

축소모델과 실모델 면진베어링의 성능실험에 관한 연구

○ 정민기\*, 정지만\*, 김두훈\*

A Study on Testing of 1/4-scale and Full-size Seismic Isolation Bearings

(Jeong Min-Ki, Zung Zi-Man, Kim Doo-Hoon)

ABSTRACT

An approach to increase the seismic resistance of large structures is to reduce the seismic forces, to which structures are subjected by base isolation systems. The anti-seismic performance of base-isolated bearings has been verified experimentally by shaking table tests. However, it may be difficult to perform the tests for the full-scale bearings of base-isolated structures. Therefore, the test program was designed to evaluate the reliability and properties of the bearings under a range of loading conditions including axial stress, loading frequency and direction, and temperature. The effects of scale were also evaluated by comparing the results of the 1/4-scale bearings with those from the full-scale bearings, and the ultimate behavior of both types of bearings with evaluated through a series of roll-out tests.

This report draws comparisons among the different tests and bearings to determine the importance of various factors including load history, axial stress, and frequency. Comparisons between the 1/4-scale bearings were difficult because of the scaling effects in manufacturing and thermal radiation, but qualitative results from the 1/4-scale bearings can certainly be extrapolated the full-scale bearings.

1. 서론

구조공학의 발달로 대형구조물이나 장대교량이 늘어나면서, 대형 구조물에서 큰 비중을 차지하는 정적 하중뿐 아니라 지진이나 발파진동, 열차진동등 동적 하중에 의한 거동에 많은 관심을 갖게 되었다. 이러한 동적 하중에 의한 구조물 진동문제는, 구조물의 안정성과 경제성에 부합하면서, 구조물의 동적거동을 정확히 예측하는 기법을 필요로 한다.

대형 구조물의 동적 하중을 제어하는 방법으로는 능동 제어와 수동제어로 나뉘는데, 능동제어 방법은 아직 실행 단계는 아니며, 수동제어 방법중 하나인 기초분리시스템(Base Isolation System)을 이용하여 지진의 영향을 많이 받고있는 나라를 중심으로 실물 실험등으로 동적거동을

예측하고 있다. 이러한 기초분리시스템의 기술개발은 정밀한 진동실험이 수반되어야 하는데, 본 논문에서는 대형 구조물의 실물실험과 이론정립의 일환으로, 구조물의 강성을 필요이상으로 증대시키지 않고 동적하중을 제어할 수 있는 면진베어링(Isolator) 실모델과 1/4 축소모델의 성능실험으로 정량분석과 정성분석을 통해 기초분리시스템에서 정밀실험과 정밀해석의 기초를 제시하고자 한다.

1/4축소모델과 실모델 고감쇠 면진베어링의 시험 절차는 축용력, 재하주파수, 하중방향, 온도범위하에서 면진베어링 특성과 상관도를 평가한다. 축소모델과 실모델의 결과를 비교하여 축소에 대한 영향을 평가하였고, Roll-Out 실험을 통해 두 모델의 극한 거동을 살펴본다. 실모델의 높이는 154mm이고 직경은 600mm이며, 설계축용력은 10.6MPa이고 각 면진베어링은 큰전단 변위에서 발생하

\* 유니슨산업(주) 유니슨기술연구소

는 Roll-Out을 허용하도록 흠이 있는 양 끝판을 사용하였다. '어떤 면진베어링도 실험전까지 압축이나 전단하중이 적용되지 않은 것이며, 실험은 EERC에서 수행된 것이다. 1/4축소모델과 실모델의 수평시험으로부터 계산한 유효계수와 댐핑값을 사용하였고, Roll-Out 실험과 Hysteresis Loop이 포함되었다. 본 논문은 하중이력, 축응력, 주파수를 포함한 변환요소의 중요성을 결정하도록 각 실험과 각 면진베어링을 비교한다.

고감쇠 면진베어링의 실모델과 1/4축소모델 비교실험으로, 동적하중으로 인한 대형 구조물의 거동을 예측하여 안정성과 경제성에 부합하는 진동제어방법을 확립시켜 기반기술에 일익을 담당하고자 한다.

## 2. 축소모델과 실모델 면진 베어링의 성능시험

### 2.1 실험절차

축소 면진베어링모델에 대한 실험은 주파수, 축응력, 온도변화의 영향이 실험에 포함되었고 상세한 실험내용은 표1과 2에 나타내었다.

표 1. 1/4 축소모델 실험조건

실험 조건	Signal	축응력 (MPa)	주파수 (Hz)	속도 (mm/sec)	변형도 (%)
값	sin	1.0	0.5	1.058	50
		10.6			100
	saw	15.0			150
					200

표 2. 실모델 실험조건

실험 조건	Signal	축응력 (kN)	속도 (mm/sec)	변형도(%)
값	saw	2998	4.232	50
				100
				150
				200

1.0MPa, 10.6MPa, 15.0MPa의 축응력이 적용되었고, 재하변화에 대한 영향을 조사하기 위하여 2.7%/sec의 변형율을 가지는 일정한 하중속도로 0.5Hz의 주파수에서 반복 싸인함수로 재하하여 실험을 하였다. 이 일정한 변형율은 축소모델과 실모델의 실험을 통한 결과를 직접 비

교하기 위하여 EERC의 시험기가 허락하는 최대변형율이 다. 축소모델의 온도에 대한 영향은 실온(약20℃)과 저온(-20℃)에서 실험되었지만 저온에서 실험하는 동안 베어링의 내부온도를 아는데 어려움이 있었다. 왜냐하면, 베어링내에 열전지를 설치하지 못했고 축소베어링의 상대적으로 작은 크기로 인해 시간이 지나면 실질적으로 더 온도가 올라가기 때문이다. 재하 방향성에 대한 영향은 각 변형단계에서 시험후 90° 회전시킨다음 시험을 반복하고, 다음단계를 시험하기전에 원래방향으로 회전시켜 실험을 수행하였다.

실모델에 대한 실험은, 축소 모델에 수행된 실험외에 압축실험이 추가되었다. 축하중을 변화시켜 4번의 Roll-Out 실험을 행하고, 반복전단재하시험에서는 모두 하나의 축하중을 사용하였다. 또한 실험은 모두 실온(약20℃)과 저온(-20℃)에서 수행되었다.

하중방향성의 영향실험은 축소 모델실험과 같은 조건으로 하였다. 그리고 EERC의 대형시험기는 두 베어링을 동시에 실험한 것으로, 실질적으로는 두 베어링의 평균값을 제시한 것이다.

### 2.2 실험결과

전단과 압축을 동시에 받는 실험은 일반적으로 반복실험으로부터 유효전단계수와 각 이력곡선의 등가댐핑을 알아내기 위한 것이다. 이 값들은 고감쇠 면진 베어링의 거동특성을 나타내기 위해 보통 가장 많이 사용되는 변수들이다. 이 두 계수의 공식은 다음과 같다.

$$G_{eff} = \frac{K_{eff} t_r}{A_{shim}}, \quad \xi_{eq} = \frac{EDC}{2\pi K_{eff} \Delta_{max}^2}$$

$K_{eff}$  : 이력곡선에서의 Peak-to-peak 강성

$t_r$  : 고무의 총 두께

$A_{shim}$  : 내부강보강판의 단면적

$EDC$  : 한 사이클 동안 소산된 에너지

$\Delta_{max}^2$  : 최대변위의 제곱

앞으로 대부분의 그림에서는  $G_{eff}$ 와  $\xi_{eq}$ 는 여러 재하조건하에서 전단변형의 함수로 그려진다. 특별히 언급되지 않은 경우는 각 세 사이클의 실험중 세 번째 사이클로부

터 얻은 결과를 나타내었다. 축소 모델에 대한 실험결과와 실모델의 결과가 제시된다. 마지막으로 축소 및 실모델, 두 모델의 결과를 비교한다.

### 2.2.1 축소모델

1/4축소 모델은 반복전단실험에서 아주 안정된 성능을 보였다. 가장 주된 특성변화는 최대전단변형(200%)에 도달하기 전의 사이클에서 최대전단시험후에 실행된 사이클사이에서 발생하였다. 특성변화는 변형사이클의 첫 번째에서는 고무의 스크래징이 기여한 것 같고 이 모델의 거동은 최대변형치에 도달한 후 아주 안정되어지는 것으로 나타난다.

그림 1은 200%변형전까지의 사이클인 첫 번째와 200% 변형 후 사이클인 두 번째사이의 댐핑과 전단계수의 변화량을 나타낸 것이다. 이 시험들 모두 0.5Hz 주파수와 10.6MPa 축응력에서 실험을 수행하였다. 200%변형 사이클에 의한 전단계수의 떨어짐은 낮은 변형에서 가장 크

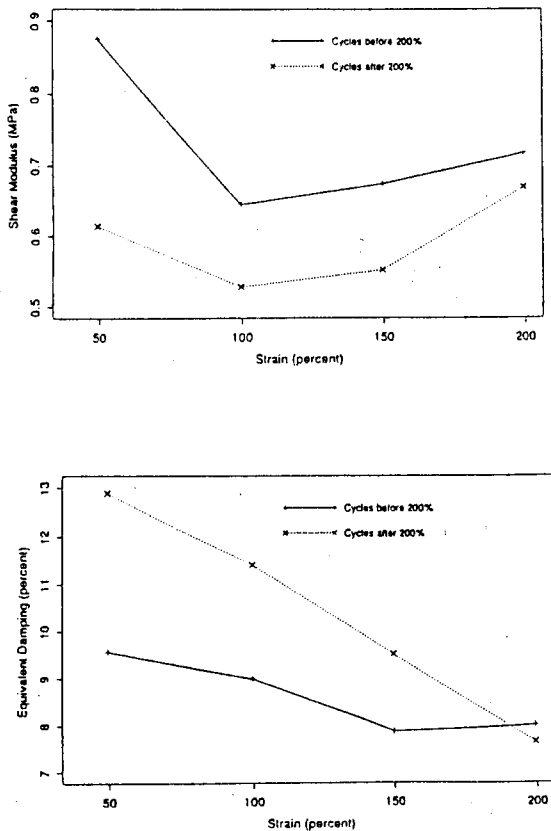


그림 1. 200% 변형사이클 전의 축소모델 성능치

다. 또한, 댐핑값은 각 사이클내에서 소산된 에너지의 감소의 영향보다는 댐핑을 계산하는 방법에 의한 영향이 더 크다. 왜냐하면 댐핑은 소산된 에너지와 유효전단계수와의 비에 비례하기 때문이다.

그림 2에서는 똑같이 설계된 두 개의 1/4 축소베어링에 대하여 실험한 결과가 일치하는지를 살펴보았다. 스크래징이후의 결과를 살펴보면 베어링들이 상대적으로 비슷한 유효전단계수를 가지나, 동가댐핑은 다른 값을 보였다. 하지만, 이 두 베어링을 실험을 할 때 아주 비슷한 하중이력을 보여주었으므로 댐핑이 다르게 나타난 이유는 확실치 않다. 댐핑의 변화가 축응력의 변화에 의해 예상되는 것과 비슷하지만, 이 실험은 모두 10.6MPa의 일정한 축응력과 0.5Hz의 재하주파수에서 수행되었다.

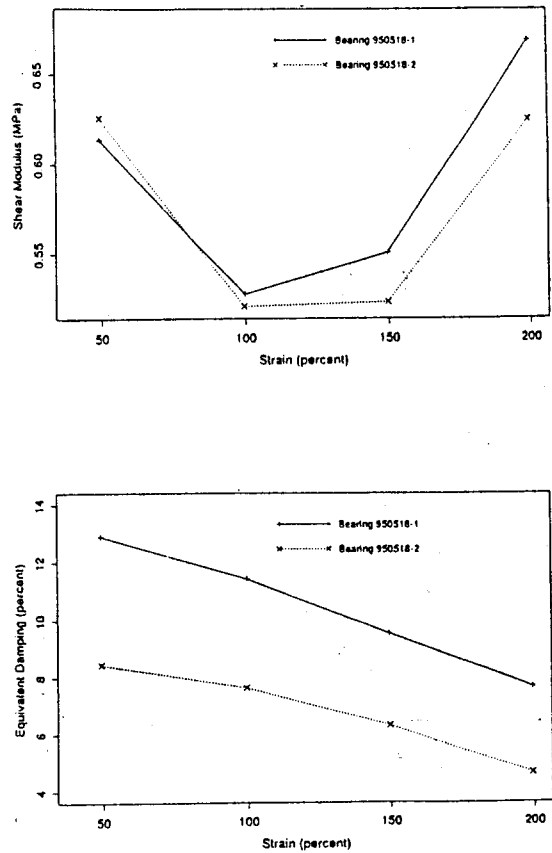


그림 2. 축소모델들의 성능실험치간의 일치성 비교

그림 3은 축응력 변화에 의한 특성치들의 변화량을 구한 것이다. 유효전단계수들은 근사하게 같게 나타나지만, 댐핑은 축응력을 증가시킴으로서 실질적으로 증가되는데,

이것은 고무로 된 베어링의 전형적인 양상과 같다. 그림 4는 재하주파수영향을 유사하게 비교한 것이다. 점선은 0.5Hz의 싸인함수하중에 해당하는 반면에 실선은 이 실험동안 일정한 시험기 속도로 유지된, 아주 느린 하중변화에 해당하는 결과부분이다. 이 느린 실험에서 축소모델의 변형율은, 축소모델과 실모델의 시험결과를 직접 비교할 수 있도록, 실모델 실험에서 예상되는 변형율과 같게 선정되었다. 이 실험결과 또한 전형적인 고무베어링처럼, 유효전단계수는 하중변화율을 증가시키므로써 증가되나 댐핑의 변화는 전단계수보다 확실하지않다.

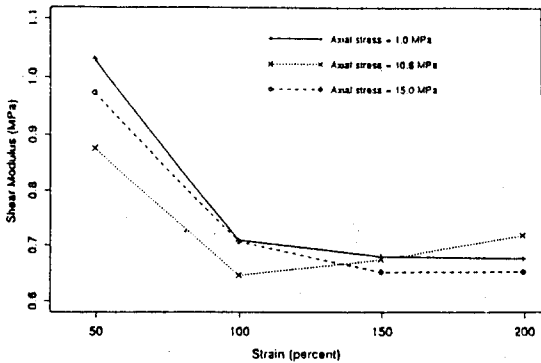


그림 3. 축응력합수에 따른 축소모델성능 실험치

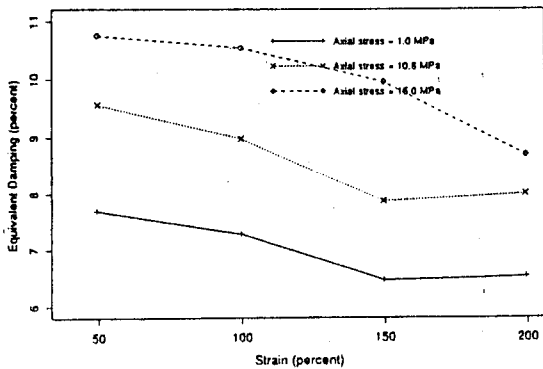


그림 5에서는 재하의 작용방향에 의한 효과를 200% 변형까지 나타낸 것이다. 이 그림은 모델을 회전시키기 전의 첫 번째와 세 번째 사이클에서 결과들과 베어링을 회전시킨 후의 첫 사이클에서 결과를 비교한 것이다. 적교 방향의 모델강성은 처음 재하작용방향의 초기 강성과 비교하면 약간 감소된 것이 분명하지만, 처음 하중작용방향

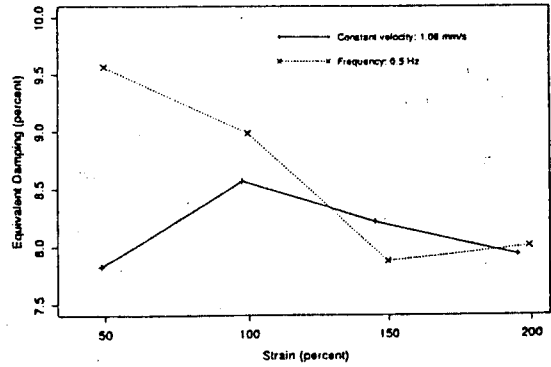
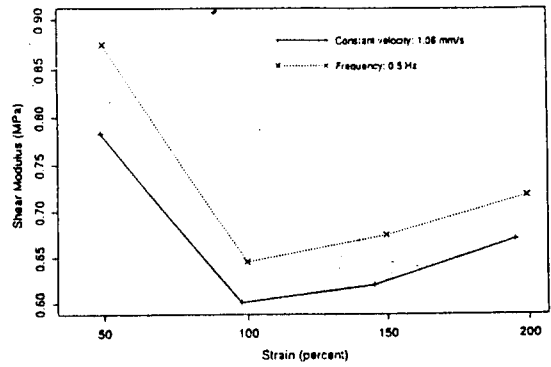


그림 4. 하중주파수에 따른 축소모델성능 실험치

의 세 번째 사이클 결과보다는 약간 크다. 유사한 결과가 모든 변형 단계에서도 발생하므로, 하중의 방향성은 고감쇠 면진베어링에서의 거동에 영향을 미치는 중요한 요인이 아니라고 보여진다.

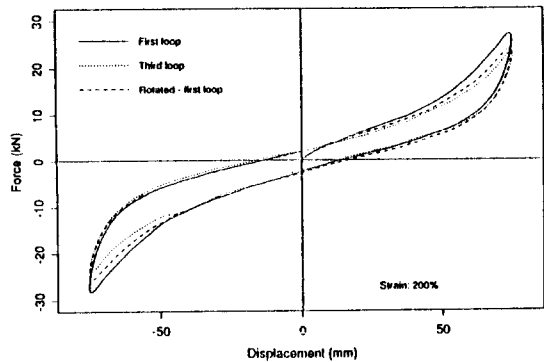


그림 5. 하중방향에 따른 축소모델의 이력비교

이 실험의 주요 목적중 하나인 온도에 따른 축소모델의 특성변화의 결과를 그림 6에 나타 내었다. 모든 온도실험에서 작용하중은 10.6MPa이며 재하주파수는 0.5Hz이다.

실선은 실온(약 20℃)에서 축소모델이 스크래징된 후의 거동을 나타내며, 점선은 실온실험에 사용된 베어링과 같은 것을 약 9시간동안 -20℃를 유지하다가 실험한 결과이다. 작은 변형율에서 계산된 전단계수들은 냉각된 모델이 훨씬 크나, 이 영향은 큰 변형율에선 분명하지 않은 것으로 보인다. 이것에 대한 하나의 이유는 축소 모델의 면적에 비해 상대적으로 부피가 작기 때문이다. 고감쇠 변진 베어링에서 반복하중에 의하여 소산된 에너지는 대부분 재료내의 열로서 전환되어진다. 비록 여기에 기록된 어떠한 실험에서도 열전지를 설치하지 않았지만 냉각된 축소모델의 온도가 내부의 가열과 실험실의 실온으로 인해 증가되는 것은 분명하다. 유사한 거동이 실모델에서도 보여지나, 실온에서의 특성으로 회복은 빠르지 않다. 이것은 축소모델과 비교되었을 때 실모델의 부피-표면적비가 작으므로 열에너지 방사가 제한되기 때문이다. 그러나 축소모델의 댄핑이 모든 온도에서 크게 줄어든 이유는 확실하지 않다.

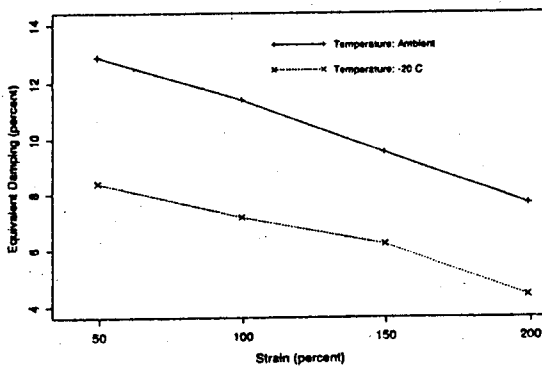
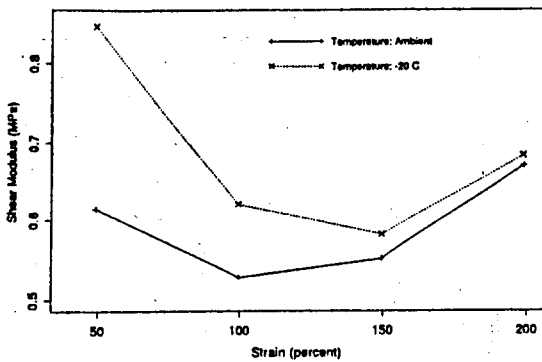


그림 6. 온도에 따른 축소모델 성능 실험치

그림 7은 축소모델의 전단 Roll-Out 실험들의 결과이다. 이 실험의 결과들은 흠이 있는 끝판에 결합된 면진재에서 관찰되는 일반적인 경향을 따른다. 이러한 경향은 수직하중에 의한 전체의 불안정성을 막는 구속으로 인한 축용력의 증가로 Roll-Out 발생전에 최대도 도달할 수 있는 변위는 증가된다는 것이다. 전단력 18kN과 200%보다 조금 더 큰 변형율에서 Roll-Out이 발생하고, 아주 낮은 축용력에서의 성능은 큰 축용력에 비해 약간 불안족이었다. 큰 축용력 작용시, 축소모델은 횡하중전달능력을 잃기 전에 300%이상된 변형율들에 도달할 수 있었다. Roll-out 실험을 수행한 후, 1/4 축소모델은 고무의 덮개 층의 부풀음을 포함한 약간의 파손이 관찰되나, 전체의 재결합 또는 치명적인 파손현상을 볼 수는 없었다.

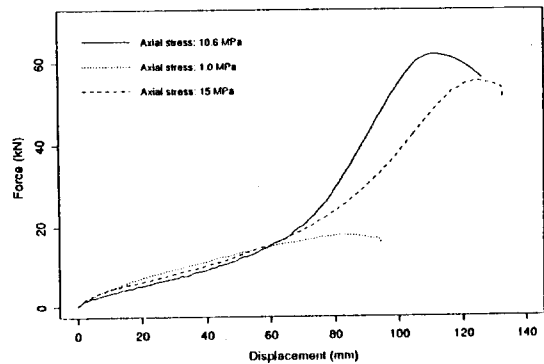


그림 7. 축소모델 Roll-Out 실험에 의한 힘-변위 거동

## 2.2.2 실 모델

실 모델 실험은 200% 변형 실험 후 모델 중 하나에서 국부적인 손상의 흔적들이 있었지만, 전체적으로 잘 수행되었다. 큰 변형율까지 반복한 후 전단계수 감소와 낮은 온도들에 의한 전단계수의 증가처럼, 축소모델의 실험에서 나타난 거동과 유사한 거동이 관측되었다. 그러나, 유사한 실험 조건하에서 실 모델은 1/4 축소 모델에서 보인 전단계수 및 댄핑과 등가의 값을 가지지 않았다. 시험기의 성능 때문에 실 모델에 대해서는 축용력 또는 주파수를 변화시킨 실험은 할 수 없었지만 정량분석이 아니라면 축소 모델의 유사한 실험 결과로서 정성적으로 실 모델의 결과를 보강할 수 있다.

전단변형을 200%까지의 실험에서 측정된 전단계수와 200%변형된 사이클이 끝나고 먼진 베어링을 회전시킨 후에 측정된 전단계수를 비교한 그림 8은 실모델의 하중 이력관계를 보인다. 재하의 방향성에 대한 영향은 축소모델에서 논의되었던 것처럼, 실모델에서도 전단계수에 아무런 영향이 없다. 그러므로 그림 8에서의 전단계수의 변화들은 주로 스크레킹에 의한 것이다. 200% 사이클후에 댐핑증가는 모델에 의해 소산된 에너지의 실질적인 증가보다 오히려 댐핑의 정의에서 처럼 유효강성에 반비례하는 성질에 의한 것이다.

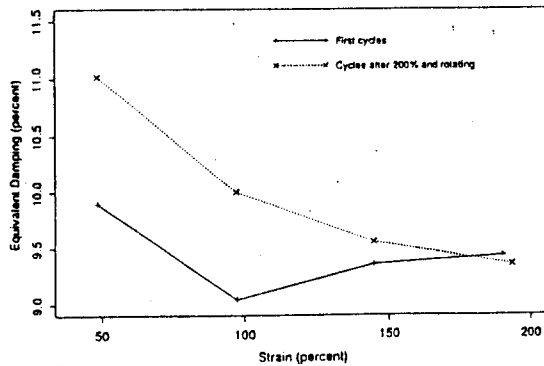
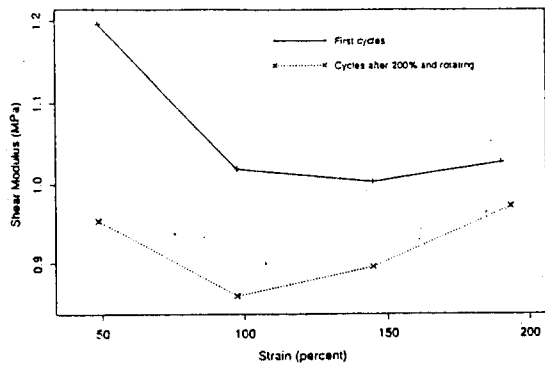


그림 8. 하중이력함수에 따른 축소모델성능 실험치

축소모델 실험과는 달리, 실모델 실험에서는 서로 다른 두 모델에 대한 실험결과가 거의 일치한다. 이것은 여러 쌍의 실모델의 제조특성이 일치한다는 것을 나타낸다. 그림 9에는 서로 다른 시기에 만들어진 두 쌍의 모델에서의 물성들의 변화치들을 나타낸 것이다. 스크레킹후의 유효전단계수는 전체 변형범위의 1%보다 더 작으며, 큰

변형률에서 약간 증가하지만 댐핑의 변화 또한 아주 작다.

실 모델특성에 대한 온도의 영향은 축소모델 실험에서 보인 것보다 훨씬 현저하였다. 실 모델의 경우에는 각 쌍이 시험기에 설치되기전에 적어도 3일동안  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 냉장고에서 냉각되어졌다. 냉장고에서 꺼내어 전단시험을 시작하기 까지의 시간은 1시간 반이 못된다. 모델내부의 온도분포를 정량적으로 측정하기 위한 열전지는 사용되지 않았으나, 표면온도를 측정함으로써 실모델은 축소 모델에서처럼 빨리 온도가 올라가지 않았다.

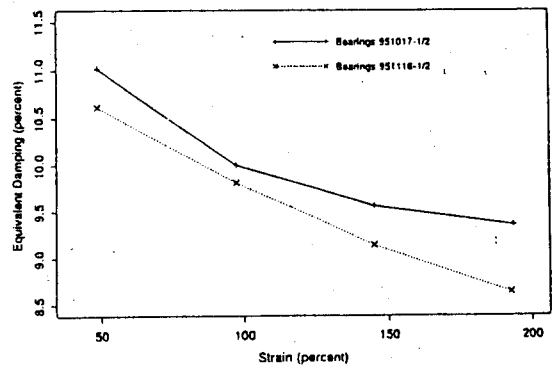
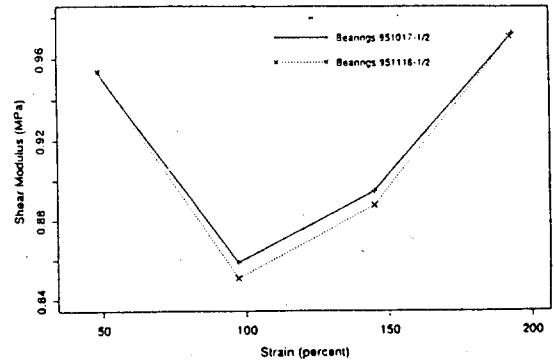


그림 9. 실모델들의 성능실험시간의 일치성 비교

그림 10은  $-20^{\circ}\text{C}$ 에서 냉각에 의한 전단계수 증가크기를 보여준다. 가장 큰 전단계수를 나타내는 사이클은 베어링을 냉장고에서 꺼낸 후 즉시 실험한 것이다. 시험기의 실험수평용량은 100%의 전단변형일때이므로, 저온실험은 실모델의 100% 전단변형단계를 넘어서 수행할 수 없었다. 그림 11은  $-20^{\circ}\text{C}$  저온과 실온에서 스크레킹되어진 이

력곡선 결과를 비교한 것이며, 강성과 에너지 소산 둘다 온도감소에 따라 증가한다. 축소 모델에서 전단계수가 아주 낮은 쪽으로 변하는 것외에는 유사한 거동을 보였으며, 저온에서 축소모델의 소산된 에너지는 실모델 결과에서와 같은 그런 증가는 없었다. 실모델을 회전시키고 직교방향으로 실험을 시작한 후, 저온 실험의 처음과 둘째 사이에 약 20분정도 시간차는 있었지만 전단계수는 저온 실험의 초기에서의 결과보다 더 낮은 결과를 보였다. 이에 대한 결과는 그림 10에서 점선부분이다. 표면온도를 측정된 결과로는 이전 사이클로 인해 바로 온도증가는 발생하지 않는 것으로 보인다. 그래서 베어링을 회전시킨 후 저온실험에서 관측된 전단계수감소중 어느정도는 반복되는 사이클(하중이력)에 의한 것으로 볼 수 있다. 초기의 50%와 100%변형의 사이클에서 소산된 에너지는 약간의 온도증가에 기여한다. 이러한 영향으로 회전후 실험에서 약 150% 전단변형에 도달하는 것이 가능했고, 이

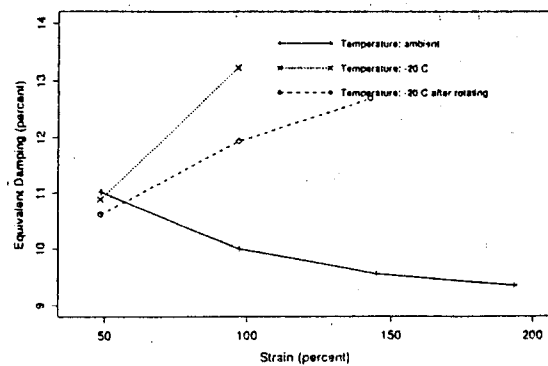
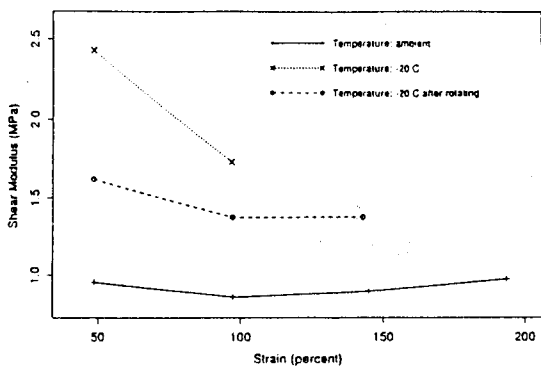


그림 10. 온도에 따른 실모델 성능 실험치

변형에서 전단계수는 실온에서 150% 사이클에서 측정되었던 결과 보다 약 1.5배정도 큰 값으로 측정되었다.

저온일수록 고무전단계수의 증가를 예상할 수 있지만, 에너지소산으로 실질적으로 증가할 것인가는 분명하지 않다. 이들 시험은 대형 고감쇠 면진베어링에 대해서 미국에서 실시되어졌던 첫번째 저온시험들이고, 고감쇠고무 혼합물에 대해 저온에 의한 효과들을 평가하기 위해서 확실히 더 많은 실험이 요구되어진다. 서로 다른 혼합물에 대한 별도의 평가절차가 필요로 되고 온도에 대한 영향은 어느정도 혼합-의존성이 있는 것으로 보인다.

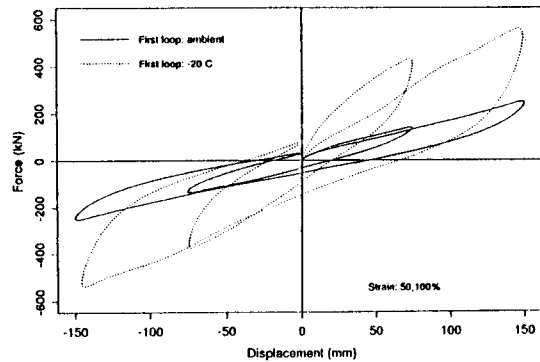


그림 11. 온도에 따른 실모델의 이력거동

실모델의 Roll-Out 실험은 1/4 축소모델결과와 유사한 거동을 나타내었다. 그림 12는 네가지 다른 축용력하에서 한쌍의 모델의 힘-변위 거동의 기록을 보여준다. 두 개의 모델을 실험할 때 대형 시험기는 전체의 전도가 발생하기 시작하는 아주 큰 변위에서 일정한 수직하중을 유지한다는 것이 어렵다. 그러므로 옴의 수평강성을 나타내는 Roll-Out에 도달하는 것은 불가능하였다. 그러나 각각의 Roll-Out 실험을 끝냈을 때 실모델이 뚜렷이 불안정하게 보였다. 이 실험결과를 관찰하면, 그림 12에 보인 Roll-Out 실험의 변위들이 정확하지 않을 수도 있지만, 축용력이 증가하면 극한력과 변위가 증가할 것이라는 예상된 경향을 확실히 보이고 있다. 가장 낮은 축용력 0.25MPa이 작용할 때, Roll-Out에서 전단변형은 약 160%였다. 시험기에서 발생되어질 수 있는 최대축용력 10.6MPa에서 Roll-Out 변형은 약 220%였다. 이들 수치는 1/4 축소모델에서 결정되었던 값들과 일치하지 않으며,

이것은 실 모델과 축소모델의 유효전단계수들이 실질적으로 다르다는 사실에 기인된 것 같다.

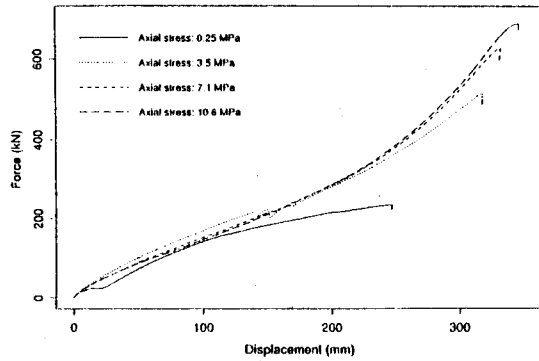


그림 12. 실모델 Roll-Out 실험에 의한 힘-변위 거동

### 2.3 실 모델과 축소모델의 비교

그림 13은 전체 변형범위에서 축소모델과 실모델의 첫

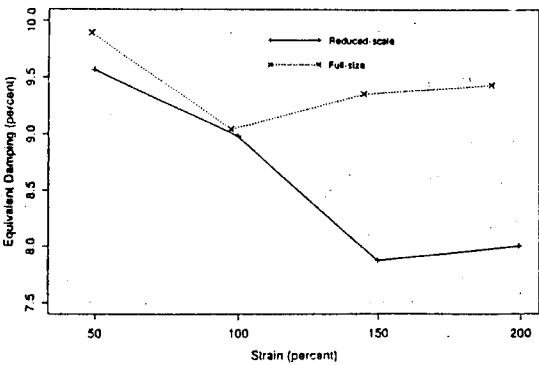
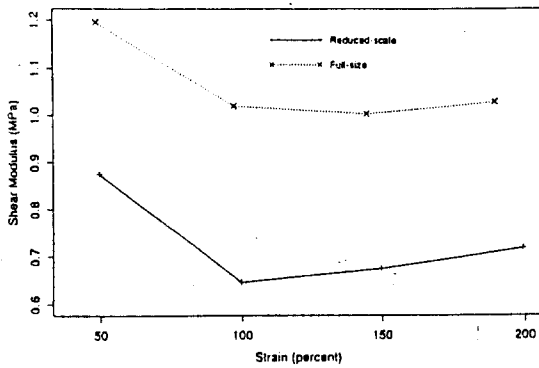


그림 13. 200% 변형사이클 전의 축소모델과 실모델 성능 시험치 비교

실험의 세 번째 사이클에서 얻은 전단계수와 댐핑비를 비교하였다. 실모델이 실질적으로 더 큰 전단계수를 나타내는 것은 분명하지만, 댐핑에서의 차이들은 그렇게 크지 않다. 그림 14는 유사한 비교로써, 두가지 모델 모두 200% 변형에서 스크래징이 발생한 후조차, 모든 변형에서 실 모델의 전단계수는 축소모델의 결과 보다 약 50% 더 큰 것을 보여준다. 댐핑에 대한 결과는 만족스럽지 않았다.

이들 결과는 유사하게 설계했지만 크기가 다른 모델을 비교하는 실험과정에서 때때로 관측되는 전형적인 변화이다. 제조과정이 크기에 의존하여 실질적으로 다르다는 사실에 어려움이 있다. 축소모델의 경우, 표면적-부피비는 상대적으로 크므로, 축소모델내에서 경화과정동안 균일한 온도분포가 발생된다. 만약, 4배로 큰 모델이 제조되어지면, 표면적-부피 비는 4배로 줄어들므로, 배어링의 전부피를 통하여 균일한 시간-온도 경화에 도달하는 것

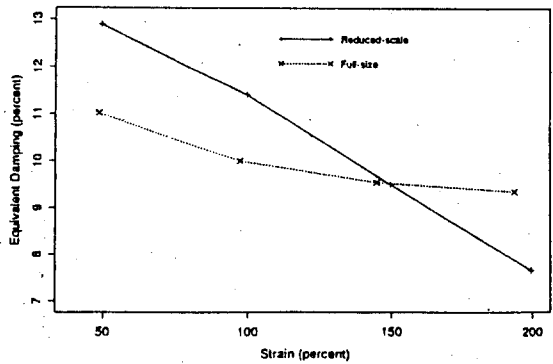
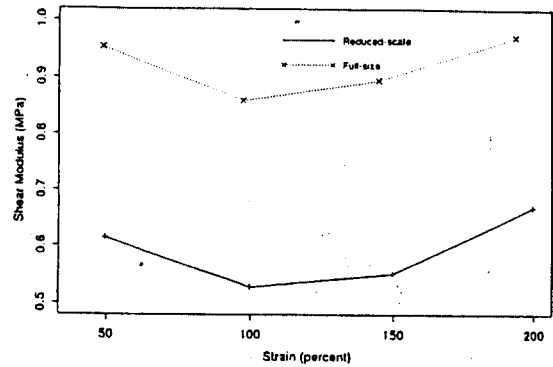


그림 14. 200% 변형사이클 후의 축소모델과 실모델 성능 시험치 비교



은 어렵고, 다른 특성을 나타내는 고무가 된다. 다른 온도변화율이 서로 다른 크기의 베어링들에서 발생하는 것이 확실하므로, 이러한 Scaling에 대한 어려움은, 온도변화로 실험결과치에 또한 영향을 미칠지 모른다. 면진베어링내의 온도분포에 대한 크기비의 영향들을 고려하는 한 가지 접근방법은 재료적인 에너지소산 성질들과 그재료의 방열적인 능력을 모두 결합한 유한요소해석을 수행하는 것이다.

### 3. 결론

대형 구조물의 동적 하중을 제어하는 방법중 하나인 기초분리장치로서 유니슨 산업에서 제작된 고감쇠 면진베어링 실모델과 1/4 축소모델을 설계하고 성능실험을 수행하여 축소모델에 대한 영향을 검증하였다.

수행한 실험의 결과를 살펴보면, 1/4 축소 면진베어링은, 스크레깅 후에도 반복 가능한 거동을 나타내고, 작용축응력과 하중주파수의 변화에 의한 특성이 변화하면서 일반적으로 신뢰할 만한 수행결과를 보였다. 작용하중의 방향성에 대한 영향은 중요하지 않은 것으로 나타났고 각각의 베어링의 특성은 다소 달랐어도, 두 모델 모두 설계에 의도한 만큼의 성능을 수행한 것으로 판명되었으며, Roll-Out시험 이후에 단지 국부적인 손상이 있었다. 실험된 베어링중 세 쌍이 하중이력에 의한 특성이 약간의 변화를 보이면서 일반적으로 믿을만한 성능을 보였다. 저온에서 베어링의 전단계수는 실질적으로 증가했고(50%전단변형에서 약 2.5배 정도), 저온에서 훨씬 더 많은 양의 에너지를 흡수했다.

1/4축소모델과 실모델사이의 비교는, 제조와 열 방사에 의한 크기비의 효과들 때문에 어려움이 있었지만, 축소모델에서의 정성적인 결과는 실모델의 결과에 확실히 확장되어질 수 있음을 볼 수 있다.

본 논문은 대형구조물의 동적하중을 제어하는 방법중, 구조물의 강성을 필요이상으로 증대시키지 않고 동적하중을 제어할 수 있는 면진베어링 실모델과 1/4 축소모델의 성능실험을 수행하여 비교 검토하였다. 이러한 정량분석과 정성분석을 통해 기초분리시스템의 정밀 동적실험의 토대가 이루어져야 하겠다.

### 4 참고문헌

- (1) Aiken, I. D., Kelly, J. M., Jajilian, F., "Mechanics of Low Shape Factor Elastomeric Seismic Isolation Bearings", EERC, Report No. UCB/EERC-89/13, University of California, Berkeley, 1989.
- (2) Kelly, J. M. and Quiroz E., "Mechanical Characteristics of Neoprene Isolation Bearing," Report No. UCB/EERC-92/11, Earthquake Engineering Research Center, University of California at Berkeley.
- (3) Buckle, I. G. and Mayes, R. L., "Seismic Isolation: History, Application, and Performance-A World View", Earthquake Spectra, Vol. 6, No. 2, 1990.
- (4) 김두훈, "지진을 고려한 구조물의 면진/제진 기술개발 현황", 한국소음진동공학회지, 제5권 제1호, 1995.
- (5) 유춘화, 김두훈, 이동근, "LNG 저장 탱크의 지진방지를 위한 면진베어링의 개발" 한국소음진동학회 춘계학술대회는문집, 1994.
- (6) 최형진, 양경택, 김두훈, "LNG 비축 탱크 구조물의 내진/면진 설계와 해석" 콘크리트 학회지, 제7권 3호, 1995.6.
- (7) 김남식, 유춘화, 이동근, "Base Isolator의 제작 및 특성시험", 한국전산구조공학회지, 제 5권 제4호, 1992.