

타이어의 科學(4)

— 달림을 떠받치는 技術의 秘密 —

李 德 杓* 譯

4. 그립은 왜 일어나는가?

4.1 그립이란 무엇인가?

車는 타이어가 路面을 그립(grip)하는 것으로 「달리고, 돌고, 설」 수가 있다. 참으로 당연한 이야기인데, 그러면 그립한다는 것은 어떤 일을 말하는 것일까?

타이어는 고무로 되어 있다. 이 고무가 도로표면(路面)과의 사이에서 摩擦을 일으키는 것으로, 타이어는 路面을 꼭 붙잡아 그립할 수가 있는 것이다. 摩擦이란 일종의 抵抗이라고 생각하여도 좋다. 타이어에 생기는 摩擦에는 세가지 종류가 있는데 그 總和가 타이어 그립이 되는 것이다.

摩擦의 첫째는 「凝着摩擦」이라 하여 타이어 트레드 콤파운드(타이어 트레드面 고무配合物)와 路面과의 마이크로 分子結合에 의해서 일어난다. 이것을 「애드히전(Adhesion)」이라고 한다. 타이어가 路面과 닿는 것으로 타이어 트레드고무 分子와 路面을 구성하는 아스팔트鋪裝 分子가 서로 잡아당긴다. 이것이 凝着摩擦이다.

이 分子가 서로 잡아당기는 힘은 고무만이 갖는 特有的 성질이 아니다. 어떤 물질이든 힘의 대소의 차는 있으나 이 凝着摩擦이 있다. 예를 들면 쟁반 위에 컵을 얹어놓고 쟁반을 조금 기울여 보자. 기울기가 아주 적을 때는 컵이 미끄러지지 않고 멈춰 있다. 그것은 쟁반과 컵 사이에서 分子끼리 서로 잡아당겨 凝着摩擦의 힘인 애드히전이 작용하고 있기 때문이다.

타이어는 또 回轉하기 때문에 그 分子끼리의 結合이 떨어지게 되는데 이처럼 떨어질 때 分子는 서로 떨어지지 않으려고 抵抗하게 되므로 摩擦이 생긴다. 凝着摩擦은 타이어에게는 一石二鳥의 摩擦力인 것이다.

둘째 摩擦은 「變形損失摩擦」이다. 이것은 彈力을 갖는 트레드고무가 路面의 凹凸에 따라서 변형하고 변형하기 때문에 발생하는 摩擦이다.

아스팔트 포장된 도로표면은 언뜻 보아 매끄럽게 보이지만 잘 보면 잘게 부서진 작은 모래와 아스팔트가 섞인 상태이며 잘만 서도 凹凸이 있다. 그 凹凸로 타이어 트레드고무가 변형하고 변형된 고무는 원래 모양으로 되돌아가려고 에너지를 쓴다. 그것이 摩擦力이 된다. 이것은 「히스테리시스

* 前 韓國고무學會 會長

損失(hysteresis loss)」이라고 불리고 있다. 고무는 변형하는 것에 의해 에너지를 내놓는다. 그것이 타이어인 경우에는 摩擦로 바뀌어서 路面을 붙잡는 그립력이 되는 것이다.

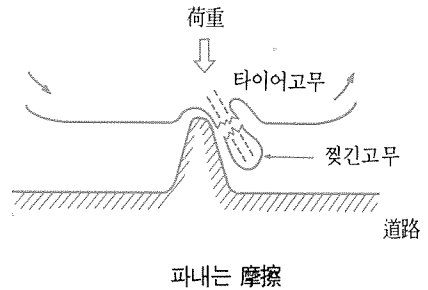
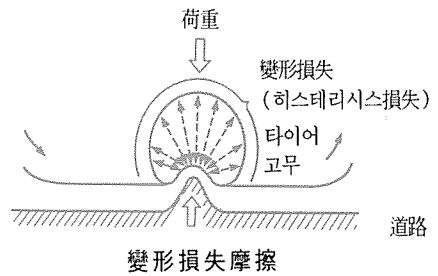
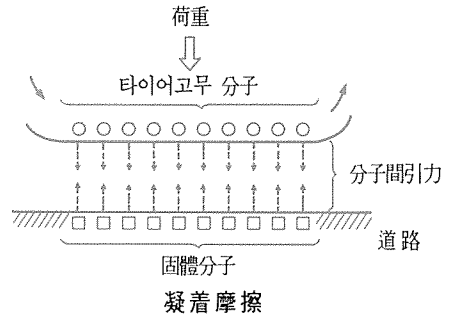
세번째 摩擦로는 道路面과의 접촉으로 타이어고무가 찢겨지거나 꺾여서 일어나는 「파내는 摩擦」이 있다. 彈力を 가진 고무는 凝集力을 가졌는데 고무가 파괴될 때 이 凝集力이 抵抗力으로 작용하여 摩擦力이 발생한다. 타이어는 닳는 것으로 그립을 발생한다고도 말할 수 있다. 스포츠카 따위에 쓰이는 高性能 타이어의 닳음이 빠른 것은 그만큼 그립이 좋다는 증거이다.

이와 같은 세가지 종류의 摩擦力 總和가 타이어 그립이 되는데, 이 중 타이어 그립력으로 가장 큰 영향력을 갖는 것은 두번째로 설명한 트레드 콤파운드가 路面의 영향으로 변형하여 摩擦을 일으키는 變形損失摩擦(히스테리시스 損失)이다.

4.1.1 變形損失(히스테리시스 損失)摩擦

金屬을 변형시키려고 할 때 그 변형하는 모양과 원래 모습으로 되돌아가는 모양은 용수철을 늘렸을 때처럼 왕복이 똑같은 에너지이며 그것이 플러스인가 마이너스인가의 차이뿐이다. 즉, 加해진 에너지와 원상으로 되돌아가려는 에너지가 같다. 한편 粘土와 같이 변형시키면 변형된 채로 원상으로 되돌아가지 못하는 것도 있다. 이 때 加해진 에너지는 粘土가 모두 吸收하여버린 것이 된다.

그 점 고무는 변형한 다음에 다시 原狀으로 되돌아가는데 그 되돌아가는 방식이 金屬인 때와 달라서 우그러뜨렸을 때와 원상으로 되돌아가는 때에 따라 에너지 사용법



이 서로 다른 성질을 가지고 있다. 즉, 플러스 마이너스가 제로가 되지 않고 運動에너지의 일부가 熱에너지로 바뀌는 것이다.

예를 들면 지우개고무를 손톱으로 세게 누르면 그 손톱자국은 곧 되살아나지 않으나 잠시 시간이 지나면 원상으로 회복된다. 눌렀을 때는 곧 우그러졌는데, 되돌아올 때는 시간이 걸린다고 하는 것에 고무의 不可思議性이 있다. 타이어가 鐵道車輪과 달라서 보다 많은 그립을 발생할 수 있는 것도 이 고무의 특징이 열쇠인 것이다.

4.2 코너링 그림

加減速할 때는 타이어가 변형하는 것으로 그림력이 발생하는데 같은 일이 코너링할 때 일어난다고 말할 수 있다.

車는 핸들을 틀어 앞 타이어의 方向을 바꾼대로 돌아간다고 생각들 하지만 사실은 그렇지 않다. 타이어의 方向과 車의 進行方向 사이에는 차이가 있는 것이다. 그러나 그 어긋남이 人間에게는 거의 느껴지지 않는다. 人間은 핸들을 튼 쪽으로 돌아간다고 錯覺하고 있다고 생각하여도 좋다.

그러면 타이어 方向이 車의 進行方向과 어긋나면 어떤 일이 일어나는가? 타이어는 前後方向뿐이 아니고 左右의 橫方向으로도 변형하여 미끄럼을 일으킨다. 미끄럼과 橫方向變形이 일어나는 것으로 코너링중의 遠心力에 견디는 그림력이 발생한다. 그리고 타이어가 路面과 닿아 있는 面積은 비틀려서 조금 작아진다. 그래서 타이어 接地面 모양도 直進時에는 거의 四角形이었던 것이 코너링시에는 三角形으로 바뀐다. 커브에 대해서 바깥쪽이 밀변이 되는 三角形이다. 接地面積은 소위 엽서 크기에서 더 작아져

버린다.

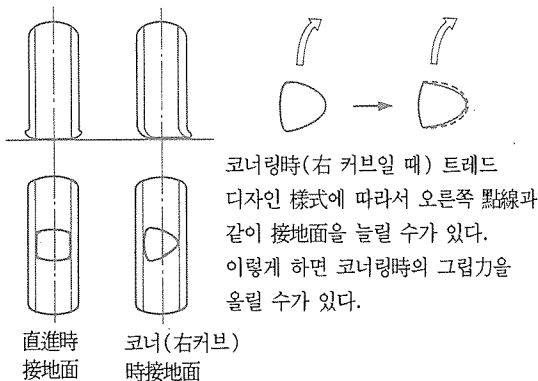
그 작은 面積으로 車를 전진시키기 위한 그림력과 遠心力에 견디기 위한 그림력을 부담하지 않으면 안된다. 그렇기 때문에 커브를 돌 때는 스피드를 떨어뜨리지 않으면 그림이 모자라서 완전히 돌지를 못하게 되어 버리는 것이다.

코너링 스피드를 올리려고 하면 타이어 接地面積을 늘려서 그림력을 더 벌면 된다. 그래서 스포츠카나 레이싱카에서는 타이어의 幅을 넓게 하는 것으로 接地面積을 크게 만들었다.

또 三角形이 된 接地面形狀을 될 수 있는 대로 四角에 가깝게 하는 것으로도 接地面積을 벌 수가 있다. 그러기 위해서 트레드 안쪽 패턴의 디자인을 考案하는 것으로 三角形을 四角形에 近接시키려고 한 타이어도 있다. 예를 들면 코너링 스피드업을 指向하는 偏平타이어중에는 트레드 안쪽의 接地面積을 늘리는 트레드 디자인을 채택하기 위해 左右 非對稱 트레드 패턴으로 만든 것도 있다.

4.3 그림을 높이는 콤파운드

偏平한 스포츠카用 高性能 타이어에는 그림을 높이기 위한 콤파운드(compound, 配合 고무)가 사용된다. 路面의 자잘한 凹凸에 박혀들기 쉬운 부드러운 콤파운드이면 보다 많은 애드히전(타이어와 路面分子의 서로 잡아당김)을 얻을 수 있으며 또 고무 스스로의 변형도 커지므로 히스테리시스에 따른 그림도 큰 것을 얻게 되는 것이다. 예를 들면 高性能 타이어 트레드面을 손톱으로 눌러보면 그 손톱자욱이 깊이 언제까지나 남아 있는 따위의 부드러운 콤파운드가 사용



코너링時 타이어 接地面의 變化

되고 있는 것을 알 수 있다.

한편 그림이 좋은 부드러운 콤파운드는 변형하기 쉬운만큼 굳은 콤파운드보다도 熱을 가지기 쉬워진다. 콤파운드는 高溫이 되면 成分의 일부가 熱로 蒸發하여 彈力을 잃어버리고 끝내는 찢겨 날아가버린다. 이것을 「블리스터(blister)」라고 하고 高速走行에서는 危險한 事故로 연결될 수도 있다.

高速道路를 달린 후에 타이어의 트레드면을 만져보면 따뜻할 것이다. 타이어가 빠른 속도로 회전하였기 때문에 트레드면이 식을 사이도 없이 변형을 되풀이한 증거이다. 그림이 좋은 高性能 타이어는 스포츠카와 같은 高速으로 달리는 車에 裝着되므로 發熱이 안되는 콤파운드가 좋다고 할 수 있다. 즉, 高性能 타이어는 한편으로는 그림이 좋은 부드러운 콤파운드일 것이 要求되고 다른 한편으로는 高速에서도 發熱이 잘 안되는 콤파운드가 필요하게 된다. 이 相反되는 要求를 동시에 充足시킨 것이 「溶液重合法(solution) SBR」이라 불리는 合成고무를 原料고무로 사용한 콤파운드이다.

이 溶液重合法으로 만들어진 SBR은 콤파운드를 構成하는 合成고무(폴리머)의 分子構造를 바꾸는 것으로 고무 性能을 결정하는 三要素인 부드러움, 耐熱性, 그림중 두 가지 要素를 동시에 調節할 수가 있다. 그래서 그림과 耐熱性を 동시에 향상시킨 콤파운드를 사용하면 高性能 타이어가 요구하는 코너링스피드의 速度性이나 加減速의 優秀性(즉, 그림 優秀性)과 高速耐久性(즉, 耐熱性)을 兩立시키는 것이 가능하다.

4.4 눈길(雪道)에서의 그림

눈길에서의 타이어 그림 발생은 이제까지

의 고무 摩擦力과는 또다른 作用에 의해서 얻어진다. 부드러운 눈 위에서는 여간해서 그림력은 발생되기 어렵다.

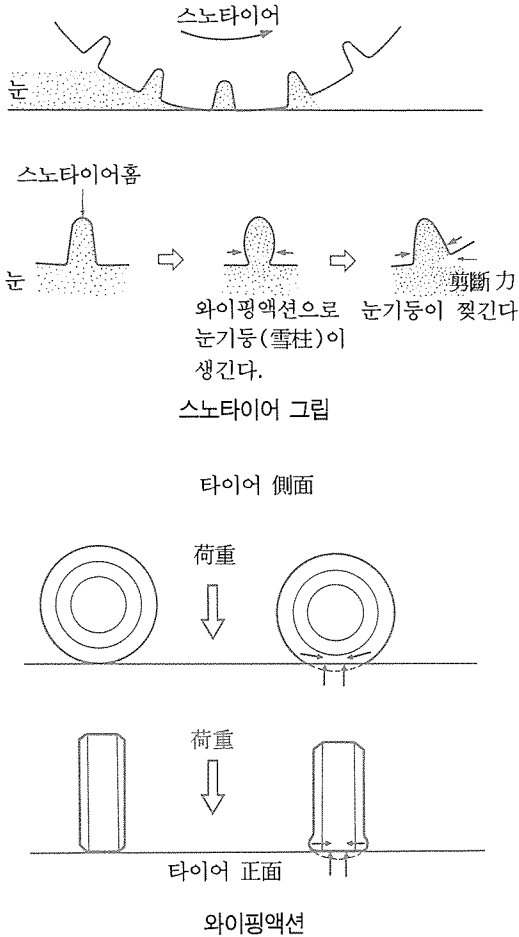
예를 들면 눈싸움에서 눈덩이를 던질 때 단단하게 뭉친 덩이는 멀리까지 날려보낼 수가 있으나 단단하게 뭉치지 않고 던지면 눈덩이는 곧 부서져서 흩어져버린다. 마찬가지로 눈 위에서 타이어가 그림을 얻으려면 먼저 눈을 긁어모아서 뭉치는 일이 急先務다. 그러려면 타이어 트레드면에 조각된 패턴이 威力을 발휘한다.

눈길에서의 그림은 다음과 같이 하여 발생한다. 먼저 타이어 표면에 조각된 가로홈이 타이어가 회전할 때에 눈을 긁어모아가면서 눈을 붙잡는다. 눈을 붙잡은 다음 「와이핑액션(wiping action)」이라 불리는 타이어 收縮運動에 의해서 눈이 뭉쳐진다. 이렇게 뭉쳐진 눈을 「눈기둥(雪柱)」이라고 말한다.

雪柱는 地面에 쌓인 눈과 이어져 있으므로 타이어는 雪柱를 걸림삼아서 前進할 수 있다. 다시 타이어가 회전하면 타이어 가로홈에 끼었던 雪柱는 路面의 눈에서 찢겨나간다. 雪柱는 찢겨나가지만 뭉쳐진 눈은 떨어지지 않으려고 하는 힘을 가지고 있으므로 그것을 타이어가 억지로 잡아떼는 것으로도 그림을 얻고 있다. 實은 그 雪柱를 路面에서 잡아떼는 힘이 눈길에서의 그림력으론 가장 큰 影響力을 갖는다고 한다.

이같은 눈길에서의 그림 발생 메카니즘을 일으키기 위해서는 氣溫이 0℃ 이하의 低溫에서도 柔軟한 作用(즉, 눈을 붙잡아서 뭉친다)을 잃지 않는 트레드고무 개발이 필수조건으로 되어 있다.

4.4.1 와이핑액션



눈길에서 그림에 중요한 작용을 하는 것이 앞에서 설명한 타이어 와이핑액션이라는 작용이다.

타이어는 車를 달리게 하는 일뿐만 아니라 車輛의 무게를 지탱하는 역할도 떠맡고 있다. 따라서 타이어와 路面과의 接點은 理論적으로는 圓과 直線이 交叉한 點接觸일 터인데 실제로는 4바퀴 各各에 車의 무게가 실려서 路面과 接하는 부분에서 타이어는 조금 찌부러져 面으로 接地하고 있다. 그래서 타이어는 圓周方向으로 收縮하는 작용을 하고 橫方向에서도 路面과 接한 부분의 타

이어는 안쪽으로 收縮되고 있다.

타이어가 회전하면 接地面 部分에서 타이어는 收縮하고 떨어지면 늘어나서 또 원래의 상태로 되돌아가는 伸縮運動을 되풀이하고 있다. 이것이 와이핑액션이다. 와이핑액션은 눈길만이 아니고 일반 路面에서도 타이어 그림 발생에 중요한 구실을 하고 있다.

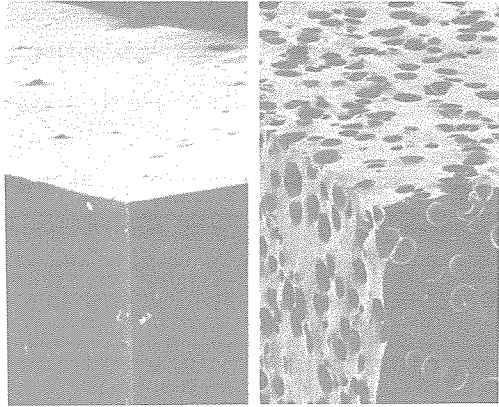
4.4.2 스테르레스 타이어(studless tire)

日本에서도 드디어 스파이크타이어 使用 禁止가 본격적으로 시작되었다. 눈길에서는 타이어 가로홈이 눈을 붙잡는 것으로 그림을 발생시키고 있는 메카니즘은 어느 정도 이해하기 어렵지 않다. 또한 지금까지 사용되어진 스파이크 타이어인 경우에는 트레드 면에 박힌 金屬 스파이크(spike, 징)가 野球나 蹴球에서 쓰이는 스파이크 슈즈와 같이 아이스반 道路(Eisbahn, 氷結路)에 폭 꽃혀서 그림을 얻는다는 것도 쉽게 알 수 있다.

그러나 우리들이 스니커(sneaker, 고무창이 붙은 布靴類)를 신고 걸어도 미끈미끈하여 미끄러질 것 같은 氷板 위에서 스파이크가 없는 스테르레스 타이어는 도대체 어떻게 해서 그림을 발생시키는 것일까?

「건조한 얼음 위에서는 스테르레스 타이어는 제법 그림이 좋답니다」라고 타이어 개발 엔지니어는 말한다. 즉, 건조한 얼음 위라는 것이 중요한 의미를 가지고 있는 것 같다. 그 반대로 젖은 얼음에서는 그림이 발생하기 어렵다는 이야기가 된다.

스니커를 신고 얼음 위에 올라탔을 때 미끄러지는 것은 얼음이 사람의 體重을 받아서 녹아 스니커와 얼음 사이에 얇은 水膜이 만들어지기 때문이다. 예를 들면 피겨스케



일반 타이어 콤파운드(左).스터드레스 타이어 氣泡들이 콤파운드(右). 모두 電子顯微鏡 寫眞임.

이트 날의 斷面은 凹(오목)꼴로 되어 있다. 그리고 양 가 모서리 부분이 날카롭기 때문에 體重으로 스케이트場의 얼음은 세계 짓 늘리고 그 결과 얼음 表面이 녹아서 미끄러 지기 쉬워진다.

스터드레스 타이어가 먼저 해야 하는 일 은 타이어가 얼음 위에 놓여져 1톤 가까운 車輛重量이 걸렸을 때 얼음 表面을 마른 상 태로 유지하는 일이다. 즉, 타이어와 얼음 表面 사이에 생기는 水膜을 재빨리 배제하 는 것이 필요하다.

물을 제거하는 방법으로는 먼저 젖은 (wet) 路面의 排水일 때와 마찬가지로 트 레드면에 홈(groove)을 파서 그 홈은 통해 서 물을 타이어 겉으로 除去하는 방법이 있 다. 「사이프」라고 불리는 가는 칼로 자른 (knif-cut) 홈은 트레드面을 부드럽게 할뿐 만 아니라 얼음 表面의 水分을 빨아들이는 작용을 한다. 그러나 얼음 表面의 자잘한 凹凸을 가려내어 그립을 얻기 위해서는 그 것만으로는 불충분하다. 더 미세(micro)한 水分도 제거할 필요가 있다.

그래서 개발된 것이 氣泡들이 트레드고무

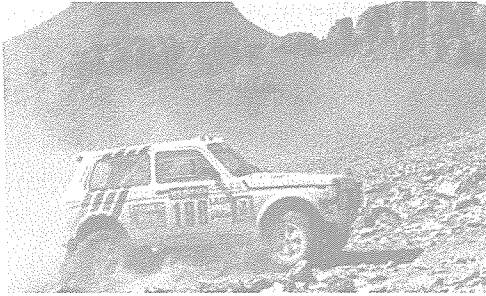
이다. 氣泡라고는 하지만 우리 눈에 보이는 것 같은 큰 氣泡가 아니다. 電子顯微鏡을 使用하여야 겨우 보일 정도의 極微한 氣泡 이다. 이 氣泡 속에 毛細管現象을 이용하여 얼음 表面의 水分을 모두 빨아내려고 하는 企圖이다. 氣泡를 가진 트레드고무를 사용 하면 타이어가 닳아도 氣泡가 이어서 나타 나므로 水分을 빨아내는 機能은 타이어 壽命이 끝날 때까지 계속된다.

그리고 氣泡를 포함한 트레드 콤파운드는 氣泡 가장자리 부분이 칼날과 같이 에지 (edge) 모양이 된다. 이 에지는 물을 낚아 채는 작용도 한다. 즉, 氣泡들이 고무는 水 分을 제거하면서 얼음을 할퀴는 一石二鳥의 작용을 한다.

氣泡들이 고무 이외에 결이 거친 상태의 고무를 사용하는 타이어 메이커도 있으나 그립을 얻기 위한 생각은 같다. 또한 에너 지로 할퀴는 힘을 증가시키기 위해서 호도 겹질(그밖에도 섬유 따위)을 콤파운드에 섞어 넣은 타이어까지 등장해 있다. 호도겹 질이면 金屬인 스파이크보다는 무르고 道路 鋪裝面을 상하게 하지도 않는다. 그뿐 아니 라 自然界에 존재하는 것이므로 地球環境의 으로도 문제가 없다는 말이다. 이것이 스텐 드레스 타이어 그립力 發生 메카니즘이다.

4.5 오프로드(off-road)에서의 그립

오프로드(非鋪裝道)라고 하지만 그 路面 狀況은 가지가지여서 모래땅(砂地), 진창땅 (泥濘地), 흙모래땅(土砂地) 따위로 나눌 수 있다. 그리고 그 各各의 그립 발생 메카 니즘이 다르다. 따라서 한마디로 오프로드 用 타이어라고 하여도 用途에 따라 종류가 다르다.



파리~다칼(Paris~Dakar) 랠리(Max Press 提供)

예를 들면, 파리~르카프 랠리(Paris~Le Cap Rally, 파리와 케이프타운間 아프리카大陸 縱走 크로스컨트리競走)와 같은 沙漠地帶 코스에서 사용되는 경우 트레드면에 스노타이어와 같은 가로홈을 넣으면 모래에 대한 그립은 좋아지지만 그것이 화근이 되어 車를 前進시키기는커녕 모래를 깊게 파 내려가게 된다. 그 상태에서 액셀러레이터를 세게 밟으면 타이어는 모래 속에 더욱 더 가라앉아 파묻혀서 車는 꼼짝 못하게 된다. 따라서 砂地일 때에는 타이어를 모래에 가라앉지 않는 트레드패턴으로 하는 것이 第一條件이다.

具體的으로는 세로홈을 중심으로 한 리브 패턴으로 된 타이어가 좋다. 세로홈에서의 와이핑액션을 이용하여 모래를 붙잡아가면서 세로홈을 통해 모래를 뒷쪽으로 토해낸다. 이것이 砂地에서의 그립 메카니즘이다. 4WD車를 타고서 오프로드用 타이어를 붙였기 때문에 괜찮을 것이라고 하면 沙場을 달리기라도 하면 그 타이어 홈디자인에 따라서는 모래를 파헤쳐서 스탱(stuck, 오도 가도 못함)해버리는 일도 있으므로 주의를 해야 한다.

진흙탕에서는 눈과 마찬가지로 진흙을 움켜잡아 굳히는 것으로 그립력을 발생시켜

車를 前進시키는 힘으로 한다. 다만 문제가 되는 것은 굳힌 진흙이 타이어 홈에 끼인채로 빼낼 수 없게 되어버리는 일이다. 타이어를 겨우 몇번 돌리기만 하면 타이어 홈이 모두 진흙으로 메워져버려 홈이 없는 타이어와 마찬가지로 되어버린다. 그래서 진흙탕용 타이어에서는 진흙을 어떻게 「잡았다 놓아주는가」가 性能決定의 手段이 된다.

진흙탕用 타이어를 잘 보면 트레드면의 홈은 성기고 間隔이 넓은 가로홈이며, 또 홈 表面과 속의 폭이 다른 斷面으로 되어 있다. 홈 斷面이 V字形 傾斜를 이루고 홈 表面쪽은 넓고 속쪽을 좁게 만들어서 接地할 때는 와이핑액션을 이용하여 트레드면



라운드 솔더



스퀘어 솔더

오프로드用 랠리 타이어(上),
下는 라운드와 스퀘어 솔더

收縮運動으로 진흙을 움켜쥐어 다져서 그립을 얻은 후에는 트레드面의 순간적인 늘음運動을 이용하여 그 진흙을 토해내도록 되어 있다. 이같은 일련의 움직임으로 진흙탕길을 走破할 수 있게 된다.

다음에 소위 「더트(dirt)」 또는 「오프로드」라고 불리는 일반적인 土砂길에서는 砂地와 진흙탕 양쪽 性能을 모두 갖춘 타이어가 필요해진다. 그리고 트레드面 各 블록은 土砂를 할퀴는 것으로 그립力を 발생하고 있다. 홈 모서리 부분은 커브를 돌 때에 土砂를 긁어모으면서 거기를 블록 모서리로 쳐서 그립력을 얻는 작용도 하고 있다. 그러기 위해서 더트用 타이어는 트레드面 양 옆이 모가 선 꼴(「스퀘어 솔더」라 함)로 되어 있다.

이것에 대하여 보통 乘用車 타이어는 트레드 兩 사이드를 둥그스름한 形狀(「라운드 솔더」라 함)으로 만들어서 코너링시의 限界特性을 평온하게 만들었다. 즉, 갑자기 그

립을 잃어버리는 일이 없도록 만든 것이다. 그리고 최근에는 오프로드用 4WD車도 高性能으로 되어 하이 스피드로 高速道를 달리게 되었으므로 트레드面 홈은 乘用車用 타이어와 같이 排水性を 重視한 디자인으로 만들어지게 되었다.

오프로드 타이어는 全般的으로 土砂가 트레드 홈을 메우는 것을 피하기 위하여 普通 乘用車 타이어에 비해서 트레드面에서 홈이 차지하는 비율이 높게 되어 있다. 홈과 홈이 아닌 부분과의 面積比率을 「시랜드비(바다(sea)와 물(land)의 비)」라 하는데 오프로드用은 홈 부분이 트레드面 전체의 40% 이상이며, 그 중에는 절반 가까이가 홈인 타이어도 있다. 이에 반대되는 乘用車用 타이어에서는 홈比率이 30~35%로 적다. 그리고 競走(race)用 슬릭타이어(slick tire)에서는 홈이 0이다.

(다음 호에 계속)

여러분의 원고를 기다립니다.

- 종 류 : 타이어산업에 관련되는 국내외 정보 및 자료, 각종 리포트 등
- 원고매수 : 제한없음.
- 마 감 : 홀수달 5일을 원칙으로 하나 수시로 접수
- 원 고 료 : 채택된 원고는 소정의 원고료를 드립니다.
- 보내실곳 : 서울시 강남구 삼성동 159(무역회관 1910호)
대한타이어공업협회 「타이어」지 담당자 앞
- 문 의 처 : TEL : (02)551-1904(이원택 차장)