고성능 필터용 활성탄소섬유

스마트섬유개발팀

1 일반현황

□ 서론

○ 21세기 환경에 대한 관심이 높아지면서 전 세계적으로 환경산업의 시장은 약 700억$ 규모가 될 것으로 예상되고 있다. 이러한 환경산업은 지속적인 정부의 지원을 받아온 미국, 독일과 일본에 의해 좌우되어 왔다. 산업화가 진행될수록 더 많은 나라에서 더욱 많은 수요가 발생할 것이며, 특히 환경산업의 대부분을 차지하는 것은 여과(Filteration)와 분리(Separation) 장치로써 상·하수도 분야, 화학분야, 전기·전자분야, 음식료분야, 유전공학, 제약, 광산업, 제지업 등에 광범위하게 적용되고 있다. 한편, 분리의 기본적인 공정은 여과이며 이러한 분리공정의 기본적인 장치는 필터(Filter)이다. 필터를 사용하여 분리하는 범위는 다음의 네 가지로 구분할 수 있다.

○ 이러한 분리의 범위는 기상용 필터와 액상용 필터로서 주로 처리하며, 원심분리와 같은 기계적인 방법을 채택하기도 한다.
필터의 재질은 섬유재료, 금속재료, 무기재료, 종이 등이 사용되고 있고, 그 중 가장 많이 사용되고 있는 필터소재는 섬유재료이다. 특히 활성탄소 섬유를 재질로 한 필터소재는 100% 수입에 의존하고 있는 실정이다. 활성탄소섬유를 사용한 필터는 기상용 또는 액상용 필터에 거의 필수적으로 들어가는 핵심부품으로써 부직포 등의 반제품 또는 필터 완제품 등의 형태로 주로 일본으로부터 수입되고 있다.
한편, 활성탄소섬유는 탄소섬유를 탄화, 활성화 처리하여 섬유표면에 미세다공을 형성시켜 제조하는 것으로 미세다공의 흡착에 의한 분리효과는 매우 탁월한 것으로 알려져 있다. 그러나 활성탄소섬유 자체의 제조기술이 어렵기 때문에 국내에서는 상업화된 예가 없었고 일본

등 선진국들이 원재료에 대한 기술이전을 회피함으로써 핵심·부품 소재의 국산화에 걸림돌이 되어왔다.

(2) 활성탄소섬유의 특징

○ 활성탄소섬유는 종래의 촉매담체, 가스정제, 용제회수, 식품제조시의 탈색, 정제 등의 용도에 오래전부터 사용되어오던 활성탄에 비하여 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

(1) 비표면적이 커짐에 따라 흡착용량이 커진다.
(2) 흡 탈착속도가 빠르다.
(3) 종류별 형상가공이 가능하다.
(4) 다른 기능성섬유와 복합하여 다기능화가 가능하다.
(5) 경량이며 취급이 용이하다.
(6) 재생 및 재이용이 가능하다.
(7) 탄진의 발생이 적고 환경오염이 적다.

○ 이와 같이 활성탄소섬유가 같은 열처리 조건을 통해서 제조하는 활성탄소와 다른 특성을 나타내는 가장 큰 이유는 형태와 pore의 구조에 기인한다. 섬유상의 활성탄소섬유와 분말상 활성탄소의 pore의 구조 모식도를 그림 1에 나타내었다.

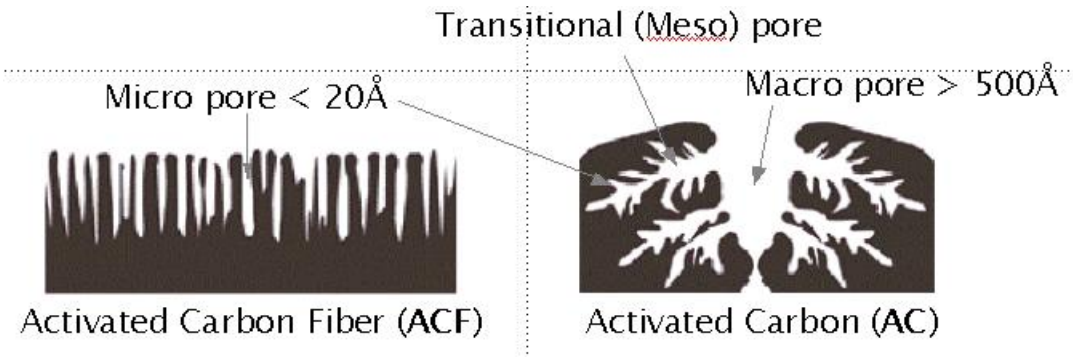

그림 1. 활성탄소섬유 및 활성탄소의 세공 구조

○ 20Å이하의 micropore가 균일하게 발달되어 있는 활성탄소섬유와 달리 활성탄소는 20Å이하의 micropore 뿐만아니라 흡착시 흡착제의 전달 역할을 하는 mesopore, 500Å이상의 macropore가 다양하게 발달되어 있다. 흡착현상을 직접적으로 좌우하며 영향을 미치는 것은 micropore이기 때문에 흡착질의 표면에 micropore가 균일하게 발달된 활성탄소섬유가 macropore, mesopore를 거쳐 micropore로 전달되는 활성탄소보다 흡 탈착 속도가 빠른 특성을 나타내는 것이고 물리흡착의 경우 micropore와 비슷한 크기의 흡착제만을 흡착하는 선택흡착이 가능한 것이다. 섬유상의 활성탄소섬유는 벌키성과 유연성을 가지고 있어 부직포, felt, paper 등의 다양한 형태로 제조가 가능하고 다른 기능성 섬유와 복합 부직포로 제조하여 다양한 기능의 활성탄소섬유 제품을 제조할 수 있다.

(3) 활성탄소섬유의 종류

○ 활성탄소섬유는 원료의 종류에 따라 표 1과 같이 분류할 수 있다. 생산비용이 낮아 의류용으로 대량생산이 되었던 레이온계 섬유를 원료로 사용한 레이온계 활성탄소섬유는 직포상 활성탄소섬유를 얻었고, 아크릴계 섬유는 고강도 탄소섬유로 주로 사용되었다. 불에 타지 않는 내염특성을 지닌 페놀계 섬유는 높은 비표면적을 가진 활성탄소섬유를 얻을 수 있고, 탄소함유량이 많아 탄소섬유용 프리커서로 주로 사용되는 피치계 섬유는 높은 수율의 탄소섬유 및 2000m2/g의 비표면적을 지닌 활성탄소섬유를 얻을 수 있다.

표1. 원료에 따른 활성탄소섬유의 개요

원료섬유	원료섬유의 특징	탄화공정 수율(%)	최고 비표면적 (m^2/g)	활성탄소섬유의 특징
레이온계 섬유	·의류용 ·대량생산 ·낮은 cost	약 30	~ 1,500	직포상 전개
아크릴계 섬유	·탄소섬유용	약 50	~ 1,000	고강도
페놀계 섬유	·내염섬유용 ·소량생산	약 60	~ 2,500	고비표면적
피치계 섬유	·탄소섬유용 ·소량생산	약 80	~ 2,000	고수율

종 류	레이온계	아크릴계	페놀계	피치계
섬유경 (㎛)	15 ~ 20	6 ~ 11	9 ~ 15	10 ~ 20
비표면적 (m^2/g)	1000 ~ 1500	700 ~ 1200	1000 ~ 2500	1000 ~ 2000
기공 직경 (Å)	10 ~ 40	20 ~ 30	8 ~ 35	10 ~ 40
요오드 흡착력 (mg/g)	1000 ~ 1500	1000 ~ 1400	1000 ~ 2400	1000 ~ 2000
가 격	싸다	싸다	비싸다	싸다 ~ 비싸다
공정성	우수	우수	보통	취약

(4) 활성탄소섬유의 제조방법

○ 활성탄소섬유를 제조하기 위해서 탄소함유량이 많은 프리커서를 이용하여 활성화를 해야된다. 이것은 burn-off가 증가하면서 비표면적이 증가하고 micropore의 비율이 증가하는 반면 섬유가 쉽게 부스러지기 때문에 적정한 burn-off를 선정해야 되는데 이때 탄소함유량이 많아 수율이 높은 재료는 burn-off를 조금 더 높게 해 주어 비표면적을 크게 해 주어도 섬유가 쉽게 부스러지지 않는 장점이 있다.

○ 프리커서를 선정함에 있어서 중요한 점은 탄소함유량 뿐만 아니라 미세결정구조도 중요하다. 광학적으로 등방성을 나타내는 탄소재료는 미세 결정구조를 가지고 있는데 판상적층구조의 결정 도메인들이 랜덤하게 배열되어 있고 결정도메인 사이에 비결정영역이 존재한다. 이와 같이 균일하게 분포되어 있는 비결정영역은 활성화공정을 거치는 동안 활성점으로 작용하여 용이하게 활성화가 되고 균일한 pore를 형성한다. 광학적으로 이방성을 지닌 탄소재료는 결정도메인들이 규칙적으로 배열되어 있는 미세결정구조를 가지고 있는데 활성화하는 동안에 결정도메인의 선단부분만이 활성점으로 작용하기 때문에 활성화가 잘 되지 않는다. 이와 같은 이방성 탄소재료는 고성능 탄소섬유나 고성능 흑연섬유의 원료로 사용된다.

○ 일반적인 탄소섬유, 활성화 섬유 및 흑연섬유의 제조공정을 그림 2에 나타내었다. 최적 물성을 가진 탄소섬유를 제조하기 위해서는 적정한 프리커서를 선택해야 하는데 활성탄소섬유를 제조하기 위해서는 광학적으로 등방성을 지닌 프리커서를 선택해야 한다. 피치계 탄소섬유의 경우 waste oil을 합성하여 프리커서를 얻는데 적정한 온도와 시간으로 열처리를 하게되면 원하는 광학적 등방성 결정구조를 가지는 탄소재료를 얻을 수 있고 활성탄소섬유 제조를 위한 프리커서로 사용한다. 얻어진 프리커서는 섬유화 공정을 거쳐 방사섬유를 얻고 연속적인 안정화공정과 탄화공정 및 활성화 공정을 통하여 활성탄소섬유를

얻는다. 안정화공정은 고온에서 열처리 되는 탄화공정 및 활성화 공정 중에 섬유의 형태안정성을 제공하기 위해 처리해 주는 공정으로 저온에서 느린 승온속도로 산화분위기에서 처리해준다. 안정화 섬유는 700℃ ~ 1500℃까지의 탄화와 활성화 가스 분위기에서 700℃ ~ 900℃ 의 온도범위에서 활성화을 연속적으로 처리 해 준다. 탄화공정을 거친 후 활성화를 해주게 되면 탄화공정동안 탄소이외의 구성물질이 배출되며 결정구조의 재배열이 발생하여 결정이 성장하게 되는데 이와 같이 성장된 결정은 활성화가 쉽게 되지 않기 때문에 활성화 시간과 온도가 증가하게 된다. 생산비용 차원에서 보면 많은 비용이 들어가기 때문에 최근에는 탄화 공정을 거치지 않고 짧은 시간과 낮은 온도의 활성화공정을 통하여 같은 비표면적과 burn-off의 활성화 섬유를 제조하여 생산비용을 낮춘다.

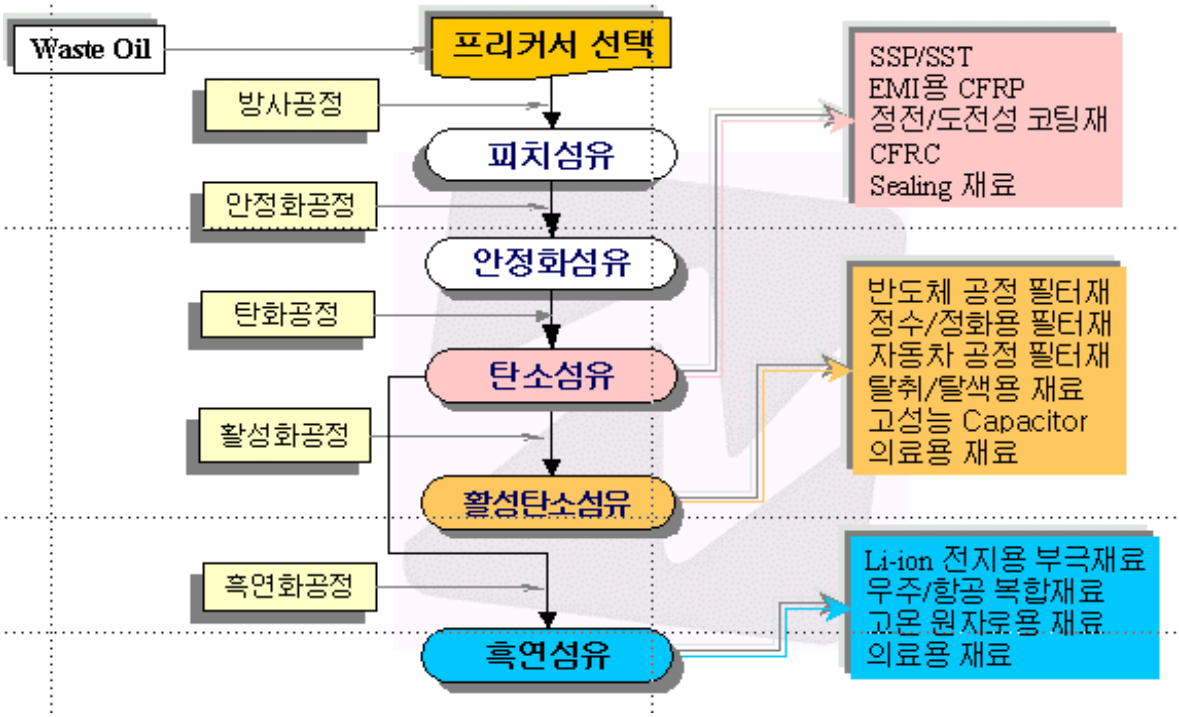

그림 2. 일반적인 탄소섬유 제조공정

원료에 따른 여러 종류의 활성탄소섬유의 제조방법과 특징을 간략하게 표 2에 나타내었다.

표 2. 활성탄소섬유의 제조방법

종 류	원료섬유 제조방법	특 징
레이온계	폴리노직 → 첨착 → 탄화 → 활성화	· 저강도 · 중성능 · 비표면적 : ~ 1,500 m^2/g
아크릴계	특수아크릴 → 내염화 → 건류 → 활성화	·낮은 비표면적 (~ 1,000 m^2/g) ·질소원자를 포함하고 있어서 유기황화합물 흡착에 유리
페놀계	Kynol 섬유 → 탄화·활성화	·고성능(비표면적 : ~ 2,500 m^2/g) ·고가
피치계	피치 섬유 → 안정화 → 건류 → 활성화	·가격이 저렴함 ·비표면적 : ~ 2,000 m^2/g

(5) 활성탄소섬유의 용도

○ 활성탄소섬유는 용이한 가공성과 적은 압력손실의 섬유특성, 빠른 흡·탈착속도와 큰 비표면적의 흡착특성, 우수한 화학저항성, 촉매성, 질소함유성 등의 화학적 특성, 우수한 열적성능과 뛰어난 전기전도성의 물리적 특성 등 다양한 특성을 가지고 있어서 다양한 용도로 사용할 수 있다. 활성탄소섬유의 용도를 표 3에 요약하였다. 활성탄소섬유는 기상용 filter 재료, 액상용 filter 재료, 전지 및 전극용 ACF 부극재료 등 다양한 용도전개가 가능하다. 액상용 filter 재료로 사용되는 활성탄소섬유는 독특한 촉매작용으로 인한 탈염소 효과로 정수부분에 사용되고, 활성탄소섬유와 paper를 복합하여 대기중의 수분을 흡착하

는 제습기로 사용될 수 있다. 기상용 filter 재료로는 유기 용제 회수 장치, 백금 등의 금속을 첨착하여 유독성 가스를 제거하는 방독마스크, 오존 분해제거용 활성탄소섬유 필터, 업무용·가정용·자동차용 공기정화기 등으로 용도 전개가 가능하다.

표 3. 활성탄소섬유의 용도

분 야	용 도
기상용 filter 재료	유기용제회수장치용 filter 방독마스크용, 담배연기 제거용 filter 특수용도 - NOx, SOx 제거용 filter 공기청정기 - 은첨착, 항균 및 공기정화용 filter
액상용 filter 재료	냉장고 내취 - 탈취용 filter 탈취 - 가정용 및 업무용 정수 filter 촉매 - 수중염소제거(가정용 및 업무용 정수 filter) 제습장치용 filter
전지 및 전극용 ACF 부극재료	소형 메모리 back-up 용 영구전원 등

(6) 활성탄소섬유의 시장

○ 현재 국내에 반제품 또는 완제품 상태로 가장 많이 수입되는 제품은 Donac사(大阪가스)의 AD'all인데, Pitch계 단섬유 형태로 되어있다. Rayon계나 PAN계는 수율이 낮으며, 이방성구조를 가지므로 비표면적과 미세다공 특성을 동시에 만족시키는데는 한계가 있어 활성탄소섬유로 전개하기에는 무리가 있다. 또한 Phenol계는 비결정영역이 많으므로 미세다공을 형성시키기는 유리하지만 원료비가 높아 경쟁력이 떨어진다. 반면에 Pitch계는 등방성 Pitch와 이방성 Pitch가 있는데 등방성 Pitch는 미세다공 발현도 양호하면서 저렴하게 생산할 수 있는 장점이 있다.

○ 세계적으로 활성탄소섬유를 생산하는 업체는 아래의 표 4와 같다.

표 4. 세계 활성탄소섬유 생산업체 현황

원 료	업 체 명	Capa. (Ton/년)	상 품 명	출시시기
Pitch 계	AD'all	300	AD'all	1987
	Anshan Pitch	50	Carboflex	1997
Phenol 계	Kynol	60	Kynol	1970
PAN 계	Toho Rayon	30	Finegard	1975
Rayon 계	Toyobo	20	K-filter	1970

○ 국내에서는 제철화학, 태광산업 등에서 구조재용 탄소섬유로 전개한 바 있지만 활성탄소섬유는 상업화시킨바 없으며, 1-2개의 벤쳐기업에서 가장 효과적이면서도 가장 경제적인 공정으로 예상되는 Melt-blown 직접방사 방식에 의한 기상용 및 액상용의 필터소재의 개발을 시도해 왔다.