

# 중간층 면진시스템 설치 위치에 따른 고층건물의 지진응답 분석

## Seismic Response Evaluation of High-Rise Buildings Considering Installation Story of the Mid-Story Isolation System

김 가 영\*  
Kim, Ka-Yeong

이 영 략\*\*  
Lee, Young-Rak

김 현 수\*\*\*  
Kim, Hyun-Su

강 주 원\*\*\*\*  
Kang, Joo-Won

### Abstract

Base isolation system is generally used for low-rise buildings. For high-rise buildings subjected to earthquake loads, a mid-story isolation system was proposed and applied to practical engineering. In this study, seismic responses of high-rise buildings considering the installation story of the mid-story isolation system were evaluated. To do this, the 20-story and 30-story building were used as example structures. Historical earthquakes such as Kobe (1995), Northridge (1994) and Loma Prieta (1989) earthquakes were employed applied as earthquake excitations. The installation location of the mid-story isolation system was changed from the bottom of the 1<sup>st</sup> floor to the bottom of the top floor. The seismic responses of the example building were investigated by changing the location of the isolation layer. Based on the analytical results, when the seismic isolation system is applied, story drift ratio and acceleration response are reduced compared to the case without the isolation system. When the isolation layer is located on the lower part of the building, it is most effective. However, in that case, the possibility that the structure is unstable increases. Therefore, an engineer should consider both structural efficiency and safety when a mid-story isolation system for a high-rise building is designed.

*Keywords : Seismic isolation system, Mid-story isolation, High-rise building, Seismic response, Location of isolation system*

## 1. 서론

지난 2016년 9월에 한반도에서 기록된 가장 큰 규모의 지진이 경주에서 발생하였으며 2000년대 이후로 우리나라의 지진의 발생 빈도 및 규모는 크게 증가하고 있는 상황이다. 이러한 지진하중에 대한 구조물의 피해를 줄이기 위해서 널리 사용되고 있는 방법에는 내진, 제진, 면진 등이 있다.

그 중 면진시스템은 지반과 건물 사이에 격리장치를 설치하여 건물의 수직방향의 하중을 지지하면서 지진에너지가 건물로 전달되는 것을 차단하거나

감소시키는 방법이다. 일반적으로 기초면진의 형태로 중저층 건물에 활용되고 있다. 그 이유는 지진에너지가 진동주기가 짧은 영역에 집중되어 있어 고층건물에 비해 중저층 건물에서 공진이 발생할 위험이 있고 그에 따라 중저층 건물의 피해가 더 크기 때문이다. 일반 중저층 건물은 지진에너지에 의해 진동이 증가함에 따라 각 층에서의 가속도가 커지게 된다. 이러한 가속도 증폭은 구조적인 피해의 원인이 되는 층간변위의 증가를 일으킨다. 여기에 면진시스템을 적용함으로써 면진장치에 변위를 집중시키고 구조물의 진동주기를 길게 하여 구조물에 발생하는 가속도와 층간변위를 줄일 수 있다.

하지만 이것을 고층건물에 사용할 경우 이미 건물의 고유주기가 길기 때문에 기초부에서 축력이 커지게 되고 면진장치의 수평변위 또한 커지게 되어 구조물이 불안정해질 가능성이 있다. 따라서 최근에는 고층건물의 중간층을 분리시켜 면진을 적용하는 중간층 면진이 많이 연구되고 있다. 중간층 면

\* 학생회원, 영남대학교 일반대학원 건축학과, 석사과정  
Dept. of Architecture, Yeungnam University  
\*\* 학생회원, 영남대학교 일반대학원 건축학과, 박사과정  
Dept. of Architecture, Yeungnam University  
\*\*\* 정회원, 선문대학교 건축사회환경학부 부교수, 공학박사  
Div. of Architecture & Civil Engrg., Sunmoon Univ.  
\*\*\*\* 교신저자, 정회원, 영남대학교 건축학부 교수, 공학박사  
School of Architecture, Yeungnam University  
Tel: 053-810-2429 Fax: 053-810-4625  
E-mail: kangj@ynu.ac.kr

진시스템에 관련된 연구로 허무원 등<sup>1)</sup>은 노후화 된 공동주택을 연구대상 건물로 선정하고 3개층 수직 증축할 때에 면진층 주기 설정에 따라 응답이 어떻게 변화하는지를 살펴보고, 3개층 수직증축 시 면진층 주기는 기본건물의 2배 이상으로 설정하고 설계할 것을 제안하였다. Yasuhiro 등<sup>2)</sup>은 중간층 면진시스템의 특성을 설명하고 이 시스템을 적용한 몇 개의 건물을 소개하였다.

실제로 일본에서는 고베 지진 이후로 구조물에 면진시스템을 많이 적용하였으며, 중간층 면진시스템 또한 많이 적용되었다. 중간층 면진의 한 예로 Taisei Corporation의 연수원으로 사용되고 있는 16층 건물을 들 수 있다<sup>3)</sup>. 이 건물은 8층에 면진층이 위치하고 있고, 면진시스템에 의해 지진에너지가 감소함으로써 구조물을 보강하는 데에 필요한 비용을 절감하였다. 국내에는 주상복합건물인 동일하이빌 뉴시티 중간층에 면진시스템을 적용한 사례가 있다. 이 건물은 지상 7층 이하는 상업시설이고 8층 이상은 주거시설로 이루어져있다. 초기에는 7층과 8층 사이를 경사기둥으로 계획하였으나 경간이 길어 사용성의 문제와 진동 장애 등의 문제로 면진시스템을 적용하여 경사기둥, 벨트월 삭제를 통해 경제성을 확보하고 지진에 대한 안전성을 향상시켰다<sup>4),5)</sup>.

국내에서는 지진의 발생 빈도가 점점 증가하고 있으며 구조물의 안전성을 증가시킬 수 있는 대안으로 여러 가지 방법이 제안되고 있다. 그 중 중간층면진은 주상복합 건물이나 수직증축 등에 제안되어 연구되고 실제로 적용되고도 있지만 아직 일반 구조물에는 적용한 연구나 사례가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 고층건물에 면진시스템을 설치하고 설치 위치를 변화시키며 그 위치에 따른 지진응답을 분석해보고자 한다.

## 2. 해석모델

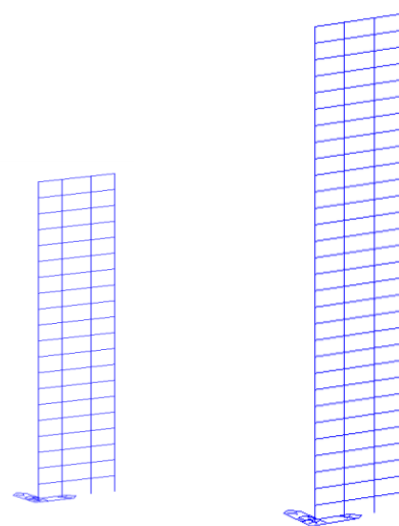
### 2.1 해석모델 개요

본 연구에서는 고층건물에 적용한 면진시스템의 설치 위치 변화에 따른 지진응답을 분석하기 위해 2개의 예제구조물을 사용하였다. 각각 20층인 R20과

30층인 R30을 라멘구조로 설계하였고 구조물의 일반사항은 <Table 1>과 같다. 총질량은 R20 모델은  $1.0 \times 10^6 \text{kg}$ , R30 모델은  $1.5 \times 10^6 \text{kg}$ 로 두었다. R20과 R30 모델의 형상을 <Fig. 1>에 나타내었다. 해석에 사용한 지진하중은 역사지진으로서 고베 지진(1995, EW), 노스리지 지진(1994), 로마 프리에타 지진(1989)으로 3개의 지진하중을 사용하였다. 각 지진하중은 해석모델의 X축 방향으로 입력하였다. <Fig. 2>에 입력 지진하중에 대한 가속도 응답스펙트럼 그래프를 나타내었다.

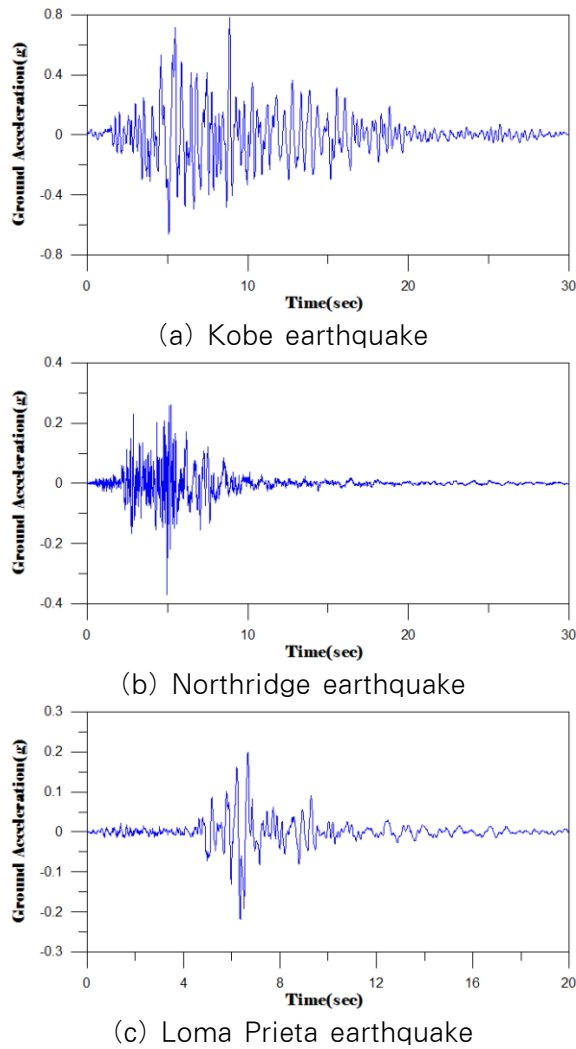
<Table 1> Specification of analytical model

Variable	R20	R30	
Height	4m×20story=80m	4m×30story=120m	
Principal plane	XZ plane		
Material	SM490		
Section	Column	H 500×420×55/90	H 600×600×55/90
	Beam	H 400×200×18/24	H 450×240×24/32
Main mode (sec)	1st	1.9745	3.0664
	2nd	1.8595	2.8565
	3rd	1.5878	2.4388
Slenderness ratio	1:5		



(a) R20 (b) R30

<Fig. 1> Analytical model



〈Fig. 2〉 Input seismic load

## 2.2 해석모델링 및 분석방법

본 연구에서는 해석을 수행하기 위해서 상용 프로그램(Midas Gen. Ver. 860)을 사용하였다. 3개의 지진하중을 입력하고 각 지진하중이 입력된 모델에 대해서 시간이력해석을 진행하였다. 면진장치의 설치 위치를 층마다 변화시키면서 3개의 지진하중에 대한 각 모델의 최대 층간 변형률과 최대 절대 가속도를 구하여 비교분석하였다.

면진장치는 LRB(Lead Rubber Bearing)를 사용하였다. LRB는 하중을 지지하고 지진격리 기능을 가진 적층고무받침과 에너지 흡수기능을 가진 납심을 일체화시킨 면진장치이다. 지진 시에 탄성받침의 유연성으로 면진구조물의 고유주기를 길게 하여 상부

구조로 전달되는 지진력의 크기를 줄이고, 탄성받침의 내부에 원통형의 납을 삽입하여 면진구조물에 감쇠성능을 부여함으로써 면진장치에서 발생하는 변위와 상부구조로 전달되는 지진력을 감소시킨다. 해석에 사용한 면진장치의 특성은 <Table 2>와 같이 입력하였다.

〈Table 2〉 Specification of isolation system

Isolation system	LRB(Lead Rubber Bearing)
Number of installations	4
Product height	380.8mm
Vertical stiffness	2,793,000kN/m
Horizontal stiffness	1,653kN/m
Allowable shear deformation	300mm

〈Table 3〉 Natural period of each model(unit : sec)

	R20	R30
LB30		3.0782
LB29		3.0809
LB28		3.0854
LB27		3.0916
LB26		3.0995
LB25		3.1089
LB24		3.1199
LB23		3.1321
LB22		3.1455
LB21		3.1600
LB20	1.9814	3.1752
LB19	1.9852	3.1912
LB18	1.9915	3.2077
LB17	2.0001	3.2245
LB16	2.0108	3.2415
LB15	2.0233	3.2585
LB14	2.0372	3.2755
LB13	2.0523	3.2922
LB12	2.0681	3.3086
LB11	2.0843	3.3246
LB10	2.1006	3.3401
LB9	2.1168	3.3550
LB8	2.2203	3.3692
LB7	2.1478	3.3830
LB6	2.1624	3.3965
LB5	2.1764	3.4101
LB4	2.1906	3.4255
LB3	2.2069	3.4457
LB2	2.2312	3.4778
LB1	2.2744	3.5296

이러한 면진장치를 예제구조물의 한 층에 있는 모든 기둥의 하부에 설치하여 면진층에는 총 4개의 장치를 설치하였다. 4개의 LRB가 설치된 면진층을 1층 하부부터 최상층 하부까지 옮기면서 설치하는 방법으로 면진시스템의 설치 위치 변화를 주었다.

본 연구에서는 각 지진하중에 대해서 면진시스템을 적용하지 않은 Fixed 모델을 기본모델로 두고 면진시스템 설치 위치에 따른 지진응답을 분석하기 위하여 면진시스템을 각 층마다 적용한 모델을 해석모델로 두었다. R20-Fixed는 R20 모델에 면진장치를 설치하지 않은 해석모델이며, R20-LB1은 R20 모델의 1층 아래에 LRB를 설치한 모델을 나타낸다. 다른 모델도 같은 방식으로 명명하였다. 면진장치 설치에 따른 1차모드 고유주기는 <Table 3>과 같다.

### 3. 해석 결과

#### 3.1 면진장치의 이력거동

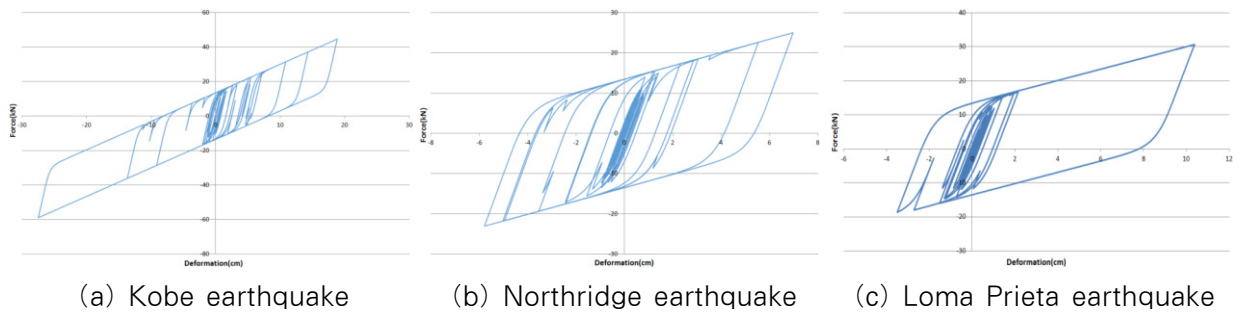
3개의 지진하중에 의한 각 해석모델의 면진장치의 이력거동은 <Fig. 3, 4>와 같다. 각 모델의 층마다 면진장치를 설치한 후 3개의 지진하중에 대한 면진장치의 이력거동을 비교하였다. <Fig. 3, 4>는

면진장치를 설치한 모델 중에서 가장 큰 변형이 발생한 경우의 이력거동을 나타낸 그래프이다.

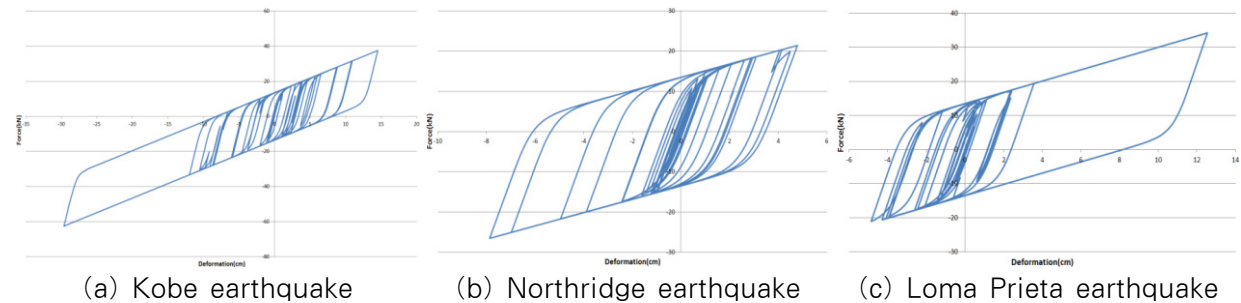
<Table 4> Maximum deformation and shear force of LRB

	Kobe	North-ridge	Loma Prieta	
R20	Deformation(cm)	27.5(1F)	7(1F)	10.4(3F)
	Force(kN)	58.9	25.03	30.66
R30	Deformation(cm)	29.6(17F)	7.9(23F)	12.5(17F)
	Force(kN)	62.48	26.5	34.23

<Table 4>는 각 지진하중에 대해서 최대 변형과 그 때의 층전단력을 나타낸 표이다. 해석 결과, R20 모델에서는 3개의 지진하중 모두 저층부에 면진장치를 설치했을 때 최대 변형이 일어났고, R30 모델에서는 건물의 중앙부에 설치한 경우에 최대 변형이 일어났다. R20 모델과 R30 모델은 고베 지진에서 가장 큰 변형이 일어났고, 노스리지 지진에서 가장 작은 변형이 발생했다. 이에 따라 설치한 면진장치가 허용변위 30cm 내에서 거동하였고 적절한 장치임을 확인하였다.



<Fig. 3> Hysteretic behavior of Isolation system of R20



<Fig. 4> Hysteretic behavior of isolation system of R30

### 3.2 최대 층간 변형률

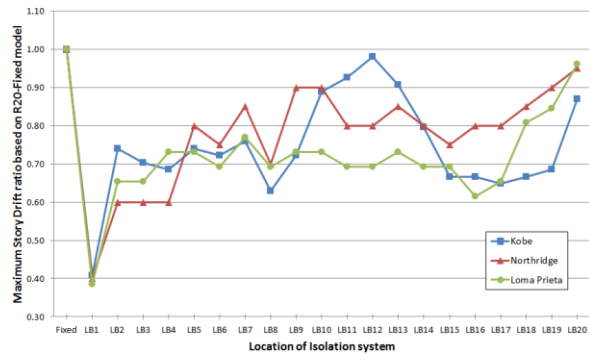
면진장치의 설치 위치를 변화시켜 얻은 3개의 지진하중에 대한 R20의 최대 층간 변형률을 <Table 5>에 나타내었다. R20-Fixed 모델의 층간 변형률은 고베 지진일 경우 0.0054이고 노스리지 지진의 경우 0.0020이며 로마 프리에타 지진의 경우 0.0026으로 나타났다. 또한 3개의 지진하중을 입력하였을 때 모두 R20-Fixed 모델보다 면진장치를 설치한 모델에서 최대 층간 변형률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 기초면진인 R20-LB1 모델에서 최대 층간 변형률이 고베 지진, 노스리지 지진, 로마 프리에타 지진에 대해 각각 0.0022, 0.0008, 0.0010으로 가장 작은 값으로 나타났다. 기초면진을 적용할 경우 가장 큰 효과를 가지는 것을 알 수 있다. 면진층의 위치가 높아질수록 점점 층간 변형률이 증가하다가 중앙부를 지나서 상층부로 갈수록 감소하는 것을 볼 수 있다.

<Table 5> Maximum story drift ratio of R20

Location of isolation system	Kobe	Northridge	Loma Prieta
R20-Fixed	0.0054	0.0020	0.0026
R20-LB20	0.0047	0.0019	0.0025
R20-LB19	0.0037	0.0018	0.0022
R20-LB18	0.0036	0.0017	0.0021
R20-LB17	0.0035	0.0016	0.0017
R20-LB16	0.0036	0.0016	0.0016
R20-LB15	0.0036	0.0015	0.0018
R20-LB14	0.0043	0.0016	0.0018
R20-LB13	0.0049	0.0017	0.0019
R20-LB12	0.0053	0.0016	0.0018
R20-LB11	0.0050	0.0016	0.0018
R20-LB10	0.0048	0.0018	0.0019
R20-LB9	0.0039	0.0018	0.0019
R20-LB8	0.0034	0.0014	0.0018
R20-LB7	0.0041	0.0017	0.0020
R20-LB6	0.0039	0.0015	0.0018
R20-LB5	0.0040	0.0016	0.0019
R20-LB4	0.0037	0.0012	0.0019
R20-LB3	0.0038	0.0012	0.0017
R20-LB2	0.0040	0.0012	0.0017
R20-LB1	0.0022	0.0008	0.0010

<Fig. 5>는 R20-Fixed 모델에 대한 면진장치를 설치한 R20-LB 모델의 층간 변형률을 그래프로 나타낸 것이다. R20-Fixed 모델의 경우에 비해 R20-LB 모

델에서 최소 4%에서 최대 62%까지의 층간 변형률이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 3개의 지진에 대해서 모두 R20-LB1 모델이 가장 작은 값을 가지는 것을 볼 수 있는데, 기초면진일 경우 층간 변형을 제어하는데 가장 효과적인 것으로 판단된다. 면진층의 위치가 높아질수록 층간 변형률이 증가하는 것을 알 수 있다. 12층 부근에서 다시 층간 변형률이 감소하였다가 16층 부근에서 다시 증가하는 것을 확인할 수 있다. 저층부에 비해 중앙부에서 변형률이 증가하지만 다시 상층부에서 줄어드는 것을 확인할 수 있다.



<Fig. 5> Story drift ratio based on R20-fixed model

3개의 지진하중에 대한 R30의 최대 층간 변형률은 <Table 6>에 나타내었다. R20 모델에서와 마찬가지로 R30-LB1 모델에서 가장 작은 층간 변형률을 가진다. 기초면진이 가장 효과적인 것으로 판단된다. 면진장치의 설치 위치가 높아질수록 층간 변형률이 점점 증가하는 양상을 보이지만 대체로 면진장치를 설치하였을 때 설치하지 않은 경우보다 층간 변형 제어에 효과적인 것을 알 수 있다. 또한 면진장치의 설치 위치가 저층부로 갈수록 층간변위 제어에 효과적인 것으로 판단된다. R30 모델에서는 면진장치를 설치하였을 때 층간 변형률이 최대 74%만큼 감소하였다.

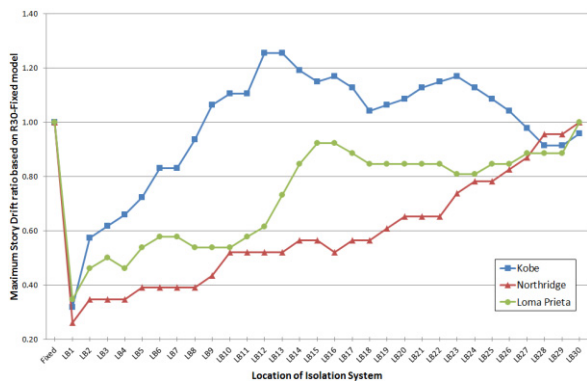
<Fig. 6>은 R30-Fixed 모델의 층간 변형률을 기준으로 한 R30-LB 모델의 층간 변형률을 나타낸 것이다. R20 모델과 마찬가지로 R30 모델에서도 기초면진일 경우에 가장 큰 저감율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 하지만 고베 지진을 가하였을 경우 R30-LB9에서 R30-LB26까지의 모델에서는 층간 변형률이 R30-Fixed 모델보다 더 커지는 것을 확인할



수 있다. 이때 중앙부에 면진층을 설치하는 것은 효과적이지 않은 것으로 판단된다. 그러나 R30-LB27 모델부터는 R30-Fixed 모델보다 층간 변형률이 작아지는 것을 볼 수 있다.

<Table 6> Maximum story drift ratio of R30

Location of isolation system	Kobe	Northridge	Loma Prieta
R30-Fixed	0.0047	0.0023	0.0026
R30-LB30	0.0045	0.0023	0.0026
R30-LB29	0.0043	0.0022	0.0023
R30-LB28	0.0043	0.0022	0.0023
R30-LB27	0.0046	0.0020	0.0023
R30-LB26	0.0049	0.0019	0.0022
R30-LB25	0.0051	0.0018	0.0022
R30-LB24	0.0053	0.0018	0.0021
R30-LB23	0.0055	0.0017	0.0021
R30-LB22	0.0054	0.0015	0.0022
R30-LB21	0.0053	0.0015	0.0022
R30-LB20	0.0051	0.0015	0.0022
R30-LB19	0.0050	0.0014	0.0022
R30-LB18	0.0049	0.0013	0.0022
R30-LB17	0.0053	0.0013	0.0023
R30-LB16	0.0055	0.0012	0.0024
R30-LB15	0.0054	0.0013	0.0024
R30-LB14	0.0056	0.0013	0.0022
R30-LB13	0.0059	0.0012	0.0019
R30-LB12	0.0059	0.0012	0.0016
R30-LB11	0.0052	0.0012	0.0015
R30-LB10	0.0052	0.0012	0.0014
R30-LB9	0.0050	0.0010	0.0014
R30-LB8	0.0044	0.0009	0.0014
R30-LB7	0.0039	0.0009	0.0015
R30-LB6	0.0039	0.0009	0.0015
R30-LB5	0.0034	0.0009	0.0014
R30-LB4	0.0031	0.0008	0.0012
R30-LB3	0.0029	0.0008	0.0013
R30-LB2	0.0027	0.0008	0.0012
R30-LB1	0.0015	0.0006	0.0009



<Fig. 6> Story drift ratio based on R30-fixed model

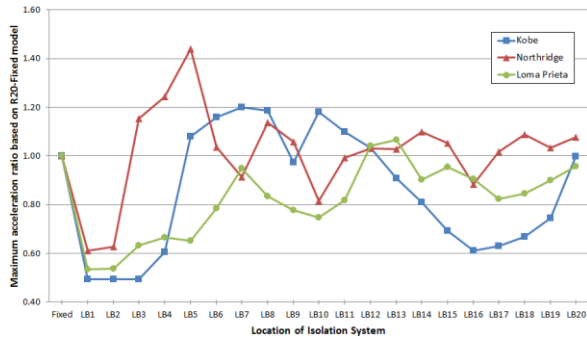
### 3.3 최대 절대 가속도

<Table 7>는 R20 모델의 최대 절대 가속도를 나타낸 표이다. 고베 지진의 경우 R20-LB1, R20-LB2, R20-LB3 모델에서 7.658839m/sec<sup>2</sup>로 가장 작은 값을 가지고, 노스리지 지진과 로마 프리에타 지진의 경우에는 R20-LB1에서 각각 3.622856m/sec<sup>2</sup>, 2.153064m/sec<sup>2</sup>로 가장 작은 응답이 나타났다.

<Table 7> Maximum absolute acceleration of R20 (unit : m/sec<sup>2</sup>)

Location of isolation system	Kobe	Northridge	Loma Prieta
R20-Fixed	15.506323	5.931313	4.019596
R20-LB20	15.463894	6.394283	3.851248
R20-LB19	11.55403	6.13069	3.620154
R20-LB18	10.37779	6.460692	3.399192
R20-LB17	9.766115	6.039083	3.311641
R20-LB16	9.467648	5.244348	3.644277
R20-LB15	10.746734	6.23518	3.835047
R20-LB14	12.573716	6.518189	3.624816
R20-LB13	14.072741	6.10368	4.287765
R20-LB12	16.016587	6.107415	4.185344
R20-LB11	17.034832	5.884688	3.287951
R20-LB10	18.30747	4.843641	3.003744
R20-LB9	15.101185	6.26798	3.127277
R20-LB8	18.376422	6.750874	3.355814
R20-LB7	18.60581	5.426481	3.815381
R20-LB6	17.963053	6.143748	3.156797
R20-LB5	16.75077	8.531334	2.620942
R20-LB4	9.412152	7.369947	2.671363
R20-LB3	7.658839	6.842728	2.548566
R20-LB2	7.658839	3.720423	2.160924
R20-LB1	7.658839	3.622856	2.153064

저층부에 면진장치를 설치하였을 경우 R20-Fixed 모델에 비해 최대 51%의 가속도 응답을 감소시키는 것을 확인할 수 있다. 면진층의 위치가 높아질수록 가속도 응답이 커지다가 구조물의 중앙부로 가면 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 이후에 다시 응답이 증가하다가 상층부에서 다시 감소한다. 면진장치를 저층부에 설치할 경우 가속도 응답 저감에 가장 효과적인 것을 알 수 있다. 다음으로는 상층부에 설치할 경우에 효과적인 것으로 판단된다. R20-Fixed 모델에 대한 R20-LB 모델의 최대 절대 가속도비를 <Fig. 7>에 나타내었다.



<Fig. 7> Maximum acceleration ratio based on R20-fixed model

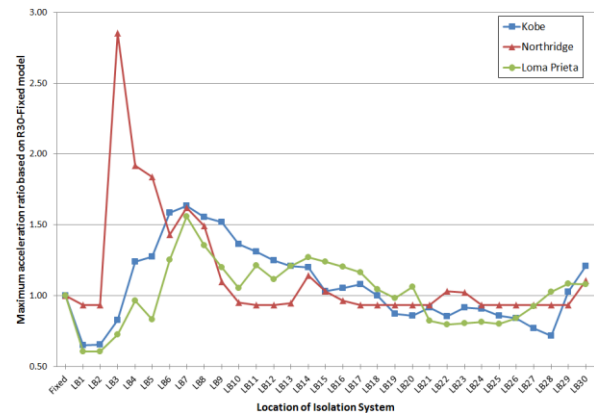
<Table 8> Maximum absolute acceleration of R30 (unit : m/sec<sup>2</sup>)

Location of isolation system	Kobe	Northridge	Loma Prieta
R30-Fixed	11.808581	3.887893	3.565419
R30-LB30	14.295484	4.295674	3.842648
R30-LB29	12.10508	3.622856	3.868393
R30-LB28	8.453887	3.622856	3.661281
R30-LB27	9.096433	3.622856	3.304858
R30-LB26	9.908746	3.622856	2.992211
R30-LB25	10.151868	3.622856	2.85194
R30-LB24	10.715003	3.622856	2.901168
R30-LB23	10.816126	3.977751	2.874407
R30-LB22	10.088601	4.014426	2.843973
R30-LB21	10.832364	3.622856	2.934626
R30-LB20	10.159619	3.622856	3.784112
R30-LB19	10.292904	3.622856	3.496634
R30-LB18	11.831555	3.622856	3.717236
R30-LB17	12.742696	3.622856	4.151455
R30-LB16	12.440075	3.745582	4.294323
R30-LB15	12.181956	4.004758	4.414823
R30-LB14	14.142865	4.443631	4.530887
R30-LB13	14.275636	3.688323	4.310045
R30-LB12	14.767304	3.622856	3.973783
R30-LB11	15.472234	3.622856	4.323659
R30-LB10	16.080335	3.695471	3.756457
R30-LB9	17.910082	4.268025	4.280373
R30-LB8	18.334531	5.804353	4.825528
R30-LB7	19.27199	6.30149	5.563794
R30-LB6	18.738681	5.556246	4.460034
R30-LB5	15.075626	7.151984	2.967688
R30-LB4	14.65253	7.463813	3.446919
R30-LB3	9.756682	11.10208	2.592589
R30-LB2	7.746883	3.622856	2.158035
R30-LB1	7.658839	3.622856	2.153064

각 지진하중에 대한 R30 모델의 면진장치 설치 위치에 따른 최대 절대 가속도는 <Table 8>과 같다.

고베지진의 경우 7.658839m/sec<sup>2</sup>이고 노스리지 지진의 경우 3.622856m/sec<sup>2</sup>이며 로마 프리에타 지진의 경우 2.153064m/sec<sup>2</sup>로 가장 작은 가속도 응답이 나타났다. R20 모델과 마찬가지로 R30-LB1 모델에서 R30-Fixed 모델에 비해 가속도가 가장 크게 줄어드는 것을 볼 수 있다.

<Fig. 8>는 각 지진하중에 대한 R30-Fixed 모델에 대한 R30-LB 모델의 비를 나타낸 것이다. <Fig. 8>을 보면 저층부에 설치한 경우에서 가속도 응답이 가장 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 그 다음으로 상층부에 설치했을 때 가속도 응답 저감이 크게 일어나는 것으로 판단된다. 3개의 지진하중에 대해서 모두 R30-LB3 모델부터 R30-Fixed 모델에 비해 가속도가 증가하는 것을 볼 수 있지만 상층부로 갈수록 가속도 응답이 감소하는 것을 알 수 있다. R20 모델에 비해 응답 저감률은 적지만 R30 모델의 최대절대가속도 응답이 최소 7%에서 최대 40%까지 감소하였다.



<Fig. 8> Maximum acceleration ratio based on R30-fixed model

#### 4. 결론

본 연구에서는 고층건물에 적용한 면진시스템의 설치 위치에 따른 지진응답을 분석하기 위해 20층과 30층 건물을 모델링하고 면진장치의 설치 위치를 층별로 변화시켜 상용프로그램인 Midas Gen으로 해석을 수행하였다. 지진하중으로 고베 지진, 노스리지 지진, 로마 프리에타 지진을 입력하고 각 지진하중에 대해 면진장치를 설치하지 않은 모델의 경우와

면진장치를 설치한 모델의 지진응답을 비교분석하였다. 면진장치 설치 위치에 따른 최대 층간 변형률과 최대 절대 가속도를 비교하고 얻은 결론은 다음과 같다.

1) 해석결과 면진장치를 설치하였을 경우 설치하지 않았을 때에 비해 층간 변형률 저감에 효과가 있는 것을 알 수 있었다. R20 모델과 R30 모델에서 모두 기초면진의 경우에 가장 큰 응답 저감을 보였다. R20 모델에서는 최대 62% 감소하였고 R30 모델에서는 최대 74% 감소하는 것을 확인하였다. 모델의 중앙부에서 저층부에 비해 층간 변형률이 증가하는 모습을 보였는데 지진하중, 구조물, 면진장치의 각 진동수에 의해 공진이 발생하여 이러한 현상이 일어난 것으로 판단된다. 하지만 고층부에 설치하는 경우는 감소하는 것을 볼 수 있었다. 저층부에 면진 시스템을 적용할 경우 층간 변형률 저감에 가장 큰 효과를 보이지만 고층건물에 기초면진을 적용하기 어려우므로 고층부에 중간층 면진시스템을 설치하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

2) 최대 절대 가속도 응답의 경우 중앙부에 설치하였을 때 면진장치를 설치하지 않았을 경우에 비해 응답이 증가하는 부분이 있었고 이 경우 층간 변형률과 마찬가지로 공진이 발생하여 일부 응답이 크게 나온 것으로 판단된다. 따라서 저층부와 고층부에 설치할 경우 응답 저감에 효과가 있는 것으로 판단된다.

3) 층간 변형률과 최대 절대 가속도 응답을 동시에 제어하기 위해서는 고층건물의 저층부에 면진 시스템을 적용하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다. 그러나 고층건물의 저층부에 면진시스템을 적용할 경우 면진장치의 수평변위가 매우 증가하여 부담이 커지게 되고 이로 인해 전도모멘트도 커져서 구조물이 불안정해질 가능성이 커진다. 이러한 이유로 저층부보다 고층부에 면진시스템을 적용하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.

본 연구에서는 면진시스템 설치 위치 변화에 따른 고층건물의 지진응답을 살펴보았으나 추후에 다양한 형상을 가지는 실물크기의 고층건물 모델과 지진하중 이외의 동적하중을 가한 중간층 면진시스템의 성능평가에 관한 내용을 추가적으로 연구할 필요가 있다고 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2017R1A2B4006226).

## References

1. Hur, M.W., "Seismic Isolation Effects by the Isolation Period of the Vertically Story-added Remodeling Building", Proceeding of Spring Annual Conference of the Korea Concrete Institute, Vol. 29, No. 1, 2017, pp.705-706
2. Tsuneki, Y., "Middle-Story Isolated Structural System of High-Rise Building", Proceeding of The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 2008
3. Kawamura, S. and Sugisaki, R., "Seismic isolation retrofit in Japan", 12WCEE 2000, 2000, pp.25-33
4. Hur, M.W., "Construction of Isolation Device for DONG-IL High-Vill New City", Review of Architecture and Building Science, Vol. 54, No. 5, 2010, pp.81-86
5. Lee, J.Y., "Application of Base Isolation System on The Middle Story of High-Rise Building", Proceeding of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Vol. 28, No. 1, 2008, pp.9-12

- Received : October 16, 2017
- Revised : October 31, 2017
- Accepted : November 01, 2017