

防振效果에 미치는 加硫고무의 機械的性質에 관한 研究

金 東 基*

(1976年3月15日 接受)

STUDIES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE CURING GUM IN THE PREVENTION OF VIBRATION

Tong-Ki KIM*

The major subjects of this experiment are to evaluate the mechanical properties of the curing gum for prevention of vibration and to study for related problems. In the prevention of vibration by the curing gum, the results are as follows. When the value of forced frequency over natural frequency is less than $\sqrt{2}$, it may well be used that the value (1%~2%, 4%~5%) of damping coefficient over critical damping coefficient of the curing gum is large.

When the value of forced frequency over natural frequency is larger than $\sqrt{2}$, it may well be used that the value (2.5%~3.5%) of the curing gum is low.

If the larger value of logarithmic decrement may be used, the low curing gum is preferred.

The conductive range of sulphur contents of the curing gum is 2.5%~3.5% in the light of phase angle, resilience, and damping coefficient over critical damping coefficient.

緒 論

一般的으로 고무의 彈性은 加硫條件에 따라 決定된다(Veith, 1957).

主要特性으로서는 stress와 strain 間의 非線型性 遲時性, creep, 永久歪 等の 敏感性이다.

고무의 防振效果에 對한 理論과 應用은 Dillon(1946)과 Abott(1928) 等に 依하여 많이 究明되어 왔으나 加硫에서 오는 防振理論은 드물다. 本 研究에서는 加硫狀態를 달리 함으로서 防振에 影響을 주는 몇개의 機械的 性質을 究明키로 하나 防振效果를 決定짓는 強制力과 傳達力間의 傳達率을 어떻게 낮게 하느냐가 問題로 된다(諺訪問 1969, 國政1969). 그것은 彈性支持 體로 고무를 使用했을때 고무의 加硫變化和 傳達率을 決定짓는 몇개의 要素인 스프링常數(k), 固有振動數(n), 減衰係數(c) 等과의 關係를 究明하여 주어진 強制力條件에 알맞는 傳達率을 導出할 수 있게하여 一般構造物에 미치는 振動的 弱화를 究明하는 것 들이며

바로 이러한 點들을 本研究의 課題로 삼았다.

材料 및 方法

1. 加硫고무

1) 使用한 고무의 主材는 天然고무로서 그것에 配合시킨 다른 要素의 化學成分은 Table 1에 表示하였고 機械的 性質이 다른 10種의 고무를 얻기 爲하여 硫黃量만을 變化시켜 試驗番號 ①에서 ⑩까지의 材料가 나타나 있다.

2) 加硫方法으로서는 small rotor로서 120℃ 下에 Table 1에 表示된 成分의 配合를 素練하여 Rheograph로서 Fig. 1, 2와 같이 토르크-시간 곡선을 얻었다. 이때 토르크의 값은 Fig. 1 中の Tmax 일 때 最高值를 가지므로 試料採取도 이 時間의 것으로 했다.

3) 試驗材料片

實驗에 使用한 試驗片의 種類는 2種으로서 그 形狀과 規格은 Fig. 3과 같다.

*釜山水產大學, National Fisheries University of Busan.

Table 1. Chemical compositions

(Unit : %)

Material No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RSS#3 (natural gum)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Carbon black (HAF)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Stearic acid	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ZnO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Accelerator M	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Accelerator Cx	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
CaCO ₃ (Sun brand)	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0
Antioxidant-D	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Sulphur	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	0.5	4.0	4.5	5.0	5.5

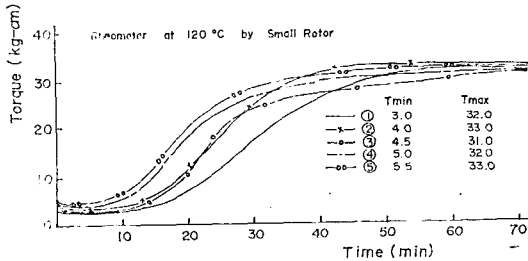


Fig. 1. Relation between torque and time at mastication processing. (Material No. 1-5)

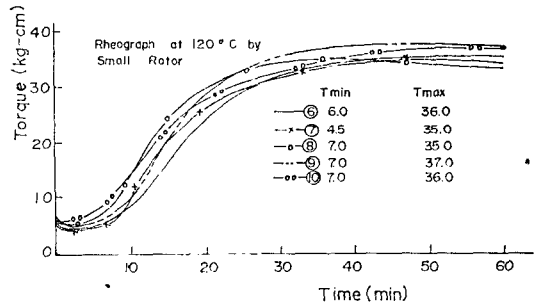


Fig. 2. Relation between torque and time at mastication processing. (Material No. 6-10)

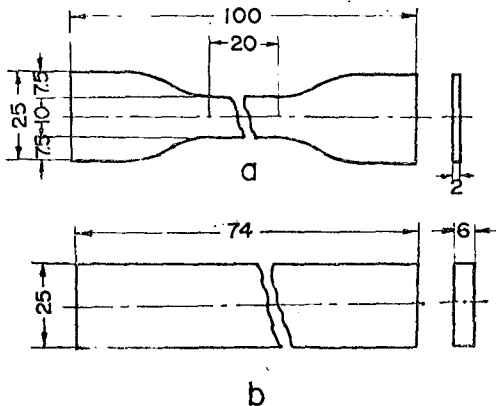


Fig. 3. Specimen for mechanical properties test.
a. K. S. No. 2 style specimen
b. Rectangular bar specimen

1. 啞鈴 1號型

그 모양과 規格은 Fig. 3 a이며 Table 1의 試料 ①에서 ⑩까지의 成分의 材料를 厯切에 依하여 製作했음.

2. 短形柱型

그 모양과 規格은 Fig. 3 b이며 鐵型에 依하여 製作했으며 試料採取는 啞鈴 1號型과 同一함.

2. 實驗方法

1) 引張試驗

使用된 試片은 JIS 고무試驗規定第二號인 Fig. 3. a 型的 것으로 Table 1의 試驗 10種에 該當되는 個個의 것을 採擇했다. 強度測定은 Schopper Dalen rubber tester (Shimadzu製)에 依했으며 그때 試片의 標線거리는 20mm(JIS規定)로 했다.

引張速度로서는 室溫(20℃)에서 300mm/min로 했고 試驗結果 마무리는 Gauss의 誤差法則에 따라 Fig. 3과 같은 強伸度曲線을 얻었다.

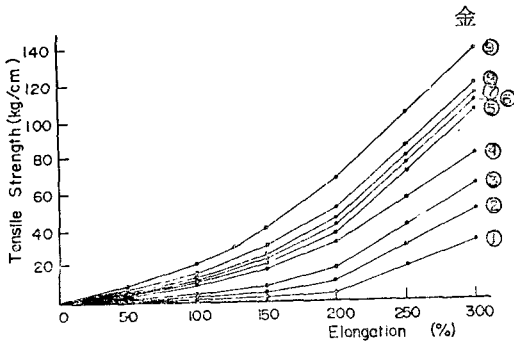


Fig. 4. Relation between tensile strength and elongation.

Table 2. Mechanical properties

No. of sample	K (kg/cm)	W_n (rod/sec)	Cc (kg sec/cm)	ϕ ($\tan^{-1}(\log_{10} R \times -\frac{1}{2\pi})$)	R	ϵ (rad/sec)	C (kg sec/cm)	C/C_c	H_s
	$\frac{p'-p}{l'-l}$	$\sqrt{\frac{g \cdot k}{w}}$	$2 \cdot \frac{w}{g} W_n$			$n \sin \phi$	$2\epsilon \frac{w}{g}$		
1	4	4.603	1.738	7.63	43	0.61	0.23	0.130	54
2	6	5.683	2.129	7.41	44	0.73	0.26	0.122	56
3	8	6.510	2.458	7.24	45	0.82	0.31	0.126	58
4	13	8.298	3.133	6.28	50	0.91	0.34	0.108	62
5	15	8.914	3.365	6.11	51	0.95	0.35	0.104	63
6	16.5	9.349	3.519	5.94	52	1.03	0.36	0.102	65
7	18.5	9.899	3.737	6.67	48	1.15	0.43	0.115	66
8	23	10.50	4	7.06	46	1.18	0.45	0.121	67
9	28	12.18	4.598	7.24	45	1.53	0.58	0.126	68
10	22	10.79	4.074	8.03	43	1.50	0.	0.140	64

3. 硬度試驗

使用된 試驗片은 Fig. 3. b型的 것으로 採擇은 引張試驗의 경우와 같게 했다. 硬度(H_s)測定은 落球式인 shove's type를 썼고 JIS standard rubber hardness tester에 의해 測定했다. 試片은 亦是 mould cure temp. 150°C의 것으로 試驗結果 마무리는 引張試驗때와 같고 Table 2에 表示하였다.

4. 相關因子

各 試片의 K의 값은 Fig. 4에서 伸張의 發生初期의 曲線기울기를 測定하여 求했으며 이 K의 값과 實驗으로 測定된 R 및 H_s 를 基本要素로 한 W_n , C, Cc, ϕ , ϵ 등의 防振效果에 미치는 機械的性質의 相關因子들을 求하여 一括해서 그 基本式과 各 試片 마다의 값을

2. 彈性試驗

使用된 試驗片은 Fig. 3 b型的 것으로 採擇은 引張試驗의 경우와 같게 했다. 強伸度曲線 測定은 Schob's hammering tester (Ueshima製)에 依했으며 그때 헤머의 試驗片에 對한 衝擊反撥거리를 12.5cm로 했다 이때 헤머의 무게는 185g였으며 試片은 mould cure temp. 150°C의 것으로 試驗結果 마무리는 引張試驗 때와 같고 Table 2에 表示하였다.

Table 2에 表示했다.

Table 2에 表示된 값들은 Gauss의 誤差法則에 依한 數學的 處理에 依하여 誘導했다.

5. 試驗에 使用한 基礎式

自由減衰振動

$$\ddot{x} + 2\epsilon\dot{x} + n^2x = 0 \tag{1}$$

이때 $\epsilon < n$ 의 경우 만이 自由減衰振動을 한다.

$$T/2 = \pi / \sqrt{n^2 - \epsilon^2} \tag{2}$$

相隣하는 極值를 X_N, X_{N+1}, X_{N+2} 라 하면

$$\Delta = \frac{X_{N+1} + X_{N+2}}{X_N + X_{N+2}} = \exp(-\pi\epsilon / \sqrt{n^2 - \epsilon^2}) \tag{3}$$

$$-I_n \Delta = \pi\epsilon / \sqrt{n^2 - \epsilon^2} \tag{4}$$

$$\epsilon = -2(I_n \Delta) / T \tag{5}$$

$$n^2 = (2\pi/T)^2 [1 + (-I_n \Delta / \pi)^2] \tag{6}$$

여기서 T 는 週期, $\log A$ 는 對數減衰率, ε 은 固有振動相關數($n \sin \phi$)이다. (西村1962)

衝擊(反撥)

振子式反發彈性試驗機의 振子가 고무試驗片과 接觸하고 있을 동안의 運動方程式은 (櫻井, 1969)

$$m_e \ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (7)$$

振子の 回轉軸 둘레의 慣性能 矩을 I 라 하면 等價質量 m_e 는

$$m_e = I/l^2 \quad (8)$$

Lüpke型 試驗機와 같이 실로서 鐵棒을 매단 形式에서는 실의 質量을 無視하고 m_e 를 鐵棒의 質量으로 본다. θ 인 角度에서 落下시키면

$$V_0 = l \sqrt{\frac{2Mgl_G(1-\cos\theta)}{I}} \quad (9)$$

著者는 本研究에 있어서 反撥係數 및 그것에 關聯하는 因子解析에 依하여 다음과 같은 式을 誘導했다.

式(1)과 (7)은 同形式의 運動方程式임으로 그 減衰振動解는 다음과 같다.

初期條件으로서 $t=0, x=0, \dot{x}=v_0$ 라 두면

$$x = \frac{v_0}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}} e^{-\varepsilon t} \sin(\sqrt{n^2 - \varepsilon^2} t) \quad (10)$$

$$\dot{x} = \frac{nv_0}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}} e^{-\varepsilon t} \cos(\sqrt{n^2 - \varepsilon^2} t + \phi) \quad (11)$$

$$\ddot{x} = \frac{n^2 v_0}{\sqrt{n^2 - \varepsilon^2}} e^{-\varepsilon t} \sin(\sqrt{n^2 - \varepsilon^2} t + 2\phi) \quad (12)$$

여기서 $n^2 = k/m_e$ (13)

$2\varepsilon = c/m_e$ (14)

$\phi = \sin^{-1}(\varepsilon/n)$ (15)

自由減衰振動과 比較하면

$\tan \phi = -\log A/n$ (16)

$\dot{x}=0$ 의 瞬間에서 振子は 試驗片에서 떨어진다. 振子の 接觸時間을 T_c 라 하면

$T_c = (\pi - 2\phi) / \sqrt{n^2 - \varepsilon^2}$ (17)

$\dot{x}(T_c) = v_0 \exp(-\varepsilon T_c)$ (18)

R 를 計算하면

$R/100 = \exp(-2\varepsilon T_c)$ (19)

著者의 本研究의 實驗 및 實驗結果 處理에 使用된 式들은 (13), (14), (15), (16), (19) 이며 Δ 는 damping ratio, I 는 慣性 모멘트, C_c 는 臨界減衰係數, ϕ 는 位相角, A, α 는 任意常數이다.

結果 및 考察

1. Fig. 5, 6, 7은 Table 2를 graph化 한 것으로 試片

①에서 ⑩까지의 硫黃 含有量은 Table 1에 表示된 바와 같이 1%에서 等差的으로 0.5%씩 增加됨을 勘案하여 그래프의 狀軸에는 試片番號 대신 硫黃含有量을 表示하여 硫黃의 含有誤差로 因한 各 相關因子들의 狀態를 考察해 왔다.

2. 試料 ①, ②, ③에서 보는 바와 같이 硫黃含有量이 낮은 狀態의 硫化고무에 있어서는 K, W_n, R, C_c 는 各各 높은 硫黃含有量의 것에 比較 比較的 順調롭게 낮은 값을 가지고 있다. 이것은 軟彈性인 同時에 固有振動數가 적어 強制振動數가 낮은 外力에도 防振體로서 使用可能을 意味하며 傳達率를 작게하려 할 때에는 가장 알맞다. 그러나 彈性은 變形前後의 外力 에너지의 百分率임으로 回復力이 弱한 點이 홀이다.

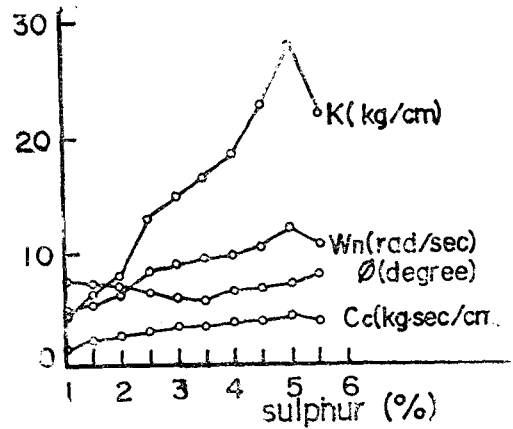


Fig. 5. Relation between mechanical properties (K, W_n, ϕ, C_c) and sulphur content of the curing gum.

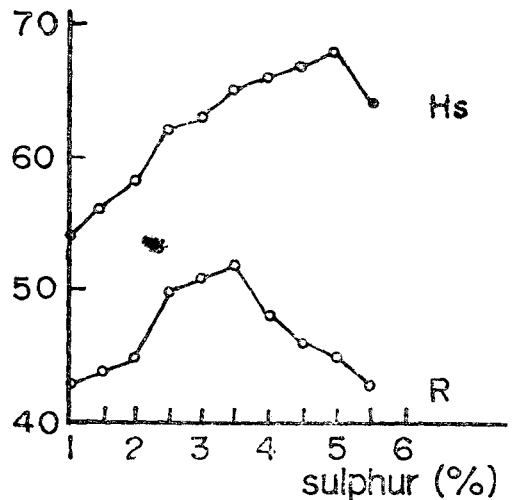


Fig. 6. Relation between mechanical properties H_s, R and sulphur content of the curing gum.

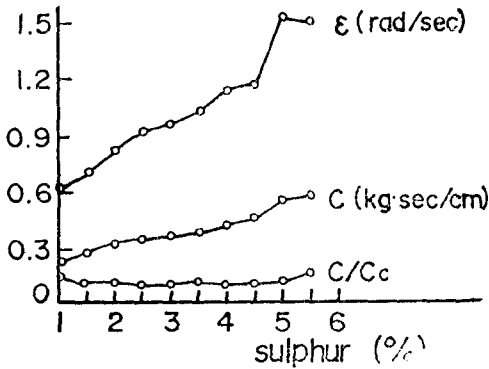


Fig. 7. Relation between mechanical properties (ϵ , C, C/C_c) and sulphur content of the curing gum.

또 硫黃低含量일 때는 減衰係數 및 限界減衰係數는 모두 작은 편이나 C/C_c는 그 값이 높은 편이어서 $W/W_n < \sqrt{2}$ 일 때는 전달율이 작으나 $W/W_n > \sqrt{2}$ 일 때는 오히려 傳達率을 減少시키는데 阻害現象을 나타내므로 充分한 配慮를 할 必要가 있다고 본다. 또 ϵ 의 값이 작은 것은 對數減衰率이 커서 強制振動의 경우에는 急速히 自由振動現象이 사라짐을 나타낸다.

이런 現象을 一般의인 機械的性質의 優良의 判定에 붙이기는 困難하여 應用對象에 알맞게 採擇되어야 할 問題이다. 그러나 試料 ①, ②, ③과 같은 低 硫黃含量의 것의 ϕ 는 오히려 그 값이 高 硫黃含量의 것에 比하여 높은 편인데 이것은 減衰現象이 크게 일어남을 意味하며 ϵ 의 境遇와 같이 優良을 判定하기에는 困難하다.

3. 試料 ④, ⑤, ⑥의 경우의 것을 보면 다른 것에 比하여 ϕ 는 最低值部類, R는 最高值部類, C/C_c는 最低值部類의 位置에 있다. 이런 現象들은 低 硫黃의 것을 演譯해서 解析할 수 있는데 即, 硫化 고무의 sulphur含量이 차츰 높아져 그含量이 2.5%~3.5%에 到達하면 減衰現象이 (ϕ 로 因하여) 낮아서 變形前의 外部에너지를 變形後에도 많은 吸收없이 最大의 反撥에너지를 바꾸어 주는 狀態를 잘 나타내고 있으며, $W/W_n > \sqrt{2}$ 일 때에는 最少의 傳達率(C/C_c로 因하여)을 나타냄을 말하고 있다. 防振效果로서는 가장 좋은 狀態라 볼 수 있다.

4. 試料 ⑦, ⑧, ⑨에서는 高 硫黃含量의 것으로 各因子들의 機械的性質에 미치는 影響은 試料 ①, ②, ③과 같은 低 sulphur의 것과 相反되는 關係에 놓이게 되며 단지 試料 ⑩의 경우에는 K, H, 및 ϵ 이 相當 또는 어

느정도 떨어지는 現象을 나타내는데 이런 때는 過硫 現象으로서 硫黃의 含量이 約 5%로서는 mastication을 할 수 없음을 나타내고 있다.

要 約

1. 振動防止에는 $W/W_n < \sqrt{2}$ 일 때는 C/C_c가 큰 硫化 고무(1~2%, 4~5%)가 좋다.
2. $W/W_n > \sqrt{2}$ 일 때는 C/C_c가 작은 硫化 고무(2.5%~3.5%)가 좋다.
3. 對數減衰率의 값을 크게 하려면 低 硫化 고무가 좋다.
4. ϕ 및 R, C/C_c를 勘案해서 2.5%~3.5%의 硫化 고무가 좋다.
5. 5%以上の 硫化 고무는 過硫化關係上 좋지 못하다.

文 獻

Abott, F. D. (1928): Machine for testing rubber products used to absorb vibration. Ind. Eng. chem., 20, 853~857.

Dillon, J. H. and S. O. Gehman (1946): Hysteresis and methods for its measurement in rubber like materials. India Rubber World, 115, 61-68.

國枝正春(1969): 振動의 測定, 內燃機關의 實驗と計劃. 山海堂, p. 78.

Veith, A. G. (1957): Oxidation rate measurements of Hevea rubber vulcanizates. Ind. Eng. Chem., 49 (10), 1775~1778.

西村正己(1962): 自由振動, 機械振動工學演習, 産業圖書, p. 6. 東京.

櫻井良文(1969): 振子系への衝擊振動衝擊의 計劃. 朝倉書店, p. 31. 東京.

諫訪問高明(1969): 振動의 測定, 內燃機關의 實驗と計劃. 山海堂, p. 83.