

EPDM 타이어 트레드의 절상 성장 특성

저자 Charles W. Stewart and John J. Verbanc

역자 우 응 삼

1. 서 언

자동차의 소형 트럭 타이어 트레드는 주로 Styrene-Butadiene Rubber (SBR)과 마모를 개선하고 Groove Cracking 현상을 감소시키기 위하여 첨가되는 Cis-1,4-polybutadiene (BR)을 번량 시켜 만들어지고 있다.

보통 천연 고무는 사용 조건이 가혹한 트럭 타이어에 사용된다. 그 이유는 이 polymer가 탄력성이 있으며 낮은 발열율을 가지고 있기 때문이다.

최근에는 Ethylene-propylene-diene (EPDM) Rubber가 단독 또는 기타 polymer와 혼용되어 타이어에 사용되기 때문에 대단한 관심을 받고 있다. 이는 이 고무의 우수한 내후성 (Weather Resistance), 내노화성 (Heat Aging Resistance), 저온 특성 및 Oil과 카이본 블랙의 고충진 능력 때문이다.

Satake와 공동 연구진은 일련의 제품중에서 Termonomer 1,4-Hexadiene, Dicyclopentadiene, Methyltetrahydroindene 및 5-Ethylidene-2-norbornene처럼 EPDM에서 보유하고 있는 Polymer의 가공성, 타이어의 성형, 내마모성, Wet Skid Resistance 및 굴곡 균열을 비교하였다.

이들 연구진은 비록 분자량 분포, 연길이 및 Ethylene의 함량과 같은 기타 요인들이 또한 중요함을 지적하였지만 Termonomer로서 Hexadiene을 갖고 있는 EPDM이 가공성, 내마모성 및 굴곡 균열에 있어서 기타 EPDM을 능가함을 각종 실험실 및 외부 시험에서 결론으로 얻었다. 예를 들어서 Polymer Viscosity와 Ethylene 함량이 증가할 때와 실온에서 가소도가 감소하는 한편 내마모성이 증가할 때는 반드시 타이어의 성형 중 가공 능력이 떨어지는 것을 발견하였다. 더우기 느린 가황 속도를 피하고 다른 종류의 고무와 혼용하는데 적합한 EPDM을 만들기 위하여는 Diene Level이 높아야만 한다. 그러나 Diene Level이 높은 것은 마모와 굴곡 균열에 대한 저항력을 감소하는 것이 발견되었다.

혼합, 압연, 성형 그리고 가황 작업을 개선하는 요인들은 또한 어떤 경우에선 타이어 트레드의 성능을 저하시키는 경향이 나타났다.

항상 Polymer를 생산하고 타이어를 제조하는데 포함되는 경제성에 유의하여 적합한 배합이 얻어질 수 있고 정당한 한계가 최종적인 트레드 후보재료의 선택을 위해서 확정되는 것은 많은 시행 착오를 거친 뒤에야만 이루어진다. 본 연구의 목적은 EPDM 기본 트레드 배합의 물성에 대하여 차이가 있는 Polymer Composition의 영향들을 측정하는 데 있었다.

일련의 실험용 Ethylene-Propylene-1,4-hexadiene Polymer들은 안전한 가공 특성과 승용차 타이어의 생산에 있어서 경제성을 갖고 있는 배합을 제공하는 것으로 알려진 성분 한계를 커버하도록 제조되었다.

이 계열에 있어서 Propylene 함량은 36~47 무게 퍼센트의 범위 내에서 변화하고 효율적인 1-4 Hexadiene 함량은 1.8에서 3.0 무게 퍼센트까지 다양하다. 한편 Mooney Viscosity [ML₁₊₄(100°C)]는 57에서 일정하게 유지되었다.

이들 Polymer들은 공업적으로 이용 가능한 Du Pont의 "Nordel" Hydrocarbon 고무와 관련은 있으나 동일하지는 않다.

본 연구에 중요 역점은 절상 성장 특성 (Cut Growth Characteristics)에 있다. 그 이유는 EPDM 트레드 배합이 대부분 Groove Crack을 일으키는 경향을 보유하고 있는 것으로 초기 타이어 시험에서 나타났기 때문이다.

더우기 종전의 실험이 설정 되었을 때 Groove Cracking 현상을 정량적으로 추정하는데 이용될 수 있는 효율적인 실험실 시험법이 없었다.

그러나 최근에 와서는 적은 균열이 전개됨으로써 얻어지는 결과로부터 균열에 이용 가능한 탄성 에너지 (Elastic Energy)를 어렵할 수 있는 방법이 상술되었다.

따라서 현재는 편리한 실험실 시험이 인열 에너지 (Tearing Energy)에 기초를 둘 수 있게 되었다.

2. Tearing Energy 판단기준

절상(Cut)의 길이가 시험편의 일정한 변형하에서 주어진 길이로 성장될 때에 소비되는 축적 에너지(Stored Energy)는 시험편의 모양에 무관하고 변형에 작용한 힘이 시험편에 작용되는 방법과는 무관함이 발견되었다.

그러므로 이 에너지는 재질의 인열(Tearing)과 직접적으로 관련이 있으며 정량적이고 일반적으로 응용할 수 있는 방법으로서 고무 샘플에서 균열의 근본적인 성장 특성을 측정하는 데 적합한 매개 변수가 되고 있다.

Bias Tire가 회전할 때에 각 Groove의 저부에서 일어난 변형은 긴 크램프와 같은 역할을 하는 트레드의 두꺼운 리브(Rib)로 인해서 거의가 순수한 전단 변형(Shear)의 일종이다.

로면과의 접촉부에 인접한 각 Groove의 적은 절개 부위는 인장 응력에 증가를 받으며 반면에 접지부 자체에서 응력은 영(Zero)으로 경감 된다.

절상의 길이가 약 절반 정도의 응력을 받지 않은 Groove의 폭과 맞먹을 때에 최대한의 균열 노출은 응력을 경감시키기에 충분하다.

그러므로 보다 긴 절상에 대해서는 인열 에너지가 절상의 길이에 무관하게 된다.

3. 실험

승용차 타이어에 사용하기에 적합한 EPDM 트레드 후보를 개발하기 위하여 일련의 실험용 Ethylene-Propylene-1,4-Hexadiene Polymer 들이 상술한 구성 성분을 갖추도록 제조되었다.

이들 Polymer의 Tread 배합은 다음과 같이 주어진 처방을 사용하여 준비되었다.

표 1. polymer 의 구성

	A	B	C	D
Propylene wt%	42	36	47	41
Hexadiene wt%	1.8	2.2	2.2	3.0

※ Mooney Viscosity [ML₁₊₄(100°C)]는 57 로 일정하게 유지함.

표 2. 배 합 표

EPDM	100phr
ISAF	100 "
Sunpar 150 oil	75 "
Zno	5.0 "
Stearic Acid	1.0 "
Sulfur	1.0 "
Tetramethyl-Thiuram-Monosulfide	1.5 "
Mercaptobenzo-thiazole	0.8 "

[주] (1) Banbury 혼합에 의한
(2) 가황은 330°F에서 25 분

로면 주행 시험을 위하여 4개의 타이어가 각각의 고무를 써서 제조되었는데 2-ply Nylon(4PR)을 써서 7.75×14의 Firestone "Deluxe champion" Design 을 이용하였다.

또한 실험실 시험을 위하여는 약 1mm 정도 두께의 슈트를 steel plate에서 가황하고 6 인치×1 인치의 인장 시편은 이들 슈트에서 절취하였다.

비교시험용으로서 EPDM 타이어와 동일한 규격 및 Design 의 시판 SBR-BR Firestone "Delux Champion" 타이어가 로면 시험을 하였으며 인장 시편들은 이들 타이어 트레드의 여러 부위에서 절취하였다.

3-1 실험실 시험

인장 시험용 트레드 배합의 절상 성장 특성들을 측정기 위하여 Lake 및 Lindley 씨에 의해 기술된 실험 조작은 다음과 같다.

시험기는 로면상에서 피로가 발생하는 유사한 조건으로 50°C의 Air Oven 에 설치되었다.

단순 신장에 있어서 변형은 20% 이하의 응력으로 제한되었으며 Cyclic process 의 빈도는 200 cpm 으로 선택되었다. Black-Filled 가황 고무에서 구조의 파괴로 인한 Permanent Set 를 참작하기 위하여 시료를 24 시간 동안 이미 회전 과정을 겪게 하였다.

그 다음에 "Strain Energy Density"는 시료에 대한 "Load Deflection Curve"로 부터 측정되며 적은 절상이 시험을 착수할 시편의 한 가장자리에 만들어진다.

절상 성장 측정이 이와같은 방법으로서 측정될 경우에 가황한 슈트에서 절취한 인장 시편을 이용한 결과들은 로면 시험을 한 타이어의 트레드로부터 절취한 시편에 대한 결과와 아주 일치 함이 발견되었다.

절상 성장 속도는 그림 1에 EPDM 트레드 배합과 비교용 SBR-BR 에 대한 인열 에너지의 함수로서 그려

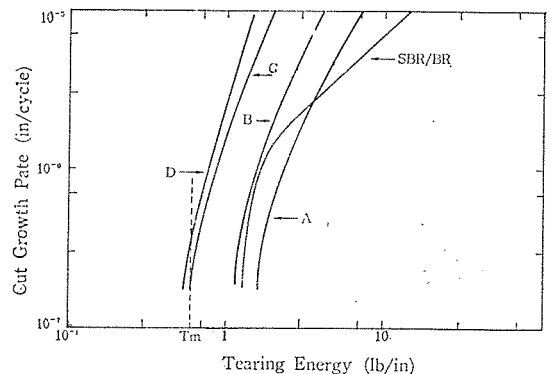


FIG. 1. Cut growth characteristics of EPDM and SBR/BR tread compounds: (A) 42% propylene, 1.8% diene; (B) 36% propylene, 2.2% diene; (C) 47% propylene, 2.2% diene; (D) 41% propylene, 3% diene.

졌다.

EPDM 은 Propylene 및 1,4-Hexadiene 의 함량이 적을 때 절상 성장에 더 저항력을 갖게 되는 것으로 보여진다.

Propylene 함량의 감소는 이들 polymer 들의 결정도의 증가 현상을 일으키며 Stretching 에 대하여 더욱 결정화하는 경향을 나타낸다.

천연고무 및 Cis-1,4-polybutadiene 의 경우와 마찬가지로 결정도는 절상 성장에 대한 저항력을 증가시키는 경향을 나타낼 것이다. High Level 의 Diene monomer 는 과가류 상태를 초래하는 것 같으며 다소 취약성(脆弱性)의 배합을 만드는 것 같이 생각된다.

3-2 로면 시험

타이어는 매트타이어에 대하여 24psig 의 냉공기압과 1280lb 의 하중을 가지는 5.5k×14Rim 에 장착하며 Texas 의 미리 선정된 고속 도로상을 여름철에 평균속도 60mph 로 주행하며 매 500 mile 을 주행하고 관찰하게 된다.

0.1 인치 이하의 조그마한 절상이 전타이어에 랜덤하게 나타났었다. 이들은 아마도 도로상에 돌이나 에리한 물체 위를 주행한 때문이었다.

또한 몇 개의 절상은 여러 단계에서 타이어의 Groove 에 서서히 생겼으며 각 절상의 성장 속도는 실험실 시험 결과와 거의 비슷하였다.

타이어가 회전할 때 타이어의 Groove 에 최대 Tearing Energy "Tm" 은 "Lake" 씨에 의해서 기술된 것처럼 적은 균열이 전개 되는 결과로부터 결정된다.

본 연구에 사용된 타이어에서 Groove 의 폭은 0.2 인치이었다.

변형은 거의 순수한 전단(Shear) 변형의 하나이기 때문에 최대 균열의 전개는 0.1 인치 이상의 절상에 대하여는 절상의 길이에 무관하다. 그리고 인열 에너지는 일정하게 된다.

본 시험에 사용된 타이어와 시험 조건에 있어서 이 일정한 인열 에너지의 값은 $T_m = 0.6 \text{ lb/in}$ 이 알려졌다.

4. 시험 결과

그림 1 에서 타이어 A, B 및 SBR-BR 은 0.6lb/in 의 인열 에너지에서 절상 성장 속도는 대단히 느리기 때문에 시험 조건하에서 Groove Crack 현상은 일어나지 않을 것으로 기대된다.

실제로 이들 타이어에서 절상은 서서히 발생하든 미지의 로면 장애물에 기인하든 간에 전시험에서 성장하지 않았음이 관찰되었다.

한편 Polymer C 에서 절상은 10,000 mile (8.5×10^6 cycles) 당 1.7 인치의 속도로 그리고 Polymer D 에 있

어서는 10000 mile 당 2.8 인치의 속도로 성장하는 것으로 생각되었다.

보통 균열 성장 과정에서 있는 것처럼 결과에는 다소 차이는 있었다. 그러나 평균 해서 타이어 "C" 의 경우 절상은 10,000 mile 당 2.0 인치의 속도로 성장하였으며 타이어 "D" 에서 절상은 10,000 mile 당 3.2 인치의 속도로 성장하였다.

예를 들면 polymer C 로 만든 타이어 4 개는 12,000 mile 을 주행후 1.5 내지 2.5 인치 사이의 길이를 갖는 여덟개의 균열을 갖고 있었는데 모두 처음 4000mile 을 주행하는 동안에 발생한 우발적인 적은 절상에 기인한 것이었다. 마찬가지로 polymer D 의 4 개의 타이어들은 처음 12,000 mile 주행 후에 2.5~3.5 인치 사이의 길이로 전체 12 개의 균열을 가지고 있었다.

이들 두 polymer 로 제조된 타이어들은 또한 후에 실험에서 발생하는 많은 조그마한 균열을 가지고 있었으며 다음에 인장 시험편에 대한 실험실적 시험에서 이미 알려진 수치에 아주 가까운 일정한 속도로 성장하였다.

로면 시험중에 관찰된 균열 성장 속도는 실험실에서 관찰된 속도에 비해서 다소 빨랐었다.

그 이유는 타이어의 Groove 에 있어서 인열 에너지가 Cornering 현상에 의해서 증가함에 있다.

인열에너지는 운행 속도, 공전 속도, Wheel Stiffness 및 Groove 의 위치에 좌우 됨을 고속 촬영기를 통하여 발견하였다.

이것은 수많은 급커브를 포함하여 로면 시험 조건을 복잡하게 한다. 그렇지만 아직도 인열 에너지 기준은 polymer 구성과 그 polymer 가 사용시에 격계 될 최대응력 에너지를 측정함으로써 Groove 균열에 가장 내구력이 좋은 트레드 배합을 선택하는 데 이용 되어질 수 있다.

그림 1 에 Polymer 의 구성에 있어서 Tearing Energy 가 3lb/in 이하로 유지 된다면 polymer A 가 가장 적합할 것이다.

로면 시험에서 EPDM 타이어의 내절상 성장 및 내마모성 사이에는 어떤 상관 관계가 있는 것처럼 보이는 것을 주목하여야 한다.

현시점에서 비록 정략적인 관계는 알 수 없다 하더라도 Polymer A 와 B 는 트레드 마모에 의해서 측정된 것과 같이 SBR-BR 에 비해서 약 10%~20%의 좋은 내마모성을 나타내었으며 한편 Polymer C 와 D 는 SBR-BR 보다 5%~10% 낮은 내마모성을 가지고 있었다.

빙상 및 설상에서 EPDM 타이어의 견인력은 매우 우수하다. 그러나 Wet Skid Resistance 는 SBR-BR 타이어에 비해서 다소 떨어지는 것으로 알려졌다.

만일 EPDM 트레드 배합에 종전에 사용된 Paraffinic oil 이나 Naphthenic oil 이 High Aromatic oil 로 대체

되면 SBR-BR 트레이드의 경우에서의 같이 배합 고무의 탄성은 저하되고 Wet Skid Resistance는 SBR-BR 과 대등하게 되는 것이 발견되었으며 내 절상 성장도는 거의 10% 가량 개선되었다.

5. 결 언

안전한 가공 특성과 경제성을 지니고 있는 실험용 EPDM 고무가 Groove Cracking 에 역점을 두어 승용차용 타이어에서 평가되었다.

Tearing Energy 의 기준이 이들 polymer 로 제조된 타이어의 Groove 균열 현상을 정확하게 예측하기 위하여 실험실 시험에 이용되었다. Bias 타이어에서 36%~42%의 propylene 과 1.8%~2.2%의 Diene 을 포함하고 있는 Ethylene-Propylene-1,4-Hexadiene tripolymers 가 비교용 BBR-BR 보다 절상 성장 및 마모에 우수한 내구력을 나타내고 있음을 로턴 시험 결과들이 암시하여 주고 있다.

42% 이상의 propylene 혹은 2.2% 이상의 Diene 을 포함하는 Polymer 들은 Groove Cracking 에 대한 내구력과 마모에 있어서 떨어지고 있었으나 그 원인을 정확하게 규명할 충분한 자료는 없다.

<特輯>

1971年の日本新 고무消費量 確定

日本 고무工業會

當會에서는 지난 3月 22日 開催된 第103回 常任理事會의 議를 經하여 1971年の 年間新 고무消費量을 列表와 같이 確定했다.

1. 概 要

이에 依하면 71年の 新 고무消費總量은 811,000 屯으로서 本年頭에 配布한 「고무工業의 現況」에 掲載한 見積量 807,000 屯보다 4,000 屯 增加하고 對前年比는 104.1%로 되었다. 또한 其中 고무工業에서의 消費量은 718,000 屯(前年比 104.2%)이다.

2. 고무製品의 主要部類別의 消費狀況

타이어, 튜브, 신발 工業用品 및 其他의 고무製品의 4個로 類別해 보면 타이어類의 新 고무 消費量은 424,100 屯으로서 비로소 40萬台를 넘어 全 고무製品中의 構成比는 約 59%로 됐다.

然이나 對前年比로는 106.3%이며 70年에 비해 伸率은 半減하고 있다. (70年の 對前年比는 113.5%)

工業用品類는 172,500 屯(構成比—24%)으로 타이어類에 다음하여 消費量은 많으나 一般産業界의 需要의

참 고 문 헌

- K. Satake, T. Sone, and M. Hamada, J. IRI 4, 21 (1970).
 K. Satake, T. Sone, and M. Hamada, J. IRL 4, 71 (1970).
 K. Satake, T. Wata T. Sone, and M. Hamada, J. IRI 4, 102 (1970).
 R. W. Kindle and S. van der Burg, Rubber Age 98, 65 (1966).
 G. J. Lake, paper presented at the "Yield, Deformation and Fracture of Polymers Conference", Cambridge, England, March-April 1970.
 R. S. Rivlin and A.G. Thomas, J Polymer Sci. 10, 219 (1953).
 G. J. Lake and P. B. Lindley, Rubber J. 146, 24 (1964); Rubber Chem. Technol. 38, 301 (1965).
 U. Flisi, G. Crespi, and A. Valvassori, Rubber Chem. Technol. 43, 778 (1970).
 C. C. McCabe, R.G. Arnold, and J.J. Berbanc, Paper presented at the Division of Rubber Chemistry, Acs, Spring Meeting, Cleveland, April 24, 1968.
 H. K. Frensdorff, private communication.

停滯로 인하여 對前年伸率은 103.3%의 微增에 머물렀다. (70年은 117.6%)

신발類는 61,400 屯(構成比~8.5%)으로 68年 및 69年の 69,000 屯을 피이크로 하여 그 後는 輸出의 後退 등으로 고무消費量은 下降의 一路를 더듬고 있다.

고무인부를 爲始한 其他의 고무製品類는 60,000 屯(構成比—8.4%)으로 對前年比는 109.1%로서 4 類別中에서 가장 높고 그중에서도 運動競技用品은 보오링볼의 盛況等을 反映하여 120%로서 全 고무製品中 最高의 伸率을 示顯했다.

3. 合成고무의 使用比率

71年の 新 고무消費總量에 占하는 合成고무의 使用比率는 63.6%이다. 고무工業以外分에서의 使用比率는 前年の 84.7%에서 0.9%의 上昇을 보았으나 고무工業分에 對해서는 生 고무時勢의 低落 및 自動車 타이어部門에서의 大型타이어의 生産增에 依據 天然고무의 多用 傾向이 생겨 이 때문에 合成고무의 使用比率는 前年の 60.9%에서 60.8%로 적기는 하지만 低下를 보였다.

(72. 3 日本 고무工業會 發刊 月報)