

## 교량용 탄성받침의 설계압축응력에 대한 고찰

### The Design Criteria of Elastomeric Bearing for Highway Bridges

전규식\*                      이병진\*\*                      정명호\*\*\*                      조해진\*\*\*\*  
Jeon, Gyoo-Shick   Lee, Byeong-Jin   Jeoung, Myong-Ho   Jo Hae-jin

---

#### ABSTRACT

Elastomeric bearing is used as one of the most useful way for isolation structures, because the horizontal stiffness is much lower than the vertical stiffness. The quality of Elastomeric bearing depends on the vulcanization procedure to manufacture, which produces the elasticity of the rubber from the compound of rubber and sulphur. The durability of Elastomeric bearing is affected by the deterioration due to ozone and ultra-violet attack. but the durability during the design life of bridges can be assured by the sufficient size of the bearing in spite of the deterioration in surface. In the design criteria of Elastomeric bearing, the stability of the bearings is evaluated by shear strain due to compression, lateral displacement, and rotation. The question how soft rubber can sustain heavy structure is now able to be solved by Ultimate capacity test of Laminated Elastomeric Bearings, which results 1,200kg/cm<sup>2</sup> of the max. compressive stress and this shows what a sufficient safety factor Elastomeric bearing has !

---

#### 1. 서    론

지진이라는 자연현상인 지반의 움직임에 대하여 대항하고자 구조물의 내진설계를 함에 있어서 지진파의 특성을 정확히 파악하지 못한 1950년대까지는 단지 구조물을 튼튼히 설계하여 지진에 대비하였으나, 지진파에는 단주기 성분보다 장주기 성분은 상대적으로 에너지가 적게 내포하고 있다는 사실을 알고 난 1960년대부터는, 구조물을 부드럽게 설계하여 고유주기를 길게하는 면진설계법이 오히려 지진에 대한 보다 안전한 설계법이라는 사실을 인지하기 시작하였다. 이와 같이 구조물을 부드럽게 설계하는 방법으로서, 초고층구조물과 같이 높이를 높게하여 고유주기를 길게하는 방법이 있으나, 저층건축물 및 일반적인 교량구조물은 통상적인 사용상의 하중을 유지하기 위한 주요부재의 최소단면적이 필요한 관계로 무한정 구조물의 고유주기를 길게할 수가 없다. 그러므로 구조물을 지지하는데 필요한 부재의 단면적을 유지한 상태에서 인위적으로 구조물의 고유주기를 길게하기 위한 방법으로서 고무받침을 사용하게 되었으며, 1970년대 후반부터는 고무와 철판을 적층으로 구성하여 수평강성은 적으나, 수직강성은 강한 면진설계법의 개념에서 이상적인 적층고무받침이 프랑스에서 개발되어 학교건물 및 원자력발전소 등에 적용되기 시작했다. 그러나 국내에서

---

\* 유니슨건설(주) 기술이사, 공학박사, 정회원

\*\* 유니슨건설(주) 부장, 정회원

\*\*\* 유니슨건설(주) 사원, 정회원

\*\*\*\* 유니슨 기술연구소 주임, 정회원

는 적층고무받침이 소개되기 시작할 1980년대 초반에 소성체인 고무원료에 탄성력을 부여하는 가황처리기술의 미숙 및 고무와 철판의 접촉불량에 따른 품질의 불신으로 한동안 사용이 금지되었다가 1980년대 후반부터 교량지주용 탄성받침에 대한 KS F4420 (1987년)이 제정되어 고무제품에 대한 신뢰도가 향상된 관계로 국내에서도 교량받침용으로 널리 사용되고 있으며, 최근에는(1998년) 최대전단변형율에 대한 제한 및 시험에 관한 규정의 신설 등 KS규정이 대폭적으로 개정되었다. 본 논문은 탄성받침의 설계조건에 관한 각국의 규정을 비교 검토하고 탄성받침의 최대압축응력에 대한 실험결과를 소개함으로써, 탄성받침에 대한 국내기술자들의 불신 및 편견을 개선하고자 한다.

## 2 고무재료의 특징

고무는 고분자화합물(고분자재료 : 약 10만 이상)로서 기본적인 화학구조는 한 개의 분자가 고리로 연결된 형상(鎖狀)으로 뒤엉켜있는 구조를 갖고 있다. 이러한 고무분자에 탄력구조를 갖기 위하여 고무원료에 유황, 카본, 연화제, 노화방지제 등을 혼합하여 고온·고압으로 가열하면 유황 분자가 고무분자에 영구적인 架橋를 형성하여 고무제품은 탄력성을 갖게된다. 고무제품의 품질을 결정하는 가장 중요한 요소는 사용되는 고무원료의 품질에 우선하여 사용된 혼화제에 가장 적합한 가열온도, 가열시간 및 압력과 같은 가황처리절차에 의해 결정되며, 이러한 최적의 조건을 구하기 위하여 네오메타(Rehometer)라고 하는 측정기기를 사용한다. 즉 고무제품은 봉어빵의 제조공정과 같이, 고열을 일시적으로 가하면 걸만 타고 속은 익지 않으며, 저열에 장시간 방치하면 설익는 것처럼, 가황처리절차가 고무제품의 품질을 결정하는 가장 중요한 요인이 된다. 그러나 고무제품은 강도의 증진을 위하여 카본이 필수적으로 함유되어 외관상의 색깔이 검은 관계로 소비자가 육안상으로 제품의 품질을 확인할 수 없는 한계점이 있으며, 국내에 탄성받침이 도입된 1980년대 초반에 토목기술자들에게 제품의 불신을 받은 이유도 가황처리의 미숙에 있었다. 고무분자는 형상적으로는 고체이면서도 다른 고체분자와의 차이점은 유체분자와 유사한 특징을 갖고 있다는 점이다. 고무는 상당히 긴 鎖狀形의 분자가 뱀이 파리를 틀고 있듯이 복잡하게 엉켜 있어 분자전체로서의 이동 및 회전이 발생하지 않는 관계로 액체와 같은 유동성은 없으나, 각개의 분자는 그림-1과 같이 열운동에 의해 결합점 간에 회전하는 마이크로브라운 운동으로 인하여 액체분자의 운동형태를 나타낸다.

### 2.1 고무의 내구성

일반적으로 우리들이 사용하고 있는 양말 및 의류에 사용되고 있는 고무제품은 쉽게 열화되는 현상을 경험적으로 인지하고 있는 관계로, 탄성받침과 같은 고무제품을 교량구조물과 같이 장기간 사용되는 구조물에 적용하기 위해서는 고무의 내구성에 대한 불안감이 있으나, 탄성받침의 구조형식이 해답을 갖고 있다. 탄성받침에 사용되는 재료는 고무와 보강철판이며 보강철판은 고무로 보호되어 있으므로 탄성받침의 내구성이란 결국 고무의 經年變化를 의미한다. 고무재료는 유기물임으로 기본적으로 사용년수에 따라 점차 변화하나, 이러한 변화의 형태는 외부에서의 자극(빛, 열, 외력)에 기인하는 기계적인 요인과 내부적인 자극(포리마, 충전제, 가교변태)에 의한 화학적인 변화로 분류된다. 탄성받침은 빛이나 열과 같은 영향이 적은 환경에서 사용되는 관계로 특히 주의해야 하는 요인으로서는 주로 고무의 산화반응과 크리이프 특성이다. 즉, 그림-2와 같이 고무분자가 유황분자를 통하여 결합하고 있는 가교점을 산소가 결합하여 결합점을 절단하고, 또한 다른 포리마와 결합하는 관계로 網目構造가 중대하여 고무분자의 움직임을 제한하여 경화하는 메커니즘을 갖는다. 고무의 경년열화를 지배하는 산화현상에 대하여 탄성받침은 얇은 고무와 철판이 적층형태로 구성되어 산소가 고무 내부에 침투할 수 있는 부분은 극히 미미한 표면적에 불과하므로, 표면

에서는 미미한 산화열화가 발생하나 내부고무는 건전한 상태를 유지한다. 지금까지 전세계적으로 장기간 사용된 대형 고무받침의 열화상태에 관해 조사한 대표적인 예로서 100년 전에 오스트레일리아의 멜본 철도교에서 방진용으로 사용된 천연고무를 수거하여 조사한 결과, 표면에서 5mm 정도까지는 오존 및 산소에 의한 산화열화로 균열이 발생하였으나, 내부는 거의 변화하지 않았다는 사실이 확인되었다. 또한 이러한 오존에 의한 산화현상은 고무가 인장된 상태에서는 급속히 진행하나, 고무를 압축한 상태에서는 거의 진행되지 않는 특성을 갖고 있으며, 특히 천연고무는 합성고무에 비하여 산화하는 성질이 강함으로 탄성받침은 합성고무를 사용하거나 내구성이 강한 피복고무로 5~10mm정도를 피복하여 사용하고 있다. 이와 같이 탄성받침을 내구성이 요구되는 구조물의 받침으로 사용되는 이유는 사하중에 의해 항상 압축력을 받고 있는 상태에서 사용됨으로 산화의 진행이 늦고, 또한 산화현상은 항상 표면에서 진행됨으로 고무줄과는 달리 평면적으로 큰 크기를 갖는 탄성받침은 표면에서 일부분이 산화되더라도 구조물을 지지하는 충분한 단면적이 확보되기 때문이다.

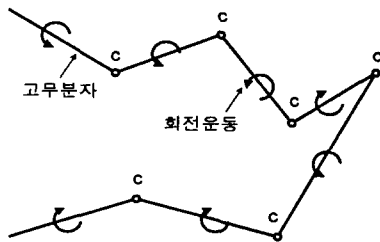


그림-1 고무분자의 마이크로브라운 운동

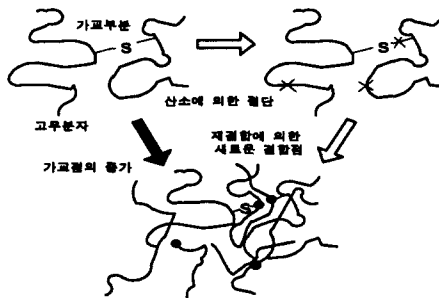
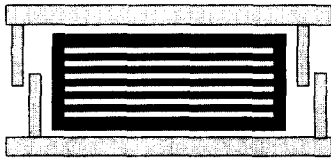


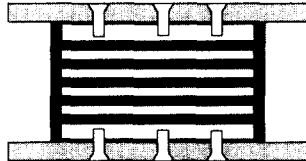
그림-2 고무분자의 산화에 의한 영향

### 3. 탄성받침의 구조

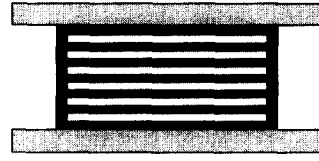
탄성받침은 얇은 고무층과 보강철판이 적층으로 구성되고, 상·하부에는 철골 및 콘크리트 구조물에 고정하기 위한 플렌지 철판을 갖고 있다. 평면적인 형상은 모든 움직임에 대하여 방향성이 없는 원형으로 사용하는 것이 바람직하나, 상부구조 및 하부구조의 형상에 따라 사각형으로 제작되는 경우도 많다. 특히 우리나라의 경우에는 교량지주용 탄성받침에 대한 한국표준규격 (KS F 4420, 1987년)이 제정될 당시에 “탄성받침의 모양은 직육면체로서...”라는 항목이 있었으며, 고무의 성형을 위한 금속몰드의 제작도 사각형이 편리한 제조상의 이유 및 탄성받침에 대한 도로공사의 표준도가 PC-BEAM의 형상에 적합한 사각형이 정의되어 있는 관계로 탄성받침의 형상은 사각형이라는 인식이 토목기술자들에게 각인되어 있다. 또한 고무에 대한 내구성이 신뢰받지 못한 초기 단계에서 탄성받침의 교체를 용이하게 하기 위한 관습이 아직도 상존하여, 현재 국내에서 생산되는 대부분의 탄성받침은 탄성받침과 상·하부철판이 분리되어 제작되고 있다. 앞으로는 탄성받침의 내구성이 교량의 수명기간 이상의 신뢰성을 갖게 되었고, 유지보수를 위한 교체보다는 기능적인 측면을 중시하여 상·하부철판을 탄성받침과 일체로 제작된 일체형 탄성받침의 사용이 증가할 것으로 기대된다. 일체식으로 제조하는 제조공법상에 있어서, 탄성받침의 제작시에 연결용 강판을 삽입하여 제작하고 상·하부철판을 연결용 강판과 볼트로 체결하는 볼트식 체결방법과, 탄성받침과 상·하부철판을 고무로 접착하는 일체식 접착방법이 있다. 일체식 접착방법은 가황처리된 탄성받침을 다시 한번 가황처리해야 하는 고도의 기술이 요구되며, 납면진받침(L.R.B)과 같이 고품질의 탄성받침에서 주로 사용되는 접착방법으로서 연결용 강판의 두께만큼 받침의 높이가 적어지는 이점이 있다.



(a) 고무와 상하철판의 분리형



(b) 볼트식 일체형



(c) 접착식 일체형

그림-3 탄성받침의 구조

#### 4. 탄성받침의 설계

탄성받침의 설계에 있어서 가장 중요한 요소는 고무의 전단탄성계수  $G$ , 경도보정계수  $\alpha$ 와 같은 고무의 재료정수 및 적층고무의 형상을 결정하는 고무직경  $D$ , 고무한층의 두께  $t_R$ , 그리고 사용되는 고무층수  $n$ 이다. 특히 사용되는 고무한층의 형상에 따라 결정되는 형상계수는 1차형상계수 및 2차형상계수로 나눌 수 있으며, 1차형상계수  $S_1$ 은 고무 한층의 구속면적과 자유표면적(측면적)의 비로서 정의되며, 2차형상계수  $S_2$ 는 탄성받침의 직경과 고무층의 총두께 비로 정의된다.  $S_1$ 은 주로 수직강성, 회전강성에 관계하는 파라미터이며,  $S_1$ 이 크면 클수록 직경에 대한 고무 한층의 두께가 얇게 되고 수직강성 및 회전강성이 크게 된다. 또한  $S_2$ 는 재하능력 및 수평강성에 관계하는 파라미터로서  $S_2$ 가 크면 클수록 탄성받침은 평편하게 되고 좌굴에 대한 저항력이 크게 된다.

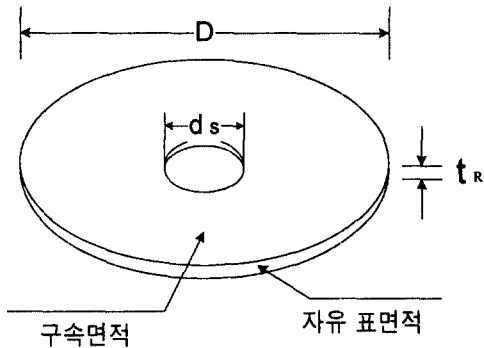


그림-4 고무한층의 형상

$$\text{수평강성} : K_H = \frac{A \cdot G}{n \cdot t_R} \quad \dots\dots (1)$$

$$\text{수직강성} : K_V = \frac{A \cdot E_c}{n \cdot t_R} \quad \dots\dots (2)$$

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1}{E_{ab}} + \frac{1}{E_b}, \quad E_c = \frac{E_{ab} \cdot E_b}{E_{ab} + E_b}$$

$$E_{ab} = E_0(1 + 2\alpha S_1^2) \quad \dots\dots (3)$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2 / 4}{\pi \cdot D \cdot t_R} = \frac{D}{4 \cdot t_R} \quad \text{또는}$$

$$S_1 = \frac{\pi(D^2 - d_s^2) / 4}{\pi(D + d_s)t_R} = \frac{D - d_s}{4 \cdot t_R}, \quad S_2 = \frac{D}{n \cdot t_R}$$

여기서,  $A$  : 고무 한층의 지압면적  $G$  : 고무의 전단탄성계수  $E_c$  : 고무의 수직탄성계수  
 $E_{ab}$  : 결보기 수직탄성계수  $E_b$  : 고무의 체적탄성계수  $E_0$  : 고무의 탄성계수  $\alpha$  : 경도보정계수  
 $D$  : 고무의 외경(강판외경)  $d_s$  : 고무의 내경(강판내경)  $t_R$  : 고무 한층의 두께  $n$  : 고무 층수  
 $S_1$  : 1차형상계수  $S_2$  : 2차형상계수

#### 4.1 수직강성 및 수평강성

탄성받침의 수직강성 및 수평강성은 식(1)~(2)와 같이 구해지며, 이러한 계산식은 고무의 탄성 이론에 근거하여 하중에 의한 고무측면의 부풀림 형상이 포물선이라는 가정에서 구해진 것이다. 그러나 본래 고무재료란 응력-변형을 곡선이 S자 형태를 나타내는 비선형성 탄성체이나, 고감쇠

탄성반침 및 납면진반침(L.R.B)과 같은 특수한 경우를 제외하고, 탄성반침의 강성은 실용상 선형 탄성체로 가정하여 계산하는 것이 일반적이다. 식(3)에서 결보기 수직탄성계수  $E_{ab}$ 는 1차형상계수  $S_1$ 이 자승의 항으로 포함되어 있으므로 탄성반침의 수직강성을 결정하는데는 1차형상계수의 영향이 상당히 중요하다는 사실을 알 수 있다. 또한 식(3)에 있는 계수  $x$ 는 고무의 경도에 따른 보정계수로서, 고무원료에 포함된 카본 등의 첨가제에 따라 달라지며 실험치에 일치하도록 경험적으로 결정되는 값으로서 고무재료가 천연고무 (전단탄성계수  $G$ 가  $2.0\text{kg/cm}^2$  정도)에 근접하면  $x$ 는 1에 접근한다. P.B Lindley에 의하면 천연고무재료의 전단탄성계수  $G$ 와  $x$ 는 표-1 같은 관계가 있다.

표-1 전단탄성계수  $G$ 와  $x$ 와 관계 (P.B Lindley에 의한)

$G(\text{kg/cm}^2)$	3.0	3.7	4.5	5.4	6.4	8.1	10.6
$x$	0.93	0.89	0.85	0.80	0.73	0.64	0.57

결보기 수직탄성계수  $E_{ab}$ 는 체적탄성계수  $E_b$ 에 의해 보정된다. 일반적으로 고무재료의 포아손비는 0.5이기 때문에 비압축성재료로 취급되는 경우가 많으며, 재료의 비압축성을 가정하면 전단탄성계수  $G$ 와 압축탄성계수  $E_0$ 의 관계는  $E_0 = 3G$ 에 있으나, 탄성반침에 사용되는 얇은 고무층과 같이 1차형상계수가 큰 경우에는 고무층 내부에 3축 압축응력이 크게 되어 비압축성이라는 가정이 성립하지 않게 되어 체적탄성율에 의한 보정이 필요하다. 고무의 체적탄성율이란 전단탄성계수에는 거의 영향을 받지 않는 값이며, 실험방법에 따라서 다소 상이한 값을 나타내나 약  $20\text{ton/cm}^2$ 을 적용하는 것이 일반적이다. 그림-5는 수직강성  $K_V$ 를 고무직경  $D$ 로 나누어 기준화한  $K_V/D$ 와 형상계수와의 관계를 나타내며, 그림-6은 수평강성을 고무직경으로 기준화한  $K_H/D$ 와 수직응력  $\sigma$ 와의 관계를 나타낸다. 수직강성은 형상계수의 증대에 따라 크게 증가하며, 고무의 전단탄성계수가 결정되면  $S_1$ ,  $S_2$ 를 적절히 선택함으로써 필요한 수직강성을 구할 수 있다. 수평강성은 압축응력도를 크게함에 따라 서서히 적게 되며, 수평강성이 0이 되는 압축응력도가 좌굴응력도가 된다. 수평강성의 저하율은 형상계수가 크게 되면 완만하게 되며, 이는 1차형상계수가 크면 회전강성이 크게 되고, 2차형상계수가 크게 되면 탄성반침이 평편하게 되어 전체 변형에 대한 회전변형의 비율이 적게 되기 때문이다. 탄성반침의 설계에 있어서 2차형상계수를 크게하면 탄성반침의 변형능력은 확보하게 되나 수평강성은 이에 비례하여 크게됨으로 상부구조의 형식에 맞게 이러한 형상계수들을 적절히 조절하여 안정된 변형능력을 확보하면서 수평강성은 가능한 한 적게 설계하여 먼진기능을 수행할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

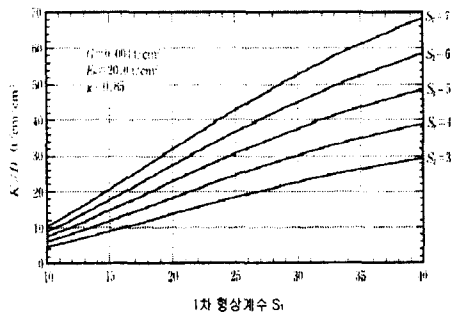


그림-5  $K_V/D$ 와 형상계수  $S_1$ 와의 관계

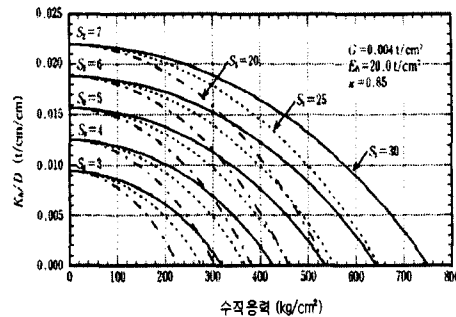


그림-6  $K_H/D$ 와 형상계수 수직응력과의 관계

## 4.2 고무의 국부전단변형을

전절에서 설명된 탄성받침의 수직강성 및 수평강성은 상부구조물이 어떤 형상의 탄성받침으로 지지되어 있을 때 상부구조에서 발생하는 최대지진력 및 최대지진변위를 결정하기 위하여 필요한 기본적인 설계요건이었으며, 일단 내진해석을 위한 강성이 결정되면 다음 단계로서 탄성받침은 상부구조물의 온도변화에 의한 신축, 지진변위, 크리이프 등의 수평변위를 수용하면서도 수직하중을 안전하게 지지하도록 확인되어야 한다. 미국, 일본, 영국 등과 선진국에서는 고무받침의 안전성을 평가하는 설계조건으로서 고무에서 발생하는 전단변형률로 설계기준을 규정하는 “제한 변형률 설계법”이 널리 사용되고 있다. 상부구조의 사하중 및 활하중과 같은 수직하중 및 지진하중과 같은 수평하중에 대하여 탄성받침의 고무에서 발생할 수 있는 변형률이란, (A)수직하중에 의해 고무측면의 부풀림으로 인한 고무의 국부전단변형률, (B)수평하중에 의한 고무의 국부전단변형률, (C)회전하중에 의한 고무의 국부전단변형률을 제한함으로써, 보강철판과 접촉된 고무가 찢어지는 현상이 발생하지 않도록 제한하고 있다.

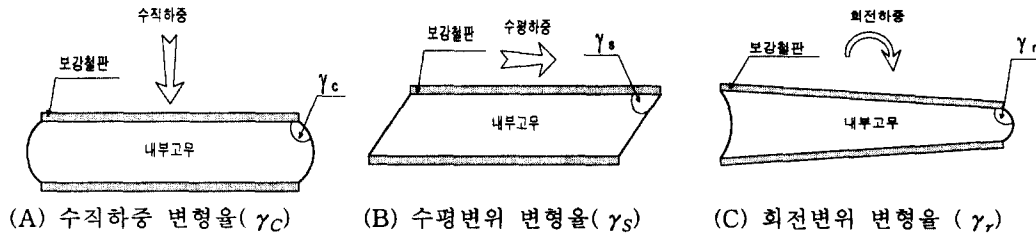


그림-7 하중종류에 따른 국부전단변형률

### (1) 미국의 AASHTO기준

미국의 탄성받침에 대한 시방서는 크게 나누어 “Standard Specification for Highway Bridges” 및 “Guide Specification for Isolation Design”으로 대별할 수 있으며, Standard Specification에서는 고무의 재질 및 형상계수에 관계없이 수직응력에 대하여는  $\leq 1600\text{psi}$ 로 규정하는 항목과 고무의 재질 및 형상계수의 함수로 표현되는  $\leq 1.66\text{GS}/\beta$ 의 규정이 있다. 표준시방서에서는 지진시의 최대지진변위 및 세부적인 설계하중에 의한 국부전단변형률에 대하여는 정의되어 있지 않고 있기 때문에, 완제품시험과 같이 품질에 대하여 확인하는 절차를 갖는 사용되는 탄성받침 및 납면전받침에 대해서는 Guide Specification에 따라 설계하고 있다. 이러한 면진설계용으로 1991년에 제정된 Guide Specification은 현재 개정이 완료되어 1998년 가을에 정식으로 출판될 예정에 있으며 표-1에는 고무의 국부전단변형률 및 총전단변형률에 대한 개정전과 개정후에 변경되는 내용을 요약하였다. 표-1에서 알 수 있는 것처럼 개정된 Guide Specification에서는 수직하중에 의한 국부전단변형률을 2.5보다 적게 제한함으로써 수직하중에 대한 단면적의 산정이 명확하게 되었다. 이와 같이 탄성받침의 수직응력은 고무하중의 형상계수에 의해 결정되며, 동일한 단면적을 갖는 탄성받침이라 하더라도 얇은 고무층을 사용하는 경우에는 보다 높은 수직응력을 갖게 설계할 수 있다.

### (2) 한국의 KS기준

교량 지지용 탄성받침에 대한 한국공업규격(KS F 4420)은 1987년에 제정되었으며, 당시의 규정은 고무재료의 품질에 관한 시험규정 및 외형적인 제조형상에 관한 규정이 주안점이었으며, 설계 압축응력이  $56\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 규정되어 급속한 고무제품의 품질향상에 비하여 미흡한 제한규정을

1998년에 대폭적으로 개정하였다. 그러나 아직까지도 국내에서 생산되는 고무제품의 실험자료가 불충분한 관계로 설계압축응력을 고무의 전단탄성계수 및 형상계수에 의해 결정되는 수식으로 정의하고 있지는 못하고 있으나, 고무받침의 크기에 따라 최대허용압축응력을 달리 규정하고 있다. 즉 받침의 크기가 100×200까지의 적은 크기에 대해서는 81.6kg/cm<sup>2</sup>를 최대허용압축응력으로, 150×300까지는 102kg/cm<sup>2</sup>을, 250×400까지는 127.5kg/cm<sup>2</sup>를, 900×900까지는 153kg/cm<sup>2</sup>를 최대허용압축응력으로 규정하고 있다. 이와 같이 탄성받침의 크기가 커짐에 따라 점점 최대허용압축응력을 크게 보는 경향이 있는 이유는 앞에서 설명된 미국의 AASHTO 규정에서 정의된 것처럼 형상계수의 크기에 따라 최대압축응력을 크게 산정할 수 있기 때문이다.

표-2 미국의 Guide Specification 및 일본의 면진설계법에서 정의된 전단변형을 규정치

국가	수직하중에 대한 국부전단변형을	수평변위	회전변위	국부전단변형율의 판정기준
(미국, 1998년) New Guide Specification	$\gamma_c = \frac{3SP}{2A_r G(1+2\alpha S^2)} < 2.5$ (S≤15인 경우) $\gamma_c = \frac{3P(1+8G\alpha S^2/K)}{4G\alpha SA_r} < 2.5$ (S≤15인 경우)	$\gamma_{s,s} = \frac{\Delta S}{T_r}$ (온도변화시) $\gamma_{s,eq} = \frac{d_i}{T_r}$ (지진시)	$\gamma_r = \frac{B^2\theta}{2t_i T_r}$	(1) $\gamma_c + \gamma_{s,s} + \gamma_r \leq 5.0$ (온도변화시) (2) $\gamma_c + \gamma_{s,eq} + 0.5\gamma_r \leq 5.5$ (지진시)
(미국, 1999년) Guide Specification	$\epsilon_{sc} = 6S\epsilon_c$ $\epsilon_c = \frac{\Delta_c}{\sum t_i} = \frac{\Delta_c}{T}$ $= \frac{P}{A_r E(1+2\alpha S^2)}$	$\epsilon_{sh} = \frac{\Delta_s}{T}$ (온도변화시) $\epsilon_{eq} = \frac{d_i}{T}$ (지진시)	$\epsilon_{sr} = \frac{B^2\theta}{2t_i T}$	(1) $0.5\epsilon_u \geq \epsilon_{sc} + \epsilon_{sh} + \epsilon_{sr}$ (온도변화시) (2) $0.75\epsilon_u \geq \epsilon_{sc} + \epsilon_{eq} + \epsilon_{sr}$ (지진시)
(일본, 1992년) 도로교면진설계법	$\gamma_c = K_c \cdot S \cdot \delta / \sum t_e$ (최대압축응력 ≤ 80kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma_s = u / \sum t_e$	$\gamma_R = 6 \cdot S \cdot \alpha_i$	$\gamma_c + \gamma_R + \gamma_s \leq \gamma_{ul} / f_s$

### (3) 일본의 설계기준

일본의 탄성받침에 대한 설계기준은 1991년에 개정된 “도로교지승편람”을 기준으로 1992년에 “도로교의 면진설계법”이 제정되어 탄성받침 및 납면진받침에 대한 세부적인 설계기준을 갖고 있다. 그러나 일본의 설계기준은 탄성받침의 단면적을 결정하는 수직응력을 사용하는 고무층의 형상계수에 관한 수식으로 표현되는 최대압축변형율이 아니라 최대압축응력인 80kg/cm<sup>2</sup>이하로 정의하고, 총 국부전단변형율은 고무의 최대인장변형율 이하가 되도록 규정하고 있다. 이러한 최대압축응력 80kg/cm<sup>2</sup>이란 다음 절에서 설명하는 것처럼 고무의 수직저항능력에 비해서는 너무 안전적인 값으로 판단되며, 탄성받침에 사용되는 고무층의 두께에 따라 비례적으로 증가하는 탄성받침의 특징을 살리지 못한 규정으로서 일본에서도 최근에는 설계압축응력을 120kg/cm<sup>2</sup>으로 설계하는 것이 대체적인 추세이다. 즉 고무받침의 크기를 사용하는 고무의 형상에 관계없이 최대압축응력만으로 규정하면, 제조경비의 측면에서 경비가 많이 소요되는 얇은층 고무의 사용을 기피하게 되어 설계자의 개선노력을 기대할 수 없는 불합리한 점이 있으나, 세계 최대의 지진국이라는 일본의 특성 때문에 안전을 우선으로 하는 생각하는 개념으로 이해된다.

### 5. 탄성받침의 최대압축응력

고무라는 재질은 부드러운 물질임으로 고무를 원료로 사용하여 제작된 탄성받침은 압축응력에 대하여 취약할 것이라는 일반적인 인식을 개선하기 위하여 “일본 건축학회 학술강연회(1991.9)”에

서 발표된 「적층고무받침의 한계내력에 관한 실험연구」의 결과를 소개한다. 본 실험은 천연고무 적층받침의 한계압축내력을 확인하기 위해, 수직하중 8,000톤의 압축시험기를 사용하여 동적 압축 파괴시험을 수행했다. 시험체는 직경 500mm의 탄성받침으로, 보강철판은 두께 3.2mm의 냉간압연재로 중심부에 20mm의 구멍을 갖고 있다. 시험은 단순압축시험 및 140mm의 전단변형을 가한 상태에서 압축시험을 수행하였으며, 시험에서 구한 하중-변위와의 관계를 그림-8에 나타내었다. 그림-8에서 알 수 있는 것처럼 시험체는 압축응력 1,200kg/cm<sup>2</sup> (압축하중 2,400톤)에서 항복하였으며, 압축응력 1,500kg/cm<sup>2</sup> (압축하중 3,000톤)에서 파단하였다. 또한 전단변형 140mm를 가한 실험에서는 파단시의 내력이 약간 저하하였으나, 단순압축 재하시험의 경우와 거의 비슷한 경향을 나타내고 있다. 일본에서는 이러한 논문이 발표됨에 따라 「천연고무와 같이 부드러운 재질을 사용한 적층고무로 무거운 중량물을 지지할 수 있을 것인가?」에 대한 불안감이 해소되었다고 한다.

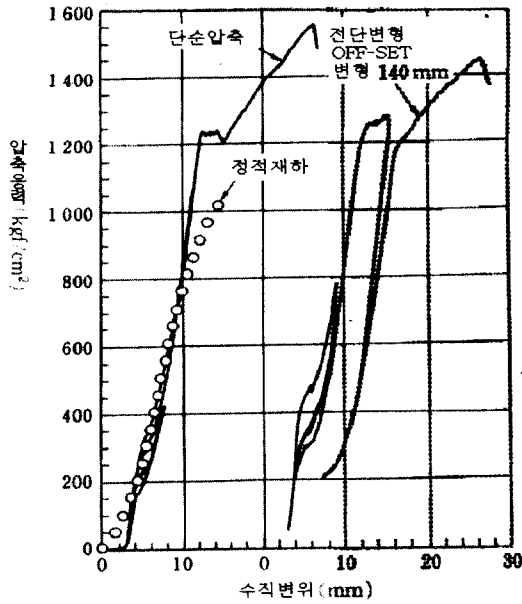


그림-8 최대 압축파괴 시험

## 6. 결론

- (1) 탄성받침은 카본 및 혼화제로 배합된 고무원료를 적당한 압력과 온도를 가하는 가황처리절차를 통하여 유황분자가 고무분자에 架橋를 형성함으로써 탄력성을 갖게되며, 잘 구어진 고무제품과 그렇지 못한 고무제품을 소비자가 외관상으로 확인이 불가능한 단점이 있으므로 고무제품은 품질관리가 무엇보다도 중요한 제품이다.
- (2) 고무의 주된 경년열화는 인장상태에서 공기중의 산소에 의한 산화현상으로 발생한다. 탄성받침은 큰 단면형상을 갖고 있으며 항상 압축응력을 받고 있으므로, 잘 구어진 탄성받침은 표면에 부분적인 산화현상이 발생하더라도 내구성은 적어도 60년간은 보장된다.
- (3) 탄성받침의 수직응력은 사용되는 고무층의 형상계수에 의해 결정되며, 얇은 층의 고무를 사용하여 1차형상계수가 크면 클수록 수직하중에 대한 저항능력이 증가하나, 회전저항은 감소한다.
- (4) 탄성받침의 최대수직응력은 900kg/cm<sup>2</sup>~1,200kg/cm<sup>2</sup>에 달하며, 일반적으로 적용되는 설계압축응력 120kg/cm<sup>2</sup>~150kg/cm<sup>2</sup> 범위내에서는 적어도 8~10 정도의 안전율을 갖고 있는 제품이다.

### 【참고문헌】

1. 日本免震構造協會(1997), “免震積層고무入門“, OHM社出版局
2. 日本免震構造協會(1997), “免震構造入門“, OHM社出版局
3. 교량 지지용 탄성받침 KS F 4420 (1998), 한국표준협회