

LRB 기초분리장치의 교량 내진효과

Seismic Effect of LRB Base Isolator on Bridges

黃 義 勝*

Hwang, Eui Seung

Abstract

The purpose of this study is to analyze the seismic effects of Lead Rubber Bearing base isolators on bridges. Base isolation is the tool to minimize the effect of earthquake before the seismic force is transferred to the structure. Currently, many structures including the buildings, power plants, and bridges, were built and planned with base isolation method. The simple model is developed for bridges with Lead Rubber Bearings. Equations of motion are solved by Newmark β method. Springs representing the base isolators are assumed as bilinear springs and piers are modeled as nonlinear springs implementing Q-HYST model. Analysis is performed for the selected bridge. El Centro (N-S) earthquake(1940) is used. Deck displacement, pier ductility and pier shear force are calculated for the various Lead Rubber Bearings.

요 지

본 논문의 목적은 LRB 기초분리장치가 설치된 교량의 내진효과를 해석하는 것이다. 기초분리방법은 지진력이 구조물에 전달되기 전에 그 영향을 최소화시키는 방법으로 현재 건물, 발전소, 교량 등의 구조물에 실용화되고 있다. 본 연구에서는 대표적인 기초분리장치인 Lead Rubber Bearing이 설치된 교량의 단순화된 모델을 개발하고 여러 크기의 LRB에 대하여 지진의 영향을 해석하였다. 단순화된 교량모델의 운동방정식을 Newmark β 방법에 의해 시간이력해석을 수행하였다. 기초분리장치의 모델로는 이중선형성을 갖는 스프링을, 교각모델로는 비선형성 및 강성저하를 고려한 Q-HYST모델을 사용하였다. 해석예로 미국 네바다주에 소재한 Rose Creek 교량에 대한 남북방향 El Centro지진(1940)의 영향을 해석하였다. 상부구조 횡방향처짐, 교각연성 및 교각 밀면 전단력을 구하였다.

1. 서 론

종래의 빌딩이나 교량의 내진 설계에서는 구조물의 기초를 지반에 고정시켜 지진에 의해 발생하는 힘을 구조물의 부재로 저항하게 하였으나 이로 인해 구조물이 파괴되지는 않더라도 일시적 혹은 영구적

으로 그 기능을 상실하는 경우가 종종 있다. 따라서 실험실, 발전소, 병원, 교량 또는 소방서와 같은 중요 구조물이 지진이나 지진 후에도 그 기능을 제대로 발휘하기 위해서는 설계 시방서에 규준된 정도 이상으로 설계되어야 한다. 그러나 이는 비경제적인 설계를 하게 되므로 경제적이면서도 지진의 피해를 최소화할 수 있는 방법을 고안하게 되었다. 그 방

* 정회원 · 한국건설기술연구원 구조연구실 선임연구원

법으로 지진의 힘이 구조물에 전달되기 전에 그 영향을 줄일 수 있도록 개발된 것이 기초분리(Base Isolation) 방법이다. 사실 약 100년 전부터 이 방법을 사용하려는 시도가 있었으나 최근에 와서야 새로운 재료와 장치의 개발로 인해 실용화되었으며 현재 많은 구조물들이 이미 세워졌거나 설계되어지고 있다.⁽¹⁾ 또한 이 방법은 구조물의 신축 뿐만 아니라 현존 구조물의 보강 및 복원에도 사용될 수 있다. 이 연구에서는 이러한 기초분리방법을 교량에 응용하여 지진에 대한 기초분리된 교량의 동적거동을 해석하는 것을 그 목적으로 한다. 단순화된 교량모델이 개발되었으며 그 운동방정식은 Newmark β 방법으로 해석된다. 기초분리장치에는 이중선형 거동모델을 사용하였으며 교각의 비선형성이 고려되었다.

2. 기초분리 장치의 기능

기초분리 장치에는 다음과 같은 세가지 중요 기능이 있어야 한다.⁽²⁾

- 구조물의 진동주기를 충분히 증가시켜 반응력을 줄이기 위한 유연 기능
- 구조물의 유연함에 따른 과도한 처짐을 방지하기 위한 에너지 발산 기능
- 풍하중과 같은 작은 사용하중(service load)에 대한 강성 기능

진동주기에 따른 구조물의 반응력은 그림 1의 가속도 반응Spectrum에 보여지는 것과 같다. 즉 대부분의 지진에 대해 진동주기가 증가됨에 따라 구조물의 반응력은 감소하게 된다. 즉 기초분리장치에 의해 구조물의 진동주기가 늘어나게 되고 따라서 반응력도 감소하게 된다. 그러나, 진동주기의 증가로 인한 구조물의 유연성에 따라 상대적인 처짐이 증가하게 된다(그림 2). 이러한 처짐의 증가는 부가적인 Damping을 도입함으로써 방지된다(그림 1, 2). 또한 구조물이 강한 지진하중에 대한 유연성도 필요한 반면 바람과 같은 사용하중에 진동하는 것도 바람직하지 않으므로 이러한 사용하중에 대해서는 높은 강성을 가져야 한다.

이러한 특성을 가진 기초분리장치로 가장 보편적으로 사용되는 것이 Lead Rubber Bearing(LRB)이

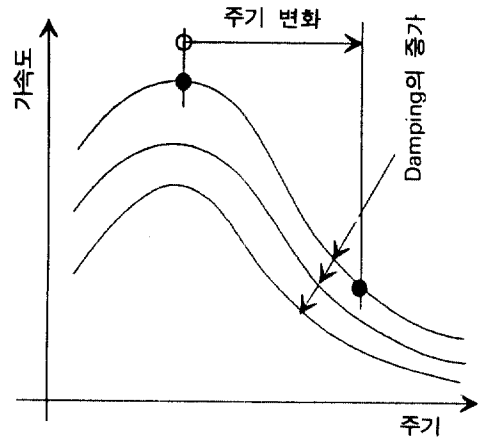


그림 1. 가속도 반응 Spectrum

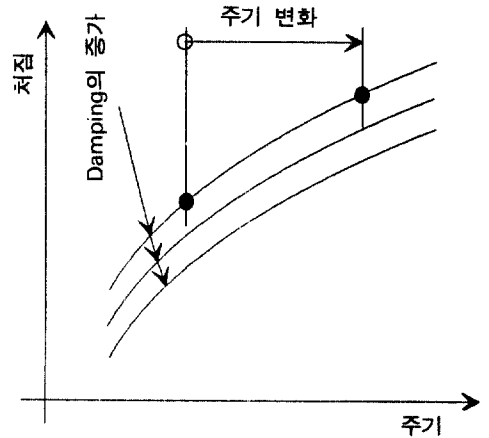


그림 2. 처짐 반응 Spectrum

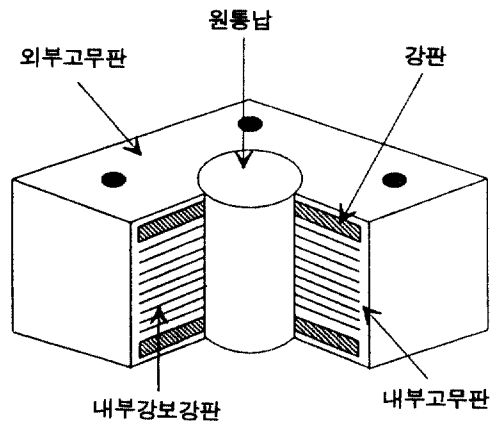


그림 3. 대표적인 Lead Rubber Bearing

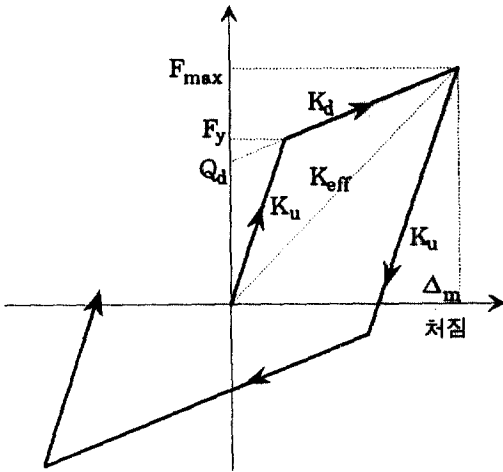


그림 4. Lead Rubber Bearing의 힘-처짐 곡선

다. 이 LRB는 그림 3에 보이는 것과 같이 원형(혹은 정방형) 단면의 고무판과 강판을 번갈아 두고 가운데 원통형의 납을 삽입시켜 일체를 이루도록 한 구조로 고무의 탄성과 납의 소성을 결합시켜 작용도록 한 장치이다. 이 장치의 힘-처짐관계는 그림 4에 보이는 것과 같다. 이 관계는 이중선형으로 초기강성(K_u)은 납의 강성에 의한 것이며 납이 항복한 후의 강성(K_d)은 고무의 탄성에 의한 것이다. 이 장치의 특성값들(K_u , K_d , Q_d)은 LRB의 높이 및 원통납의 지름에 따라 바뀌며 일반적으로 그림 5에 보이는 것과 같다. 이 LRB는 설치하기가 용이하며 긴급시 교체 및 복구가 용이하기 때문에 널리 이용되는데 특히 교량의 보강에 대해서는 기존 Bearing을 LRB로 쉽게 교체할 수 있는 장점을 갖고 있다.

3. 기초분리된 교량의 모델

교량의 설계시 지진의 영향은 횡방향(통행방향 및 이의 직각방향)의 처짐 및 교각의 전단력으로 고려하게 된다. 이 연구에서는 교량 상부구조의 횡방향에 대한 변위는 무시하고 교각은 비선형 운동을 하는 Spring으로 가정하였다. 기초분리된 교량의 모델은 기초분리장치의 위치에 따라 달라지는데 크게 두가지 형태가 가능하다. 한가지는 기초분리장치를 교대상부와 교각의 상부에 설치하는 것이고 또 한가지는 교대상부와 교각의 하부에 설치하는 것이다. 이 연구에서는 교각상부에 설치하는 경우에 대해서 연구하였으며 그 모델은 그림 6과 같다.

교각의 Spring은 비선형으로 거동되어지며 이의 힘-처짐관계는 강성저하를 고려한 Q-HYST 모델

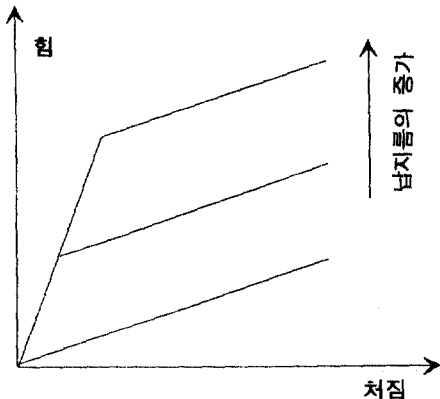
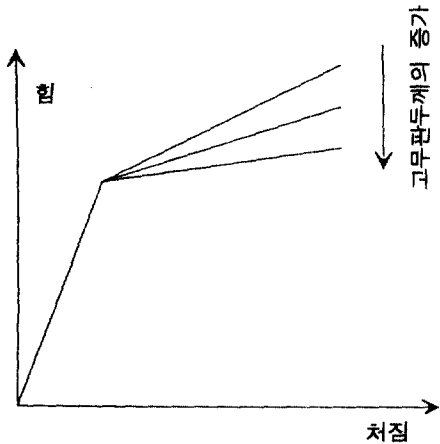


그림 5. LRB의 높이 및 납지름에 따른 LRB 강성의 변화

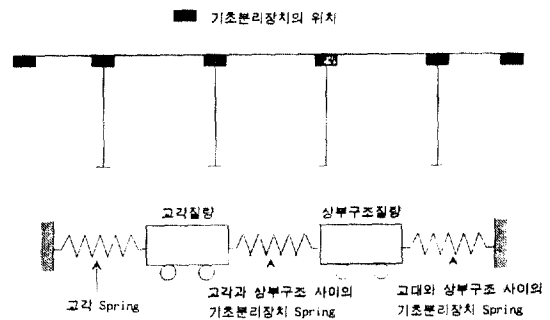


그림 6. 기초분리장치의 위치 및 단순화된 교량 모델

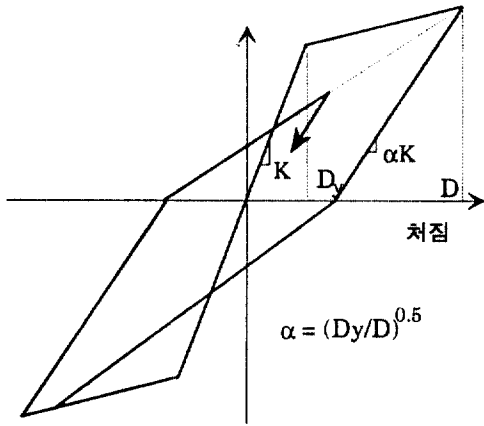


그림 7. 교각의 힘-처짐 곡선(Q-HYST 모델)

을 사용하였다(그림 7). 이 모델은 Saïidi⁽³⁾에 의해 개발된 것으로 이의 거동은 4가지 원칙에 따라 정해지는데 자세한 내용은 문헌을 참고 바란다. 기초 분리장치는 제2절에서와 같이 이중선형 거동을 하는 Spring으로 모델되어진다. 교각의 질량은 편의상 전 질량의 반만 고려하였으며 상부구조는 전 질량이 고려되었다.

4. 비선형 시간이력 해석 Program

그림 6에 보이는 것과 같은 교량모델에 대해 차량통행방향으로 운동방정식이 세워지며 이의 수치해석으로는 Newmark β방법이 이용되었다. 해석 시간간격은 0.001초로 하였다. 이 연구에 사용된 지진은 1940년에 발생한 El Centro 남북방향 지진을 최대가속도 0.7g로 변환시켜 사용하였다. 이 최대가속도는 매우 큰 값이기는 하나 본 연구에서 예로 든 교각이 매우 안전측으로 설계되어 있는 점을 고려하여 교각의 연성효과를 잘 나타내기 위한 목적으로 사용하였다.

수치해석으로부터 상부구조 및 교각상부의 처짐과 기초분리장치의 힘-처짐 곡선을 구할 수 있으며 교각 전단력은 Spring의 힘으로부터 구할 수 있다. 그림 8에서 NS방향 El Centro 지진의 가속도 성분, 고정단(FIX)이 설치된 경우, 종래의 Bearing과 유사한 납이 없는 Bearing(15D00)이 설치된 경우와 LRB(15D75)가 설치된 경우의 상부구조 및 교각상부 처짐의 시간 이력곡선을 보여주고 있다. 그림 9에

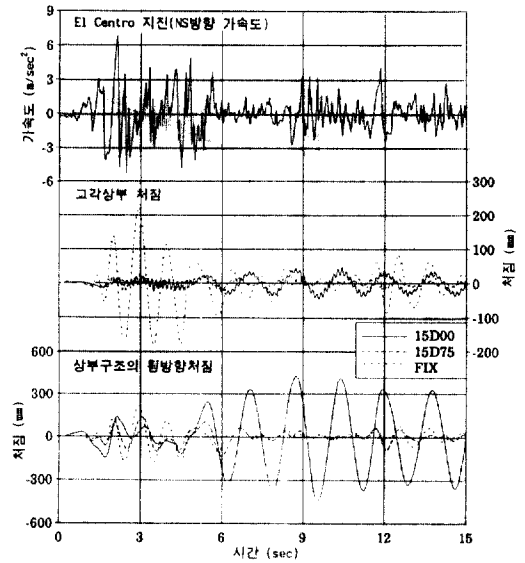


그림 8. El Centro 지진(NS방향 가속도), 교각상부 및 상부구조의 처짐

15D00: 고무판두께 150 mm, 납없는 LRB

15D75: 고무판두께 150 mm, 납지름 75 mm LRB

FIX: 고정단

서는 LRB를 사용한 경우의 기초분리장치와 교각의 힘-처짐 곡선들을 보여주고 있다.

5. 해석예 및 결과

본 연구를 위하여 선택된 교량은 미국 네바다주에 소재하는 Rose Creek Bridge로 총 상부구조무게는 11320 kN, 한 교각의 무게는 420 kN이며 교각의 Q-HYST 모델의 특성값들은 표 1과 같다. 기초분리장치는 여러형태의 LRB를 사용하였으며 그 제원 및 특성값은 표 2에 보이는 것과 같다.

LRB의 고무판의 총두께와 원통납의 지름에 따른 상부구조 횡방향 처짐, 교각연성(Pier Ductility) 및 교각 전단력이 그림 10에 보여지고 있다. 고무판의 총두께는 LRB의 높이를 나타내는데 더 높을수록 더 유연한 성질을 가지며 따라서 이를 사용한 구조물의 진동주기도 늘어나게 된다. 또한 그림에서 Lead D=0은 납을 사용하지 않은 경우를 나타내고 있다.

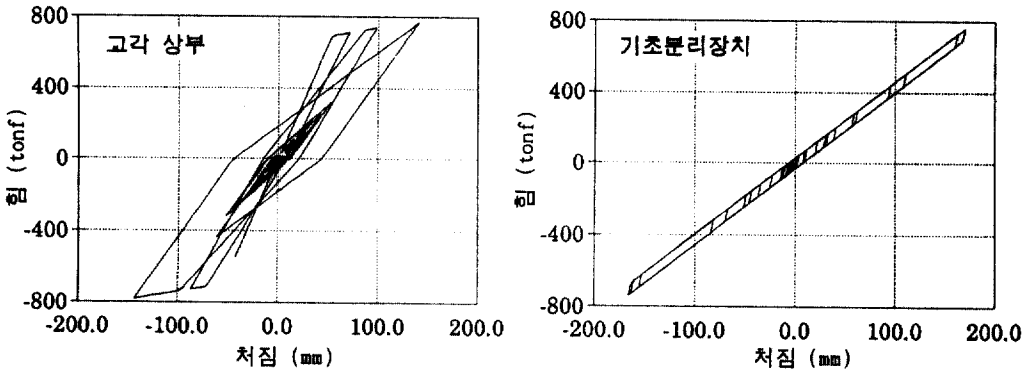


그림 9. 교각 및 기초분리장치의 힘-처짐 곡선

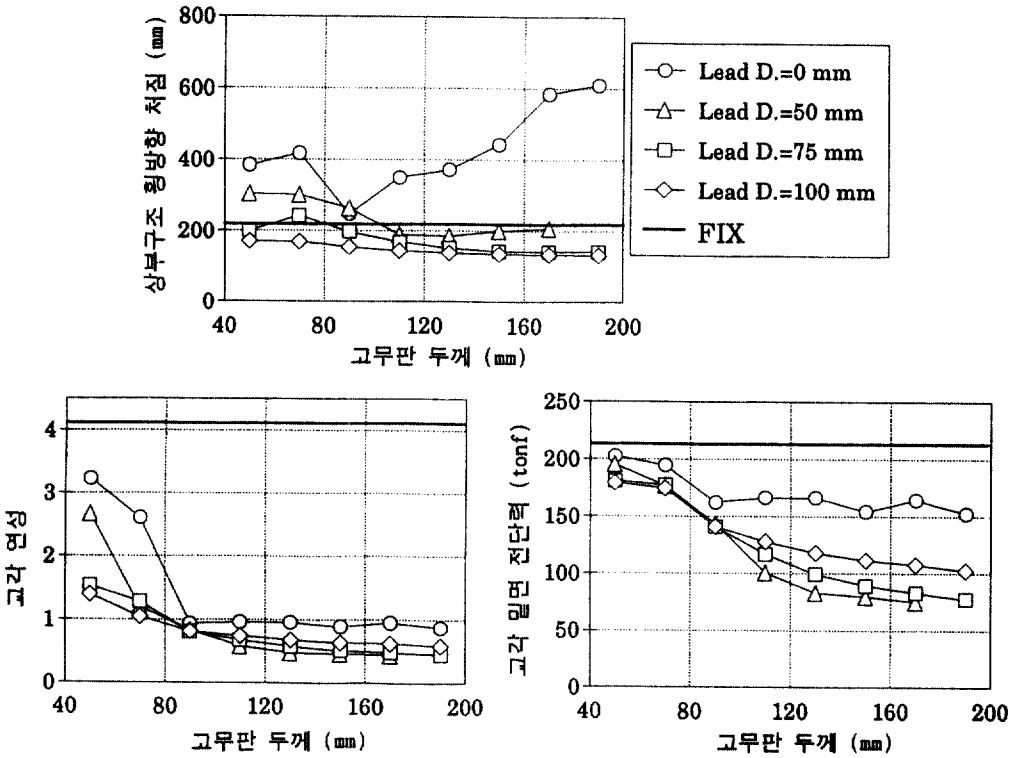


그림 10. LRB 고무판 두께의 증가에 따른 상부구조 횡방향 처짐, 교각 연성 및 교각 밀면 전단력

그림에서 Bearing 고무판 총두께의 증가에 따라 납을 사용하지 않은 경우(Lead D=0)에 상부구조 처짐은 증가하는 반면 LRB의 경우에는 거의 일정함을 보여주고 있다. 또한 납의 지름이 증가함에 따라 처짐은 감소함을 보여주고 있다. 이는 주기하중에 따른 기초분리 장치의 에너지 발산에 기인하는

것으로 사료된다. 반면에 교각 연성이나 전단력은 고무판두께의 증가에 따라 감소함을 나타내고 있다.

한편 교각과 상부구조 사이에 고정단을 설치한 경우(FIX)에는 교각연성이 4.05, 교각밀면전단력이 213.6 ton, 상부구조횡방향처짐이 218 mm로 교각연성 및 밀면전단력이 LRB가 설치된 경우보다 불리

표 1. Rose Creek Bridge 교각의 Q-HYST모델 특성값

항복처짐 (d_y)	53.69 mm
항복강도 (F_y)	1707.54 kN
초기강성 (K_0)	52.11 kN/mm
항복 후 강성 (K_d)	9.44 kN/mm

표 2. 여러 LRB들의 특성값

고무판 두께(mm)	원통납 지름(mm)	F_y (kN)	K_0 (kN/mm)	K_d (kN/mm)
50	0	-	1.76	-
70	0	-	1.25	-
90	0	-	0.98	-
110	0	-	0.80	-
130	0	-	0.68	-
150	0	-	0.59	-
170	0	-	0.52	-
190	0	-	0.46	-
50	50	17.3	13.71	2.11
70	50	17.3	9.75	1.50
90	50	17.3	7.60	1.17
110	50	17.3	6.18	0.95
130	50	17.3	5.22	0.80
170	50	17.3	4.55	0.70
50	75	38.9	16.31	2.51
70	75	39.1	11.63	1.79
90	75	39.2	9.03	1.39
110	75	39.3	7.41	1.14
130	75	39.4	6.24	0.96
150	75	39.5	5.40	0.83
170	75	39.6	4.82	0.74
190	75	39.8	4.26	0.66
50	100	69.5	20.15	3.10
70	100	69.6	14.35	2.21
90	100	70.0	11.20	1.72
110	100	70.3	9.10	1.40
130	100	70.7	7.73	1.19
150	100	71.2	6.63	1.02
170	100	71.5	5.91	0.91
190	100	72.0	5.20	0.80

함을 알 수 있다(그림 8, 10).

6. 결 론

이상의 해석으로부터 다음과 같은 결론을 유도할 수 있다.

- 종래의 고정단 대신 LRB를 쓰는 경우 교각연성 및 교각전단력이 상당히 유리하다.
- 납의 크기가 증가함에 따라 상부구조 처짐은 감소한다.
- 고무판 두께가 증가함에 따라 교각연성과 전단력은 감소하나 상부구조 처짐은 거의 일정하다.

따라서 LRB를 설치할 경우 교각의 내진성능이 향상됨은 자명하다. 국내에서 기초분리방법을 실용화하기 위해서는 범용해석 program의 개발, 기초분리장치의 개발 및 실험과 시방서의 표준제정 등이 필수적인 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Buckle, I.G. and Mayes, R.L., "Seismic Isolation: History, Application, and Performance—A World View", *Earthquake Spectra*, Vol. 6, No. 2, 1990, pp. 161~201.
2. Dynamic Isolation System, "Seismic Isolation and Energy Dissipation—Implementation in Bridge Analysis and Design", DIS Inc., Berkeley, 1990.
3. Saiidi, M., "Hysteresis Models for Reinforced Concrete", *ASCE Journal of Structural Division*, Vol. 108, No. ST5, May, 1982, pp. 1077~1087.

(接受 : 1992. 12. 21)