

新素材—炭素纖維의 開發動向

Recent Developments in Carbon Fiber as a New Advanced Material

李 裕 健 *

1. 序 論

炭素纖維는 1950年 후반부터 美國의 宇宙開發을 爲한 素材中 耐熱性 材料로서 宇宙 rocket 이 1. 미사일 등에 複合材로 加工되어 少量 쓰여지게 되었다.

炭素纖維의 歷史는 꽤 오래된 것으로서 1880年 發明王 에디슨이 대나무를 쪼개 가느다란纖維狀의 것을 찢다음 태워서 만든 白熱電球의 필라멘트가 그 효시라 할 수 있고, 近代의인 新素材 産業으로 登場한 것은 1970년부터 “알루미늄보다 가볍고 강철보다 강하다”는 catch-phrase로 各國에서 工業化가 속속 進行되어 왔다.

1959年 美國의 Union Carbide社가 레이온(rayon)糸를 原料로 하여 rayon系炭素纖維를 世界最初로 工業化에 成工한 以來 現在는 PAN(poly acrylonitrile)系와 石油 或은 石炭 핏치(pitch)系 炭素纖維가 工業化 되었고, 將來로는 特定觸媒의 存在下에 벤젠(benzene) 등의 炭化水素로부터 遊離炭素가 生成되는 現象을 利用한 소위, 氣相成長 炭素纖維 生産方法도 研究되고 있다.

경위야 어떻든간에, 現在 炭素纖維는 量産段階에 들어섰으며 用途가 特定分野에만 偏重되던 것이 꾸준한 品質改善 및 原價節減, 다양한 用途開發 노력에 힘입어 今後에도 量的擴大와 質的改善에 拍車를 가해 갈 것으로 예상된다. 따라

서 本稿에서는 炭素纖維 全般에 對한 技術的인 開發動向과 需要豫測 및 向後의 開發方向 등에 關해 公開文獻을 中心으로 考察하고자 한다.

2. 炭素纖維의 製法

現在 工業化된 製法은 出發原料面에서 볼 때 PAN系, 液晶 핏치系(異方性) 및 等方性 핏치系(無定形構造)의 세 種類가 있다 各各의 製造工程은 Fig. 1과 같다.

工程圖에서 보는바와 같이 먼저 프리커서(pre-cursor)를 製造한 後 이것을 200~300℃의 空氣中에서 가열한다. 이 工程을 PAN纖維의 경우는 前處理, 혹은 耐炎化處理라 하며, 液晶 핏치纖維나 pitch纖維의 경우는 不融化處理라 부르며, 이는 空氣를 使用한 가벼운 酸化處理이다. 酸化處理된 纖維는 燒成工程에 보내지며, 이 工程은 炭化와 黑鉛化處理(高温熱處理)의 두 段階가 있다. 燒成을 마친 炭化(素)纖維(carbon fiber), 黑鉛化纖維(graphite fiber)는 表面處理 및 싸이징(sizing)處理를 계속 실시한다. 空氣酸化處理工程은 프리커서 構成分子의 部分脫水素, 酸素付加 및 分子間의 힘을 增加시켜 纖維에 耐熱性을 付加하고, 燒成時 熔融을 막거나 炭素原子가 튀어달아남을 抑制키 위함이다. 炭化工程에서는 燒成溫度의 上昇에 따라 炭素原子 以外의 原子가 가스(gas)化 하여 없어져 거의 炭素原子만

* 선경합섬(주) 연구소장(Yoo Kun Lee, Sunkyoung Fibers Research Center, Jungja-dong 600, Suwon-si, Korea)

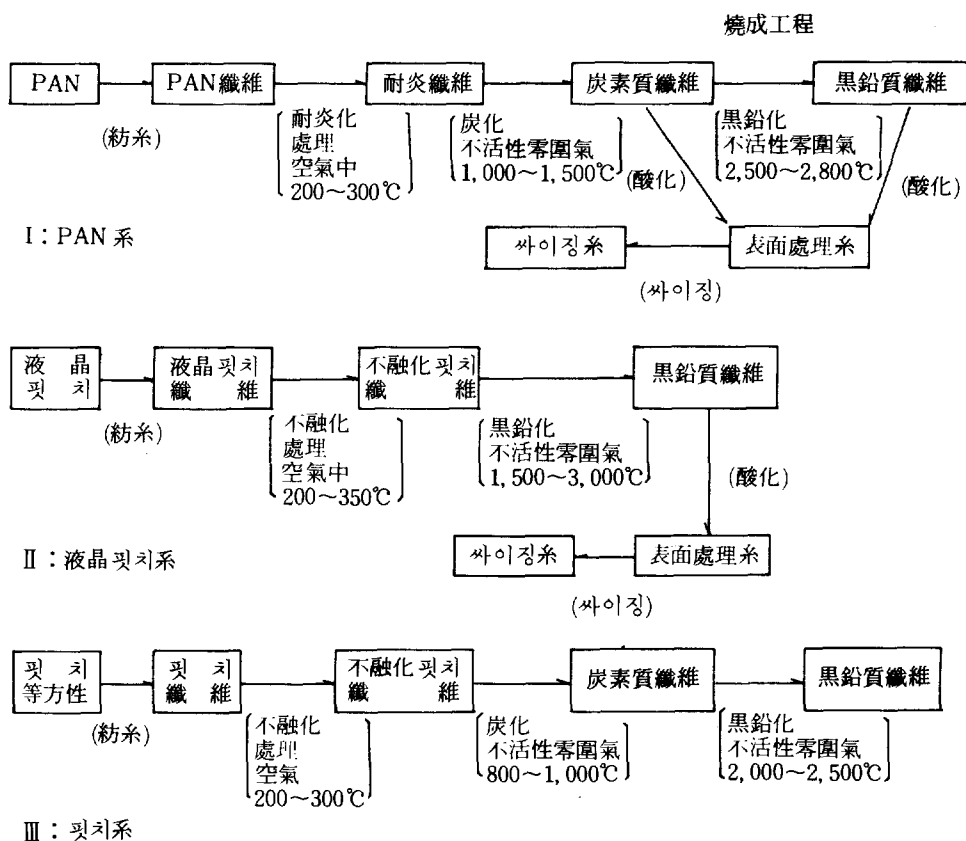


Fig. 1. 炭素纖維製造工程 flow sheet

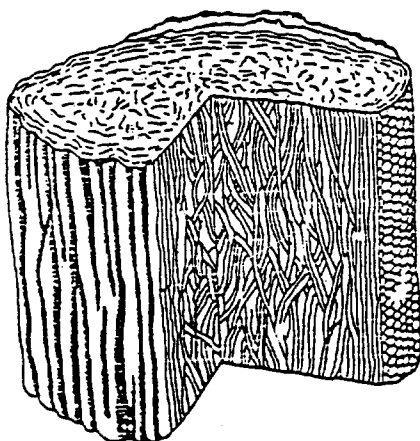


Fig. 2. 高彈性炭素纖維 (PAN系)의 構造

의 응집체가 되어 芳香族網平面이 섬유축방향에 배열된 것처럼 된다. 黑鉛化工程에서는 芳香族網平面의 擴大와 配向度, 이것들이 규칙적으로 겹쳐진 結晶 영역이 증대하여 彈性率 電氣傳

導性 등의 물성이 한층 더 높아지게 된다 (Fig. 2).

2-1. PAN系 炭素纖維

PAN 프리커서를 空氣中 前處理 하는 溫度는 200~300℃ 程度이고, 加熱은 2段階 혹은 3段階의 溫度로 하는 것이 일반적이다. 燒成工程은 질소 (N₂) gas 中에서 하고, 炭化溫度는 1,000~1,500℃ 黑鉛化處理는 2,500℃ 前後이다. 프리커서로부터 前處理工程, 燒成工程의 全溫度 영역을 거치면서 纖維의 구성단위인 PAN 分子, 혹은 芳香族網平面이 섬유축에 平行해서 配向하게 된다 (Fig. 3).

이때 加熱過程에서 섬유의 길이 方向에 收縮이 일어나서 配向度가 低下되는 傾向이 있다. 이러한 수축을 피하기 爲해 섬유에 張力을 加하고 이렇게 긴장하에서 가열하므로써 炭素纖維의 炭素물과 인장강도는 증대된다. 이러한 緊張效果는 前處理過程에서 가장 현저하게 나타난다. 프리

2-3. 핏치(pitch)系 炭素纖維

핏치系 炭素纖維는 200~250℃의 石油 핏치를 원심력을 利用해 노즐로부터 후렛쉬(flash)紡糸하여 20~30cm의 短纖維(staple fiber)를 얻을 수 있다. 이것을 200~350℃의 공기中에서 가열해 不融化시킨후 不活性분위기 中에서 燒成하여 PAN에서와 같이 炭化, 혹은 黑鉛化處理하여 炭素纖維를 만든다.

2-4. 表面處理

炭素纖維強化플라스틱(CFRP)이 우수한 力學特性을 갖게하기 爲하여는 섬유와 섬유간에 응력을 전달하기에 충분한 강도로 炭素纖維와 플라스틱과의 상호접착이 잘 될 必要性이 있다. 그러나 炭化나 黑鉛化處理工程을 거친 그대로의 炭素纖維表面은 플라스틱과의 接着性이 不足하다. 그 이유는 炭素纖維의 外表面이 플라스틱과 相互接着하는데 있어서 纖維表面이 芳香族 6角網平面으로 덮여있는 部分이 많기 때문이다. 따라서 플라스틱과의 接着性을 높이기 爲해 表面處理를 실시하게 되는데, 이 表面處理는 炭素纖維의 表面을 강도가 저하되지 않는 범위내에서 가볍게 酸化시키는 것이다.

工業적으로 生産하는 炭素纖維 메이커에서는 이 表面處理方法이 know-how로 되어있으나 일반적으로 酸化劑의 水溶液을 쓰는 濕式法과 공기, 산소 등을 사용하는 乾式法이 있다. 또한 NaOH 등의 電解質水溶液中에서 電氣化學적으로 酸化하는 陽極酸化法은 處理時間이 짧아 便利하며, 大氣와 염화수소 혹은 탄산가스中에서 섬유표면을 高温酸化해 부식하는 방법도 알려져 있다. 酸化工程을 거친 炭素纖維表面은 에폭시(epoxy) 수지와 화학결합을 할 수 있는 含酸素官能基가 생성됨과 동시에 樹脂가 기계적 결합으로 잘 附着될 수 있는 요철(凹凸)이 生成되게 된다.

2-5. 싸이징(sizing)

炭素纖維는 彈性率이 높고 伸度(破斷변형율)가 적어 모우(毛羽)가 발생되기 쉽다. 따라서 취급을 쉽게하고 劣化防止를 위해 糸를 糊付한

後 필라멘트로 集束한다. 糊付劑는 적당한 유연성이 있고 싸이징한 탄소섬유가 그대로 플라스틱의 強化에 使用될 수 있도록 플라스틱과의 相互接着이 잘되는 것이라야 한다.

現在 epoxy수지 母材를 대상으로 epoxy系樹脂나 폴리비닐알코올(PVA) 등이 使用되고 있다.

3. 炭素纖維의 種類

3-1. 種 類

炭素纖維의 종류별 분류방법은 여러가지가 있겠으나 現在 市販되는 炭素纖維는 出發原料別로 구분할 때, PAN系, 液晶 핏치系, 핏치系 등의 3種類가 있고 최초로 출현했던 레이온(rayon)系 탄소섬유는 일반적으로 제조되고 있지 않다. 炭素纖維는 燒性段階에 따라 炭化品과 黑鉛化處理品으로 분류되며, 結晶性面에서 볼 때 前者를 炭素質, 後者를 黑鉛質이라 부른다. 또한 力學的性質面에서 볼 때는 高性能(high grade), 低性能(low grade) 탄소섬유로 분류되고 高性能炭素纖維에서는 PAN系の ①高強度 type ②高伸度 type ③高彈性 type과 ④液晶 핏치系의 高彈性 type이 있으며, 핏치系(等方性)는 低性能品으로서 ⑤炭素質과 ⑥黑鉛質이 있다. 종류별로 대표되는 炭素纖維의 품질의 특성은 Table 1 과 같다.

3-2. 形 態

炭素纖維의 형태는 糸(filament), 토우(tow), 織物(cloth), 스리브(sleeve), 不織布(felt), 紙, 切斷品(chopped fiber) 등이 있다. 高性能炭素纖維는 1,000~12,000本の 필라멘트(filament)와 스트랜드(strand), 혹은 이를 製織한 織物로 市販되고 있고 切斷品(chopped fiber)은 熱可塑性樹脂強化用으로 많이 使用된다. 織物은 一般的으로 平織・綾織構造로 되어 있으며 炭素纖維 자체를 交絡시키지 않고 유리섬유糸로 경사·위사를 固定한 것도 있으며 이러한 직물은 종래의 직물에 비해 30%정도 높은 인장강도를 나타낸다. 핏치系는 주로 스테이플(staple)로 生産되

고 있다.

4. 炭素纖維의 特性

炭素纖維는 앞서 Fig. 2의 構造 모델로부터 쉽게 상상할 수 있듯이 纖維軸方向과 그것의 直角方向의 機械的特性은 전혀 다르고 직각방향의 낮은 값을 나타낸다. Table 2에서 炭素纖維를 一方向으로 平行하게 한 後에폭시樹脂를 夾持경화한 試料의 纖維軸의 平行方向과 直角方向의 機械特性이 異方性을 나타냄을 확실히 알 수 있다.

力學特性에는 高強度 type이 $300\sim350\text{ kg f/mm}^2$ 의 引張強度와 $1.3\sim1.5\%$ 의 破斷伸度를 나타내고 항공기의 1次構造部材로서 CFRP를 使用하기 위해서는 2% 의 伸度を 갖는 炭素纖維가 필요하다. 最近 引張強度 $420\sim450\text{ kg f/mm}^2$ 破斷

伸度 $1.7\sim1.8\%$ 의 高伸度 type도 生産되고 있다.

高彈性 type에서는 PAN系가 彈性率 $35\sim40\times 10^3\text{ kg f/mm}^2$, 引張強度 $250\sim280\text{ kg f/mm}^2$ 程度의 것이 나오고 있고, 液晶 珪系에서는 彈性率 $1.7\sim70\times 10^3\text{ kg f/mm}^2$ 程度の 것이 生産되고 있어 PAN系보다 훨씬 높은 彈性率을 나타내며 이때 引張強度는 $210\sim240\text{ kg f/mm}^2$ 程度로 강도 면에서 다소 떨어진다. 液晶 珪系가 PAN系보다 彈性率이 높은것은 黑鉛結晶化性이 PAN系 炭素纖維보다 良好하기 때문이다. 실제로 同一 소성온도에서 비교하면 液晶 珪系가 密度(黑鉛結晶性의 尺度)도 높고 전기전도性에서도 특히 $2,000^\circ\text{C}$ 以上에서 燒成溫度가 높을수록 PAN系의 그것보다 높다. 炭素纖維는 PAN系 是

Table 1. 炭素纖維의 分類

炭素纖維의 分類 () 內는 其他 呼稱	原 料	機 械 特 性			用 途
		強 度 (GPa)	彈 性 率 (GPa)	伸 度 (%)	
低彈性率炭素纖維 (汎用炭素纖維)	레이온 및 等質珪치	0.8	40	2.0	主로 耐熱材料나 摺動材料
高彈性率高伸度炭素纖維 (高強度炭素纖維)	폴리아크릴로 니트릴(PAN)	2.5	200	1.0	主로 advanced composite(先進複合 材料)
		5.0	300	2.0	
高彈性率低伸度炭素纖維 (高彈性率炭素纖維)	液 晶 珪 系 및 PAN	2.0	350	0.4	主로 構造材料의 彈性 率補強 及 耐熱材料
		3.5	750	1.0	
活 性 炭 素 纖 維	PAN 레이온 페놀 樹脂	—	—	—	吸着材 及 電池用 電 極材料

Table 2. 炭素纖維複合材料의 異方性

特 性	單 位	Torayca T-300/Epoxy樹脂		Torayca M-40/Epoxy樹脂	
		纖維軸과 平行	直 角	平 行	直 角
引 張 強 度	kg/mm^2	180	6	150	5
引 張 彈 性 率	10^3 kg/mm^2	14.5	1.0	24.0	0.8
伸 度	%	1.2	0.6	0.5	0.6
熱 膨 張 率	$10^{-4}/^\circ\text{C}$	0.2	3.5	— 0.8	3.5
熱 傳 導 率	$\text{kcal/mhr}^\circ\text{C}$	3.6	0.6	4.7	1.1
體 積 固 有 抵 抗	$\Omega\cdot\text{m}$	4.0×10^{-8}	6.6×10^{-1}	2.0×10^{-8}	13×10^{-2}

Torayca T-300은 PAN系 高強度系임. Torayca M-40은 PAN系 高彈性率系임.

핏치 系는 間에 脆性材料이기 때문에 에폭시樹脂 等の 매트릭스(matrix)樹脂로 合쳐시켜야만 비로소 特性을 발휘한다.

mesophase pitch로 만든 탄소섬유는 PAN 系에 비해 高彈性率이고 이것은 PAN 系보다도 黑鉛構造가 發達하기 쉬워 섬유축방향으로의 선택적配向性이 커지기 때문이다. 最近 一次構造材中 항공기용의 高強度·高伸度 탄소섬유의 요구가 증대됨에 따라 토레이산(日) 等は 引張強度 700kgf/mm^2 의 超高強度 炭素纖維도 開發했다 한다. 이러한 高強度의 탄소섬유를 生産하기 위해서는 앞서 언급했듯이 可能的 限 不純物이 적은 高純度의 폴리머를 使用해야 하며 纖維表面精度(平滑性)를 높임과 동시에 結晶格子의 高密度化를 달성하는 技術이 必要하다.

5. 複合材料

炭素纖維는 그가 갖는 우수한 物理的性質 中에서도 특히 比強度·比彈性이 높은점을 活用하는 複合材(composite)로서 주로 開發되어 있다. 母材로서는 플라스틱, 고무, 금속, 세라믹(ceramic) 등이 있으나 實用上으로는 大部分 에폭시

樹脂를 위시한 熱硬化性樹脂를 母材로한 CFRP(carbon fiber reinforced plastics)이고 熱可塑性樹脂母材의 것인 CFRTP(carbon fiber reinforced thermoplastics)의 용도개발에도 예의 연구되고 있다. 이외에도 實用的으로는 炭素, 銅, 시멘트, 콘크리트를 母材로한 것도 있다. 다른 소재와 대비한 탄소섬유의 比強度 比彈性率은 Fig. 4에서 보는바와 같다.

5-1. CFRP 프리프레그(prepreg)加工

프리프레그란 炭素纖維에 에폭시樹脂 等の 매트릭스(matrix)樹脂를 含浸시킨 後 半硬化시켜 일정형태를 갖춘 成形加工 直前의 것을 말한다. 프리프레그는 一方向프리프레그(unidirectional prepreg)와 織物프리프레그가 있고, UD프리프레그는 스포츠레저용품으로 많이 使用하기 때문에 전체 탄소섬유 需要量의 40% 정도를 차지하고 있다. 織物프리프레그는 어느 정도 3次元曲面에 적응성이 있음과 동시에 積層作業時 섬유형태의 안정성을 유지하므로 주로 항공기에 사용된다. 항공기 구조재로 사용할 때는 충격강도가 약한 것이 문제점으로 대두되므로 탄소섬유 자체의 伸度改善도 중요하지만 에폭시樹脂의 伸度改善도 중요하다. 또한 온도나 습도가 다른 환경이 반복되는 조건이 주어지므로 荷重이 가해진 상태에서 이런 환경하에서도 劣化가 일어나지 않는 수지의 改善도 必要하다. 에폭시樹脂의 사용가능온도는 $150\sim 180^\circ\text{C}$ 정도이므로 그 以上の 耐熱性이 요구될 시는 폴리이미드(polyimide), 폴리아마이드이미드(polyamideimide) 等の 耐熱性樹脂가 연구되어 實用化가 進行되고 있다. 프리프레그는 섬유 함유율 60容量% 전후 $0.03\sim 0.35\text{mm}$ 의 두께를 갖는 것으로서 常温保管時 硬化가 進行되므로 低温으로 보관하고 사용직전에 끄집어내어 成形後 加熱硬化한다. 에폭시樹脂液은 종래 溶媒를 쓴 溶液이 使用되어 왔으나 殘存하는 溶媒가 成形時에 기포(void)를 發生시키고 溶媒回收도 必要하기 때문에 最近에는 加熱하여 粘度를 낮춘 樹脂液을 一定두께로 基板에 塗布한 後 여기에 탄소섬유의 실을 매물含浸시

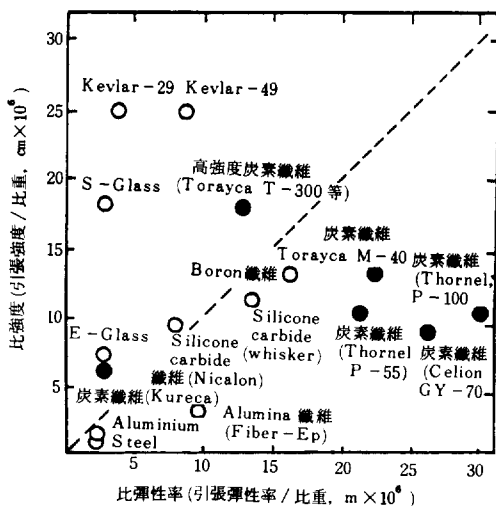


Fig. 4. 各纖維의 比強度 및 比彈性率

키는 핫멜트(hot melt)法이 쓰이고 있다.

5-2. CFRTP(carbon fiber reinforced thermoplastics)

CFRTP에서는 一般産業用으로 Nylon 66等에 切斷纖維(chopped fiber)를 混入한 펠렛(pellet)가 시판되고 있고 몰드(mold) 성형하는데 편리하다. 열가소성수지로는 이외에도 ABS, 폴리아세탈(polyacetal), 폴리카보네이트(polycarbonate) 등이 있다.

5-3. CFRC

炭素纖維強化 세라믹은 탄소를 母材로 한 것(C/C composite)과 시멘트, 콘크리트를 母材로 한 것이 있다. 炭素를 母材로 한 것은 탄소섬유의 2次元織物의 積層材 或은 3次元織物의 filament를 먼저 페놀(phenol)수지나 化學蒸着法(CVD)에 의해 탄소로 접합시킨후 섬유간 간격을 탄소로 충전시킨 것이다. 탄소의 충전에는 페놀수지나 핏치等으로 충전하여 燒成을 반복하는 方法이다. 耐熱性 耐충격성이 높고 마찰특성이 좋기 때문에 로켓트 노즐 스페이스샤틀(space shuttle)의 날개 가장자리나 항공기의 디스크브레이크(disk brake) 등에 使用되고 있다. 시멘트, 콘크리트를 母材로 한것은 5~30mm로 切斷한 것이나 그것보다 길이가 긴 핏치系 탄소섬유를 혼합한 것으로 시멘트의 알칼리에 의한 섬유의 劣化가 없고 薄板의 콘크리트材로서 지붕이나 고층건물의 벽면에 사용되고 있다.

5-4. CFRM

炭素纖維強化金屬(CFRM)은 銅, 鉛合金 等を 母材로 하는 摺動材로서 또한 CFRP보다도 耐熱性이 높은 複合材料로서 Al合金, Mg合金을 母材로한 것이 研究되고 있다. 또한 銅을 母材로한 CFRM은 熱膨張率과 熱傳導性을 利用해 半導體基板으로 利用하는 것을 研究하고 있다. Al合金이나 Mg合金을 溶浸法에 의해 탄소섬유로 강화할 경우 탄소섬유가 용융금속에 용화성이 나쁜반면 온도를 상승시켜 친화성을 높이면 金屬과의 반응이 進行되어 탄소섬유가 劣化하는 問題가 있다. 용융 Al 혹은 Mg 合金에 친화성을 높이기 위한 처리로서 $TiCl_4 + BCl_3$ 의 혼합

증기를 Zn증기로 환원하여 Ti-B 피막을 피복시키는 方法이 있다. 이 方法에 의해 Al合金含浸 wire가 製造市販되고 있다. 그러나 耐劣化反應性에 있어서는 改善이 必要하고 耐劣化反應性은 彈性率이 높은 液晶 핏치系 탄소섬유가 比較的 우수하다.

6. 成形加工法

炭素纖維는 앞서 말한 여러가지 형태로 提供되고 있으나 各形態에 따라 加工法도 각각 다르다. 성형가공법은 다음과 같은 方法이 一般的으로 알려져 있다.

6-1. 필라멘트 와인딩(filament winding)

수지를 함침시킨 탄소섬유系를 회전하는 맨드릴(mandrel)上에 감아 炉内에서 加熱硬化 後 離型함으로써 成形品을 얻을 수 있으며, 燃料탱크(tank) 로켓트의 모-터케이스 등이 이 方法으로 成形된다. FW法의 특징은 各種 成形法中에서도 섬유함유율을 높일 수 있기 때문에 감는 角度의 조정이나 조합에 따라 강도조정이 용이하다지만 생산성이 떨어지고 加工費가 높아지는 결점이 있다.

6-2. 引拔成形(pultrusion)

탄소섬유 필라멘트를 정리하여 수지를 함침시키고 目的하는 斷面形狀의 다이(dies)를 통해 수지함유량을 조정, 형태를 만든 後 다이内 혹은 다이에서 壓入 後 硬化시키면서 硬化物을 引拔한다. 여러가지 단면을 갖는 가는 파이프類의 成形에 使用되는 方法中의 하나이다.

6-3. 밴드레이업(band lay up) 成形

切斷纖維(chopped fiber)의 매트(mat)나 직물 등을 積層하여 수지함침工程을 반복하여 成形하고 常壓 내지 接觸壓程度の 압력으로 경화시킨다. 유리섬유(glass fiber)에 依한 FRP 제품에서는 오래전부터 사용한 方法이지만 量産하는 데는 多少 問題가 있다.

6-4. 오토클레이브(auto clave) 成形

항공기 부품 등의 高級精密部品の 製造에 많이 使用되는 方法으로서 프리프레그(prepreg)

시트(sheet)나 클로스(cloth)를 所定의 섬유배향 각도 및 치수로 절단해(pattern cut)소정의 두께로 積層하고 脱泡硬化시킨다. 이 作業은 오토클레이브 속에서 행한다.

6-5. 프레스(press)成形

各種 프리프레그(UD sheet, cloth, mat 등)나 短纖維를 수지와 혼합해 熟成시킨 시트(sheet)狀 콤파운드(compound: SMC) 혹은 벌크몰드 콤파운드(BMC)같은 소재를 金型에 넣어 핫프레스(hot press)로 加熱加壓成形하는 方法이다. 成形壓力는 7 kg/cm^2 前後인데 그 以上の 壓力를 加하고 프리프레그를 使用할 때는 積層하여 成形한다.

6-6. 시트 래핑(sheet lapping)

UD 프리프레그 시트나 織物프리프레그를 所定의 모양으로 切斷하고 若干의 테이퍼(taper)를 갖는 型材에 손이나 기계로 감고 그 위에 셀로판이나 폴리에스테르 테일로 一定 張力으로 감아 成形壓力를 걸어 硬化시킨 後 型이나 테일을 除去하면 파이프狀 成形物을 얻을 수 있다. 이 方法에 依해 골프샤프트나 낚싯대 등을 製造할 수 있다.

6-7.射出成形

炭素纖維-열가소성수지(CFRTP)의 사출성형은 복잡한 성형도 가능하며 치수精度도 높다. 이 方法은 量産化에 適合하나 纖維의 配向을 조절할 수가 없는 缺點이 있고 特性도 CFRP에 비하여 떨어진다. 이상 成形加工法을 언급했지만 대표적인 C/F 複合材料部品の 工程은 Fig. 5에 종합하였다.

7. 複合材料의 特性과 欠點

CFRP, CFRTP의 特性과 缺點은 아래와 같다. CFRP의 特性으로는 ①輕量, 高密度 高彈性이며 특히 比強度, 比彈性率이크다. ②耐疲勞性 및 耐크리프(creep)性이 우수하며 耐마찰·摩耗特性이 좋다. ③열팽창계수가 적고, 形態安定性이 良好하며 極低溫下에서 熱傳導率이 작

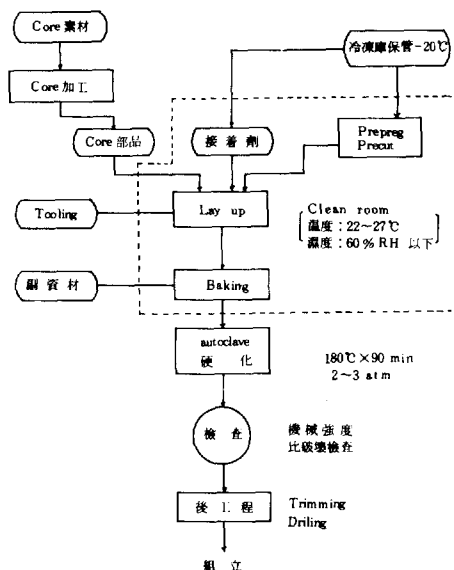


Fig. 5. 複合材料部品の 製造工程圖

다. ④金屬에 비해 振動減衰性이 좋고, 耐熱, 耐蝕性 및 耐藥品性이 良好하다. ⑤導電性이 있고 非磁性이며 X線透過性이 크고 電波遮蔽性이 있다는 등이며, 問題點으로는 ①破斷伸도가 작고 耐衝擊性이 낮으며, 纖維배열방향과 直각방향에서 물성이 다르다. ②電蝕性이 있고 高價格이며 加工法에 있어 難點이 많다는 點이다. 또한 CFRTP의 長點은 ①耐摩耗性이 우수하며 強度 彈性率이크다. ②熱팽창계수가 작고 形態安定性이 우수하며 熱變形溫度가 높다. ③熱傳導率이크고 導電性이 있으며, 永久靜電氣除去效果가 있다. ④電磁遮蔽性이 있으며, 크리프(creep)변형이 작고, 疲勞強度가 높다는 등이며 缺點으로는, ①材料價格이 비싸고 ②導電性이 있어 電氣絶緣用途에 不適合하며, ③衝擊強度가 若干낮다는 등이다.

8. 炭素纖維의 用途

炭素纖維는 가벼우면서 強度나 彈性率이크아 주로 金屬代替를 爲한 新素材로 使用되고 있는데 汎用 type은 대개 一般用으로 使用되며, 高

性能 type은 항공기를 비롯해 특수한 用途로 사용된다. 지금까지 알려진 炭素纖維의 特性에 따른 用途를 Table 3에 綜合하였다.

9. 炭素纖維의 需要動向

革新的인 新素材로 注目받고 있는 炭素纖維의

世界的需要는 1980年 前後를 기해, 항공기분야 등에 널리 使用되므로 급속히 伸張되었는데, 最近 4~5年間 PAN系 主體의 高性能 type은 伸張의 열세를 보여 年率17~19%의 伸張勢에 머물러 있다. 이는 최근 數年間 계속되고 있는 世界的인 航空不況으로 同分野의 需要 (주로美國)

Table 3. 炭素纖維의 用途와 要求되는 性能

物 性		剛	輕	高	高	耐	熱	耐	導	耐	X	振	非	耐	형	防
用途部門	用 途	性	量 (低密度)	彈 性率	強 度	熱 性	擴 散性	藥 品耐腐蝕	電 性	疲 勞性	線 透過性	動 감쇠성	磁 氣誘導性	마 모性	態 安定性	音 性
①航空宇宙	Space Shuttle, Rocket (Nozzle 頭部)	○	○	○	○	○		○		○						○
②sports 用 品	航空機, Helicopter 部品, 낚싯대, Tennis Racket, 卓球 Racket, 洋弓, golf shaft, 베드민턴 Racket. 自轉車, Boat, 요트, Ski, Ski用 Stock. Mast (선박용)	○	○	○	○		○			○		○	○			
③輸送機器	轉量自動車, Driveshaft, Brake Shoe, leaf spring, 漁船, 高速艇	○	○	○	○	○	○	○		○		○	○	○	○	○
④電氣機械	Robot 部品, Computer 部品, Audio 部品, TV - Antena, 樂器, 電極	○	○	○	○			○	○			○	○			○
⑤ 의료기기	X線카세트, X線 Bed, 義肢, 人工骨, 生化學分析用 rod, Wheel Chair	○	○	○	○		○			○	○					
⑥에 너 지	太陽發電, 燃料電池, 風力 發電用 風車	○	○	○	○				○							
⑦工業機械	탱크, 사일로, 파이프, 軸受, 纖維機械, 工作機械, 遠心分 離器, Timing Belt, Micrometer Bearing 帶電防止材料, Motor Brush	○	○	○	○		○	○	○					○	○	
⑧其 他	Camera, 장신구, 事務機部品	○	○	○	○									○		

가 현저하게 줄었기 때문인데, 골프-샤프트, 라켓, 낚싯대 등의 sports, leisure用途는豫想보다 크게伸張되고 있다. 한편 世界 炭素纖維 메이커 各社의 年間 總生産量은 5,700ton(83年度 現在)으로 추정되어, 需要가 生産을 따르지 못해 당분간은 供給過剩狀態가 계속될 것으로 展望된다. 1983年度の 地域別 需要內譯을 살펴보면 美國이 700ton, 유럽이 250ton, 日本이 500ton, 其他地域이 350ton 정도로 추정되며, 이 가운데 歐美는 航空機分野가 50% 정도를 차지하고 있고, 日本은 80%가 스포츠나 레저用이었으며, 其他地域中 90%가 대만이 차지하고 있는데 용도는 주로 라켓用이었다.

10. 炭素纖維의 今後課題와 將來動向

10-1. 炭素纖維의 品質向上

炭素纖維의 品質中에서도 特別히 強度, 彈性率 및 伸度の 向上과 安定化는 물론 表面處理 sizing 劑의 効果에 따른 콤포지트(composite)物性關係를 檢討改善할 需要가 있다. 또한 CFRM과 같이 200~300℃ 以上の 使用溫度에 견디는 것을 대상으로 할 때 탄소섬유 자체의 耐熱酸化性이 문제점으로 대두되기도 한다.

10-2. 매트릭스(matrix)樹脂

매트릭스樹脂는 에폭시樹脂가 主流인데, 用途가 多樣해짐에 따라 耐熱高伸度 耐濕熱特性, 難燃 및 低發煙性, 高速 또는 低速硬化 등이 要求되어 品質改善의 必要性이 요청되고 있다. 따라서 에폭시 以外의 樹脂開發도 現在 進行中에 있다.

10-3. 原料別 炭素纖維의 將來動向

1) PAN系

PAN系는 現在 高性能市場을 거의 獨占하고 있고 強度, 破斷伸度の 向上에 依해 航空不況이 호전되면 航空機用 一次 및 二次 구조재로서 用途가 擴大되어 需要는 다시 增大될 것으로 보인다. 價格對性能(cost-performance)의 均衡에 의하면 이방성 핏치系가 어디까지 PAN系를 따라잡을 수 있는가에 따라 PAN系의 伸張

은 영향을 받게 될 것이다.

PAN系의 수요창출을 爲해 어떻게하면 低價格의 탄소섬유를 開發하여 大量으로 自動車用途에 쓰여질 수 있는가는 것이 가장 큰 課題이다.

2) 等方性 핏치系(汎用 type)

高性能炭素纖維 市場에는 進出할 수 없으나 石棉, 유리섬유 代替市場 工業材料로서의 進出은 增大될 것으로 보인다. 自動車分野에서는 브레이크(brake)材로 기대되고 시멘트(cement) 補強度材로서 一部使用되고는 있지만 역시 價格이 問題이다.

3) 異方性(mesophase) 핏치系

強度 및 破斷伸度向上을 達成한다면 物性上으로 高彈性品을 얻을 수 있으므로 PAN系 탄소섬유를 잠식할 수 있다. 단지 品質이 均一한 原料 핏치를 얻을 수 있고 이를 적절히 사용할 수 있겠는가가 異方性 핏치系 탄소섬유 기술개발의 요체가 된다. 어느 것이나 마찬가지로 이 역시 原價를 낮춰 需要를 增大시키는 것이 당면 과제이다.

11. 結 論

現在 國內 數個社에서 炭素纖維 프리프레그의 開發을 서두르거나 이미 自體開發을 해 少量市販中에 있으며 곧 量産體制로 突入할 것으로 보인다. 炭素纖維가 主로 金屬代替 新素材로서 日本을 비롯한 歐美諸國에서 實用化되어 需要가 점차 擴大되고 있으나 高度의 技術集約的 産業임과 同時에 에너지多消費産業임을 勘案할 때 國際競爭力을 가질 수 있는 本格商業化는 多少 時間이 걸릴 것으로 豫想된다. 그러나 스포츠用品을 비롯한 最終製品의 生産은 最近에 原料인 프리프레그를 輸入加工하여 相當量 輸出되고 있으며, 特別히 이 産業은 勞動集約的인 業種이므로 國內의 現實情에 비추어 볼 때 앞으로 상당히 有望하리라 展望되며, 最近의 伸張勢는 多少 누그러진 감이 없지않으나 머지않아 量的 擴大가 活潑해질 것으로 期待된다.

參考 및 引用文獻

1. L. S. Singner, "Ultra - High Modulus Polymers," Applied Sci. Pub. Ltd., 1981.
2. Yujiro Yoshida and Shigeru Matsuda, *Petrotech.*, 第 6 卷 第 9 號 (1983).
3. (日)化纖月報 2 月號 (1983).
4. Ken-Ichi Morita, *Sen-I Gakkaishi*, **40** (4), 5 (1984).
5. European Plastics News, Jan., (1984).