

타이어의 波狀變形現象

— Standing wave —

協會 李 光 宰

1. 概 要

自動車交通은 高速道路網의 擴張, 自動車의 性能向上 등에 따라 高速走行이 一般화된 高速走行 時代에 들어섰다. 이러한 時代의 重要課題는 무엇 보다도 高速走行時의 安全性이라 할 수 있다. 특히 自動車用 타이어는 車輛과 路面을 연결시키는 유일한 重要保安部品이므로 그 安全對策은 重大한 것이다. 타이어의 安全對策은 大別하여 다음과 같은 두 가지 要素로 나눌 수 있다.

- (1) 타이어 單體로서의 空氣壓 維持性, 熱에 의한 損傷, Standing Wave 發生의 防止 등
- (2) 타이어와 車輛 複合體로서의 走行安定性, 操縱性, 耐슬립性, Hydroplaning 發生의 防止 등

여기서는 高速走行時에 발생하는 타이어의 特異한 現象으로, 타이어의 使用, 管理方法 등과도 밀접한 關係가 있는 Standing wave에 대해서 說明하고자 한다.

물론 高速道路를 走行하고 있는 一般 운전자들 중에서도 Standing wave를 모르고 있는 技士들이 많을 것으로 보이며, 또 이러한 現象에 관련되

는 事故를 未然에 防止하는 뜻에서도 本資料는 運轉技士들의 必須知識으로 活用되었으면 한다.

2. Standing wave 란?

(1) 타이어가 車輛에 裝着되어 그 荷重을 떠받치게 되면 屈曲이 생기고 그 部位의 トレ드部(接地部) 및 사이드部가 變形된다.

(2) 그 狀態에서 타이어를 回轉시켰을 경우, 低速일 때의 타이어의 形狀은 타이어의 前後面(接地部의)이 거의 對稱이나, 어느정도 以上으로 高速이 되면 接地部後面의 타이어 變形의 復元에 微小한 차이(遲延)가 생긴다.

(3) 여기서 速度를 더욱 높이면 타이어의 高速回轉으로 인한 接地, 變形의 反復이 變形의 復元보다 빨라서 타이어 周上に 波狀의 變形이 連續적으로 나타나게 된다.

(4) 이 變形은, 실제로는 타이어의 周上을 계속 移動하고 있으나, 接地部 뒤쪽의 一定한 位置에 固定된 波形으로 보이기 때문에, 이 現象을 Standing wave(정지되어 있는 波)라고 한다.

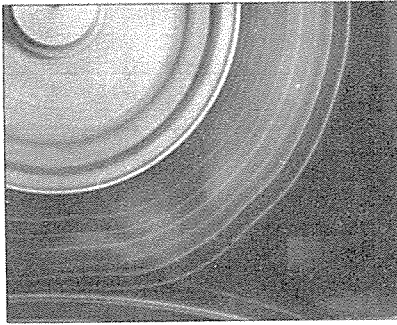
(5) 트럭·버스用 타이어 등 空氣壓이 높은(7.0

타 이 어 의 屈 曲 量

<表 1>

(타이어의 半徑과 靜·動荷重半徑의 差異: mm)

타이어 規格	外 徑 ①	半 徑 ②	靜荷重半徑 ③	動荷重半徑 ④	屈 曲 量	
					②-③	②-④
6.45-13	603	301.5	279	286	22.5	15.5
165SR13	594	297.0	273	286	24.0	11.0



〈寫眞 ①〉 타이어의 接地部 뒷쪽에 나타나는 波狀變形

~8.0 kgf/cm² 타이어의 경우는 變形의 復元力이 클 뿐만 아니라 타이어의 直徑이 크기 때문에 高速인 경우에도 回轉數가 적으므로 Standing wave가 잘 나타나지 않는다.

한편, 乘用車用 타이어의 경우는 空氣壓이 낮고 (1.5~2.0 kgf/cm²), 車輛의 走行速度가 높으므로 이러한 現象(Standing wave)이 나타날 機會가 많다. 특히 Bias 타이어의 경우, 實驗(正規의 空氣壓)에서는 130~150 km/h의 速度에서 發生하고 있다.

(6) Standing wave가 發生하게 되면 타이어의 回轉抵抗이 급격히 增加되어 타이어 溫度가 急上昇하게 되므로 그대로 走行을 계속하게 되면 트레드부의 고무가 chunk out(트레드의 고무가 떨어져 나가는 現象) 되거나 separation(트레드 고무와 카카스의 剝離) 또는 burst(破壞)되는 경우가 있다.

3. Standing wave의 메카니즘

(1) 發生要因

Standing wave의 發生要因으로는 走行速度, 타이어의 空氣壓, 트레드의 볼륨·剛性 및 荷重 등이 있으며, 이들 相關關係는 다음과 같다.

- ① 速度 : 높을수록 일어나기 쉽다.
- ② 空氣壓 : 낮을수록 일어나기 쉽다.
- ③ 트레드볼륨(두께) : 두꺼울(많을)수록 일어나기 쉽다.
- ④ 트레드 剛性 : 낮을수록 일어나기 쉽다.
- ⑤ 荷重 : 무거울수록 일어나기 쉽다.

(2) 臨界速度

Standing wave의 發生要因은 위에서 말한 5가지를 들 수 있으나, 이밖에 타이어 構造와도 密接한 關係가 있으므로, 트레드의 剛性(Radial은 높고, Bias는 낮음) 差異에 따라 算定式도 다르게 되어 있다.

① Bias 타이어의 Standing wave 臨界速度 算定式

* Bias 타이어의 斷面半徑

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{P \cdot r}{\rho \cdot \tan^2 \alpha}} \dots \dots \dots (1)$$

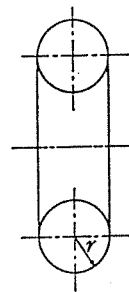
V_{cr} : 臨界速度 (km/h)

P : 空氣壓 (kgf/cm²)

ρ : 트레드의 單位面積當 質量 (kg·s²/cm³)

r : 타이어의 斷面半徑 (cm)*

α : 接地部の 카카스플라이 角度 (°)

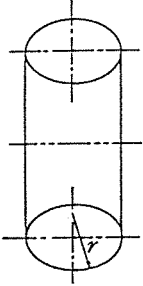


② Radial 타이어의 Standing wave 臨界速度 算定式

Radial 타이어의 카카스플라이의 코드 角度는 거의 一定하게 타이어의 中心으로부터 放射狀으로 配列되어 있고, 또 벨트 層의 角度도 거의 타이어의 回轉方向에 가까운 角度로 配列되어 있으므로, 타이어의 張力分布는 코드의 角度와는 關係없이 斷面의 形狀에 따라 決定되는 것으로 보고 算定式은 다음과 같이 表示된다.

*Radial 타이어의 斷面半徑

$$V_{cr} = \sqrt{\frac{P \cdot r}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{R_m - (R_m^2 - R_u^2) / 2r}{(R_m^2 - R_u^2) / R_m}} \dots (2)$$



V_{cr} : 臨界速度 (km/h)
 P : 空氣壓 (kgf/cm²)
 ρ : 트레드의 單位面積當 質量 (kg·s²/cm³)
 r : 타이어의 斷面半徑 (cm)*
 R_m : 타이어의 半徑 (cm)
 R_u : 타이어의 斷面中心까지의 半徑 (cm)

③ 算定式 (1), (2)에서 算出된 값과 實驗에 의한 값을 比較해 보면 다음 表2와 같다. 여기서 理論値와 實驗値가 近似하다는 것을 알 수 있다.

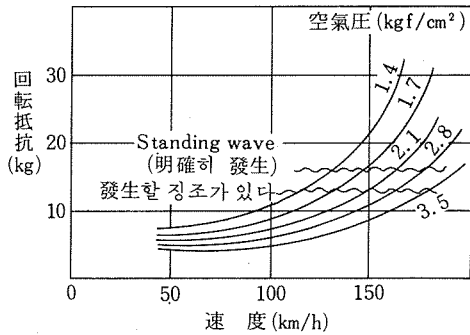
4. Standing wave의 實驗例

Standing wave는 앞에서 說明한 바와 같은 發

生要因과 條件이 겹쳤을 경우에 發生하게 되는데, 여기서는 實驗例로 使用空氣壓이 낮은 乘用車用 타이어를 모델로 하였다.

(1) Bias 타이어의 例

그림 1 및 表3에 의해 Standing wave는 空氣壓이 낮을수록 發生하기 쉽고, 또 臨界速度도 낮다는 것을 알 수 있다.

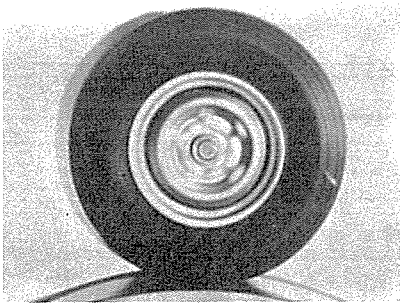


타이어 : 5.60-13 4PR 荷重 : 330kg
 [그림 1] 乘用車用 타이어의 例

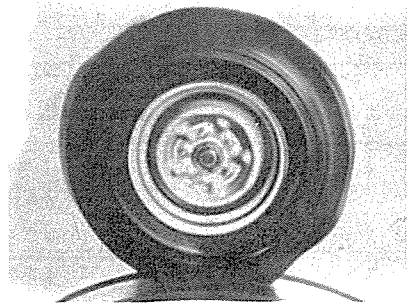
實驗 結果 의 一 覽

<表 2>

타이어 種類	半 徑 (cm)	斷面中心까지의 半 徑 (cm)	斷 面 半 徑 (cm)	트레드의 單位面積當 質量 (kgs ² /cm ³)	接地部の 카카스플 라이角度 (°)	空氣壓 (kgf/cm ²)	臨 界 速 度 (km/h)		
							理論値 (1) 式	理論値 (2) 式	實驗値
Bias 타이어 5.60-13 A	29.3	22.9	7.32	2.07 × 10 ⁻⁶	32.25	3.5	201	—	170~190
						2.8	180	—	150~170
						2.1	155	—	140~160
						1.4	127	—	130~140
Bias 타이어 5.60-13 B	29.3	22.9	7.00	1.90 × 10 ⁻⁶	37.0	3.5	172	—	170~190
						2.8	154	—	150~170
						2.1	133	—	140~160
						1.4	109	—	120~140
Radial 타이어 175 S R 14 A	30.1	24.0	8.30	2.72	—	3.5	—	231	170~190
						2.8	—	207	160~180
						2.1	—	179	150~170
						1.4	—	146	140~160
Radial 타이어 175 S R 14 B	29.8	23.8	8.30	2.66	—	3.5	—	239	180~200
						2.8	—	214	170~180
						2.1	—	186	160~170
						1.4	—	151	140~160



〈寫眞 ②〉



Standing wave의 發生速度와 空氣壓의 關係
〈表 3〉

走行中の 空氣壓 (kgf/cm ²)	Standing wave의 發生速度 (km/h)
1.4	120~140
2.1	140~160
2.8	150~170
3.5	170~190

타이어 : 5.60-13 4PR 荷 重 : 330kg

Standing wave의 發生速度와 空氣壓의 關係
〈表 4〉

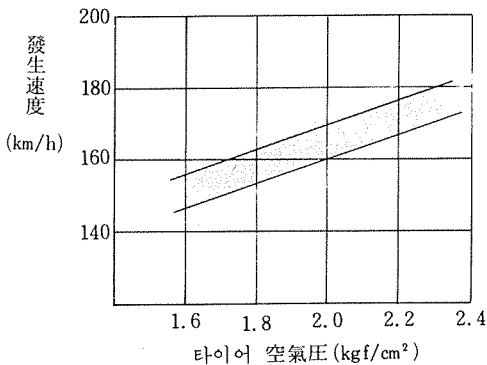
走行中の 空氣壓 (kgf/cm ²)	Standing wave의 發生速度 (km/h)
1.4	140~160
2.1	160~170
2.8	170~180
3.5	180~200

타이어 : 175 SR 14 荷 重 : 495kg

(2) Radial 타이어의 例

Radial 타이어는 그 構造上 트레드 部의 剛性이 높으므로 Standing wave 現象이 트레드 部에서 잘 일어나지 않고, 일반적으로 剛性이 낮은 사이드 部에서 일어나게 된다.

이 實驗例에서도 Bias 構造와 마찬가지로 空氣壓이 낮을수록 Standing wave 現象이 빨리 發生하며, 臨界速度가 낮다는 것을 알 수 있다.

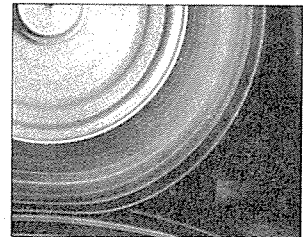


타이어 : 185/70 SR 14 荷 重 : 450kg

〔그림 2〕 Standing wave의 發生速度

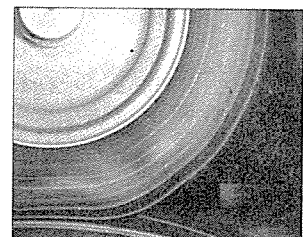
速度 100km/h

空
氣
壓
1.5
kgf/cm²

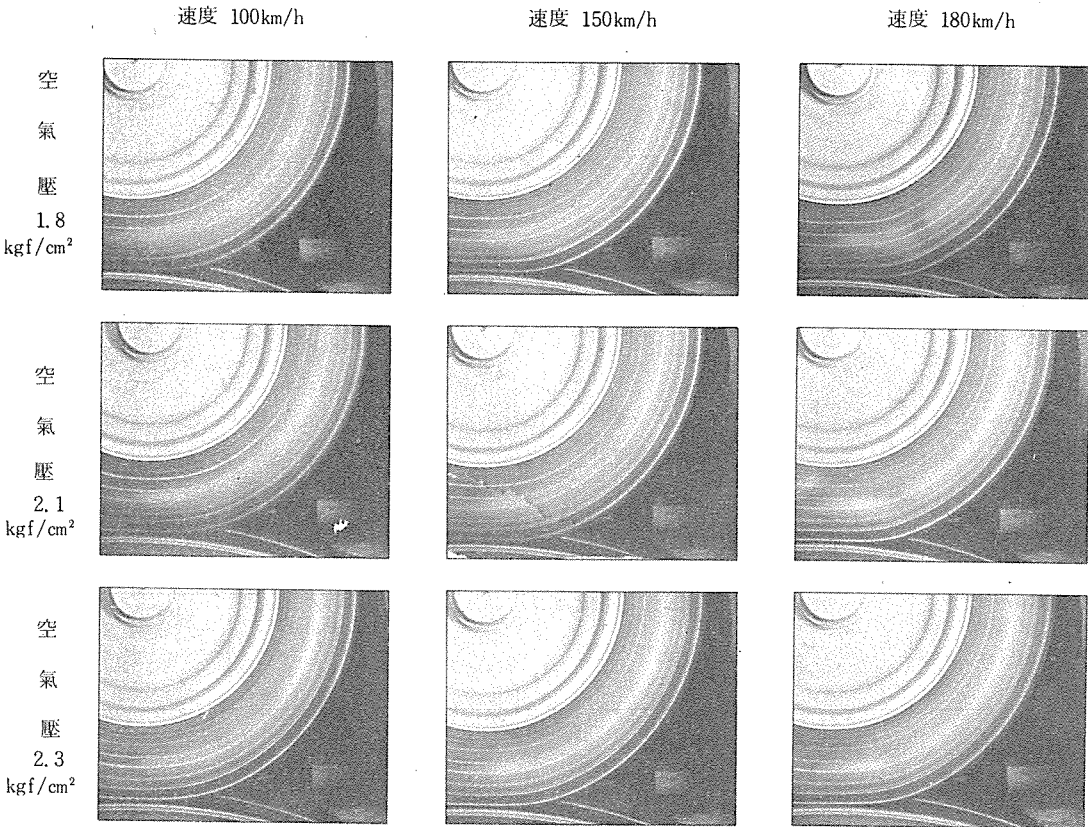


速度 180km/h

空
氣
壓
1.5
kgf/cm²



〈뒷면 계속〉



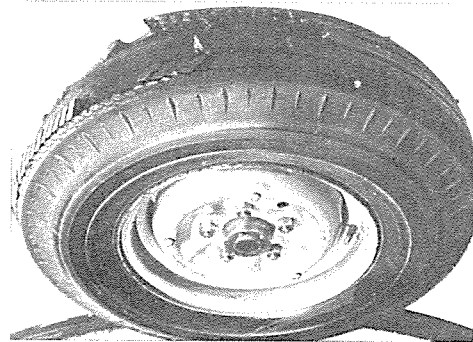
〈寫眞 ③〉 Standing wave 現象의 進行過程

5. 發生時的 現象

Standing wave가 發生하게 되면 타이어의 回轉抵抗이 급격히 增加되며, 따라서 타이어 溫度도 急上昇된다.

이러한 狀態에서 走行을 계속하게 되면 異常한 發熱이나 遠心力에 의해 トレッド 고무가 破壞되어 달아나는 chunk out 現象이나, 타이어 構成材인 고무나 코드의 強度, 接着力 등이 低下되어 separation 또는 burst 에 이르는 경우도 있다.

또한 이러한 現象이 發生하였을 경우, 運轉者가 타이어의 振動이나, 기타의 異常을 感知하기는 어려우나, 加速 페달을 밟아도 車輛의 速度가 增加하지 않을 때(타이어의 回轉抵抗의 增加로 인한 馬力 로스 現象)에는 Standing wave의 臨界速度에 가까운 狀態에 있다는 것을 나타내고 있는 것이다.



〈寫眞 ④〉

6. 豫防處置

Standing wave의 發生要因 등에 대해서는 앞에서 說明하였으나, 여기서는 그 중에서 타이어의 使用, 管理面에 관한 予防對策을 알아보기로 한다. 특히 空氣壓의 管理가 重要하므로 注意하여야

타 이 어 의 最 高 速 度

〈表 5〉

타이어 構造	타 이 어 表 示		最 高 速 度 (km/h)		
	速度記號	速度範圍	림 徑 10	림 徑 12	림 徑 13 以上
Radial	Q	—	160		
	S	SR	180		
	H	HR	210		
Bias	—	“—”	120	140	150
	—	S	150	160	180
	—	H	180	190	200

한다.

(1) 타이어의 選定

高速道路를 利用할 機會가 비교적 많은 運轉者는 Standing wave 發生의 臨界速度가 높은 構造, 材質 및 形狀 등 高速走行性이 좋은 타이어를 選定할 必要가 있다.

① Standing wave 發生의 臨界速度는, 트레드 의 剛性이 높고, 타이어의 變形이 작은 것일수록 높아지나, 構造, 扁平比, 카카스브레커의 角度 및 트레드의 두께 別로 臨界速度를 比較해 보면 다음과 같다.

- 構造 Radial > Bias
- 扁平比 70 시리즈 > 82 시리즈
- 카카스브레커의 角度(圓周方向에 대한) 가감다 > 멀다
- 트레드 두께 얇다 > 두껍다

② 타이어의 最高速度는 構造別, 림徑別로 정해져 있으며, 表 5 와 같다.

(2) 空氣壓의 管理

타이어의 空氣壓은 낮을수록 타이어의 變形은 크고 또 回轉抵抗도 크게 된다. 乘用車用 타이어의 경우, 車輛의 指定空氣壓은 1.7~2.1kgf/cm² 정도 이고, 高速走行에서는 이보다 0.2~0.3kgf/cm² 정도 더 높도록 設定되어 있으나, 高速道路의 利用 및 長距離走行이 많은 運轉者들은 安全度를 미리 높여 두는 것(高速走行의 基準)이 좋다.

7. 綜 合 整 理

高速走行이 一般화된 現在, 타이어에는 Standing wave 등을 抑制시키는 여러가지 對應策을 쓰고 있으나, 走行時의 安全을 確保하기 위해서는 運轉者의 對應, 즉 使用 條件에 맞는 타이어의 選定 및 空氣壓의 管理가 不可缺한 要素이다. 또한 車輛運行前에 타이어 點檢을 충분히 하여 整備狀態의 確認 및 走行中의 異常에 대해서 細心한 주의를 하는 등 安全運轉에 最善을 다하여야 한다.

