

自動車타이어의 耐磨耗性

브리지스톤타이어(株) 商品開發本部 今村高昭

大英商事(株) 技術開發室長 李 喆 世 譯

1. 序 論

一般的으로 고무가 磨耗된다고 하는 것은 고무가 路面(고무와 接觸하는 物體의 表面)과 摩擦함으로써 고무의 重量이 減少되는 現象을 말한다. 磨耗에 關聯되는 要因은 大端히 많고 複雜하지만 配合設計面에서만 생각하여보면 大體로 다음과 같이 要約할 수가 있다.

- 1) 重量減少는 어떻게 해서 일어나는가 (磨耗 機構)
- 2) 使用條件과 磨耗의 關聯性 (苛酷도와 磨耗 機構의 相互關係)
- 3) 여러 가지 條件下에서 耐磨耗性向上을 위한 原資材의 選定 (苛酷도에 따른 最適原資材의 選定)

고무 磨耗에 對한 普遍的인 理論은 現在까지 없다. 그러나 위의 순서에 따라서 설명은 하지만 그 內容이 充分히 解明되는 것은 아니고 事實에 對한 單純한 설명이다. 그러나 磨耗는 配合設計에서 가장 重要한 것이며 또한 그동안 이 磨耗에 對한 많은 研究가 이루어져 왔으므로 이 研究結果를 考察하면서 配合設計를 설명하고자 한다.

2. 重量減少의 發生

重量減少는 固體, 液體, 氣體의 어느 것이 離脫되어 일어나는가?

어느 것이 離脫하든 條件如何에 따라 重量減

少가 생긴다고 알고있고, 離脫方法에 따라 磨耗 機構도 달라진다고 豫想된다. 于先 各己의 離脫에 對하여 어디까지 檢討가 되어 있는가를 記述하여 보고자 한다.

2.1 固體의 離脫

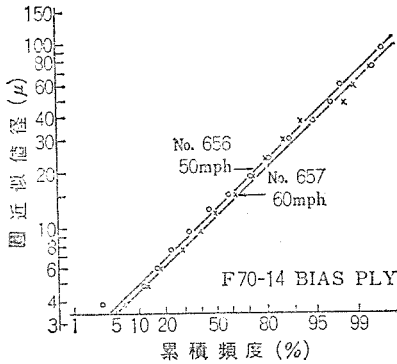
路面上의 微細한 凹凸에 依하여 고무 表面에 應力集中이 일어나기 때문에 고무가 破壞되어 고무片(debris)이 離脫하는 現象은 磨耗의 가장 一般의인 形態로 알려져 있다. 實際로 空氣中の 浮遊粉塵¹⁻⁴⁾이나 路上的 集積物⁴⁾ 등에서 타이어의 破片이라고 생각되는 고무片이 檢出되고 있다. 이 固體離脫을 調查하는 데 있어서는 고무片을 捕集하여 그 크기, 形狀, 性質 등에서 直接的으로 調查하는 方法과 磨耗面에 남은 磨耗模樣을 觀察하여 間接的으로 磨耗現象에 對하여 推定하는 方法이 있다.

2.1.1 고무片에 關한 檢討

고무片을 調查하는 直接的인 方法은 情報도 많지만 捕集의 完全을 期하는 것이 困難하다. 즉, 路面의 異物도 同時에 捕集되므로 이를 選別하여야 하는 觀測技術上的 困難이 있다.

Dannis⁵⁾는 이러한 點에 많은 研究를 하여 實際 走行타이어에서 發生하는 고무片으로 解析을 하고 있다. 捕集의 完全性을 向上시키기 위하여 捕集效率와 粒度分布의 形狀의 두 가지를 尺度로 捕集 기구의 改善에 對하여 研究하고 한편으로는 路面이나 空氣中에서 捕集된 異物을 識別하는 데는 고무片 各個에 對하여 形狀, 色相,

클로르포름으로 膨潤 및 脫膨潤의 狀況 또는 浮沈, 450~500°C에서의 容積減少 등을 觀測하는 方法을 擇하고 있다. 이렇게하여 얻어진 實際 走行타이어의 고무片的 粒度分布(그림 1)는 一般的으로 切削이나 粉碎로 얻은 粉體가 나타내는 對數正規分布를 하고있고 結果는 相當히 妥當性이 높은 것으로 생각된다.



縱軸：不規則한 形狀의 고무片을 面積이 같은 圓으로 近似하게 한 直徑
 橫軸：累積頻度
 No. 656, 657은 實驗 No. (表 1 參照)
 [그림 1] 實際走行타이어 磨耗고무片(debris)의 粒度分布⁵⁾

離脫하는 고무片的 形狀 및 크기는 磨耗機構 및 磨耗破壞의 Strain 速度를 생각하는 데 있어서 重要한 것이다. Dannis의 結果에 依하면 形狀은 다음에 설명하는 破턴磨耗를 表示하는 “sausage roll”狀으로, 크기는 走行條件에 따라 다르지만 幾何學的 平均粒徑으로 8~23μ이 된다. 지금 路面의 凸起와 磨耗模樣의 봉우리(ridge)의 接觸部에서 龜裂先端의 1/2의 點에서 破端(그림 3 參照)이 생겨 이것이 圓周를 形成하여 “sausage roll”이 되었다고 假定하고, Dannis의 data에서 磨耗에 依한 고무片 離脫의 strain速度를 計算해 보면 表 1에 나타난 바와 같이 거의 10⁷%/sec가 된다. 이것은 타이어 또는 타이어 코오드에 加해지는 strain 速度가 10⁴~10⁶% min 이라고 하는 grimminger의 data에 比하여 3~5자리 빠른 것이 된다. 한편 Grosh⁷⁾ 등의 1cm/sec의 미끄럼 速度가 10⁴%/sec의 strain 速度에 相當하다는 事實에 비추어 볼 때, Dannis 등의 實際走行條件은 100% slip에서는 20~29m/sec의 미끄럼 速度가 되므로 上記의 strain 速度는 完全히 grosh의 結果와 對應하고 있다. 100% slip이라는 現象은 平均值的(트레드面全體)으로는 別로 없는 現象이지만, 磨耗離脫이 發生하고 있는 極小部에

<表 1> 走行條件이 다른 實際走行타이어(乘用車用) 고무片的 크기와 strain 速度

實驗 No.	路 線	路 面	速 度 (km/hr)	고 무 片 의 幾 何 學 的 平均粒徑 (μ)	100% slip 時 strain 速度(%/sec)
656	1-77 North	施行 2 年後의 콘크리트	80	12.4	2.8×10 ⁷
657	1-77 South	〃	96	11.6	3.7×10 ⁷
672A	1-77	〃	72	22.3	1.4×10 ⁷
672B	1-77	〃	104	16.8	2.7×10 ⁷
672C	1-80	施行 3 個月後의 콘크리트	104	8.4	5.4×10 ⁷

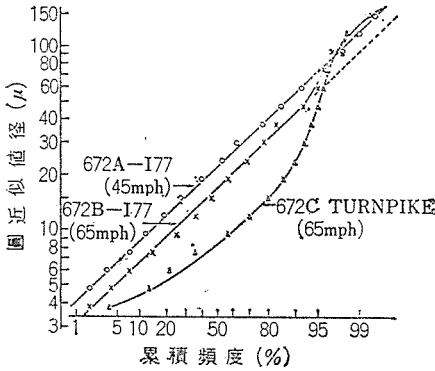
서는 恒常 일어나고 있다고 생각된다. 다만, 여기서 考慮하지 않으면 안 될 것은 磨耗片的 粒度分布가 있는 것으로 上記平均值的의 둘레에 2 자리 程度의 strain速度分布를 考慮하고 더욱 磨耗量은 重量平均 粒徑으로 볼 必要가 있는 것으로, 그런 뜻에서는 10⁶%/sec가 材料物性이 磨耗에 對하여 重要한 것이 아닐까?

고무片的 크기와 磨耗條件의 關係는 어떨까, Dannis의 data (그림 1, 2 및 表 1)에서 알 수 있는 것은

1) 同一路線에서 走行速度가 빠른 경우, 單的

으로 고무片的 크기가 작게 될 뿐이다. 672B로 大粒子側에서 直線으로부터 벗어나는 것은 고무片끼리의 凝集 때문이다.

2) 路面이 콘크리트인 境遇와 아스팔트인 境遇에서는 아스팔트쪽이 粒子가 작게 될 뿐 아니라 粒度分布가 複數의 分布로 되어 있다. 이것은 다른 機構의 磨耗라고 생각된다. grosh의 磨耗試驗에서 silicon carbide紙 代身에 멧슈가 부드러운 emery cloth를 使用하면 고무片이 작게 되는 것과 對應하고 있다.



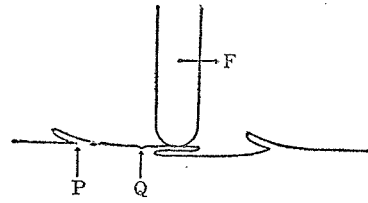
[그림 2] 實際走行타이어의 磨耗고무片的 粒度 分布⁵⁾

2.1.2 磨耗面에 關한 檢討

固體의 離脫을 調查하는 또 하나의 方法은 磨耗面에 남은 磨耗模樣을 觀察하는 것이지만 注意할 것은 그것이 觀測直前의 磨耗만을 反映하고 있다는 것이다. 어떠한 走行條件으로 몇 m나 走行하여야 磨耗面이 되는지 目標을 淸해놓는 것이 重要하다.

磨耗面의 磨耗模樣으로 有名한 것은 “abrasion pattern”이라 불리는 摩擦方向과 直角方向의 波頭로서 表示되는 模樣으로 schallmach⁸⁾ 등은 磨耗條件, 磨耗量, 材質과의 關係를 상세히 究明하고 있다. 이 現象은 柔軟하고 伸張이 잘 되는 材質, 즉 고무에 特有한 것으로서 金屬 등의 磨耗에는 볼 수 없다. 고무 중에도 카아본配合을 한 硬度가 높은 고무에는 發見하기 힘들다고 한다.

發生의 過程에 對해서는 路面의 凸起로 因하여 고무가 파여지고 그림 3 과 같은 過程으로 摩擦方向으로 前進하면서 또한 橫方向으로 또 다른 파임 部分과 連結되면서 차차 成長되어가는 것이라고 생각하여 왔다. 그러나 發生의 發端에 對해서는 異端이 있다. 고무와 路面의 凝着에서 일어나는 “roll formation mechanism”이 提案되어 있고 이로 因한 롤形成磨耗 (wear by roll formation)는 오래동안 “abrasion pattern”으로 因한 패턴磨耗(pattern abrasion)와는 別個의 것으로 取扱되어 왔으나 오히려 이것이 發端이라는 意見이 擡頭되어 왔다. 또한 Southern¹¹⁾은 고무면에 垂直으로 들어가는 크랙이 發端으로



F : 路面凸起에 加해지는 힘
P, Q : 龜裂生長點

[그림 3] 패턴 磨耗模式圖¹²⁾

크랙은 고무 중의 自然缺陷(natural flaws)에서 發生하는 것이라고 생각되고 있다. 發端은 어떻게 되었든지 패턴이 形成된 定常狀態에 들어가서는 모두 같은 結果가 된다고 생각된다.

패턴磨耗는 本質磨耗(intrinsic abrasion)¹³⁾에 對한 附加的인 重量減少라고 생각되고 있다. 同一고무質, 同一路面에서 abrasion pattern이 發生되지 않도록 90°方向으로 交代磨耗시킨 것에 比하여 一定方向으로 磨耗시켜 abrasion pattern을 發生시킨 쪽이 磨耗量이 많다. 實際走行 타이어의 磨耗量(A)은 패턴磨耗에 依한 磨耗量(A_p)과 本質磨耗에 依한 磨耗量(A₁)의 合으로 表示된다고 한다.

$$A = aA_p + bA_1 \quad (1)$$

단, a, b는 常數임

磨耗量과의 關係는 主로 패턴 간격(Pattern spacing) S 와 關係되고 있으며 Ratner¹⁴⁾는 다음 式을 提案하고 있다.

$$A = aS^{\alpha/\beta} \quad (2)$$

단, a: 常數, α: 고무材質 및 磨耗機構에 依한 定數

β: 고무材質에 依한 定數

α/β는 거의 定數이며, 그 data에서 보면 3.2 정도이다.

Schallmach는 그에 앞서 α/β = 3의 3乘則¹⁵⁾을 提案하고 있다. 우리들은 “람본” 磨耗試驗機로 α/β = 3.6을 얻었다. 그러나 이 式을 그대로 製品에 適用하는 것은 無理이다 實際走行時에는 磨耗條件이 突發的으로 廣範圍하게 變化하고, 그에 따라 여러 가지의 磨耗機構가 생기므로, 패턴磨耗만으로 論할 수는 없다. 具體的으로는

abrasion pattern은 明確히 나타나는 境遇와 그 령지 않는 境遇가 있고, 패턴 간격 이외에 패턴의 發達의 程度를 나타내는 尺度를 採擇할 必要가 있다. 이것은 式(1)에서 明白한 것과 같이 本質 磨耗의 寄與가 클 때에는 當然히 패턴은 무너지고 寄與가 작을 때에는 明確해진다는 것과 對應하고 있다. 더욱 패턴磨耗와 本質磨耗의 分離 方法으로는 本質磨耗中에 여러 가지 機構의 磨耗를 一括하여 갖고 있고, 製品에 適用하여 究明하려면 더욱 깊은 研究가 必要할 것이다.

그런 뜻에서 微觀의 磨耗模樣에도 注目하고 있다. 從來 主로 레프리카법을 使用한 電顯觀察¹⁶⁻¹⁸⁾이 行하여져 왔으나 最近 走査型電顯의 出現에 따라 마크로에서 微觀까지 連續하여 觀察¹⁹⁻²¹⁾할 수 있도록 되었으므로 그 成果가 期待된다. 中川²⁰⁻²¹⁾ 등은 abrasion pattern 의 에 다음의 現象을 觀察하고 있다.

(1) Abrasion scratched pattern

磨耗方向에 平行한 切傷狀의 패턴

(2) Abrasion particles

1~3 μ 程度의 크기의 粒子로, 이것이 最小磨耗粒子單位라고 생각하고 있다.

(3) Abrasion crack

磨耗直後에는 보이지않고, 磨耗後 空氣中 또는 오존 中에서 磨耗表面에 생기는 것으로서, 磨耗中에 생긴 殘留應力에 依한 것으로 생각된다.

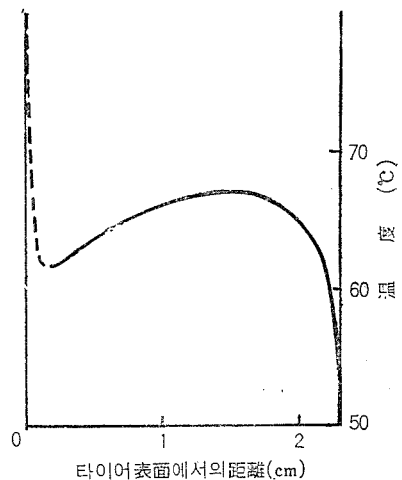
(1)은 Schallamach의 pseude abrasion pattern 에 相當하는 것으로, abrasion wear²²⁾라고 일컬어지고 있다. 金屬이나 플라스틱으로는 이 磨耗가 主體가 되고 고무라도 脆化點 以下로서는 主로 이 磨耗가 된다고 말하고 있다²³⁾ (2)는 本質 磨耗의 實態라고 생각된다. 製品에서는 休止期間의 어떤 斷續磨耗가 되므로 (3)의 크랙은 다음 段階의 磨耗를 促進하는 原因으로서 考慮할 必要가 있다.

2.2 液體 혹은 氣體의 離脫

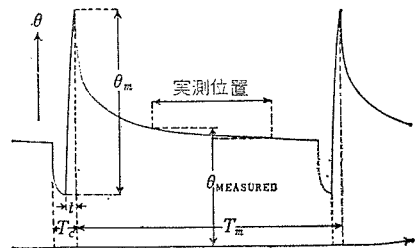
摩擦熱로 因하여 고무가 熱分解되어서 液體로 되어 路面을 汚染하든지 氣化하여 空中으로 飛散하든가 혹은 沸騰點이 낮은 物質이 揮散하는 現象이지만 定量的으로 把握하는 것은 困難하다. 이와 같은 現象은 實際로 일어나는지 어떤지를

摩擦로 因한 磨耗面의 溫度上昇으로 推定하는 것을 생각할 수 있으나 局部的 또한 瞬間的 現象이기 때문에 이것은 實測이 困難하고 여러 가지 假定아래 計算으로 求하는 結果로 判斷할 수 밖에 없다.

實際走行타이어의 트레드表面溫度는 그림 4, 그림 5에 나타난 바와 같이 接地後 瞬間的으로 最高溫度(θ_m)에 達한다고 생각된다²⁴⁾. 이 最高溫度가 어느 程度의 溫度이나에 對하여 Ecker²⁵⁾는 200°C 以上, Amerongen²⁶⁾은 200~300°C, Hegmon²⁷⁾은 常溫+140°C, Kragelskii²⁸⁾는 트레드溫度+100°C, Viehmann²⁹⁾은 400~1,000°C 以上으로 되는 경우도 있다고 推定하고 있다.



[그림 4] 實際走行中の 타이어 트레드의 溫度分布 (模式圖)²⁴⁾



T_m : 1回轉時間, T_c : 接地時間, t : 미끄럼時間

[그림 5] 實際走行中の 타이어 트레드의 表面溫度 (模式圖)²⁴⁾

고무의 熱分解 등에 依한 重量減少는 200°C를 境界로 하여 急激히 增加하기 때문에 上記와 같은 高溫下에서는 氣體로 因한 離脫이 發生하여도 異常할 것은 없다. 表 2에 Viehmann의 走行

條件과 推定溫度의 關係를 揭記하지만, 急激한 加速(條件 3)이나 高速走行時의 急制動(條件 4)의 境遇에는 上記의 溫度域에 들어감을 알 수 있

다. 이 高溫에 놓여지는(最高溫度의 1/10까지의 範圍) 고무 內部에의 深度와 時間은 大體로 10^{-2} cm, 10m sec이다. 한편 Dannis⁵⁾는 前記의 實驗

<表 2>

實際走行타이어의 摩擦溫度²⁹⁾

表面 運轉條件	摩擦溫度 (°C)						昇溫 깊이 (cm)
	理想表面(完全接觸)			架橋接觸			
	아스팔트	콘크리트	鐵	아스팔트	콘크리트	鐵	
正常運轉 100km/h 슬립率 3%	15	10	2	60	40	8	6.5×10^{-3}
曲線路走行 50km/h 슬립率 10%	35	25	3.5	140	100	15	9×10^{-3}
스핀 (10 CPS) 중의타이어 슬립率 50%	240	160	24	(1,000)	(650)	100	7×10^{-3}
急制動(120 km/h) 슬립率 100%	(1,100)	(700)	100				

으므로 走行中 타이어의 背面에서 氣體를 sampling하여 가스크로 分析을 하였으나 고무의 分解 가스는 檢出되지 않았다, 이 結果에 의하면 特殊한 境遇를 除하고는 고무의 氣化가 發生하는 程度의 高溫에는 到達하지 않는다고 보는 것이 妥當할 것이다.

摩擦時의 發熱에 對하여 그 외에도 많은 研究²⁹⁻³¹⁾가 進行되고 있으며 모델實驗과는 같 一致 되고 있다. 實際問題에까지 應用되기에는 아직 어려운 問題가 있다고 생각되지만 今後의 展開에 따라 精密한 推定이 될 수 있을 것으로 期待 된다.

2.3 磨耗表面周圍의 材質變化

지금까지 설명한 것은 2.1 單純破壞, 2.2 單純劣화를 主로 한 重量減少이지만 現實의으로는 兩者가 복합된 境遇가 많다고 생각된다. 즉 磨耗表面周圍의 고무가 劣化되고 그 위에 破壞가 일어나는 境遇이다. 고무와 路面의 磨耗로 因하여 磨耗表面은 局部的으로 反復하여 큰 變形을 받고 있다고 생각된다. 路面의 凹凸에 依한 變形, 凝着에 依한 剪斷應力變形, 또 미끄럼이 생기면 剝離波(wave of detachment)³²⁾란 複雜한 움직임도 나타난다. 反復變形에 依한 機械的인 疲勞와 發熱, 또한 空氣中の 酸素에 依한 老化 등으로 磨耗表面周圍의 고무가 相當한 材質變化를 받는 것

은 쉽게 想像할 수 있다.

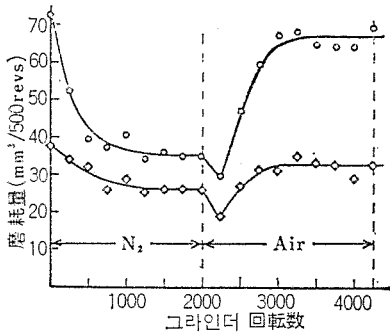
어느 程度의 두께의 層이 어떤 變化를 받느냐에 對해서는 다음과 같은 報告가 있다.

Schallamach³³⁾는 磨耗中の 고무와 路面間의 電氣抵抗의 變化에서 10^{-2} cm 程度 두께의 層이 고무-카아본의 構造破壞에 依한 變質을 받고 있는 것을 指摘하고 있다. Rudakov³⁴⁾는 패던 磨耗의 모델實驗에서 고무片의 離脫에 앞서 고무가 老化하여 軟化層(soft skin)을 形成, 그 두께는 10^{-4} cm 程度라고 한다. 또 Lykin 등³⁵⁾은 磨耗破壞에 依하여 생긴 래디칼은 附加的으로 劣화를 일으킨다고 하는 相互效果를 報告하고 있다.

한편 고무片側에 關한 檢討例도 있다. Semenov 등은³⁶⁻³⁷⁾ 고무片의 網目密度의 解析에서 老化에 依한 主鎖의 切斷과 二次架橋의 生成이 일어나고 있다는 것을, Sakhnovskii 등²²⁾은 콘크리트 路面에서 磨耗한 NR의 고무片의 클로로포름 抽出分은 原來 고무의 10배나 되기 때문에 顯著한 熱酸化劣화를 받고 있음을 報告하고 있다. 또한 그들은 카아본 블랙·스트러처의 破壞나 카아본 블랙~고무間의 構造破壞도 따른다고 말하고 있다. 또 Garten³⁸⁾은 고무片의 酸素含量이 原來 고무보다 크다는 것에서 磨耗에 있어 酸化反應의 發生도 認定하고 있다.

우리들은 이러한 表面變質層의 存在를 더욱 直接的으로 觀測하기 爲하여 磨耗表面에서부터 逐

次的으로 마이크로도로 샘플링하여 카아본블랙의 스트럭처의 分布를 測定³⁹⁾하여, 磨耗面周圍 10⁻²cm 程度까지 카아본블랙의 스트럭처 破斷을 隨伴하는 變質이 일어나고 있음을 確認하였다. 또 이와 같은 材質變化는 平滑面에서의 磨耗에 있어서는 明確하지만, 平滑하지 못한 面에서는 오히려 材質變化를 隨伴하기에 앞서 고무片的 離脫이 일어나는 것 같다. 重要的 것은 變質層의 生成과 고무質의 破壞 중 어느 쪽이 律速段階가 되느냐이다. Rudakov³⁴⁾는 모델試驗에서 荷重의 加減을 交代로 하였고 磨耗速度에 對한 影響을 調査하여 變質層의 生成이 律速段階임을 나타내고 있다. Schallamach⁴⁰⁾는 N₂/air 중의 交代磨耗



NR(O) 老化防止없음, (◇) 2 phr nonox ZA
[그림 6] N₂/air 중의 交代磨耗⁴⁰⁾

(그림 6)로 같은 結果를 얻고 있다. 또한 카아본配合으로 耐磨耗性이 좋아지는 것은 패턴磨耗發生의 必要條件으로서 變質層이 發生되기 때문이라고 解釋하고 있다.¹³⁾

2.4 여러 가지의 離脫—磨耗機構

지금까지 記述한 離脫의 方法을 整理하여 보면 고무와 路面과의 摩擦에 依하여 고무 表面에 局部的으로 큰 入力이 있고, 이것이 어떤 限界值를 넘으면 고무의 破壞가 일어난다. 限界值內에서는 곧바로 破壞되지 않는나 反復變形으로 發熱하고, 熱劣化를 일으켜 附加的으로 고무破壞를 쉽게 하든지, 고무를 軟化하여 패턴磨耗를 쉽게 한다. 또한 極限的인 熱劣化는 고무를 液化 하든지 氣化하는 것도 全려 排除할 수는 없을 것이다. 한편 고무 表面의 反復變形 때문에 機械的 疲勞를 일으켜 疲勞破壞로 인한 離脫도 일어난다.

이러한 各機構는 서로 關聯이 있고, 實際에는 複合하여 일어나지만 機構로서 말할 때는 着眼點에 따라 對照的인 것으로 取하는 例가 많다. 이들의 例는 表3 과 같다. 각각 着眼點이 다르므로 이들 相互關係는 쉽게 풀리지 않고 磨耗機構의 說明도 複雜해진다. 또 같은 말이라도 相當히 다른 뜻으로 使用되는 케이스도 있다. 例컨대 abrasive wear란 말을, Ratner는 sharp ab-

<表 3> 對照的인 磨耗의 例

着 眼 點	對 照 的 인 磨 耗 機 構
溫 度 高 低	Thermal breakdown wear-purely mechanical wear ²²⁾
패턴形成有無	Pattern abrasion-Intrinsic abrasion ¹³⁾
磨耗量大小	Catastrophic wear-Moderate wear ⁴¹⁾
路面粗滑	Abrasion on sharp abrasives-Abrasion on blunt abrasives ⁴²⁾

<表 4> 磨 耗 機 構 的 分 類

大 分 類	細 分 類	呼 稱
破壞로 인한 磨耗 (Abrasion wear)	摩擦方向과 直角의 ridge 形成	{ Pattern abrasion Wear by roll formation
	摩擦方向과 平行한 ridge 形成	{ Scratching abrasion Cutting wear Abrasive wear
	不規則한 破壞로 인한 磨耗	{ Intrinsic abrasion Abrasive wear
材質變化로 인한 磨耗 (Fatigue wear)	疲勞破壞에 依한 것 液體 또는 氣體의 離脫	{ Fatigue wear Wear by thermal breakdown

rasive上的 wear로 定義하고 있지만, Sakhnovskii 등은 scratching wear라고 定義하고 있다. Ratner는 scratching wear에 對한 말로서는 cutting wear를 쓰고 있다. 磨耗機構는 고무片的 離脫方法으로 分類하고 着眼點(入力, 溫度, 路面 등)은 磨耗의 苛酷度로서 取扱하는 것이 좋다고 생각되므로 本稿에서는 磨耗機構를 表 4의 5種으로 分類하고 싶다.

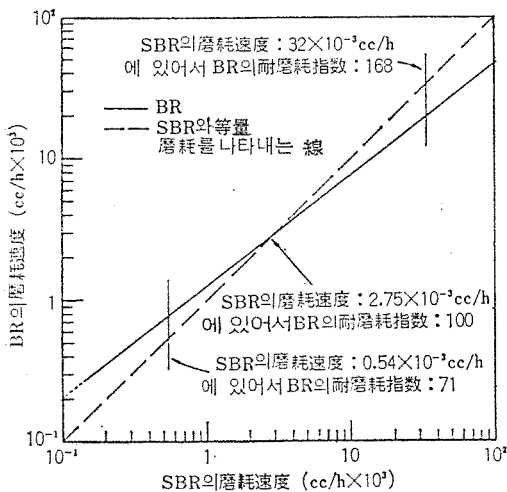
3. 使用條件과 重量減少의 發生과의 關聯性

3.1 苛酷度の 概念

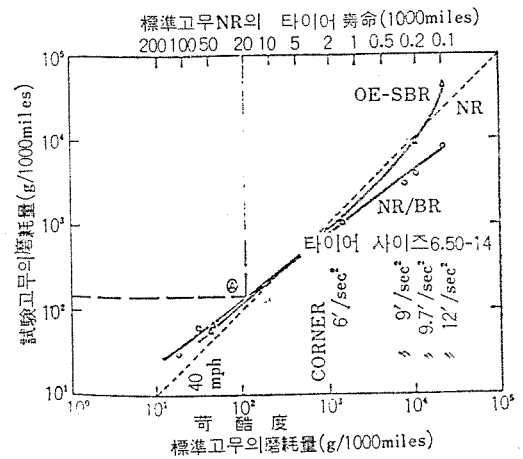
使用條件을 要因別로 分類하면 많은 要因이 있음을 알 수 있다. 例로서 타이어의 境遇는 車의 速度, 부레이크와 加速, 路面의 種類와 狀態, 타이어의 內壓과 荷重, 어라이먼트와 밸런스, 氣溫과 타이어 溫度, 車輪位置, 走行距離, 道路의 曲率 등이고⁴³⁾ 또 콘베어벨트의 境遇에는 運般物의 種類, 形狀, 軋수, 比重, 單位時間當의 運般量, 벨트速度, 사이클, 驅動方式, 傾斜角, 揚程, 機長, 슈트, 스카트의 構造, 溫度,

가 있다. 이것은 Biard 및 Svetlik⁴⁵⁾에 依하여 提案된 苛酷度(severity)의 概念으로 그 後 많은 研究者에 依하여 材料評價에 活用²²⁾,^{46~48)}되어 왔다. 그림 7에 그 一例⁴⁸⁾를 나타내지만 SBR에 比하여 BR은 高苛酷度條件下에서 耐磨耗性이 良好함을 나타내고, 低苛酷度條件下에는 顯著하게 떨어짐을 나타낸다. 이와 같이 苛酷度を 달리 하면 材料의 評價가 달라지는 것이 特히 폴리머 種類의 比較에 있어서 때때로 일어나는 것이다. 例컨대 Biard⁴⁵⁾는 타이어 實際走行 및 GY磨耗試驗機로 NR와 SBR의 耐磨耗性을 比較한 결과 양쪽 모두 苛酷도가 높은 條件일수록 SBR의 耐磨耗性이 좋다는 것이 나타났다. 또 Ginn⁴⁷⁾은 NR, SBR, BR/NR의 3種의 配合에 있어서 타이어 實際走行 테스트(直線路 走行 및 테스트 코오스의 周圍走行)를 하여, 그림 8에 나타내는 바와 같이 그 耐磨耗性은 低苛酷度일 때 NR>SBR>BR/NR 이고, 中苛酷度일 때 BR/NR>SBR>NR 이고, 高苛酷度일 때 BR/NR>NR>SBR가 되는 것을 나타내었다.

苛酷度에서 注意하여야 할 點은 다음 1), 2)와 같다.



[그림 7] 苛酷度(標準材料: SBR)와 BR의 磨耗⁴⁸⁾ 水分이나 油分의 汚染 등이 複雜하게 복합되어 하나의 使用條件을 構成하고 있다. 따라서 모든 要因을 明確하게 하고, 使用條件을 表現하는 것은 거의 不可能하다. 使用條件을 손쉽게 數値化하는 方法으로서 標準고무의 絕對磨耗量을 쓸 때



[그림 8] 苛酷도와 各種고무의 耐磨耗性⁴⁷⁾

- 1) 實際走行에서는 恒常 一定한 苛酷도로 走行하는 것은 아니고 여러 가지 苛酷度の 走行이 加算되어 그 總合된 結果가 磨耗性으로 나타난다.
- 2) 低苛酷도와 高苛酷度에서는 絕對量이 영동하게 크기 때문에 조금 加算된 高苛酷度の 影

響이 耐磨耗性에 크게 미친다.

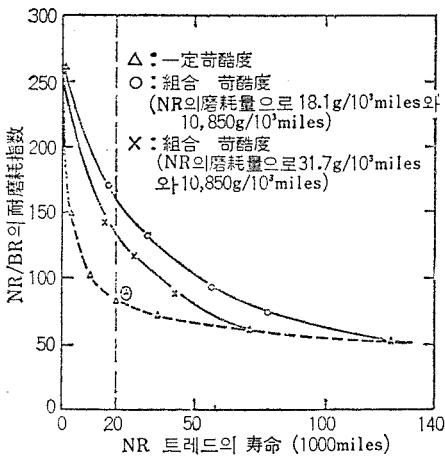
苛酷度の 組合에 對하여 Ginn⁴⁷⁾의 實際走行타이어로 한 모델試驗의 結果를 보면 直線路走行

에 不過 1%의 曲線路走行을 加함으로써 耐磨耗性評價(表 5)는 全혀 달라진다. 그림 9는 두 개의 苛酷度條件을 組合한 結果를 나타낸 것이다.

<表 5>

苛酷度の 組合效果

	NR의 磨耗量(g)	NR/BR의 磨耗量(g)	磨耗指數(損失容積比)
第 1 例			
1,000 miles 走行.....(滑路, 60 mph 等速走行)	60	87	
10 miles 走行.....(曲線路, 橫加速度 10ft/sec ²)	160	57	
合計 1,010 miles 走行.....	220	144	155
第 2 例			
1,000 miles 走行.....(粗路, (60 mph 平均)	170	195	
10 miles 走行.....(曲線路, 橫加速度 8ft/sec ²)	50	25	
合計 1,010 miles 走行.....	220	220	102



Ⓐ : 그림 8의 Ⓐ點, △ : 單一苛酷度
×, ○ : △와의 兩交點의 苛酷度を 組合한 것

[그림 9] 苛酷度の 組合效果⁴⁷⁾

그림의 A點에서 보면 標準의 NR의 life가 같은 20,000 마일(最終적으로 보면 같은 苛酷度)이면서 苛酷度の 組合에 따라 BR의 耐磨耗性은 84~160, life는 16,800~32,000 마일의 폭(幅)으로 나타난다. 즉 實際走行條件을 苛酷도로 나타내더라도 苛酷도와 苛酷度分布의 雙方을 抑制하지 않으면 材料評價를 그러치게 된다.

한편 苛酷度の 差에 따른 耐磨耗性의 差異를 磨耗機構와 結付하여 생각할 때 苛酷度の 內容에 對하여 보다 昭詳히 考察할 必要가 있다. Veith⁴⁸⁾는 實際走行타이어의 苛酷도를 다음 3가지로 크게 分類하고 있다.

1) 入力苛酷度(入力の 크기와 分布)

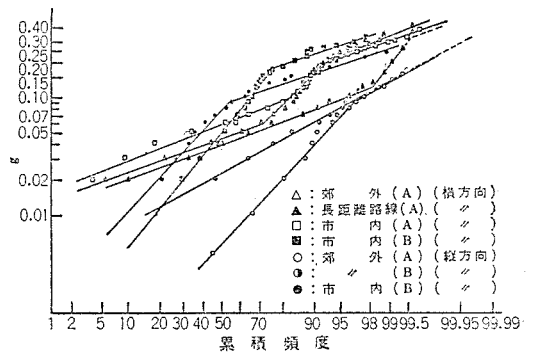
2) 路面苛酷度(路面的 種類와 條件)

3) 氣候·溫度苛酷度(環境溫度)

이 順序에 따라 苛酷度を 보다 細密히 檢討해 보기로 한다.

3.2 入力苛酷도와 磨耗

타이어의 入力에는 驅動力, 制動力, 慣性力, 코오너링 포오스 등이 있으나 어느 것이 磨耗에 寄與하는 것이 될 것인지, 그림 10에 實際走行時의 入力の 크기와 그 分布의 實測例⁴⁹⁾를 나타내었다. 몇 개의 分布가 重疊되어 하나의 走行條件을 決定하고 있지만 高g值側의 分布는 코오스 變更, 方向變更에 依한 것이고, 低g值側의 分布는 코오스 修正에 依한 것으로 생각된다.



縱軸 : 入力の 加速度, 橫軸 : 累積頻度

[그림 10] 實際走行타이어入力の 累積分布⁴⁹⁾

다시금 表 6에 入力分布를 方向別로 한 例를 나타내지만 高g值에서의 頻度는 橫方向(코오너링

〈表 6〉 縱方向 및 橫方向의 入力比較⁴⁰⁾
(數値는 累積頻度)

加速度 水準 (g 值)	橫 方 向				縱方向	
	市内 (A)	市内 (B)	郊外路 (A)	長距離 路線 (A)	市内 (A)	郊外路 (B)
0.02	98	70.0	96	90	81	55
0.04	86	54.0	56	47	70	23
0.08	28	38.0	22	9	47	5
0.16	10	27.0	10	1.2	13	0.6
0.20	7	16.0	7	0.6	3.5	0.2
0.25	2.5	6.0	3.5	0.6	1.2	0.1
0.35	1.0	2.7	1.5	0.5	0.5	0.04

에 依한) 쪽이 縱方向(驅動, 制動에 依한)보다 높다. 더우기 Miller⁵⁰⁾에 依하면 코오너링에 依한 磨耗는 同一入力(g值)이라도 브레이크에 依한 磨耗보다 크므로(表 7) 磨耗의 主된 原因은 코오너링 포오스가 된다. 이것은 苛酷度變更의 手段으로서 슬립角 變更이 가장 많이 採用되어 온 것에서도 首肯된다.

〈表 7〉 入力 레벨과 磨耗의 關係⁵⁰⁾

車操作條件	g 值	相對磨耗速度 (40 mph)
制 動	0.38	150
旋 回	0.38	1,000
加 減 速	0.10	12
40→60 mph		
60→40 mph		

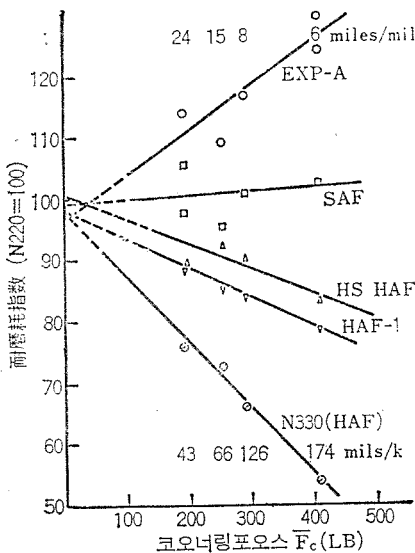
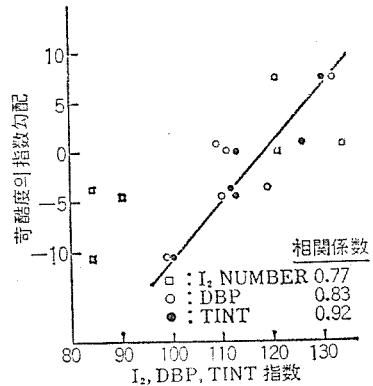


그림 중 數字는 標準材料(N220)의 絕對磨耗量
〔그림 11〕 入力苛酷度와 各種 카이본블랙의 磨耗⁴⁰⁾



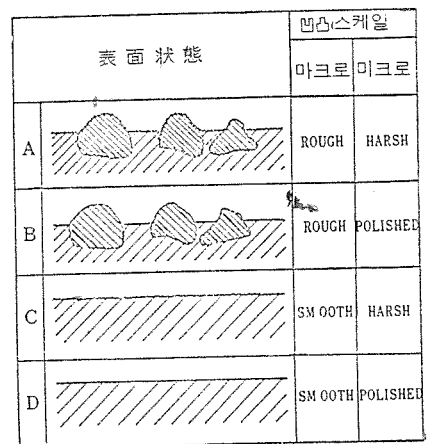
〔그림 12〕 카이본블랙 特性과 苛酷度係數⁴⁰⁾

左右間 入力苛酷度는 材料評價에 어떤 影響을 줄 것인가? 그림 11, 그림 12는 타이어의 入力 苛酷度가 카이본種類間的 評價를 어떻게 바뀌게 하는나를 나타낸 것⁴⁰⁾으로 低苛酷度에서는 種類間的 差가 작지만 高苛酷度에서는 크게 되고 高補強性카이본블랙이 좋은 結果를 나타내고 있다.

타이어의 入力의 苛酷度는 變化幅이 넓기 때문에 그 影響力도 大端히 크다.

3.3 路面苛酷度와 磨耗

路面苛酷度の 磨耗量에 對한 效果가 큰 것은 磨耗機構에서 思考하여 當然하지만, 어떤 거치 큰 路面이 磨耗에 對하여 가장 影響을 끼칠 것인가? Moore⁵¹⁾ 및 Lown⁵²⁾은 두갈래의 路面粗雜을 提案하고 있다. 마크로粗雜(macro texture,



〔그림 13〕 路面粗雜의 模式圖⁵²⁾

roughness)은 주로 路面의 補强材에 依한 mm 오더의 凹凸, 마이크로粗雜(micro texture, harshness)은 補强材의 表面形狀 등의 1~10 μ 오더의 凹凸을 각각 表示한다. 이들 凹凸을 概念的으로 나타

낸 模式圖⁵²⁾(그림 13)를 掲載한다.

이들 凹凸의 磨耗에 對한 效果를 보기 위하여 Lowne이 行한 7 種의 路面에서의 磨耗테스트의 結果를 表 8에 나타낸다.

<表 8> 路面粗雜의 磨耗에 對한 效果⁵²⁾

路面 No.	路 材	마 크 로	미 크 로	Depth* (mm)	Ncot α**	P***	磨耗指數
A	Macadam	Rough	Harsh	1.9	1.0	0.93	100
B	"	"	Partly polished	1.7	0.61	0.51	44
C	"	"	Polished	1.5	0.51	0.36	34
D	Fine cold asphalt	Smooth	Harsh	0.4	0.67	0.85	70
E	Polished concrete	"	Polished	0.005	0.32	0.74	37
F	Mastic asphalt	"	"	0.005	0.28	0.78	37
G	Asphalt with chippings	Rough	Fairly harsh	1.5	0.53	0.84	57

* 마크로 粗雜의 깊이

** α: 마이크로 粗雜에 있어서의 角度, N: 路面 A의 Ncot α 値가 1이 되도록 한 規格化係數

*** Portable skid resistance tester coefficient of wet friction

磨耗에 對해서도 마이크로粗雜의 效果가 크고

$$A = 76 Ncot \alpha + 52 P - 25.7 \quad (3)$$

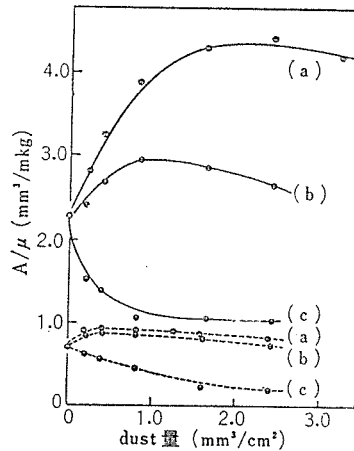
의 重回歸式으로 表示된다고 한다. 이 結果는 Schallamach^{8), 42)}가 路面補强材의 크기보다 形狀이 磨耗의 苛酷度를 決定한다고 하는 것과 對應한다.

路面苛酷도가 材料評價에 미치는 影響의 具體的인 例로서 表 9에 “blunt” (數年使用後의 콘크리트鋪裝路) 및 “harsh” (2~3個月밖에 使用하지 않은 콘크리트鋪裝路)의 路面에서의 磨耗테스트의 結果를 나타낸다⁴⁰⁾. 路面苛酷도에 依해 材料의 評價는 完全히 逆轉하고 있다. 즉, 平滑한 路面에서는 B配合(CI-IIR/SBR)이 A配合(SBR/BR)보다 뛰어나고 粗雜한 路面에서는 A配合이 B配合보다 優秀하다. 더우기 데이터는 나날이 反復되고 있으나 磨耗絕對値는 大幅으로 다른 에도 不拘하고 相對的인 磨耗指數는 再現性이 있다. 이 結果는 路面苛酷도가 낮은 境遇 疲勞磨耗가 支配的이 되고 耐疲勞性·耐熱老化性이 좋은 材料가 成績이 良好함을 나타내고 있다고 생각된다.

一般的인 路面에서는 그 위에 土砂 등의 dust가 接觸面에 介在하게 되는데 그 效果는 어떨지, Groth⁷⁾의 data는 그림 14와 같다. dust는 고무의 表面層에 쌓여 들어가 磨耗를 促進하지만 지나치게 많으면 界面에 介在한 摩擦을 減少시켜 이

<表 9> 路面苛酷도와 磨耗⁴⁰⁾

試驗日	트레드 고무	路面粗雜	耐 磨 耗 指數	A 고무의 絶對磨耗速度
9-10	A	Blunt	100	35
	B		126	
10-3	A	Harsh	100	250
	B		73	
10-6	A	Harsh	100	60
	B		78	
10-8	A	Blunt	110	55
	B		114	
10-13	A	Blunt	100	190
	B		130	



a) 酸化마그네슘, b) Fuller's, earth
c) French chalk, 點線: 摩擦係數
[그림 14] dust의 種類·量과 磨耗⁷⁾

로 인하여 磨耗量은 減少한다. 固體潤滑作用을 갖는 平板狀의 微粉末은 摩擦을 減少시켜 磨耗를 작게 한다.

3.4 氣候·溫度苛酷度와 磨耗

氣候의 苛酷度의 作用은 溫度, 비(雨), 紫外線, 오존 등 많은 要因이 있고 그들이 相互關聯하면서 復雜하게 作用한다.

첫째로 溫度의 效果를 擧論하고자 한다. 溫度가 上昇하면 磨耗는 直線의 으로 增加(그림 15)⁴⁹⁾ 하고, Schallamach⁴²⁾에 依하면 타이어의 磨耗는 다음 式으로 表示된다.

$$A = \rho f \theta^2 \gamma_0 [1 + \alpha t (t_s - t_0) + CS] \quad (4)$$

단, ρ : 車輛全體의 레지티언스

f : 車輛全體의 剛性

θ : 슬립角

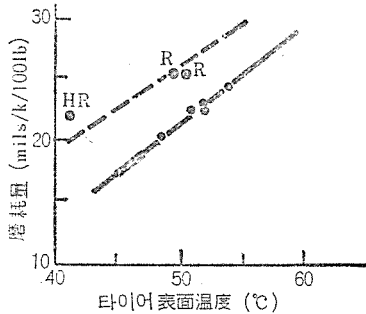
γ_0 : t_0 에 있어서 에너지當 磨耗量

α : 溫度係數

t_s : 타이어 表面溫度

t_0 : 標準溫度

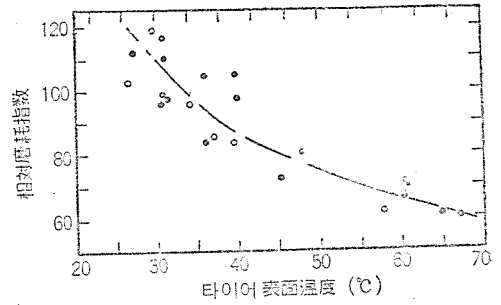
C : 常溫



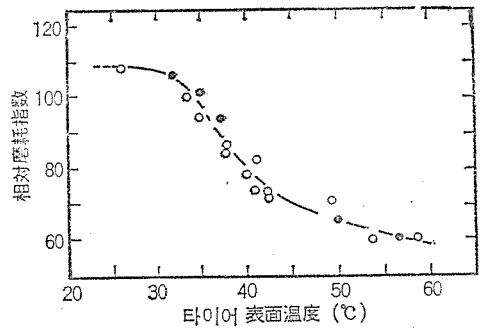
[그림 15] 타이어 表面溫度와 磨耗 및 降雨의 影響⁴⁹⁾

그런데, 溫度苛酷度는 材料評價에 어떤 影響을 미칠 것인가, Decker 등⁵³⁾ 및 Stiehler 등⁵⁴⁾에 依하면 NR와 SBR의 磨耗가 氣溫 13°C에서 逆轉하고, 高溫側에서는 SBR 쪽이 良好하다고 하고, Amerongen²⁹⁾은 이것을 化學的인 作用에 對한 低抗性的의 差로 說明하고 있다. Grosh⁵⁵⁾는 N, R, SBR, BR 등의 폴리머의 耐磨耗性이 溫度苛酷度에 依하여 커다란 影響을 받고, 溫度에 따라 評價가 逆轉하는 것을 나타내고 있다(그림 16~18). Geesink⁴⁶⁾는 NR 配合의 HAF와 ISAF 카아본의 評價가 氣溫 10°C를 境界로 하여 低溫側에서는 HAF가, 高溫側에서는 ISAF가 좋아진다고 한다.

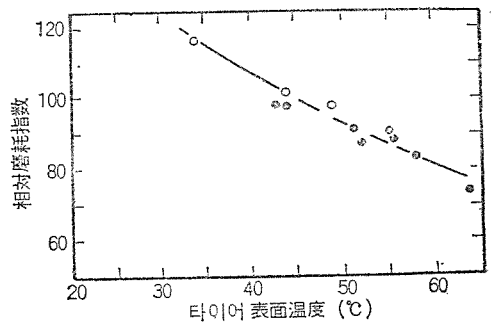
고 한다.



[그림 16] 相對磨耗指數(NR vs SBR)⁵⁶⁾



[그림 17] 相對磨耗指數(油展NR vs 油展SBR)⁵⁶⁾



[그림 18] 相對磨耗指數(油展NR/BR blend vs 油展 SBR/BR blend)⁵⁶⁾

降雨는 다음과 같은 效果가 있다.

- 1) 路面을 적시고, 摩擦을 低下시킨다.
- 2) 溫度를 낮춘다.
- 3) 路面의 미크르粗雜을 바꾸는 化學作用이 있다.

Geesink⁴⁶⁾에 依하면 비는 磨耗를 작게 하며, 連續的인 降雨는 快晴時의 1/10의 磨耗가 된다(表 10). Lowne⁵²⁾은 乾燥된 路面에서의 磨耗는 乾燥된 路面의 1/2~1/5 밖에 되지 않는다고 하였다.

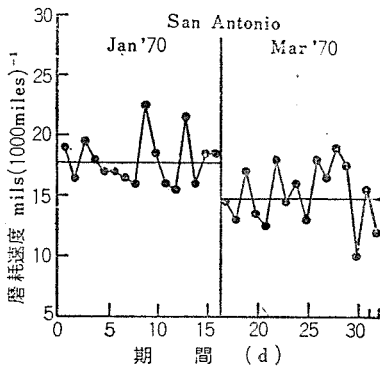
〈表 10〉

磨耗에 對한 비의 影響⁶⁰⁾

乾期の 平均磨耗 (cc/1,000km) (1)	雨期の 平均磨耗 (cc/100km) (2)	乾/雨期比 Col (1) Col (2)	備 考
209	196	1.07	소나기, 路面은 곧 건조되다.
732	627	1.18	몇 번의 소나기, 路面은 곧 乾燥되였으나 約10~15%는 濕路走行
730	308	2.37	完全히 乾燥되기 어려운 진흙탕이 섞인 길, 35~50%는 濕路走行
841	196	4.30	走行距離의 약 50%는 비, 試驗期間의 70~75%는 濕路
138	14	9.80	全試驗期間 實質的으로는 完全히 비

反對로 비가 磨耗를 크게 하는 例로서 Veith의 data를 살펴보자, 그림 15 중의 R은 測定前 24時 間內에는 0.2 in 程度의 降雨가 있었고, HR은 1.0

in 程度의 降雨後 3日째의 data로 어느 것이나 路面은 이미 乾燥된 狀態이지만, 3)의 效果로 路面粗雜은 變化를 일으킨 것으로 생각된다. 또 다른 하나의 비와 關係된 data를 보기로 한다. 그림 19는 磨耗의 季節變動이지만 氣溫이 낮은 1月의 磨耗量이 많은 것은 降雨가 없었기 때문 이라고 생각된다⁵⁹⁾.



〔그림 19〕 磨耗의 季節變動⁵⁹⁾

以上 記述한 바에 따라 類推할 수 있는 바와 같이 氣候, 溫度의 苛酷度가 材料評價에 미치는 影響은 大端히 複雜하다. 例컨대 溫度는 材料의 破壞強度, 摩擦에 影響을 주고, 酸化劣化를 促進함으로써 磨耗를 支配하게 된다. 오존은 abrasion crack^{20~21)}을 일으켜, 磨耗의 契機를 줄 것이고, 日照는 路面溫度를 上昇시키므로 間接的으로 關與하는 것이 된다. 《6月號에 계속》

(1977. 4. 日本 고무協會誌)

◎ 會誌活用 案内

會員社에서는 今月號 本誌中 下記事項에 變動部分이 있을 때에는 6月 10日限 알려주시고 其他 PR 事項이나 새消息이 있을 때에는 함께 자료를 보내주시면 掲載해 드리겠습니다. 期限까지 回報가 없을 때에는 該當事項이 없는 것으로 看做 處理하겠습니다.

- ① 會員社의 營業所 및 代理店一覽表
- ② 廣告
- ③ 表紙 4面 記載事項

◎ 廣告를 掲載해 드립니다

本誌는 國內唯一의 타이어 專門誌로서 各界各層에 讀者를 確保하고 있습니다.

더우기 요즘 타이어에 對한 認識度가 점점 높아짐에 따라 本誌를 읽고자하는 希望者數 또한 漸增趨勢에 있어 그 普及網이 더욱 擴張되었습니다.

그리하여 本誌는 企業發展과 製品宣傳에 寄與할 수 있는 各種有料廣告를 실어 드리고자 하니 많은 利用있으시기를 바랍니다.