

타이어의 過渡摩擦係數

測定車의 開發에 對하여

東洋고무工業株式會社 中央研究所

副部長 島原 陽一

序

타이어의 歷史上 타이어의 摩擦係數가 論議되기 始作한 것은 比較的 오래이며 그에 關한 文獻과 測定車에 關한 報告도 많다. 그러나 그들의 文獻과 測定車에 關한 報告의 大部分은 自動車의 制動距離의 觀點에 立脚한 平均 摩擦係數를 論하는 것이다.

타이어의 過渡摩擦係數(타이어가 地面에 對해 任意의 스립프 率을 갖는 境遇의 摩擦係數를 意味함)가 클로오즈업 되기 始作한 것은 ESV의 開發과 時期를 함께 한다고 해도 過言은 아니다. 周知하는 바와 같이 ESV의 브레이크 裝置에는 타이어가 最大摩擦係數를 갖는 스립프 領域에서의 브레이크 콘트롤이 實施되어 브레이크 性能이 層層 向上되어 있다.

ESV用 安全타이어의 開發에 着手하여 그 責任을 完遂한 當社로서 回顧컨데 安全 타이어의 開發도 그렇기는 하나 安全타이어의 評價技術이란 課題까지도 兼備한 셈이며 就中 타이어의 過渡마찰 係數의 測定에는 苦慮하였든 바가 多大하였다.

過渡摩擦係數 測定上의 問題點

過渡마찰 係數 測定이 困難視되는 것 中 큰것은 타이어가 垂下토크 特性領域을 갖는데 있다.

圖 1에 表示하는 바와 같이 普通의 브레이크는 作動開始后 一定壓力에 飽和한다. 그 結果 任意時間 后에는 定토크의 브레이크로 된다(브레이크 性能이 發熱等에 依하여 變化하는 程度는 작다고 하여 無視한다) 한便 타이어가 地面과의 相對 미끄럼으로 發生하는 마찰토크는 10%~20%의 미끄럼 率로 最大値를 表示하며 最大値 通過后 減少하는 境遇가 많다.

이 垂下토크 傾向은 타이어와 對路面의 最大 마찰係數가 增大하면 할수록 明白하게 되는 것 같다.

換言하면 氷上 보다는 雪上, 雪上 보다는 乾燥路에서 垂下토크 現象이 catches 되기 쉽게 된다.

上述한 바와 같은 타이어와 브레이크의 特性의 差에 依해서 타이어를 減速하려고 作動하는 토크는 極大值 P를 通過后 急激하게 增加한다.

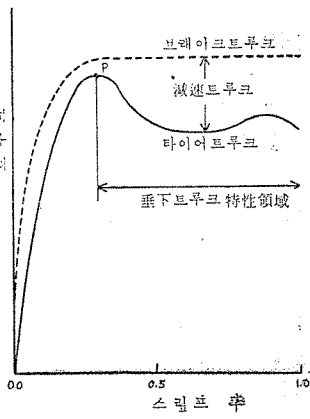


圖 1- 制動時의 토크曲線

따라서 極大值까지는 브레이크의 簡單한 콘트롤(油壓의 움직이는 勾配等)에 依해서 容易하게 計測時間을 調整할 수 있으나 極大值 通過后는 簡單한 콘트롤로서는 全然計測 時間을 調整할 수 없으며 極히 短時間으로 100% 스립프(完全록크) 狀態로 移行한다.

筆者 등이 얻고 있는 資料에 依하면 60km/h의 速度로 實驗된 경우에도 0.1秒 以下에서 밖에 垂下토크 特性領域이 把握안 된다고 말하고 있다. (勿論 特殊한 路面 狀態에선 垂下토크 特性領域은 不存在하거나 또는 存在해도 극히 微少한 경우에는 普通의 測定車로 充分히 測定이 可能하다) 資料에 依한 0.1秒 以下の 測定時間에서 果然 充分한 精度로 또한 再現性이 있는 데이터가 얻어질 수 있으나 어찌나 極히 疑問이다.

摩擦係數 測定車에 對해서

從來의 摩擦係數 測定車에 對해서 調査하는데 있어서 그 方式은 多種多樣해서 여러가지 面에서 分類가 可

能하다.

筆者 등은 過渡마찰 係數의 測定이란 觀點에서면 다음과 같이 두 가지로 分類된다고 生覺한다.

- (1) 被測定 타이어 軸 驅動方式
- (2) 被測定 타이어 軸 制動方式

(1)에 關係서는 文字 그대로 一定速度로 牽引되고 있는 測定車의 被測定 타이어 軸을 逆트루크로 驅動함으로써 任意의 스텝프 率을 附與하려고 하는 것이다.

當然 驅動 유닛으로서는 數百馬力의 것이 必要케 된다. 故로 重量의 多少의 問題點이 남는다. 한便 (2)는 타이어 軸에 조금 브레이크 力을 作動시켜 타이어에 任意의 스텝프 率을 附與하려고 하는 것이다.

이 方式은 前述한 垂下트루크 特性의 存在를 充分히 認識해서 브레이크를 選擇하든지 브레이크를 콘트롤 하지 않으면 안된다.

그러나 重量의 으로는 輕하게 할 수가 있다.

如此한 觀點으로써 當社에 申 后者를 採用키로 했다 方式이 定해진 뒤에 또 問題가 되는 것은 被測定 타이어의 本數이다. 從來 ASTM 示方에 依한 2輪式이 一般의이지만 2輪式으로 브레이크 콘트롤을 할 경우 左右輪의 마찰 托루크 差, 스텝프 率 差가 確實히 把握 안될 可能性이 있다.

故로 1輪式의 測定車의 開發에 着手하게 되었다. 本來 1輪式과 2輪式으로 마찰계수가 不同한데 없으므로 眞實로 마른 마찰係數가 測定된다면 어느 쪽을 選擇하든 關係가 無하다고 生覺한다.

1輪方式에 있어서의 摩擦係數

1輪式으로 마찰係數를 精度 좋게 測定 算出함에 있어서 于先 얼마 가량의 힘을 計測하며 또 어떤 것에 留意하면 目的이 達成되는가를 探究하기 爲하여 現象을 理論의 으로 把握해 본다.

圖 2는 1輪式의 모델에 있어서의 力關係를 表示한다 이 모델로서 다음 式이 成立한다.

$$Nl_1 + Fr + ml_2g - (h-r) \frac{du}{dt} = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$F = D + m \frac{du}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

여기서

F: 타이어에 依한 摩擦力

D: 牽引力

m: 測定車의 全質量

$\frac{du}{dt}$: 前後 加速度

N: 타이어에의 垂直抗力

을 表示하며 l_1, l_2, h 와 r 은 그림속에 表示하는 것과 같은 距離를 表示한다.

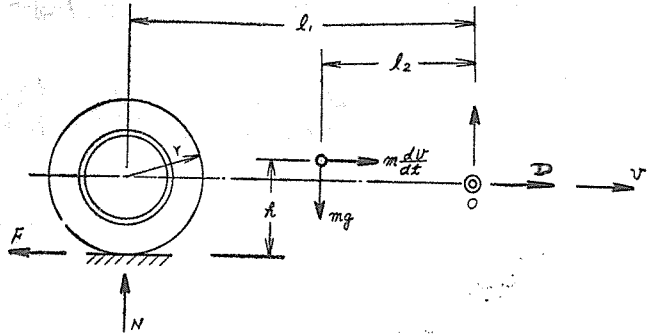


圖 2- 測定車 模型 圖

한便 타이어의 마찰係數는 $\mu = \frac{F}{N} \dots\dots\dots(3)$ 으로 定義되므로,

$$\mu = \frac{D + m \frac{du}{dt}}{\left(D + m \frac{du}{dt} \right) \frac{r}{l_1} + mg \frac{l_1}{l_2} - m \frac{h-r}{l_2} \cdot \frac{du}{dt}} \dots\dots\dots(4)$$

로 되며 μ 는 D와 $\frac{du}{dt}$ 를 實測하면 算出된다.

上述한 바와 같이 μ 의 算出은 容易하게 알았으나 D와 $\frac{du}{dt}$ 를 스텝프 率과 對應시켜 比較의 긴 測定時間을 可能케 하여 精度를 向上시킬 것을 考慮할 때 當然 타이어 軸 力의 均衡을 表示하는 다음 式을 考慮하지 않으면 안된다.

$$B = Fr + I\dot{\omega} \dots\dots\dots(5)$$

여기서,

B: 브레이크 托루크

I: 타이어 軸 力의 慣性 모멘트

$\dot{\omega}$: 타이어의 角加速度

를 表示한다.

(5) 式의 右便 第2項 $I\dot{\omega}$ 은 圖 1로 容易하게 알 수 있는 것처럼 브레이크 托루크와 타이어의 마찰力에 依한 托루크의 差로 減速托루크이다. 制動式의 測定車로 過渡마찰 係數의 計測을 可能케 하는 때는 이 $I\dot{\omega}$ 를 無視해서는 成안된다. 于先 I이 增大하면 $\dot{\omega}$ 이 작아진다. 當然한 일이지만 慣性 모멘트가 커지면 타이어는 停車하기가 어렵워진다.

假令 0.1秒의 測定 可能한 測定車가 있다고 하자. 지금 이 測定車의 타이어 軸 力의 慣性을 10倍로 하고 브레이크 特性을 그대로 둔다면 測定 可能한 時間은 1秒로 된다.

그러나 타이어 軸 力의 慣性을 增大하는 것은 測

定車의 重量 增加를 納아 測定 可能한 타이어의 사이 즈를 限定한다. 故로 慣性效果 만으로는 不充分하다.

특히 타이어의 摩擦力 토크와 스텝프 率의 關係가 1사이즈마다 變한다는 것을 考慮하면 브레이크 토크는 마찰力 토크 보다는 充分히 크게 設定되기 때문에 慣性效果 만으로는 브레이크 토크의 飽和值를 尺寸마다에 試行錯誤의으로 잡지 않으면 안된다.

이렇게 生覺했을 때 브레이크 토크와 타이어 토크와의 差 即 減速 토크를 恒常 작게 保持할 必要가 있다. 即 브레이크를 制御하면 任意의 스텝프 率에 있어서의 마찰係數가 長時間에 亘해서 測定可能케 된다.

制御方式 決定에 있어서

上述한 바와 같이 精度 좋게 摩擦係數를 測定하는 데는 브레이크는 制御될 必要가 있다. 브레이크를 制御함에 있어서 重要한 것은 制御對象을 어떻게 選擇하느냐이다.

換言하면 마찰계수와 스텝프 率의 關係를 容易하게 把握하는 데는 어떻게 콘트롤 되게끔 브레이크가 操作되면 좋으나 하는 것이다. 말 할것도 없이 다음의 두 例를 들 수 있을 것이다.

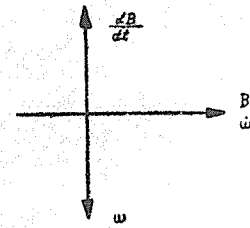


圖3—位相圖

(1) 加減速度를 一定하게 한다. ($\dot{\omega}$ 制御라고 呼稱)

(2) 타이어의 回轉數를 一定하게 한다(ω 制御라고 한다

(1)에 關係서의 有利한 點은 $\dot{\omega}$ 와 브레이크 토크는

圖 3에 表示하는 바와 같이 同相이며 制御性이 크다고 하는 것이다. 한便 (2)에 關係서는 ω 와 브레이크 토크에는 當然 $\frac{\pi}{2}$ 의 位相 差가 있다.

故로 一般의으로 制御性이 나쁘고 難點이 많다고 하는 것이 된다. 如斯한 觀點에서 筆者등은 $\dot{\omega}$ 制御를 重點的으로 取扱했다. 또 다시 追求하건데 $\dot{\omega}$ 制御에는 第(5)式에서 알 수 있는 바와 같이 $B=G, F, R, \dots$ (6)이 되도록 設定하면,

$$1\dot{\omega} = (G-1)F, R, \dots \dots \dots (7)$$

로 되며 G 로 表示하는 계인을 1에 가까운 值로 設定하면 $\dot{\omega}$ 가 容易하게 콘트롤 되어 $G > 1$ 이면 自己 制御性이 있다고 하는 點에 있다. 勿論 初期狀態에선 $F=0$ 이므로 파루스의인 브레이크力을 微小時間 부여할 必要가 있으나 이 點에 關係서는 再言할 必要조차 없을 것이다.

또 多幸한 일로 F 는 實測 可能하며 r 은 타이어의 動的 負荷半徑이므로 容易하게 實測이 可能하다.

當社의 測定車에 對해서

上述한 바와 같은 觀點에서서 筆者 등이 設計 製作한 測定車를 圖 4에 表示한다.

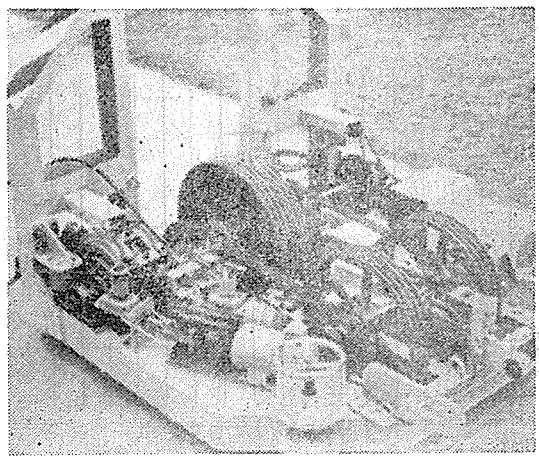


圖4—當社開發의 測定車

말 할것도 없이 이 測定車에는 前述한 思考方式이 포함되어 있으나 더욱 細部에 亘해서의 注意가 기울여지고 있다.

2, 3個 注目할만 한 點을 列擧한다.

1. 후라이 휘일

후라이 휘일에 依한 慣性效果는 그 自身 測定 可能 時間을 增大할 뿐 아니라 制御性을 向上시킨다.

本測定車에선 작은 후라이 휘일을 增速함으로써 큰 慣性效果를 產出하여 重量增加를 極力 피하고 있다.

2. 브레이크

當然한 일이나 어떤 制御理論이 있더라도 그에 결맞는 操作部가 없으면 안된다.

本 測定車의 生命은 브레이크의 應答性에 있다.

브레이크의 應答性을 높이기 爲하여 圖 5에 表示하는 電油變換器를 製作했다.

이 電油變換器의 應答特性은 圖 6과 圖 7에 表示하는 바와 같이 극히 滿足할만한 것이라고 할 수 있겠다.

實驗結果의 한例

前述과 같은 當社 獨自의 構想에 依한 測定車로 摩擦係數와 스텝프 率을 測定한 結果의 一例를 소개한다 圖 8은 타이어 回轉(TN) 牽引車(N) 速度 스텝프率

(S) 및 타이어의 摩擦係數를 포오트 코어터로 收錄한 것이다.

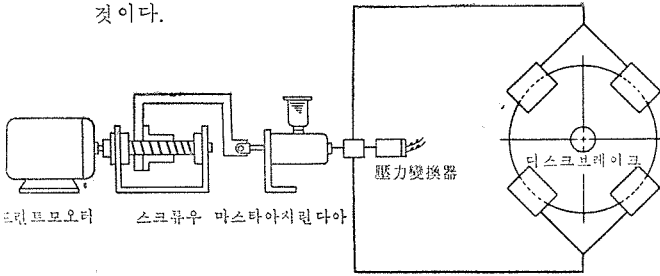


圖5—電油變換器

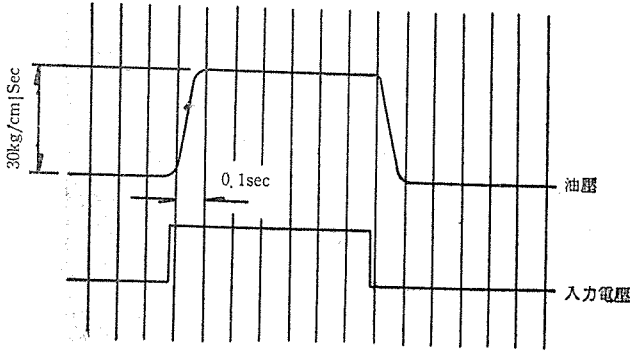


圖6—스텝입력에對 한 応答特性

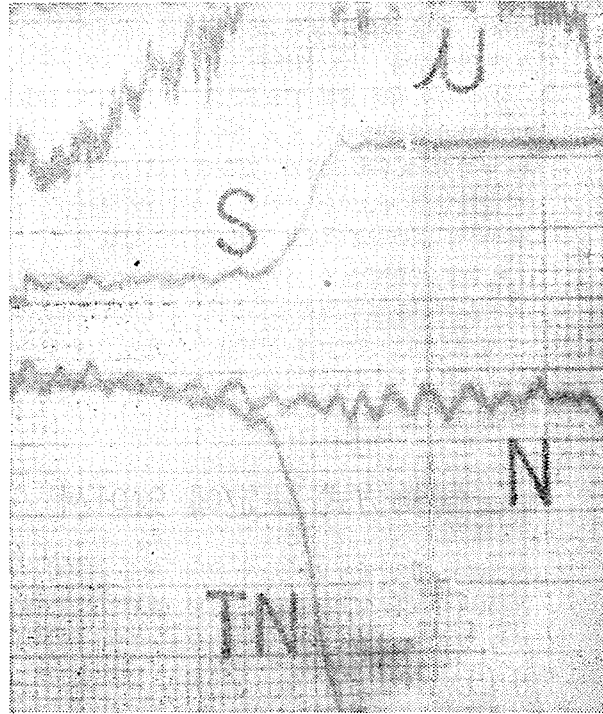


圖8—포오트코어터에 依한 μ -S測定結果

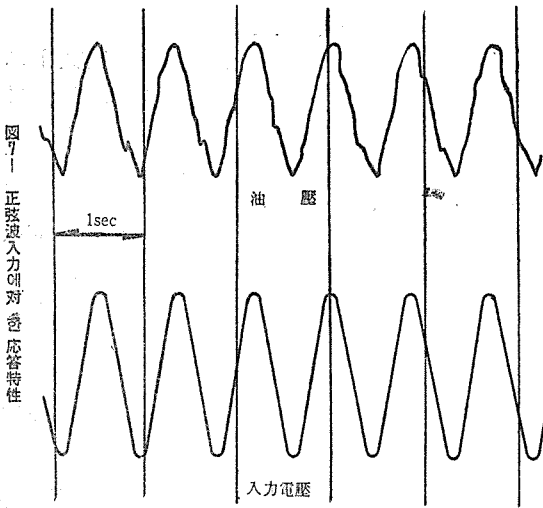


圖7—正弦波入力에對 應答特性

制御部に 아나콘을 採用하고 있으므로 制御와 同時에 모든 데이터어 處理가 ON-LINE으로 實施된다. 그런故로 오시로스코프의 X-Y軸을 使用해서 圖9에 表示하는 것과 같은 U-S特性도 테스트와 同時에 OUT-PUT되며 모든 點에서 能率업프로 되어있다.

끝

當社 開發의 測定車는 타이어의 마찰係數를 精度 좋게 測定할 수 있으며 制御時에 있어서의 타이어의 舉動을 探究하는 데 있어서 重要한 役割을 遂行하고 있다.

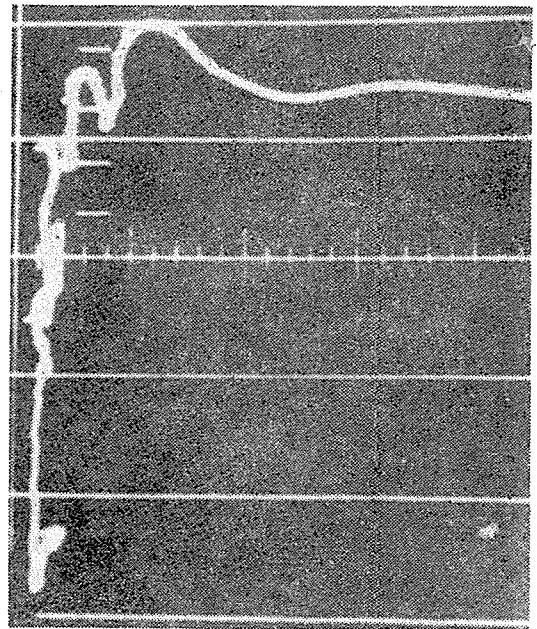


圖9—오시로스코프에 依한 μ -S測定結果 FMVSS109 및 UNIFORM TIRE QUALITY GRADING 等の 諸規格을 함께 考慮하면 今後에도 한層의 努力이 必要하다.

이러한 態度는 마찰係數에 끝이는 것이 아니고 더욱 安全한 타이어를 需要者에게 供給하고자 晝夜努力하고 있는 바이다. (74. 4 日本月刊 타이어誌)