

●技術資料●

타이어의 走行과 熱生成에 미치는 고무의 影響

原著：H. G. Lauterbach
E. I. du Pont Numours & Co.
編譯：本會編輯部

數次に 걸친 討論에서 타이어의 카아카스(Carcass)部를 構成하고 있는 補強性材質인 코오드(Cord)의 타이어의 機能에 對한 役割을 強調하였던 것이다.

勿論 타이어 全體의 約 75%를(重量으로) 차지하고 있는 配合고무가 타이어의 性能에 重要한 役割을 하고 있다는 것과 더우기 타이어에 使用되는 纖維原料도 타이어에 使用되는 各種 配合고무의 特性에 左右된다는 것을 重要視해야 한다. 이 고무의 重要性은 配合고무의 適切한 選擇이 強力한 「데크론 폴리에스터」(Dacron Polyester)를 使用한 타이어를 苛酷한 使用條件下에서도 成功的으로 使用할 수 있는데 하나의 方法이 된다고 指摘한 Ray Craig 氏에 依하여 證明되었던 것이다. 이것은 타이어의 熱生成에 影響을 주는 타이어性能에 對한 고무의 여러가지 役割中的 하나를 말하는 것이다. 勿論 고무의 發熱을 調整하는 고무의 性質이 바로 그 고무의 에너지 損失(Energy loss)을 意味하는 것이다. 走行타이어의 고무가 變形될 때 그 고무에서 일어나는 Energy loss가 타이어의 發熱에 重要한 關係가 있다는 것은 이미 잘 알려져 있는 事實이며 이 에너지 損失이 타이어性能의 여러가지 形態인 타이어의 走行溫度와 壽命에도 影響을 준다.

그러므로 고무에서 일어나는 低熱生成 또

는 低 Energy loss는 타이어의 耐久力을 向上시키는 데는 좋은 條件들이다.

타이어의 機能은 走行時의 道路衝擊을 緩和시키는 것이므로 反撥彈性과 振動의 緩和 또는 고무의 Energy loss는 熱生成 뿐만 아니라 走行性能에도 大端히 重要하다.

다음의 討論에서 타이어의 性能에 關係되는 고무의 特性에 對한 本人의 研究를 檢討해 보기로 한다. 고무의 Energy loss 및 反撥彈性을 實驗室的으로 測定하기 爲하여 Bulgin 氏와 Hubbard 氏가 說明한 Dunlop Rotary Power Loss Machine (그림 1)을 利用하였다.

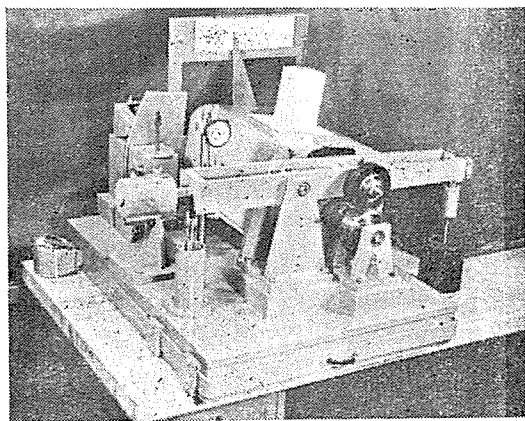


그림 1

여기에 이 裝置의 作動을 說明한다. 4吋 直徑의 바퀴型 고무見本을 位相이 같은 電動機로 一定한 速力으로 回轉하는 드럼의 反對쪽에 荷重을 걸고 한쪽으로 기울인다. 이 裝置의 重要한 特性은 이 電動機의 角度偏差

로부터 고무의 Energy loss를 直接測定하는 것이다.

反撥彈性을 이 測定値에서 計算할 수 있다. 이 바퀴모양의 고무見本은—이 裝置에서 作動시켰을 때—바퀴試驗中 타이어에 依하여 生成되는 週期的 變形을 줄이는 利點을 가지고 있다.

이 바퀴는 每秒 5.5回轉하고 偏差의 周波數는 約 30mph로서 試驗바퀴 위에서 走行하는 타이어와 同一하다. (그림 2)

DEFORMATION OF ELASTOMER SAMPLE & OF TIRE

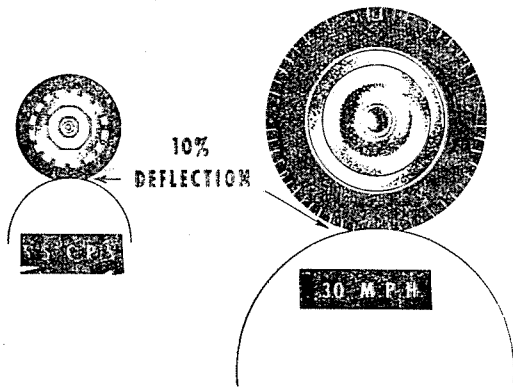


그림 2

먼저 이 裝置가 고무의 發熱을 測定하는데 어떻게 使用되고 있으며 生成된 熱이 測定한 Energy loss와 어떠한 關係가 있는가 檢討해 보기로 한다.

試驗은 一定한 荷重下에 있는 回轉드럼상의 고무見本을 한쪽으로 기울임으로서 始作된다. 이 見本을 이것이 一定 溫度를 維持할 때까지 見本自體의 屈撓作動으로 熱이 生成토록 하고 이때 生成된 一定 溫度는 고무見本の 熱生成測定値에 該當한다.

平衡狀態에 있는 Energy loss가 이때 記錄되며 見本の 溫度에 따라 그려진다.

이와같은 圖表는 여러가지 使用고무를 比

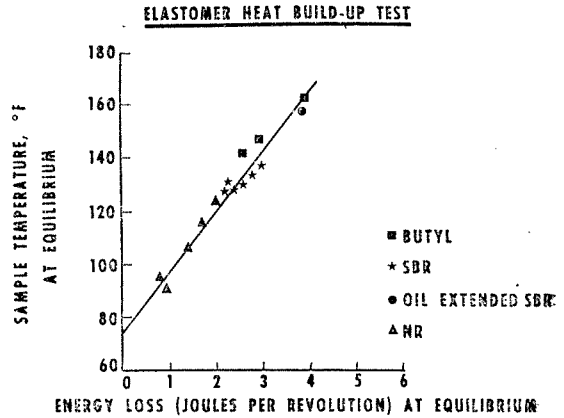


그림 3

較하여 타이어의 發熱에 對한 고무의 役割을 特性化 하는데 大端히 有用하다. 여러가지 配合고무가 그림위에서 뚜렷하게 分類된다. 부우틸고무(Butyl rubber)및 油展 SBR 고무(Oil extended SBR rubber)는 가장 높은 熱生成率과 Energy loss를 가지고 있는 고무인 反面, 논금의 다른 한쪽에 發熱性이 가장 낮은 天然고무가 있다. 非油展 SBR 고무는 上記 두가지 고무의 中間에 있다. 實驗用 고무의 發熱特性은 이 圖表상에 있는 位置를 決定함으로써 評價될 수 있다.

다음으로 고무의 Energy loss, 反撥彈性 및 走行性能에 對한 이들의 役割을 살펴 보기로 한다. 타이어는 廣範圍한 溫度上에서 走行하게 됨으로 溫度의 作用으로 生成되는 Energy loss 및 反撥彈性이 關心의 對象이 된다.

約 -80°F에서 +400°F의 溫度範圍에서 回轉式動力損失測定器(Rotary power loss machine)로 測定해 보았다.

圖表 4에서는 天然고무, SBR 및 Butyl rubber의 몇가지 代表的인 Energy loss對 溫度曲線을 나타내고 있다. 이들 曲線은 特性이 뚜렷하다. 天然고무에 있어서의 最大

ELASTOMER ENERGY LOSS

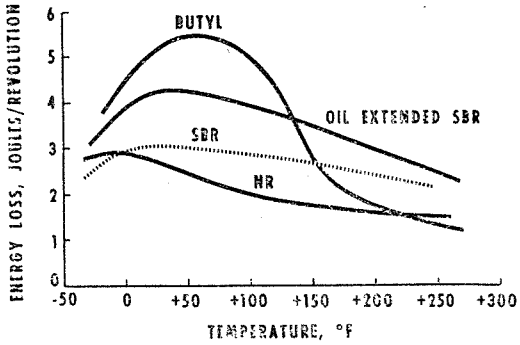


그림 4

Energy loss 는 약 -15°F 에서 일어나고 있다. 천연고무는 32°F 이상의 正常 操作溫度에서 SBR 보다 적은 Energy loss 를 나타내고 있으나 -15°F 以下の 大端히 낮은溫度에서는 Energy loss 가 약간 더 높다.

Butyl rubber 는 -20°F 로 부터 150°F 의 範圍에서는 다른 두가지 고무보다 相當히 높은 Energy loss 를 보이고 있으나 實際的으로 는 약 150°F 및 225°F 사이의 溫度에서 SBR 은 더 낮은 Energy loss 를 보이고 있다. 225°F 以上에서는 오히려 천연고무 보다 더 낮은 Energy loss 를 보이고 있다. 油展에 依해서 SBR 의 Energy loss 가 어떠한 影響을 받느냐 하는 問題가 많은 關心을 要하게 된다. 이 油展 SBR 의 Energy loss 는 非油展 SBR 과 Butyl rubber 의 中間에 있는 것을 알 수 있다.

그러므로 油展 SBR 은 -50°F 로 부터 $+140^{\circ}\text{F}$ 사이의 溫度範圍에서는 Butyl rubber 쪽으로 SBR 의 Energy loss 의 樣相을 變形시키고 있다. 同一한 고무들의 反撥彈性 및 溫度曲線에도(그림 5) 同一한 생각을 할 수 있다. Energy loss 가 높으면 反撥彈性은 낮아지고 따라서 천연고무, SBR, 油展 SBR 및

Butyl rubber 의 曲線은 Energy loss 圖表에서 나타나고 있는 것과는 反對의 順序에 있게 된다.

타이어의 性能에 이와같은 測定法을 應用하기 前에 타이어는 여러가지 相異한 溫度 및 速力으로 走行된다는 事實을 念頭에 두어야 한다. 回轉式動力損失測定器를 廣範圍한 周波數上에서 回轉할 수 있도록 調整할 수 있다.

ELASTOMER RESILIENCE

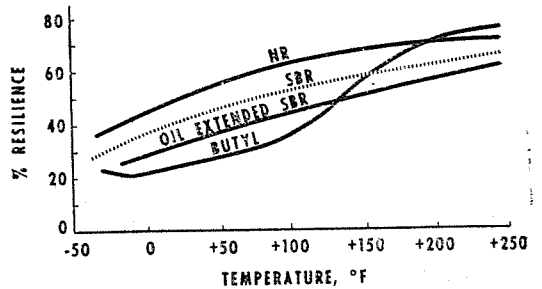


그림 5

單一 周波數로 Energy loss 를 測定하는 것이 더 便利하지만—本 實驗에서는 一個의 타이어에 對하여 30mph 에 該當하는 抄當 5.5 Cycle을 썼음—溫度가 相異하므로 다른 周波數에서 Energy loss 를 決定하는 데는 이른바 重疊原理(Super-position principal)를 利用하는 것이 便利하다. 이 重疊原理란 溫度와 Energy loss 의 周波數依存度間의 關係가 있다는 것을 意味하고 더욱 溫度의 低下는 周波數의 增加와 對等하다는 것을 말한다. (그림 6)은 이것을 例證하고 있다. 여기에 秒當 5.5 Cycle 의 周波數에서 假想 고무의 Energy loss 對 溫度曲線을 圖示해 두었다. 例컨데 抄當 13 Cycle 로—70mph 의 타이어 走行速度에 該當하는 測定을 行하였다면 曲線이 어떤 모양으로 될 것인가를 알 수 있다. 더 높은 周波數로 測定하면 曲線

은 右側으로 돌아간다. 適當한 溫度에서 測定한 測定值를 利用함으로써 抄當 13 Cycle— 또는 70mph 의 타이어—에서 고무의 狀態를 豫見하기 위하여 抄當 5.5 Cycle 에서 얻

TEMPERATURE-FREQUENCY RELATIONSHIP
ENERGY LOSS OF HYPOTHETICAL ELASTOMER

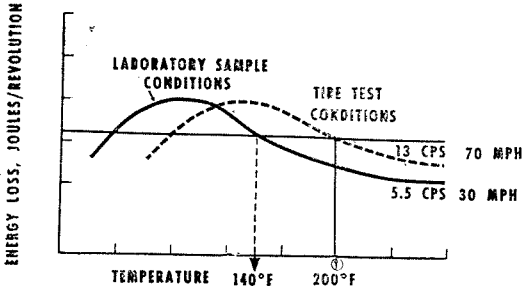


그림 6

은 試驗室 Data 를 使用할 수 있다. 例를 들면 萬一 70mph 의 타이어가 200°F 의 溫度를 保有하고 있다면 本 實驗의 基準인 抄當 5.5 Cycle 에서의 Energy loss 測定은 140°F 에서 行해져야 한다. 그러므로 方程式에는 140°F 에서 試驗室에서 測定한 Energy loss 測定值를 使用해야 한다.

이와같은 概念으로 여러가지 速度및 溫度에 있어서 타이어의 走行性能에 對한 고무의 Energy loss 및 反撥彈性的 應用方法을 考察할 수 있다.

—例로서 후렛트 스폿팅 (Flat Spotting) 때문에 일어나는 타이어의 反撥力에 고무가 어떠한 影響을 주는 가를 알아 보기로 한다. 이것을 例로 한 것은 타이어의 反撥力 (Tire bounce)에 이 結果가 同一하게 應用될 수 있다.

그러므로 이 研究에서 타이어의 走行 對 고무의 Energy loss 및 反撥彈性的 影響에 關한 一般的 原理를 發見할 수 있을 것이다. 前述한 바와 같이 타이어의 Flat spot 는

타이어를 荷重下에서 冷却시키기 直前 即 Flat spot 가 일어나기 直前에 타이어의 走行 中에 生成된 一定溫度에 크게 左右된다. 고무의 Flat spot 로 因하여 타이어에서 일어나는 走行時의 攪亂 (Disturbance)을 防止할 수 있다는 것도 이미 周知의 事實이다.

그러므로 Flat spot 以後의 全面的인 走行攪亂에 對한 고무의 役割을 두가지 要素 即,

a) 타이어 走行中의 溫度와 關係되고 Flat spot 의 깊이 (Depth)를 決定하는 고무의 Energy loss 및

b) Flat spot 가 形成된 後 타이어의 反撥 彈性を 막는데 有效한 고무의 制動性測定の 標準이 되는 고무의 反撥性等에 關係된다. Flat spot 로 因하여 생기는 타이어의 反撥力은 다음의 方法으로 (그림 7) 試驗室에서 測定된다.

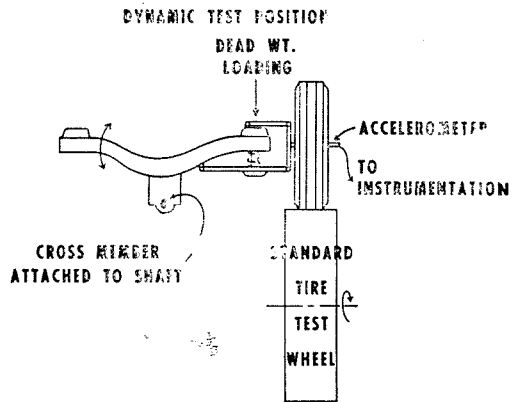


그림 7

타이어를 받이裝置 (Suspension System)에 끼워서 試驗用 바퀴上에서 Flat spot 가 일어나기 前에 70mph 로 走行시킨다.

Flat spot 가 形成된 後 타이어가 35mph 에서 走行하는 동안 한쪽 軸에 매단 加速計器로 타이어의 反撥力을 測定한다.

이 實驗에서 決定된 타이어의 反撥彈性的 重力加速度 g 는 路面上의 타이어의 走行值

와 相關關係가 成立된다.

Flat spot 가 생긴 8.50—14 Nylon 타이어의 反撥力測定結果를 (그림 8)에서 例示하였다. 初

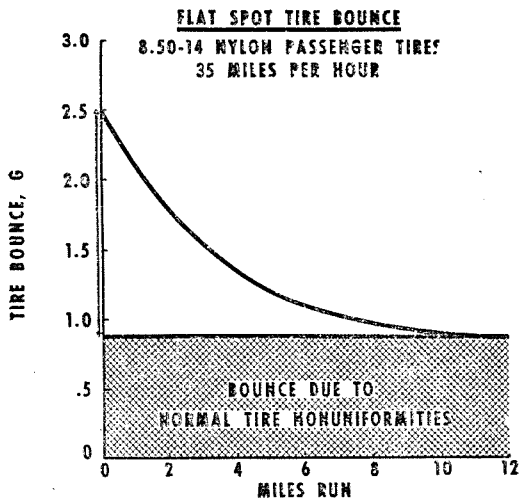


그림 8

기의 反撥力은 急히 減少해서 6 Mile에서 定常的인 現象을 보이고 約 12 Mile 뒤에는 一定 水準에 到達한다. 이 殘余 反撥力은 고무에 依하여 何等의 影響을 받지 않는 成形 및 加硫時에 일어나는 正常 타이어의 非均一性 때문에 생기는 것이다.

勿論 初期의 反撥力은 타이어에 생긴 Flat spot 의 크기와 Flat spot 때문에 發生했던 振動을 緩和시키거나 또는 타이어에 依해서 吸收되는 程度에 따라 左右된다. 이들 두가지의 要因은 타이어에 使用한 고무의 物理的 性質에 依해서 影響을 받게 된다.

다음으로 (그림 8)의 左側 좌상표로 表示한 바와 같이 試驗室에서 測定한 고무의 Energy loss 및 反撥彈性으로 부터 初期反撥力을 決定하는 方法을 檢討해 보기로 한다.

타이어의 反撥性을 고무의 基本性質에 關聯시키기 爲하여 誘導한 關係式을 <表 1>에 나타내었다.

<表 1>

$$TIRE\ BOUNCE = K \cdot R \cdot EN$$

E=ELASTOMER ENERGY LOSS AT 140° F

R=ELASTOMER RESILIENCE AT 80° F

K, N=CONSTANTS

ERN=ELASTOMER BOUNCE FACTOR

Flat spot 가 形成되기 前에 고무의 Energy loss 가 타이어의 熱生成에 影響을 줌으로 이 方程式에 Energy loss 를 使用한 것이다. 即 前述한 重疊原理 때문에 140° F 의 試驗室 溫度에서 이것을 測定한 것이다. 또한 고무의 反撥彈性은 Flat spot 가 생긴 後 타이어의 反撥力에 影響을 미치지 때문에 이를 使用하는 것이다. 이 타이어의 反撥彈性은 室溫에서 일어남으로 80° F 에서의 反撥彈性을 使用하였다.

研究途中에 타이어의 反撥力과 가장 좋은 條件의 相關關係를 爲해서는 어떤 하나의 指數가 反撥彈性에 關해서 使用되어야만 한다는 것을 알았다. <表 1>의 方程式中 點線箱子 속의 部分을 고무의 反撥力因子로 하였으며 常數 k 및 n 는 (그림 9)에 圖示한 試驗用 고

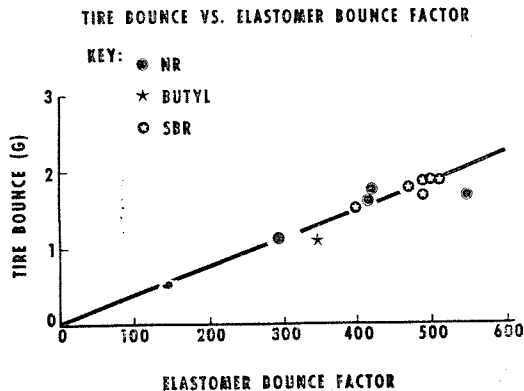


그림 9

무의 데이터에서 測定한 타이어의 反撥力を 相關시킴으로서 測定될 수 있다.

이들 타이어에 使用한 고무는 여러가지 고무 및 配合劑로 構成되어 있다.

約 1로 부터 2g까지의 타이어 反撥力範圍는 타이어에 使用한 트레드고무(Tread rubber)를 變化시키므로써 包括될 수 있다. 고무의 反撥力因자의 範圍는 配合劑變更에 依한 SBR 및 天然고무로 說明될 수 있다. 가장 낮은 反撥力因자는 Tread 壽命의 見地에서 볼 때 非實用的인 配合이긴 하지만 天然고무로부터 얻을 수 있다.

實用的인 Tread 고무를 가지고 있는 가장 낮은 反撥力 因자는 Butyl rubber이다. 이 圖表로 부터 타이어의 反撥力 및 고무의 反撥力에 關係되는 方程式의 定數가 決定된다.

<表 2>

$$\text{TIRE BOUNCE} = 0.0035 \text{ E} \cdot \text{R}^{4/3}$$

WHERE $\text{E} \cdot \text{R}^{4/3} = \text{ELASTOMER BOUNCE FACTOR}$

이 方程式(表 2)으로 타이어에 使用한 Tread 고무의 Energy loss 및 反撥彈性의 試驗室 測定值로 부터 타이어의 Flat spot bounce를 豫見할 수 있다. 고무 以外, 받이裝置亦是 타이어의 Flat spot bounce에 影響을 준다. 이것은 (그림 10)에 圖示되어 있다. 여기에 있는 圖線은 두개의 받이裝置 對 고무의 反撥力因자에 對해서 타이어의 反撥彈性을 測定한 圖表에서 나온 것이다. 여기에 나타나 있는 結果는 走行評價値와 相關關係를 가지고 있다. 乘車者가 肉感할 수 있는 攪亂의 25%가 받이裝置의 適切한 設計로 改良될 수 있다. 同時에 均一性을 改良하면 타이어의 反撥力도 低下된다. 여기서 討議한 概念들로 고무의 基本性質이 타이어의 走行에 影響을

EFFECT OF SUSPENSION SYSTEM ON TIRE BOUNCE

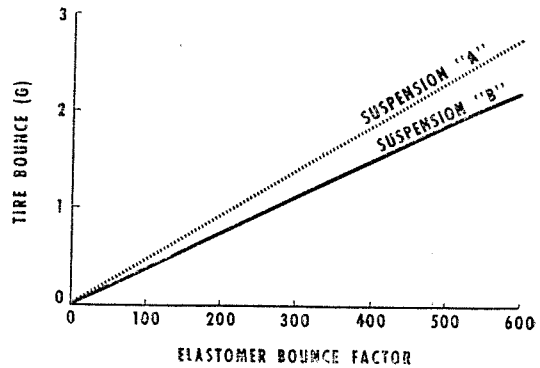


그림 10

미치는 方法을 알 수 있다.

고무의 反撥力因자, 室溫에서의 고무의 反撥彈性의 生成量 및 타이어走行溫度에 있어서의 고무의 Energy loss는 타이어의 走行性能을 向上시키기 爲하여 可能한 限 낮아야 한다. 이것은 Energy loss 및 反撥彈性 또는 兩者 모두를 減少시킴으로서 成就될 수 있다. 주어진 고무에 對하여 滿足할 만한 水準의 Energy loss, 反撥彈性 또는 反撥力因자를 얻기 爲하여 만든 配合에서 어떤 變化가 생기는 가를 아는 것이 고무 配合師에게 있어서 大端히 實用的인 價値가 있는 것이다.

本 實驗에서는 SBR 고무에 對한 이 研究를 했으며 이 研究의 結果를 같이 檢討해 보기로 한다. 이 研究에 包含되어 있는 많은 變數 때문에 Nylon tire cord의 浸漬伸張에 關한 研究를 한 Don Howe氏가 일찌기 說明한 統計的方法에 類似한 實驗方法을 使用하였다.

本 研究에서 <表 3>에 表示한 變數와 함께 다섯가지 表準因자를 使用했다. 또한 配合變數로서 카아본 블랙(Carbon black), 油展 및

〈表 3〉

DESIGNED EXPERIMENT RUBBER
COMPOUNDING SBR ELASTOMER

VARIABLES

SAF/AHF BLACK RATIO	100/0	50/50	0/100
CARBON BLACK(PHR)*	34	42	50 58 66
OIL EXTENSION (%)	0	25	50
SULFUR (PHR)	1.5	1.7	1.9 2.1 2.3

*PHR=PARTS FOR HUNDRED OF RUBBER

硫黃을 選擇했다. 여기에 나타나 있는 네가지 配合變數 外에 26個의 實驗에서 나온 데이터를 分析하기 爲하여 溫度를 다섯번째의 變數로 選定했다.

여기서 檢討된 結果로 140°F 溫度 및 秒當 5.5 Cycle 의 周波數에서 配合고무의 Energy loss 및 反撥彈性에 對한 配合變數가 어떤 影響을 주는 가를 알 수 있다. 여기서 나온 데이터의 豫備分析은 油展 및 Carbon black 이 Energy loss 및 反撥彈性에 큰 影響을 미치고 있다는 것을 나타내고 있다.

그러므로 이들 두 變數, 即 Carbon black 및 油展이 Energy loss 및 反撥彈性的 等高線을 作圖하는데 必要한 座標로 選定된 것이다. SAF 및 HAF 第의 Carbon black 및 硫黃을 二次變數로 使用하였다. 이 分析의 結

EFFECT OF COMPOUNDING VARIABLES ON DYNAMIC PROPERTIES

SBR STOCKS WITH SAF BLACK
SULFUR LEVEL 1.5 PHR

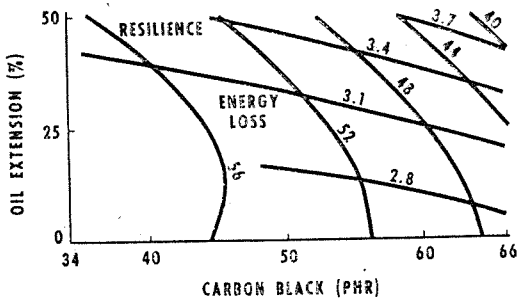


그림 11

果를 硫黃 1.5 部가 混入된 SAF black 으로 補強한 SBR 고무를 代表的으로 選定하여 作圖한 圖表로 說明할 수 있다.

여기서 Carbon black 이 反撥彈性에 重要한 影響을 준다는 것을 알 수 있다.

Carbon black 이 44 部에서 64 部로 增加함에 따라 反撥性은 56%에서 48%나 減少하고 있다. 油展量이 一定하면 Carbon black 에 依한 Energy loss 의 變化는 적다. 油展量은 Energy loss 에 影響을 주고 있으며 反撥彈性에 對한 油展變化의 影響이 顯著하지 않는 反面, Energy loss 는 주어진 Carbon black 의 一定量에서 油展量이 變化함에 따라 急速히 增加하고 있다.

이와같은 現象은 HAF black (그림 12) 으로

EFFECT OF COMPOUNDING VARIABLES-DYNAMIC PROPERTIES

SBR STOCKS WITH HAF BLACK
SULFUR LEVEL 2.1 PHR

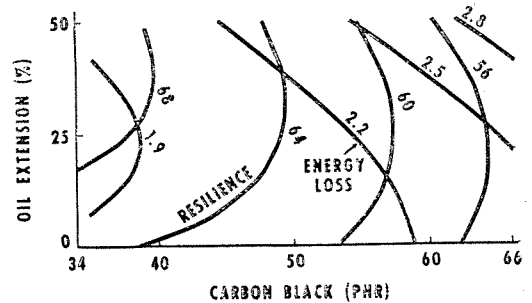


그림 12

補強된 SBR 配合고무를 考察해 보면 若干 相異한 點이 있다.

이 境遇에 있어서는 硫黃을 2.1 部 配合해서 試驗해 본다. Carbon black 이 增加하면 Energy loss 는 增加하고 反撥彈性은 減少한다. 그러나 Energy loss 에 對한 HAF black 의 影響은 SAF black 보다 더 顯著하다. 油展量이 增加하면 一時的으로 反撥彈性 및 Energy loss 도 다 같이 增加한다.

그래서 여기에 油展量 및 Carbon black 이

SBR 配合고무의 Energy loss 및 反撥彈性에 어떻게 影響을 미치고 있는 가를 說明하려고 한다.

하나의 實際的인 고무配合물의 機械的 性質이 이 分析에서 豫見될 性質과 어떻게 密接히 相應될 것인 가를 알아 보기로 한다. 62 部의 SAF 및 37.5%의 油展고무로 配合된 하나의 고무配合물에 對하여서는 Energy loss 는 週期當 約 3.5 Joules 이어야 하고 反撥彈性은 (그림 13)의 垂直 및 水平交點에서 나

EFFECT OF COMPOUNDING VARIABLES ON DYNAMIC PROPERTIES

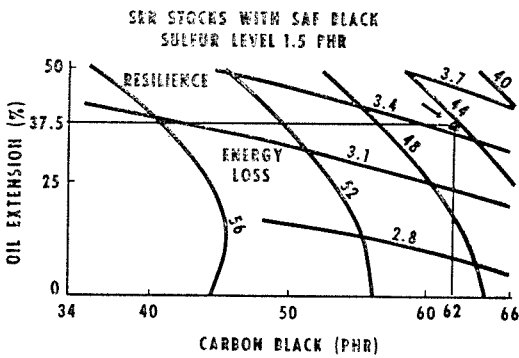


그림 13

타난 바와 같이 45%이어야만 한다. 圖線의 交叉點에 있는 點은 이미 豫見했던 值(Value)와 아주 훌륭히 一致한 實際配合고무의 Energy loss 및 反撥彈性의 測定値를 나타내고 있고 Butyl rubber로 이미 實驗했던 範圍內에서 타이어의 反撥力을 얻는데 SBR 고무를 配合할 수 있는 가를 決定하기 爲하여 이 方法을 使用했다. (그림 14)는 이 結果를 나타내고 있다. 硫黃이 3.5 部인 높은 含量때문에 이 고무는 伸張率이 낮고 屈撓性이 좋지 않으며, 따라서 Tread stock에 非實用的이다.

至今까지의 研究에서 Butyl rubber와 같이 낮은 타이어의 反撥力을 가지고 있는 實用的인 配合고무는 天然고무나 SBR에서는 發見하지 못했다.

TIRE BOUNCE VS. ELASTOMER BOUNCE FACTOR

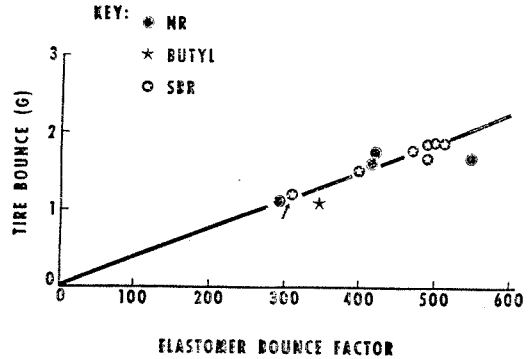


그림 14

앞으로의 研究도 이 目的에 따라 새로운 고무에 對해서 研究를 繼續할 것이다.

以上에서 고무의 Energy loss 및 고무의 反撥彈性이 타이어의 性能에 重要한 役割을 한다는 것을 알았다.

먼저 試驗室에서 이러한 性質을 測定하는 方法을 檢討했으며, 타이어의 性能에 이들의 性質이 미치는 影響을 例證하기 爲하여 고무의 熟生成과 Energy loss 間의 關係를 考察했고 다음에는 타이어의 走行이 이 고무의 Energy loss 및 反撥彈性에 依하여 어떻게 影響을 받고 있는 가를 實證하였다.

結局 고무配合이 고무의 Energy loss 및 反撥彈性과 타이어의 反撥力에 어떻게 影響을 주고 있는 가를 알았다.

이와같은 知識은 特殊한 타이어를 製造하기 爲하여 配合고무를 選擇하는데 도움이 될 것이다. 그러나 더욱 重要한 것은 타이어의 性能을 알기 爲하여는 어떤 簡單한 試驗 또는 配合고무를 使用할 수 있는 가를 알았다는 것이다. 짧은 時間에 相當히 적은 回數의 試驗室實驗에서 보다 더 耐久力이 있고 改良된 配合고무를 設計하는데 이와같은 方法들이 도움이 될 것이다. 이것이 時間 및 資材의 節約에 歸着될 뿐 아니라 타이어 品質改良에 더 빠른 길잡이가 될 것이다.