

# 다공성 탄소재료 개요 및 기술동향

전략기획팀 **배 병 철**



**ECO융합섬유연구원**  
Korea Institute of Convergence Textile

# 다공성 탄소재료 개요 및 기술동향

## 1절 활성탄소 개요

- 최근 국내의 산업화 및 공업화가 가속됨에 따라 주요 상수원의 수질이 급속히 나빠지면서 강 하류지역의 수질이 3급수 이하로 떨어져 일반적인 정수방법으로는 오염물질의 제거가 어렵고, 1983년 이후 중금속, trihalomethanes (THM), 페놀, 벤젠 등 각종 수돗물 유기물질 오염사고가 다발하면서 낙동강을 원수로 하는 정수장에서 우선적으로 고도정수시설을 도입하게 되었다.
- 기존의 정수처리 시설은 응집침전, 여과, 염소처리로 구성되어 있으며, 이를 청정한 원수의 처리를 목적으로 하는 ‘재래식 정수처리 공정(conventional water treatment system; CWTS)’ 이라고 한다. 그러나 상수원으로 사용하고 있는 주요하천이나 호수가 각종 생활용수, 공업폐수, 농업용수 등으로 질소, 인 성분이 과다하게 증가되어 부영양화를 가속시키고 있으며, 각종 난분해성 물질이나 중금속 성분, 발암성물질 및 농약, 비료성분은 미량으로도 인체에 치명적인 결과를 주기 때문에 기존의 재래식 정수처리 공정만으로는 한계가 있으며, 고도정수처리 시스템의 도입이 필수 불가결한 문제로 대두되고 있다.
- 고도정수처리기술(advanced drinking water purification technology)이란, 재래식 정수처리법으로는 대상 오염물질의 제거가 곤란한 수질의 목표달성을 위해 기존의 수처리법에 용존물질의 제거방법을 추가 적용하는 수처리법을 말한다.
- 국내·외의 정수장에서는 오존산화 처리공정과 다양한 유기오염물질들에 대해 우수한 흡착능을 가지는 활성탄소를 이용하여 오염물질을 흡착·제거하는 입상활성탄소 또는 생물활성탄소 여과공정을 시행 중이며 그 효과 및 적용 타당성이 입증되어 매년 도입이 크게 증가하고 있는 추세이다.
- 1988년 일본에서는 일본수도협회에 설치된 ‘고도정수시설 Guide line 작성 전문위원회’ 에서 고도정수 시설도입을 위한 Guide line을 작성하였는데 이에 따르면 ‘고도정수시설은 통상의 정수처리 방법으로는 충분히 대응할 수 없는 THM 전구물질, 색도, 암모니아성 질소, 음이온 계면활성제 등의 처리를 목적으로 도입하는 활성탄소 처리 시설, 오존처리 시설 및 생물처리 시설 등을 지칭한다’ 라고 정의하고 있다.
- 활성탄소(activated carbons)은 다공성 탄소재료로서 내부에 무수한 세공이 발달되어 있는데 세공의 총 내부 표면적이 현저하게 크고, 또한 그 표면이 불순물에 대하여 친수성을 갖게 되기 때문에 피 흡착 물질로서의 용해성 성분의 제거는 용해성 성분이 세공의 커다란 내부표면에 흡착함으로써 이루어지게 된다.
- 활성탄소 처리설비는 코코넛 껍질이나, 석탄, 나무 등을 고온에서 탄화시켜 만든 활성탄소의 내부에 무수한 세공을 이용하여 흡착 가능한 유해물질들은 제거하는 것으로서, 용해성 유기물질, THM 전구물질, 맛·냄새물질, 농약성분 등의 미량 유해물질을 제거할 목적으로 도입 되었으며 주로 용해성 성분을 제거하는 기능을 가지고 있고 저농도의 용해성 성분의 제거수단으로서 사용되고 있다.

- 고도정수처리에 있어 원수에 잔류염소 존재 시 이온 교환수지의 산화로 인해 파쇄(가교결합이 끊어짐)되기 때문에 효율이 저하되고 압력손실이 증가하게 되므로 잔류염소농도는 0.1 ppm이하로 유지관리 되어야 한다. 또한 원수 중 유기물이 존재할 시에는 흡착 또는 이온교환 반응에 의해 이온교환수지가 오염되어 수세수의 사용량 증가, 처리수의 수질악화, 처리수의 산성으로 변화, 이산화규소( $\text{SiO}_2$ )의 조기누출 등 여러 가지 문제가 발생하게 되므로 처리한 수질의 화학적 산소요구량(chemical oxygen demand, COD) 농도는 1 ppm 이하로 유지하여야 한다. 따라서 활성탄소처리는 필수공정으로 선택되어야 한다.
- 현재까지 막분리와 고도산화기술이 주류인 고도정수처리 시장은 최근 비약적인 높은 흡착능을 보이는 활성탄소의 적용이 증가하고 있어 세계시장은 급격한 확산 중에 있는 추세이다.
- 이런 급속한 고도정수처리용 활성탄소의 수요증가에 따라 원자재확보 및 생산기반이 취약한 우리나라가 세계 물 시장에서 어려움이 예상되는 바, 국내 물산업의 자생력을 키우기 위해서는 그 핵심기술이라 할 수 있는 고도정수처리용 흡착제로서 활성탄소의 대량생산을 지원할 수 있는 제작인프라를 시급히 구축해야 하며 이를 중심으로 연구개발, 제작, 시험평가 기관 협력체계를 구축하여 기술확산을 가속화시켜야 할 시점에 와있다.
- 또한 포화 활성탄소에 대한 폐기물 처리 문제 및 신탄 교체에 따른 경제적 부담을 고려해야 하며 경제적인 활성탄소 재생법과 그에 따른 재생탄의 효과에 대한 조사와 기존의 방식을 넘어서 보다 효율적인 활성탄소 흡착처리시설에 대한 연구가 필요한 실정이다.

## 1) 활성탄소의 정의 및 특징

- 활성탄소는 목재, 갈탄, 무연탄, 및 야자껍질 등을 원료로 제조되는 미세세공이 잘 발달된 무정형 탄소의 집합체로서, 활성화 과정에서 분자크기 정도의 미세세공이 잘 형성되어 큰 내부표면적을 가지게 되는 흡착제이다.
- 활성탄소는 단위 g당  $1,000\text{ m}^2$  이상의 표면적을 갖기도 하는데 표면에 존재하는 탄소 원자의 관능기가 주위의 액체 또는 기체에 인력을 가하여 피흡착질의 분자를 흡착하는 성질이 있다. 따라서 활성탄소는 환경, 수처리 등의 제반 산업분야에서 활용되고 있다.
- 공업용을 중심으로 탈취, 탈색, 정제, 촉매에도 사용되어 왔으며, 최근에는 에너지 저장용 소재로서의 연구 및 개발이 활발히 진행되고 있다.
- 활성탄소(활성탄소, 분말활성탄소, 활성탄소섬유 등)은 보통 석탄계, 야자각계 등과 같은 활성탄소와 찻치계, 폴리 아크릴로나이트릴계, 페놀수지계, 셀룰로오스계와 같은 활성탄소섬유 등이 있으며, 이들은 전구체를 물리/화학적인방법을 통해 활성화시켜 제조한다.

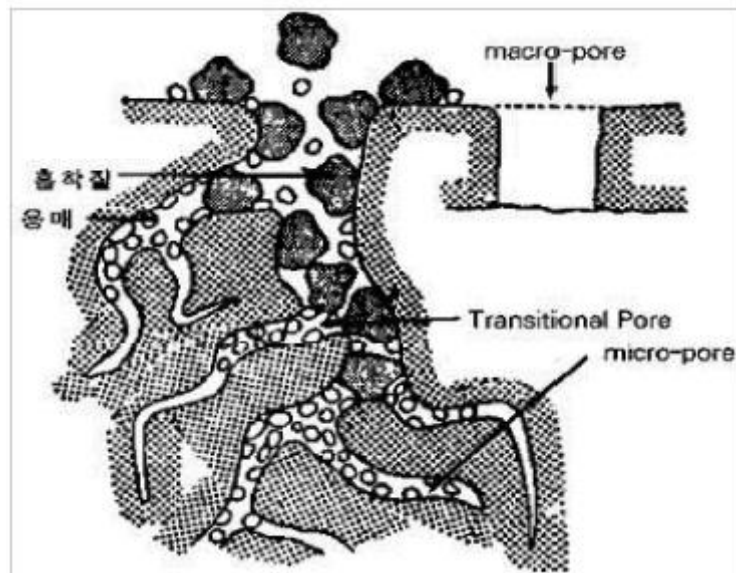


그림 1) 활성탄소 구조(자료: 한국부품소재산업진흥원)

## 2) 활성탄소 분류

□ Active Carbon, Char: 원료를 건류하여 탄화만 시켜 활성이 있는 것(예: 숯)

□ Activated Carbon: 위의 탄화물에 부활 조작을 한 것. 전자에 비해 약 4 ~ 5배 활성이 있다.

### ① 물리적 형상에 의한 분류

□ 분말상(200 mesh이하, 75 미크론): 용도에 의한 분말도 및 입도분포 규제

□ 파쇄상: 입상으로 형상 및 크기가 불규칙

□ 조립(성형): Binder(Tar류, 플라스틱류, Lignin등), 형상(구상, 주상, 마세크상 등), Fiber(섬유)상, cloth상, 특수형상, 액체상, 페인트상

### ② 출발원료에 의한 분류

□ 식물질: 목재, 톱밥, 목탄, 야자각탄, 소회 등

□ 석탄질: 니탄, 아탄, 갈탄, 역청탄, 무연탄 등

□ 석유질: 석유잔사(pitch), 황산 슬러지, 오일카본 등

□ 기타: 펄프폐액, 합성수지 폐재, 유기질 폐물질 등

### ③ 부활법에 의한 분류

□ 가스부활법(수증기), 약품부활법, 두 가지 병용

표1) 용도에 의한 분류

구분	특징	용도	비고
기상흡착용	Micro 세공이 주로 발달	단배필터, 용제회수, 자동차 Canister, 방독면, 가스정제	Mirco 세공이 잘 발달된 야자각계를 주로 사용
액상흡착용	Meso 및 Macro 세공이 주로 발달	정수, 폐수, 당액탈색	Poro가 큰쪽으로 잘 발달된 활성탄
촉매 및 촉매담체	높은 강도, 낮은 회분, Meso 세공이 발달	할로겐화, 수소화, Merox	큰 세공이 발달
특수 공정용	공정 용도에 따른 첨착 가공	방사선용, 방독면, 반도체, 석유 정제	특정 물질 선택 흡착 강화

### 3) 활성화탄 제조공정

- 대부분의 제조방법은 높은 온도의 수증기 활성화 방법이나 약품부활도 시행되고 있으며, 원료와 활성화 공정은 활성화탄의 특성에 매우 큰 영향을 미친다. 가장 중요한 활성화 공정은 800 ~ 1,100 °C의 온도범위에서 일어나는 탄소의 산화반응으로 탄화물의 표면을 침식시켜 탄화물의 미세세공을 발달시키는 공정이다.

#### ① 전처리 공정

- 전처리 공정은 탄화와 활성화 공정에 적합한 조성을 갖추도록 시료를 미분쇄 한 후 수분과 점결성을 갖추도록 조립하는 공정이다. 수분은 12 ~ 15%가 적당하며 점결제의 농도는 10 ~ 15%이고 사용되는 점결제로는 아황산 펄프폐액, 폐당밀, 전분, CMC, PVA 등이 있다.

- 점결제는 조립을 용이하게 하며 강도를 높이는데 쓰이며 조립을 마친 시료는 건조 후에 탄화 공정을 거치게 된다.

#### ② 탄화

- 탄화는 유기질 원료탄을 가열하여 산소, 수소, 질소 및 유황 등의 비 탄소 성분을 감소시켜 활성화에 필요한 탄소질재료를 얻어내기 위한 공정으로서 다음과 같은 세 단계로 나누어진다.

##### 가. 제 1 단계

- 상온에서 400 °C까지의 온도범위 내에서는 탈수, 탈산 등의 1차분해가 일어나고 결합은 잔존하게 된다.

##### 나. 제 2 단계

- 400 ~ 700 °C까지의 온도범위 내에서는 산소 결합이 끊어지며 산소가 물, CO, CO<sub>2</sub> 등의 형태로 방출되며 방향족 간의 결합이 생기게 된다. 700° C의 온도에서는 휘발분은 거의 제거 된다.

##### 다. 제 3 단계

- 700 ~ 1000 °C까지의 온도범위 내에서는 탈수소 반응으로 방향족 핵 사이의 직접 결합이활 발하여 2차 평면 구조가 발달하게 되며 -CH<sub>2</sub>- 결합에 의하여 3차원적 구조를 갖게 되어 결국 긴 사슬형 분자와 방향족 분자 및 축합 방향 고리평면 형태의 분자로 교차 연결되는 구조를 갖게 된다.

- 탄화과정에서 중요한 것은 승온 속도, 탄화속도, 탄화 분위기 등인데 승온 속도는 급속가열 보다 5 °C/분 정도로 서서히 가열하는 것이 좋고 특히 350 ~ 450 °C 근처에서의 가열은 용착이 일어나는 영역이므로 주의를 필요로 한다.

- 탄화온도는 활성화탄의 부활성이나 기계적 강도를 좌우하는 중요한 인자로 원하는 물성과 품위에 따라 달리할 수 있다. 일반적으로 탄화온도가 증가하면 진비중강도는 증가하지만 세 공용적, 비표면적은 감소한다.

- 일반적으로 500 ~ 900 °C 범위 내에서 탄화조건을 결정하는 것이 좋다. 탄화 분위기는 산소가 없는 또는 극히 적은 상태에서 실시해야 하는데 원료탄 자체의 세공도가 낮을 때에는 미량의 산소분위기하에서 실시하는 것이 좋고 그렇지 않을 경우에는 질소와 같은 활성을 갖지 않는 개체를 흘려주면서 탄화를 하여야 한다.

### ③ 활성화공정

- ❑ 탄화된 시료는 활성화 공정을 통하여 입자 내에 광범위한 세공구조를 갖게 된다. 활성화의 방법에는 스팀 활성화법과 약품 활성화법이 있다.
- ❑ 활성탄의 물성을 조절하는 가장 중요한 공정이 활성화 공정 인데 활성화 온도, 활성화 시간, 수증기 사용량 등의 운전변수가 있다.
- ❑ 활성화 장치로는 고정식과 이동식이 있는데 이동식은 회전로 형식과 유동층 형식으로 다시 나누어진다.
- ❑ 회전로 형식은 균일한 활성탄을 제조할 수 있으며 구조가 간단하여 대형화하기가 용이한 장점이 있는 반면열량의 손실이 많은 단점이 있다. 유동층 형식은 대량 생산을 할 수 있으나 단시간에 활성화가 이루어져야 하기 때문에 급속가열을 해야 하는 어려움이 있다.

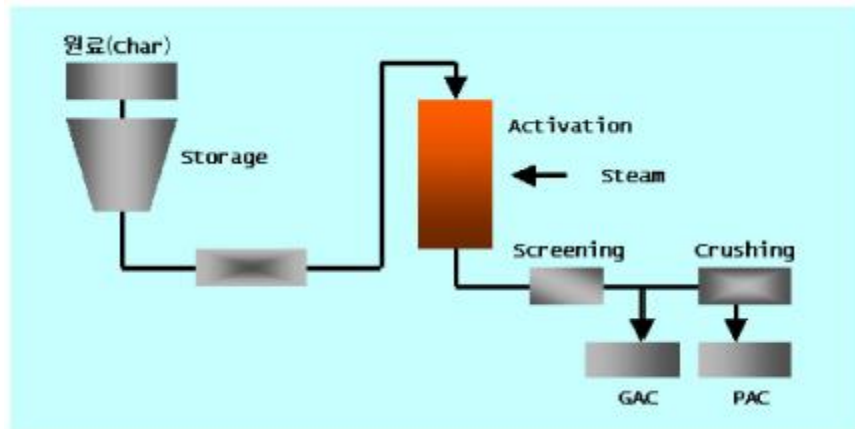
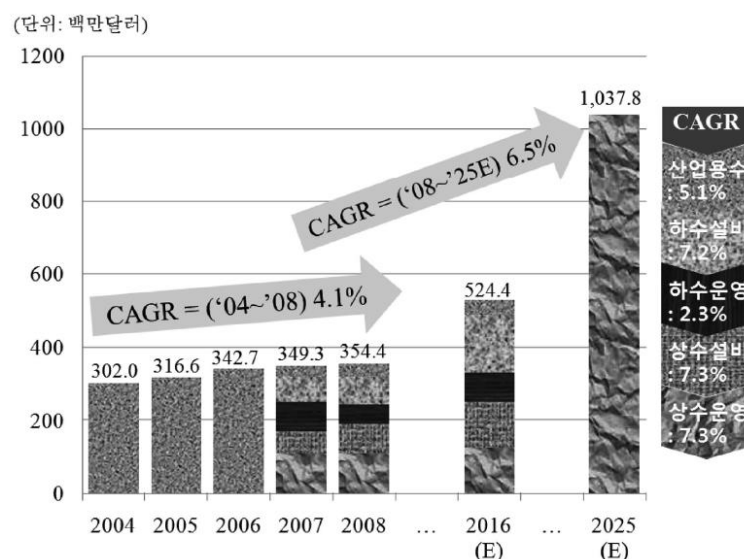


그림 2) 활성탄 제조공정(자료: 한국부품소재산업진흥원)

#### 4) 활성탄소 시장의 특징

- 20세기가 석유의 시대라면 21세기는 블루다이아몬드인 물의 시대이며 2050년 세계의 수자원 수요는 2000년보다 30% 증가한 약 5,200 km<sup>3</sup>까지 증가할 것으로 예상되고 있다.
- 물 부족 및 수질악화로 물산업이 급부상하고 있으며, 현 세계 물 시장은 약 3,650억 달러로서 향후 급속도로 시장규모가 확대될 것으로 전망되며 이를 그림3 에 나타내었다.
- 2007년 전세계 물시장 규모는 3,650억달러 수준이며 2016년에는 6,209억
- 달러 규모로 연평균 6.1% 성장할 것으로 전망되고 있다. 부문별 성장성은 수처리 사업이 연평균 7.6%로 가장 높으며 이 가운데 멤브레인 방식 담수설비와 물 재사용 시장의 성장률이 각각 10.8%, 14.5%에 달해 성장세를 주도할 것으로 전망된다.
- 2004년 기준으로 전 세계 하수처리율은 42%에 불과하였으며 과반 이상의 하수가 그대로 방류되어 지표수 및 지하수를 오염시키고 있다.
- 세계 물 포럼(World Water Forum) 에 따르면 현재 11억명이 안전한 물을 마시지 못하고 있으며, 전쟁으로 인한 사망자의 10배에 해당하는 매년 500만명 이상이 수인성 질병으로 사망 한다고 보고하고 있다.



자료 : Carbon Letters Vol,11,No,4 December, (2010)

그림3) 세계 물산업 시장규모 및 전망

- 미국의 경제주간지 포춘(Fortune)은 2000년 5월 15일자 기사에서 “21세기에는 물산업은 블루골드(Blue Gold)로, 20세기의 블랙골드(Black Gold)인 석유산업 만 큼이나 고성장할 것” 이라고 전망하였고, 이스마일 세라젤딘 세계은행 수석부총재는 “20세기가 석유를 차지하기 위한 전쟁이었다면, 21세기는 물을 차지하기 위한 전쟁이다” 라고 표현하고 있는 것에서 수 처리 기술의 중요성이 날로 증가한다는 것을 알 수 있다.
- Global Water Intelligence (GWI)의 보고서에 의하면, 향후 멤브레인 시장의 성장률



(19.6%)은 화학처리제 시장의 성장률(3.7%)을 크게 상회할 것으로 전망되고 있으며, 특히 막분리를 활용한 담수화 시스템은 기존 증류식에 비해 가격경쟁력을 높기 때문에 고성장이 예상되어 2015년에 전체 담수화 장비시장의 60% 이상을 차지할 것으로 추정되고 있다. 또한 산업재료를 전문으로 조사하는 기관인 Freedonia group의 최근 보고서에 따르면, 미국의 활성탄소섬유의 수요는 현재 2억 4천만불에서 2008년까지 매년 평균 4.3% 증가할 것으로 분석되고 있어 상대적으로 매우 좋은 시장으로 평가받고 있는데 이러한 수요증가는 무엇보다도 자동차용 배기가스 캐니스터(canisters)와 산업용으로 수은 제거를 위한 제품을 생산하는데 사용이 증가하기 때문인 것으로 분석하고 있다.

- 한편 반도체의 집적도의 향상 등 산업기술의 고도화와 정밀화로 인해 주변 요소기술들의 발전속도가 가속화되고 있는데 이와 관련된 가장 중요한 기술적 요구사항이 바로 세척액으로 사용되는 물의 순도를 향상시키는 공정이다. 초순수란 단어는 이러한 시대적 요구에 의해 자연 발생된 단어라 할 수 있으며 초순수의 정의는 일반적으로 17 ~ 18 MΩ 정도의 전기저항을 가진 물리화학적으로 화합물질 및 합성물질 등이 거의 존재하지 않는 고도의 순수상태를 말하고 있다.
- 물이 높은 전기저항을 가지기 위해서는 물에 존재하는 전기전도를 가능하게 하는 모든 미세 입자뿐만 아니라 물에 이온상태로 존재하는 각종 염을 제거해야 하며 그 제거수준은 수 ppb 이하로 유지해야만 가능한 것이다.
- 최근에는 반도체의 집적도가 향상됨에 따라 물에 용존해 있는 기체, 예컨대 산소, 암모니아, 이산화탄소 등의 농도도 낮추어야만 반도체 웨이퍼 등의 미세한 산화를 방지할 수 있는 것으로 알려져 있다.

## 5) 산업 현황

### □ 세계차원

표 2) 활성탄소의 세계적 산업 현황

국가별	내 용
일본	<ul style="list-style-type: none"> <li>· AIST: 임계 이산화탄소 용매와 활성탄 담지 로듐(rhodium)촉매 또는 활성탄 담지 루테늄(ruthenium) 촉매를 이용함으로써 낮은 반응온도(40° C)에서도 나프탈렌을 모두 데칼린(decalin)까지 수소화할 수 있다는 사실 발견</li> <li>· 아키타현립대학: 재팬에너지와 공동으로 왕겨를 이용한 안전하고 고기능성을 가진 활성탄 제조</li> <li>· 미쓰비시전기: 활성탄 전극을 이용한 차세대 전력용 커패시터 요소 기술개발</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중국과학원 대련화학물리연구소: 미국 델라웨어대학교와 공동으로 활성탄을 담체로 한 텅스텐 카바이드 촉매를 응용하여 석유소의 촉매전환을 연구</li> </ul>
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 텍사스 공과대학: 흡수성섬유(adsorbent fiber)층 사이에 활성탄이 끼워진 섬유를 근간으로 하는 독성 제거 재료(fabric-based wipe) 개발</li> <li>· 뉴햄프셔 개발: 유기점토와 활성탄소를 이용하여 오염된 침전물을 정화하는 연구를 진행 중</li> <li>· GE: 활성탄의 나노팔라듐의 담지된 나노크기의 영가철을 이용하여 정화도구로써의 활성나노물질 개발</li> </ul>
유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 스페인 그라나다대학: 활성탄을 이용한 흡착·제거법을 이용하여 탄화수소 산업에서 이용되는 광범위한 유기 용제와 도시 내 교통에서 발생하는 오염물질을 제거하기 위한 최신 재료를 만드는데 성공</li> </ul>
한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 루펜리: 일본 화학그룹 구라레이와 제휴를 맺고 활성탄 필터 공동 개발</li> <li>· GS칼텍스: EDLC용 탄소소재(활성탄) 생산을 위한 파워카본테크놀로지(주)와 합작법인 설립</li> </ul>

- 미국 Calgon社(20만톤/년), 네덜란드 Norit社(11.6만톤/년) 등이 세계시장을 주도하는 가운데, 중국이 빠르게 추격하는 양상임.
- 글로벌 선진 메이저社는 저급 활성탄소 생산기지를 중국·동남아 등으로 전환하는 한편, 고기능성 활성탄소 생산에 역량 집중함.
- 일본·미국 등은 탄소섬유로부터 고부가 활성탄소 생산에 주력임.
- 기술개발은 생산원료 다변화, 선택적 흡착기능 강화, 신공정 개발 등 연구 진행 Coconut-base 활성탄소의 경우 동남아시아 지역에서 약 90% 생산함.
- 야자열매의 구성: 외부로부터 Husks(껍질), Shell(야자각), Copra(육질), juice (야자수)로 구성 이중 활성탄의 원재료인 야자각 Char는 shell을 탄화시키고 적정 입도로 선별하여 사용함.

표 3) 원산지별 생산량 및 생산율

구 분	필리핀	스리랑카	인도네시아	기 타	계
생산량(MT/년)	660,000	396,000	264,000	176,000	1,496,000
생산율 (%)	44.1	26.5	17.6	11.8	100

자료: 2009년 필리핀 현지조사

- 활성탄소의 세계 수요는 연간 8.1% 성장하여 2018년에는 210만톤에 달할 것이라고 미국의 클리브랜드 소재 산업체시장 조사기관인 Freedonia Group사 보고서에서 발표됨. 이에 따라 미국과 중국의 환경 규제 강화로 활성탄 수요 성장이 탄력을 받을 것으로 예상.
- 미국 및 산업화가 이루어진 국가의 규제 강화는 최근 수은제거에 더욱 집중되어 있으며 반면에 중국 등 개발 도상국가에서는 급속한 공업화로 발생하는 공기 및 물 오염문제를 해결하기 위해 규제강화 추진 중에 있음.
- 수은 제거용으로는 분말 활성탄소 기술이 보다 효과적으로 널리 사용되는 기술로써 입상 활성탄소 제품 사용량을 증가하고 있는 추세이며 개발도상국에서는 분말 활성탄소가 수처리 등 분야에서 널리 사용되는 제품으로 낮은 가격 및 사용이 간편한 특성을 갖고 있어 사용량이 더욱 확대되고 있음.

#### □ 국내차원

- 국내 기업은 아직 영세성에서 벗어나지 못하고 있으며, 소규모로 활성탄소사업 추진 중임.
- 현재 활성탄소 소재는 R&D 중심 인력은 국내 800여명 수준이며 일본(2만명), 중국(1만명), 미국(5천명), 독일(5천명) 등으로 비해 전문인력 보유 열세
- 한국은 활성탄소 등 탄소소재의 운료인 석유 석탄 등 수입이 많고 자동차, 항공, 철강, IT 등 탄소소재의 수요산업이 발달했지만 탄소소재 생산에 중요한 중간원료의 경우 제조공정, 기술이 미비한 실정임.
- 특히, 활성탄소소재는 저가의 범용제품보다 고부가가치 제품 수요가 증대하고 있어, 수요에 적합한 기술개발이 필요하며, 파괴적 기술혁신 주도를 통한 중간 소재 산업 확보 필요.
- 2002년부터 2008년까지 수행된 국가연구개발사업을 검색한 결과, 총 923개 탄소소재 관련 과제가 검색되었으며, 이들 과제들에 대한 정부연구비 지원규모는 2,088.5억원으로 조사됨, 이중 활성탄소 분야는 69개의 과제가 수행되었으며 규모는 98억원으로 조사됨.
- 2003년부터 2014년 정부수탁 연구과제를 검색한 결과, 총 128건 118억원으로 검색됨. (NTIS 검색)
- 활성탄소는 전체 규모 중 4.7% 정도 지원이 이루어지고 있을 정도로 미비한 실정임. 또한 사업화 실적도 8건밖에 안될 정도로 다소 낮은 것을 알 수 있음.
- 국내는 중금속, 방사성 요오드, 군사용 독가스, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S 가스 등을 제거할 목적으로 증착된 활성탄소에 대한 연구가 이루어졌으나 아직 생산단계에는 이르지 못하고 있는 실정.

## 6) 기술 현황

### □ 세계차원

- 활성탄소의 재료에 대한 기술과 활성탄소의 효율을 높이거나 특정물질의 흡착을 위한 기술은 이미 확보됨.
- 활성탄소의 용도를 확대하기 위한 성형기술 개발이 요구됨.
- 활성탄소를 의약품의 캡슐화 재료로 이용하는 기술이나 섬유상 활성탄소에 대한 기술, 활성탄소에 생물분해능을 접목시키는 신기술에 초점을 맞추는 기술개발이 시도됨.
- 고기능성 활성탄소는 미국이나 일본과 같은 선진국에서 주로 생산되고 있으며 저급의 활성탄소를 대만 등에서 생산하고 있음.
- 현재 일본 Toyobo사에서 레이온계 탄소섬유를 출발물질로 하여 K-유틸라는 상품명의 활성탄소를 상품화하였고 동방베스론에서는 polyacrylonitrile (PAN)계 탄소섬유로부터 활성탄소를 상품화하여 동방베스론 생산 중.
- Kuraray Chemicals에서는 페놀수지계 탄소섬유로부터 Kuractive라는 상품명의 활성탄소를, Kureha와 Osaka gas는 핏치계 탄소섬유를 출발물질로 하는 Kureha ACF 및 AD'All이라는 상품명의 활성탄소를 생산하고 있음.
- 미국에서는 Ashland Co.만이 핏치계 탄소섬유를 출발물질로 사용하여 활성탄소를 생산하고 있으며 주로 활성탄소를 이용한 완제품만이 판매되고 있음.
- 활성탄소막에 대한 상업적 개발은 Air Product and Chemical사에서 튜브형태의 지지막을 사용한 탄소막, 이스라엘의 Carbon Membranes사에 개발한 자체지지막 형태의 중공사 탄소막, 독일의 Blue Membranes사에서 개발한 하니콤 형태의 탄소막 정도로 극히 미미한 실정임.
- 휘발성 유기화합물 제거 처리기술은 미국(188종), 일본(234종), 독일(174종) 등과 같은 선진국에서는 이미 오래 전부터 특정대기 유해 물질을 지정하고 있어 이에 대한 다양한 처리공정들이 개발되어 있음.
- 미국의 UOP사 등을 비롯하여 일본의 Toray사, 프랑스의 IFP사 등에서 활성탄소 흡착제를 이용한 흡착공정이 개발되어 있음.
- 휘발성 유기 화합물 분리, 회수용 분리막 시스템 공정은 미국의 MTR사, 캐나다의 PetroSep사 및 호주의 Masstech사 등에서 고분자 분리막을 이용한 시스템이 생산, 공급 중에 있으며 탄소 분리막에 대한 기술은 아직 연구개발 단계임.
- 방독면, 화생방 보호의 등 국방 분야의 핵심 소재로서 고기능성 활성탄소가 독일의 Blucher사에서 개발되어 현재 미군에 적용되고 있으며, 조만간에 한국군에도 도입될 예정으로 있음.
- 슈퍼커패시터를 구성하는 중요한 요소 중 하나는 전극 물질이며, 용량과 출력 등 대부분의 성능 특성에 기인함. 따라서 높은 전기 전도성, 내화학적 및 내부식성, 낮은 열팽창계수 그리고 높은 순도를 가지는 활성탄소를 주로 사용함.

표 4) 슈퍼커패시터용 활성탄소의 특징

항목	필요조건	특징
비표면적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 체적 당 용량: <math>2000 \sim 2500 \text{ m}^2/\text{g}</math>이 최적</li> <li>✓ <math>1500 \text{ m}^2/\text{g}</math> 이하는 전극팽창이 심함</li> <li>✓ <math>2500 \text{ m}^2/\text{g}</math> 이상은 체적당 용량감소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 비표면적이 증가할수록</li> <li>✓ 극소 세공의 증가</li> <li>✓ 극소 세공경일수록 이온전도도 감소, 전극밀도 감소</li> <li>✓ 기공저항에 의한 전기전도성 감소</li> </ul>
금속 불순물 산소 작용기	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전해액과의 부반응의 원인이 됨</li> <li>• 기체발생에 의한 셀의 팽창</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전해액 분해, 산소발생 등에 의한 장기 내구성 저하</li> </ul>
입자경	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일반적으로 <math>5 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m}</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작을수록 고용량, 전극 충전 밀도 증가</li> <li>• 체적 당 용량에 중요한 인자</li> </ul>
기타	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 적절한 비표면적과 세공부피비의 최적화 필요</li> <li>• 전해질 이온크기와 세공경을 함께 고려</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정전 용량과 전극팽창</li> <li>• 기공 내에서의 이온 전도저항과 관련</li> </ul>
결정성	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전기전도성과 비례관계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이방성 핏치 및 코크스가 유리</li> </ul>
표면조직(edge of basal plane)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 활성탄소 표면에 edge가 풍부한 것이 유리</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Basal 및 edge의 전자밀도에 의한 차이</li> <li>• edge가 13배의 정전용량을 가짐</li> </ul>

- 활성탄소는 탄소로 이루어진 무정형의 탄소 집합체로 원료는 야자껍질, 폐닐 등을 원료로부터 만들어지며 원료들을 탄화와 활성화 과정을 거치면서 무수히 많은 미세한 기공들을 발달시킴.
- 활성탄소를 수증기 부활, 알칼리 부활에 의해 활성화되는데 알칼리 부활에 의해 활성화된 활성탄소는  $2000 \text{ m}^2/\text{g}$  이상으로 매우 크지만 공정이 복잡하고 제조원가가 일반 활성탄소의 10 ~ 50배 정도로 소요되어 판매가격도 10 ~ 100배 정도로 가격이 비싼 단점을 지님. 반면에 수증기 부활은 비표면적은  $1000 \sim 1800 \text{ m}^2/\text{g}$ 으로 작아 단위면적당 정전용량은 작으나 알칼리 부활 활성탄소보다 경제적이므로 많은 사용이 이루어지는 추세임.
- 슈퍼커패시터용 전극활물질인 활성탄소는 일본의 관서열화학, 구라레이케미칼, 오사카가스의 3개사가 독점을 하고 있음. 현재 슈퍼커패시터용 상용 활성탄소 소재의 용량은 약  $140 \text{ F/g}$ ,  $60 \text{ F/cc}$  (half cell 기준) 수준에 머무르고 있음. 궁극적으로 신재생에너지 분야의 에너지 저장용이나 차세대 전기 자동차의 구동 동력으로 적용되기 위해서는 기존 수입 활성탄소 대비 성능을 크게 향상시킬 수 있는 초고성능 활성탄소 전극 소재와 전극 구조의 개발이 요구됨.
- 중국에서 생산된 활성탄소는 낮은 가격 경쟁력으로 지속적인 생산과 판매 중에 있음. 대학과 연구소의 연구방향이 수계 의사커패시터의 활물질 중심으로 이루어졌기 때문에 비수계 중심의 산업방향과 역행하여 상용화 사례가 거의 없는 것으로 파악됨. 또한 최근에 국내 기업들에 의하여 국산화 노력이 있으나 아직까지 성능이 부족하여 수입대체를 이루지 못하고 있음.

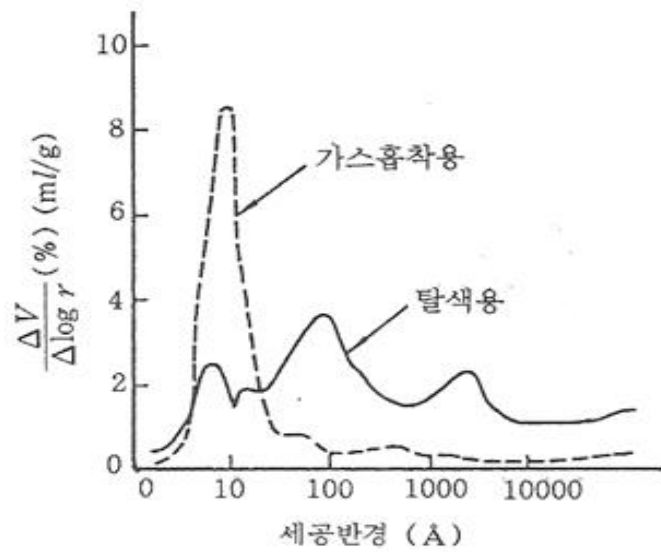


그림 4) 기상용 활성탄과 액상용 활성탄

- 활성탄 제조에 있어서 활성화(activation) 목적
- 기본 목적: 단위량 당 흡착유효 표면적을 확대 -> 세공 설계 방법이 2 가지로 나뉨.

표 5) 종류별 활성탄의 물성 비교

구 분	단 위	야자각 활성탄	석탄계 활성탄	목질계 활성탄
건조감량	%	33.2	37.2	33.7
휘발분	%	3.2	2.3	4.0
회분	%	3.6	11.6	2.3
충전밀도	g/ml	0.40	0.45	0.24
입 도	%	96.2	97.8	98.0
요오드 흡착력	ml/g	1,040	990	1,080
메틸렌블루 탈색력	ml/g	170	160	200
pH	-	9.5	8.9	5.5

표 6) 활성탄의 품질 규격

구 분	1 급	2 급	3 급
건조감량(%)	5 이하	5 이하	5 이하
경도(%)	90 이상	90 이상	90 이상
충전밀도(g/ml)	0.48 이하	0.52 이하	0.56 이하
요오드 흡착력(mg/g)	1,100 이상	1,000 이상	900 이상
벤젠평형흡착 성능(%)	35 이상	33 이상	30 이상
입도(%)	95 이상	90 이상	90 이상

○ 활성탄소 연도별 특허출원동향

- 활성탄소 분야는 '90년대부터 특별한 기록이 없이 꾸준하게 일정량의 특허가 출원됨.

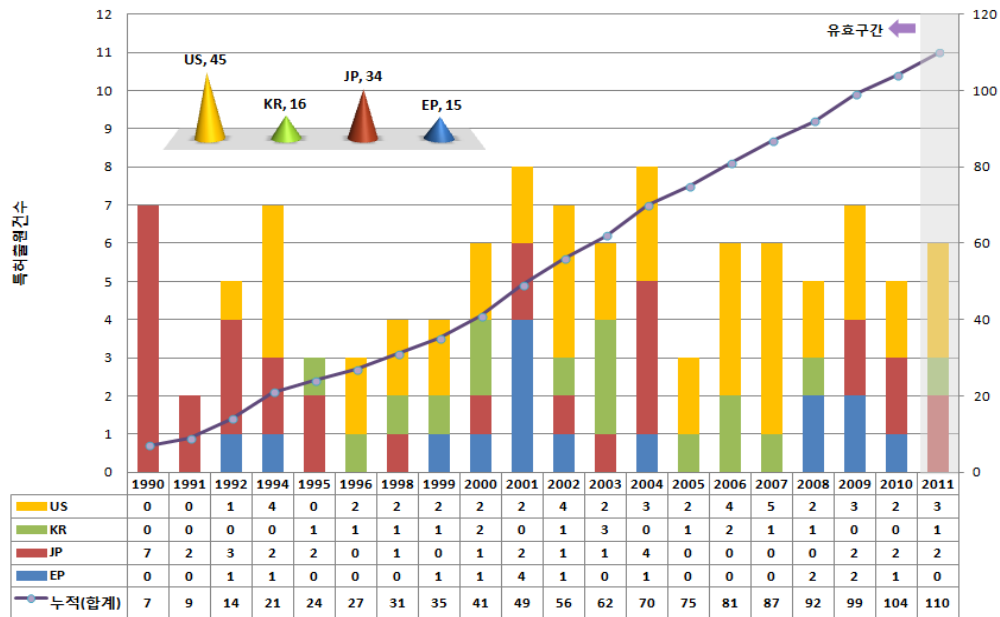


그림 5) 활성탄소 기술 분야 특허 출원동향

- 원료별 동향을 보면, 콜타르 관련 특허가 대부분을 차지하고 있으며, 아크릴로 니트릴 관련 특허는 '90년대 이후 출원이 되지 않고 있음.

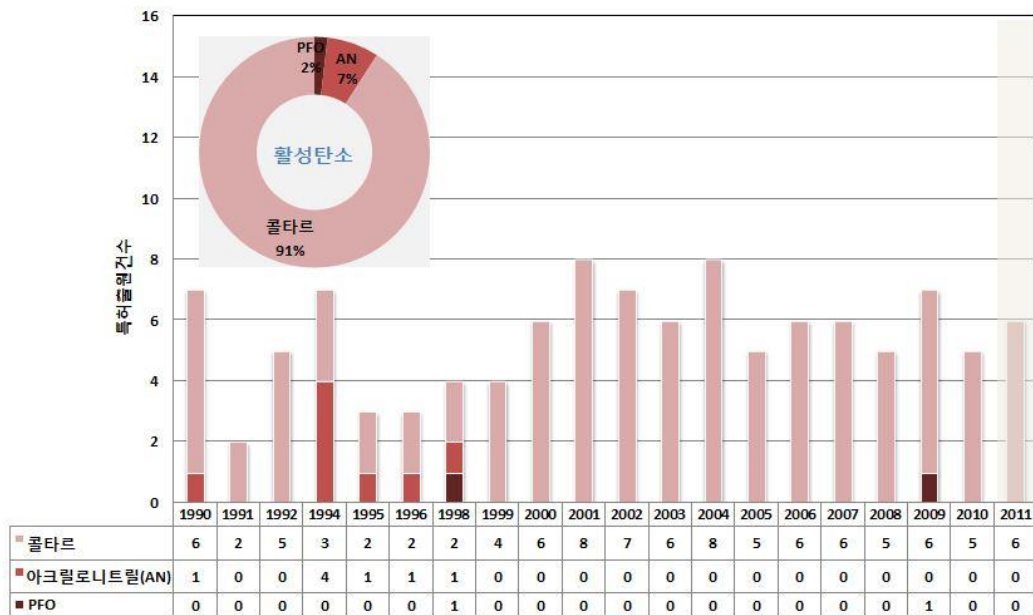


그림 6) 활성탄소 세부기술 분야별 특허 출원동향

- 활성탄소 주요출원인 동향
- 활성탄소 분야 주요 출원인은 큰 차이 없이 미국의 Corning, Mead Wesvaco, 일본의 JFE, Kureha Chem, Mitsui, Toray, 독일의 Siemens, Blucher, 영국의 Foseco Int로 나타났으며, 주요 출원인의 기술 역점분야는 대부분의 출원인이 콜타르 관련 특허만 출원하고 있고, Mitsui에서 만 아크릴로니트릴 관련 특허를 출원하고 있음.

표 7) 활성탄소 주요 출원인 분석(Top 10)

Top 10	출원인	US	KR	JP	EP	특허합계
1	Corning	5	0	0	2	7
2	JFE	0	0	6	1	7
3	Siemens	4	0	1	2	7
4	Blucher	4	0	1	1	6
5	Foseco Int	4	0	0	1	5
6	Kureha Chem	1	0	2	1	4
7	MEAD WESTVACO	3	0	0	1	4
7	Mitsui	1	0	2	1	4
8	Toray	0	0	4	0	4
8	Westvaco	4	0	0	0	4
Top 10 출원인 비중: 47.3% (52건/총 110건)						



그림 7) 활성탄소 주요 출원인별 기술 역점분야 분석

○ 활성탄소 출원인 국적별 기술력지수(TS) 분석

－ 출원인 국적별 기술력 지수는 미국, 일본, 독일, 한국 순으로 나타났음. 미국의 기술력이 상대적으로 매우 높은 단계에 있는 것으로 보임.



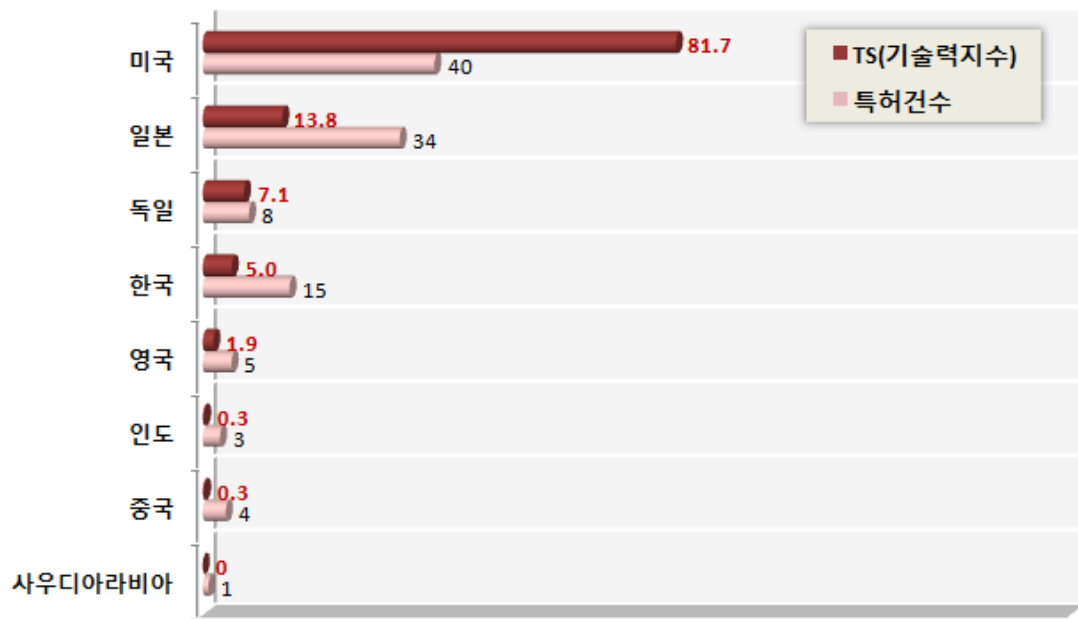


그림 8) 활성탄소 출원국적별 기술력지수(TS) 분석

○ 활성탄소 주요 출원인별 시장확보지수(PFS) 분석

- 주요 출원인별 시장확보지수는 영국의 Foseco Int, 독일의 Siemens, Blucher의 순으로 나타나, 유럽 국가들이 미국과 일본에 비해 높은 시장확보지수를 보임. 미국과 일본이 높은 기술력지수를 가지고 있으나, 시장은 영국과 독일이 우위에 있는 것으로 나타남.

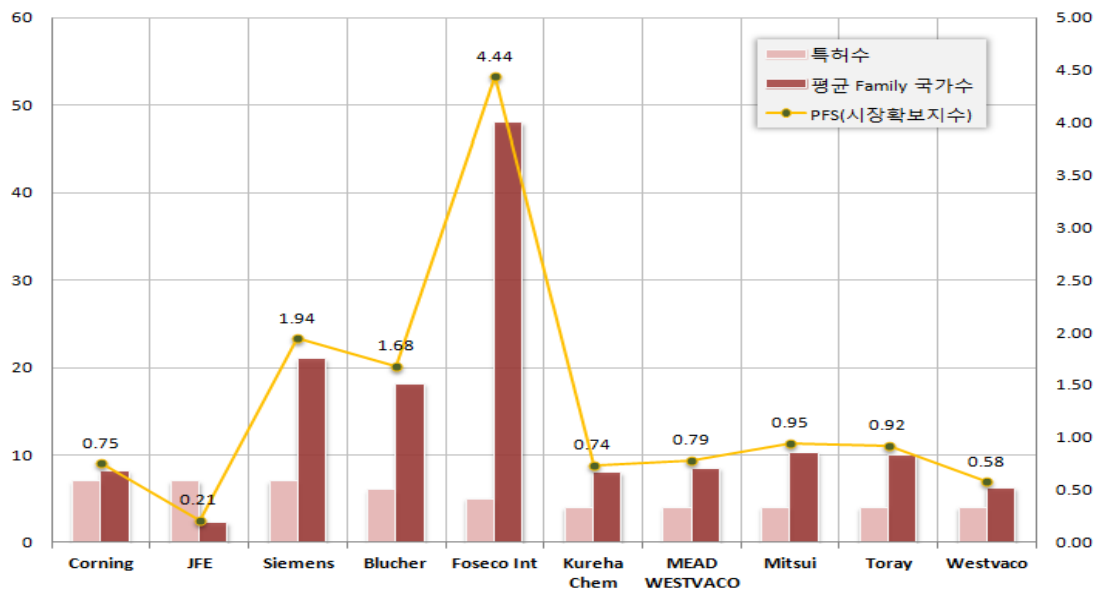


그림 9) 활성탄소 주요출원인별 시장확보지수(PFS) 분석

## □ 국내차원

- 국내 업체들의 개발실적은 전무한 상태로 고분자 분리막의 성능을 증가하는 동시에 기계적 강도를 고려한 탄소막의 개발이 성공한다면 국내 분리막 시장뿐만 아니라 충분히 국제 경쟁력을 가질 것으로 판단됨.
- 폐 슬러지를 원료로 활성탄을 제조하고 이를 폐수처리에 활용하는 방안은 폐수처리 비용의 절감과 폐기물의 재활용 측면에서 매우 바람직함. 그러나 폐 슬러지가 발생하는 하수처리장에 따라 폐 슬러지의 유기물 함량, 무기물 함량, 수분 함량 등이 다르기 때문에 이러한 특성들에 기초하여 활성탄 제조공정을 최적화하고 폐수 중의 염료나 중금속 이온들의 흡착특성들을 규명하려는 노력이 아직까지는 미흡한 실정임.
- 폐 슬러지로 제조된 활성탄이 폐수처리에 실용화되기 위해서는 지금까지의 실험실적 연구결과들을 보완하고 이를 토대로 파일럿 규모이상의 제조공정 연구와 실제 폐수를 사용한 연구결과들이 더 필요할 것으로 판단됨.
- 그 동안 폐 슬러지는 주로 해양 배출, 매립, 소각과 같은 단순한 방법으로 폐기 처리되어 왔으나 앞으로 환경규제가 강화됨에 따라 이들의 폐기처리 비용이 증가될 것으로 예상.
- 또한 폐 슬러지 뿐 아니라 농업부산물이나 유기물 함량이 높은 산업폐기물들도 활성탄 원료로 사용될 수 있기 때문에 이들을 대상으로 하여 제조단가를 최소화시킬 수 있는 활성탄 제조공정과 폐수처리에 응용하기 위한 연구들은 지속적으로 관심을 끌 것으로 예상.
- 국내에서도 하수 슬러지를 이용한 활성탄 제조에 관한 연구사례와 특허들이 등록되어 있으며, 일부 하수종말처리장에서 하수처리 부산물의 부피를 최소화시키고 재활용이 가능한 탄화물을 얻기 위하여 슬러지를 건조한 다음 열분해하는 시설을 구비함.
- 그러나 이러한 탄화물들의 흡착특성과 염료나 중금속을 제거하기 위한 흡착제로 응용하기 위한 연구결과는 빈약한 실정임.
- 앞으로 국내에서 폐 슬러지로 활성탄을 제조하여 이를 폐수처리에 적용하기 위한 연구를 수행한다면, 활성탄 제조단가를 최소화할 수 있는 제조공정 연구, 제조된 활성탄의 구조 및 표면화학적 특성 분석, 실제 폐수처리 조건에서의 흡착성능 연구에 초점을 맞추어 수행되는 것이 바람직함.

## □ 출처

- C-산업 탄소소재 기술동향 자료