

# 환경기능성 첨단 신소재 활성탄소섬유

박 종 래 · 강 석 주 · 윤 창 훈

## 1. 서 론

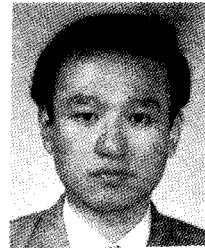
### 1.1 21세기와 환경 그리고 그린라운드

새로운 세기의 전개를 눈앞에 두고 있는 지금, 세계 각국은 다가오는 미래가 환경과 에너지의 시대가 될 것임을 공통적으로 인식하고 변화된 상황에서도 지속적인 국가 발전을 도모할 수 있는 그린정책 및 그린경영전략 마련에 부심하고 있다. 최근에 Green, Bio, 혹은 ECO 등과 같은 소위 환경 및 생명사상을 표현하는 용어들이 부쩍 자주 사용되고 있는 것은 삶의 질 혹은 환경의 질 확보 문제가 전 지구적인 관심사로 등장하고 있음을 반증하는 현상이라고 할 수 있다. 더욱이 1992년 리우환경회의에서 '환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development, ESSD)'의 개념이 채택된 이후 ESSD는 각국의 발전전략을 관통하는 이념적 지주로 권고되고 있다.<sup>1</sup> 또한 선진 각국은 이 개념을 통상질서와 연계하는 것을 골자로 한, 소위 그린라운드 (GR)를 향후 국제 관계의 새로운 패러다임으로 설정함으로써, 21세기는 산업기술의 발전과 환경문제 해

결이라는 얼핏 상충되는 듯이 보이는 두 가지를 통합적으로 풀어 가야 할 숙제를 우리에게 던지고 있다.<sup>2,3</sup> 이러한 가운데 우리 정부가 1995년 말 "환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률"을 제정하여 1996년 7월 1일부터 서둘러 시행토록 한 것은 GR에 대비하여 우리의 산업구조도 환경친화적으로 변화해야 한다는 당위성을 제고시킨 아주 중요한 계기가 되었다.

### 1.2 환경기능성 소재와 활성탄소섬유

ESSD개념의 궁극적인 추구 목표는 인간과 자연이 어



강석주

1978 서울대학교 졸업(학사)  
1983 서울대학교 대학원 졸업(석사)  
1983~ 동양나이론 중앙연구소 과장  
1990 KAITECH 수석연구원겸 섬유  
현재 재료공정그룹 그룹장  
1996 서울대학교 대학원 졸업(박사)



박종래

1981 서울대학교 졸업(학사)  
1983 서울대학교 대학원 졸업(석사)  
1983~ 한국과학기술연구원(연구원)  
1987 Leeds Univ.(U.K.) 졸업  
(박사)  
1990~ Post Doc.(Leeds Univ.)  
1992 성균관대학교 섬유공학과  
현재 부교수



윤창훈

1996 성균관대학교 졸업(학사)  
현재 석사과정 1년차

### Activated Carbon Fibers as a Pioneering Problem Solver of Environmental Problems

성균관대학교 섬유공학과(Park Chong Rae and Yoon Chang Hoon, Textile Physics Laboratory, Department of Textile Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon 440-746, Korea)

생산기술연구원 섬유기술센터(Kang Seog Joo, Textile Technology Center, Korea Academy of Industrial Technology(KAITECH), Suwon 440-746, Korea)

우려져 사는 쾌적한 환경 창조이며 이는 크게 보아 두 가지의 측면, 즉 환경 오염원의 원천적인 제거 혹은 억제와 오염된 환경의 정화 및 복원 등을 통하여 실현될 수 있을 것이다. 일반적으로 청정기술 및 환경기능성 소재(이하 그린소재라 칭함)라고 불려지는 것들은 앞서 언급한 두 가지 목적을 효과적으로 달성하기 위하여 동원되는 기술 및 소재를 포괄적으로 지칭하는 것이다.

그린소재를 조금 더 세부적으로 살펴보면 다음의 두 가지 범주로 구분할 수가 있다. 첫째, 사용 후 폐기되었을 때 환경의 신진대사 사이클에 따라 분해되어 없어짐으로써 결과적으로 환경오염원으로 작용하지 않도록 고안된 환경친화성 소재, 일명 환경분해성 소재이다. 이 범주에 드는 그린소재는 햇빛의 작용 혹은 흙속에 서식하는 미생물의 작용에 의해서 분해되도록 설계되어 있으며, 외국의 경우는 삼부병 등의 포장용기, 농업용 비닐 등의 분야에서 이미 상업화에 성공하고 있기도 하다. 두번째 범주에 드는 것은 환경문제 해결의 현장에 직접 투입되어 환경오염원을 감소시키고 오염된 환경을 정화하는 기능을 가지는 소재들로서 자동차 혹은 각종 공장 배기가스의 정화와 폐수 및 음료수의 정수작용을 하는 필터류가 대표적이다.

이 글의 주제가 되는 활성탄소섬유(ACF: Activated Carbon Fiber)는 위에서 언급한 분류에 따르자면 두번째 범주에 속하는 그린소재이다. 활성탄소섬유의 물리화학적 구조의 특성은 흑연과 매우 유사하고 환경기능성은 제오라이트와 거의 비슷하기 때문에 사용 환경의 열악성 여부에 상관없이 광범위하게 사용할 수 있다. 또한 뛰어난 흡진 및 유독가스 흡착능력의 장점을 가지고 있는 첨단 환경신소재이기 때문에 환경문제 해결사로 기능하는 소재 중에서는 가장 으뜸가는 것이라고 할 수 있을 것이다.

활성탄소섬유의 개념은 원래 고성능 복합재료의 강화소재로 널리 사용되던 탄소섬유에 흡착소재로 오래 전부터 사용되어 온 활성탄소의 개념이 조합된 것이다. 활성탄소는 분말상 혹은 입상으로 미세공이 비교적 잘 발달되어 있고 표면적이 커서 양호한 흡착능을 발현하므로 양조시 술의 탈색, 제당시 당액의 탈색, 촉매의 담체, 용제 회수, 탈취 등의 용도에 주로 사용되고 있다. 그러나 분말상 또는 입상의 활성탄소는 흡착설비의 대형화, 장치운전시의 편류(channeling)현상과 압력 손실이 큰 단점이 있다. 또한 활성탄소의 내부로 갈수록 세공이 작아져 이 미세공까지 도달하는데 긴 시간이 걸리기 때문에 흡착속도가 느리고, 세공크기의 분포가 광범위해서 미량물질의 흡착분리나 다성분 혼합물의 선택적 흡착에 한계를 보이고 있다. 활성탄소섬유는 이와 같은 활성탄소의 단점을 보완하기 위하여 개발된 새로운 흡착소재이다.

활성탄소섬유는 적절한 산화성 황성기체와 탄소섬유를 반응시켜 제조된다. 이때의 반응 결과 섬유의 표면 및 내

부에 도입된 미세공들이 10Å 미만의 비교적 균일한 세공으로 이루어져 있기 때문에 흡착이 신속하고 비표면적 또한 입상 활성탄보다 월등히 커서 매우 우수한 흡착능력을 발휘하게 된다. 뿐만 아니라 섬유형태를 보유하고 있어 가벼우면서도 투과저항이 적기 때문에 직포, 부직포, 시트 등의 형태로 수용액내 오염 물질이나 NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> 등 기상 오염 물질, 악취 등의 흡착제거에 널리 쓰일 수 있고, 금속 침착(添着)을 통하여 고성능 촉매 담체로 쓰일 수 있으므로 그 응용 범위가 급속도로 확대되고 있는 첨단 그린소재이기도 하다.<sup>4~6</sup>

이 글에서는, 환경문제가 초미의 관심사가 될 21세기에는 환경기능성 소재, 즉 그린소재의 개발 필요성이 어느 때보다도 절실히 요청될 것임을 인식하고, 이상에서 언급한 바와 같은 여러 가지 장점과 우수한 환경정화 성능을 발휘하는 활성탄소섬유의 전반에 관하여 개괄적으로 소개하고자 한다. 아울러서 현재 시판중인 활성탄소섬유 제품의 특성과 용도도 간략히 언급한다.

## 2. 활성탄소섬유

### 2.1 활성탄소섬유의 개발사

활성탄소는 1962년 미국의 Abbott에<sup>7</sup> 의해 처음으로 특허화된 후 이어서 1972년에 영국에서도 특허화되었다. 활성탄소섬유가 본격적으로 세상에 알려지기 시작한 것은 1976년 이후이며 제품으로서 생산되기 시작한 것은 최근의 일이다(표 1참조).

세계 최초로 활성탄소섬유를 상품화한 것은 일본의 Toyobo사이며 시장에서의 상품전개 역시 선발주자의 위치를 고수하고 있는 Toyobo사가 상품의 다양화를 포함하여 가장 넓게 진행하고 있으며 생산량도 가장 많은 것으로 추정된다. 활성탄소섬유가 시장에 나온 것은 20년 전으로 분말탄, 입상탄에 비해 생산량이 적어 그 성능이 대단히 우수함에도 불구하고 가격면에서 입상탄에 비해 약 20배에 가까운 차이가 있었다. 때문에 활성탄소섬유의 특징적 요소를 절대적으로 필요로 하는 등 특별한 이윤이 없는 한 보편적인 사용이 어려울 것으로 여겨졌다. 그러나 환경문제가 최우선적 관심사로 등장한 최근에는 그 사용량이 급속도로 팽창하고 있을 뿐만 아니라, 활성탄소섬유의 흡탈착속도가 빠르기 때문에 정화장치에 사용하는 탄량이 입상탄에 비해 수십 분의 일 정도에 불과해서 연속적인 재생을 요구하는 분야에서는 입상탄 사용 장치로부터 활성탄소섬유를 사용하는 장치로 점차 변換되고 있는 추세이다.

### 2.2 활성탄소섬유의 제조

활성탄소섬유는 앞에서도 언급했듯이 탄소섬유에 활성탄소의 개념을 접목시킨 것이므로 원료 및 제조과정이,

표 1. 활성탄소섬유의 개발 역사<sup>8</sup>

년도	탄소섬유 및 활성탄소섬유 개발내용
1959	레이온계 탄소섬유 공업화(UCC, etc.)
1962	Shindo(MITI)가 폴리아크릴(PAN)이 탄소섬유의 전구체가 될 수 있음을 발견
1966	레이온계(Doying, UCC and Peters, MM&M) 및 아세테이트계(Rodgers) 활성탄소 직물 개발
1967	Johnson이 PAN계 탄소섬유의 안정화 공정을 개선
1968	Economy(Carborandum Co.)가 phenolic resin fiber를 개발
1972	Arons & Mcnair가 phenolic 전구체로부터 활성탄소섬유 및 직물 제조
1975	Toyobo Co., Ltd.에서 레이온계 활성탄소섬유 테이프 제조
1976	Toho Beslon(currently, Toho Rayon) Co., Ltd.에서 PAN계 활성탄소섬유 제조
1976	Phenolic resin 활성탄소섬유 제조(Nippon Kynol Inc.)
1977	Honeycomb형 용제회수장치 제작(Toyobo Co., Ltd.)
1980	Kuraray Chemical이 Kynol로부터 활성탄소섬유 제조 시작
1983	Nippon Carbon Co., Ltd.가 레이온계 활성탄소섬유 제조 시작
1988	Coal-tar pitch계 활성탄소섬유(Osaka Gas Co., Ltd.)

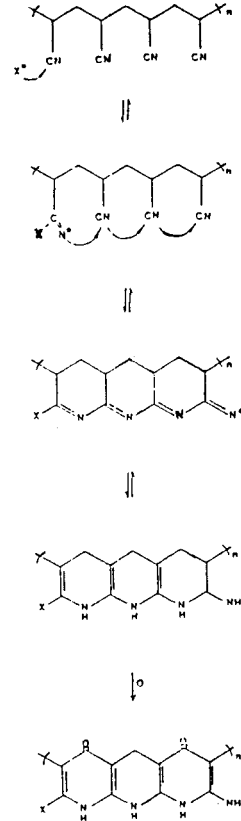


그림 1. PAN섬유의 고리화 반응.

최종단계인 활성화공정을 제외하면, 탄소섬유의 그것과 아주 유사하다.

### 2.2.1 원료

활성탄소섬유용 원료는 제조과정에서 손실되는 양이 최소이면서도 제조 후 뛰어난 흡착성능을 가지는 그런 것이어야 한다. 활성탄소섬유는 뒤에 설명하게 될 안정화 및 탄화공정을 거쳐 제조되는데 이들 공정에서 원료의 상당 부분이 일산화탄소나 이산화탄소의 형태로 휘발됨으로써 많은 질량감소가 불가피하게 된다. 이때의 질량감소를 최소화하는 것은 경제적인 측면에서 매우 중요한 의미를 지니며 이러한 점을 고려했을 때 상업적으로 의미가 있다고 인정되고 있는 원료로는 레이온, 폴리아크릴(PAN), 페놀계 고분자, 핏치 등이 있다. 이 중에서도 레이온 섬유는 탄화시 탄소의 손실이 많기 때문에 다른 전구체와 비교하여 비경제적이고 성능이 떨어지며, PAN 섬유는 레이온을 전구체로 하는 것보다 2배 이상의 수율을 얻을 수 있어 다소 비싸더라도 대부분 PAN을 전구체로 사용하고 있다. 페놀계 고분자 및 핏치계 원료는 상대적으로 매우 싸고 탄소수율도 비교적 높은 편이어서 경제적인 원료로 관심의 대상이 되고는 있으나 아직까지는 그 비율이 높지 않은 편이다. 이후에 기술하는 제조공정의 내용은 PAN이 원료로 사용되었을 경우를 전제로 한 것이다.

### 2.2.2 안정화(Oxidation)

탄소섬유와 활성탄소섬유는 제조시 고온처리 조건에서 섬유의 본래 형태를 유지하고 섬유의 강도를 증가시키기 위해서 안정화과정, 즉 불용화 처리를 한다. 이 과정에서 일어나는 PAN의 구조 변화를 살펴보면 그림 1과 같다.

고리화, 탈수소화 및 산화반응이 동시에 진행되어 불용성 구조인 사다리(ladder) 구조로 바뀌게 된다.<sup>9</sup> 이 과정은 산화성 분위기 중에서 200~300 °C의 온도범위에서 진행된다.

### 2.2.3 탄화(Carbonization)

탄화는 안정화공정을 거친 불용성 섬유를 불활성 분위기에서 300~1000 °C의 온도로 처리해 줌으로써 사다리 모양의 구조에 잔류하고 있던 수소 및 질소를 완전히 축출하여 방향족의 구조가 도입되도록 해주는 공정이다. 즉, 그림 1의 구조가 그림 2와 같은 반응과정을 거쳐 PAN의 구조에 있는 성분 중 비탄소물질들과 일부의 탄소가 열분해되어 기체상태(H<sub>2</sub>O, HCN, NH<sub>3</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> 등)로 방출된다. 탄소섬유 제조의 경우 승온은 1~5 °C/min 정도의 낮은 속도로 하는데 이것은 분해 물질의 급격한 방출로 인한 구조 손상을 예방하기 위한 조치이다. 휘발성 물질은 1,000 °C 이하에서 거의 방출되고 대부분 탄소만 남게 되며 이때에 이미 표면적 및 세공 구조가 구체적으로 나타나기 시작한다.<sup>10</sup>

### 2.2.4 활성화(Activation)

활성탄소섬유의 표면적은 주로 내부표면적, 즉 미세공

(micropore)에 의한 것이다. 이 미세공은 활성화과정에서 탄소와 활성화 매질, 즉 산화성 약품 및 산화성 분위기 기체간의 화학반응을 통하여 보다 구체적으로 도입되

기 시작한다. 탄소와 산화성 활성화 기체간의 가스화 반응은 아직까지도 구체적으로 정립되어 있지 않다. 다만 활성화 기체로 수증기를 사용하는 경우는 다음과 같은 수증기-탄소계 가스 반응으로 나타낼 수 있다.

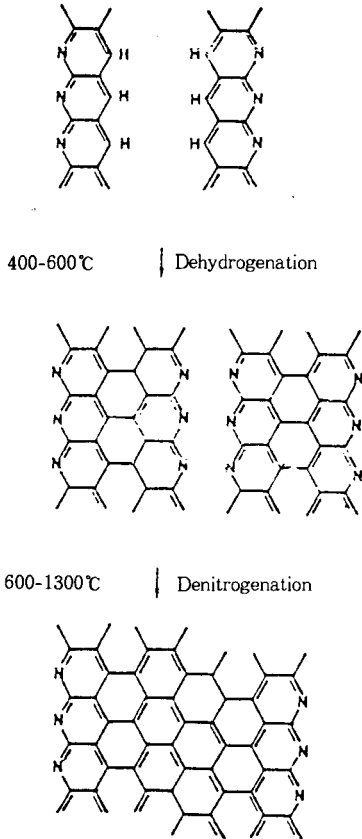
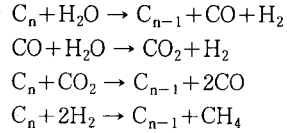


그림 2. PAN섬유의 탄화 과정.

탄화과정을 거친 탄소섬유를 산화성 기체로 활성화시키면 탄소섬유 결정의 가장 안정하지 못한 위치에 있는 탄소가 일산화탄소로 바뀌어 방출됨과 동시에 인접한 탄소에서도 산화되어 이산화탄소로 방출되거나 탄소섬유의 표면에서 카르복실기(-COOH), 카르보닐기(=C=O)와 같은 관능성 화합물을 형성한다(그림 3참조). 이 모든 경우에 한개의 active site가 제거되면 다른 active site를 형성하거나(그림 3에서 활성화 전의 active site인 No.4는 활성화 후인 No.5에 해당) 또는 두개의 active site(그림 3에서 활성화 전의 No.15가 제거되고 활성화 후에 No.17과 18이 생성)가 생성된다. 따라서 위와 같은 반응기구를 통하여 탄소가 제거된 자리에 곧 세공이 형성되어 활성화 반응이 진행됨에 따라 세공의 수 및 용적과 비표면적이 증가하게 된다.

일반적으로 고체의 세공은 IUPAC(International Union Pure and Applied Chemistry)정의에 의해서 표 2와 같이 분류된다.<sup>11</sup>

### 2.3 활성탄소섬유의 특성

활성탄소섬유의 특성은 원료의 구조적 균일성, 활성화 조건, 즉 활성화 온도, 활성화 시간, 산화성가스와 탄소의 선택적인 가스화 반응 정도 등에 따라 많은 영향을 받

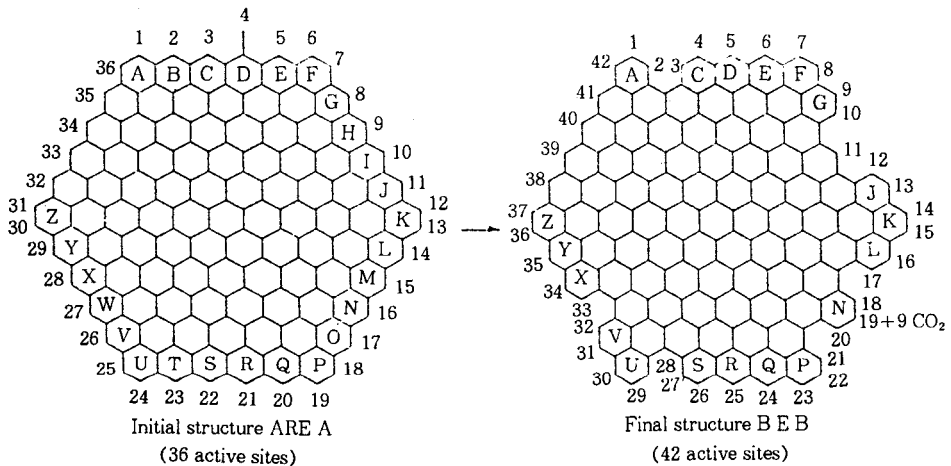


그림 3. 활성화 과정시 탄소표면의 구조변화.

기 때문에 한마디로 특징지워지지 않는다. 다만 사용 용도에 맞게 특성이 조절되었다고 했을 경우 일반적으로 입상이나 분말상의 활성탄에 비해 많은 장점을 가지고 있는 것은 사실이다. 한 예를 들자면, 활성탄이든 활성탄소 섬유이든 간에 정수처리에 투입되는 경우 아직까지는 제품의 가격이 높기 때문에 몇번의 재생을 통하여 반복해서 사용하고 있는 실정이다. 이때 재생의 용이성 및 재생효

율은 재생비용과 직결되는 것인데, 활성탄소섬유의 경우는 전류 또는 수증기로 재활성화하면 초기의 흡착능과 비슷한 흡착능(80~100%)을 얻을 수 있어 재생효율이 뛰어나고 재생비용이 거의 들지 않아 경제적이다.

표 3은 활성탄소섬유와 입상탄의 특성을 비교한 것이다. 활성탄소섬유는 흡착재로서의 중요한 물성인 비표면적이 1450~1550 m<sup>2</sup>/g으로 상당히 높은 값을 보이고 세공반경 또한 5~14 Å범위로서 흡착에 유효한 micropore가 비교적 균일한 분포를 보이면서 표면에 존재하게 된다. 이때 섬유 사이의 공간은 macropore 역할을 하기 때문에 표면상의 미세공과 더불어 기상 또는 액상의 불순물을 제거하는데 효과적인 역할을 한다. 또한 섬유의 직경이 아주 작기 때문에 흡착재 외부 및 내부의

표 2. 세공의 크기에 따른 분류

Pore	Width
Micropores	Less than 20Å (2nm)
Mesopores	Between 20 and 500Å (2 and 50nm)
Macropores	More than 500Å (50nm)

표 3. 활성탄소섬유와 입상활성탄과의 비교

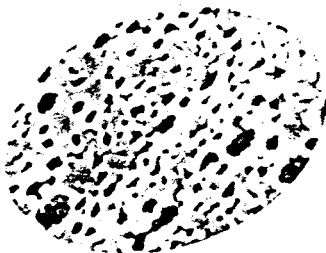
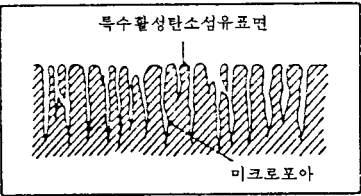

구분	활 성 탄 소 섬 유	입 상 활 성 탄
비표면적	1450~1550m <sup>2</sup> /g	1000m <sup>2</sup> /g
세공용적	0.3~0.7m <sup>3</sup> /g	0.001m <sup>3</sup> /g
흡착율	45~50% (벤젠)	30~35% (벤젠)
세공반경	~14Å	50Å~
흡착속도	입상활성탄보다 10배 빠름	
재 생	100℃온풍이나 스팀으로 가열하면 재생됨	특수장비가 필요 (고압증기(400℃)재생로)
세공구조	전부 Micropore로 구성	크게 Macropore, Transitional pore, Micropore 3종류로 대별
	 <p>특수활성탄소섬유표면</p>  <p>특수활성탄소섬유표면</p> <p>미크로포아</p>	 <p>입상활성탄</p> <p>미크로포아</p> <p>마크로포아</p>
흡착	저비점가스로부터 고비점가스까지 흡착율이 높다. 아민냄새제거율 96% 메르캅탄냄새제거율 100%	인체나 주방에서 발생하는 가스상 물질, 담배 연기 등의 흡착율이 낮다. 아민냄새제거율 13% 메르캅탄냄새제거율 95%
운전시 문제점	섬유상이기 때문에 충전밀도나 분진발생이 없어 재오염, 마모등이 없음	운전중 진동 등에 의해 상하 활성탄 충전 밀도가 다르게되거나 파쇄 등에 의해 분진이 비산되어 재오염등 문제가 생김.
가 격	입상활성탄과비교, 중량당 가격은 비싸나 동일 규격 성능의 필터를 가공시 기타 자재가 간단하여 필터의 가격은 비슷함. 4회 이상 재사용 할 수 있어 운전비는 저렴	입상활성탄의 가격은 저렴하나 분체이기 때문에 frame으로 가공시 비산방지를 위해 미세다공관구조 필요. 결국 필터의 가격은 섬유상과 차이 없음.

표 4. 활성탄소섬유 제품들의 비교<sup>8</sup>

Precursor	Cellulose fiber (Viscose rayon) (-C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> -) <sub>n</sub>	Phenolic resin (Kynol) (-C <sub>63</sub> H <sub>55</sub> O <sub>11</sub> -) <sub>n</sub>	Polyacrylonitrile (PAN) (-C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N-) <sub>n</sub>	Coal tar pitch (-C <sub>124</sub> H <sub>80</sub> NO-) <sub>n</sub>
Company	Toyobo Co., Ltd.	Kuraray Chemical Co., Ltd.  /Nippon Kynol Inc.	Toho Rayon Co., Ltd.	Osaka Gas Co., Ltd./Unitika Ltd./Ad'All Ltd.
Pre-treatment and activation conditions	200~400°C Flame resistance treatment 700~1000°C Carbonization and activation	~600°C inert gas yield 61% H <sub>2</sub> O(>700°C) or CO <sub>2</sub> (>850°C)	200~400°C air oxidation  700~1000°C H <sub>2</sub> O	Melting-spinning Oxidation for nonmelting Activation conditions not disclosed Manuf. by Ad'all Co.,Ltd.
Annual production, shape	150ton/y('92) Paper, felt, Corrugated paper, felt : 43% paper : 57%	30ton/y('92) Cloth(CH), Felt(FT), Fiber(FR), Paper(STV,STP)	200ton/y Felt, mat, paper, etc.	300ton/y Milled(<1mm), Chop(1~10mm) Paper(PA), molds, felt
Brand name	K-Filter KF-1000, 1500 1500L, 1600	Kuractive 10, 15, 20, 25	Fine Guard FX-200, 300, 400, 500, 600	Ad'All A-7, 10, 15, 20, 25
Main applications	Solvent recovery Ozone elimination Air purification, Dehumidifier	Electronics Gas treatment Water treatment	Solvent recovery Drinking water purifier, Air filter, etc	Air filter, mask Water purifier Deodorizing
Note	Honeycomb rotor	Good tensile strength	Contains 2~6% nitrogen Suitable for mercaptan, SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> etc. Larger pore possible (VB <sub>12</sub> )	Most likely least expensive

물질 이동 저항을 최소화하여 흡착속도가 매우 신속하다. 반면 활성탄은 micropore가 내부 깊숙히 자리하고 있어 이곳까지 도달하는데 긴 경로를 통과해야만 된다. 또한 탈착시에도 같은 현상이 있기 때문에 활성탄소섬유에 비해 흡탈착 속도가 느리다.

이와 같이 활성탄소섬유는 빠른 흡탈착, 큰 흡착량, 낮은 압력손실, 무분진, 가공의 수월성, 양호한 열적 및 화학적 저항성, 경량성, 촉매성 등 여러 가지의 장점을 두루 갖추고 있어 다양한 용도로 광범위하게 쓰일 수 있다. 또한 흡착 장치의 설계 및 운영에 신속성이 있고 단순화가 가능하여 분말 혹은 입상탄을 사용하는 것보다 적은 양으로도 소기의 정화효과를 낼 수 있는 장점도 지니고 있어 생산단가 측면만 제외한다면 경제적으로도 유리한 요소를 갖추고 있다.

### 3. 활성탄소섬유의 제품전개 및 용도

활성탄소섬유는 토우, 펠트, 포, 종이상 또는 이러한 것들을 중첩하여 원통으로 감아 준 하니콤(honeycomb)상 등의 여러 형태로 성형되어 사용되고 있다. 토우, 펠트, 포는 100% 활성탄소섬유로 만들어지나 종이상의 것은 종이강도 때문에 100%의 것은 제조가 어렵고 활성탄

표 5. 활성탄소섬유 제품의 주요 용도

용도 및 목적	상품형태	필요성능 및 특징
유기전해질 전극용 (전기 이중층 capacitor, Li 2 차전지용)	Cloth	고순도, 고비표면적, 저저항
상수도의 trihalocarbon 제거	Chop	고흡착속도, 분자검류성
화학방호복 (방독복)	Cloth	성형성, gas barrier성, 투습성, 경량
오존분해용 마스크필터 (건식복사기, 공기청정기 등)	Felt Honeycomb	오존분해능, 체진성, 경량, 저압손
방사성가스 제거 ( <sup>125</sup> I, Kr*, Xe* 등)	Felt	고흡착속도, 경량
의료용 탈취시트 및 패드 (인공항문용 등)	Paper Felt	고탈취능
탈색필터 (당액, 청주 등)	Cloth, Felt	탈색력, 약액재생성, 무진성
용제회수용	Felt Colgate	고흡착속도, 무촉매성 대흡착용량

소섬유의 70% 정도까지 보강섬유를 혼합해 준다. 또한 접착제를 사용하는 경우에는 활성을 죽이지 않도록 주의해야 하므로 성능이 좋은 종이상의 활성탄소 섬유를 만드는 것은 매우 어렵다.

표 4는 여러 가지 활성탄소섬유 제품의 특징을 비교한 것이며, 표 5는 활성탄소섬유 제품의 주요 용도를 요약한 것이다.

### 3.1 기상 탈취 용도

황탄소섬유는 흡착속도가 빠르기 때문에 공조계에 쓰이는 공기 정화 장치, 자동차용의 차내 공기 정화장치, 가정용 및 업무용의 공기 정화장치 등에 사용되고 있다. 이들은 가벼우면서도 부피가 작은 형태적 특징이 있으며 종이상, 하니콤 등으로 사용이 용이하기 때문에 장치 제작비를 낮출 수 있는 장점도 있다.<sup>12</sup>

#### 3.1.1 공기청정기 Honey-Rotor 장치

KF 하니콤을 사용하여 연속적으로 대용량의 배기가스를 처리하도록 고안된 이 장치는 Toyobo사와 大氣사가 공동으로 개발한 것으로서 그 동작원리는 그림 4와 같다.

Honey-Rotor 흡착소자(그림 5참조)는 공기 중에 존재하는 악취 물질 및 유기용제를 흡착하여 청정한 상태로 실내로 보내고, 탈착 가스측에서는 10~20배로 농축된 후 배출시에는 1/10~1/20 정도로 감소된 양이 배출됨으로써 Honey-Rotor를 재생시킨다. 이 Honey-Rotor장치는 저렴한 운전비용, 장치의 소형화 가능, 연속적 평형흡탈착과 이로 인한 탈착가스 배출시의 안전성, 여러 가지 종

류의 용제 및 배기가스에 대한 적용성 등의 특징을 가지고 있으며 그 적용 내용은 표 6에 정리한 바와 같다.

#### 3.1.2 기상 흡착 필터장치

이 장치는 Toyobo사 제품으로 그림 6에 보이바와 같이 Toyobo사의 정전어어휠타인 ELITOLON의 초극세사 섬유층과 흡착 종이층과의 이중구조로 되어 있으며 제진과 탈취를 겸한 Separator-less 형의 에어 필터이다.

이 필터의 특징은 담배연기와 같은 1 $\mu$ m 이하의 입자에

표 6. Honey-Rotor장치의 적용 내용

Honey-Rotor의 적용 내용	
용도	용제를 함유한 배기 및 순환 공기의 청정화 저농도 용제가스의 농축 처리 악취가스의 탈취 장치
적용범위	수 100ppm 이하의 저농도용제 함유 공기
적용업종	전자부품공업, 필름공장, 직가공공장, 도장공장

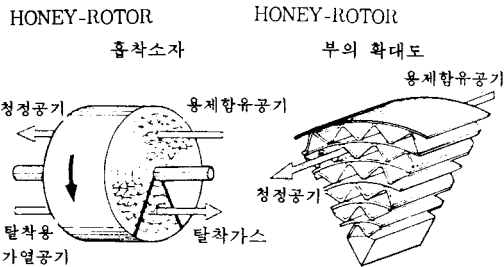


그림 4. Honey-Rotor의 동작원리.

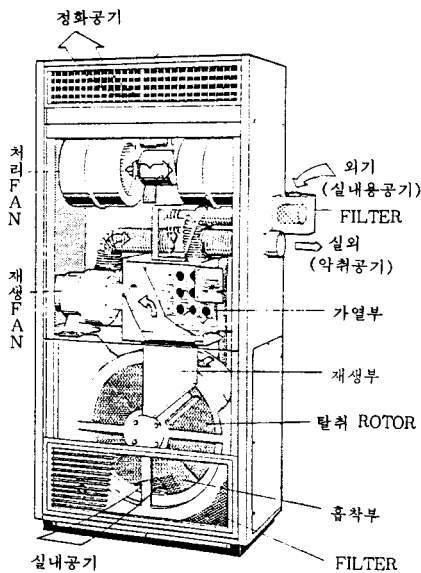
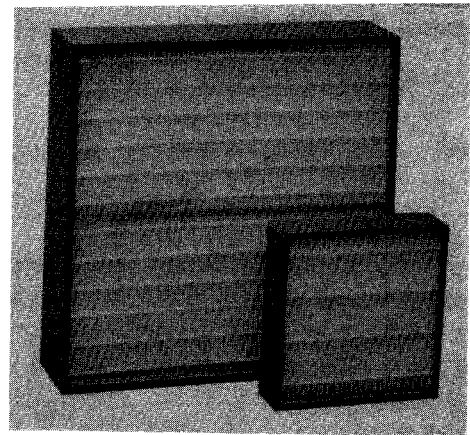
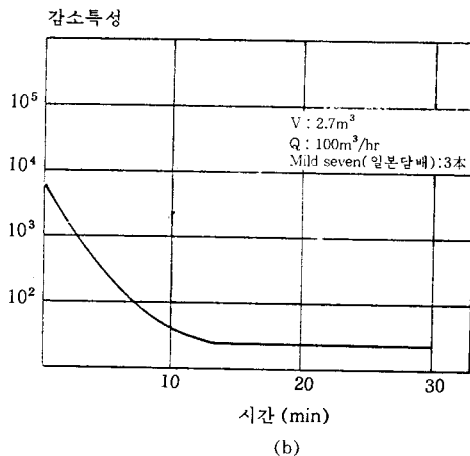


그림 5. Honey-Rotor장치의 구조.

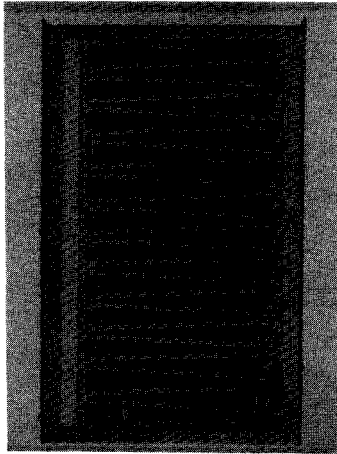


(a)



(b)

그림 6. a) 탈취 필터 장치의 구조, b) 탈취 필터 장치의 담배연기입자 제거 성능.



(a)

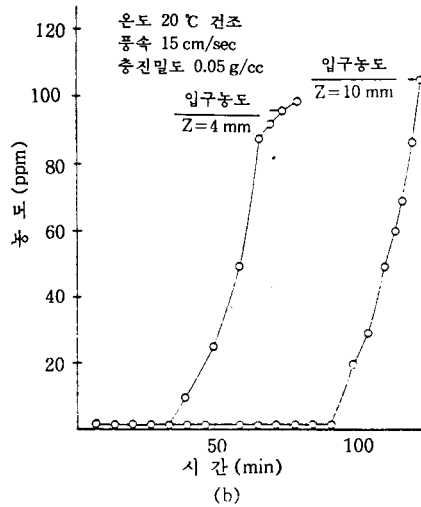


그림 7. a) Tray형 활성탄소섬유 필터, b) Toluene에 대한 흡착 파괴곡선.

대해 매우 높은 흡착율을 나타내며, 각종 악취가스의 제거에 탁월한 탈취효과를 발휘한다. 또한 가볍고 분진 발생이 없기 때문에 일반빌딩 공조용, 전산실, 미술관 등에 유입되는 외기중의 유해가스 제거, 점포나 병원 등에서의 순환공기 중의 유해가스 및 악취성분의 제거, 업무용 공기청정기용 등의 용도에 널리 사용되고 있다.

### 3.1.3 Tray형 활성탄소섬유 필터

이것은 15 mm의 활성탄소섬유를 평면으로 제작하여 그제그형으로 끼워 넣은 것으로 한 장당 중량이 1 kg 이내여서 가볍고 설치가 용이한 제품이다(그림 7 참조). 설치장소가 협소하고 보수가 어려운 장소에 아주 최적이다. Tray 1장당 가격은 입상탄과 비슷하나 4회 정도 재생할 수 있어 수명은 재생 횟수만큼 길기 때문에 아주 경제적이다. 또 운전중 진동에 의해 충전밀도가 다르게 되어 효율의 저하가 생기거나 비산으로 인한 재오염이 생기지 않으므로 작업환경을 깨끗이 유지할 수 있는 장점이 있다. 따라서 일반빌딩, 미술관, 박물관, 전자계산소, 학교 등에 유입되는 공기중의 유해가스 제거 및 병원, 공장, 식당 등에서의 순환 공기중의 유해가스 악취 성분을 제거하는 용도에 널리 이용되고 있다.

### 3.2 액상 탈색 및 탈취

활성탄소섬유는 흡착속도가 빠르기 때문에 액상의 탈색에 효과가 있으며, 흡착된 물질은 수증기와 열풍에 의해 간단히 탈착된다. 소량의 불순물을 대상으로 한 고부가가치의 용도로만 사용되었으나 수도물의 수질저하 때문에 최근 사용량이 증가하여 수도꼭지용 정화기에 사용되는 경우가 빈번해지고 있다. 수처리용 활성탄소섬유는 일본의 활성탄소 종합제조업체인 구라레 케미칼이 폐물계 섬유로부터 제조한 Kuractive가 있다.<sup>13</sup>

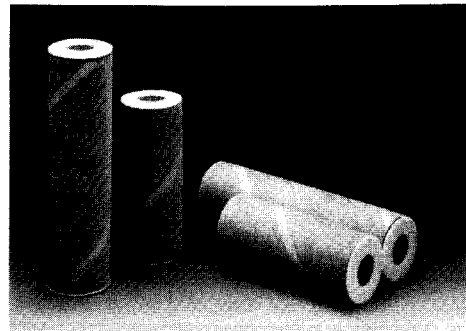


그림 8. 활성탄소섬유 성형 필터의 구조.

### 3.2.1 활성탄소섬유 성형 필터(Kuractive Cartridge Filter)

구라레 케미칼의 활성탄소섬유 제품인 Kuractive를 이용하여 제조한 수처리용 카트리지 필터로서 특히 업무용, 가정용의 각종 정수기 필터(그림 8과 그림 9 참조)에 사용된다.

이 제품은 빠른 흡착과 더불어 탄진 발생이 적고 취급이 용이하며, 용도에 따라 각종 형상의 제품 제작이 가능하여 음료수의 정화, 초순도 제조 장치의 전처리, 원자력 발전소의 방사선 폐기액 처리, 냉장고 제빙기, 골프장 농약배수처리, 커피 자동판매기의 정수필터 등에 사용되고 있다.

### 3.3 제습기용 필터

범용 필터는 저습도에서 흡습능력이 낮기 때문에 제습기의 필터로 사용하는 것은 불충분하다. 그러나 Toyobo사에서 특히 저온에서의 흡습능력이 높은 K 필터를 개발



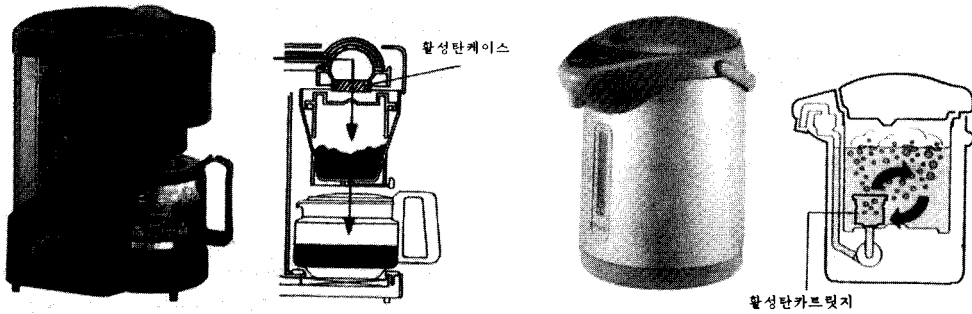
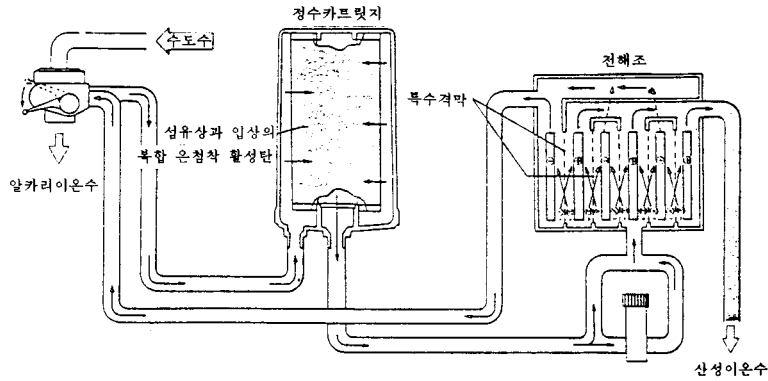


그림 9. 활성탄소섬유 성형 필터의 용도.

하여 제습기에 적용 가능하도록 하였다. K 필터를 사용한 제습기(그림 10참조)는 염화리튬을 흡습제로 사용하지 않는 것이 최대의 특징인데, 따라서 염화리튬의 사용에 따른 조해비산에 의한 부식, 오염, 인체에 유해한 영향이 없고 조해현상 방지를 위한 부대설비가 불필요한 등의 많은 장점을 가지고 있기 때문에 식품공업, 약품공업, 전자공업 등의 업계에서 안심하고 사용할 수 있다.<sup>12</sup>

### 3.4 선도유지 용도

입상활성탄이 이전부터 야채, 과일류의 수송, 보존중의 선도를 유지하기 위한 용도로 사용되어 왔으나 활성탄소섬유도 종이상으로 만들면 취급이 용이하고 공간을 작게 차지하기 때문에 이러한 용도로 사용되기 시작하고 있다.

### 3.5 의료, 위생재료

활성탄소섬유는 흡착속도가 빠르고 얇은 층에서도 악취를 차단하는 효과가 있기 때문에 환자의 화농 부위로부터 악취를 억제하기 위한 방취 패드, 방취시트 등에 쓰이고 있다. 또한 생리용 냅킨에도 같은 특성을 살려서 종이상으로 사용하고 있다.

### 3.6 마스크

마스크도 활성탄소섬유의 특징을 살린 분야인데, 다음의 흡착과과곡선(그림 11)에서 보는 바와 같이 흡착 시작 후 40분 정도까지는 거의 완전에 가까울 정도로 유독가스가 제거된다. 때문에 소량으로도 고성능을 발휘할 수 있어 가볍고 편리한 마스크를 제작할 수 있다. 시판 상품

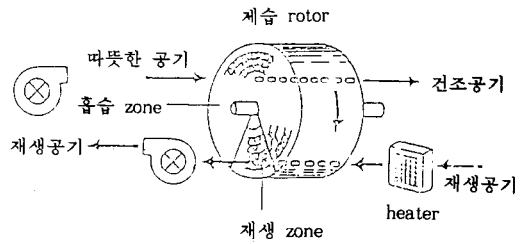


그림 10. K 필터 제습기의 구성.

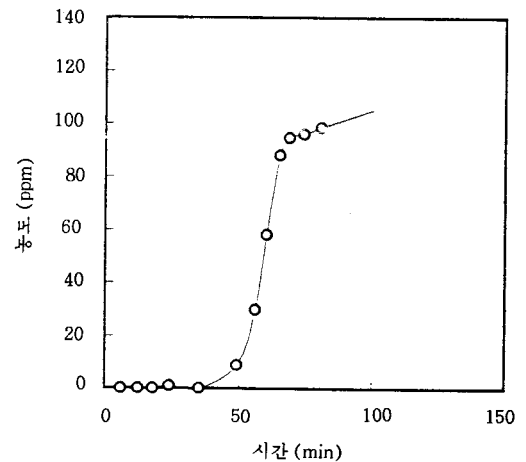


그림 11. 흡착과과 곡선.

으로는 활성탄소섬유 펠트를 사용한 범용의 방취마스크, 공업용 마스크, 방연마스크 등이 있다.

### 3.7 인 솔

신발 증부(인솔)의 악취방지용으로 쓰이는 종이상의 제품이며 활성탄소섬유로 만들었기 때문에 입상탄과 비교하여 탈락이 적고 양말에 겹게 묻어나오는 등의 문제가 없는 장점이 있다.

## 4. 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 활성탄소섬유는 흡착성능에 유효한 micropore가 많이 분포하고 있으며, 입상탄과는 달리 펠트, 포, 종이상 등 여러 형태로 제작이 가능하여 장치가 간편, 소형화될 수 있다. 또한 섬유형태를 가지고 있어서 흡착시 확산거리가 짧아 흡착속도가 빠른 장점도 있다. 이러한 장점들을 살린 제품과 장치들이 현재 시판 중이지만 입상탄에 비해 가격면에서 비싸기 때문에 아직까지는 그다지 보편화되지 못하고 있다. 따라서 활성탄소섬유를 범용적으로 사용하기 위해서는 보다 값싼 제품을 생산하는 방법을 찾는 것이고 다음은 사용한 활성탄소섬유의 재생을 보다 간편하게 할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 이러한 문제점들이 어느 정도 극복만 된다면 환경의 시대가 될 21세기에는 환경기능성 소재 즉 그린소재의 으뜸 주자인 활성탄소섬유 제품에 대한 요구가 그 어느때 보다도 높아질 전망이다. 또한 거의 비극성인 활성탄소섬유의 표면 성질을 극성화함으로써 부가적인 기능성을 부여한다면 초정제 및 초순수와 같은 분야에도 앞으로 활성탄소 섬유가 적용될 수 있을 것이며 그 이외의 분야에도 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. 안기희, 청정생산 기술개발 촉진전략 심포지움, 1996년 2월 7일, 서울 교육문화회관, 서울, 생산기술연구원, 1996.
2. 조현태, 첨단연색가공기술 세미나집, 1996년 3월 5일, 한국과학기술회관, 서울, 생산기술연구원, 1996.
3. 최은경, 한국섬유공학회지, 투고중 (1996).
4. J. Rodriguer-Mirasol, J. R. Pels, F. Kapteijn and J. A. Moulijn, Extended Abstracts of 22nd Biennial Conference on Carbon, University of California, 16-21 July, San Diego(U.S.A.), American Carbon Society, pp. 620, 1995.
5. A. Oya and S. Yoshida, Carbon 34, No.1, 53(1996).
6. J. L. Frigueriredo, J. J. M.Orfao, M. M. A. Freitas and M. F. R. Pereira, Extended Abstracts of 22nd Biennial Conference on Carbon, University of California, 16-21 July, San Diego(U.S.A.), American Carbon Society, pp. 540, 1995.
7. W. F. Abott, U. S. Patent 3,053,775 (Sep. 11. 1962).
8. M. Suzuki, Carbon 32(4), 577 (1991).
9. Z. Bashir, Carbon 29(8), 1081 (1991).
10. J. B. Donnet and R. C. Bansal, "Carbon fibers", pp. 23, Marcel Dekker, New York, 1984.
11. J. D. Sherman and C. M. Yon, "Encyclopedia of Physical Science and Technology", Vol. 1, pp. 290, Academic Press, 1992.
12. K-Filter(KF), the Activated Carbon Fiber, TOYOBO Catalogue.
13. KURACTIVE, the Activated Carbon Fiber, Kuraray Chemical Co., Ltd., Product Catalogue.