

# 차륜의 전동 및 제동 특성

이 창 식\*

## 1. 머리말

자동차의 바퀴는 자동차의 구동력을 전달하는 주요부로서 자동차가 노면에 유일하게 접촉하는 부분이다.

따라서 자동차의 타이어와 차륜의 기능은 우리 인체로 비교하면 발과 신발로 비유될 수 있다. 그러므로 자동차의 승차감을 향상시키고, 조종성, 브레이크 성능을 증진시키고 아울러 차의 진동·소음 등 차량성능과 가장 밀접한 관계를 가지고 있는 것이 타이어이다.

타이어는 우리들이 바라는 곳까지 주행할 때 접지부의 구동력 전달과 아울러 각종 성능 향상에 매우 중요한 성능인자가 되고 있다.

큰 구동력과 하중을 지지하면서 고속회전하는 바퀴는 지면의 형태, 요철 등으로부터 전달되는 충동력과 전동저항을 극복하면서 여러가지 가혹한 조건에서 사용되므로 수만 킬로미터를 달리는 수명을 갖는 부품이다.

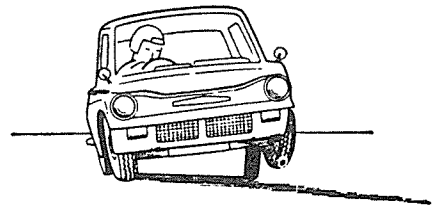
이와 같은 타이어는 주행중 노면의 상태, 주행속도 등에 따라 여러가지 특이한 현상이 발생하는 데 여기서는 몇 가지 중요한 현상의 발생과 자동차에 미치는 영향을 제동성능과 함께 다루기도 한다.

## 2. 주행중에 발생하는 타이어의 여러가지 현상

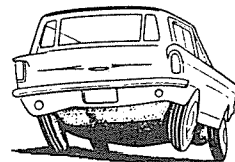
### 2.1 휠 리프트 현상

자동차 주행중에 큰 원심력이 걸리면 자동차의 앞바퀴 또는 뒷바퀴의 안쪽 바퀴가 노면으로부터 떠오르는 현상이 생기는데 이것을 '휠 리프트'(wheel lift) 또는 '바퀴 들어올림 현상'이라 한다.

[그림 1]은 앞바퀴의 휠 리프트 현상을 나타낸 것이고 [그림 2]는 뒷바퀴의 휠 리프트 현상을 나타낸 것이다.



[그림 1] 앞바퀴의 리프트



[그림 2] 뒷바퀴의 리프트

\*한양대학교 공과대학 기계공학과 교수

휠 리프트가 더욱 진전되면 자동차의 두 바퀴 이상이 노면으로부터 떨어져서 지면으로 되돌아오지 않는 상태로 되는데 이 현상을 ‘전복(顛覆)’이라고 한다.

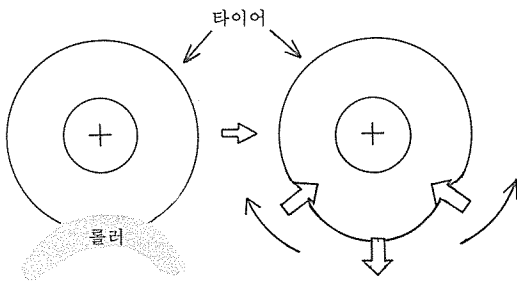
휠 리프트는 자동차의 사고 직전의 상태이나 전복은 그 자체가 사고로 이어진다.

## 2.2 스탠딩 웨이브

고속회전하고 있는 타이어가 어느 속도 이상이 되면 타이어에 발생하는 변형이 접지면을 이탈하여도 완전히 회복되지 못하고 진동적으로 트레드에 전달된다.

스탠딩 웨이브 현상을 알아보기 위하여 다음과 같은 실험을 하여 보기로 한다.

[그림 3]과 같이 타이어의 일부분을 롤러에 밀어붙여서 변형시켰다가 급격히 롤러를 타이어로부터 떼면 타이어의 오목하게 변형된 부분은 처음의 상태로 회복하게 된다. 그러나 이 때 원래의 상태로 돌아오면서 그 인접한 주위 부분이 진동으로 인하여 그림과 같이 물결 모양으로 변형된다. 이 상태를 그대로 두면 타이어에 생긴 진동은 곧 감쇄되어 멈추게 된다. 그러나 롤러를 타이어의 밀어붙인 상태로 회전시키면 물결 모양의 변형은 멈추지 않고 계속하여 발생한다.



[그림 3]

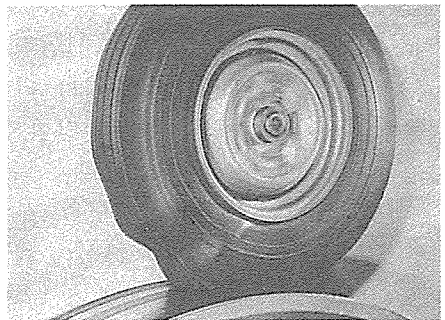
타이어의 회전이 물결 모양의 변형이 전해지는 속도와 같아지면 물결 변형이 존재하는 상태로 롤러가 회전하게 되어 물결 모

양의 변형의 크기는 대단히 커지게 되어 마침내 스탠딩 웨이브가 발생하게 된다. 이러한 현상이 생기면 타이어에 생기는 변형은 더욱 증가하게 되며, 전동저항(轉動抵抗, rolling resistance)이 커져서 이상발열 현상이 수반되어 곧 파괴에 이르게 된다.

이와 같은 현상은 롤러 대신에 평탄한 노면에서도 같은 현상이 발생한다.

이 현상이 생기는 속도는 타이어에 따라서 다르며, 같은 타이어라 하더라도 공기압이 낮으면 더욱 발생하기 쉽다.

[그림 4]는 타이어 시험기에서 200km/h의 속도일 때의 스탠딩 웨이브 현상의 사진을 나타낸 것이다. 이 사진을 보면 이 현상의 존재를 쉽게 이해할 수 있을 것으로 생각된다.



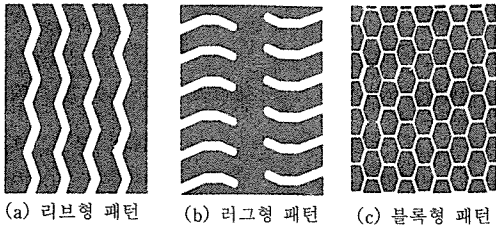
[그림 4] 스탠딩 웨이브 현상의 사진

## 2-3. 타이어 패턴 소음

타이어 트레드에는 패턴(pattern)이라 불리는 오목 볼록 모양의 무늬가 새겨져 있다. [그림 5]는 기본적인 타이어 패턴을 나타낸 것이다.

타이어 패턴은 노면과 타이어 사이의 마찰력(摩擦力, friction force)을 크게 하기 위하여 두는 무늬이다.

그림에서 (a)는 리브형으로서 포장도로를



(그림 5) 타이어 트레드 패턴

고속주행하는 경우가 많은 승용차, 버스, 트럭의 기본형이다.

(b)는 러그형으로서 포장되지 않은 도로에서 강력한 구동력을 얻는 데 알맞는 것으로서 버스, 트럭 등에 사용된다.

(c)는 블록형으로서 마찰력이 강하고 배수성(排水性)이 양호한 특징이 있다. 주로 래디얼 타이어, 스노 타이어에 사용된다.

이상은 주로 기본 패턴을 나열한 것이나 실제로는 이들을 조합한 패턴이 다양하게 설계되고 있다.

이러한 타이어의 무늬 모양은 견인력, 구동력 등에 영향을 미칠뿐만 아니라 타이어 소음(騒音, tire noise)의 주된 원인이 되고 있다.

자동차의 차밖의 소음의 상당한 부분이 타이어 소음이고 그 주원인은 타이어 패턴에 따른 소음이다.

소음 발생 원인은 다음과 같이 설명될 수 있다.

타이어 패턴의 홈(groove) 속의 공기가 접지할 때 압축되어 지면으로부터 떨어질 때 배출되면서 소리가 나게 된다.

이와 같은 소리를 ‘펍핑음’이라 한다. 이음을 감소시키기 위하여 여러가지 타이어 무늬 모양이 연구되고 있다.

## 2.4 하이드로 플래닝

이 현상은 물의 배수가 좋지 않은 고속도로

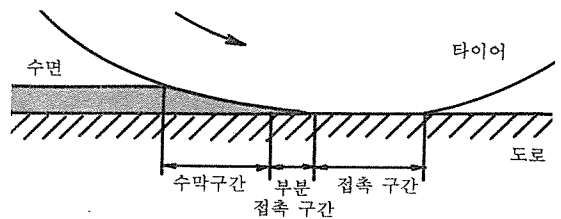
등에 비가 많이 내려서 표면에 물이 고여 있는 경우에 발생하기 쉽다.

빗물이나 물이 고여 있는 도로 위를 자동차가 고속으로 주행하면 타이어와 노면 접지부 사이에 수막이 형성되어 핸들 조작이나 제동 작용이 그 기능을 다할 수 없게 되는 경우가 생기게 된다. 이러한 현상을 하이드로 플래닝 현상이라 한다.

여기서 하이드로 플래닝이란 말은 타이어가 물 위에 떠서 지면과 접촉하지 않는 현상을 말한다.

타이어의 접지 부분을 크게 그리면 (그림 6)과 같다.

그림에서 타이어 접지면은 다음과 같이 세 가지 영역으로 나누어 생각할 수 있다.



(그림 6) 타이어의 접지부분도

### (1) 수막 형성 구간

빗물이나 물이 있는 도로 위를 달릴 때 노면의 빗물이나 물은 타이어의 옆이나 앞쪽의 빈 공간으로 유출하게 된다. 그러나 타이어가 고속회전하게 되면 극히 짧은 시간에 충분히 배제되지 못하고 남아 있는 물이 있게 된다. 이러한 현상이 심해지면 그림의 수막구간과 같이 타이어와 지면 사이에 수막(水膜)이 형성되면서 접촉을 저해하는 현상이 생기게 된다.

### (2) 부분 접촉 구간

수막이 두껍고 고속일 때에는 수막의 앞쪽부분으로부터 물이 췌기 모양으로 들어와서 부분적인 접촉을 저해하는 현상을 초래한다. 그러나 수막이 더욱 두껍고 주행속도가

더욱 고속으로 되면 부분 접촉 구간과 완전 접촉 구간은 없어지게 된다. 이때에는 타이어가 완전히 수막 위에 떠 있는 상태로 되고 만다.

(3) 접촉 구간

이 부분은 타이어가 지면에 완전히 접촉 하는 부분이다.

주행속도가 고속이 되면 앞의 (1)에 상당 하는 수막 구간은 점점 증가하고 부분 접촉 및 완전 접촉 구간은 점차로 짧아지게 된다.

이와 같은 현상이 되풀이되면서 더욱 고속이 되면 마침내 접촉 구간은 없어지고 타이어와 접지면 사이에는 수막층이 생기게 되어 타이어는 완전히 물 위에 떠 있는 것과 같은 상태가 된다.

이렇게 되면 조향작용과 제동작용이 제대로 듣지 않는 이른바 하이드로 플래닝 현상이 생기게 된다.

이러한 현상은 타이어의 설계, 고무 재료, 타이어 공기압 등을 조절 또는 개선시켜서 어느 정도 개선할 수 있으나 완전한 것은 되지 못한다.

따라서 사용자가 마찰력이 감소된 타이어를 사용하지 말도록 하고, 우천시에는 고속도로 등에서 고속으로 주행하지 않도록 운전할 때 세심한 주의를 기울이는 것을 잊지 말아야 한다.

3. 타이어의 유효 반지름과 구동력

3.1 구동력

자동차가 도로를 달리고 있는 것은 자동차의 구동력이 그 주행속도에서 생기는 전주행 저항보다 크기 때문이다.

지금 차의 전주행 저항을  $R$  kg, 자동차가 달리는 속도를  $\bar{V}$  km/h라 하면 그 때의 일량은 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{R\bar{V}}{3.6} = 75 N_E \dots\dots\dots(1)$$

여기서  $N_E$ 는 기관출력이다.

기관의 동력을 구동 타이어까지 전달할 때의 전동효율을  $\eta_t$ 라 하면

$$\frac{R\bar{V}}{3.6} = 75 N_E \eta_t \dots\dots\dots(2)$$

따라서 전주행 저항은

$$R = \frac{270 N_E \eta_t}{\bar{V}} \dots\dots\dots(3)$$

가 된다.

여기서 구동력을  $F$  kg이라 하고, 전주행 저항을  $R$  kg이라 하면

$$F=R=\frac{270}{\bar{V}} N_E \eta_t \text{ kg} \dots\dots\dots(4)$$

가 된다. 즉, 구동력  $F$  kg은 기관 출력  $N_E$  PS에 비례하고, 주행속도  $\bar{V}$ 에 반비례한다.

타이어의 유효 반지름을  $r_0$  m, 기관의 회전속도를  $n$  rpm이라 하면 속도  $\bar{V}$ 는 다음 식으로 표시된다.

$$\bar{V} = 0.377 \frac{r_0 n}{\lambda} \dots\dots\dots(5)$$

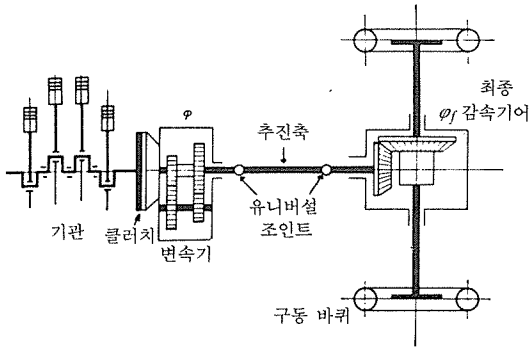
여기서  $\lambda$ 는 비례상수이다.

식 (5)에서 주행속도  $\bar{V}$ 는 타이어 유효 반지름  $r_0$ 이 일정하면 회전속도  $n$  rpm에 비례하고,  $\lambda$ 에 반비례함을 알 수 있다.

일반으로 타이어의 유효 반지름은 타이어의 크기, 종류에 따라 달라진다.

(그림 7)은 동력 전달 과정을 나타낸 것이다. 여기서  $\lambda$ 는 전감속비,  $\phi$ 는 변속기의 감속비,  $\phi_f$ 는 최종감속기어의 감속비이다.

따라서 전 감속비는  $\lambda = \phi \cdot \phi_f$ 로 표시된다.



(그림 7) 동력 전달 장치

지금 구동력을  $F$  kg이라 하면

$$F_s = 270 \eta \frac{N_E}{0.377 \frac{n r_0}{\lambda}} \dots\dots\dots(6)$$

따라서, 이 식을 다시 쓰면

$$F = 716.2 \frac{N_E}{n} \frac{1}{r_0} \eta \lambda \dots\dots\dots(7)$$

또 기관의 회전 토크를  $T_E$  kg m라 하면

$$T_E = 716.2 \frac{N_E}{n}$$

따라서, 식 (7)은

$$F = T_E \frac{1}{r_0} \eta \lambda \text{ kg} \dots\dots\dots(8)$$

즉, 구동력  $F$ 는 전 감속비  $\lambda$ 에 따라서 좌우됨을 알 수 있다.

### 3.2 전 감속비의 설정

자동차에서 주행속도를  $\bar{V}_1$  km/h, 최고구동력을 얻기 위한 전감속비를  $\lambda_1$ , 최고회전력을 내는데 필요한 회전속도를  $n_{tm}$  rpm이라 하면 다음 관계가 성립한다.

$$\lambda_1 = 0.1885 \frac{n_{tm} D}{\bar{V}_1} \dots\dots\dots(9)$$

여기서  $D$ 는 타이어의 유효 지름(=  $2r_0$ )이다.

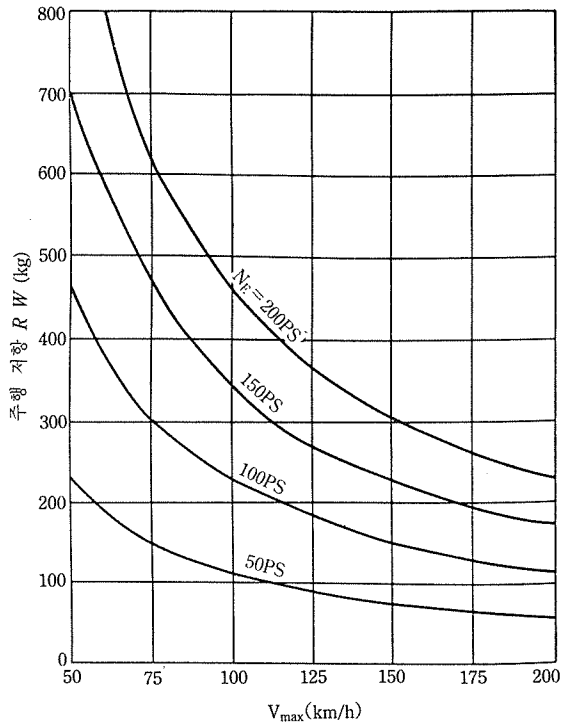
식 (9)에서  $\bar{V}_1$ 의 값은 승용차에서는 15~20 km/h, 트럭은 5~10 km/h, 대형 버스, 트럭의 경우에는 3~5 km/h 정도이다.

자동차가 평탄로 주행에서 도달할 수 있는 최고속도를  $\bar{V}_{max}$  km/h라 하면 최고속도를 내기 위한 전감속비  $\lambda_m$ 은

$$\lambda_m = 0.1885 \frac{n_m D}{\bar{V}_{max}} \dots\dots\dots(10)$$

가 된다.

여기서  $n_m$ ; 최대출력( $N_{Emax}$ )을 내기 위한 회전속도 rpm  
 $D$ ; 타이어 유효 지름



(그림 8) 전주행 저항-최고속도 선도

자동차의 종류에 따라서 다르나  $\bar{V}_{max}$  와  $N_{E_{max}}$  과의 사이에는 다음의 관계가 있다.

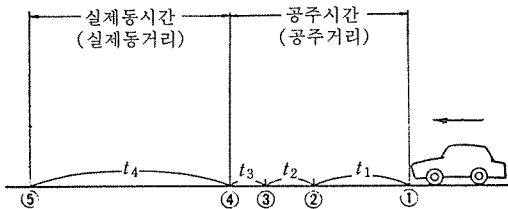
$$\frac{\bar{V}_{max}}{N_{E_{max}}} = \frac{270 \eta_t}{R} \dots\dots\dots(11)$$

[그림 8]은 전달효율  $\eta_t = 0.85$  일 때 전 주행 저항  $R$ 과  $\bar{V}_{max}$  사이의 관계<sup>(1)</sup>를 그래프로 나타낸 것이다.

#### 4. 타이어에 걸리는 제동력과 정지거리

자동차가 주행중에 장애물을 보고 제동의 필요성을 인식할 때까지의 시간, 즉 반응환기의 시간으로부터 제동될 때까지의 시간을 정지시간이라 한다.

자동차가 주행중에 전방에 위험을 느끼고 제동할 때의 공주시간(空走時間)과 실제동시간(實制動時間)과의 관계를 도시하면 [그림 9]와 같다.



[그림 9] 제동의 시간적 경과

##### 4.1 공주시간과 공주거리

운전자가 무엇인가 위험한 사태를 발견하고 제동 동작으로 옮겨서 실제로 제동장치를 작동하기 전까지의 시간으로서 이것을 공주시간, 이 때 달린 거리를 공주거리라 한다.

따라서 공주시간 중에는 자동차가 제동 직전의 초속도를 유지하면서 그대로 주행하므로,

공주거리 = 초속도 × 공주시간  
이 된다.

(1) 반응 시간( $t_1$ ) ; 위험을 인지하고 오른쪽 발을 가속 페달로부터 떼 때까지의 시간

(2) 발 바꿈시간( $t_2$ ) ; 오른쪽 발을 가속 페달로부터 떼어 브레이크 페달로 올려놓을 때까지의 시간

(3) 페달 밟는 시간( $t_3$ ) ; 발로 브레이크 페달을 밟아서 라이닝이 드럼에 접촉하면서 제동력이 발생하기까지의 시간이다. 앞의 시간  $t_1 + t_2 + t_3$ 는 운전자가 제동하고자 하는 의지를 가지고 동작을 개시한 시간이지만 제동효과는 발휘되지 않는 시간이다.

실제의 공주시간은 실험에 의하면<sup>(2)</sup>

$$t_1 \approx 0.38 \sim 0.5 \text{ 초}$$

$$t_2 \approx 0.17 \sim 0.28 \text{ 초}$$

$$t_3 \approx 0.07 \sim 0.15 \text{ 초}$$

$$t_1 + t_2 + t_3 \approx 0.68 \sim 0.93 \text{ 초}$$

정도이다.

또한 발바꿈 시간은 페달 높이, 가속 페달과 브레이크 페달 간격 등에 따라 달라진다.

가속 페달로부터 발을 떼어 브레이크 페달을 밟을 때까지의 시간은 다음 식<sup>(2)</sup>으로도 구할 수 있다.

$$t = 0.20 [1 + (H + 2/28)^{1.03} + (L/40)^{1.44}] \text{ s} \dots\dots\dots(12)$$

여기서,  $H$  ; 가속 페달과 브레이크 페달의 높이 차 cm

$L$  ; 가속 페달과 브레이크 페달의 간격 cm

##### 4.2 실제동시간과 실제동거리

브레이크 페달을 밟아서 라이닝이 드럼에 접촉하여 제동력이 발생하여 자동차가 완전히 정지할 때까지의 시간을 실제동시간이라고 하고, 그 사이에 주행한 거리를 실제동거리라고 한다.

### 4.3 제동거리

제동거리는 도로상황, 속도, 적재중량 및 운전자의 페달 작동력 등에 따라서 달라진다.

지금 차량중량  $W$  kg, 타이어의 마찰계수를  $\mu$ , 제동시의 노면과 타이어에 작용하는 힘을  $F$  kg이라 하면

$$F = \mu W \dots\dots\dots(13)$$

가 된다.

또 감속도를  $\alpha$  m/s<sup>2</sup>라 하면

$$\alpha = \frac{\mu W}{W/g} = \mu g \dots\dots\dots(14)$$

여기서  $g=9.8$  m/s<sup>2</sup>이다.

자동차의 속도  $\bar{V}$  km/h를  $\bar{v}$  km/s로 환산하면

$$\bar{v} = \frac{1000 \bar{V}}{3600} = \frac{1}{3.6} \bar{V} \text{ m/s} \dots\dots\dots(15)$$

가 된다.

초속도  $\bar{v}$  m/s인 차가 평균 감속도  $\alpha$  m/s<sup>2</sup>의

감속도로써 정지할 때까지에 요하는 시간을  $t$ 라 하면

$$t = \frac{\text{초속도}}{\text{감속도}} = \frac{\bar{v}}{\alpha} = \frac{\bar{v}}{\mu g} \text{ s} \dots\dots\dots(16)$$

가 된다.

따라서

$$t = \frac{\bar{V}}{3.6 \mu g} \text{ s} \dots\dots\dots(17)$$

다음에 자동차가 정지할 때까지의 제동거리  $s$  m는 감속도가 일정할 경우 다음 식으로 표시된다.

$$\begin{aligned} \text{제동거리 } S &= \frac{\bar{V}_0 t}{7.2} \\ &= \frac{\bar{V}_0}{7.2} \times \frac{\bar{V}_0}{3.6 \mu g} \\ &= \frac{\bar{V}_0^2}{254 \mu} \text{ m} \dots\dots\dots(18) \end{aligned}$$

한편 제동시의 평균 감속도를  $\alpha_m$ , 제동

<표 1> 제동거리 (m)

| 초속도<br>$\bar{V}_0$ km/h | 평균 감속도 $\alpha_m$ m/s <sup>2</sup> |          |          |         |         |         |         |         |
|-------------------------|------------------------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                         | 1                                  | 2        | 3        | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       |
| 5                       | 0.9645                             | 0.4823   | 0.3215   | 0.2411  | 0.1929  | 0.1608  | 0.1378  | 0.1206  |
| 10                      | 3.8580                             | 1.9290   | 1.2860   | 0.9645  | 0.7716  | 0.6430  | 0.5511  | 0.4823  |
| 20                      | 15.4320                            | 7.7160   | 5.1440   | 3.8580  | 3.0864  | 2.5720  | 2.2046  | 1.9290  |
| 30                      | 34.7220                            | 17.3610  | 11.5740  | 8.6805  | 6.9444  | 5.7870  | 4.9603  | 4.3403  |
| 40                      | 61.7280                            | 30.8640  | 20.5760  | 15.4320 | 12.3456 | 10.2880 | 8.8183  | 7.7160  |
| 50                      | 96.4500                            | 48.2250  | 32.1500  | 24.1125 | 19.2990 | 16.0750 | 13.7786 | 12.0563 |
| 60                      | 138.8889                           | 69.4440  | 46.2960  | 34.7220 | 27.7776 | 23.1480 | 19.8411 | 17.3610 |
| 70                      | 189.0420                           | 94.5210  | 63.0140  | 47.2605 | 37.8084 | 31.5070 | 27.0060 | 23.6303 |
| 80                      | 246.9120                           | 123.4560 | 82.3040  | 61.7280 | 49.3824 | 41.1520 | 35.2731 | 30.8640 |
| 90                      | 312.4980                           | 156.2490 | 104.1660 | 78.1245 | 52.4996 | 52.0830 | 44.6426 | 39.0630 |
| 100                     | 385.8000                           | 192.9000 | 128.6000 | 96.4500 | 77.1600 | 64.3000 | 55.1143 | 48.2250 |

거리를 S라 하면

$$S = \frac{\bar{V}_0^2}{25.92 \alpha_n} \dots\dots\dots(19)$$

여기서  $\bar{V}_0$ 는 제동거리이다.  
한편 공주거리  $S_n$ 은

$$S_n = \frac{\bar{V}_0}{3.6} t_n \dots\dots\dots(20)$$

여기서  $t_n$ 는 공주시간이다.  
〈표 1〉은 초속도와 제동거리와의 관계<sup>(3)</sup>를 나타낸 것이다.

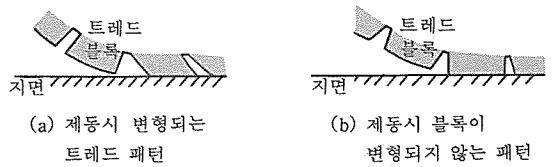
한편 〈표 2〉는 초속도와 마찰계수  $\mu$ 에 따른 제동거리를 나타낸 것이다.

자동차의 제동성능을 높이기 위해서는 브레이크 장치의 성능향상과 더불어 타이어의 트레드 패턴의 설계를 개선하여 브레이크가 걸릴 때에도 변형되지 않도록 하여 제동효과를 높이도록 하는 것이 필요하다.

〈표 2〉 제동거리(m)

| 초속도<br>km/h \ $\mu$ | 0.6   | 0.65  | 0.70  | 0.75  | 0.80  |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 20                  | 2.64  | 2.44  | 2.25  | 2.10  | 1.96  |
| 30                  | 5.80  | 5.50  | 5.50  | 4.70  | 4.44  |
| 40                  | 10.50 | 10.00 | 9.00  | 8.40  | 7.78  |
| 50                  | 16.40 | 15.20 | 14.00 | 13.80 | 12.30 |
| 60                  | 23.60 | 21.90 | 20.10 | 19.00 | 12.70 |

〔그림 10〕은 제동시 트레드 블록의 변형 관계를 나타낸 것이다. (b)와 같이 트레드 블록이 변형되지 않는 타이어가 제동효과가 크다.



〔그림 10〕 제동시의 타이어 트레드 블록

### 5. 맺는 말

이상은 주로 타이어에 발생하는 여러가지 현상과 구동력과 타이어와의 관계, 타이어와 제동거리, 제동성능 향상을 위한 타이어 트레드 패턴, 제동과정과 제동거리에 관련된 사항을 기술한 것이다.

자동차의 성능을 향상시키고 안전주행 성능을 유지하기 위하여는 차륜의 전동 및 제동 관련 성능의 향상과 더불어 동력 전달계, 현가계통 등의 성능 향상이 이루어져야 할 것이다.

특히 자동차의 중량을 지지하면서 전동하는 지면 접촉부의 타이어 패턴은 차량의 주행안정성, 제동특성, 주행소음, 견인성능 향상에 가장 큰 인자가 되고 있다.

이러한 관점에서 주행안정성 향상과 아울러 승차성능이 우수한 자동차를 만들기 위해서는 자동차의 기관 및 동력전달장치의 성능향상과 더불어 차의 진동, 현가성능 및 차륜, 타이어의 성능 향상이 선행되어야 할 것이다.

### 〈참고 문헌〉

1. 大道寺達：自動車工學概論， p.40， 工學圖書(株)
2. 自動車技術會：新編 自動車工學ハンドブック， p.3-32， 1970.
3. 桜井一郎：“制動裝置”，自動車と整備，第27卷 第1號， p.122， 1973.