

기초분리설계를 위한 탄성받침의 동적거동

Dynamic Behaviour of the LRB for Seismic Isolation Design

임 정 순*

Im, Jung-Soon

이 희 목**

Lee, Hee-Mok

Abstract

Judging from the occasional occurrences of minor and major earthquakes in Korean peninsula, it is generally considered that Korean peninsula is not located in safe zone from earthquake any more. The worldwide damages from earthquake in public buildings such as bridges are also urging the necessity for an appropriate earthquake proof action. The elastomeric bearings have been used in seismic isolation design of bridges, and elastomeric bearings are quite ideal ones which allow movement and rotation in all directions without restraining superstructure. Within the limits of this study on dynamic behavior of the LRB for seismic isolation design, the reasearch results revealed that the Laminated Rubber Bearing(LRB) is useful in bridges for seismic isolation design. In addition, the relationship between the shape factor and compressive strength is linear. It was also found that the compressive strength gets higher as the shape factor increases.

Keywords : seismic isolation, LRB, shape facto

1. 서 론

연간 전세계적으로 지진발생빈도는 평균적으로 규모 8이상이 2회, 규모 7이상이 20회, 규모 6이상이 100회, 규모 5이상은 3000회 정도 발생하는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 우리나라는 지각변동이 비교적 활

발한 판 경계면에서 떨어진 판 내부에 위치하므로 상대적으로 안전하다고 볼 수 있으나, 판 내부에는 큰 지진이 자주 발생하지 않기 때문에 경각심이 낮아지고 대비가 소홀해 지므로 중간규모 이상의 지진이 인구 밀집지역이나 대규모 도시에 발생한다면 우리가 예측할 수 없는 지진피해가 우려된다.

* 경기대학교 건설공학부 토목공학과 교수, 정회원

** 경기대학교 대학원 박사과정, 정회원

• 본 논문에 대한 토의를 2000년 9월 30일까지 학회로 보내주시면 2000년 10월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

지진으로부터 구조물을 안전하게 보호하는 방법으로는 부가적인 구조재료나 요소 등을 추가하여 구조물의 허용하중을 증가시키는 기법인 보강(strengthening)에 근거를 둔 내진설계¹⁾와 구조물과 지진하중원 사이에 격리장치를 설치하여 구조물에 전달되는 하중자체를 줄이는 기법인 격리(isolation)에 근거를 둔 기초분리설계⁶⁾로 대별되며, 기초분리설계에서 구조물의 지진력을 감소시키는 방법으로 주동제어방법과 수동제어방법이 있으나 주동제어방법은 현재로서는 실용화가 어려운 실정이다. 수동제어방법은 질량효과와 시스템이나 댐퍼를 이용한 진동제어방식, 기초로부터 전달되는 지진력을 받침에 분리장치를 설치하여 지진력을 저감시키는 기초분리방식으로 구별된다.

본 연구에서는 기초분리장치로서 가장 널리 사용되는 적층고무받침(LRB, Laminated Rubber Bearing)을 이용하여, 기초분리장치를 사용하지 않은 비분리교량과 기초분리장치를 사용한 분리교량의 고유주기와 밀면전단력을 비교하여 기초분리교량의 지진력 저감효과를 제시하고, 적층고무받침의 형상계수를 변화시키면서 입력지진파에 의한 LRB의 동적거동을 해석하고 형상계수변화에 따른 압축력, 주기, 밀면전단력 및 받침의 변위의 값들을 제시하고자 한다.

2. 연구방법

LRB는 고무자체 만으로는 팽출현상 때문에 고무의 상하면에 보강재를 접합하고 고무층 사이에 보강재를 삽입하여 내하력을 증가시킨 받침으로 고무층의 두께를 20cm 단면적을 3,600cm²으로 하였다. 3경간 연속보에 분리장치를 설치하지 않은 일점고정교량(비분리 교량)과 LRB를 설치한 다점고정교량(분리교량)에 지진파를 입력시켜 동적해석을 하고, LRB의 폭과 길이를 변화 시켜 형상계수를 9.36, 9.24, 9.00, 8.46, 8.28 및 7.50으로 하여 동적해석을 하였다.

지진하중에 의한 수평력의 구조시스템은 단자유도 해석으로 모델링 하였고, 구조물의 감쇠비는 $\xi=0.05$

로 가정하였다. 탄성지진응답계수는 1994 UBC Spectrum을 이용하였으며, 입력지진파로는 1940년 5월 8일 Imperial Vally지진(일명 : El Centro 지진, 최대지반가속도 0.35g)의 N-S성분을 사용하였다. 해석에는 구조해석 범용프로그램인 SAP2000을 이용하여 해석을 수행하였다.

3. 분리장치교량의 거동

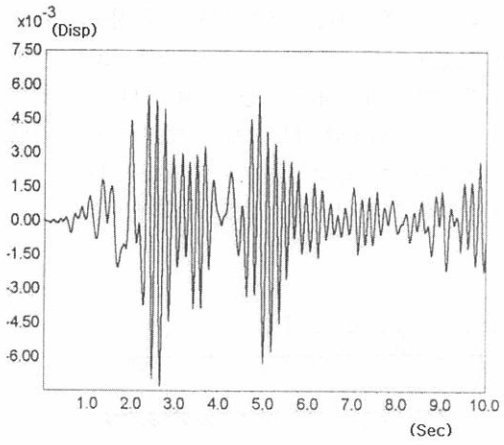
대상구조물로는 3경간연속 강상형 상부구조(3@30m = 90m)와 철근콘크리트원형 ($\phi=2m$)교각을 갖는 하부구조로 하고, 비분리교량은 두 번째 교각 상단을 회전지점으로 하고 나머지 교각에는 이동지점을 설치하여 동적해석을 하고, 분리교량은 모든 교각 상단에 LRB를 설치하여 동적해석을 하였다. 해석결과는 Fig. 1, 2와 같으며 분석결과 Table 1과 같다.

Table 1에서 알 수 있듯이 비분리교량에 비하여 분리교량의 주기는 장주기화되고, 밀면전단력도 현저히 감소함을 알 수 있다.(비분리교량은 두 번째 교각 하나가 밀면전단력을 부담하지만 분리교량에서는 모든 교각이 부담하므로 실제 밀면전단력은 32.9tf이다.)

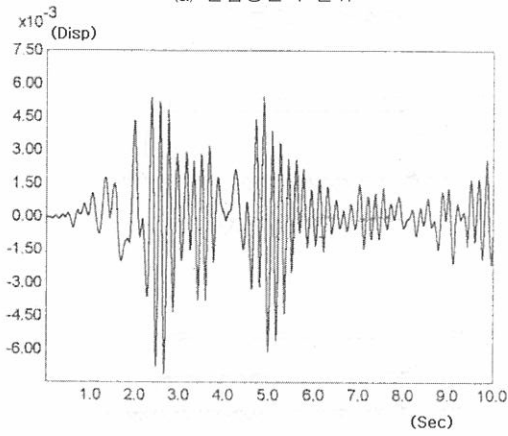
또, 교각상단의 교축방향변위와 받침의 변위를 비교하면 비분리 교량의 경우에는 변위가 거의 없어 지진력에 의한 지반가속도가 그대로 상부구조에 전달됨을 알 수 있으나 분리교량에서는 받침의 변위(36.4%)에 의하여 지진력이 상당히 저감됨을 알 수 있으며, 적층고무받침이 지진시 상당히 효과적이라는 것이 관찰되었다.

Table 1 비분리교량과 분리교량

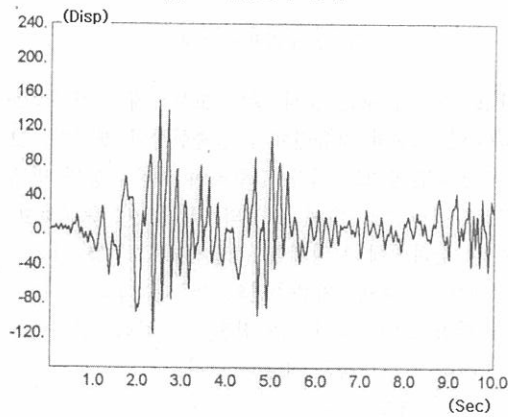
구 분	주기(sec)	밀면전단력(tf)	교각상단 변위(cm)	받침상단 변위(cm)
비분리교량	0.186	150.1	0.537	0.551
분리교량	0.604	131.5	0.221	7.507



(a) 받침상단의 변위

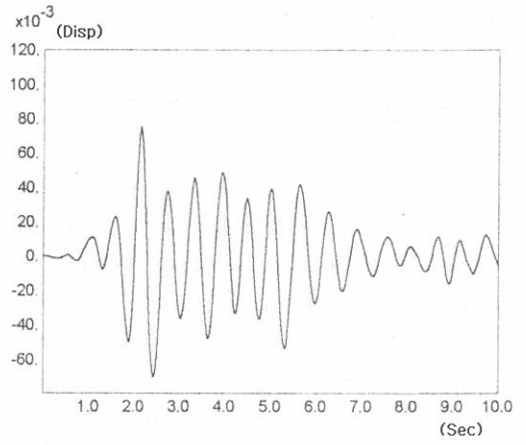


(b) 교각상단의 변위

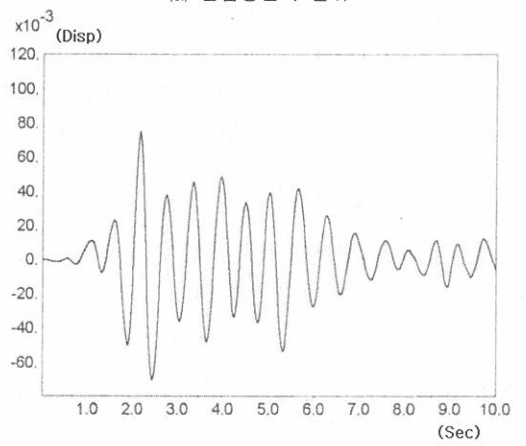


(c) 밀면전단력

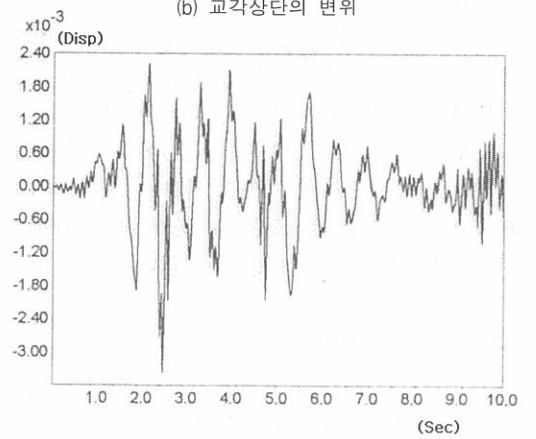
Fig. 1 비분리교량의 거동



(a) 받침상단의 변위



(b) 교각상단의 변위



(c) 밀면전단력

Fig. 2 분리교량의 거동

4. 탄성받침

4.1 탄성받침에 대한 규정(KS F 4420)

탄성받침은 인조고무 또는 천연고무로 만든 고무받침(Plain elastomeric bearing pad)과 고무의 팽출현상(Bulging)을 억제하고 내하력을 증가시키기 위해 한 개 이상의 강판과 탄성 중합체가 교대로 보강되어 블록화 된 탄성받침(Elastomeric bearing)과 한 개 이상의 강판이 경화시 고무와 화학적으로 결합된 내부적으로 보강된 적층고무받침(Laminated rubber bearing)으로 구별된다.⁵⁾

강도와 변형계산에 있어 적층고무받침의 형상을 표현할 수 있는 수단으로 형상계수(Shape Factor, SF)를 사용하며 구멍을 포함한 힘의 자유표면적과 탄성 슬랩의 유효 평면적비로서 다음 식과 같다.

$$SF = \frac{A}{l_p \cdot t_e} \quad (1)$$

여기서, A : 받침의 유효 단면적

l_p : 받침의 유효 길이

t_e : 고무층의 유효 두께

이며, 보강고무받침의 경우 하중을 받는 면의 넓이는 내부 보강판의 순면적으로 하며, 각 고무층의 형상계수는 5보다 크고 12보다 작아야 한다. 사하중과 활하중에 의한 탄성받침의 평균압축응력은 56kg/cm^2 이 높고, 사하중에 의한 평균압축응력은 35kg/cm^2 을 넘어서는 안된다. 온도변화에 의한 지점의 이동량은 탄성받침 유효 고무두께의 50%를 넘어서는 안되며 허용전단변형은 70%로 하고, 고무의 경도는 50, 60, 70 세가지를 표준으로 하되 경도 70인 고무는 보강고무받침에는 사용할 수 없다.²⁾

4.2 탄성받침의 기능

강재받침은 상부구조물의 신축이나 회전을 활동이나 구동마찰에 의하여 대응하고 있으나 탄성고무받침은 상부구조물의 변형을 고무의 유연성에 의한 변

형에 의하여 흡수한다. 탄성고무받침에 사용되는 고무의 탄성계수는 상당히 작으므로 상부구조물의 변형에 대하여 강재받침의 이동지점과 거의 같은 정도로 변형한다. 탄성받침의 고무 두께를 적절히 선택하면 지진에 의한 수평하중을 하부구조에 분산 시키거나 적당한 크기로 분배시킬 수도 있다.⁴⁾

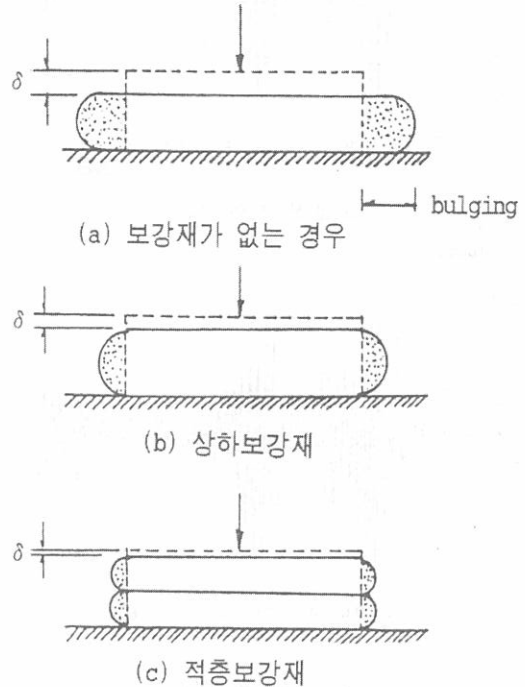


Fig. 3 보강재의 효과

Fig. 3에서 보는 것과 같이 고무판에 수직하중을 재하하면 고무의 자유면에서 팽출현상이 생기며, 고무의 상하면에 보강재를 접합하여 팽출현상을 방해하면 수직하중에 대해 고무의 내하력이 증대하고, 고무의 상하면에 보강재를 접합하고 고무층 가운데 보강재를 삽입하면 자유측면의 만곡은 더욱 더 방해받아 받침으로서 내하력은 점점 증가한다. 탄성받침이 지지하는 수직력은 다음과 같다.

$$V = A \cdot \delta \quad (2)$$

지진에 의해 탄성받침에 수평변위가 생길 때 작용하는 수평력은 다음과 같다.

$$H = \frac{A \cdot G \cdot \Delta}{\sum t_e} \quad (3)$$

여기서, H : 지진에 의한 수평력

A : 탄성받침의 유효 단면적

G : 고무의 전단탄성계수

Δ : 탄성받침의 수평변위

$\sum t_e$: 탄성받침의 유효 고무층 두께

이다. 탄성받침은 회전에 대해서도 고무의 탄성이 흡수 하며, 이때 탄성고무 받침은 전체면적으로 하중을 지지하며 단부에서 부상이 일어나지 않아야 하므로 압축변형량 (δ)이 탄성고무 받침의 회전변형량보다 커야 하므로 다음과 같은 식이 된다.

$$\sum a_e \cdot \frac{a}{2} < \delta \quad (4)$$

여기서, $\sum a_e$: 탄성고무받침의 총 회전각

a : 탄성고무받침의 길이

이다.

5. 해석 및 고찰

5.1 형상계수와 압축력

탄성받침의 소요면적은 상시지압에 의한 면적과 지진시 전단변형에 의한 면적중 큰값으로 해야한다. 상부구조물의 반력에 의한 상시지압에서의 탄성받침 소요면적은

$$A > \frac{R}{\sigma} = 2,678\text{cm}^2$$

이고, 지진시 수평하중에 의한 전단변형에서의 탄성받침 소요면적은

$$A > \frac{A \cdot R}{\gamma \cdot G} = 3,268\text{cm}^2$$

이므로 소요면적은 $3,268\text{cm}^2$ 이다.³⁾

따라서 탄성받침의 유효단면적을 $3,600\text{cm}^2$ 로 하고 형상계수를 Table 2와 같이 변화 시켰다.

Table 2에서 상시 상부구조물에 의한 압축력은 형상계수의 변화와 아무런 관계가 없으나, 온도변화

에 의하여 교축방향으로 50%의 변형이 생기면 상부구조물에 의한 유효 지압면적과 평균압축력은 Table 3과 같으며, 온도변화에 의한 교축방향 변형과 동시에 지진에 의하여 교축직각방향으로 70%의 변형이 생기면 상부구조물에 의한 유효 지압면적과 평균압축력은 Table 4와 같이 나타난다.

Table 2 받침치수와 형상계수

a×b	a/b	형상계수	압축력(tf)
60×60	1.00	9.36	201.6
72×50	1.44	9.24	201.6
80×45	1.78	9.00	201.6
90×40	2.25	8.64	201.6
100×36	2.78	8.28	201.6
120×30	4.00	7.50	201.6

Table 3 일방향 유효면적과 압축

형상계수	b'	a×b'	압축력(tf)
9.36	55.2	3312	185.5
9.24	45.2	3254	182.2
9.00	40.2	3216	180.1
8.64	35.2	3168	177.4
8.28	31.2	3120	174.7
7.50	25.2	3024	169.3

Table 4 이방향 유효면적과 압축

형상계수	a'	b'	a'×b'	압축력(tf)
9.36	53.28	53.28	2839	159.0
9.24	43.28	65.28	2825	158.2
9.00	38.28	73.28	2805	157.1
8.64	33.28	83.28	2772	155.2
8.28	29.28	93.28	2731	152.9
7.50	23.28	113.28	2637	147.6

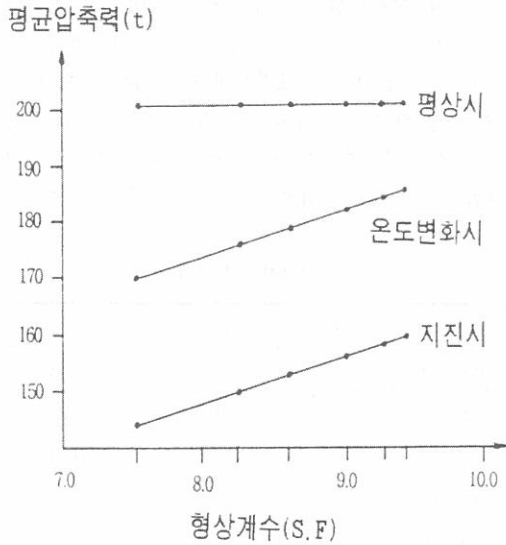


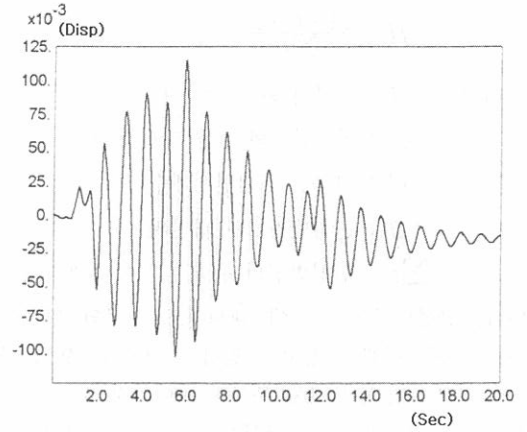
Fig. 4 압축력과 형상계수

계산된 평균압축력과 형상계수(S.F)를 도시하면 Fig. 4와 같다.

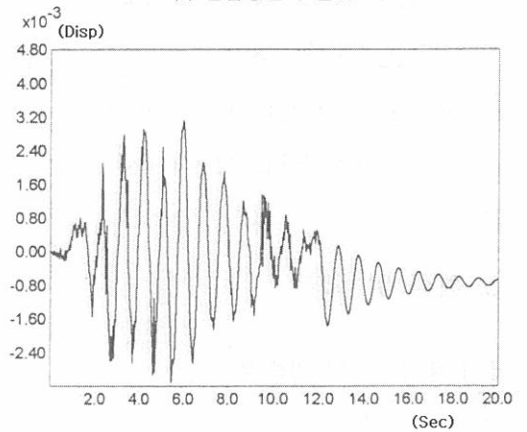
Fig. 4에서 보는 것과 같이 상시 상부구조물에 의한 압축력은 형상계수의 변화와 아무런 관계가 없으나, 온도에 의한 교축방향의 변형시 형상계수의 증가에 따라 압축력도 선형적으로 증가 함을 알 수 있으며, 온도에 의한 교축방향의 변형과 동시에 지진에 의한 수평력에 의한 교축직각방향으로 변형시 형상계수의 증가에 따라 압축력도 선형적으로 증가 함을 알 수 있다.

5.2 형상계수에 따른 동적거동

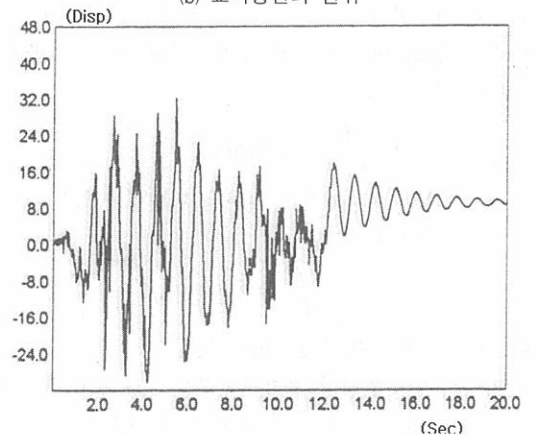
대상구조물의 두 번째 교각에 대하여 비분리교량과 분리교량의 동적해석을 하고, 분리교량에서는 받침의 치수를 60cm×60cm, 72cm×50cm, 80cm×45cm, 90cm×40cm, 100cm×36cm 및 120cm×30cm로 변환시키면서 동적해석을 수행하였다. 비분리교량의 거동과 분리교량의 거동은 Fig. 5와 Fig. 6에 나타나 있으며, 형상계수에 따른 주기, 밀면전단력, 교각상단의 변위, 받침상단의 변위 및 LRB의 변형율은 Table 5와 같다.



(a) 받침상단의 변위

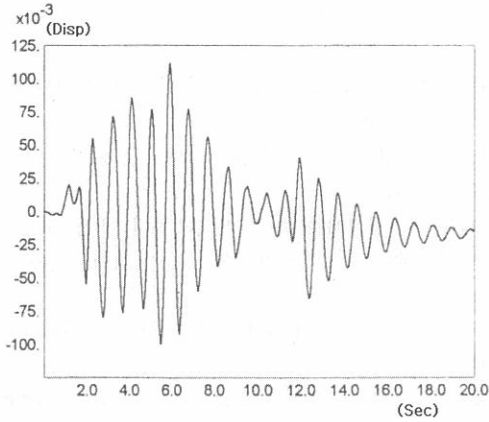


(b) 교각상단의 변위

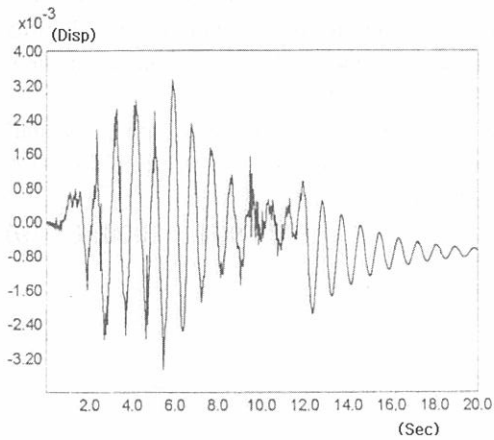


(c) 밀면전단력

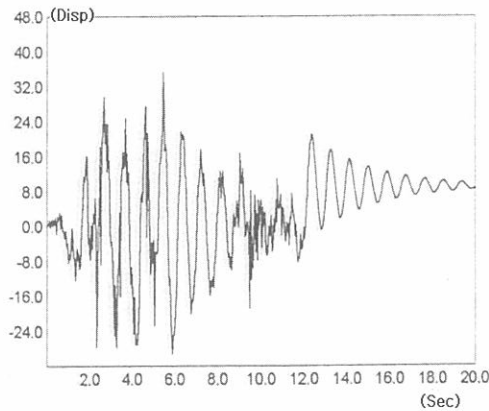
Fig. 5 S.F=9.36 일 때 교량의 거동



(a) 받침상단의 변위



(b) 교각상단의 변위



(c) 밀면전단력

Fig. 6 S.F=7.50 일 때 교량의 거동

Table 5 형상계수와 LRB의 거동

S.F	주기 (sec)	밀면 전단력	교각상단 변위	받침상단 변위	변형률 (%)
9.36	0.9142	28.93	0.3011	11.53	56.14
9.24	0.8991	32.55	0.3117	11.49	55.89
9.00	0.8925	33.39	0.3147	11.42	55.53
8.64	0.8865	34.23	0.3168	11.30	54.92
8.28	0.8822	34.72	0.3240	11.28	54.78
7.50	0.8766	35.19	0.3312	11.17	54.19
비분리	0.1776	74.15	0.6910	0.714	0.12

형상계수가 증가함에 따라 1차 모드에서의 주기도 증가함을 알 수 있고, 밀면전단력도 점차적으로 커지는 것을 관찰 할 수 있다. 교각상단의 변위는 형상계수의 증가에 따라 조금씩 감소되는 것을 알 수 있으며 이는 탄성고무받침의 유연성에 의한 현상이며, 받침상단의 최대변위는 형상계수의 증가에 따라 점차적으로 증가하며, 지진종료후 받침상단의 변위는 Fig. 5와 Fig. 6에서 보듯이 형상계수의 증가에 따라 미소하게 감소하는 것이 관찰되었으며, 고정받침에 비하여 변형율은 증가하나 이는 감쇠를 크게 함으로서 어느 정도 제한 할 수 있다. 따라서 LRB를 사용한 분리교량은 교량에 작용하는 수평지진력을 감소시키는데 상당히 효과적이라는 것을 알 수 있다.

6. 결론

지진에 의해 생기는 수평력을 줄일 수 있는 방법으로는 상부구조의 경량화, 단경간화 및 하부구조의 재질변경 등을 고려할 수 있으나 교량의 유지관리, 차량의 주행성 또는 신축이음장치의 증가 등으로 비합리적이다. 교량의 진동을 경감시키고 자동차의 주행을 향상시키며 장기간의 교량을 가능하게 하는 LRB를 사용한 분리장치는 우리나라와 같은 중진지역에 매우 효과적이라는 것이 관찰되었으며 다음과

같은 결론을 얻었다.

- 1) 적층고무받침(LRB)을 사용한 지진분리교량에서의 밀면전단력은 비분리교량에 비하여 현저히 감소한다.
- 2) 형상계수와 평균압축력은 선형관계가 있으며 형상계수가 증가하면 평균압축력도 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 동적해석결과 형상계수가 증가하면 주기도 증가하고, 변위도 증가하나, 밀면전단력은 감소하는 것이 관찰되었다.
- 4) 지진력의 분산기능과 저감기능을 동시에 만족시키는 적층고무받침(LRB)을 사용한 지진분리교량은 견고한 지반 및 기초에 위치한 교량구조물에 사용되어야 하며, 연약지반 상의 교량구조물인 경우는 기초분리장치에 의해 교량구조물의 지진 응답이 증폭될 수도 있으므로 사용시 신중한 검토를 해야한다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, "도로교 표준 시방서," 대한토목학회, 1996, pp759~822
2. 한국도로공사, "도로설계요령 제3권 교량," 1992, pp295~305
3. 이희목, "면진설계를 위한 탄성받침에 대한 고찰," 안양과학대학 산업기술연구소 논문집, 1998, pp105~120
4. 日本道路協會, "道路橋支承便覽," 1997, pp151~162
5. KS F 4420, "Steel-Laminated elastomeric bearing for bridge," 1998, pp1~27
6. U.S Department of Transportation, "Seismic Design And Retrofit Manual for Highway Bridges," Federal Highway Administration, 1987, pp72~78
7. Roy A. Imbsen, James H. Gates, "Seismic Design and Retrofit of Bridges," KICTE, 1998, pp5~6

(접수일자 : 2000. 5. 19)