

# 감쇠시스템을 적용한 라멘조 아파트의 내진성능평가

## Seismic Performance of the Framed Apartment Building Structure with Damping System

천영수<sup>1</sup> · 이범식<sup>2</sup> · 박지영<sup>3</sup>

Young-Soo Chun<sup>1</sup>, Bum-Sik Lee<sup>2</sup> and Ji-Young Park<sup>3</sup>

(Received March 2, 2017 / Revised July 28, 2017 / Accepted July 29, 2017 )

### ABSTRACT

To proactively respond to internal and external changes such as the recent demographic change and rising demand for diversified housing types, this study investigated the framed-structure free plan public house model proposed by the LH to look at the seismic performance of framed-structure apartment according to damper system use through non-linear analysis. The effectiveness thereof was also examined in terms of performance and economy. As a result, the proposed damper system application method to framed-structure free plan public house model was found to meet the performance requirements of the present earthquake-resistant design (KBC2016) and effective to apply to designs. The max response displacement and max response acceleration were compared based on the nonlinear analysis. As a result, the building with damper system showed better earthquake resistance performance than earthquake-resistant structure thanks to the damper system, although the base shear of earthquake-resistant system was reduced by 20% in design. The damper system is expected to help reduce building damage while ensuring excellent earthquake resistance performance. In addition, the framework quantities of earthquake-resistant structure and structure with damping system were compared. As a result, columns were found to reduce concrete amount by about 3.9% and rebar, by about 7.3%. Walls showed about 12.6% reduction in concrete and about 10.7% in rebar. In terms of cost, framework construction cost including formwork and foundation expenses was expected to drop by about 5~6%.

**Key words** : Framed apartment building(라멘구조 아파트건물), Seismic performance(내진성능), Damping system(감쇠시스템), Construction cost(공사비)

## 1. 서론

최근 LHI에서는 급속한 고령화에 따른 인구구조의 변화, 주택 유형의 다양화 요구 증가, 에코세대로 대표되는 새로운 세대의 등장 등 대외적인 여건변화를 수용하기 위한 새로운 임대주택모델로서 미래수요대응형 라멘구조 프리플랜 공동주택모델을 제시한 바 있다(이범식 등, 2016). 이 주택모델은 공사의 자산으로서 임대주택의 가치를 제고하고, 리모델링이 원활한 주택의 구현을 지향하고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위해서는 우선적으로 안전성과 관련된 기본적인 구조성능을 확보하면서 장수명화, 가변형 공간구성, 건설원가 절감 등의 시대적 요구를 달성할 수 있는 새로운 구조시스템의 모색이 필요하다. 공동주택의 경

우 설계의 자유도를 높이고, 공간의 가변성을 극대화하기 위해서는 골조의 점유영역을 최소화하여 계획할 필요가 있다. 골조의 최소화와 관련하여 현재 구조시스템의 개발에 있어서 가장 큰 걸림돌은 내진설계와 관련된 문제이다. 전통적인 강도저항형 내진설계의 개념으로는 이러한 문제에 대한 해답을 줄 수 없기 때문에 최근에는 감쇠시스템과 같은 성능설계의 개념을 도입한 새로운 내진설계방법에 대한 관심이 높아지고 있다.

감쇠시스템을 적용한 구조는 다양한 이력특성을 이용하여 에너지를 소산시킬 수 있는 특수한 장치인 감쇠장치를 이용하여 구조물의 내진성능을 확보하도록 함으로서 구조물의 손상을 최소화할 수 있는 새로운 내진설계의 개념을 제공한다.

하지만 국내 공동주택의 구조형식을 대표하여 온 벽식구조의

1) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(주저자: cysoo@lh.or.kr)  
2) 한국토지주택공사 토지주택연구원 연구위원(교신저자: bslec417@lh.or.kr)  
3) 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원

경우 많은 벽량을 포함한 고강성 구조라는 구조시스템 자체가 지니는 특성으로 인하여 감쇠시스템을 적용하는데는 한계가 있다는 지적이 있어 왔다(김종호, 2012). 이는 효율적인 감쇠시스템의 적용을 위해서는 아파트의 구조형식이 골조형태로 변화하여야 함을 의미하지만, 감쇠시스템 구조는 구조물의 성격과 적용되는 감쇠장치의 특징에 따라 감쇠효과가 크게 달라질 수 있기 때문에 라멘구조 형식 아파트의 경우에 있어서도 효율적인 감쇠시스템 구조의 구현을 위한 구체적인 정보는 현재 매우 미흡한 실정이다(오상훈 등, 2013).

감쇠장치는 구조물의 성격과 감쇠장치 자체의 특징에 따라 다양한 조합이 가능하나 국내에서는 경제적인 이유로 인하여 주로 금속댐퍼를 이용한 감쇠장치가 선호되고 있으며(박지훈 등, 2011; 토지주택연구원, 2012; 이동건 등, 2015; 바하도르 바게리 등, 2016), LH에서도 공동주택의 적용을 목적으로 카고메 트러스(Kagome truss)와 고감쇠 고무(high-damping rubber)를 이용한 2가지 종류의 감쇠장치를 개발하였다(토지주택연구원, 2014).

따라서 본 연구에서는 LH에서 기 제안된 라멘구조 프리플랜 공동주택모델을 대상으로 선행연구(토지주택연구원, 2014)로부터 개발된 감쇠장치의 적용에 따른 라멘구조 아파트의 내진성능과 경제성 평가 정보를 제공함으로써 향후 관련기술 개발을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## 2. 감쇠시스템(Damping system)

### 2.1 다절점 감쇠시스템(Multi-joint damping system)

다절점 감쇠시스템(Multi-joint Damping System, MJDS)에 사용되는 감쇠장치는 고감쇠 고무를 사용한 다절점 감쇠장치(High damping rubber multi-joint damper)로서 ㉠ 감쇠율을 극대화하기 위한 고감쇠 고무, ㉡ 안정적인 이력거동을 위한 볼베어링 및 슬롯요소, 그리고 ㉢ 대변형 거동을 위한 다절점(Multi-joint)으로 구성되어 있으며, [그림 1]에 그 형상을 도시하였다. 고감쇠 고무 요소는 이 감쇠장치에서 감쇠를 담당하는 요소로 고무는 변형 시 3축 방향으로 거동이 가능한 특징을 지닌 요소이다. MJDS의 감쇠장치는 고감쇠 고무의 3축 변형으로 발생 가능한 편심이나 비틀림 변형을 최대한 감소시키기 위하여 볼베어링과 슬롯 홀의 2가지 요소 조합으로 구성된 추가적인 시스템을 보유하고 있으며, 이를 통하여 고감쇠 고무가 지진에 대하여 거동 시 1방향의 안정적인 이력거동이 가능하도록 구성 되어 있다.

본 연구에서 고려하는 라멘조 건물의 가장 큰 특징 중의 하나는 벽식 건물과 비교하여 가변성이 높다는 것이다. 하지만 이러한 특징은 MJDS의 구현에 있어서 댐퍼를 설치할 수 있는 부분이 제한적일 수밖에 없다는 숙제를 제공한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 감안하여 라멘조 건물의 가변성을 손상시

키지 않고, 경제성도 확보할 수 있는 제진구조시스템의 구현방법으로서 내부 간막이 벽 속에 매립하거나 이를 대체할 수 있는 형태인 벽체형태의 설치시스템을 제안하였다. 벽체형태로 MJDS 감쇠장치가 설치될 경우 설계자의 의도에 따라 임의의 위치에 설치가 가능하고, 용량에 따라 고감쇠 고무의 크기를 조절하여 다양한 용량과 크기의 댐퍼를 적용할 수 있다. MJDS 감쇠장치의 이력특성과 성능 등에 대해서는 참고문헌[5]를 참고하기 바란다.

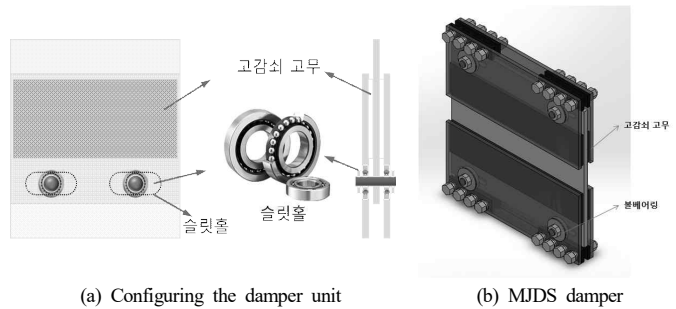


Fig.1 Damper configuration in MJDS(Chun et al., 2012)

### 2.2 카고메 감쇠시스템(Kagome damping system)

카고메 감쇠시스템(KaGome Damping System, KGDS)은 카고메댐퍼(Kagome damper)라는 특수한 장치를 사용하는 감쇠시스템이다. 카고메댐퍼는 카고메 트러스 구조의 전단변형에 의한 에너지 소산능력을 이용한 금속형 댐퍼의 일종으로 입체형 카고메 트러스 구조의 상, 하부에 구조물과의 연결이 용이하도록 면재를 브레이징(Brazing)하여 접합한 구조를 갖고 있다.

카고메댐퍼는 다른 금속형 댐퍼와 달리 와이어로 직조되기 때문에 반복하중이나 피로에 대한 내구성이 커 일부 와이어가 파손되더라도 전체 댐퍼의 기능을 유지하는 특징을 가지고 있다. 또한 무게대비 강도가 크고, 큰 전단변형에 의한 에너지 흡수율이 높으며, 구조물의 기둥 단면 크기 및 벽체 두께에 따라 모듈화가 가능하기 때문에 병렬배열로 요구강도를 쉽게 충족시킬 수 있다. 또한 내부공간이 대부분 비어 있는 다공질 구조로써 부피에 비하여 소형, 경량으로 시공의 용이성 및 작업성이 우수할 뿐만 아니라 등방형으로 에너지 흡수능력이 지진하중의 방향에 영향을 받지 않는 특징을 보유하고 있다.

[그림 2]는 카고메 감쇠장치의 형상을 나타낸 것이다.

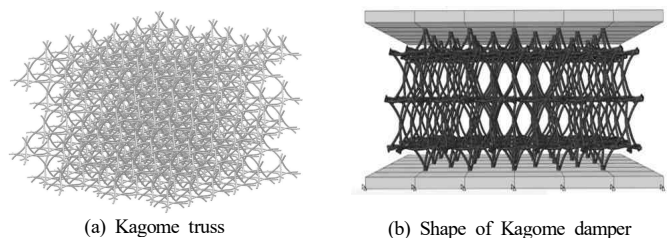


Fig.2 Kagome damper(Chun et al., 2012)

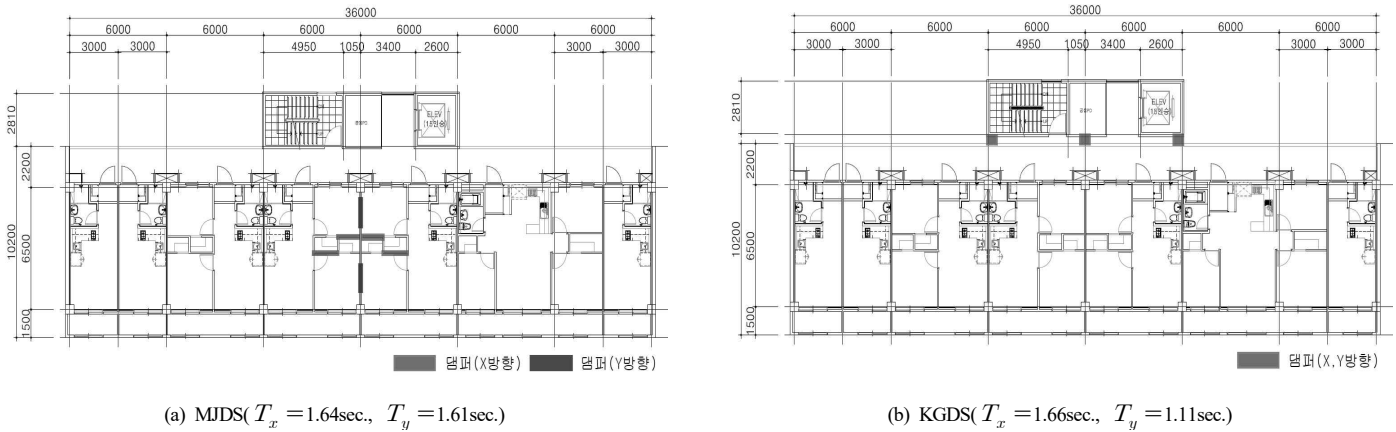


Fig.3 Studied building plan and installation of MJDS and KGDS

선행된 연구(천영수 등, 2014)에서는 카고메댐퍼를 이용한 감쇠 시스템으로 외부 지지구조물을 이용한 감쇠시스템(Outside-type KGDS, O-KGDS)과 내부 설치형 감쇠시스템(Inside-type KGDS)을 제안하였다. O-KGDS는 건물 외부에 별도로 강성구조물을 구축하는 방법을 제안하고 있으나 본 연구에서 검토하고자 하는 건물구조의 특성 상 O-KGDS에서 강성구조로서 간주할 수 있는 코아부분이 건물 외부에 별도의 구조로서 구축이 가능하므로 여기서는 이를 이용하여 별도의 강성구조물의 구축하지 않고, 건물의 주거부분과 코아 사이에 카고메댐퍼를 설치하는 새로운 방식을 적용하였다.

또한 기존 방식에서는 건물 외곽에 별도의 강성구조물을 구축해야 함으로 카고메댐퍼를 주로 건물의 하부 층에 적용해야 하는 어려움이 있었으나 새롭게 적용하고자 하는 방식에서는 이러한 제약요소가 없음으로 감쇠효과를 보다 극대화하기 위하여 건물의 상부층에 적용하는 방식을 검토하였다. 카고메댐퍼의 이력특성과 성능 등에 대해서는 참고문헌[5]를 참고하기 바란다.

### 3. 연구대상 건물과 감쇠시스템의 설치방법

MJDS의 감쇠장치는 층당 6개(X방향 4개, Y방향 2개)를 설치 기준으로 검토하였다. X방향의 경우는 감쇠장치 설치위치에 보가 없어 데미 보를 설치하여 감쇠장치를 모델링하였으며, 1층부터 19층까지 홀수층에만 설치하였다. 따라서 설치된 감쇠장치의 총 수량은 60개이다. KGDS의 감쇠장치는 2절에서 설명된 바와 같이 코아와 건물의 주거부분을 분리시켜 계단실을 강성구조로 보고 그 사이에 설치하였다. KGDS 감쇠장치의 특징은 감쇠장치 한 개로 양방향을 모두 제어할 수 있다는 장점이 있으며, 이 경우에는 층당 3개씩 짝수층을 대상으로 설치하였다.

따라서 설치된 감쇠장치 총 수량은 30개이다. [그림 3]은 연구대상 건물(지상 20층, 철근콘크리트조,  $T_x = 1.82$ 초,  $T_y = 1.84$ 초)의 평면과 두 시스템의 설치개념을 도식화하여 나타낸 것이다.

### 4. 설계방법 및 해석모델

설계는 먼저 KBC2009(대한건축학회, 2009)에 따른 내진설계(지역계수=0.176(서울), 지반조건= $s_s$ , 중요도계수=1.2)를 수행하여 비교 대상의 기본모델을 설정하였으며, 감쇠시스템에 의한 지진하중의 저감목표를 20%로 설정하고 저감된 밀면전단력에 의한 지진력저항시스템을 설계 후, 감쇠장치를 설치하고 해석적으로 안전성을 검토하였다. 감쇠시스템의 해석은 KBC2016 0306.13(감쇠시스템 적용 구조물의 내진설계)에 따른 비선형동적해석을 수행하였다.

비선형 해석은 건물을 구성하는 부재의 비선형 모델을 기반으로 한다. 그동안 많은 실험적 연구와 검증을 통해 부재의 다양한 비선형 모델들이 제안되었으며, 미국의 FEMA 356(FEMA, 2000)에서는 요소 및 부재의 비선형 모델에 대하여 정식화된 내용을 기술하고 있어 본 연구에서는 이를 준용하여 사용하였다. 여기서는 현재 실무에서 많이 적용되고 있는 비선형해석프로그램인 perform-3D를 사용하는 조건을 전제로 간략하게 모델링 방법을 기술하고자 한다.

perform-3D의 경우 벽체는 보통 레이어모델(layer model)을 사용하여 모델링되며, 벽체를 구성하는 콘크리트와 철근의 비선형 특성의 조합으로 벽체의 거동이 결정된다. 이 모델은 전단응력도가 높은 부재에서는 신뢰성이 부족하여 전단변형에 따른 이력루프의 예측이 어렵다는 단점이 있으나 본 연구에서와 같이 휨 거동이 지배적인 고층전단벽을 대상으로 하는 경우에는 큰 오차 없이 사용 가능하다. 보와 기둥의 경우에는 집중힌지모델을 적용하였다.

[그림 4]는 콘크리트 부재단면의 비선형 특성을 모델링하는 개념을 나타낸 것이며, [그림 5]는 FEMA 356에서 정하고 있는 대표적인 부재의 비선형 특성을 나타낸 것이다. 부재의 비선형은 부재에 소성힌지가 발생되어 부재 길이에 따른 모멘트 분배 및 거동에 따라 변화하는 소성힌지의 특성을 어떻게 정의하는가에 따라서 집중형 소성힌지 모델과 분산형 소성힌지 모델로 구분되는데 집중형 소성힌지 모델은 부재 단부에 부재전체의 비선

형 거동특성을 반영하는 비탄성 힌지를 모델링하는 개념이며, 분산형 소성힌지 모델은 부재 길이 전체에 비탄성 힌지특성을 정의하는 개념이다. 일반적으로 인장, 압축, 휨 및 전단에 의한 소성힌지를 부재 비선형으로 모델링할 수 있다. 해석대상 부재의 적합한 비선형 특성을 정의하기 위해서는 부재에 다른 특성의 소성힌지를 조합하여 정의하여야 하며, 본 연구에서는 집중형 소성힌지모델을 적용하였다.

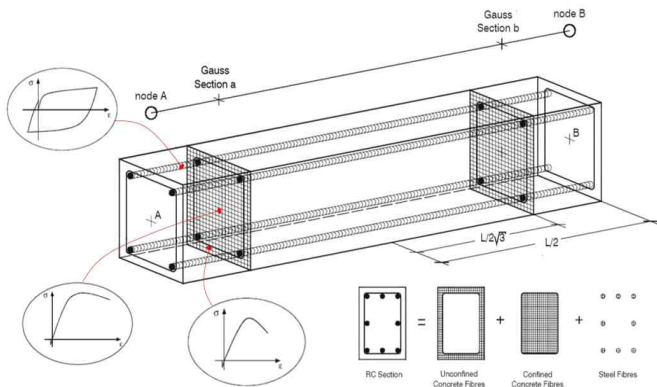


Fig. 4. Modeling of section characteristics of RC beam members

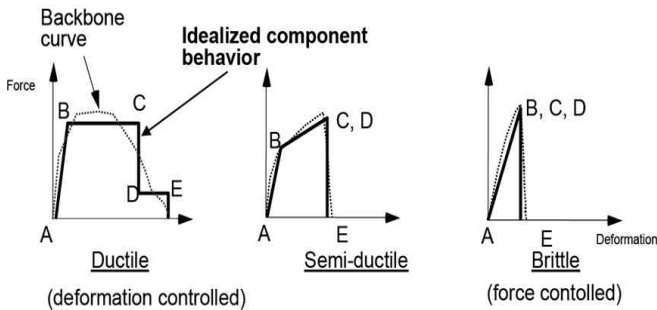


Fig. 5. Definition of non-linear properties of members

부재의 비선형 거동을 정확하게 표현하기 위해서는 상기에서 살펴본 재료 비선형 특성, 부재 비선형 특성 이외에도 반복하중에 대한 부재의 이력특성이 정의 되어야 한다. [그림 6]은 콘크리트 부재의 이력특성을 나타내는 대표적인 이력모델을 나타내고 있다. 이러한 이력모델은 반복하중 하에서 부재의 강도 및 강성 저하, 그리고 편칭현상 등의 부재거동을 모델링 하는데 사용된다. 부재의 유효강성 및 재료 비선형 모델의 구성은 대한건축학회 성능설계지침(2016)을 따랐으며, 콘크리트의 재료모델은 Mander model을 사용하였고, 철근은 이선형 모델(Bi-linear model)을 사용하였다.

동적해석에 사용된 지진파는 비교적 안정된 지반에서 관측된 기록파 [El Centro Site 270Deg, El Centro Site 180Deg, Taft

69Deg, Taft 339Deg, Hachinohe-NS, Hachinohe-EW, San Fernando-196Deg, San Fernando-286Deg, Mexico City-180Deg, Mexico City-270Deg, Northridge-0 Deg, Northridge-90Deg, Loma Prieta-270Deg, Loma Prieta-0Deg] 7개를 선정하여, KBC2016 0306.7.4.1(설계지진파의 선정)에 따라 대상 건축물의 지반조건을  $s_c$ 로 가정하여 설계 스펙트럼에 적합하게 크기를 조정하여 해석에 반영하였다([그림 7] 참조).

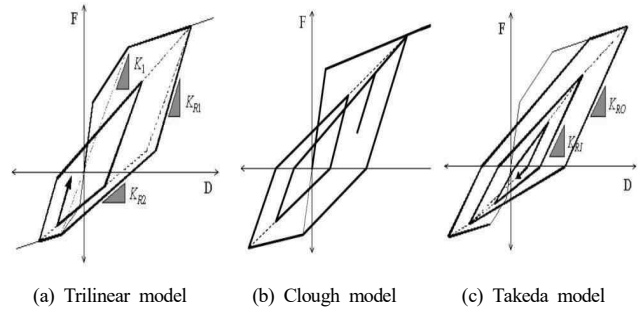


Fig. 6. Hysteretic models of RC members

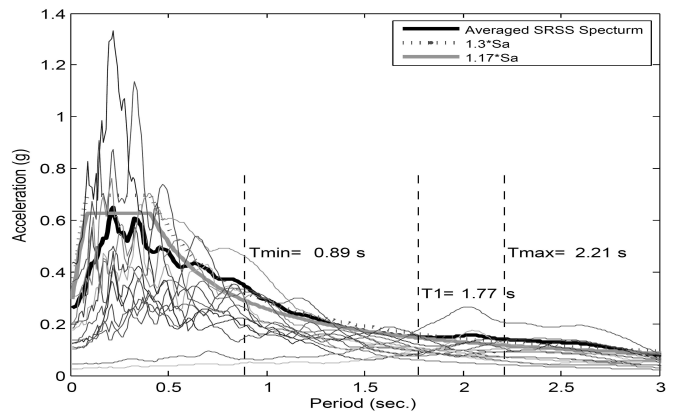


Fig. 7. Design spectrum and scaling of seismic waves

## 5. 해석 및 성능검토 결과

KBC2016 0306.13(감쇠시스템 적용 구조물의 내진설계)에서 감쇠시스템의 유효성을 검증하는 조건은 목표 밀면전단력의 감소율(감쇠장치의 전단력 분담율) 만큼 감쇠시스템 설치 후 밀면전단력이 감소하였는가의 여부이다. [표 1]은 MJDS와 KGDS를 갖는 감쇠시스템 적용 건물에 대한 해석결과로 목표 감쇠율 이상의 감쇠효과를 보이고 있다는 점에서 MJDS와 KGDS의 유효성을 확인할 수 있다.

[표 2]와 [표 3]은 각각 MJDS와 KGDS 감쇠시스템이 설치된 라멘조 아파트 건물의 층간변위를 검토한 결과이다. 표로부터 알 수 있는 바와 같이 감쇠시스템이 설치된 두 시스템 모두 설계 레벨 지진에 대하여 허용층간 변형각을 넘지 않고 있어 안전성 조건 또한 만족하는 것으로 검토되었다.

Table.1 Verification of the damping effects

Damping system		$V_h$	$V_{he}$	$\eta_h(V_h/V_{he})$	$\eta$	Check result
MJDS	X-dir	5,116	6,446	0.79	0.80	OK
	Y-dir	7,333	9,153	0.80	0.80	OK
KGDS	X-dir	5,197	6,139	0.80	0.80	OK
	Y-dir	7,772	9,265	0.79	0.80	OK

Note: (KBC2016 0306.13.4.4) Damping correction coefficient,  $\eta$ , which is applied to the decision of the seismic base shear used for design of the seismic force-resisting system shall not be less than  $\eta_h$  computed using Eqs. 0306.13.3

$$\eta_h = \frac{V_h}{V_{he}} \quad (0306.13.3)$$

where  $V_h$  : seismic base shear, determined in accordance with Section 0306.13.3, kN

$V_{he}$  : seismic base shear, determined by the same procedure as  $V_h$ , but the displacement-dependent component in the load-displacement relationship of the damping device is replaced by the effective stiffness, kN

Table 2. Maximum inter-story drift of MJDS

Direction	Max. inter-story drift(rad.)	Allowable inter-story drift(rad.)	Check result
X-dir	0.0018	0.015	O.K
Y-dir	0.0040	0.015	O.K

Table 3. Maximum inter-story drift of KGDS

Direction	Max. inter-story drift(rad.)	Allowable inter-story drift(rad.)	Check result
X-dir	0.0018	0.015	O.K
Y-dir	0.0019	0.015	O.K

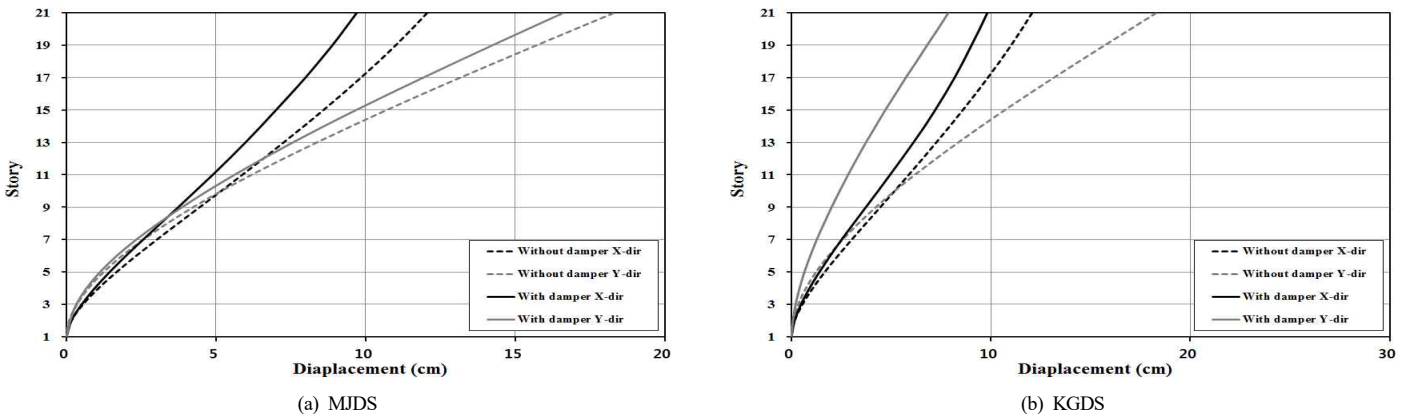


Fig. 8. Comparison of maximum response displacement of buildings w/ and w/o damping system

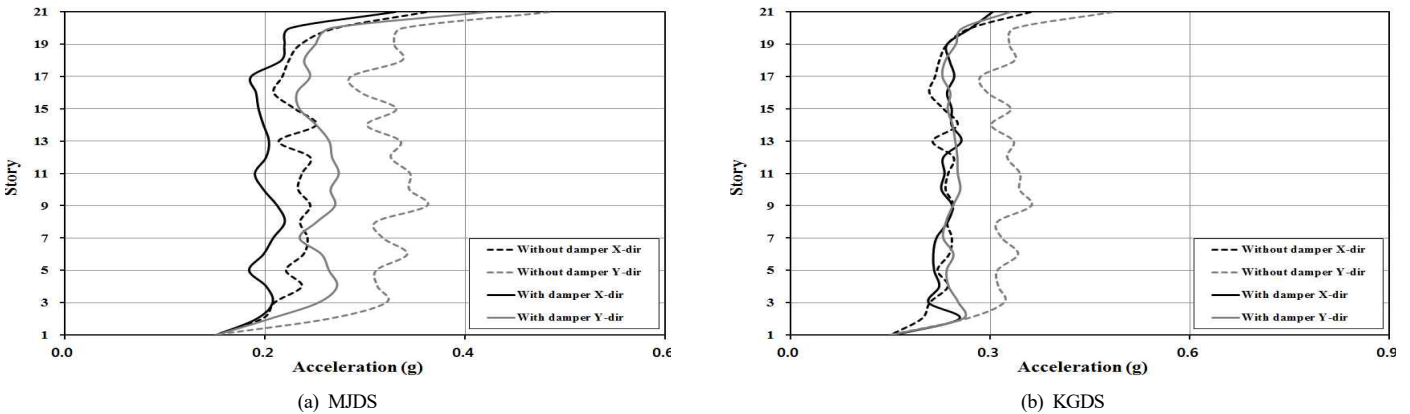


Fig. 9. Comparison of maximum response acceleration of buildings w/ and w/o damping system

[그림 8]과 [그림 9]는 각각 내진설계된 건물과 감쇠시스템이 설치된 건물의 최대응답변위와 최대응답가속도를 비교하여 나타낸 것이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 지진력저항시스템의 밀면전단력을 20% 감소시켜 설계하였음에도 불구하고 감쇠장치의 설치로 인하여 감쇠시스템 설치건물의 응답이 내진 설계 시 보다 더 우수한 내진성능을 나타내고 있어 감쇠시스템의 도입으로 건물의 손상을 줄이고 우수한 내진성능의 확보가 가능할 것으로 기대된다.

### 6. 골조물량 검토

이 절에서는 감쇠시스템이 적용되지 않은 일반 내진건물과 감쇠시스템 적용 건물 사이의 경제성 검토를 위하여 골조물량의 차이를 비교하여 [표 4]에 나타내었다. 내진설계는 KBC2009에 따라 중력하중, 풍하중, 지진하중의 조합으로 설계를 수행하였으며, 감쇠시스템 적용 건물의 지진력저항시스템은 동일한 조건 하에서 감쇠장치 설치에 따른 효과를 감안하여 지진하중을 20% 감소시켜 구조설계를 수행하였다.

내진설계와 감쇠시스템 설계 시 적용된 철근의 재료강도는 500MPa (D13이하)와 600MPa(D16이상)이며, 콘크리트의 재료강도는 27MPa를 사용하였다. 감쇠구조물의 경우 지진하중의 감소에 따라 수직부재의 단면 또한 감소하게 됨으로 기초구조에서 말뚝의 개수도 감소할 것으로 예상되나 여기서는 이를 별도로 고려하지 않았으며, 슬래브의 경우에는 두 건물의 차이가 없어 역시 비교대상에서 제외하였다. [표 4]의 결과는 비교의 편의를 위하여 철근의 정착 및 이음길이는 고려하지 않았다.

[표 4]의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 감쇠장치의 설치로

인하여 수평부재인 보의 물량은 큰 변화가 없는 반면 수직부재인 기둥의 경우 콘크리트가 약 3.9%, 철근이 약 7.3% 감소하며, 벽체의 경우에는 콘크리트가 약 12.6%, 철근은 약 10.7% 감소하는 것으로 나타났다. 반면 거푸집은 벽체의 단면차이로 인하여 약 12.6% 차이가 있었던 것을 제외하고는 큰 차이가 없었다.

이러한 수평부재와 수직부재의 물량 차이는 수평부재의 경우 지진과 같은 수평하중 보다 중력하중으로 인한 처짐 등에 지배되어 단면의 변화가 적었던 점과 지진력저항시스템에서 수평하중의 대부분을 부담하였던 벽체의 경우에도 단면의 변화가 크지 않았던 사실 때문이다.

따라서 감쇠구조의 도입으로 인한 경제적인 설계를 위해서는 전체 구조부재가 중력하중 보다는 지진하중과 같은 수평하중에 지배되는 구조가 되도록 평면을 구성할 필요가 있는 것으로 판단된다. [표 5]는 상기의 물량감소에 따른 비용증감 효과를 검토하기 위하여 철근과 콘크리트의 골조비용 차이를 비교하여 나타낸 것이다. 단, 여기서는 비용차이가 크지 않은 거푸집과 기초비용 등은 생략하였다.

[표 5]로부터 골조공사비의 감소로 인하여 약 4%의 골조비용 감소(11,886천원)가 예상되나 거푸집과 기초 등을 합하면 약 5~6%의 공사비 감소가 예상된다고 판단된다. 이 값은 감쇠장치의 비용이 포함되지 않은 값으로 실제적으로는 이 비용이 추가되어야 한다. 여기서 수행된 감쇠구조의 경우 MJDS는 약 60개의 장치가 사용되었으며, KGDS는 30개의 장치가 사용되었다. 본 검토에서 사용된 감쇠장치의 비용은 아직 가격이 결정되지 않은 상태이므로 정확하게 예측하는 것은 불가능하나 시장에 나와있는 유사한 형태의 장치비용을 고려해 볼 때 경제적인 면

Table 4. Quantity comparison of frame materials

	Concrete(m3)				Reinforcements(kN)			
	A	B	A-B	Ratio(%)	A	B	A-B	Ratio(%)
Beam	891.43	893.36	-1.93	-2.4	1,513.8	1,514.3	-0.5	-0.6
Column	289.35	278.10	11.25	14.2	629.4	583.4	46.0	53.4
Wall	551.95	482.16	69.79	88.2	379.7	339.1	40.6	47.2
Total	1,732.7	1,653.6	79.11	100.0	2,522.9	2,436.8	86.1	100.0

Note : A=Seismic designed building, B=Building with damping system

Table 5. Cost comparison of frame materials

	Reinforcements	Concrete	Total	Comparison(%)
Seismic designed building	161,289	137,265	298,554	100
Building with damping system	155,670	130,998	286,668	96.0

Note : Price data(2016.8, Seoul) (SD500/SD600 bars=SD400+30,000won)

Bars(SD500, SD600)(Won/tonf)	Unit price		
	D10	D13	D22
	650,000	640,000	635,000
Ready mixed concrete (27MPa_18cm)(won/m <sup>3</sup> )	79,220		

에서는 KGDS의 적용이 더 유리할 것으로 기대된다. 이상의 검토결과를 종합해 볼 때, 이번에 검토된 평면에서는 감쇠구조의 도입으로 다소 비용증가가 예상되지만 전체 공사비와 비교한다면 증가량은 작은 것으로 판단된다.

결론적으로 감쇠구조의 도입은 수평하중에 지배되도록 구조계획을 잘 수립하고, 감쇠장치의 사용을 최소한으로 줄이도록 최적화설계를 수행한다면 전체 공사비를 증가시키지 않으면서도 기존 내진구조보다 성능이 우수한 아파트의 건축이 가능할 것으로 기대된다.

## 7. 결론

본 연구에서는 급속한 고령화에 따른 인구구조의 변화, 주택 유형의 다양화 요구 증가, 예코세대로 대표되는 새로운 세대의 등장 등 대외적인 여건변화에 대응하기 위하여 LH에서 기 제안된 라멘구조 프리플랜 공동주택모델을 대상으로 감쇠시스템의 적용에 따른 라멘구조 아파트의 내진성능을 비선형해석을 통하여 검토하였으며, 현행 내진설계와 비교하여 경제적인 설계가 가능한지의 여부를 살펴보았다. 연구결과 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구로부터 제안된 라멘구조 프리플랜 공동주택모델에 적용된 감쇠시스템 적용방식(칸막이벽 내 삽입형식의 MJDS, 유강(柔剛)구조 사이에 설치되는 KGDS)은 현행 내진설계기준(KBC2016)에 따른 성능조건을 만족하면서 유효하게 설계에 적용될 수 있는 것으로 확인되었다.
- (2) 비선형해석을 통한 최대응답변위와 최대응답가속도를 비교한 결과, 지진력저항시스템의 밀면전단력을 20% 감소시켜 설계하였음에도 불구하고 감쇠장치의 설치로 인하여 감쇠시스템 설치건물의 응답이 내진설계 시 보다 더 우수한 내진성능을 나타내고 있어 감쇠시스템의 도입으로 건물의 손상을 줄이고 우수한 내진성능의 확보가 가능할 것으로 기대된다.
- (3) 내진설계된 건물과 감쇠시스템 설치 건물의 골조물량을 비교한 결과, 기둥의 경우 콘크리트가 약 3.9%, 철근이 약 7.3% 감소하며, 벽체의 경우에는 콘크리트가 약 12.6%, 철근은 약 10.7% 감소하는 것으로 나타났다. 비용적인 측면에서는 골조공사비의 감소로 인하여 약 4%의 골조비용 감소가 예상되나 거푸집과 기초 등을 합하면 약 5~6%의 공사비 감소가 예상된다.

- (4) 라멘구조 공동주택 모델 검토결과, 감쇠시스템의 도입은 수평하중에 지배되도록 구조계획을 잘 수립하고, 감쇠장치의 사용을 최소한으로 줄이도록 최적화설계를 수행한다면 전체 공사비를 증가시키지 않으면서도 기존 내진구조보다 성능이 우수한 아파트의 건축이 가능할 것으로 기대된다.

## 참고문헌

1. 이범식, 천영수, 박지영, 박종배, 송상훈, 이종윤, 이문수(2016), “미래수요 대응형 LH 라멘구조 프리플랜 공동주택 모델 개발 방향”, 토지주택연구원 연구보고서.
2. 김종호(2012), “국내 아파트 제진장치 사용에 대한 주의점”, 건축구조, 1·2월호, 제19권, 제1호: 42~48.
3. 오상훈, 신승훈, 천영수(2013), “공동주택에 적용가능한 제진구조시스템의 제안 및 적용방안”, 한국지진공학회 추계 워크숍 발표논문집.
4. 박지훈, 이기호(2011), “내진보강을 위한 강재 댐퍼의 실험적 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, v.31 n.2(구조계): 233~234.
5. 천영수, 박지영, 최경륜(2012), “내진성능 향상을 위한 공동주택 제진구조시스템 개발(2)”, 토지주택연구원 연구보고서.
6. 이동진, 이창환, 우은택, 주영규(2015), “내진보강용 SAFE 댐퍼의 현장 적용성 평가”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.35 No.2: 365~366.
7. 바하도르 바게리, 오상훈(2016), “강재댐퍼로 연결된 병렬형 전단벽시스템의 동적거동에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol.36, No.2: 752~753.
8. 천영수, 박지영, 최경륜(2014), “내진성능 향상을 위한 공동주택 제진구조시스템 개발(2)”, 토지주택연구원 연구보고서.
9. 대한건축학회(2009), “건축구조 설계기준 및 해설(KBC2009)”.
10. 대한건축학회(2016), “건축구조 설계기준 및 해설(KBC2016)”.
11. Federal Emergency Management Agency(2000), “Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings(FEMA 356)”.
12. Perform-3D Version 5(2011), “Nonlinear analysis and performance assessment for 3D structures”, Computers & Structures, Inc. Berkeley, California.