

산업현장의 악취제거기술과 최근 동향

(주)퓨리테크 김대승

산업시설의 급속한 팽창과 더불어 날로 증가하는 환경오염 문제는 중요한 사회적 문제가 되고 있으며 이중 악취가스는 환경 소음과 함께 가장 큰 민원의 대상이 되고 있다. 이러한 악취가스를 제거할 수 있는 탈취기술이 선진국을 중심으로 날로 발전되고 있으며 새로운 탈취장치, 새로운 탈취재료 등이 연이어 개발 시판되고 있다. 일반적으로 알려져 있는 탈취기술로는 악취물질을 물로 세척하여 처리하는 세정법을 비롯하여 활성탄, 제올라이트 등의 흡착제를 이용하여 흡착 제거하는 방법, 악취물질을 연소에서 연소 분해하거나, 촉매를 이용하여 악취물질을 산화분해 시키는 방법 또는 토양이나 활성슬러지의 미생물을 이용하여 분해하는 방법 등 악취가스의 상태에 따라 다양한 탈취법이 적용되고 있다. 이중 최근 선진국에서 주목되어지고있는 탈취기술로는 축열식연소법, 담체충전형미생물탈취법, 부식질탈취법, 촉매탈취법 등을 들 수 있다.

1. 서론

그간 IMF 관리체제하에서 위축되었던 기업활동이 활성화되면서 대기환경 상태가 악화될 우려가 있음에 따라, 환경부는 작년에 배출사업장 관리강화를 위해 “'99 대기배출사업장 중점관리대책”을 수립, 시·도 및 환경관리청에 시달한바 있다. 또한 소각시설, 화학비료제조시설, 염산 및 인산제조시설, 보일러 등 1999년 1월 1일부터 강화된 배출허용기준을 적용 받는 사업장을 집중점검하고 시설개선에 미온적인 업체는 관련법령에 따라 엄격히 처분토록 한바 있다.

이것은 최근 들어 대기오염 문제의 심각성을 그대로 반영한 일련의 조치로 볼 수 있다. 1999년부터 오염배출에 대한 감시를 보다 강화하기 위하여 문제의 사업장, 악취 중점관리사업장, 중금속 등 특정 대기유해물질을 배출하는 사업장은 정기적인 배출가스의 분석과 감시를 받도록 하였고, 악취공해가 심각한 시화 반월 공단의 경우 '98년 정밀조사시 문제가 된 시설은 개선이 조속히 이루어질 수 있도록 집중점검하고, 민원발생에 대비한 악취관련상황실 운영 및 악취예고제 보완시행, 관계기관간 합동점검 등 악취대책을 강화하도록 하였다.

이러한 대기 환경오염 중 악취 문제가 대단히 큰 비중을 차지하고 있으며, 한해 동안 환경부에 접수되는 민원 중 소음과 더불어 악취공해가 민원의 대부분을 차지하고 있는 것에서 잘 알 수 있다. 이러한 문제를 근본적으로 해결 할 수 있는 기술적 대책이 자체적으로 시급히 마련되어야 만이 외국의 기술을 비싼 가격에 도입하거나, 단순한 기존 탈취 기법을 그대로 답습하는 관습에서 벗어날 수 있을 것이다.

본고에서는 각종 산업현장에서 발생되고 있는 악취가스에 대한 대책마련 차원에서 올바른 기술적 이해를 돕고자 하였다. 각종 악취가스의 종류와 특성 그리고 이를 제거하기 위한 최근의 탈취기술들을 소개하고 이들의 장단점을 알아보았다.

2. 본론

2-1. 악취가스의 특성

산업 전반에 걸쳐 광범위하게 발생되고 있는 악취가스는 VOC, 질소산화물과 함께 대기 환경 오염의 주원인 물질로 1991년에 대기환경보전법시행규칙이 제정된 이래 규제와 관련 법령이 날로 강화되고 있다. 특히 발생 주변 지역 주민들의 민원이 크게 급증하고 있는 실정이다.

악취는 냄새를 발생시키는 물질성분으로 인해 자극성 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감이나 혐오감을 주는 상태로 소음과 같이 감각공해에 해당되어 청각, 후각, 미각 등 신경계통에 작용하고 많은 사람에게 피해를 주게 된다. 일례로 분뇨처리장, 축산폐수처리장, 하수처리장 등의 악취는 황화수소가 주된 오염물질이지만 그 외에도 암모니아, 메틸메르캅탄, 아민류 및 저급지방산등의 물질이 함유되어 악취강도를 상승시키게 된다.

전형적인 감각공해인 악취공해는 처리가스량의 99.9내지 99.99%가 제거되지 않으면 감각적으로 탈취 효과가 느껴지지 않는 문제가 있다. 이는 악취물질량과 후각자극과의 관계를 나타내는 Weber-Fechner의 법칙으로 이해할 수 있는데, 이 식(1)에 의하면 감각으로 느껴지는 취기강도는 취기성분농도의 대수치에 비례한다.

$$I = K \log R + C \text{ ----- (1)}$$

(I : 취기강도 R : 취기성분농도 K ; 상수 C ; 상수)

또한 악취가스는 다성분의 혼합성분이며, 극히 저농도의 경우가 대부분이다. 이러한 문제들로 인해서 악취방지대책을 타공해방지대책에 비해서 매우 어렵게 여기는 가장 큰 원인중 하나이다.

또한 VOC는 탄화수소 화합물의 총칭으로 오존 등 광화학스모그 원인 물질일 뿐만 아니라 발암성 등의 유해물질, 지구온난화와 성층권 오존층 파괴의 원인 물질, 대기 중 악취물질(방향족 화합물)로서 환경 및 건강에 영향을 초래하여 선진국의 경우 VOC와 악취가스의 배출허용 기준을 엄격하게 규제하고 있다.

악취물질은 정유공장, 화학공장, 하수처리장, 분뇨 및 축산폐수처리장, 매립장 등 발생원 별로 여러 가지 복합된 화합물이 원인이 되어 악취를 유발하며 단위화합물질로서 황화수소는 계란 썩는 냄새, 메르캅탄류는 야채 썩는 냄새, 아민류는 생선 냄새 등의 특이한 냄새를 유발하며, 수분 분진 등을 포함하는 고농도의 유해가스인 경우가 대부분이다. 특히 소각로, 분뇨처리, 화학 관련공장 및 퇴비화 시설 등에서 발생하는 유해 가스는 심각한 환경문제로 그의 효과적인 제거 기술이 절실한 상황이다.

악취에 관한 규제와 민원 동향의 변화는 탈취기술에도 영향을 미치게 된다. 완전히 새로운 원리에 의한 탈취 방식이라든가, 초저가격의 탈취 장치 등 획기적인 것은 나타나지 않고 있지만 각 방식의 탈취장치에 관해서 성능향상, 에너지절감, 운전비용절감 등 유지관리면과 타방식과의 조합 그리고 전처리 방식의 개발 등 여러 측면에서 개량이 이루어지고 있는 상황이다.

표 1 에는 취기강도 표시법을 나타냈으며, 표 2는 대표적인 22종의 악취물질과 그의 취기강도를 나타내었다. 또한 표 3은 각 악취물질의 주요 발생처를 정리하여 나타내었다.

표 1. 6단계취기강도 표시법

취기 강도	냄새의 정도
0	무취
1	약간 감지가 가능한 정도
2	무슨 냄새인지를 알아차릴 수 있는 정도
3	충분히 감지가 가능한 정도
4	강한 냄새
5	강렬해서 고통스러운 단계

표 2. 주요악취물질의 취기강도와 농도의 관계

악취물질	취기강도	2.5	3	3.5	5	냄새의 종류
암모니아	NH ₃	1	2	5	40	자극성냄새
메틸메르캡탄	CH ₃ SH	0.002	0.004	0.01	0.2	썩은 양파냄새
황화수소	H ₂ S	0.02	0.06	0.2	8	썩은 계란냄새
황화디메틸	(CH ₃) ₂ S	0.01	0.05	0.2	20	썩은 양배추냄새
이황화디메틸	CH ₃ SSCH ₃	0.009	0.03	0.1	3	해초냄새
트리메틸아민	(CH ₃) ₃ N	0.005	0.02	0.07	3	썩은 생선냄새
아세트알데히드	CH ₃ CHO	0.05	0.1	0.5	10	곰팡이냄새
프로피온알데히드	CH ₃ CH ₂ CHO	0.05	0.1	0.5	10	느끼한 자극성냄새
노말부틸알데히드	CH ₃ (CH ₂) ₂ CHO	0.009	0.03	0.08	2	약간 불쾌한냄새
이소부틸알데히드	(CH ₃) ₂ CHCHO	0.02	0.07	0.2	5	약한 곰팡이냄새
노말발렌알데히드	CH ₃ (CH ₂) ₃ CHO	0.009	0.02	0.05	0.6	약간 불쾌한냄새
이소발렌알데히드	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CHO	0.003	0.006	0.01	0.2	약간 불쾌한냄새
이소부타놀	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ OH	0.9	4	20	1000	-
초산에틸	CH ₃ CO ₂ C ₂ H ₅	3	7	20	200	-
메틸이소부틸케톤	CH ₃ COCH ₂ CH(CH ₃) ₂	1	3	6	50	단냄새
톨루엔	C ₆ H ₅ CH ₃	10	30	60	700	나프탈렌 고무냄새
스티렌	C ₆ H ₅ CH=CH ₂	0.4	0.8	2	20	플라스틱 고무냄새
키실렌	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	1	2	5	50	단냄새
프로피온산	CH ₃ CH ₂ COOH	0.03	0.07	0.2	2	약한 초산냄새
노말락산	CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	0.001	0.002	0.006	0.09	땀냄새
노말길초산	CH ₃ (CH ₂) ₃ COOH	0.0009	0.002	0.004	0.04	불쾌한 냄새
이소길초산	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ COOH	0.001	0.004	0.1	0.3	불쾌한 냄새

2-2. 탈취법의 종류

악취가스를 제거할 수 있는 방법은 표 3에 나타낸 바와 같이 크게 물리적, 화학적 그리고 생물학적 방법으로 구분할 수 있다. 악취물질을 물로 세척하여 처리하거나 활성탄, 제올라이트 등의 흡착제로 흡착 제거하는 방법, 악취물질을 연소로에서 연소 분해하거나, 촉매를 이용하여 악취물질을 산화분해 시키는 방법이 있다. 또한 토양이나 활성슬러지의 미생물을 이용하여 분해하는 방법 등 악취가스의 상태에 따라 다양한 탈취법이 적용되고 있다. 표 4는 현재 시판되고있는 각 탈취장치들을 분류하여 나타냈다.

표 3. 악취가스 제거방법의 분류

구분	악취제거법
물리적 방법	수세방식 -- 물, 활성탄현탁액 흡착방식 -- 활성탄, 제올라이트 냉각응축방식 -- 수냉, 공냉 희석방식 -- 공기, 대기확산
화학적 방법	약액흡수방식 산화흡수방식 -- 기상산화제(오존, 염소등) 액상산화제(차아염소산소다, 과망간산칼륨, 과산화수소등) 산, 알칼리흡수법 -- 산(황산, 염산등), 알칼리(NaOH, 석회등) 화학흡착방식 -- 이온교환수지, 염기성가스흡착제, 산성가스흡착제 연소방식 -- 직접연소법, 촉매산화법, 축열식연소법 중화제에 의한 방식 -- 마스크제, 중화제(식물정제유)
생물학적 방법	도양탈취방식 활성오니방식-- 스크라바방식, 포기조방식 담체층진행방식 부식질탈취법

2-3. 각 탈취법의 특징과 최근 동향

2-3-1. 세정법

세정 장치의 대표적 형태는 그림 1 과 같이 입형과 중형이 있으며, 수세정과 산 알칼리세정이 대표적이다. 수세정은 주로 암모니아에 효과적이며, 산 알칼리 세정은 고농도의 악취가스제거에는 적합하나, 중 저 농도의 가스에는 적합하지 않은 것으로 알려져 왔으나 최근에는 다양한 세정탑의 형상과 다양한 종류의 세정액이 나오고 있어서 적용 대상의 가스 범위가 넓어진 상태이다. 특히 차아염소산소다, 안정화이산화염소나 화학반응계 소탈취제를 이용해서 탈취성능을 크게 향상시키고 있다. 표 5 에 각 세정제의 종류와 대상가스를 나타냈다. 세정법은 공탑속도를 크게할 수 있어 장치가 콤팩트해지고, 경제적으로 악취를 제거할 수 있으며 가스의 냉각 집진 효과 등 많은 장점을 갖고 있다.

(a) 물에 의한 탈취

수용성의 악취성분을 물에 용해 흡수하는 방법이다. 수세에 의해 가스의 냉각과 집진 효과를 기대할 수 있고, 탈취의 전처리장치로 이용되는 경우가 많다. 수세법의 중요한 점은 대상 악취의 물에 대한 용해도인데 액상으로는 물에 무한대로 용해하는 경우도 가스상으로는 쉽게 용해되지 않는 경우가 많아서 실용성이 없는 경우가 있어서 엄밀한 사전 검토가 필요하다.

표 4. 탈취장치의 종류와 특징

탈취장치		개요	장점	단점	
연소법	직접연소장치	· 약 800-900°C로 가열하여 무해한 CO ₂ 와 H ₂ O로 산화분해	· 광범위의 유기용제를 탈취	· 폐열회수에 운전비 고가 · NOx 발생	
	축열식연소장치	· 축열재에 의해 열교환율 (>80%)을 높인 연소장치	· 중간농도의 배가스는 경제적으로 탈취 · NOx 의 발생이 적다	· 설치 공간과 증량이 커진다. · 설비cost가 높다	
	축매식연소장치	· 축매에 의해 200-300°C의 저온에서 산화분해	· 직접연소법에 비해 운전비 저렴 · NOx 의 발생이 적다	· 축매약화물질이 함유되어 있을 경우 대책필요	
세정법	세정(흡수)식 탈취장치	· 약품을 이용한 화학반응 탈취 · 약취물질의 종류에 따라산, 알카리,산화제 사용	· 설치비가 저렴 · mist, dust를 동시에 처리 가능 · 가스의 냉각효과	· 폐수처리가 필요 · 약액농도조정과 계기점검 등 수시관리필요 · 약품에 대한 안전대책, 장치의 부식대책 필요	
흡착법	회수	고정상식 회수장치	· 활성탄을 충전한 탑을이용 흡착하고 수증기로 탈착,냉각 응축해서 회수	· 역사가 오래되었고 실적이 많다. · 조작이 간편 · 크기가 작다.	· 폐수가 다량발생 · 케톤계 용제는 발화방지 대책 필요
		유동식 회수장치	· 유동층에서 용제 회수 · 유동층에서 가열탈착 · 활성탄이 순환, 연속회수장치 · 탈착가스는 질소	· 폐수가 거의 발생하지 않음 · 케톤계 용제도 안전하게 회수 · 회수용제중의 수분 소량	· 장치가 커진다 · 풍량이대폭 변동할 때는 풍량제어장치가 필요
	농축	honeycomb 식 농축장치	· 저농도의 악취로부터 악취물질을 분리, 농축	· 대풍량의 배가스도 경제적으로 처리 · 장치가 compact · 보수유지가 간편 · 작업실의 탈취도 가능	· 활성탄 약화물질이 다량으로 함유되어 있을 경우 불가
	교환	교환식 흡착장치	· 흡착제와 산화제를 충전하여 악취통과 · 충전재의 효과가 떨어지면 새것으로 교환	· 장치비가 저렴 · compact · 운전조작이 간단	· 초저농도에 한정(농도가 높으면 교환비 고가)
생물탈취법	토양탈취법	· 악취를 토양층으로 통과, 토양중의 미생물에 의해 분해탈취	· 운전비가 매우 저렴 · 유지관리가 용이 · 토양의 상층을 화단이나 녹지로 이용	· 처리 가스가 한정적 · 강우시에 통풍저항이 높아져 leak 발생 · 넓은 면적 필요	
	충진탑법	· 미생물을 담지한 담체를 충전한 탑내로 악취를 통과하여 미생물에 의해 분해탈취	· 장치가 compact · 유지관리가 용이 · 운전비가 저렴	· 처리하고자하는 악취물질이 제한적 · 미생물의 순치기간 필요 · 산성폐액처리가 필요	
소 탈취제		· 악취를 소 탈취제로 처리	· 간단, 간편	· 기본적으로는 악취물질을 무취화하지않는 경우가 많다.	

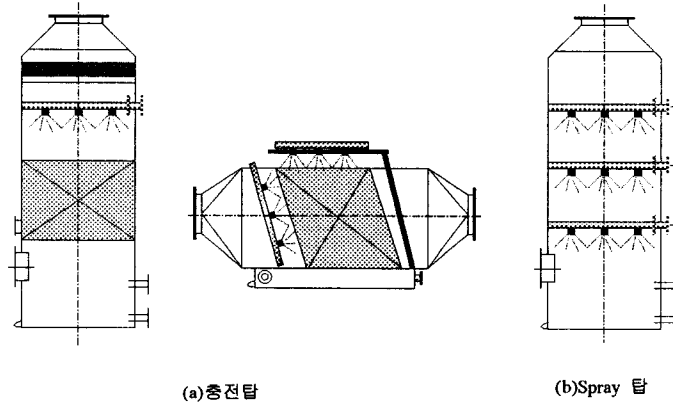


그림 1. 세정탑의 종류

(b) 중화제에 의한 탈취

악취성분이 알칼리성의 경우 황산과 염산의 수용액으로 중화하고, 악취성분이 산성의 경우는 가성소다 등의 알칼리성분으로 중화해서 처리하는 방법이다. 약액을 사용하므로 장치의 배관 재질에 특히 유의하여야하며 동결 방지책 등 안전대책을 충분히 검토하여 설치하여야 한다.

(c) 산화제에 의한 탈취

물과 중화제로는 제거가 어려운 악취물질의 경우 산화제에 의해 제거되는 경우가 많다. 세정액 중에 함유된 산소와 염소와 악취성분의 산화반응에 의해 무취물질이 되어 세정액중에 고정된다. 저 농도 취기에도 효과가 있지만 약액의 농도가 고농도일 경우 장치 출구에서 약액의 냄새가 문제가 될 수 있으므로 농도관리가 매우 중요한 사항이 된다. 장치의 재질에 관해서도 내식성 재료를 선정하여야 한다.

(d) 기타 세정법

- 상기 이외에 특수한 세정액을 사용하는 경우도 있다.
- 중화제와 산화제로도 탈취효과가 적은 경우 환원제가 효과적인 경우가 있다. 예를 들면 알데히드류의 탈취 등에 이용된다.
 - 소탈취제 중에서 희박수용액으로도 세정이 효과적인 경우가 있다. 사용하는 탈취제는 무색, 무취, 무독성이 많으며 사용 용수량을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 세정폐액을 그대로 방류해도 무방한 장점이 있다.
 - 유기용제를 세정액으로 사용하는 경우가 있는데 경제성과 안전성의 문제가 있으며 사용하는 경우는 그리 많지 않다.
 - 세정액에 분말상의 활성탄 입자를 현탁액으로 만들어 흡수하기 어려운 악취성분을 용

이하에 흡착하는 방법으로 메르캡탄, 황화메틸, 이황화메틸 등에 유효하다.

표 5. 세정제의 종류 및 대상 가스

Washing Agent	Additives	Applications
Water		ammonia, formaldehyde, methanol, ethanol, isopropyl alcohol, acetone etc.
Neutralizing Agent	H ₂ SO ₄ , HCl	ammonia, amines etc.
	NaOH, KOH	hydrogen sulfide, mercaptans, fatty acids etc.
Oxidant	NaClO, ClO ₂ , KMnO ₄	ammonia, hydrogen sulfide, mercaptans, methyl sulfide, aldehydes, amines etc.
The Others	Reducing Agent(Na ₂ SO ₃ , NaHSO ₃ , Na ₂ S ₂ O ₃ Solution)	
	Liquid Deodorant(solution of chemical deodorant)	
	Organic Solvent	
	Activated carbon Suspension(Alkali solution & Activated sludge solution)	
	Activated Sludge(Biofiltration)	

2-3-2. 흡착법

흡착제에 악취물질을 통과시켜 악취물질을 흡착 제거하여 제거하는 방법이다. 흡착제 거후 처리방법은 교환식탈취장치, 용제회수장치, 농축탈취장치 등 3가지 방식이 있으며 조건과 목적에 따라 방식을 선택할 수 있다.

표 6 에 나타낸바와 같이 교환식은 일반적으로 알려져 있는 활성탄층전 흡착탑으로 악취를 통과시켜 활성탄이 파괴점에 다다르면 신탄으로 교체(또는 재생 대체)하여 사용하는 방식으로 현재도 가장 널리 이용되고 있는 방식이다. 그러나 최근에는 고성능 침착활성탄이 개발되어 가스의 종류를 다양화 할 뿐만 아니라 교체주기도 크게 연장되고 있다. 흡착제는 비표면적이 매우 높은 고체로 악취물질을 분자인력과 정전력으로 그의 표면에 흡착 고정한다. 주로 표면적이 매우 큰 활성탄이 분말, 구상, 입상, 섬유상 등의 형상으로 성형하여 사용되어지고 있다. 활성탄은 가연성인데 반하여 제올라이트는 불연성으로 안전성을 향상시키기 위하여 소수성제올라이트를 사용하기도 한다. 표 7 은 흡착제의 종류와 사용방식을 나타냈다.

표 6. 흡착탈취장치의 분류

탈취장치	개요
회수장치	악취물질을 흡착한 후, 가열 또는 감압하여 악취물질을 추출하여, 냉각, 응축하여, 악취물질을 재사용 할 수 있도록 액체상태로 회수하는 장치
농축장치	저 농도의 악취로부터 악취물질을 흡착한 후, 소풍량의 열풍으로 악취성분을 탈착하여 촉매연소 등의 2차 탈취를 행하는 장치
교환식흡착장치	악취물질의 흡착능력이 저하되면 새로운 흡착제로 교환하여 사용하는 장치. 약액 침착활성탄을 사용할 수 있다.

표 7. 흡착제의 종류와 장치

흡착제	형태	장치
활성탄	구형활성탄	유동식회수장치
	섬유상활성탄	고정상회수장치
		교환식흡착장치
	입상활성탄	고정상회수장치
	교환식흡착장치	
약품침착활성탄	교환식흡착장치	
소수성제올라이트	허니컴로터	허니컴식농축장치
	허니컴로터	허니컴식농축장치
	입상제올라이트	고정상회수장치

2-3-3. 연소법

연소법은 크게 직접연소법, 축열식연소법 그리고 촉매연소법으로 구분할 수 있다.

(a) 직접연소법

먼저 직접연소법은 일정이상의 고온에서 악취가스를 연소하여 처리하는 방법으로 광범위한 가스 성분이 가능하며 고농도의 가스에 적합하다. 그러나 연료비 소모가 크고, NO_x 발생 등의 문제가 단점으로 꼽힌다. 가동온도는 악취성분에 따라 다르지만 보통 700-900°C 정도이며, 체류시간은 0.3-1.0초이다.

최근에는 악취가스의 조건에 따라 에너지 절감, 경제성 등을 고려한 축열식, 촉매식 또는 이들을 조합한 축열촉매연소법이 개발되고 있다. 연소법은 특히 유기용제취의 처리에 적합한 방법으로 VOC(휘발성유기화합물)의 규제가 시작되면서 연소식탈취장치의 기술개발이 크게 진전되었다고 볼 수 있다.

(b) 축열식연소법

VOC의 총량규제에 의해 종래는 규제대상에 들지 않았던 중 저 농도의 범위도 처리가 필요하게 되었으며, 특히 300-800ppm 정도의 유기용제 처리용으로 급격하게 확대되고 있는 것이 축열식 연소장치이다. 이 장치의 원리를 그림 2 에 나타냈다. 축열연소법은 축열체로 방사열을 축적하므로 열교환율이 대단히 높은 것이 특징으로 가동시간이 긴 경우에는 대단히 유리한 방법으로 인정받고 있다. 우선 악취는 고정층(축열체)을 통과하여 히타에 의한 연소구역을 통과한 후 반대측 고정층을 통과하면서 열을 방출하고 배출된다. 그러면서 가스가 배출되는 쪽의 고정층은 온도가 상승하게 되고, 자동 밸브를 이용하여 가스의 흡입유로를 가열되어 있는 고정층으로 변환하면 흡입되는 가스는 고정층을 통과하면서 고온의 가스로 변하여 적은 에너지로도 연소가 지속될 수 있도록 한 것이다.

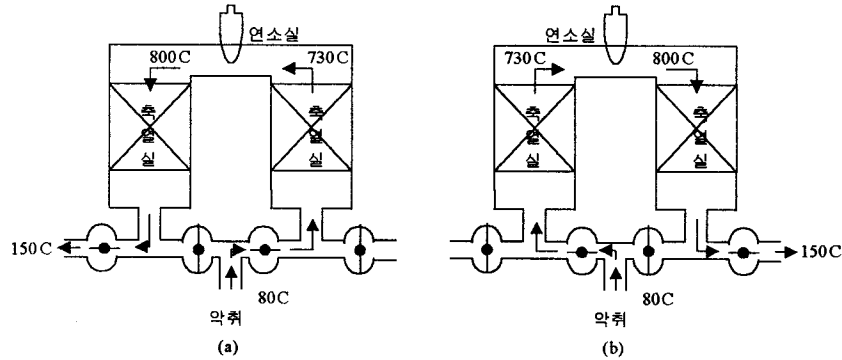


그림 2. 축열연소장치의 원리

(c) 촉매연소법

촉매연소법은 촉매를 이용하여 배가스 중의 악취물질을 접촉산화반응에 의해 연소하여 무취화하는 방법으로 탄화수소 및 그의 산소함유화합물의 경우 이산화탄소와 물로 산화분해한다. 촉매에 의한 연소온도는 200-350°C 정도의 저온에서 산화하기 때문에 NO_x의 발생염려가 없다. 또한 악취를 열교환기에 의해 예열하여 경제적인 장치를 만들 수 있다. 개발된 연소용 촉매로는 백금족금속(Pt, Pd, Rh)과 천이금속(Cr, Co, Ni, Mn, Fe등) 산화물들이 주종을 이룬다. 적용되는 냄새성분으로는 가연성 냄새성분, 황화수소나 암모니아 등도 제거할 수 있다. 그림 3 에 촉매연소장치의 구성을 나타냈다.

촉매식연소장치는 유기실리콘, 인, 할로젠계 용제, 중금속 등의 촉매약화물질 등에 의해 악취가스처리에 제약을 받지만 촉매약화방지책으로, 전처리촉매의 개발과 운전조작 등의 기술을 이용하여 현재 가스처리기술의 중요한 위치를 점하고 있다.

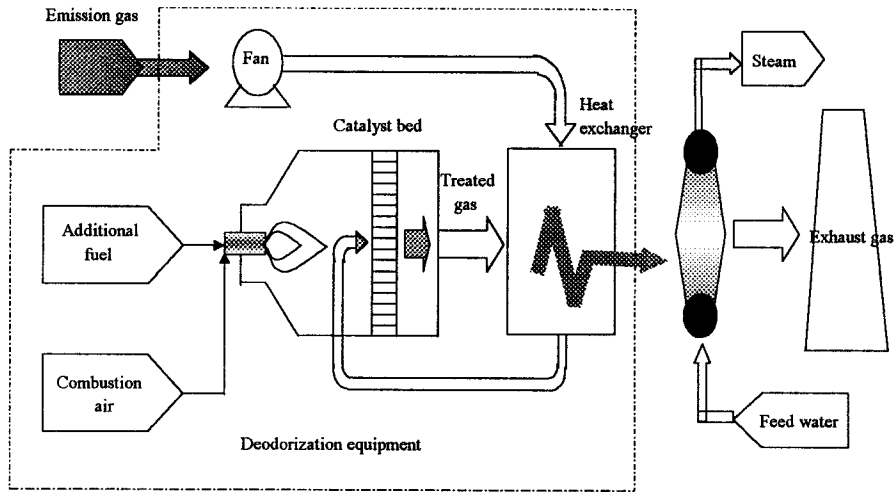


그림 3. 촉매탈취장치의 구성

현재 주로 사용되고 있는 촉매의 종류를 표 8 에 정리하였다. 촉매 사용시 중요한 사항으로 먼저 촉매의 열화현상을 들 수 있는데 촉매를 고온에서 장시간 사용한다든지 한계온도를 넘어 사용하면 열열화가 발생하여 촉매의 성능이 크게 저하하는 현상이 발생한다. 백금촉매의 경우 600°C 이상에서, 팔라듐 촉매의 경우는 700°C 이상에서 발생하게 되며 원인으로서는 촉매표면의 백금과 팔라듐은 고온에서 왕성하게 확산 이동하게 되어 응집 성장하기 때문에 활성점이 감소한다. 또는 담체 표면의 감마알루미나가 열화하여 비표면적이 저하하여 촉매의 비표면적이 감소하여 활성이 저하하게 된다.

표 8. 촉매의 종류

촉 매	특 성
Amorphous 합금촉매	NiP, FeP, FeNiP, NiZr, FeNiZr, FeNiBP, FeNiB
산화물 촉매	γ -Al ₂ O ₃ , Fe-oxide, Mn-oxide, Cu-oxide
발포금속 촉매	발포알루미늄, 발포철, 발포스테인레스, 발포아연, 발포니켈-크롬합금, 발포동합금에 Pt와 Pd를 코팅하여 산화물의 촉매로 사용
담체형 촉매	<ul style="list-style-type: none"> · 질소산화물 분해 촉매 티타니아, 실리카, γ-알루미나 등의 담체에 V, Mo, W, Ni, Mn 등의 촉매금속을 코팅하여 제조한다. · 일산화탄소용 산화촉매 γ-알루미나의 담체에 Pt, Pd, Fe, Co, Ni, Mn, Cu, Cr, Sn, Pb, Ce를 코팅하여 제조한다.

촉매의 성능을 저하하게 하는 물질을 총칭하여 촉매독이라고 하며, 이것은 촉매표면에 외부로부터 화학적 또는 물리적인 영향을 주고, 일시적 또는 영구적으로 촉매 활성을 열화시킨다. 표 9 에 촉매독을 유발할 수 있는 물질의 종류와 이에 대한 대책을 정리하였다.

표 9. 촉매독의 종류와 대책

촉매독	피독성	대책	재생
미세먼지	일시피독	prefilter	공기, 물세척
타르, 오일 미스트	일시피독	촉매입구온도를 높여 닥트로 충분히 보온	500°C로 공기중에서 소각
유기실리콘화합물 유기인화합물	영구피독	전처리 촉매 사용	화학세정
유기금속화합물	영구피독	전처리제 사용	촉매교환
할로젠 할로젠화합물 (Cl ₂ , HCl, HBr 등)	회박 일시피독	촉매입구온도를 승온	해당물질이 없으면 성능회복
	농후 영구피독	특별히 없음	촉매교환
황화합물 (SO ₂ , H ₂ S 등)	회박 일시피독	촉매입구온도를 높임	해당물질이 없으면 성능회복
	농후 영구피독	특별히 없음	촉매교환

산화촉매와 그를 이용한 탈취장치를 설계하는데 있어서 주의해야 할 사항은 다음과 같으며 장치의 부품들과 이들의 특징을 표 10 에 나타냈다. 이들이 촉매연소방식의 효율을 절대적으로 지배하게 되는 주요 인자들로 절대 주의를 해야한다.

촉매장치의 주요 인자

- 처리 가스량
- 촉매연소온도
- 촉매 교체, 촉매독의 혼입(전처리제, 전처리촉매의 교체)
- filter의 청소, 교체
- 가스 가열기의 보전
- 할로젠계 용제, 유황화합물 등 함유가스의 경우 산성물질이 생성
- 질소화합물함유가스의 경우 NO_x가 발생하는 경우
- 피처리가스 중에 피독 물질의 유무
- 유황화합물, 질소화합물의 유무

촉매 개발 및 장치 설계 주의 사항

- 급격한 온도 상승시 열팽창으로 인한 붕괴 현상
- 응축수의 혼입으로 붕괴 현상 발생
- 배가스 중의 유해성분이 다량으로 부착으로 인한 촉매 피독
- 배가스 중의 고비점 성분의 촉매 표면에 다량 부착으로 인한 피독
- 촉매 내열온도 이상으로 가열시 sintering 현상
- 촉매의 장기사용으로 인한 활성 저하
- 가스유량의 설계치 이상의 과부하가 걸렸을 때
- 배가스 중의 산소 결핍에 의해 산화가 잘 일어나지 않았을 경우
- 취기 성분의 농도가 급격히 증가한 경우
- 촉매층의 온도가 불충분 할 때, 배가스가 장시간 유입되었을 경우

표 10. 장치의 조건과 특징

명 칭	종 류	특 징
촉매 활성물질	백금계 파라듐계 철, 망간계	활성이 높고 범용형 연소온도가 높고 피독에 강함 활성이 약하나 피독에 강함
촉매 형상	honycomb형 pellet형 다공질 금속형	압손이 낮고 반응기가 소형 압손이 크고 촉매피독에 강함 압손이 높고 취급이 용이
촉매 피독대책	전처리제 전처리 촉매 없을 경우	범용품으로 저가 촉매수명이 길어진다. 촉매수명이 짧아진다.
악취 흡입방식	압송식 유인식	처리가스 교체가 간단 악취누출이 없다
악취 예열방식	전기 heater 식 가스 연소식 등유 연소식 증기 heater 식	전원만 필요, 조작이 간단 버너의 유지가 간단 등유탱크가 필요 고압증기가 필요
폐열 회수방식	열풍 회수 온수 회수 증기 회수 열매 회수	건조기와 연결가능 열회수율이 높다 증기라인과 접속가능 온도관리가 간단

2-3-4. 생물탈취법

생물탈취법에는 고상형과 액상형으로 크게 구분할 수 있으며, 이 중에는 대표적으로 토양탈취법, 담체충진형탈취법 그리고 부식질탈취법을 들 수 있다. 현재 고상형의 충전

담식이 주류를 이루고 있으며 이는 하수처리장에 적용례가 압도적으로 많고, 향후 식품 제조공장, 향료제조공장, 화학공장, 반도체공장 등에 적용을 더욱 확대될 것으로 보이며 특히 VOC의 처리에 대한 연구가 진행되고 있다.

미생물에 의한 탈취작용은 예로부터 잘 알려지고 있는 현상으로 쓰레기 매립지의 강렬한 악취가 복토에 의해 악취가 크게 감소해지는 사실로부터도 잘 알 수 있다. 미생물에 의한 탈취기구는 명확하게 알 수는 없지만 악취성분이 우선 물에 용해하고, 그것을 미생물이 흡수해서 산화 분해하여 무취화 또는 악취가 없는 물질로 변화시키는 것이 미생물탈취의 기본이 된다. 미생물이 번식해서 활동하기 위해서는 적당한 수분, pH, 온도, 영양원을 제공하여 양호한 환경이 되도록 만들어 주는 것이 매우 중요하다. 생물탈취법의 최대 특징은 타방법에 비하여 운전비용이 크게 낮다는 데 있다. 최근 특히 하수처리장에 담체충진형미생물탈취법이 개발되어 설치실적이 증가하고 있다.

(a) 토양탈취법

악취가스를 토양층으로 통과시켜 토양중의 미생물에 의해 탈취하는 방법이다. 장치는 그림 4 에서 보듯이 가스의 인입 유로를 콘크리트로 만들고 하층에 자갈을 깔아서 가스가 잘 분배될 수 있도록 하며 그 위에 모래를 깔고 그 상부에 미생물을 함유하는 토양층을 이루도록 한다. 보통 장치의 가스 유속은 0.05-0.012m/sec 정도이고, 1m³/min의 악취를 처리하는데 약 1.4-3.3m²의 면적이 필요하다.

주요 특징

- 악취가스는 토양미생물에 의해 산화 분해되므로 운영비가 매우 낮을 뿐만 아니라 유지관리가 매우 용이하다.
- 토양층의 상부는 잔디밭이나 화단으로 이용할 수 있다.
- 우천시 토양층의 침하나 빗물에 의해 가스통과 부하가 높아지는 문제가 있다.

주요 적용업종

하수, 분뇨, 쓰레기처리장, 축산농장(컴포스트화 처리악취), 동물사육장, 정화조 등

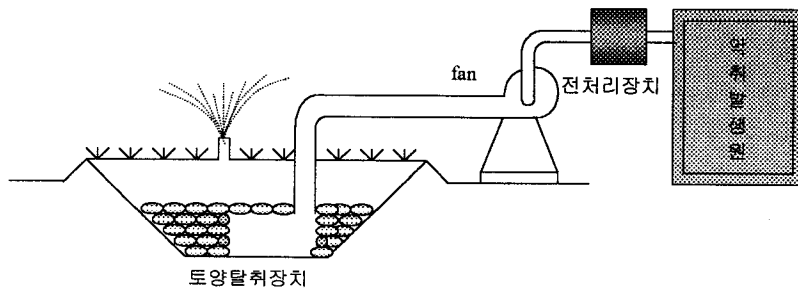


그림 4. 토양탈취장치의 개략도

(b) 충전탑식 생물탈취

그림 5 에서 보듯이 충전탑 내에 담체를 충전하고 그 담체에 활성슬러지 등 미생물을 다량함유하고 있는 액체를 상부로부터 부어 담체에 미생물들을 부착하고 번식시킨다. 미생물이 잘 부착 성장할 수 있도록 하기 위해서는 담체상에 적절한 수분, pH 등이 유지되어야하고, 외부로부터 유입되는 악취가스를 영양분으로 미생물은 번식하게 되고 이로서 탈취작용이 일어나게 된다. 장치내의 유속은 0.05-0.3m/sec 정도이고, 담체는 피트, 제올라이트, 세라믹스 및 각종 수지가공품 등이 있다.

주요 특징

- 토양탈취법에 비해 설치면적이 대폭 작아지고, 장치가 간단해진다.
- 약품은 pH 조절용으로 약간 사용되며 장치의 취급과 운전이 간단하다.
- 악취는 미생물에 의해 분해되므로 running cost가 대폭 절감된다.
- 충전탑내의미생물을 순차 시키는데 약 2주간 정도가 필요하다.
- 처리온도는 약 15-40°C의 범위이다.

주요 적용업종

하수, 분뇨, 쓰레기 처리장, 농촌집락배수처리장, 축산농장, 사료 비료제조공장, 화학공장, 정화조 등

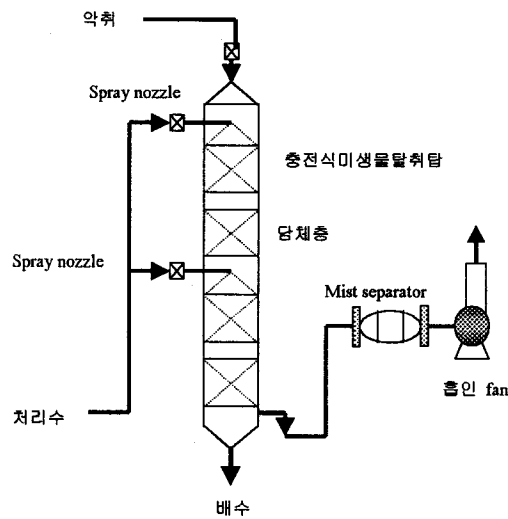


그림 5. 담체충전식 미생물탈취탑의 구조

담체충전형미생물탈취 효율에 가장 큰 영향을 미치는 사항은 탈취미생물, 미생물 담지체 그리고 탈취장치로 크게 나눌 수 있다. 일반적인 탈취미생물과 담지체의 종류를

표 11 에 나타냈으며 이들을 이용하여 악취가스를 제거할 경우 일어나는 탈취반응의 단계와 반응식을 표 12 에 나타냈다. 그리고 표 13 에는 현재 선진국에서 개발하여 사용하고 있는 미생물 담체들을 분류하였고 이들의 특징을 정리하였다.

미생물담체

- 충전담식 미생물탈취에서 탈취효율을 좌우할 수 있는 중요한 인자는 담 내의 단위 체 적당 미생물 빈도수를 어느 정도까지 최대화할 수 있느냐 하는 것이며 이를 위해서는 비표면적이 큰 담체를 이용하여야만 이 가능하다.
- 미생물 담체로는 천연산물이 주로 이용되어 졌으며 일례로 peat moss, 톱밥, 목탄, 왕겨, 활성토탄, 조립화토양, 입상활성탄, 다공성 세라믹스, PVA 등이 있다.
- 최근 일본의 경우 JIS에서 미생물 담체에 요구되는 물성치는 흡수율 150 % 이상, 기 공율 80% 이상, 충전밀도 0.2~0.24 등으로 설정하였다. 현재 Kubota社의 Biowaser, Kurita社의 Aroma, Nlshihara社 의 Bodf(이상 일본), EG & G社(미국)의 Bioscruber 등 많은 곳에서 화산재, 고로 슬래그, Glass 등의 미생물 담체가 개발되었다.
- 일본의 이낙스에서는 일반적인 고온소성법으로 알루미늄과 지르코니아계 화합물 멀라이트를 개조, 다공성 화하였다. 그리고 Kubota에서는 유리분말을 이용하여 거품법으로 다공성 담체를 제조하고 있으며, 도요 요조 등에 의해 PVA겔에 의해 효소를 고정화 할 수 있는 다공성 물질이 제조되기도 하였다.
- 미국의 Pore Max L. P에서는 고분자폴리우레탄을 이용하여 거품법을 이용하여 다공 체를 제조하였으며, 더두리튼(주)에서는 금속분말을 발포제로 첨가하여 거품법으로 다공 성 세라믹스를 제조하기도 하였다.

표 11. 탈취 미생물과 담체의 종류

미 생 물	담 지 체
- 활성 슬러지	- 세라믹
- 질화세균 : Nitrosomonads, Nitrococcus, Nitrospitra, Nitrogloea, Nitrobacter	- 활성탄 등 다공성물질
- 황 세균 : Thiobacillus, Thiodendron, Begiatou, Sulfolobus	- 톱 밥
	- 목 탄
	- 고분자

표 12. 미생물 탈취 반응의 3단계

반응의 3단계	산화 분해 반응
1. 악취물질의 물에 용해 2. 미생물 체내로 흡수 3. 세포내에서 산화 분해	$H_2S + 5/2O_2 = SO_4^{2-} + H_2O$ $H_2S + 2O_2 = H_2SO_4$ $4NH_3 + 9O_2 = 4NO_3^- + 6H_2O$ $2NH_3 + 4O_2 = 2HNO_3 + 2H_2O$ $2CH_3SH + 7O_2 = 2SO_3 + 2CO_2 + 4H_2O$

표 13. 미생물 담체의 종류와 특징

종 류	장 점	단 점
유기계 고분자 물질 우레탄 폼 PVA 폴리프로필렌 기타	미생물의 부착이 용이 비교적 통기성이 양호 비교적 보수성이 양호	가격이 비교적 고가
무기계 물질 다공성 세라믹스 점토광물 활성탄 기타	내구성 양호 통기성 양호 가격이 비교적 저렴	미생물이 부착하기 어렵다 보수성이 나쁘다
천연물 peat moss compost 기타	가격이 비교적 저렴 미생물의 부착이 양호 보수성이 양호	비교적 내구성이 나쁘다 통기성이 나쁜 경우가 있다

(c) 부식질 탈취법

토양의 탈취효과에 착안하여 개발된 탈취법이다. 토양중의 유기물인 부식산을 추출하여 만든 것으로 이것을 충전탑에 충전하고 악취를 통과시켜 탈취하는 방법이다. 부식질 탈취장치의 개략도를 그림 6 에 나타냈다.

주요 특징

- 물리흡착, 화학반응과 토양미생물에 의한 생물반응을 동시에 이룰 수 있다.
- 약액이나, 물 등을 사용하지 않기 때문에 취급이 용이하다.
- 악취 중에 습도가 높아도 처리가 용이하며 수명이 길고 running cost가 낮은 장점이 있다.
- 건식흡착탑과 동시에 사용할 수 있어서 호환성이 있다.

주요 적용업종

하수, 분뇨, 쓰레기 처리장, 농촌집락배수처리장, 축산농장, 사료 비료제조공장, 화학공장, 정화조 등

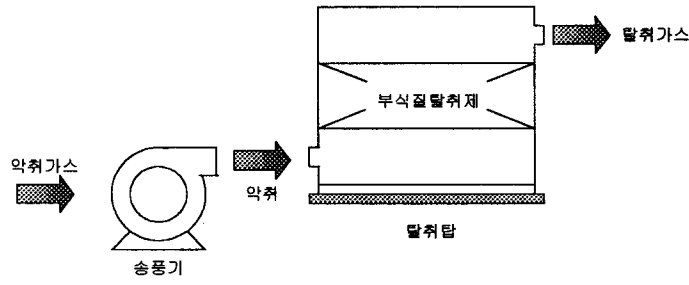


그림 6. 부식질탈취장치의 구조

최근 주목되어지고있는 바이오액(bio-liquid)에 의한 세정방식으로 강렬한 유기용제취와 식용유정제공장의 악취를 처리하여 효과를 나타내었으며, 토양유기물인 부식산과 후루보산을 토양보다 함유량이 많게 만들어 고체상태로 만들어 탑에 충전하여 악취가스를 통과시켜 흡착, 화학반응과 생물학적반응으로 악취가스를 제거하는 방식으로 하수처리장을 중심으로 크게 확대되고 있는 상태이다. 그러나 부식질탈취제는 수명이 제한되어 사용상태에 따라 1-3년마다 주기적으로 교체하여야 한다. 그림 7 에 부식질 탈취의 반응을 정리하여 도식화하여 나타냈다.

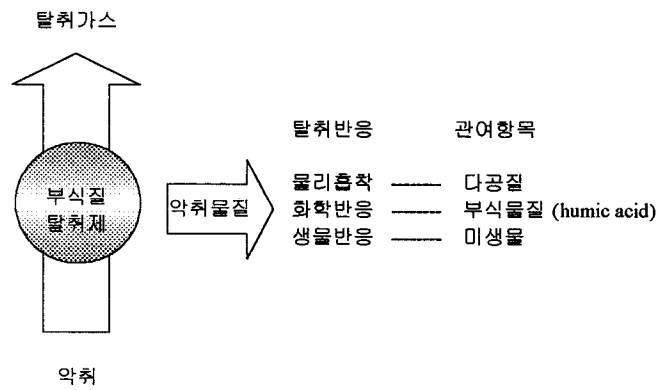


그림 7. 부식질탈취제의 반응

2-3-5. 기타 탈취법

(a) 광촉매 탈취

산화티탄(TiO_2)의 전기적 성질은 반도체 영역에 들어간다. 단파장(380nm이하)의 자외선이 조사되면 여기상태가 되어 강력한 산화력을 나타낸다. 유사한 거동을 나타내는 반도체에는 SrTiO_3 , CdS 등이 있지만 TiO_2 가 주목되어지는 이유는 백색 안료로서 산업사회의 전 분야에 걸쳐 광범위하게 활용되어지고 있고 화학적으로도 안정하여 안정성이 높은 물질이면서 광반도체로서도 우수한 특징을 갖고 있기 때문이다.

산화티탄의 광촉매 반응

산화티탄의 에너지밴드모델을 그림 8에 나타냈다. 반도체 에너지밴드는 가전자대(valance band), 전도대(conduction band) 및 이들 사이에 금지대(gap)가 존재한다. 산화티탄의 경우 금지대의 에너지 gap이 3.2eV로 이 이상의 에너지를 흡수한 가전자대의 전자는 여기(exciting)되어 전도대로 이동하게되어 이동이 자유롭게 된다.

전자가 여기할 때 가전자대에는 정공(hole)이 되고 역시 이동은 자유롭게 된다. 따라서 자외선(UV)을 조사하게되면 여기상태 즉, 활성상태가 되어진다. 전자와 홀은 표면으로 이동하여 각각 산소, 수산기와 결합하여 라디칼(radical)을 형성한다. 산화티탄의 경우 홀의 산화력이 보다 강력하기 때문에 주로 수산기 라디칼이 유기물질을 산화해서 탄산가스(CO_2)와 물(H_2O)로 산화 분해된다. 또한 균이 사멸하지 않는 약한 자외선 광량에서도 항균력을 나타낸다.

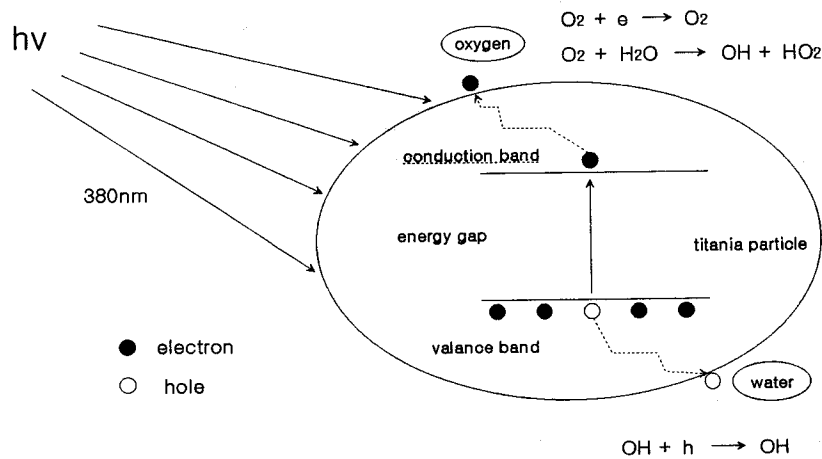
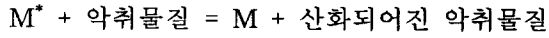
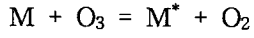


그림 8. 광촉매의 탈취반응

(b) 건식오존탈취법

탈취팬으로 흡입된 악취가스는 mist separator를 통과하면서 수분이 제거되어진다. 이어서 필요량의 오존이 악취가스 중에 취입되고 혼합되어진 후, 탈취촉매가 충전된 탈취탑으로 유입된다. 탈취탑 내에서는 오존과 촉매의 반응으로 다음과 같이 여러 종류의 악취성분이 산화 탈취되어진다.



M=탈취촉매, M*=활성화되어진 상태에서의 촉매

그림 9 는 건식오존탈취장치의 개략도이며 이들의 주요 특징과 용도는 다음과 같다.

주요 특징

- 광범위한 무기, 유기 악취가스를 상온에서 산화분해 탈취가 가능하다.
- 장기간의 고효율 탈취가 가능하다.
- 비교적소규모의 장치로 적합하다.

주요 적용업종

쓰레기 처리장, 농촌집락배수처리장, 사료 비료제조공장, 화학공장, 정화조 등

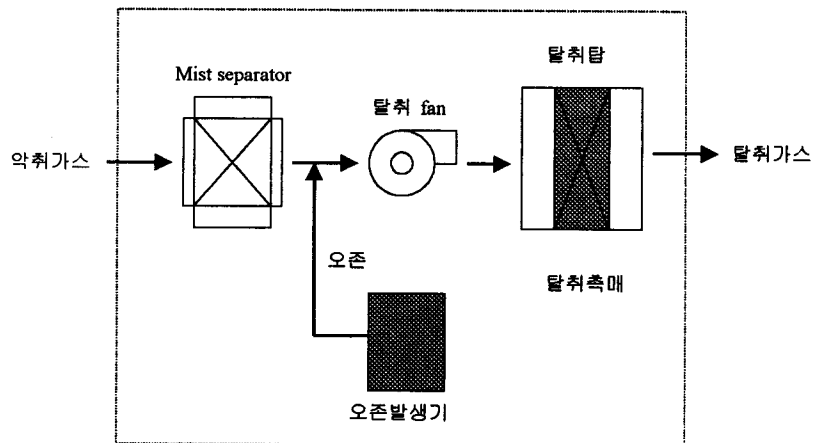


그림 9. 건식오존탈취 장치

(c) 플라즈마탈취법

화학반응에 이용되는 플라즈마는 고온플라즈마와 저온플라즈마로 대별된다. 0.01-10 torr 정도에서 전장을 가해서 발생하는 정상적인 글로우방전이 대표적이다. 그림 10 에 나타낸 바와 같이 악취가스가 filter를 통과해서 여기실에 이르면 저온플라즈마에 의해서 산화반응이 일어나고 이어서 촉매실에서는 오존분해에 의해서 산화반응이 일어나 탈취

반응이 촉진된다.

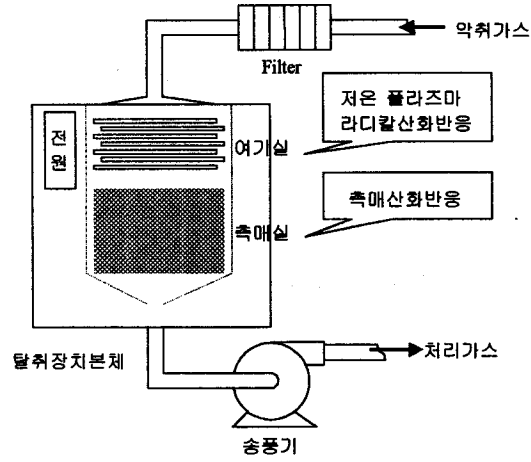


그림 10. 플라즈마 탈취장치의 일례

3. 결론

악취가스의 제거는 크게 물리적, 화학적 그리고 생물학적 방법으로 구분할 수 있다. 악취물질을 물로 세척하여 처리하거나 활성탄, 제올라이트 등의 흡착제로 흡착 제거하는 방법, 악취물질을 연소로에서 연소 분해하거나, 촉매를 이용하여 악취물질을 산화분해시키는 방법이 있다. 또한 토양이나 활성슬러지의 미생물을 이용하여 분해하는 방법 등 악취가스의 상태에 따라 다양한 탈취법이 적용되고 있다. 이중 최근 선진국에서 주목되어지고 있는 탈취법으로는 축열식연소법, 담체충진형미생물탈취법, 부식질탈취법, 촉매탈취법 등을 들 수 있다.

악취는 일반적으로 저농도에서도 문제가 된다는 것을 염두에 두고 장치의 선정과 설치 시에는 다음의 사항을 고려할 필요가 있다.

- 악취는 비정상적 상태 또는 발생원으로부터 간헐적으로 배출이 되는 경우가 많다.
- 악취성분의 물질, 농도 및 처리 가스량 등에 의해서 처리 방법은 결정되지만 가스의 주요 성분뿐만 아니라 특유의 냄새에 대해서도 유의하여야 한다.
- 탈취장치의 성능은 처리 대상가스의 전처리 정도에 따라서 크게 좌우된다.
- 탈취장치의 운전, 유지 관리시에는 성능의 약화에도 주의를 기울여야만 한다. 이를 위해서는 정기적인 점검이 필수적이다.
- 악취발생원의 실태에 합당하게 장치를 설계하여 설치하는 것이 바람직하다. 즉, 고농도계, 저농도계의 것을 동시에 집중 처리하는 방식은 적합치 않다.
- 2차 공해를 발생할 위험이 없도록 하여야 한다.

참고문헌

1. "生物脱臭"의 基礎と應用, 臭氣對策研究協會, 1994
2. H. Ichiryu, M. Kakubari and K. Imamura, Hitachi Review, 41, 253 (1992)
3. 松永直利, 三菱電氣技報, 73(3), 25 (1999)
4. K. Hinokiyama, 환경기술, 24(10), 32(1995)
5. 石黒辰吉, 空氣調和衛生工學, 71(9), 1(1997)
6. Charles N. Satterfield, "Heterogeneous Catalysis in Practice" McGraw-Hill Book Company, (1980)
7. 國部 進, "新しい脱臭技術", 工業調査會,(1997)
8. 惡臭防止法, 日本惡臭法令研究會, (1998)