

『 화재 · 폭발 사고예방을 위한』

소각설비(RTO) 화재 · 폭발 예방 매뉴얼

1 개 요

인화성폐가스 소각설비 등 환경설비는 공정 및 생산설비 대비 상대적으로 안전하다는 잘못된 사고(思考)로 인해 공정설비에 못 미치는 설비관리, 보전활동 수준 등 관리소홀과 운전실수, 설부 보수 중 내부 체류 인화성가스에 인한 화재·폭발 우려가 큼

《안전밸브에 배출된 염화수소에 근로자 폭로》



[소각로 전단 송풍기 및 탱크 폭발사고]



[소각로 전단 기액분리장치 폭발]

2 위 험 성

휘발성유기화합물(VOCs : Volatile Organic Compounds)을 대기압 분위기에서 소각처리하는 과정에서 정비·보수작업시 취급물질의 화재 위험성에 대한 인식 부족, 안전작업절차 미준수 등으로 인한 화재·폭발 위험성이 있음

2.1 폐가스 농도가 폭발하한의 25% 초과시 폭발 위험성

- 안전밸브, 파열판 등에서 배출되는 고농도의 위험물이 갑작스럽게 소각설비에 유입되어 폭발하한을 초과할 경우 배관(또는 덕트), 소각설비 내에서 폭발 위험성이 있음.
- RTO 등 소각설비 내부에서 스파크 및 고온에 의한 폭발 위험성
- 소각설비 상부에서 고온(약 800℃)에 의해 점화되어 소각설비 내부 및 배출물 유입 배관(또는 덕트) 폭발 위험성
- 소각설비 초기 가동시 폐가스가 다량으로 유입될 경우에는 소각설비가 순간적으로 폭발할 위험성이 있음

2.2 폐가스의 응축으로 발생한 침적물의 발화 위험성

- 소각설비 하단에 공정에서 발생된 폐가스 또는 발생된 흙의 응축물이 자연발화 되거나 소각설비 내 온도상승으로 인한 유증기 발생으로 소각설비 내부에 폭발분위기 형성 위험이 있음

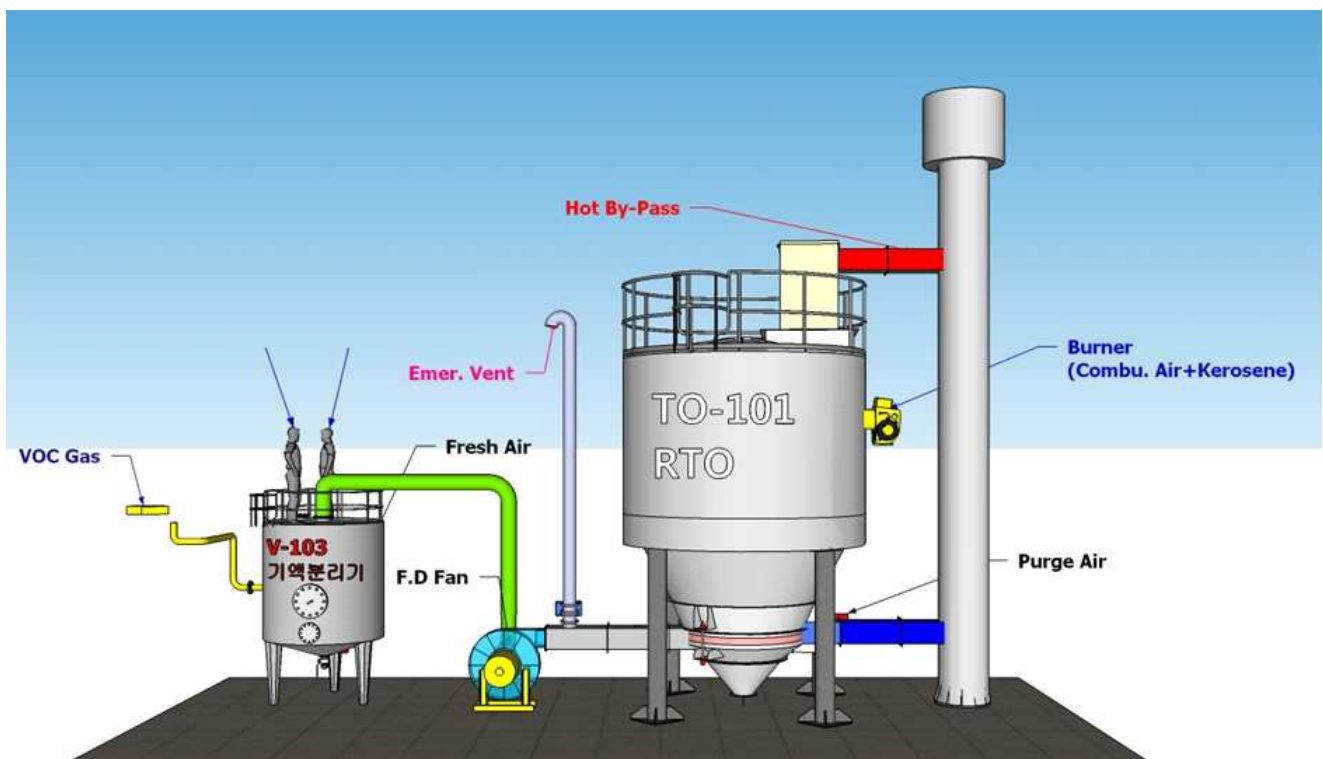
2.3 송풍기 재가동시 고농도의 폐가스 유입으로 인한 폭발 위험성

- 정전, 송풍기 고장 등으로 인해 폐가스 이송용 송풍기 재가동시 배관 내 폐가스가 폭발 분위기를 형성하는 경우 송풍기 가동에 따른 기계적인 마찰로 폭발 위험성이 있음
 - 배관 내 금속 이물질이 송풍기를 통과하면서 스파크를 발생할 가능성이 있음
- 송풍기 및 주변 배관에서 폭발이 발생할 경우 화염이 배관을 타고 저장·취급 용기에 전파되어 대형 폭발 위험이 있음

2.4 가연성 물질이 있는 설비의 정비·보수작업시 폭발·화재 위험성

- 폐가스의 액체를 분리·포집하는 설비인 녹아웃 드럼 등 기액분리장치는 안전밸브 등에서 분출된 배출물 중 액적이나 액체가 소각설비에 유입되지 않도록 하는 설비이며,
 - 기상의 상태는 고농도의 가연성 물질이 있으므로 기액분리장치 정비·보수작업시에는 폭발·화재 위험성이 항상 존재하고 있음

《축열시 소각로로 일반적인 구성도》



3 안전조치 및 작업방법

3.1 일반 기준

(1) 소각설비는 안전한 설비설치 기준 준수

- VOC 등을 소각할 경우 위험성이 더 커지거나 더 유해한 물질이 발생할 우려가 있는 경우에는 소각설비로 연결금지
 - 단, 추가적인 배기처리시설을 설치하여 해당물질을 처리하는 경우에는 예외
- 소각설비 내부는 인화성 가스 또는 증기가 폭발하한계(Vol %)의 25 % 이하로 유지 되도록 희석공기 또는 불활성가스를 주입하는 등의 조치하고,
 - 대기로 배출되는 지점과 저장탱크(또는 장치)와의 사이의 압력손실이 저장탱크(또는 장치)의 설계압력을 초과하지 않도록 조치
- 주변의 가연성 물질 등에 의한 화재를 일으킬 우려가 없는 곳에 설치
- 외부적인 열, 진동 및 기계적 위험으로부터 안전할 수 있는 곳에 설치
- 부식성 물질을 취급하는 장소로부터 충분한 안전거리 유지

(2) 안전설비 및 방호조치 실시

- 점검 및 유지관리가 가능하도록 소각설비 상부와 전면에 충분한 공간확보.
- 소각설비 내·외부를 점검하기 위한 작업대, 통행시설, 계단 및 맨홀 설치.
- 소각설비 및 인접 배관, 굴뚝 등의 외부온도가 70 ℃ 이상이고 근로자가 접촉할 우려가 있는 부분에는 접촉 시 화상을 방지할 수 있도록 방호조치 실시.

(3) 기타 안전조치

- 화재·폭발의 위험이 있는 물질을 사용 및 취급하는 시설은 관련기준에 따라 설치
 - KS IEC 60079-10-1(폭발분위기-폭발위험장소의 구분)
 - KS IEC 60079-14(폭발성분위기-전기설비 설계, 선정, 설치)

3.2 VOC 배출 배관

(1) VOC 배출 배관(또는 덕트)의 구성시 배출물질의 상호 반응성 고려

- 반응성이 있을 경우에는 해당물질을 별도의 배관으로 소각설비로 연결하거나 별도의 배기처리시설로 연결하여 반응성에 의한 문제를 최소화

(2) VOC 배출 배관(또는 덕트) 구성시 안전조치 실시

- 상압저장탱크 등의 설비에 연결되는 VOC 등의 배출 배관(또는 덕트)을 플랜지 직결로 하여 밀폐구조로 연결 시 처리설비의 운전 및 저장물 배출시 진공으로 인한 탱크의 손상 및 배기팬의 과부하문제가 초래되고 만일의 단일 저장탱크 폭발 또는 처리설비 이상발생시 전체 탱크와 배관으로 파급되는 문제가 있으므로 이러한 문제를 해결할 수 없을 경우 벤트배관에 포위식 후드 형식으로 설치
- 배관(또는 덕트) 중 낮은 지점에는 내부에 체류된 물질을 배출하기 위한 드레인(Drain) 밸브를 설치하고, 높은 지점에는 벤트(Vent) 밸브 설치
- 소각설비에서 대기로 배출하는 배관(또는 덕트)은 배기가스가 건물 내부로 다시 유입될 수 있는 부분 또는 기타 공기 흡입구 부근으로 연결금지
- 배관(또는 덕트)은 불연성재료를 사용하고 물리적 손상을 입기 쉬운 경우 적절한 배관 보호조치 실시
- 처리하는 VOC 등의 물질이 배관 등의 내부에 침적할 우려가 있는 경우, 해당물질을 제거하기 위한 분리기를 설치하고 청소할 수 있는 구멍을 설치하는 등의 조치

3.3 배기 팬(Exhaust fan)

(1) 충분한 용량 등 안전한 설비 설치기준 준수

- 처리해야 할 배출량을 만족하는 용량으로 선정하고, 소각설비가 상시 가동되어야 하는 경우 배기 팬은 복수로 설치하고 배기 팬 가동 정지 시 자동으로 예비 팬이 가동되도록 연동조치 후 운전자가 팬 가동정지를 알 수 있는 경보설비를 설치
 - ※ 단, 배출되는 VOC 등이 연속적으로 발생되지 않고 배기 팬의 가동정지 시 소각설비의 인입 배관 내의 VOC 등을 비상 배출할 수 있는 장치를 설치한 경우 등에는 배기 팬을 1 대만 설치할 수 있다.
- 배기 팬에 의한 진동의 영향을 감소시키기 위해 배기 팬과 소각설비 사이에 신축이음(Expansion joint)을 설치. 단, 진동의 영향을 무시할 수 있는 경우에는 미설치 가능

(2) 소각물질의 위험에 따른 배기팬 설치위치 결정

- 배기 팬을 설치할 경우 취급하는 물질에 의한 설비의 부식이 우려되거나 또는 스파크 등의 점화원으로 작용할 우려가 있는 때에는, 배기 팬의 위치를 소각설비의 출구측에 설치한다. 다만, 아래의 경우에는 배기 팬을 소각설비의 입구측에 설치할 수 있다
 - 부식성물질에 대해 배기 팬의 블레이드(Blade) 및 케이싱을 내식성 재질로 사용할 경우
 - 점화가능한 물질에 대해 배기 팬의 블라인드(Blade) 및 케이싱을 스파크 등의 점화원으로 작용할 우려가 없도록 조치한 경우이거나 또는 배관 또는 덕트 내에 유입되는 인화성 증기(또는 가스)의 농도가 폭발하한계(Vol %)의 25% 이하로 유지되도록 별도의 조치를 한 경우

3.4 비상배출장치(Emergency vent/damper)

(1) 소각설비 이상시를 대비한 비상배출장치의 설치

- 소각설비 인입부 배관(또는 덕트)에는 다음과 같은 경우를 대비하여 자동으로 VOC 등을 배출할 수 있는 비상배출장치를 설치
 - 유입되는 인화성 가스(또는 증기)가 폭발하한계(Vol%)의 25%를 초과하는 경우
 - 촉매 소각인 경우 유기물에 의한 촉매의 손상을 방지하기 위해 운전정지 후 가동 등 부득이 하게 촉매온도를 승온하는 경우
 - 촉매층 또는 충전재층의 온도가 정상범위를 초과하여 상승하는 경우
 - 소각설비 연소실의 온도가 정상운전범위를 초과하여 계속 상승하는 경우
 - 배기 팬이나 급기 팬의 고장 등으로 화재 또는 폭발이 우려되는 경우
 - 기타 공정의 이상으로 화재 또는 폭발이 우려되는 경우

(2) 비상배출장치로 배출되는 유해·위험물질의 안전한 처리

- VOC 등의 물질이 지속적으로 공급되는 설비의 경우에는 비상배출장치의 후단에 흡착탑과 같은 배기처리시설을 설치하여 해당물질을 처리하여야 함
 - 다만, 배기처리시설의 설치가 기술적으로 곤란하거나 다른 위험을 초래할 우려가 있는 때에는 안전지역으로 배출할 수 있음

3.5 안전 및 방호장치의 설치

(1) 폭발시를 대비한 압력방출장치 설치

- 소각설비 및 배관(또는 덕트)에서 폭발이 발생할 때를 대비한 완화대책으로 다음과 같은 위치에 파열판 등의 압력방출장치를 설치
 - 소각설비의 VOC 인입배관
 - 소각설비 인입 배관의 비상배출배관과 흡착탑 등의 배기처리장치 사이
 - 비정상 조건에서 가스농도가 높아 폭발의 우려가 있는 배관 등
 - ※ 파열판 등의 압력방출장치의 설정압력과 크기는 보호하고자 하는 설비의 설계압력과 배출해야 하는 양을 고려, 안전보건규칙 제261조(안전밸브 등의 설치)내지 제267조(배출물질의 처리)까지의 규정과 KOSHA GUIDE (안전밸브 등의 배출용량 산정 및 설치 등에 관한 기술지침) 및 KOSHA GUIDE (파열판의 크기 산정 및 설치 등에 관한 기술지침)를 참조하여 설정
- 파열판 등의 압력방출장치 전·후단에 차단밸브 설치를 금지하고, 압력방출장치의 후단 배관은 안전한 지역으로 연장

(2) 폭발방산구(Explosion-relief vent) 설치

- 인화성 액체, 증기 또는 가스를 포함하는 소각설비의 연소실에는 폭발방산구를 설치해야 하고, 폭발방산구의 위치는 작동 시 다른 위험을 일으키지 않는 곳이어야 한다. 다만 다음의 경우에는 폭발방산구를 설치하지 아니할 수 있음
 - VOC 등의 유입량 및 보조연료의 양이 적은 RTO, RCO 및 CTO 설비
 - 내열을 위해 내화재 또는 단열재를 지지하는 철골 빔과 보강지주로 보강된 4.8 mm 이상의 강판으로 동체 구조를 갖는 소각설비
- 폭발방산구의 크기는 연소실 내용적 1 m³ 당 0.22 m²(15 ft³ 당 1 ft²) 의 비율 이상이 되도록 설치
- 폭발방산구의 작동압력은 소각설비의 설계압력을 초과하지 않는 압력에서 작동해야 함
- 길이가 긴 장방형 소각설비의 경우 전체 길이에 따라 적절한 위치에 폭발방산구를 설치 및 폭발방산구 사이의 최대간격은 소각설비의 최소 내경(폭 또는 높이)의 5배 초과 금지

(3) 화염방지기(Flame arrester) 설치

- 소각설비의 본체에 VOC 등을 공급하는 배관(또는 덕트)에는 화염이 역화되지 않도록 화염방지기를 설치하여야 하며,
 - 주 배관(또는 덕트)과 연결되는 가지관은 가능한 한 구획되도록 가지관마다 화염방지기를 설치한다. 다만, 소각설비에 투입되는 VOC 등이 어떤 경우에도 폭발하한계(Vol %)의 25 %에 도달하지 않도록 별도의 조치를 한 경우에는 화염방지기를 생략할 수 있음
- 배관에 설치하는 화염방지기는 폭연 또는 폭굉에 대해서도 화염방지 기능을 갖는 것을 사용하거나 또는 폭발압력을 사전에 배출하기 위한 파열판 등의 압력방출장치를 설치하는 등의 방법으로 화염방지기의 기능이 상실되지 않도록 하여야 함
- 수봉식 화염방지기는 인입배관 등의 전체의 압력손실을 고려하여 채우는 물높이를 설정하여야 하고, 결빙의 우려가 있는 경우에는 동결방지조치를 해야 함
 - 또한 내부의 유체높이를 확인하기 위한 액면계 또는 투시창(Sight glass)을 설치하고, 물 등을 보충하기 위한 장치와 배출하기 위한 밸브를 설치하여야 함

(4) 인화성 가스농도 감지장치 설치

- 소각설비 입구에 인화성 가스(또는 증기)농도를 감시하기 위한 농도감지장치를 설치하여 가스 농도가 폭발하한계(Vol %)의 25 % 이하가 되도록 희석공기 또는 불활성가스 주입시설을 설치하는 등의 조치를 하여야 하며,

- 다만, 소각설비에 투입되는 VOC 등이 어떤 경우에도 폭발하한계(Vol %)의 25 %에 도달하지 않도록 별도의 조치를 한 경우에는 가스농도감지장치의 생략가능
- 가스 농도가 폭발하한계(Vol %)의 25%에 도달할 경우에는 경보장치가 작동되어야 하며, 폭발하한계(Vol %)의 50%를 초과하기 전에 소각설비의 가동이 정지 후 소각설비의 연소실 내로 VOC 등의 물질이 유입되지 않도록 비상배출장치가 작동되어야 함
- 가스농도감지장치는 주기적으로 점검하여 성능을 유지하여야 함
- 연소실내에서 환기율이 폭발하한계(Vol %)의 25%~50% 사이에 도달하도록 설계한 경우에는 연속적으로 증기농도를 감시 및 제어하는 연속형 증기농도 상한제어장치 (Continuous vapor concentration high limit controller)를 설치하여야 하고,
 - 동 장치는 증기농도가 폭발하한계(Vol%)의 50 %를 초과하기 전에 경보를 발하여야 하고, 경보작동 시 소각설비의 운전이 정지되고 소각설비 내로 VOC 등의 물질이 유입되지 않도록 비상배출장치가 작동되어야 함

(5) 화염감지기(Flame detector) 설치

- 모든 버너의 불꽃은 화염감지기(Flame detector, Flame eye or Flame sensor)에 의해 감시되고, 버너 불꽃이 꺼질 경우 즉시 감지하여 버너가 정지되도록 연동하여야 함
 - 다만, 연소실 내의 온도가 760 ℃ 미만으로 떨어질 우려가 없는 소각설비인 경우에는 그러하지 아니함
- 연소실 내의 정상 운전온도가 760 ℃ 이상인 경우 화염감지기와 버너가 연동되지 않아도 되나, 연소실 내의 온도가 760 ℃ 미만으로 떨어지는 경우 화염감지기가 버너와 연동되어야 함
- 연소실 내의 온도가 760 ℃ 이하인 경우 버너가 작동되지 않도록 연동된 소각설비인 경우에는 화염감지기를 미 설치가 가능
- 모든 버너(보조 버너 포함)의 불꽃은 독립적으로 감시되어야 하나, 다음의 경우에는 1개의 화염감지기로 동시에 감시할 수 있음
 - 주 버너(Main burner)가 꺼진 경우 점화되고, 주 버너가 가동 중일 경우에는 자동으로 꺼지는 간섭형 보조 버너(Interrupted pilot burner)가 사용되는 경우 1개의 화염감지기로 주 버너와 파일럿 버너의 감시가 가능
 - 자동점화 버너(Self-piloted burner)들을 사용하는 경우 1개의 화염감지기로 감시가 가능
- 화염감지기 중 자외선을 감지하는 UV(Ultraviolet) 감지기는 가스 버너에는 적합하나 석유류 연소의 경우 미량의 자외선을 방출하기 때문에 비록 화염이 존재하더라도 불꽃을 감지하지 못하는 경우가 발생될 수 있기 때문에 석유류 버너에는 적합하지 않음
- 석유류 버너 또는 가스와 석유류를 모두 사용하는 버너에는 적외선을 감지하는

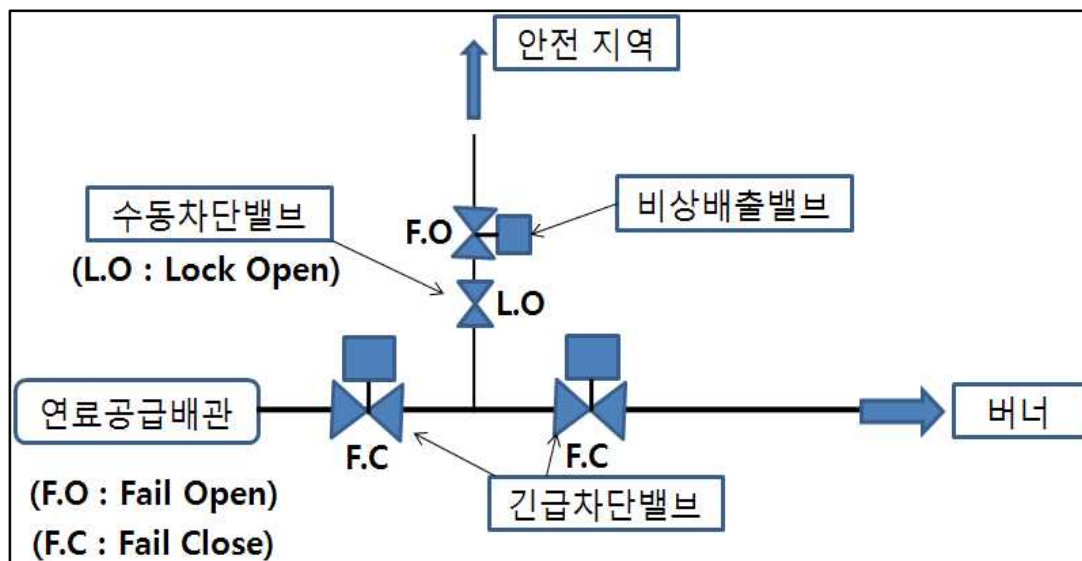
IR(Infrared) 감지기 또는 UV/IR 조합형 감지기를 사용하는 것이 효율적임

- UV 감지기는 열에 매우 약하기 때문에 계장용 공기를 순환하여 냉각시켜 소각설비 내부 열에 의한 손상이 없도록 해야 하며, 계장용 공기가 공급 중단될 경우에는 UV 감지기를 제거하여 고온에 노출되지 않도록 해야 함

3.6 연료배관의 긴급차단밸브(Shut off valve)

(1) 연료공급배관에 비상시를 대비한 긴급차단밸브 설치

- 연료로 가스를 사용하는 경우 공급배관(보조버너용 배관 포함)에는 2개의 긴급차단밸브를 최단거리로 설치하여야 하고, 2개의 긴급차단밸브 사이에는 비상배출밸브를 설치하여야 함
- 비상배출밸브 전단에 수동밸브를 설치할 경우에는 열린 상태로 관리하여야 하고 비상배출밸브의 후단 배관은 안전지역으로 연장하여야 한다. <그림 1>은 긴급차단밸브와 비상배출밸브의 설치 예시임



<그림 1> 긴급차단밸브와 비상배출밸브의 설치 예시

- 석유류를 연료로 사용하는 경우 다음 중 하나에 해당되면, 연료 공급배관에는 2개의 긴급차단밸브를 최단거리로 설치하여야 함
- 석유류 공급 압력이 862 kPa(125 psi)을 초과하는 경우
- 주 버너가 꺼진 상태에서 압력과 무관하게 연료 펌프가 운전되는 형식인 경우
- 가스와 석유류를 같이 사용하는 혼합 연소식 버너인 경우

(2) 비상배출밸브의 설치기준 준수

- 비상배출밸브의 최소 크기는 연료공급배관의 크기에 따라 <표 1>과 같이 설치할 수 있으며, 비상배출밸브의 위치는 <그림 1>과 같음

연료배관(긴급차단밸브) 크기(호칭경)		최소 배출밸브 크기(호칭경)	
A(mm)	B(inch)	A(mm)	B(inch)
40	1½ 이하	20	¾
50	2	25	1
65 ~ 80	2½ ~ 3	32	1¼
90	3½	40	1½
100 ~ 125	4 ~ 5	50	2
140 ~ 150	5½ ~ 6	65	2½
200	8	90	3½
200 초과	8 초과	긴급차단밸브 배관 단면적의 15%	

<표 1> 연료배관과 배출밸브 최소 크기

3.7 계측 및 경보장치

(1) 계측 및 경보장치의 설치

- 소각설비의 운전에 필요한 온도, 압력, 유량 등의 계측장치는 모니터링 되어야 하며, 필요시 운전실에서 감시할 수 있어야 함
- 또한 정상운전범위를 벗어날 경우에는 경보장치가 작동되도록 설치하여야 함

(2) 계측 및 경보장치의 설치기준 준수

- 일반적으로 소각설비 운전 및 제어에 필요한 계측장치와 경보장치는 다음과 같음
- 보조연료 공급배관 및 연소용 공기배관에 압력계(압력조절기가 설치되는 경우 압력 조절기 전후단에 각각 설치)
- 소각설비의 버너부분과 촉매층 또는 충전재층에 온도계 및 온도경보장치(촉매층 또는 충전재층에는 2개 이상을 설치)
- 촉매층 전후단의 차압감지장치 및 경보장치
- 인화성 가스농도감시 및 경보장치
- 소각설비의 폐가스 출구에는 온도계 및 경보장치
- 소각설비의 VOC 인입배관에는 압력계 · 온도계 및 온도경보장치
- 팬 전후단의 압력계 또는 차압계
- 팬의 진동을 감시하기 위한 계측장치
- 중요밸브(긴급차단밸브 등)의 작동상태를 알 수 있는 계기

3.8 자동제어밸브(Auto control valve)

(1) 일반 설치기준의 준수

- 소각설비의 덕트나 배관에 설치된 각종 자동제어밸브(On-off 밸브 포함)는 계장설비가 실패(Failure)할 때 다음과 같이 작동되는 구조로 설치함
- 다만, 밸브의 위치가 운전중인 상태로 유지되어도 안전상 문제가 없는 경우에는 그러하지 아니함
 - 비상배출시설과 관련된 밸브는 자동 열림(Fail open) 구조
 - 소각설비로 인입되는 VOC 덕트나 배관상의 밸브는 자동 닫힘(Fail close) 구조
 - 연료배관상의 2중 차단밸브는 자동 닫힘(Fail close) 구조
 - 연료배관상의 2중 차단밸브 사이의 배출밸브는 자동 열림(Fail open) 구조

(2) 자동제어밸브의 감시

- 자동제어밸브의 동작상태는 가능한 한 조정실에서 감시할 수 있도록 설치되어야 함

3.9 치환 시설

(1) 버너 점화시 잔류연소가스 제거를 위한 치환설비 설치

- 버너가 정지하거나 또는 불꽃이 꺼진 후에 버너를 재점화하기 전에는 반드시 소각설비 내부의 증기가 치환되도록 조치한 후에 버너가 점화되도록 하여야 함
 - 석유류 버너인 경우에는 반드시 연소실 내부에 미연소 물질이 존재하지 않는다는 것을 육안으로 확인하여야 함
- 다음 중 하나를 만족할 경우에는 점화 전 치환을 반복하지 않을 수 있음
 - 연소실 내부의 온도가 760 ℃(1400 ℉)를 초과하는 경우
 - 각 버너가 화염감지기에 의해 모두 감시되고, 연료공급배관에는 긴급차단밸브가 설치되어 있으며 또한 연소실 내에 적어도 1개의 버너는 정상 가동되는 경우
 - 각 버너가 화염감지기에 의해 모두 감시됨과 아울러, 연료공급배관에는 긴급차단밸브가 설치되어 있으며, 또한 연소실의 가연성물질의 농도가 폭발하한계(Vol %)의 25 %를 초과하지 않는 경우
 - 다만 연료가 석유류일 경우에는 세 번째항은 적용하지 않는다.
- 소각설비에는 VOC의 농도를 낮추기 위해 치환 또는 희석용으로 불활성가스 주입설비를 설치할 수 있음

(2) 적정 치환량의 산출 및 적용

- 치환해야 하는 양은 치환하고자 하는 연소실 내부 체적의 4배 이상이 되도록 외부 공기 또는 불활성가스로 치환해야 함

※ 치환방법 등에 대해서는 KOSHA GUIDE (불활성가스 치환에 관한 기술지침)을 참조

- 치환 또는 환기시 가스량(또는 공기량)은 절대온도에 정비례하여 변화되므로 다음 ① 보정 계수식을 사용하거나, ③ <표 2> 의 “온도 가스량 환산표”를 사용하여 보정하여야 하고, 치환 공기량은 ①, ③ <표 2>에 의해 산출된 수치를 올림한 량으로 함

- ① 보정 계수 계산식은 다음과 같음

$$\text{보정 계수} = (t\text{ }^{\circ}\text{C} + 273)/(20\text{ }^{\circ}\text{C} + 273)$$

※ “t”는 배기 온도

- ② 보정계수 계산식에 의한 방법 예시

20 °C의 유입공기 100 m³/mim을 210 °C에서 운전하는 소각로에 주입하면 위 식에 의거 보정계수는 (210 + 273)/(20 + 273) = 1.648로 계산되며, 여기에 100 m³/mim를 곱하면 치환에 필요한 공기량은 164.8 m³/mim 가 된다.

- ③ <표 2> “온도 가스량 환산표”에 의한 방법 예시

20 °C의 유입공기 100 m³/mim을 210 °C에서 운전하는 소각로에 주입하면, <표 2>에서 210 °C에서의 계수가 1.648이므로 여기에 100 m³/mim를 곱하면 치환에 필요한 공기량은 164.8 m³/mim 가 된다.

(3) 명확한 폭발하한값(Vol %) 산출을 위한 온도보정 실시

- 치환 및 환기시 폭발하한계(Vol %)의 값은 대부분 25 °C 기준으로 제시되기 때문에 온도 보정을 하여야함

- 연속공정의 소각설비(Continuous process furnace or oven)에 대한 폭발하한계(Vol %)는 다음의 식이나 또는 <표 3> 에 따라 소각설비 운전온도에 대해 보정되어야 한다. 여기서 연속공정의 소각설비란 다소 연속적으로 발생하는 VOC 등의 물질을 소각하는 설비를 말함

$$LEL_t^{\circ}\text{C} = LEL_{25^{\circ}\text{C}} [1 - 0.000784 (t\text{ }^{\circ}\text{C} - 25)]$$

※ “t” 는 소각설비 운전온도

온도 (°C)	계수	온도 (°C)	계수	온도 (°C)	계수
20	1.000	270	1.853	520	2.706
30	1.034	280	1.887	530	2.741
40	1.068	290	1.922	540	2.775
50	1.102	300	1.956	550	2.809
60	1.137	310	1.990	560	2.843
70	1.171	320	2.024	570	2.877
80	1.205	330	2.058	580	2.911
90	1.239	340	2.092	590	2.945
100	1.273	350	2.126	600	2.980
110	1.307	360	2.160	610	3.014
120	1.341	370	2.195	620	3.048
130	1.375	380	2.229	630	3.082
140	1.410	390	2.263	640	3.116
150	1.444	400	2.297	650	3.150
160	1.478	410	2.331	660	3.184
170	1.512	420	2.365	670	3.218
180	1.546	430	2.399	680	3.253
190	1.580	440	2.433	690	3.287
200	1.614	450	2.468	700	3.321
210	1.648	460	2.502	710	3.355
220	1.683	470	2.536	720	3.389
230	1.717	480	2.570	730	3.423
240	1.751	490	2.604	740	3.457
250	1.785	500	2.638	750	3.491
260	1.819	510	2.672	760	3.526

<표 2> 온도 가스량 환산표(해수면 기준)

소각설비 운전온도 (°C)	폭발하한계(LEL) 보정 계수
25	1.00
50	0.98
100	0.94
150	0.90
200	0.86
250	0.82
260	0.81

<표 3> 폭발하한계(Vol %) 보정계수

- 회분식 공정의 소각설비(Batch process furnace or oven)에 대해서는 운전온도가 121 °C에서 260 °C사이일 경우에는 가스량에 보정계수 1.4를 곱하고, 260 °C를 초과하는 경우에는 보정 계수 1.4가 적절하지 않기 때문에 시험에 의해 결정하여야 한다. 여기서 회분식 공정의 소각설비란 침지시설(Dipping vessel) 등과 같이 연속적이 아닌 단속 적으로 VOC 등의 물질이 배출될 때 이를 소각하는 소각설비를 말함

(4) 기압에 따라 변화되는 가스량의 고도보정

- 가스량은 기압에 따라 변화되므로 소각설비가 설치되는 위치를 고려하여 <표 4>의 “고도 보정계수”에 따라 고도 보정을 하여야 함. 일반적으로 해발고도 305 m(1000 ft) 미만에서는 고도에 대한 보정을 적용하지 않음

해발 고도		고도 보정계수
m	ft	
0	0	1
305	1,000	1.04
610	2,000	1.08
915	3,000	1.12
1220	4,000	1.16
1524	5,000	1.2
1829	6,000	1.25
2134	7,000	1.3
2438	8,000	1.35
2743	9,000	1.4
3048	10,000	1.45

<표 4> 고도 보정계수

※ 인화성 가스 및 증기의 혼합물에 대한 폭발하한계를 산정하기 위해서는 KOSHA GUIDE (가연성 가스 및 증기혼합물의 폭발한계 산정에 관한 기술지침)을 따른다.

3.10 연료 공급설비

(1) 연료공급 설비의 설치 및 운전기준 준수

- 소각설비에 유입되는 VOC 등의 양에 따라 연료를 자동으로 공급하는 설비를 설치하여야 함
- 연료는 운전성, 안전성 및 배기처리의 효율성 등을 고려하여 선정
- 연소용 공기를 공급하는 설비를 설치하고 연료의 양과 연동되도록 설치
- 연료로 인화성 가스를 사용하고, 당해 인화성 가스가 체류할 우려가 있는 경우에는 가스누출감지경보기 설치

※ KOSHA GUIDE (가스누출감지경보기 등의 설치 및 유지보수에 관한 기술지침)에 따라 설치

(2) 차단밸브, 압력조절기 등의 설치 및 연동

- 연료 공급배관에는 긴급차단밸브와 별도로 소각설비의 화재 또는 폭발 등의 비상시에 연료를 차단할 수 있도록 접근이 용이한 장소에 수동 차단밸브를 설치해야 하며, 정상 운전시를 제외하고는 항상 닫혀 있도록 관리해야 함

- 연료 공급배관에는 압력계를 설치하여야 하며, 공급압력이 버너 동작 압력을 초과하거나 또는 공급압력이 과도하게 변동하는 경우 일정한 압력을 유지하도록 압력조절기를 설치하는 등의 조치를 하여야함
- 연료 공급배관에는 저압 스위치를 설치하여 가스 공급압력이 정상 공급압력보다 낮을 경우에는 버너가 정지되도록 연동하여야 함
- 연료로 가스를 사용할 경우 고압 스위치의 위치는 최종 압력조절기 후단에 설치하고, 가스 공급압력이 정상 공급압력보다 높을 경우에는 버너가 정지되도록 연동하여야함
 - 다만 연료로 석유류를 사용하는 경우 버너에 공급되는 압력이 버너의 운전압력을 초과할 수 없는 형식인 경우에는 고압 스위치를 설치하지 않을 수 있음

(3) 이종의 연료사용시 혼입 방지조치 실시

- 가스와 석유류를 모두 사용할 수 있는 이중 연료 버너를 사용하는 경우에는 두 연료의 동시 유입을 막을 수 있는 확실한 제어장치를 설치
 - 다만 혼합 연소식 버너인 경우에는 그러하지 아니함

(4) 과압방출장치 설치 및 안전한 곳으로 토출 유도

- 연료로 석유류를 공급하는 펌프가 기어 펌프 등 정변위 펌프인 경우에는 토출측 차단밸브 전단에 안전밸브 등 압력방출장치를 설치하여 차단밸브가 없는 펌프 인입측 등의 안전밸브의 작동을 방해하지 않는 위치로 연결하여야 함

※ 연료용 배관에 대해서는 KOSHA GUIDE (화학설비 배관 등의 비파괴검사 및 열처리에 관한 기술 지침)을 참조하여 설치

3.11 연료 연소장치(Burner)

(1) 연소상태 감시 및 비상시 연료공급 차단

- 버너의 연소상태를 관찰할 수 있는 관측구를 설치해야 함. 단, 관측구의 설치가 불가능할 경우 각 버너의 연소와 작동을 육안으로 확인할 수 있는 수단을 확보해야 함
- 연소용 공기가 연료보다 먼저 공급되는 구조이어야 하며, 공기 공급이 중단될 때에는 연료가 자동으로 공급이 차단되도록 연동되어야 하며,
 - 버너는 연소실 내부의 온도가 설정된 온도 범위 내에서 자동 운전되도록 조절되어야 함
- 다음의 경우에는 연료공급이 중지되고, 버너는 자동으로 정지되어야 함
 - 버너에 점화 실패 시
 - 버너의 불꽃감지 실패 시
 - 연소공기용 팬 및 치환용 팬 고장 시

- 버너에 공급되는 연료압력이 정상보다 높거나 낮을 때
- 소각설비로 들어오는 VOC 등의 인입온도 또는 소각설비 출구 온도 고온 시
- 연소실 내부 및 촉매층 또는 충전재층 온도 고온 시
- 소각설비의 구동장치(Rotary 등)의 고장 시 등

(2) 안전한 상태에서의 버너 점화를 위한 확인 강화

- 연료 공급의 정상 압력 유지상태 확인
- 연소용 공기압력 정상 및 연소용 공기 팬 정상 가동상태
- 소각설비 배기팬 정상 가동상태
- 연소실 내부 정상 치환 상태
- VOC 등 소각용 물질의 인입배관의 밸브가 모두 열린 상태 유지
- 기타 설비의 정상운전을 위해 제작업체 등에서 요구하는 사항
- 버너가 정지된 후 재점화 시에는 최초 점화와 동일하게 상기 언급된 확인 내용이 충족해야 함

3.12 소각설비 본체

(1) 소각설비 본체의 안전기준 충족

- 소각설비 본체는 단열조치를 하여 열손실이 최소화되도록 하여야 함
- 촉매 또는 충전재를 사용하는 경우 촉매 또는 충전재가 국부적으로 과열되지 않는 구조이어야 함
- 촉매 또는 충전재를 교환하기 위한 적합한 통행시설이 설치되어야 함

(2) 소각설비 내부작업시 조치사항

- 소각설비 내부에서 작업을 하는 경우 안전보건기준에 관한 규칙 제3편 제10장 “밀폐 공간작업으로 인한 건강장해의 예방”에 대한 사항을 준수하여야 함

※ KOSHA GUIDE (밀폐공간 작업 프로그램 시행에 관한 기술지침)과 KOSHA GUIDE (안전작업 허가 지침)를 참조하여 작업

(3) 이상시 즉시 소각설비 가동중지

- 다음의 경우에는 소각설비의 가동을 정지하여야 함. 다만 자동배출밸브가 작동하거나 또는 회색시설이 가동되는 등의 조치가 이루어져 화재·폭발 등의 문제가 발생되지 않는 형식인 경우에는 가동을 정지하지 아니할 수 있음

- 배기 팬 고장 시
- 소각설비의 구동장치 등의 고장 시
- VOC 등의 소각용 물질의 투입온도 고온 시
- 소각설비 연소실 및 촉매층 또는 충전재층 온도 고온 시
- 인입배관의 인화성 가스농도가 폭발하한계(Vol %)의 50 %를 초과하는 경우

3.13 굴뚝(Stack)

- 소각설비에는 연소가스를 배출하는 굴뚝(Stack)을 설치해야 함
- 굴뚝의 위치는 고온의 연소가스가 다른 위험을 유발하지 않는 장소로 유도되도록 설치해야 함
- 굴뚝 상단이 인접 건축물, 구축물 및 설비 등에 설치된 피뢰설비에 의해 보호되지 못할 경우에는 피뢰침을 설치
- 굴뚝이나 굴뚝과 연결된 덕트에는 연소가스의 배기상태를 측정하기 위한 측정구를 설치하고, 측정구 접근에 적합한 통행시설을 설치

《참조 : 축열식 촉매 소각로(RCO)의 적용시 고려사항》

RCO를 설치하고자 할 경우에는 앞에서 기술한 기준 및 KOSHA GUIDE (휘발성유기화합물(VOC) 처리 기술지침)의 6.(2)항 이외에 다음의 사항을 참조하여 설치한다.

- (1) 촉매가 열분해가 일어나지 않도록 유입되는 VOC의 농도를 관리하기 위해 환기시설을 설치하는 등의 조치를 하여야 한다.
- (2) 촉매성분을 열로부터 보호하기 위해 촉매층 출구측에 추가로 온도계측장치를 설치하고 유입되는 VOC를 차단하고 버너가 정지되도록 연동하여야 한다.
- (3) 미립자 등에 의한 촉매층의 오염을 확인하기 위해 촉매층 전후단의 압력차를 확인하기 위한 차압계를 설치하고, 이상 압력시 유입되는 VOC를 차단하고 버너가 정지되도록 연동하여야 한다.
- (4) 촉매를 직접 열 회수설비와 함께 사용하는 경우 연소되지 않거나 부분적으로 연소된 인화성 증기가 소각로에 재유입되지 않도록 설비유지관리 계획을 수립하여야 하고, 촉매에 대한 성능시험을 주기적으로 수행하여야 한다.
- (5) 촉매 산화가 발생되는지를 확인하기 위해 촉매층의 온도차 등을 감시하기 위한 계측장치를 설치하여야 한다.