

타이어工學(5)

—타이어의 動的特性—

白 南 哲*

4. 制動・驅動特性, 制動・驅動時的 Cornering特性

(1) 制動・驅動特性

Cornering特性을 說明하는 데 사용한 rigid ring(rigid belt)으로 된 타이어를 생각하여, 타이어 接地部에 있어서의 벨트의 圓周方向이 줄어들지 않는 것으로 假定한다. 이와 같은 타이어가 [그림 11]에 나타나 있는 바와 같이 回轉角速度 w 로 回轉하면서 進行速度 V 로 進行하고 있는 것으로 한다. 이 경우 制動時에는 벨트의 回轉速度 rw 가 進行速度 V 보다 늦고, 또 반대로 驅動時에는 벨트의 回轉速度 rw 가 進行速度 V 보다 빠르기 때문에 條件은,

制動時

$$V > rw$$

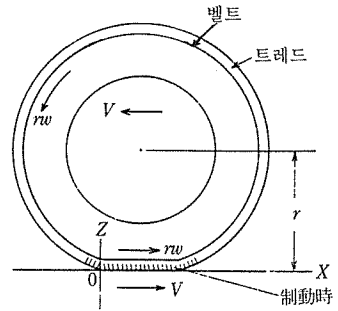
w : 角速度 r : 有效轉動半徑

驅動時

$$V < rw$$

接地部에 있어서의 路面과 벨트의 相對速度 ΔV 는

$$\Delta V = V - rw \dots\dots\dots(4.1)$$



[그림 11] 制動・驅動時的 타이어의 轉動狀態

타이어軸에 固定된 XY 의 座標系에서 接地部를 본 경우, 路面이 速度 V , 벨트가 速度 rw 로서 後方으로 移動하고, 接地面의 前端에서 路面과 接觸한 트레드 고무는 벨트와 路面의 速度差 ΔV 에 의하여 接地面의 後方으로 移動함에 따라 큰 剪斷變形을 받는다.

여기에서 制動時的 가장 極端的인 경우로서 타이어가 잠겨진 상태에서 미끄러지고 있는 경우를 생각하면 XY 座標系에서는 停止하고, 路面이 移動하고 있기 때문에 制動時에는 路面上의 한 點에 착안하여 路面上의 點이 接地面의 前端에서 距離 x 點까지 移動하는 데 要하는 時間 t 를 求하면,

$$t = x / V \dots\dots\dots(4.2)$$

*慶熙大學校 工科大學 教授

즉, 制動時 接地面의 前端에서 距離 x 點에 있어서의 路面과 벨트의 相對變位 Δx 는 (4.1), (4.2)式으로부터

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta Vt \\ &= sx \quad \dots\dots\dots(4.3) \end{aligned}$$

단, 制動時의 슬립比를 다음 式으로 定義한다.

$$s = (V - rw) / V \quad (s > 0) \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

다음에 驅動時의 가장 極端的인 경우로서 타이어가 같은 場所에서 空轉하고 있는 狀態에 대해서 생각하면, XY座標系에서는 路面이 停止하고 벨트가 移動하고 있기 때문에 驅動時에는 벨트上的의 點에 착안하여 벨트上的의 點이 接地面前端에서 距離 x 點까지 移動하는 데 要하는 時間 t 를 求하면,

$$t = x / rw \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

여기에서 驅動時의 x 點에 있어서의 路面과 벨트의 相對變位 Δx 는 (4.1), (4.5)式으로부터,

$$\begin{aligned} \Delta x &= \Delta Vt \\ &= sx \quad \dots\dots\dots(4.6) \end{aligned}$$

단, 驅動時의 슬립比를 다음 式으로 定義한다.

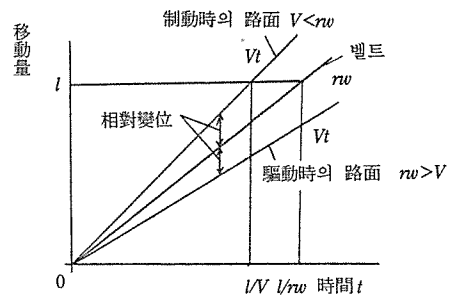
$$s = (V - rw) / rw \quad (s < 0) \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

이와 같이 制動時, 驅動時 모두 路面과 벨트의 相對變位量은 接地前端으로부터의 距離에 比例하여 커진다.

여기에서 고무와 路面 사이에 미끄럼이 發生하지 않는다면, 트레드의 單位길이當 作用하는 前後力 f_x 는, 트레드의 單位面積當 前後方向(周方向)의 剪斷彈性定數를 C_x 라고 하면 다음과 같이 된다.

$$f_x = C_x sx \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

즉, 單位面積當 트레드 고무에 發生하는 前後力은 [그림 12]에 나타나 있는 바와 같이 接地面前端으로부터의 距離에 比例하여 直線의 으로 增加하고, 路面과의 摩擦力 이상으로 된 點에서 미끄러지기 시작하여, 接地面後端에서 0으로 되돌아간다.

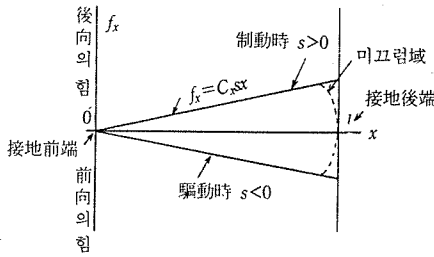


[그림 12] 벨트 및 路面上의 點의 相對變位의 時間的 變化

이와 같이 接地面前半에는 粘着域이, 後半部에는 미끄럼域이 나타난다. 그러나, 슬립比가 매우 작을 때에는 미끄럼域이 무시되고, 前後力의 分布는 [그림 13]에 나타나 있는 바와 같이 3角形의 分布로 되며, 制動·驅動力 F_x 는 3角形의 面積으로 되기 때문에 다음과 式과 같이 된다.

$$F_x = C_x w l^2 s / 2 \quad \dots\dots\dots(4.9)$$

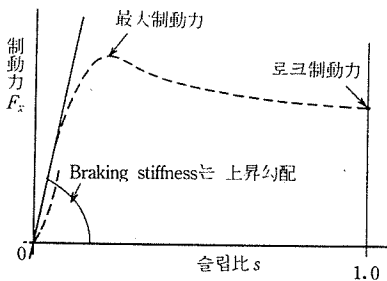
단, 接地面形狀은 길이 l , 幅 w 의 직사각



[그림 13] 슬립비가 작은 경우의 前後力の 分布

형으로 된다.

여기에서 制動力과 슬립比의 關係는 [그림 14]에 나타나 있는 바와 같이 制動力은 슬립比가 작은 곳에서는 直線的으로 增加한다.



[그림 14] 슬립비가 큰 곳에서의 制動力의 變化

이 增加勾配는 Braking Stiffness 또는 Driving Stiffness K_x 라 불리며 (4.9)式으로부터 다음과 같이 된다.

$$K_x = C_x w l^2 / 2 \dots\dots\dots(4.10)$$

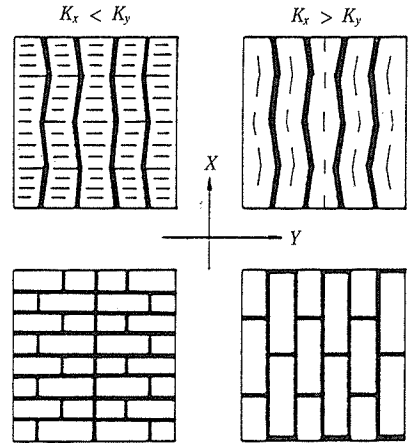
直線的으로 增加한 制動力은 슬립比가 0.1 前後에서 最大로 된 다음 슬립比 $s=1$ 의 lock制動力까지 低下한다. 이 變化는 驅動力에 대해서도 거의 같은 모양으로 된다.

슬립比가 작을 때의 前後力の 分布가 3角形으로 되는 것과 前述한 슬립角이 작을 때의 橫力分布가 3角形으로 되는 것은 같은 關係임을 나타내고 있고, (4.10)式에 나타나 있는

Braking Stiffness는 다음 式에 나타난 橫力 (또는 Cornering Force)의 上昇勾配, 즉 (3.3)式의 Cornering Stiffness K_y 와 같이 모양으로 된다.

$$K_y = C_y w l^2 / 2 \dots\dots\dots(4.11)$$

따라서, [그림 15]에 나타나 있는 바와 같이 트레드 고무 블록을 周方向으로 長軸을 갖는 직사각형으로 한 경우나 리브에 周方向의 Shaping을 넣은 경우에는 $C_x > C_y$ 로 되기 때문에 Braking Stiffness K_x 는 Cornering Stiffness K_y 보다 커진다.

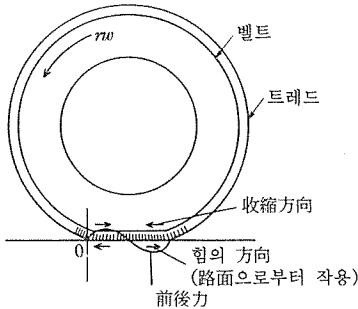


[그림 15] 패턴에 의한 Stiffness의 變化例

이에 대하여 트레드 고무 블록을 橫方向으로 長軸을 갖는 직사각형으로 한 경우에는 $C_x < C_y$ 로 되기 때문에 Braking Stiffness K_x 는 Cornering Stiffness K_y 보다 작아지지만 이 밸런스가 중요하다.

이상은 타이어가 變形함에 따라 接地部内에서 벨트가 周方向으로 줄어들지 않는 경우로서, 이것은 스틸 래디알 타이어에서는 잘 맞지만, 바이어스 타이어에서는 接地部内에서 周方向의 收縮을 隨伴하기 때문에 약간 다른 特性을 나타낸다.

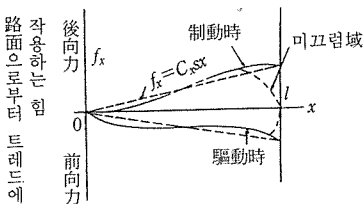
바이어스 타이어에서는 [그림 16]에 나타나 있는 바와 같이 브레이크의 收縮으로 인하여 接地面内の 前半部에서는 路面으로부터 앞쪽(驅動方向)으로 향하는 힘, 後半部에서는 路面으로부터 뒤쪽(制動方向)으로 향하는 힘이 作用하고 있다.



[그림 16] 브레이크의 收縮으로 인하여 발생하는 前後力の 分布(바이어스 타이어)

이와 같은 타이어가 작은 슬립比를 갖고 轉動하고 있는 경우에는 [그림 17]과 같이 3角形의 힘의 分布와 收縮으로 인한 前後力の 分布가 結친 모양이 된다.

그리고 制動時에는 驅動時보다 後端에서의 미끄럼域이 커진다. 그 결과 制動·驅動力과 슬립比의 關係에 있어서 制動時와 驅動時가 點對稱으로 되지 않는 경우가 있다. 또한 前



[그림 17] 바이어스 타이어의 制動·驅動時의 前後力の 分布

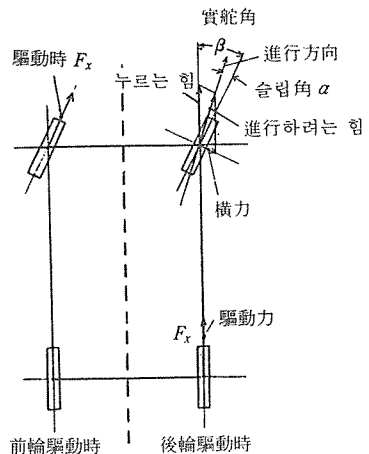
述한 바와 같이 고무 블록에 橫方向의 Shaping을 지나치게 많이 넣은 경우에는 接地壓力에 의하여 고무 블록에 挫屈이 발생하여 [그림 14]의 破線으로 나타난 것처럼 上昇勾配가 直線的으로 되지 않을 때가 있다.

더우기 Braking Stiffness는 反스키드 브레이크의 效率과 關係가 있어 Stiffness를 작게 하면 制動力이 最大가 되는 範圍가 커지게 되므로 應答性이 낮은 反스키드 브레이크의 경우에는 制動效率이 좋아진다.

(2) 制動·驅動時의 Cornering特性

① 驅動時의 Cornering特性的 간단한 例
前輪驅動車는 진창 등의 惡路로부터의 탈출이 後輪驅動車보다도 容易한 것으로 알려져 있다. 前輪驅動車가 低速으로 走行하는 경우 前輪의 驅動力은 [그림 18]의 왼쪽에 나타나 있는 바와 같이 타이어가 향하고 있는 방향, 즉 實舵角 β 의 방향으로 발생한다.

이에 대하여 後輪驅動車에서는 [그림 18]의 오른쪽에 나타나 있는 바와 같이 後輪에 발생한 驅動力에 따라 前輪 타이어가 눌러진 모양이 된다. 여기에서 前輪 타이어가 슬립角



[그림 18] 前輪 및 後輪驅動時의 진행하려는 힘의 설명

α 의 방향으로 進行하고 있다면 前輪에 발생 하는 橫力 F_y 는 슬립角이 작다는 가정하에 다음의 式으로 나타낼 수 있다.

$$F_y = K_y \alpha \dots\dots\dots(4.12)$$

여기서 K_y : Cornering Stiffness

後輪에 의하여 늘리는 힘 F'_x 와 前輪에 발생 한 橫力 F_y 를 合成한 힘의 방향이 타이어의 進行方向과 一致한다고 하는 관계에서 前輪 타이어의 進行하는 힘 F_x 는 다음과 같이 된다.

$$F_x = F'_x \cos(\beta - \alpha) - F_y \sin \alpha \dots\dots(4.13)$$

이들의 관계에서 α 를 近似計算으로 구하면 다음과 같이 된다.

$$\alpha \doteq \frac{A + \sqrt{A^2 + 4K_y F'_x \cos \beta \sin^2 \beta}}{K_y \cos \beta} \dots\dots(4.14)$$

다만, $A = F'_x \cos 2\beta - K_y \sin \beta$

한 例로서 後輪의 驅動力 $F'_x = 50 \text{ kgf}$, Cornering Stiffness $K_y = 70 \text{ kgf/deg}$, 實舵角 $\beta = 20^\circ$ 로 하여 前輪이 進行하는 힘 F_x , 슬립角 α 를 試算해 보면 다음과 같이 된다.

$$F_x = 39.5 \text{ kgf} \quad \alpha = 2.6^\circ$$

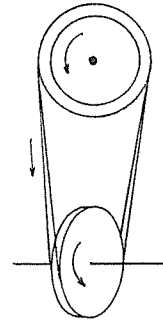
前輪驅動車의 경우 驅動力 F'_x 가 그대로 前輪의 牽引力으로 되는 데 대하여 後輪驅動車의 경우에는 後輪 타이어의 驅動力이 $F'_x = 50 \text{ kgf}$ 가 되어도 前輪의 進行하려는 힘 F_x 는 39.5 kgf 로 되어 약 80% 낮아지는 것을 알 수 있다.

또한 앞의 식에서 알 수 있듯이 實舵角이 0인 경우에는 前輪驅動車나 後輪驅動車도 모두 변화가 없지만, 實舵角이 붙어 있는 경우에는 前輪驅動車가 後輪驅動車에 비하여 走行抵抗이 작고, 특히 惡路走行 등에 有利하다는 것을 나타내고 있다.

이상은 低速走行時 車輛에 遠心力이 발생

하지 않는 경우인데, 高速走行時 遠心力이 발생하는 경우에는 보다 복잡하게 된다.

[그림 19]에 나타난 바와 같이 도르래와 벨트에 의한 動力傳達機構는 벨트를 줌으로 인하여 回轉方向, 즉 動力의 方向을 自由로 이 바꿀 수 있는 특징이 있다. 타이어의 경우에 있어서도 原理적으로는 이것과 거의 같으며, 機構적으로는 벨트(브레카)가 림에 대하여 彈性的으로 받쳐져 있고, 이 벨트가 트레드를 통하여 地面과 接하고 있음으로써 動力이 전달된다.



[그림 19] 타이어와 動力傳達機構가 거의 같은 도르래와 벨트

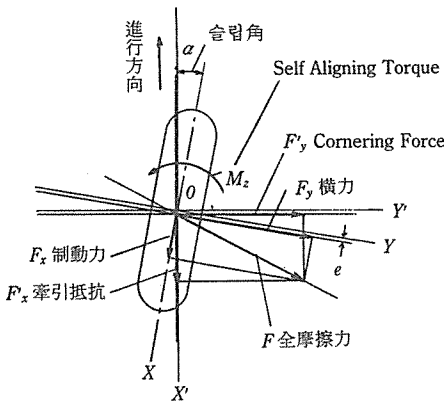
그러나 타이어가 미끄러지면서 轉動하는 경우에는 橫力에 의한 벨트의 구부러짐은 극히 적으며, 트레드 고무의 接地狀態에 따라 制動·驅動力의 傳達特性이 달라지는 점이 다소 다르다.

前述한 바와 같이 自由轉動時의 타이어에 발생하는 Cornering Force는 슬립角이 작은 곳에서는 橫力에 가까운 값이 된다. 그러므로 지금까지는 Cornering Force와 橫力, 制動·驅動力과 牽引力·牽引抵抗 등을 명확히 구별하지 않은 채 쓰여지고 있는 경우가 많았다. 그러나, 驅動·制動力이 작용하고 있는 경우에는 구별하지 않으면 誤解를 불러

일으킬 염려가 있기 때문에 다시 이들의 힘에 대해서 간단히 定義하여 둔다.

② 水平面內的 힘과 換算式

[그림 20]에 나타난 바와 같이 路面平面內에 있어서 타이어軸에 고정된 타이어座標系 XY 를 취하고 타이어 中心面과 路面과의 交線을 X 軸, 타이어軸의 方向을 Y 軸으로 하여 路面의 移動方向을 正으로 한다.



[그림 20] 橫力과 制動力, Cornering Force와 牽引抵抗의 關係

다음에 路面平面內에 있어서 路面을 기준으로 路面座標系 $X'Y'$ 를 취하고 타이어의 接地中心을 통하는 路面의 移動方向을 X' 軸, 이것이 直角인 方向을 Y' 軸으로 한다.

이 두 가지 座標系를 고려하면 X 軸과 X' 軸이 이루는 角이 슬립角 α 이다. 그리고 路面에서 타이어에 작용하고 있는 全摩擦力 F 의 XY 軸方向의 成分은,

F_y ; 橫力, 全摩擦力의 橫方向(回轉軸方向)의 成分

F_x ; 制動力, 全摩擦力의 周方向(前後方向)의 成分(正)

驅動力, 同上一이 負인 경우

마찬가지로 $X'Y'$ 軸方向의 成分은,

F'_y ; Cornering Force, 進行方向에 直角인 成分

F'_x ; 牽引抵抗, 全摩擦力의 進行方向에 反對인 成分(正)

牽引力, 全摩擦力의 進行方向의 成分(負)

[그림 20]에서 (F_x, F_y) 로부터 (F'_x, F'_y) 로의 變換式은,

$$\begin{cases} F'_x = F_y \sin \alpha + F_x \cos \alpha \\ F'_y = F_y \cos \alpha - F_x \sin \alpha \end{cases} \dots\dots\dots(4.15)$$

(F'_x, F'_y) 로부터 (F_x, F_y) 로의 變換式은 다음과 같이 된다.

$$\begin{cases} F_x = F'_x \cos \alpha - F'_y \sin \alpha \\ F_y = F'_x \sin \alpha + F'_y \cos \alpha \end{cases} \dots\dots\dots(4.16)$$

(다음 號에 계속)

<28 page에서 계속 이어짐>

같은 安全 타이어로서는 Continental社에서 開發한 Conti Tyre System이 있다.

(5) 응급용 래디알 타이어 開發(Radial temporary spares)

(6) 空氣를 넣지 않는 스페어 타이어 開發(Non-pneumatic spares)

이 타이어는 아직 美聯邦政府 標準規格으로 最終 確定된 것은 아니고, 현재 研究中에 있

으나 空氣를 넣지 않는 스페어 타이어는 앞으로 2~年後에는 선보여질 것 같다.

이 타이어는 스틸, 플라스틱 또는 휠에 트레드 고무를 감아서 만든 것으로 강도가 높을 뿐만 아니라 스페어 타이어가 차지하는 트렁크의 空間도 줄일 수 있을 것이다.

(Modern Tire Dealer, 1989. 11)