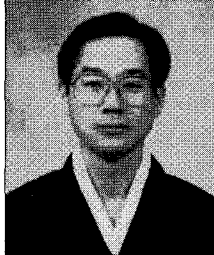


VOC 처리기술 및 경제성(하)



류종찬 부우환경(주) 대표이사, 대기관리기술사

한국폐기물학회 정회원 및 기술부문 위원
 한국대기보전학회 정회원
 통상산업부 공업기반기술개발 기술평가단 위원
 국립환경연구원 환경기술평가기준제정위원
 대기관리기술사

목 차

1. 휘발성 유기화합물질(VOC)의 종류

1. VOC의 정의
2. 규제대상으로써의 VOC 분류

2. VOC의 주요 배출원 및 배출현황

1. VOC의 주요 배출원
2. 국내 각 VOC의 배출현황

3. VOC의 배출량 및 배출농도

1. VOC의 배출량
2. VOC의 배출농도
3. 고정배출원의 배출특성

4. VOC의 배출저감을 위한 대책

1. 외국의 VOC 규제 및 배출 저감 방안
2. 국내의 VOC 규제 및 배출 저감 방안

5. VOC의 처리 기술

1. 개요
2. 연소법에 의한 VOC 처리
3. 회수법에 의한 VOC 처리
4. 농축시스템에 의한 VOC 처리
5. 미생물에 의한 VOC 처리

6. 처리 장치의 선정과 경제성

1. 검토 계획
2. 회수 방식의 경우
3. 연소 방식의 경우

※ 참고문헌

5.5 미생물에 의한 VOC 처리

생물 탈취법은 다른 방법에 비해 유지관리가 용이하고, 운전비가 저렴하다는 특징이 있다.

생물 탈취법에는 각종 방법이 있어, 미생물의 존재상태에 따라서 미생물이 액중에 분산되어 있는 액상형과 미생물이 담체 등에 고정되어 있는 고상형으로 나눈다. 액상형은 특히 취기가스에 대해서 액을 분산시켜 접촉시키는 액분산형과 액에 대해서 취기가스를 붙여넣는 포기법이 있다. 고상형은 토양 또는 개질 토양에 취기를 통과시켜 토양중의 미생물에 의해 분해하는 토양 탈취법과 담체를 충전하는 충전식 생물탈취법이 있다.

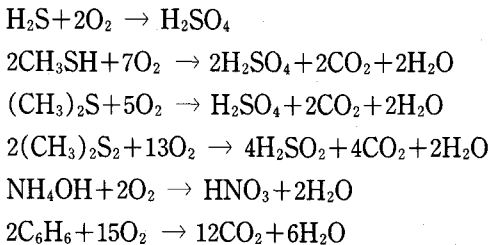
이들 생물탈취법중에서 토양탈취는 많은 설치면적을 필요로 하고, 토양의 유지관리에 시간과 노력을 필요로 하는 결점이 있다. 또, 스크러버법, 포기법은 탈취효과가 나쁘다는 등의 결점이 있다. 최근에는 이들의 결점이 적은 충전식 생물 탈취법이 하수처리장을 중심으로 채용되고 있다.

5.5.1 원리

생물탈취법은 미생물(세균)에 의해 악취물질을 분해시키는 방법으로 먼저 암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄,

황화메틸, 이황화메틸, 휘발성 유기탄소(VOC)등의 악취 물질을 함유한 취기가스가 담체표면의 미생물을 포함한 수막과 접촉하여 용해한다.

물에 용해된 악취물질은 오수 및 오니중에 넓게 생식하는 유황산화 세균과 초산균 등의 미생물과 접촉하고, 미생물반응을 받아, 유황계 취기는 유산으로, 질소계 취기는 초산으로, 유기계 취기는 이산화탄소와 물로 전환되어 탈취된다. 동시에 미생물은 악취물질을 에너지원으로 자화하고, 증식에 이용한다. 악취물질의 생물분해 반응식의 예를 다음에 나타내었다.



5.5.2 환경조건

미생물은 취기성분의 농도변화, 온도변화, pH등에 상당히 민감하고, 사용하는 물의 수질도 선택할 필요가 있는 등, 이용할 때에 어떻게 미생물의 활성유지를 위한 조건을 정리하는가가 탈취성능을 크게 좌우한다.

① pH

탈취미생물의 최적 pH는 일반적으로 중성으로 pH가 낮으면 미생물 저해가 발생한다. 그러나, 황산화균중에는 낮은 pH로 활성을 유지하는 균도 있다. 황화수소를 포함한 탈취의 운전 예에서는 pH가 탈취탑 하부에서 2~3, 상부에서 약7로 나뉘어져 있다. 유황계 취기의 경우는 배출수의 pH값이 2이하가 되지 않도록 제어하고 있다.

② 수분

미생물의 생명유지를 위한 수분이 필요하고, 살수가 정지한 경우는 건조하고, 탈취기능을 발휘할 수 없는 경우가 있다. 따라서, 항상 습윤상태를 유지할 필요가 있다.

③ 에너지원, 탄소원, 그 외의 영양소

미생물의 생육에 에너지원, 영양소가 필요하지만 특별히 보급할 필요는 없다. 에너지원은 악취의 이산화탄소도 있다. 그 외의 영양소도 악취물질 및 보급되는 살수에 포함되어 있는 양으로 보통 모자란다. 그러나, 공업용수등인을 포함하지 않은 액을 살수원으로 하는 경우는 운전시작시 인의 첨가를 필요로 하는 경우도 있다.

④ 온도

온도는 10~40℃의 범위에서 최적온도는 30℃정도로, 온도조정은 필요로 하지않는다. 그러나, 온도가 낮으면 성능발휘에 장기간을 필요로 하므로 운전시작은 봄 또는 여름이 좋다.

⑤ 소금 농도는 1%미만, 또는 0.5%이하이다.

5.5.3 적용사례

하수처리장 탈취에 적용한 경우의 각 취기물질별 처리 효율을 보면 다음 표와 같다.

A. 하수처리장의 처리실적

	생물탈취탑 입구	생물탈취탑 출구	처리효율(%)
황화수소	5.0	0.078	98.44
메틸메르캅탄	0.23	0.0074	96.78
황화메틸	0.19	0.0016	99.16
이황화메틸	0.0009	<0.002	77.78
암모니아	<0.05	<0.05	-
트리메틸아민	<0.001	<0.001	-
아세트알데히드	<0.01	<0.01	-
스틸렌	<0.005	<0.005	-
프로피온산	<0.003	<0.003	-
취기농도	960	41	95.73

B. 하수처리장의 처리실적

	생물탈취탑 입구	생물탈취탑 출구	처리효율(%)
벤젠	53	6.9	86.98
톨루엔	11	3.0	72.73
에틸벤젠	15	1.9	87.33
키실렌	1.6	<1.0	37.50
스티렌	26	<1.0	96.15

6. 처리장치의 선정과 경제성

6.1 검토계획

탈취장치를 포함하여, VOC 처리설비 등 환경오염방지 설비는 생산설비가 아니므로 기업경영으로부터 보면, 반
 동시 설치비, 운전비, 납기, 설치면적의 삭감을 요구한다.

그를 위해서는 모든 면에서 항상 생산기술(설비)과 밸런
 스가 취해진 환경오염방지설비를 제공하지 않으면 안된다.
 처리장치 선정에 관해서는 먼저 입지조건과 배가스 성상의
 조사가 필요하다. 입지조건은 선정기준이 되므로, 충분한
 조사, 검토가 필요하다. 배가스의 성상은 VOC만이 아니
 라, 미량불순물과 분진 등에서도 처리장치의 선정, 설치비,
 운전비에 영향을 주므로 조사가 필요하다.(표 6.1 참조)

또, 일반적으로 처리장치의 코스트는 풍량에 비례하여
 코스트가 높게 되므로, 발생원에서의 배기량을 가능한 한
 작게 하는 검토도 필요하다.

6.2 회수방식의 경우

회수장치는 사용하는 흡착제의 종류와 장치구조에 따라

서 달라지지만, 일반적인 견지에서 고정상식과 유동상식
 의 장점·단점을 표 6.2에 나타내었다.

[표 6.2 회수장치의 장·단점]

	고정상식	유동상식
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 풍량변동, 농도변화에 적응성이 좋다. • 콤팩트, 옥상에도 설치할 수 있다. • 활성탄이 저렴하다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 질소탈착이므로 수용성용제도 고순도로 회수할 수 있다. • 폐수처리가 불필요 • 안전성이 높다.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 폐수처리가 필요 • 수용성 용제의 회수율 및 회수품질이 나쁘다. • 케톤계 용제는 충분한 발화대책이 필요 	<ul style="list-style-type: none"> • 풍량변동, 농도변동에 추종하기 어렵고, 일정조건에 운전이 된다. • 활성탄이 비싸다. • 장치 높이가 높다.

6.3 연소방식의 경우

6.3.1 연료비의 비교

연료비는 연소장치의 선정조건 중의 중요한 요소 중의 하나이다. 배가스에 포함된 VOC의 농도에 의해 적정의 연
 소장치가 다르므로 충분한 해석이 필요하다. 농도변화에

[표 6.1 처리장치의 선정을 위한 기본조사]

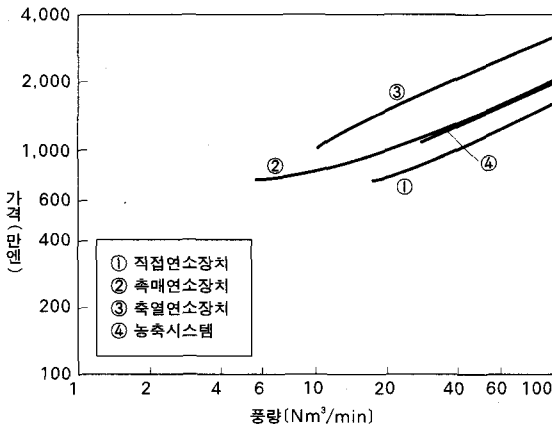
	항목	비고
입 지 조 건	1)규제치(배출기구, 경계선)	1)규제의 동향도 조사하고, 장래의 규제치도 예측하고 검토한다.
	2)설치장소	2)설치면적, 내하중, 높이제한, 고압가스, 위험물 규제법 그 외 규제법의 제약, 발생원과 유틸리티로부터의 거리, 경계선과 주택으로부터의 거리
	3)소음치의 조건	
	4)유틸리티 조건	4)유틸리티의 유무, 사용능력, 증설의 가부
	5)예산액	5)예산액 및 확보계획
	6)회수 또는 연소방침	6)연소방식의 경우 폐열증기, 온수의 이용가부
	7)안전, 방제기준	7)사내기준, 소방법 기준, 그 외
	8)2차공해대책의 조건	8)폐수처리의 유무, NOx · SOx · HCl 대책
	9)유지, 보수조건	9)유지 보수의 유무, 방법
	10)운전비 조건	10)설비비가 저렴한 경우 운전비가 높은 경우가 있음
배가 스의 성상	1)배가스의 조건	1)풍량, 온도, 습도 및 변동상태, 처리장치전의 정압, 가동시간
	2)VOC의 조건	2)성분, 농도 및 변동상태, 회수의 경우는 활성탄으로의 흡착성 조사, 연소의 경우는 할로겐·유황화합물·질소화합물의 유무
	3)불순물의 확인	3)고비점물질의 유무, 촉매열화물질의 유무(촉매연소의 경우)분진의 종류와 농도

따라서도 적정장치가 다르다. 예를들면 사용자의 사양에서 톨루엔 3,000ppm의 경우, 직접 연소장치가 적정이라도 생각할 수 있다. 단, 사용자의 사양에서는 max.의 표시가 많고, 상세하게 조사하면 평균농도는 1,000ppm으로, 순간적인 max.농도가 2,500ppm,여유를 보고 3,000ppm이라는 사례가 많다. 이 경우에서는 촉매연소장치와 축열 연소장치(열효율85~90%)로하여 이상승온 대책을 장비한 쪽이 적정하다고 생각할 수 있다. 연료비의 비교에 있어서 촉매연소 장치가 적정의 경우라도 공장에서 증기가 필요하게 되어 직접연소장치로 하여 폐열 보일러에서 열 회수하는 편이 장점이 있는 경우도 있어 폐열회수도 포함하여 해석이 요구된다.

6.3.2 초기 투자비

각각의 연소장치별 초기 투자비 비교를 그림6.1에 나타내었다.

이 자료는 몇몇 연소장치 제작자의 정가평균치이다. 축열연소장치는 소풍량에서는 비교적 비싸지만, 500m³/min 이상에서는 거의 다른 방식과 같은 수준으로 되어있다.



[그림 6.1 연소장치의 표준가격]

6.3.3 VOC의 조성

배가스 VOC조성으로서 할로젠 화합물, 유황화합물이 포함되어 있는 경우는 유해한 무기산을 발생하므로, 그 농

도에 따라서는 연소배가스에 알칼리 세정이 필요하게 된다. 이들의 화합물은 촉매에는 조촉매로서 작용하고, 촉매 연소온도는 400~500℃로 높일 필요가 있다.

최근 할로젠계 용제전용 촉매연소장치도 개발되어 시판되고 있지만, 일반적인 촉매 연소장치는 그다지 적당하다고 말할 수 없다. 직접연소 방식에서는 이들의 화합물을 완전하게 분해시키기 위해서 850~900℃의 고온이 필요한 경우가 많고, 직접 연소장치는 적당하지 않은 경우가 있다.

6.3.4 열화성분, 부착성분

촉매연소장치의 촉매를 열화시키는 열화성분은 여러 가지가 있지만, 특히 유기 실리콘에 의한 열화의 사례가 많다.

최근에는 촉매보호를 위한 전처리재가 개발되고 있지만 전처리재의 교환비용도 고가로 연소장치와의 비교에 있어서는 촉매 및 전처리재의 교환비를 포함하여 운전비의 비교가 필요하다.

도장의 도금로의 배가스와 접착 테이터의 건조로의 배가스등은 고비점의 타르분과 가역제를 포함한 경우가 있어, 고비점물이 촉매와 열교환기에 부착하여 성능을 저하시키거나, 폐쇄하는 문제를 발생하는 경우가 있다. 이들 물질에 의한 문제점은 직접 연소장치는 별로 민감하지 않지만, 촉매 연소장치와 축열연소장치는 정기적으로 무부하 연소에 의한 고비점 물질의 제거청소가 필요하다.

6.3.5 NOx의 대책

THERMAL NOx는 촉매연소장치와 축열연소장치는 거의 발생하지 않지만, 직접연소장치는 규제치에 따라서는 문제가 되어, 탈초장치의 설치가 필요하게 된다.

질소화합물이 포함되어 있는 경우는 FUEL NOx가 발생하고, 어느 연소장치에서도 규제치에 따라서는 대책이 필요하다.

6.3.6 유지·보수

연소장치는 기본적인 장치에 대해서는 그다지 유지·보

수는 필요로 하지 않는다. 촉매연소 장치의 경우, 촉매열 화물질이 포함되어 있는 경우에는 촉매의 성능 체크와 교환작업이 필요하게 된다.

고비점 화합물에 의한 폐쇄가 일어나는 경우는 정기적인 무부하 연소가 필요하게 된다.

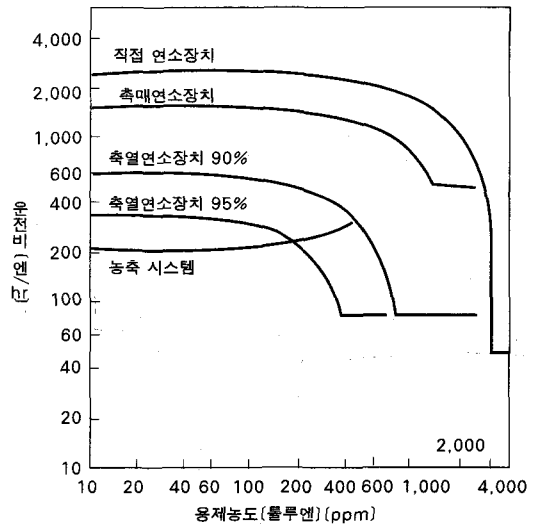
6.3.7 설치면적

3탑식 촉열연소장치는 장치가 대형인 결점이 있어 적용할 수 없는 경우가 있지만, 최근에는 1탑식의 콤팩트한 장치도 개발되고 있다.

6.4 농축시스템의 경우

그림 6.2에서 운전비를 나타낸 바와 같이 회수하여 연소해도 VOC의 농도가 200ppm이하, 특히, 150ppm이하에서는 농축 시스템이 유리한 경우가 많다.

본문에서는 선정을 위한 주요한 VOC처리장치의 개요를 서술한 데 지나지 않는다. 고정상식 회수장치만 하더라도 압력 스윙법, 회전식 회수장치, 사용하는 흡착재의 종류와 형상에 의한 장치 및 성능의 특성 등 용도에 맞게 여러 가지 장치가 개발되어 있고 선정항목도 유틸리티의 유무, 장래의 규제치 등을 고려하여 실제 선정 작업에 있어서는 충분한 조사·분석을 필요로 한다.



조건 배가스풍량: 100Nm³/min, 입구온도 20℃, 가동시간 3,000hr/yr

직접연소장치 : 연소온도 750℃, 열교환효율 50%, 압력손실 150mmAq

촉매연소장치 : 연소온도 350℃, 열교환효율 50%, 압력손실 250mmAq

촉열연소장치 : 연소온도 860℃, 열교환효율 95%, 90%, 압력손실 250mmAq

농축시스템 : 농축장치(10~100ppm) - 촉열연소장치 90%
(100ppm~) - 촉매연소장치 50%
압력손실 120mmAq,
농축배율(100 : 20배, 100~150배, 200:20배, 300:7배, 400 : 5배

단가: 전력량 13엔/KW, 연료 33엔/10³kcal, 황상탄교환비 70천엔/(회·1년)

촉매교환비 3,750천엔(회·3년), 하니클 로터 교환비 2,000천엔/(회·5년)

〈그림 6.2 연소장치의 운전비〉

참고문헌

1. 한희진, "국내 VOC 현황 및 배출원별 관리방향", 첨단환경기술, 6월호, 1996
2. 出雲正矩, "VOC의 脱臭装置의 最上選定, 化學装置 VOL.39, NO.2, 1997
3. 中澤後明 外, "紐狀纖維担体を使用した 生物脱臭システム", 化學装置, VOL.39, NO.2, 1997