

유해가스 제거용 침착활성탄의 이용

이 후 근 · 오 원 진 · 박 현 수 · 박 영 태*

1. 서 론

산업화와 더불어 대기 배출오염원과 그 종류가 다양해 지고 있어 점차 인체에 유해한 대기 오염물질에 대한 관심이 높아지고 있다. 원자력 시설에서 배출되는 방사성 요오드는 휘발도가 높고, 인체에 미치는 위해도가 매우 크기 때문에 요오드 염(KI+I₂),¹ triethylene-diamine (TEDA)² 또는 이들을 혼합한 침착활성탄을 사용하여 효율적으로 제거할 수 있다. 원래 아민 침착활성탄은 여러 가지 할로겐 유해가스를 활성탄 표면에서 안정된 염으로

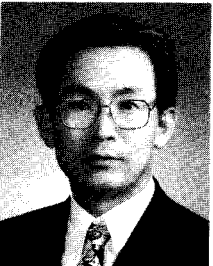
만들기 위해서 개발되었다.³ 유기요오드 중 특히 CH₃I를³ 제거하기 위하여 이러한 아민 침착활성탄이 Collins 등에 의해서 제시되었다.⁴ 또한 생활폐수, 오물, 하수종말처리장, 공장폐수 등의 처리시설에 있는 탈취장치, 소각시설의 배가스 처리장치, 일반 산업체에서 발생하는 유해가스 제거장치, 반도체 제조시설의 유해가스 흡착장치, 화학공장의 정밀 기기를 보호하기 위한 부식가스 제거장치, 군용 방독면, 산업 근로자의 방독면, 사무 및 주거시설의 공기청정장치 등에 다양한 침착활성탄이 이용되고 있다. 예를 들어 국내 환경기초시설 중 하수분뇨 처리장의 주요



이후근
1981 전남대학교 화공과
현재 원자력연구소 핵연료주기 방사성폐기물 처리 기술개발분야 책임연구원



박현수
1968 고려대학교 화공과
1981 프랑스 스트라스 불그 국립공과대학원(ENSCS)(박사)
현재 원자력연구소 후행핵연료주기 연구그룹 그룹장



오원진
1975 연세대학교 화공과
1983 '83 Toulouse 국립공과대학(박사)
현재 원자력연구소 핵연료주기 방사성폐기물 처리 기술개발분야 부장



박영태
조선대학교 화공과
충남대학교 대학원(석사·박사)
현재 (주)한일그린텍 부사장

Application of Impregnated Carbon for Removing the Harmful Gases

한국원자력연구소 (Hoo-Kun Lee, Won-Zin Oh, Hyun-Soo Park, Korea Atomic Energy Research Institute, P. O. Box 105, Yusung, Taejon, Korea)

*한일그린텍(주) (Young-Tae Park, 17, Eunsan-Ri, Eunsan-Myeun, BooYeo-Kun, Chunnam-Do, Korea)

악취물질로는 황화수소와 암모니아로 보고되고 있다.⁵ 이와 같은 악취가스를 탈취하기 위한 방법 중 흡착기술이 가장 발달하였으며, 흡착제로는 활성탄 및 침착활성탄 등이 개발되어 사용된다.^{6,7} 공기 중의 유해가스에 대한 활성탄의 흡착 친화도가 낮으면 탈취조작시간이 짧다는 단점이 있으므로 화학적 침착물질을 첨가한 침착활성탄을 사용하면 탈취효과도 증대되고 탈취조작 운전시간을 훨씬 연장하는 것이 가능하므로 탈취조작에서 경제적이다.

흡착속도와 흡착탑을 설계하기 위해서는 일반적으로 파과곡선을 이용하는 것이 유용하나 대상 기체의 농도가 ppm 또는 ppb 정도이기 때문에 탈취조작에서 파과곡선을 측정하는 것은 실험실 조건에서조차도 상당히 많은 시간을 요구한다. 이러한 이유로 탈취기술은 개발이 진전되지 않고 흡착탑을 설계하기 위한 자료는 일부 있으나,⁸ 실제 흡착탑 설계에 유용한 동적 흡착기동 자료는 거의 없다.

그러므로 본 고에서는 원자력 시설에서 방사성 요오드를 제거하기 위해 사용되는 TEDA/KI 침착활성탄, 악취가스 중의 암모니아에 대한 H₃PO₄ 침착활성탄 그리고 황화수소 제거용 Na₂CO₃/KI 침착활성탄에 대한 침착시약의 침착을 영향과 고정층 흡착시험을 통해 유해가스의 등온흡착평형, 파과곡선 그리고 TG-DTA 분석을 수행하여 활성탄과 침착활성탄의 흡착과 탈착특성을 분석하였다. 이러한 결과는 유해가스 제거용 흡착탑의 운전 설계 및 부가가치가 높은 침착활성탄을 상품화할 수 있는 기초자료로 활용될 수 있으며, 대기오염을 방지하여 환경오염에 대한 피해를 방지할 수 있고, 산업체에서 종사하는 작업자와 산업시설 주변 주민에 대한 보건적 안전성 향상에 기여할 수 있을 것이다.

2. 침착활성탄 제조

침착활성탄 제조법에는 침착수용액에 함침법, 침착시약의 휘발성을 이용하는 승화법 등이 있으나 가장 일반적으로 이용되고 있는 방법은 함침법으로 유해기체에서 처리에 적합한 침착시약을 선정하여 적당량을 수용액에 용해하여 일반 활성탄을 침착수용액에 함침하고 건조하여 제조한다. 침착시약이 활성탄 기공 내에 균일하게 분포되어 침착되어야 하므로 침착활성탄 제조에서는 침착공정과 건조공정이 중요한 공정이고 침착활성탄의 제조 후 보관상태도 침착활성탄의 성능에 미치는 영향이 크다. 그러므로 침착활성탄의 제조에서는 침착수용액의 농도, 점도, 친화성, 침착공정 온도 그리고 침착수용액 제조를 위한 침착시약의 첨가순서, 그리고 건조온도 등이 매우 중요하다.

침착활성탄의 제조공정은 1) 입상활성탄 선별, 2) 건조, 3) 일반 활성탄의 침착수용액 침착(impregnation),

4) 건조, 5) 선별, 6) 포장 등의 순서이다. 먼저 기상용으로 사용되는 아자각 일반 활성탄을 -8+16 mesh로 선별하고 활성탄에 포함된 수분을 제거하기 위해서 110 °C에서 건조한다. 이후 일정량의 침착시약을 증류수에 용해시키고 침착시약의 양은 침착율에 따라 결정될 수 있다. 초기 일반 활성탄의 무게와 건조 후 침착활성탄의 무게비로서 침착율을 계산하기도 하고 비색분석법을 사용하기도 한다. TEDA 침착활성탄의 경우 비색분석법으로 침착율을 분석하기 위하여 침착활성탄을 소량 채취하여 아세트나이트릴 용액으로 침착제를 추출한 후 spectrophotometer를 사용하여 침착제 농도를 측정할 수 있다.

실험실적 침착활성탄의 제조법의 예를 기술하면, 방사성 요오드 제거용 TEDA/KI 침착활성탄의 경우 -8+16 mesh의 입자분포를 갖는 건조된 기상용 일반 활성탄 100 g을 비이커에 넣고 5 w/v%의 TEDA 또는 KI 수용액 120 cc에 약 30분 동안 침착시키고, 침착된 활성탄은 건조기에서 TEDA의 경우 90 °C, KI의 경우 110 °C에서 건조하여 수분을 제거한다.

이와 같이 제조된 침착활성탄은 공기 중의 수분이거나 다른 이물질에 의해서 열화 파괴되는 것을 방지하기 위하여 밀폐 용기에 넣어 보관한다.

3. 침착활성탄 성능 및 흡착특성

3.1 침착활성탄의 기공구조 분석

일반 활성탄 및 침착활성탄의 비표면적과 기공크기 분포도는 일반적으로 사용되는 BET법을 사용하여 침착시약의 침착율에 따라 침착활성탄의 기공 표면적에 대해서 분석하였다. TEDA 침착활성탄의 기공 표면적 분석결과 는 표 1과 같으며, 기공 표면적은 2% TEDA 침착활성탄의 경우 일반 활성탄에 비해 평균 6~8% 감소하였고, 5% TEDA 침착활성탄의 경우에는 약 14% 감소하였으며, 침착율에 따라 활성탄 기공의 표면적이 감소되는 것으로 나타났다.

H₃PO₄ 침착활성탄의 경우 비표면적은 표 2와 같이 일반 활성탄에 비해 약 11% 정도 감소하였고 단위무게당 총 기공부피는 약 9% 정도 감소하였으나, 미세기공 부피의 감소율은 약 23%로서 가장 크게 나타났는데 이

표 1. TEDA 침착활성탄의 기공 표면적 분포

특 성	시 료		
	일반 활성탄	2% TEDA 침착활성탄	5% TEDA 침착활성탄
비표면적(m ² /g)	1,483	1,371	1,275
평균기공 반경(A)	15.32	15.31	15.30
미세기공 부피(cc/g)	0.52	0.48	0.45
겉보기 밀도(g/cc)	0.47	0.48	0.49
Void Fraction	0.39	0.39	0.39

표 2. H₃PO₄ 침착활성탄의 기공크기 분포

특 성	시 료	일반 활성탄	H ₃ PO ₄ 침착활성탄
비표면적(m ² /g)		1,290	1,150
평균기공 반경(Å)		11.61	9.47
전체기공 부피(cc/g)		0.46	0.42
미세기공 부피(cc/g)		0.42	0.32
겉보기 밀도(g/cc)		0.41	0.42
Void Fraction		0.46	0.46

러한 이유는 미세세공에 침착되는 H₃PO₄의 분율이 높거나 또는 일부 H₃PO₄이 미세세공을 막아버린(blocking) 결과로 해석된다.

3.2 실험

실험장치와 방법을 간략히 기술하면, 흡착층에 침착활성탄을 충전한 후 일정 온도와 상대습도로 조절된 공기를 통과시켜 전처리를 실시하고 일정 농도의 가스를 흡착층으로 유입시켜 흡착실험을 실시하였다. 흡착실험이 완료된 후 흡착량을 측정하고 건조공기로서 탈착실험을 실시하며 탈착평형이 이루어질 때까지 탈착후 흡착된 가스의 잔존량을 측정한다.

메틸요오드 기체 농도는 기체크로마토그래피(detector: FID)로 분석하고, 암모니아와 황화수소는 가스검지관법, 인도 페놀법과 메틸렌블루법을 사용하여 농도를 측정하였다. 메틸요오드는 실험장치에서 발생하여 사용하였고, 암모니아와 황화수소는 한국표준연구소에서 일정농도로 희석한 표준가스를 이용하였다. 각각의 실험조건은 표 3에 제시되어 있다. 아울러 활성탄과 암모니아의 흡착상태를 분석하기 위하여 열중량 및 시차열분석(TG-DTA, Thermo Gravimetric-Differential Thermal Analysis, Setaram사 제품 모델: TG-DTA 92)을 수행하였다.

3.3 흡착거동 분석

3.3.1 유기요오드 흡착

그림 1에는 30 °C, 건조조건에서 일반 활성탄을 및 2%, 5% TEDA 침착활성탄에 의한 메틸요오드의 등온흡착곡선을 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 유입농도가 10⁻⁴ gmole CH₃I/L 이하에서는 침착활성탄의 종류에 무관하게 흡착량은 비슷하나 그 이상의 농도에서는 침착활성탄의 침착율이 증가할수록 흡착량이 감소하는 것으로 나타났는데 5% TEDA 침착활성탄에 의한 메틸요오드 최대흡착량은 일반 활성탄에 비해 약 15% 정도 감소하였다. 이러한 결과는 표 1에 나타난 바와 같이 침착활성탄의 침착율이 증가할수록 기공 표면적이 감소하여 흡착량에 차이를 나타내기 때문이다. 또한 TEDA 침착의 효과를 관찰하기 위해 일반 활성탄을 2%, 5% TEDA 침착활성탄에 의한 최대흡착량을 비교하였을 때 비표면적의 감소비율만큼 감소하지 않고 약간 높은 값을 나타낸 점을 보면 TEDA 침착효과를 보이고 있는 것으

표 3. 고정층 흡착실험의 운전조건

변 수	유기요오드	암모니아/황화수소
기체유량(L/min)	40	1.0
기체 선속도(cm/sec)	26	14.9
고정층 직경(cm)	3~5	1.76
유입농도	3~6×10 ⁻⁵ (mol/L)	0~400(ppm)
기체 및 고정층 온도(°C)	30	30

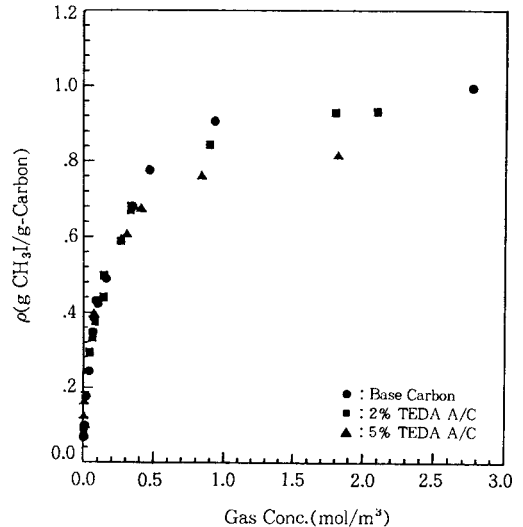


그림 1. Equilibrium adsorption isotherms of methyl iodide on various carbons at 30 °C.

로 해석된다. 그러나 이러한 차이는 실험오차범위로 생각할 수 있기 때문에 이를 명확히 분석하기 위하여 등온탈착평형실험을 수행하였다.

그림 2에는 일반 활성탄, 2% 및 5% TEDA 침착활성탄을 사용하여 메틸요오드의 탈착 후 잔존량을 나타내었는데, 침착활성탄의 탈착 후 잔존량은 침착율에 따라 증가하였으며 2% 침착활성탄은 5×10⁻⁴ gmole CH₃I/g, 5% TEDA 침착활성탄의 경우는 9.5×10⁻⁴ gmole CH₃I/g으로 메틸요오드와 TEDA와의 화학반응에 의한 화학양론적 양과 거의 일치하였다. 탈착 후 침착활성탄에 잔존하는 메틸요오드의 화학적 특성을 파악하기 위한 열중량분석을 수행한 결과 TEDA와의 화학반응에 의한 잔존량임을 확인하였다. 그러나 흡착열은 55-65 J/g으로 결합력은 매우 약한 것으로 보인다.

3.3.2 수분 흡착

일반 활성탄, 2%, 5% TEDA 침착활성탄의 등온수분흡착곡선을 그림 3에 나타난 바와 같이, 상대습도 약 40% 이상에서는 활성탄 기공내의 모세관응축에 의하여 수분흡착량이 급격히 증가함을 보였다. 그러나 침착율에 따른 수분흡착량은 상대습도 약 60-70% 부근을 분기점으로 하여 이 이하의 습도조건에서는 침착활성탄의 침착율

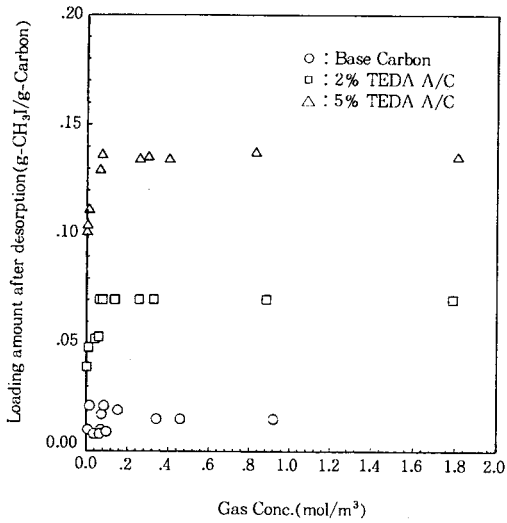


그림 2. Equilibrium desorption isotherms of methyl iodide on various carbons at 30 °C.

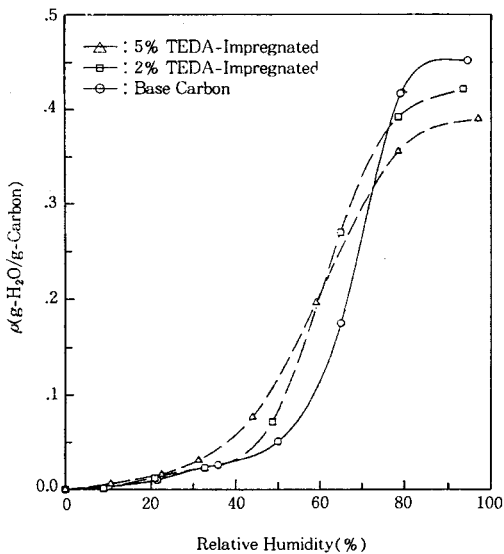


그림 3. Water vapor adsorption isotherm on various carbon adsorbents.

이 증가함에 따라 수분의 흡착량이 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 활성탄에 침착제가 침착됨에 따라 활성탄의 기공반경이 감소하고 TEDA의 수분에 대한 친수성이 선택적으로 크기 때문에 침착비율이 증가함에 따라 수분흡착량이 증가하는 것으로 여겨진다. 그러나 상대습도 60-70% 이상의 높은 습도조건에서는 침착활성탄의 침착율이 증가함에 따라 수분흡착량이 감소함을 보였다. 이는 포화증기압 부근에서는 수분흡착의 주 지배기구가 활성탄 기공내에서의 모세관 응축현상이기 때문에 활성탄의 기공체적에 큰 영향을 받을 것으로 생각되며, 표 1에서

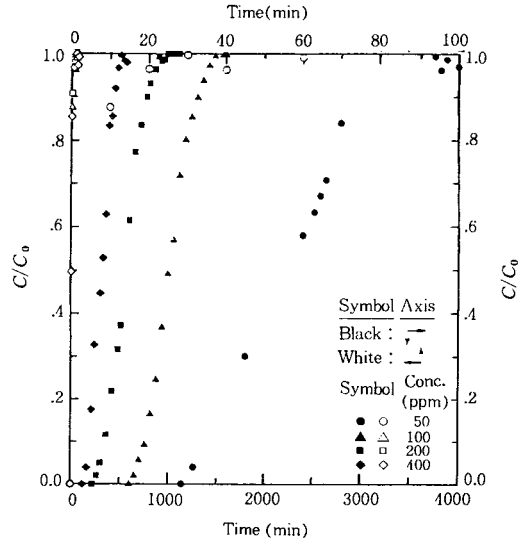


그림 4. Breakthrough curves of NH_3 adsorption for the 5% H_3PO_4 impregnated and base activated carbon at various input concentration (white symbol: base carbon, black symbol: impregnated carbon).

제시한 바와 같이 침착활성탄의 침착율이 증가함에 따라 기공체적이 감소하기 때문에 나타난 결과임을 알 수 있었다. 침착에 따른 수분의 최대 흡착량은 2% TEDA 침착 시 비침착에 비하여 약 6% 감소하였고, 5% TEDA 침착의 경우는 약 13% 감소하여 침착에 따른 기공체적의 감소율과 비슷하였다.

3.3.3 암모니아 흡착

본 실험에서는 일반 활성탄, H_3PO_4 침착활성탄을 고정층에 충전하여 25 °C의 일정온도 하에서 파과곡선을 구하는 실험을 수행하였고 각각 50, 100, 200, 400 ppm 농도에 따른 파과곡선을 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이 침착활성탄의 흡착용량이 일반 활성탄에 비해 훨씬 우수하며 파과점이 수백배 이상 지연되는 것으로 나타났다. 그리고 일반 활성탄 및 H_3PO_4 침착활성탄의 암모니아 흡착 탈착평형을 측정하여 그림 5에 도시하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 H_3PO_4 침착활성탄의 암모니아 가스에 대한 최대 흡착량과 탈착 후 최대 잔존량은 11 mg/g과 8 mg/g이고, 일반 활성탄에서는 2 mg/g과 1.5 mg/g으로 나타났다. 즉, H_3PO_4 침착활성탄은 일반 활성탄에 비해 최대 흡착량이 약 6배 이상 증가한 것으로 나타났으며, 탈착 후 최대 잔존량도 일반 활성탄에 비하여 약 5배 이상 증가한 것으로 나타났다. 그러므로 침착활성탄을 사용한 경우가 일반 활성탄을 사용한 경우에 비해 흡착용량이 매우 뛰어나서 실제 현장에서 적용시 파과점이 나타나는 시간이 지연되어 침착활성탄을 사용할 경우 탈취공정에서 흡착조작 수명이 수백 또는

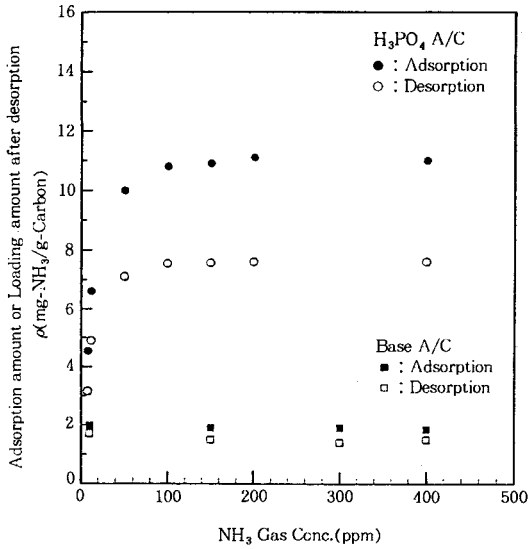


그림 5. Adsorption and desorption isotherms of NH_3 on base activated carbon and H_3PO_4 impregnated carbon at 30°C .

수십배 이상 증가하는 것이 가능하고 흡착능도 훨씬 뛰어난 것으로 나타나 침착활성탄을 사용하는 것이 바람직하다. 이러한 결과에 의해 유해가스용 침착활성탄은 일반 산업시설에서 발생하는 유해가스를 제거하는데 적합하다고 판단된다.

3.3.4 황화수소 흡착

일반 활성탄과 침착활성탄의 고정층 흡착거동을 측정하였고 또한 방사성 요오드 제거용 KI 침착활성탄을 사용하여 황화수소 흡착거동을 비교하였으며, 그 결과를 그림 6과 7에 나타내었다. 이 결과에서 보는 바와 같이 KI 침착활성탄의 황화수소 흡착능은 일반 활성탄과 Na_2CO_3 침착활성탄에 비해 상당히 우수한 결과를 보여주고 있다. 또한 Na_2CO_3 침착활성탄의 경우 H_2S 와 Na_2CO_3 의 화학반응 정도만큼 화학결합을 하여 안정하게 되는 것으로 나타나 탈착이 일어나는 경우에도 침착활성탄이 일반 활성탄에 비해 더 우수한 것으로 판명되었다. 이러한 결과에 의하면 황화수소의 경우 KI 침착활성탄을 사용할 경우 일반 활성탄과 Na_2CO_3 침착활성탄에 비해 탈취조작 수명이 수배 또는 수십배 이상 사용 가능하고 흡착능도 훨씬 뛰어나다.

3.3.5 암모니아가 흡착된 활성탄의 열중량분석

H_3PO_4 침착활성탄 및 일반 활성탄에 흡착된 암모니아의 흡착상태를 규명하기 위하여 TG-DTA 분석을 수행하였으며 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 일반 활성탄의 열중량분석 결과(그림 8의 곡선 C)를 보면, 약 130°C 부근에서 일반 활성탄에 존재하는 수분이 대부분 증발하는 것으로 나타났고, 그 이후에는 완만하게 무게 감소가 일어나다가 400°C 이상에서는 무게 감소의 변화

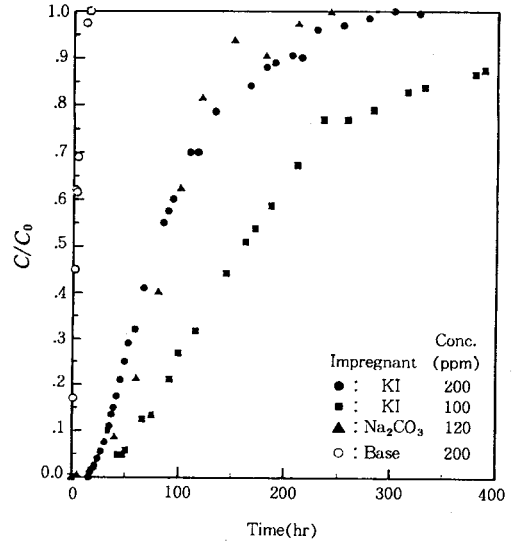


그림 6. Breakthrough curves of H_2S adsorption on the various activated carbons.

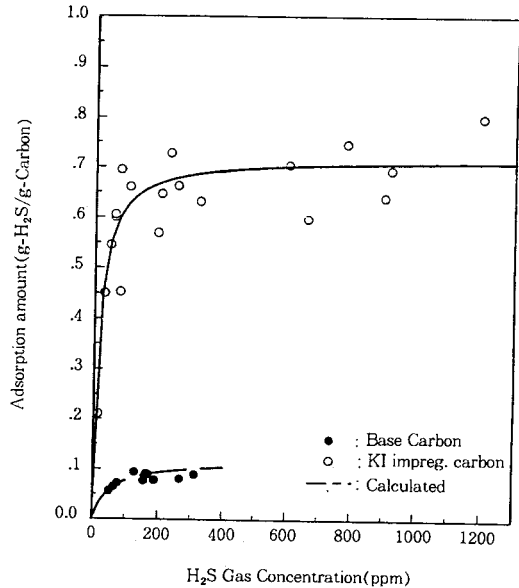


그림 7. Adsorption isotherms of H_2S gas on base and KI impregnated carbon adsorbent.

가 거의 없는 것으로 나타났다. 일반적으로 활성탄 표면은 산소 또는 산화성 기체와 반응하여 국부적으로 산화가 되며, 표면 화학구조의 분석 결과에 의하면 활성탄의 화학구조는 200°C 이하에서 안정한 것으로 알려져 있다.¹⁴ 또한 활성탄의 열분해 시험결과를 보면, 온도를 증가시키면서 배출되는 기체의 성분을 분석한 결과 탈착되는 성분은 CO_2 , CO , 수증기로 나타났다. 그리고 탈착되는 성분중 CO_2 는 CO 에 비하여 덜 안정된 상태이며 300°C 정도에서 CO_2 가 열분해되어 탈착되고, 이때 산소와 결합한

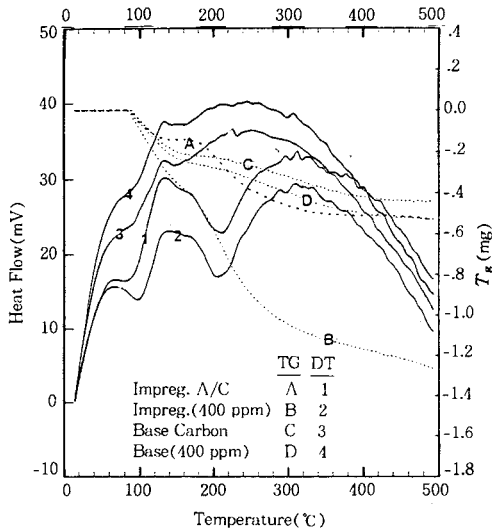


그림 8. TG and DTA curves for H_3PO_4 impregnated and unimpregnated activated carbon adsorbed NH_3 .

표면의 화학구조는 주로 carboxylic 기능기로 되어 있다. 반면에 CO는 고온에서도 상당히 안정한 상태로 존재하며 500 °C 이상의 온도에서 열분해되어 탈착하는 것으로 나타났다. 이러한 결과와 비교하면 200 °C 이상에서 무게 감소가 완만하게 일어나는 것은 주로 활성탄 표면에 형성된 화학적인 기능기와 결합한 산소가 CO_2 형태로 떨어져 나가기 때문으로 생각된다. H_3PO_4 침착활성탄에 대한 DTA 곡선(그림 8의 곡선 1과 2)을 보면, 발열피크가 200 °C ~ 220 °C 범위에서 크게 나타났으며 이는 주로 인산 성분이 탈착함에 따라 나타난 결과로 해석된다.

일반 활성탄, 침착활성탄 및 암모니아가 흡착된 일반 활성탄에 대한 열중량 실험결과와 정량적인 실험 데이터(표 5)를 분석하면 다음과 같다. 500 °C에서 최종 무게 감소량의 경우에는 암모니아가 흡착된 H_3PO_4 침착활성탄(3%) > H_3PO_4 침착활성탄(1.5%) > 암모니아가 흡착된 일반 활성탄(1.45%) > 일반 활성탄(1.25%) 순으로 무게감소율이 나타났다. 일반 활성탄에 화학흡착된 암모니아는 약 150 °C 부근에서 분해하기 시작하여 300 °C에서 완전 분해되는 것으로 보여지며, H_3PO_4 침착활성탄의 경우에는 500 °C에서 인산의 최종 무게감소율이 0.28%로 나타나 5% H_3PO_4 침착활성탄 중 침착된 인화합물은 결합력이 강하여 일부분만이 떨어져 나간 것으로 생각된다. 또한 암모니아가 흡착된 5% H_3PO_4 침착활성탄의 온도 증가에 따른 무게감소 변화곡선을 보면 150 ~ 300 °C 온도범위에서 암모니아가 약간 분해하는 것으로 나타났으며, 이는 표 5에서 보는 바와 같이 TG 실험에서 탈착된 암모니아의 양과 등온 흡착평형실험에서의 흡착량이 어느 정도 일치하고 있는 것으로 나타났다.

이상의 TG-DTA 실험결과를 종합적으로 고찰하여 본

표 5. 암모니아가 흡착된 활성탄의 열중량분석 결과

시료	초기 무게 (mg)	최종 무게감량 (mg) ¹	수분+불순물 탈착량 (mg)	인산 탈착량 (mg)	암모니아 탈착량 (mg/g) ³	암모니아 흡착량 (mg/g) ⁴
일반 활성탄	35.3	0.44	0.44	—	—	—
암모니아 흡착	36.53	0.53	0.456 ²	—	2.03 ³	2
일반 활성탄	35.62	0.54	0.440 ²	0.1	—	—
H_3PO_4 침착활성탄	41.73	1.27	0.522 ²	0.12	15.05 ³	11
H_3PO_4 침착활성탄						

¹ 500 °C에서의 최종 무게 감소량.

² 활성탄의 수분 + 불순물 탈착량은 모든 시료에서 동일하다고 가정(초기 무게의 1.25% 적용).

³ (최종 무게감량 - 수분, 불순물 양 - 인산 탈착량) / 초기무게 [mg- NH_3 /g-carbon].

⁴ 등온흡착평형 실험 결과.

결과, 일반 활성탄에 흡착된 암모니아는 약 150 °C 부근에서 탈착하기 시작하여 300 °C에서 완전히 탈착되는 것으로 여겨지고, 활성탄에 침착된 인산은 200 °C 부근까지는 안정한 상태로 존재하고, 200 °C 이후에는 증발하기 시작하지만 활성탄과 인산의 결합력은 강하여 침착된 양의 일부분이 탈착되는 것으로 생각되며, 이러한 결과로 볼 때 암모니아를 흡착할 경우 일반 활성탄보다는 H_3PO_4 침착활성탄을 사용하면 흡착성능뿐만 아니라 열적으로도 매우 유리하다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. E. G. P. Cornelissens, et al., "Adsorption of Gaseous Methyl Iodide by Active Carbons", *Proc. IAEA/SM-89/43*, 647 (1989).
2. J. L. Kovach, et al., TEDA vs. quinuclidine: "Evaluation and Comparison of Two Tertiary Amine Impregnants for Methyl Iodide Removal from Flow Air Stream", *Proceedings of the 17th DOE Nuclear Air Cleaning Conference*, 652 (1981).
3. F. E. Dolian and S. Hormats, "Impregnated Charcoal", *U. S. Report TDMR*, 767 (1943).
4. D. A. Collins, et al., "Development of Impregnated Charcoals for Trapping Methyl Iodide at High Humidity", *Proceedings of the 9th AEC Air Cleaning Conference*, CONF-660904, 1, 159 (1966).
5. 박상진 등, "韓國의下水處理場及びし尿處理場の惡臭特性", *惡臭の研究*, 23, 9 (1992).
6. 이후근, "침착활성탄에 의한 유해가스 흡착기술", 흡착제와 그의 활용에 관한 workshop(III), 1995. 8. 25-26, 한양대학교.
7. Ralph T. Yang, "Gas Separation by Adsorption Process", p. 7, Butterworths, 1987.
8. 清水 博, "吸着技術ハンドブック", p. 831, 株式會社, NTS, 1993.
9. 이후근 등, 특허출원 072819 (1994).
10. 이후근 등, 특허출원 23971 (1994).
11. R. C. Bansal, et al., "Active Carbon", p. 33, Marcel Dekker, Inc., NY, 1988.