

차량용 타이어의 마멸손상에 관한 고장사례 연구

김청균 · 이일권*†

홍익대학교 트라이블로지 연구센터, *대림대학 자동차과

Failure Studies on the Wear Scars of an Automotive Tire

Chung Kyun Kim and Il Kwon Lee*†

Tribology Research Center, Hongik University

*Department of Automotive Engineering, Daelim College

Abstracts – This paper presents the case studies on the friction related wears of an automotive tire, which is strongly connected to the safety and comfort of a driver during a running of a car. Wear scars of a tire tread are affected by various causes such as an air pressure, a wheel alignment, a driving speed, road conditions, starting and braking habits of a driver. The data were collected from used tires for a replacement at the car service center. Most of the wear problems came from the improper repair and adjustment of revolving components, which cause an unbalanced wear of a tread part of a tire. Thus, the regular checking of a tire radically reduces the wear scars of a tire and may increase a driving safety and a fuel economy of a car and a wear life of a tire.

Key words – tire, friction and wear, air pressure, scuffing, seizure, wheel alignment, tread.

1. 서 론

자동차는 동력을 생산하는 엔진과 동력을 전달하는 변속기, 이것들을 포함하여 사람과 물건을 실거나 하중을 담당하기 위한 차체, 이것들을 이동시키는 수단으로 4개의 바퀴를 차체에 하나의 시스템으로 조립함으로써 차량은 굴러가게 된다. 즉, 엔진에서 생산된 동력은 최종적으로 고무제품으로 제조된 타이어와 도로 사이의 마찰접촉 운동에 의해 구동 마찰력[1,2]을 형성하면서 자동차는 이동하게 된다.

자동차의 주행 안전성과 안락성을 확보하기 위해 타이어에 의한 하중지지와 우수한 마찰력을 확보하지 못하면 차량은 이동하는데 연료가 많이 소모되고, 또한 타이어의 손상정도에 따라 주행 안전성은 증대한 영향을 받는다. 특히 고속 주행중인 차량의 타이어에 손상이 발생하면 차량의 파손과 전복, 탑승자의 부상, 심지어는 사망에 이를 수 있으므로 자동차에서 타이어는 대단히 중요한 핵심부품이라 할 수 있다.

타이어는 고무, 섬유, 강선(steel wire) 등을 조합하여

고온에서 성형시킨 제품으로 탄성에너지 및 고압하중에 대한 지지력은 높다. 자동차 메이커는 기능성 타이어, 즉 최적의 마찰계수와 내마멸성을 유지하면서 우수한 내구성을 갖는 타이어 개발을 경쟁적으로 추진하고 있다. 타이어는 소모성 제품이지만 운전자의 주행안전과 밀접하게 관련되어 있으므로 타이어의 마멸을 포함한 손상정도를 항상 점검해야 한다.

압축공기를 공급하여 하중을 지지하도록 제조된 공기 타이어는 차량에 걸리는 모든 하중을 지지해야 한다. 즉, 노면의 요철에 의한 충격 완화기능, 구동력과 제동력을 노면에 전달하는 과정에서 적절한 마찰력을 발생하는 기능, 조향장치의 각도조절에 상응하는 코너링 과정에서 발생하는 원심력 등을 노면에 안전하게 전달하는 마찰력 발생 및 유지 기능 등을 갖고 있어야 한다.

최근에는 타이어의 재활용 및 환경 문제가 크게 부각되면서 타이어에 의한 자원절약, 도로에 널려있는 타이어 마멸입자의 비산과 하수도 유입으로 인한 하천과 강 등의 환경오염 문제를 어떻게 해결할 것인가에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 석유가격 급등 및 에너지 절약 측면에서 자동차의 연비가 중요하게 부각되면서

†주저자 · 책임저자 : iklee@daelim.ac.kr

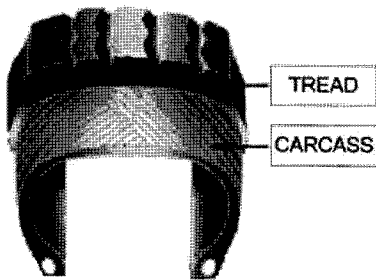
서 타이어와 노면 사이의 마찰력에 의한 에너지 손실을 어떻게 줄일 것인가에 대한 연구, 차량의 소음과 진동을 줄이기 위한 타이어의 정숙성에 관한 관심이 높아지고 있다.

타이어의 기본적인 역할은 차량의 안전한 이동성을 보장하기 위한 하중지지와 적절한 마찰력의 유지, 노면과의 상대접촉 마찰운동에 따른 내마멸성 등이다. 타이어는 마멸작용에 의한 트레드(tread) 표면의 손상과 운전자의 운전습관에 의한 마멸 등에 관련된 트라이블로지 특성을 실제로 운행된 차량의 타이어에 대하여 고장사례를 중심으로 고찰하고자 한다.

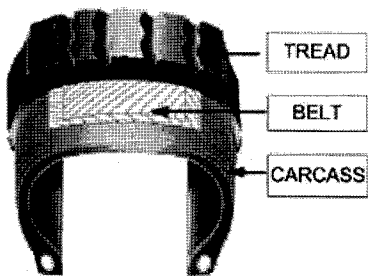
2. 타이어의 구조 및 마멸발생 원인

2-1. 타이어의 구조

Fig. 1(a)는 트럭이나 버스에 장착되는 바이어스 타이어이고, Fig. 1(b)는 승용차에 널리 사용하는 래디얼 타이어로 약간의 차이를 나타내고 있다. Fig. 2에서 보여준 것처럼 타이어는 여러 겹의 다층 고무재 구조물을 섬유재와 강선을 접착제로 붙여서 금형에 넣고 고온 상태에서 성형·제조한다. 타이어는 노면과 직접 접촉하여 마찰력을 발생하는 트레드부, 코너의 숄더부, 사이드 월부, 비드부 등으로 구성된다[3].



(a) For a truck and bus



(b) For a passenger car

Fig. 1. Section diagram of typical tire.

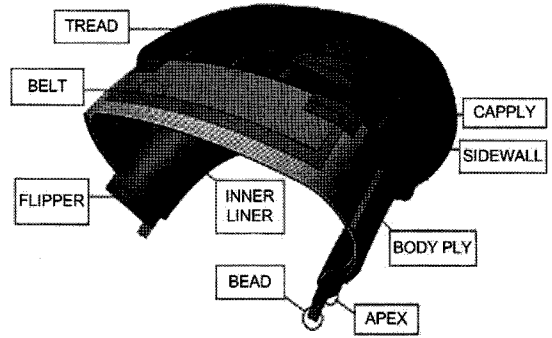


Fig. 2. Structure of a tire.

타이어에서 노면과 직접 접촉운동을 하는 트레드는 차량의 구동 및 제동 마찰력을 발생시키고 주행거리에 따른 마멸이 진행되는 타이어의 폭 부분으로 두꺼운 고무층을 형성하고 있다. 타이어의 구동 및 제동 마찰력을 높이고, 슬립에 의한 미끄럼 마찰력을 줄이기 위해 트레드 표면에는 다양한 형상의 홈(groove)을 제작한다. 트레드에 각인된 홈은 원주방향과 횡방향, 그리고 모멘트에 대한 구동력과 제동력을 함께 제공하는 설계요소로 타이어의 핵심기술이다.

2-2. 타이어 마멸손상의 발생요소

타이어는 차량의 바퀴에 장착되어 안전하게 굴러감으로써 회전하중 지지기능을 발휘하게 되므로, 차량의 주행특성에 알맞도록 타이어를 선정하는 것이 차량의 주행 안전성과 안락성을 확보하는 지름길이다. 타이어의 수명은 트레드의 마멸정도에 따라 결정하게 되는데, 대표적인 마멸손상의 발생요소로 타이어의 공기압 및 내부온도, 차량에 걸리는 정적 및 동적하중, 차량속도, 도로의 노면조건, 대기온도 등을 언급할 수 있다[4,5].

(1) 타이어의 공기압

Fig. 3은 타이어의 공기압에 따른 마멸수명을 제시한 결과로 타이어의 공기압을 규정압력으로 공급하였을 때의 마멸수명을 100%로 하고, 공기압을 줄여서 주행할 경우의 마멸을 고찰하였다. 타이어의 공기압을 정상 규정치의 80% 정도로 공급하였을 때 타이어의 마멸수명은 84%로 유사하게 줄어든다. 반면에 타이어의 공기압을 규정압력 대비 50%로 유지할 때의 마멸수명은 22%로 급격하게 떨어진다. 이것은 부적절한 공기압을 유지하여 차량의 하중을 지지할 경우는 타이어 트레드의 마찰접촉 표면적이 증가되면서 마멸 발생량은 많아지고, 차량의 주행 불안정성은 크게 높아지는 경향을 나타낸다. Fig. 3은 타이어의 공기압이 마멸수

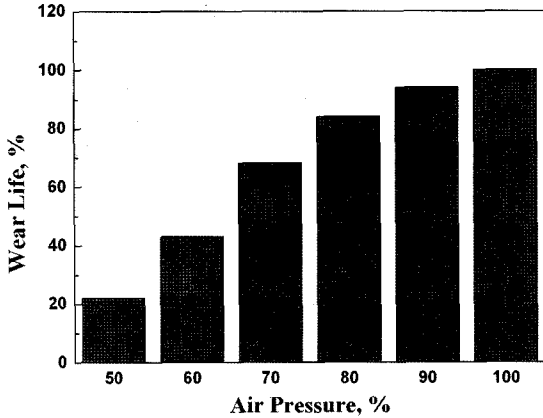


Fig. 3. Wear life of an air pressure in a passenger car tire.

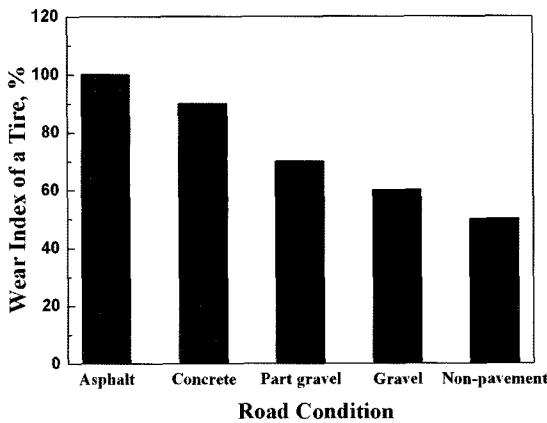


Fig. 4. Tread wear index of a tire for various road conditions.

명에 미치는 영향이 대단히 높다는 것을 제시한 데이터로 타이어의 공기압은 제작사에서 권장하는 규정 공기압을 유지하는 것이 타이어의 내마멸 수명을 연장하는 지름길이다.

(2) 도로조건

Fig. 4의 실험결과에 의하면, 타이어의 트레드 표면과 상대접촉 마찰운동을 하는 노면의 굴곡형상, 도로를 포장한 소재에 따라 타이어의 마멸율은 많은 영향을 받는다.

아스팔트로 포장한 도로의 마멸지수(wear index)를 100%로 할 경우, 비포장 도로를 운행한 차량의 타이어 마멸지수는 50%, 콘크리트로 포장한 도로의 마멸지수는 10%나 줄어드는 것으로 나타났다. 여기서 마멸지수가 높다는 것은 타이어의 내마멸성이 우수하다는 것으로 차량의 안락성 및 연비향상에 긍정적인 영

향을 미치게 된다. 타이어의 마멸지수를 마멸 발생량 측면에서 고찰하면, 도로는 아스팔트로 포장하는 것이 가장 좋다. 도로를 포장하지 않으면, 타이어와 노면의 접촉면적은 상대적으로 줄어들고 하중지지는 국부적으로 증가하면서 타이어의 마멸은 증가하고, 마찰력은 감소하여 차량의 주행력 및 제동력 확보는 어려워진다. 결국 타이어의 트레드 표면과 노면과의 접촉면 감소는 타이어의 내구성과 주행 안정성을 떨어뜨리는 원인으로 작용한다.

3. 타이어의 손상 사례

3-1. 공기압에 연계된 마멸

Figs. 5와 6에서는 타이어의 공기압이 트레드 부분의 마멸발생에 큰 영향을 미치고 있음을 보여주는 대표적



Fig. 5. Shoulder wear of a tire with a low pressure of an air in comparison to the recommended air pressure.



Fig. 6. Middle zone wear of a tire with a high pressure of an air in comparison to the recommended air pressure.

인 손상 사례이다.

타이어의 공기압력을 낮은 상태로 주행하게 되면 노면과 접촉하는 타이어의 외측부에서 발생하는 마멸량은 상대적으로 많이 증가하는 것으로 나타났다. 타이어의 측면부에 해당하는 숄더(shoulder) 부분에서 발생한 편심마멸은 Fig. 5에서 보여주는 것처럼 타이어 트레드의 양쪽 측면에서 먼저 발생하기 때문에 타이어의 공기압을 규정압력으로 올려서 사용하는 것이 중요하다. 이외는 반대로 타이어의 공기압을 규정압력보다 높여서 운행할 경우는 특히 타이어의 중앙부에서 마멸이 더 많이 발생하여 오목하게 들어간 트레드 형상을 Fig. 6에서 보여준다.

따라서 타이어의 공기압은 타이어 트레드 표면의 마멸을 발생시키는 주된 원인으로 작용한다. 차량의 구동 안정성을 확보하기 위해서는 차량의 주행조건에 따라 설정된 규정 공기압을 준수하는 것이 대단히 중요함을 알 수 있다.

3-2. 휠 얼라인먼트에 연계된 마멸

자동차를 안정되게 주행하기 위해서는 타이어의 회전균형을 정확하게 맞추는 것이 중요하다. 따라서 차량의 바퀴를 구성하는 모든 회전체에 대해 균형을 잡는 작업이 휠 얼라인먼트(wheel alignment)이다. 회전체의 균형을 잡아주는 작업은 타이어의 마멸발생은 물론이고, 주행중인 차량의 직진성과 소음·진동, 핸들에 의한 조향성에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 타이어에 대한 휠 얼라인먼트는 바퀴 둘레의 균형을 맞추는 작업으로 캠버, 토인, 캐스터, 킹 핀 경사각의 요소로 구성되어 있다. 타이어의 휠에 대한 균형 조정은 타이어의 마멸에 미치는 영향을 줄일 수 있다.



Fig. 7. Shoulder wear due to an unbalance of a tire camber.



Fig. 8. Feather wear due to an unbalance of a tire toe-in.

Figs. 7과 8은 휠 얼라인먼트의 부적절한 조정 작업으로 인해 발생한 타이어의 마멸 사례이다. 차량은 주행 중에 마멸이 진행된 쪽으로 주행방향의 쓸림현상이 발생하여 조향장치의 편향된 조작을 유도하기 때문에 차량의 직진성 유지를 어렵게 한다. Fig. 7에서 트레드의 한쪽에서 발생한 숄더 마멸은 타이어 캠버의 얼라인먼트 불량으로 인해 발생한 것이다. 또한, Fig. 8에서 보여준 결과는 타이어의 토인(toe-in) 불량으로 인해 타이어의 좌우 측면에 깃털 마모가 발생된 사례를 제시한 것이다.

3-3. 마찰발열에 연계된 손상

차량에 과도한 하중이 걸린 상태에서 규정값보다 낮은 공기압 상태로 고속주행을 하는 경우나 사이드월(sidewall)의 굴곡이 증가된 비정상적인 운전조건에서 주행을 할 경우, 타이어에서 발생하는 마찰열은 급격

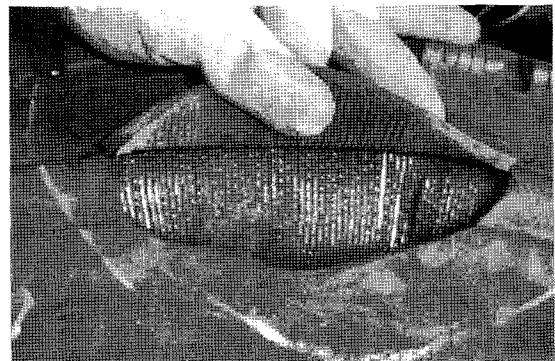


Fig. 9. Tearing and separation of a tire due to an unbalance of a tread part.

하게 증가한다. 타이어의 온도가 상승하면 노면과 마찰접촉 운동을 하는 솔더는 상대적으로 방열효과가 떨어지고 타이어에 걸리는 열응력은 집중되어 고무소재와 코트사이의 접촉계면에서는 열적피로에 의한 접합층의 분리현상이 국부적으로 발생한다.

타이어에서 고무소재와 강재코트의 분리현상이 발생하면 차량의 과적이나 과속을 금지하고 공기압을 점검하여 제조사가 권장하는 규정압력 이내로 유지하도록 해야 한다. Fig. 9는 타이어의 트레드 부위가 비정상 주행조건에 의해 발생한 마찰열에 의해 접합부가 분리되고 찢어진 불량 사례를 보여주는 것이다.

3-4. 회전체의 불균형에 연계된 이상마멸

타이어는 차량속도, 급제동 및 급출발, 주변온도, 공기압, 차체하중, 특히 노면조건에 의해 마멸수명이나 마찰력에 큰 영향을 받는다. 또한, 차량의 현가장치와 액슬빔, 허브 베어링 등의 회전부품 결함, 허브 및 스프링들의 편심과 구부러짐, 차량 회전체의 불균형, 브레이크 드럼의 편심현상, 휠의 무게중심 불균형, 부적절한 타이어와 립의 조립상태가 비정상일 때 노면과 접촉하는 타이어 표면에는 국부적인 이상마멸이 진행된다. Fig. 10은 타이어에서 심각하게 발생한 이상마멸 현상을 보여주고 있다.

3-5. 트레드에 박힌 이물질에 의한 마멸

타이어에 이물질(나사못, 작은 돌, 흙덩어리, 목재 등)이 박혀 하나의 몸체로 회전하게 되면, 타이어는 불균일한 하중분포로 인해 국부적인 마멸발생과 이로 인한 진동과 소음이 발생한다. 특히, 차량이 고속으로 주행할 때 이물질에 의한 진동 현상이 심하게 발생하면 헨

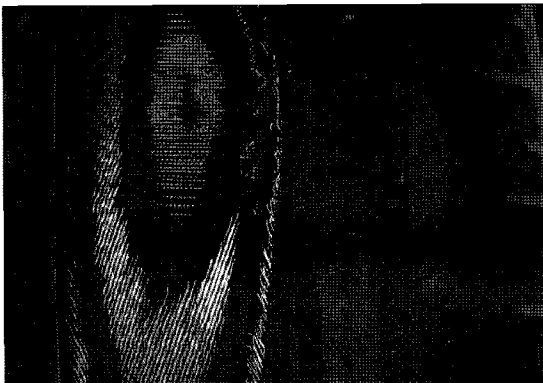


Fig. 10. Unusual wear of a tire due to an unbalanced parts.

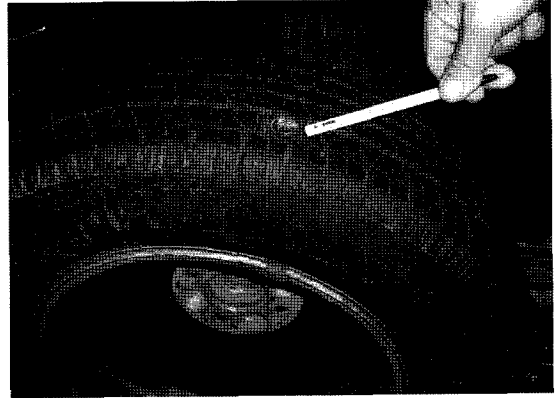


Fig. 11. Foreign material of a screw inserted on the tread of a tire, which may leak an air and produce a wear.

들이 약간씩 흔들리고, 타고 있는 사람의 승차감은 떨어지고, 운전자는 운전에 대한 불안감을 느끼게 된다.

따라서 타이어의 원주방향을 따라서 분포하는 하중이 어느 쪽으로도 기울지 않도록 운전하는 균형감을 잡아주어야 하고, 타이어에 박혀있는 이물질을 수시로 제거해야 한다. 특히 타이어의 고속주행으로 인해 발생하는 이물질에 의한 어떠한 원심력으로 차량의 떨림으로 진전되지 못하도록 신속하게 수리해야 한다. Fig. 11은 타이어의 트레드에 나사못이 박혀있는 경우로, 타이어의 균형을 잡기 위해서는 무게만큼 바퀴의 휠 밸런스를 조정하여 차량의 주행 안전성을 확보하는 것이 중요하다.

타이어는 내부에 주입된 공기압력에 의해 차량에 작용하는 모든 하중을 충분히 흡수하여 노면과 적절한 마찰력을 발생시켜 차량을 안전하게 이동하도록 한다. 타이어는 자동차의 주행 및 제동 안전성 확보에 필요한 핵심부품으로 일정기간 사용하면 마멸에 의해 수명을 다하므로 적절한 시기에 교체해야 한다. 타이어는 부드러운 비포장 도로, 딱딱한 포장도로, 빗길이나 눈이 덮인 미끄러운 노면에서의 운행 등 다양한 마찰조건과 노면형상에 대해 안전하게 제조되고 차량의 운전 특성에 적합하도록 선정되어야 한다[6~8].

3-6. 충격하중에 의한 코드절단

타이어의 코드절단은 차량을 보도의 연석이나 도로에 설치된 각이진 장애물을 무리하게 넘을 때 충격하중을 받거나, 장애물과 립 사이의 타이어 사이드월(sidewall)에 끼면서 발생한다. 타이어의 강도를 보강하

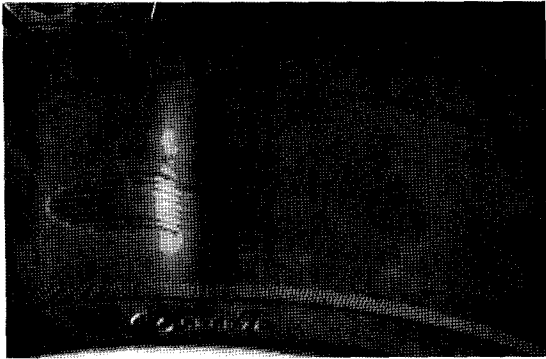


Fig. 12. Cord breaking-up example of a tire due to road obstacles and stairs.

기 위해 제조된 내부의 코드(cord)가 외부의 충격하중에 의해 절단되면 타이어의 하중지지 용량은 급격하게 떨어진다. Fig. 12는 타이어의 운행중에 도로의 턱이나 계단과 심하게 마찰하면서 타이어의 코드가 절단된 손상 사례를 보여주고 있다.

4. 결 론

차량의 주행 및 제동 안전성에 중대한 영향을 미치는 타이어에 대해 손상사례를 트라이볼로지적 연구로 마멸발생 요인을 고찰하면 다음과 같다.

- 타이어의 공기압이 규정보다 낮을 때는 타이어의

솔더 부위에서 과도한 마멸이 발생하고, 반대로 공기압이 높을 때는 타이어의 중앙부에서 과도한 마멸이 진행된다.

- 차량 바퀴의 휠 얼라인먼트가 불량할 경우는 타이어의 좌우측 부분에서 한쪽으로 편마멸이 진행된다.

- 고속주행을 하는 타이어가 과도한 부하나 급발진과 급제동을 반복적으로 받으면 극부적인 열응력 발생으로 타이어의 솔더부가 찢어지는 손상이 발생한다.

- 타이어의 외부에 부착된 이물질로 인해 타이어의 휠 밸런스가 불량해지면 마멸 또는 심각한 손상이 발생한다.

참고 문헌

1. Chung Kyun Kim, "Introduction to Engineering Tribology," BD Publishing Co. 2002.
2. 김청균, 트라이볼로지, 형설출판사, 2006.
3. Korea Society Automotive Engineering, "Handbooks of Automotive Technology II," 1996.
4. Hangwoo Kim, *et al.*, "Tire engineering," 2000.
5. Korea Tire Industry Society, "Wear of a Tire using a passenger car," 1990.
6. Maintenance Manual of Hyundai Motors Co., 2006.
7. Maintenance Manual of Kia Motors Co., 2005.
8. Maintenance Manual of GM Daewoo Motors Co. 2006.