

# 타이어의 水上滑走(하이드로플레닝) 現象

## 기 술 부

### 1. 머릿말

현재 전국적인 고속도로망의 정비 및 확장과 자동차의 성능이 향상됨에 따라 고속주행이 거의 일반화되어 있다.

이와같은 고속주행시대에서 가장 중요한 과제는 고속주행시의 안정성 추구이며, 특히 자동차용 타이어는 자동차의 중요한 부품이기 때문에 안전대책이 더욱 중요하다.

이 타이어의 안전대책은 다음과 같은 2가지 요소로 크게 나눌 수 있다.

1) 타이어 하나만을 생각할 경우의 공기압 유지, 열에 의한 손상, 스텐딩웨이브 현상 발생방지

2) 타이어와 차량을 하나의 복합체로 생각할 경우의 주행안정성, 조종성, 내슬립(slip)성, 하이드로플레닝(Hydroplaning) 현상 발생방지 등이다.

여기에서는 고속주행시 타이어의 특이한 현상의 하나로서, 타이어의 사용 및 관리방법과도 밀접한 관계가 있는 하이드로플레닝 현상에 대하여 설명하고자 한다.

### 2. 하이드로플레닝(Hydroplaning) 현상

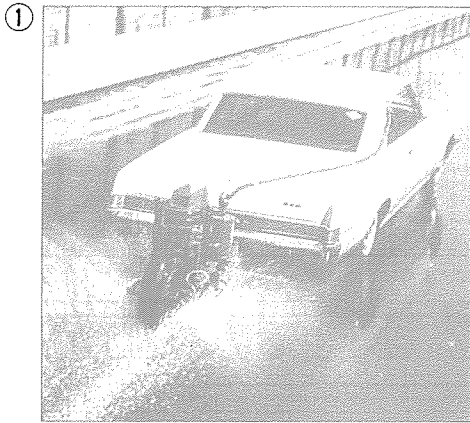
물이 고인 도로를 자동차가 고속으로 주행하는 경우 일정 속도 이상이 되면 타이어가 물의 저항(揚力)에 의해 浮上하여 수면 위를 활주하는 상태가 되는데, 이와같은 현상은 모터보트(motor boat)나 수상 스키(ski)와 같은 원리에 의한 것으로서 이것을 하이드로플레닝(Hydroplaning) 현상이라고 부른다.

이와같은 현상이 발생하면 타이어와 노면간의 마찰력이 완전히 없어져서 자동차의 핸들, 브레이크, 액셀러레이터가 말을 듣지 않아 운전하기가 어려워진다.

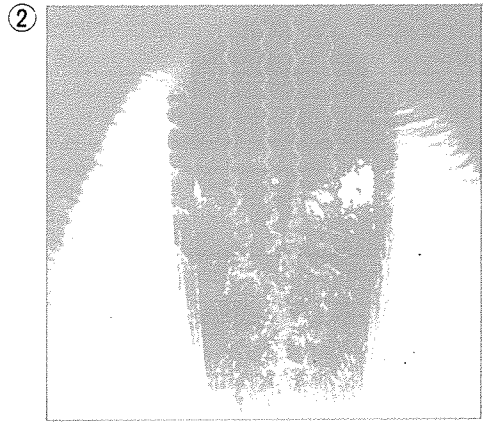
[그림 1]은 하이드로플레닝 실험을 창너머로 촬영한 것으로서 속도에 따라 타이어와 노면의 접촉상황을 나타내고 있다.

### 3. 타이어의 排水 메커니즘

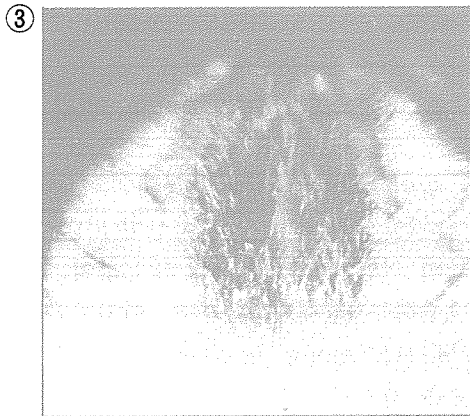
타이어가 물이 고인 도로를 轉動하는 경우 타이어 트레드부와 노면의 접촉상황은 [그림 2]와 같이 변화하는데, 이것으로써 타이어



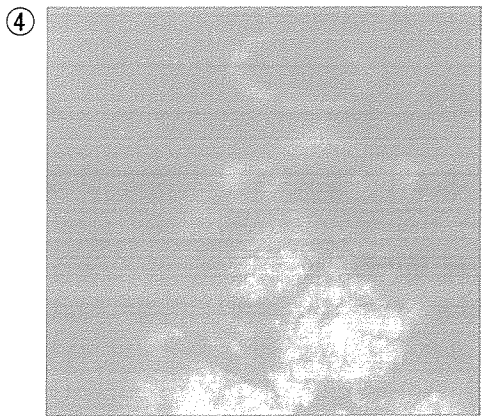
① 다 닳은 타이어를 장착하고 물이 고인 도로를 주행하여 하이드로플래닝 현상을 실험하였다.



② <60km/h>  
타이어가 잘 보인다. 완전히 접지하고 있는 상태를 잘 알 수 있다.



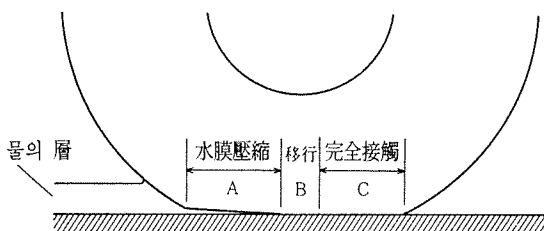
③ <80km/h>  
타이어가 희미해지면서 하이드로플래닝 현상이 발생하기 시작한다.



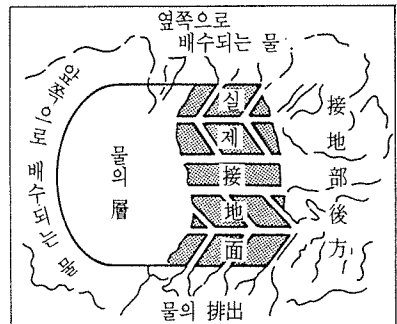
④ <100km/h>  
타이어가 전혀 보이지 않는다. 완전히 하이드로플래닝 현상이 발생하고 있다.

[그림 1] 하이드로플래닝 실험

홈의 배수 메커니즘을 설명하고자 한다.  
또한 [그림 3]은 轉動할 때 타이어 트레



[그림 2] 물이 고인 도로에서 타이어와 노면의 접촉상황



[그림 3]

드부가 지면에 닿은 후 물이 트레드 홈을 통하여 배출되는 상황을 나타낸 것이다.

1) 물이 고인 도로에서 타이어를 轉動시키면 (그림 2)의 A와 같이 트레드부가 지면에 닿은 후 나오는 쪽의 물은 접지압에 의해 없어져 水膜이 점점 얇아진다.

2) (A의 상태가 진행하여) B와 같이 되면 타이어 트레드부와 노면이 비로소 접촉하여 서서히 마찰력이 생긴다.

3) C와 같이 되면 물은 없어지고 타이어 트레드부와 노면이 완전히 접촉하기 때문에 마찰력이 생겨 操向力, 制動力, 驅動力이 도로에 전달된다.

4) 그러나 주행속도가 상승함에 따라 A,B 부분의 배수능력보다 水量이 많아지면 C의 면적은 감소한다.

이것은 물의 動的인 揚力이 커지는 것을 의미하며, 속도를 더욱 상승시켜 그것이 한계에 달하게 되면 타이어는 물의 揚力에 의해 100% 떠받치는 상태가 된다. 그것을 하이드로플래닝 현상이라고 한다.

#### 4. 발생요인

하이드로플래닝 현상은 차량의 속도, 타이어 패턴, 타이어 트레드 홈깊이, 물의 깊이 등 여러가지 요인이 관련되어 발생하는데, 이와 같은 요인들 가운데서 속도 및 그밖의 요인을 구분하여 설명하고자 한다.

##### 4-1. 속 도

1) 하이드로플래닝 현상이란 물의 動的揚力에 의해 타이어가 노면으로부터 뜨는 것을 말한다. 이와같은 물의 揚力은 속도의 제곱과 流體의 密度와 힘의 作用面積의 相乘積에 비례한다.

물의 揚力의 크기를 각 요소별로 보면 아

래와 같다.

가. 주행속도 : 빠를수록 > 느릴수록

나. 流體의 힘의 작용밀도 : 클수록 > 작을수록

다. 流體의 面積 : 클수록 > 작을수록

라. 水 深 : 깊을수록 > 낮을수록

또한 발생임계속도는 앞에서 설명한 流體의 密度에 의한 動水壓과 타이어의 공기압에 의한 接地壓力과의 관계에서 결정되기 때문에 대략 공기압의 平方根에 비례한다.

미국의 NASA(항공우주연구소)가 설정한 실험식은 다음과 같으며, 타이어의 공기압도 밀접한 관계가 있다.

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

$V_{cr}$  = 임계속도(km/h)

$P$  = 타이어의 공기압(kgf/cm<sup>2</sup>)

위의 (1)식에서 조건대로 하면 속도 63km/h (공기압 1.0kgf/cm<sup>2</sup>)에서도 충분히 하이드로플래닝 현상이 발생할 수 있다는 것을 나타내고 있다.

<표 1> 하이드로플래닝 현상의 발생속도와 공기압

타이어의 공기압(kgf/cm <sup>2</sup> )	발생속도(km/h)
1.0	55~ 65
1.4	65~ 75
2.1	85~ 95
2.8	95~105
3.5	105~115

2) 실제 도로상에서는 위의 식에서 얻을 수 있는 임계속도보다 상당히 낮은 속도에서도 하이드로플래닝 현상이 발생한 예가 있다. 이와같은 특수한 경우는 流體의 動水壓에 의한 것이 아니라 노면이 대단히 미끄러지기 쉬운 상황하에서의 접지면내의 流體粘性에 의한 潤滑效果(粘性이 높을수록 미끄러지기

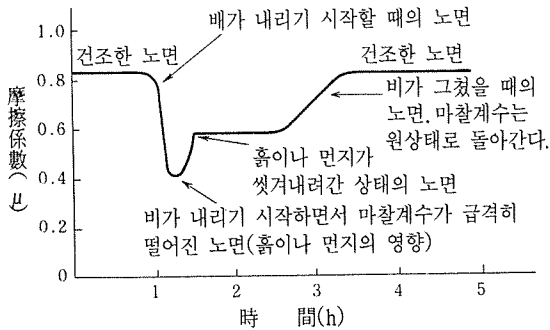
쉬움) 때문인 것으로 생각된다.

즉, 비가 내리기 시작할 때는 노면에 있는 흙이나 먼지 등이 빗물과 혼합되어 粘性이 높은 상태가 되기 때문에 노면은 대단히 미끄럽게 된다. 한편 비가 오래동안 계속해서 내리면 그 흙이나 먼지가 빗물에 씻겨 흘러 내려 粘性이 낮은 순수한 빗물이 되어 반대로 잘 미끄러지지 않는다.

노면의 상태와 마찰계수의 관계를 <표 2>와 [그림 4]에 나타냈다.

<표 2> 노면상태와 마찰계수

노면의 상태		마찰계수
건조한 노면		0.8
젖은 노면	모래나 흙먼지가 섞인 경우	0.4
	모래나 흙먼지가 씻겨내려간 경우	0.6



(그림 4) 비와 노면의 마찰계수

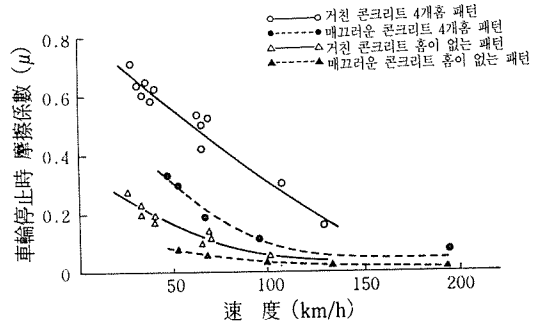
#### 4-2. 기타 발생요인의 영향

##### 1) 거친 노면의 영향

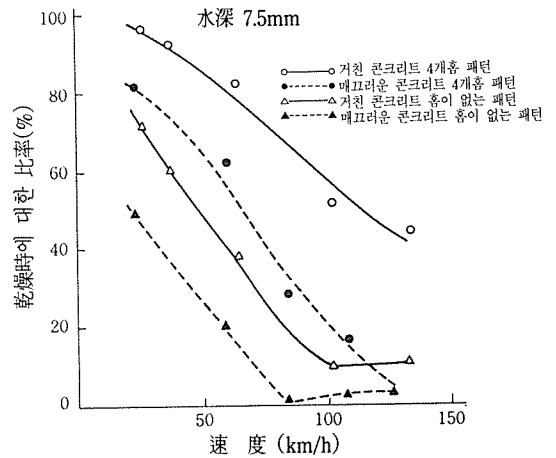
도로의 표면은 포장도로라고 하여도 완전히 매끄럽지 않고 여러가지 형태의凹凸이 있다. 또한 포장재료로서 비교적 입자가 큰 것이 사용된 경우에는 마찰계수도 높고, 타이어와 노면간에 물이 빠져나가는 길이 있기 때문에 하이드로플래닝 현상은 잘 발생하지 않는다.

이와같은 원리는 이미 일부 고속도로에도 응용되고 있으며, 레인 그루브路(lane

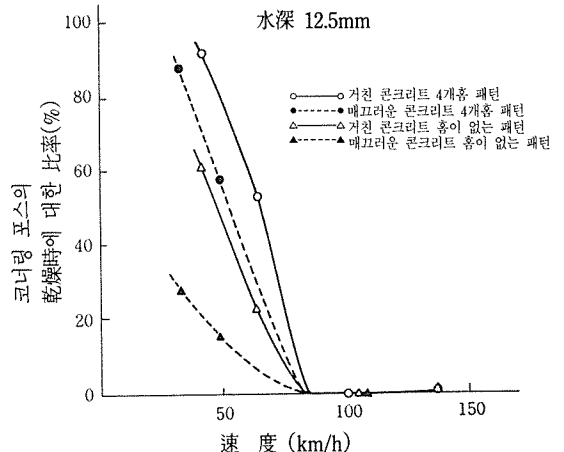
groove ; 도로진행방향에 홈을 설계한 것)가 바로 그것이다.



(그림 5) 노면상태 및 트레드패턴과 마찰계수



(그림 6) 노면상태 및 트레드패턴과 코너링 포스(cornering force)



(그림 7) 노면상태 및 트레드패턴과 코너링 포스

## 2) 물깊이(水深)의 영향

하이드로플래닝 현상을 발생시키는 최소한의 물깊이는 노면의 거칠기, 배수능력 및 타이어 접지면내에서의 물이 빠져나가는 길(통로)이 얼마나 크냐에 따라 좌우된다.

즉, 물깊이는 타이어의 접지면으로부터 어느 정도나 많은 물을 배출하느냐에 따라 결정된다. 더우기 타이어가 배수할 수 있는 물의 양에도 한계가 있기 때문에 물깊이가 깊을수록 하이드로플래닝 현상은 저속에서 잘 발생한다(그림 6~7 참조).

## 3) 공기압의 영향

타이어의 접지압력은 타이어의 구조 등에 따라 다르지만, 주로 공기압에 따라 결정되며, 공기압이 높을수록 배수하는 물의 양도 많고, 하이드로플래닝 현상의 발생도 늦어진다.

승용차용 타이어의 경우 공기압은 1.5~2.0 kgf/cm<sup>2</sup> 정도로 설정되어 있으며, 이것은 트럭 및 버스용 타이어에 비하면 매우 낮기 때문에 승용차용 타이어가 하이드로플래닝 현상이 빨리 발생한다.

이를 방지하기 위하여 승용차용 타이어의 트레드부에는 블록(block) 패턴과 같이 움푹 입을 크게 하는 방법(블록의 細分化 등)을 강구하고 있다.

## 4) 타이어 트레드 홈깊이의 영향

타이어가 마모되어 홈이 얼마 남지 않게 되면 물이 빠져나갈 길(통로)이 적어져서 하이드로플래닝 현상이 잘 발생하게 된다.

이 트레드 홈깊이는 물깊이와 밀접한 관계가 있으며, 타이어의 트레드 홈깊이가 물깊이보다도 깊은 경우에는 홈으로부터 빠져나가는 물의 양이 많기 때문에 하이드로플래닝 현상이 늦게 발생하지만, 그 반대인 경우에는 하이드로플래닝 현상이 빨리 발생하기 때문에 다 닳은 타이어를 사용해서는 안된다.

타이어 홈의 효과를 설명할 경우 그 예로서

경주용 타이어를 많이 설명하고 있다. 즉, 비가 오지 않는 맑은 날씨인 경우에는 트레드 홈이 없는 슬릭(slick) 패턴의 타이어를 사용하지만, 비가 내려 노면에 물이 고이게 되면 트레드 홈이 있는 패턴의 타이어를 갈아끼워서 하이드로플래닝 현상의 발생을 방지하고 또한 旋回, 制動性能을 좋게 하고 있다.

## 5. 발생시의 현상

타이어가 하이드로플래닝 현상을 일으키면 다음과 같은 여러가지 현상이 발생한다.

1) 속도가 증가함과 동시에 타이어는 물의 動的揚力에 의해 점차 노면으로부터 분리되면서 노면으로부터 완전히 떨어져서 流體 위로 뜨게 된다.

2) 타이어가 아직 완전히 뜨지 않았을 때는 물이 고인 도로에 들어가더라도 그립(grip)감은 남아 있으며, 물이 많이 고인 도로에 들어가는 경우에는 어느 정도 저항을 받는다. 좌우의 타이어에 물깊이의 차이가 있으면 물의 저항 때문에 깊은 쪽으로 핸들을 돌리는 일도 있기 때문에 주의해야 한다.

3) 타이어가 완전히 물위에 뜬 경우에는 차량은 마치 물위를 활주하는 것 같이 미끄러져 운전하기가 어렵게 된다. 그립(grip)감은 거의 없고, 만일 走行路에 비스듬하게 진입하였을 경우 이미 핸들을 돌려 진로를 바꾸는 것은 어렵게 된다. 이와같이 물이 고인 도로가 커브길에 있는 경우에는 차량은 그대로 滑走하여 도로로부터 이탈하여 사고가 발생한다.

4) 물이 고인 도로를 지나면(또는 물깊이가 갑자기 얕아지면) 타이어는 다시 그립성을 회복한다. 물이 고인 도로를 주행하다가 차량의 위치를 바로잡으려고 핸들을 많이 돌리면 그립성을 회복하기 위하여 차량이 생각지도 않게 스피ن(spin : 차량의 바퀴가 헛도는

현상) 또는 지그재그로 달리게 되기 때문에 하이드로플래닝 현상이 발생하였을 경우에는 자동차가 가는대로 맡겨둔채 무리하게 핸들을 돌려서는 안된다.

5) 액셀러레이터, 브레이크 모두 제 기능을 발휘할 수 없게 되며 단지 水面을 활주할뿐이다. 액셀러레이터, 브레이크 페달을 밟고 있으면 그립성이 회복됨과 동시에 스핀하는 일이 있기 때문에 주의하여야 한다.

6) 하이드로플래닝 현상이 발생하면 자동차를 운전하기가 어려울뿐만 아니라 약간의 옆바람(橫風)만 받아도 그 영향을 받아 매우 불안정한 상태가 된다.

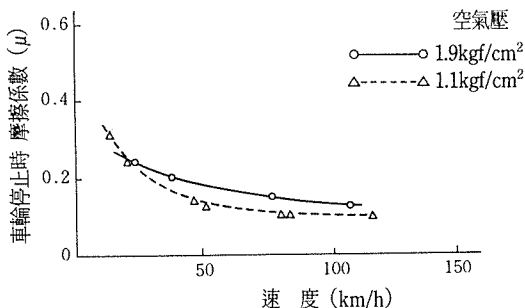
## 6. 예방조치

### 6-1. 공기압 관리

타이어 접지부의 물을 없애는 힘(접지압력)은 공기압에 의해서도 좌우되며, 공기압이 높을수록 접지압력도 증가한다.

특히 많은 양의 물이 고여 있는 거친 노면에서의 하이드로플래닝 현상의 발생한계속도는 식 (1)과 같이 타이어의 공기압과 밀접한 관계가 있다.

한편 비교적 매끄러운 노면이 거친 노면보다 타이어 공기압에 의한 영향을 적게 받지만, 안전성을 고려하여 차량지정공기압을



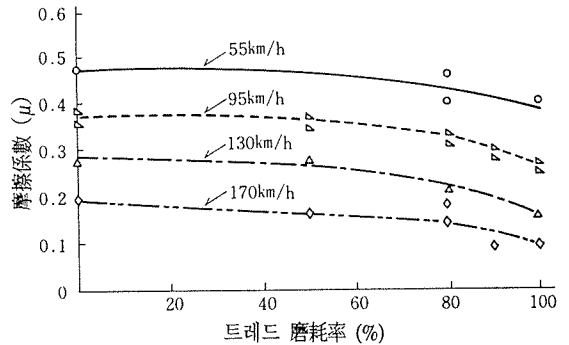
(그림 8) 공기압과 마찰계수

준수하여야 하며, 또한 고속도로를 주행하는 경우에는 0.2~0.3kgf/cm<sup>2</sup>(2.8~4.3lb/in<sup>2</sup>) 정도 공기압을 더 넣어주어야 한다.

### 6-2. 타이어의 마모

트레드 홈깊이가 얇은 타이어(마모가 다된 타이어)는 접지면내에서 배수량이 적기 때문에 하이드로플래닝 현상의 임계속도가 낮아진다.

따라서 비가 올 때 주행하는 경우에는 타이어의 마모정도를 염두에 두고 주행속도에 주의해야 한다. 또한 마모한계 1.6mm 이하(남은 홈깊이)의 다 닳은 타이어는 절대로 사용해서는 안된다(그림 9 참조).



(그림 9) 타이어 마모와 마찰계수

### 6-3. 트레드 패턴의 선정

타이어 트레드 패턴의 대표적인 예인 리브형(Rib : 세로방향으로 홈이 있음)과 러그형(Lug : 가로방향으로 홈이 있음)을 비교하면 차량의 진행방향과 배수방향이 같은 리브형이 배수성이 우수하다.

또한 트레드 패턴 凸部の 局部的인 운동을 크게 하고, 사이프(sipe) 및 접지면내에 홈부분을 많이 넣어 패턴을 여러가지로 함으로써 타이어의 하이드로플래닝 현상을 방지할 수가 있다(그림 5~7 참조).

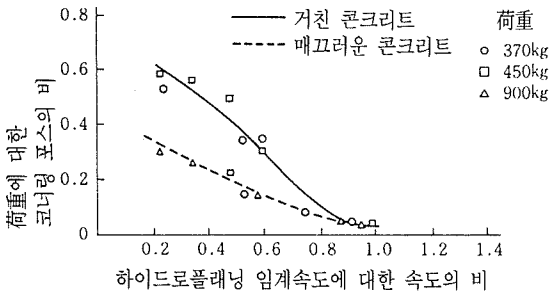
6-4. 주행속도

물이 고인(물깊이 2.5mm) 도로를 공기압 1.0 및 2.0kgf/cm<sup>2</sup>인 타이어로 주행한다고 가정하여 하이드로플레닝 현상의 임계속도를 계산하면 다음과 같다.

가. 공기압 1.0kgf/cm<sup>2</sup>로 63km/h

나. 공기압 2.0kgf/cm<sup>2</sup>로 89km/h

고속도로의 최고속도가 100km/h로 규정되어 있는 경우에도 비가 내려 물이 고여 있을 때에는 속도를 낮추고, 바퀴자국에 물이 고여 있는 곳은 피하여 운전을 하여야 한다.



(그림 10) 하중과 마찰계수

6-5. 노면

아스팔트 및 콘크리트로 포장한 포장로는 비교적 매끄럽지만 일반적으로 노면에는 橫斷勾配가 있기 때문에 빗물 등은 갓길쪽으로 흐르도록 되어 있다.

그러나, 노면에는 바퀴자국 및 부분수리한 곳 등에 물이 고여 있기 때문에 이와같은 곳을 피하여 안전운전을 하여야 한다.

7. 결론

하이드로플레닝 현상은 고속주행시에 발생하는 위험한 현상으로서 스탠딩웨이브 현상과 함께 중요시되고 있지만, 일반 운전을 하는 사람들은 이러한 점을 잘 인식하고 있지 못하여 이에 대한 방지대책을 세워야 할 필요가 있다. 고속주행시대를 맞이한 오늘날 위에서 설명한 내용들을 많이 활용하여 고속주행시대의 안전을 확보할 수 있기를 바란다.

자료 : 일본자동차타이어협회(JATMA)

번역 : 李源善/協會 理事

<39 Page에서 이어짐>

타이어부문은 승용차용이든 트럭·버스용이든 성장률이 높을 것이지만, 교체용 타이어 부문은 1992년도만 못할 것 같다.

물론 신차용 타이어 판매는 자동차 생산량에 달린 것이지만, 작년 수준을 상회할 것으로 보이며, 특히 상용차용 타이어는 더 많이 증가할 것이다. 1993년 8월 22일 현재 미국의 승용차 생산대수는 382만대로서 1992년 동기대비 5.7% 증가하였다. 1992년도 같은 기간에 상용차 생산대수는 304만대로서 1993년도 같은 기간 생산대수보다 22.1%나 적었다. <표 14>는 EIU의 「International Motor Business」에 근거한 것인데, 1993년도에 승용차 생산량은 6.7%, 상용차 생산량은 23%가 증가할 것이고, 1994년도에는 각각 8.2%, 2.2

% 성장할 것으로 보인다. 교체용 타이어 판매량도 늘겠지만 증가세는 둔화될 것이다. 한 전문가에 의하면 승용차용 타이어는 2%, 상용차용 타이어는 3% 신장할 것으로 보았다.

<표 14> 미국의 자동차 타이어 생산 및 판매현황(1989~1994)  
(단위 : 1,000개, %)

종류	연도		1989	1990	1991	1992	1993	1994
	구분							
승용차용	생산량		175,026	174,859	168,580	192,725	197,430	205,860
	판매량	신차용		51,170	47,199	41,859	46,307	49,400
		교체용		151,156	152,251	155,400	165,794	167,880
상용차용	생산량		37,844	35,803	32,811	37,525	39,570	40,160
	판매량	신차용		8,177	7,300	5,756	6,500	8,000
		교체용		32,900	34,400	32,300	32,900	33,550

자료 : EIU Rubber Trends 3rd quarter 1993

번역 : 金 民/協會 業務部長