

# 평면 비정형 구조물에 적용된 중간층 면진 시스템의 지진 응답 제어 성능 분석

## Seismic Response Control of Mid-Story Isolation System for Planar Irregular Structures

박 효 선\*  
Park, Hyo-Sun

김 현 수\*\*  
Kim, Hyun-Su

강 주 원\*\*\*  
Kang, Joo-Won

### Abstract

In this study, the seismic response is investigated by using a relatively low-rise building under torsion-prone conditions and three seismic loads with change of the location of the seismic isolation system. LRB (Lead Rubber Bearing) was used for the seismic isolator applied to the analytical model. Fixed model without seismic isolation system was set as a basic model and LB models using seismic isolation system were compared. The maximum story drift ratio and the maximum torsional angle were evaluated by using the position of the seismic layer as a variable. It was confirmed that the isolation device is effective for torsional control of planar irregular structures. Also, it was shown that the applicability of the mid-story seismic isolation system. Numerical analyses results presented that an isolator installed in the lower layer provided good control performance for the maximum story drift ratio and the maximum torsional angle simultaneously.

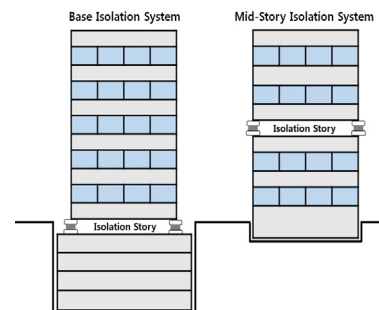
*Keywords : Mid-story isolation, Planar irregular structure, Seismic isolation system, Location of isolation system*

## 1. 서론

불과 몇 년 전만 하더라도 우리나라는 지진에 대해 안전지대라는 인식을 가지고 있었으나 최근 기상청 계기 관측 이래 역대 최고 규모인 경주 지진과 역대 두 번째 규모인 포항 지진이 연달아 발생하였다. 이로 인해 우리나라도 더 이상 지진으로부터 안전하지 않다는 인식이 확산되고 있으며 내진의 중요성에 대한 관심과 필요성의 목소리 또한 커지고 있다. 이에 따라 지진에 의한 피해를 줄이기 위한 설계 기술로 내진 구조, 면진 구조, 제진 구조 등 여러 효과적인 방법들이 개발되어 실제 구조물에 적용되고 있다.

이 중 면진 구조는 건물과 지반 사이에 지진 격리

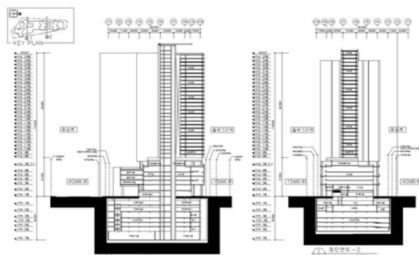
장치인 면진 장치를 설치하여 지반에서 전해지는 지진을 건축물의 기초에서 차단하는 구조이다<sup>1)</sup>. 일반적으로 중저층 건물의 기초 면진 형태로 많이 사용되는데 비교적 짧은 주기의 중저층 건물을 장주기화 시켰을 때 더 큰 효과를 볼 수 있기 때문이다. 그러나 고층 건물에 기초 면진 형태로 적용할 경우 이미 긴 주기가 더욱 장주기화 되면서 면진 장치의 허용 변위를 넘어 과도한 변위와 기초 부분의 연직 하중 및 횡하중에 의한 전도 모멘트가 발생하고 건축물이 불안정해지는 결과를 낳을 수 있다<sup>2)</sup>. 따라서 고층 건물에는 <Fig. 1>과 같이 중간층 면진 시스템이 적용되고 있다.



<Fig. 1> Mid-story isolation system<sup>3)</sup>

\* 학생회원, 영남대학교 일반대학원 건축학과, 석사과정  
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

중간층 면진 시스템은 건물의 질량을 부분적으로 분리시켜 중간층에 면진하는 시스템이다. 중간층 면진 시스템은 기초 면진에 따른 기술적 문제를 수반하지 않으며, 주상 복합 구조물과 같이 구조물 자체 질량과 강성이 크고 비정형성이 강하여 횡하중 영향이 큰 구조물에 적용이 가능하다. 중간층 면진 시스템이 적용된 사례로 의왕시 NH 통합 IT 센터와 서초구 트라움하우스 III 등이 있다. <Fig. 2>의 동일하이빌은 국내 최초의 7층 이하 상업 시설과 8층 이상 주거 시설로 이루어진 주상 복합 건물로 면진 시스템을 적용하여 지진에 대한 안전성을 향상시키고 초기에 계획한 경사 기둥과 벨트월을 삭제함으로써 경제성을 확보하였다. 또한 면진 관련 승인 및 설계, 장치 검증의 절차가 없으며 관련 규정의 미비로 인한 제도적 어려움을 극복하고 국내 면진 기술을 도입한 건물이다<sup>4)</sup>.



<Fig. 2> DONG-IL High-Vill New City<sup>4)</sup>

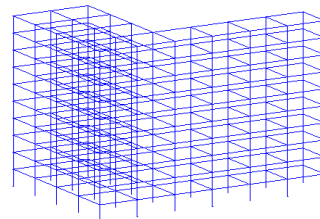
그러나 주상 복합 건축물과 같은 구조적 비정형 건축물의 연구 현황과 달리 평면 비정형을 가진 구조물에 면진 장치를 적용한 연구는 비교적 진행되지 않은 실정이다. 과거의 지진 피해 정도를 보면 L, T, U형과 같은 비대칭 평면의 건물이 더 큰 피해를 입었는데, 이는 평면 비정형이 비틀림에 취약하기 때문이다. 불가피하게 평면 비정형을 설계할 경우 평면 굴절 부위에 응력 집중이 일어나며 이에 저항하는 철근 배근이 불가능한 경우가 많다. 평면 비정형 건물을 계획할 경우에는 지진 이음부를 두어 여러 개의 대칭 평면으로 분리하고, 분리된 각 평면은 독자적으로 횡력을 부담하는 구조 형식을 갖도록 한다. 평면 비정형이 불가피할 경우 적절한 면진 장치의 사용으로 비틀림 제어가 가능하다<sup>5)</sup>. 따라서 본 연구에서는 비틀림 응답이 증폭될 수 있는 평면 비정형에 대한 중간층 면진 시스템의 적용성을 분석

하기 위해 설치 위치 변화에 따른 동적 응답을 분석하고자 한다.

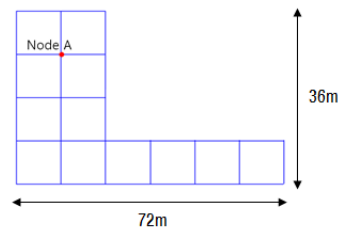
## 2. 해석 모델

### 2.1 해석 모델 개요

본 연구에서는 상용 프로그램인 Midas Gen Ver.860을 해석 모델로 사용하여 <Fig. 3>과 같이 비틀림 응답이 상대적으로 증폭될 수 있는 비정형 평면을 가지는 10층 철골 라멘 구조물을 모델링 하였다. 층 질량은  $2.3 \times 10^3 \text{kg}$ 로 설정하였으며, 편심을 유도하기 위해 절점 질량의 200%를 가산하여 <Fig. 4>와 같이 Node A에 추가하였다. 해석 모델의 일반사항은 <Table 1>에 나타내었다.



<Fig. 3> Analytical model



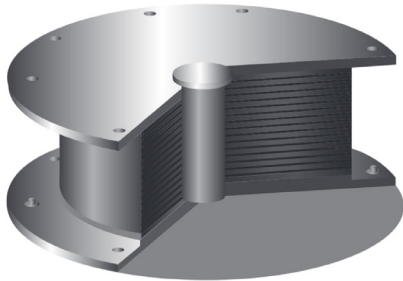
<Fig. 4> Analytical model plan

<Table 1> Specification of analytical model

Variable		R10
Height		4m × 10story = 40m
Principal plane		XYZ plane
Material		SM400
Member span (m)		9
Section	Column	H 400×400×13/21
	Beam	H 500×200×10/16
Major natural period (sec)	1st Mode	0.9793 (Y-direction)
	2nd Mode	0.8825 (Y-direction)
	3rd Mode	0.7804 (X-direction)

## 2.2 해석 모델 및 면진 장치

해석 모델에 적용된 면진 장치는 <Fig. 5>와 같이 LRB(Lead Rubber Bearing)를 사용하였다.



<Fig. 5> Isolation system - LRB<sup>8)</sup>

LRB는 지진 격리 시스템 중 가장 보편적인 장치로 면진 시스템에 많이 사용된다. 지진 에너지를 흡수하는 기능을 가진 납으로 된 코어부와 지진 격리 기능을 가진 고무부 및 강판부로 이루어진 탄성 받침을 일체화시킨 장치이다. 탄성 받침은 지진 발생 시 고무의 유연성으로 구조물의 고유 주기를 장주기화 하여 상부 구조로 전달되는 지진 에너지를 크게 감소시키는 역할을 수행하고, 강판은 수평 방향의 복원력을 제공한다. 코어의 납은 지진 발생 시 구조물에 감쇠 기능과 이력 거동에 의한 에너지 소산 작용으로 면진 장치의 변위를 줄이는 기능을 한다<sup>6)</sup>. 이러한 면진 장치는 항복 시 비선형 이력 거동을 하며 수평 강성( $K_1$ ), 항복 후 강성( $K_2$ ), 항복 강도( $Q$ )를 가지는 이선형(Bilinear)으로 모델링이 가능하다. 수평 강성( $K_1$ )은 항복 후 강성( $K_2$ )에 승수를 곱하여 구할 수 있으며, 항복 강도( $Q$ )는 납의 항복 응력과 단면적으로부터 구할 수 있다. 유효 강성( $K_{eff}$ )은 식 (1)과 같이 설계 변위( $D$ ), 수평 강성( $K_1$ ), 항복 후 강성( $K_2$ ), 항복 강도( $Q$ )로 구할 수 있다.

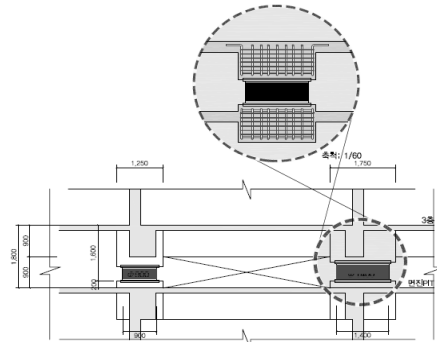
$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{x_{max}} \quad (1)$$

납고무 베어링형 면진 장치의 수평 저항력은 납이 항복할 때까지의 수평 강성에 의해 탄성적 거동

을 하며 납이 항복한 후에는 감소된 항복 강성에 의해 거동한다. 수평 저항력은 식 (2)로 구할 수 있다<sup>7)</sup>.

$$F = K_2 D + Q \quad (2)$$

이에 따라 <Fig. 6>과 같이 해석 모델에 배치된 모든 기둥 하부에 23개의 LRB가 설치될 수 있도록 모델링하여 1층부터 최상층까지 면진층을 변수로 변화시켜 해석을 수행하였다. 해석에 사용한 면진 장치 특성은 <Table 2>에 나타내었다.



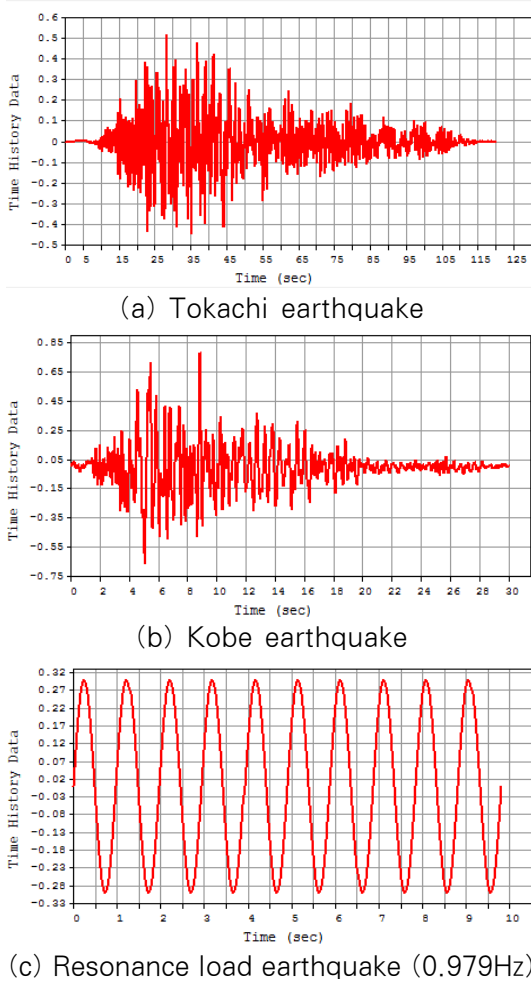
<Fig. 6> Location of isolation system<sup>9)</sup>

<Table 2> Specification of isolation system

Isolation system	LRB (Lead Rubber Bearing)
Number of installations	23
Product height (mm)	491.5
Vertical stiffness (kN/m)	3,917,000
Horizontal stiffness (kN/m)	2,179
Yield strength (kN)	25
Allowable shear deformation (mm)	400

## 2.3 해석 모델 및 분석 방법

본 해석 모델은 경계 비선형 시간 이력 해석을 수행하였다. 입력 지진파는 <Fig. 7>과 같이 도카치 지진(Tokachi, 2003), 고베 지진(Kobe, 1995), 공진 조화 하중으로 총 3가지 지진파를 입력하였으며, 해석 모델의 X방향, Y방향으로 동시 가력하였다.



<Fig. 7> Input seismic load

면진층의 위치를 변수로 두어 3개의 지진파에 대한 최대 층간 변형률과 최대 비틀림각을 분석하기 위해 <Table 3>과 같이 해석 모델을 명명하였다. 면진 장치를 적용하지 않은 Fixed 모델을 기본 모델로 설정하였으며, 면진 장치를 각 층마다 적용한 LB 모델로 나타내었다. 면진 장치의 설치 위치에 따른 동적 응답을 분석하기에 앞서 면진 장치를 설치하지 않은 R10-Fixed 해석 모델에 대한 층간 변형률을 <Table 4>와 같이 분석하였다. 세 지진파를 입력하였을 때 층간 변형률은 건축 구조 기준의 허용 층간 변형률인 0.015를 초과하거나 근접하게 발생하였다.

<Table 3> Model naming

Structure type	Total story	Isolation device	Location of isolation layer
Rahmen	10	Lead Rubber Bearing	Base-Fixed Bottom of 1st ~10th story

<Table 4> Story drift ratio of R10-Fixed model

Story	Tokachi		Kobe		Resonance load	
	DX	DY	DX	DY	DX	DY
10F	0.0012	0.0021	0.0021	0.0032	0.0014	0.0028
9F	0.0020	0.0038	0.0035	0.0057	0.0024	0.0051
8F	0.0029	0.0053	0.0051	0.0082	0.0035	0.0075
7F	0.0037	0.0067	0.0065	0.0104	0.0046	0.0097
6F	0.0045	0.0079	0.0078	0.0127	0.0056	0.0118
5F	0.0052	0.0089	0.0090	0.0149	0.0065	0.0137
4F	0.0058	0.0096	0.0100	0.0168	0.0074	0.0154
3F	0.0063	0.0101	0.0107	0.0181	0.0080	0.0168
2F	0.0062	0.0099	0.0104	0.0181	0.0079	0.0172
1F	0.0038	0.0066	0.0063	0.0121	0.0050	0.0120

### 3. 해석 결과

#### 3.1 면진 장치의 최대 변위와 전단력

구조물에 설치한 면진 장치의 변형 및 파괴 여부를 파악하기 위해 3개의 지진파에 따른 면진 장치의 X축과 Y축 방향 최대 변위와 전단력을 <Table 5>와 <Table 6>에 나타내었다.

면진 장치의 최대 변위는 도카치 지진에서는 X축 방향 LB 2에서 31.6cm가 발생하였고, Y축 방향은 LB 1에서 34.93cm가 발생하였다. 고베 지진에서는 X축 방향은 LB 4에서 35.52cm, Y축 방향은 LB 5에서 36.38cm의 최대 변위를 가졌으며, 공진 조화 하중에서는 X축 방향은 LB 10에서 22.78cm, Y축 방향은 LB 8에서 14.84cm의 최대 변위가 발생하였다. 전단력의 최대값 또한 도카치 지진에서는 X축 방향 LB 2에서 79.10kN, Y축 방향 LB 1에서 98.51kN이 발생하였다. 고베 지진에서는 X축 방향 LB 2에서 89.77kN, Y축 방향 LB 5에서 97.03kN의 최대 전단

력을 가졌으며, 공진 조화 하중에서는 X축 방향은 LB 10에서 67.05kN, Y축 방향은 LB 8에서 51.98kN의 최대 전단력이 발생하였다. 지진파에 따른 최대 변위 모두 해석에 사용한 면진 장치의 허용 변위인 40cm 이내 거동하였다. 이는 해석 시 면진 장치가 적절하게 거동하였음을 나타낸다.

<Table 5> Maximum deformation of LRB based on R10-LB model

Location of isolation	Tokachi (cm)		Kobe (cm)		Resonance load (cm)	
	DX	DY	DX	DY	DX	DY
LB 10	18.39	14.03	24.51	15.58	22.78	12.71
LB 9	5.20	5.53	10.18	12.65	9.59	11.10
LB 8	10.18	12.65	17.17	23.65	14.47	14.84
LB 7	11.55	13.30	19.77	19.27	14.30	12.27
LB 6	15.62	12.92	27.63	24.11	11.15	12.83
LB 5	15.42	20.35	25.78	36.38	12.34	12.98
LB 4	19.06	21.00	35.52	30.77	12.97	11.87
LB 3	24.44	31.14	30.00	32.71	12.38	12.05
LB 2	31.60	33.21	34.51	33.79	11.76	11.48
LB 1	29.94	34.93	9.38	8.59	10.72	11.57

<Table 6> Maximum shear force of LRB based on R10-LB model

Location of isolation	Tokachi (kN)		Kobe (kN)		Resonance load (kN)	
	DX	DY	DX	DY	DX	DY
LB 10	55.93	52.57	68.16	50.56	67.05	48.29
LB 9	31.53	38.96	36.37	50.06	38.23	43.93
LB 8	36.14	49.75	48.21	72.64	45.23	51.98
LB 7	40.59	49.60	54.14	63.14	45.81	47.00
LB 6	47.64	47.71	76.00	68.56	39.16	48.35
LB 5	45.36	66.48	66.49	97.03	36.28	49.67
LB 4	53.55	64.34	86.13	87.75	41.35	44.18
LB 3	62.17	90.09	79.39	86.88	37.61	46.10
LB 2	79.10	92.91	89.77	86.25	37.89	43.29
LB 1	74.95	98.51	35.08	40.89	35.83	45.00

### 3.2 최대 층간 변형률

세 지진파에 대한 R10 모델의 면진 시스템 설치

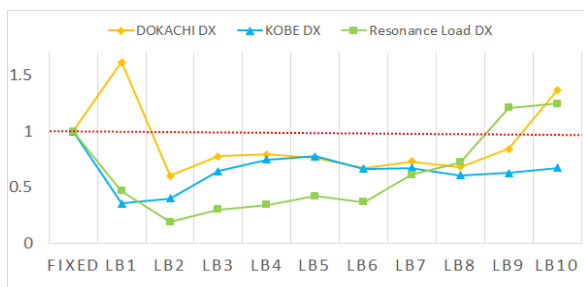
위치에 따른 최대 층간 변형률을 <Table 7>에 나타내었다. 면진 장치 설치 위치에 따른 최대 층간 변형률의 응답 저감률은 도카치 지진과 공진 조화 하중의 경우 LB 2에서 X방향으로 각각 40%, 82% 저감되었으며, Y방향의 경우도 LB 2에서 51%, 93%까지 저감되었다. 고베 지진의 경우는 LB 1에서 X방향 최대 층간 변형률의 응답 저감률이 65%, Y방향은 LB 1에서 75%까지 저감되는 것을 확인할 수 있었다.

<Table 7> Story drift ratio of LRB based on R10-LB model

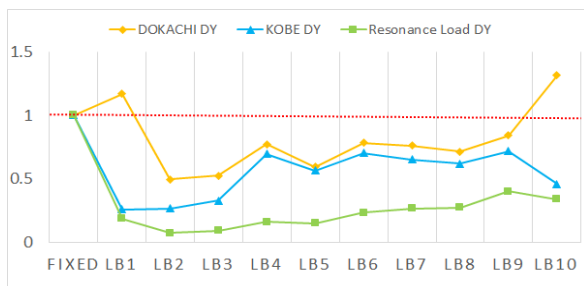
Location of isolation	Tokachi		Kobe		Resonance load	
	DX	DY	DX	DY	DX	DY
LB 10	0.0086	0.0133	0.0072	0.0083	0.0112	0.0094
LB 9	0.0053	0.0085	0.0067	0.0130	0.0109	0.0111
LB 8	0.0043	0.0072	0.0065	0.0112	0.0065	0.0076
LB 7	0.0046	0.0077	0.0072	0.0118	0.0055	0.0074
LB 6	0.0042	0.0079	0.0071	0.0127	0.0033	0.0065
LB 5	0.0048	0.0060	0.0083	0.0102	0.0038	0.0042
LB 4	0.0050	0.0078	0.0080	0.0126	0.0031	0.0045
LB 3	0.0049	0.0053	0.0069	0.0059	0.0027	0.0025
LB 2	0.0038	0.0050	0.0043	0.0048	0.0017	0.0020
LB 1	0.0102	0.0118	0.0038	0.0047	0.0042	0.0052
Fixed	0.0063	0.0101	0.0107	0.0181	0.0090	0.0278

<Fig. 8>과 <Fig. 9>는 세 지진파에 대한 최대 층간 변형률의 값을 Fixed 모델을 기준으로 하여 LB 모델의 응답 저감을 나타낸 그래프이다. 대체적으로 면진 장치를 설치하지 않은 Fixed 모델보다 면진 장치를 설치한 LB 모델의 층간 변형률이 감소하였다. 도카치 지진의 경우 LB 모델의 층간 변형률은 면진 층이 고층으로 갈수록 LB 1을 제외한 저층부에서 대체적으로 응답이 감소하는 양상이 나타났다. LB 1의 증폭되는 현상은 면진 장치로 나누어진 상부와 하부의 진동수가 근접하여 나타난 것으로 판단된다. 고베 지진의 경우 저층부에서는 층간 변형률의 응답이 대폭 저감되었다. 도카치 지진과 고베 지진 모두 중앙부로 갈수록 각각 0.03%, 0.025% 정도 소폭 증가하였다. 그러나 LB 5에서 상대적으로 응답이

저감되었으며, 고층부로 갈수록 다시 응답 저감 효과가 감소되어 Fixed 모델보다 오히려 응답이 증가되었다. 공진 조화 하중의 경우 저층부의 모든 층에서 응답이 크게 저감되는 것을 확인할 수 있었다. 중앙부를 지나며 응답 저감 효과가 감소되어 고층부에서도 Fixed 모델보다 응답이 증가되는 것을 볼 수 있었다. 따라서 세 지진과 모두 LB 2에서 최대 층간 변형률이 최소값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.



<Fig. 8> Story drift ratio based on R10-Fixed model DX



<Fig. 9> Story drift ratio based on R10-Fixed model DY

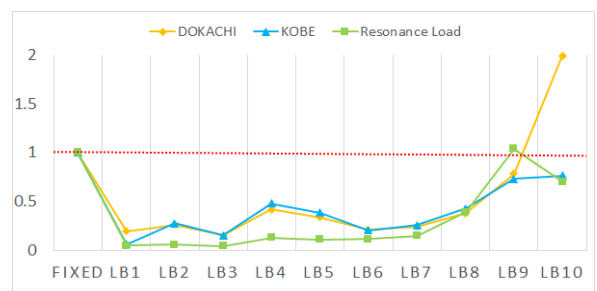
### 3.3 최대 비틀림각

세 지진파에 대한 R10 모델의 면진 시스템 설치 위치에 따른 최대 비틀림각을 <Table 8>에 나타내었다. 면진 장치 설치 위치에 따른 최대 비틀림각의 응답 저감률은 도카치 지진의 경우 LB 3에서  $0.072 \times 10^{-2} \text{rad}$ 으로 86%, 고베 지진의 경우 LB 1에서  $0.047 \times 10^{-2} \text{rad}$ 으로 94%까지 저감되었다. 공진 조화 하중의 경우 LB 3에서  $0.044 \times 10^{-2} \text{rad}$ 으로 96%의 최대 비틀림각 응답이 저감되었다.

<Table 8> Story drift ratio of LRB based on R10-LB model

Location of isolation	Tokachi ( $\times 10^{-2} \text{rad}$ )	Kobe ( $\times 10^{-2} \text{rad}$ )	Resonance load ( $\times 10^{-2} \text{rad}$ )
LB 10	0.97540	0.59270	0.73600
LB 9	0.38300	0.56720	1.08700
LB 8	0.18490	0.33000	0.40570
LB 7	0.11760	0.19700	0.15400
LB 6	0.10110	0.15800	0.11590
LB 5	0.16480	0.29860	0.11440
LB 4	0.20370	0.37070	0.13430
LB 3	0.07240	0.11640	0.04460
LB 2	0.12710	0.21080	0.05540
LB 1	0.09490	0.04790	0.04500
Fixed	0.49000	0.77800	1.04900

<Fig. 10>은 세 지진파에 대한 최대 비틀림각의 값을 Fixed 모델을 기준으로 하여 LB 모델의 응답 저감률을 나타낸 그래프이다. 도카치 지진과 고베 지진의 경우 LB 모델의 비틀림각은 면진층의 위치가 상대적으로 저층부인 LB 1부터 LB 3까지 응답이 대폭 감소되었으며, 저층부를 제외하고 중앙부인 LB 6부터 LB 7에 설치되었을 때 비틀림 응답 저감률이 높았다. 설치 위치가 LB 7 이상일 때는 면진층의 위치가 증가할수록 응답 저감 효과가 감소하였다. LB 10에서는 오히려 Fixed 모델보다 응답이 증가하였다. 공진 조화 하중의 경우도 면진층의 위치가 저층부에서 고층부로 갈수록 응답 저감 효과가 감소되었으며, LB 9 모델의 경우 오히려 Fixed 모델보다 응답이 크게 발생하였다.

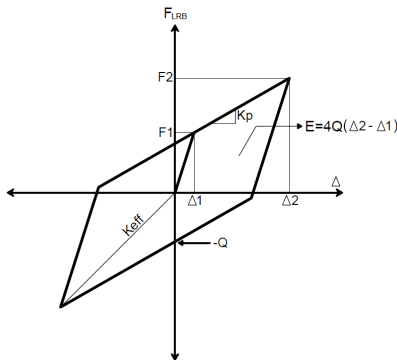


<Fig. 10> Maximum torsional angle based on R10-Fixed model



### 3.4 면진 장치의 이력 거동

<Fig. 11>과 같이 면진 장치의 비선형 이력 특성을 등가의 선형으로 치환하는 것이 가능하며 이력 거동 그래프의 이력 곡선 면적을 통해 에너지 소산 능력을 확인할 수 있다<sup>9)</sup>.



<Fig. 11> Concept of hysteric behavior

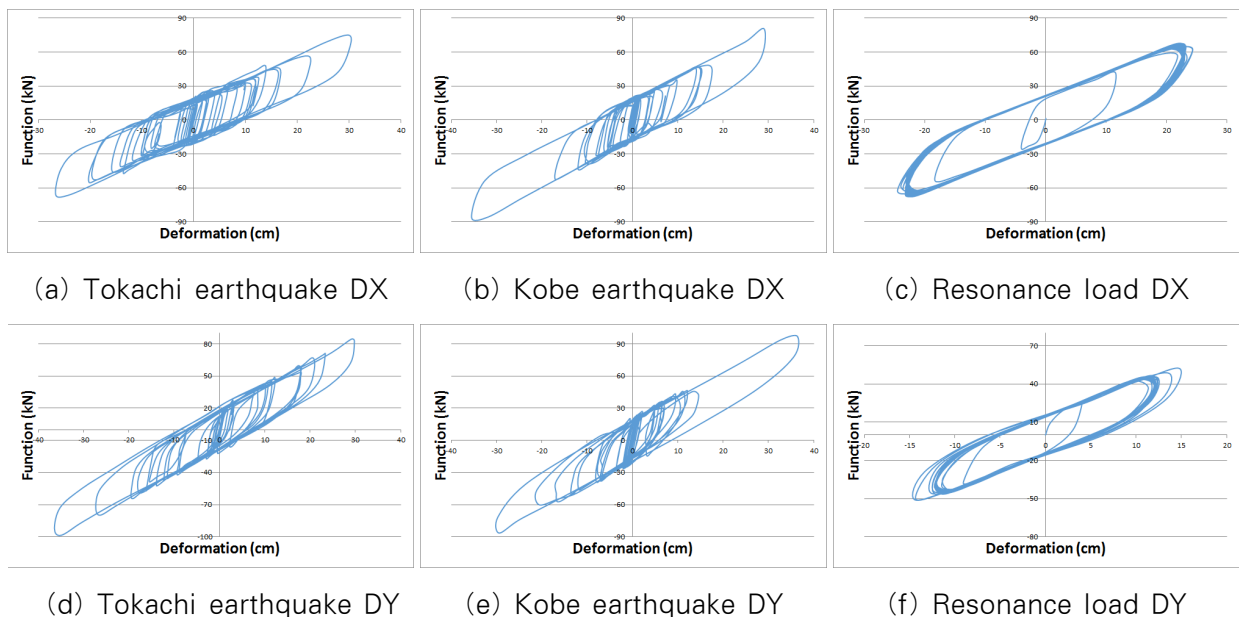
입력한 3개의 지진파에 따른 해석 모델의 면진 장치 이력 거동을 <Fig. 12>에 나타내었다. 해석 모델에 면진 장치를 1층부터 최상층까지 적용시키고 그 중 최대 변위가 발생한 경우의 이력 거동을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 면진 장치 거동의 이력 거동을 분석한 결과, 수평축 변위가 해석 모델에 설치한 면진 장치의 허용 변위인 40cm를 초과하지 않음을 확인할 수 있다. 이것은 면진 장치가 파

괴되거나, 기능을 정상적으로 수행하였음을 의미하며, 면진 장치가 탄성 거동하는 경우도 발생하지 않았음을 뜻한다. 따라서 각 층 면진 장치의 지진 격리 기능이 전반적으로 양호하게 수행되었음을 알 수 있다. 도카치 지진과 고베 지진의 경우 이력 거동 그래프의 면적을 통해 면진 장치의 에너지 소산 기능이 적절하게 이루어졌지만 공진 조화 하중이 다른 지진파에 비해 이력 거동 면적이 비교적 적게 증가되는 것으로 나타났으며, 다른 지진파에 비해 면진 장치의 에너지 소산 효과를 크게 보지 못한 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 평면 비정형 건축물을 모델링하여 3개의 지진파를 입력하고 면진 장치의 설치 위치를 변화시켜 지진 응답을 분석하였다. 해석 결과는 다음과 같다.

1) 면진 장치의 설치 위치에 따른 최대 층간 변형을 및 최대 비틀림각을 분석한 결과, LB 2에서 응답 저감률이 가장 높았다. 이에 따라 동적 응답을 동시에 제어하기 위해서는 평면 비정형 건물에 저층부인 LB 2에 면진 장치를 설치하는 것이 가장 효과적인 것으로 판단된다.



<Fig. 12> Hysteric behavior of isolation system of R10-LB

2) 본 해석 모델에서 저층부를 제외하고 중앙부인 LB 5에 면진층을 설치하였을 때 지진파에 따른 층간 변형률과 비틀림각의 동적 응답이 저감되었다. 중간층 면진 시스템은 고층 건물에 적용하는 것이 효과적이거나 본 해석 모델과 같은 평면 비정형을 가지는 건축물에서도 중간층 면진 시스템을 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

3) 실제 축조된 건물에 형태나 하중의 분포가 달라질 것을 고려하여 중간층 면진 시스템을 적용한다면 평면 비정형을 가지는 건축물의 비틀림 제어를 위해 상당한 응답 저감률을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 면진 시스템의 설치 위치 변화에 따른 평면 비정형 모델의 지진 응답을 살펴보고 최적 설치 위치를 분석하였다. 또한 중간층 면진 시스템의 가능성을 확인해보았다. 추후에는 다양한 형태의 비정형 해석 모델로 지진파와 편심 하중 외 풍하중 등의 동적 하중을 가한 면진 장치 특성 변화를 고려한 장치 설계에 대한 내용 또한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. NRF-2017R1A2B4006226).

### References

1. Lee, J. Y., Ju, Y. K., Kim, D. K., & Kim, S. D. (2008). Application of Base Isolation System on the Middle Story of High-Rise Building. Proceedings of Autumn Annual Conference of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, Republic of Korea, Vol.28, No.1, pp.9~12
2. Choi, W. S., Jung, K. B., & Roh, J. W., "NH Integrated IT Center, Construction Project, Uiwang-Si", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.61, No.1, pp.63~67, 2016
3. Kim, M. J., Kim, D. U., Kim, H. S., & Kang, J. W., "Analysis of Seismic Response According to Installation Location of Seismic Isolation System Applied to High-Rise Building", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.18, No.4, pp.81~88, 2018
4. Hur, M. W., Ahn, T. S., Son, J. W., & Kim, C. S., "Construction of Isolation Device for DONG-IL High-Vill New City", Review of Architecture and Building Science, Vol.54, No.5, pp.81~86, 2010
5. Moon, D. S. (2004). Application of seismic isolators for irregular structures (Master's thesis). Seoul National University of Science and Technology, Republic of Korea.
6. Park, J. Y., Jang, K. S., Park, K. N., & Lee, H. P. (2012). Schematic Design of Seismically Isolated Nuclear Facility by Equivalent Lateral Force Procedure using Laminated Rubber Bearings. Proceedings of Computational Structural Engineering Institute of Korea, Republic of Korea, Vol.25, No.1, pp.712~715
7. Naeim, F., & Kelly, J. M., "Design of Seismic Isolated Structures : from theory to practice", John Wiley, 1999.
8. DRB Deung-Il., "Seismic Isolation System : Types and Characteristics of Seismic Rubber", Catalogue, 2017
9. Hu, J. W., "Seismic Behavior and Estimation for Base Isolator Bearings with Self-centering and Reinforcing Systems", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.35, No.5, pp.1025~1037, 2015

■ Received : May 28, 2019

■ Revised : June 07, 2019

■ Accepted : June 07, 2019