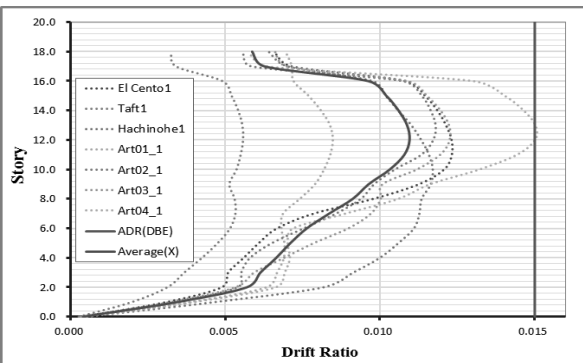
그림 6. 외부 제진 등가 구조모델



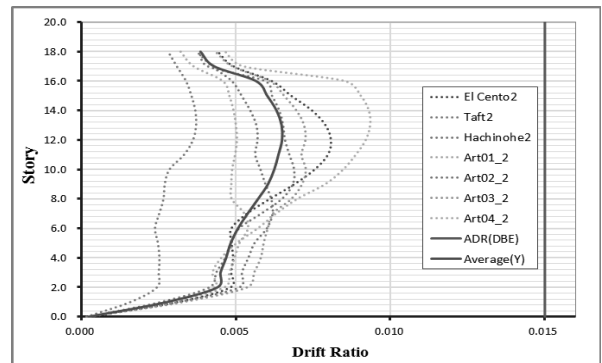
(a) X방향 층간변위율(DBE)



(b) Y방향 층간변위율(DBE)



(c) X방향 층간변위율(MCE)



(d) Y방향 층간변위율(MCE)

그림 7. 제진건물의 비선형 시간이력해석 결과

#### 4.4.3 Case 3 : 고층부 11~12층 제진장치 설치 시

고층부 11~12층까지 2개층에 카고메댐퍼 총 10개를 설치하였을 경우, 가장 적은 댐퍼 용량으로 가장 큰 제어효과를 거둘 수 있었으며, 제어감쇠비 약 20%의 추가 효과를 볼 수 있었다. 현재 요구되는 제어용량은 추가 감쇠비 13% 수준으로 이는 원구조물의 지진력을 25% 감소시킬 수 있는 제어 수준이다. 따라서 Case 1~3을 통해 외부제진 제어층은 8층 미만의 적절한 제어강성을 갖는 외부제진구조물로 구성하면 적절할 것으로 판단된다. 만약 Case 3과 같이 외부 제어구조물이 강제로 큰 강성을 구현할 수 있고 제진장치가 대변형에도 적절한 제어효과를 발휘할 수 있다면 상부층까지 외부 제진을 고려할 수도 있다. 그러나 이러한 개념은 작은 제어력에도 많은 제어효과를 거둘 수 있는 장점이 있겠으나 외부 제어구조물의 강성구현을 위한 추가 비용이 매우 커지게 되어 오히려 경제성이 줄어들게 된다. 또한 적절한 제어력의 판단기준이 모호해 지는 경우가 생긴다. 예를 들어 최상층에 막대한 제진장치가 설치된다고 했을 경우 일반적인 건물의 캔틸레버 거동이 아니라 양단이 구속되어 중간층의 변위가 커져 마치 교량 상판의 거동과 유사한 거동이 발생하게 된다. 따라서 상부층에서 무리한 변형이 발생하지 않는 이상 외부제진의 제어층은 중하층 정도로 설치하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

#### 4.5 제진구조의 지진응답해석 결과

그림 7은 예비해석결과를 토대로 1~6층까지 건물 양쪽 끝단 4곳에 제진장치를 설치하였을 경우의 비선형 시간이력해석결과를 나타낸 것이다. 해석결과, 1~6층에서 확연하게 층간변위율이 줄어드는 효과를 볼 수 있다. 2,400년 재현주기를 갖는 경우(MCE), 지진력이 강하게 작용함으로 제어층 경계부터 상층부에 변형이 크게 작용하는 경우가 생기긴 하지만 설계기준에 부합하며, 응답이력상 피크 이후에 비제어시나

외부강성이 충분하지 못한 경우보다 층간변위가 확연히 줄어들므로 건물의 안전성을 크게 향상시키는 결과를 보여주고 있다. 만약, 제진장치의 제어력을 다양하게 구분하여 제어한다면 보다 좋은 제진결과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

또한 그림 8은 일례로서 El centro 지진작용 시 건물이 소산한 에너지양을 비교한 결과로서, 댐퍼의 설치로 댐퍼설치 전 건물 소산에너지량 대비 약 9%의 추가 에너지소산 효과가 발생하였으며, 예비설계 시 Case 2와 비슷한 수준으로 적절한 감쇠비가 도출되었음을 확인할 수 있다.

그림 9는 El centro 지진파에 대한 지진응답 중 부재응력과 댐퍼이력을 검토한 결과를 보여 주고 있다. DBE와 MCE에 대하여 모두 제진장치 설치 후 전단벽의 중층 및 하부층 소성힌지 분포가 제진장치 설치 전 보다 감소하였다. 감쇠시스템으로 구성된 외곽기둥은 ASCE/SEI 7-10기준의 요구사항과 같이 제진장치가 설치된 6층 바닥 이하에서 소성힌지가 발생하지 않고 탄성에 머물러 있는 것으로 확인되었다.

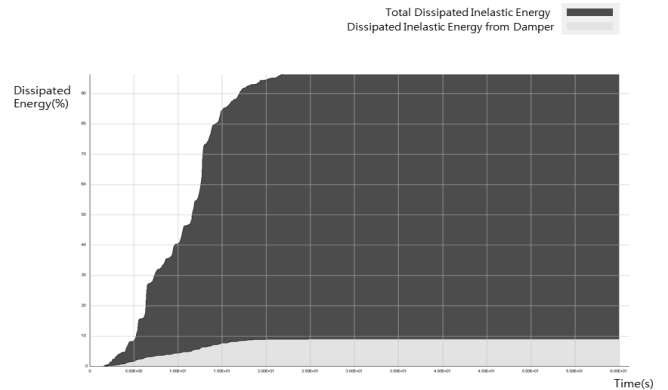
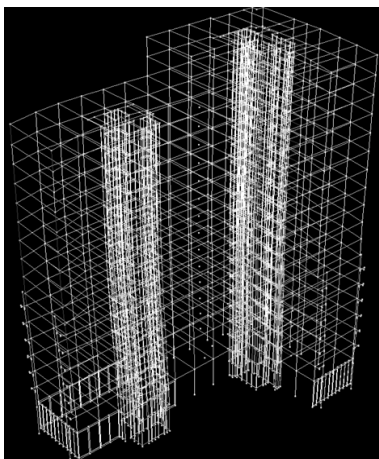
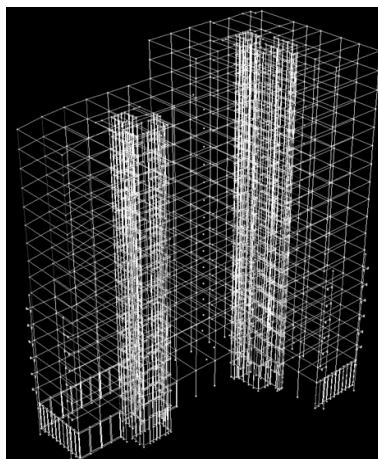


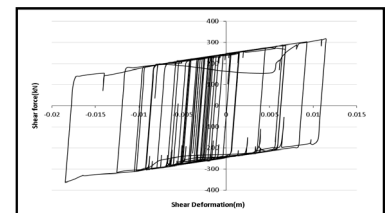
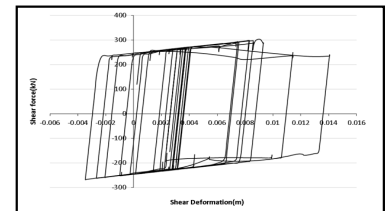
그림 8. 에너지소산량 비교(El Centro EQ)



(a) 응력분포(DBE)



(b) 응력분포(MCE)



(c) 6층 댐퍼이력

그림 9. 건물 구성 부재들의 응력분포와 댐퍼이력

## 5. 결론

이 논문에서는 등방성 이력형 강재댐퍼인 카고메댐퍼를 이용한 RC 라멘조 아파트건물의 지진응답 개선효과를 건물 외부설치 구조물과의 주기차를 이용하는 감쇠시스템의 구성 방법과 댐퍼의 설치위치에 따른 효과를 중심으로 분석하였으며, 해석적 검토결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 제진구조로 설계 시 경제성을 검토하기 위하여 연구대상 건물을 기존 내진설계방법(KBC 2009)과 지진력저항시스템의 설계지진력을 밀면전단력의 75%만을 부담하도록 최적화한 제진구조의 부재단면을 비교한 결과, 내진건물 대비 콘크리트는 약 14%, 철근은 약 3.7% 감소가 가능한 것으로 확인되었다.
2. 이 연구에서 고려한 연구대상 건물의 경우 제진구조로 설계 시 내진설계 대비 골조의 물량감소량이 작아 제진장치의 설치비용을 고려할 경우 경제성 확보가 용이치 않은 것으로 검토되었다. 이는 내부공간의 자율성 확보를 위한 무리한 구조계획에 따른 결과로서 대부분의 부재들이 지진하중보다는 중력하중에 지배되어 설계되는 경우가 많고, 사용 강재의 강도가 높아 최소철근비로서 단면이 결정되는 부재의 경우 과도한 배근으로 결정되는 사례가 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.
3. 이 연구에서는 예비설계 사례 연구를 통하여 고려하는 제진구조의 문제점 및 적절한 설계방안을 제시하고 이에 따라 가장 효과적인 제진모델을 선정하여 비선형 시간이력해석을 수행하였다. 해석결과, 외부제진 적용 시 외부제어 구조물이 강체로 적정 용량의 강성을 발휘하는 경우 경제적이고 효과적인 제진구조시스템을 형성할 수 있음을 확인하였다.
4. 이 연구에서 제시된 외부제진 감쇠시스템의 경우 카고

메댐퍼 24개 설치 시 약 9%의 에너지소산 효과를 얻을 수 있는 것으로 확인되었다.

5. 외부제어 구조물의 강성이 작은 경우, 제진장치의 에너지소산 효과가 미소하여 제진장치는 건물과 외부구조물을 연결하는 스프링역할 이상의 효과를 기대할 수 없는 것으로 검토되었다. 따라서 보다 효과적인 외부제어 감쇠시스템을 구성하기 위해서는 다양한 제진장치의 용량과 외부제어 골조의 최적강성 등에 대하여 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 한국토지주택공사(LH)에서 검토한 라멘조 아파트 목업설계 내용의 일부를 정리한 것이며, 본 연구수행을 위하여 적극 지원해 주신 민자주택사업처 주인돈 부장, 이종운 차장, 그리고 창민우구조 컨설턴트께 진심으로 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

1. 대한건축학회(2009), 「건축구조기준 및 해설(KBC2009)」.
2. 대한건축학회(2013), 「KBC2013 개정을 위한 공청회 발표자료집」. 대한건축학회 건축표준설계기준위원회.
3. 오상훈(2012), 「공동주택의 최적 제진구조 설계 기법」, LH 기술 세미나.
4. 황재승, 박성철, 강기주(2013), “카고메 트러스 댐퍼의 이력특성 및 해석모델에 관한 연구”, 「대한건축학회지」, 29(9): 21~29.
5. ASCE (2010), *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures(ASCE/SEI 7-10)*.
6. Federal Emergency Management Agency (2000), *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA356 Report*.