

타이어 工學(2)

白 南 哲*

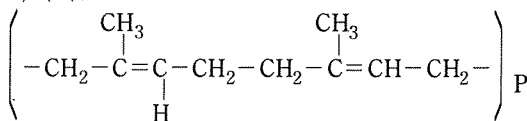
前號(5·6月號)에 이어 이번 號에서는 타이어에 使用되는 材料의 特性으로서 고무의 種類와 性質, 加黃고무의 特質 및 타이어코드의 特性 등에 관하여 記述하고자 한다.

1. 고무의 種類와 特質

타이어에 使用되는 고무는 옛날에는 天然고무 밖에 없었으나, 第2次世界大戰中에 合成고무로서 Styrene-Butadiene고무(SBR)가 製造되어 이것이 天然고무의 代替品으로서 大量으로 使用되었다. 그 후로도 많이 使用되어 오고는 있으나, 合成化學이 發達함에 따라 여러 種類의 새로운 고무가 만들어지게 되었다. 그러나, 여기에서는 天然고무(NR)와 Styrene-Butadiene고무(SBR) 외에 타이어用으로서 代表的인 合成고무인 Polybutadiene고무(BR), Polyisoprene고무(IR) 및 Butyl고무(IIR)에 대하여 說明하기로 한다.

(1) 天然고무(NR)

天然고무(NR)의 生고무는 고무나무의 樹液을 乾燥시킨 것으로서, 強한 彈性을 지닌 物質로 各種 溶劑에 溶解되어 粘性이 있는 溶液(고무풀)을 만든다. 이 고무의 代表的인 分子構造는 다음과 같이 나타낼 수가 있으나, 立體的으로는 單一構造가 아니다.



天然고무의 特徵은 고무나무의 種類는 물론이고 氣候, 地質, 收穫方法에 따라 다른 農作物과 마찬가지로 品質面에서 고르지 않게 된다. 그 때문에 品質이 서로 다른 것들을 適當하게 섞어 使用하게 된다.

고무로서의 性能의 特徵은 모든 性能이 한결같이 優秀하다고 하는 점이다. 이에 대하여 合成고무는 選擇의으로 2,3의 特性이 극히 優秀한 反面에 나머지의 特性은 떨어진다라는 個性的인 特質을 보이는 것들이 많이 있다.

타이어의 特性은 總合의으로 考察할 때 耐磨耗性, 耐cut性, 耐疲勞性, 耐老化性, 耐低溫性, 製造工程의 容易性, 其他 여러가지 相反되는 性能을 均衡잡을 수 있는 고무가 必要하고, 이러한 點에서 볼 때 天然고무가 가장 優秀하며, 嚴格한 性能이 要求되는 航空機用 타이어에는 主로 天然고무가 使用되고 있다.

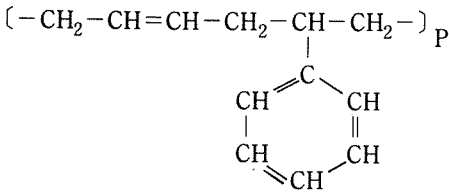
(2) Styrene-Butadiene 고무(SBR)

Styrene-Butadiene고무(SBR)는 合成고무로서 그 特性으로 보아 天然고무에 가장 가까운 고무이며, 品質이 安定되어 있고 比較的 싼값으로 生産되고 있는 데다 合成고무의 製造過程에서 補強劑나 補助劑로서의 카본블랙이나 加工油를 混入시켜 分散性이 좋은 均質한 고무를 얻을 수 있게 되는 등 改良이 이루어짐으로써 現在 많이 使用

* 慶熙大學校 工科大學 教授

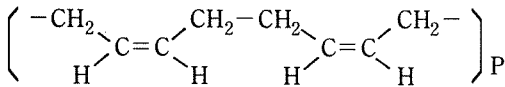
되고 있다. 이 고무의 缺點으로서는 天然고무에 比하여 發熱이 많고 耐低溫性 등이 떨어지나 耐磨耗性, 耐wet skid性은 뛰어나게 좋기 때문에 現在 타이어用 고무의 代表的인 位置를 차지하고 있다.

SBR의 分子構造는 다음과 같으며, Benzene核이 붙어 있어 그만큼 粘度가 크다.



(3) Polybutadiene고무(BR)

BR도 SBR과 마찬가지로 可能한 한 天然고무에 가까운 고무를 만들려고 하는 努力의 結果 생겨난 고무이다. 이 고무의 分子構造는 다음과 같으며, 立體的인 異性體를 갖고 있는 分子들의 混合體이다.



混合體中에서 타이어에 使用되는 主成分은 cis-1, 4-Polybutadiene이며, 其他 trans-1, 4 Polybutadiene 및 1, 2-結合 Polybutadiene 成分도 含有되어 있다. 이 고무는 耐磨耗性, 低發熱性이 뛰어나게 優秀하나 chipping性이나 加工性이 좋지 않아 天然고무나 SBR과의 混用이 必要하고 값도 그다지 싼 편은 아니다.

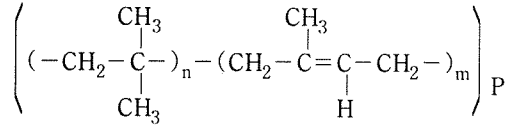
(4) Polyisoprene고무(IR)

IR은 合成天然고무라고도 불리우며, 性能은 모든 점에서 대체로 天然고무와 비슷한 性質을 가지고 있으나, 強度面에서는 약간 떨어진다. 그러나, 天然고무에 比하여 不純物이 적게 含有되어 있기 때문에 電氣의 特性이 좋고, 加工性도 좋으며, 製品의 外觀도 좋아 값은 그다지 싸지 않으나 使用量은 漸次 增加되고 있다. 分子構造는 BR과 同一

하지만 立體異性體인 分子의 混合物은 아니다.

(5) Butyl고무(IIR)

IIR은 Isobutylene-Isoprene 고무의 通稱이며, 다음과 같은 分子構造를 갖고 있다.



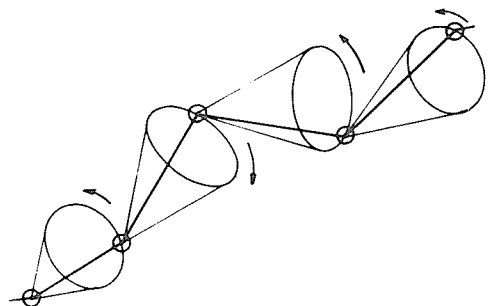
이 Butyl고무의 特徵은 熱, Ozone, 藥品에 強하고, 特히 空氣의 不透過性이 뛰어나기 때문에 튜브나 튜브레스 타이어의 인너라이너 등에 適合하다. 그러나, 機械的 強度나 彈性이 낮아 製造時의 接着性 등에 難點이 있다.

2. 加黃고무의 性質

(1) 고무彈性

고무彈性的 가장 큰 特徵은 보통의 固體와는 달리 彈性限界가 매우 커서 數百 %에 達한다는 것, 즉 彈性定數(Young's modulus)가 아주 작아서 柔軟하다는 것이다. 이것은 보통의 固體物質이 分子間力에 의한 에너지彈性인 데 反하여 고무彈성은 고무分子의 micro-Brownian 運動에 의한 entropy 彈性인 點이다.

이 고무分子의 炭素原子는 一直線으로 줄을 서 있는 것이 아니라, [그림 1]과 같이 一定한 立體

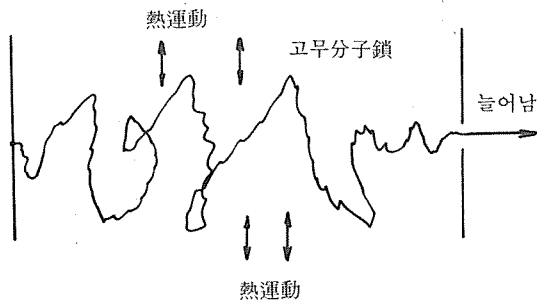


[그림 1] 고무分子의 micro-Brownian 운동

角을 가지고 回轉하는 것처럼 熱運動을 하고 있다. 各 炭素原子가 이와 같은 熱運動을 하면 긴 고무 分子鎖 全體는 不規則한 모양의 micro-Brownian 運動을 일으키는 것이다.

生고무인 경우 긴 分子鎖는 서로 獨立되어 있어 stress를 加하면 時間이 經過함에 따라 分子間에 미끄러짐이 생겨 塑性變形이 일어난다. 生고무에 적은 量의 黃을 넣어 잘 混合하여 黃을 均一하게 分散시킨 다음 一定時間 加熱하면 分子鎖가 黃의 架橋結合을 일으킨다. 이 反應은 化學反應으로서 加黃反應이라고 일컬어지고 있다. 이와 같이 分子鎖의 곳곳에 黃의 結合에 의한 架橋가 이루어져 全體 고무分子가 하나의 加黃體가 된다. 여기에 힘을 加하여 크게 變形시킨 다음 다시 힘을 除去하면 원래의 形狀으로 되돌아가게 된다.

이 고무의 高彈性 特質을 그림으로 나타낸 것이 [그림 2]이다.



[그림 2] 가황고무의 entropy 탄성모형

이 機構는 고무分子의 兩端이 두 장의 板의 구멍으로부터 나와 있고, 板 사이의 分子鎖는 熱運動 (micro-Brownian運動)을 하고 있어 구멍으로부터 分子의 끝을 끌어내는 데는 힘이 必要하게 된다. 만일 分子의 끝을 약간만 끌어내면 이 일에 所要되는 에너지만큼 熱運動이 왕성하게 되며, 또 다시 끌어내려면 보다 강한 힘을 必要로 하게 된다. 이와 같이 entropy의 增減에 따라 彈性力이 發生하므로 고무의 彈性을 entropy 彈性이라고 부른다.

다음으로 약간 끌어낸 狀態에서 溫度를 上昇시키면 熱運動(entropy)이 왕성하여져서 收縮하려고 하는 힘은 커진다.

(2) 고무의 補強

純고무만으로는 硬度, 強度, 耐磨耗性 등의 點에서 타이어로는 使用할 수 없다. 타이어에는 고무를 補強한 것을 使用하지 않으면 안되는데, 그 補強劑로는 고무와 거의 같은 量의 炭素블랙이 使用되고 있다. 그러므로 고무라고 하더라도 嚴密하게는 고무와 炭素블랙으로 된 均質複合材料인 셈이다.

補強劑로서 炭素블랙이 가장 뛰어난 點은, 炭素特有的 吸着性으로 因하여 炭素粒子表面에서의 고무와의 接着이 매우 좋을 뿐만 아니라, 炭素粒子自體가 強하고, 耐磨耗性이 좋으며, 炭素粒子徑이 작아서 고무內에서의 分散이 比較的 잘 되는 데다가 比較的 싼값으로 製造할 수가 있는 것 등이다.

이와 같이 炭素블랙은 고무의 諸般特性을 左右하는 가장 重要한 것이며, 炭素量, 炭素의 種類, 즉 炭素粒子徑의 分布, 分散의 難易度, 炭素粒子의 形狀, 表面의 凹凸, 吸着性 등이 重要한 點으로 되어 있다.

다음으로 重要한 것이 配合黃量과 加黃反應을 어느 정도 進展시킬 것인가 하는 點이다. 이것은 고무分子의 架橋點을 어느 정도 生成시킬 것인가 하는 點이기도 하다. 또한 고무 分子의 길이의 分布도 重要하며, 이들은 素練時間에 따라 調整된다.

그밖의 補強劑로서는 老化防止劑, 加黃促進劑, 加工性を 좋게 하는 軟化劑 등 어느 것이나 매우 重要한 配合劑들이다.

이와 같이 타이어용 고무에서는, 使用하는 고무의 種類選擇, 補強劑로서의 炭素블랙의 選擇, 最適加黃條件의 決定, 其他 最適補強劑의 選擇 등은 타이어의 耐久性 外에 타이어의 力學的 特性에도 影響을 미치는 매우 重要한 要素로 作用하고 있다.

더우기 有色타이어용 고무 補強劑로서는 硅酸

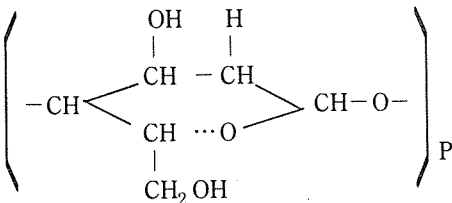
이나 炭酸칼슘 등이 있는데, 性能面에서 카본블랙에 比하여 떨어지기 때문에 現在로서는 거의 使用되지 않고 있다.

3. 타이어코드의 特性

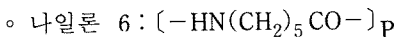
(1) 코드纖維의 素材

타이어코드用 絲로서 옛날에는 綿絲가 使用되었었는데, rayon(強力人絹)이 使用되면서부터 耐久性이 飛躍적으로 向上되었다. 이와 때를 같이 하여 自動車가 一般의 社會生活 속에 깊이 普及하게 되어 타이어도 大量으로 生産되기에 이르렀다. 그 후 通稱 nylon, tetoron 등의 合成纖維나 無機質의 유리纖維, steel wire 등이 使用되게 되었으며, 最近에는 Kevlar 또는 Alamid 등의 하이테크 纖維材料 등도 市販되게 되었다.

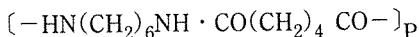
1) 레이온(rayon)···이것은 強力人絹 또는 強力 rayon이라고 불리어왔던 것으로 pulp의 cellulose를 化學적으로 分解溶融시킨 것(이것을 viscose라 함)을 長纖維로 再生紡絲하고 長filament化한 것으로서 그 代表的인 分子構造는 다음과 같으며, 紡絲時의 延伸度에 따라 結晶化도가 變하며 強度도 달라진다.



2) 나일론(nylon)···나일론이란 美國의 Dupon社에서 開發한 polyamid纖維의 商品名이다. 分子構造는 여러가지가 있으나, 타이어코드用 纖維로서는 나일론 6, 나일론 66이 有名하며, 그들의 代表的인 分子構造는 다음과 같다.



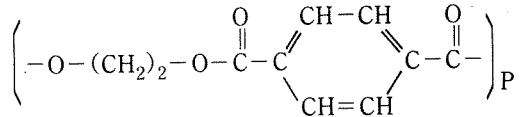
• 나일론 66 :



이들의 主된 差異點은 溶融點으로서, 나일론 6이

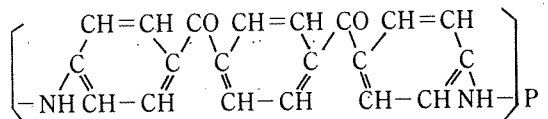
216°C이고 나일론 66은 265°C이다.

3) 테토론(tetoron)···테토론은 日本에서의 商品名이며, polyester, 즉 主鎖 $(-\text{C}-\text{O}-)$ 에 結合을 가지고 있는 高分子의 一種으로서 나일론과 같이 化學적으로 合成된 高分子纖維이다. 그리고, 溶融紡絲法에 의해 長纖維의 filament로 紡絲한 것으로서 延伸度에 따라 結晶化도가 變한다.



이 纖維의 融點은 264°C이며, 나일론 6의 乾燥時의 融點이 234°C, 濕熱時의 融點이 162°C인 데 대하여 매우 뛰어나다.

4) 케블러(Kevlar)···이것은 最近 Dupon社에서 開發한 Alamid纖維의 一種으로 商品名이다. 이 纖維는 強度가 매우 크기 때문에 타이어의 補強部材로서 가장 適合한 纖維이다. 이 高分子纖維의 分子構造의 代表的인 것을 다음과 같다.



以上の 纖維는 모두 高分子纖維이며, 素材를 溶融하여 紡絲하고, 延伸하여 分子의 配向을 높여 結晶化시킨 長纖維로서 이들의 單纖維를 filament라고 한다.

5) 유리纖維···유리纖維는 美國의 코닝社에서 開發한 것으로서, 前記한 高分子纖維와는 달리 無機質이다. 타이어코드用 유리纖維의 組成의 主成分은 二酸化硅素 53%, 酸化칼슘 21%, 酸化알루미늄 15%, 酸化硼素와 그밖의 酸化물로 되어 있어 유리 가운데서는 彈性이 가장 큰 組成으로 되어 있다. 纖維는 溶融된 유리를 延伸하여 急冷하고, 直徑이 약 0.009mm인 filament로 하여 表面에 resorcinol系의 接着劑가 칠하여진다.

6) 스틸 와이어(steel wire)···스틸 와이어는 래

디알 타이어용으로 開發된 것으로 組成은 70C鋼, JIS G 3502, WRSIA 相當의 것으로서 炭素가 약 0.7%, 그밖에 Si, Cr, Cu, P, S를 少量 含有한 鋼이며, 直徑을 0.2mm 정도로 늘린 filament를 만든다. wire는 이 filament를 3~5 가닥 끈 것을 다시 몇 줄 合친 것으로 接着을 좋게 하기 위해서 表面을 銅으로 鍍金한 것이다.

(2) 타이어코드의 構造와 그 特徵

타이어코드는 多數의 filament를 合쳐서 만든 것으로서 그 굵기는 다음과 같은 denier(D)로 나타낸다.

$$\text{denier}(D) = 9000 \text{ W/L}$$

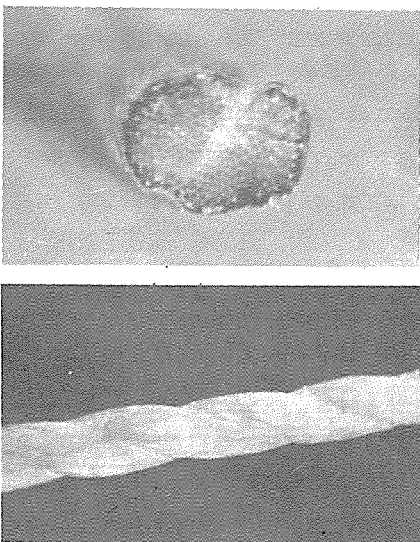
여기서,

W : 試料의 무게

L : filament의 길이 30~90cm 짜리 10가닥을 취하여 그 길이의 合으로 한다(cm).

이와 같이 denier는 filament 다발의 길이 90m當의 무게(gr)에 相當하는 것으로 굵기에 比例한다.

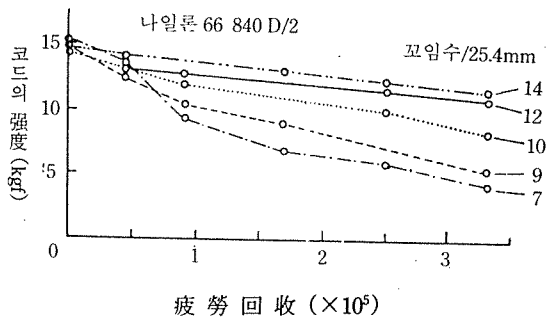
실의 構造는 [그림 3]에서 보는 바와 같이 filament를 수십 가닥씩의 다발로 해서 이것을 끈다. 그런 다음 꼬아서 된 다발을 2개 또는 3개를 합쳐서 다시 끈다.



[그림 3] nylon 코드와 그 단면

이렇게 하여 짜여진 織絲는 다발(束)의 굵기와 그 다발수에 따라 850 D/2, 1650 D/2 등으로 나타낸다. 여기에서, 실 가운데 1가닥의 filament에 注目하면 二重의 螺旋狀을 形成하고 있어 꼬임數를 늘리면 실의 彈性定數가 작아져서 伸張이 커진다. 그 反面에 耐久性이 늘어난다.

다음의 [그림 4]는 그 한 例로서, 꼬임數를 늘리면 初期強度는 低下하지만, 疲勞는 적어짐을 알 수 있다. 더우기 꼬임數를 지나치게 늘리면 彈性定數가 작아져서 타이어의 그밖의 性能이 低下하기 때문에 바람직하지 않다.



[그림 4] 코드의 피로에 미치는 꼬임의 영향

以上과 같이 타이어코드의 꼬임의 回數는 타이어코드의 特性을 決定짓는 重要한 要素이며, 그 素材와 使用目的에 따른 最適의 값이 利用된다.

1) 레이온...레이온은 別稱 強力人絹코드라고도 하며, 1650 D/2의 것이 많이 使用되고 있는바, 그 代表的인 性能은 <表 1>에 나타나 있다. 레이온의 特徵은 耐疲勞性이 良好하며, 熱的 安定性, 즉 耐 flat spot性이 좋다. 疇수安定性, 즉 使用中에 疇수가 成長하는 것이 아니라 彈性率이 크기 때문에 타이어의 카카스剛性을 크게 할 수가 있는 등의 特征을 갖고 있어 最近까지 래디알 타이어의 벨트나 사이드월의 補強으로, 또한 操縱性을 必要로 하는 바이어스 타이어에 使用되어 왔으나, 國內에서의 生産이 減少하였기 때문에 그 使用은 限定되어 있다. 그러나, 레이온에 있어서도 人絹共通의 濕氣에 弱한 缺點이 있다.

2) 나일론...나일론에는 나일론 6과 나일론 66이 있는데, 日本에서는 주로 나일론 6을 使用하고 있

〈表 1〉 타이어 코드 의 성질

名 稱	레이온	나 일 론 6	나 일 론 66	폴리에스테르
構 造	1650 D/2	840 D/2	840 D/2	1000 D/3
強力 kgf	15.8	15.5	15.0	23.77
強度 g/d	4.1	8.3	8.0	18.0
伸度 %	3.8	13.0	11.5	6.6
切斷伸度 %	14.4	30.0	28.5	18.0
融點 °C	—	224	263	264

※ 伸度는 4.5kgf 時

다. 이 실의 構造로서는 840 D/2, 1260 D/2가 많이 사용되고 있으며, 그 代表的인 性能은 〈表 1〉에 나타나 있다.

나일론코드의 特徵은 強度가 레이온의 2배 가까이 되기 때문에 타이어의 ply數를 줄일 수 있으며, 重量도 가볍고, 두께를 얇게 할 수 있어서 放熱性을 좋게 할 수가 있다. 또한 耐疲勞性, 耐濕性 등이 뛰어나다. 그러나, flat spot가 생기는 缺點이 있고 軋數安定性, 즉 使用中 軋數의 成長이 크고 彈性率이 작기 때문에 바이어스 타이어의 경우에는 操縱性이 떨어진다. 또한 나일론은 熱을 加하면 收縮하는 性質이 있기 때문에 加黃後의 冷却에 있어서, 壓力을 加한 채로 冷却시켜야 하는 工程을 必要로 하는 등의 缺點을 갖고 있다.

3) 테톤론...테톤론은 폴리에스테르纖維의 一種으로서 現在 乘用車用 타이어의 主要材料로 되어 있다. 이 테톤론코드의 性能은 〈表 1〉에 나타나 있다. 이 纖維의 特徵은 軋數安定性이 좋고, 使用中 軋數의 成長이 적으며, 耐熱性, 耐疲勞性이 뛰어

난다. 또한 flat spot의 發生이 적고(레이온보다는 떨어짐), 彈性定數가 크기 때문에 카카스剛性을 크게 할 수가 있으며, 바이어스 타이어의 경우, 操縱이 좋아진다.

그러나, 고무와의 接着이 쉽지 않기 때문에 接着劑의 費用을 높인다. 그밖에 加黃時 등의 熱處理를 하는 가운데 強度가 低下하기 쉬운 點, 接着劑를 칠한 cord fabric이 딱딱해져서 타이어를 成形하는 데 손이 많이 가는 등의 缺點이 있다.

4) 케블러...케블러는 아라미드纖維의 一種이자 商品名이다. 그 性能은 〈表 2〉에 나타나 있다. 케블러는 強度가 나일론纖維의 2배이고, 伸張率은 1/5로서, 剛性이 매우 豊富한 纖維이며, 타이어의 補強材로서 우수하다. 그러나, 現在로서는 값이 비싸서 스틸 래디알 타이어의 벨트 가장자리나 사이드월의 비드 근처의 補強材로 사용되고 있다. 값이 내리면 使用量이 增加할 것으로 期待된다.

5) 유리纖維코드...이 코드의 性能은 〈表 2〉에 나타나 있는 것처럼 高強度, 低伸張 등의 點에서

〈表 2〉 타이어코드 소재의 성질

名 稱	나일론 6	폴리에스테르	아라미드 (케블러)	유리纖維	스틸 와이어
引張強度 kgf/mm ²	86	74	360	290	280~360
modulus	446	400	830	6000	—
伸度 %	19.3	18.0	3.6	3.0	2
比重	1.14	1.38	1.44	2.5	7.9
融點 °C	224	264	500	760	—

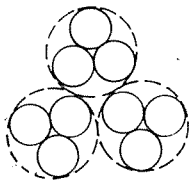
우수하지만 비틀림이나 구부림에 약하다. 그리고 filament間的 摩擦, 고무와의 接着에 問題가 있었으나 이들 缺點이 克服됨으로써 主로 美國에서 剛性を 必要로 하는 벨티드 바이어스 타이어의 벨트材로서 大量으로 使用되었었다. 그러나, 벨티드 타이어의 性能이 래디알 타이어에 비하여 有利한 點이 많지 않기 때문에 生産量이 減少함과 同時에 유리纖維코드의 使用量도 減少하고 있다.

6) 스틸 와이어코드... 스틸 와이어코드는 Michelin 타이어社에서 스틸 래디알 타이어의 開發과 함께 使用하기 시작하여, 現在로서는 乘用車用 스틸 래디알 타이어의 벨트(스틸 브레카)로서, 또 트럭·버스用 래디알 타이어의 카카스 및 벨트로서 大量으로 使用되기에 이르렀다. 스틸 와이어

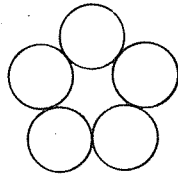
있다. 더우기 이 타이어의 廢棄處分方法으로서는 통째로 cement kiln의 燃料로서 使用되는 등 解決方法이 나타나고 있다. (그림 5)에 스틸 와이어코드의 斷面形狀의 例를 나타냈다.

(3) 패브릭(fabric)

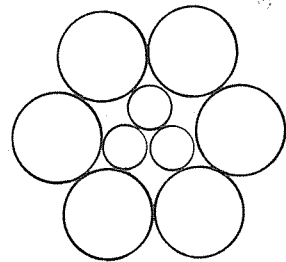
(그림 6)에 나타나 있는 것처럼 코드를 縱絲로 하고 극히 가는 橫絲로 짠 織布를 cord fabric 또는 fabric이라 부른다. 橫絲는 布를 形成하는 데 必要한 最小의 굵기와 最大의 間隔을 갖게 한다. fabric의 兩面에는 生고무가 coating되어 있어 고무가 附着된 fabric이 되는 셈이다. 그 다음에 (그림 6)과 같이 定해진 角度와 너비로 裁斷되어 生타이어의 成形에 使用된다.



構造 3×3 (0.15mm)



5× (0.25mm)



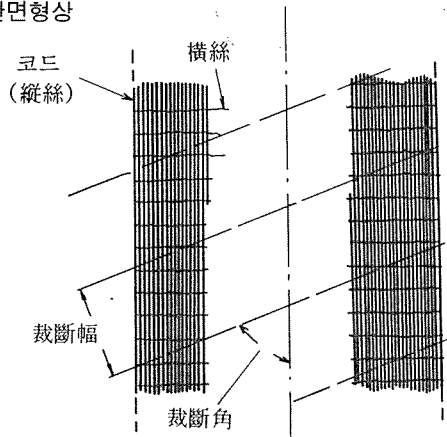
3× (0.20mm) + 6× (0.38mm)

(그림 5) 스틸 와이어코드의 단면형상

코드의 特性의 한 例는 <表 2>에 나타나 있다.

타이어에 使用한 경우의 特徵은 벨트의 剛성이 커지고, 트레드의 耐磨耗性이 飛躍的으로 좋아지며, 못에 찢리는 등의 핑크頻度도 적어진다. 또한 走行中の 抵抗이나 發熱이 적고, 코드의 强度가 다른 纖維에 比하여 매우 크기 때문에 트럭·버스用 타이어의 카카스로서도 1ply로서 充分하다. 그렇기 때문에 輕量化도 比較的 容易하다. 그러나, cord fabric이 딱딱하여 타이어 成形時의 加工이 어렵다든가 고무와의 接着이나 녹 등에 약간의 問題가 있다.

또한 現在로서는 스틸 와이어가 약간 값이 비싼 등의 缺點도 있으나, 앞으로 大量生産에 의한 cost의 低下와 더불어 使用量이 더욱 增加할 것으로 생각된다. 그러나, 거기에는 타이어의 成形工程의 簡易化, 自動化라고 하는 重要한 問題가



(周方向의 코드角에 對應)

(그림 6) fabric의 설명과 그 재단

타이어의 成形에는 裁斷된 고무가 附着된 fabric이 사람의 손으로 붙여지거나 切斷되기 때문에 코드에 따라 맨손으로 손쉽게 잘려지도록 하는 것이 바람직하다. (다음 號에 계속)