

고무용
 纖維

케블라 (Kevlar)

①

協 會 李 源 善

케블라(Kevlar(Aramid))는 世界的으로 注目되고 있는 高強力 纖維이다. 이 纖維는 強度 22 g/D, 彈性率 480g/D(表 1), 分解溫度 約 600 °C, T_g 300°C 이상으로 耐熱성이 대단히 良好하며 또 劃期的인 高強力, 高彈性率, 高耐熱性 일뿐 아니라 치數 安定性도 매우 좋다(伸縮성이 적다).

이번 號에서는 케블라의 種類, 用途, 經濟性, 微細構造, 製法, 熱特性, 치數 安定性 등에 대해서 살펴보고, 다음 號에서는 濕·乾熱劣化, 疲勞性, 其他 開發狀況 등에 대해서 說明하기로 한다.

1. 케블라(Kevlar®)의 種類

케블라에는 다음과 같은 3種類가 있다.

- 케블라 : 주로 타이어 및 고무 補強材用
- 케블라 29 : 로프(rope)나 織布 등의 특수한 工業用
- 케블라 49 : 高彈性率 실(糸)로서 플라스틱 補強材로 開發되었으며, 彈性率は 케블라 29보다 크다(그림 1, 2 참조).

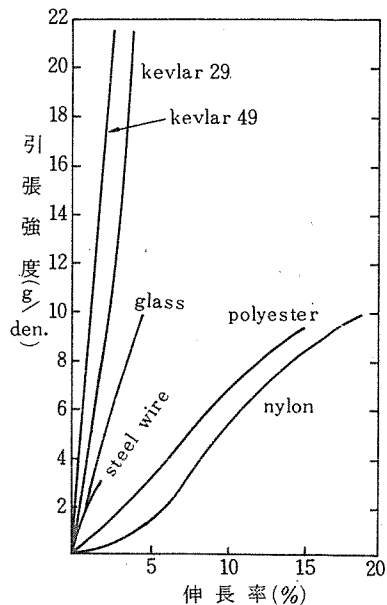
케블라와 케블라 29는 同一素材이며, 性能이 같으나 finishing(油劑)이 다르다. 케블라는 美國 Du Pont 社의 登錄商標名이다. 그러므로 正式으로는 Kevlar®와 같이 ®을 붙이도록 되어 있다.

[參考] 아라미드(Aramid) : 高分子(polyamide) 構造式의 Benzene核의 分子量이 80% 이상인 高分子物에 대해서 1974년에 美國聯邦商務委員會(FTC)가 命名한 化學一般名이다. 예전대; Du Pont 社의

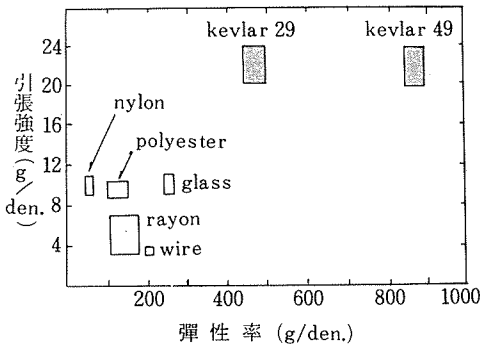
벤젠核이 테레프탈酸인 케블라나, 벤젠核이 이소프탈酸 베이스인 노멕스 등이 있다. 이들은 다 耐熱성은 크나 強度가 다르다. 初期에는 케블라를 "Fiber B"라고 하였다.

單纖維의 物性值比較
 <表 1>

	Kevlar	Polyester T-68	Nylon T-728	Rayon
強 度 (g/D)	22	9.2	9.8	5.4
切斷時 伸長率(%)	3.6	15	19	11
彈 性 率 (g/D)	480	115	50	125
루프 強度 (g/D)	12	6.3	6.8	3.9
切斷時 루프 伸長率 (%)	2	9	12	7



[그림 1] 應力-變形曲線



[그림 2] 引張強度와 彈性率

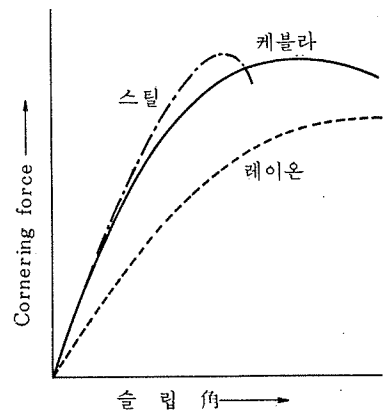
2. 케블라의 用途

(1) 타이어用

케블라의 主要用途는 타이어用으로서 주로 乘用車 및 트럭用 Radial 타이어의 벨트 및 카카스材로 使用할 수 있으며 또 建設車輛 및 航空機用 타이어, 高性能 高速道路巡察車輛用타이어 등과 같은 特殊타이어에도 使用된다.

케블라의 한가지 큰 利點은 타이어의 輕量化이다. 表 2에서 알 수 있는 바와 같이 撚糸되어 使用直前인 Dipped 코드의 強度(g/D)를 比

較해 보면 케블라 18, 스틸 3.4로 케블라의 強度가 스틸의 約 5배나 된다. 즉, 스틸 코드를 5kg 使用하는 대신에 케블라는 約 1kg만 使用하면 된다는 것이므로 그만큼 타이어가 가볍게 되어 케블라는 스틸이나 다른 纖維에 비해 좋다는 것이다. 그러므로 大型타이어(특히 建設車輛用)에서는 ply 數를 줄여서 가볍게 할 수 있고, 또 케블라는 彈性率이 높으므로 Radial 타이어의 Cornering force가 레이온 보다도 높다(그림 3).



[그림 3] 레이온, 케블라, 스틸을 벨트로 한 Radial 타이어의 슬립角과 Cornering force의 關係

各種 Dipped 타이어코드의 性能比較

[表 2]

	kevlar	steel	glass	rayon	nylon	polyester
denier	4500	7800	3650	3650	2600	2150
糸 構 造	1500/3	2×3×0.0058	75/5/0	1650/2	1300/2	1100/2
切 斷 強 度 (lds)	180	59.0	79.0	31.5	50.5	34.0
引 張 強 度 (g/D)	18	3.4	9.8	3.9	8.7	7.2
切 斷 伸 長 率 (%)	4	1.7	4.8	15	21	15
彈 性 率 (g/D)	350	200	260	50	32	65
引 掛 強 度 (g/D)	8.0	1.6	3.6	1.8	4.5	3.2
크 립(Creep)* (%)	0.49	0.17	0.54	4.9	4.8	2.1
收 縮 (160°F, %)	0	0	0	0	6.8	6.0
比 重	1.44	7.81				
스코트式 屈曲疲勞테스트(kc)	2300**	75	245	800	2300**	2300**
接 着 強 度 (2-플라이 스트립, 1인치幅, 140°C)	35	35	33	35

* 1g/D, 30分, 75°F ** 2,300,000회로 테스트 中止

其他 타이어의 乘車感, 操縱性, 回轉抵抗등에서도 뛰어난 特性이 있으므로 世界各國에서 케블라를 사용한 타이어가 製造되고 있으나 價格面에서 現在 케블라가 比較的 높은 수준에 있다(表 3 참조).

日本에서도 그림 4와 같은 스틸 벨트 코드層에 케블라 코드層을 겹친 乘用車用 Radial 타이어가 開發되어 市販되고 있다. 이 타이어는 스틸 타이어보다 操縱安定性, 高速耐久性이 良好해지고 轉動抵抗 및 타이어重量 등이 減少되며 또 路面이 고르지 못한 곳에서는 振動이나 音を 緩和하여 乘車感을 좋게 한다고 한다. 또 最近에는 高性能 2輪車用 Radial 타이어가 開發되었는데, 벨트材는 케블라를 사용한 2플라이 構造로 되어 있고 接地部(트레드部)의 움직임을 減少시켜 耐熱性, 耐磨耗性, Cornering 安定性, 耐燃料性 등이 向上되었다고 한다.

(2) 工業用, 航空宇宙用, 其他

케블라는 타이어 以外에도 高強力補強材로서 自動車(Snowmobile)用 벨트, 타이밍 벨트, V 벨트, 高壓호스 등에 사용되며, 또 高耐熱性이므로 自動車用 라디에이터 호스에도 사용되고, 重量을 줄이기 위해서는 大型 海洋 호스에도 사

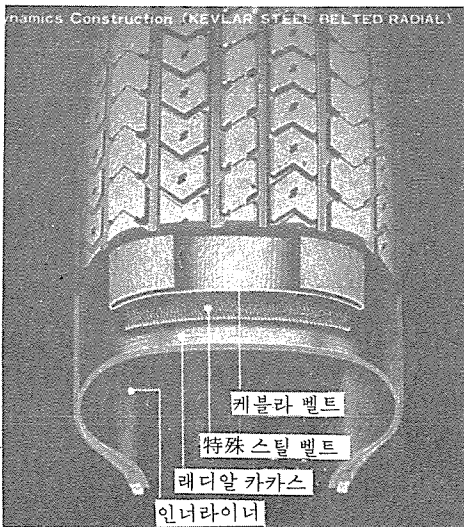
용된다.

케블라製 타르폴린(tarpaulin)이나 고무引布 등은 高強度로 引裂, 切斷에 強하며, 또 얇고, 가볍고, 尺寸安定性이 뛰어나다. 우레탄이나 네오프렌으로 코팅한 케블라 29의 救命 보트(inflatable)는 나일론製보다 튼튼할 뿐 아니라 무게가 約 1/2에 불과하다고 한다. 케블라 29는 로프 및 케이블 등에도 사용되는데 이는 高強度이므로 무게를 가볍게 할 수 있기 때문이다.

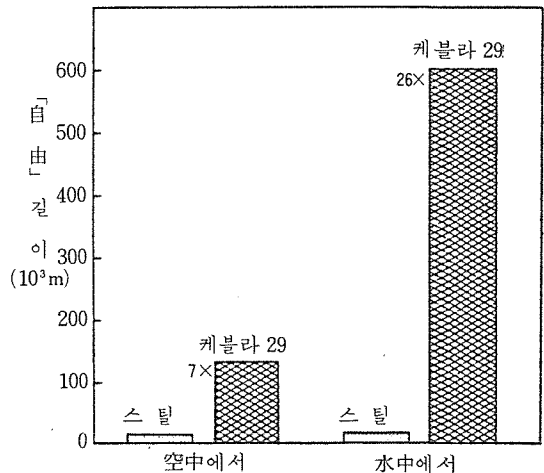
그림 5는 케블라 29의 “自由” 길이(大氣中이나 水中에서 自體무게를 지탱할 수 있는 길이)를 스틸과 比較한 것이다. 大氣中에서 케블라 29의 “自由” 길이는 스틸의 7배이며, 水中에서는 스틸의 26배나 되어 대단히 有利하다. 따라서 深海用 뿐 아니라 地上이나 大氣中에서도 그 使用範圍가 앞으로 많이 늘어날 것으로 기대된다.

其他 케블라 29는 落下傘, 石綿代用, 防彈服, 헬멧, 安全服, 耐熱用 장갑 등에도 사용된다.

케블라를 사용할 때 留意할 점은, 케블라는 紫外線에 弱하므로 樹脂나 코팅으로 表面을 방어하지 않고 직접 太陽 빛 아래서 사용해서는 안된다. 매우 얇은 織物인 경우에는 長時間 직



(그림 4) 스틸 벨트 코드層에 케블라 코드層을 겹친 乘用車用 Radial 타이어 構造



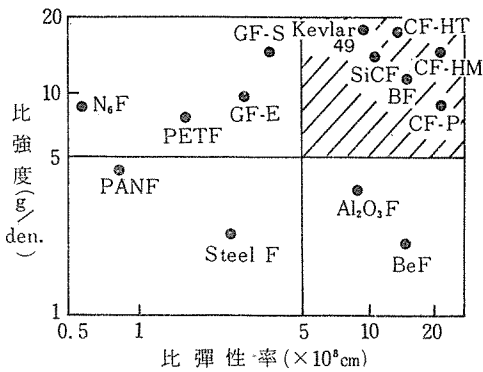
(그림 5) “自由” 길이 比較

(自體 무게로 一部分이 切斷되는 길이 = 引張強度 ÷ 密度)

[로프 效率 = Yarn의 引張強度의 80%]

접 태양 빛에 露出시키면 強度가 심하게 低下된다.

케블라 49는 앞에서 說明한 바와 같이 케블라 29보다도 彈性率에 대단히 높아서 주로 強化 플라스틱用으로 사용되고 있는데 比重(1.45)이 비교적 낮아서 有利하다. 그림 6에서와 같이 케블라 49는 高性能纖維로서 比強度, 比彈性率에 높고, 省에너지面에서 輕量化和 強度, 彈性率에 특히 要求되는 航空機, 로켓, 스페이스셔틀, 宇宙用品 등에 크게 着眼되어 사용되고 있다.



- F는 Fiber(纖維) 임.
- C-HT : 카본, 高強力 G-E : 유리(電氣)
- C-HM : 카본, 高彈性率 N6 : 나일론 6
- C-P : 카본, 피치系 PET : 폴리에틸렌프
- SiC : 실리콘카바이드 타레이트
- B : 붕소 PAN : 폴리아크릴리
- G-S : 유리(強力) 트릴

[그림 6] 高性能補強用 纖維의 範圍

炭素纖維를 케블라 49와 組合시키면, 單獨補強纖維에서는 볼 수 없는 밸런스가 잡힌 性質을 띠는 纖維로 된다(炭素纖維의 耐衝擊性이 改善된다). 이와같은 케블라 49와 炭素의 組合은 많은 航空部品에 사용되고 있다. 其他 電氣特性, 絶緣性, 耐熱性 등이 良好하므로 電子工學이나 電氣用品 등에 사용되는 한편 스포츠用品이나 音響效果를 利用하는 등 用途가 多樣하다.

3. 케블라와 各種 타이어用 纖維의 強度當 價格(經濟性) 및 消費量豫測

앞에서도 說明한 바와 같이 타이어 코드에는 많은 性能이 要求되고 있으나, 補強材의 主目的은 強度이다. 따라서 다른 性能이 거의 같다면 強度當 價格은 싼 것이 좋다는 것은 말할 나위 없다. 이것은 纖維素材의 選定에 있어서 實用上 중요한 문제라 볼 수 있다.

여기서는 美國에서의 各種纖維의 價格, 強度(室溫), 強度當 價格을 表示한 表 3에 대해서 살펴보기로 한다.

同表右端에 表示된 바와 같이 有機纖維에서는 強度當 價格比는 레이온이 最高이고, 다음이 아라미드(케블라), 나일론, 폴리에스테르의 順으로 점차 낮아지고 있다. 유리(glass)는 最低이나 스틸은 多少 높은 편이다.

表 3에서 폴리에스테르와 아라미드의 撚糸와

各種纖維의 價格 및 強度當 價格

(表 3)

실 의 種 類	실의 價格 \$/kg	撚糸와 dip 價格 ^① c/kg	코드의 強度 N/tex ^②	強度當 Dipped 코드 價格比 \$/(N/tex) ^②
레이온	3.26	26.4	0.36	9.77
나일론 6·6	3.72	33	0.65	6.23
폴리에스테르	2.97	44	0.59	5.79
유리(Dipped)	2.97		0.56	5.3
스틸와이어				
乘用車타이어	2.40		0.30	7.99
트럭타이어	2.64-4.09		0.30	8.80-13.60
아라미드	13.31	44	1.50	9.17

① 推定, ② 強度, N/tex를 常用의 g/D로 換算하자면 N/tex에 11.33을 곱함.

dip 價格이 레이온, 나일론보다도 高價인 것은 dipping에서 2浴處理를 해야 하므로 原價가 上昇되기 때문이다. 케블라는 뛰어난 性能을 가지고 있으나, 예컨대 그림 7에서와 같이 美國에서는 극히 가까운 장래에는 대폭적인 消費量 上昇은 豫測되지 않고 있다.

그것은 위에서 說明한 바와 같이 케블라가 比較的 비싸다는 것과 또 耐疲勞性이 없기 때문에 코드의 撚數를 늘여야 하므로 코드의 強度가 더욱 低下되기 때문이라고 볼 수 있다. 그림 8은 日本의 타이어코드 消費量을 豫測한 것이다. Du Pont 社에서는 最近 增設工事が 完成되어 約 2萬톤/年이 生産되고 있다고 한다. 또 네덜란드의 Enka 社에서도 Arenka[®]라는 商品名으로 工業化할 計劃으로 試作品이 나오고 있다.

[參考] 表 3의 強度는 室溫인 경우를 기준한 것이다. 타이어는 走行함에 따라 發熱하나 昇溫時의 強度低下率은 纖維의 種類에 따라 다르다. 예컨대, 나일론은 昇溫時(110°C)의 強度低下率이 그림 16에 表示된 바와 같이 레이온보다도 크다. 따라서 室溫時의 強度로 比較하는 것은 正確하지 않으나 일반적으로 사용하고 있다.

4. 케블라와 고무의 接着處理

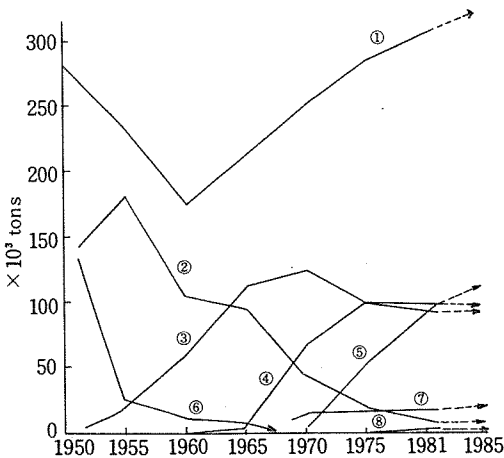
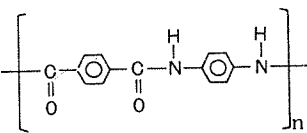
케블라와 고무의 接着處理는 폴리에스테르 (PET)의 경우와 같이 레이온이나 나일론에 사용되고 있는 일반적인 RFL(Resorcine Formalin Latex)液 1回의 接着處理로는 不充分하다. 그래서 PET와 같이 Epoxy 化合物로 前處理 dip(subcoat)한 후 RFL로 2浴 接着處理(topcoat)를 하는 이른바, 2浴 dip 法을 쓰고 있다.

表 4 (a)에는 아라미드 前處理(subcoat)液의 處方, (b)에는 아라미드 接着力結果, (c)에는 히이트 세트(heat set) 條件과 아라미드 接着力과의 關係를 각각 表示하였다. (b)에서는 Epoxy 化合物의 Subcoat가 重要하다는 것을 알 수 있고, (c)에서는 고무 Compound와의 高接着力을 얻기 위해서는 適當한 히이트 세트 條件이 필요하다는 것을 알 수 있다.

5. 케블라의 構造式과 微細構造

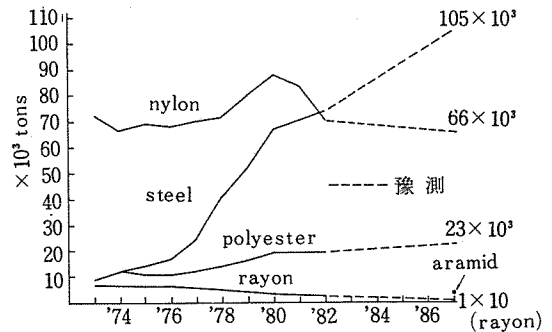
(1) 케블라의 構造式과 分子鎖의 特徵

케블라는 다음 式의 Poly(p-Phenylene terephthalamide : 以下 PPTA로 略함)로 表示되고 있다.



① Total tire-yarn consumption, ② Rayon, ③ Polyester, ④ Nylon, ⑤ Steel, ⑥ Cotton, ⑦ Glass, ⑧ Aramid

[그림 7] 美國의 타이어용糸 消費量 및 豫測



[그림 8] 日本의 타이어코드 消費量 豫測

〈表 4〉 (a) 아라미드 前處理 (Subcoat)

물	97.9 parts
水溶性 에폭시 化合物	2.0 "
濕潤劑	0.1 "

NaOH 로 pH를 11.5로 함.

(c) 히이트 세트 條件과 아라미드 接着力과의 關係

	A	B	C
Subcoat 히이트 세트 (2.0% 에폭시 化合物)	1'~245°C	1'~190°C	1'~175°C
Topcoat 히이트 세트 (RFL)	1'~220°C	1'~175°C	1'~175°C
接着力·H 테스트 (天然고무 compound)	14.5 MPa	14.3	14.82

(b) 아라미드 接着 結果

	A	B	C	D	E
Subcoat 히이트 세트 (2.0% 에폭시 化合物)	dip 없음	dip 없음	dip 없음	1'~245°C	1'~245°C
Topcoat 히이트 세트 (RFL)	dip 없음	1'~175°C	1'~220°C	dip 없음	1'~220°C
接着力·H 테스트 (天然고무 compound)	3.5 Mpa	7.7	7.9	6.2	14.5

이와같이 케블라의 分子鎖는 amide 結合을 한 多數의 벤젠環의 連續으로 되어 있으며, 매우 剛直하고 耐屈曲性이 강하다. 즉, 分子鎖는 伸長狀態에서도 매우 剛直하고 잘 굽지않는 特徵이 있다.

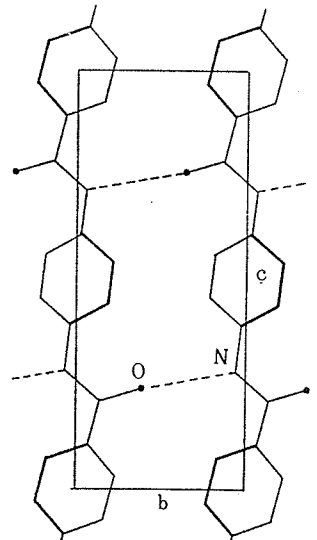
그러므로 케블라의 分子鎖는 적당한 溶媒中에서는 伸長狀態에서 液晶을 이루고 紡糸, 結晶化 후에도 伸長狀態로 있다. 따라서 分子鎖가 屈曲되기 쉬운 나일론, 폴리에스테르와 같이 접쳐지지 않고 케블라는 分子鎖가 伸長되어 있는 柱狀 microfibril 構造라고 한다.

(2) 케블라의 結晶構造

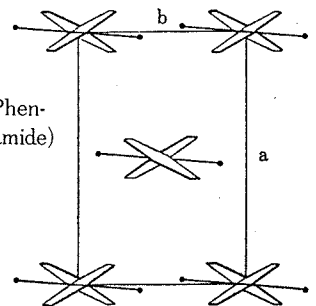
Northolt 研究陣에서 發表한 케블라, PPTA의 結晶構造를 보면 그림 9와 같다.

結晶格子中の 分子鎖는 trans型의 伸長된 모양이고 이들 分子鎖는 NH와 C=O 사이에서 水素結合하여 結晶을 構成하고 있다. 格子定數는 $a=7.87\text{\AA}$, $b=5.18\text{\AA}$, $c(\text{纖維軸})=12.9\text{\AA}$, $\gamma \approx 90^\circ$ 의 單斜晶形이다. 또 水素結合에 대해서는 $N \cdots O$ 의 距離, $N-H \cdots O$ 의 角度는 3\AA , 160° 이다.

케블라의 X線小角回折寫眞과 廣角回折寫眞을 보면 각각 그림 10, 18과 같다.



水素結合한 鎖의 層 a軸에 平行한 投影



(그림 9) Poly (p-Phenylene terephthal amide)의 結晶構造

유니트 셀內的 鎖의 패킹 → c軸에 平行한 投影

(3) 케블라의 微細構造 (伸長鎖로 된 柱狀 microfibril 構造)

앞에서도 說明한 바와 같이 케블라의 微細構造의 큰 特徵은 分子鎖가 잘 굽어지지 않으므로 分子鎖가 伸長되어 있는 그림 11과 같은 어느 정도의 Paracrystal(準結晶)이 포함된 伸長鎖의 結晶 및 非晶質로 構成된 매우 配向성이 좋은* microfibril 構造로 되어 있다는 것이다. 이것이 케블라의 큰 特徵이다.

이와같은 伸長鎖柱狀 microfibril 構造는 케블라가 매우 高強力, 高彈性率이고 크립(creep)이 대단히 적으며 또 疲勞 등으로 Fibril化 되기 쉽다는 것 등을 解釋하기에 매우 적합하다. 伸長鎖柱狀 microfibril 構造는 중요하므로 主要根據는 다음 “參考”에서 說明하기로 한다.

[參考] ① 케블라의 X線小角回折像이 그림 10에서와 같이 子午線上에서는 나타나지 않고(나일론이나 폴리에스테르에서는 子午線上에 나타남), 強한 赤道 Streak가 나타났다.

② 一軸完全配向試料의 複屈折의 計算値가 實測値를 下廻한다(配向성이 매우 좋다).

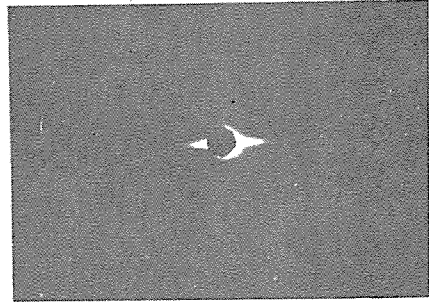
③ 纖維彈性率과 結晶彈性率이 接近하고 있다.

④ 音速과 結晶配向이 잘 對應된다.

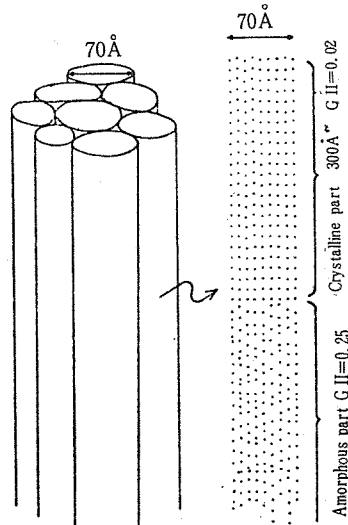
⑤ 케블라의 分子鎖는 trans型인 para 全芳香族 Polyamide로서 매우 剛直하고 굽지 않으므로**, 溶液中에서 液晶으로 紡糸되어 접치지 않는다. 예컨대, Mark-Houwink 粘度式, $\eta = K \cdot M^a$ 에서 指數 a 가 約 1.7이므로 棒狀으로 剛直한 것으로 보이며, 또 分解溫度가 매우 높으므로 Entropy 變化 (ΔS)는 극히 작은 것으로 생각된다.

⑥ X線法에 의한 結晶化度는 73.3%, 重水素化法(IR法)에 의한 非晶部는 10~15%로 重水素置換度는 적으며 結晶性은 좋다. 要컨대, 케블라의 分子鎖의 屈曲性은 현저히 낮아서 非晶領域에서도 分子鎖가 늘어난 Oriented Amorphous 構造를 생각할 수 있는데, 이것은 X線小角回折像이 子午線에서 전혀 나타나지 않는 것과 부합된다. 또 試料中の 分子鎖가 다른 纖維에서는 볼 수 없는 정도로 잘 配合되어 있으므로 伸長鎖 構造로 斷定되고 있다.

* 配向성이나 結晶性이 커지면 強度, 彈性率은 增加되고 伸長率은 減少된다.



[그림 10] 케블라의 X線小角回折寫眞



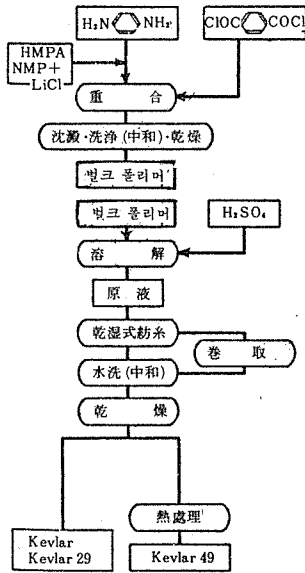
[그림 11] 柱狀 microfibril 모델과 伸長鎖로 된 一次元 Paracrystal 모델

6. 케블라 製法의 概略

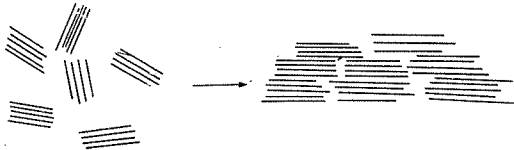
그림 12와 같이 p-Phenylenediamine 을 Hexamethylphosphoramide (HMPA), N-methylpyrrolidone (NMP), LiCl 등에 溶解하고 Terephthal酸 chloride를 加하여 低温溶液重合反應에 의해 高重合度의 PPTA를 만든다.

分離, 乾燥 후 폴리머를 濃黃酸에 液晶을 만드는 적당한 濃度로 溶解한 후 乾濕式紡糸法으로 高配向 紡糸하고 乾燥熱處理를 하여 케블라를 만든다.

** 鎖狀分子가 굽는 것은 結合의 屈曲에 의한 것이 아니라, 各飽和鎖結合(單結合)을 中心으로 한 回轉 때문에 일어난다.



[그림 12] 케블라의 製造工程



[그림 13] 液晶紡糸의 모델圖

케블라 49를 만들자면 실(糸)을 다시 高溫度(360℃)에서 熱處理함으로써 約 900g/D의 超高彈率 실(糸)로 만든다(p-配向芳香族 polyamide 理論彈性率은 1,500g/D이다).

여기서 중요한 製造法의 特徵은 濃黃酸中の 紡糸原液이 光學異方性을 나타내는 液晶構造로 되어 있는 點이다. 즉 케블라의 分子鎖가 剛直하고 굽지 않는 棒狀構造로 되어 있으므로 分子間力이 커서 高濃度에서는 Nematic 液晶構造로 되어 그림 13에서와 같이 紡糸되므로 分子鎖가 매우 高配向된 실로 되는데, 이것이 큰 特徵이다. 構造上 가장 적절한 液晶을 만들기 위한 濃度, 溫度, 溶媒 등은 중요한 문제이나 여기서는 省略하기로 한다. 또 重合溶媒의 HMPA는 發癌性이 있어 現在에는 사용되지 않고 있다.

7. 케블라의 熱分解와 昇溫時의 強度, 彈性率 低下

(1) 熱分解(熱分析)

未處理, 濕熱(200℃, 1h) 및 乾熱(250℃, 1h) 處理한 케블라 코드의 DTA(示差熱分析) 및 TGA(熱重量分析)의 測定結果를 보면 그림 14, 15와 같다. 이 그래프에서 케블라의 分解는 約 500℃에서 시작하여 約 605℃에서 신속히 分解됨을 알 수 있다(DTA의 120℃ 부근의 吸熱 피크는 脫水 때문인 것으로 보인다). 따라서 케블라의 分解溫度는 나일론이나 폴리에스테르에 비해 대단히 높다. 그것은 앞에서 說明한 바와 같이 케블라의 分子鎖가 잘 屈曲되지 않고, 다음式에서 ΔS가 대단히 작으며, 本質적으로 耐酸化성이 뛰어난 芳香族 폴리아미드이기 때문이라고 생각된다.

$$T_m = \frac{\Delta H}{\Delta S}$$

T_m : 融點

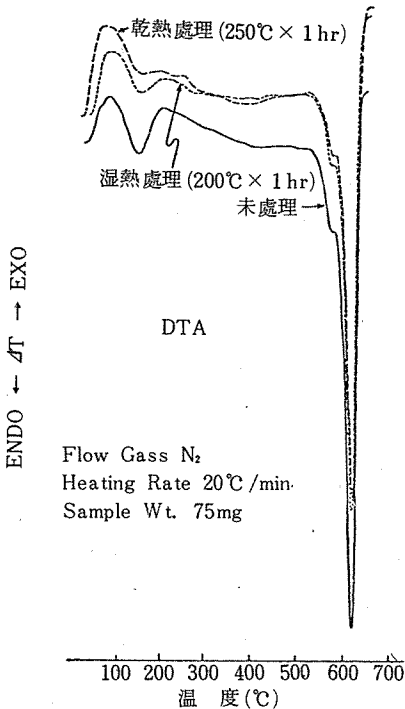
ΔH : 融解의 Enthalpy

ΔS : 融解의 Entropy

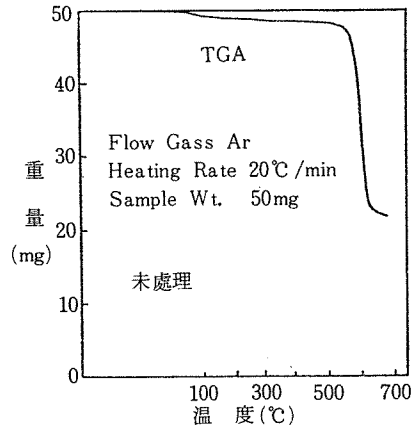
(2) 昇溫時의 強度, 彈性率 低下

昇溫時의 殘存強度 및 彈性率(初期)은 그림 16과 같다. 200℃에서 強度는 約 15g/D이고 彈性率은 300g/D로서 나일론, 폴리에스테르에 비하면 다 높다. 그러나 昇溫에 따라 強度가 低下되는 傾向은 나일론 66과 같다. 이것은 強度가 同種의 水素結合(NH...O=C)에 支配되고 있기 때문인 것으로 생각된다.

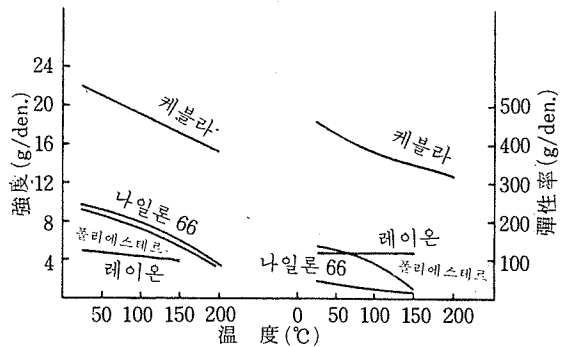
이와같이 케블라는 乾熱에 의한 熱分解溫度나 昇溫時의 殘存強度 등이 다른 有機纖維에 비해 대단히 높고 뛰어난 特性을 나타내고 있다. 그러나 濕熱에서는 폴리에스테르纖維와 마찬가지로 加水分解되기 쉽다. 또 低溫時, -45℃의 測定에서는 室溫과 同一한 強韌性을 나타낸다고 한다.



[그림 14] 케블라의 濕熱處理, 乾熱處理, 未處理 필라멘트의 示差熱 (DTA) 曲線



[그림 15] 케블라 未處理 필라멘트의 熱重量分析 (TGA) 曲線



[그림 16] 強度와 伸性率에 미치는 溫度의 影響

8. 치수 안정성

(1) 熱收縮

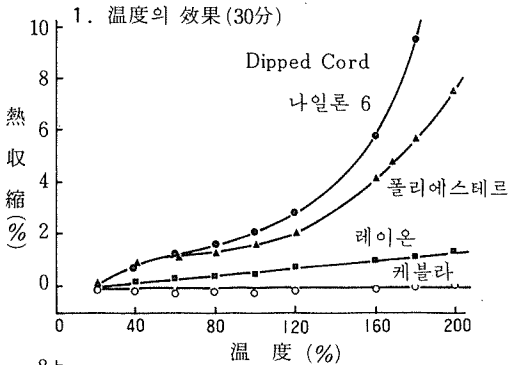
일반적으로 合成纖維는 熱收縮이 크므로 製造上 큰 問題點이 되고 있다. 예전대 나일론이나 폴리에스테르 타이어는 加黃直後 그대로 放置해두면 收縮되어 사이즈가 작아지든지, 不均一하게 된다. 그래서 소위 postcure inflation 이라고 하는 또다른 工程을 겪게 된다.

호스, 벨트, 고무리布 등도 마찬가지이며 品質管理面에서도 매우 중요한 일이다. 各種 Dipped 타이어 코드의 熱收縮 상황을 보면 그림 17과 같다. 여기서도 알 수 있는 바와 같이 케블라는 나일론 6, 폴리에스테르, 레이온 등에 비하면 熱收縮이 대단히 낮다. 그 原因을 檢討하기 위하여 無緊張下 200°C에서 濕熱處理한 케블라 필라멘트와 또 無緊張下 158°C에서 濕熱處理한 나일론 6 필라멘트의 X線廣角回折寫眞

을 測定하여 比較 檢討한 結果를 보면 그림 18, 19와 같다.

그림 18에 表示된 바와 같이 無緊張下에서 濕熱處理된 케블라 필라멘트의 X線廣角回折寫眞의 赤道弧의 變化는 그림 19에 나타난 나일론 6 필라멘트의 큰 變化에 比하면 매우 작다는 것을 알 수 있다. 즉, 케블라의 配向度變化는 거의 없으나 나일론 6의 配向度變化는 크다. 그 原因은 다음과 같이 생각할 수 있다.

앞에서 說明한 바와 같이 케블라 分子鎖는 매우 剛直하고 屈曲性이 작으며 또 結晶性이 良好하다. 따라서 케블라는 나일론과 같은 親水性의 N-H 및 C=O基를 가지고 있는데도, 可塑劑的作用을 하는 것으로 생각되는 물 分子의 存在下에서 나일론 6보다도 훨씬 高溫度에서 濕

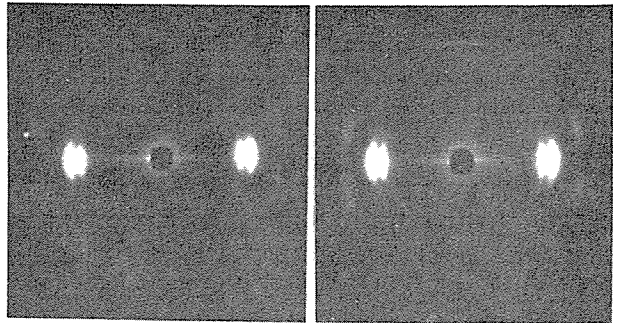


[그림 17] 各種 타이어코드의 熱收縮

熱되어도 分子鎖의 熱運動이 적고 잘 屈曲되지 않으므로 熱收縮이 거의 없는 것으로 보인다(나일론 6을 濕熱 또는 乾熱하여 比較하면 濕熱이 乾熱의 경우보다 配向度나 收縮率의 變化는 크다). 또 그림 18에서와 같이 케블라는 高結晶性이긴 하나, 濕熱處理後 X線回折像이 선명해지고 層線이 명확하게 나타나서 보다 完全한 結晶으로 生長하고 있음을 알 수 있다.

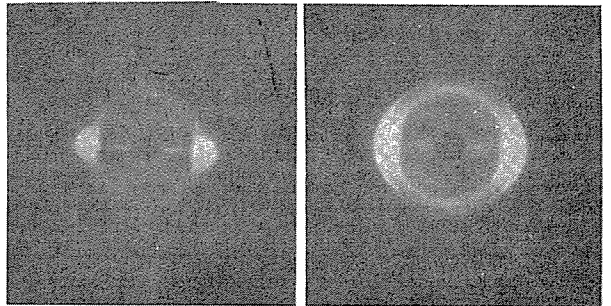
(2) 케블라 코드의 20°C 時的 크립 (Creep)

伸長과 크립이 크면 타이어에서는 長時間 사용하게 되면 成長이 커지고, 컨베이어벨트에서는 늘어나게 되므로 좋지 않다. 일반적으로 彈性率이 높으면 伸長 및 크립이 적으나, 케블라는 彈性率이 매우 높고, 그림 20에 表示된 바와 같이 나일론이나 폴리에스테르에 비해 伸長이나 크립이 훨씬 적음을 알 수 있다. 왜냐하면 케블라는 伸長鎖構造로 된 配向性이 좋고 結晶性이 큰 폴리머이고, 分子鎖가 trans型인 경우는 分子鎖가 伸長되는 데는 内部回轉이 必要없고 結合距離 및 結合角의 變化가 일어나지 않으면 안되기 때문이다.



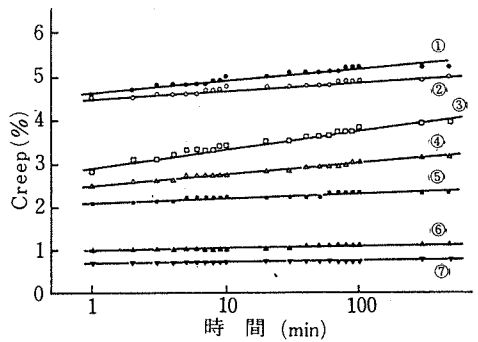
未處理 無緊張下, 200°C, 1hr 濕熱處理

[그림 18] 케블라 필라멘트의 X線廣角回折寫眞



未處理 無緊張下, 158°C, 1hr 濕熱處理

[그림 19] 나일론 6 필라멘트의 X線廣角回折寫眞



① 나일론 66 1260 d/2, ② 나일론 6 1260 d/2, ③ 레이온 1650 d/2, ④ 폴리에스테르 1500 d/2, ⑤⑥⑦ 케블라 1500 d/2, 단, ⑤는 撚數 45×45, ⑥은 35×35, ⑦은 20×20.

[그림 20] 各種 코드의 Creep (延伸 %)

(Dipped 코드, 溫度: 20°C, 荷重: 1 g/d)

以上으로 要件대, 케블라의 우수한 諸特性은 케블라(PPTA)의 分子鎖가 매우 剛直하여 屈曲性이 적고 ΔS가 작다는 데에 큰 要因이 있다.