

LRB 댐퍼 조합형 지진격리장치 개발 및 특성평가실험

Development of Seismic Isolation Device with LRB and Shock Transmission Units and Its Verification Tests

서주원*
Juwon Seo

김남식*
Namsik Kim

임진석**
Jinseok Lim

유문식**
Moonsik Yoo

Abstract

The new seismic isolation system (StLRB) is developed, which can separate non-seismic displacements which come from the thermal expansion etc. in LRB design. The StLRB has 3 components, sliding system (PTFE + stainless plate), LRB (lead rubber bearing) and STU (shock transmit units). In this project, the StLRB is designed to apply to the bridge structure by analyzing the characteristics of each component and also the dynamic behavior of the structure was analyzed by non-linear analysis. The verification test was performed to show the two stages separated by STU units. Test results show the effectiveness of both the separation and the seismic isolation performance.

1. 서론

최근에 많은 교량들이 유지관리와 구조적 장점 때문에 다경간의 연속화 교량으로 설계되고 있다. 다경간 연속교는 신축이음장치를 줄임으로서 유지관리상 유리하고 주행성이 크게 개선되는 장점이 있는 반면, 교좌장치의 설계시 과도한 온도신축을 고려해야 하는 문제점이 있다.⁽⁸⁾ 이것은 LRB(Lead Rubber Bearing)과 같은 지진격리장치의 설계에 있어서 온도하중이 변위검토에 있어서 중요 요소가 되며, 연직하중에 대한 안정성 검토에도 유리하지 않은 결과를 낳고 있다. 특히 우리나라와 같은 중약진 지진대에 온도의 변화가 큰 지역에 있어서는 이러한 현상은 더욱 부각되고 있다.

이러한 문제점을 해결하고자 온도신축이 상대적으로 큰 연속교량의 양단부 쪽의 교좌장치를 상시에는 자유롭게 이동이 가능하게 하고, 지진시에는 격리장치의 역할을 할 수 있도록 개선될

* 현대건설 기술연구소 선임연구원, 책임연구원

** (주)케이알 기술연구소 연구원, 책임연구원

필요가 있다. StLRB는 LRB(Lead Rubber Bearing)와 STU(Shock Transmission Unit)를 결합한 지진격리장치로 상시에는 온도에 의한 자유로운 신축을 허용하고 지진시에는 LRB의 이력거동으로 지진격리효과를 가져오는 교좌장치이다.

2. StLRB 지진격리장치

2.1 구성

StLRB는 아래 그림에 보여지는 바와 같이 PTFE 마찰포트받침 위에 놓인 LRB(Lead Rubber Bearing)와 이들을 연결한 STU(Shock Transmission Unit)3개로 구성되어 있다. LRB는 마찰포트받침 위에 놓여 있어서 온도등에 의한 신축시에는 LRB가 마찰받침 위에서 미끄러지게 된다. STU는 마찰포트받침과 LRB 하단에 각각 연결되어 온도신축과 같은 저속의 이동에 대하여는 자유롭게 움직이나 지진하중과 같은 빠른 이동에는 STU가 하중을 전달하도록 되어 있다.

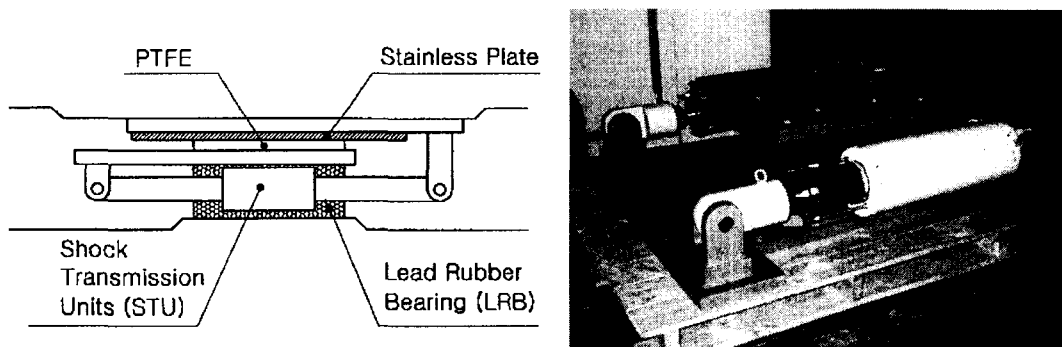
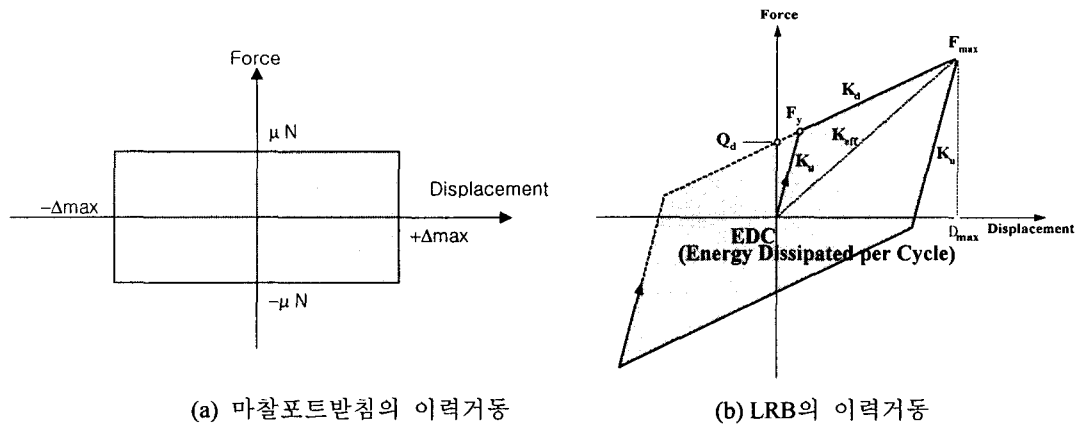


그림.1 StLRB 지진격리장치 구성

STU와 LRB를 조합함으로써 상시에는 LRB가 온도신축에 의한 변형이 유발되지 않고 지진과 같은 일정한 속도 이상의 충격하중에 대하여 STU가 작동하여 이를 하부 구조인 LRB에 전달함으로써 LRB의 거동으로 지진격리 및 감쇠의 효과를 가져올 수 있다.

2.2 이력거동특성

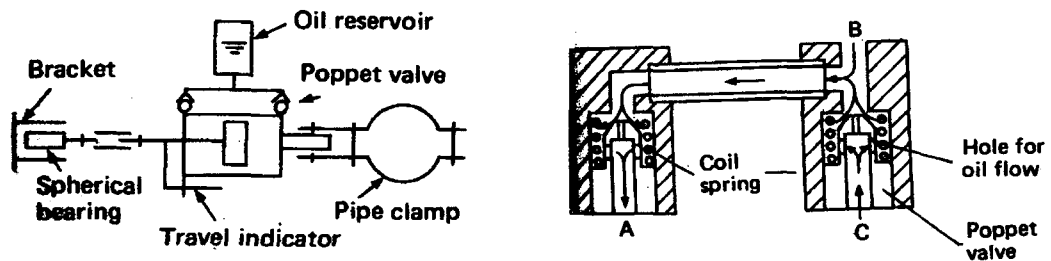


(a) 마찰포트받침의 이력거동 (b) LRB의 이력거동
 그림 2 마찰포트받침과 LRB의 이력거동

PTFE 마찰포트받침은 위의 그림(a)에 나타난 바와 같이 순수한 마찰에 의한 이력거동의 특성을 가지고 있다.⁽¹⁾ 위의 PTFE 받침은 수직력에 따라 마찰계수가 약 20% 정도 변화되며 아래의 식과 같이 수직압력에 따른 마찰계수를 산정하게 된다. 본 시험체의 경우 설계압력을 140kg/cm²로 하였을 경우 약 0.12의 운동마찰계수를 갖게 된다.

$$\mu(P) = 0.145 - 3.7 \times 10^{-4} \times P \quad (\text{식 1})$$

LRB(Lead Rubber Bearing)는 적층고무받침에 납심이 삽입된 지진격리장치로 고무와 납의 항복거동특성으로 위의 그림(b)와 같은 이력거동의 특성을 가진다. LRB는 특성하중(Q_d) 부근까지는 납에 의한 높은 초기강성을 가지고 그 이상의 하중에 대하여는 항복하는 특성을 가지고 있다. StLRB의 경우 PTFE의 마찰력이 LRB의 특성하중보다 낮게 설계되면 상시에는 LRB가 항복거동하지 않고 지진 시에만 항복 거동하게 된다.



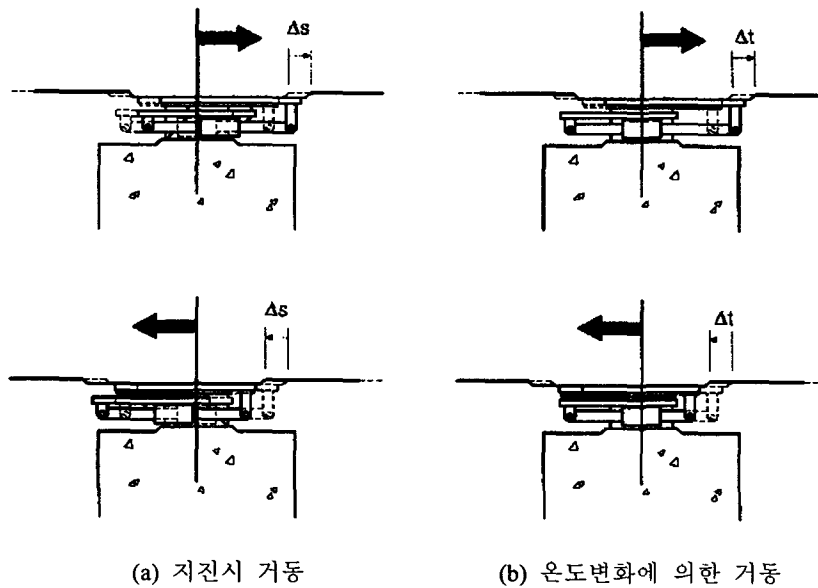
(a) Shock Transmission Unit 작동 개념도 (b) Poppet valve 작동원리

그림 3 STU의 작동원리

STU (shock transmission units)는 일반적인 유압실린더에 Poppet valve 잠금장치가 부착된 유압댐퍼의 일종으로 Poppet valve 는 일정한 속도이하에는 작동유의 이동이 가능하나 그 이상의 속도(통상 1~4mm/sec)에서는 이 밸브가 이동을 차단함으로써 피스톤이 움직이지 않게 되는 특성을 가지고 있다.

2.3 StLRB가 설치된 구조물의 거동

아래의 그림은 StLRB가 교좌장치로 설치된 구조물에 대하여, 지진시(Δs)와 온도신축(Δt)에 의한 거동의 경우를 나타내고 있다. 왼쪽의 경우는 지진시에 STU가 잠금장치 역할을 함으로서 LRB에 의한 지진격리효과가 나타남을 알 수 있다. 오른쪽 그림은 온도변화에 의한 신축시 LRB가 PTFE 마찰받침과 분리되어 거동하는 특성을 나타내고 있다.



(a) 지진시 거동 (b) 온도변화에 의한 거동
그림 4. StLRB가 설치된 구조물의 지진시, 상시의 거동 비교

3. StLRB 해석모델

다음 그림은 StLRB의 동적거동특성을 나타내기 위한 해석모델을 보여주고 있다. 여기서 k_{eff} 와 c_{eq} 는 LRB의 동적특성을 나타내고, μ 와 c 는 STU에 의한 특성을 나타내는 변수이다.

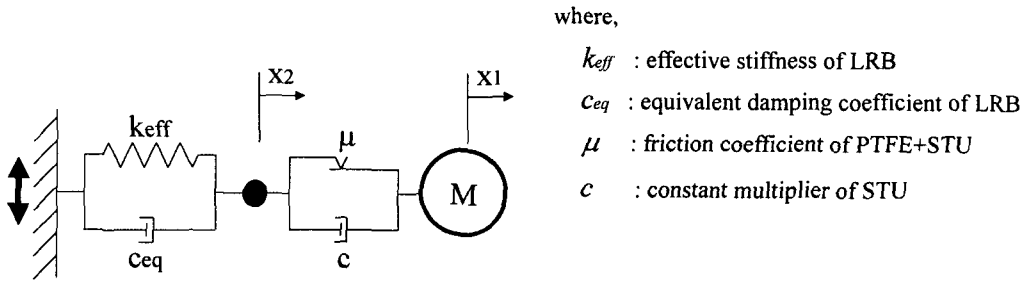


그림 5. StLRB의 동적해석모델

STU의 거동은 아래의 그림과 같이 피스톤의 이동 속도에 따라 급격히 하중전달의 특성이 달라지는 동적거동 특성을 나타내고 있다. 본 시험체의 경우 1.0~2.0mm/sec의 속도 이상에서 급격히 하중이 증가하여 STU에 의한 locking 현상이 나타남을 알 수 있다.

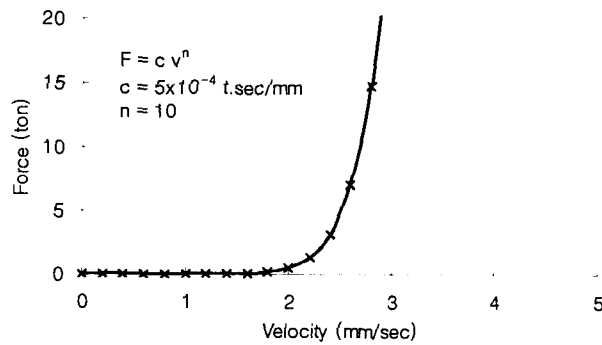


그림 6. Force-Velocity Curve of STU

STU의 하중전달과 속도 및 마찰력의 관계는 다음의 식들로 나타낼 수 있다.

$$f_{STU} = c \cdot v^n \quad (\text{식 3})$$

$$f_{fric} = \mu \cdot N \cdot \text{sign}(v) \quad (\text{식 4})$$

where, n : power number determined by valve device, N : vertical reaction
 v : velocity of piston or relative velocity between x1 and x2

이상을 해석모델을 이용하여 StLRB가 적용된 구조물의 지진시 응답을 계산해 보았다. 최대지반 가속도가 0.314G인 El centro지진(El centro 1940 NS)을 입력지진으로 구한 응답결과가 아래의 그림에 나타나 있다. LRB의 유효강성(k_{eff})과 등가감쇠비(c_{eq})는 각각 2160kg/cm, 263.1

kg.sec/cm 이고, 마찰포트받침의 마찰계수와 상부의 질량은 각각 0.12와 190.4kg.sec²/cm 이다.

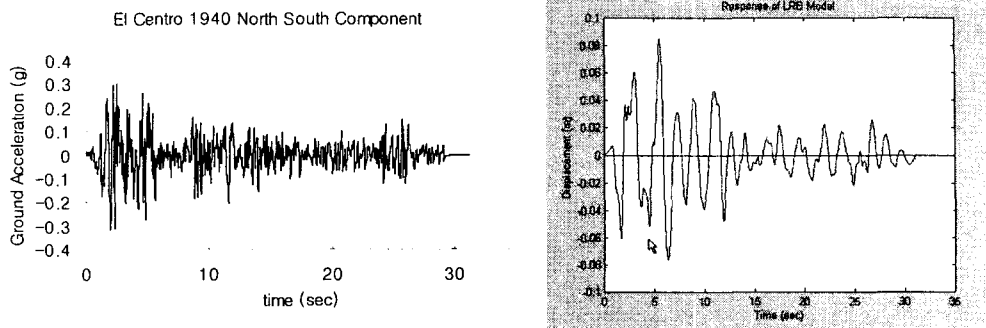


그림 7. 지진하중에 대한 StLRB의 변위응답

4. StLRB 특성실험

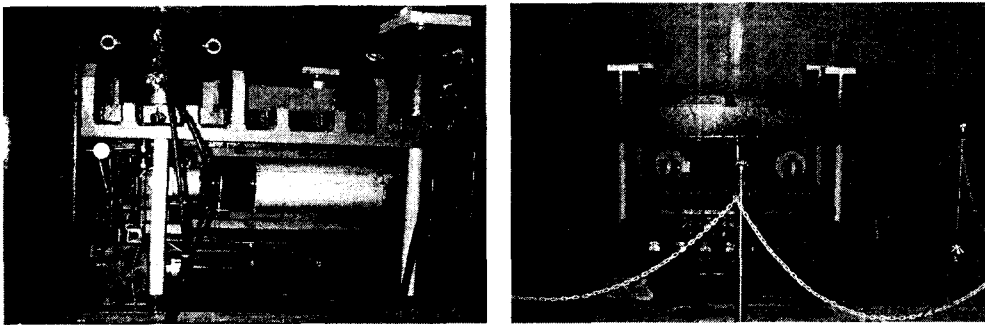
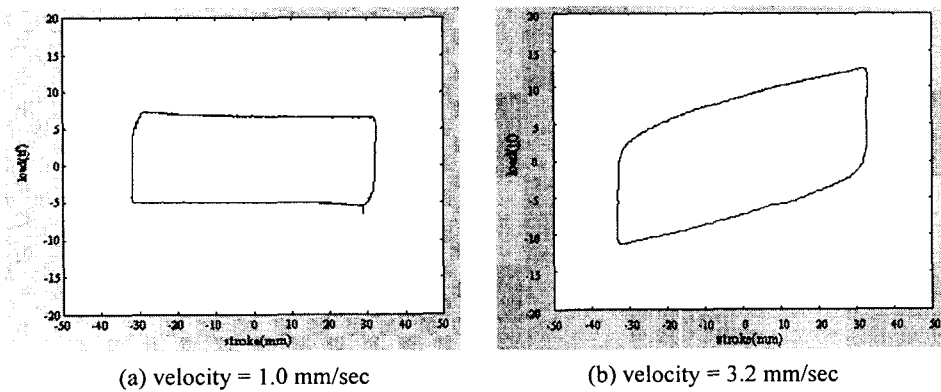


그림 8. StLRB 특성실험장치

StLRB의 거동특성을 분석하기 위하여 수평변위를 속도를 달리하여 가력한 후 응답을 비교해 보았다. 수평가력속도를 1.0mm/sec~8.0mm/sec의 속도로 실험을 수행하였다.



(a) velocity = 1.0 mm/sec

(b) velocity = 3.2 mm/sec

그림 9 StLRB의 정적실험 수행결과

STU의 거동을 평가하기 위한 정적시험 결과 2.4mm/sec 이상의 속도에서 STU locking현상이 발생하며 LRB에 의한 항복이력거동을 볼 수 있었다. 아래의 그래프는 수평가력 속도가 더욱 빠를 경우의 StLRB의 응답을 나타내고 있다. STU의 locking현상 이후의 거동은 일반적인 LRB의 거동과 거의 동일한 것으로 판단된다. 따라서 StLRB가 연속교의 지진격리장치로 사용될 경우 교량의 양단쪽의 온도신축의 상시변위가 큰 교각에서 기존의 LRB를 사용하여 설계하는 것에 비하여 효과적인 시스템으로 판단된다.

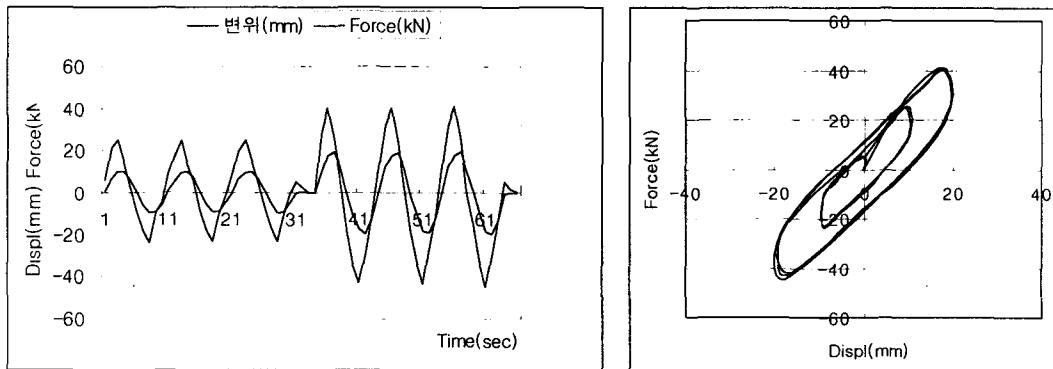


그림 10. StLRB의 하중-변위응답 (velocity=4mm/sec, 8mm/sec)

5. 결론

새로 개발된 StLRB는 LRB(Lead Rubber Bearing)와 STU(Shock Transmission Unit)를 결합한 지진격리장치로 상시에는 온도에 의한 자유로운 신축을 허용하고 지진시에는 LRB의 이력거동으로 지진격리효과를 가져오는 장치이다. STU는 일정한 속도 이하에서는 하중을 전달하지 않고 자유롭게 움직이나 그 이상의 속도에서는 locking 현상이 발생되어 하중을 전달하게 된다. 즉, LRB가 상부구조와 STU를 통하여 연결되어 상시에는 자유롭게 상부구조가 이동하나 지진과 같은 일정 속도 이상의 하중에는 STU에 의한 locking으로 LRB에 의한 지진격리효과를 가져온다.

StLRB의 거동평가를 위한 실험결과 STU 자체의 locking 속도인 2.0mm/sec 보다 약간 높은 2.4mm/sec에서 locking이 발생하였다. 또한, locking현상 이후의 거동은 일반적인 LRB의 거동과 거의 동일한 것으로 본다. StLRB 시스템은 기존의 연속교에서 상대적으로 지진에 의한 변위보다

온도등에 의한 신축량이 더 큰 교량 양단부 가까운 교각의 LRB에 복합적으로 적용함으로써 경제적인 LRB의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

향후, StLRB 시스템에 대하여 실제 지진시의 거동평가를 위하여 작은 용량의 시스템을 이용한 진동대 실험 또는 Real time Pseudodynamic testing 기법의 개발을 기초로 하여 유사동적실험을 통한 응답분석이 연구되어질 필요가 있다고 본다.

참고문헌

- (1) A. Mokha, M. C. Constantinou, A. M. Reinhorn, 1990, "Experimental Study and Analytical Prediction of Earthquake Response of a Sliding Isolation System with a Spherical Surface", Report No. NCEER-90-0020, Nat. Ctr. For Earthquake Engrg. Res., State University of New York at Buffalo, New York.
- (2) Chopra, A. K., 1995, "Dynamics of Structures", Prentice Hall.
- (3) J. H. Mathews, K. D. Fink, 1999, "Numerical Methods Using MATLAB", Prentice Hall International Inc., U.S.A.
- (4) M. C. Constantinou, et al., 1993, "Experimental and Analytical Study of a Friction Pendulum System (FPS)", Technical Report, No. NCEER-93-0020, NCEER, State University of New York at Buffalo.
- (5) M. J. N. Priestley, F. Seible, and G. M. Calvi, 1996, "Seismic Design and Retrofit of Bridges", John Willey & Sons, INC., New York.
- (6) S. Nagarajiah, A. M. Reinhorn, M.C. Constantinou, 1991, "Non-linear Dynamic Analysis of 3-D-Base-Isolated Structures", Journal of Structural Engineering, Vol. 117.
- (7) Soong, T. T., and Dargush, G. F., 1996, "Passive energy dissipation systems in structural engineering", State University of New York at Buffalo.
- (8) 한국도로공사 "지진격리장치의 내진성능평가를 위한 실험적연구", 연구보고서(중간), 2001
- (9) SY YOON, JS LIM, NS KIM, JW SEO, "Development of the StLRB for effective seismic isolation in multi-span continuous bridges", 7th international seminar on seismic isolation, passive energy dissipation and active control of vibration of structures, Assisi, Italy, 2001