

악취 및 VOCs 저감 기술

차진명 팀장
(주)환경과생명

1. 악취 및 휘발성유기화합물

최근 성층권 오존층 파괴와 함께 도시를 중심으로 발생하는 대기오염이 심각한 환경 문제로 대두되고 있다. 대기오염의 원인물질중의 하나인 VOC는 대기중 이동성이 강하고 악취를 유발할 뿐 아니라, 마취성이 강하다. 또한, 신경계에 독성물질로 작용하며, 벤젠, PAHs 등의 물질은 발암성을 가지고

있어 환경보건상 유해하기 때문에 VOC감축과 제어를 대기질 관리의 주요정책수단으로 설정하는 국가가 증가하는 추세이다.

한편, VOC와 함께 각종 산업체, 하수, 농축산 폐수, 분뇨처리장 등에서 발생하는 악취가스로 인해 공장, 각종 처리장 주변에 인접한 지역에서의 민원이 증가하고 있다.

현재 VOCs 배출량을 보면 도장산업에서

표. 1 현재 VOCs 관리대상

번호	물질 및 제품명	번호	물질 및 제품명
1	1,1,1-트리클로로에탄	20	아크롤레인
2	1,2-디클로로에탄 (에틸렌디클로라이드)	21	아크릴로니트릴
3	1,3-부타디엔	22	에틸렌
4	1-부텐, 2-부텐	23	에틸벤젠
5	납사	24	엠티비이(MTBE)
6	디메틸 아민	25	원유
7	디에틸 아민	26	이소프로필알콜
8	메틸렌클로라이드	27	테트라클로로에틸렌
9	니트로벤젠	28	클로로포름
10	메틸 에틸 케톤(MEK)	29	트리클로로에틸렌
11	벤젠	30	포름알데히드
12	부탄	31	프로필렌
13	사이클로헥산	32	프로필렌 옥사이드
14	아세트알데히드	33	휘발유
15	아세틸렌	34	n-헥산
16	아세틸렌 디클로라이드	35	아세트산(초산)
17	톨루엔	36	메탄올
18	자일렌(σ -m-, p-포함)	37	스틸렌
19	사염화탄소		

46.2% (282,535톤), 자동차운행시 34.9% (213,283톤)으로 대부분 배출되면 그 밖에 주유소 5.3% (32,202톤), 유류저장 미출하시설에서 4.6% (28,321톤), 도포포장에서 3.2% (19,784톤), 인쇄공정에서 3.6% (21,634톤), 세탁시설업소에서 2.2% (13,521톤)이 발생되고 있다.

국내 악취 및 휘발성유기화합물(VOCs)을 규제하기 위한 대기오염 방지를 위한 지출규모는 해마다 증가하고 있는 추세이나 특정 물질에 대한 효과적인 처리방법이 요구된다.

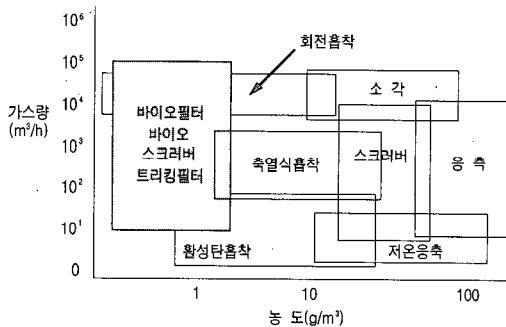


그림 1. 가스량 및 농도에 따른 악취 및 VOCs 처리방법

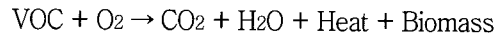
악취 및 휘발성 유기화합물을 처리하기 위한 방법을 선택하기 위해 가스의 종류, 농도, 및 가스량 등에 의존한다.

2. 바이오필터 공정

2.1. 바이오필터의 원리

Biofiltration 방법은 반응기 내부에 미생물막을 가지고 있는 충전물질이 채워져 있고 악취 및 휘발성유기화합물이 충전물질을 통과하면서 오염물질이 미생물막으로 확산되어 미생물에 의해 산화·분해되는 기작에 의해서 악취 및 휘발성 유기화합물이 분해되는 방법이다.

미생물



2.2. 담체의 선정기준

- ① 보수성이 양호할 것
- ② 암밀이 적을 것
- ③ 비표면적이 크고 공극률이 높을 것
- ④ 넓은 범위의 함수율에서 악취가스 주입시 압력 손실이 적을 것
- ⑤ 장기간 사용시 구조 및 형태의 변화가 적고 내구성을 지닐 것
- ⑥ 가격이 저렴할 것
- ⑦ VOCs 및 악취가스에 대해 어느 정도의 흡착성을 지닐 것

표. 2 휘발성 유기화합물의 각각의 처리기술별 특성

제어기술	설비비	운영비	실제현장에서 사용여부	공정의 용통성	대용량 처리능력	저농도 오염 물질에 대한 적용가능성
열 소각	고	고	○	○	○	○
흡착	고	중	○	○	○	○
흡수	저	중	○	X	○	○
응축	고	중	○	X	X	○
생물여과	중	저	○	○	○	○
촉매산화	중	중	X	○	X	X
광촉매산화	중	저	X	○	X	X

본사에서 사용하고 있는 대표적인 미생물담체는 그림. 2, 그림. 3에 있다.

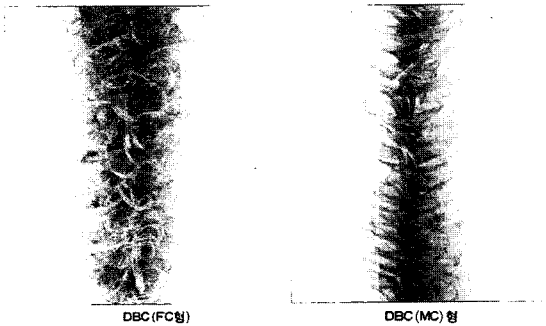


그림. 2 PP 계열의 섬유형 담체

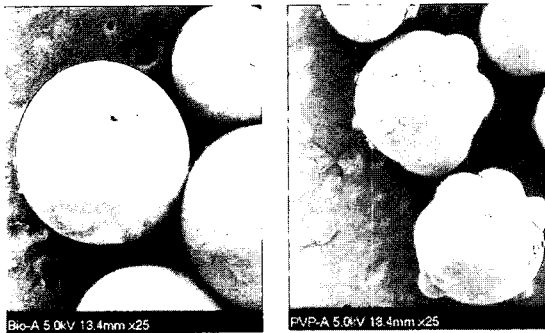


그림. 3 PVP (polyvinylpyridine)담체 (왼쪽)와 Biosand 담체(오른쪽)

2. 3 바이오필터에 영향을 주는 요인

① 온도(Temperature)

미생물의 최적 온도조건은 30℃인데, 동절기와 같이 낮은 온도에서는 미생물의 활성이 저하되기 때문에 별도의 온도 유지가 필요하다. 이러한 방법으로 스팀을 직접 주입하거나, 공기를 가열하는 방법 그리고 가열된 순환수를 주입하는 방법등이 있다.

② pH

악취 및 VOCs 처리하기 위한 미생물은 적정 pH가 있으므로 처리효율을 유지하기 위해서는 적정 pH를 유지해야 한다. 일반적으로 최적 pH는 7~8이다.

③ 산소공급

일반적으로 산소공급은 들어오는 폐가스에 산소가 풍부하게 포함되어 있으므로 문제가 없지만, 호기성 중속 영양 세균의 경우 최소한 5~15%의 정도의 산소를 공급해 주어야 한다.

④영양분 공급

바이오필터에 이용되는 미생물은 폐가스를 에너지원으로 사용하고 그 밖에 N, P, S 및 Mineral 등을 공급해 주어야 한다.

3. 액상촉매 공정

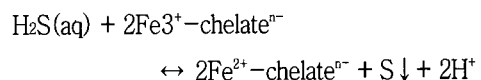
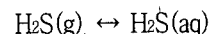
황화수소는 황의 혐기적 분해와 석유화학공장의 탈황공정에서 주로 발생하는 오염물로 전세계적으로 연간 108톤의 배출량이 발생하는 것으로 추산되며, 90% 이상인 9.0×10^7 톤이 천연가스에서 발생하는 자연발생량이며, 인공발생량은 연간 10^7 톤 정도로 추정된다.

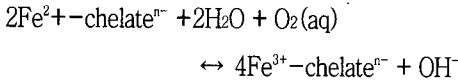
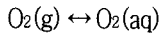
황화수소 제거공정으로 ① Claus 공정 ② 알칼리 세정법 ③ 액상촉매공정 ④ 미생물 단독(Biofilter) 공정 ⑤흡착법 등이 있다.

이 중 Claus 공정은 고온고압에서 운전하므로 많은 양의 에너지가 요구되고 2차적으로 SO₂나 폐수 등의 물질이 다량 발생하며, 장치가 거대하고 운전이 복잡하다.

3.1 액상촉매 원리

액상촉매에 의한 황화수소 제거 분해 기작은 다음과 같다.





3. 2 액상촉매의 장점

- ① 산화·환원반응이 반복되어 순환되므로 촉매의 수명이 반영구적이다.
- ② 폐수발생등의 2차적 부산물이 발생하지 않는다.
- ③ 기존 탈취탑 시설이 있는 경우 수정 보완하여 활용이 가능하다.
- ④ 탈취효율이 우수하다. (99.9%)
- ⑤ 설비가 Compact하여 부지면적이 적게 소요된다.
- ⑥ 설치비용 및 유지관리 비용이 타방식에 비하여 저렴하다.
- ⑦ 설비가 간단하여 운전이 용이하고, 유지관리가 쉽다.

3. 3 공정의 적용범위

- ① 황화수소가 단독으로 존재하는 경우 불활성 기체에 황화수소가 주성분으로 존재하는 경우 가스농도에 관계없이 본 공정을 적용할 수 있다.
- ② 황화수소와 아황산가스가 동시 존재할 경우 황화수소와 아황산가스의 부피비 혹은 몰 비율이 고려되어야 한다. 가스의 혼합비율은 1:1이 바람직하나 황화수소의 비율이 초과되는 경우에는 제한이 없다.
- ③ 아황산가스 단독으로 존재하는 경우 불활성 기체 혹은 비수용성 기체에 아황산가스가 혼합된 경우 아황산가스의 전부를 황으로 전환할 수 없으나 70% 전후의 아황산가스가 고체황으로 전환될 수 있다.
나머지 비율은 황산화물 형태 회수된다.
가스 성분에 따른 촉매의 성분이 고려되어야 하고 보다 많은 아황산가스를 고체 황으로 전

환하고자 할 때에는 환원제가 첨가되어야 한다.

3. 4 미생물 결합액상촉매

액상촉매의 수명을 연장시키기 위하여 철 킬레이트의 분해되는 단점을 보완하는 방법으로 액상촉매에 미생물을 결합시킨다.

미생물 결합 액상촉매는 황화수소와 아황산가스를 동시에 처리할 수 있으며 단독 액상촉매보다 황화수소 제거율이 높고, 촉매의 수명을 연장시킨다.

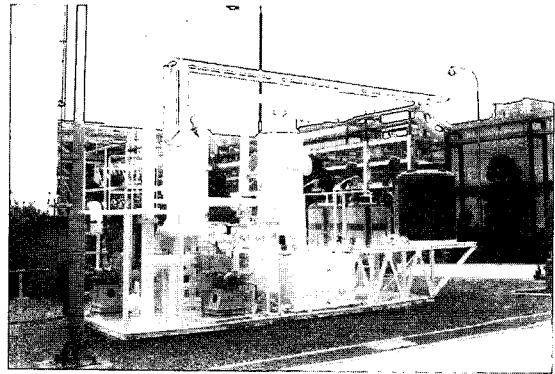


그림. 4 (주) SK 울산공단에 설치되어 있는 액상촉매 Pilot Plant

4. AC/ACF를 이용한 흡착법

4. 1 원리

일반활성탄은 평균 100~1000Å의 입자에 400~700m²/g의 내부표면적을 갖고 있는 반면 활성탄 섬유는 10~40Å와 700~2500m²/g의 입자와 비표면적을 갖고 있어 흡착능력이 우수하다.

활성탄 섬유는 Felt나 Tow 상의 활성탄을 질소와 이산화탄소 혹은 스팀을 가하여 800~1200 탄화하여 제조한다.

활성탄 섬유는 셀룰로오스계(cell계 ACF), 페놀수지(Phenol계 ACF), 아크릴계(PAN계 ACF) 및 피치계(Pitch계 ACF)가 있다.

4. 2 ACF의 특징

- ① 일반활성탄에 비하여 악취성분(질소계 황계)에 대한 흡착력이 강하다.
- ② 비표면적이 크고 미세 세공 크기가 균일하기 때문에 악취가스와 같은 저분자량의 흡착제에 대하여 매우 유리하다.
- ③ 사용 후 재생시 조건이 비교적 낮은 온도(250℃, 활성탄의 경우 1000℃이상)에서 이루어지며 재생효율이 높다.
- ④ 흡착속도가 빠르고 재생효율이 높아짐에 따라 운전비용을 절감할 수 있다.

4. 3 ACF Pilot Plant



그림. 5 ACF Pilot Plant (처리용량 : 1~6 m³/min, 처리대상 : VOCs 및 악취, 통과속도 : 0.1~0.5 m/s, 접촉속도 : 1~5 sec)

4. 4 AC/ACF를 이용한 VOCs 제거 장치와 용매회수 및 재생공정

활성탄(AC) 가격은 저렴하나 재생시간이 길고 완전 재생되지 않는데 반해 활성탄 섬유(ACF)가격이 고가이나 흡착속도가 빠르고, 저농도까지 처리가 가능하다.

그래서 본 개발은 AC와 ACF를 혼합한 복합흡착제를 사용함으로써 제거효율을 증가시키고 혼합악

취를 효과적으로 처리할 수 있다.

VOCs 중 Ketone 화합물을 기존의 활성탄 흡착법에 이용할 경우 표면흡착시 중합반응(polymerization)이 일어나 이때 생성된 물질이 흡착제의 미세공을 막아버린다.

이들 중합반응으로 생성된 물질은 기존의 방법 중 가장 많이 사용하고 있는 스팀재생법으로는 제거가 되지 않아 흡착제의 성능을 떨어뜨린다.

그래서 많은 연구로 스팀재생법과 용매추출법을 이용한 흡착재생 공정을 개발하였다.

단일성분의 경우 스팀재생법만으로 흡착제의 재생이 가능하나, 다성분 혹은 ketone류 화합물은 polymer가 형성됨으로 스팀재생법만으로는 흡착제의 완전재생이 어렵다.

(주)환경과 생명의 스팀재생법과 산과 알코올을 이용한 용매추출법을 복합시킨 AC/ACF 복합흡착 재생공정 및 용매회수장치의 개발은 기존의 활성탄 흡착공정에 비해 제거효율을 증가시키고 AC/ACF의 재생효율을 증가시킨다.

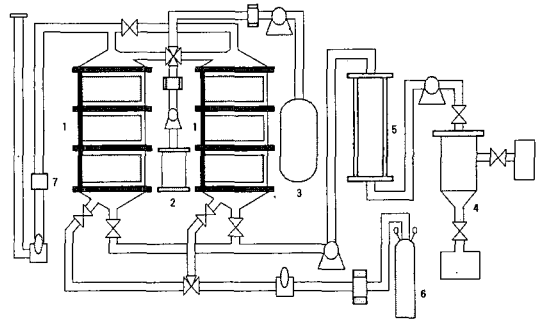


그림. 6 AC/ACF를 이용한 VOCs 제거 장치와 용매회수 및 재생공정

- 1. AC/ACF 복합흡착탑
- 2. 용매추출장치
- 3. 스팀재생장치
- 4. 용매회수장치
- 5. 냉각장치
- 6. 악취
- 7. 수분제거장치

5. ENVEX 2001 전시회에 설치한 바이오필터와 액상촉매 Pilot Plant

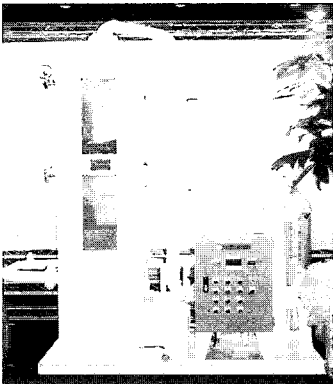


그림7. 바이오필터 공정

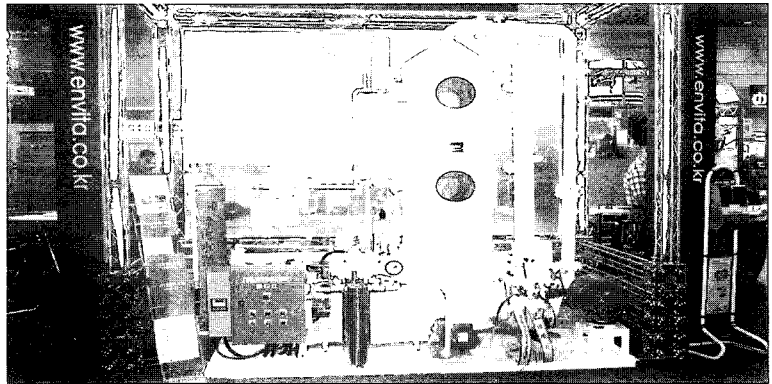


그림8. 미생물혼합 액상촉매 시스템

6. (주)환경과 생명에서 보유하고 있는 지적재산권

특허·실용신안 명	특허·실용신안 (등록번호)
폐기물 소각로의 급기장치	제098900호
폐기물 소각로의 가스유도 장치	제100631호
반 건류식 소각로	제132324호
폐기물 저온건류 소각장치	제006079호
부착미생물 담체를 이용한 황화수소와 암모니아 동시처리 시스템	제10-2001-0003500호 제0234661호
카트리지 형태의 황성탄섬유 및 침착황성탄 섬유를 이용한 산업악취 제거장치	제10-2001-0012739호 제0234634호
액상촉매와 황성탄 필터 및 황성탄 섬유필터를 이용한 황화수소와 VOCs의 처리시스템	제10-2001-0012741호 제0234635호
카트리지 형태의 황성탄필터 및 황성탄 섬유필터를 이용한 VOCs 제거장치와 용매회수 및 재생장치	제10-2001-0013971호 제20-2001-0007394호
축산폐수 처리 시스템	제10-2001-0022455호 제20-2001-0011986호

※자세한 사항은 (주)환경과생명 연구소로 문의하시기바랍니다. (Tel : 062-369-7896)