

타이어의 水上滑走現象

— Hydroplaning —

協會 李 光 宰

1. 概 要

自動車交通은 全國的인 高速道路網의 整備와 擴張 및 自動車의 性能向上에 따라 高速走行이 一般化되어 가고 있다. 따라서 高速走行時의 重要課題는 무엇보다도 安全性이라 할 수 있다. 그러므로 특히 自動車用 타이어는 車輛과 路面을 結付시키는 유일한 重要保安部品으로서 그 安全對策이 더욱 重要視되고 있다.

타이어의 安全對策은 크게 나누어 다음 두가지 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스립性, Hydroplaning 發生의 防止 등

특히 여기서는 高速走行時 타이어의 特異한 現象으로서, 타이어의 使用, 管理方法과도 밀접한 關係가 있는 Hydroplaning에 대해서 살펴보고자 한다. 실은 高速道路를 走行하고 있는 일반 運轉技士들은 대부분 이 Hydroplaning 現象을 알지 못하고 있기 때문에, 이에 관련된 事故를 未然에 防止한다는 뜻에서도 本資料가 運轉技士들의 必須知識으로 活用되었으면 한다.

2. 하이드로플레인닝 (Hydroplaning) 現象

자동차가 물이 고인 道路를 高速으로 走行할

경우, 어떠한 限界速度以上이 되면 타이어가 물의 抵抗(揚力)에 의해 뜨게 되면서 水面上을 滑走하는 狀態가 되는데, 이 現象은 모터보트나 水上스키와 같은 原理로서 Hydroplaning(水上滑走現象)이라고 한다.

高速走行時에 이러한 現象이 發生하게 되면 타이어와 路面間의 摩擦力이 완전히 상실되어 自動車의 핸들이 마음대로 조종되지 않아 進路修正이 不可能하게 되며, 또 加速 및 制動도 마찬가지로 듣지 않아 走行은 극히 不安定하게 된다.

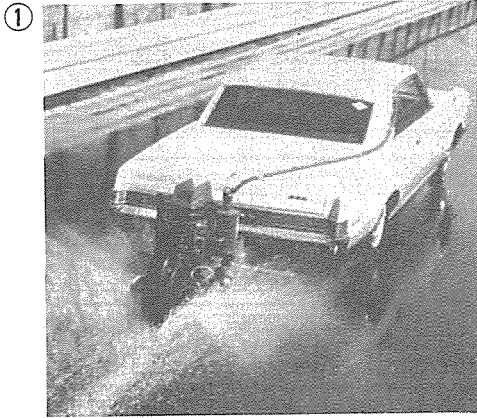
寫眞①~④는 Hydroplaning 實驗을 바로 밑에서 유리窓을 통하여 撮影한 것으로서, 速度에 따른 타이어와 路面과의 接觸狀況을 나타낸 것이다.

3. 타이어의 排水 메카니즘

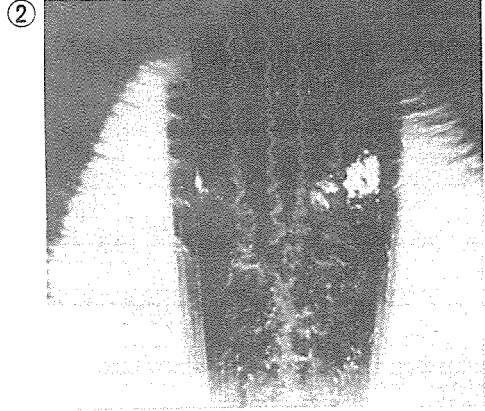
자동차가 물이 고인 道路를 走行할 때 타이어의 トレ드부와 路面의 接觸狀況의 變化는 그림 2와 같다. 그리고 그림 3은 自動車가 走行할 때 타이어의 前面에서 トレ드 밑으로 들어오는 물이 トレ드홈을 통하여 排出되는 狀況을 나타낸 것이다.

① 물이 고인 道路에서 自動車가 走行하게 되면 그림 2의 A部分과 같이 타이어의 앞部分에서 トレ드 밑으로 들어오는 물은 接地壓에 의해서 排出되며 水膜은 점점 얇아진다.

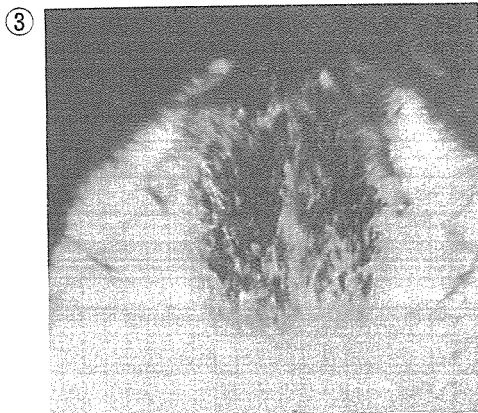
② (A狀態가 進行되어) B로 되면 타이어의 트



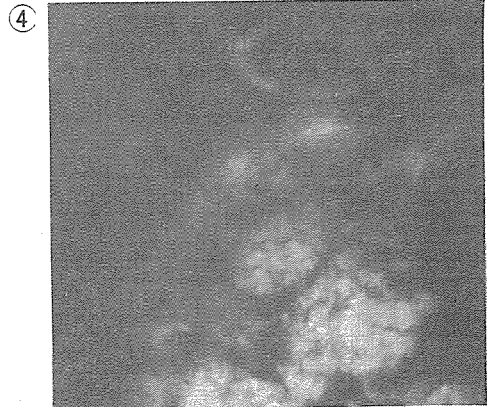
① 磨耗된 타이어를 끼고 젖은 路面을 走行하는 Hydroplaning 實驗



② 〈時速 60km〉 타이어가 잘 보이며, 完全히 接地되어 있는 상태를 잘 알 수 있다.

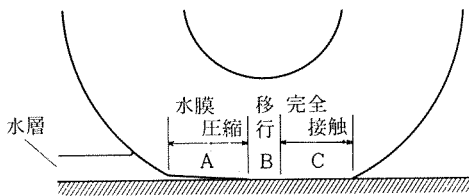


③ 〈時速 80km〉 타이어가 잘 보이지 않으며 Hydroplaning 이 일어나기 시작한다.



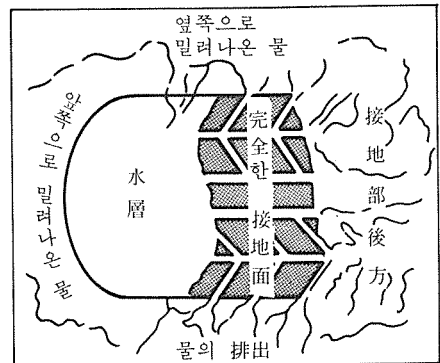
④ 〈時速 100km〉 타이어가 전혀 보이지 않고, 完全히 Hydroplaning이 일어나고 있다.

〔그림 1〕 Hydroplaning의 實驗



〔그림 2〕 물이 고인 道路에서 타이어와 路面의 接觸狀況

레드部和 路面이 처음으로 接觸되며, 서서히 摩擦이 생긴다.



〔그림 3〕 트레드 홈으로 물이 排出되는 狀況

③ 다음에 C로 되면 물이 排除되고 타이어 트레드부와 路面이 완전히 接觸되므로 摩擦力이 생겨서 操舵力, 制動力, 驅動力이 道路에 伝達된다.

④ 그러나 走行速度가 빨라짐에 따라, A, B 部分의 排水能力보다 水量이 많아지게 되면 C의 面積은 줄어들게 된다.

이것은 물의 動的인 揚力이 커지고 있음을 나타내는 것이고, 더욱 速度를 增加시켜 限界에 달하게 되면 타이어는 물의 揚力에 의해 100% 떠받친 狀態가 된다. 이것이 Hydroplaning 現象이다.

4. 發生要因

Hydroplaning은 車輛의 速度, 타이어의 패턴, 트레드홈깊이, 水深 등 各種要因이 關聯되어 발생하게 되나, 여기서는 速度 및 其他要因으로 나누어 살펴보기로 한다.

(1) 速度

① Hydroplaning은 물의 動的揚力에 의해 타이어가 路面에서 떨어지게 하는 作用을 한다. 물의 揚力은 速度의 제곱(2乘)과 流體의 密度 및 힘이 作用하는 面積의 相乘積에 比例한다. 즉, 물의 揚力을 各要素로 分解하면 다음과 같다.

- 速度 高 > 低
- 流體의 힘이 作用하는 密度 大 > 小
- 流體의 面積 大 > 小
- 水深 深 > 淺

또한 Hydroplaning이 發生하는 臨界速度는 앞에서 說明한 流體의 密度에 의한 動水圧과 타이어의 空氣壓에 의한 接地壓力의 關係로 정해지므로 大略 空氣壓의 제곱근(平方根)에 比例

〔表 1〕 Hydroplaning의 發生速度와 空氣壓

타이어의 空氣壓 (kgf/cm ²)	發生速度 (km/h)
1.0	55~65
1.4	65~75
2.1	85~95
2.8	95~105
3.5	105~115

한다.

美國의 NASA(航空宇宙研究所)에서 設定한 實驗式은 다음과 같으며, 타이어의 空氣壓도 密接한 關係가 있다.

$$V_{cr} = 63\sqrt{P} \dots \dots \dots (1)$$

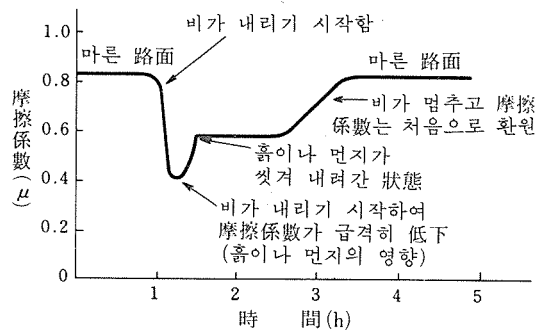
V_{cr} : 臨界速度 (km/h)

P : 타이어의 空氣壓 (kgf/cm²)

이 式에서, 條件대로 한다면 Hydroplaning이 速度 63km/h(空氣壓 1.0kgf/cm²)에서도 充分히 일어날 수 있다는 것을 알 수 있다.

② 실제의 道路上에서는 式(1)에서 구한 臨界速度보다 훨씬 낮은 速度에서도 Hydroplaning이 發生한 例가 있다.

그 특수한 例는 流體의 動水壓에 의하지 않고, 路面이 매우 미끄러운 狀態에서 接地面内の 流體의 粘性에 의한 潤滑效果(粘性이 높을수록 미끄러지기 쉽다)에 의한 것으로 생각된다. 즉, 비가 오기 시작할 때에는 路面의 흙이나 먼지 등이 빗물과 混雜되어 粘性이 높아지는 狀態이므로 路面이 대단히 미끄럽게 되고, 또 비가 오래 계속되면 그 흙이나 먼지 등이 빗물에 씻겨서 粘性이 적은 純粹한 빗물만 있게 되어 도리어 덜 미끄럽게 된다. 路面의 狀態와 摩擦係數의 關係를 보면 表 2, 그림 4와 같다.



〔그림 4〕 비와 路面의 摩擦係數

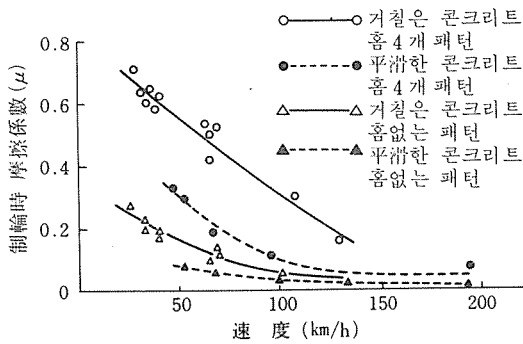
〔表 2〕 路面狀態와 摩擦係數

路面의 狀態		摩擦係數
마 른 路 面		0.8
젖은 路面	砂粒이나 먼지 등이 混雜된 경우	0.4
	砂粒이나 먼지 등이 씻겨진 경우	0.6

(2) 其他要因

① 路面狀態

道路의 表面은 아무리 鋪裝路라 하더라도 完全히 平滑하지는 못하고 약간의 凹凸은 있게 마련이다. 또한 鋪裝材料에서 比較的 粒子가 큰 것을 使用했을 경우에는 摩擦係數도 높고, 타이어와 路面間에는 물이 빠져나갈 길이 있으므로 Hydroplaning은 잘 發生하지 않는다. 이러한 原理는 이미 一部의 高速道路에서는 應用되고 있으며, Raingroove路(道路進行方向으로 홈을 낸 것)라고도 한다.



(그림 5) 路面狀態 및 트레드패턴과 摩擦係數

② 水 深

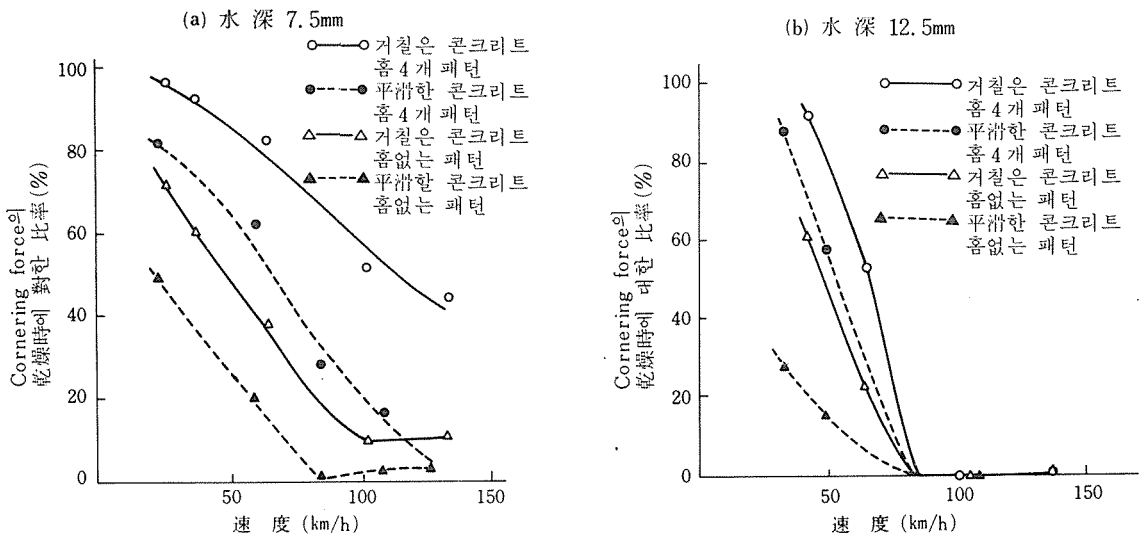
Hydroplaning이 일어나는 最小水深은 路面의 狀態, 排水能力 및 타이어 接地面內에서의 물의 通路의 크기 등으로 決定된다. 즉, 물의 水深은 타이어의 接地面內에서 얼마나 많은 물을 排出하느냐에 따라 定해진다. 또한 타이어의 排水 可能한 水量에도 限界가 있으므로 水深이 깊을수록 Hydroplaning은 低速으로 發生하기 쉽다 (그림 6).

③ 空 氣 压

타이어의 接地壓力는 타이어의 構造 등에 따라 다르나, 주로 空氣压에 의해 決定된다. 空氣压이 클수록 排除하는 水量은 많으며, Hydroplaning 發生도 늦어진다. 乘用車用 타이어의 경우, 空氣压은 1.5~2.0kgf/cm² 정도로 設定되어 있어 트럭·버스용타이어에 比하면 훨씬 낮기 때문에 乘用車에서 Hydroplaning이 더 빨리 發生한다. 그래서 乘用車용타이어의 트레드 部에는 블록의 움직임을 크게 하는 方法(블록의 細分化, 사이핑)이 강구되고 있다.

④ 타이어의 트레드 홈 깊이

타이어가 磨耗되어 홈이 얇아지면, 물이 빠져나갈 길이 減少되어 Hydroplaning이 發生하기 쉽다. 특히 타이어의 홈깊이는 水深과 깊은 關



(그림 6) 路面狀態 및 트레드패턴과 Cornering force

係가 있다. 즉, 타이어의 홈깊이가水深보다도 깊은 경우에는 홈에서 빠져나오는水量이 많으므로 Hydroplaning이 쉽게 빨리 일어나지 않도록 하는 효과가 크지만, 그 反對의 경우에는 Hydroplaning이 빨리 일어나게 되므로 磨耗된 타이어는 使用하지 않아야 한다.

타이어 홈의 效果를 說明할 때에는 競走用 타이어를 많이 例로 들고 있다. 즉, 快晴한 날씨에는 트레드홈이 없는 매끄러운(Slick pattern) 타이어를 使用하게 되나, 비가 오기 시작하여 路面에 물이 고이게 되면 트레드홈이 있는 패턴의 타이어로 交替하여 Hydroplaning을 防止하고, 旋回 및 制動性能을 確保하여야 한다.

5. 發生時的 現象

타이어가 Hydroplaning을 일으키게 되면 다음과 같은 여러가지 現象이 나타나게 된다.

① 車輛의 速度가 增加함에 따라 타이어는 물의 動的인 揚力에 의해 점차 路面에서 떨어지기 시작하여 결국은 路面으로부터 완전히 떨어져 流体의 위로 뜨게 된다.

② 타이어가 아직 완전히 물위로 뜨지 않았을 경우에는 물이 고인 곳으로 突入하여도 Grip 感이 殘存해 있으며,水深이 깊은 경우에는 突入할 때에 상당한 抵抗을 받게 된다. 또한 左右 타이어에서水深이 다를 경우에는 물의 抵抗 때문에 핸들 調整이 마운대로 되지 않고 깊은 쪽으로 핸들이 치우치게 되므로 注意하여야 한다.

③ 타이어가 물위로 완전히 뜬 경우에는 車輛은 마치 水上滑走를 하는 것처럼 미끄럽게 突入하여 操舵力은 거의 없게 된다. 또한 Grip 感覺이 거의 없어지며, 만일 走路에 비스듬히 進入했을 경우에는 이미 핸들의 進路修正도 듣지 않는다. 즉, 커브길에서 이와같은 물이 고인 곳이 있다면, 車輛은 당연히 그대로 滑走하여 道路에서 벗어나고 말 것이다.

④ 타이어가 물이 고인 곳을 벗어나면(또는水深이 급히 얕아진다면), 타이어는 다시 Grip 性を 回復하게 된다. 물이 고인 곳을 走行할 때 車輛의 姿勢를 바로잡기 위하여 핸들을 調整하

게 되면 그 地點에서 갑자기 Grip이 回復되어 車輛은 豫想外로 Spin 또는 蛇行狀態로 되는 경우가 있으므로, Hydroplaning이 發生하였을 경우에는 車輛이 흐르는대로, 즉 핸들을 車輛의 進行方向으로 그대로 두는 수밖에 없다.

⑤ 加速 및 制動도 마찬가지로 反應이 없어지며 다만 水面을 滑走하는데 不過하다. 加速機나 制動機의 페달을 계속 밟고 있으면 Grip이 回復되는 同時에 Spin 되는 경우가 있으므로 注意하여야 한다.

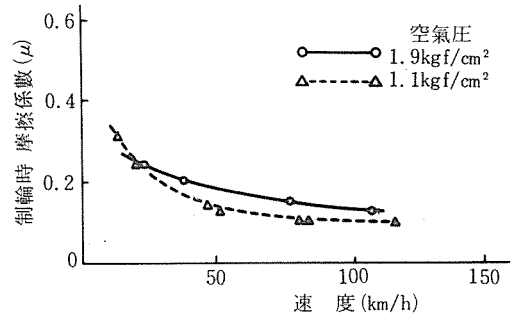
⑥ Hydroplaning이 發生하면 車輛의 컨트롤이 不可能할 뿐만 아니라, 약간의 바람(橫風)만 받아도 그 영향이 커서 매우 不安定한 狀態로 된다.

6. 豫防 措置

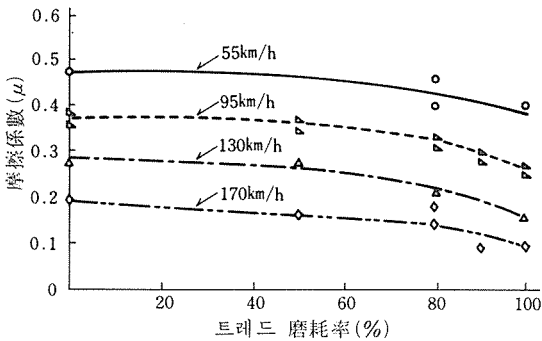
(1) 空氣壓의 管理

타이어 接地部의 물을 排除하는 힘(接地壓力)은 空氣壓에 의해 左右되며, 空氣壓이 높을수록 接地壓力도 增加한다. 특히 많은 물로 심하게 거칠어진 路面에서 Hydroplaning이 發生하는 限界速度는 式(1)과 같이 타이어의 空氣壓과 밀접한 關係가 있다.

한편 比較的 매끄러운 路面에서는 거칠은 路面만큼 타이어 空氣壓에 의한 영향은 적으나 安全性을 考慮하여 車輛指定의 空氣壓을 遵守하는 동시에 高速道路를 走行하는 경우는 0.2~0.3kgf/cm² 增加시킬 必要가 있다(그림 7).



[그림 7] 空氣壓과 摩擦係數



[그림 8] 타이어 磨耗와 摩擦係數

(2) 타이어의 磨耗

트레드 홈이 얇은 타이어는 接地面内에서의 물의 排除가 적으므로 Hydroplaning의 臨界速度는 낮아진다. 따라서 雨天時에 走行하는 경우에는 타이어의 磨耗程度를 감안하여 走行速度에 특히 注意할 必要가 있다. 그리고 磨耗限度(1.6mm)가 넘은 타이어 使用은 嚴禁하여야 한다(그림 8).

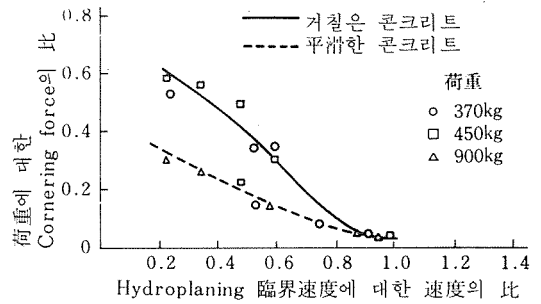
(3) 트레드 패턴의 選定

타이어의 트레드 패턴에서 代表的인 것으로는 Rib型(縱方向의 홈)과 Lug型(橫方向의 홈)이 있는데, 이 중에서도 排水性이 좋은 것은 排水方向이 車輛의 進行方向과 같은 Rib型이다. 또 트레드 패턴 凸部の 局部的인 運動을 크게 하고, 가를 푹니 모양으로 파서(사이핑) 排水性을 높이며, 接地面内에서 홈部分(Negative比)이 많도록 하는 등 패턴을 研究한 타이어가 Hydroplaning을 防止하는 데는 좋다고 한다(그림 5, 6 참조).

(4) 走行速度

물이 고인(水深 2.5mm) 道路를 空氣壓 1.0 및 2.0kgf/cm²로 走行했다고 假定하고 Hydroplaning의 臨界速度를 計算하면 다음과 같다.

- 空氣壓 1.0kgf/cm²에서는 63km/h
- 空氣壓 2.0kgf/cm²에서는 89km/h



[그림 9] 荷重과 摩擦係數

高速道路에서는 最高速度가 規定되어 있으나, 雨天으로 물이 고이게 되면 速度를 充分이 줄이고, 또 바퀴자국 등에 고인 물을 避하는 등 安全走行에 특히 留意하여야 한다.

(5) 路面

일반적으로 代表的인 아스팔트나 콘크리트의 鋪裝路는 比較的 路面이 平滑하나, 路面에는 보통 橫斷勾配가 되어 있어 빗물 등은 路邊으로 흐르게 되어 있다. 그러나 路面에는 바퀴자국이나 局部的인 修理 등으로 물이 고이게 되므로 이런 點을 豫測하고 언제나 避할 수 있도록 安全運轉에 努力하지 않으면 안된다.

7. 結 言

Hydroplaning은 高速走行時에 發生하는 危險한 現象으로 알고 있는 Standing wave와 같이 重要視되고 있으나, 一般的으로 運轉技士들의 認識度는 아직도 낮아서 防止對策이 없어서는 안된다.

특히 高速走行時代인 요즘, 走行의 安全을 確保하기 위하여 本資料가 많이 活用되었으면 한다.

☆ ☆ ☆