

흡착탈취기술

Absorption Deodorization Technology

박 준 택

J. T. Park

한국에너지기술연구소
산업에너지응용연구팀



- 1952년생
- 활성탄흡착을 이용한 용제 회수 및 탈취기술에 관심이 많음.

공 성 훈

S. H. Kong

한국에너지기술연구소
건축환경연구팀



- 1955년생
- 활성탄흡착을 이용한 탈취 기술 및 실내환경연구에 관심이 많음.

1. 서 론

환경백서에 의하면, 최근 우리나라에서도 악취로 인한 피해진정건수가 증가하고 있는데, 악취로 인한 인체에의 영향은¹⁾ 불쾌감, 식욕부진, 호흡기장애 등으로 보고되고 있다. 표 1에서 보는 바와 같이 환경오염원인별 피해진정건수중 악취가 차지하는 비율은 약 12%로서 소음·진동에 이어 두번째를 차지하고 있다.²⁾ 대기중에는 약 300종류의 악취물질이 존재하는 것으로 알려지고 있는데, 이들 중 악취공해의 주요 원인 물질로서는 암모니아, 메틸메틸캅탄, 황화수소, 황화메틸, 이황화메틸, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 스틸렌 등 8개물질이다. 일본에서는 악취방지법³⁾을 제정하여 이들 8개물질을 표 2와 같이 규제하고 있다. 악취가스의 주요발생원으로서는 고무공장, 어분사료제조, 호마이카제조, 페인트

제조, 펄프제조, 카렌다(인쇄시설 포함), 주물, 석유정제, 비료공업 등이다. 발생원별 악취배출 물질과 그 냄새특징을 표 3에, 8개 악취물질의 물리화학적성질을 표 4에 각각 보인다.

한편 탈취방법^{4,5,6)}에는 연소법, 흡착법, 세정법, 산화법 등 여러가지 방법이 있으나, 고제거율을 꾀할 수 있는 방법은 흡착법과 연소법(고온연소법, 촉매연소법)이다. 그러나 연소법의 경우, 고온연소법은 조연재를 다량으로 필요할 뿐만 아니라 NOx 발생의 문제가 있고, 촉매연소법은 선택성, 촉매독 등의 문제와 함께 제거율도 고온연소법에 비해 떨어진다. 이에 대하여 흡착법은 상온에서 탈취조작이 가능하므로 에너지 소비량이 적을 뿐만 아니라 후술하는 바와 같은 여러가지 장점을 가지고 있어 악취제거에 널리 이용되고 있다. 본 고에서는 흡착법을 이용한 탈취기술을 중심으로 고찰하고자 한다.

표 1 환경오염 원인별 피해진정 현황

(단위: 건수, ()는 %)

구분 년도	계	대기 오염	수질 오염	토양	소음 진동	악취	기타
1981	1,172 (100)	303 (25.9)	156 (13.3)	24 (2.0)	476 (40.6)	147 (12.5)	66 (5.6)
1982	898 (100)	220 (24.0)	132 (14.7)	7 (0.8)	371 (41.3)	115 (12.8)	53 (5.9)
1983	1,219 (100)	229 (18.8)	110 (9)	6 (0.6)	649 (53.2)	166 (13.6)	56 (4.8)
1984	1,202 (100)	253 (21.0)	155 (12.9)	14 (1.2)	589 (49.0)	143 (11.9)	48 (4.0)
1985	1,106 (100)	185 (16.7)	136 (12.3)	5 (0.5)	577 (52.2)	139 (12.6)	64 (5.7)
1986	1,160 (100)	209 (18.0)	138 (11.9)	12 (1.0)	630 (54.3)	141 (12.6)	30 (2.2)
1987	1,442 (100)	205 (20.0)	248 (17.2)	17 (1.2)	602 (41.7)	203 (14.1)	80 (5.6)
1988	1,219 (100)	263 (21.6)	169 (13.9)	15 (1.2)	546 (44.8)	159 (13.0)	67 (5.5)
1989	1,201 (100)	179 (14.9)	163 (13.6)	7 (0.6)	590 (49.1)	148 (12.3)	114 (9.5)
1990	1,033 (100)	126 (12.2)	151 (14.6)	11 (1.0)	507 (49.1)	137 (13.3)	101 (9.8)

표 2 악취발생물질의 식별한계취농도와 규제기준(일본)

악취물질명	식별한계취농도(ppb)	규제농도(ppm)
암모니아	590	1-5
메틸메틸캡탄	0.65	0.002-0.01
황화수소	5.6	0.02-0.2
황화메틸	4.6	0.01-0.2
이황화메틸	2.3	0.009-0.1
트리메틸아민	1.4	0.005-0.07
아세트알데히드	1.0	0.05-0.5
스티렌	170	0.4-2

표 3 악취발생원별 배출가능물질과 그 냄새특징

발생원	배출가능물질	냄새
고무공장	○ 이황화물 ○ 멀캅탄류 ○ 아세트알데히드	○ 자극취 ○ 자극취 ○ 역겨운 냄새
어분사료제조	○ 트리메칠아민	○ 생선썩는 냄새
호마이카제조	○ 스티렌	○ 양파썩는 냄새
페인트제조	○ 스티렌	○ 양파썩는 냄새
펄프제조	○ 황화수소 ○ 메틸멀캅탄	○ 달걀썩는 냄새 ○ 양배추썩는 냄새
카렌다(인쇄시설포함)	○ 암모니아	○ 자극취
주물(특수주물)	○ 암모니아	○ 자극취
석유정제	○ 황화수소 ○ 메틸멀캅탄	○ 달걀썩는 냄새 ○ 양배추썩는 냄새
비료공업	○ 암모니아	○ 자극취

표 4 악취발생물질의 물리화학적 성질

악취물질명	화학식	분자량	비중	융점(°C)	비점(°C)	용해성
암모니아	NH ₃	17.0		-77.7	-33.4	수용, 알콜, 에테르가용
메틸멀캅탄	CH ₃ SH	48.1		-123	5.95	수가용
황화수소	H ₂ S	34.1		-82.9	60.1	수, 알콜가용
황화메틸	(CH ₃) ₂ S	62.1	0.846	-98.3	37.3	알콜, 에테르가용
이황화메틸	(CH ₃) ₂ S ₂	94.2	1.057		116	
트리메칠아민	(CH ₃) ₃ S	59.1		-124	3.2	수용
아세트알데히드	CH ₃ CHO	44.1	0.788	-123.5	21	
스티렌	C ₆ H ₅ CHCH ₂	104.1	0.909	-33	145	알콜, 에테르아세톤가용

2. 탈취용흡착제

현재 공업용흡착제로는 활성탄, 실리카겔, 제올라이트, 활성백토 등이 있으나, 탈취용으로는 주로 입상활성탄이 사용된다. 활성탄은 다른 흡착제와 비교하여 구조적으로 다음과 같은 특성^{*)}을 가지고 있기 때문이다.

- (1) 비표면적(BET법)은 700~1500m²/g으로 다른 흡착제에 비해 현저히 크다.
- (2) 평균세공경이 12~40Å이며, 일반적인 가스, 용제의 분자경에 가깝기 때문에 이들의 흡착에 적합하다.
- (3) 비극성분자에 대한 선택흡착성이 크며, 저농도역에서도 흡착량이 크다.
- (4) 온도, 피흡착가스의 분압에 따라 흡착량이 크게 변화하며, 이 성질을 이용하여 재생할 수 있다.

활성탄은 암모니아나 황화수소와 같은 저분자량인 극성물질에 대한 흡착성이 나쁘기 때문에, 이를 개선하기 위해 활성탄표면을 화학적으로 처리한 화학흡착활성탄도 개발, 이용되고 있다. 표 4에 각종 악취물질에 대한 활성탄 선

정표^{*)}를 나타낸다. 표 5에 나타낸 바와 같이 흡착대상물질에 따라 활성탄이 각각 결정되고 있지만, 악취물질(농도등)에 따라서는 몇종류의 활성탄을 유기적으로 조합하여 사용하면 처리 효과와 수명을 더욱 증대시킬 수 있다.

그리고 탈취용활성탄의 능력을 평가하는 지표로서 흡착보지력(활성탄 단위중량당의 흡착량)이 매우 중요하다. 흡착보지력은 활성탄의 종류 및 흡착질에 따라 다른데, 이 값이 클수록 탈취제로서 유효하다. 일반적인 경향으로서 흡착질의 분자량이 클수록, 비점이 높을수록 흡착보지력이 크게 된다. 악취가스의 경우 비점이 낮은 알카리성 가스를 제외하면 대개 10~40% 범위이며, 25% 전후의 것이 많다. 또한 흡착탈취의 제거율을 높이기 위해서는 제거대상의 악취물질에 대하여 구배가 큰 흡착등온선을 갖는 흡착제를 선정하는 것이 좋다. 흡착등온선의 구배는 동일종류의 흡착제에서도 각기 다른데, 활성탄의 경우 재료, 부활방법 및 조건, 제조방법 등에 따라 다른 세공구조를 가지게 되어 흡착등온선이 다르게 된다.

표 5 탈취용활성탄의 선정표

악취물질	활성탄	화학흡착활성탄		
	물리흡착활성탄	산성	알카리성	산화성
암모니아		◎		
트리메틸아민		◎		○
황화수소	○		◎	○
메틸메틸캅탄	○		◎	◎
황화메틸	○		○	◎
이황화메틸	○		○	◎
아세트알데히드	◎			
스티렌	◎			

◎ : 가장 우수함 ○ : 우수함

3. 활성탄흡착법의 특징

흡착탈취법은 흡착제(탈취제)의 가스에 대한 물리적·화학적 친화력을 이용하여 악취가스를 제거하는 방식으로, 다음과 같은 장점이 지적되고 있다.⁷⁾

- (1) 악취부하(농도, 유량)의 변동에 의한 영향이 비교적 적다.
- (2) 장치의 구조가 간단하여 취급이 용이하다.
- (3) 장치의 규모에 제한이 없다.
- (4) 저농도가스를 대상으로 할 경우 특히 경제적이다.

(5) 화기를 사용하지 않으므로 안전하다.

한편 단점으로는,

- (1) 흡착제를 정기적으로 교환 또는 재생해야 한다.
- (2) 제거대상가스에 따라 적정흡착제의 선정이 필요하다.
- (3) 농도가 높은 경우나 분진이 함유된 경우에는 전처리가 필요하다.
- (4) 고온가스는 흡착성능을 높이기 위해 냉각해야 한다.

표 6은 대표적인 탈취법에 대한 장단점⁸⁾을 비교한 것이다.

표 6 각종탈취법의 특징과 경제성

항목 \ 탈취법	고온연소법	촉매연소법	오존산화법	흡착법	약액세정법
처리용량	적다	적다	중간	광범위	광범위
악취가스농도	고농도	고농도	중농도	저농도	중간
탈취효율	높다	높다	중간	높다	중간
관리	어렵다	어렵다	어렵다	쉽다	중간
설비비	많이듬	많이듬	많이듬	적게듬	중간
운전비	많이듬	많이듬	많이듬	적게듬	적게듬

4. 흡착탈취장치

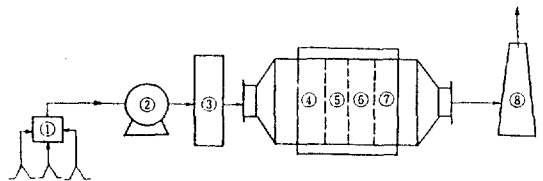
4.1 탈취장치로서 필요한 요건

탈취장치로서 요구되는 요건을 열거하면,

- (1) 탈취성능이 높을 것.
- (2) 설비비, 유지비가 적절할 것.
- (3) 장치의 내구성이 클 것.
- (4) 취급이 간단할 것.
- (5) 설치면적이 적을 것.

등이다.

활성탄흡착탈취장치는 저농도의 악취가스를 대상으로 할 경우, 표 6에 나타낸 바와 같이 각종 탈취법중에서 높은 탈취성능을 발휘할 뿐만 아니라 장기간 안정된 성능을 유지하므로, 유지비가 적게 든다. 또한 장치의 구성이 간단하므로 설비비도 적게 들고, 취급이 용이하며, 설치면적도 적게 든다. 장치의 내구성도 FRP수지 등



① 악취발생원 ② 송풍기 ③ 휠터 ④ 에비 ⑤ 알카리성담지탄 ⑥ 산성담지탄 ⑦ 보통활성탄 ⑧ 연돌

그림 1 활성탄흡착탈취장치의 Folw-sheet에

내식재료의 사용에 의해 현저히 향상되고 있다. 또한 가동부분이 적어 고장이 적다. 이와 같이 활성탄흡착탈취장치는 탈취장치로서 요구되는 조건을 거의 전부 만족하고 있다고 말할수 있다. 그러나 악취가스의 농도가 높은 경우에는 활성탄을 다량으로 사용해야 하기 때문에 유지비가 많이 들게 된다.

흡착탈취장치는 그림 1의 Flow-sheet에서 보는 바와 같이 흡착탑, 송풍기, 흡배기 duct 및 연돌로 구성되어 있으며, 필요에 따라 물세정탑, 약액 세정탑 등을 설치한다.

4.2 흡착탈취장치의 설계

흡착탈취장치를 설계할 경우, 그 계획순서는 다음과 같다.

먼저, 사전에 악취가스의 성상을 조사하는 것인데, 특히 흡착법의 경우에는 전처리의 선정과 활성탄소요량의 결정을 위해 중요하다. 악취가스의 성상조사에 있어서 주된 항목은,

- (1) 악취가스의 온도 및 습도
- (2) dust, mist, tar물질의 성상과 농도
- (3) 악취물질의 종류와 농도, 또한 시간변동, 계절변동

(1)에 대하여는 활성탄의 흡착성능이 고온하 및 다습하에서 저하하기 때문에, 온도는 상온(25℃ 전후), 습도는 상대습도(R.H)로 70% 정도(50-90%)가 바람직하다.

(2)에 대하여는 활성탄표면을 dust등이 부착하기 때문에 활성탄의 세공, 혹은 활성탄층을 막아 흡착성능의 저하, 악취가스의 편류 및 압력손실의 증가를 초래하는 원인으로 된다.

(3)에 대하여는 악취가스가 다성분인 경우 성분에 따라서는 활성탄의 수명에 영향을 미칠 수 있기 때문이며, 활성탄량을 산출하기 위한 자료가 된다. 일반적으로 활성탄의 흡착데이터는 실험실적 규모의 시험으로 부터 얻는 경우가 많은데, 실제 처리해야할 가스에 대해서는 처리효과, 활성탄 수명, 압력손실의 변화, dust, mist, tar등의 영향에 대해 소규모의 현장실험을 병행하는 것이 매우 중요하다. 이와 같이 사전에 악취가스가 성상을 자세히 조사한 후 장치계획을 시작하는 것이 좋다.

4.2.1 전처리장치

활성탄의 부하를 줄임과 동시에 dust, tar상 물질등과 같이 활성탄성능을 저해하는 요인을 없애기 위해 전처리 한다. 또한 연소배가스등과

같은 고온의 악취가스를 냉각할 경우도 있다.

일반적으로 하수처리장의 수처리시설관계와 같은 비교적 저농도의 악취가스는 직접 흡착탈취하는 방법이 경제적이나, 하수처리장에서도 오니시설이나 분요처리장과 같이 중·고농도의 악취가스에서는 부하변동이 커서 활성탄의 수명을 단축시키는 결과로 됨으로 약액에 의한 흡수·산화등의 전처리가 필요하다.

4.2.2 흡착탑의 설계⁸⁾

전처리장치의 성능을 고려하여 다음의 순서로 흡착탑을 설계한다.

- (1) 활성탄의 선정
- (2) 활성탄 교환사이클의 결정
- (3) 필요활성탄량의 결정
- (4) 흡착탑경의 결정
- (5) 활성탄충진량의 결정 : 활성탄필요량과 탑경으로 부터 충전층두께를 산출하고, 유속으로 부터 접촉시간을 산출한다.
- (6) 흡착탑형식의 결정(활성탄반출입방식 및 설치공간 등을 고려한다.)
- (7) 압력손실의 산출

흡착탑의 설계기준은 대략적으로 표 7⁹⁾의 기준에 따라 실시한다.

$$W = c \times 10^6 \times v \times 60 \times t \times M / 22.4$$

여기서, W : 유입악취가스량 [kg]

c : 악취농도 [ppm]

v : 처리풍량 [Nm^3/min]

t : 가동시간[hr]

M : 악취가스의 분자량 [g/mol]

$$\text{필요화성탄량 } W = w / q_0 \times \eta = w / q_i$$

여기서, W : 필요활성탄량 [kg]

q_u : 평형흡착량 [kg/kg-활성탄]

q_i : 동적흡착량 [kg/kg-활성탄]

η : 유효이용율 [-]

표 7 흡착탈취장치의 설계기준

설계제원	흡착제	화학적흡착	
	물리흡착	담지활성탄	이온교환성물질
공탑속도 (m/s)	0.1-0.3	0.3-0.5	0.2-0.3
접촉시간 (s)	1	0.5	1
활성탄교환 (월이상)	6	6	6
압력손실 (mmH ₂ O)	50-200	50-200	50-200

흡착탑의 종류로는 고정층, 유동층, 이동층 흡착탑 등이 있으나, 운전경비가 적게 들고 유지관리가 용이하다는 등의 이유로 고정층 흡착탑이 널리 이용되고 있다. 또한 고정층흡착탑의 형식은 악취가스의 흐름방향에 따라 수직형과 가로형으로 대별되며, 활성탄의 충전방식에 따라 hopper형과 package형으로 분류된다. 일반적으로 소풍량의 경우에는 수직형의 팩키이지형식이 사용되며, 대풍량의 경우에는 가로형의 호퍼형식이 많이 사용된다. 이는 활성탄의 투입, 취출의 난이 및 설치공간에 의해 결정된다.

5. 흡착탈취시스템의 방향

현재 실용화되고 있는 흡착탈취시스템을 들면 다음과 같다.

- (1) 활성탄흡착탑단독
- (2) 물세정탑 + 활성탄흡착탑
- (3) 물세정탑 + 약액세정탑(산, 알카리) + 활성탄흡착탑
- (4) 오존산화탑 + 활성탄흡착탑
- (5) 이온교환수지탑 + 활성탄흡착탑

(1)을 제외한 다른방식은 앞에서 기술한 바와 같이 활성탄의 성능을 저해하는 인자를 배제함과 함께 활성탄 수명을 연장할 목적으로 하여 시스템화 하고 있다. 세정탑은 현재 가장 널리 이용되는 전처리장치로서 dust의 제거, 악취가스의 냉각 및 가스부하경감을 동시에 행할 수 있다. 세정(물세정, 약액세정)할 것인가, 산화액 처리할 것인가는 악취가스의 농도, 성분으로부터 선정되며, 어느 경우에도 활성탄흡착에 의해 안정한 처리효과를 기대할 수가 있다.

세정탑에는 충전탑, spray탑 등이 잘 이용되고

있으며, 탑형식에 따라 가스량, 액량, 압력손실 등에 특성을 가지고 있으므로, 용도에 적합한 기종의 선정이 필요하다. 주의해야 할 것은 세정액의 비말동반으로 그냥 그상태로 흡착탑에 송풍하는 것은 불가하므로 반드시 세정탑 출구에 demister를 설치하고, 기액분리하는 것이 필요하다.

어느 경우에도 처리효과, 운전비용, 유지관리의 용이성 등에 유의하여 계획하는 것이 필요하다.

6. 결 론

지금까지 활성탄흡착법을 이용한 탈취기술에 대해 설명했는데, 앞으로 악취로 인한 피해진정에 보다 적절히 대처하기 위해서는 탈취기술 개발이 시급히 이루어져야 할 것이다. 국내의 연구수준은 선진국에 비해 아직 초보단계에 있으며, 연구개발에 대한 투자도 미미한 실정이다. 흡착탈취기술의 개발을 위해서는 먼저 1) 각종 악취가스에 대한 흡착데이터, 2) 탈취용 흡착제의 개발 및 개량, 3) 파과실험데이터, 4) 전처리기술, 5) 활성탄 재생기술 등의 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 寺部本次：空氣汚染の化學, p. 161, 技報堂, 東京(1968)
2. 환경처, 환경백서, p. 307(1991)
3. 「公害と對策」編輯部：環境行政のうごき, 公害と對策, 12, 1326-1327(1976)
4. summer, W.: "Methods of Air Deodoriza-

- tion”, pp. 100–232, Elsevier Publishing Company, Virginia(1963).
5. Painter, D.E.: “Air pollution Technology”, pp. 175–205, Reston Publishing Company, Virginia(1974).
 6. 化学工学協会編, “悪臭・炭化水素輩出防止技術(2) 方法別防止技術”, 技術書院(1977).
 7. 中村: し尿処理施設の吸着脱臭技術しその
実例, 悪臭公害対策セミナー講演集, 悪臭公害研究会, 1977.
 8. 長谷川雅順: 吸着法を中心とした脱臭システムの事例と方向, 環境技術, 9(7)87(1980).
 9. 柳井弘: 吸着剤・吸着操作の設計, 技報堂(1982).
 10. 化学工業社編集部編: 工場操作シリーズ 7 吸着(増補版), 化学工業社(1984)