

KOSHA GUIDE

P - 104 - 2012

휘발성 유기화합물(VOC) 처리에 관한 기술지침

2012. 7.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 개정자 : 이 근 원
- 제정경과 및 관련규격
 - 1997년 7월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
 - 1997년 8월 총괄기준제정위원회 심의
 - 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)
- 관련규격 및 자료
 - Royal society of Chemistry (영국)
 - 대기환경보전법
- 관련법규
 - 산업안전보건법 제27조(기술상의 지침 및 작업환경의 표준)
- 기술지침의 적용 및 문의

이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2012년 7월 18일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

휘발성 유기화합물 (VOC) 처리에 관한 기술지침

1. 목 적

대기오염물질중 고정원에서 배출되는 황화합물 (SO_x), 질소화합물 (NO_x) 및 휘발성유기화합물 (Volatile Organic Compounds, 이하 “VOC”라 칭함)등은 배출량이 많을 뿐만 아니라 인체와 지구환경 및 생태계에 미치는 영향이 지대하여 전세계적으로 배출규제가 강력히 요구되고 있다. 본 지침의 목적은 산업안전보건법 제49조의 2, 같은 법 시행령 제 33조의 6 및 같은 법 시행규칙 제130조의 2 규정에 의하여 사업주가 제출하여야 할 환경오염물질의 처리에 관련된 설비자료를 작성하는데 필요한 지침을 기술하는데 있다.

2. 용어의 정의

본 지침에서 사용하는 용어의 정의 다음 각호와 같다.

- (1) “VOC”라 함은 지방족 탄화수소류, 방향족 탄화수소류, 비균질 탄화수소류 (알데히드, 케톤, 알코올 등) 및 지방족과 비균질이 혼합되어 있는 탄화수소 중 레이드 증기압이 27.6 킬로파스칼 이상인 물질을 말한다. 단, 메탄 및 에탄 등 광화학 반응성이 낮은 물질로서 국가에서 정하여 고시하는 물질은 제외한다.
- (2) “광화학 산화물”이라 함은 VOC가 빛과 반응하여 생성된 오존, 알데히드, 스모그 중의 질소화합물 등을 말한다.

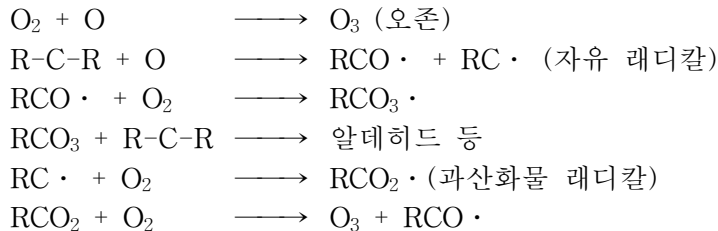
3. 광화학 산화물의 생성과정

VOC의 연쇄 광화학반응에 의한 광화학산화물 (오존, 알데히드, 스모그속의 질소화합물)의 생성과정은 다음과 같다.

- (1) VOC의 광화학반응 사이클 :



($\lambda = 400 \text{ nm}$)



(2) VOC와 질소화합물(NO_x)과의 광화학반응 사이클 :



4. 업종별 VOC 발생원

4.1 석유화학산업

4.1.1 석유화학 산업에서 VOC가 누출되는 경로를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 제조·취급공정으로부터 누출
- (2) 원유 및 정제된 제품들의 저장탱크로부터 누출
- (3) 배 또는 트럭에 제품을 하역하거나 운반중 누출
- (4) 제조·취급 공정으로부터 밸브, 플랜지, 펌프, 압축기 등에서 누출
- (5) 기타 사고 등으로 인한 누출

4.1.2 제조·취급공정 등으로부터의 누출은 유지관리를 철저히 하므로써 VOC 방출량을 줄일 수 있으며 또한 저장탱크의 내부 또는 외부에 부유식지붕(FLOATING ROOF)을 설치하면 탱크를 채울때 발생하거나 밤과 낮의 온도 변화로 인하여 발생하는 누출을 줄일 수 있다. 만일 부유식지붕이 없는 탱크를 사용할 때는 적절한 회수 또는 처리시설을 갖추어야 한다.

4.1.3 VOC를 배출하는 제품 등을 배에 하역하는 부두와 육상 저유소에서 운반 탱크 트럭에 옮겨 싣는 과정에서 많은 양이 증기로 유출된다. 휘발유 등과 같은 고가인 제품을 취급하는 경우 선진국에서는 이미 방출량의 95% 이상

을 회수할 수 있는 증기회수장치(VAPOR RECOVERY SYSTEM)등이 설치되어 있다.

4.2 식품산업

식품제조 공정에서의 VOC 발생원은 다음과 같다.

- (1) 식용유 및 동물성 지방 가공
- (2) 제빵·제과
- (3) 맥주, 포도주 등 알콜음료 제조
- (4) 감자, 옥수수 등 튀김공정
- (5) 커피 제조
- (6) 제당공정

식품산업에서 발생하는 VOC는 대개 농도가 낮기때문에 유지비가 저렴한 바이오 필터를 이용하여 많이 처리한다.

4.3 철강산업

철강산업에서의 VOC발생원은 다음과 같다.

- (1) 압연공장
- (2) 제선공장
- (3) 제강공장
- (4) 코크스 공장
- (5) 산소공장

4.4 쓰레기 처리설비

쓰레기 처리와 연관된 VOC 발생원은 다음과 같다.

- (1) 쓰레기 매립장
- (2) 하수 및 폐수처리장
- (3) 쓰레기 소각장

4.5 농업

농경지에서는 농약살포가 VOC의 발생원인이 된다

4.6 자연에서의 방출

자연에서도 많은양의 VOC가 방출되는데 주로 나무에서 나오는 송진류와 이소프렌류이다.

5. VOC가 인체 및 생태계에 미치는 영향

VOC는 인체 및 생태계에 미치는 영향이 커서 일부 특정 대기 유해물질로 분류되고 있으며, 또한 광화학반응을 통하여 오존 등과 같은 2차 오염물질인 광화학산화물을 생성시킨다. 각종 화학물질에 대한 냄새 감지농도(ODOUR THRESHOLD) 및 냄새형태 (ODOUR DESCRIPTION)는 부록2와 같다. VOC 중 많은 물질이 낮은 농도에서도 냄새가 감지되며 거의 대부분 자극적이고 불쾌한 냄새를 함유하고 있어서 생활환경에 막대한 영향을 미치게 된다.

5.1 VOC의 직접적 영향

방향족탄화수소류의 VOC 중에는 발암성이 가장 높다고 알려져 있는 화학 물질이 다수 포함되어 있다.

- (1) 벤젠의 경우에는 백혈병과 중추신경 장애를 일으킨다고 알려져 있으며, 매우 낮은 농도의 벤젠에 노출되었던 사람에게도 염색체 이상이 종종 발견된다고 보고되고 있다. 한편, 유기용제류는 그 자체가 독성을 지니고 있거나 그 속에 포함된 이 물질들이 독성이 높아서 문제시되고 있다. 대표적인 유기용제로는 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등의 방향족탄화수소류가 있다.
- (2) 유기할로젠화합물은 다른 화학물질에 비해 독성이 높고 대기에 유출되면 장기간 분해되지 않고 남아있는 특성 때문에 특별한 주의가 요망되는 물질로 분류되고 있다.

5.2 오존에 의한 영향

오존은 대기권내에 일정량이 존재할 경우 오존의 살균작용으로 생활환경을 쾌적하게 하는 유익한 물질이다. 그러나 VOC 등이 광화학반응에 의해 많은 양의 오존을 생성하는 경우, 이들 물질은 유기성 오염 물질과 반응하여 다른 유해 화합물을 형성하여 눈의 자극, 식물 및 농작물의 피해 등을 야기시킨다. 또한 오존은 대기중의 SO₂를 산화시켜서 산성비의 원인이 되는 황산 증기를 형성한다(SO₂ + O₃ → SO₃, SO₃ + H₂O → (액체) H₂SO₄).
각 오존 농도별 인체 및 식물에 미치는 영향은 표 1과 같다.

<표 1> 오존 농도별 인체 및 식물에 미치는 영향

구 분	농도 및 시간	영 향
인 체	0.1~0.3 ppm (1시간)	호흡기 자극 (기침), 눈자극
	0.3~0.5 ppm (2시간)	운동중 폐기능 감소
	0.5 ppm (6시간)	마른기침, 흉부불안
식 물	0.05 ppm (20일)	수확량 감소
	0.07 ppm (60일)	개화감소
	0.1 ppm (5.5시간)	꽃가루 생산감소

6. VOC 방출감소 지침

현재 사용되고 있는 VOC 처리기술 에는 소각법, 흡착/흡수법, 냉각응축법, 분리막 기술 등이 있다.

6.1 고온산화(열소각)

고온산화(열소각)방법은 배출가스중 VOC를 함유한 공기를 포집해서 예열하고 잘 혼합한 후 고온으로 태워 VOC를 이산화탄소와 물로 전환시켜주는 공정이다.

- (1) 고온산화 장치는 보통 VOC 혼합가스를 이송시켜주는 송풍기, VOC혼합가스를 혼합시켜 주는 혼합기, 필요에 따라 연소용 연료를 공급해 주는 송풍기, 버너와 내화방으로 구성되어 있는 연소실, 열 회수장치, 그리고 연소가스를 대기중으로 배출시키기 위한 굴뚝으로 되어 있다.

- (2) VOC의 연소 상태 등을 알기 위해 연소온도를 연속으로 측정하는 장치들도 필요하다.
- (3) 열소각에서는 보통 650~870℃ 정도의 연소온도를 유지시켜 주기 위해 가스나 기름 등 보조연료가 사용되기도 한다. 저농도 VOC를 함유한 배출가스는 연소 온도를 유지하는데 필요할 정도로 충분한 반응열이 없어 이들을 산화시키기 위해 보조연료가 필요하다. 그리고 배출가스 중 VOC의 농도가 높으면 폭발방지를 위한 설비를 설치하여야 한다.
- (4) 열회수장치는 연소전에 VOC 함유가스를 예열해주기 위해 열소각 장치와 함께 설치하기도 한다. 유입가스를 예열해 주면 연소온도를 유지시키기 위해 사용되는 보조연료의 양을 줄일 수 있다.
- (5) 열소각에서 연소온도 이외에 VOC 분해효율에 영향을 미치는 요인으로서는 체류시간과 혼합정도가 있다. 체류시간은 VOC가 완전 산화되는데 필요한 시간이며 보통 0.5~1초 정도이다. 만일 염소와 불소 등 할로젠 화합물이 존재 하면 더욱더 긴 체류시간이 필요하다. 체류시간은 VOC 함유 가스 혼합 정도에 영향을 받는다. 즉 혼합이 더욱더 완전하면 체류시간을 짧게 해도 VOC를 완전히 산화시킬 수 있다.
- (6) 열소각에는 열회수 장치가 있는 경우와 없는 경우가 있고 열회수 장치가 있는 경우도 열을 회수하는 방법에 따라 크게 열교환 (RECUPERATIVE) 방법과 재생(REGENERATIVE)방법이 있다.
- (7) 열교환(RECUPERATIVE)장치는 폐열을 대기로 방출하기 전에 열회수를 위해 향류나 병류의 다관식 열교환기를 사용하여 열을 회수하는 장치이다.
- (8) 재생(REGENERATIVE) 장치는 세라믹 등 축열재를 사용해서 열을 회수하는 것이다. 이러한 축열식 소각의 개념은 연소실에서 나오는 고온의 연소가스를 축열재층을 통과시켜 가지고 있던 열을 축열재로 빼앗아 가스를 저온의 상태로 소각로 굴뚝을 통해 배출한다. 이때 다음 사이클에서 소각로로 유입되는 VOC 함유가스는 이미 예열된 축열재층을 통과하면서 연소실 온도보다 약간 낮은온도까지 예열된 후 연소실을 통과하면서 버너에 의해 최종 연소 온도까지 가열된다. 결과적으로 이러한 열회수장치가 있는 열소각은 보조연료가 필요한 낮은 VOC 농도의 배출가스를 처리하는데 적합하다.

6.2 촉매산화(촉매소각)

촉매산화(촉매소각)방법은 고온산화와 매우 유사하다.

- (1) VOC 함유가스를 포집해서 예열하고 혼합한 후 촉매가 충전된 연소실에서 고온으로 연소시켜 VOC를 이산화탄소와 물로 전환시킨다. 그러나 연소실 내에 있는 촉매가 VOC 연소에 필요한 활성화 에너지를 낮춰주기 때문에 열소각보다 낮은 온도에서 연소가 일어난다. 결과적으로 촉매산화에서 연료비는 열소각장치보다 훨씬 적어질 수 있다.
- (2) 촉매산화에 사용되는 촉매로는 백금이나 팔라듐 같은 귀금속과 크롬산화물, 코발트산화물, 구리산화물, 망간산화물 등과 같은 금속산화물 등이 있다. 촉매의 수명은 평균 2년에서 5년 정도로 이 이후는 촉매 활성이 떨어지며 배출 가스와 함께 나오는 미세입자에 의해 기공(PORE)이 막히거나 열에 의한 노화로 촉매성능이 급격히 저하된다. 촉매를 연소실에 장착하는 방법으로는 입자상의 촉매를 충전시키거나 벌꿀집 형태(HONEYCOMB TYPE)촉매 지지체에 촉매를 함침시켜 사용한다. 아래와 같이 촉매산화에서는 배출가스 성분이나 조업조건이 그 성능에 많은 영향을 미치기 때문에 공정의 최적 조업조건을 결정하는 것이 필요하다.
 - ① 첫째로 촉매 산화방법은 납, 비소, 황, 안티몬, 수은, 아연 또는 다른 촉매 유도체를 포함하는 배출가스에는 촉매의 활성이 급격히 저하되는 등 효과적이지 못하다.
 - ② 둘째로 촉매산화는 보통 VOC 농도가 낮은 배출가스를 처리하는데 사용된다. 만일 VOC 농도가 높아 발열량이 크면 열에 의해 촉매가 쉽게 활성을 잃어버릴 수 있기 때문이다.
 - ③ 마지막으로 촉매층 사이의 온도와 압력이 촉매의 활성을 잘 유지될 수 있도록 계속 측정·감시해야 한다. 촉매층의 온도 상승은 VOC 산화정도를 나타내는 것으로 만일 온도가 감소되면 VOC 산화가 불완전하다는 것을 나타낸다.

과도한 열은 촉매를 불활성화 시키기 때문에 촉매층으로의 유입 온도는 촉매의 활성이 유지될 수 있도록 충분히 낮게 유지시켜 주어야 한다. 촉매 산화는 보통 산화온도가 260~480℃ 범위에서 조업한다. 촉매층의 압력강하도 역시 촉매의 성능을 나타내는 것으로 압력강하가 감소하면 촉매가 배출가스와 함께 외부로 빠져나가는 것을 뜻하며 이로 인해 VOC 제거능력이 저하된다.

- ④ 촉매의 수명을 연장하기 위해서는 주기적으로 촉매에 묻어있는 불활성 물질이나 미세입자들을 제거해 주어야 한다. 촉매를 세정하는 방법으로는 공기나 스팀을 촉매층으로 통과시킴으로써 촉매에 묻어있는 미세 입자를 제거해 주거나 또는 촉매산화시의 조업온도 이상으로 깨끗한 공기를 가열해서 이를 이용해 촉매 활성을 저해하고 있던 VOC를 산화시켜 촉매 세정을 한다. 다른 방법으로는 촉매를 산이나 염기성 용액으로 처리해서 화학적인 불활성 물질을 제거해 준다.

6.3 흡착

흡착은 기체상태의 VOC 분자가 고체 흡착제와 접촉해서 약한 분자간의 인력에 의해 결합하여 분리되는 공정이다. 흡착제의 수명을 연장시키기 위해서는 흡착된 VOC를 회수해서 흡착제를 재생하여 계속 사용한다.

- (1) 활성탄은 VOC를 제거하기 위해 현재 가장 널리 사용되고 있는 흡착제이다. 활성탄 이외의 흡착제로는 실리카겔, 알루미나, 제올라이트 등이 있다. 활성탄의 제조원료로는 나무, 석탄, 또는 코코넛 열매와 같은 탄소 함유 물질을 사용하며 종류로는 분말탄, 입상탄 그리고 섬유상 활성탄 등이 있다. 탄소 흡착제는 휘발성의 비탄소 성분을 제거하거나 표면적을 증가시키기 위해 특수 조건하에서 고온으로 원료물질을 가열해 줌으로써 활성화시켜 제조한다. 이중 입상 활성탄은 충분히 넓은 표면적을 갖고 압력강하가 적으면서 흡착된 VOC를 비교적 쉽게 회수할 수 있어 가장 널리 사용되고 있다.
- (2) 분말탄은 값은 싸지만 입상탄보다 질이 떨어지고 충전탑에 사용할때 압력강하가 너무 크기때문에 사용에 많은 제한이 있다. 또한 분말탄은 거의 재생할 수 없어 사용후 폐기하여야 한다.
- (3) 섬유상 활성탄은 최근에 많은 각광을 받고 있는 흡착제이다. 섬유상 활성탄은 기공(PORE) 크기가 미세공으로만 이루어져 있으며 흡착 부분이 섬유 표면으로부터 직접 미세공으로 연결되어 있어 흡착과 탈착 속도가 빠르다. 그리고 벌꿀집 구조나 판형 등 여러 모양으로 만들 수 있어 표면을 최대한 사용할 수 있는 장점이 있다.

- (4) 탄소흡착제에는 휘발성이 높은 VOC(분자량이 40 이하)는 흡착이 잘 안되며 비휘발성 물질(분자량이 130 이상이거나 비점이 150℃보다 큰 경우)은 탈착이 잘 안되기 때문에 효율적이지 못하다. 탑내의 과도한 열축적을 피하기 위해서 활성탄 흡착탑에는 농도가 1만 ppmv를 초과하지 않는 것이 좋다.
- (5) 제오라이트는 탄소흡착제보다 다양한 특성을 갖는 대체물로 점차 각광을 받고 있다. 제오라이트는 화산암으로부터 자연적으로 얻거나 인공적으로 합성할 수 있는 수소화 규산염이다.
- (6) 제오라이트를 이용해 VOC를 처리하기 위해서는 배출가스중 수분보다 VOC를 더 잘 흡착할 수 있도록 친수성에서 소수성으로 변형시켜 사용한다. 보통 VOC를 흡착시키기 전에 배출가스에 포함된 수분을 제거해 주어야 하며 제오라이트를 변형시키면 소수성으로 바뀌면서 탄소 흡착제보다 상대습도에 덜 영향을 받게 된다. 또한 제오라이트는 비가연성이어서 흡착된 용제간에 있을 수 있는 발열반응으로 인한 영향에도 강하다. 마지막으로 제오라이트는 높은 흡착력 때문에 탄소 흡착제보다 저농도와 높은 유속에서도 성능이 우수하다.
- (7) 현재 사용되고 있는 흡착탑의 종류는 고정층 형식과 유동층 형식의 두가지가 있다.
- ① 고정층 형식은 보통 2개나 그 이상의 흡착탑으로 되어 있다. 연속 운전을 위해서는 한 흡착탑에서는 흡착조작을 하며 다른 하나에서는 탈착을 수행한다. 탈착은 흡착탑의 흡착능력을 재생시켜주며 탑의 사용기간(보통 2~5년)을 유지시켜주기 위한 것이다. 탈착공정은 보통 1~1.5시간 걸리며 흡착제 재생, 건조, 냉각의 3단계로 되어 있다. 흡착제 재생은 스팀을 사용하여 탑의 온도를 높여주거나 진공에 의해 흡착되어 있는 휘발성 물질을 탈착시켜 주는 것이다. 탈착된 물질은 냉각시켜 액상으로 모아 분리하여 재사용하거나 폐기한다.
 - ② 유동층 흡착탑은 동일 장치에서 흡착과 탈착이 동시에 일어나도록 되어 있어 탑이 하나로 되어 있다. VOC를 함유한 배출가스는 탑의 하부로 유입되며 흡착제는 운송가스에 의해 탑 상부로 운송되어 배출가스와 향류로 접촉하면서 VOC를 흡착한다. VOC가 제거된 가스는 탑정으로 배출되며 VOC를 흡착한 흡착제는 탈착을 위해 탑저로 내려온다.

유동층에서는 흡착제의 혼합효과로 인해 국부적인 온도상승이 없으며 오히려 흡착열이 배출가스에 의해 제거되어 흡착열에 의한 흡착 능력의 저하를 막을 수 있다. 그러나 흡착제가 계속 유동되면서 파쇄되기 쉬워 보다 단단한 흡착제가 필요하다.

6.4 흡수

흡수는 기체와 액체가 향류 또는 병류로 접촉해서 VOC함유기체로부터 VOC가 액상 흡수제로 전달되는 공정이다.

- (1) 물질 전달의 구동력은 기체와 액체간의 VOC 농도 구배이다. 보통 흡수제로는 물, 가성소다 용액, 암모니아 또는 고비점 탄화수소 등이 있다.
- (2) 흡수제의 선택은 VOC의 특성에 따라 달라지며 예를 들면 VOC가 수용성이면 물이 좋은 흡수제가 될 수 있다.
- (3) 흡수장치는 보통 기체와 액체가 향류로 접촉되지만 병류와 교차 흐름도 가능하다. 흡수장치는 다음 4가지 종류가 주로 사용되고 있다.

- ① 충전탑
- ② 분무탑
- ③ 벤츄리 스크러버 (VENTURI SCRUBBER)
- ④ 다단탑

- (4) 충전탑은 탑내에 금속, 세라믹 또는 플라스틱 재료로 된 불규칙 충전물이나 규칙충전물로 채워져 있다. 액체는 기체와의 접촉면적을 크게 하기 위해 탑정에서 고르게 분산시켜주며 분산된 액체는 충전물의 표면에 얇은 필름을 형성하면서 아래로 흐르게 된다. VOC를 함유한 기체는 탑저로 보내 액체와 접촉하면서 VOC가 액상으로 전달되면서 탑정으로 빠져나가게 된다. 충전물은 기체와 액체의 접촉면적 즉 물질 전달 면적을 최대화하기 위해 제작되었으며 최근에는 고효율의 충전물이 많이 개발되어 사용되고 있다. 충전탑을 설계할 때는 배출 가스 중의 입자상 물질에 의해 막히거나 오염되어 유효 표면적이 작아지지 않도록 해야 한다. 그리고 탑정에서의 액체분산이 충전탑의 성능에 큰 영향을 받기 때문에 기체흐름을 방해하지 않는 범위내에서 액체가 전면적에 고르게 분산되도록 해 주어야 한다.

- (5) 분무탑은 충전물 등을 사용하지 않고 VOC 함유기체가 액체흡수제의 아주 작은 액적과 접촉되면서 물질전달이 일어난다. 이 때 작은 액적은 VOC가 흡수되는데 필요한 표면적을 최대로 해준다. 분무탑은 기체와 액체의 접촉 시간이 짧아 암모니아나 이산화황같이 물에 용해력이 큰 기체를 처리하는데 적합하다.
- (6) 벤츨리스크리버는 벤츨리노즐에서 VOC 함유기체와 흡수제를 강제로 접촉시켜 VOC를 처리하는 방법이다. 벤츨리 스크리버도 기체와 액체의 접촉 시간이 짧기 때문에 분무탑과 비슷하게 대부분의 VOC보다는 액체에 용해력이 큰 기체를 처리하는데 적합하다.
- (7) 다단탑은 접촉시간이 비교적 길고 각 단계에 있는 액체에 기체가 고르게 분산되어 흡수탑으로 많이 사용되고 있다. 흡수에는 흡수제와 흡수된 VOC와의 반응성 여부에 따라 물리흡수와 화학흡수의 둘로 나눌 수 있다.
- (8) 위에 서술한 4종류중 충전탑과 다단탑이 VOC 함유가스를 처리하는데 많이 사용되고 있다.

6.5 냉각응축

냉각응축은 냉각조작에 의해 비응축성 가스로부터 VOC를 분리해주는 공정이다.

- (1) 냉각응축은 일정한 압력에서 온도를 낮춰주거나 또는 일정한 온도에서 압력을 높여줌으로써 일어나게 할 수 있다. 응축기는 크게 2가지 형태로 구분된다.
- ① 첫째 직접응축기는 응축시켜야 할 기체가 냉매와 직접 접촉 혼합되면서 열적, 물리적 평형이 이루어지는 것으로 분무탑형이나 단탑형이 있다.
 - ② 둘째로 간접응축기는 주로 다관식 열교환기 형태로 관내로 냉매를 통과시켜 관 외부로 지나는 가스를 응축시켜 준다.
- (2) VOC를 응축시키는데 사용되는 냉매는 주로 냉수, 브라인, 염화불화탄소(CFC), 저온유체 등이 있으며 이들 냉매의 사용온도는 보통 냉수는 7℃, 브라인은 -35℃, 염화불화탄소는 -68℃ 등이다. 질소나 이산화탄소와 같은 저온유체는 온도를 -195℃까지 내릴 수 있다.

6.6 생물학적 처리

생물학적 처리 방법은 미생물을 이용해서 VOC를 이산화탄소, 물 그리고 무기질로 변환시켜주는 공정이다.

- (1) 생물학적 처리에는 바이오필터가 사용되는데 모든 바이오필터는 VOC를 무해한 물질로 변환시켜 주는 미생물을 포함하고 있는 흙이나 퇴비를 충전재로 사용한 장치이다.
- (2) 탑은 대기와 밀폐되어 있거나 개방되어 있으며 한개 또는 여러개의 탑이 사용될 수 있다.
- (3) 바이오 필터 장치에서 VOC 함유기체는 먼저 먼지를 제거하고 냉각시킨 후 필요하면 가습시켜 송풍기에 의해 탑저로 유입시킨다.
- (4) 탑에는 배양된 미생물들이 있으며 활성탄, 알루미나 등을 포함할 수 있다. 여기서 사용되는 미생물은 처리하고자 하는 VOC의 종류에 따라 달라지며 VOC 분해속도 역시 VOC 종류에 따라 다르다. 예를 들면 알데히드, 케톤, 알콜, 에테르나 유기산 등은 분해속도가 빠르며 할로젠화합물은 분해속도가 느리다.
- (5) VOC 함유기체는 먼지를 제거하고 냉각과 가습을 시켜주어야 하는데 이런 전처리 조작은 탑의 운전에 매우 중요하다. 배출가스중의 먼지는 탑내에 공극을 막아 VOC분해효율을 감소시킨다. 가장 중요한 전처리인 가습은 탑의 균열 및 미반응 VOC가 대기중으로 빠져나가는 것을 막아준다.
- (6) 탑내의 충전재 선정은 조업조건에 따라 달라진다. 흙은 퇴비보다 공극율이 작아 배출가스 처리하는데 투과성이 적어 퇴비를 충전재로 사용하는 경우보다 탑의 크기가 커야 한다. 혼합물 충전재는 투과율이 크기 때문에 큰 유속에 적합하며 VOC가 쉽게 생분해되는 기체를 처리할 때 효율적이다.

6.7 분리막 기술

분리막 기술은 반투과성 막을 사용하여 배출가스로부터 VOC를 선택적으로 분리하는 공정이다.

- (1) 막은 오랫동안 식용수를 처리하는데 사용되어 왔으며 이를 VOC 처리에 적용시키고자 하는 기술은 최근의 일이다.
- (2) 분리막기술은 염소계 탄화수소나 염화불화탄소 등 과거에 회수하기 어려웠던 기체들을 회수하는데 효과적이다.
- (3) 반투과막은 합성 고분자로 만들며 분리시 구동력은 막 사이의 압력차를 이용한다.
- (4) 진공펌프를 사용하여 막모듈내의 압력을 낮게 유지해주며 VOC 함유 기체를 막을 통과시키면 VOC만 막을 통과하고 공기는 통과하지 못해 결국 VOC와 공기가 분리된다.

KOSHA GUIDE
P - 104 - 2012

부록 1. VOC물질 및 제외물질

1.1 대표적 VOC물질

알리파티계탄화수소
 방향족 탄화수소
 할로겐 탄화수소
 케톤류, 알데히드류, 알콜류, 글리콜류, 에테르류, 에폭시류, 페놀류 등

1.2 대표적 VOC 제외대상 물질

메탄, 에탄, 일산화탄소, 이산화탄소, 금속카바이드 또는 카보네이트,
 암모늄 카보네이트,

1.3 발생원에 따른 VOC 물질의 종류

공장의 종류	발 생 원	VOC 물질의 종류
도장 및 잉크제조 공장	자동차, 전자제품 도장 및 건조기 ; 금속, 유리, 오프셋인쇄 건조기 ; 에나멜, 니스 건조기	벤젠, 톨루엔, 크실렌, 납사, 알코올, 에스테르, 유기용매
용매, 접착제 및 합성수지제조 공장	플라스틱, 합판 제조과정 등	스틸렌, 알데히드, 에스테르
화학공장	석유화학, 유기합성 공정 등	벤젠, 톨루엔, 크실렌, 알데히드,알코올
악취물질 취급 공장	비료, 사료, 소화기 제조과정 등	아민 및 황화합물
기 타	담배 건조기, 향료 제조 과정 등	알코올, 에스테르

부록 2 각종 화학물질의 냄새감지 최소농도

화학물질	기준량/ppm	냄새종류
아세트알데히드	0.21	그린스위트(GREEN SWEET)
초산	1.0	신맛(SOUR)
아세톤	100.0	케미칼 스위트
아크롤레인	0.21	탄냄새
아크릴로니트릴	21.4	양파, 마늘
알리클로라이드	0.47	양파, 마늘
디메틸 아민	0.047	생선비린내
모노메틸 아민	0.021	생선비린내
트리메틸 아민	0.00021	생선비린내
암모니아	46.8	자극성
아닐린	1.0	자극성
벤젠	4.68	솔벤트
염화벤질	0.047	솔벤트
황화벤질	0.0021	황냄새
브로마이드	0.047	표백냄새
부틸산	0.001	신맛
이황화탄소	0.21	황류(VEGETABLE SULFIDE)
사염화탄소		
(CS ₂ 염소화)	21.4	자극성 스위트
(메탄염소화)	100.0	
클로랄	0.047	스위트
염소	0.314	표백냄새
디메틸아세트아마이드	46.8	아민, 탄냄새, 오일
디메틸포름아마이드	100.0	생선비린내
디메틸 설파이드	0.001	황류
디페닐 에테르		
향수	0.1	
디페닐 설파이드	0.0047	탄고무
합성에탄올	10.0	스위트
에틸아크릴레이트	0.00047	흙냄새, 뜨거운 플라스틱

부록 2 각종 화학물질의 냄새감지 최소농도

화학물질	기준량/ppm	냄새종류
에틸 메트캅탄	0.001	흙, 황염
포름알데히드	1.0	건초, 짚
HCL 가스	10.0	자극성
황화수소	0.00047	썩은계란(Egg Sulfide)
메탄올	100.0	스위트
메틸 클로라이드	> 10	
메틸렌 클로라이드	214	
메틸, 에틸, 케톤	10.0	스위트
메틸 이소부틸 케톤	0.47	스위트
메틸 메르캅탄	0.0021	황, 자극성
메틸 메타아크릴레이트	0.21	황, 자극성
모노클로로벤젠	0.21	염소화, 곤충
니트로벤젠	0.0047	구두약
파라크레솔	0.001	타르
파라자일렌	0.47	스위트
페르클로로에틸렌	4.68	염소화솔벤트
페놀	0.047	약품
포스겐	1.0	건초
포스핀	0.021	양파, 겨자
파라딘	0.021	타고 자극적인 냄새
스타이렌(비활성)	0.1	솔벤트, 고약
스타이렌(활성)	0.047	솔벤트, 고약
이염소화	0.001	황류
이황화산소	0.47	
톨루엔(석탄추출)	4.68	꽃향, 솔벤트
톨루엔(원유추출)	2.14	곤충, 고무
톨루엔 디아소시아네이트	2.14	약품
트리클로로 에틸렌	21.4	솔벤트