

# 혁신적인 타이어 新技術, DONUTS

李源澤\* 譯

이 자료는 일본의 타이어 전문지인 「月刊タイヤ」 '94년 12월호에 게재되었던 것으로 Bridgestone사가 개발하여 발표한 「DONUTS(Driver Oriented New Ultimate Tire Science)」라는 이름의 「新タイヤ基盤技術」중에서 발췌하여 번역한 것이다. ....<譯者註>

## 1. 「DONUTS」 탄생의 배경

Bridgestone에서는 타이어를 개발하는 데 있어서 그 기초가 될뿐만 아니라 모든 타이어에 공통적으로 요구되고 있는 주행성능, 쾌적성, 경제성을 향상시켜 운전자들에게 안전하고 편안한 느낌을 줄 수 있는 제품을 만들기 위하여 「DONUTS」라는 이름의 새로운 타이어 基盤技術을 개발하였다.

이번에 개발한 새로운 타이어 基盤技術은 앞으로 Bridgestone이 만들어내는 주요 타이어에 도입하게 될 핵심이 되는 기술이며, 타이어에 관심을 기울이지 않는 운전자들에게도 폭넓게 어필하여 기술 이벤트로서 보편화시키는 것을 목표로 하고 있다.

현재의 타이어 제조기술은 고성능분야에서는 고무분자설계기술에 의한 컴파운드의 특성개선 또는 구조 및 패턴의 개선, 이음매를 없앴으로써 고속주행시의 剛性を 높이는 등 그 성능이 비약적으로 향상되어 가고 있다.

한편 토탈 밸런스(total balance)분야에서

는 고성능분야의 기술인 transfer와 RCOT에 의한 형상설계개념을 바꾸어줌으로써 서로 상반되는 주행성과 승차감 등이 균형을 이루고 있다. 더 이상의 기술향상을 위해서는 혁신적인 이론 및 기술의 도입이 필요하다. 그것은 분야마다 特화된 기술뿐만 아니라 설계기반의 자유도를 높여 새로운 착안점을 찾아냄으로써 기반기술의 획기적인 진전을 가져오게 될 것이다.

Bridgestone에서는 일찍부터 이 미래의 테마를 해결하는 데 착안하여 타이어의 비드(bead), 케이스(case), 컴파운드(compound), 패턴(pattern)에 대한 기초적인 연구를 거듭하여 그것을 실현하는 데 힘써왔다. 그 결과 새로운 타이어 기반기술인 「DONUTS」가 탄생되기에 이르렀다.

## 2. 自動進化設計法(GUTT)

### (1) 새로운 타이어 설계법

Bridgestone은 그동안 자연평형형상, 조종안정성을 개선할 수 있는 RCOT形狀

\* 大韓타이어工業協會 會誌次長

(Rolling Control Optimization Theory), 내구성을 개선할 수 있는 TCOT形状(Tension Control Optimization Theory) 등 여러가지 形状設計法을 개발하여 왔다. 이와같이 수많은 형상설계법을 통합하여 재구축하는 데 그치지 않고 형상, 패턴의 핏치배열, 구조나 재료 등 타이어의 여러가지 설계요소를 최적화할 수 있도록 한 것이 GUTT (Grand Unified Tire Technology)이다.

GUTT는 有限要素法으로 대표되는 예측기술과 최적화방법을 융합한 자동진화설계법이다. GUTT를 사용하여 현행 타이어 설계안과 제약조건에 최적화성능 항목을 추가하면 현행 타이어 설계안이 슈퍼컴퓨터 안에서 자동적으로 진화하여 수학적으로 뒷받침된 最適解를 얻을 수 있다.

GUTT를 광범위하게 응용할 수 있는 것은 타이어의 성능과 物理特性的의 定量的의 파악, 타이어의 물리특성을 좌우하는 구조 및 재료의 폭넓은 정보축적과 이론화라고 하는 기술기반을 토대로 하여 적절한 최적화항목을 추가하였기 때문이다.

이상과 같은 개념에서 GUTT는 타이어에 요구되는 目的關數를 최적화하기 위하여 設計變數를 자동진화시켜 가고 있다. 자동화의

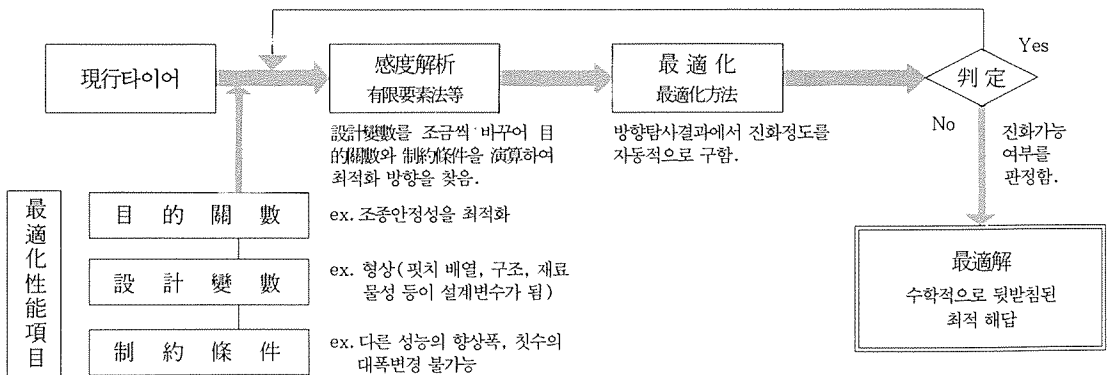
예로서 컴퓨터가 제시한 조종안정성이 우수한 타이어 형상의 진화과정을 보도록 하자.

(2) GUTT의 메커니즘 해설(조종안정성최적화)

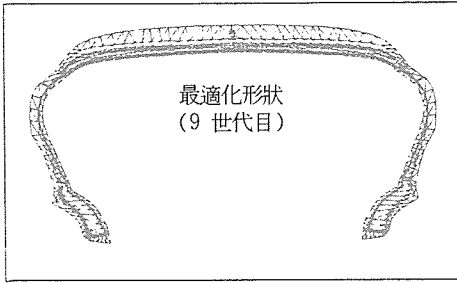
형상최적화의 메커니즘을 해설하기 위하여 張力의 변화에서 결과를 비교하기 위한 「조종안정성최적화」를 예로 든다. 조종안정성을 향상시키기 위해서는 벨트부와 비드부의 張力을 보다 높게 하는 한편 승차감을 좋게 하기 위해 사이드부의 張力을 지나치게 높이지 않는 형상이 이상적이다.

과거의 형상에서는 공기의 압력과 타이어의 張力 사이의 얇은 막의 균형식을 토대로 하여 張力을 조절하고 있다.

한편 GUTT 최적형상은 [그림 4]와 같이 타이어에 공기를 충전할 때 생기는 굴절변형을 이용하여 張力을 조절하고 있다. 벨트부 근처의 카카스에서는 안쪽의 굴절변형에 의해 카카스에 압축력이 생기기 때문에 카카스 張力은 작아지고 벨트부의 張力이 커진다. 비드부의 카카스에서는 바깥쪽의 굴절변형에 의하여 카카스에 引張力이 생기기 때문에 카카스 張力은 커진다. GUTT에서는 굴절변형을 효과적으로 사용한 형상으로 자동진화

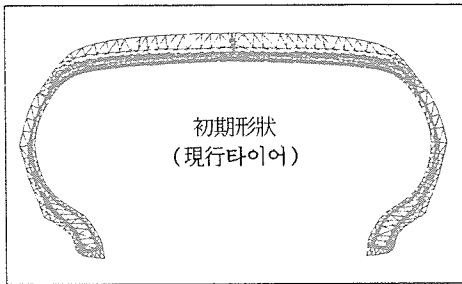


[그림 1] GUTT에 의한 조종안정성의 최적화에 (형상진화의 과정)



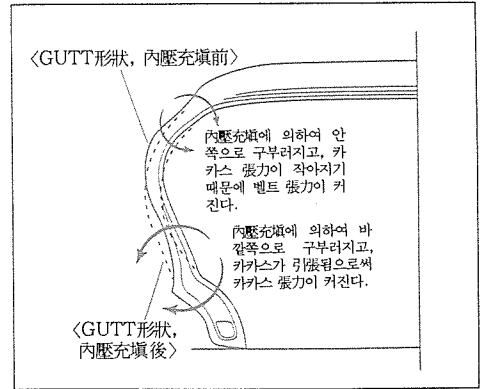
[그림 2] 제9스텝으로 최적화

비드부는 안쪽으로 오목하게, 벨트부근은 바깥쪽으로 팽창한다고 하는 지금까지 생각할 수 없었던 형상이 되었다. 그러나, 주행시험에서는 조종안정성이 개선된 것이 확인되었다. GUTT는 알려지지 않은 고성능형상을 만들어냈다.



[그림 3] 제1스텝(초기 형상)

이 형상에 「조종안정성최적화」, 예를 들면 벨트 및 비드 張力 최대 라고 하는 目的關數를 부여함.

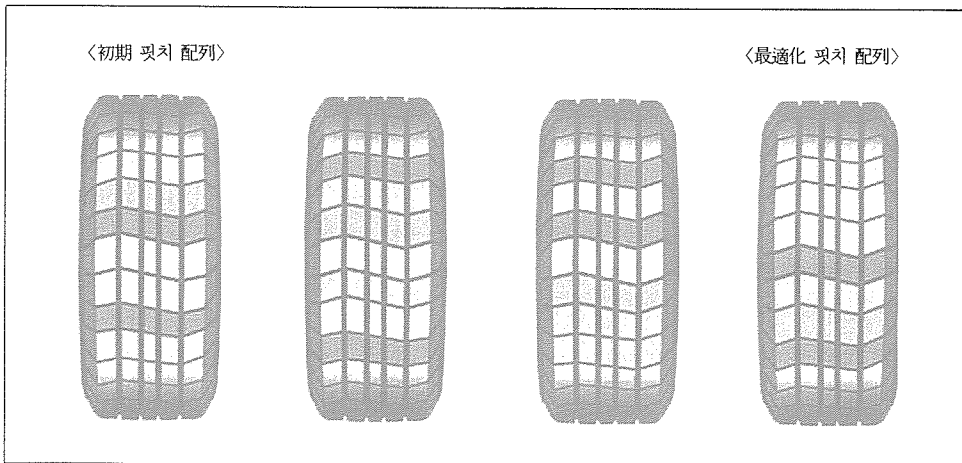


[그림 4] 공기충전시의 굴곡변형에 의한 張力向上 메커니즘

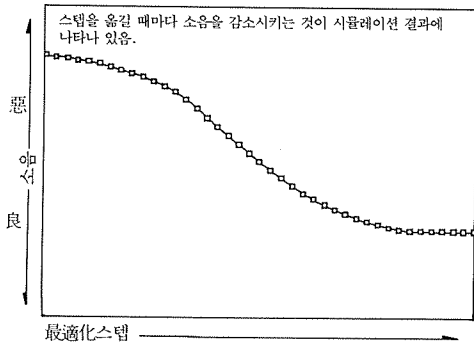
하여 왔기 때문에 과거의 기술범위를 크게 초과하여 벨트 및 비드 張力을 높여온 것이다.

즉, 과거에는 타이어를 얇은 막으로서 유사한 이론에 근거한, 굴곡변형이 무시된 형상으로 설계하였었다.

이에 대하여 GUTT는 실제 타이어와 같이 고무의 두께를 가진 유사성이 없는 이론을 근거로 하고 있다. 더우기 여러 종류의 圓弧로서 형상을 유사한 것이 아니라 高次元의 多項式으로 형상을 자유자재로 표현할 수 있는 방법을 사용하고 있기 때문에



[그림 5] ㅍㅈ를 차례로 바꾸면서 소음을 보다 감소시키는 방향으로 진화시켜 감.

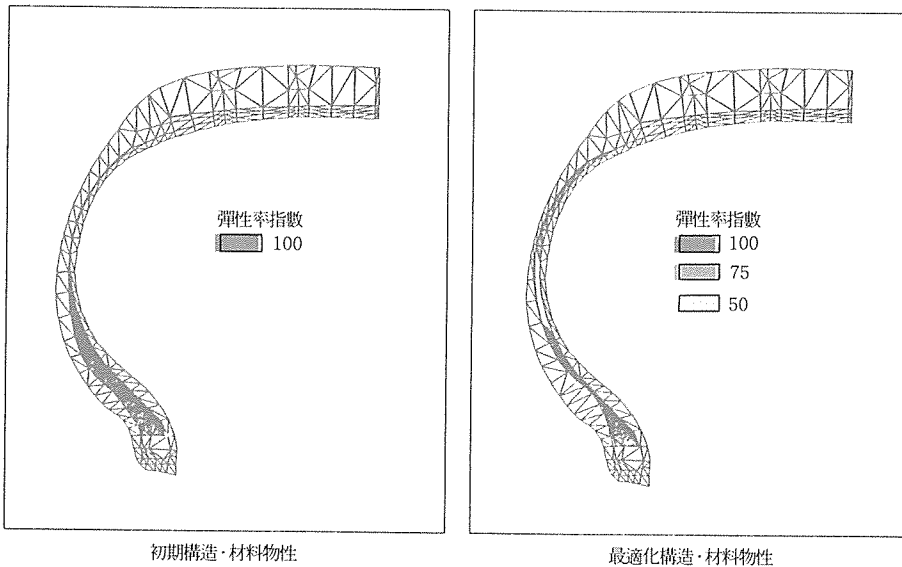


[그림 6] GUTT에 의한 소음최적화의 시뮬레이션

과거의 상식에 구애받지 않는 형상을 提案할 수 있었던 것이다(그림 2 참조).

(3) 패턴 핏치배열을 최적화한 GUTT

핏치란 트레드 패턴의 가로홈의 원주방향 간격이다. 핏치를 일정하게 하면 특정주파수의 소리가 발생하기 때문에 귀에 거슬리는 소음이 되는 것으로 알려져 있다. 그래



[그림 7] GUTT에 의해 회전저항과 조종안정성을 최적화한 구조 및 재료물성

서 보통 여러 종류의 핏치를 불규칙적으로 배열하고, 소음주파수를 분산시켜 소음을 감소시키는 연구를 하고 있다.

과거의 기술에서는 亂數를 사용하여 작성한 수많은 배열중에서 소음을 더욱 감소시킨 배열을 소음 스펙트럼(noise spectrum) 해석에 의해 선택하고 있다.

그 과정에 GUTT를 응용하여 핏치배열의 최적화를 실행하여 보았다. 그러자 [그림

5]에 나타난 바와 같이 초기 핏치배열을 스펙트럼 해석에 의거하여 핏치를 차례로 바꾸면서 최적배열을 구할 수 있었다. 그 결과 [그림 6]에 나타난 바와 같이 초기 핏치배열에 비하여 소음을 감소시킬 수 있었다. 또한 최적배열에서는 초기배열에 비하여 스펙트럼의 피크는 내려가고 스펙트럼은 폭넓은 주파수로 분산되어 가는 것이 증명되었다.

(4) 구조 및 재료물성을 최적화한 GUTT

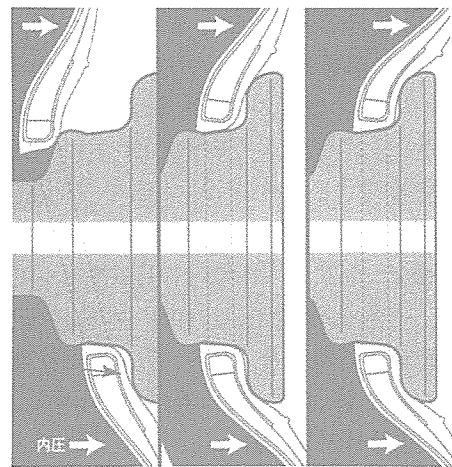
한가지 성능을 개량하면 다른 성능에 영향을 미치는 것이 일반적이다. 그러나 GUTT를 효과적으로 사용하면 재료원가의 변동이 없이 많은 성능을 양립화시킬 수 있다.

GUTT를 사용하여 비드필러(bead filler)의 구조, 재료물성을 최적화하고 회전저항과 조종안정성을 개량할 수 있는 예를 [그림 7]에 나타냈다.

여기에서는 재료원가를 변동시키지 않기 위해 비드필러의 體積을 변동시키지 않는 제약조건을 부가했다. GUTT는 먼저 조종안정성을 개량하기 위해 비드필러의 높이를 올림과 동시에 아래쪽의 두께가 감소하는 구조를 제시하였다. 그러나 이 구조에서는 회전저항이 커지기 때문에 사이드부의 중앙으로부터 위쪽 비드필러의 彈性을 낮추어 회전저항을 감소시켜 왔다. 그 결과 剛性を 높이면서도 회전저항이 커지지 않는 슬림(Slim)으로서 긴 3분할 비드플라이라고 하는 최적구조·재료물성이 얻어진 것이다.

림에 대하여 기울어진 상태로 끼워져 있다. 피트 장착 초기에는 아직 비드 全圓周가 비드 시트에 꼭 끼지 않아 테두리가 기울어진 상황에서는 비드에 그다지 큰 壓着力은 발생하지 않기 때문에 우선 비드 시트에 들어 있는 것은 깊이 들어있기 쉬워 림과 비드 사이의 틈새에 작은 부분이 생긴다.

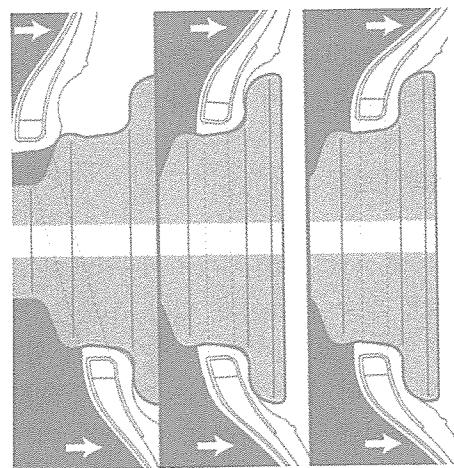
그 후 圓周를 따라 차례로 들어가고 마지막으로 테두리의 반대쪽이 들어가서 지름이



3. O-bead(眞圓性向上 bead)

평소 무심히 해버리는 것이 림 피트(rim fit) 장착작업이다. Bridgestone에서는 이 작업에서 비드부의 움직임에 자세히 관찰함으로써 다음과 같은 공정에서 틈새의 원주상 불균일이 발생하는 것을 밝혀냈다.

처음부터 비드부는 內壓을 유지시켜 주거나 노면에서 발생하는 힘을 림에 전달하는 등의 역할을 담당하기 때문에 비드는 림의 비드 시트에 壓着되어 빈틈없이 단단히 죄도록 비드徑은 림徑보다도 작게 만들고 있다. 內壓充塡에 의한 타이어의 피트(fit) 장착작업에서는 이 때문에 비드의 테두리는



[그림 8] O-bead

작은 비드의 테두리가 지름이 큰 비드 시트에 완전히 비집고 들어가 피트 장착이 완료된다.

이 최종시점에서는 비드와 비드 시트 사이에 큰 壓着力이 발생하며, 이 부분은 먼저 깊게 들어간 곳과 같은 깊이까지 들어가지 않아 반대로 틈새가 커져버린다.

이와같은 림과 비드의 틈새가 작은 부분과 큰 부분이 생기는 작용이 많이 일어나면 매우 균일하지 못한 상태에서 림 피트를 장착시켜버리는 것이 판명되었다.

틈새의 불균일을 없애기 위해서는 림의 시트形狀이나 플랜지形狀을 변경하는 방법이나 비드의 內徑을 느슨하게 하거나 비드形狀을 변경하는 등의 방법을 생각할 수 있다. 그러한 가운데서 개선책의 하나로서 Bridgestone은 「O-bead」形狀을 개발하였다.

「O-bead」形狀은 타이어 비드부가 비드 시트의 사전에 결정된 위치에 圓周上 均일하게 固定裝着하도록 작은 凸部를 설계한 형상이다. 또한 내부 비드와이어 위치의 안정성을 향상시키고 있다.

이에 따라 틈새의 불균일이 감소하여 眞圓性을 높일 수 있다. 얼핏 단순한 방법같이 보이지만 지금까지의 상식으로는 생각할 수 없었던 혁신적인 비드形狀으로서 성능향상에 공헌할 수 있게 되었다.

[과거의 비드]

(1) 비스듬하게 들어있는 비드. 內壓이 충전되는 데 따라 피트 장착이 진행되는데, 처음부터 깊숙이 들어가 있는 부분은 가는 화살표 방향으로 깊숙이 들어가 있기 쉽다.

(2) 뒤쪽부터 들어가 있는 비드도 內壓에 의해 깊숙하게 들어가려고 하지만, 비드의 테두리가 지나치게 넓어져 비드 힐이 림 플랜지에 도달하기 어렵게 된다. 피트 장착이

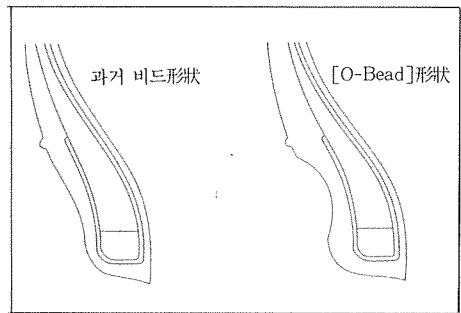
완료된 직후에는 들어간 부분은 최초부터 들어가 있는 부분만큼 깊게 들어가지 않는다.

(3) 使用內壓까지 충전하여도 (2)의 원주상 불균일상태가 유지된 채로 있다.

[O-bead]

(1) 과거와 같이 비드는 비스듬하게 들어가 있다. 먼저 깊이 들어가 있는 쪽의 비드는 內壓에 의해 림 플랜지 측면에 꼭 눌러 있는데, 비드 힐의 凸部에 의해 깊게 들어가 있는 것에 불과하다.

때문에 림 플랜지에 대하여 미리 결정된 위치로 비드는 되돌아간다.



[그림 9] 과거의 비드와 「O-bead」의 형상

(2) 피트 장착 완료직후 최후에 들어간 부분도 최초부터 들어가 있는 부분과 거의 같은 위치까지 들어가 원주상에 균일하게 피트되어 있다.

(3) 원주상 균일한채로 使用內壓까지 充塡된다.

4. L.L. Carbon(long linkage carbon ; 長連鎖 카본)

타이어의 컴파운드(compound ; 트레드 고무)의 내부구조는 크게 나누면 고무부분과 골격을 이루는 카본으로 나누어진다. 카

본의 증유를 불완전연소시킬 때 얻어지는 炭素純度가 높은 검댕, 즉 黑炭으로서 직경 15~50nm(1nm은  $\frac{1}{10^9}$  m) 정도의 形狀으로 되어 있으며, 포도송이처럼 모여 고무에 섞여 있다.

이 카본은 사람의 작은골과 같은 역할을 하여 고무에 배합하면 고무의 강도를 높여 준다. 따라서 카본의 상태를 변화시킴으로써 캄과운드는 커다란 특성변화를 나타낸다. L. L. Carbon은 지금까지의 連鎖를 보다 길게 하려고 하는 기술혁신에 의해 커다란 성능향상을 실현할 수 있었다.

앞에서 설명한 바와 같이 포송이처럼 모여 있는 카본의 이어짐을 현재의 것보다 더욱 길게 만든 것이 L. L. Carbon이다(粒子徑은 그대로임). 이에 따라 새로이 얻을 수 있는 성능은 다음의 두가지가 있다.

- 耐摩耗性 향상
- 回轉抵抗 감소

최근 더욱더 고성능화되고 있는 자동차의 파워(power)에 견디어낼 수 있는 耐摩耗性

향상이 요구되고 있으며, 燃費節約을 겨냥한 환경문제에 대한 배려 등을 고려할 때 현재 사용되고 있는 카본에서 그와 같은 요구에 부응하기 위해 고무의 특성을 크게 향상시킨다는 것은 곤란할 것으로 판단된다. 카본의 形狀因子와 타이어의 연관성을 추구하고 온 결과 카본의 평균적 형상, 특히 長徑 L/短徑 W比를 높이는 것이 서로 상반되는 摩耗와 燃費의 2대 요구성능을 동시에 향상시키는 데 지극히 효과적임을 발견하였다. 이것은 Bridgestone이 갖고 있는 강력한 解析能力이 과제 해결의 결정적인 방법이 되었다.

Bridgestone에서는 이와같은 카본形狀設計의 실현이라고 하는 주제에 몰두해 왔다. 長連鎖 카본은 과거에 그 예를 찾아볼 수 없는 새로운 카본이다. 그리고 이 새로운 카본은 위에서 예를 든 두가지 기본성능을 향상시킬 수 있을뿐만 아니라 수준이 높아진 성능을 다른 성능개선을 위해 활용함으로써 타이어 전체의 성능향상에도 공헌할 수 있는 기술로 확립되었다.

### 여러분의 원고를 기다립니다.

- 종 류 : 타이어산업에 관련되는 국내외 정보 및 자료, 각종 리포트 등
- 원고매수 : 제한없음.
- 마 감 : 홀수달 5일을 원칙으로 하나 수시로 접수
- 원 고 료 : 채택된 원고는 소정의 원고료를 드립니다.
- 보내실곳 : 서울시 강남구 삼성동 159(무역회관 1910호)  
대한타이어공업협회 「타이어」지 담당자 앞
- 문 의 처 : TEL : (02)551-1904(이원택 차장)