

積層고무받침의 靜的 및 動的 特性實驗

Static and Dynamic Tests on Laminated Rubber Bearings

김남식* · 이동근**

Kim, Nam Sik · Lee, Dong Guen

Abstract

Base isolation systems are economic and efficient for the control of structural vibration. In this study, the base isolators of LRB(laminated rubber bearing) type which have been generally used are fabricated and tested. From the static and dynamic tests, the characteristics of the base isolators, considering strain-hardening, hysteretic damping and horizontal stiffnesses, etc., are verified and particularly the feasibility as base isolation devices is discussed. Consequently, the test results are compared with the analytical ones that are derived from idealization as a bilinear model.

요 지

구조물의 진동을 제어하기 위하여 널리 활용되고 있는 기초분리시스템(base isolation system)은 대상구조물에 경제적이며 효율적으로 적용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 본 연구에서는 가장 널리 쓰이고 있는 積層고무받침(laminated rubber bearing)방식의 기초분리장치(base isolator)를 제작하여 이에 대한 정적 및 동적 특성실험을 수행하였다. 실험으로부터 얻어진 결과를 통하여 제작된 기초분리장치의 정적 및 동적특성을 분석하였으며 실제 구조물에 대한 기초분리장치로서의 적용가능성을 고찰하였다. 최종적으로 기초분리장치에서 나타나는 비선형 힘-변위 이력곡선을 수치적으로 이상화하여 실험결과와 비교하였다.

1. 서 론

고무는 금속에 비하여 상당히 큰 변형률을 가지며 고무의 내부마찰에 의한 감쇠성이 양호하여 공진시 진폭이 지나치게 커지지 않으며, 금속과의 접착기술이 발달하여 금속과 결합시켜 제작되므로 설치가 간편하고, 형상을 다양하게 변화시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.⁽¹⁾ 일반적으로 방진용고무는 고무의 강도를 높이기 위하여 황을 첨가한 가황고무제품이

주를 이룬다. 그러나 방진용 고무는 고분자 유기물의 복합체로써 그 물성치는 상용 방진고무의 제작과정에서 첨가되는 첨가제의 양과 moulding에서의 온도 및 압력 등의 조건에 따라 고무의 동특성이 변화하며, 특히 비선형특성으로 인해 재료적인 특성을 이론적으로 파악하기 어렵기 때문에 물리적인 실험을 통하여 규명할 필요가 있다.

대체로 방진용 고무는 프레스, 단조기 및 대형엔진 등의 방진마운트의 소재로 활용되며 지진피해를 줄이기 위한 지지대등에 진동, 충격의 방지 및 완충을 목적으로 사용되고 있다.⁽¹⁾ 특히 교량에 설치되는

* 정희원 · 한국과학기술원 토목공학과 박사과정
** 정희원 · 한국과학기술원 토목공학과 부교수

탄성받침이나 대형구조물의 진동을 제어하기 위한 기초분리시스템(base isolation system)에 쓰이고 있는 기초분리장치(base isolator)는 방진용 고무를 주된 재료로 하며 steel plate와 조합하여 수직강성을 보장한 경우이다.

본 연구에서는 대형구조물의 방진을 목적으로 국내에서 제작한 積層고무받침(laminated rubber bearing)방식의 기초분리장치에 대한 정적 및 동적 특성실험을 수행하였다. 실험결과를 토대로 기초분리장치의 정적 및 동적특성에서 나타나는 변화를 분석하였으며 수치해석에 필요한 비선형 이력곡선(hysteretic curve)을 제안하였다. 최종적으로 본 연구에서 제작한 적층고무받침이 실제 구조물의 기초분리장치로서 활용이 가능한지를 개략적으로 살펴보고자 한다.

2. 積層고무받침(Laminated Rubber Bearing)의 제작 및 설계

지금까지 대형구조물에 널리 쓰이고 있는 기초분리장치는 특히 지진하중에 대하여 상부구조물의 기초분리(base isolation)를 이용한 진동제어를 목적으로 하는 制震장치(seismic isolator)가 주종을 이룬다. 일반적으로 기초분리장치로는 적층고무받침(laminated rubber bearing)방식과 R-FBI(resilient-friction base isolator)방식으로 크게 나눌 수 있다. 적층고무받침은 가장 널리 쓰이는 기초분리장치로써 초기강성 및 에너지소산능력을 증가시키기 위해서 단면 중앙에 납(lead plug)을 삽입하기도 한다. R-FBI방식은 고무판 내부에 미끄럼판을 가지고 있으므로 적층고무받침방식에 비하여 더 큰 수평변위를 허용한다.

본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 교량용 탄성받침의 단면제원을 수정하여 적층고무받침방식의 기초분리장치를 제작하였다. 일반적으로 널리 쓰이고 있는 기초분리장치의 단면형상은 원형 또는 정사각형이나 본 연구에서는 제작의 편의를 위하여 이미 생산되고 있는 교량용 탄성받침의 단면형상을 이용하였다. 따라서 제작한 기초분리장치의 단면형상은 직사각형이며 본 연구에서는 장변방향에 대한 일방향(一方向)실험을 수행하였다.

그림 1은 실험을 위하여 제작된 기초분리장치로써 가로(h) 310mm, 세로(b) 200mm, 높이(l) 65mm의 직사각형으로 제작되었다. 각 고무층의 두께(t_R)는 2.5mm이며 수직강성을 보장하기 위하여 철판을 일정한 간격으로 삽입하였다. 여기서 수직강성의 보장을 위하여 사용된 철판의 두께(t_s)는 1.6mm이며 고무층의 갯수(n)는 11개이다. 그림 1에서 보이고 있는 고무층의 전체높이(nt_R)는 27.5mm이며 기초분리장치와 두께 40mm의 mounting plate를 연결하기 위하여 기초분리장치의 상하에 10mm 두께의 철판을 일체로 제작하여 mounting plate와 볼트로 연결하였다. 제작에 사용된 고무는 가황고무로써 경도(hardness) 60에 해당되며 고온, 고압의 조건에서 고무와 철판을 일체로 제작하였다.

일반적으로 사용되고 있는 기초분리장치는 수평방향으로 커다란 유연성을 가지며 수직방향으로는 매우 큰 강성을 보이도록 설계한다. 본 연구에서는 기초분리장치의 특성실험에 앞서 이론적으로 수평 및 수직강성을 계산하였으며 특성실험결과와 비교함으로써 추후 적층고무받침방식의 기초분리장치를 제작, 설계하기 위한 기본자료로 활용될 수 있도록 하였다.

본 연구에서 기초분리장치의 제작에 사용한 합성고무의 재료적인 성질은 다음의 표 1과 같다.⁽¹⁾

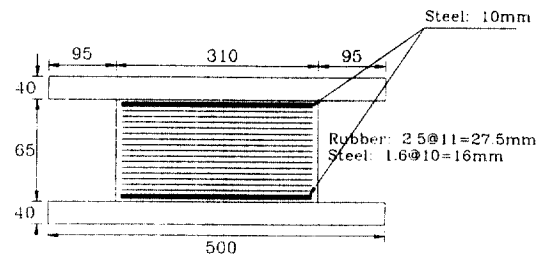


그림 1. 제작한 적층고무받침(Laminated Rubber Bearing)

표 1. 제작에 사용된 합성고무의 재료적인 성질

G	1.00MPa
E_0	1.00GPa
E_c	0.87GPa
ν	0.5
β	3.53

여기서 G 는 전단탄성계수(shear modulus), E_o 는 체적탄성계수(bulk compression modulus), E_c 는 압축탄성계수(apparent compression modulus), ν 는 포아슨비(poisson ratio), β 는 고무의 화학적 성분에 의해 결정되는 상수를 각각 나타낸다. 또한 고무의 형상에 따라 변화하는 휨에 대한 압축탄성계수(apparent compression modulus for bending) E_b 를 구하면 식 1과 같다.⁽¹⁾

$$E_b = E_c(1 + \beta S^2) \quad (1)$$

$$S = \frac{bh}{2nt_R(b+h)}$$

여기서 형상계수(shape factor) S 는 하중을 받는 고무의 단면적을 팽창이 일어날 수 있는 측면의 전체면적으로 나눈 값이다. 또한 E_b , E_c 는 고무의 체적압축(bulk compressibility)이 고려되지 않은 계수로써 이것을 고려하면 식 2와 식 3으로 다시 표현할 수 있다.⁽²⁾

$$E_b' = E_b E_o / (E_b + E_o) \quad (2)$$

$$E_c' = E_c E_o / (E_c + E_o) \quad (3)$$

위에서 제시한 식들로부터 얻어진 계수들을 이용하여 실험에 사용된 기초분리장치의 수평강성 및 수직강성을 구하면 식 4와 식 5로 나타낼 수 있다.⁽²⁾

$$K_H = P_v^2 / \{ (2qS_b \tan(q/2) - P_v) \} \quad (4)$$

$$K_V = A_{eff} E_c' / nt_R \quad (5)$$

여기서

$$q = \sqrt{(P_v/S_b)(1 + P_v/S_s)}$$

$$S_b = E_b' I (t_R + t_s) / t_R$$

$$S_s = GA_R (t_R + t_s) / t_R$$

$$l = nt_R + (n-1)t_s$$

$$I = bh^3 / 12$$

$$A_R = bh$$

$$A_{eff} = b(h - 2\delta_H)$$

$$P_v = \text{vertical load}$$

$$\delta_H = \text{horizontal displacement}$$

본 연구에서 특성실험을 위하여 제작한 기초분리장치의 장변방향에 대한 수평강성(K_H)과 수직강성(K_V)을 계산하면 다음과 같다.

$$K_H = 23.37 \text{KN/cm} \quad (P_v = 200.0 \text{KN})$$

$$K_V = 10.46 \text{MN/cm} \quad (\delta_H = 0.00 \text{cm})$$

$$K_V = 9.54 \text{MN/cm} \quad (\delta_H = 1.375 \text{cm})$$

제작된 기초분리장치의 좌굴하중(buckling load : P_{cr})을 계산함으로써 지지할 수 있는 허용수직하중을 예측할 수 있다. 본 연구에서는 Haringx에 의해서 최초로 제안된 이론을 적용하여 식 6과 같이 좌굴하중 P_{cr} 을 계산하였다.⁽³⁾

$$P_{cr} = (P_S/2) [\sqrt{(1 + 4P_E/P_S)} - 1] \quad (6)$$

여기서

$$P_S = GA_R$$

$$P_E = \pi^2 E_c I / 3H^2$$

$$H = \text{기초분리장치의 전체높이 (65.0mm)}$$

위에서 A_R 은 하중을 받는 면적이며 I 는 기초분리장치의 장변방향에 대한 단면2차 모멘트를 나타낸다. 식 6에 의해서 계산된 좌굴하중 P_{cr} 은 4.63MN으로 얻어진다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 적층고무받침방식의 기초분리장치에 대한 정적실험 및 동적실험을 수행하기 위하여 실험장치를 그림 2와 같이 설계하였다. 또한 사진 1에서는 전체적인 실험광경을 보이고 있다. 실험에 사용된 2대의 유압식가력기(hydraulic actuator)는

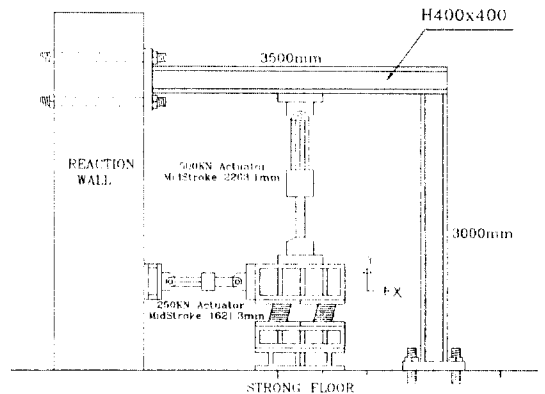


그림 2. 본 연구에 사용된 실험장치.

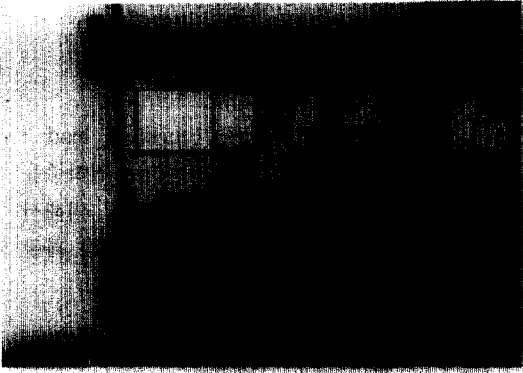


사진 1. 설치된 실험장치 광경.

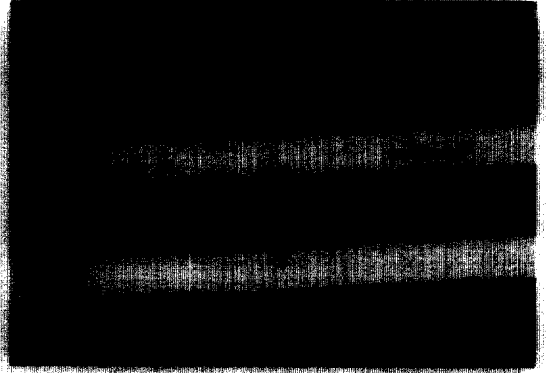


사진 2. 실험에 사용된 2개의 적층고무반첩(LRB).

각각 수직방향과 수평방향으로 작용하도록 설치하였다. 수직방향으로 하중을 재하하기 위한 유압식 가력기의 가력하중용량 및 가력변위는 각각 ± 500 KN, ± 150 mm이며 수평방향으로 전단변형을 제어하기 위한 유압식가력기의 가력하중용량 및 가력변위는 ± 250 KN, ± 250 mm이다.

3.2 정적실험 방법

정적실험에서는 기초분리장치의 수평방향에 대한 전단변형 $\gamma_H (= \delta_H / n_{tr})$ 및 수직하중(P_v)의 크기에 따른 수평 및 수직강성의 특성을 파악하기 위해서 다양한 실험을 수행하였다. 수평방향의 전단변형은 10%(2.750mm)-150%(41.250mm), 수직하중은 100 KN-300KN까지 변화시켜 정적실험을 수행하였으며 각각 3회의 반복하중을 입력하중으로 하였다. 가력장치의 제어방식은 수평방향에 대해서는 변위제어(displacement control), 수직방향에 대해서는 하중제어(force control)로서 각각 독립적으로 제어가 이루어졌다.

실제 실험에 앞서 1개의 기초분리장치에 대해서 수평방향의 전단변형을 증가시키면서 특성실험을 수행하였다. 그러나 전단변형 150% 이상에서는 실험장치 및 기초분리장치의 정착부가 불안정하여 실험결과에 오차가 포함되었기 때문에 본 실험에서는 장변방향으로 2개의 기초분리장치를 사용하여 비교적 작은 오차범위내에서 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 최대전단변형 150% 이내에서 실험이 수행되었으며 기초분리장치의 수평강성은 2개의 시험체에 대한 평균값으로 얻어진다. 사진 2에서는 실

험에 사용된 2개의 기초분리장치를 나타내고 있다.

3.3 동적실험 방법

동적실험에서도 정적실험방법과 동일한 실험장치를 사용하였으며, 이 경우에는 200KN의 수직하중 상태에서 수평방향의 최대전단변형이 30%(8.25mm)가 되도록 가력하였다. 동적실험에서 얻어진 수평강성을 정적실험에서 얻은 수평강성과 비교함으로써 기초분리장치의 strain-rate 효과를 얻고자 한다. 따라서 일정한 수평방향의 전단변형에 대해서 가력속도(loading rate)를 0.05Hz-5.0Hz까지 변화시켜 가며 실시간(real time)에서 실험을 수행하였다.

4. 실험결과에 대한 분석

앞 절에서 설명한 정적 및 동적실험방법을 통하여 얻어진 기초분리장치의 힘-변위관계는 strain-hardening에 의한 비선형성을 나타내며, 또한 고무의 재료적인 특성에서 비롯된 hysteretic damping이 포함된다. 따라서 거동특성을 대표적으로 나타낼 수 있는 유효강성(effective stiffness : K_{eff}) 및 등가감쇠비(equivalent damping ratio : ξ_{eq})를 식 7과 식 8로부터 구하였다.⁽⁴⁾

$$K_{eff} = \frac{(P_{max} - P_{min})}{(\delta_{max} - \delta_{min})} \quad (7)$$

$$\xi_{eq} = \frac{\Delta W}{2\pi K_{eff} \delta_{max}^2} \quad (8)$$

여기서, P_{max} , P_{min} , δ_{max} 및 δ_{min} 은 실험으로부터 얻어진 힘-변위곡선의 최대, 최소값을 나타내며 ΔW 는 이 곡선의 면적을 의미한다. 그림 4에서와 같이 실제 실험에서 얻어진 힘-변위곡선으로부터 힘과 변위에 대한 최대값 및 최소값을 직접 얻을 수 있다. 또한 실험결과로부터 전단탄성계수(shear modulus) G 와 전단응력(shear stress) τ_H 를 계산하기 위하여 식 9 및 식 10을 사용할 수 있다.

$$G = n t_R K_{eff} / A_R \quad (9)$$

$$\tau_H = G \gamma_H \quad (10)$$

제작된 기초분리장치의 수직강성을 측정하기 위하여 먼저 기초분리장치의 수직방향의 압축실험을 수행하였다. 압축실험은 UTM을 이용하여 최대압축하중 1.8MN까지 재하하였다. 그림 3은 전단변형이 없는 상태에서의 압축실험결과로서 직선부분에 해당하는 기초분리장치의 수직강성을 구하면 10.39

MN/cm로서 2장에서 이론적으로 구한 수직강성 10.46MN/cm와 거의 일치함을 알 수 있다. 그러나 수직하중 300KN범위내에서 수행된 실험으로부터 얻어진 수직강성은 9.68MN/cm로서 이론적으로 구한 수직강성에 비해 약 6.9%정도 작은 값을 보이고 있다. 또한 2장에서 이론적으로 계산한 좌굴하중 P_{cr} 은 4.63MN으로서 압축실험에서 재하된 최대수직하중 1.8MN의 약 2.6배에 해당한다.

그림 4는 200KN 수직하중하에서 수평방향의 최대전단변형을 150%까지 변화시켜 얻어진 힘-변위곡선으로서 strain-hardening효과가 100%이상에서 현저하게 나타남을 알 수 있다. 전단변형 150% 이상에서는 mounting plate와 적층고무사이의 볼트연결에 결함이 관찰되었다. 그림 5는 200KN 수직하중하에서 최대전단변형의 변화에 따른 수평강성 및 등가감쇠비를 구한 것이다. 200KN의 수직하중하에서 이론적으로 계산한 수평강성은 23.37KN/cm로서

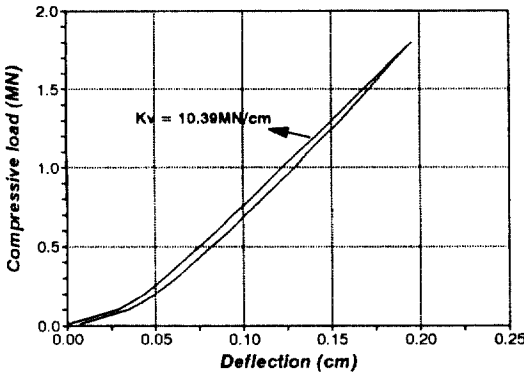


그림 3. 기초분리장치의 압축재하실험결과.

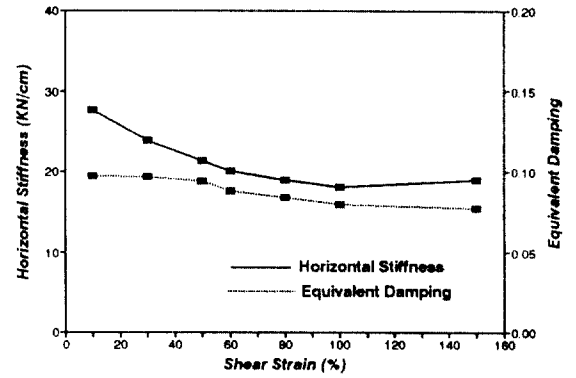


그림 5. 전단변형에 따른 수평강성 및 등가감쇠비 ($P_v=200KN$).

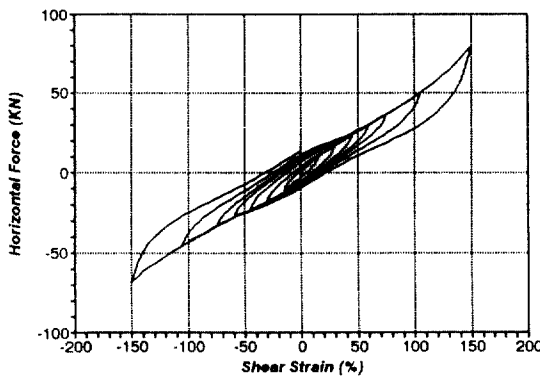


그림 4. 수평방향의 힘-변위곡선 ($P_v=200KN$).

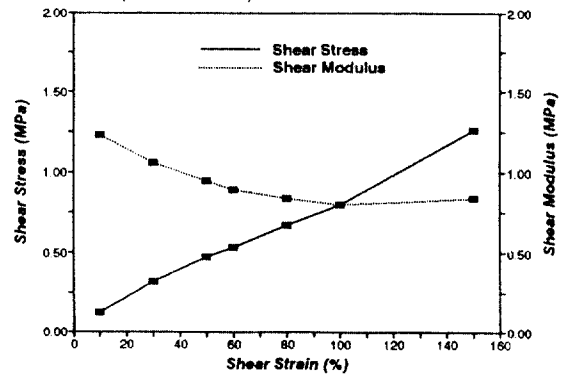


그림 6. 전단변형에 따른 수평방향의 전단응력 및 전단탄성계수 ($P_v=200KN$).

그림 5에서 얻어진 최대전단변형 30%에 해당하는 수평강성 23.84KN/cm와 거의 일치한다. 또한 최대 전단변형이 약 60%인 부근에서 수평강성의 감소가 줄어들고 있다. 마찬가지로 그림 6에서는 전단변형이 증가함에 따라서 전단탄성계수 G가 유사한 경향으로 감소함을 알 수 있다. 또한 그림 7은 수직하중의 변화에 따른 수평강성 및 등가감쇠비를 80%(22.0 mm)의 최대전단변형에 대해서 구한 값이다. 여기서 수직하중의 변화가 수평강성에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그림 8은 수평방향의 전단변형에 따라 수직강성의 변화를 보여주고 있다. 100%이내의 수평방향의 전단변형에 대해서는 수직강성의 변화가 없는 것으로 나타났으며, 이 범위에서의 수직강성은 수평강성의 약 450배에 해당하는 값을 갖는다. 앞에서 이론적으로 계산한 최대전단변형 50%에 대한

수직강성은 9.54MN/cm이며 이에 해당하는 실험치는 9.59MN/cm로서 약 0.57%의 오차를 나타내고 있다. 그림 9는 수평방향의 최대전단변형 30%(8.250 mm)에 대한 가력속도(loading rate)를 변화시킴으로서 얻어진 동적실험결과에 의한 유효강성 및 등가감쇠비이다. 그림 10에서는 정적실험에서 얻어진 특성값에 대한 동적실험결과들의 상대적인 비로서 기초분리장치에서 나타나는 동적효과를 관찰할 수 있다. 수평방향의 유효강성 및 등가감쇠비 모두가 가력속도에 따라 증가하였으며 유효강성에 비교하여 등가감쇠비의 증가율이 훨씬 크게 나타남을 알 수 있다. 따라서 내진설계에 적용되는 기초분리시스템의 유효주기(effective period)인 1초에서 4초의 범

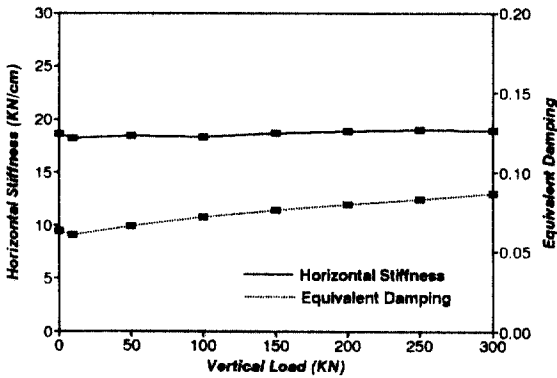


그림 7. 수직하중에 따른 수평강성 및 등가감쇠비 ($\gamma_{H,max} = 80\%$).

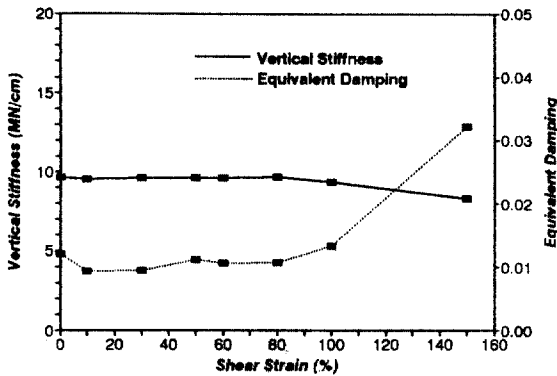


그림 8. 전단변형에 따른 수직강성 및 등가감쇠비 ($P_v = 200KN \pm 100KN$).

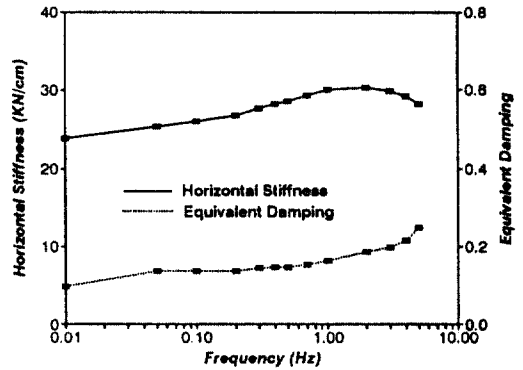


그림 9. 가력속도에 따른 수평강성 및 등가감쇠비 ($\gamma_{H,max} = 30\%$, $P_v = 200KN$).

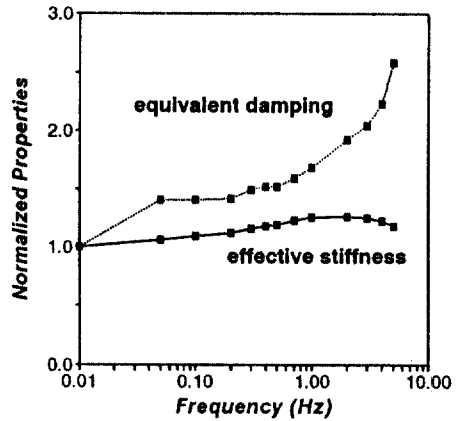


그림 10. 정적실험결과에 대한 동적실험결과에서 얻어진 수평강성 및 등가감쇠비의 상대적인 증가율 ($\gamma_{H,max} = 30\%$, $P_v = 200KN$).

위내에서 동적실험으로부터 얻어진 유효강성은 정적실험결과에 비하여 약 20% 정도 큰 값을 보이고 있다. 그러나 등가감쇠비에 있어서는 정적실험결과에 비하여 약 30% - 50%정도 크게 나타난다.

5. 실험결과에 대한 수치적 이상화

정적실험으로부터 얻어진 기초분리장치의 특성은 비교적 작은 전단변형에서 항복이 일어나며, 전단변형이 커지면서 strain-hardening 효과가 발생하였다. 특히 hysteretic damping이 명확하게 나타남으로서 에너지소산효과(energy dissipation effect)가 예상된다. 여기서 기초분리장치의 초기강성과 항복 후 나타나는 강성값의 비에 따라서 기초분리장치의 유효주기가 변화한다. 그러나 기초분리장치의 특성을 이상화하는 과정에서 정적실험에서 얻은 결과들은 최대전단변형, 수직하중의 크기 및 가력속도등에 따라서 다소 변화하는 특성을 갖고 있기 때문에 적절한 이상화가 필수적이다. 앞서 수행된 특성실험으로부터 기초분리장치의 거동특성을 대표하는 계수들을 얻음으로서 기초분리효과가 고려된 구조물의 비선형 수치해석에 직접 응용할 수 있다. 표 2는 정적실험으로부터 얻어진 기초분리장치의 힘-변위 이력곡선을 그림 11과 같이 bilinear model로 가정하여 얻어진 값들이다.⁽⁵⁾ 여기서 K_i 는 초기강성(initial stiffness), K_u 는 항복후 강성(post-elastic stiffness), Q_d 는 characteristic strength를 나타낸다.

표 2에서 얻어진 특성값들을 이용하여 기초분리장치의 최대 150%까지의 수평전단변형에 대한 Q_d , K_i , 및 K_u 의 함수를 구하였다. 본 연구에서는 최

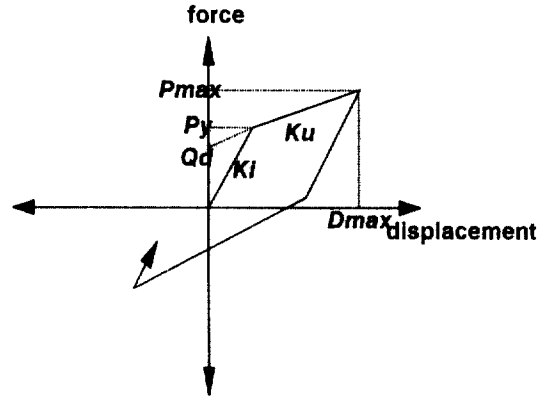


그림 11. bilinear model에 의한 기초분리장치의 이상화.

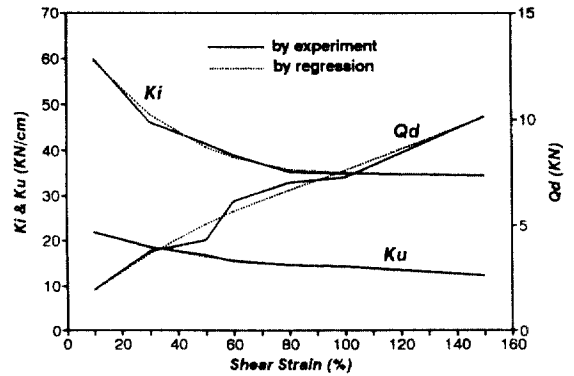


그림 12. 최소자승법에 의한 특성값과 실험결과와의 비교.

표 2. 수평방향의 정적실험으로부터 얻어진 기초분리장치의 특성계수

$\gamma_{H,max}$ (%)	$\delta_{H,max}$ (cm)	$P_{H,max}$ (KN)	P_v (KN)	Q_d (KN)	K_{eff} (KN/cm)	K_i (KN/cm)	K_u (KN/cm)
10	0.275	7.62	3.08	1.96	27.69	59.98	21.86
30	0.825	19.61	6.34	3.79	23.84	46.10	18.53
50	1.375	29.34	7.22	4.30	21.34	41.40	16.76
60	1.650	33.02	10.14	6.14	20.01	38.91	15.34
80	2.200	41.53	11.97	7.01	18.88	35.02	14.51
100	2.750	49.62	12.28	7.27	18.04	34.74	14.18
150	4.125	78.16	15.76	10.13	18.95	34.45	12.30

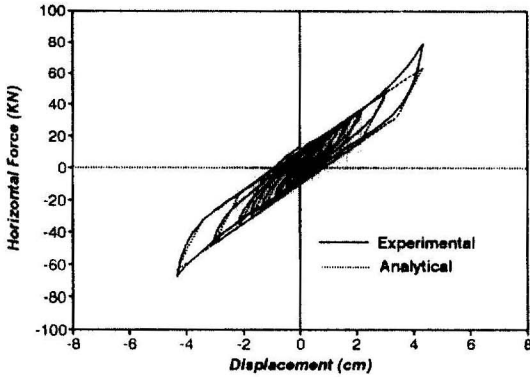


그림 13. 실험결과와 bilinear model과의 비교.

소자승법(least square method)을 적용하여 식 11, 식 12 및 식 13을 얻었다. 그림 12에서는 최소승법에 의한 기초분리장치의 특성값들을 실험결과와 비교하고 있다.

$$Q_d(\gamma_H) = 0.9035 + 10.9285\gamma_H - 6.3619\gamma_H^2 + 2.1087\gamma_H^3 \quad (11)$$

$$K_i(\gamma_H) = 67.2716 - 85.6622\gamma_H + 74.7874\gamma_H^2 + 21.5267\gamma_H^3 \quad (12)$$

$$K_u(\gamma_H) = 24.0684 - 23.8011\gamma_H + 20.0276\gamma_H^2 - 6.2558\gamma_H^3 \quad (13)$$

그림 13에서는 실험에서 얻어진 힘-변위곡선과 수치적으로 이상화한 bilinear model로 부터 얻어진 힘-변위곡선을 비교하였다. 그림 13에서 나타난 이론적인 bilinear model은 식 11, 식 12 및 식 13에 150%의 수평전단변형(γ_H)을 대입하여 얻어진 결과이다.

6. 결 론

본 연구에서는 가장 널리 쓰이는 기초분리장치의 한 종류로서 적층고무받침을 제작하여 정적 및 동적특성실험을 수행하였다. 앞에서 간략하게 언급한 실험결과에 대한 분석자료는 상부구조물과 기초와의 분리(isolation)를 목적으로 본 실험에서 제작한 기초분리장치의 활용가능성을 검증하였다.

본 연구에서 제작한 기초분리장치는 수평강성에 비하여 수직강성이 400배 이상 크게 나타났으며 수평방향의 최대전단변형은 150% 이내에서 효과적

으로 거동하였다. 정적실험에서 나타난 수평강성은 수평전단변형의 크기에 따라서 다소 변화를 보였으나 수직하중의 영향은 비교적 작게 나타났다. 마찬가지로 수직강성도 수평전단변형의 크기에 관계없이 일정한 강성값을 보이고 있다. 정적실험에서 나타난 등가감쇠비는 약 10% 미만으로 나타났으며, 이 값은 기초분리장치의 일반적인 점성감쇠비보다 비교적 작은 값이다. 동적실험에서는 정적실험에서 보다 수평강성이 크게 나타났다. 그러나 기초분리장치의 유효주기 범위내에서는 약 20%정도 큰 값을 보임으로서 수치해석과정에서 strain-rate 효과의 영향이 비교적 작은 것으로 판단된다.

본 연구에서는 정적실험으로 부터 얻어진 기초분리장치의 힘-변위곡선을 bilinear model로 이상화하여 특성값들을 얻었다. 또한 수평전단변형에 대한 기초분리장치의 특성값을 3차 다항식으로 제안함으로써 추후 비선형 동적수치해석에 효율적으로 적용할 수 있다.

일반적으로 기초분리장치가 갖는 특성을 대부분 포함하고 있지만 본 실험결과에서 얻은 개선점은 i) mounting plate와의 볼트연결부분 보완 ii) 최대전단변형을 증가시키기 위해서 적층고무의 전체높이 조정 등으로 요약할 수 있다.

감사의 글

본 연구에서 제작한 적층고무받침은 유니슨산업(주)와 유니슨기술연구소의 도움으로 제작하였기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 유춘화, 이신언, "방진고무 재료의 진동특성 해석 및 실험(II)", 한국항공우주학회 학술발표회 논문집, 1992.
2. T. Fujita, et al, "Research, Development and Implementation of Rubber Bearings for Seismic Isolation", *Pressure Vessels and Piping Conference*, Vol. 181, ASME, Hawaii, 1989, pp.35-42.
3. I. D. Aiken, J. M. Kelly, F. F. Tajirian, "Mechanics of Low Shape Factor Elastomeric Seismic Isolation Bearings", *Report No. UCB/EERC-89/13*, Earthquake Engineering Research Center, University of

California, Berkeley, Nov. 1989.

4. "Seismic Isolation and Response Control for Nuclear and Non-Nuclear Structures", *Special Issue for the Exhibition of the 11th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology*

(SMiRT 11), Tokyo, Japan, 1991.

5. "*Seismic Isolation and Energy Dissipation : Implementation in Bridge Analysis and Design*", Dynamic Isolation Systems, Inc., 1990.

(接受 : 1993. 2. 22)