

# 악취 및 가스상 오염물질 처리기술

| 연 재 |

## Ⅲ. 휘발성유기화합물질(VOCs) 제거기술

### 2. 휘발성유기화합물질의 제거기술

#### 2-1. VOCs 제거기술 현황

##### 2-1-3. 흡착

이동층 흡착기에 한 층이 이동하여 동시에 흡착과 탈착이 진행되어 같은 용량의 고정층 흡착기에 비해 탄소 요구량이 훨씬 작다. 몇몇 이동층 반응기는 앞에서 언급한 바 있는 허니컴 형태의 탄소 섬유를 회전 바퀴(Rotating wheel) 내에 넣어 사용하기도 한다. 또 다른 형태의 이동층 반응기는 VOC 함유가스가 소위 Crossflow 형태를 갖는다. 탈착은 층 밑에서 이루어지면 재생된 탄소를 기계적으로 층 위로 이송된다. 이동층 반응기와 마찬가지로 유동층 반응기는 한 장치 내의 분리된 영역에서 흡착과 탈착이 순방향(Con-current)으로 이루어진다. 따라서 단 하나의 층만이 요구된다. VOCs 함유 가스는 층 밑에서 위로, 반면 가스는 위에서 아래로 흘러 소위 역방향 흐름(Counter-current)이 형성된다. 깨끗한 가스는 장치 위로 배출되고, 탄소는 장치 아래로 빠져나가 탈착이 이루어진다. 다른 탄소 흡착 장치와는 달리 가스와 탄소가 열을 갖고 배출되므로 열의 축적이 없으며 유체가 탄소를 유통화 함으로써 침강이 가속화되기 때문에 경도가 큰 흡착제가 요구된다.

흡착제의 비활성 혹은 흡착계의 비효율성으로 최적 공정에서의 운전이 요구된다. 즉 분자량 40 이상의 고분자는 흡착이 잘 안되며 분자량이 130 이상이거나 비점이 300°F 이상인 비휘발성 VOC는 탈착이 잘 안되므로 이 경우 탄소 흡착 공정은 비효과적이다. 열은 흡착제의 활성을 떨어뜨리므로

이 경우 탄소 흡착 공정은 비효과적이다. 열은 흡착제의 활성을 떨어뜨리므로 층 내의 열축적을 피하기 위해 흡착기로 들어오는 VOCs의 농도를 최고 10,000ppmv로 한정한다.

마지막으로 특정 오염 물질은 탄소의 활성을 떨어뜨린다. 예를 들어 케톤은 탄소층 위에서 고분자화 되어 흡착점(Adsorption site)을 막는 한 탄소의 흡착 파괴 현상을 피하기 위해서는 가스출구에서의 VOC 농도를 정기적으로 모니터링 하여야 한다.

또한 입자 성분도 흡착점을 막기는 마찬가지다. 탄소의 완전한 비활성은 파과곡선(Break-through curve)를 통해 확인되는데, 이 경우 VOCs가 전혀 흡착되지 못하므로 재생하여야만 한다. 참고로 다음 양식 1은 흡착탑 점검기록 지를, 그리고 양식 2는 흡착시설 Check list를 나타내고 있다.

#### ※용어 해설

파과점(Break-through point) : 혼합가스를 수증기에 통과시키면 처음에는 흡착률이 매우 높으나 투과 시간이 진행될수록 흡착률이 떨어져 점차 활성탄이 포화점에 달하게 되면 출구가스에 증기분이 서서히 나타나기 시작하는 점을 파과점이라 하며, 흡착 공정에서 이 파과점을 지나면 흡착효율은 점점 감소하는 경향을 갖는다.

#### 2-1-4. 흡수(세정)

흡수 혹은 세정이란 VOCs를 함유한 가스에서부터 액상 흡수제로 VOCs가 물질 전달되는 현상을 일컫는다. 이 물질 전달의 구동력은 가스상과 액상 내의 VOCs의 특성에 좌우된다.

<양식 1> 흡착탑 점검기록 지

흡착시설(A- )	설치 위치		
년 월 일	점검자 :	점검 확인 :	
점검 내용		결과	
배출구의 냄새 및 배출 상태			
압력계 및 차압계의 지시치		mmAq	
전원 공급의 상태 : 정격( V A)		지시치( V A)	
본체 자체의 공기가 새는 곳은 없는가?			
다트에 공기가 새거나 유입되는 곳은 없는가?			
나사의 풀림이나 조임 상태			
조각 관널의 전선 및 안전성			
부식, 마모, 훼손된 곳은 없는가?			
각 부위의 윤활유 주입 상태			
활성탄 교체 여부		교체일( )	차기 교체일( )
조각 관널의 전선 및 안전성			
모터의 동력 전달 상태			
벨트의 장력, 마모, 교체 여부			
이상 소음 발생 여부			
송풍기의 가동 상태			
유량 조절 밸브의 적정 개폐			
다트 내 먼지 퇴적 여부			
스위치의 정상 작동 상태			
배출가스 온도			
과전류 봉전 여부			
의견			

<양식 2> 흡착시설 Check List

구분	점검부위	점검내용	결과	비고
가동중	전기	·판넬의 표면은 이상이 없는가?		
		·"ON" "OFF" 스위치의 램프는 점등되어 있는가?		
	송풍기	·V-벨트의 상태는 양호한가?		
		·베기구 외부에 활성탄이 날린 흔적은 없는가?		
		·구동 부위의 소음은 없는가?		
		·베어링 부분의 소음은 없는가?		
		·베어링 부분의 과열현상은 없는가?		
		·샤프트의 비틀림 및 흔들림은 없는가?		
	다트	·다트의 변형은 이루어지지 않았는가?		
		·캐스킷 부분의 누출 현상은 없는가?		
		·다트 조절 핸들은 고정되어 있는가?		
		·다트에서 소음은 없는가?		
·플랜지 및 이음 부분의 누출은 없는가?				
·캔버스(canvas)의 상태는 양호한가?				
몸체	·상부커버 부분의 소음은 없는가?			
	·흡착탑 내부의 마찰 소음은 없는가?			
	·몸체의 변형이 이루어진 부분은 없는가?			
	·착압계는 정상적(10mmAq 이하) 인가?			
가동전후	·길진기 주변에 정리정돈은 되어 있는가?			
	·송풍기는 가동을 멈추었는가?			
	·전원은 차단되었고 판넬은 닫혀 있는가?			
	·베어링 주유기의 오일은 충분한가?			
	·흡착탑 주변의 활성탄은 날리지 않았는가?			
		·생산라인의 작업은 완료되었는가?		

예를 들어 물은 수용성 VOCs를 제거하는 최적의 흡수제이다. 흡수장치에 있어서 Con-current나 Cross 형태로 가스상과 액상이 흐르는 경우도 있으나, 대부분은 Counter-current 형태가 일반적이다.

흡수장치의 4가지 형태로는 충전탑(Packed tower), 분사실(Spray chamber), 벤츄리 스크러버(Venturi scrubber), 단(Plate) 혹은 트레이탑(Tray tower)가 있다. 충전탑 형태의 흡수기에 대한 개략도는 그림 18에 나타내었다.

충전탑 흡수기는 세라믹이나 플라스틱제의 물질을 채워 이 표면에서 흡수가 일어나도록 한다. 액상 흡수제는 탑 위에서 아래로 흘러내리며 충전 물질의 표면에 박막(Thin film)을 형성한다. VOCs를 함유한 가스는 탑 저에서 위로 흘러 올라가며 충전제 위의 액상박막에 흡수된다. 충전제는 액상박막이 넓게 형성되어 결국 흡수 면적이 커지도록 설계한다. 또한 흡수에 필요한 표면적을 줄이는 입자상 물질에 의한 플러그(plugging)이나 파울링(fouling)에 강하도록 설계된다. 그리고 흡수제 분배장치는 충전제 전반적으로 고루 흡수제가 퍼지도록 설계되어야 한다.

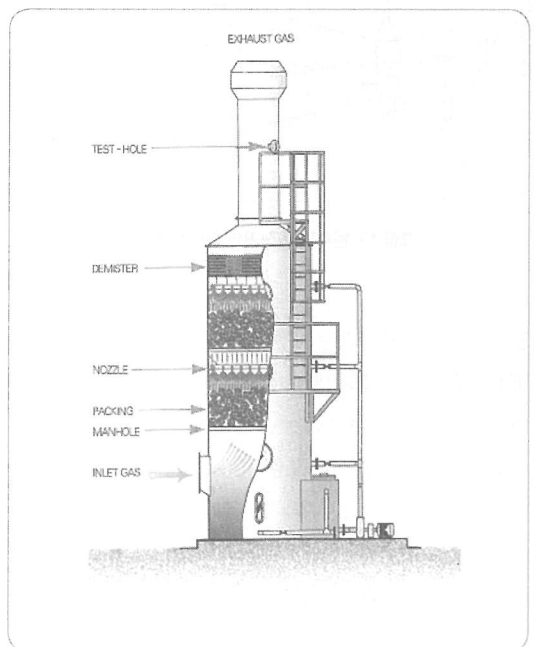


그림 18 향류식 충전층 흡수공정의 개략도

분사실은 VOCs 흡수를 위해 충전재를 사용하지는 않는다. 대신 액상 흡수제를 매우 적은 액적으로 만들어 분사함으로써 VOCs가 흡수될 면적을 극대화한다.

액적의 정상적인 분배, 완전하고 연속적인 흐름을 위해서는 액상 분사기가 Plugging을 일으키지 않아야 한다는 점이 매우 중요하다. 액상과 기상의 접촉시간이 매우 짧기 때문에 이 형태의 흡수기는 대부분의 VOCs 제거에 적당하지는 않다. 단지 SO<sub>2</sub>나 NH<sub>3</sub> 같이 용해도가 높은 가스에만 적용된다.

벤츄리 세정기는 VOCs 함유가스와 액상 흡수제가 벤츄리 노즐의 목(throat)에서 접촉하므로써 VOCs가 제거되는 원리를 갖는다. 이 형태도 액상과 기상의 접촉 시간이 매우 짧기 때문에 대부분의 VOCs 보다는 용해도가 높은 가스의 제거에 적당하다.

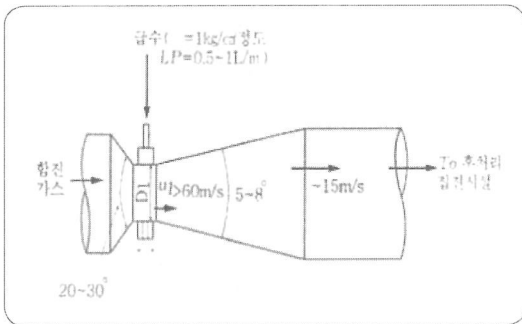


그림 19 벤츄리 세정기의 일반적 형태

단 혹은 트레이탑 형태는 각 단 위에 존재하는 액상흡수제에 VOC 함유가스가 접촉함으로써 접촉시간이 길어진다.

약간 복잡하더라도 흡수제는 VOCs의 분리는 물론 흡수제로부터의 회수도 가능하다. 또한 VOCs와 액상흡수제의 반응 가능성에 따라 물리적인 흡수계가 될 수도 있고 화학적인 흡수계가 될 수도 있다.

상기의 4 종류 중에 충전탑과 단 혹은 트레이탑이 VOCs를 효과적으로 제거할 수 있는 반면에 세정기는 VOCs 제거효율이 낮다.

## 2-1-5. 응축

응축은 비응축성 가스 흐름에서 VOCs를 제거하는 과정을 말한다. 응축은 가스흐름의 온도를 정압 상태에서 떨어뜨리거나 정온 상태에서 가압하거나 혹은 두 경우를 조합함으로써 일어날 수 있다.

여기에는 2가지 형태의 일반적인 응축기가 있는데 하나는 표면형(surface)이고 다른 하나는 직접 접촉형(Direct contact)이다.

표면형은 일반적으로 튜브(tube)형의 열교환기인데 튜브내로 응축제가 흐르고 튜브 밖으로는 VOCs 함유 가스가 흘러 전열됨으로서 응축된다. 접촉형은 찬 액체를 가스흐름 내로 직접 분사함으로써 VOCs를 차게 하여 응축시킨다. 두 가지 형태 모두 VOCs는 재생되어 재사용될 수 있다.

응축제로는 냉각수, Brine 용액, CFCS, 그리고 Cryogen 유체 등이 사용된다. 응축수는 약 45°F로 냉각시키는 데는 효과적인 응축제이고, Brine 용액은 -30°F로, CFCS는 -90°F로 냉각시키는데 유용하나, CFC의 생산과 사용은 제한받고 있는 상태이다. Cryogen 유체는 주로 액체 질소와 액체 이산화탄소(드라이아이스)인데 -320°F 이하로 냉각시키기에 적절하다. 다음 그림 20은 전형적인 응축 시스템을 보여주고 있다.

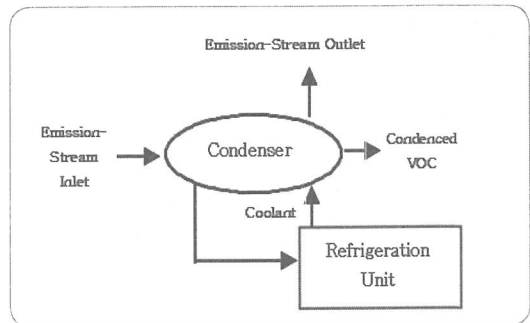


그림 20 냉동 응축공정의 개략도

### 2-1-6. 보일러-프로세스 히터(Boiler-Process Heaters)

이 기술은 VOCs 제거에 단속적으로 사용되지는 않으며, 농축된 VOCs는 보일러-프로세스 히터의 주요 연료 혹은 2차 연료 원으로 사용된다. 농축되어 완전 처리될 수 있다. 만약 저농도의 VOCs가 빠른 속도로 처리되면 불안전 연소가 일어날 수 있다. 산업용 보일러-프로세스 히터는 열에너지가 뜨거운 연소 가스로부터 뜨거운 물과 수증기를 담고 있는 전 열 튜브를 통해 전달됨으로써 작동된다.

### 2-1-7. 플레어(Flares)

플레어는 연소 장비 중의 하나로 평소 공정의 비이상적인 작동 시 비상용으로 사용되며 때로는 VOCs 제거에 도움을 주는 경우도 있다. 석유 정제와 같은 몇몇 공정에서는 플레어가 주로 VOC 제거용으로 사용된다.

VOCs 함유 폐가스가 컬렉션 헤드(Collection header)를 통해 들어오게 되는데 여기서 필요하면 물과 유기액적을 없애기 위해 낙 아웃 드럼(Knockout drum)이 사용된다. 물은 불을 끌 수 있기 때문에 제거되어야만 하고, 유기액적은 소각 후에 입자를 발생하기 때문에 제거되어야만 한다.

VOCs 함유 가스 흐름이 낙 아웃 드럼을 빠져 나온 후에는 Water seal과 Stock seal을 통과하고 가스가 퍼지(purge)되어 불꽃이 역화(Flash back)되지 않도록 한다. 마지막으로 폐가스는 플레어를 통해 대기로 방출되는데 여기에 설치되어 있는 버너는 처리 가스를 태워 VOCs를 파괴하게 된다. 만약 VOCs 함유가스의 순수 열용량(Net Heating Value)이 VOCs를 완전 연소시키는데 부족하면 천연가스와 같은 부가 연료를 넣어준다.

플레어는 그 팁(tip)의 높이에 따라 Ground와 Elevated로 나뉜다. Elevated 형태는 작업장보다 훨씬 높은 위치에서 연소 오염 물질을 분산시켜 열, 소음, 연기, 악취 등의 영향을 줄일 수 있다. 게다가 작업상·운전상의 안전을 기할 수 있다.

또한 Non-smokeless, Smokeless 혹은 Endothermic의 세 가지로도 나뉜다. Non-smokeless 형태는 연기 없이 쉽게 탈 수 있는 유기물질의 연소에 사용된다.

Smokeless 형태는 수증기나 공기를 사용하여 난류를 유도함으로써 효율적인 혼합과 VOCs의 완전연소를 꾀한다. 이 형태는 메탄보다 무거운 유기물을 함유하는 배출흐름에 적용된다. 수증기는 많은 양의 배 가스에, 공기는 보통 정도의 흐름량에 적용된다. Endothermic 형태는 VOCs를 파괴하는데 부가에너지에 더 필요하다.

다음 그림 21은 수증기가 사용되는 플레어의 개략도를 보인 것이다.

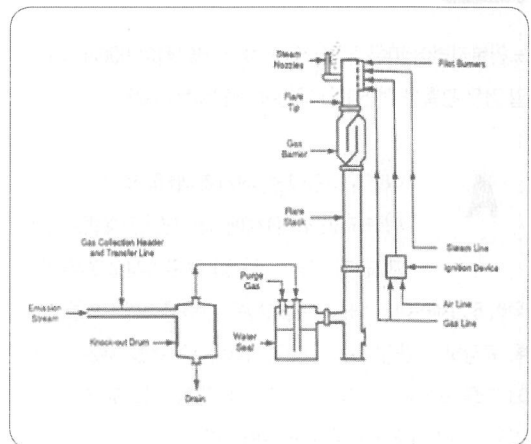


그림 21 수증기형 Flare 공정의 개략도

자료제공 : 환경보전협회 환경연수처  
다음호에 계속...