

VOCs 방지기술현황 및 적용사례(3)



한화진 / 한국환경정책·평가연구원 연구위원

목 차

I. 서론

II. VOCs 방지기술 현황

1. VOCs 방지기술의 개요
2. 연소기술
3. 흡착·농축 기술
4. 흡수·응축 기술
5. 생물학적 처리 기술
6. 기타 최신기술

III. VOCs 방지기술의 적용사례

1. FTO를 이용한 황합유 VOCs 처리사례
2. 비열 플라즈마 기술을 이용한 VOCs 와 NOx 처리사례
3. 2단 재생 열산화 기술을 이용한 VOCs 배출처리 사례
4. 탄소 및 직물라이트 흡착제를 이용한 산업공정 배기가스로부터의 VOCs 제거사례
5. 미국의 합성유기화합물 제조공장 적용사례

IV. 결론



2.2.4. 무화염 열산화법(Flameless Thermal Oxidation : FTO)

열산화법중 가장 최근에 관심이 증대되고 있는 FTO는 많은 VOCs와, 폐수처리 배출증기, 유·무해쓰레기를 효과적으로 제거해 주며 염소화, 불화, 황화 VOCs를 포함해서 99.99% 이상의 안정적인 분해효율을 나타낸다. Thermal NOx를 거의 생성하지 않고 처리후에는 불완전 연소 생성물질(Products of Incomplete Combustion : PIC)과 일산화탄소가 검출되지 않는다.

(1) FTO의 특징

FTO는 유기화합물을 비활성 세라믹 대에서 연소과정이나 촉매없이 무해한 이산화탄소, 수증기 또는 쉽게 중화될 수 있는 산성 기체로 산화시킨다. 증기 혼합은 산화반응에서 완전히 분리되며 분리에 의해 PIC를 제거하면서 매우 좋은 유연성과 조절능력을 지니게 된다.

'다공 비활성 매트릭스'를 기본으로 하는 이 공정에서 매트릭스는 효율적이고 안정한 반응구역을 만드는데 필요한 조건을 제공하며 유기화합물의 발화한계밖에서의 무화염 산화를 가능하게 한다. 또한 매트릭스 내부의 산화속도가 매우 빨라 매트릭스내의 체류시간이 문제되지 않고 촉매산화

오래전부터 폭넓게 사용되고 있는 흡착법에는 「활성탄」이 사용되며 주된 흡착·재생방식은 온도차에 의한 VOCs 흡착량의 차이를 응용한 「TSA방식」이나 지올라이트 등의 새로운 흡착제의 흡착·재생방식이 개발되고 있다.

와는 달리 70%정도인 매트릭스내의 높은 공극률에 의해 시스템에 걸리는 압력강하가 매우 적다. 무화염 산화를 촉진시키는 다공 비활성 매트릭스의 3가지 특징은 내부구조(혼합과정 강화), 열관성(안정성 향상), 표면특성(열전달 촉진)으로 매트릭스의 성질은 할로젠화 화합물의 효과적인 감소를 가능하게 하며 각각의 활용조건에 따라 적절한 부식방지 물질이 사용될 경우 할로젠화 화합물은 분해효율이나 시스템의 수명에 영향을 주지 않는다. 또한 촉매가 없기 때문에 매트릭스의 오염이나 규화현상도 일어나지 않는다.

비용면에서 1파운드의 VOCs 처리에 무화염 열산화법은 총 0.72달러가 든 반면, 열 촉매법은 3달러 이상, 열산화법은 4달러 이상이 요구되는 것으로 조사되어 경제적인 VOCs 방지 기술로 등장하고 있다.

다공 비활성 매트릭스를 사용한 산화과정은 성능, 안전, 공정 관리면에서 많은 장점이 있는데 FTO의 일반적인 특징 및 장점은 다음과 같다.

특징

- ① FTO시스템은 연소법에 의해 1/10정도의 에너지를 사용하며 전체 단가는 연소법의 1/4정도이다.
- ② 산화기의 설계는 이동 부분이 없

고 완전자동화된다.

- ③ 연소불꽃이 없고 발생한 열이 닫힌 시스템 내부에 저장되므로 공해물질 배출원 가까이에 위치할 수 있다.
- ④ FTO는 오염물질을 99.99%이상의 효율을 제거한다.
- ⑤ 질소산화물이나 다이옥신이 생성되지 않는다.

장점

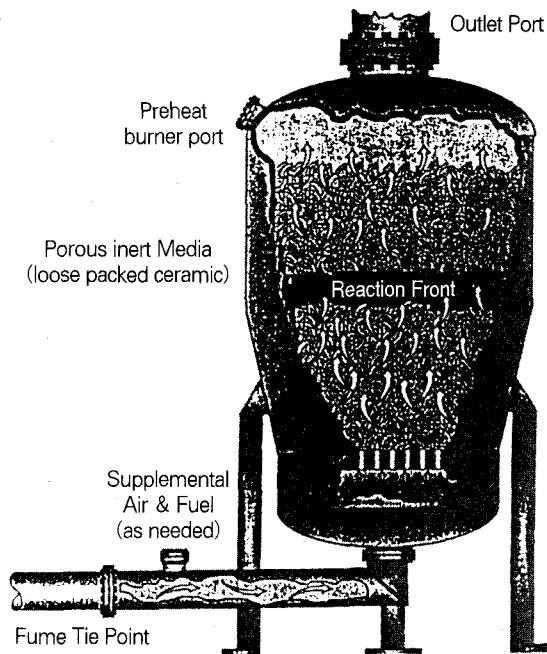
- ① 기존의 연소법에 비해 저렴하다.

② 유지비가 적게 든다.

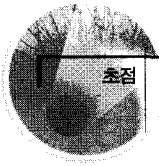
- ③ 운전자가 필요 없다.
- ④ 공장내의 휘발성 물질이 많은 곳에서도 사용할 수 있다.
- ⑤ 배관이 덜 필요하므로 저렴하다.
- ⑥ 다른 설비들은 이 정도의 효율로 VOCs와 HAPs를 제거하지 못하므로 더 훌륭한 대안이다.

(2) FTO 공정의 개요

〈그림 II-8〉은 FTO시스템을 나타낸 것이다. 화염처리전에 산화기가



(그림 II-8) 무화염 열산화시스템⁵⁾



예열되어야 하는 데 천연 가스가 충분히 연소될 수 있는 온도까지 세라믹 층의 상부가 예열된 다음 공기와 천연 가스가 산화기로 유입되고 산화기 층내에는 oxidation reaction front가 형성된다.

산화 반응 속도와 가스속도를 조절함으로써 제어되는 reaction front가 형성되면 천연가스와 희석용 공기(dilution air)를 조절하여 세라믹 층내에 유지시킨다.

첫 설비단계에서 매트릭스는 예열되어 원하는 온도에 도달하게 되면 전가열기는 시스템에서 완전분리될 때 증기 혼합과정이 시작될 수 있다. 정혼합기를 거친 증기가 반응기의 상온 혼합구역에 들어가면 난류에 의해 탄화수소와 공기가 완전히 혼합된다. 매우 큰 열량의 상온 혼합구역은 역류현상을 방지하여 시스템을 더욱 안전하게 만든다. 잘 혼합된 상온의 증기는 매트릭스를 통과하면서 871.1~982.2℃의 산화 온도까지 가열되어 반응구역에 도달하는 데 매트릭스는 모든 증기가 반응 구역으로 물리적으로 흘러들어가도록 설계되어 있어 유기화합물의 완전분해와 높은 파괴 및 제거 효율(destruction & removal efficiency : DRE)을 이룰 수 있다. 반응기내부의 최고 온도는 연소방법보다 매우 낮기 때문에 thermal NOx 생성을 방지하면서 효

율적으로 작동시킬 수 있고 발열성 산화반응중에 발생한 열은 매트릭스에 흡수되어 공정에 필요한 열 운동량을 유지시켜 준다. FTO는 증기의 양과 농도가 심하게 변화되는 배출물에도 이상적이다. 유기물질이 반응기로 유입되지 않을 경우에는 에너지가 열의 형태로 매트릭스내에 저장되어 단시간의 작동시 추가 에너지 공급이 필요 없으므로 매우 효율적인 증기 처리공정이라 할 수 있다.

작동이 매우 용이하고 시스템내의 반응을 공정 조건변화로 완충시키는 열 관성은 반응조절에 충분한 응답시간(response time)도 함께 제공한다. 공정관리 부분은 반응기 내부로 유입되는 증기의 엔탈피를 조사하여 적절한 작동온도를 유지시킨다. 유기물이 많거나 산소가 부족한 증기 혼합체인 경우 희석공기를 불어넣어 적절한 작동온도를 유지시키며 묽은 혼합기체인 경우 보조 에너지를 가하여 산화반응을 유지시킨다. 혼합 기체에 공기나 연료를 주입하여 간단히 온도를 조절하는 루프가 기본적인 공정조절체제이다.

(3) 무화염 열산화법의 상용화

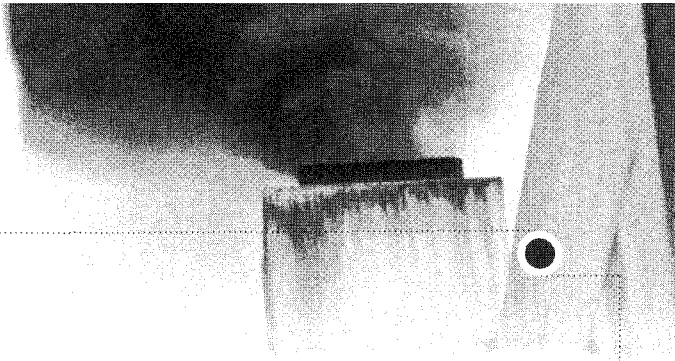
현재 무화염 열산화법은 Thermatrix Inc. 기술로 상용화되었는데 펄프공장의 황배출처리, 제조제 생산에서의 메틸렌클로라이드의 제거, 도금살균

(contract sterilization)회사의 에틸렌 옥사이드의 제거 및 정유회사의 경량 탄화수소 펌프에서 발생하는 일시적 배출가스의 처리 등에 이용되어 탁월한 효과를 나타내고 있다. 이러한 산업체에서의 적용을 통해 나타나는 무화염 열산화법의 장점은 다음과 같다.

- 할로젠화 유기화합물을 포함해서 99.99%의 DRE를 보장함.
- 2ppm이하의 질소산화물을 발생시킴.
- 분해공정에서 2차 유기 배출가스를 생성하지 않음.
- 배기를 10Btu/cf⁸이하로 자동조절하므로 효율적임.
- 특수한 환경에서도 안전하여 오염원 바로 주위에 설치가능함.
- 유기물질의 양변화에 대한 유연성으로 인해 안정하게 작동함.
- 완전 비활성인 매트릭스를 사용하고 촉매는 사용하지 않음.
- 작동비용을 감소시키는 더 높은 턴다운 능력이 있음.
- 배출가스 점검이 필요없음.
- 이후의 배출가스치 변화에 대한 잠재력이 향상됨.

(4) VOCs와 HAPs 조절용 무화염 열산화기 형태

VOCs와 HAPs를 조절할 수 있는 무화염 산화기는 사용연료와 디자인



〈표 II-6〉 VOCs와 HAPs 조절용 무화염 열산화기의 형태별 특징과 적용 예

종류 항목	GS Series ¹	GR Series ²	ES Series ³
산화기 고유특징	<ul style="list-style-type: none"> • VOC농도가 높은 배기에 적합함. • 위에서 아래, 혹은 아래서 위로의 전가열이 가능함. 	<ul style="list-style-type: none"> • VOC 농도가 낮은 배기에 적합함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 500scfm이하의 VOC배기에 적합함.
적용 예	<ul style="list-style-type: none"> • 공정환기 • 폐수처리 • Remediation • 연료저장/이동 	<ul style="list-style-type: none"> • 공정환기 • 폐수처리 • 열탈착기 폐가스 처리 • 페인트 작업실 	<ul style="list-style-type: none"> • 공정환기 • 폐수처리 • 일시적 배출가스 • Remediation
공통특징	<ul style="list-style-type: none"> • 염소화합물을 포함한 VOC의 99.99%이상 제거 • 극미량의 질소산화물 발생-2ppm이하 • 내열지역에 설치가능 		

주) ¹ 가스 前加熱 직접 통과형(Gas Preheated "Straight-through" design)

² 가스 前加熱 내부 열회수(Gas Preheated with "Internal Heat Recovery")

³ 전기 前加熱 직접 통과형(Electric Preheated, "Straight-through" design)

자료 : <http://www.thermatrix.com>

에 따라 크게 3가지 형태가 있으며 이들의 특징과 적용기능 분야는 〈표 II-6〉과 같다.

3. 흡착·농축기술(Adsorption & Concentration Technology)

3.1. 흡착기술

흡착법은 배출가스와 고형의 흡착제(adsorbent)가 접촉하면서 흡착제 표면에 배출가스가 포집되는 현상으로 배출가스내의 많은 화합물을 회수하거나 감소시킬 수 있는 효율적인 수단이다.

흡착법은 가스내의 흡착질(adsorbate)이 확산(diffusion)에 의

해 흡착제 표면으로 이동하고, 외부 표면에서 내부의 기공으로, 최종적으로 흡착제의 활성구역(active site)에 부착함으로써 이루어진다. 흡착정도는 가스상에서 흡착제 표면으로의 질량 전달구배(mass transfer gradient)에 의해 좌우되며 일반적으로 흡착제의 표면적이 증가하면 흡착되는 가스량도 증가한다. 흡착질은 온도를 높이거나 압력을 낮춤으로써 흡착제질로 분리(탈착)할 수 있으며 용매회수(solvent recovery)에 주로 사용된다. 또한 흡착법은 폐가스 중의 오염물질 농도가 극히 낮을 때, 오염물질이 비가연성일 경우에도 사용할 수 있으며 각종 유기화합물의 제거시 95~99% 이상의 제거효율을 나타낸다.

흡착장치는 흡착 및 재생이라는 두

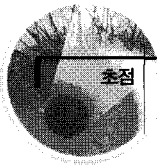
개의 연속과정을 거쳐 유기화합물을 제어하는데 흡착제에 흡착된 오염물질을 증기나 뜨거운 공기를 이용하여 분리한다. 흡착장치는 여러 개의 흡착층을 가지고 있어서 그 중의 하나가 흡착과정에 있으면 다른 층은 재생과정을 동시에 진행하게 된다.

3.1.1 흡착법의 적용 및 특징

흡착법은 일반적으로 처리대상 가스의 농도가 처리 전 10⁴ppm(1%) 이하인 것을 흡착제로 포집하여 처리 후 10²~1ppm으로 배출하는 조건으로 사용되고 있으며 예로부터 ① 인 쇄 ② 태잎 ③ 가공지 ④ 패킹 ⑤ 고무 ⑥ 섬유 ⑦ 도장 ⑧ 도료 ⑨ 잉크 ⑩ 접착 ⑪ 세정 ⑫ 저장탱크 ⑬ 반도체 등 각종 공업의 제조, 설비, 기기에서 배출되는 가스를 대상으로 폭넓게 이용되었다.

처리가스의 조건에 따라서는 흡착 성능의 장기적 안정유지를 위한 전처리 장치, 회수제의 정제 및 조질(調質), 또한 2차 오염방지를 위한 후처리 장치를 설치할 수도 있으며 그 사용법을 〈표 II-7〉에 제시하였다.

흡착법은 ① 처리대상물질 ② 처리 목적 ③ 흡착방식에 따라 분류되는데 처리대상 물질로는 용제, 각종 유해가스 등이 있고 이들의 단일 또는 혼합가스를 처리할 수 있다. 처리목



초집



〈표 II-7〉 2차 오염방지를 위한 처리장치

분류	목적	기기
전처리	<ul style="list-style-type: none"> 처리대상 가스를 흡착에 적당한 온도와 습도로 조정 흡착제 세공막힘을 방지하기 위한 불순물, 특히 고비점 화합물의 제거 	<ul style="list-style-type: none"> Gas Heater, Gas Cooler, Scrubber, Filter Water Spray
후처리	<ul style="list-style-type: none"> 회수용제의 정제 배수중 용제의 제거 	<ul style="list-style-type: none"> 증류, 탈수, 정제 분리 폭기, 증류, 폐액 연소
관련기술	<ul style="list-style-type: none"> 탈착중가를 감소시키기 위한 배기가스 측정에 의한 탈착 시간의 자동설정 탈착열 : 증기회수 및 재생에 이용 배수의 절감 배수중 용제를 증류, 제거하여 재활용 	<ul style="list-style-type: none"> 배기가스 농도 감시 시스템 증기 재생장치 무폐수 시스템 증류+배액연소

자료 : 한국환경정책·평가연구원 내부자료.

〈표 II-8〉 각종 흡착방식의 특징

흡착방식의 분류			
흡착제	재질	활성탄	탄소가 주성분, 섬유상은 순도가 높고 분해성 용제처리에 적합, 입상탄으로는 평형흡착량의 최대치의 40%, 저렴하나 가연성이 결절. 비극성 분자에 친화력이 큼.
		지올라이트	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ 가 주성분, 용제가스처리시 Si 비율이 높고 소수성인 지올라이트가 사용된다. 불연성이 특징으로 평형흡착량은 최대치의 20wt% 이내임.
		수지	폴리스틸렌계의 구슬(bead)상 폴리머로 세공경이 크고 재생이 용이, 기계적 강도가 크고, 저축매성 등의 특징이 있으나 비용이 문제임.
	형상	미분	부정형의 원료 흡착제를 파쇄한 형태의 것으로 가격은 저렴하나 압력손실이 높은 결점이 있음.
		입상	분말흡착제를 바인더로 고정시켜 4/6~6/8 mesh, 0.5mmφ 등과 성형해 사용함.
		섬유	직경 15~18μm의 섬유상, 활성탄의 일반적 표면적은 1000~1500m ² /g, 매트상으로 사용됨.
흡착기구	honey-comb	하니컴상 담체에 흡착제를 바인더로 고정시켜 사용, 압력 손실은 적으나 고농도 흡착에는 부적합함.	
	고정상	흡착내부에 흡착제를 충전(고정)하고 처리가스를 탭의 하부 또는 상부에서 흘러 보내면서 연속적인 흡착을 행함. 탈착재생은 흡착과는 반대로 수증기 또는 뜨거운 불활성 기체를 불어 보냄.	
	유동상	흡착탑내에서 흡착제가 중력에 의해 낙하하고 처리가스는 흡착제와 동일한 방향으로 보내져 연속흡착이 행해짐. 재생은 탭하부 또는 별도의 탭에서 행해지며 재생된 흡착제는 흡착탑에 보내짐.	
	이동상	분말 또는 섬유상 흡착제를 담체에 바인더 또는 기계적으로 부착시켜 처리가스 속으로 담체를 연속적으로 이동시켜 흡착시킴. 재생은 담체가 처리가스에서 멀리 떨어져 있을 때 행하며 honey comb rotor가 일반적임.	
재생기구	TSA	Thermal Swing Adsorption : 흡착제 온도에 의한 흡착량의 차를 이용하여 증기 또는 뜨거운 불활성 기체를 불어넣어 용제를 탈착하거나 흡착제를 재생함.	
	PSA	Pressure Swing Adsorption : 흡착제의 압력에 의한 흡착량의 차를 이용하여 가압 흡착시키고 감압 탈착시켜 흡착제를 재생함.	
	교환식	흡착제를 흡착탑에 충전하고 처리가스를 흡착한게치 이상으로 흡착시킴. 재생기구가 없으므로 새로운 흡착제로 교환함.	

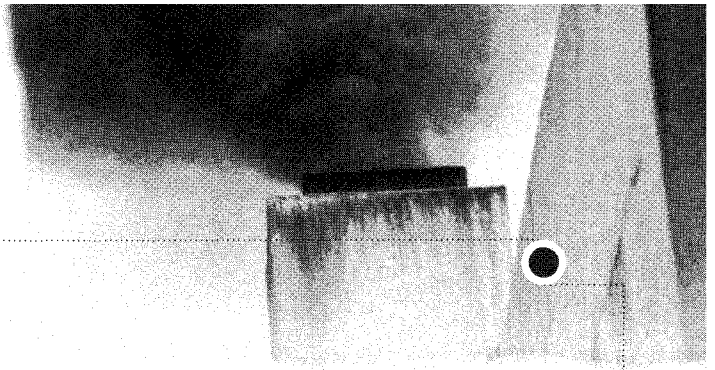
자료 : 한국환경정책·평가연구원 내부자료.

적은 크게 용제회수+공해방지형과 공해방지형의 2가지로 분류할 수 있으며 흡착방식은 처리대상물질과 처리목적에 적합한 ① 흡착제 ② 흡착기수 ③ 재생기구를 선정하여 정해지며 그 특징은 〈표 II-8〉과 같다.

오래전부터 폭넓게 사용되고 있는 흡착법에는 「활성탄」이 사용되며 주된 흡착·재생방식은 온도차에 의한 VOCs 흡착량의 차이를 응용한 「TSA방식」이나 지올라이트 등의 새로운 흡착제의 흡착·재생방식이 개발되고 있다. 염화메틸렌(CH₂Cl₂) 등의 할로젠계 탄화수소를 활성탄 흡착, 증기탈착/재생의 병합식 TSA방식으로 처리할 경우 활성탄의 촉매작용 및 가열에 의해 염산이 발생하며 그 결과 장치의 부식대책 및 배수처리가 필요하게 된다. 이의 대안으로 가열된 N₂가스 또는 공기에 의한 탈착/재생, 건식 TSA가 많이 이용되며 활성탄 흡착제가 아닌 지올라이트를 사용하여 압력차에 따른 흡착량의 차를 응용한 「PSA방식」이 개발되고 있다.

(1) PSA용제 회수장치

지올라이트는 SiO₂/Al₂O₃의 비율에 의해 흡착되는 CH₂Cl₂와 수분의 비율이 다르지만 실험실 실험결과 SiO₂/Al₂O₃=400에서 CH₂Cl₂의 흡착량이 최대로 나타났다.



PSA시스템은 상온에서 가압흡착 → 감압탈착 → 가스농축의 퍼지 사이클을 회전식 흡착탑에서 연속해서 행한다. 탈착된 농축가스는 냉각·응축하여 액체로 회수하여 응축되지 않은 가스는 다시 가스 입구로부터 되돌려 두 번째 흡착한다.

〈표 II-9〉에 제시된 bench실험결과에 따르면 정상상태 운전의 경우 제거효율이 98% 이상으로 CH₂Cl₂처리시 PSA 방법의 적용가능성이 높음을 나타내고 있다.

(2) 신흡착제를 이용한 TPSA(Thermal and Pressure Swing Adsorption) 흡착법에는 흡착제로서 활성탄(섬

유상 또는 입자상)을 많이 사용하고 탈착시에는 수증기를 용제로 포화된 흡착층에 직접 공급하는 습식TSA법이 많이 사용된다.

탈착된 용제를 함유한 가스는 수증기와 함께 응축되며 응축기의 냉각은 냉각탑만으로도 충분하므로 흡착장치 설비는 비교적 저렴하다. 그러나 탈착시 다량의 수증기가 사용되므로 회수액중에는 회수용제 이외에도 그 수배에 달하는 응축수가 존재한다. 용제가 수용성인 경우 용제와 수분의 분리가 쉽지 않고, 또한 용제가 수용성이 아닌 경우라도 비중차로 분리는 가능하나 물쪽에서 미량의 용제가 용해하므로 단순히 방류할 수

없다. 특히 TCE(트리클로로에틸렌), TECE(테트라클로로에틸렌), CCl₄(사염화탄소) 등의 염소계 유기용제는 유해물질로서 수질오염방지법의 배출기준이 적용된다.

반면 건식흡착·탈착법인 TPSA법은 이러한 문제에 대한 하나의 해결책으로서 특히 배수처리 문제에 상당히 효과적이다. TPSA법은 상온, 상압하에서 흡착하여, 고온·저압하에서 탈착하는 방법으로 건식의 TSA법에 비해 비교적 저온의 탈착온도에서도 효과적인 탈착이 가능하며 흡착공정 → 순환가열공정 → 탈착공정 → 냉각탈착공정 → 냉각공정 → 대기공정 등으로 구성된다. 스틸렌계 다공성 수지 흡착제(이하 '특수고분자 흡착제'라고 약함)가 사용되며 사양은 〈표 II-10〉과 같다.

특수고분자 흡착제는 흡·탈착 성능이 우수하여야 하며 특히 수분 흡착량이 적어야만 한다. 특수고분자 흡착제와 입상 활성탄을 이용하여 테트라클로로에틸렌에 대한 흡·탈착 성능을 비교해 보면 내경 20mm의 column에 특수고분자 흡착제 또는 입상활성탄을 20mm충전하여(충전량은 약 6.3cm³), 온도 50℃, 압력 75torr, 유량 30ml/min 으로 탈착시험을 행한 경우 특수고분자 흡착제가 입상활성탄보다 탈착 성능이 더 양호한 것으로 나타났다.

〈표 II-9〉 PSA 시스템의 bench실험 결과

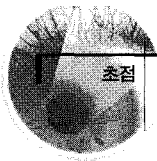
항 목	조 건
처리가스량	20m ³ N/hr
농도	CH ₂ Cl ₂ 입구 5000ppm → 출구 100ppm (H ₂ O 3vol%)
온도	흡착/탈착 25℃, 냉각응축 5℃
압력	흡착 1.1 atm → 0.1 atm
흡착제	지올라이트, SiO ₂ /Al ₂ O ₃ =400, 50kg
purge 가스량	처리가스량의 약 10%
회전수	2 rpm

자료: 한국환경정책·평가연구원 내부자료.

〈표 II-10〉 특수고분자 흡착제의 사양

항 목	수 치	비 고	
입도분포	입경(mm)	0.43	10% 유효경
	입도(mm)	0.3~0.8	
	입도(mesh)	20~50	
충전밀도(g/cm ³)	0.34		
비표면적(m ² /g)	1100	대표치	

자료: 한국환경정책·평가연구원 내부자료.



특수고분자 흡착제는 수분 흡착량이 적기 때문에 배수처리에 소요되는 경비가 절감된다. 처리대상 가스내의 수분은 흡착층에서 용제와 함께 흡착되며 건식탈착을 행할 경우 용제와 함께 탈착되므로 탈착가스중에는 농축된 회수용제와 수분이 포함된다. 따라서 탈착가스를 회수할 경우 다음과 같은 문제가 발생된다.

첫째, 회수액을 폐기하는 경우 회수액중의 수분량이 많으면 폐기물 처리비용이 증가한다.

둘째, 회수액을 재이용하는 경우에도 회수액중의 수분의 양이 많으면 분리에 필요한 에너지가 증대한다. 또한 비점차를 이용한 분리시에도 물쪽에 약간의 용제가 녹아 있어 폭기(aeration) 등의 처리를 필요로 하는 경우가 많으며 이 경우 회수용제량이 많으면 불리하다.

특수고분자 흡착제는 입상활성탄에 비해 수분 흡착량이 적고, 상대습도 50% 이하에서는 입상 활성탄의 1/5이하를 나타낸다. 또한 특수고분자 흡착제는 촉매작용이 없기 때문에 회수된 용제의 품질이 좋고 용제분해열에 의한 착화위험이 적으며 안전성이 높다. 반면 활성탄은 촉매 작용이 있어 수증기의 탈착작용에 의해 활성탄층의 수분이 용제의 반응열을 낮추

기는 하나 충분하지 않은 경우가 있고 수증기량의 증가시 위험성은 감소되나 휘발 폐액량은 더욱 늘어난다. 분해성 용제 MEK(Methyl Ethyl Ketone)에 대한 입상활성탄 흡착제와 특수고분자 흡착제의 촉매성을 살펴본 바에 따르면 특수고분자 흡착제는 200℃까지는 MEK에 대해 촉매성을 나타내지 않는다.

TPSA방법은 주로 도료용 및 인쇄잉크용에 적용되며 용제의 종류는 톨루엔, 크실렌 등의 방향족 탄화수소, 석유계, 알콜계, 에스테르계와 케톤계 등 다양하다. 활성탄으로 처리가 가능한 용제는 특수고분자 흡착제를 사용한 용제회수 장치로도 처리 가능하며 TPSA법을 사용한 용제회수 장치는 용제를 안전, 고순도, 수분 함유량이 적은 상태로 회수할 수 있다.

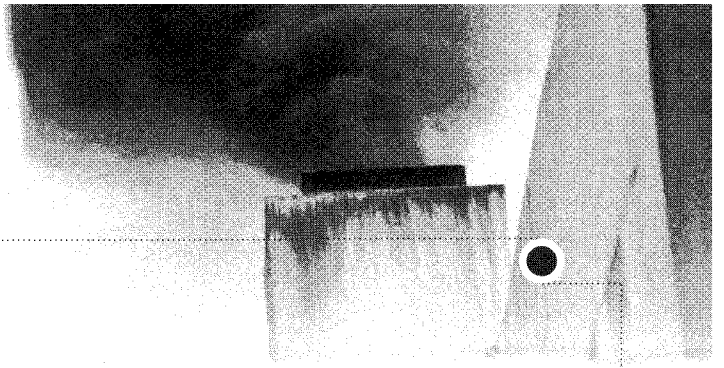
3.1.2 흡착제의 특성

흡착제는 미세결정구조의 천연 또는 합성물질로 내부의 미세기공(micropore)에서 가스분자가 쉽게 수용된다. 흡착제로는 활성탄, 활성알루미나(activated alumina), 실리카겔(silica gel)과 분자체(molecular sieve)라 불리는 합성 지올라이트 등이 있다.

활성탄은 비극성 분자에 친화력이 크며 실리콘 및 산화알루미늄은

H₂O, NH₃, H₂S, SO₂등과 같은 극성 분자에 친화력이 크다.

가장 보편적으로 사용되는 고휘 흡착제인 활성탄은 대기오염물질의 제거, 용매회수, 악취제거 등에 폭넓게 사용되고 있으며 코크넛 껍질, 역청탄 및 무연탄, 코크스, 톱밥, 기타 목재질을 원료로 하여 공기가 없는 상태에서 열처리되어 상업적으로 만들어진다. 활성탄 장치는 대기중의 저농도 오염물질을 제거할 목적으로 개발되었는데 활성탄의 흡착능력은 분자량에 비례하여 증가한다. 일반적으로 염소화합물, 알콜, 케톤 및 방향족 화합물 등과 같은 분자량이 45~130인 비극성 화합물의 흡착에 많이 사용된다. 휘발성이 낮고 분자량이 큰 화합물은 거의 완벽하게 제거되거나 흡착제에 재생시 탈착이 어려운 단점이 있어 끓는점이 148.9℃이상이고 분자량이 130 이상인 화합물에는 적용이 어렵다. 또한 휘발성이 높고 분자량이 45이하인 물질 역시 활성탄에 쉽게 흡착되지 않는다. 활성탄은 배출가스의 상태에 민감하므로 여과, 냉각, 수분제거 등의 전처리 과정이 필요한 데 액체 또는 고체입자, 비점이 높은 유기물, 중합이 가능한 물질이 존재할 때 전처리 과정이 요구된다. 입자상 물질은 탄소상에 막힘현상을 유발하므로 유리섬유여과재로 제거하며 액체는 장치의 운영상 문제



가 있어 농무여과장치 또는 충전 여과장치로 제거한다.

활성탄의 이상적인 흡착조건은 상대습도가 50%이하이고 가스온도가 54.4℃ 이상일 경우이다.

흡착효율은 가스 배출장치의 운영조건 흡착제와 흡착질의 특성에 좌우된다. 오염물질의 종류 및 농도에 따라 활성탄의 흡착능력이 달라지는데 일반적으로 흡착능력은 화합물의 분자량이나 비점으로 결정된다. 흡착제 선정시 고려해야 할 요인으로 흡착제 사용량, 흡착에 의한 가스온도의 상승, 흡착제의 재생 가능성, 그리고 흡착제의 수명 등이 있다. 특히 가스상의 VOCs제어에 흡착장치를 사용할 경우 충분한 체류시간이 주어져야 한다. 체류시간은 흡착상을 크게 하거나 가스속도를 늦추어 연장시킬 수 있으나 전자의 경우 압력강하가 높아져 운영비가 증가할 수 있다. 흡착제의 흡착능력은 폐가스의 온도와 직접 관련이 있는데 흡착효율은 온도가 증가하면 감소되므로 가스의 온도는 15.6~48.9℃ 정도가 양호하다. 흡착 과정에서 산화반응으로 인해 야기되는 과열을 방지하기 위해 오염물질의 농도를 낮출 필요가 있다. 이를 위해 흡착공정 이전에 냉각이나 희석과정 등을 거쳐야 한다.

활성탄 흡착의 장·단점은 다음과 같다.

장점

- ① 오염물질 제거효율이 99%이상이다.
- ② 저농도 배출가스 전체에 대한 제어효율이 높다.
- ③ 공정상 생성물의 회수가 가능하다.
- ④ 설계 및 농축 처리가 간단하다.
- ⑤ 공정변경시 제어 및 대응이 우수하다.
- ⑥ 최소의 연료비가 요구된다.

단점

- ① 흡착제 재생이 발생하는 폐수, 특히 수용성 유기물이 존재하는 경우 또 다른 처리과정이 요구된다.
- ② 재생회수가 증가함에 따라 흡착능력이 점진적으로 감소한다.
- ③ 전처리 장치로 가스속에 함유되어 있는 입자상 물질의 여과장치가 필요하다.
- ④ 운영비와 유지비용이 많이 든다.