

직경이 다른 납을 삽입한 축소규모 면진베어링의 성능특성비교

Study on Performance Characteristics of Reduced-Scale Lead Rubber Bearings with Three Different Diameters of Lead Plugs

유 봉* 이 재 한* 구 경 회**
Yoo, Bong Lee, Jae-Han Koo, Gyeong-Hoi

ABSTRACT

The characteristic tests for the reduced-scale lead rubber bearings are performed with three different diameters of lead plugs. The test frequencies are 0.05Hz and 0.5Hz of the sinusoidal waves. The roles of lead plugs in the behavior of lead rubber bearings are investigated. The shear-deformation characteristic values such as stiffness, damping and yield load values are increased according to the increase of the diameter of lead plugs. The high damping value can be obtained by increasing the diameter of lead plug.

1. 서 론

면진베어링은 그림 1에서 보는 바와 같이 고무와 강판의 교차 적층으로 만들어진다. 액체금속 로용으로 설계된 실규모 면진베어링의 제원은 표 1에 나타낸 바와같이 지름 120cm, 고무 높이 28cm, 설계 축하중 320톤이며, 감쇠계수는 100% 전단변형률에서 12% 이상, 수평 면진주파수는 0.5 Hz, 수직 고유진동수는 21 Hz로 설계되었다. 실 규모 면진베어링에 대한 성능시험은 일반적으로 시험경비의 경제적인 문제와 시험시설 용량의 제한조건 때문에 상사성을 도입한 축소 면진베어링을 1/8 규모로 제작하여 성능시험을 수행한다[1,2,3]. 시험에 사용된 납삽입 면진베어링은 유니슨산업에서 제작하였다. 이는 중앙에 위치하는 납봉과 저감쇠의 천연고무로 제작된다.

고감쇠 면진베어링에서는 고무로 강성과 감쇠 성능을 모두 담당하는데 비하여 납삽입 면진베어링의 중요한 특성으로는 강성과 감쇠 성능을 고무와 납봉이 각각 분담한다. 납삽입 면진베어링의 장점은 감쇠와 강성을 고무와 납이 각각 담당하고 전단변형비(strain rate)에 대한 동특성변화가 작기 때문에 면진베어링의 거동을 예측하기 쉽고, 좋은 피로 특성을 가지고 있으며, 초기 강성이 크기 때문에 1차 면진주파수에서 공진을 줄여준다[4,5]. 본 연구에서는 감쇠를 담당하는 납봉 직경의 크기 변화에 따라 면진베어링의 전단변형시험을 각각 수행하고, 납봉의 크기와 전단변형률에 따른 등가전단강성, 감쇠 및 항복하중특성 등 면진베어링의 성능특성을 비교 분석하였다.

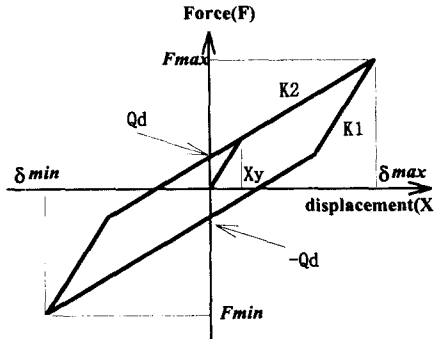
* 한국원자력연구소, 책임연구원

** 한국원자력연구소, 선임연구원

2. 면진베어링 성능특성

면진베어링 설계를 위한 중요 설계변수는 설계축하중, 전단강성, 감쇠값 및 최대 전단변형량 등이다. 수평전단강성은 면진베어링이 지지하는 상부구조물의 질량에 따라 면진구조계의 면진주파수를 결정하는 요소이며, 감쇠계수는 상부구조물로 전해지는 지진에너지 감쇠 성능 나타낸다.

면진베어링의 특성시험 결과로부터 얻는 전단등가강성값(K_{eq})과 등가감쇠계수 (ζ_{eq})는 일반적으로 다음과 같이 정의 된다.



$$K_{eq} = \frac{F_{max} - F_{min}}{\delta_{max} - \delta_{min}}, \quad \zeta_{eq} = \frac{\Delta W}{2\pi K_{eq} \delta_{max}^2}$$

여기서 F_{max} 및 F_{min} 은 면진베어링의 최대 및 최소 전단력이며, δ_{max} 및 δ_{min} 은 면진베어링의 최대 및 최소 전단변위이다. 그리고 ΔW 는 면진베어링의 이력감쇠에 의한 에너지 감쇠량을 나타낸다. 그리고 Qd는 항복하중 특성값을 나타낸다.

3. 면진베어링의 특성시험결과

시험은 천연고무를 사용하고 중심에 납봉이 있는 납삽입형 면진베어링에 대한 것으로 1/8 규모에 대해 가진주파수 0.05 Hz와 0.5 Hz로 25%, 50%, 100%, 150% 전단변형 시험을 수행하였다. 본 연구에서 다루는 1/8 규모의 축소규모 납삽입 면진베어링의 납봉 크기는 27mm, 37mm, 48mm의 3종류로 3종류의 면적비는 1.0 : 1.88 : 3.16이다. 이들은 유니슨산업에서 제작하고, 성능시험은 한국과학기술원의 시설을 이용하였다. 그림 2에는 1/8규모와 1/4규모 고감쇠 및 납삽입형 면진베어링의 제작품들이다.

3.1 전단이력곡선 특성

납봉의 직경이 27mm인 납삽입형 면진베어링에 대한 전단시험이력을 나타낸 그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 전단시험의 초기 이력곡선과 이후의 이력곡선에 차이가 발생되었다. 그림 4에서 그림 7까지는 1/8 규모 납삽입형 면진베어링의 각 전단변형시험의 3번째 이력곡선을 나타낸 것으로 전단변형량이 150% 이내인 관계로 고무의 경화특성이 발생되지 않았다. 이력곡선을 비교할 때 납삽입형 면진베어링의 곡선 특성이 좀더 단순한 것으로 나타났다.

3.2 전단변형시험결과

납삽입 면진베어링의 경우 100% 전단변형률 기준으로 그림 8에서 보는 바와 같이 0.05Hz에서 등가전단강성은 70 kgf/mm에서 100kgf/mm 범위에 존재하여 납봉의 크기가 증가함에 따라 전단강성도 비례하여 증가하는 것으로 나타났고 이 값은 목표값 35.6kgf/mm를 충족하고 있다. 감쇠값은 그림 9에서 보는 바와 같이 납봉의 지름에 따라 10%에서 31% 범위에 존재하여 납봉의 크기에 따라 감쇠값이 크게 증가되는 것으로 나타났다.

그림 10과 그림 11에서 보는 바와 같이 전단변형률이 커짐에 따라 등가강성값은 모든 경우에 있어서 점차 줄어 들고있지만 전단변형률에 따른 감쇠값의 변화 특성을 보면 감쇠값이 줄어드는 정도가 일반적인 결과보다 작게 나타났다[6]. 이는 납봉의 기계적 특성이 완전 탄소성 거동을 하지 않는 것에서 연유한 것으로 판단된다.

한편 시험속도가 0.5Hz로 증가하는 경우 그림 12,13에서 보는 바와 같이 강성은 커지고 감쇠는 약간 줄어드는 것으로 나타났다. 시험 속도가 증가함에 따라 감쇠값이 줄어드는 것은 일반적인 경우와 배치되는 결과로 속도가 증가할 때 나타나는 1톤 정도의 수직하중 변동량과 기타 시험조건 등의 영향이 개입된 것으로 여겨진다.

납삽입 면진베어링에서 납봉의 영향을 파악하기 위하여 납봉직경 27mm인 납삽입 면진베어링(LLRBa03)과 내경 27mm에 납봉이 없는 면진베어링의 시험결과를 나타내는 그림 4와 그림 5를 비교한 결과 납봉이 없는 경우 감쇠값이 5% 이하로 나타났고 납봉이 있는 경우 감쇠값이 10% 전후로 나타나 납봉에 의하여 감쇠값이 5% 정도 증가하고 있다.

전단변형률이 증가함에 따라 항복하중 특성값은 그림 4부터 그림 7에서 보는 바와 같이 계속 커지고 있다. 이는 납봉의 기계적물성이 완전 선형탄소성 거동을 보이지 않고 항복 후 경화가 발생한 것으로 판단된다.

4. 결 론

직경이 다른 납봉을 삽입한 축소규모 면진베어링에 대하여 두 종류의 전단속도로 전단변형시험을 수행하고 이에 대한 등가강성, 등가감쇠 및 항복하중 특성값을 분석하였다.

전단변형률이 25%에서 150%로 점차 증가함에 따라 납삽입 면진베어링의 등가강성은 작아지고, 감쇠값은 약간 줄어들며, 항복하중 특성값은 점차 증가하는 일반적인 경향을 보이고 있다. 그러나 감쇠값의 줄어드는 정도가 작았으며, 시험속도를 증가 시킨 경우 감쇠가 줄어들어 일반적인 결과와 다르게 나타났다.

납삽입형 면진베어링의 납봉 크기를 증가 시킴에 따라 감쇠값은 면진베어링 외경에 대한 직경비가 0.32인 경우 100% 전단변형기준으로 등가감쇠값을 31%까지 크게 할 수 있는 것을 확인하였다. 한편 납봉크기의 증가에 따라 등가강성도 크게 증가시켰다. 이는 납봉의 기계적특성이 완

전 탄소성 거동을 하지 않은 결과로 판단되어 납봉 재질에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났다. 앞으로 면진베어링 감쇠값이 상부구조물의 지진응답에 미치는 영향에 대한 연구를 계속 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 유 봉, 이재한, 구경희(1997), “액체금속로용 축소규모 고감쇠 및 납삽입 면진베어링의 특성시험결과 분석,” KAERI/TR-809/97, 한국원자력연구소.
2. 유 봉, 이재한, 구경희(1997), “축소규모 고감쇠 및 납삽입 면진베어링에 대한 특성시험고찰,” 한국지진공학회, 1997년도 추계학술대회 논문집, pp175-182.
3. 유 봉, 이재한, 구경희(1995), “액체금속로용 고감쇠 면진베어링의 축소모델 시험결과 분석,” KAERI/TR-539/95, 한국원자력연구소.
4. Fujita,T(1990), “Seismic Isolation of Industrial Facilities Using Lead-Rubber Bearing,” JSME International Journal, Series III, Vol.33.
5. Robinson, W.H.(1982), “Lead-Rubber Hysteretic Bearings Suitable for Predicting Structures during Earthquakes,” Int. J. Earthquake Engng. Struct. Dyn., Vol.10, No.4.
6. Ishida,K.(1991), “Recent Research and Development Activity in Japan,” 11th SMiRT Post Conference Seminar on Seismic Isolation of Nuclear and Non-nuclear Structures(pp.183-240), Nara, Japan, August 26-27.

표 1. Specification and Design Targets for Laminated Rubber Bearings

	Prototype LRB	1/8 Scale LLRB
Design Vertical Load (Ton)	320	4.6
Effective OD(cm) / ID(cm)	120/4	15/(2.7,3.7,4.8)*
Rubber Thick(Each Rubber Thick×Layers)(mm)	278(9.6×29)	34.8(1.2×29)
Steel Thick.(mm) ×Layers	3.2×28	1.6×28
Primary Shape Factor(D/4 t _R)	31.25	31.25
Secondary Shape Factor(D/n t _R)	4.31	4.31
Vertical Stiffness(kgf/cm)	51.6×10 ⁵	6.4×10 ⁵
Horizontal Stiffness (kgf/cm)	2,846(5,692)**	356(711.4)**
Damping Coefficient(%)	12 above	12 above
Max. Shear Strain(%)	300 above	300 above

* Inner Diameter of Lead Rubber Bearing and Diameter of Lead Plug

** Horizontal Stiffness at Isolation Frequency of 0.5 Hz (0.7Hz)

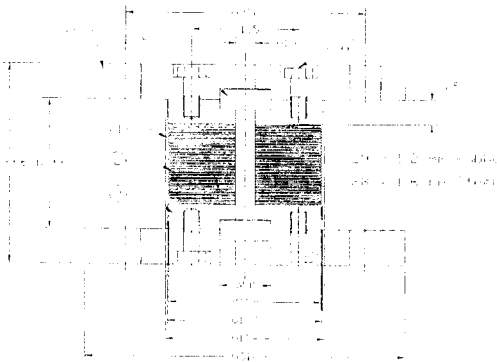


그림 1. 1/8 규모 면진베어링 설계도면

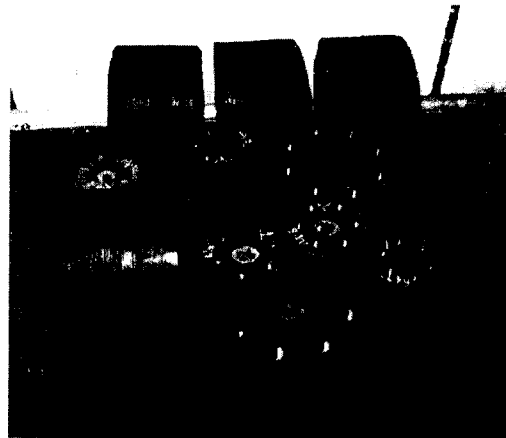


그림 2. 축소규모 면진베어링 제작품

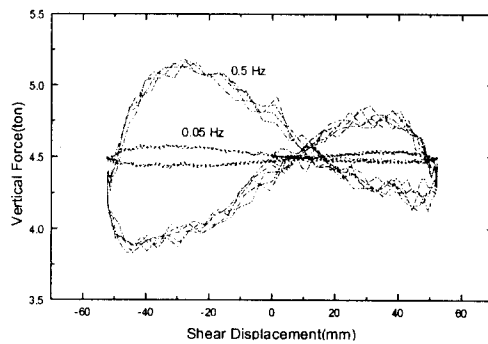
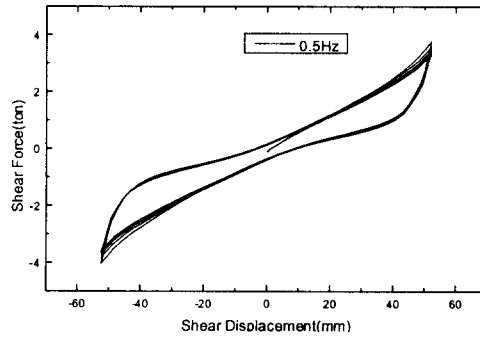
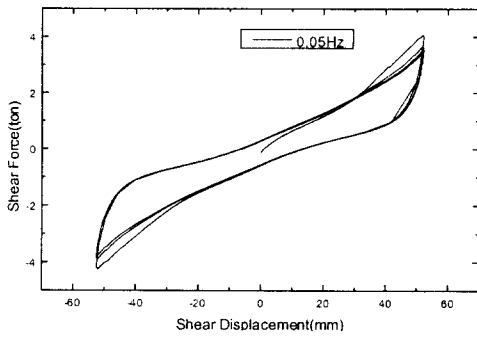


그림 3. 납삽입 면진베어링(LLRBa-02)의 150% 전단이력곡선

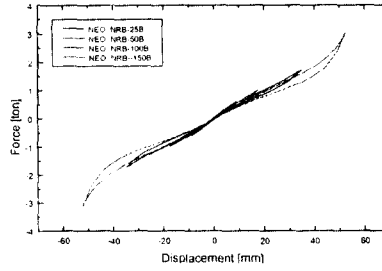
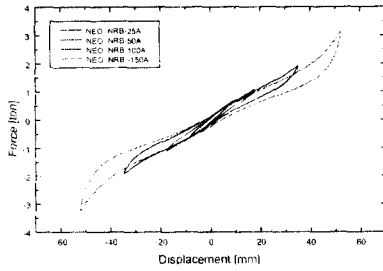


그림 4. 전단변형량에 따른 납삽입형 면진베어링(납봉지름=0mm) 전단이력곡선(0.05Hz, 0.5Hz)

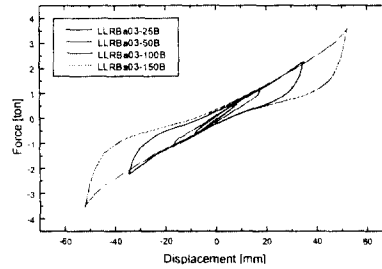
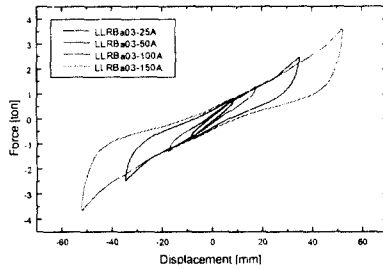


그림 5. 전단변형량에 따른 납삽입형 면진베어링(납봉지름=27mm) 전단이력곡선(0.05Hz, 0.5Hz)

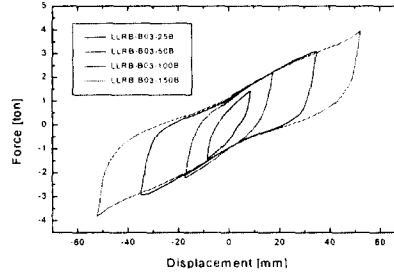
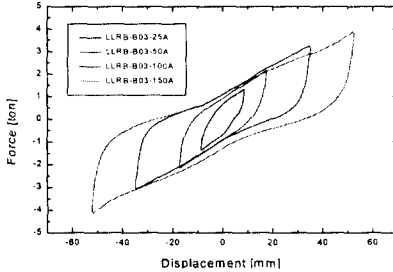


그림 6. 전단변형량에 따른 납삽입형 면진베어링(납봉지름=37mm) 전단이력곡선(0.05Hz, 0.5Hz)

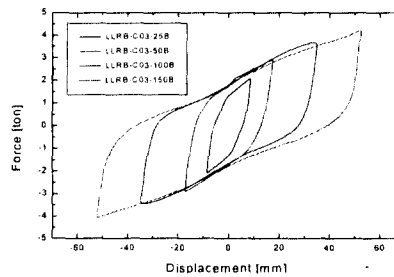
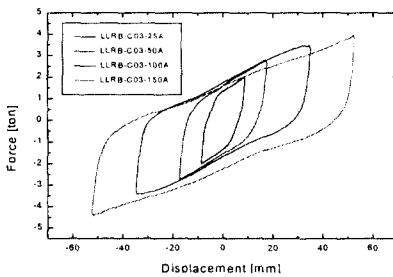


그림 7. 전단변형량에 따른 납삽입형 면진베어링(납봉지름=48mm) 전단이력곡선(0.05Hz, 0.5Hz)

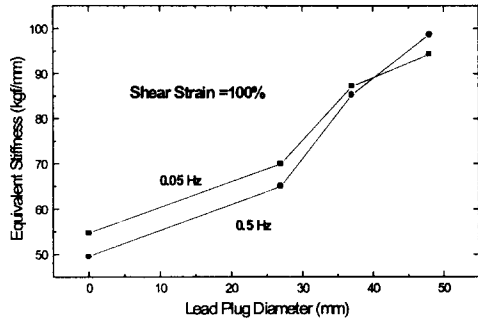


그림 8. 1/8 규모 납삽입형 면진베어링
등가전단강성값(100% 전단변형기준)

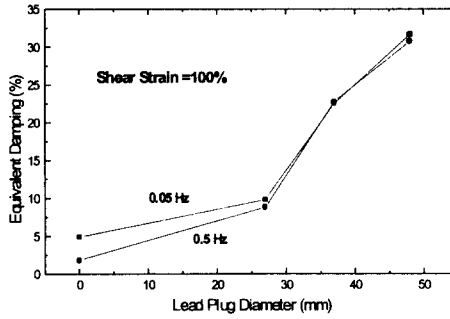


그림 9. 1/8 규모 납삽입형 면진베어링
등가감쇠값(100% 전단변형기준)

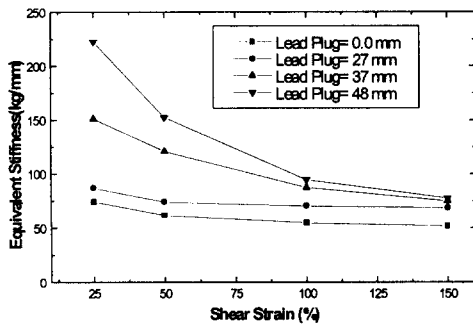


그림 10. 1/8 규모 납삽입형 면진베어링
등가전단강성 결과(0.05Hz)

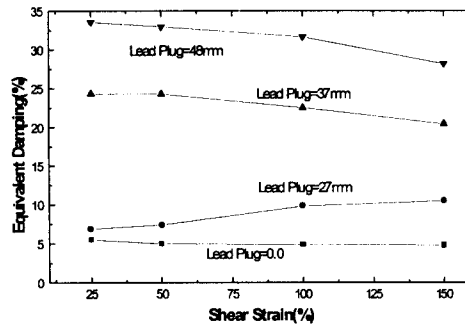


그림 11. 1/8 규모 납삽입형 면진베어링
등가감쇠 결과(0.05Hz)

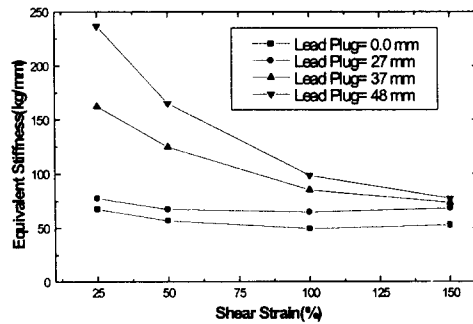


그림 12. 1/8 규모 납삽입형 면진베어링
등가전단강성 결과(0.5Hz)

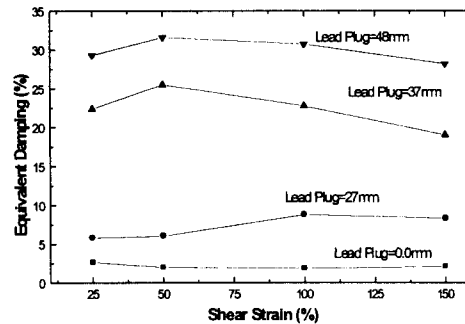


그림 13. 1/8 규모 납삽입형 면진베어링
등가감쇠 결과(0.5Hz)