

# 低燃費 타이어用 合成 고무 S-SBR의 開發

協 會 李 源 善

## 1. 序 言

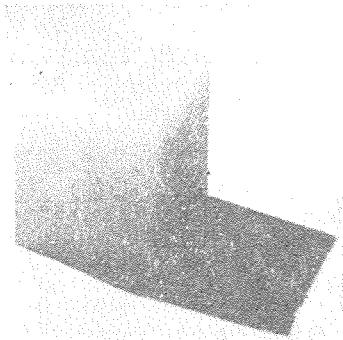
自動車の高性能化, 高機能化에 따라 타이어에 대한 要求性能도 每年 늘어나고 있다.

타이어는 『走行, 旋回, 停止』 등 基本的인 性能 이외에도

- ① 安全性
- ② 騒音 등의 環境에 대한 適合性
- ③ 價格, 燃費, 耐久性 등의 經濟性
- ④ 振動, 乘車感 등의 居住性
- ⑤ 操縱性, 高速安定性 등의 運動性

등 타이어 需要者들의 要求性能도 多樣化되고 있다.

이와같은 要求에 따라 乘用車用타이어에는 低燃費 타이어, 高性能 타이어, Studless 타이어,



S-SBR

(低燃費 타이어用으로 새로 開發된 合成 고무)

全天候 타이어, 安全(Runflat) 타이어 등이 開發되었다.

本稿에서는 1970年代의 2次에 걸친 石油波動으로, 合成고무의 開發目標가 主題가 되어 고무의 性質에 대한 概念을 根本的으로 바꾸어놓을 수 있는 새로운 性能開發에 成功한 低燃費 타이어用 合成고무에 대해서 살펴보기로 한다.

## 2. 低燃費 타이어에 대한 要求性能

1973年の 石油波動 이후에 美國을 위시한 世界 自動車工業國에서는 自動車の 燃費節減對策에 全力을 다하였다(表1 참조).

특히 日本에서는 排氣 가스를 強力히 規制함으로써 自動車の 燃費節減이 惡化된 사실도 있었다(表2 참조). 따라서 日本에서는 燃費改善問題가 最優先課題로 되어 現在에도 燃費節減을 위한 研究가 많이 進行되고 있다. 1982년에는 日本 自動車の 10mode 燃費가 12.5km/ℓ를 超

〈表1〉 美國의 燃費規定值

1975年 美國 交通部에서는 美國自動車の 燃費規制 CAFE(Corporate average fuel economy)를 設定, 乘用車의 1 gallon當 走行距離의 下限線을 아래와 같이 制定하였다.

6,000파운드 以下の 國內生産車 및 輸入車

- 1978年 18.0mile/G(約 7.6km/ℓ)
- 1983年 26.0mile/G(約10.9km/ℓ)
- 1985年 27.5mile/G(約11.6km/ℓ)

過하고 있으나(그림 1), 타이어에 대한 低燃費 要求는 계속 強調되고 있다.

自動車の 燃費를 節減하기 위한 對策으로는 다음과 같은 事項을 들 수 있다.

- ① 엔진의 效率化
- ② 車体の 輕量化
- ③ 空氣抵抗의 減少
- ④ 타이어의 回轉抵抗의 減少

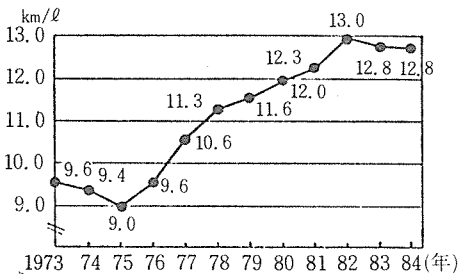
특히 타이어의 回轉抵抗은 自動車燃費의 約 15%를 占하고 있는 중요한 要因이다(그림 2). 그리고 回轉抵抗에 가장 많은 影響을 미치고 있는 타이어 部位는 직접 路面에 接하는 トレッド部分으로서 總 回轉抵抗의 約 50%를 占하고 있다(그림 3). 따라서 トレッド 配合에는 回轉抵抗이 작은, 즉 에너지 損失이 작은 고무 材料를 使用하는 것이 重要하다. 그러나 既存 타이어用 高

무에서 에너지 損失이 작은 天然 고무나 폴리부타디엔고무(BR)를 使用하게 되면 젖은 路面에서의 制動性能이 低下된다. 결국, 走行時의 에너지 損失은 가능한 限 작게 하고, 制動時의 에너지 損失은 가능한 限 크게 해야 된다는 完全히 二律背反의인 特性을 同時에 만족시킬 수 있는 새로운 고무의 合成技術이 必要하게 된 것이다.

타이어 메이커의 研究結果, 타이어에 回轉抵抗이 發生할 때의 振動은 타이어 1回轉에서 振動數가 約 100Hz(사이클/秒) 정도의 低周波數의 振動이며, 制動時의 振動은 接地面의 微小變化로 因하여 振動數가 10,000~100萬 Hz에 達하는

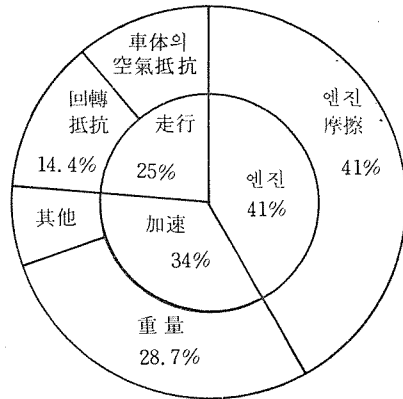
〔表 2〕 日本의 燃費目標值(乘用車)

| 1979年 日本運輸省은 “省에너지法”에 따라 乘用車의 燃費目標值를 設定. (達成目標年度는 1985年度, 단, 輸入車는 1988年度. 測定法은 10 mode) |                     |              |
|---|---------------------|--------------|
| 區分  | 等價慣性重量              | 加重調和平均 燃料消費率 |
| A   | 625kg 以下            | 19.8km/ℓ     |
| B   | 750kg 以上 875kg 以下   | 16.0km/ℓ     |
| C   | 1000kg 以上 1250kg 以下 | 12.5km/ℓ     |
| D   | 1500kg 以上 2000kg 以下 | 8.5km/ℓ      |

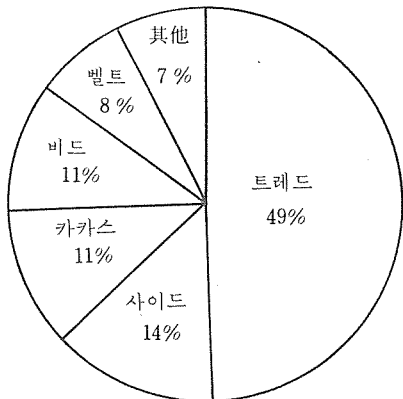


註: 內需用 國內産 乘用車 平均 10mode 燃費  
資料: 日本自動車工業會

〔그림 1〕 日本 自動車의 燃費



〔그림 2〕 自動車의 에너지 損失 (10 mode 走行測定)

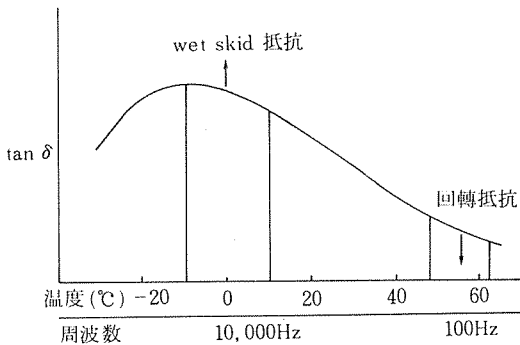


〔그림 3〕 回轉抵抗에 미치는 타이어各部分의 影響

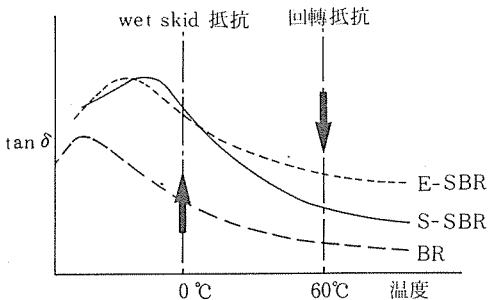
高周波振動이다. 따라서 回轉抵抗을 작게 하고 wet skid 抵抗(브레이크 性能)을 크게 하자면 低周波數에서는 에너지 損失을 작게 하고 高周波數에서는 損失을 크게 하여야 된다는 것을 알 수 있다. 고무의 周波數는 溫度로 換算하게 되는데, 一般的으로 回轉抵抗은 60°C 前後의 에너지 損失을 작게 하고, wet skid 性은 0°C 前後의 損失을 크게 하는 方向으로 고무 (polymer) 設計를 하고 있다(그림 4 참조).

### 3. 低燃費 타이어用 고무의 開發

現在 使用되고 있는 타이어用 고무는 乳化重合 Styrene butadiene 고무(emulsion SBR; E-SBR), High cis polybutadiene 고무(BR), 溶液重合 Styrene butadiene 고무(solution SBR; S-SBR) 등인데, 이들 고무의 에너지 損失과 溫度의 關係를 보면 그림 5 와 같다.



[그림 4] 에너지 損失(tan δ)과 溫度·周波數의 關係



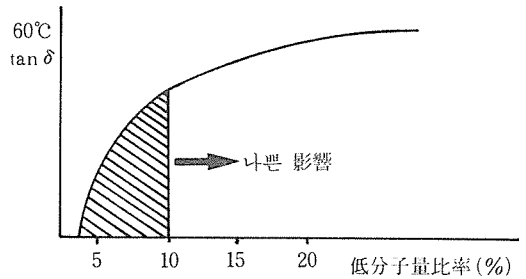
[그림 5] 各種 合成고무의 tan δ와 溫度의 關係

즉, S-SBR은 wet skid 性能을 維持하면서 回轉抵抗을 減少시키는 性質이 있다는 것을 알 수 있고, 또한 에너지 損失을 작게 하기 위해서는 低分子量의 成分이나 styrene 量을 減少시키는 것이 좋다는 것을 알 수 있다. (그림 6 참조).

그러나 低分子量成分을 減少시키면 고무의 加工性이 不良해지고, 또 styrene 量을 減少시키면 고무의 引張強度가 低下되기 때문에 從來의 技術로서는 二律背反의 性能을 解決할 수가 없었다. 단, butadiene 部分의 vinyl 量은 比較的 에너지 損失과는 關係없이 wet skid 性能에 影響을 주고 있다는 것을 알게 되었다.

또한 分子의 micro 構造, 즉 부타디엔 部分

① 回轉抵抗(60°C tan δ)을 작게 한다.



低分子量成分을 10% 以下로 減少시키면 有效 但, 加工性不良

② wet skid(0°C tan δ)를 크게 한다.

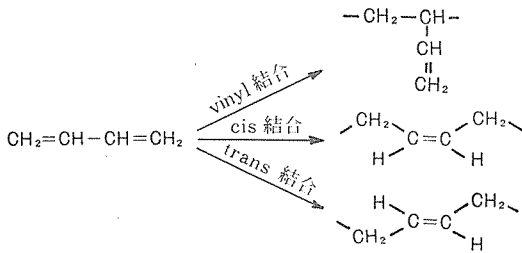
| 方法        | 回轉抵抗 | wet skid |
|-----------|------|----------|
| Styrene ↗ | ↗    | ↗        |
| Vinyl ↗   | →    | ↗        |

S-SBR의 Butadiene 部分의 Vinyl 量(%)을 增加시키면 有效 但, 強度低下

[그림 6] 從來技術에서의 對應(二律背反性)

의 cis, trans, vinyl의 組成量(그림 7 참조) 이나, 스티렌分子的 Random 性的 最適化 및 分子量 分布의 最適化가 研究되어 2山構造의 分布에서도 分子量이 다른 polymer의 블렌드에 의한 것과 朱錫 coupling에 의한 2山構造에서는 粘彈性에 差가 있으며 後者は 우수한 低損失性을 나타내고 있다. 더우기 이 朱錫 polymer의 結合은 素練工程에서 切斷反應이 일어나기 때문에 加工性이 크게 向上된다는 것을 알았다(그림 8 참조).

이 朱錫 커플링의 메카니즘을 追求하던 중에,



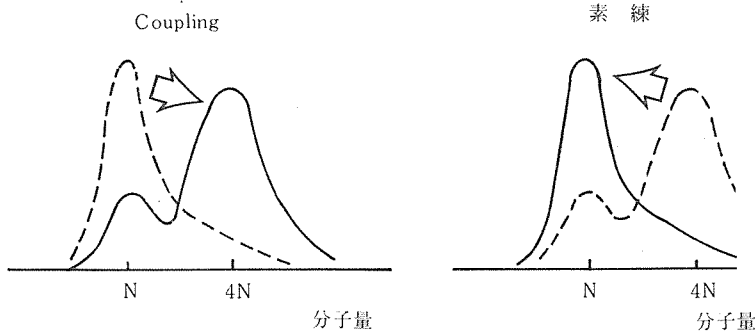
[그림 7] Butadiene 끼리의 重合, 3가지 形態

素練段階에서 朱錫 폴리머의 連結部가 切斷되어 컴파운드 중에서 카본블록 分散이 잘 되는 동시에 그 切斷部에 存在하는 朱錫이 카본블록과 化學적으로 結合되어 보다 強力한 結合을 形成하고, 破壞強度도 크게 向上됨을 發見하였다(그림 9 참조).

커플링 劑로는 朱錫 외에도 珪素 등 金屬 커플링 劑와 Amin 系的 有機 커플링 劑가 使用되고 있으나, 이들은 朱錫만큼 素練時의 切斷反應이 일어나지 않고, 加工性이 어려우며, 回轉抵抗性能도 朱錫만 못하다.

日本 合成고무會社에서는 또한 朱錫 폴리머의 結合의 質에 注目하고, 폴리머 末端部를 부타디엔이 되게 하여 朱錫 스티렌보다 강한 結合이 되도록 함으로써 回轉抵抗을 減少시키고, 破壞強度를 向上시키는 研究에 集中하고 있다(表 3 참조).

現在의 고무 性能을 變化시킨 이와같은 革新的인 타이어用 合成고무는 低分子量成分의 減少, 스티렌의 vinyl基 置換, 스티렌의 Random



[그림 8] Coupling 및 素練에 의한 分子量分布의 變化

(表 3) 各種 SBR의 物性 值例

|                            | 乳化重合 SBR | 溶液重合 SBR<br>(coupling 없음) | 溶液重合 SBR<br>(朱錫 coupling) |
|----------------------------|----------|---------------------------|---------------------------|
| Mooney 粘度(ML 1+4)          | 72       | 87                        | 65                        |
| 引張強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 274      | 205                       | 240                       |
| 回轉抵抗(tan δ, 60°C)          | 0.185    | 0.140                     | 0.102                     |
| Wet skid(指數)               | 100      | 103                       | 104                       |
| 耐磨耗性(指數)                   | 100      | 95                        | 115                       |

化 등 從來의 發想과는 달리, 폴리머와 카본블랙의 化學的結合으로 카본블랙 分散을 向上시킨다는 새로운 發想에 의한 新技術로 開發되었다고 볼 수 있다.

現在 이 溶液重合 合成고무를 使用한 타이어는 過去의 乳化重合 SBR에 비해 트레드부의 回轉抵抗을 25%나 減少(約 3~4%의 燃費減少)시키는 동시에 濕潤路面에서의 브레이크 性能도 約 5% 向上시킴으로써 二律背反이었던 이 두 性能을 同時에 만족시키고 있으며, 또한 耐磨耗性도 約 10% 向上되는 등 우수한 合成고무로 알려져 있다.

#### 4. 溶液重合 SBR의 展望

溶液重合 SBR은 原料인 styrene과 butadi-

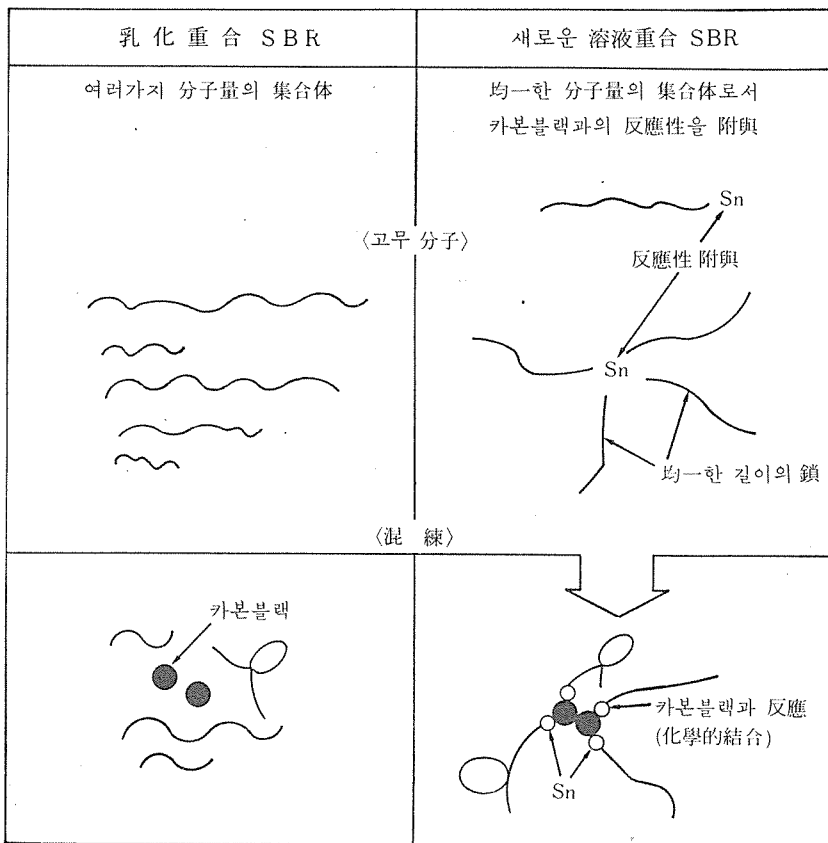
ene을 비눗물 속에서 重合시키는 『乳化重合法』과는 달리, 두 原料를 heptane이나 hexane 등의 溶液中에서 lithium 触媒를 사용하여 重合反應시키는 『溶液重合法』으로 만들어진 合成고무로서

- ① Styrene의 配列
- ② Micro 構造
- ③ 分子量
- ④ 分子量分布
- ⑤ Polymer의 modify

등 分子設計가 精密하게 調整되므로 要求性能을 滿足시킬 수 있는 合成고무를 製造할 수 있는 可能性이 크다고 볼 수 있다.

이와같이 最適한 分子設計가 가능한 溶液重合 SBR은

- ① 低燃費 타이어를 비롯



[그림 9]

分子設計

(表 4)

- ① Micro 構造... Monomer (單量體) 組成, 結合樣式 (立體構造, 配列方法) 등을 엄밀히 制御한다.
- ② Macro 構造... 分子量, 分子量分布, 高次構造를 正確히 制御한다.
- ③ 其他... 特殊한 連結劑를 사용하여 Polymer (重合體) 내에 特殊結合을 導入한다.

- ② 季節에 關係없이 年中 사용할 수 있는 全天候 타이어 (All season tire)
- ③ 操縱性, 高速安定性이 要求되는 高性能 타이어 (High performance tire)
- ④ 눈길이나 빙판길에서도 스파이크를 사용하지 않고 走行할 수 있는 Studless 타이어
- ⑤ 耐久性, 耐磨耗性이 우수한 타이어 등에도 使用될 可能性이 있으며, 또 앞으로 高度化, 多樣化되는 타이어의 要求性能을 滿足시킬 수 있는 고무 材料로서 將來가 期待되고 있다.

5. 結 言

美國을 비롯한 世界各國에서 溶液重合 SBR 이 生産되고 있으나, 日本과 같은 水準의 低燃費 타이어用 고무는 아직 實用化되지 않은 것 같다. 日本에서는 溶液重合 SBR을 여러 會社에서 生産·販賣하고 있으며, 低燃費 타이어用에서 最近에는 全天候 타이어用, 高性能 타이어用, 非타이어用 등으로도 使用할 可能性이 있으며, 앞으로 本格的인 實用化時代가 올 것으로 보인다.

日本 合成고무會社의 低燃費 타이어用 合成고무는 日本의 타이어메이커들과 共同으로 開發하여 實用化된 것이다. 앞으로 타이어에 要求되는 性能의 高度化 및 多樣化를 생각하면 用途에 맞는 材料를 開發하는 것이 지금까지 以上으로 무엇보다도 重要한 일인데, 그것을 達成하기 위해서는 폴리머 메이커와 타이어 메이커가 다같이 緊密한 協力を 하지 않으면 안될 것으로 豫想된다.

(月刊 타이어 87.2月號)



原稿募集

本誌에 掲載할 타이어 工業에 限한 原稿를 다음 要領에 依據 募集하오니 많이 投稿하여 주시기 바랍니다.

內 容 : 1. 經營, 經濟, 貿易, 技術에 관한 論文, 리포트 2. 體驗記 등

面 數 : 200字 原稿紙 50面 内外

稿 料 : 採擇掲載分에 對해서는 所定の 稿料를 드립니다.