

나노기술용 섬유제품(5)

- 환경기술용 섬유제품 -

산업발전으로 인해 날로 심각해지는 환경오염을 방지하고, 삶의 질을 높이고자 하는 요구와 더불어 친환경적인 기술이 크게 중요해지고 있다. 환경산업과 기술은 선진국을 중심으로하여 환경에 대한 규제가 강화되고 있기 때문에 선택이 아닌 필수적인 기술로 인식되고 있다.

이 중에서 대기오염의 주요 물질인 CO₂는 온실효과 기여도가 가장 클 뿐만 아니라 화석연료 사용에 따라 배출량 또한 증가하게 되고, CO₂ 배출량은 에너지 수요증가와 매우 밀접한 관계에 있다. 에너지 사용량의 증가에 따른 CO₂ 배출량 증가로 현재 미국, 일본, 그리고 유럽 선진국에서 실시하고 있는 CO₂ 배출규제에 대한 국제협약기준을 지켜야 하는 실정이다.

수질의 경우 UN에서 발표한 자료에 의하면, 국내는 2005년부터 물부족 국가로 분류되고 있는데, 이러한 이유는 사막 국가와 달리 연강수량은 높지만, 연중 강수량이 일정하지 않고 강수량이 우기에 집중되어 수자원의 저장이 미흡한 상태에 있다.

1. 여과용품 제조기술

국내 부직포산업의 경우 국제적인 시장추세를 반영하여 1990년대부터 생산 고도화에 따른 품질수준의 개선 및 생산량의 증가세를 이루었으나 일부 기업을 제외하고는 범용기술소재에 의한 제품생산이 대부분으로서 국내의 경우 부직포여재 HEPA 필터는 개발되지 않았으며 (주) 제텍스와 우다섬유에서 정전여재 필터를 생산하고 있으나 주로 공기정화용, 진공청소기용, 일반 공조용으로 개발하고 있다. 정전 부여한 부직포의 경우는 중성능 정전부직포가 산업화되어 있으며 주로 자동차용 캐빈필터로써 중성능 필터급이고 HEPA급 이상의 필터소재는 소재의 종류와 무관하게 전량 수입하여 필터 유닛을 제조하고 있다.

부직포의 주요시장중 하나는 액체와 기체의 사용되는 필터시장이며, 기체용 필터는 기체 중의 특별한 물질을 제거하는 용도로 사용되고 대개의 경우는 먼지와 같은 고체이지만 액적인 경우도 있다.

국내 여과지 시장은 1999년 427억원을 기록하였고 2000년에는 산업용 여과지, 공조용 여과지의 성장에 힘입어 470억원, 2001년에는 518억원으로 연평균 10.13%의 성장률을 기록한 바 있다.

1.1 기체정화용

기체용 필터는 청정도로 구분한 필터성능에 따라 전처리 필터(Prefilter), 중성능 필터, HEPA(High Efficiency Particulate Air) 필터, ULPA(Ultra Low Penetration Air) 필터 등으로 분류된다. 즉,

- 전처리필터(Prefilter)는 외기처리 혹은 중성능필터의 전처리용으로서
- 중성능 필터는 HEPA 필터의 전처리 필터로 사용되며 청정도 기준으로 10만 이상의 경우에 주로 사용된다.
- HEPA 필터는 클래스 100~10만 이상으로 클린룸의 최종 필터로 주로 사용되며,
- 이보다 고효율의 필터는 ULPA 필터가 있으나 청정클래스 유지목적으로서는 HEPA 필터의 사용이 급증하고 있는 추세이다.

기존의 HEPA 필터는 유리섬유를 여과재로 사용한 경우와 불소수지나 석영계 섬유를 여과재로 사용한 비유리계 필터 등이 있으며 대개의 경우 굵기가 0.3~0.5 길이가 2~3mm인 유리섬유를 수중에 분산시킨 다음 고운 망 위에서 탈수 건조 후 종이형태로 만들어 사용하였다.

필터매체는 산업분야에서 대기나 유체 중의 입자를 제거하는 용도로 널리 사용되고 있다. 보다 높은 효율의 필터를 요구하는 산업계의 요망에 따라 유체 중의 더 작은 입자를 제거할 수 있는 더 작은 섬유 크기를 갖는 섬유 매체에 대한 연

구가 크게 요구되고 있다. 필터에서 작은 입자를 여과하는 여과 효율을 높이는 한가지 방법은 필터 매체 중에 적절한 직경의 섬유를 사용하는 것으로, 나노섬유는 이러한 용도에 최적이다.

전기방사된 초미세 나노섬유는 기존 기술에 의한 초극세 섬유보다 훨씬 큰 표면적을 지니므로 가스나 액체 유체로부터 미세 입자를 분리하는 고효율 초기성능 필터 소재로 활용될 수 있다.

2001년 기준 기체정화용 필터의 응용분야 및 시장을 나타내면 아래 <표 1> 과 같다.

<표 1> 기체정화용 필터의 응용분야 및 시장

(단위 : 백만 USD)

Commercial Institutional Segment	1,000	26%
Automobile Cabin Filter	900	24%
Power Plant Gas Turbine Filter	600	16%
Semiconductor Air Filter	570	15%
Residential Air Filter	500	13%
Etc.	230	6%
Total	3,800	100%

1.2 액체정화용

액체정화와 관련하여 여과기술이 요구되는 분야는 크게 수 처리 분야, 정밀화학 분야, 에너지 분야, 식품 분야이다.

여과장치를 이용한 수 처리 기술은 이미 상용화와 실용화가 되고 있지만 보다 넓은 응용을 제한하는 요인은 분리막의 오염 및 높은 에너지 소비이다. 분리막 오염은 원수 및 오폐수 중에 존재하는 유기물, 무기물, 미생물/대사물질 등에 의해서 야기되며, 에너지 소비는 시스템의 운영에 필요한 고 유량 펌프에 기인한다.

여과기술을 이용한 정밀 화학분야의 폐수처리 및 분리 정제공정은 유효물질을

회수하여 재사용하는 것이 가능하다는 점이 가장 큰 장점이다. 이외에도 물리력을 이용한 분리에는 적용 가능성이 대단히 넓기 때문에 광범위한 산업분야에 적용될 수 있는 공정기술이다.

식품 분야에서 여과 기술은 한외여과법과 정밀 여과법이 주로 사용되며, 고분자량과 저분자량의 물질이 혼합된 액체에서 저분자 물질만을 통과시켜 분리·정제하는 공정이다. 이러한 공정의 장점은 식품 분야에서 증류로 인한 영양소의 파괴를 근본적으로 예방하는 것이 가능한 것으로서 선진 여러 나라를 중심으로 많은 연구 개발이 진행되고 있으며, 앞으로 적용 범위가 급격히 증가할 것으로 예상된다.

1.3 고성능 정화용

(1) 전자파 차폐용

각종의 전기 기기로부터 방출되는 전자파에 의한 장애가 보고된 예가 많다. 예를 들어 비행기에서는 전자파가 탑재하고 있는 컴퓨터에 영향을 주어 비행에 큰 어려움을 주며 미약한 전자파를 취급하는 기회가 많은 병원 등에서도 문제를 발생시키는 경우가 있다. 개인용 컴퓨터(PC) 모니터에서도 전자파가 방출되어 사용자의 눈에 장애를 줄 수 있다는 보고도 있다.

PC등의 보급이 증가함에 따라서 전자파 장애의 기회가 많아지고 있어 각국에서는 다양한 EMI 규제 방안을 만들고 있다. 이와 같은 배경에서 유기 섬유의 표면에 무전해질 도금을 하여 도전층을 형성시킨 전자파 차단재가 개발되고 있다.

모든 유기 섬유에 도금에 가능하고 아크릴 섬유도 도금하기 쉬운 것 중의 하나이지만 일반적으로는 폴리에스터 섬유가 많이 사용되고 있다. PVA나 아세테이트 섬유는 도금이 어려운 쪽에 속한다. 유기 섬유의 도금성을 판단하는 수단으로서 제타 전위(Zeta potential)를 측정하는 것을 생각할 수 있다. 폴리에스터섬유는 pH가 낮을 때의 양의전위를 보이지만 pH가 높아지면 역으로 높은 음의 전위를 보인다. 그러나, 도금성이 나쁜 아세테이트 섬유는 pH가 변화하여도 제타 전위가 그다지 변화하지 않고 값도 작다. 이것으로부터 도금성이 나쁜 섬유에도 어떤 전

처리에 의하여 pH가 높은 쪽에서 음의 제타 전위를 높이는 것이 가능하면 좋은 도금성을 부여하는 것 역시 가능한 것으로 여겨진다.

도금한 유기섬유는 금속섬유와 비교할 때, 감촉이 부드러운 점, 가벼운 점, 구성 섬유의 종류가 많은 점(굵기, 단면형태, 멀티필라멘트 등) 등의 장점을 갖고 있다. 단점으로는 유기섬유와 금속의 접착불량을 들 수 있다. 접착 불량을 개선하는 방법으로서 유기 실란과 같은 결합제(coupling agent)로 유기섬유를 전처리하는 방법이 있다.

섬유 표면에 미세한 요철을 형성하면 접착성이 향상되는 것도 일반적으로 알려져 있다. 폴리에스터 섬유의 알칼리 감량이 그 예이다. 또한, 결합제는 유기섬유의 도금으로 난연 가공이 어려워지는 것이다.

표면의 금속층은 타지 않지만 역으로 이것이 지지체가 되어 유기섬유의 용융적하를 방해함으로써 연소하는 경우가 있다. 이런 경우에는 난연성이 우수한 섬유를 기재로 선택하는 것이 좋다. 팔라듐 처리나 무전해 도금은 플라스틱류에 행하는 보통의 방법을 그대로 응용하며 된다.

전자파 차폐재 성능은 표면의 피막 두께에도 관계되지만 일반적으로는 사용하는 금속의 종류와 편직물의 밀도에 의해 거의 결정된다. 은(銀)은 동(銅)보다 훨씬 차폐성이 좋지만 니켈은 상당히 나쁘다. 실제로는 원가 측면에서 동과 니켈이 대부분이고 은은 거의 사용되고 있지 않다. 요구하는 전자파 차폐재 성능에 따라서 동과 니켈의 사용이 나누어진다. 다만, 동도금의 경우에는 플라스틱류에 비하여 섬유의 표면적이 크기 때문에 녹이 잘 생기므로 그 위에 니켈을 다시 입히거나 녹방지 처리를 할 필요가 있다.

동이나 니켈 도금한 폴리에스터 태피터(taffeta) 편직물의 경우에는 동박과 다른 점이 하나 있다. 동박은 주파수가 높을수록 차폐효과도 높아지는 것에 비하여 폴리에스터 태피터 편직물의 경우에는 주파수가 높을수록 역으로 전자파 차폐효과가 저하된다는 점이다. 이 원인은 태피터 편직물은 간격이 있기 때문에 파장과의 관계에서 통과하는 전파가 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 자계의 경우에는 이러한 경향을 볼 수 있다.

(2) 방사선 차폐용

많은 유기소재들이 원자력 분야에서 사용되고 있으며 그 중 섬유소재는 작업복의 기본소재로뿐만 아니라 원자력공정에서도 사용되고 있다. 예컨대, 반응기의 냉각수를 정화하기 위한 시스템에 중공사가 사용되고 있으며 <표 2> 섬유를 포함하는 복합재료는 구조재로 사용되기도 한다. 이들은 방사선에 노출되었을 때 스스로 방사성 물질이 되지 않기 때문에 금속에 비하여 이점이 있다.

<표 2> 원자력 발전설비에 사용되는 섬유소재 및 내방사성

설비	용도	내방사성(MGy ²)	비고
경수로	패킹 밸브 필터	2~0.1	공기중
고속중수로	단열재	300	질소중
핵융합로	단열재	50	저 온
핵연료 재처리	필터, 단열재	~0.1	공기중
	작업복	-10~0.1	
방사선조사	조사용기	~10	공기중

그러나, 방사성 환경에서 내구성이나 역학적 강도를 상실할 가능성이 있다. 현재 유리섬유나 탄소섬유 강화 플라스틱 등의 복합재료가 시험되고 있는데, 일반적인 용도에서는 충분한 강도와 내구성을 유지하지만 이온화시키는 방사성 환경에서 장시간 사용될 때의 성능은 아직 밝혀지지 않고 있다. 원자력 발전소의 경우 최대 내구연한은 약 40년이고, 매년 정기적으로 보수 유지된다는 점을 감안해도 적어도 1년간은 성능이 보장되어야 하며 내구연한도 6~7년은 되어야 한다. 비닐론이나 PE 중공사를 사용한 냉각수용 필터에 대한 내방사선 안전성을 시험한 결과는 운전조건, 특히 온도조건에 의해 크게 좌우되는 경향을 보이는데 이는 온도 조건이 이온화시키는 방사성 환경과 조합되면 훨씬 더 파괴적이기 때문이다.

섬유소재는 방사선 조사에 의하여 화학적, 물리적으로 변질되기 때문에 1950~60년대에 이와 관련된 연구가 집중적으로 수행되었다. 최근에는 방사선으로 처리된 유기 섬유고분자 소재를 탄화시킨 세라믹 섬유를 제조하기 위한 새로운 기술이 개발되었다. 방사선을 조사하면 고분자 사슬간에 가교가 도입되므로 이후에 산화없이 탄화처리하면 세라믹 섬유를 제조하기 위한 새로운 기술이 개발되었다. 방사선을 조사하면 고분자 사슬간에 가교가 도입되므로 이후에 산화없이 탄화처리하면 세라믹 섬유가 된다. 예를 들면, 통상적으로 산화 및 탄화 처리한 폴리카보실란은 산소가 잔존하는 실리콘카바이드 섬유가 되어 1,300℃ 이하에서 분해된다. 그러나 가교화 이후 산소가 없는 조건에서 방사선을 조사하면 실리콘카바이드 섬유의 열안정성이 200℃ 정도 향상되어 1,400℃ 이상에서 분해된다. 이와 유사한 기술로 암모니아 기류 중에서 방사선을 조사한 폴리카보실란 섬유를 탄화하여 실리콘 나이트라이드 섬유를 제조할 수 있다. 이들 실리콘카바이드나 실리콘 나이트라이드 섬유는 알루미늄이나 철과 혼합되어 내열성의 유사금속 소재로 만들어 진다.

실리콘카바이드는 반도체이고 실리콘 나이트라이드는 부도체이기 때문에 이들의 복합소재는 독특한 특성을 가지며, 이론적으로는 1,600~1700℃ 까지도 안정한 새로운 실리콘 카바이드 복합소재를 만들 수 있다. 한편, 방사선 조사기법으로 PAN 이나 피치로부터 탄소섬유를 제조할 수도 있다. 통상적으로 PAN이나 피치 섬유는 탄화 이전에 열처리를 통하여 불용성의 가교섬유를 만들기 위하여 산화처리 되는데, 그 결과 예비 탄화처리된 상태에서 10~15%의 산소를 함유하게 되며, 고분자가 분해될 때 이산화탄소로 전환되면서 탄소섬유의 수율이 저하된다. 더욱이 열 산화는 제어하기 곤란한 복잡한 공정이다. 그러나 방사선 조사에 의한 개질은 상온에서도 쉽게 적용될 수 있으며 그 공정도 복잡하지 않다.

현재 ^{60}Co 로부터 나오는 γ -선과 전자가속기로부터 나오는 고속전자빔, 2종류의 방사선원이 사용되는데, 전자가속기는 TV 회로에 쓰이는 가는 전선의 코팅 물질을 가교처리하여 가열시킬 때 녹지 않도록 하는 등의 전선 및 케이블 산업에 널리 사용되고 있다. 방사선 조사기술은 페인트 산업에서 접착력과 내구성을 부착

시킬 때 이용되기도 한다.