

# 타이어의 스탠딩웨이브 (standing wave) 현상

## 기술부

### 1. 머릿말

일본의 자동차교통은 전국적인 고속도로망의 정비 및 확장과 자동차 성능의 향상에 따라 고속주행이 일반화되어 1960년대 중반부터는 고속주행의 시대로 돌입하였다.

이 고속주행의 시대에서 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 공기압유지, 열에 의한 손상, 스탠딩웨이브 발생 방지

2) 타이어와 차량을 하나의 복합체로 생각할 경우의 주행안정성, 조종성, 내슬립(slip)성, 하이드로플래닝(hydroplaning) 발생 방지 등이다.

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

### 2. 스탠딩웨이브 현상

1) 차량에 장착된 타이어는 하중을 받으면

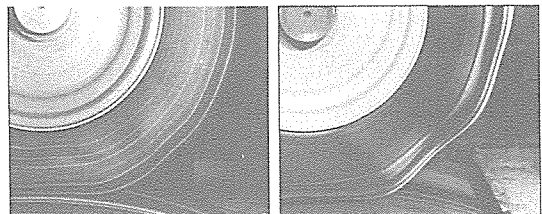
屈伸을 하게 되어 지면에 닿는 트레드부(접지부) 및 사이드부가 변형을 하게 된다.

〈표 1〉 屈伸値(타이어 半徑과 靜·動 荷重半徑의 차이(mm))

타이어 규격	外徑	半徑	靜荷重 動荷重		屈伸値	
			半徑	半徑	半徑(靜荷重半徑)	半徑(動荷重半徑)
6.45-13	603	301.5	279	286	22.5	15.5
165SR 13	594	297.0	273	286	24.0	11.0

2) 이와같이 하중을 받아 屈伸된 상태의 타이어를 轉動시킬 경우 低速일 때에는 타이어의 형상은 타이어가 접지면에 닿는 부분과 접지면으로부터 나오는 부분이 거의 대칭이 된다. 그러나, 일정 속도 이상의 고속으로 되면 접지면으로부터 나올 때 타이어에 발생하였던 변형의 복원이 늦게 되는 현상이 나타난다.

3) 더우기 속도가 빨라지면 타이어는 고속회전을 하게 됨에 따라 타이어 접지부의 변형이 복원되는 것보다 빨리 발생하기 때문에(변형되었던 부분이 복원되기도 전에 다음 변형이 일어남) 타이어 원주상에 波狀(wave)



래디알 타이어

바이어스 타이어

변형이 계속해서 나타난다.

4) 이 변형은 실제로는 타이어의 원주상을 이동하면서 발생한다. 그러나, 접지면에서 나올 때는 일정한 위치에서 멈춘 波形(wave)으로 보이기 때문에 이와같은 현상을 스탠딩웨이브(standing wave)라고 부른다.

5) 트럭 및 버스용 타이어와 같이 공기압이 높은(7.0~8.0 kgf/cm<sup>2</sup> (100 lb/in<sup>2</sup>~114 lb/in<sup>2</sup>)) 경우에는 변형의 복원력이 클 뿐만 아니라 타이어의 직경이 크기 때문에 고속에서도 회전수가 적어서 스탠딩웨이브 현상은 잘 발생하지 않는다.

한편 승용차용 타이어는 공기압이 낮고(1.5~2.0kgf/cm<sup>2</sup>(21kg/in<sup>2</sup>~28kg/in<sup>2</sup>)), 차량의 주행속도도 빠르기 때문에 이와같은 현상이 잘 발생하며, 바이어스 타이어의 경우는 실험결과(적정공기압을 넣었을 경우) 130~150km/hr의 속도에서 발생한다.

6) 스탠딩웨이브 현상이 발생하면 타이어의 회전저항이 급격히 증가하기 때문에 타이어의 온도가 급상승하며, 온도가 상승한 채로 주행을 계속하게 되면 트레드부의 고무가 청크아웃(chunk out : 트레드고무가 큰 덩어리로 떨어져 날라가는 현상)되거나 또는 세퍼레이션(트레드 고무와 카카스가 분리되는 현상) 및 버스트(burst ; 破裂)된다.

### 3. 스탠딩웨이브 발생 메커니즘

#### 3-1. 발생요인

스탠딩웨이브의 발생요인으로는 주행속도, 타이어의 공기압, 트레드의 볼륨(volume), 剛性 및 하중 등이 있으며, 이와같은 요인들의 상관관계는 다음과 같다.

- 가. 속도 : 빠를수록 발생하기 쉽다.
- 나. 공기압 : 낮을수록 발생하기 쉽다.
- 다. 트레드 두께 : 두꺼울수록 발생하기 쉽다.

- 라. 트레드剛性 : 낮을수록 발생하기 쉽다.
- 마. 하중 : 무거울수록 발생하기 쉽다.

#### 3-2. 臨界速度

스탠딩웨이브의 발생요인에 대해서는 앞에서 설명하였지만, 그밖에 타이어 구조와도 밀접한 관계가 있으며, 트레드剛性(래디알은 높고 바이어스는 낮음)의 차이 때문에 계산식도 별도로 정하고 있다.

1) 바이어스 타이어의 스탠딩웨이브 임계속도 계산식

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

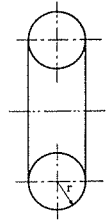
V<sub>cr</sub> : 임계속도(km/h)

P : 공기압(kgf/cm<sup>2</sup>)

ρ : 트레드의 단위면적당 질량(kg · s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

r : 타이어 단면반경(cm)\*

α : 접지부의 카카스플라이 \* 바이어스 타이어의 타이어 단면반경 각도(°)



2) 래디알 타이어의 스탠딩웨이브 임계속도 계산식  
래디알 타이어의 카카스플라이 코드 각도는 거의 일정하여 타이어 중심으로부터 放射狀으로 배열되어 있으며, 또한 벨트층의 각도도 타이어의 회전방향과 거의 같은 각도로 되어 있기 때문에 타이어의 張力分布는 코드 각도와 관계없이 단면의 형상으로 결정되는 것으로 보고 있는데, 그 계산식은 다음과 같다.

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

V<sub>cr</sub> : 임계속도(km/h)

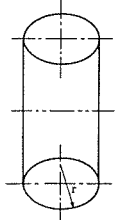
P : 공기압(kgf/cm<sup>2</sup>)

ρ : 트레드의 단위면적당 질량(kg · s<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>)

r : 타이어 단면반경(cm)\*

R<sub>m</sub> : 타이어의 반경(cm)

\* 래디알 타이어의 타이어 단면반경



Ru : 타이어 단면중심까지의  
반경(cm)

3) 계산식 (1) (2)에서 계산한 계산치와 실험을 통해 얻은 실험치를 <표 2>에 나타냈다. 이 계산치와 실험치는 별 차이가 없다.

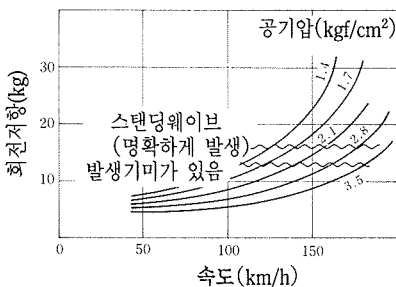
<표 2> 실험결과표

타이어의 종류	반경 (cm)	단면중심까지의 반경 (cm)	단면 반경 (cm)	트레드의 단위면적당 질량(kg/cm <sup>2</sup> )	접지부의 카카스플라이 각도 (°)	공기압 (kgf/cm <sup>2</sup> )	임계속도(km/h)		
							이론치 (1)식	이론치 (2)식	실험치
바이어스타이어 5.60-13 A	293	229	732	207 × 10 <sup>-6</sup>	3225	35	201	-	170~190
						28	180	-	150~170
						21	155	-	140~160
						14	127	-	130~140
바이어스타이어 5.60-13 B	293	229	700	190 × 10 <sup>-6</sup>	370	35	172	-	170~190
						28	154	-	150~170
						21	133	-	140~160
						14	109	-	120~140
래디알 타이어 175SR 14 A	301	240	830	272	-	35	-	231	170~190
						28	-	207	160~180
						21	-	179	150~170
						14	-	146	140~160
래디알 타이어 175SR 14 B	298	238	830	266	-	35	-	239	180~200
						28	-	214	170~180
						21	-	186	160~170
						14	-	151	140~160

4. 스탠딩웨이브의 실험례

스탠딩웨이브 현상은 앞에서 설명한 발생 요인과 조건이 겹치는 경우 발생하는데, 사용공기압이 낮은 승용차용 타이어를 모델로 실험한 결과를 예로 들어 설명하고자 한다.

4-1. 바이어스 타이어의 예



타이어 : 5.60-30 4PR  
하 중 : 330kg

[그림 1] 승용차용 타이어의 예

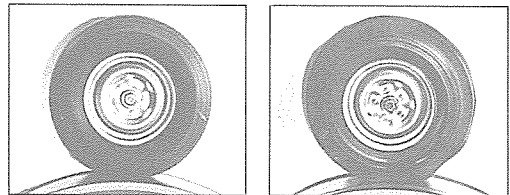
<표 3> 스탠딩웨이브 발생속도와 공기압의 관계

주행중의 공기압(kgf/cm <sup>2</sup> )	스탠딩웨이브 발생속도(km/h)
1.4	120~140
2.1	140~160
2.8	150~170
3.5	170~190

타이어 : 5.60-13 4PR

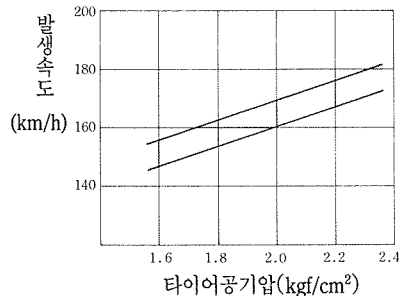
하 중 : 330kg

[그림 1] 및 <표 3>에서 스탠딩웨이브 현상은 공기압 및 임계속도가 낮을수록 잘 발생한다는 것을 알 수 있다.



4-2. 래디알 타이어의 예

래디알 타이어는 그 구조상 트레드부의 剛性이 높기 때문에 스탠딩웨이브 현상이 트레드부에서는 잘 발생하지 않고 剛性이 낮은



타이어 : 185/70SR 14

하 중 : 450kg

[그림 2] 스탠딩웨이브 발생속도

<표 4> 스탠딩웨이브 발생속도와 공기압의 관계

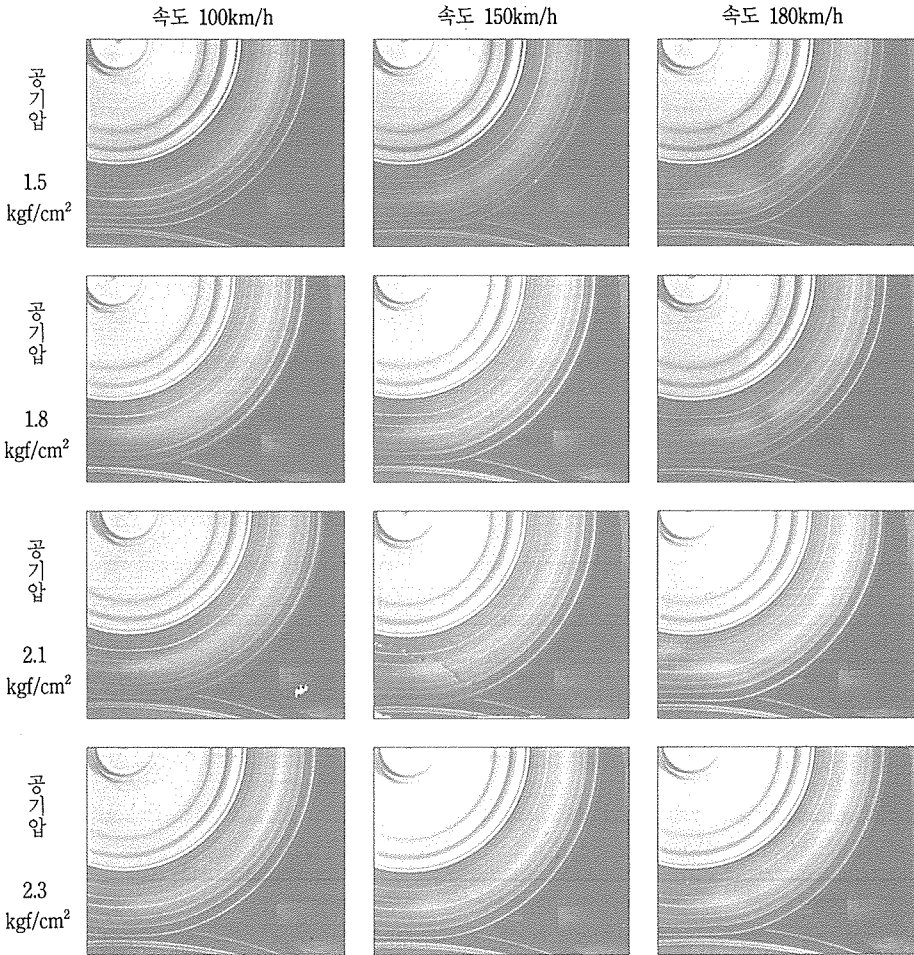
주행중의 공기압(kgf/cm <sup>2</sup> )	스탠딩웨이브 발생속도(km/h)
1.4	140~160
2.1	160~170
2.8	170~180
3.5	180~200

타이어 : 175 SR 14

하 중 : 495kg

사이드부에서 발생하는 것이 일반적이다.  
 실험례에서도 바이어스 타이어와 마찬가지로

로 공기압 및 임계속도가 낮을수록 스탠딩웨이브  
 이브 현상이 잘 발생한다.



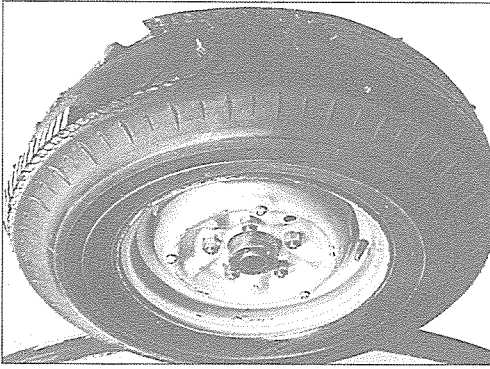
〈스탠딩웨이브 현상이 발생하기까지의 웨이브의 진행과정〉

### 5. 발생시의 현상

스탠딩웨이브 현상이 발생하면 타이어의 회전저항이 급격히 증가하면서 타이어의 온도도 급상승한다. 이러한 상태로 계속 주행하면 이상발열 및 원심력에 의해 트레드고무가 파괴되면서 날아가는 청크아웃(chunk out) 현상이 발생하거나 또는 타이어의 구성재인 고무 및 코드의 강도와 접착력이 저하

되어 세퍼레이션이나 버스트(burst : 파열)된다.

또한 이와같은 현상이 발생하더라도 운전하는 사람이 타이어의 진동이나 그밖의 이상을 감지하기가 어려우며, 액셀러레이터를 밟아도 속도가 생각보다 빨라지지 않을 때(타이어의 회전저항이 증가하는 데 따른 馬力損失現象)에는 스탠딩웨이브 현상이 발생하기 직전상태에 있다는 것을 알아야 한다.



## 6. 예방방법

스탠딩웨이브의 발생요인에 대해서는 앞의 「3. 스탠딩웨이브의 메커니즘」에서 설명하였는데, 이 가운데서 타이어의 사용, 관리면에 관한 예방대책에 대하여 설명하고자 한다. 특히 공기압의 관리가 중요하기 때문에 주의하여 관리하여야 한다.

### 6-1. 타이어 선정

고속도로 운행을 많이 할 경우에는 스탠딩웨이브 발생의 임계속도가 높은 타이어의 구조, 재질 및 형상 등 고속주행성이 우수한 타이어를 선정할 필요가 있다.

1) 스탠딩웨이브 발생의 임계속도는, 트레드剛性이 높고 타이어의 변형이 적을수록 높아지는데, 타이어의 구조, 편평비, 카카스·브레카의 각도 및 트레드 볼륨별로 임계속도를 비교하면 다음과 같다.

가. 구조 : 래디알 > 바이어스

〈표 5〉 타이어의 최고속도

타이어 구조	타이어 표시		최고속도 (km/h)		
	속도기호	속도범위	림경의 호칭	림경의 호칭	림경의 호칭
			10	12	13 이상
래 디 알	Q	-	160		
	S	SR	180		
	H	HR	210		
바이어스	-	"-"	120	140	150
	-	S	150	160	180
	-	H	180	190	200

나. 편평비 : 70시리즈 > 82시리즈

다. 카카스·브레카의 각도(원주방향에 대하여) : 적을수록 > 클수록

라. 트레드 볼륨(두께) : 얇을수록 > 두꺼울수록

2) 타이어의 최고속도는 구조별, 림경별로 다음과 같이 정해져 있다.

### 6-2. 공기압의 관리

타이어의 공기압은 낮을수록 타이어의 변형 및 회전저항이 커지게 된다. 승용차용 타이어의 경우 차량의 지정공기압은 1.7~2.1kgf/cm<sup>2</sup>(24.0~30.0lb/in<sup>2</sup>) 정도이지만, 고속으로 주행할 경우에는 0.2~0.3kgf/cm<sup>2</sup>(3.0~4.0lb/in<sup>2</sup>) 정도 더 높게 넣어주어야 한다.

고속도로를 이용하여 장거리운행을 많이 하는 경우에는 안전운전을 고려하여 고속주행의 기준을 따라주어야 한다.

## 7. 결 론

고속주행이 일반화되어 있는 현재 타이어 회사에서는 스탠딩웨이브 현상을 방지할 수 있는 제품을 만드는 데 많은 노력을 기울이고 있지만, 운전하는 사람들도 운행시 안전운전을 확보하기 위해서는 적절한 대응을 하여야 할 필요가 있다. 즉, 사용조건에 맞는 타이어 선정 및 공기압관리를 철저히 하지 않으면 안된다.

또한 운행 전에는 타이어 선정 및 공기압관리를 철저히 하지 않으면 안된다.

또한 운전을 하기 전에는 타이어 점검을 생활화하고 차량의 정비상태도 확인하여야 한다. 그리고 운행중에도 타이어에 이상이 있는지의 여부를 항상 주의깊게 살펴보면서 안전운전에 세심한 주의를 기울여야 한다.

자료 : 일본자동차타이어협회(JATMA)

번역 : 李源善/協會 理事