

## 앞으로의 타이어技術(II)

### 기 술 부

#### 8. 性能向上時代に 있어서의 技術開發

##### 8.1 技術開發의 要素

앞에서 설명한 바와 같이 1990年代의 타이어技術은 高度의 技術을 요구하는 時代가 될 것으로 보인다. 게다가 타이어에 대한 要求性能이 많기 때문에 많은 二律背反性을 잘 해결하여야 되며, 이를 위해서는 精確한 要素分析과 이 要素의 綜合化技術이 필요하게 될 것이다.

要素分析을 해보면 다음과 같다.

- |                           |   |           |
|---------------------------|---|-----------|
| ① 폴리머                     | } | 고무의<br>要素 |
| ② 카본블랙                    |   |           |
| ③ 폴리머/카본블랙과의 相互作用         |   |           |
| ④ 補強材(纖維, 스틸코드).....補強材要素 |   |           |
| ⑤ 고무+補強材 .....複合材要素       |   |           |
| ⑥ 타이어構造設計 .....타이어構造要素    |   |           |

등의 要素를 생각할 수 있다.

위의 ①에서 ⑥까지의 要素 가운데서 폴리머 分子構造의 컨트롤과 같은 超마이크로(micro)的인 방법에서부터 타이어의 構造變化와 같은 超매크로(macro)的인 방법이 있다.

그러나, 위와 같은 要素가 타이어의 어떤 性能에 어느 정도 관계하고 있는지 등의 因果關係에 대하여는 많은 研究에 의하여 밝혀지고

있으나, 아직도 밝혀지지 않고 있는 것이 많다.

위와 같은 내용에 대해서 마이크로的 要素에서 매크로的 要素까지 아직 잘 밝혀지지 않은 것은 앞으로 계속 研究하여야 할 것이다.

##### 8.1.1 폴리머要素

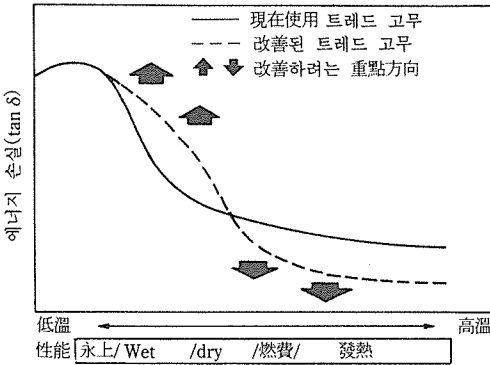
폴리머要素에는 다음과 같은 것이 있다.

- ① 폴리머의 1次構造
- ② 폴리머의 2次構造
- ③ 폴리머의 高次構造
- ④ 폴리머 블렌드의 相溶性, 分散單位의 크기
- ⑤ 카본블랙의 有無에 따른 폴리머의 상태 (블렌드 有無)
- ⑥ 폴리머의 架橋形態, 架橋密度

위와 같은 要素, 즉 폴리머에 관한 마이크로에서 매크로에 이르는 각 레벨의 특성이 粘彈性的 性質의 어느 것에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여는 아직 밝혀지지 않은 점이 많다. 이 가운데서 비교적 잘 조사되어 있는 것은 폴리머의 1次構造와 粘彈性 관계이며<sup>50)</sup>, 폴리머의 1次構造에서 결정된 폴리머의 運動性能에 의거하여 Tg의 位置(tan δ 피크의 位置 및 tan δ의 形)가 결정되는 것이다(최근에는 tan δ 피크가 넓게 되어 반드시 Tg가 명확하게 되지 않는 예도 있다).

종래의 Wet μ와 LRR을 개발할 때의 開發

법은 低溫(0°C 부근)의  $\tan \delta$ 를 높게 하여 高溫(50~60°C)의  $\tan \delta$ 를 低下시키는 방법이었다 (그림 12 參照).



(그림 12) 고무의 에너지 손실( $\tan \delta$ )의 온도의존성<sup>83)</sup>

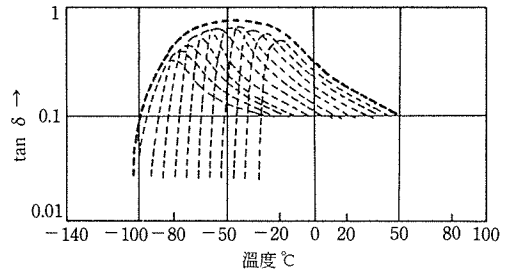
Wet  $\mu$ 는 폴리머의 溫度時間換算法則에 의해서 低溫側의  $\tan \delta$ 와 일치하는 것을 알 수 있기 때문에 이 방법을 사용했다. 이와 같은 컨트롤方法을 폴리머合成에서 利用할 수 있는지를 검토하였으나 기본적으로는 1次構造의 컨트롤이므로 어려움이 있으며, 또한 高次構造와 粘彈性은 중요한 영향을 미치고 있는 것으로 생각을 하고 있으나, 정확하게 해명하지는 못하고 있다.

한편 二律背反性を 해결하는 配合上의 方法으로서 종래에는 性質이 다른 폴리머를 블렌드하는 방법을 많이 사용하였다.

폴리머 블렌드에 관해서는 비교적 研究를 많이 한 것 같지만(井上<sup>48)</sup>, 橋本<sup>49)</sup> 등), 粘彈性的 性質을 브레이크다운(breakdown)하는 과정의 統合的理解는 아직도 불충분하다. 특히, 相容度라는 것을 어느 정도 分解되었을 때를 기준으로 하여 판단할 것인지, 또는 分散單位의 크기와 物性과는 어떠한 관계가 있는지 등은 중요한 자료이므로 잘 알아야 될 것이다.

최근 폴리머合成에서 관심을 모으고 있는

것으로서는 Integral Rubber(그림 13 參照<sup>55)</sup>) 및 SIRB<sup>56)</sup>이 있다. 이와 같은 폴리머는 Tg가 다른 폴리머의 共重合體(copolymer 또는 block copolymer)이다. 이와 같은 폴리머의 加黃物의 物성이 Tg가 다른 폴리머 블렌드加黃物과 같다고 하더라도 混合時 항상 均一한 混合을 하기 위해서는 이와 같은 分子레벨까지 結合시킨 狀態가 바람직한 것으로 생각되기 때문에 加工性を 考慮한 폴리머, 즉 Integral Rubber 및 SIRB와 같은 고무를 개발하여야 할 시대가 되었다고 생각한다.



(그림 13) Integral Rubber의 개념

폴리머의 架橋形態, 架橋密度는 고무彈性的 基本知識이며, 應力-歪에 대한 理解度는 높다.

### 8.1.2 카본블랙要素

카본블랙에 대해서도 그 要素로서는

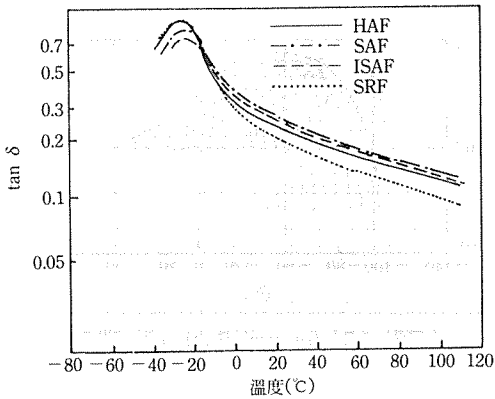
- ① 微細構造(表面의 微細한 凹凸)
- ② 粒子(粒子單位로서의 크기)
- ③ 매크로構造(凝集體構造)

가 있다.

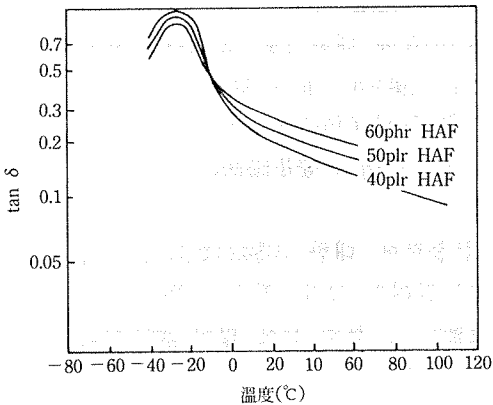
카본블랙에 대한 經驗的知識으로서는 여러 가지가 알려져 있다. 특히 耐磨耗性에 관해서는 文獻<sup>47), 74)</sup>, 특허 등에 많이 說明되어 있다. 그러나 磨耗만 하더라도 카본블랙의 마이크로에서 매크로까지의 要素가 영향을 미치지만, 어떠한 영향을 미치고 있는지는 잘 알 수 없다.

粘彈性에 관해서는 카본量 및 粒子徑에 따라서  $\tan \delta$  피크의 높이 및 幅에 변화가 일어나는 것을 알 수 있으나(그림 14, 15 參照), 微細構造에서 매크로構造까지 各各의 要因이 粘彈性的 性質에 어떤 영향을 미치고 있는지에 대해서는 아직도 理解를 하지 못하고 있는 부분이 있다.

다음에 폴리머, 카본블랙의 構造보다 한층 더 복잡한 폴리머, 카본블랙이 서로 얽힌 매크로의 상태를 考察해 보고자 한다.



(그림 14) 카본블랙 입자가  $\tan \delta$  커브에 주는 영향<sup>53)</sup>



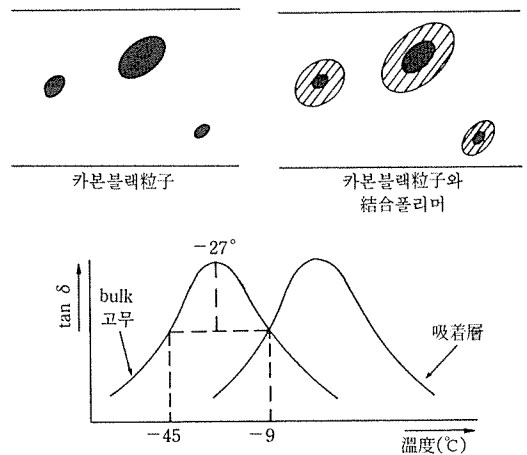
(그림 15) 카본블랙량이  $\tan \delta$  커브에 주는 영향<sup>53)</sup>

### 8.1.3 폴리머/카본블랙의 相互作用

폴리머 및 카본블랙의 相互作用에 대해서도,

- ① 表面의 結合狀態
- ② 폴리머의 카본블랙周邊의 架橋
- ③ 폴리머의 1次構造의 어느 부분이 카본블랙과 反應하는가.
- ④ 카본블랙의 分散

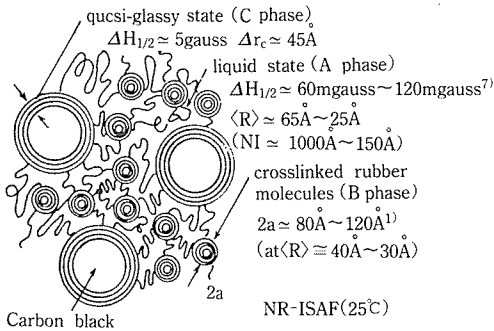
카본블랙, 폴리머의 상호작용에 대해서는 ①과 같이 카본블랙의 表面과 폴리머의 結合이 어떻게 이루어지는가, ③과 같이 폴리머側에서 볼때 폴리머의 어느 部分과 어떻게 結合하는가 등이 정확히 이해되지 않는 점이 있는데 이것이 粘彈性에 대해서도 어떠한 영향을 미치는지 확실하지 않다. 카본블랙周邊의 폴리머 舉動에 관해서는 藤本氏 등의 광범위한 研究資料가 있으며<sup>51) 52)</sup>, 그밖에도 많은 사람들이 研究하여 보고한 자료가 있다<sup>53), 54)</sup>. 그 研究資料에 의하면 카본블랙 주변은 매트릭스(matrix) 고무보다 Tg가 높은 폴리머相으로 形成되어 있으며, 이 Tg의 정도는 研究者에 따라 다르다. 어쨌든 周邊에 Tg가 높은 폴리머相이 생기기 때문에 폴리머/카본블랙 混合系는 Tg가 서로 다른 폴리머의 混合狀態가 된다<sup>53)</sup>(그림 16 參照).



(그림 16) 카본블랙 입자와 폴리머의 結合<sup>53)</sup>

加黃고무의 粘彈性 커브는, 이와 같은 것들이 合成되어 나타나는데, 上記 Tg가 서로 다른 폴리머相의 Tg 레벨 및 生成量의 컨트롤(調整) 방법은 확실히 알려져 있지 않다.

藤本氏 등에 의하면 카본블랙周邊의 Tg가 높은 相(glass相, C相=그림 17 參照)은 疲勞하게 하면 증가하여 고무彈性相과 그라스相(glass相)으로 分離되면서 中間相이 감소한다(그림 18 參照)<sup>52</sup>.

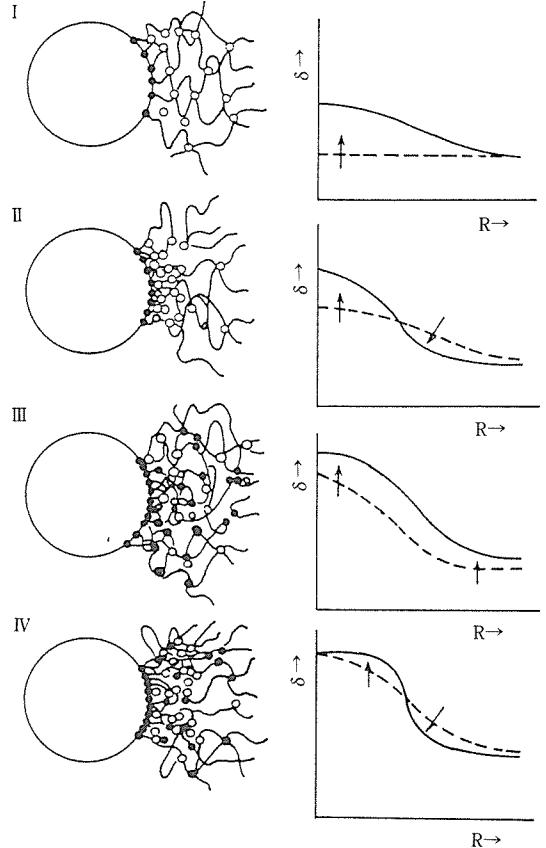


(그림 17) 카본블랙系 가황고무의 불균질구조 모델<sup>52</sup>

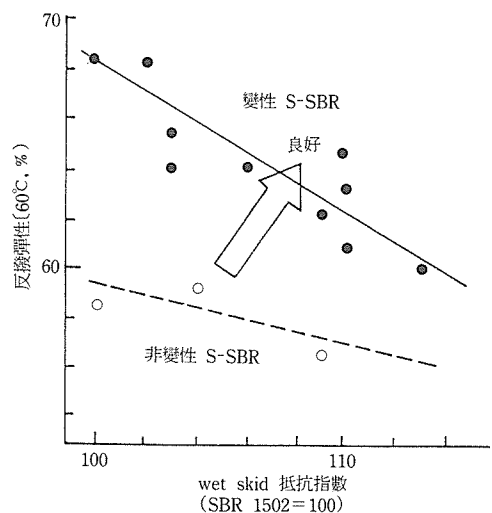
C相의 分子鎖密度는 카본블랙으로부터 멀어지면 감소한다. 이처럼 감소하는 정도와 粘彈性 커브와의 相關性을 밝힐 필요가 있다.

폴리머와 카본블랙의 相互作用을 적극적으로 높이는 방법으로서 永田氏 등이 보고한 폴리머末端處理에 의한 方法<sup>53</sup>이 있다. (그림 19)에 나타난 바와 같이 폴리머末端處理를 한 폴리머는 反撥彈性도 좋으면서 빗길에서 미끄러지지 않는(wet skid性能이 良好함) 성질을 갖도록 할 수 있다. 이와 같은 내용은 日本의 公開特許에 많이 소개되어 있다. 또한 大島氏 등도 폴리머와 카본블랙을 効率的으로 結合시키기 위해서 폴리머末端을 Sn으로 처리함으로써 tan δ를 크게 低下시키는 방법을 발견하였다<sup>73, 76</sup>(그림 20 參照).

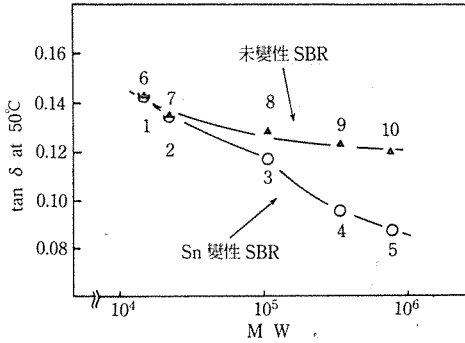
카본블랙分散에 대해서는



(그림 18) 충전제계 고무의 각 공정에서의 모델적 표시(● 화학결합, ○ 응집결합을 나타냄)<sup>52</sup>



(그림 19) 말단변성에 의한 반발탄성과 Wet Skid 저항의 밸런스 개선



[그림 20] 損失正接의 Sn 변성 SBR의 분자량의 영향<sup>66)</sup>

○ : 未變性 SBR/Sn 變性 SBR 블렌드  
 ▲ : 未變性 SBR/未變性 SBR 블렌드

- a) 마이크로分散
- b) 매크로分散

이 있지만, 檢出方法은 매크로→마이크로로 변화하고 있다. 이 카본블랙의 分散程度와 物性과의 관계가 정확하게 규명되어 있지 않은데, 分散程度의 判定은 肉眼→光學顯微鏡→電子顯微鏡方法으로 변화하고 있다.

8.1.4 補强材

다음으로 매크로 레벨로서는 補强材가 있는데, 여기에서는 補强材의 대표적인 것으로서 스틸코드를 考察해 보기로 하겠다.

① 스틸코드의 性質

스틸코드 그 자체는 오랜 역사를 갖고 있는 金屬으로서 이에 대해서는 많이 알고 있다. 그러나, 腐蝕에 의한 強度低下 등 改善해야 할 점이 있다. 強度를 향상시키는 방법에 대한 연구가 계속되고 있다.

② 接着問題

매우 많은 研究資料가 있으며<sup>66)</sup>, 急速히 발전한 分野인데 앞으로 계속 연구해야 할 課題이다.

“原料時代”

이상과 같이 原料를 中心으로 考察해 보았

는데, 最近의 乘用車用 타이어 개발에서,

- ㉠ 폴리머
- ㉡ 카본블랙
- ㉢ 스틸코드

등의 原料開發이 中心이 되어 있다.

지금까지 原料를 개발하기 위하여 여러가지 방법이 강구되어 왔지만, 原料 상호간의 交互作用, 즉 마이크로的인 의미의 複合체로서의 觀念이 부족하였기 때문에 앞으로 개발하려고 할 때는 이 複合체로서의 觀念을 가져야 할 것이다. 이와 같은 複合體觀念의 연구를 얼마나 많이 할 것인가 하는 것은 니즈(needs), 즉 要求事項을 정확히 파악해야 하며, 니즈와 매치된 개발을 위해서는 니즈에 앞선 情報蒐集이 중요하다.

과거에는 經驗이 위주가 되었던 配合時代였고, 현재는 原料時代이며, 다음에는 새로운 複合體觀念의 配合時代가 할 것이다.

이 複合體觀念의 配合時代가 왔을 때 配合으로 만족시킬 수 없는 경우에는 두말할 필요도 없이 新原料(새로운 合成고무 제조방법에는 새로운 高規則 폴리머)로 해결하여야 될 것이다.

즉, 좋은 原料가 開發되더라도 配合技術이 발전하지 않으면 해결하기가 어렵다. 한편, 配合技術이 발전한 시대에는 配合技術上의 限界를 新原料로 해결하려고 한다. 즉 配合→原料→配合→原料의 반복을 생각할 수 있다.

8.1.5 고무+複合材(複合材로서 理解)

FRP가 出現하고부터 複合材라는 말이 사용되기 시작하였는데, 타이어는 훨씬 이전부터 複合材였다. FRR은 FRP와 비교하여 근본적으로 다르다. 즉, 補强材인 纖維, 스틸코드와 매트릭스 고무의 彈性率이 크게 다른 것이다 (表 11 參照).

이와 같은 補强材는 外部로부터 힘을 가하여

〈表 11〉 각종 재료의 역학적 성질의 비교

材 料	彈性率(Young率) (dyn/cm <sup>2</sup> )	Poisson比	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度/ 密 度
알루미늄	7×10 <sup>11</sup>	0.33	630	232
銅	12×10 <sup>11</sup>	0.35	2,740	302
주석	4×10 <sup>11</sup>	—	280	49
鉛	1.5×10 <sup>11</sup>	0.43	140	12
鑄鐵	9×10 <sup>11</sup>	0.27	1,050	134
軟鋼	22×10 <sup>11</sup>	0.28	4,200	527
유리	6×10 <sup>11</sup>	0.23	700	281
유리質 실리카	7×10 <sup>11</sup>	0.14	—	—
黑鉛	3×10 <sup>11</sup>	0.3	1,340	492
폴리스틸렌	3.4×10 <sup>10</sup>	0.33	420	394
폴리메타크릴酸메틸	3.7×10 <sup>10</sup>	0.33	490	415
나일론66	2×10 <sup>10</sup>	—	700	640
폴리에틸렌	2.4×10 <sup>9</sup>	0.38	140	155
고 무	2×10 <sup>7</sup>	0.49	140	155

L. E. Nielsen : Mechanical Properties of Polymers(1962) ; 小野木譯 : 高分子의 力學的 性質(化學同人)

變形시키면 補強材는 대부분 變形하지 않지만 彈性率이 낮은 매트릭스 고무는 크게 變形한다. 때문에 補強材와 매트릭스 고무와는 變形差가 크고, 또한 兩者間에는 應力集中에 의한 破壞가 발생하기 쉽다. FRR로 된 타이어는 破壞에 대하여 이와 같은 本質的인 問題를 갖고 있기 때문에 타이어에 있어서의 耐久性은 특별한 의미를 갖는다. 그리고 이것을 극복하고 長期間使用을 保障하는 데는 오랜 研究와 많은 試練이 있었다.

스틸 래디알 타이어에서의 고무와 스틸코드 界面의 接着은 대단히 중요한 문제이며, 급속히 발전하고 있는데, 만약 接着界面에서 破壞되지 않더라도 接着界面近處의 應力集中으로 인하여 破壞되기 쉽다.

複合材에 대하여 알아야 할 사항은,

- ① 각 구성요소가 複合材性能에 미치는 영향
- ② 각 구성요소의 結合樣式
- ③ 應力集中을 완화시키는 결정적 方法이

부족하다.

고 하는 점이다.

위에서 설명한 바와 같이 타이어의 技術開發要素는 폴리머의 分子構造와 같은 마이크로인 것에서부터, 複合材, 트레드 블럭(tread block)과 같은 매크로인 것까지 있으며, 이것이 타이어性能에 어느 정도로 영향을 미치는지에 대해서는 잘 알고 있지 못하고 있다.

이와 같은 마이크로的 要因에서 매크로的 要因까지 상세히 조사하여, 각각의 性能間의 二律背反性을 해결할 수 있는 技術을 개발하는 것이 무엇보다도 중요한 일이다.

### 8.1.6 構造設計要素

타이어의 構造設計要素는 매크로인 要素이다. 赤坂教授는 構造設計上의 問題點에 대하여 다음과 같이 설명하고 있다<sup>57)</sup>.

(1) 자동차의 高速化時代가 됨에 따라 騒音이나 振動, 스탠딩웨이브(Standingwave), 하이드로플래닝(Hydroplaning), 乘車感, 回轉抵抗, 不均一性(Non-Uniformity), 코너링 파

워(Cornering power), 偏磨耗 등이 새로운 課題로서 대두되고 있다.

(2) 타이어設計에 관련된 課題는, 經驗이나 判斷에 의한 方法으로서 이미 對應할 수 없게 되었다. 최근에는 컴퓨터에 의한 有限要素法 解析 및 模型解析 등의 方法이 導入되어 시뮬레이션이 가능하게 됨으로써 타이어의 設計方式도 크게 변화되고 있다. 그러나 문제는 이러한 방대한 데이터를 어떻게 集約하여 設計에 活用할 것인가에 있다.

(3) 타이어의 運轉性能을 지배하는 것은 路面과 접촉하는 부분인데, 이 작은 面積을 가진 타이어의 한 부분이 어떻게 變形하고 있는지는 여전히 수수께끼이다.

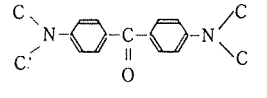
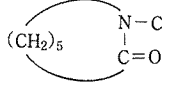
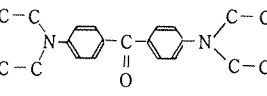
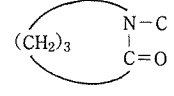
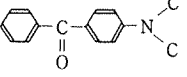
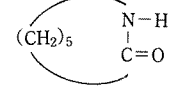
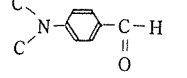
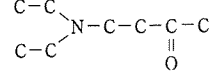
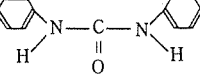
接觸壓力分布 등에 대해서는 많은 實驗結果

가 있으나, 이 부분의 벨트의 變形과 관련지어 설명한 것은 없다. 그러나, 최근 靜的인 트레드부의 壓縮彈性, 사이드월의 彈性效果 및 內壓에 의한 벨트의 張力變化를 고려한 接地部 벨트의 屈曲變形을 解析한 것이 있다.

(4) 지금까지의 積層構造理論에서는 코드와 고무로 된 一方向 FRR을 巨視的으로 均質한 것으로 看做하고 있지만, 코드와 코드 사이에 있는 고무를 個別的으로 分離取扱하여 微視的인 構造解析을 할 필요가 있는 것도 있다. 그 目的은 單位幅當 알맞은 코드個數를 알아냄과 동시에 코드와 고무 사이의 許容界面強度를 規定하는데 있다.

(5) 타이어의 構造動力學에서는 특히 고무 및 코드材料의 粘性을 고려할 필요가 있으며, 앞

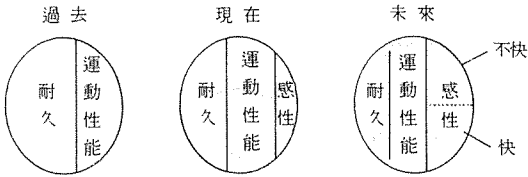
〈表 11-①〉 말단 변성제의 예

變 性 劑		付 加	効 果	變 性 劑		付 加	効 果		
分 類	構 造 式			分 類	構 造 式				
A m i n o b e n z o p h e n o n e  및 類 似 物	1		○	○	L a c t u m  및 類 似 物	6		○	○
	2		○	○		7		○	○
	3		○	△		8		-	△
	4		○	×		9		-	×
	5		-	△					

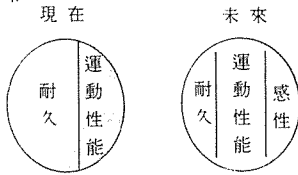




〈승용차용 타이어〉



〈트럭·버스용 타이어〉



〔그림 21〕 요구성능의 변화

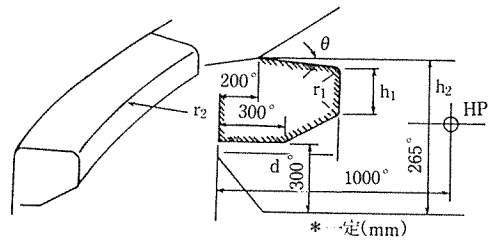
그대로 技術開發로 전개할 수 없다. 필링도 技術, 즉 테크놀로지(Technology)라고 할 수 있다. 앞으로는 이와 같은 技術을 어떻게 스포티하고 스마트하게 개발할 것인가 하는 것이 중요한 열쇠가 될 것이다.

또한 餘暇時間이 늘어남에 따라 풍요로운 생활을 실현하기 위해(이를테면 놀이媒體로서

의) 자동차를 갖는 경우도 있다. 즉, 놀이感覺을 만족시킬 수 있는 快要素도 필요하게 될 것이다. 타이어의 外觀도 많이 고려하여야 할 것이다.

자동차의 개발에는 感性工學이 발달하고 있다. 長町三生著「感性工學」에 의하면, 自動車設計에서 感性要素의 因子를 數值化한 例가 나타나 있다. 예컨대〔그림 22〕와 〈表 13〉에는 計器板 모델로 安樂感, 豪華로움, 開放感, 機能感 등에 대한 寄與度를 數值로 나타내고 있다.

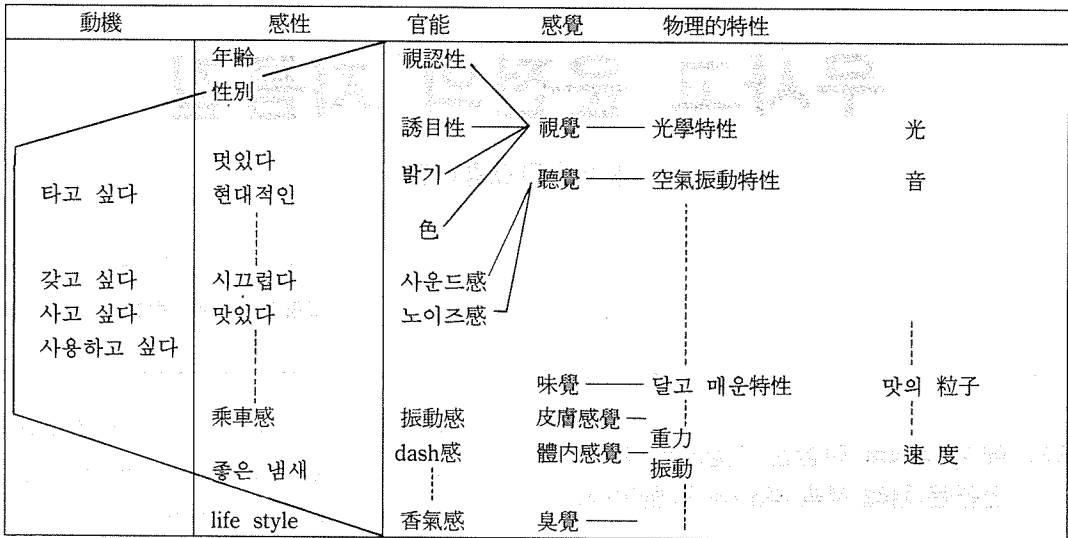
〔그림 23〕에는 感覺에서 感性까지의 關聯表



〔그림 22〕 계기판 모델의 형상<sup>58)</sup>

〈表 13〉 因子(評價言語)와 形狀要素와의 偏相關係數<sup>59)</sup>

形狀要素		d	$\theta$	$h_1$	$h_2$	$r_1$	$r_2$
安樂感	安心함	.171	-.339	-.419	-.233	-.032	.355
	女性的	.147	-.276	-.359	-.214	-.017	.627
	一體感	.258	-.382	-.465	-.292	-.035	.270
	調和感	.525	-.767	-.608	-.663	-.239	.408
豪華로움	輕快함	.656	-.758	-.812	-.569	-.514	-.264
	趣味的	-.162	.237	.004	.377	-.509	.758
	安定的	.179	-.600	-.126	-.479	.304	-.260
	浮上感	.128	.203	-.321	.183	-.740	.616
開放感	華麗함	.155	-.242	-.398	-.033	-.541	.827
	現代的	.333	-.249	-.500	-.204	-.699	.689
	넓적함	-.456	-.118	.208	.290	.104	.645
	開放的	-.483	.064	.309	.224	.223	.573
機能感	박음	.023	-.142	-.244	-.032	-.266	.715
	迫進感	.528	-.110	-.429	-.229	-.177	.797
	민첩성	.272	-.714	-.203	-.439	-.191	-.334
	收容性	-.469	.467	.399	.387	.514	-.249
柔軟性	柔軟性	-.380	-.123	.206	.107	.491	.365



〔그림 23〕 감각에서 감성까지의 관련표<sup>69)</sup>

를 나타냈다. 이 表에서 感性的 要素를 생각할 경우의 키워드(key word)의 위치를 알 수 있다.

타이어의 경우 感性·感覺을 數值化하는 것은 어려운 일이다. 이 경우 騒音이나 振動과 같은 不快要素는 현재도 數值化되어가고 있으나, 앞으로는 快要素의 數值化가 필요하게 될 것이다.

이 경우 快要素를 어떻게 表現할 것인가가 문제인데, 이 快要素를

- 1) 快適
- 2) 快感

으로 나누어 생각해 보면,

快適感은 安定走行時의 不快要素가 아니라 타이어가 있는지 없는지를 모를 정도로 快適한 상태를 말하며, 快感은 制動·驅動·加速·減速·코너링時에 運轉者의 뜻대로 움직이는 것을 말한다. 이런 경우 運轉하는 사람들은 迫進感, 安定感, 코너링感 등으로 表現한다.

이와 같은 느낌을 어떻게 數值化해 나갈 것인가 하는 것이 앞으로의 課題이다.

(다음 號에 계속)

번역: 李源善/協會 技術部長

〈國際고무技術會議 開催案内〉

■ IRC 92 北京(中國)

- 日 時: 1992년 10월 13일~15일(3일간)
- 開催地: 中國 北京
- 問議處: Secretariat

CIESC Institute of Rubber

c/o Research and Design Institute of Rubber Industry

Beijing, China P.C. 100039