

면진용 교좌장치의 거동 특성과 내진 성능 비교

Comparisons of Behavioral Characteristics and Seismic Performance of Seismic Isolation Bearing Systems



한규승*

Han, Kyu-Seung



한경봉**

Han, Kyung-Bong



박선규***

Park, Sun-Kyu

ABSTRACT

In this paper, the seismic analysis and the modeling techniques have been introduced for aseismic performances assessment, when seismic isolation bearings are applied on a real bridge. Nonlinear time-history analysis is carried out using finite element analysis program. In this study, El Centro earthquake(1940, N00W), Mexico earthquake(1985, N90W), and earthquake simulation from modified SIMQKE are used as earthquake ground excitations. The seismic response of seismically isolated bridge is compared with that of a bridge using conventional Pot Bearings, after obtaining the displacements of the deck, the deformations of the piers, shear forces and moments of the bottoms of the piers. The analytical analysis results show that seismic isolation bearing, especially seismic isolation bearings with sliding mechanism, could reduce earthquake forces.

Keywords ; base Isolator, nonlinear time-history analysis, seismic response, SIMQKE

* 정회원, 성균관대학교 토목공학과 대학원
** 정회원, 성균관대학교 토목공학과 박사과정
*** 정회원, 성균관대학교 토목공학과 부교수

· 본 논문에 대한 토의를 2000년 12월 31일까지 학회로 보
내 주시면 2001년 2월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서 론

1985년 Mexico 지진이 발생한 것을 비롯하여 1988년 Armenia 지진, 1989년 Loma Prieta 지진, 1994년 Northridge 지진, 그리고 1995년 일본 Kobe 지진과 최근 1999년 터키, 대만 지진 등 전 세계적으로 지진 활동이 다시 활발해지고 있으며 그에 따른 피해 또한 크게 발생하고 있다.

이런 지진에 대한 대비책으로 내진설계 방법이 가장 신뢰성이 높고 항구적인 방책으로 쓰이고 있다. 근래에 들어서는 미국이나 일본, 유럽을 비롯한 여러 선진국을 중심으로 면진장치를 사용한 내진설계를 도입하여 실용화하고 있으며, 새로운 면진장치의 연구와 개발에 노력을 기울이고 있다.

프랑스는 원자력 발전소를 지진으로부터 보호할 목적으로 마찰을 고려한 탄성중합체 받침 즉, EDF 시스템을 개발하여 표준 설계로 채택하기에 이르렀는데, R. Guéraud (1985)은 EDF 시스템을 사용한 원자력 발전소 구조물의 안정성 검토와 EDF 시스템의 성능 시험을 위해 진동대 실험과 수치 모델링을 통한 이론적인 연구를 수행하였다.

Ahmadi 와 Tadjbakhsh(1989)는 여러 가지 면진장치의 면진성능에 대해서 이론과 실험을 통해 고찰하였다. 이들은 본 논문에서 소개하는 면진장치들에 대해서 시스템을 모델링하고, 이론적인 거동에 대해서 여러 지진과 비교하여 연구하였다.

본 논문에서는 내진 성능을 위하여 실제 서해안에 놓인 동진교를 대상으로 여러 면진장치들을 적용시켰을 때의 지진 응답 해석과 모델링 기법을 소개하고자 한다. 여기에 사용될 면진장치로는 LRB를 비롯하여 P-F, NZ, R-FBI, EDF 시스템 등이며, 기존에 사용되었던 Pot Bearing의 거동과 비교하였다.

이를 위해서 범용 유한요소해석 프로그램인 SAP2000을 사용하여 비선형 시간이력해석을 수행하였다. 아직 우리나라에서는 이를 이용한 면진장치의 모델링이나 설계가 미흡하므로, 이에 본 논문에서는 유한요소해석 프로그램을 사용한 여러 면진장치의 효과적인 모델링 기법을 소개하여 실무에서도 쉽게 면진장치의 동적거동 연구를 수행할 수 있게 하였다.

2. 면진용 교좌장치의 종류 및 해석모델

면진용 교좌장치의 주 목적은 구조물에 전달되는 지진의 파괴적인 에너지를 감소시키는 것으로 이를

위해 많은 방법이 제안되었다. 이들 방법은 모두 유연한 횡강성과 에너지 소산능력을 공통적으로 가지고 있다. 이 절에서는 현재 널리 사용되고 연구되고 있는 몇 가지 면진용 교좌장치의 종류와 해석 모델을 소개한다.(고현무, 김길용, 1997), (이승우, 1998), (L. Su, G. Ahmadi and I. G. Tadjabakhsh, 1989), (R. Guéraud, 1985)

2.1 P-F(Pure-Friction) Base Isolation System

P-F 시스템은 구조물의 바닥과 지반의 마찰을 이용하여 구조물을 지진으로부터 보호하는 장치로서 모든 면진용 교좌장치 중에서 가장 간단한 시스템으로 볼 수 있으며, Fig. 1(a)이 이를 설명해 주고 있다. 이 시스템의 특징은 약한 지진시에는 미끌림이 발생하지 않고, 일정 임계값을 넘는 큰 지반가속도를 받는 경우에만 시스템에 미끌림이 일어나고 면진 효과가 발생한다.

P-F 시스템의 해석모델은 Fig. 1(b)과 같이 나타낼 수 있으며, 마찰판이 미끌림 상태인 경우의 운동방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$M\ddot{x}(t) + \mu Mg \text{sign}(\dot{x}) = -M\ddot{x}_g \quad (1)$$

여기에서, M은 면진용 교좌장치 상부의 총질량이며, g는 중력가속도, μ 는 마찰판의 마찰계수, $\text{sign}(\dot{x})$ 는 면진용 교좌장치 속도의 부호, 그리고, \ddot{x}_g 는 지반가속도이다.

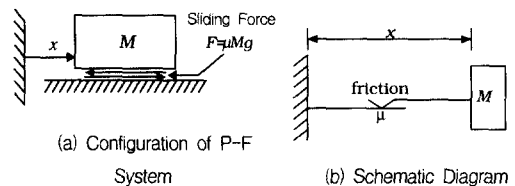


Fig. 1 P-F System

2.2 LRB(Laminated Rubber Bearing) System

국내에서 탄성받침, 적층고무받침이라 불리는 LRB는 가장 널리 연구되고, 사용되는 면진용 교좌

장치로 유연한 휨강성을 가지도록 방진고무를 주된 재료로 하고 있으며, 수직강성을 보강하기 위해 강판을 삽입한 것을 기본형식으로 하고 있다. 이 장치의 주요 작용은 스프링과 감쇠기의 병렬작용을 통해 진동주기를 길게 하는 것이다. LRB 시스템의 형상과 역학적 해석모델은 Fig. 2(a)와 (b)에 나타나 있으며, 운동방정식은 다음과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M\ddot{x}_g \quad (2)$$

여기에서, C 와 K 는 면진용 교좌장치의 감쇠계수 및 강성을 나타낸다.

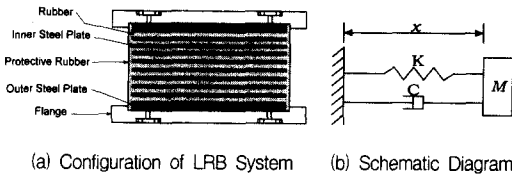


Fig. 2 LRB System

2.3 NZ(New Zealand) System

NZ System은 Lead Rubber Bearing이라고도 불리며, LRB 시스템을 개선하여 만든 장치이다. LRB의 중앙에 원통형의 납을 넣어 추가적인 에너지 분산장치로 사용한다.

NZ 시스템의 형상도와 역학적 해석모델은 Fig. 3-(a)과 (b)처럼 나타낼 수 있으며, 운동방정식은 다음과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) + NQ = -M\ddot{x}_g \quad (3)$$

여기에서, N 은 사용된 면진용 교좌장치의 개수이고, Q 는 Lead Core에서 발생된 hysteretic 복원력을 말한다.

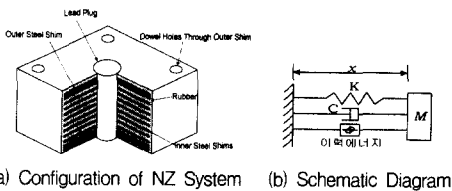


Fig. 3 NZ System

2.4 R-FBI(Resilient-Friction Isolation) System

Hostaghei 과 Khodaverdian에 의해 제안된 것으로 등근 Teflon으로 코팅된 판들이 마찰에 의해 접촉되어 있고, 중앙에 복원력을 제공하는 Rubber Core나 LRB가 들어 있다(Fig. 4(a)). R-FBI 시스템은 LRB 시스템과 P-F 시스템의 특성을 모두 가지고 있으므로 LRB 시스템과 P-F 시스템을 동시에 구조물에 사용하는 것과 유사하다. 이 시스템은 P-F 시스템과 같이 일정 임계값보다 작은 지반 가속도에 대해서는 작동하지 않으나, 변위가 발생했을 경우 P-F 시스템과는 달리 LRB의 스프링과 댐핑력에 의해 복원된다.

R-FBI 시스템은 역학적으로 Spring, Visco-Damper와 Friction Damper가 병렬로 연결된 형태로 모델링된다.

역학적 해석모델은 Fig. 4(b)처럼 나타낼 수 있으며, 마찰판이 미끄러진 상태인 경우의 운동방정식은 다음과 같다.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + \mu Mg \text{sign}(\dot{x}) + Kx(t) = -M\ddot{x}_g \quad (4)$$

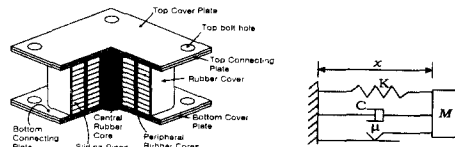


Fig. 4 R-FBI System

2.5 EDF(Electricité De France) System

EDF 시스템은 강판으로 보강된 네오프렌 적층판과 적층판 상부의 납-청동 합금판으로 구성된다. 납-청동 합금판은 구조물 바닥에 있는 강판과 마찰면을 이룬다.

이 시스템은 R-FBI 시스템과 반대로 LRB 시스템과 P-F 시스템을 직렬로 연결한 형태를 이룬다. Fig. 5(a)는 EDF 시스템의 형상도를 나타낸다.

EDF 시스템의 역학적 해석모델은 Fig.5(b)와 같이 나타낼 수 있으며, 변위는 상부 마찰판의 변위 x_2 와 하부변위 x_1 으로 구분된다.

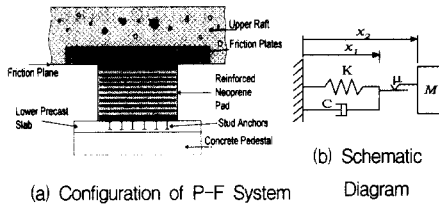


Fig. 5 EDF System

상부마찰판이 미끄럼 상태인 경우의 받침부분의 운동방정식과 마찰판 부분의 운동방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C\dot{x}_1(t) + Kx_1(t) = \mu Mg \text{ sign}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \quad (5)$$

$$M\ddot{x}_2(t) + \mu Mg \text{ sign}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = -M\ddot{x}_g \quad (6)$$

다음 Table은 여러 시스템의 설계에 추천되고 있는 값들이다.

Table 1 Values of parameters used for various base isolators

Types	Friction Coefficient	Natural Period(sec)	Damping Ratio(%)
P-F	0.1	—	—
LRB	—	2.0	10
NZ	—	2.0	10
R-FBI	0.04	4.0	10
EDF	0.2	1.0	10

3. 해석 모델 및 사용 지진

본 연구에서는 실제 면진장치를 적용할 대상 모델로서 동진교를 선택하였다. 성능비교를 위한 면진장치 모델로는 P-F, LRB, NZ, R-FBI, EDF 시스템으로서 Pot Bearing을 사용하여 모델링한 경우와 비교하였으며, 비선형 시간이력해석을 통해서 면

Table 2 Values of physical parameters

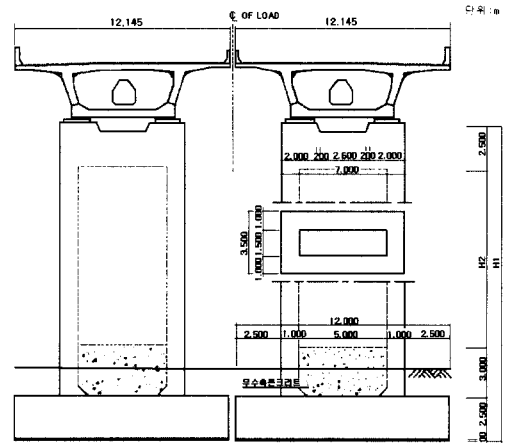
Types	Vertical Stiffness	Horizontal Stiffness	Damping Coefficient
	(N/m)	(N/m)	(N · sec/m)
LRB	1.076×10^{10}	1.068×10^7	6.657×10^3
P-F	-	-	-
NZ	1.076×10^{10}	1.068×10^7	6.805×10^3
R-FBI	1.076×10^{10}	2.547×10^9	3.248×10^3
EDF	1.076×10^{10}	4.081×10^7	1.33×10^6

진장치의 성능을 분석하였다.

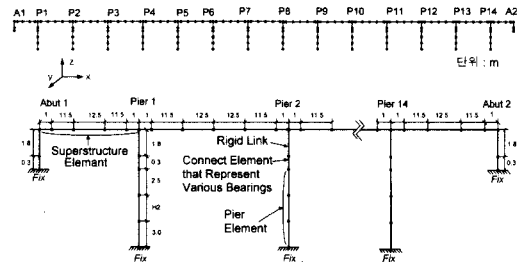
Pot Bearing의 경우 7번 교각을 고정으로 두고 나머지는 횡방향 변위가 자유롭게 생기도록 하였다. Table 2는 본 논문에서 사용한 면진 교좌장치들의 물성치들이다.

3.1 대상 교량 모델

연구에 사용된 교량은 서해안 고속도로 당진~서천간 제 6공구(청소~내항)에 건설된 동진교이다. 교량 형식은 PC박스 거더교이고, ILM 공법에 의한 15경간 연속교이다. 교폭은 12.145m이며 교량의 전체 길이는 725m이고 0.03%의 종구배가 있다. Fig. 6(a)은 동진교의 횡단면도이며, (b)는 전체적인 모델링을 나타낸다. 동진교는 면진장치로 적층고무받침(LRB)을 사용하여 설계된 교량이다(이승우, 1998).



a) Transverse view



b) Finite element model

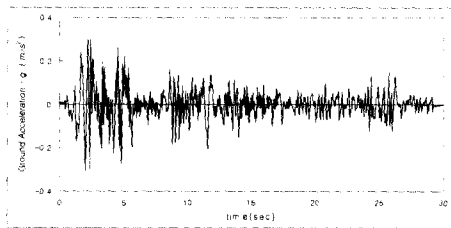
Fig. 6 Dong-Jin bridge

3.2 입력지진

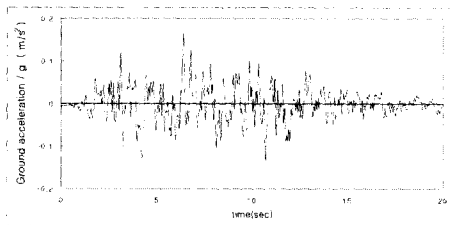
입력 지진으로는 1940년에 발생한 El Centro 지진의 N00W 성분과 국내 내진 1등급에 해당하는 인공 지진 가속도, 그리고 1985년에 발생한 Mexico 지진의 N90W 성분을 사용하였다.

El Centro 지진(0.348g)은 표준적인 강진이라 불릴 수 있다. 지진에너지는 1~4 Hz에 집중되며 그 최대값이 1.5Hz 정도에 위치한다. 이것은 대부분 강진의 에너지 분포와 일치한다.

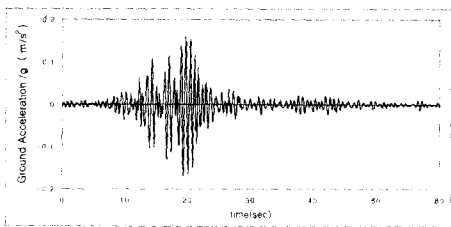
우리나라는 대부분 지역의 지반이 양호하므로 El Centro 지진과 같이 고주파에 에너지가 집중되는 지진이 예상된다(이승우, 1998; 전규식, 1999). 국내 도로교시방서에서 규정하고 있는 지진의 최대 가속도는 1등급 지역에서 0.14g이므로 인공지진 생성 프로그램인 SIMQKE를 이용하여 최대 지반 가속도가 0.17g가 되는 인공지진을 생성하였다.



(a) El Centro earthquake



(b) Artificial earthquake



(c) Mexico earthquake

Fig. 7 Ground motion consideration in this study

Mexico 지진(0.171g)은 저주파에 에너지가 집중된 지진으로 주로 연약지반과 같이 지반조건이 나쁜 경우에 발생할 수 있다. 이러한 지진은 면진시키고자 하는 주기에 에너지가 집중되므로 면진장치의 고유한 성능을 발휘할 수 없다. 따라서 연약지반 등 지반조건이 좋지 않아 저주파의 지진이 발생할 수 있는 지역에는 면진설계를 하지 않는 것이 좋다(이승우, 1998; 전규식, 1999).

Fig. 7은 해석에 사용된 지진의 가속도 시간 이력 곡선을 보여준다.

4. 해석 결과

4.1 El Centro 지진을 가진할 때의 거동

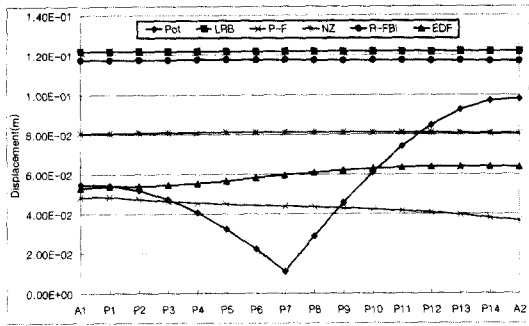
4.1.1 교축방향으로 가진할 때의 거동

Fig. 8(a)는 El Centro 지진을 교축방향(종방향)으로 가진시킬 때 Pot Bearing, LRB, P-F, NZ, R-FBI, EDF 시스템을 사용하여 모델링한 교량 상판의 최대변위를 각 교대, 교각위치에서 서로 비교한 것이다. 그리고, Fig. 8(b)~(d)는 각각 교각 상단 부분의 최대변위, 교각 하단부분의 최대 전단력, 교각 하단 부분의 최대 모멘트를 비교한 그래프이다.

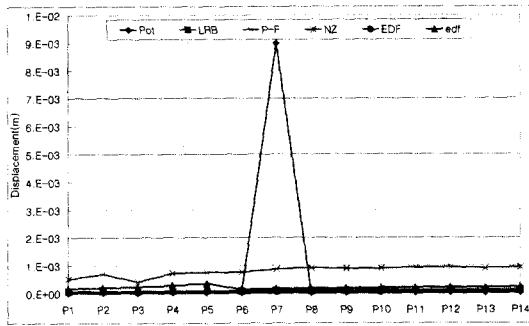
LRB 시스템을 비롯한 면진장치들은 교각에 따른 응답 값들이 비교적 고르게 분포함을 알 수 있다. 이것은 면진장치가 지진하중을 고르게 분산시키고 있기 때문이다. 하지만 Pot Bearing을 사용하여 모델링한 경우는 고정단인 7번 교각에 응답이 집중됨을 알 수 있다.

면진된 교량의 상판의 변위는 Pot Bearing에 비해 상당히 크다. 그러나 이것은 면진장치 내의 변형이며 교각 자체의 변형은 매우 작음을 Fig. 8(b)에서 알 수 있다. 또, 면진된 교량의 교각 하단의 전단력과 모멘트 등은 Pot Bearing을 사용한 교량의 고정단 지점에서의 값에 비해 현저하게 줄어들음을 볼 수 있다.

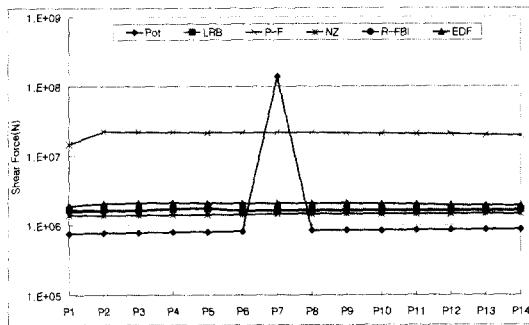
면진장치들을 비교해 볼 때 LRB, R-FBI, NZ 시스템의 변위가 EDF, P-F 시스템의 경우보다 크게 발생하였다. 전단력이나 모멘트의 경우는 P-F 시스템을 제외한 모든 면진장치들이 차이를 보이고 있다. EDF 시스템의 경우 마찰판 상하부의 상대적인 미끌림으로 인해서 전단력이나 모멘트의 값을 효과적으로 감소시켰다.



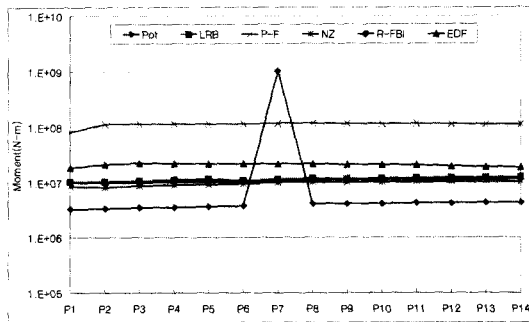
(a) Maximum displacement at deck



(b) Maximum displacement at the top pier



(c) Maximum shear force at the bottom pier



(d) Maximum moment at the bottom pier

Fig. 8 Comparison of response for El Centro(Longitudinal)

4.1.2 교축직각방향으로 가진할 때의 거동

Fig. 9(a)~(d)는 El Centro 지진을 교축직각방향(횡방향)으로 가진하였을 때의 응답을 비교한 것이다.

Pot Bearing을 사용하여 모델링한 경우 교축방향에서의 응답과는 달리 교축직각 방향으로의 응답이 비교적 고르게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 이것은 교축방향으로 가진할 경우는 고정단이 7번 교각에 응답이 집중되지만 교축직각방향으로 가진할 경우는 모든 받침이 고정단으로 작용하여 고르게 분포되기 때문이다.

LRB와 R-FBI 시스템을 사용한 교량의 경우 교축방향으로 가진할 때와 마찬가지로 변위가 크게 발생하였지만 상대적으로 교각하단에서의 전단력과 모멘트는 상당히 줄어들음을 볼 수 있다.

LRB와 R-FBI 시스템의 거동을 비교해 볼 때, R-FBI의 경우 LRB 시스템보다 훨씬 작은 강성을 가지고 있지만 내부의 마찰효과로 인하여 변위나 전단력, 모멘트 값은 오히려 더 작게 나타나고 있다.

EDF 시스템을 사용한 교량의 경우 상판의 변위는 LRB나 R-FBI 시스템에 비해 상대적으로 적게 발생했다. 전단력이나 모멘트의 경우도 LRB나 R-FBI 시스템에 비해 약간의 차이를 보이고는 있지만 전체적으로는 비슷한 범주 내에 있다고 할 수 있다.

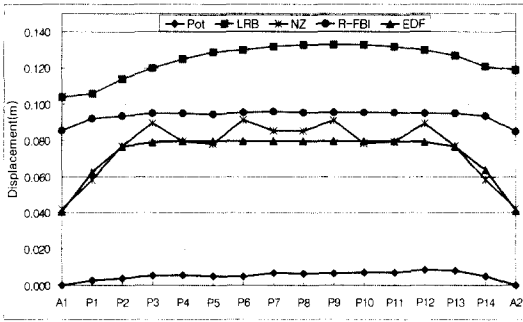
4.2 인공지진을 가진할 때의 거동

4.2.1 교축방향으로 가진할 때의 거동

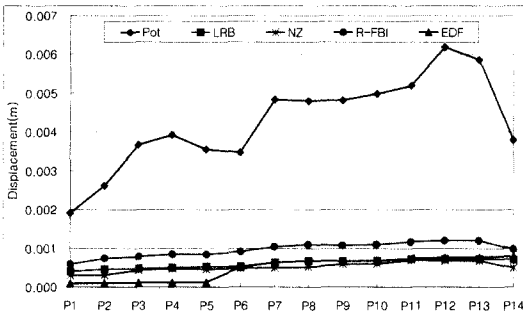
인공 지진을 교축방향으로 가진했을 때에도 El Centro 지진을 가했을 때와 비슷한 거동을 보였다. Fig. 10(a)~(d)가 이때의 응답을 보여준다. 마찬가지로 Pot Bearing을 사용한 교량의 경우 고정단인 7번 교각에 응답이 집중되는 현상을 볼 수 있었으며, 면진장치를 사용한 교량의 경우는 고르게 분포함을 볼 수 있었다.

LRB 시스템을 사용한 교량 상판의 변위가 가장 컸으며, 마찰을 고려한 면진장치의 변위는 상대적으로 적게 나타났다.

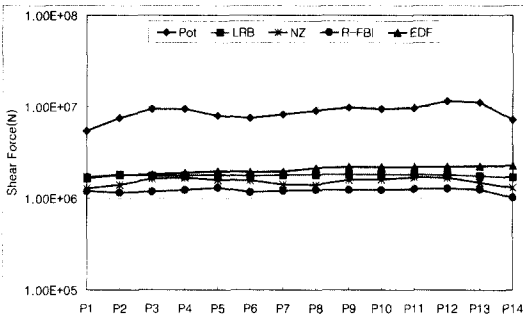
El Centro 지진을 사용할 때보다 크기만 차이가 있을 뿐 전반적인 거동이나 값의 분포는 비슷



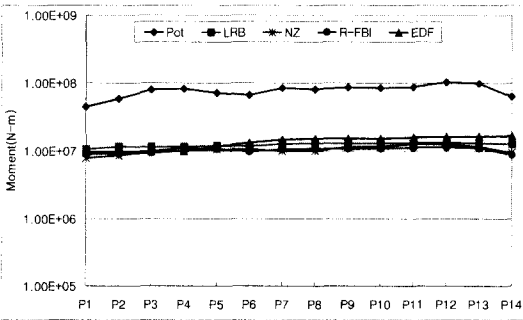
(a) Maximum displacement at deck



(b) Maximum displacement at the top pier

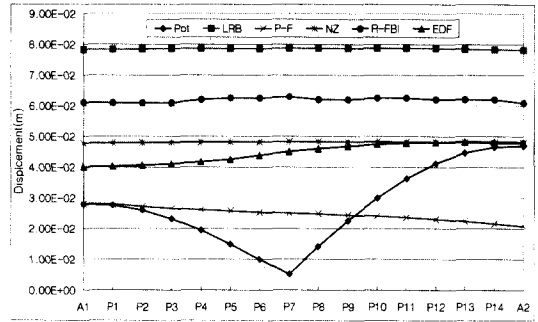


(c) Maximum shear force at the bottom pier

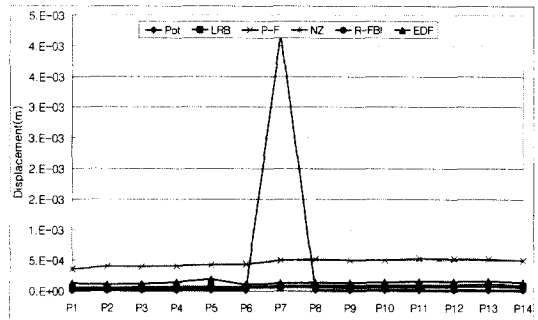


(d) Maximum moment at the bottom pier

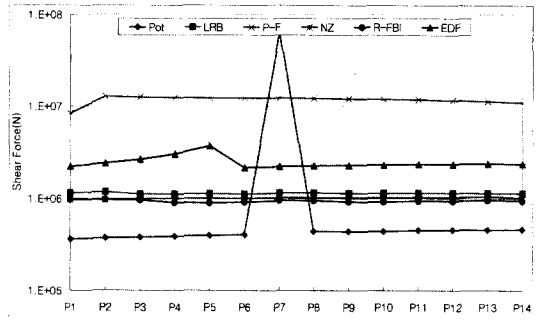
Fig. 9 Comparison of response for El Centro(Transverse)



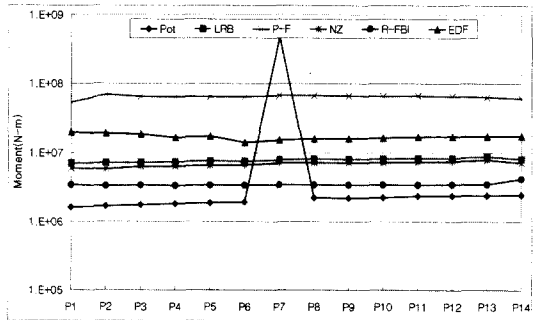
(a) Maximum displacement at deck



(b) Maximum displacement at the top pier

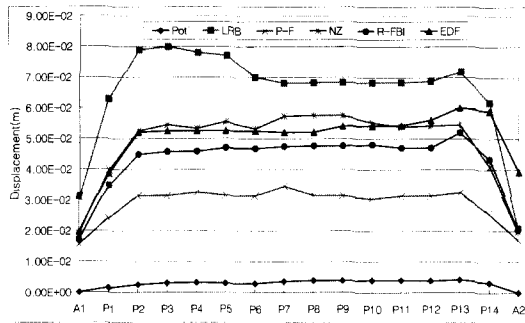


(c) Maximum shear force at the bottom pier

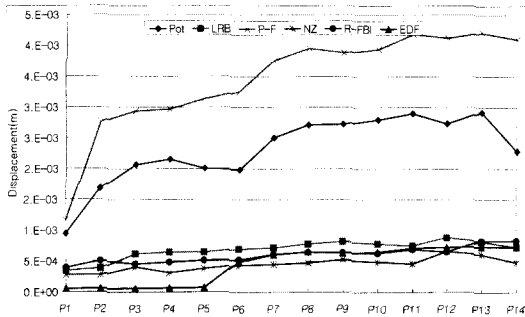


(d) Maximum moment at the bottom pier

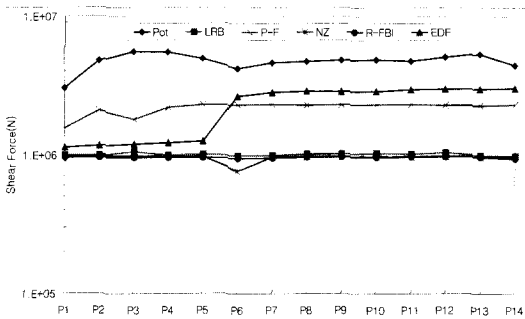
Fig. 10 Comparison of response for artificial earthquake (Longitudinal)



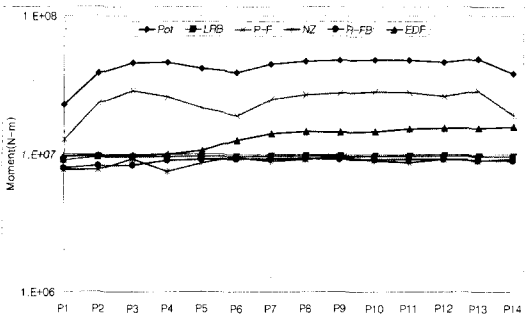
(a) Maximum displacement at deck



(b) Maximum displacement at the top pier



(c) Maximum shear force at the bottom pier



(d) Maximum moment at the bottom pier

Fig. 11 Comparison of response for artificial earthquake (transverse)

함을 알 수 있다. 최대 변위도 더 작을뿐더러, 교각 하단의 전단력이나 모멘트도 훨씬 작게 나타났다.

4.2.2 교축직각방향으로 가진할 때의 거동

인공지진을 교축직각방향으로 가진 했을 때 상판의 최대변위와 교각 상단의 최대변위, 전단력, 모멘트를 Fig. 11(a)~(d)에서 보여주고 있다.

El Centro 지진을 가진했을 때의 응답과 유사하게 각 교각에 응답이 고르게 분포하고 있다.

P-F 시스템을 사용한 경우를 제외하고는 모든 면진장치가 아주 효과적으로 면진기능을 수행함을 알 수 있다. 최대 변위는 면진장치의 허용 범위 내에 있으면서 전단력이나 모멘트는 Pot Bearing을 사용할 때보다 더 작았다.

4.3 Mexico 지진을 가진할 때의 거동

4.3.1 교축방향으로 가진할 때의 거동

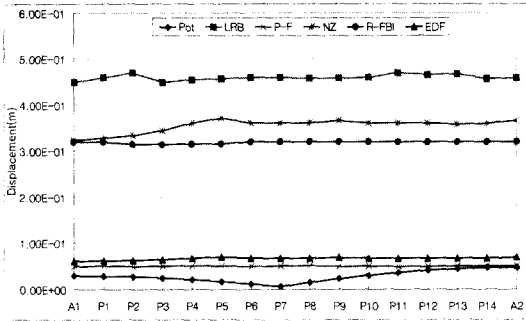
Mexico 지진에 대한 해석은 면진장치의 성능을 평가하는 목적이 아니라 예기치 않은 주파수 성분의 지진이 올 때에 대한 면진장치의 민감도를 해석하고자 하는 목적으로 수행하였다.

Mexico 지진의 60초 동안의 지진가속도를 하중으로 사용하여 해석하였다.

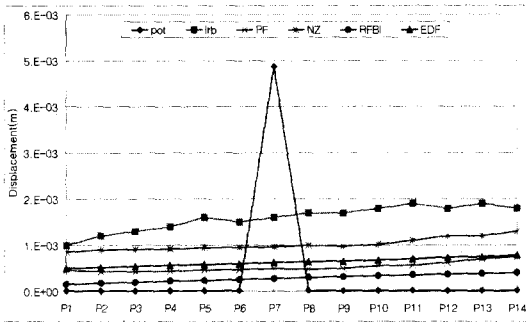
Fig. 12(a)~(d)는 Mexico 지진을 종방향으로 가진시킬 때 Pot Bearing을 사용하여 모델링한 교량과 여러 면진장치를 사용하여 모델링한 교량의 응답을 비교한 것이다.

해석결과 El Centro 지진의 경우와는 반대로 응답이 상당히 증폭되었음을 알 수 있다. LRB의 경우가 가장 큰 응답 증폭을 보였는데 이것은 공진으로 인한 결과라 할 수 있다. 원래 면진장치의 목적이 지진하중의 주기를 피하기 위하여 임의로 주기를 늘린 것인데, LRB를 사용한 교량의 주기(약 2초)와 Mexico 지진의 주기가 비슷하여 응답의 증폭이 일어난 것이다. LRB외에도 R-FBI나 NZ를 사용한 교량의 경우도 상당히 큰 변위가 발생하였다.

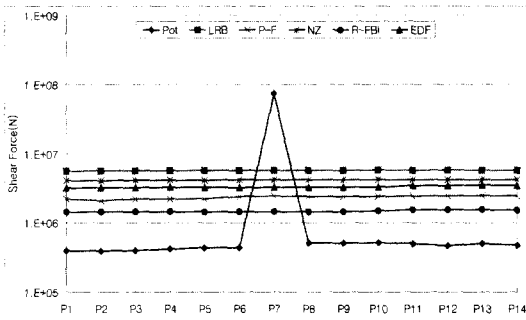
마찰을 사용한 R-FBI의 경우 변위는 크게 발생하였지만, 전단력이나 모멘트는 상대적으로 적었으며, EDF 시스템의 경우는 설계 주기가 1초 정도이므로 공진으로 인한 응답 증폭의 영향을



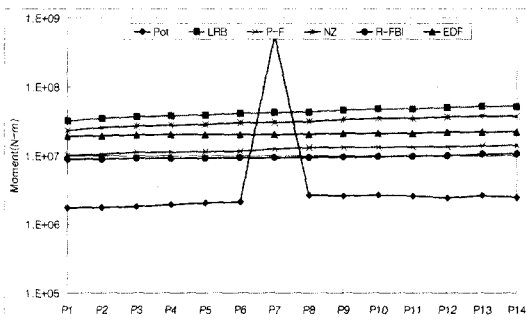
(a) Maximum displacement at deck



(b) Maximum displacement at the top pier

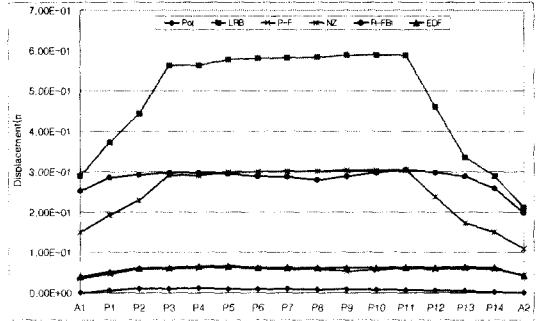


(c) Maximum shear force at the bottom pier

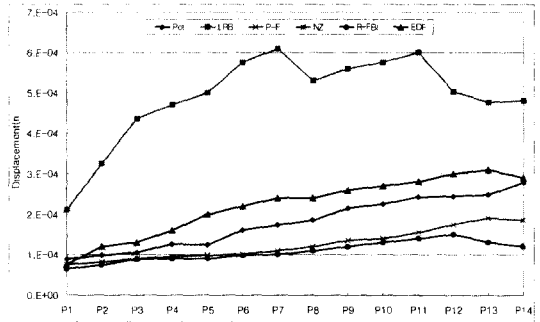


(d) Maximum moment at the bottom pier

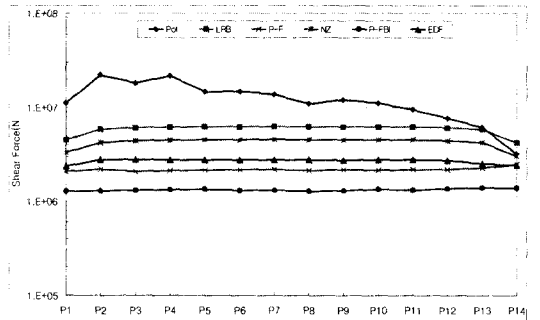
Fig. 12 Comparison of response for Mexico(Longitudinal)



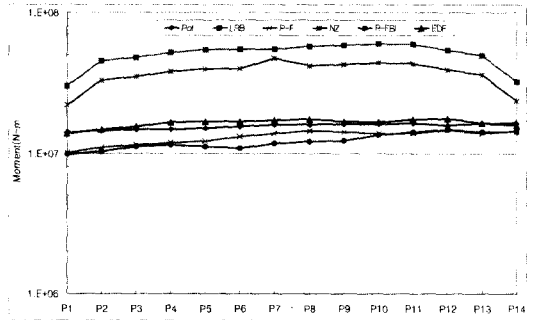
(a) Maximum displacement at deck



(b) Maximum displacement at the top pier



(c) Maximum shear force at the bottom pier



(d) Maximum moment at the bottom pier

Fig. 13 Comparison of response for Mexico(Transverse)

덜 받아서 변위량이 적었다. 그래서, 마찰을 이용한 면진장치가 대체적으로 면진기능을 잘 수행했다고 할 수 있다.

Pot Bearing의 경우 고정단에 응답이 집중되어 전단력과 모멘트가 여전히 크게 나타나고 있다.

4.3.2 교축직각방향으로 가진할 때의 거동

Mexico 지진을 횡방향으로 가진하여 상판의 최대변위값과 교각 하단의 전단력, 모멘트를 구하여 Fig. 13(a)~(d)에 나타내었다.

종방향의 경우와 유사하게 상판의 변위뿐만 아니라, 전단력이나 모멘트 역시 증폭된 값을 보여주고 있다. 종방향과 마찬가지로 LRB의 경우가 가장 큰 값을 보여주고 있고, LRB와 주기가 비슷한 NZ의 경우도 변위나 전단력, 모멘트 값이 상당히 증폭되었음을 알 수 있다.

R-FBI를 사용한 교량은 상판의 최대변위는 증폭되었지만, 교각 하단의 전단력이나 모멘트는 Pot Bearing을 사용한 교량보다 작으므로 면진기능을 잘 수행한다고 할 수 있고, EDF의 경우는 변위량을 효과적으로 줄일 수 있었다.

전반적으로 Mexico 지진에 대해서는 대부분의 면진장치가 민감하게 반응하였으며, 마찰을 이용한 R-FBI나 EDF 시스템의 경우는 대체적으로 면진기능을 잘 수행하였다.

5. 결 론

최근 들어 강진의 증가로 인하여 면진장치에 대한 관심과 연구가 증대되고 있다. 본 논문은 EDF 시스템을 사용한 교량을 비롯한 LRB, NZ, P-F, R-FBI를 사용하여 모델링한 교량을 지진 응답을 통해서 거동을 파악하였고, 기존의 Pot Bearing을 사용하여 모델링한 교량의 지진 응답과 비교하였다.

- 1) El Centro 지진이나 국내 내진 1등급에 해당하는 인공지진의 경우 면진용 교좌장치를 사용하여 모델링한 교량은 Pot Bearing을 사용하여 모델링한 교량에 비해 면진기능을 잘 수행하였다. 면진용 교좌장치의 경우 변위는 Pot Bearing에 비해 컸지만, 그만큼 지진 에너지를 많이 흡수하므로 전단력이나

모멘트는 상당히 감소시킬 수 있었다. 따라서, 면진용 교좌장치를 사용한 설계는 지진으로부터 구조물을 효과적으로 보호할 수 있다.

- 2) 적층고무 받침 계통인 LRB나 NZ, R-FBI를 사용한 교량은 Mexico 지진에 대해서 과도한 변위의 증폭을 보였다. EDF 시스템에 의해 면진된 교량은 약간의 응답 증폭은 있었지만 다른 장치와 비교해 볼 때, 특히 변위의 측면에서는 Mexico 지진에 대해서 효과적으로 면진기능을 수행했다고 할 수 있다.
- 3) 마찰을 추가적으로 고려한 면진교좌장치(R-FBI, EDF)의 경우 마찰에 의한 큰 에너지 소산기능으로 변형량이나 하중의 전달 면에서 매우 우수하게 면진기능을 수행하였다.
- 4) 우리나라는 El Centro 지진과 같은 고주파 성분을 가진 지진의 발생이 예상되므로 LRB나 NZ 시스템을 사용하여도 효과적으로 면진기능을 수행할 수 있을 것이다. 하지만, Mexico 지진과 같이 예기치 못한 지진에 대비하여 지반특성에 따라서는 EDF 시스템을 사용하는 것을 검토할 필요가 있는 것으로 생각한다.

참고문헌

1. 고현무, 김용길, 박원석, "감진장치를 이용한 교량의 내진설계," 국제내진학술 세미나, 대한토목공학회, 1997, pp. 1~38.
2. 김두훈, "지진을 고려한 구조물의 면진/제진 기술개발 현황," 한국소음진동공학회지, 제5권, 제1호, 1995, pp. 11~20.
3. 이승우, "면진장치를 이용한 다경간 연속교의 내진성능 연구," 석사학위논문, 한국과학기술원, 1998.
4. 전규식, "교량의 면진설계(국내사례를 중심으로)," 국제내진학술 세미나, 한국지진공학회, 1999, pp. 1~52.
5. Anil K. Chopra, "Dynamics of Structure: Theory and Applications to Earthquake Engineering," Prentice Hall, 1995.
6. L. Su, G. Ahmadi and I. G. Tadjabakhsh, "A comparative study of performances of various base isolation systems, Part I : Shear beam structures," *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, Vol. 18, 1989, pp. 11~33.

7. R. Guéraud , J.-P. Noël-Leroux, M. Livolant
and A. P. Michalopoulos, "Seismic isolation
using sliding-elastomer bearing pads."

Nuclear Engineering and Design, Vol. 84,
1985, pp. 363-377.

요 약

본 논문에서는 내진 성능 평가를 위하여 실제 설치된 교량을 대상으로 여러 면진장치들을 적용시켰을 때의 지진응답 해석과 모델링 기법을 소개하였다. 범용 유한요소해석 프로그램을 이용하여 비선형 시간이력 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 El Centro지진(1940, N00W)과 Mexico지진(1985, N90W), 그리고 SIMQKE를 이용하여 만든 인공지진을 사용하였다. 지진 응답으로 교량 상판의 최대변위와 교각상단의 최대변위, 교각하단의 최대 전단력과 모멘트를 구하여 Pot Bearing으로 모델링한 경우에 대한 성능과 비교하였다. 해석 결과 면진장치가 지진력을 효과적으로 감소시킴을 알 수 있었고, 마찰을 부가적으로 이용한 면진장치가 더 우수하게 면진기능을 수행함을 알 수 있었다.

(접수일자 : 2000. 4. 25)