

# 자동차에 작용하는 힘과 타이어 특성

이 창 식\*

## 1. 머리말

자동차(automobile)는 차체 내의 원동기(原動機, prime mover)를 이용하여 도로 위를 자유로이 주행하는 차량이므로 자동차에 작용하는 힘은 노면과 타이어의 마찰에 의한 힘, 노면 구조에 의하여 발생하는 힘, 주행중에 가해지는 힘 등을 받게 된다. 또한 타이어의 전동시에 발생하는 힘, 모멘트, 전동 저항에 의하여 발생하는 힘, 제동력과 구동력, 선회시에 작용하는 힘, 차체에 걸리는 공기흐름과 압력 등이 작용하게 된다.

자동차는 이와 같은 여러 가지 작용력을 받으면서 구동 바퀴를 회전시켜 주행하게 되므로 이들 작용력과 자동차의 성능과의 관계는 대단히 중요하다. 특히 자동차 성능을 향상시키기 위해서 자동차의 작용력과 타이어의 특성과의 관계를 관련시켜 구동 성능을 향상시키는 것은 최근 자동차의 배기 성능 향상과 승차 안전성 향상을 위하여 매우 중요한 과제가 되고 있다.

이러한 관점에서 여기서는 주로 자동차에 작용하는 힘과 타이어 특성을 중심으로 그 기초 사항과 자동차의 성능과의 관계를 다루어 보기로 한다.

## 2. 자동차에 작용하는 힘

정지하고 있는 자동차를 움직이게 하려면 기관

을 작동시켜 그 동력을 구동 바퀴(驅動輪)에 전하여 주행하게 된다. 자동차가 발진할 때뿐만 아니라 코너링, 정지할 때, 가속이나 감속할 때에도 그때의 운전 조건에 따른 여러 가지 작용력을 받게 된다. 그러므로 이와 같이 자동차에 작용하는 힘이 자동차의 운동에 어떠한 영향을 미치는가를 이해하는 것은 차의 여러 가지 성능을 예측하는 데 매우 중요하다.

일반적으로 자동차에 작용하는 외력(外力)을 분류하면 다음과 같이 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

자동차에 작용하는 외력으로는 타이어를 통하여 노면으로부터 전달되는 힘과 자동차의 차체(車體, body)가 받는 공기력을 들 수 있다.

### 2.1 노면으로부터 전해지는 힘

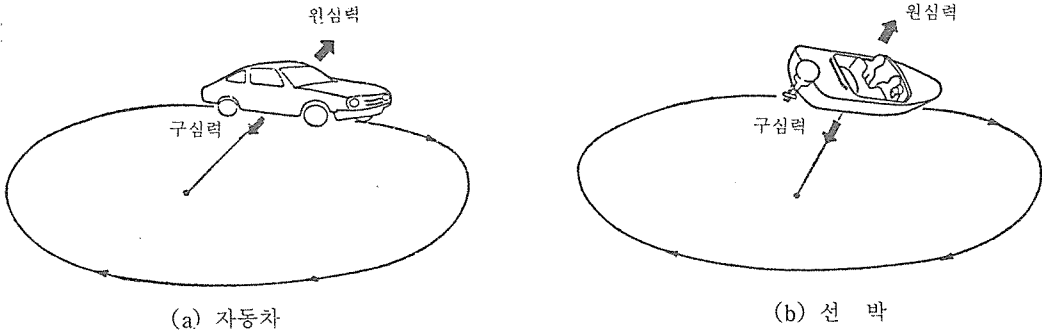
자동차는 발진으로부터 주행, 선회, 정지에 이르기까지 운동하고 있는 상태 모두가 외부로부터 작용하는 힘을 받게 된다. 이러한 힘의 대부분은 타이어와 노면 사이의 접촉에 의하여 전달된다. 이와 같은 이치로 비행기나 배는 공기나 물이 힘을 전하는 매체의 역할을 한다.

[그림 1]은 자동차와 배의 운동과 작용력을 도시한 것이다.

#### (1) 노면과의 마찰에 의한 힘

타이어와 노면과의 접촉에 의하여 발생하는 힘은 자동차 타이어와 노면과의 접촉 상황, 운전 조작 상태 등에 따라 달라진다.

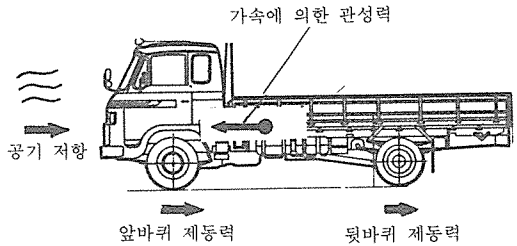
\*한양대학교 공과대학 기계공학과 교수



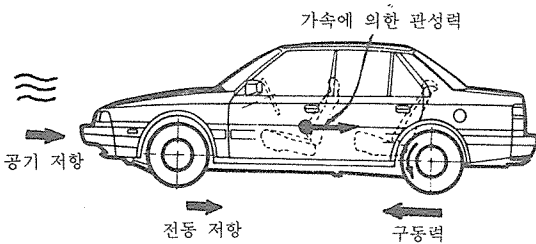
(그림 1) 자동차와 선박의 운동과 작용력

① 자동차의 구동력 : 자동차의 가속 페달을 밟으면 차는 가속되어 속도는 더욱 빨라지게 된다. 이때의 작용하는 힘을 도시하면 [그림 2]와 같다.

가속할 때에는 기관의 회전 토크가 타이어에 전달되어 타이어 접지부에서는 주행 방향으로 진행하게 된다. 가속시에 작용하는 힘은 구동력(driving force)에서 전동 저항(轉動抵抗, rolling resistance)과 공기 저항(air resistance)을 뺀 값으로 표시된다.



(그림 3) 제동시의 작용력



(그림 2) 가속할 때 작용하는 힘

즉, 가속에 사용된 힘  $F_a$ 는

$$F_a = F_D - F_R - F_{air} \dots \dots \dots (1)$$

가 된다. 여기서  $F_D, F_R, F_{air}$  는 각각 구동력, 전동 저항, 공기 저항이다.

② 제동력 : 브레이크 페달을 밟으면 자동차는 속도가 저하하면서 감속되고 마침내는 정지하게 된다. 운전자가 제동을 걸면 바퀴에는 [그림 3]에 표시된 것과 같이 차를 뒷쪽으로 당기는 제동력이 작용하게 된다.

자동차를 감속시키는 데 소요되는 힘  $F_r$ 은 제동력  $F_B$ 와 공기 저항  $F_{air}$ 의 합으로 표시된다.

$$F_r = F_B + F_{air} \dots \dots \dots (2)$$

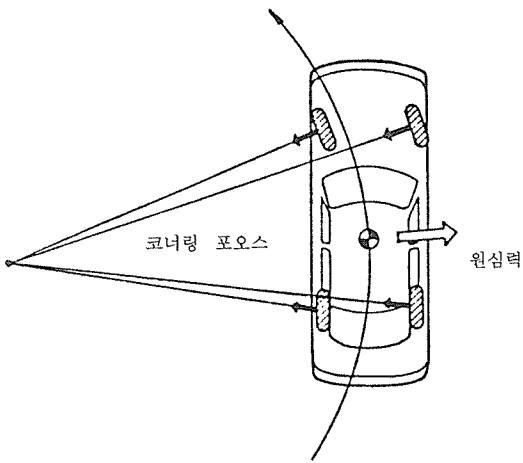
③ 코너링 포오스 : 자동차가 선회할 때에는 차가 도로로부터 바깥쪽으로 이탈하는 것을 방지하기 위한 힘이 각 타이어와 노면 사이에 발생한다.

즉, 앞바퀴와 뒷바퀴에 작용하는 힘의 크기에 따라서 자동차가 코너링할 때의 작용력은 달라지게 된다.

자동차에 걸리는 원심력을 유지하려는 힘  $F_c$ 은 앞뒤 바퀴의 코너링 포오스  $F_{fc}, F_{rc}$ 의 합으로 표시된다.

$$F_c = F_{fc} + F_{rc} \dots \dots \dots (3)$$

[그림 4]는 자동차가 코너링할 때의 작용력을 도시한 것이다.



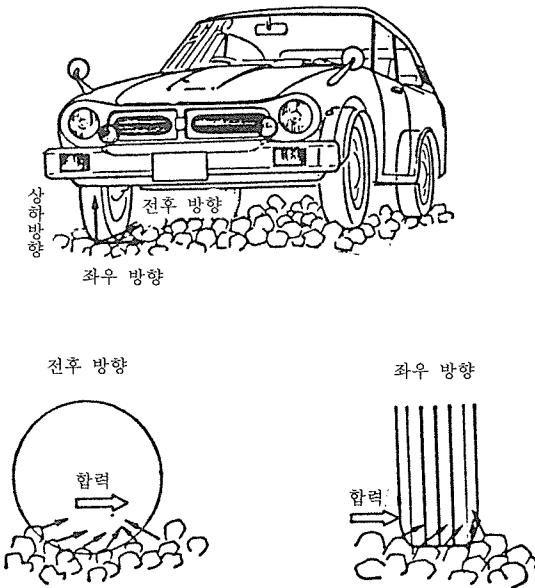
(그림 4) 코너링할 때의 작용력

(2) 노면 요철에 의한 힘

도로의 노면 상태에 따라 자동차 타이어에 걸리는 외력의 크기는 달라진다.

자동차에 작용하는 외력의 크기나 방향은 노면의 상태, 자동차의 속도, 타이어의 사이즈 등에 따라 변화한다.

② 상하 작용력 : 타이어의 서스펜션 시스템을 통하여 차체로 전달되는 힘으로서 (그림 5)와 같이



(그림 5) 노면으로부터 차체에 작용하는 힘

표시된다. 노면으로부터 전달되는 힘 중에서 상하 방향의 작용력은 자동차의 내구성, 진동 승차감 등에 영향을 미치는 힘이며, 이것은 서스펜션의 구조, 타이어의 종류에 따라서도 크게 달라진다.

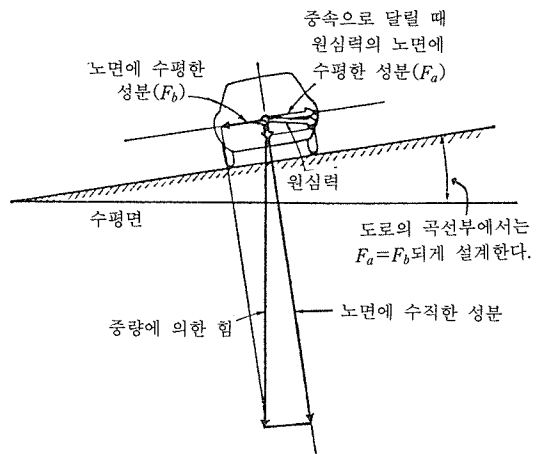
② 전후, 좌우 방향의 작용력 : 노면의 형상에 따라서 상하 방향뿐만 아니라 전후·좌우 방향의 작용력이 걸리게 된다. 이 힘은 차체의 강도 및 서스펜션 시스템을 열화시키는 작용을 하며, 또한 주행 안전성을 나쁘게 하는 요인이 된다.

특히 바퀴에 걸리는 좌우 방향의 힘은 타이어로부터 조향 휠을 돌려주는 힘으로 작용하게 되어 진로의 주행 안전성을 해치는 원인이 된다.

(3) 노면 구조에 따라서 발생하는 힘

도로는 빗물이나 눈이 녹아서 물로 되어 도로에 고이는 것을 막기 위하여 곧은 길이라도 보통 2% 정도의 경사를 둔다. 이것은 차량 중량의 2%에 상당하는 힘이 가로 방향으로 작용하여 노면이 기울어져 있는 방향으로 자동차가 쏠리려는 경향을 갖는다. 그러나 차체에 작용하는 원심력( $F_c$ )과 경사에 의하여 생기는 힘이 평형되어 어느 속도(중속)로 달리면 가로 방향의 힘  $F_b$ 가 걸리지 않도록 설계하고 있다.

(그림 6)은 주행시에 작용하는 원심력과 가로



(그림 6) 노면 경사에 의한 힘과 원심력

방향으로 작용하는 힘과의 관계를 나타낸 것이다.

한편 젖은 노면을 고속 주행할 때 타이어와 노면 사이의 배수성을 나빠져서 미끄러지는 현상이 생기게 된다.

배수성(排水性)을 좋게 하기 위하여 자동차의 진행 방향에 대하여 홈(racing groove)을 넣는 경우도 있다.

## 2.2 노면 형상과 주행시 가해지는 하중

자동차가 달리는 도로는 포장 도로이거나 비포장 도로이거나 어느 경우에도 요철이 존재하며 완전한 평탄로는 존재하지 않는다. 그러므로 도로를 달리는 자동차는 각각 노면 요철의 모양과 주행 속도에 따라 복잡한 형태의 힘이 작용하게 된다.

자동차가 주행할 때에 받는 힘은 도로의 포장 상태에 따라서 크게 달라진다.

비포장 도로는 노면에 흙, 자갈, 모래 등이 타이어 표면과 접하므로 노면을 구성하고 있는 모래, 흙, 진창 등에 의한 노면 간섭 현상이 일어나서 작용력으로 매우 복잡한 현상을 보이게 된다.

또한 비포장 도로는 흙, 자갈, 돌, 암반 등 여러 가지 재료로 구성되어 있으므로 자연 현상이거나 아니면 차량의 통행에 의하여 그 표면의 요철 현상이 생기기 쉽고, 또 표면 형상이 변화하기 쉽다.

특히 노반(路盤)의 약함, 통행하는 자동차의 크기, 속도, 중량 등에 따라서 노면의 형상은 변화한다.

하나의 보기를 들면 연약한 도로에서는 바퀴 자국이 생기게 되고, 조금 굳은 도로에서는 빨래판 모양으로 피치가 1.2m 정도되는 물결모양의 도로가 되고 만다.

자연 현상에 의하여 도로 형상이 변하게 되는 경우로는 비포장 도로에 폭우나 집중 호우가 내리는 경우 노면에 나와 있던 모래나 가는 자갈 등이 물에 씻겨 나가고 굵은 돌, 암반 등만 노출되어 생기는 노암로(露岩路) 등이 생기게 된다. 어느 경우이든 노면 형상의 변화는 차의 승차감과 주행 안정성을 해치는 요인이 된다.

한편 포장 도로의 경우에는 일반적으로 평탄하고 비교적 안정된 주행을 할 수 있으나 포장 이음매 부분이나 보수 공사에 의한 노면 이음부 등에서 승차 안정성은 나빠지게 마련이다.

또한 도로의 관리 소홀이나 지면의 침강 등으로 인하여 노면이 파손되거나 변형되어 주행 안정성을 저해하는 요인이 되기도 한다.

## 3. 타이어 특성

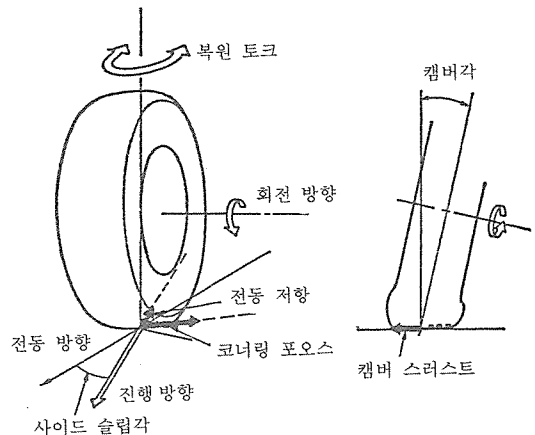
자동차가 주행하거나 정지 또는 선회 운동은 도로의 지면과 타이어 사이에 작용하는 힘에 의하여 주어진다. 따라서 자동차에 작용하는 힘과 운동을 이해하기 위해서는 자동차 타이어의 특성을 충분히 파악하는 것이 필요하다.

### 3.1 타이어로부터 발생하는 힘과 모멘트

타이어로부터 발생하는 힘과 모멘트는 타이어에 걸리는 하중, 진행 방향과 회전면과의 각도, 회전면의 경사 각도(캠버각) 등에 따라서 변화한다.

타이어에 작용하는 힘과 모멘트 중에서 성능상 중요한 것은 코너링 포오스, 전동 저항, 제동력, 구동력, 셀프 얼라이닝 토크(복원 토크) 등이다.

(그림 7)은 타이어에 작용하는 힘을 도시한 것이다.



(그림 7) 타이어에 작용하는 힘과 토크

3.2 직진 주행시에 작용하는 힘

(1) 전동 저항

평탄한 노면을 주행하고 있는 타이어에 작용하는 전동 저항(轉動抵抗)은

$$R_r = \mu W \dots\dots\dots(4)$$

로 표시된다. 여기서  $\mu$ 는 전동 저항 계수이고,  $W$ 는 차륜에 걸리는 하중이다.

노면의 요철은 타이어의 상하, 전후, 좌우 방향의 힘이 걸리게 하는 요인이 되므로 타이어의 변형, 내부의 마찰 등을 유발시켜 전동 저항은 증가한다.

모래땅이나 지면이 연약한 진창길에서는 에너지 소비가 매우 크므로 전동 저항은 포장 도로에 비하여 10배 이상이 된다.

또한 전동 저항은 속도와 더불어 증가하여 어느 속도를 초과하면 급격히 증가하는 경향을 갖는다.

어느 속도를 초과하면 타이어 압력의 이상 저하가 발생하여 타이어 접지부에서의 변형이 회복되기 전에 다음 접지부의 변형이 생겨서 항상 변형이 남아 있는 상태로 회전하는 스탠딩 웨이브 현상이 생기게 된다.

이와 같은 상태에서는 타이어 내부의 에너지 소비가 증가하므로 온도가 급격히 상승하게 되고 이러한 현상이 축적되면 마침내 타이어의 파손을 초래하게 된다.

타이어 압력이 높은 경우에는 변형과 전동 저항은 작아진다. 또한 압력이 너무 높으면 노면의 충격이 차체에 가해지기 쉽고, 승차감이 나빠진다.

(2) 제동력과 구동력

차량의 가속 페달을 밟으면 차와 타이어 노면 사이에 구동력이 발생하여 자동차는 가속되고, 브레이크 페달을 밟으면 제동력이 발생하여 자동차는 정지하게 된다. 타이어의 제동력 또는 구동력 계수는 다음 식으로 표시된다.

제동력, 구동력 계수

$$= \frac{\text{타이어와 노면 사이의 마찰력}}{\text{하 중}} \dots\dots\dots(5)$$

이 계수가 크면 발진 또는 정지시에 생기는 최대 구동력 및 최대 제동력이 크고 타이어 점착력은 좋아진다.

한편 비가 오거나 눈이 내리는 날에는 마찰 계수는 건조한 포장 도로의 1/2 이하로 감소한다. 그러므로 제동력, 구동력 계수도 작아져서 슬립이 일어나기 쉬운 상태로 된다.

다음 표는 노면의 상태와 마찰 계수와의 관계를 나타낸 것이다.

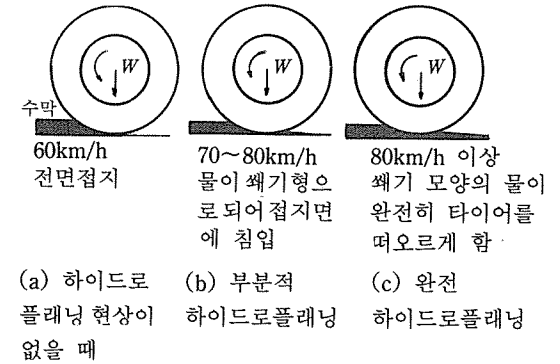
<표 1> 노면 상태와 마찰 계수

노면 상태	마찰 계수
건조한 콘크리트	0.7~1.0
물에 젖은 콘크리트	0.4~0.6
비가 내렸을 때	0.3~0.4
눈이 내려 쌓인 노면	0.4~0.5
눈이 내려 다져진 노면	0.2~0.32
얼음 노면	0.05~0.1

건조한 노면에서는 속도가 증가하여도 마찰 계수는 그다지 변화하지 않으나 젖은 노면에서는 마찰 계수가 매우 작아진다.

특히 물에 젖은 노면에서는 고속이 되면 타이어는 노면의 물이 배제되지 않고 물의 저항에 의하여 타이어가 지면으로부터 떠오른 상태인 하이드로플레닝 현상이 생겨서 매우 위험하게 된다.

[그림 8]은 하이드로플레닝 현상의 발생 과정을 나타낸 것이다.



[그림 8] 하이드로플레닝 현상

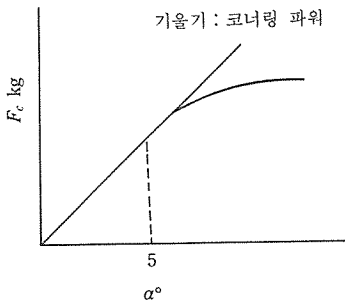
타이어의 제동력과 구동력은 또한 타이어의 구조에도 크게 영향을 받는다. 특히 타이어 트레드 패턴은 직접 노면에 접하므로 마찰력에 가장 큰 영향을 미치는 요인의 하나이다. 그러므로 타이어 구조 설계는 차의 전동 성능 향상을 위하여 매우 중요한 과제가 되고 있다.

### 3.3 선회시에 발생하는 힘

#### (1) 코너링 포오스와 코너링 파워<sup>(1)</sup>

코너링 포오스는 가로 미끄럼각이 5° 정도까지는 그대로 직선적으로 증가하나 더욱 미끄럼각이 커지면 그 증가 경향은 완만해진다.

(그림 9)는 미끄럼각  $\alpha$ 와 코너링 포오스  $F_c$ 와의 관계를 나타낸 것이다.



(그림 9) 가로 미끄럼각( $\alpha$ )과 코너링 포오스( $F_c$ )

일반적으로 보통 주행 상태에서 가로 미끄럼각의 범위는 3° 정도이다.

건조한 노면보다 젖은 노면에서 코너링 포오스는 현저하게 저하한다.

가로 미끄럼각에 대한 코너링 포오스의 기울기를 코너링 파워라 하며 이것은 타이어의 코너링 성능을 나타내는 대표적인 특성치이다.

타이어의 공기 압력이 높을수록 자동차의 움직임이 가벼운 것은 우리들이 경험하는 바와 같다. 이것은 타이어 압력이 높을수록 코너링 파워가 커지기 때문이다. 그러나 너무 높으면 승차감을 해치고 차체에 충격이 가해지게 되므로 항상 적정 공기압이 되도록 유지하여야 한다.

또한 림 폭이 넓을수록 코너링 파워는 증가한다.

코너링 포오스는 바퀴에 구동력이나 제동력이 걸리면 감소한다. 즉, 제동력이나 구동력이 0일 때 코너링 포오스는 최대로 되고 제동 구동력이 증가할수록 코너링 포오스는 감소한다.

#### (2) 캠버 스러스트와 복원 토크

캠버(camber)는 앞바퀴를 바깥쪽으로 기울어지게 설계하고 있는데 이 각도에 의하여 바깥쪽으로 작용하는 힘을 캠버 스러스트(camber thrust)라 한다.

복원 토크는 커브를 돌고 조향 휠에서 손을 떼면 조향 휠은 저절로 처음 상태로 되돌아 오게 하는 토크로서 이 토크를 복원(復元) 토크 또는 셀프 얼라이닝 토크라 한다.

복원 토크는 가로 미끄럼각의 크기, 타이어의 내부 구조, 타이어 공기압에 따라서 크게 변화한다.

## 4. 자동차가 공기로부터 받는 힘

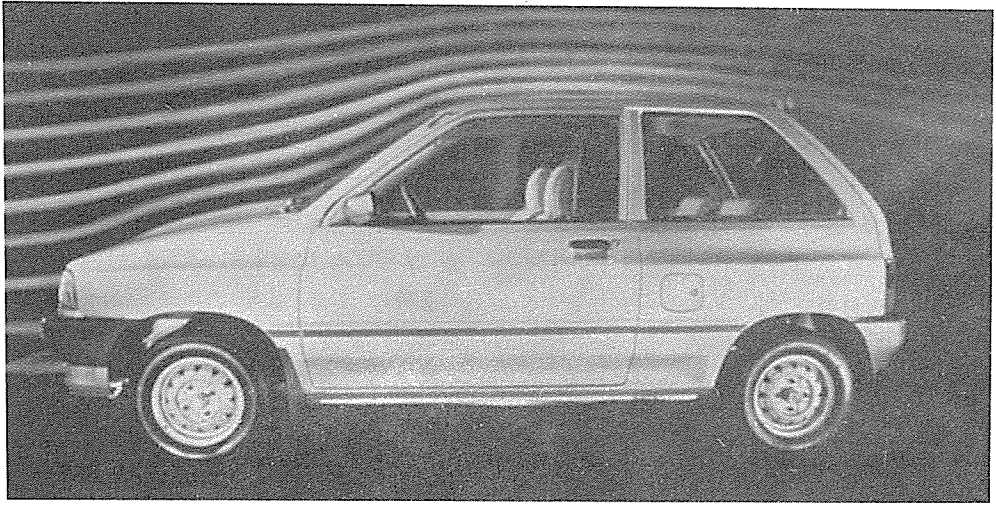
### 4.1 공기의 흐름과 압력

자동차가 공기로부터 받는 힘은 주행 속도의 제곱에 비례하여 커진다. 공기 저항을 적게 받게 하는 것은 차의 연료 소비를 절감시킬 수 있으므로 에너지 자원의 소비절약 측면에서 매우 중요한 연구 과제의 하나이다.

하나의 예를 들면 100km/h 이상의 고속 주행에서는 기관 출력의 약 80%는 공기 저항을 이기기 위하여 사용된다. 그러므로 연료의 소비 절약을 위해서는 차의 외형 설계가 매우 중요하며, 차체의 스타일과 함께 기관, 서스펜션, 타이어 등을 잘 평형되게 설계하는 것이 경제적인 고성능이면서도 안전한 자동차를 만들 수 있는 인자로 된다.

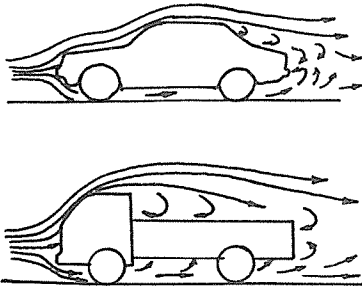
(그림 10)은 소형 승용 자동차의 공기 흐름을 가시화하여 나타낸 것이다.

주행중 공기 흐름은 차체에 저항이 걸리지 않도록 설계되어야 하며 이러한 관점에서 자동차의 차체 모양 특히 앞면 면적과 뒷면의 설계는 매우 중요하다.

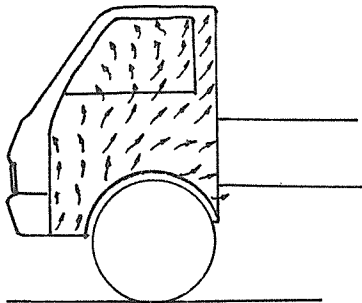


[그림 10] 차체 주위의 공기 흐름

[그림 11]은 차체 주위의 공기 흐름을 몇 가지 차체 모양에 대하여 나타낸 것이다. 이것은 차체 중앙부에 대한 흐름이며 [그림 12]는 화물 자동차 운전실 측면의 공기 흐름을 도시한 것이다.



[그림 11] 차체의 중앙부의 공기 흐름

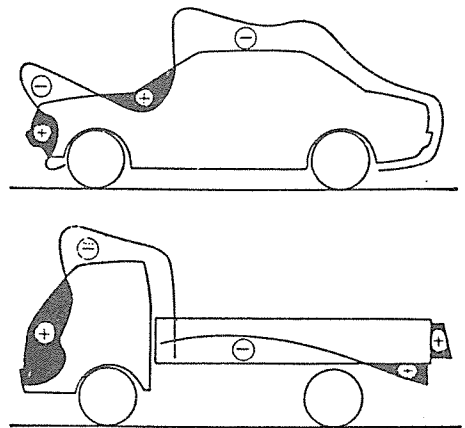


[그림 12] 화물 자동차 운전실 측면의 공기 흐름

화물 자동차의 운전실 측면에는 [그림 12]에서 보는 바와 같이 공기가 상향 유동을 하게 되며 이 흐름이 강해지면 먼지나 흙탕물 등이 창 유리로 올라와서 운전자의 시야를 방해하는 요인이 되기도 한다.

#### 4.2 차체에 걸리는 공기 압력 분포

자동차가 주행할 때 차체 표면에는 [그림 13]과 같은 공기 압력이 걸린다. 차체의 정면에는 공기에 의한 정압이 크고 보닛이나 지붕 앞쪽에서는 부압이 크게 작용한다.



[그림 13] 차체 표면(중앙)의 압력 분포

정압이 걸리는 곳은 라디에이터나 벤틸레이터 공기 입구이며, 부압이 걸리는 곳은 그출구부이다.

### 4.3 차체 표면이 받는 힘의 종류와 그 영향

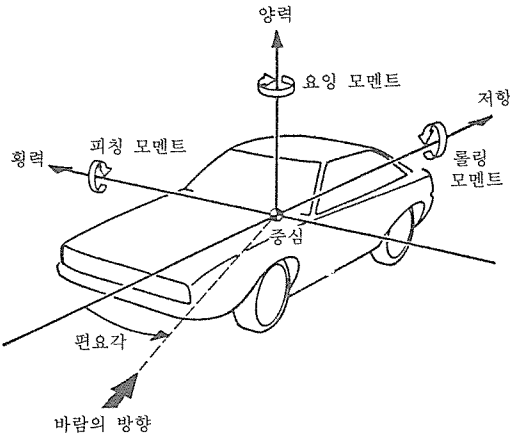
#### (1) 공기력

차체 표면에 작용하는 공기력  $F_{air}$ 는 다음 식으로 표시된다.

$$F_{air} = C_a A \frac{\rho}{2} \bar{V}^2 \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $C_a$ 는 차체 형상에 따라 결정되고 크기에 무관한 계수로서 저항 계수, 양력 계수, 차체의 가로 방향으로 작용하는 가로 방향 계수 등에 의하여 주어진다.

공기력의 작용은 작용점과 중심(重心) 위치로부터 중심 둘레에 [그림 14]와 같이 3가지 종류의 모멘트가 작용한다.

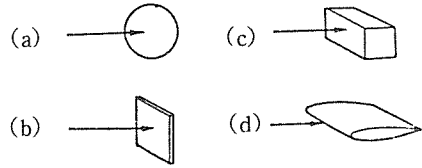


[그림 14] 공기력에 의하여 작용하는 모멘트

이들 단순 물체에서 보는 바와 같이 물체의 형상이 유선형(流線形)에 가까울수록 저항 계수는 작아진다. 그러므로 자동차의 공기 저항도 기본적으로는 이것과 동일하다.

#### (2) 공기 저항

간단한 물체가 받는 공기 저항에는 [그림 15]와 같이 물체 모양에 따라 다르다.



- (a) 구(0.47)
- (b) 평판(1.28)
- (c) 각주(2.03)
- (d) 익형(0.1)

[그림 15] 단순 물체의 저항 계수의 비교

#### (3) 공기 저항의 성분

자동차의 공기 저항 성분은 형상 저항(압력 저항), 유도 저항, 표면 저항, 내부 저항으로 구성된다.

- ① 형상 저항 : 차체의 앞 뒤에서 생기는 압력차에 의한 것으로서 차체 형상에 의하여 결정된다.
- ② 유도 저항 : 비행기의 날개와 같이 상하면의 압력차(양력, 揚力)에 의하여 발생하는 저항이다.
- ③ 표면 저항 : 차체 표면의 상태 즉 차체 표면의 거칠기, 후사경, 안테나, 도어 클립 등에 의한 저항이다.
- ④ 내부 저항 : 기관의 냉각, 차실 내의 환기 등의 공기류에 의하여 생기는 저항이다.

### 4.4 공기력에 의한 모멘트

#### (1) 양력과 피칭 모멘트

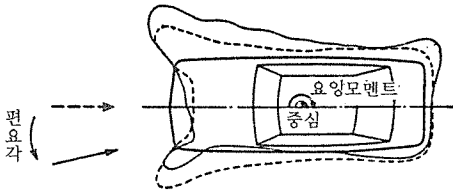
양력은 차체에 대하여 수직, 상향 작용력으로 표시되며 비행기가 하늘을 날게 되는 것도 이 양력 때문이다.

자동차 차체 상하면의 흐름에 따라 압력차가 생기고 이에 따라 타이어의 접지력(接地力)이 감소하여 조종 안정성을 해치게 된다.

#### (2) 가로 방향의 힘과 요잉 모멘트

차체가 가로 방향의 바람을 받으면 [그림 16]과 같이 압력 분포가 변화하게 된다. 이 때에 생기는 가로 방향의 힘과 요잉 모멘트는 횡풍의 방향(偏搖角)에 비례하여 증가한다. 이 경우 압력의 작용점이 차량 무게 중심보다 앞쪽에 있으면 가로 방향의 힘, 요잉 모멘트는 커지고 그 반대이면 작아

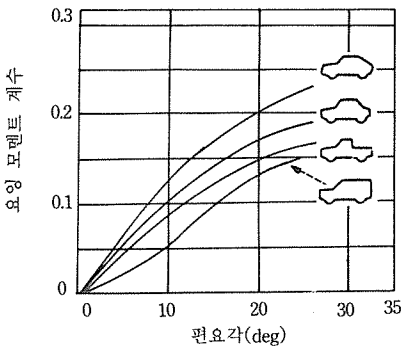
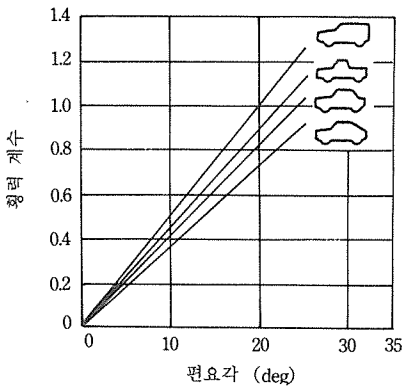




[그림 16] 가로 방향의 바람을 받았을 때의 압력분포의 변화

진다.

[그림 17]은 편요각과 양력 계수, 요잉 모멘트와의 관계를 도시한 것이다.



[그림 17] 차체 형상과 가로 방향의 힘 요잉모멘트

(3) 롤링 모멘트

가로 방향의 바람을 받으면 그 흐름에 의하여

차량 전후축의 둘레에 모멘트가 발생한다. 모멘트는 일반적으로 차량 높이가 낮고 폭이 넓을수록 작아진다.

5. 맺음말

이상은 주로 자동차에 작용하는 힘과 타이어의 특성을 살펴본 것이다. 자동차의 주행 안정성을 확보하기 위하여는 자동차에 작용하는 힘과 모멘트를 정확히 예측하고 이와 관련하여 타이어의 여러가지 특성과 물리적 작용과의 관계를 정확히 규명하는 것이 필요하다. 이와 관련하여 자동차는 운전자를 비롯하여 이 분야에 종사하는 전문가가 아니더라도 차량에 작용하는 물리적인 힘과 여러가지 현상을 이해하고, 주행 조건에 알맞도록 조정하고 차를 정비하는 것이 중요하다. 이러한 관점에서 자동차에 작용하는 물리적인 힘과 타이어의 특성을 이해하는 데 조금이라도 도움이 되기를 바라는 바이다.

좀더 자세한 내용을 알고자 하는 독자는 자동차공학<sup>(2-4)</sup>이나 자동차 주행 역학 및 자동차 구조에 관한 참고 문헌<sup>(5-7)</sup> 등을 참고로 하기 바란다.

<참고 문헌>

1. 이창식 : “자동차의 조향 장치와 차륜”, 타이어·고무, 제23권 제4호, 1989.
2. 大道寺達 : “自動車工學概論”, 工學圖書(株)
3. 自動車技術會 : “自動車工學便覽”
4. 平尾收 : “理論自動車工學”, 山海堂.
5. 小林明 : “自動車振動學”, 圖書出版社.
6. Herbert E. Ellinger : “Automechanics”, Prentice Hall, Inc.
7. Richard Day : “Automechanics”, Reston Publish company, Inc.