

타 이 어 의 耐 久 性

協 會 李 源 善

1. 타이어의 壽命

『이 타이어는 얼마나 쓸 수 있을까?』하는 말은 顧客들로부터 많이 듣는 質問이다. 어떠한 製品이든지 壽命에 관한 問題라면 正確하고 完全한 解答을 구할 수 없는 일이며 특히 타이어의 경우에는 어려운 것 같다.

타이어가 使用되는 條件은 千差萬別로서, 일반적으로 모든 타이어는 走行할 때마다 새로운 經驗을 하게 되는데, 그 중 大部分이 타이어와는 관계없는 것이라고 한다. 타이어가 1 回轉할 때마다 타이어 円周上의 모든 部分은 接地面을 통과한다. 그때마다 트레드 各部는 接地面内에서 多樣하게 움직이게 되며 그로 인한 摩擦로써 타이어는 조금씩 磨耗되어간다. 카카스는 屈曲變動을 일으켜서 카카스를 構成하는 코드의 張力이 變化되고 플라이 間의 고무層에는 剪斷變形이 반복적으로 일어나게 된다.

Hysteresis loss로 인한 變形이 반복되는 타이어의 各部分에는 熱이 發生하여 점차로 쌓이게 되며, 따라서 타이어 各部는 溫度가 上昇된다. 이와같은 溫度上昇은 타이어의 壽命이 짧아지는 要因이 되고 있다. 첫째로는 溫度가 上昇됨에 따라 타이어를 形成하고 있는 材料(주로 高分子物質)의 固有한 強度가 低下되는 現象이고 또 하나는 持續되는 高溫度下에서 타이어의 材料가 점차 劣化되어 가는 것이다.

이렇게 하여 타이어는 트레드고무가 점점 磨耗되고 또 한편으로는 高溫과 疲勞로 各構成部

分の 強度가 低下되고 있다. 때로는 타이어 트레드가 磨滅되어 安全走行을 할 수 없는 타이어가 있는가 하면, 各部의 強度가 低下되어 使用中에 熱的·機械的 條件에 견뎌내지 못하고 카카스코드가 破裂되든지(case break-up), 트레드와 카카스가 分離되든지 또는 카카스의 플라이(布層)間에 剝離現象 등이 나타나 使用할 수 없는 타이어도 있다(Separation 現象).

더욱 심한 경우는 강한 衝擊이나 예민한 異物質에 의해 破裂되든지, 또는 貫通傷 등을 입어서 破壞되는 수가 있다(Burst 現象). 또 使用不注意로 타이어의 內壓이 不充分하든가 또는 平크난 상태로 그대로 走行하게 되면 타이어는 곧 카카스가 破壞되고 만다(無理한 使用으로 破壞). 이를테면 完全 磨耗를 타이어로서는 거의 天壽를 누리진 것이라고 한다면, Separation 등은 癌이나 其他의 病死이고, 異物로 인한 損傷 등은 事故死라고 할 수 있을 것이다.

타이어의 壽命은 무엇보다도 먼저 車輛이나 航空機의 安全走行에 있는 것이므로 타이어의 終末이란 카카스는 아직 健在하나 트레드가 完全히 磨耗되어버린 상태를 뜻하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 앞에서 說明한 바와 같이 타이어 各部의 疲勞, 劣化에 의한 壽命과 트레드 壽命의 均衡은, 일반적으로는 平均的으로 正常的인 使用方法을 前提로 한다면 카카스에 어떠한 破壞가 일어나기 전에 트레드의 壽命이 다해지도록 設計되어 있다.

그러므로 乘用車用 타이어나 トラック용 타이어는

지나친 外傷을 입는다든가 低內壓으로 走行을 계속하든가 하여 카카스를 傷하게 하지 않는 限, 再生타이어를 만들게 되면 다시 상당 기간 동안 使用할 수 있게 된다. 특히 旅客機用 타이어 등에서는 機體의 安全上 카카스의 強度는 充分히 높게 設計되어 있는 한편, 離着陸에 따른 トレ드 磨耗가 극히 甚하므로 보통 使用狀態로서는 數回정도 再生할 수 있도록 되어 있으며, 실제로도 이와 같이 하여 반복 再生하여 使用하고 있다.

타이어의 壽命에 대해서는 앞에서 말한 바와 같이 타이어의 使用方法에 따라 크게 좌우되므로 다음에 『타이어의 使用方法』에서 說明을 하기로 하고, 여기서는 타이어의 耐久性에 관한 二大要素인 “타이어의 磨耗”와 “타이어의 疲勞·破壞”의 두 現象에 대해서 說明하기로 한다.

2. 타이어의 磨耗

먼저, 예로서 鉛筆로 쓴 글자를 지울 때 고무 지우개를 사용하는 경우를 생각해 본다. 고무 지우개로 글자를 지우는 動作에는 지우개로 사용하는 고무덩어리를 紙面에 대고 누르는(面에 垂直한 壓力을 준다) 동시에, 紙面을 따라 문지르는(面을 따라 힘을 주면서 紙面에 대해서 相對移動을 시킨다) 두 가지 要素가 包含되어 있다. 다시 말하면 이 動作은 垂直壓力과 接線力을 동시에 주는 것과 그에 따른 相對移動으로써 이루어지고 있으며, 그 결과 兩者가 다같이 磨耗되어 가는 現象이라고 볼 수 있다.

다음에는, 路面上을 굴러가고 있는 타이어의 경우를 생각해 본다. 타이어의 トレ드面은 계속

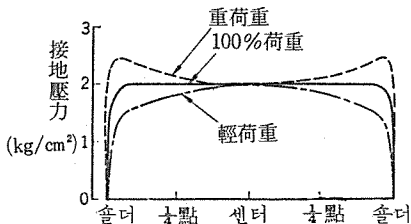
回轉하면서 接地되었다가 떨어지고 하는 고무 블록의 集合體이고, 接地面内에서는 각 블록은 타이어의 垂直荷重을 받으면서 타이어 전체의 혹은 局部的인 움직임에 의해 接地面内에서 움직이게 되며 따라서 地面에 대해서 문질리게(rub) 된다. 이것은 마치 고무지우개로 글자를 지울 때와 같은 條件으로 되어 있으며, 고무지우개나 종이와 같이 타이어의 トレ드面과 路面도 다 같이 磨耗되어 가는 것이다.

常識의으로도 생각할 수 있지만, 그 磨耗量은 垂直壓力이나, トレ드部가 相對적으로 미끄러지는 量 등에 關係된다. 그러므로 다음에는 接地面内의 トレ드部分에 걸리는 垂直壓力이나, 미끄러지는 原因 및 크기 등에 대해서 살펴보기로 한다.

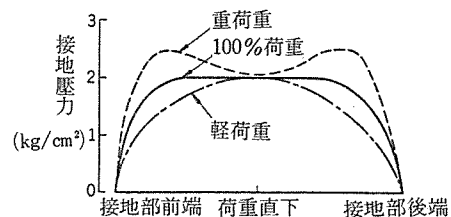
(1) 타이어의 接地壓分布

接地壓이란 타이어와 路面 사이의 接觸面에 作用하는 垂直壓力을 말한다. 타이어의 荷重負擔에서 說明한 바와 같이, 타이어를 薄膜으로 된 도우넛 形의 空氣入 容器로 생각한다면 接地壓은 어느 部分에서나 均一하고, 또 타이어의 內壓과 같게 되나, 실제의 타이어에서는 카카스의 剛性, トレ드의 幅이나 曲率半徑, 또는 패턴 등의 存在로 接地壓은 接地面全體에 걸쳐 均一하지 않고, 最高値는 內壓보다도 약간 높은 것으로 알고 있다.

그림 1~2는 타이어의 周方向과 斷面方向에 따른 接地壓의 分布狀態를 說明한 것이다. 接地壓分布는 垂直荷重이 增減됨에 따라 變化된다. 그림에서는 타이어에 規定된 荷重을 100%로 하고 그보다 荷重이 무거운 경우를 重荷重, 가벼



〔그림 1〕 乘用車用 타이어의 接地壓特性(橫方向)의 概略圖(Shoulder 部에서는 輕荷重에서 낮고, 重荷重에서 높다)



〔그림 2〕 乘用車用 타이어의 接地壓特性(縱方向)의 概略圖(路面에 닿은 直後와 路面에서 떨어지기 直前에는 低荷重에서 낮고, 重荷重에서 높다)

은 경우를 輕荷重이라 하였다.

荷重이 무거워지면 周方向과 斷面方向의 最大接地壓이 높아지고, 또 接地面의 끝部分쪽으로 피크가 나타나는 것이 特徵이다.

(2) 타이어에 作用하는 橫力·縱力과 타이어의 슬립

타이어가 單純히 直進하고 있을 때에는 接地面內에서의 트레드의 슬립은 별로 크지 않고, 다만 路面에 닿을 때와 路面에서 떨어질 때에, 垂直荷重의 變化에 따라 약간 미끄러지는 정도이나, 自動車가 커브를 돌 때나 制動·驅動時에는 타이어에 큰 橫力 및 縱力이 걸리게 되며 그로 인하여 트레드의 슬립도 커지게 되므로 고무지우개와 같은 作用이 매우 커지게 된다. 좀더 자세히 說明하면 다음과 같다.

① Cornering 에 의해 橫力을 받을 경우

自動車가 커브길을 돌 때에는 타이어는 橫슬립으로 遠心力에 對抗하는 橫力을 發生한다. 이 現象에 대해서는 이미 앞서서도(本誌 '83年 7~8月號) Fiala 氏의 자세한 說明이 있었으나, 핸들을 돌려서 슬립角이 주어진 타이어에 있어서 타이어의 카카스 中心線과 트레드의 中心線의 位置가 接地面內에서 어떻게 變化되고 있는가를 다시 한번 그림 3에 表示하였다.

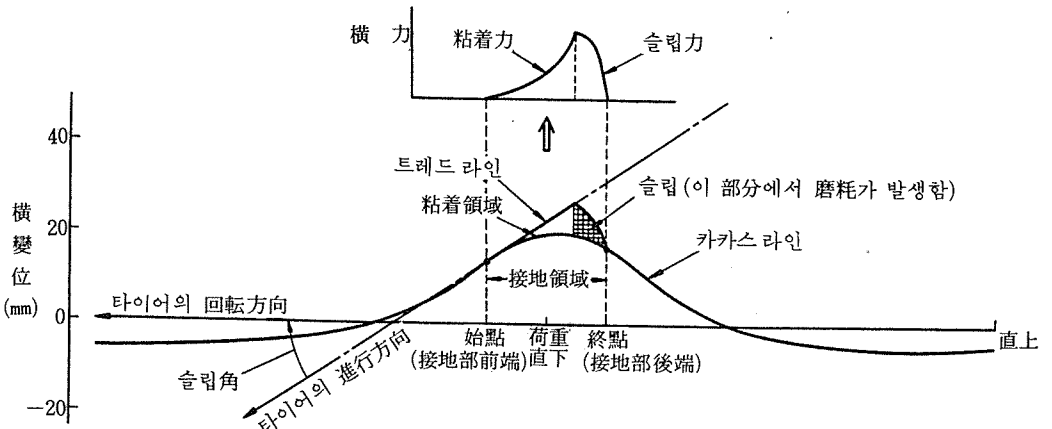
接地面 바깥에서는 당연히 橫力은 0 으로, 카카스와 트레드의 中心線은 一致하고 있으나,

接地面內에서는 슬립角에 의해서 自動車(타이어)의 進行方向과 回轉面이 一致하지 않으므로 이 두 中心線은 따로 떨어져, 처음에는 트레드가 路面에 粘着되어 路面과의 相對移動이 일어나지 않으나, 타이어의 變形이 커지고 復元力이 增加되어 트레드와 路面間의 粘着力(靜止摩擦)으로는 더 이상 버틸수가 없게 되면 드디어 트레드는 미끄러지기 시작하여 接地面後端에서는 재차 카카스 中心線과 트레드 中心線은 일치하게 된다. 즉, 이와같은 움직임은 타이어 周上의 各點이 계속 차레로 反復하게 된다(그림 3).

橫力은 트레드의 相對移動이 없는 接着域에서도 發生하게 되나, 타이어의 磨耗는 슬립領域에서만 發生한다. 핸들의 角度가 작아서 橫力이 작으면 接着域이 길고 슬립域이 짧으나, 슬립角이 커짐에 따라 滑脫域이 길어진다. 대체적으로 핸들을 크게 사용하면 滑脫角이 커지고 橫力이 增加되어 타이어의 磨耗도 增加된다고 볼 수 있다.

② 驅動, 制動力으로 縱力을 받을 경우

타이어에 驅動 또는 制動力이 걸리면 앞서서도 說明한 바와 같이 타이어 全體로서 볼 때에는 滑脫이 일어나고 있는 것이다. 따라서 타이어는 縱方向으로 變形되며 그 反力으로 縱力이 發生하여 自動車에 驅動 또는 制動力으로 作用하게 된다. 接地面의 終點쪽에는 이 變形이 復



(그림 3) 코너링時에 일어나는 타이어의 橫變形과 橫力分布의 概略圖

元될 때의 슬립域이 나타나게 된다(그림 4).

힘이 작을 경우에는 粘着域이 길고 슬립 開始點은 接地面後端에 가깝고, 縱力의 主體는 粘着力에서 發生하고 있다. 그러나 縱力이 커짐에 따라 슬립 開始點은 接地部前端쪽으로 가까워지며 힘의 主體도 슬립을 동반하는 縱力에 있다고 볼 수 있다. 極限의인 경우로서 타이어가 完全停止(lock)되어 끌리게 되는 경우나, 自動車가 停止된채로 타이어가 回轉(spin)될 때에는 接着域이 存在하지 않는다. 타이어의 磨耗는 역시 슬립域에서 發生하므로 슬립域이 넓어지는 條件, 즉 急加速, 急停車 등은 타이어 磨耗를 增加시키게 된다.

(3) 타이어에 作用하는 其他의 힘

自動車의 運轉에서 타이어를 磨耗시키는 主要原因으로 타이어에 作用하는 外力은 위에서 說明한 바와 같다. 그러나 이 외에도 自動車의 設計 및 構造上으로 보아 타이어에 作用하는 外力으로는 다음과 같은 것이 있다.

그 중 하나는 車輪의 Alignment에 의한 橫力이다. 이것은 Cornering에서 說明한 바와 같이 自動車의 直進性을 좋게 하기 위한 Toe-in, Camber 등에 의한 것으로, 固定的인 슬립角을 주는 것과 같으므로 橫力이 發生하여 그것이 磨耗를 일으키게 된다.

두번째로는, 트럭·버스 등에서 잘 볼 수 있는, 타이어의 複輪裝着에 의한 것을 들 수 있다. 즉, 複輪을 구성하는 두 타이어의 回轉半徑이 다르거나, 路面의 高低로 内外輪에 걸리

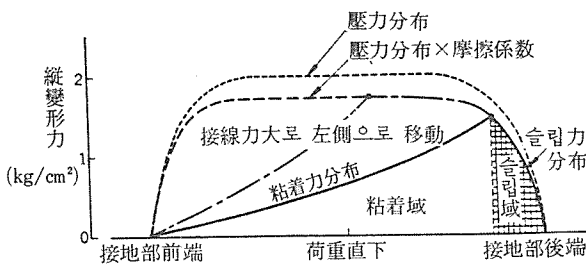
는 荷重이 다를 때에는 内外의 두 타이어는 각각 자신의 回轉半徑에 따른 回轉數로 回轉하려하므로 兩輪 사이에는 干涉이 일어나, 兩輪은 각각 反對方向으로 비틀어져 결국은 回轉둘레의 差 만큼 슬립되고 있는 상태에서 均衡을 유지하면서 走行을 계속하게 된다. 이것이 磨耗를 일으키는 縱力으로 作用하는 것이다. 다른 驅動力, 制動力이 다시 加해졌을 때에도 이 關係에는 變化가 없으며, 다만 兩輪間의 差를 그대로 유지하면서 슬립量만 變化될 뿐이다.

(4) 타이어 固有의 內力

타이어는 外力에 의해서만 磨耗될 뿐 아니라, 타이어의 構造, 設計 및 荷重이 걸렸을 때의 움직임 등, 말하자면 先天的으로 타이어에 內在되어 있는 原因에 의해서도 接地面內에서 摩擦運動이 일어나 磨耗의 原因이 되고 있다.

무엇보다도 타이어의 トレ드面의 形狀을 보거나, 斷面圖를 보면 알 수 있는 바와 같이, 크라운센터부와 edge部에서는 둘레길이에 差가 있기 때문에 接地壓分布와 關聯되어 마치 外径差가 있는 複輪 타이어와 같이 한쪽이 다른 쪽으로 끌리는 現象이 일어난다. 또 トレ드에는 패턴이 있으므로 패턴의 블록 相互間에도 部分的으로 끌리는 現象이 發生한다. 즉, 끌리는 곳에서는 磨耗되기 마련이므로 이와같이 여러 部分에서 トレ드는 점차 磨耗되어 가는 것이다. 內力이라고 表現하는 것이 조금 이상할지는 모르나, トレ드 各部에 內在하는 磨耗에 關係되는 힘이라는 뜻으로 보면 된다.

最近에는 道路整備가 잘 되고 高速道路 등이 늘어남에 따라 急커브나 信號 등이 적어지고 타이어에 作用하는 縱·橫力까지도 相對的으로 작아지고 있으나 反面에 타이어에 內在되어 있는 要因의 영향이 많이 나타나고 있다. 이런 경우의 磨耗는 앞에서 說明한 바와같이 타이어 全面에 均等하게 나타나지는 않고 극히 局部的으로 일어나게 되므로 外見上으로 타이어가 部分的으로 磨耗된 것 같이 된다. 즉, 이와같은 磨耗를 一括하여 偏磨耗라고 한다. 이 偏磨耗現象은 外見上으로 좋지 않을 뿐 아니라, 타이어



[그림 4] 制動·驅動時 타이어의 縱力分布 概略圖 (코너링時에 카카스가 橫變形하는 것과 마찬가지로 制動·驅動時에는 카카스가 縱方向으로 變形된다)

의 壽命에도 많은 영향을 미치게 되는 것이다.

(5) 偏磨耗의 例

다음에는 흔히 볼 수 있는 偏磨耗의 例를 들어본다.

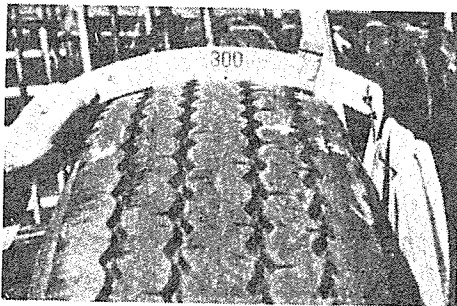
① 리브型 타이어의 심한 磨耗

리브型 트럭 타이어 등에서는 中央部의 리브와 트레드 端部의 리브에서는 지름에 差가 있으므로 中央部는 슬립이 적어나, 端部에서 슬립이 크게 일어나므로 兩側의 리브만이 빨리 磨耗되는 경우가 있다. 특히 制動力이 걸리는 경우에 심하다(그림 5).

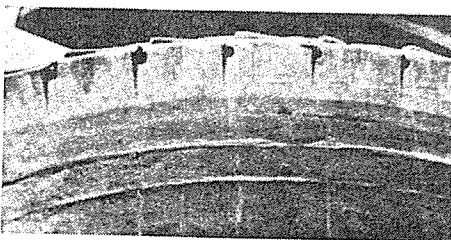
② Toe and Heel 磨耗

러그型 패턴에서는 制動力과 같은 縱力이 걸렸을 때의 接地部前端과 後端의 러그(lug)의 슬립差로 Toe and Heel 磨耗가 생기는 수가 있다(그림 6).

이러한 偏磨耗는 타이어에 作用하는 外力에 따라서 심한 경우가 있으며, 또 alignment 가 제대로 맞지 않든가, 한 方向으로만 커브길이 계속되든가, 또는 路面과 車臺와의 複雜한 干涉 등 여러가지 條件이 原因이 되고 있다. 制動力에 의한 심한 磨耗나 toe and heel 磨耗 등은



[그림 5] 制動力에 의한 심한 磨耗



[그림 6] Toe·Heel 磨耗

比較的 잘 일어나는 現象이나, 여러가지의 條件이나 干涉 등으로 타이어가 多角形으로 되든가 또는 트레드面上에 이상한 모양이 나타나는 등 여러가지 現象이 일어나게 된다. 어떤 部分이 다른 部分보다도 더 많이 滑되어 磨耗가 많이 되었다고 하는 것을 技術的으로 解釋한다는 것은 매우 어려운 일이다.

偏磨耗의 現象은 Radial 타이어와 같이 接地面內에서 固有한 相對的인 滑이 적은, 즉 耐磨耗性이 좋은 것에서는 한층더 눈에 띄기 쉽고, 技術的의 對策을 세운다는 것은 매우 어려운 문제이다.

(6) 타이어 磨耗에 關聯되는 諸特性

타이어의 磨耗量을 數式的으로 나타내기 위하여 여러가지로 試圖되고 있으나, 여기서는 타이어의 磨耗에 關係되는 여러가지 因子의 영향을 理解하기 위하여 定性的 關係를 나타내는 實驗式을 살펴보기로 한다.

즉, A 를 磨耗量, F 를 橫力, 縱力 등의 外力(단, 滑率 數% 以內의, 극히 일반적인 使用範圍에서 回轉抵抗은 不包含)이라 할 때 A 는 大略 다음과 같이 表示된다.

$$A = ae^{bf} \dots\dots\dots (1)$$

여기서 a , b 는 外力 이외의 要因이나, 材料物性 등이 包含된 定數이고, e 는 自然對數의 밑(底)이다. 즉, 여기서 알 수 있는 것은, 磨耗量은 外力의 指數函數로서, 外力이 커짐에 따라 急激히 증가된다는 것을 나타내고 있는 것이다.

실제의 타이어 使用條件과 磨耗壽命과의 關係를 實驗的으로 求한 것을 보면 다음과 같다.

① 空氣壓과 타이어의 磨耗(그림 7)

타이어 內壓이 標準値보다 낮으면, 트레드 블록의 움직임이 커지므로 磨耗量도 增加된다. 그림에서는 磨耗壽命의 減少로 表示되어 있다(이하 同).

② 荷重과 磨耗(그림 8)

荷重이 커지면 타이어의 屈曲이 증가되고, 接地面積도 늘어나서 트레드 블록에 作用하는 接線力이나, 블록의 움직임이 커진다. 結果的으로 磨耗量이 增加되는 것이다.

③ 速度와 磨耗(그림 9)

速度와 磨耗의 關係를 그림 9에 표시 하였다. 走行中에 타이어에 作用하는 橫力이나 制動力은 대체적으로 速度의 제곱에 比例하므로 磨耗을 증가시킨다. 또 速度가 증가되면 타이어의 溫度가 上昇되고 트레드고무의 耐磨耗性도 低하된다.

④ 커브와 磨耗(그림 10)

自動車가 커브를 돌 때에의 遠心力의 크기는 車重 및 車速의 제곱에 比例하고 커브의 半徑에 反比例한다. 그러므로 어떤 速度로 어떤 半徑의 커브를 돌자면 핸들 操作으로 타이어에 슬립角을 주어 그 遠心力에 對抗하는 橫力을 發生시키지 않으면 안된다. 磨耗은 타이어의 슬립角에 의해 많은 影響을 받게 되는데, 圖示된 바와 같이 대략 슬립角의 제곱에 比例하여 磨耗量이

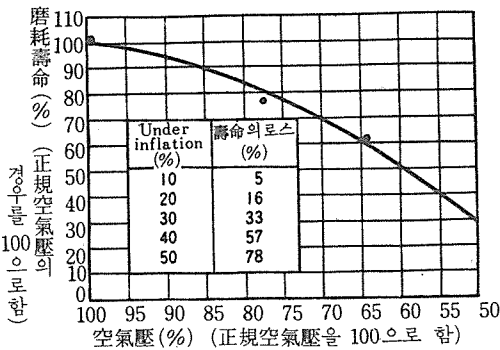
커지고 있다.

⑤ 制動과 磨耗(그림 11)

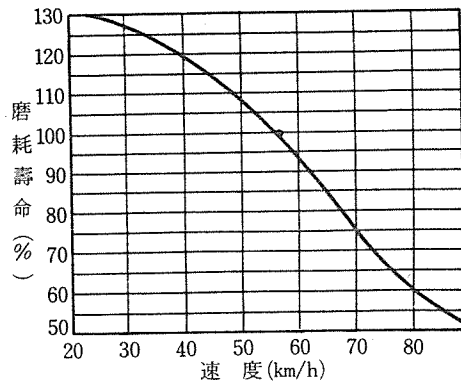
브레이크를 걸면 縱力이 發生하는 동시에 그만큼 타이어가 磨耗된다. 브레이크를 걸 때의 速度가 크면, 自動車의 運動 에너지가 速度의 제곱에 比例하므로 自動車를 止트룰 하기 위한 制動力도 크지 않으면 안된다.

⑥ 路面과 磨耗(그림 12)

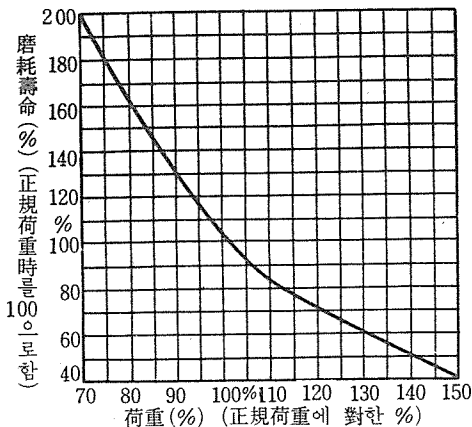
그림에는 各種路面의 質과 타이어의 磨耗 壽命의 關係를 表示하였다. 자갈길인 경우는 일반적으로 타이어의 磨耗가 증가된다. 블록의 不足 등으로 트레드가 많이 弱해지기 때문인 것으로 볼 수 있다.



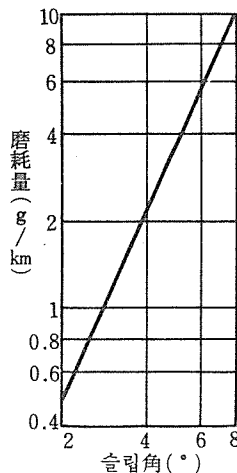
[그림 7] 空氣壓과 磨耗壽命



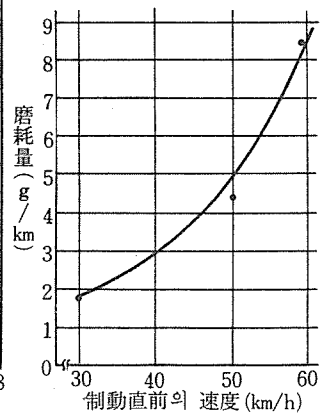
[그림 9] 速度와 磨耗壽命



[그림 8] 荷重과 磨耗壽命



[그림 10] 슬립角과 磨耗量



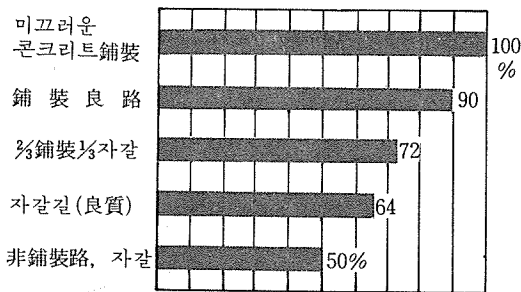
[그림 11] 制動時의 速度와 磨耗

⑦ 氣溫과 磨耗(그림 13)

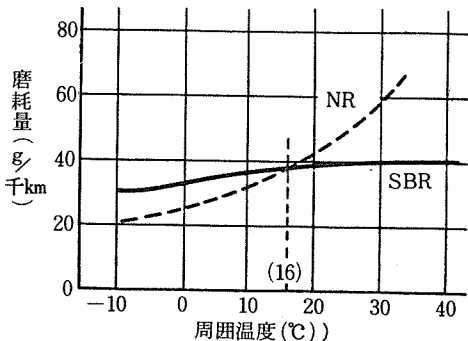
고무의 物性으로서, 일반적으로 氣溫이 올라가면 磨耗量이 增加되나, 氣溫의 影響은 고무質에 따라 다르다. 그림에는 天然고무(NR)系와 合成고무(SBR)系의 トレ드고무의 차이를 나타내고 있다. 氣溫이 낮을 때에는 NR系가 優位이나, 夏期의 溫度에서는 SBR 쪽이 훨씬 우수하다.

3. 타이어의 疲勞, 破壞

突發적으로 갑자기 일어나는 타이어의 破壞는 타이어에 瞬間적으로 加해지는 에너지와 그 때에 타이어에 殘存되어 있는 強度와의 相對關係의 產物이므로 극단적인 경우에는 新製 타이어의 경우에도 衝擊破裂이 발생하여 完全磨耗가 되기 전에도 一生을 마치는 타이어도 있다. 現實적으로는 衝擊破裂로 分類되는 破壞에도 타이어 各部의 疲勞, 劣化가 물려 숨어 있는 경우가 많으므로, 여기서는 타이어의 疲勞와 破壞에 관련된 사항을 살펴보기로 한다. 그리고



[그림 12] 路面과 磨耗



[그림 13] 氣溫·고무質과 磨耗

타이어의 衝擊的인 破壞狀況에 대해서는 다음章(타이어의 使用方法)에서 다시 言及하기로 한다.

타이어는 하나의 高分子材料로 된 構造物이므로, 理論적으로는 타이어 各部의 코드, 고무 및 그들 相互間에 作用하는 應力을 알 수 있고, 또 그들의 許容限界를 알 수 있다면 어떠한 破壞現象이 일어나는가를 豫知할 수 있다는 것이다. 그러나 유감스럽게도 타이어의 경우에는 앞에서 說明한 바와같은 溫度上昇이나 또는 機械的으로 反復되는 負荷로 인한 熱的·機械的인 強度低下나 疲勞劣化가 일어나고 있으므로, 許容應力이라는 概念을 간단히 定할 수가 없다.

타이어 各部의 應力算出이나 測定에 대해서는 歐美諸國에서도 研究가 活發히 進行되고 있으나, 아직도 타이어에서 발생하는 現象을 完全히 說明할 수 있는 정도까지는 달하지 못하고 있는 現狀이라 할 수 있다.

그러므로 실제적으로는 타이어 各部의 發熱, 溫度上昇 및 各種 負荷狀態에서의 變形分布 등으로 얻은 여러가지 知識을 綜合하여 타이어의 疲勞와 破壞를 理解하는 方法을 취하고 있다. 따라서 다음에는 이러한 點에 있어서 變形과 熱의 問題를 살펴보기로 한다.

(1) 타이어 各部의 變形

타이어 各部에 發生하는 變形은 그 起源으로 보아, 內壓 때문에 發生하는 變形과 荷重을 유지하면서 路面을 굴러가고 있기 때문에 생기는 變形으로 나누어 볼 수 있다. 前者는 空氣를 넣은 것만으로, 靜止狀態에서도 發生할 수 있는 것으로서 靜的變形이라고 할 수 있으며, 後者は 움직이고 있을 때에 일어나는 變形으로서 動的變形이라고도 한다. 실제로 타이어가 굴러갈 때에는 靜的變形이 일어나고 있는 데에 또 接地附近에서 일어나는 動的變形이 겹치게 되며 그 상태가 타이어 周上의 各部에 차례로 나타나게 된다.

① 靜的 變形

內壓의 팽창으로 일어나는 變形은 타이어의 構造에 따라, 즉 Bias 타이어와 Radial 타이어

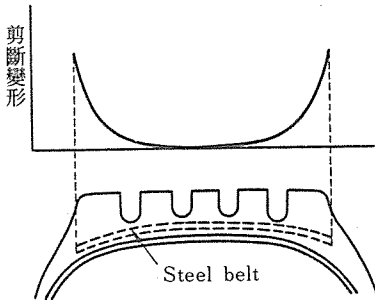
에서 각각 다르다. 먼저 Bias 타이어의 경우를 보면, 플라이 코드의 받는 應力은 크라운部에서 가장 크고 그에 따른 伸長變形도 最大이며, 비드部로 갈수록 작아지고 또 플라이間의 剪斷變形은 兩 사이드部에서 가장 크다. 이와같은 各種變形은 타이어 카카스의 코드 方向에 따라 정해지는데 이것은 오래전부터 理論的인 解析의 對象이 되어 왔다.

한편, Radial 타이어에서는 카카스의 코드가 타이어 平面에 대해 放射線 方向으로 되어 있기 때문에 그 變形은 어디서나 거의 일정하나, 크라운部에서는 벨트의 힘으로 變形이 약간 감소된다. 벨트코드에 있어서는 크라운센터에서 變形이 가장 크고, 솔더部에서는 自由端으로 되어 있기 때문에 變形이 나타나지 않는다. 이에 대해서 剪斷變形은 이 部分의 Separation 故障(고무切傷으로 層間이 剝離되는 故障)에 밀접한 關係가 있다(그림14).

비드部에 있어서도 Bias 타이어나 Radial 타이어가 다같이 코드端末이 存在하고, 이 端末部에서는 코드가 받는 張力은 당연히 0 이 되어야 하며 또 그 힘은 剪斷力으로 나타나 다른 곳으로 傳達되므로 그에 따른 剪斷變形이 發生하게 된다. 트럭용 타이어의 Breaker 端 등도 마찬가지로 이와 같은 變形에 注意해야 할 部分이다.

② 動的 變形

타이어에 負荷를 걸고 回轉시키면 接地部分에서는 원래 圓環體였던 타이어가 平面위에 눌리게 되므로, 타이어 斷面 方向으로 보나 円周



[그림 14] Radial 타이어의 벨트層間的 剪斷變形 (벨트 가장자리에서 最大)

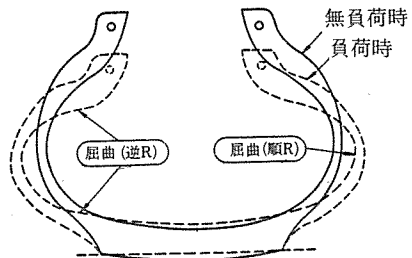
方向으로 보나 타이어 壁의 曲率이 變化하여 屈曲變形이 일어난다. 그림15에서 斷面의 變形을 表示하였는데, 크라운部, Buttress 部, Bead 部에서는 現狀의 R를 보다 크게 하는 方向으로 屈曲되고, 사이드部에서는 R를 가장 작게 하는 方向으로 屈曲된다는 것을 알 수 있다.

円周 方向을 보아도 接地面의 前·後端部에서는 R를 작게 하는 方向으로 變形되고 있다. 이와 같은 屈曲變形은 자연히 코드 고무의 伸長·壓縮變形이나 플라이 間의 剪斷變形을 일으키게 되고 또 이것이 靜的變形에서와 마찬가지로 벨트 가장자리나 브레이크端, 비드 端 등에 集中的인 變形을 일으킨다.

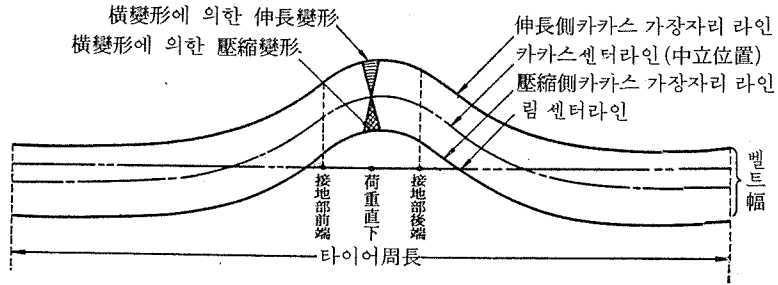
타이어에 作用하는 縱·橫의 外力, 즉 驅動力·制動力, Cornering 力 등에 의해서도 變形은 發生하게 되나, 특히 橫力의 影響이 크다. 그림 16에 그 狀況을 表示하였는데, Radial 타이어의 벨트가 橫力에 의해 面內的 屈曲을 일으켜서 外側에는 伸長變形이 일어나고 內側에는 壓縮變形이 일어나고 있다. 이와같이 Radial 타이어의 벨트 가장자리의 경우에는 內壓에 의한 變形, 負荷時의 變形, 橫力에 의한 變形 등이 重合되어 위험한 상태에 달하게 됨을 알 수 있다(그림 16, 17).

(2) 타이어의 發熱과 타이어의 破壞

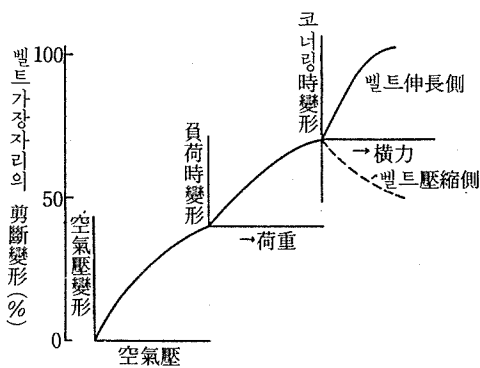
荷重을 유지하고 있는 타이어가 路面위를 굴러가게 되면 타이어 各部에는 反復되는 變形이 계속 發生하게 된다는 것은 앞에서 說明한 바와 같다. 타이어의 構成材料인 고무나 코드는 다같이 高分子物質로서 反復되는 變形으로 Hysteresis loss가 發生하며 그것이 熱로 變하게



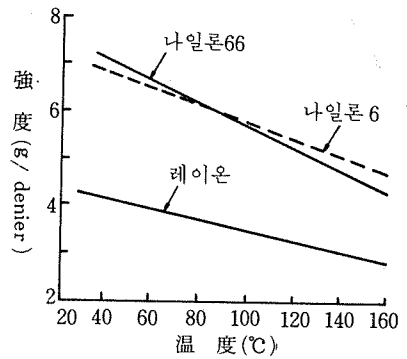
[그림 15] 타이어의 負荷時의 變形



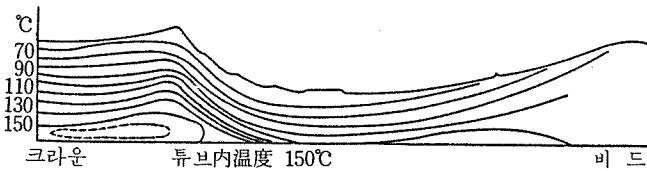
[그림 16] Radial 타이어의 벨트展開圖에서 본 橫變形과 그에 따른 벨트 가장자리의 伸長·壓縮變形



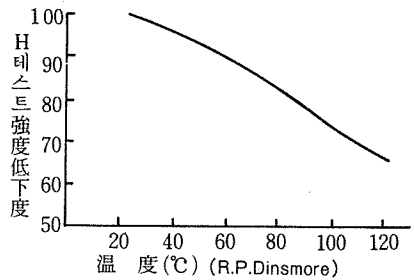
[그림 17] Cornering 時에 발생하는 벨트 가장자리의 剪斷變形



[그림 19] 溫度上昇에 의한 코드強度的 低下



[그림 18] 室內試驗에 의한 타이어內 溫度上昇과 그 分布 (타이어 7.50-16 14PR, 速度 50km/h, 內壓 6.0 kg/cm², 荷重 2,000kg)



[그림 20] 溫度上昇으로 인한 고무와 코드의 接着力 低下

된다.

또 타이어는 熱의 不良導體이므로 이 熱은 蓄積되어 그 部分의 溫度를 上昇시키게 된다. 自動車가 얼마동안 走行하게 되면 타이어에는 熱이 蓄積되는 한편, 溫度上昇으로 溫度勾配가 커져 外部로 熱이 많이 흐르게 되므로 드디어 飽和溫度에 달하게 된다. 이 때 타이어 各部의 溫度는 대개 斷面의 두께가 큰 部分이 높다. 예컨대 트럭용 타이어 같은 것은 트레드 고무의 두께가 가장 큰 솔더部の 深部에서 溫度가 가

장 높게 된다(그림18). 이 最高溫度는 대개 周圍의 空氣溫度보다 높게 되므로 環境溫度와의 差를 溫度上昇이라고 하기도 한다. 溫度上昇은 타이어의 綜合的인 評價에서 매우 重要한 特性으로 간주되고 있다.

飽和溫度에 달하기까지의 時間은 比較的 두께가 작은 乘用車 타이어에서 約 15分 정도이고, 두꺼운 트럭타이어에서는 50分~1時間 정도이다. 앞에서 說明하였지만 타이어의 溫度가 올라가게 되면 그 部分의 코드나 고무의 強

度, 코드와 고무間의 接着力 등은 일시적으로 低下된다. 이 試驗溫度와 고무, 코드의 強度 및 兩者의 接着力의 低下 등을 그림 19, 20에 각각 表示하였다.

한편, 어느 정도까지 使用하게 되면 이들의 強度는 점차 劣化되어 低下되고 있으므로 高溫이 된 타이어는 이러한 점으로 보아 二重으로 強度가 떨어지고 있다고도 할 수 있다.

엄밀한 뜻으로 타이어의 使用限界溫度를 정한다는 것은 매우 어려운 일이나, 코드나 고무 등의 材料自體의 強度와 이들 사이의 接着強度 등의 低下로 보아 타이어內의 最高溫度가 약 125°C 정도에 達하게 되면 타이어에 故障이 발생하기 쉽다고 하며, 이런 뜻에서 125°C가 警戒限度로 되어 있다.

타이어의 溫度를 測定하는데에는 熱電對를 注射針같은 것에 넣어서 타이어 트레드에 구멍을 뚫어서 插入하게 된다. 現在에는 Thermistor 등의 便利한 것이 있다.

(3) 타이어의 破壞

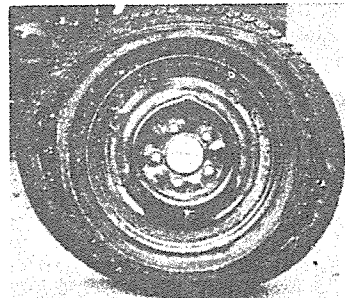
序頭에서도 說明한 바와 같이 使用中인 타이어는 機械的인 變形과 그에 따른 應力 및 그 變動의 作用과 발생하는 熱에 의한 作用 등으로 新品時의 強度를 점차 잃어가고 있다. 이와 같이 強度가 차츰 줄게 되는 것은 타이어의 使用條件에 따라 많은 差異가 있다. 즉, 타이어는 큰 衝擊이나 屈曲을 받게 되는 不整地, 非鋪裝路 등에서 사용되기도 하며 또 高速道路 등에서는 速度는 빠르나 커브나 發進·停止 등이 적으며, 路上의 障害物이 別로 없는 등 여러가지 條件이 있으며 또 이들이 混合된 複合的인 條件도 있다. 그때마다 타이어에 殘存해 있는 強度를 超過하는 지나친 異常한 入力이 걸리게 되면 타이어는 破壞되고 만다.

타이어가 走行中에 突出物을 통과하는 것은 흔히 있는 일이다. 극히 銳敏한 突出物인 경우에는 마치 칼날과 같은 作用으로 變形이 集中的으로 크게 일어나 即時에 카카스 損傷을 일으키는 수가 있다. 만약 한 번에 破壞되지 않는 다 하더라도 카카스 플라이가 損傷을 받게 된

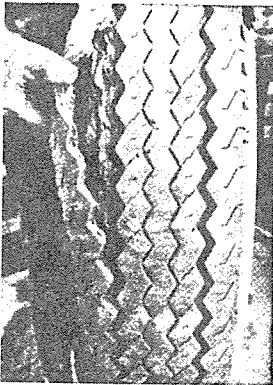
다면 荷重負擔이 隣接된 코드나 플라이에 미치게 되고, 또 그 損傷部를 核으로 集中變形이 일어나는 惡影響이 겹치게 되어 카카스 全體가 破壞되는 수도 있다. 이러한 現象에는 의당히 그 때까지의 劣化 程度나 그 당시의 카카스 溫度 등에는 많은 變化가 따르기 마련이다. 이와 같은 故障은 Burst, 또는 Cut burst 라고 한다. Tubeless 타이어이든 Tube type 타이어이든, 空氣가 빠져서 內壓이 낮은 상태에서 走行하게 된다면 사이드部의 過大變形으로 카카스 內側에서 플라이 코드가 切傷되어, 극단적인 경우는 円周에 따라 카카스가 破斷되는 수도 있다. 코드는 일반적으로 反復되는 壓縮變化에는 弱하므로 曲率이 큰(R 이 작은)部分의 內側은 많은 苦役을 받게 된다.

重荷重으로 高速道路를 계속 走行하는 路線 버스나 觀光 버스 또는 路線 트럭 등의 타이어 溫度는 相當히 높은 상태에 있다. 休憩所 등에서 일시 駐車時에 點檢해 보아도 乘用車 타이어 보다는 溫度가 훨씬 높은 것을 알 수 있다. 또한 타이어 內部는 表面보다도 더 高溫으로, 100°C 이상된다는 것도 알 수 있다. 이와같은 條件에서는 고무의 強度는 低下되고 있으며, 또 큰 變形을 받게 되면 切斷 現象이 나타나고, 트레드 카카스間이나, 카카스의 플라이間에는 剝離現象 (Separation)이 나타나기도 한다. Steel Radial 타이어 등에서는 高溫으로 인한 接着力 低下로 이와같은 現象이 일어나기도 한다.

한 번 Separation이 일어나면 그 兩面이 서로 摩擦되어 溫度가 높아지고 極端的인 경우는 나일론 타이어 코드가 녹는 경우가 있다. 이와



(그림 21) 低壓走行에서 코드切傷을 일으킨 타이어



[그림 22] Rib Tear

같이 高温이 되면 나일론 코드도 強度를 喪失하게 되어 타이어 内壓을 堪耐할 수 없게 되며 드디어 破裂되고 만다.

트레드 고무도 높은 溫度에서는 強度가 떨어진다. 高速 버스에서는 高速走行用으로 적합한 Rib 型 타이어를 사용할 때 트레드端의 Rib 가 破裂되어 곤란을 당하는 경우가 있는데, 이것을 Rib tear 라고 한다(그림22). 이러한 條件下에서는 카카스의 耐衝擊強度도 자연히 低下되므로 突出物 등을 통과할 때는 損傷을 입기도 쉽다.

複輪 사이에 돌이 낀채로 走行하든가, 트레드 패턴의 홈에 적은 돌이 낀채로 走行하든가 또는 블레이크의 熱이 타이어에 傳達되어 타이어의 溫度가 높아지는 등 여러가지 障害가 타이어 破壞의 要因이 되고 있다. 또한 이들 要因이 複合되어 여러가지 形態로 나타나 各種 타이어 破壞를 일으키고 있는 것이다.

4. 타이어의 高速耐久性

타이어가 어떤 荷重에서 어느 정도의 速度로 계속 走行할 수 있느냐 하는 問題는 타이어의 耐久性의 한 評價規準이 된다. 특히 乘用車 타이어의 경우는 타이어의 安全基準의 하나로서 走行速度를 段階的으로 높여가며, 各段階에서는 정해진 時間에 異常없이 走行해야 한다는 이른바 Step Speed 에 의한 試驗法이 採用된 것을 契機로, 이 方法이 高速耐久性의 評價



[그림 23] Standing wave를 일으켜 사방으로 갈라진 타이어

에 널리 사용되고 있다.

타이어 쪽에서 보면 이 試驗은 타이어의 溫度上昇問題도 包含되어 있으므로 基準溫度로 볼 수 있는 室溫度 정해두지 않으면 안된다.

Standing wave 를 일으킨 상태에서는 寫眞(그림23)에서도 알 수 있는 바와 같이 甚한 凹凸이 타이어에 나타나게 되므로 變形의 比例하는 타이어 그 部分의 發熱이 얼마나 甚한가를 짐작할 수 있다. 실제로 이러한 상태에서 走行을 계속한다면 트레드고무가 산산조각으로 갈라져 타이어가 무참한 상태로 되고 만다. 그러나 카카스의 破壞는 그와같이 순간적으로 일어나지 않으므로, 만일의 경우 走行中에 이와같은 일이 發生한다 하더라도 타이어가 破裂되어 大事故에 이르기 전에 自動車의 振動 등으로 異常을 豫見하여 應急處置할 수 있는 여유는 있을 것으로 본다(그림23).

어쨌든 高速走行時에는 타이어로서는 動的變形의 反復度수가 速度에 比例하여 增加되고, 1 回轉마다 發生하는 Hysteresis 도 增加되며, 따라서 熱의 發生과 溫度上昇이 커지고, 單位重量이 무거운 트레드部에 작용하는 遠心力 때문에 코드의 張力도 增加되는 등, 여러가지 變化를 가져오게 되므로, 타이어의 設計, 製造 및 使用面에 있어서 각각 특별한 注意가 必要한 것이다.

특히 Speed Race 用 타이어라든가 Jet 機用 타이어 등에서는 高速耐久性에 대한 각종 方法을 採擇하고 있다.