

자동차의 휠 얼라인먼트와 타이어의 마멸

이 창 식*

1. 서 언

자동차는 자체내의 원동기를 이용하여 도로 위를 자유로이 주행하는 차량을 말한다. 따라서 자동차의 성능을 충분히 발휘하기 위해서는 기관(engine), 채시(chassis), 보디(body) 등의 주요부가 그 기능을 충분히 발휘하여야 한다.

이들 가운데 자동차 주행에 직접적인 영향을 미치는 주요부는 기관으로부터 발생된 동력을 전달받아 차량을 지지하면서 전동하는 바퀴와 주행장치 부품들이다. 여기서는 자동차의 안전주행에 필요한 앞바퀴 얼라인먼트(front wheel alignment)와 타이어의 마멸에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 앞바퀴 얼라인먼트와 주행안정성

자동차의 조향장치(操向裝置 ; steering system)는 자동차의 진행 방향을 바꾸기 위하여 필요한 장치로서, 조향장치의 조향조작의 원활성 및 가벼운 정도, 주행안정성, 타이어의 마멸 등은 조향장치의 성능과 앞바퀴 정렬에 큰 영향을 받게 된다.

주행안정성, 조향조작의 경쾌성, 조향 휠의 마멸 감소 등을 위해서는 앞바퀴를 차축에 어떠한 방법과 상호 관계 위치를 가지고 설치하는가가 매우 중요하다.

2.1 킹핀 경사와 오프셋

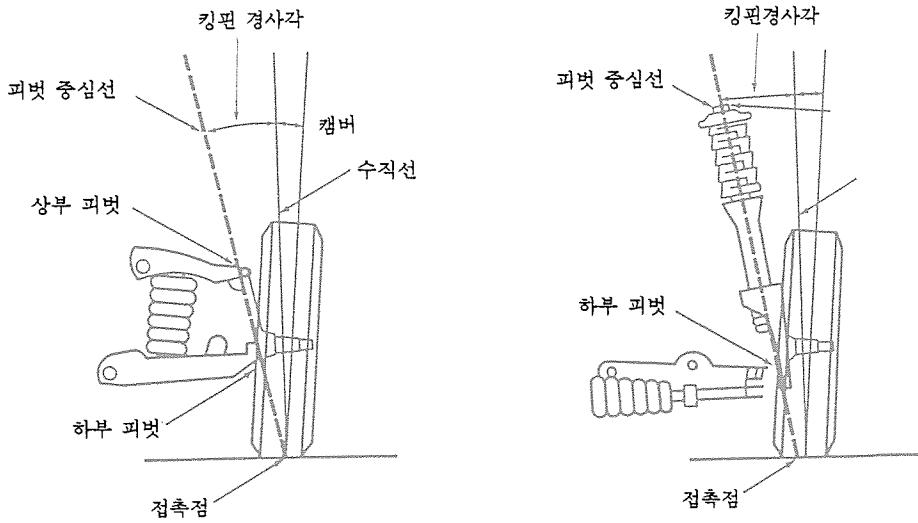
자동차가 선회하기 위하여 앞바퀴가 방향을 바꿀 때 회전하는 중심축이 되는 축을 킹핀(king pin)이라고 한다.

킹핀은 바퀴 중심 바깥쪽에 있으므로 만일 킹핀이 수직이라면 타이어에 작용하는 앞·뒤의 힘에 의하여 큰 모멘트를 받게 된다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 킹핀이 경사지게 설치되어 있다. 킹핀 중심선과 노면에 세운 수선 사이의 이루는 각을 킹핀 경사각(king pin angle)이라고 한다(그림 1 참조).

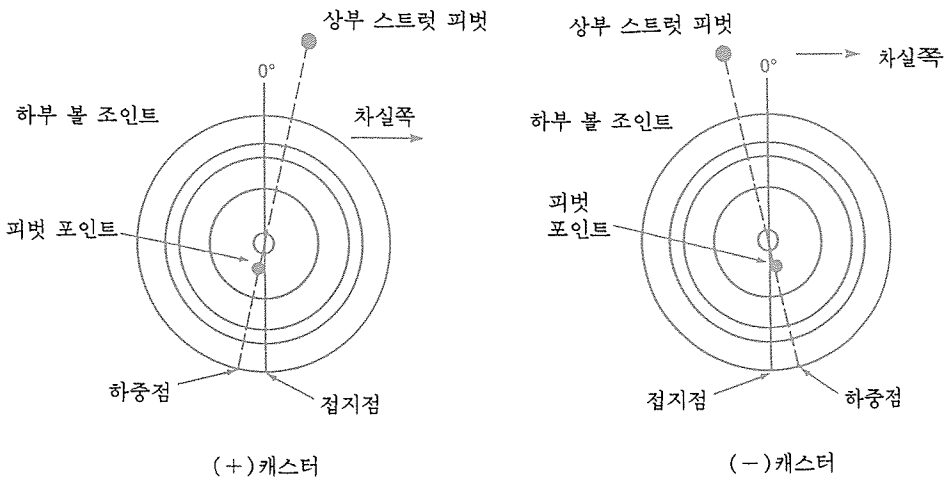
또 킹핀 중심선의 연장선과 노면이 교차하는 점과 타이어의 접지 중심과의 거리를 오프셋(offset)이라고 한다.

일반적으로 킹핀 중심의 연장선은 접지 중심보다 차의 안쪽에서 노면과 교차하고 있다. 이 오프셋이 작으면 제동시 및 주행 중 노면으로부터 받는 반력(反力)에 의한 킹핀 축 둘레의 모멘트가 작아지고, 또 조향장치에 전달되는 힘이 약해지나 조향조작력은 오프셋이 큰 쪽이 경쾌해진다.

* 한양대학교 공과대학 기계공학과 교수



[그림 1] 킹핀 경사각



[그림 2] 캐스터

킹핀 경사각은 일반적으로 차종에 따라서 다르나 6~8°, 중량차에서는 4° 이하로 한다.

2.2 캐스터

앞바퀴는 옆에서 보면 킹핀 중심선은 [그림 2]와 같이 앞뒤 방향으로 약간 기울어져

있는데 이 각도를 캐스터(caster) 또는 캐스터 각이라고 한다.

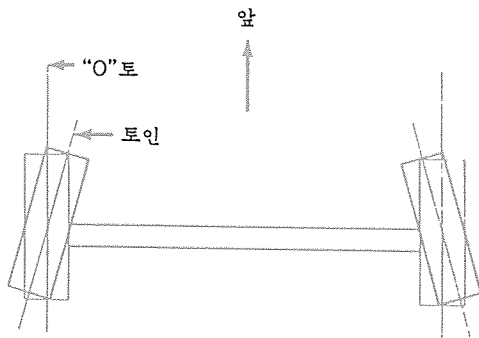
또 킹핀 중심의 연장선이 노면과 교차하는 점을 캐스터 점이라고 한다. 이 점과 타이어의 접지중심과의 거리를 캐스터 트레일(trail)이라 부른다. 캐스터 점이 접지중심보다 앞쪽에 있는 경우를 (+)캐스터라고 한다.

캐스터 효과는 바퀴를 항상 직진 방향으로 유지하려는 복원력을 생기게 하여 진행 방향을 안정되게 한다.

2.3 토인(toe-in)

앞바퀴를 위에서 내려다 보았을 때 좌우 바퀴는 차의 앞뒤 축에 대하여 평행이 아니고 앞쪽의 간격 A가 뒤쪽의 간격 B보다 좁게 되어 있다. 이 때 (B-A)를 토인(toe-in)이라고 한다. 그리고 B<A의 경우를 토아웃(toe-out)이라고 한다.

토인의 작용은 캠버에 의하여 바퀴가 바깥쪽으로 벌어지려는 경향을 막고, 타이어의 직진성향을 주기 위한 작용을 한다.



[그림 3] 토 인

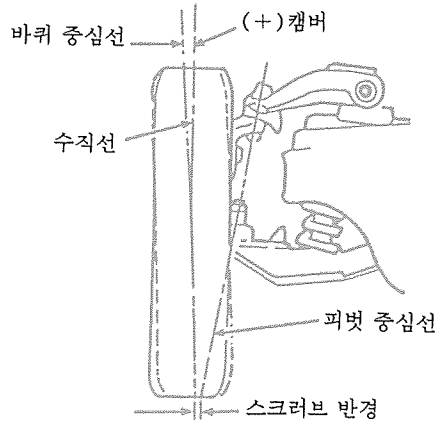
2.4 캠버 각

[그림 4]와 같이 차의 앞쪽에서 앞바퀴를 보면 타이어 중심면은 수직이 아니고 일정한 기울기를 가지고 윗쪽이 벌어져 있다. 이 경사각을 캠버(camber)라고 한다. 캠버 각은 보통 1° 내외이다.

캠버 각을 갖는 타이어가 굴러갈 때에는 타이어에는 [그림 4]와 같은 가로 방향의 마찰력이 작용한다. 이 힘을 캠버 스러스트(camber thrust)라고 한다.

바퀴의 조향은 킹핀을 중심으로 하여 이루어지므로 조향작용을 쉽게 하기 위하여

는 타이어의 접지점이 킹핀의 연장선에 가깝도록 킹핀을 경사시켜야 하나 킹핀만을 경사시키는 것은 구조상 무리한 일이다. 그러므로 바퀴쪽도 경사시켜서 좌우 바퀴가 하중 때문에 아래쪽이 넓어지는(윗쪽이 안쪽으로 기울어지려는) 경향을 방지하도록 한다.



[그림 4] 캠버 각

3. 타이어의 마멸기구

3.1 타이어의 마멸

타이어는 전동중에 받는 가로 방향의 힘과 세로 방향의 힘에 의하여 마찰이 생기며, 이에 따라 마멸이 생기게 된다. 일반적으로 타이어 마멸은 접지면에 걸리는 외력의 크기, 접지면의 미끄럼량 등에 따라서 달라지며, 타이어 마멸량은 다음 식으로 간단히 나타낼 수 있다.

$$F_{wear} = c_1 \rho s f$$

여기서, F_{wear} = 마멸량

c_1 = 트레드 고무의 마멸도

s = 접지면의 슬립률

f = 타이어 접지면의 작용외력 (접지력)

일반적으로 타이어의 마멸요인에는 내적 요인과 외적 요인으로 나누어 생각할 수 있다.

(1) 내적 마멸요인

내적 마멸요인에는 타이어의 구조, 형상, 트레드 패턴 등과 같이 타이어 자체의 원인에 의하여 마멸이 수반되는 경우가 있다.

(2) 외적 마멸요인

① 인위적 요인 ; 자동차의 기구·정비, 타이어의 장착위치, 운전방법, 속도, 하중, 공기압력

② 인위적 이외의 요인 ; 노면, 지형, 기온 등

3.2 타이어의 이상 마멸

타이어는 진원, 좌우 대칭으로 설계되므로 타이어가 수직인 상태에서는 일정 하중을 받는 평탄한 노면이라면 접지압력분포가 균일한 상태로 되어 마찰도 균일하게 이루어져야 한다.

그러나 자동차에 설치된 앞바퀴 얼라인먼트, 하중의 불균일, 공기압, 노면의 상태 등이 불균일한 조건에 접하게 되면 타이어는 이상 마멸이 생기게 된다. 또한 경우에 따라서는 짧은 기간에 마멸이 증진되는 조기 마멸이 생기는 경우도 있다.

이상 마멸에는 다음과 같이 여러가지 이상 마멸이 있다.

(1) 한쪽 마멸

트레드 좌우 어느 한쪽의 솔더부가 조기 마멸하는 상태를 말한다. 이상 마멸 가운데 가장 많이 일어나는 형태의 하나이다.

이 현상은 휠 얼라인먼트 중에서 토인, 캠버 등이 틀려졌을 때 발생하기 쉽다.

(2) 깃털 모양의 마멸(feather edge 마멸)

트레드의 각 리브의 한쪽이 빨리 마멸되어 리브 에지가 깃털 모양으로 되어 있는

상태를 말한다.

이러한 현상은 타이어가 진행 방향에 대하여 옆 방향의 힘을 받을 때 일어난다.

(3) 물결 모양의 마멸

타이어의 원둘레가 물결 모양으로 마멸되는 것으로서 토인, 캠버가 부적절하게 조정되었을 때, 공기압이 낮은 경우 등의 원인에 의하여 발생된다.

(4) 다각형 마멸

타이어 트레드 전체가 원주 방향으로 일정한 간격으로 마멸되어 다각형 형상을 이루는 형태의 마멸을 말한다. 타이어 및 바퀴의 편심, 바퀴의 캐스터 과대 등이 원인이 된다.

(5) 편심 마멸

트레드가 거의 반원주에 가깝게 편마멸되어 진원을 이루지 못하는 상태를 말하며, 바퀴의 편심, 바퀴축 둘레의 헐거움 등의 원인에 의하여 생긴다.

(6) 국부 마멸 또는 스포트 마멸

트레드부의 일부 또는 몇 군데에 스포트 마멸이 생기는 현상으로서 브레이크 드럼의 불균일한 제동작용, 회전 불균형, 급제동, 오일 부착 등이 원인이 된다.

(7) 중앙부 마멸과 솔더 마모

중앙부 마멸이란 트레드 중앙부가 솔더부보다 빨리 마멸되는 상태를 말하며 공기압이 과다한 경우에 발생한다.

솔더 마멸은 트레드의 양쪽 솔더부가 중앙부보다 빨리 마멸되는 상태를 말하며, 공기압 부족, 커브길에서 무리한 주행을 계속하는 경우, 특히 파워 스티어링 장치 차에 발생하기 쉽다.

(8) 단차 마멸

트레드 패턴의 1블록 또는 러그의 한쪽 산 끝이 다른쪽 끝의 것보다 빨리 마멸되는 것으로서, 블록 패턴 또는 러그 패턴의 타

이어에 발생하기 쉽다.

(9) 조기 마멸

타이어가 일반적인 수명보다 빠르게 마멸이 일어나서 조기에 수명이 다하는 마멸이다. 이러한 현상은 산비탈 도로, 커브가 많은 도로 주행, 앞기관·앞바퀴 구동차 등의 앞바퀴 타이어 등에서 일어난다.

커브가 많은 도로, 경사로가 많은 도로를 주행하는 경우가 빈번한 자동차에서는 타이어 수명이 일반 시가지 주행의 경우보다 약 1/4 정도로 된다. 앞기관·앞바퀴 구동차의 앞바퀴는 뒤쪽 바퀴보다 2~3배 정도 마멸이 빨리 진행된다.

3.3 이상 마멸 원인 분석

(1) 자동차의 형식, 현가장치, 휠 얼라인먼트

① 자동차의 구동방식

타이어의 이상 마멸은 차의 형식에 따라서 다소 다르지만 자동차의 형식, 현가장치, 바퀴의 정렬상태 등에 따라서 마멸상태는 달라진다. 특히 자동차의 구동방식에 따른 마멸에 영향을 미치는 요인을 분석해 보면 다음과 같다.

㉠ 앞기관·뒷바퀴 구동차 ; 앞바퀴에는 사이드 포스와 제동력이 걸리고, 뒷바퀴에는 구동력, 제동력, 선회시 옆 방향의 힘이 작용하며 이들은 마멸을 일으키는 요인이 된다. 이 경우에는 앞쪽 바퀴의 중량배분이 52~73%이고 나머지는 뒷바퀴가 지지한다.

㉡ 앞기관·앞바퀴 구동차 ; 앞바퀴에는 구동력과 제동력, 조향시 옆 방향의 힘이 작용하고, 뒷바퀴에는 제동력과 선회시의 옆 방향 힘이 작용한다. 이들 작용력은 마멸을 일으키는 원인으로 작용한다. 이 경우의 중량배분은 앞쪽의 바퀴가 60~65%이

고, 나머지는 뒷바퀴가 지지한다.

<표 1>은 앞·뒤 바퀴의 타이어 사용조건에 대한 마멸량을 비교한 것이다.

② 현가장치의 영향

현가장치(suspension system)의 영향을 살펴보면 독립현가식의 경우 선회할 때 캠버가 커지므로 타이어의 편마멸이 생기기 쉽다.

또 고속 선회시의 안정성 확보를 위하여 (-)캠버를 부여하고 있는 차량에서는 일반 주행에서 내측이 마멸되기 쉽다. 차축식 현가에서는 지면에 대한 캠버의 변화가 적으므로 타이어의 마멸에 영향을 미치는 요인이 적다.

③ 앞바퀴 얼라인먼트의 영향

앞바퀴 얼라인먼트는 주행안정성의 확보, 조종성의 용이 등을 발휘하는 기구이므로 주행시 조금만 틀려도 타이어의 마멸을 촉진시키는 인자로 되고 있다.

이들 가운데 캠버와 토의 상승작용에 의한 타이어의 마멸의 영향은 매우 큰 것으로 볼 수 있다.

일반적으로 토인량이 증가하면 바퀴의 바깥쪽 트레드부의 마멸이 증가하며, 토아웃의 경우에는 바퀴의 안쪽 트레드부의 마멸이 증가하는 현상을 보인다.

한편 캠버의 영향을 살펴보면 캠버 각의 변화는 타이어 마멸에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

④ 파워 스티어링의 영향

앞기관·앞바퀴 구동차는 앞바퀴 타이어에 하중이 크게 작용(조향 및 구동력, 하중)하여 앞 타이어의 양쪽 솔더부가 마멸되기 쉽다.

⑤ 브레이크 허브 및 스핀들의 이상

회전부분이 정상기능을 발휘하여도 휠에 이상, 즉 허브 및 스핀들의 편심, 굽힘 또는 베어링, 킹핀 등의 험거움 등이 있으면 타이어의 이상 마멸이 촉진된다.

특히, 브레이크 드럼의 편심과 같이 부분

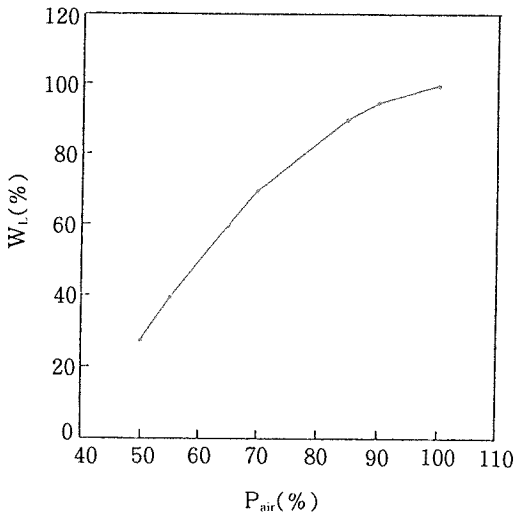
적인 힘이 휠에 작용하면 타이어는 일부분만이 마멸되는 국부 마멸이 일어난다.

(2) 타이어의 관리 및 사용조건에의 영향

① 타이어의 공기압

공기압이 마멸에 미치는 영향은 공기압이 낮은 경우가 문제로 된다. 공기압이 낮은 상태로 주행하면 타이어 접지부의 움직임이 커져서 마멸이 촉진된다. 또한 타이어 자체의 움직임에 의한 온도 상승이 일어나고 이것은 타이어의 수명을 단축시키는 원인이 된다.

공기압력 P_{air} 와 마멸수명 W_L 과의 관계를 도시하면 [그림 5]와 같다.



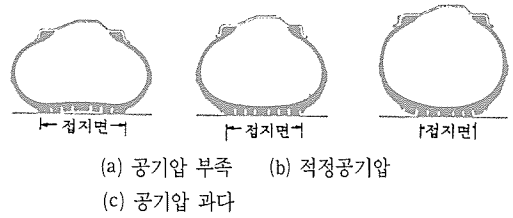
[그림 5] 공기압과 마멸수명과의 관계

<표 2>는 타이어 공기압과 수명과의 관계를 나타낸 것이다.

<표 2> 공기압 부족과 수명손실률(%)

공기압 부족(%)	10	20	30	40	50
수명손실(%)	5	16	33	57	78

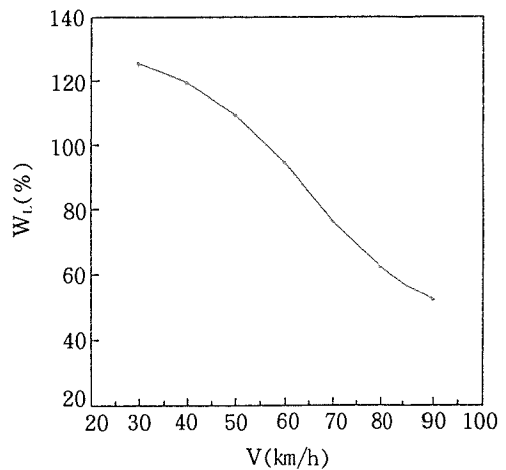
[그림 6]은 타이어 공기압에 따른 접지면의 크기를 비교한 것이다.



[그림 6] 타이어의 공기압과 접지면

② 주행속도

속도가 증가하면 마멸수명은 저하한다. 속도가 증가하면 전동저항(rolling resistance)의 증가와 더불어 구동력, 제동력, 선회력 등의 외력이 속도의 2승에 비례하여 커지므로 타이어의 온도 상승, 트레드 고무의 내마멸성의 저하가 발생한다. 이것은 타이어의 마멸이 일어나는 요인이 된다. [그림 7]은 주행속도 V km/h와 마멸수명 W_L 과의 관계를 도시한 것이다.



[그림 7] 주행속도와 수명과의 관계

③ 제동작용

타이어의 마멸은 브레이크를 걸 때 타이어에 걸리는 운동 에너지의 영향을 크게 받는다.

브레이크를 걸 때 타이어가 받는 운동 에

너지는

$$E_k = fs = \frac{1}{2} \frac{w}{g} V^2$$

로 표시된다. 여기서, f는 타이어에 걸리는 접선력(kg), s는 제동정지거리(m), w는 차량중량(kg), V는 자동차의 속도(m/s), g는 중력가속도(=9.8m/s²)이다.

또한 브레이크 작용빈도가 커질수록 마멸은 증가한다. 하나의 보기로서 80km/h의 속도로 달리던 자동차가 8km마다 브레이크를 걸어서 정차한 경우의 마멸수명은 연속 주행한 경우의 약 50%로 감소한 결과가 된다.

④ 운전방법

자동차의 운전방법에 따라서 타이어의 마멸수명은 달라진다. 주행중 급제동, 완만한 제동, 원형선회, 직진 등 자동차의 주행시의 운전습관이나 제동방법 등에 따라서도 마멸상태는 달라진다.

⑤ 노면의 상태

타이어의 마멸은 노면의 상태, 포장로의 경우는 포장도로상태 등에 따라 달라진다.

〈표 3〉은 노면의 종류와 마멸수명과의 관계를 나타낸 것이다.

⑥ 경사도로 주행 및 커브

차량이 선회할 때는 반드시 타이어와 차의 진행 방향 사이에 슬립이 생겨서 타이어의 마멸이 촉진된다. 또한 경사로를 주행하

〈표 3〉 노면의 종류와 마멸수명과의 관계

도로 상태	아스팔트 포장도로에 대한 수명비율(%)
비포장도로	50
콘크리트 포장도로	88
양호한 아스팔트 포장도로	100

는 경우에도 구동력, 제동력이 접지면에 크게 작용하므로 평탄로 주행보다 현저하게

마멸량이 증가한다.

〈표 4〉는 6.40-14-6PR의 타이어를 사용하여 50km/h의 속도일 때의 마멸량을 나타낸 것이다.

〈표 4〉 도로조건과 마멸량과의 관계

도 로 조 건	주행거리당 마멸량(g)			
	1,500km	3,000km	4,500km	9,000km
커브길이 없는 평탄로	60	125	230	400
커브길이 많은 평탄로	230	450	630	1,250

⑦ 외기온도

타이어 고무는 온도에 따라 물성이 변화하므로 사용되는 온도에 따라서 타이어의 물리적 성능도 변화한다. 따라서, 외기의 공기온도가 높아질수록 마멸은 증가한다.

(3) 주행중의 마찰현상

타이어는 차량중량을 지지하면서 방향변환, 구동, 제동 등의 작용을 받아서 트레드부에 마찰현상을 일으킨다. 자동차가 주행할 때에는 차량중량에 의한 상하 방향의 힘과 구동 또는 제동에 의한 전후 방향의 힘, 또한 방향변환에 의한 가로 방향의 힘을 받게 된다.

이러한 힘들은 모두 타이어의 마멸을 일으키게 된다. 일반적으로 마멸현상은 다음과 같이 나누어 생각할 수 있다.

(a) 접지부의 변형마찰에 의한 마멸

타이어가 노면 위를 주행할 때 노면의 요철부에서 고무가 변형하고, 이 때 타이어에는 압축과 회복이 되풀이되어 에너지 손실이 수반되며 고무 표면에서 미소한 열화현상이 수반된다. 이러한 미소열화현상(微少劣化現象)은 고무 표면의 파괴와 마멸을 일으킨다.

(b) 타이어의 점착 또는 응착현상에 의한 마멸

타이어와 노면 사이에 발생하는 점착마찰

력(粘着摩擦力)과 주행에 의한 이탈과 접착의 반복은 에너지 손실과 고무 표면의 파괴와 마멸을 일으키는 요인이 된다.

(c) 노면을 주행시 타이어 트레드 패턴 돌기부에 의한 접지부를 당기는 힘에 의한 마멸

타이어가 급제동, 급발진, 급격한 코너링을 할 때 또는 거친 노면을 주행할 때 생기는 접지부를 당기는 힘이 앞·뒤 방향으로 생기며, 이것은 트레드 돌기부의 마멸과 고무 전단력에 의한 마멸을 일으키는 요인이 된다. 이러한 마멸작용은 고무의 표면층, 중간층 피로에 의한 파괴마멸을 일으킨다.

(d) 충격마찰에 의한 마멸

타이어가 콘크리트, 금속판, 아스팔트 등의 노면으로부터 받는 충격 에너지에 의한 고무 파괴에 의하여 마멸이 일어난다. 이러한 마멸은 노면이 거칠수록 또한 속도가 빠를 때, 하중이 무거울수록 충격력이 증가함에 따라서 증가한다. 이러한 충격력이 고무의 강도를 초과하면 파괴 마멸이 생긴다.

(4) 타이어의 구조 및 트레드 모양

타이어의 자체 모양, 구조 및 트레드 패턴에 따라서도 마멸상태가 달라진다. 그러므로 타이어의 수명을 길게 하고 안전한 사용을 위해서는 차량기구, 정비, 사용조건, 관리방법, 타이어의 구조 및 자체 특성을 충분히 이해하고 있어야 한다.

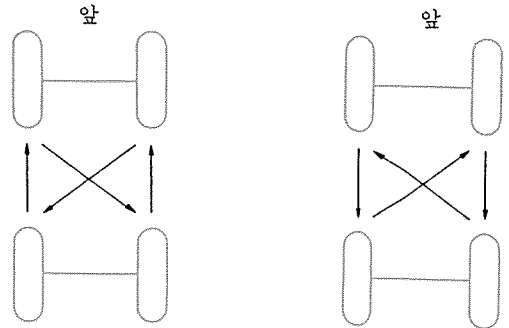
3.4 타이어의 이상 마멸 방지

타이어의 이상 마멸을 방지하려면 다음과 같은 점에 주의하여 안전운전, 관리, 정비 등을 철저히 하여야 한다.

- 타이어의 이상 마멸 방지
 - 자동차 현가 및 정렬의 점검·정비 ; 정렬, 브레이크, 휠의 점검·정비
 - 타이어의 적정 사용 ; 공기압, 정기

위치교환

- 운전조작 ; 급발진, 급선회, 급정지 등을 억제



(a) 앞기관·뒷바퀴 구동차 (b) 앞기관·앞바퀴 구동차

[그림 8] 승용차용 타이어의 교환 보기

[그림 8]은 승용차용 타이어의 위치교환의 실제 보기를 나타낸 것이다.

자동차의 균일한 마멸과 피로의 집중을 방지하여 안전성 및 경제성을 확보하기 위하여는 정해진 주기마다 타이어의 위치를 [그림 8]과 같이 교환하여야 한다.

4. 맺는 말

이상은 주로 자동차의 휠 얼라인먼트와 승용차용 타이어의 마멸요인과 그 대처방안에 대한 몇 가지 사항에 대하여 기술하였다.

자동차의 안전한 주행을 도모하기 위하여는 타이어의 마멸요인을 충분히 이해하고 대처할 수 있는 지식을 가지고 있어야 한다.

그러므로 자동차를 운전하는 사람은 누구나 타이어의 중요성과 마멸원인을 이해하고, 이들 마멸현상을 저감하여 안전사용과 주행성능 및 안전성 증진을 위하여 더욱 노력하여야 한다.