

大型타이어 트레드고무의 走行에 依한 疲勞

日本大津타이어株式會社

타이어 技術部 村上 伸 茲

1 序

自動車用 타이어는 다음의 4個의 機能을 갖는다.

- ① 荷重을 支持한다. ② 驅動力 制御力을 路面에 傳한다.
- ③ 振動을 緩衝한다. ④ 操縱性 安定性을 表示한다.

이들의 機能을 遂行하기 爲해서 타이어用 材料로서는 고무-纖維複合材料(FRR)이 長年の 經驗으로부터 使用 되어 타이어의 構造는圖 1과 같이 되어있다.

타이어의 疲勞는 타이어의 壽命과 密接하게 關係하므로 極히 重要な 問題이다.

然이나 고무加硫物이나 纖維類의 疲勞, 破壞가 學問의 對象으로서 多數人들에 依해서 研究가 되고 있는데 反해 타이어의 疲勞에 對해서는 報告例가 거의없다.

이 理由로서 타이어와 같은 FRR은 非線形特性, 非平衡特性등의 大變形領域에서의 問題가 많은點. 製品타이어 및 그 使用時에 있어서의 力學的解析이 極히 困難한 點. 타이어가 갖는 特殊性, 即 타이어의 性能은 車輛과

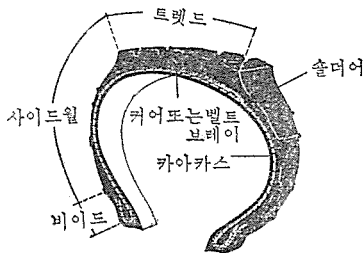


圖 1 타이어의 構造

聯關해서 評價되는 點이라든가, 타이어의 壽命은 走行 條件에 依해서 決定되는 것 등에 依할 것이다.

따라서 타이어의 性能이나 壽命의 評價는 室內評價試驗方法이 完全히 確定이 안되어 있는 點도 있지만 거의 路上走行(貨車走行)에 依해서 이룩되고 있다.

타이어는 走行中 反復해서 各種의 變形을 받으나 트레드部는 一定應力의 壓縮變形과 一定歪의 屈曲變形을 받는다¹⁾.

이 때문에 自己發熱에 依한 溫度上昇이 일어나 大型타이어의 境遇는 솔리더 部에서 130~140°C로도된다. 이 走行에 依한 發熱은 타이어의 壽命에 重大한 影響을 준다.

大型타이어 特히 高速버스타이어는 端的인 例이다. 타이어가 極히 高溫度(180~200°C)로 되면 疲勞라고하는 過程을 不經由하고서 接着破壞-세퍼레이션이 일어난다²⁾.

세퍼레이션에 이르는 大型타이어의 走行壽命과 타이어의 走行中の 內部溫度와의 사이에는 實驗例로서 式(1)의 關係가 보고되고 있다³⁾.

$$T = 222.7 - 22.3 \log L$$

T : 타이어 內部溫度(°C)

L : 세퍼레이션 壽命(km)

走行條件 : 速度 50 또는 60km/h, 荷重 200%, 空氣 壓 6.75 또는 8.0kg/cm²

타이어의 安全問題가 크게 浮上되고 있는 昨年에선 타이어의 疲勞機構를 解明하는 것 및 疲勞나 熱에 起因하는 타이어의 破壞(Seperation, Cord Broken up [CBU] Burst Groove, Crack Chipping, Chunk Out 破壞等)을 防止하는 것은 타이어 技術者에 있어서 宏壯히 重要的 것이다.

本稿에선 大型타이어의 트레드고무에 對해서 走行疲

勞에 의한 物性變化 및 構造變化에 관한 二, 三의 文獻의 研究結果를 말한다.

2 고무의 疲勞

2.1 走行에 의한 大型타이어 트레드 표면 고무의 物性變化

大型타이어(10.00-20)를 高速道路에서 走行시켜 6萬 km까지는 1萬km마다, 以後는 8萬km와 12萬km의 時點에서 트레드表面으로부터 얇은 試料片(約 1.5mm)을 採取해서 고무物性을 測定한 村上⁴⁾의 結果를 圖 2~圖 5에 表示한다.

引張強度(T_B)는 1萬km走行時點에서 減少하고 以後 5萬km까지 上昇하며 그以後는 再次減少했다.

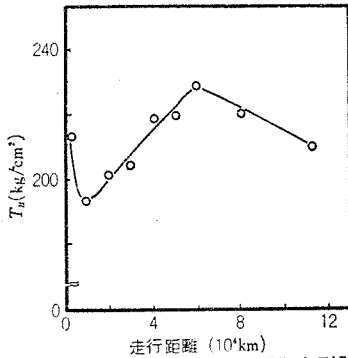


圖 2 走行에 의한 트레드 表面고무의 引張強度(T_B)의 變化 트레드고무 配合: 天然고무 100HAF 카아본 블랙 50

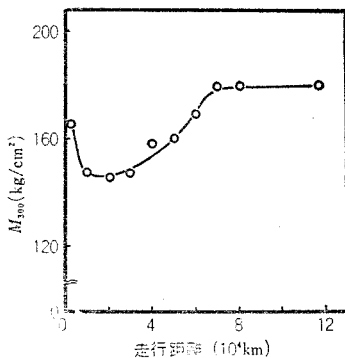


圖 3 走行에 의한 트레드表面의 300% 引張應力(M_{300})의 變化

引張試驗에 使用한 丹蓓片은 트레드의 라디알 方向에서 採取한 것이지만 T_B 値는 트레드의 라디알(外周) 方向으로 丹蓓片을 採取하여 얻은 値와 差는 없었다.

1萬km로부터 5萬km까지의 走行에서 한番 減少한 T_B 가 增大하는 理由에 對해선 不明이나 走行에 依해

서 天然고무의 結晶性이 增大하는 것과 走行距離와 함께 트레드表面 고무의 比重이 작아져가는 現象과 關係가 있을 것 같다.

圖 3 의 300% 引張應力(M_{300})도 1萬km 走行時點에서 亦是 減少하며 以後 增大했다.

이 M_{300} 의 値는 膨潤度로부터 求한 網目鎖密度와 一致한 點으로부터 1萬km 以後의 走行에선 網目鎖密度가 上昇함을 알 수 있다,

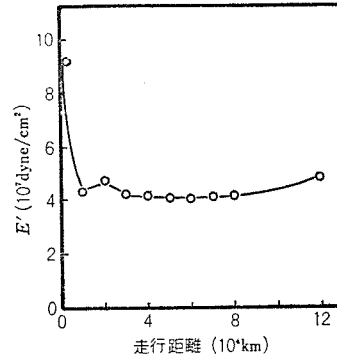


圖 4 走行에 의한 트레드表面 고무의 動的彈性率(E')의 變化

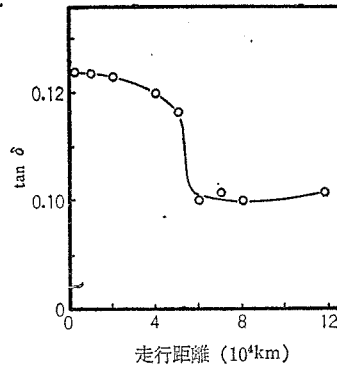


圖 5 走行에 의한 트레드表面 고무의 損失正接($\tan \delta$)의 變化

圖 4의 動的彈性率(E')는 1萬km 走行時點에서 急激하게 減少하며 以後는 거의 變化하지 않았다.

圖 5의 損失正接 ($\tan \delta$)은 5萬km走行時點까지 緩慢하게 減少하며 5萬부터 6萬km에의 走行에서 急激하게 減少했다. 이들의 고무物性이 變化하는 現象은 機械的인 疲勞舉動이라고 生覺하면 잘 理解할 수가 있다.

然이나 最終의 12萬km走行한 트레드表面 고무에 對해서 電子顯微鏡寫眞觀察⁴⁾을 行했는데 카아본블랙의 再凝集은 確認되지 않았다. 以上은 트레드表面고무의 疲勞舉動이지만 트레드表面은 走行에 依해서 摩耗해서 減少해 가므로 嚴密히는 表面고무의 疲勞舉動이라고는 할 수가 없다.

然이나 거의 트레드 表面고무의 疲勞舉動을 表示하고 있다고 보아서 틀림없다.

2.2 走行에 의한 大型타이어 트레드 内部 고무의 物性變化

既述한 바와 같이 타이어 트레드 内部는 走行中에 多量의 熱이 蓄積되어서 高温으로 되기 때문에 熱劣化現象이 일어난다. 이 때문에 内部는 表面과는 相異한 疲勞舉動을 한다고 생각된다. 이 疲勞舉動은 室內 連續 트레드 走行試驗을 행한 타이어의 舉動과 類似함이 豫想된다.

圖 6~圖 9에는 大型타이어(100.00-20)의 트레드 内部 고무에 對해서 路上 12萬km 走行後와 室內 2萬km 走行後의 物性¹⁾을 表示한다. 圖 6~圖 9에서 다음의 것을 알 수 있다.

T_B 値는 室內走行한쪽이 路上走行의 境遇보다 크게 低下했다.

M_{300} 値는 路上走行에 依해서 增大했으나 室內走行에 依해서 減少했다.

E' 値는 路上走行한쪽이 室內走行한 境遇보다 크게 低下했다

$\tan \delta$ 値는 路上走行에 依해서 減少했으나 室內走行에 依해서 增大했다. 더우기 室內走行의 境遇는 트레드

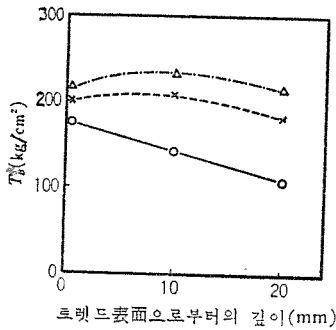


圖 6 走行後의 트레드 内部 고무의 引張強度(T_B) 走行前(Δ), 室內 20,000km 走行後(O), 路上 120,000km 走行後(x)

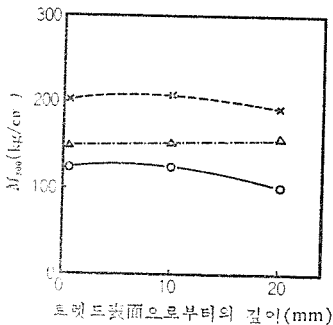


圖 7 走行後의 트레드 内部 고무의 300% 引張應力 (M_{300}): 走行前(Δ), 室內 20,000km 走行後(O), 路上 120,000km 走行後(x)

드表面으로부터 内部에 들어 갈수록 物性的 變化의 程度는 크다. 한便 路上走行의 경우는 E' 値를 除外하고 表面도 内部도 거의 同程度의 物性變化가 보여진다.

이런 것들의 現象으로부터 다음의 것을 말할 수 있을 것이다. 室內走行에 依한 物性的 變化는 窒素中에서 熱劣化시킨 경우의 物性舉動과 同一한 점으로써 室內走行에선 熱劣化를 主體로한 疲勞. 路上走行에선 트레드 内部에서 一部 熱劣化現象이 보이긴하나 大部分은 機械的인 疲勞가 일어나고 있다.

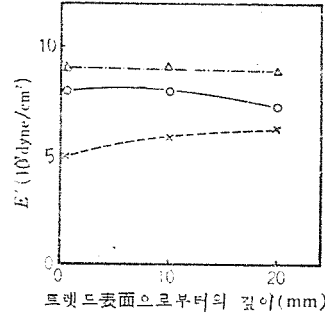


圖 8 走行後의 트레드 内部 고무의 動的 彈性率(E'): 走行前(Δ), 室內 20,000km 走行後(O), 路上 120,000km 走行後(x)

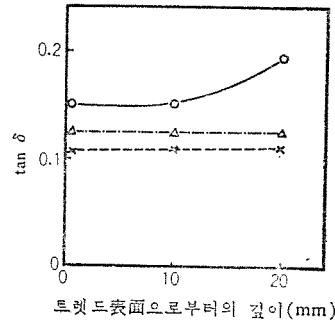


圖 9 走行後의 트레드 内部 고무의 損失正接($\tan \delta$): 走行前(Δ), 室內 20,000km 走行後(O), 路上 120,000km 走行後(x)

<表 1> 走行에 依한 大型타이어*2 트레드 고무의 硫黃架橋形態의 變化

區分	走行前 (表面. 中心. 内部의 平均)	室內 1,000h 走行後			路上 2,500 哩 走行後	
		表面*1	中心*1	内部*1	中心*1	内部*1
폴리슬피드 架橋	66%	48%	31%	18%	52%	40%
디슬피드 架橋	34	52	36	14	48	36
모노슬피드 架橋	0	0	33	68	0	24

*1 表面: 브레이크아로부터 2.5cm 위의 트레드部分
中心: 브레이크아로부터 1.5cm 위의 트레드部分
内部: 브레이크아로부터 0.1cm 위의 트레드部分

*2 9.00-20

2.3. 走行에 의한 트렛드고무의 構造變化

大型타이어를 室內走行과 路上走行을 시켜서 트렛드고무속의 硫黃架橋形態를 調査한 Russell等⁶⁾⁶⁾의 結果를 表 1에 表示한다. 表 1로부터 室內走行이나 路上走行에 依해서 폴리설피드 架橋가 減少해서 디설피드 架橋가 增大하는것 또는 폴리설피드, 디설피드 架橋가 減少해서 모노설피드 架橋가 增大함을알 수 있다.

더우기 室內走行한 境遇의 쪽이 路上走行한 境遇보다 폴리설피드 架橋의 變化量이 크다는것, 어느쪽의 走行의 경우도 트렛드表面보다 内部의쪽이 폴리설피드, 디설피드 架橋의 變化量이 큼을알 수 있다. 이 現象은 前節에서 既述한바 있는 室內走行의쪽이 路上走行보다 熱的刺戟을 받기 쉬운 點, 트렛드 内部의쪽이 表面보다 熱的刺戟을더욱 많이 받기 쉽다는 것과 一致한다.

走行에 依해서 트렛드고무속의 폴리설피드 架橋가 安定된 形으로變化하는 것은 自古로 Studebaker⁷⁾에 依해서 報告되어 있으나 村上⁴⁾도 同様の 結果를얻었다.

2.4. 走行에 의한 트렛드고무속의 劣化防止劑의 消費

大型타이어를 高速道路에서 走行시켜 一定距離의 走行마다 트렛드表面고무를 採取해서 添加한 아민系劣化防止劑N-이소프로필-N'-페닐-P-페니렌지아민(IPPД)의 量을 同位體希釋法에 依해서求한 結果⁴⁾를 10에 表示한다.

圖 10으로부터 알 수 있는바 같이 IPPD量은 1萬km 走行時點에서 急激하게 減少하고 以後는 緩慢하게 減少하나 7萬km走行時點에선 添加한 量은 거의消費되어서 殘存量은 極히 적었다.

劣化防止劑의 走行에 依한 消費로서는 劣化防止劑와 고무와의 結合, 劣化防止劑와 酸素 또는 오존과의 反應이외에 트렛드 表面으로부터의 昇華, 더우기 走行中 물에 依해서 洗滌되어 버리는 것등을 생각할 수가 있다.

圖 10의 走行에 依한 IPPD의 消費曲線은 1.에서 말한 트렛드고무의 物性 變化和 相關을 하지 않는다.

이事實로부터도 路上走行에선 熱的疲勞는 적으며 機械的인 疲勞가 主로 일어나고 있다고 할 수 있겠다.

3. 끝

세퍼레이션 破壞는 過熱走行에 依해서 일어난은 既히 1에서 말했으나 藤本⁸⁾은 세퍼레이션 破壞를 일으킨 大型타이어를 調査해서 그 走行壽命은 圖 5 (左軸)에

表示하는 것처럼 1.3萬km의 곳에 頻度分布의 最大値가 存在한다고 報告하고 있다. 村上⁴⁾가 調査한 結果(圖 5의 右軸의 棒그래프)로도 1萬km 및 2萬km 走行時點에서 세퍼레이션 破壞가 가장 多發하고 있다. 이 事實은 約1萬km 走行한 大型 타이어는 세퍼레이션 破壞를 일으키기 쉬운 要因을 갖고 있음을 示喚한다.

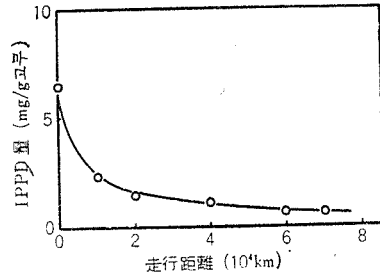


圖 10 走行에 依한 트렛드 表面고무속의 아민系劣化防止劑(IPPД)量의 變化

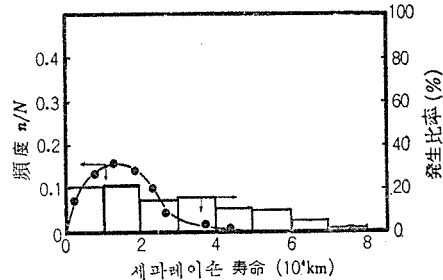


圖 11 세퍼레이션 壽命의 頻度分布(左軸: 藤本⁸⁾ 右軸: 村上⁴⁾)

換言하면 約1萬km 走行한 大型타이어는 疲勞에 依해서 顯著한 物性變化 및 構造變化를 받고 있어서 破壞를 일으키기 쉬운 狀態에 있다고 생각된다.

2.1에서 既述한 T_B, M₃₀₀, E', IPPD量 등의 値가 1萬km 走行時點에서 急激하게 減少한現象은 上記의 생각과 같 一致한다. 然이나 다른 見解로서 1萬km走行에 依해서 特性이 크게 變化함은 타이어가元來 潛在的으로 갖고 있었던것⁹⁾ 即 타이어의 加硫製造時에 發生한 歪, 內壓을 注入 함으로써 發生하는 歪 등이 約 1萬km 走行에 依해서 緩和 되어서 物性變化가 일어난다고 생각될 수 있다.

어느 것이든 間에 1萬km 走行時點을 無事히 走破한 타이어는 最終壽命까지 走行하는 確率이 斷定的으로 높다고 할 수 있다. 本稿에선 大型타이어의 路上走行은 極端의 過熱走行이 없는 限 機械的인 疲勞가 主體라고 말했으나 타이어의 疲勞를 생각할 境遇 고무疲勞와 함께 타이어고오드의 疲勞^{10),11)} 고무와코오드의 接觸界面의 疲勞¹²⁾도 重要하다. 더우기 고무物性的 變化를 생각할 境遇는 走行疲勞에 依한 타이어中의 配合劑(오일, 硫黃, 劣化防止劑등)의 移行의 問題^{13),14),15)}도 잊어서는 안된다.

以上本稿에선 大型타이어트렛드고무의 走行에 依한 疲勞特性 物性變化, 構造變化에 對해서 말했으나 타이어의 疲勞機構는 굉장히 複雜해서 今後 이 方面의 綜合的인 研究가 行해지기를 바란다.

끝으로 本稿가 타이어의 走行壽命의 向上이나 事故回避, 安全性確保를 爲한 資料로되고 또한 고무系 複合材料開發에 一助가 되었으면 多幸이겠다.

文 獻

- 1) J. M. Collins, W.L. Jakson and P.S. Oubridge: *Trans. Inst. Rubber Ind.*, **40**, T239 (1964)
- 2) F.S. Conant: *Rubber Chem. Technol.*, **44**, 397 (1971)
- 3) 日本自動車타이어協會: 「故障타이어疎明試驗結果報告書」(1973年 9月)
- 4) 村上 伸茲: 1975年 國際고무 技術會議研究發表(東京)
- 5) R. M. Russell: *Br. Polymer J.*, **1**, 53 (1969)
- 6) J.I. Cunneen and. R.M. Russell: *Rubber Chem. Technol.*, **43**, 1215 (1970)
- 7) M.L. Studebaker: *Rubber Chem. Technol.*, **39**, 1526 (1966)
- 8) 藤本邦彦: 日 고무協誌 **45**, 228 (1972),
- 9) M.L. Janssen and J.D. Walter: *Tire Science and Technology*, **3**, 67 (1975)
- 10) R.G. Patterson and R.K. Anderson: *Rubber Chem. Technol.*, **38**, 832 (1965)
- 11) W.G. Klein, M.M. Platt and W.J. Hamburger: *Textile Research J.*, **32**, 39 (1962)
- 12) S. Eccher: *Rubber Chem. Technol.*, **40**, 1014 (1967)
- 13) H. Auler and Bostron: *Rubber Chem. Technol.*, **35**, 621 (1962)
- 14) M.L. Deviney, Jr., L.E. Whittington and B. G. Corman: *Rubber Chem. Technol.*, **44**, 87 (1971)
- 15) J.E. Lewis, M.L. Deviney, Jr. and L.E. Whittington: *Rubber Chem. Technol.*, **42**, 892 (1969) (1976. 10 日本고무 協會誌)

< 18 p 에서 >

確實하다. 將來 炭化水素의 効果의인 利用이 行해 지게끔 되고 使用되는 高分子材料 및 그 加工의 方法이 점점히 變해 갈것으로 생각된다. 또 에너지의 使用法의 効率化가 생각되며 다시 새로운것에 着手하게되면 고무産業의 將來는 밝다고 할수가있다.

그곳에 消費者의 要求가 있으며 努力이 기울여진다면 고무産業의 結實있는 成長이 期待된다고 생각된다.

(1976. 2 日本고무協會誌)

◎ 協會 및 會員社消息

1) 協會의 金甫炫理事長은 不遇盲兒學生 2名과 沈奇澤常務는 1名과 各各 結緣하여 76年 12月부터 1年間 獎學金條로 月 5千圓式 支給키로 하였음.

2) 協會의 金理事長, 沈常務外 職員一同은 76. 12. 22 不遇이웃돕기 誠金條로 41,930圓을 日刊 內外經濟新聞社에 寄託하였음.

3) 協會에서는 77年度 定期總會를 77. 2. 8. 17. 00 ~ 18. 30 開催하여 76年度事業報告와 決算報告및 77年度 事業計劃(案)과 豫算(案)을 各各 承認하였음.

4) 協會의 金理事長께서는 産業戰士에 對한 新聞圖書雜誌보내기 運動에 呼應, 77. 2. 9 서울經濟新聞社에 30,000圓을 寄託하였음.

5) 協會의 沈奇澤常務는 이란의 타이어輸入禁止措置에 따른 對策을 關係機關과 協議하고 또한 타이어輸出 促進을 爲해 中東 東南亞 日本等地域에

77. 2. 19 出國 3月初 歸國豫定.

6) 協會와 會員社에선 다음과같이 서울市民團體 世마울運動協議會主催 아침清掃를 하였음.

① 協會에선 76. 12. 31 서울市內 退溪路 프린스호텔 周邊 77. 2. 1은 同市 會賢洞 韓國貿易協會 周邊

② 韓國타이어(株)는 77. 2. 1 同市永登浦區新道林洞 도림橋附近 ③ 東信化學(株)은 同日 同社의 始興工場과 文來洞工場의 正門앞의 道路 (以上 兩社는 入會順)

7) 協會와 會員社에선 代表理事級 親善골프大會를 77. 1. 8(土) 漢陽칸추리클럽에서 開催하여 親睦增大에 寄與하였음. 이날의 스폰서는 協會

8) 東信化學(株)에서는 社報「東信」誌를 77. 1. 31 創刊했음. 季刊, 4×6倍版, 非賣品.