

고성능 적층고무 면진장치의 요구 성능

Demand Capacities of Rubber Bearing

for Seismic Isolated Building

황 기대*

Hwang Kee-tae

임 종만**

Rim Jong-man

김 동원***

Kim Dong-won

ABSTRACT

The ultimate capacities of a rubber bearing are defined by compressive stress, shear strain, and stabilized restoring force.

The experiments were conducted with parameters of shear elasticity(G) and first shape factor(S1), second shape factor(S2) for rubber bearing .

Considering with test results, the ultimate capacities were verified, and furthermore the influence of those parameters were clarified. Using test results stable deformation of rubber bearings for designing was proposed.

1. 서론

최근에는 재해를 인재라고 말하기도 한다. 이것은 현재의 기술로 충분히 피해를 경감할 수 있는 기술과 능력이 있음에도 천재지변이니 어쩔 수 없지 않은가이다. 그러나 현재의 기술을 고려하면 충분히 지진피해를 경감시킬 수 있고, 방지할 수도 있다. 이 기술은 현재 가장 경제적이고 현실적인 방법이 면진구조일 것이다. 지진에서 자유로울 수 있는 궁극적인 방법은 지진동의 전달을 지반에서 완전히 차단하는 방법일 것이다. 그러나 기술적으로 여러 가지 문제점이 있으며, 현실적으로 가능한 방법은 면진구조일 것이다.

면진구조에서 사용하는 적층고무는 큰 압축하중을 지지해가면서 지진시의 수평변형에 대응하여 전단방향으로 복원력을 발휘하는 특성을 지니고 있다.

따라서, 본 논문에서는 천연고무 면진장치에 요구되어야 할 필수적인 성능과 적절한 평가항목을 제시하여 설계자가 보다 안심하고 사용하기 위하여 실험적으로 역학적특성을 파악하고자 한다. 본 실험에서는 고면압, 대변형시의 좌굴특성과 이력성장 및 복원력특성을 고무재료의 전단탄성계수(G)와 1 차형상계수(S1), 2 차형상계수(S2)의 변화가 적층고무의

* 정회원 (주) 에코닝, 대표이사, 공학박사

** 정회원 동일고무벨트 (주), 면진제진사업부, 과장

*** 정회원 동일고무벨트 (주), 면진제진사업부, 대리

한계성능, 변형의존, 면압의존등에 미치는 영향에 대해서 파악하고자 실험사이즈($\phi 500-\phi 800$) 적층고무로 실험을 하였다.

2. 적층고무 면진장치의 요구성능

면진구조에 사용되는 적층고무를 설계하기 위해서는 사용하는 고무재료의 설계용 재료정수를 파악할 필요가 있지만, 적층고무 제작에 사용하는 재료는 각 제조업체가 적층고무에 요구되는 특성과 내구성을 고려하여 개발되었기 때문에 구조설계자 마음대로 재료정수를 결정해서는 안 될 것이다. 따라서 각 제조업체가 제시하고 있는 설계용 재료정수는 제조코스트와 납품기간 등을 고려하여 각 제조업체가 효율적으로 결정하고 있다고 할 수 있다. 또, 적층고무 면진장치는 고축하중에 건축물의 내구기간동안 안정적으로 지지하여야 함은 물론, 극한하중인 지진하중(단기하중)시에도 안전성이 절대적으로 확보되어야 지진이후에도 인명보호는 물론 면진건축물의 최대 장점인 기능유지와 재산보호에 필요한 장치가 될 것이다.

따라서, 면진구조 설계자에게도 적층고무의 설계상 사용조건과 설계이론을 최소한 이해할 필요가 있으며, 본 논문에서는 적층고무 면진장치의 역학적특성에 대해서 실험을 통하여 제시하고자 한다.

3. 적층고무 성능평가의 목적

면진구조 시스템을 설계하는 구조설계자가 보다 효율적으로 적층고무 면진장치를 선정하기 위해서는 적층고무 제조업체가 적층고무의 재료와 형상에 따라 적층고무의 성능을 평가하여 역학적특성을 명확히 할 필요가 있다.

면진구조에서 가능한 한 장주기 영역으로 설계를 하면 지진에너지 에너지흡수능력과 면진성능이 향상된다. 또, 우리나라와 같이 설계용 지진하중이 낮은 경우에는 절대적으로 적층고무 면진장치를 안심하고 사용할 수 있는 사용조건이 제시가 필요하다. 면진구조를 장주기화하기 위한 방법에는 여러 가지 방법이 있지만, 여기서는 적층고무를 사용하는 경우에 대해서 기술하기로 한다. 면진장치의 직경이 동일한 적층고무로 장주기 영역으로 설계하는 방법에는 면압(σ)을 높이거나, 적층고무 재료의 전단 탄성계수(G)를 작게 하거나, 면압이 있는 경우에는 2차 형상계수($S2=D/n.tr$)가 작을수록 대변형 영역에서 수평강성이 작아지게 된다. 2차 형상계수를 작게 하는 것은 고무층의 높이가 높아지므로 좌굴안전성에 영향을 미치는 불안정 형상이 된다. 이것은 적층고무를 사용하는 방법과 하중지지 성능적인 면에서도 가혹한 환경이 된다.

따라서, 적층고무 역학적 특성을 결정하는 중요한 것은 고무 재료 전단 탄성율 (G), 1차 형상계수($S1$)와 2차 형상계수($S2$)이다. 그림1은 적층고무의 성능 결정요인을 나타낸 그림이다.

표 1은 적층고무의 성능결정요인과 각 파라미터의 상관관계를 나타내었다.

4. 시험방법

4.1 시험기의 개요

시험기의 사양은 다음과 같다. 연직하중 30(MN), 수평하중 ± 6 (MN), 수평변위 ± 600 mm 의

실험이 가능한 대형 2 축 실험기이다. 시험기는 사진 1 과 같다. 수평슬라이더와 연직슬라이더의 마찰력이 커지게 되면 복원력특성과 이력성상에 영향을 주어 역학적인 성상을 정확히 파악할 수 가 없게 된다.

표-1 적층고무 성능 결정요인과 상관관계

재료적 요인	형상적 요인	
전단탄성율 : G	1차형상계수 $S_1=(D_0-D_i)/4tr$	2 차형상계수 $S_2=D_0/(n \cdot tr$
$G=Kh \cdot n \cdot tr/A$ n.tr: 고무층두께	적층고무의 자유면적과 구속면적의 비	고무층두께와 적층고무단면적의 비
수평강성(Kh)을 결정	연직강성(Kv), 압축한계강도에 영향	수평강성 결정, 좌굴에 영향 $(Kh=G \cdot S_2 \cdot D_0 \cdot \pi /4)$

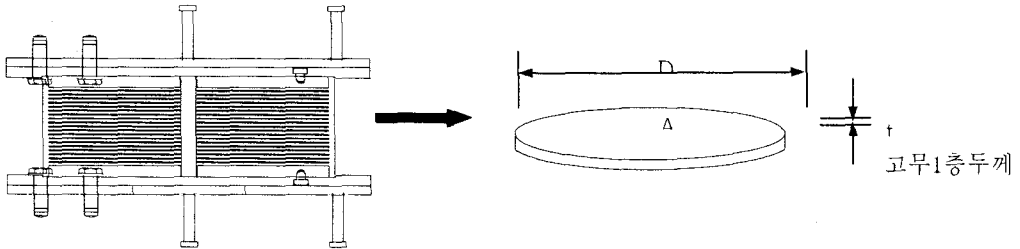


그림 1 적층고무의 성능결정요인

4.2 시험체

시험체의 형상과 제원을 표-2에 나타내었다. 각 시험체의 피복두께는 10mm이다. G가 0.3(Mpa)에서 0.4(Mpa)까지 3종류, 1차형상계수와 2차형상계수의 차이를 고려하여 전체 7개의 시험체를 제작하였다.

4.3 가력방법

(1) 압축전단시험

연직방향으로 면압 σ 을 재하하고 전단변형 γ 의 수평진폭을 3싸이클 가력하여 실험을 수행하였다. 면압과 전단변형의 조합은 그림2와 같은 조합으로 하였다.

시험의 순서는 그림 2와 같이 시행하였다. 그림의 $G=0.4$ 의 기준면압은 10Mpa, 전단변형 $\gamma=1$ 에서 최대면압50Mpa까지 가력하였다. 적층고무의 한계성능을 파악하기 위하여 좌굴 가능성이 있는 고면압, 대변형영역에서는 전단변형 $\gamma=4$ 까지 가력하여 한계성능을 평가하였다.

적층고무에 큰 전단변형을 가하게 되면 이보다 작은 전단변형에서는수평강성 K_h 가 저하하는 경향이 있기 때문에, 우선 ①의 전단변형으로 압축전단시험기에 순차적으로 면압을 변화시켜 나간다. ①완료 후 ②의 전단변형에서부터 순차적으로 큰 전단변형인 ⑧의 전단한계변형까지의 시험

을 실시한다.(한계변형구간은 적층고무의 S_2 에 정해지고 400%까지는 직경 상당의 전단변형과 거의 같아진다.) 순서①에서 ⑧까지에 대해서는 제품형상에 따라 기준면압의 2배 정도인 20-30N/mm² 면압과 한계변위까지의 조합이고, 주로 각 적층고무의 K_h 의 전단변위 및 면압의존성 평가를 목적으로 하고 있다.

면압은 5N/mm²부터 5N/mm²간격으로 변화되어지고, 전단변형은 100%를 기준하여 50%간격으로 변화되어진다.

표-2 시험체의 제원

적층고무의 직경	S_1	S_2	n	nts	G(kg/cm ²)			적용내용
					4.0	3.5	3.0	
Φ 500	31	5.1	26	98.8	①			기본형의 전단특성 확인
						②		G의 차이(G=3.0,3.5,4.0)
							③	
	36	5.1	30	99.0	④		S_1 의 차이($S_1=31$ 과 36)	
Φ 600	31	3.7	35	161	⑤		S_2 의 차이($S_2=5.1$ 과 3.7)	
Φ 690	31	4.1	32	169.6	⑥		Size의 차이(1)(Φ 600과 Φ 690)	
Φ 790	31	5.4	24	146.4	⑦		Size의 차이(2)(Φ 500과 Φ 790)	

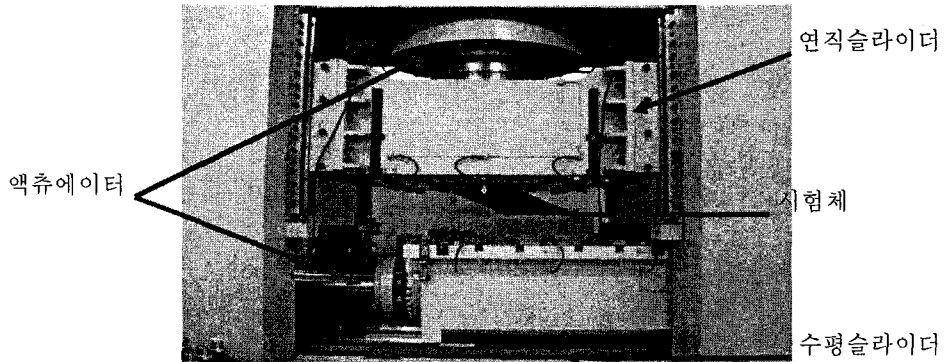


사진 1 시험기

5. 시험결과 및 평가방법

5.1 평가방법

적층고무 면진장치의 역학적인 특성은 면압(지지하중)의존성이 크다¹⁾. 따라서 적층고무를 적절한 장치 지지하중 하에서 이용하기 위해서는 면압 의존성에 대한 역학적 거동을 파악하는 것이 중요하다. 이것은 설계자가 적층고무 면진장치의 장기하중과 단기하중(지진하중)을 어떻게 결정해야 하는가를 판단할 수 있는 중요한 파라메터이다.

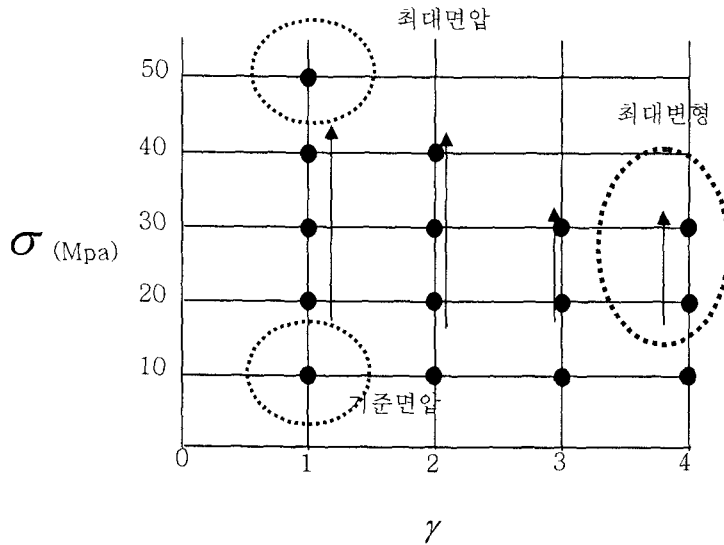


그림 2 압축전단시험 패턴

5-1 수평강성의 변형의존성

대표적인 이력곡선을 그림 3에 나타내었다. 그림 3은 $\Phi 500$ 기본형($G:4.0, S1=31, S2=5.1$)에 대한 한계상태까지 실시한 이력곡선을 나타내었다. 면압은 5, 10, 20, 30, 40, 50(Mpa),에 대한 전단변형은 $\gamma=1, 2, 3, 4$ 의 시험결과이다. 전단변형 $\gamma=1$ 에서는 면압 50(Mpa), $\gamma=2$ 에서는 면압 40(Mpa), $\gamma=3$ 에서는 면압 30(Mpa), $\gamma=4$ 에서는 면압 20(Mpa)에서 소프트닝의 경향이 나타나고, 면압 30(Mpa)에서 대변형인 $\gamma=4$ 에서는 현저히 나타나고 있다. 면압의존성이 작은 면압 5, 10(Mpa)에서는 $\gamma=3$ 까지 선형적인 특성을 지니고 있으며, $\gamma=4$ 이상에서 소프트닝 현상이 나타나고 있다.

그림 4-그림 8는 적층고무의 재료인 전단탄성계수(G), 형상계수 $S1, S2$, 사이즈의 차이가 역학적 특성에 미치는 영향을 나타내었다.

그림 4는 적층고무의 전단탄성계수 $G=0.3, 0.35, 0.4$ (Mpa)에 대한 전단변위 $\gamma=1.0$ 일 때의 적층고무의 수평강성과 면압 10(Mpa)의 적층고무의 수평강성을 비교하여 나타내었다. 즉, 고무의 전단탄성계수(G)가 적층고무의 이력곡선에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

면압 의존성은 G값이 낮을수록 크게 나타나며, $G=3.0$ 은 면압 25N/mm²에서, $G=3.5\sim 4.0$ 은 면압 35N/mm²에서 역구배가 발생하고, 변위의존성은 큰 차이를 보이지 않고 있다.

그림 5는 1차형상계수 $S1=31$ 과 36에 대한 전단변위 $\gamma=1.0$ 일 때의 적층고무의 수평강성과 면압 10(Mpa)일 때의 적층고무의 수평강성을 비교하여, G값이 적층고무의 이력곡선에 미치는 영향에 대하여 나타내었다.

면압 의존성은 역구배가 발생하기 이전영역에서는 차이가 없고, 면압 35(Mpa)에서 역구배가 발생하며 이후의 영역에서는 $S1=31$ 이 36보다 크게 나타내며, 변위의존성에는 큰 차이가 나타나지 않고 있다.

2차 형상계수($S2$)의 차이($\Phi 500(S2=5.1)$ 와 $\Phi 600(S2=3.7)$ 의 역학적특성을 나타내었다.

2차형상계수 $S_2=5.1$ 과 3.7에 대한 전단변위 $\gamma=1.0$ 일 때의 적층고무의 수평강성과 면압 10(Mpa) 일 때의 적층고무의 수평강성을 비교하여, G값이 적층고무의 이력곡선에 미치는 영향을 그림 6에 나타내었다.

면압 의존성은 S_2 가 작을수록 면압의존성이 크고, 변위의존성(활선강성)도 크게 나타나고 있다. 2차형상계수는 면압이 높아짐에 따라 수평강성은 저하하고 또 전단변형이 커질수록 수평강성이 저하한다는 것을 알 수 있다.

면압과 전단변형이 커질수록 강성이 저하하고 어떤 면압에서 강성이 0이 된다는 것을 알 수 있다.

유사한 형상계수를 가지면서 사이즈가 다른 적층고무로서, $\gamma=1.0$ 일 때의 적층고무의 수평강성과 면압 10(Mpa) 때의 수평강성을 비교하여, 사이즈의 차이가 적층고무의 이력곡선에 미치는 영향을 그림 7과 그림 8에 나타내었다.

면압 의존성은 S_2 가 작을수록 크게 나타내며, 변위의존성(활선강성)도 크게 나타나고 있다. 면압 의존성과 변위 의존성은 사이즈가 작은 제품이 크게 나타낸다.

한계특성의 평가에 대해서는 S_2 가 작을수록 전단변형이 높을수록 작고, 전단변형이 클수록 좌굴 응력도도 작아진다. G의 영향에 대해서는 면압이 작은 경우에는 거의 나타나지 않고 있지만 면압 30(Mpa)이상에서는 차이가 크게 나타나고 있다. 이것은 장기면압을 어느 정도로하고 지진시 단기 하중시에는 면압을 설계변위와 함께 어느 정도로 결정하는 것 인지를 결정할 수 있는 파라메타라고 생각된다. 기본형의 이력곡선을 그림 3에 나타내었다.

한계특성에 대해서는 수평가력시 이력곡선상에서 부(-)의 구배가 발생한 지점의 전단변형과 면압을 좌굴발생점으로 하였다. 기본형의 이력곡선을 그림 3에 나타내었다.

6. 결론

본 논문에서는 적층고무의 수평강성, 면압의존성, 1차형상계수, 2차형상계수, 사이즈효과에 따른 역학적특성을 적층고무의 압축전단시험을 통하여 비교 검토하였다.

본 실험으로부터 적층고무의 한계성능과 구조설계자가 안심하고 사용할 수 있는 안전영역의 범위를 확인하였다.

적층고무의 사용에 있어서 무엇보다 중요한 것은 강성의 변화가 적어 안정된 성능을 발휘하기 위한 영역(제품의 성능을 보증할 수 있는 영역)에 대해서 보다 명확하게 밝혀졌다고 생각된다.

향후, 본 실험 결과와 이론적 특성식과의 비교검토를 통하여 특성식을 제안하고자 한다. 또 적층고무의 요구성능에 대해서 더욱 상세히 검토한 후에 평가법의 타당성과 좌굴의 정의 등에 대해서 검증해갈 필요성이 있다고 생각된다.

[참고문헌]

- 1) 일본고무협회:설계자를 위한 면진용 적층고무 핸드북,2001
- 2) 일본면진구조협회 : 면진구조설계지침
- 3) 한국면진제진협회:처음배우는 면진구조

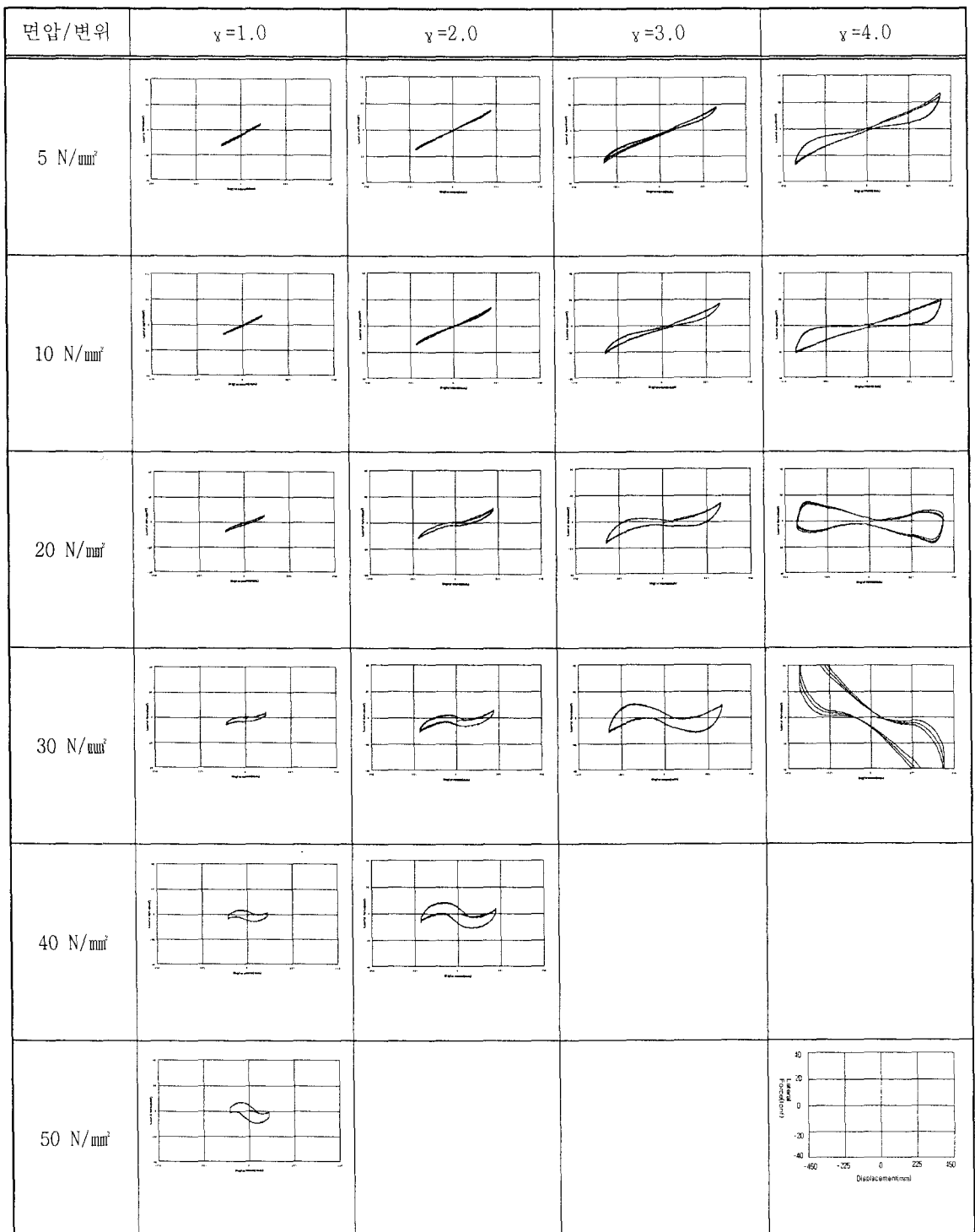


그림 3 $\Phi 500$ 의 이력특성

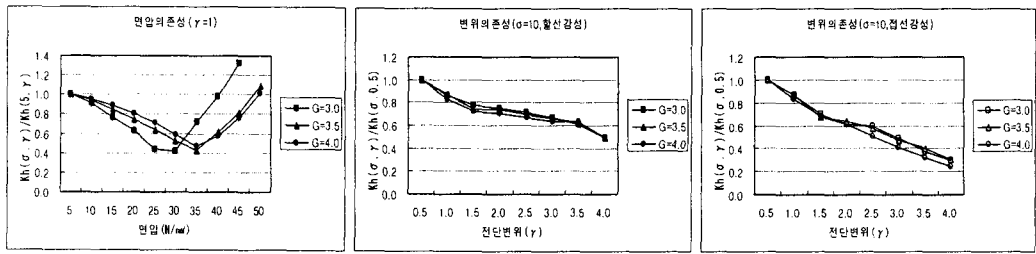


그림 4 전단탄성계수(G)의 영향 ($\phi 500$)

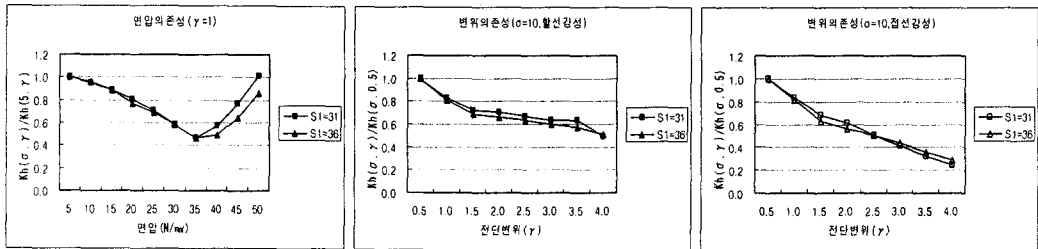


그림 5 1차형상계수에 의한 차이 ($\phi 500$)

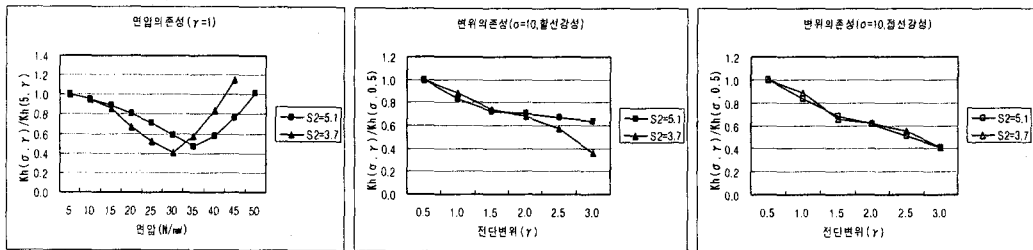


그림 6 2차형상계수와 사이즈 영향

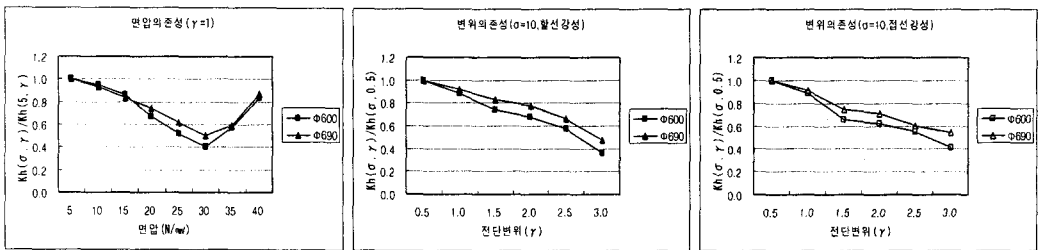


그림 7 $\phi 600$ 과 $\phi 690$ 의 비교

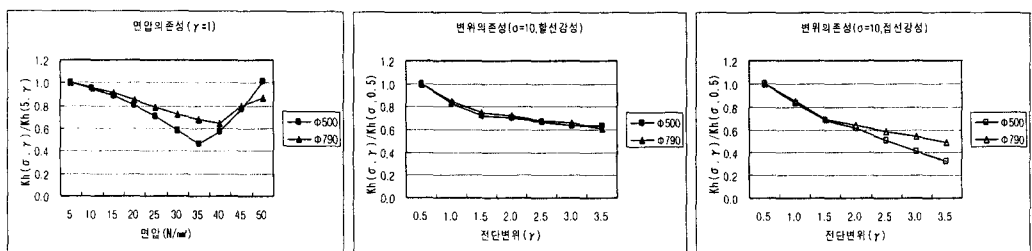


그림 8 $\phi 500$ 과 $\phi 790$ 의 비교