

KOSHA GUIDE

D - 2 - 2012

활성탄 흡착설비의 안전설치에 관한 기술지침

2012. 7

한 국 산 업 안 전 보 건 공 단

안전보건기술지침의 개요

○ 작성자 : 서울산업대학교 안전공학과 이영순 교수

○ 개정자 : 이 정 석

○ 제 · 개정 경과

- 2009년 8월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정, 법규개정조항 반영)

○ 관련 규격 및 자료

- DIN SI5/62
- KOSHA GUIDE 「연소 소각법에 의한 휘발성 유기화합물(VOC) 처리설비의 기술지침」
- KOSHA GUIDE 「휘발성 유기화합물(VOC)처리 기술지침」

○ 관련법규

- 산업안전보건법 동법 산업안전보건기준에 관한 규칙 제 76조(배기의 처리) 및 제 267조(배출물질의 처리)
- 대기환경보전법 및 위험물안전관리법 등

○ 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

활성탄 흡착설비의 안전설치에 관한 기술지침

1. 목 적

이 지침은 화학 및 석유화학 산업에서 발생하는 휘발성 유기화합물(이하 “VOC”라 한다.) 등의 대기방출을 제어하기 위한 탄소 흡착법에 관한 처리설비의 안전기술지침을 정하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

(1) 이 지침은 화학 및 석유화학 산업에서 공정흐름, 가스 차단과 탱크 벤팅에서 발생하는 용매와 그밖에 휘발성 유기화합물(VOC) 등의 화학물질을 대기압 분위기에서 활성탄소를 사용하여 흡착 처리하는 관련설비의 설치 및 운전에 적용할 수 있다.

(2) 이 지침이 적용되지 않는 설비는 다음과 같다.

(가) 플레어스택(Flare stack)

(나) 석탄 또는 그 외 고체 연료 연소설비

(다) 총 공급열량이 44 kW (150,000 Btu/hr) 미만의 가열설비를 갖는 설비

(라) 고농도 용제(Solvent) 회수 설비로서, 로(Furnace) 내부에 불활성가스를 주입하여 저산소 분위기에서 운전되는 로(Low oxygen atmosphere furnace or oven)

3. 정 의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

- (가) “휘발성유기화합물(VOC : Volatile organic compounds)”이란 탄화수소화합물로서 대기 중의 질소산화물(NO_x) 및 다른 화학물질과 광화학반응(Photo-chemical reaction)을 통해 광화학 스모그(Photo-chemical smog)의 원인이 되는 오존(O_3)을 발생시키는 물질을 말하며, 지방족 탄화수소류, 방향족 탄화수소류, 비균질 탄화수소류(알데히드, 케톤, 알코올 등) 및 지방족과 비균질 탄화수소류가 혼합되어 있는 물질 중 레이드 증기압이 27.6 kPa 이상인 물질을 말한다. 단, 메탄 및 에탄 등 광화학 반응성이 낮은 물질로서 국가에서 정하여 고시하는 물질은 제외한다. 여기서 레이드 증기압(Reid vapor pressure)이란 37.8 °C(100 °F)에서 증기와 액체 부피를 4대 1로 만든 장치를 이용하여 측정한 압력(절대압력으로 환산)을 말한다.
- (나) “활성탄(Activated carbon)”이라 함은 목재, 갈탄, 무연탄 및 야자껍질 등을 원료로 제조하는 미세세공이 잘 발달된 무정형의 탄소 집합체로서, 내부에 미세 세공이 잘 형성되어 단위 1그램당 약 950 mm³ 정도의 큰 내부 표면적을 가진 흡착제를 말한다.
- (다) “흡착(Adsorption)”이라 함은, 고체의 표면력에 기인하여 기체, 액체물질을 흡착제 표면에 농축되는 현상으로 분자상호간에 작용하는 인력에 의한 것으로 물리적인 흡착을 말한다.
- (라) “연소범위(폭발범위)”라 함은 연소(폭발)가 일어나는데 필요한 가연성 가스나 인화성 액체의 특정한 농도범위를 말하며, 공기 중의 가연성 가스나 인화성 액체가 연소하는데 필요한 농도의 하한과 상한을 각각 인화한계농도 하한(LFL : Lower flammable limit), 인화한계 농도 상한(UFL : Upper flammable limit)이라 하고, 보통 1기압, 상온에서의 부피 백분율(vol.%)로 표시한다.

(2) 그 밖에 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업

안전보건기준에 관한 규칙에서 정하는 바에 의한다.

4. 탄소흡착설비의 설치 시 고려사항

4.1 설치기준

- (1) 흡착설비는 주변의 가연성 물질 등에 의한 화재를 일으킬 우려가 없는 곳에 설치하여야 한다.
- (2) 흡착설비는 외부적인 열, 진동 및 기계적 위험으로부터 안전한 곳에 설치하여야 한다.
- (3) 부식성 물질을 취급하는 장소로부터 충분한 안전거리를 유지하여야 한다.
- (4) 점검 및 유지관리가 가능하도록 흡착설비 상부와 전면에 충분한 공간을 두어야 한다.
- (5) 흡착설비 내·외부를 점검하기 위한 작업대, 통행시설, 계단 및 맨홀을 설치하여야 한다. 작업대, 통행시설 및 계단은 안전보건기준에 관한 규칙 제1편 제2장 “작업장”의 기준을 따라야 하며, KOSHA Guide M-80-2011(기계 및 설비의 통로설치에 관한 기술기준)을 참조하여 설치한다.
- (6) 전기설비는 관련 법규와 다음 KOSHA GUIDE를 참조하여 설치한다.
 - (가) 전기설비 설치상의 안전에 관한 기술지침
 - (나) 접지설비 계획 및 유지관리에 관한 지침
 - (다) 전기설비 설치 시 환경·사용조건 등의 평가에 관한 기술지침
- (7) 화재·폭발의 위험이 있는 물질을 사용 및 취급하는 시설은 다음 노동부 고시와 KOSHA GUIDE를 참조하여 설치한다.
 - (가) 노동부 고시 제1993-19호 (사업장 방폭구조 전기기계·기구·배선 등의

선정·설치 및 보수 등에 관한 기준)

4.2 탄소흡착 특성

(1) 휘발성유기화합물(VOC)은 탄소의 활성영역에서 흡착된다.

(가) 흡착이 일어날 때 열이 서서히 발생한다. 열은 흡착물질이 공기에 의해 산화되거나 탄소와 반응할 때도 발생할 수 있다.

(나) 일반적으로, 초기의 열 발생률은 거의 대부분의 용매에서 느리게 진행된다.

(다) 열발생이 전도와 대류를 통한 열손실을 초과할 경우 국소과열점이 생성될 수 있다.

(2) 탄소는 매우 양호한 열 절연체로 흡착탑의 열손실은 단열조건에 근접할 만큼 충분히 낮을 수 있기 때문에 흡착탑에 국소과열점이 생성되면 온도는 급격히 상승할 수 있다.

(가) 공기의 순환이 적당하고, 열방출 조치가 빠르고 충분하게 취해지지 않으면, 화재로 진행될 수도 있다.

(나) 사용 중인 흡착탑에서 화재가 발생하면, 흡착탑의 재생과 흡착 운전이 중지된다.

(3) 전형적 사고요인은 다음과 같다.

(가) 흡착탑 포집증기 포화로 인한 국소과열점 형성

(나) 활성탄소 등급의 변화, 낮은 열적안정도를 가진 새로운 등급의 탄소

(다) 흡착탑에 공기가 유입되어 국소과열점에서 화재로 진행

(라) 탄소흡착탑의 고온 입자들을 탑하류나 바람을 등지고 운반하는 과정에서 다른 설비에서 발생된 인화성 증기에 착화되어 더욱 심한 화재나 폭발로 확대

4.3 활성탄소의 종류

(1) 탄소는 전형적으로 목재, 코코넛 껍질이나 토탄(土炭)과 같은 천연물질에서 얻어진다.

(가) 탄소는 기체상 산화에 의하여 활성화될 수 있으며

(나) 스팀이나 인산을 사용하여 거대한 다공성 구조(800 ~ 1,200 m²/g)를 갖는 활성탄을 입상이나 펠릿 형태로 만들어져 효과적인 흡착제로 이용한다.

(2) 활성탄은 특정물질, 예를 들어 SO_x, NO_x, 염소, 포름알데히드, 암모니아, 수은 그리고 다양한 방사성 동위원소를 흡착하기 위해서 화학적으로 조작될 수도 있다.

(가) 이러한 조작들 중에 몇몇은 탄소의 열적안정도를 상당히 떨어뜨려 탄소의 화학적 활성을 증가시킨다.

(나) 열적안정도에 영향을 미치는 다른 요인들과 국소과열점 형성에 관한 사항은 4.6항을 참조한다.

4.4 탄소흡착탑의 설계

(1) 탄소흡착탑의 크기는 작은 카트리지에서부터 수용량이 100,000 m³/hr에 이르는 대형 드럼까지 다양하다.

(가) 사용 후 버릴 수 있는 매우 작은 유닛들은 일반적으로 악취제어에 사용되며, 낮은 농도의 VOC를 제어하는 데에만 사용할 수 있다.

(나) 큰 설비들은 ppm단위에서부터 대략 100 g/m³ 농도까지의 VOC를 제거할 수 있다.

(2) 흡착탑은 한번 통과하여 폐기하는 시스템 혹은 탄소가 포화되면 용매탈착방법으로 재생하는 방식 두 가지 중에 한가지로 운영된다.

(3) 재생 시스템에서, 포화된 탄소는 고온(일반적으로 스팀)이나 진공을 사용하여 VOC를 탈착시켜서 회수한다.

- (가) 일반적으로 흡착탑은 세 개나 네 개를 설치하며, 첫 번째와 두 번째 흡착탑이 사용되고 있는 동안 다른 흡착탑은 재생된다.
 - (나) 흡착탑의 흡착능력을 가장 효과적으로 사용하기 위해서는 가벼운 물질부터 먼저 흡착하여야 한다.
- (4) 흡착탑의 운전시작 전에는 소량의 용매를 사용하여 탄소를 안정화시키는 작업이 필요하다.
- (가) 사용한 적이 없거나 “깨끗한” 탄소의 경우 1,200 °C까지 온도가 올라가는 흡착발열을 할 수 있다.
 - (나) 사전 안정화 작업을 통해서 5~300 °C 사이로 온도를 감소시키는 안전상의 장점이 있으므로 안정화 작업이 필요하다. 탈착 시에는 이에 상응하는 흡열반응이 일어난다.
- (5) 다음을 위하여 흡착탑을 젖은 상태로 운전한다. 그러나 상대습도가 50~60%로 떨어질 때까지 VOC가 흡착되지 않고, 탄소를 습하게 하는 것은 탄소의 수명을 현저하게 떨어뜨리기 때문에 일반적인 권고사항은 아니다.
- (가) 탑에 탄소를 충전할 때 먼지구름 형성을 막고, 먼지로 인하여 가연성물질의 발생과 작업위생 위험을 최소화하기 위하여
 - (나) 운전시작 시 발열반응의 활성을 막기 위해서
- (6) 가연성 가스가 배관 내에 체류하지 못하도록 공기나 질소를 첨가하여 들어오는 기류(필요하다면 배출구 기류도)의 가스농도를 폭발하한계(LFL)의 최대 25%로 제한하여야 한다. 만약 배출기류 온도가 올라가면, LFL 값이 낮아지므로 계산을 통하여 판단하여야 한다.
- (7) 탄소흡착탑에서 고온 탄소 미립자가 형성되고 탄소흡착탑에서 잠재적 발화원으로 변질 수 있는 상류흐름과 하류흐름에 대한 면밀한 위험성 평가가 고려되어야 한다.
- (8) 흡착탑에서 공기가 빠져나가는 것을 막기 위해서는 배출구 라인에 적절한 통기밸브(Pressure/vacuum breather)를 사용하는 것이 바람직하다.

- (9) 탄소 흡착탑에서 분진폭발이 발생한 사례는 없지만, 가연성 분진은 형성 가능성을 위험성 평가의 일환으로서 고려하는 것이 바람직하다.

4.5 탈착(Desorption) 방법

- (1) 흡착공정의 효율성은 가스분석기를 사용하여 배출기류를 용제에 석기시키는 방법으로 측정할 수 있다. 일단 용제 석기가 최대 수용 수가 최도달하면, 탄소의 최대 작업 능력 최도달되며 장치는 안전하게 된다.
- (2) 탈착은 탄소표면으로부터 용제가 방출되어 탄소가 재사용될 수 있도록 하는 것이다. 일반적으로 온도차와 압력차를 이용한 두 가지 탈착법 중 한 가지가 사용될 수 있다.
- (3) 온도차에 의한 탈착 : 탄소를 스팀으로 가열하거나, 고온 질소 혹은 고온 공기로 가열하는 탈착방법이다
 - (가) 탈착에 고온 공기를 사용할 때에는 용매의 탈착이 성공적이더라도 흡착탑에서 화재가 발생할 수 있기 때문에 매우 면밀한 위험성 평가를 하여야 한다.
 - (나) 대용량의 흡착탑에서 열폭주가 시작되는 온도는 용매탈착에 필요한 온도보다 낮을 수도 있다.
 - (다) 이러한 경우에 안전의 기본원리는 용제의 농도를 LFL의 최대 25%로 제한하여 가연성 분위기의 형성을 막는 것이다.
- (4) 증기를 사용하는 온도 스윙 탈착(Temperature Swing Desorption)
 - (가) 증기는 물과 섞이지 않는 물질들의 환원에 가장 일반적인 탈착제이다.
 - (나) 증기혼합물과 용제는 냉각에 의해 응축되고 분리된다.
 - (다) 탄소층의 흡착능력은 순수한 온열 공기를 사용하여 건조하여 회수하고, 사용 전 반드시 냉각하여야 한다.
- (5) 고온 질소를 사용하는 온도 스윙 탈착(Temperature Swing Desorption)

- (가) 이 방법은 특히 수용성 용제를 사용할 때에 적합하다.
 - (나) 탈착 시스템의 산소의 농도는 처음에는 질소와 함께 제거됨으로써 감소한다.
 - (다) 그 다음에 200 ~ 300 °C의 고온 질소가 순환된다.
 - (라) 고온 기체는 흡착제에 의해서 공기에서 포집한 수분을 탈착한다.
 - (마) 이 물은 분자체(Molecular sieve)를 통과하는 건조가스에 의해 제거된다.
 - (바) 일단 물이 탈착되면, 고온 건조 질소를 용제를 탈착하는데 사용한다.
 - (사) 탈착된 용제는 운반가스에 의하여 응축되고, 바로 재사용될 준비를 한다.
 - (아) 탄소층은 흡착공정 전에 반드시 냉각되어야 한다.
- (6) 압력차에 의한 탈착 : 흡착탑에 진공을 걸어 탄소에 흡착된 용제를 탈착하는 방법으로 진공을 사용하는 압력스윙탈착(Pressure swing desorption)이라고도 한다.
- (가) 압력을 감소시켜 흡착제 공극에서 흡착된 용제를 증기화시킨다.
 - (나) 흡착층에서 탈착된 용제들은 적은 양의 깨끗한 배기 흐름을 사용함으로써 제거된다.
 - (다) 석유화학공정에서는, 용제 증기를 응축하여 공정에 재사용하는 것은 일반적이다.

4.6 국소과열점(Hot spot) 생성원인

국소과열점이 형성되면, 공기 유입구 가까이, 보통 층 바닥에 생성되기 쉽다. 국소과열점을 오랜 시간동안 방치할 경우 연기가 발생되어 흡착기 안으로 들어갈 수 있으므로 주의하여야 한다.

4.6.1 탄소 전-처리(Pre-conditioning) 불량

- (1) 새로운 탄소의 안정화 처리 미흡은 국소과열점 형성의 원인이 될 수 있으므로 충분하고 적절한 안정화 처리가 필요하다.

- (2) 순수한 활성탄소는 매우 큰 흡착능력을 가지고 있다. 만약 탄소의 안정화가 부적절하면 탄소 흡착능력이 충분하게 감소되지 않아 더 많은 열이 발생할 수 있으므로 주의하여야 한다.
- (3) 일반적으로 질소가 탄소 안정화 공정에 사용된다.
- (4) 탄소 안정화 공정은 다음을 고려하는 것이 바람직하다.
 - (가) 활성탄 공급자는 비상대응계획을 포함하여 탄소 안정화 진행을 위한 문서화된 절차를 제공하여야 한다.
 - (나) 문서화된 절차가 철저히 지켜지도록 감독하여야 한다.
 - (다) 탄소 안정화과정이 충분하게 수행되었는지 흡착탑의 온도-시간 변화 추이를 면밀하게 확인하여 기록하여야 한다.
- (5) 탈착 시 과도한 고온의 스팀이 사용될 때, 너무 많은 탈착은 탄소 안정화를 부분적으로 손상시킬 수 있으므로 주의하여야 한다.

4.6.2 탄소물질 문제

- (1) 화학적으로 활성화되거나 금속염이 주입된 탄소는 스팀으로 활성화된 탄소보다 열적안정도가 떨어질 수 있다.
- (2) 탄소층의 열적안정도는 과일이나 목재같은 탄소의 원료에 따라 물리적 특성에 영향을 받을 수 있다.
- (3) 알데하이드, 케톤, 아민, 황화물, 일부 모노머와 일부 유기산과 같은 특정 흡착제들은 탑 내부에서 산화하면서 상당한 양의 열을 발생시킨다. 또한, 상대적으로 열적 안정도가 낮은 어떤 물질이 흡착되는 동안 비슷한 효과를 낸다. 포화 탄소층에서의 발열반응 온도는 특정 화학물질의 경우는 25℃ 이하로 낮다.

4.6.3 용매증기부하

- (1) 용매증기에 재생하지 않은 탄소를 장기간 노출시키면 국소과열점이 형성될 수 있으므로 주의하여야 한다.
- (2) 국소과열점은 시스템에 용매의 과부하, 층의 흡착 사이클이 완료되지 않는 것과 같이, 흡착탑의 잘못된 조작 혹은 긴급 상황에서 시스템의 정지에 의해서도 발생할 수 있다.

4.6.4 공기 유량

- (1) 정상운전 중 탄소를 통과하는 공기의 흐름과 증기는 대류에 의한 열 제거에 도움을 준다.
- (2) 매우 적은 공기유량은 탄소층에 가연성 증기가 형성되도록 할 수 있는데 이는 국소과열점의 가능성을 증가시키므로 바람직하지 않다. 불충분한 공기유량은 탄소층이 방해물에 의해 “죽은 점”이 있을 때 혹은 탄소에 용제가 흡착된 채로 과도한 기간 동안 시스템이 동작하지 않을 때도 발생할 수 있다.
- (3) 공기 유량이 증가하고, 국소과열점이 형성되어 있으면, 화재로 발전 될 수 있다
- (4) 많은 양의 공기유량을 이용하여 국소과열점을 냉각하는 방법은 바람직하지 않다.

4.6.5 흡착탑의 크기

- (1) 국소과열점은 냉각이 필요한 특정표면적의 감소에 기인하여, 큰 층에서 잘 생긴다.
- (2) 큰 흡착탑에서 공기유량을 일정하게 공급하는 것이 더 어려우므로 이를 고려하여 흡착탑의 크기를 결정하여야 한다.

4.6.6 외기온도

- (1) 국소과열점은 대기나 증기의 온도가 높을 때 잘 생긴다.
- (2) 대기의 온도가 떨어지면, 흡착탑 내부에 약간의 진공이 형성되어 공기가 시스템 내부로 유입될 수 있어, 야간에 국소과열점이 잘 생성된다.

4.7 흡착탑에서의 화재위험

- (1) 흡착탑에서 화재가 발생할 경우, 수천도 정도의 온도로 증가할 수 있어, 강철구조가 녹을 수 있다.
- (2) 흡착탑과 가까운 거리에 가연성 혹은 연소성 물질이 있는 경우, 흡착탑에서의 화재는 바람에 의해 쉽게 강력한 발화원이 될 수 있으므로 주의하여야 한다.
- (3) 새로운 설비를 배치할 때 화재의 위험성을 고려하여야 한다.
 - (가) 탄소층은 되도록 외부에 설치한다.
 - (나) 온도 모니터링과 국소과열점/화재진압이 쉬워야 한다.
 - (다) 주위에 포장과 목재 팔레트와 같은 가연물들이 없어야 하고, 가연성이 있거나 다른 위험한 물질들이 없어야 한다.

4.8 발열반응온도 확인

- (1) 국소과열점 형성의 가능성과 탄소층에서의 화재예방을 위해서는 실험을 통하여 최대 안전운전 온도를 실측함으로써 발화를 예방할 수 있다.
- (2) 활성탄소 원료 공급자들은 문헌자료에서 측정된 발화온도를 인용한다. 이 측정값은 실제 운전되는 조건하에서 발화하는 온도를 나타내지 않으므로 비교에 의한 목적으로만 사용될 수 있다.

5. 국소과열점 검출 및 완화방안

5.1 검출방법

- (1) 실제로 탄소흡착탑은 종종 국소과열점 검출을 위한 어떤 수단도 제공하지 않는다. 공급자들은 국소과열점 형성의 위험성이 상당히 낮다고 생각할지도 모른다.
 - (가) 특정분야에 적용할 때와 그 중에서도 흡착된 VOC의 종류에 대한 위험성 평가를 바탕으로 할 때, 예를 들면, 탄화수소와 알콜은 위험성이 낮다고 여겨지는 경향이 있다. 왜냐하면 그들의 흡착에 의한 발열은 상대적으로 낮고 흡착층에서 산화되지 않는 경향이 있기 때문이다.
 - (나) 탄소흡착탑의 상세한 위험성평가를 위해서는 국소과열점 검출이 필요하다.
- (2) 탐침을 사용하여 입구와 출구의 온도차를 모니터링 하는 것은 국소과열점 형성의 징후를 알려줄 수 있다. 그러나 이러한 층 안의 온도 탐침은 탐침 바로 근처의 층의 상태에 대한 정보만 제공하여 국소과열점을 초기에 검출할 수 있는 확실한 수단은 아니며, 더 나아간 단계인 보다 큰 층에서도 마찬가지 이다.
- (3) 최초에 발생하는 국소과열점은 흡착과정이 일반적으로 작은 온도상승을 일으키기 때문에 명확하지 않을 수도 있다. 그러나 기준을 벗어나는 어떠한 경우라도 즉시 조사되어야 한다.
- (4) 일산화탄소(CO) 모니터링은 훨씬 더 민감하게 검출할 수 있다.
 - (가) 연소 초기단계에 연소의 시작을 검출할 수 있다.
 - (나) 만약 샘플링 지점(“점 검출“이라고 함)에서 CO의 농도를 측정한다면, 일산화탄소 모니터링을 배출구에서 하거나 온도측정법을 입구와 출구 사이에서 하는 것이 필요하다.

- (다) 일산화탄소 모니터링은 흡착기 작동 중인 경우 운반가스에 의해 CO가 희석되기 때문에 흡착탑이 정지 상태일 경우에 더 효율적이다.
- (5) 적외선 타입 일산화탄소 모니터가 촉매타입보다 더 적합하다.
 - (가) 촉매 타입은 실리콘, 유기혼합물, 할로젠화탄화수소와 황을 포함한 물질 등에 의해 독성화 될 수도 있다.
 - (나) 포름산 등 일부 물질은 일산화탄소를 분해하기 때문에 정확히 측정할 수 없는 경우도 있다.
 - (다) 층이 대기 중에 노출되었다가 닫혔을 경우 공기 중 일산화탄소가 일부 포함될 수 있다.
 - (라) 산소모니터링과 같은 다른 기법들은, 연기 혹은 이온화 측정이 적합하나, 분자들과 유기물에 의한 간섭을 받기 쉽다.
- (6) 일산화탄소와 온도의 모니터링 이외에, 과열 징후를 발견하기 위하여 흡착 설비 외부는 최소한 매일 확인되어야 한다.
- (7) 국소과열점을 검출하기 위하여 열화상 카메라 혹은 온도에 민감한 페인트를 활용하는 것이 바람직하다.

5.2 국소과열점의 완화(Mitigation)방안

- (1) 물살수 시스템을 사용함으로써 국소과열로 인한 위험을 막을 수 있다.
- (2) 활성탄 제조업자들의 운영지침에는 국소과열점 완화 절차와 다양한 조치가 필요한 온도들에 대한 정보를 제공하여야 한다.
- (3) 국소과열점을 완화를 위하여 다음의 조치들을 제안한다.
 - (가) 온도측정의 주기를 증가시키는 것

- (나) 공정상에서 입구를 분리시키는 것
- (다) 비활성 질소와 물주입 사용
- (4) 국소과열점이나 화재가 발생할 경우, 안전이 확보된 상태에서는 탄소 층을 감싸고 있는 단열재를 제거하여 층을 빨리 냉각되도록 하여야 한다. 단, 산소가 유입되어 화재를 더욱 확산시킬 수 있기 때문에 탄소층을 개방하여서는 안 된다.
- (5) 탄소층 화재를 방지하기 위해 일반적으로 물을 뿌리거나 질소를 사용한다.
 - (가) 효율적으로 화재를 막고 열을 제거하기 위해 물을 뿌리는 것이 바람직하다.
 - (나) 질소는 효과적으로 연소반응을 막을 수 있지만 많은 양의 열을 제거하는 데는 적합하지 못하기 때문에 탄소층이 상대적으로 낮은 온도(100 ℃ 이하)에서 질소주입을 활용하는 것이 바람직하다.
- (6) 물을 뿌리는 것은 단독 혹은 질소 주입으로 온도가 올라가는 것을 잡지 못했을 경우에 사용될 수 있다.
 - (가) 활동온도 1,500 ℃가 바람직하다.
 - (나) 압력상승을 최소화하기 위하여, 층의 저부에 1 ~ 2 cm/min의 속도로 물을 주입하는 것이 좋다.
 - (다) 용기와 지지대가 물 하중으로 생기는 추가적인 부하를 견딜 수 있는지 주의가 필요하다.
- (7) 시스템 내에서 압력의 증가로 인한 잠재적인 손상을 피하기 위하여 다음의 사항을 검토하여야 한다.
 - (가) 물을 뿌리는 동안 발생하는 증기를 처리하기 위한 충분한 배기능력이 있어야 한다.
 - (나) 배기구 밸브가 완전개방 되었는지 확실하게 해야 한다. 사람이 있을 지도 모르는 장소에 고온의 스팀과 VOC 혼합물이 유입되지 않도록 하기 위해

서 밴트의 배출구는 안전한 위치에 있어야 한다.

(다) 물 살포 후 다른 예방방지조치를 취하기 전에 약 24시간 동안 방치하는 것이 바람직하다.

(8) 스팀 살포도 연소를 막을 수 있으나, 탄소층이 고온상태로 남기 때문에 일부 장기적인 스팀살포로 화재가 재발하기도 하므로 바람직하지 않다.

(9) 수소와 일산화탄소는 화재가 발생할 수 있는 온도에서 스팀과 탄소간의 “물 가스”반응에 의해서 생성될 가능성이 있다.

6. 제어 및 계기 문제

(1) 탄소흡착탑을 운전하는 데 있어서 안전에 영향을 주는 기계적 시스템들은 결함이 없도록 충분히 관리되어야 한다. 기계적 안전 시스템의 기능은 다음과 같다.

(가) 작업 중단, 유량의 제어 및 재가동

(나) 중요한 운전변수의 측정, 안전 조치의 선택, 경보기, 그리고 운전자 정보의 제공

(다) 유입흐름의 선정, 가동 중인 흡착설비의 선택 및 예측되는 유량

(라) 흡착 결과와 변수의 조절

(마) 비정상 상태 감지, 정확한 운전 환경 설정, 송풍기와 댐퍼, 불활성 물질과 일제 살수 시스템

(바) 다른 안전 시스템들과의 공동 작용

7. 사용된 탄소의 처리

- (1) 흡착된 용제는 탄소의 열적안정도를 상당히 떨어뜨릴 수 있다. 일부 폐 활성탄은 그을음을 발생시키며, 국소과열점이 존재할 경우 화재를 일으킬 수도 있으므로 주의하여야 한다.
- (2) 특히 탄소와 화학적으로 반응하는 케톤과 같은 물질을 흡착할 때에는, 저장과 운송 중간의 발열반응을 막기 위하여, 탄소를 완전히 적시는 등의 방법을 고려하는 것이 바람직하다.
- (3) 그 외에 저장공간을 질소로 퍼지 할 수 있다.
 - (가) 일반적으로 저장공간의 3배 부피의 질소가 최소한 필요하다.
 - (나) 만약 흡착층 안의 탄소가 젖었다면, 그 흡착기는 새로운 탄소가 유입되기 전에 고온 질소를 사용하여 완전히 건조하여야 한다.
- (4) 건조된 탄소를 흡착탑에서 제거할 때, 국소과열점이 발견된다면 즉시 탄소층에 물을 뿌려야 한다.
- (5) 사용한 탄소는 즉시 처리하는 것이 바람직하다. 만약 사용된 탄소를 현장에 상당한 기간 동안 보관하여야 한다면, 사용된 탄소는 화재의 위험, 연소성 물질, 가연성 물질 등과 다른 위험한 물질과 격리하여 저장되어야 한다.
- (6) 사용된 탄소를 운송하기 전에 적합하게 표시하여 포장하고, 잠재적으로 감소된 열적 안정도와 인화성 물질에 대한 흡착 용제의 영향을 고려하여야 한다.
- (7) 사용된 탄소는 자기발화성이 있을 수 있고, 운송을 위해 분류할 필요가 있을 수도 있으므로 이를 고려하여야 한다.

8. 위험성 평가 시 고려할 사항

- (1) 용제가 인화성이라면, 인화한계 농도 하한(LFL) 이하의 수준으로 제어될 수 있는 유입 기류의 용제 백분율은 얼마인가? (대기의 온도가 상승함에 따라 연소하한계가 넓어진다는 것에 주의하여야 한다)
- (가) 어떤 종류의 VOC가 흡착되었으며, 크들은 탄소의 열적안정도에 어떤 영향을 미치는가?
- (나) 국소과열점의 형성을 막는데 사용되는 탄소의 등급이 얼마나 중요한가? 새로운 등급의 탄소가 사용되면, 열적 안정도에 미치는 영향은 무엇인가? 이를 위해 변경관리 절차를 수행하여야 한다.
- (다) 관련설비에서 국소과열점 혹은 화재와 관련한 과거의 사고가 있었는가?
- (라) 설비의 외부 점검은 최소한 매일단위로 실시하는가?
- (마) 외부에 설치된 설비 중 쉽게 접근할 수 있는 설비에서 인화성 물질과 같은 위험한 물질과 충분히 격리되어 있는가?
- (바) 국소과열점 검출을 위하여 어떠한 시스템이 제공되는가? 검출에 적합하도록 그것들이 어떻게 고안되었나? 검열과 유지 제도가 적합하고, 그런 것들이 유효성을 획득하였는가?
- (사) 어떤 완화시스템(물주입, 질소투입)이 제공되었으며, 완화시스템을 시작하는 표준은 어떤 것인가?
- (아) 과열점 혹은 흡착층 화재를 다루기 위해 운전원들에게 어떤 정보와 훈련을 제공하는가?
- (자) 분진폭발에 대한 가능성을 고려하였는가?
- (차) 탄소흡착탑에서 형성되는 고온 탄소 입자와 같은 잠재적 발화원에 대한 가능성을 고려하였는가? 탄소흡착탑의 상류와 하류에서 발화원의 전파와 관련된 위험성 그리고 화재 방지장치와 같은 예방과 보호수단을 고려하였는가?
- (카) 제어와 기계적 안전성이 충분히 고려되었는가?
- (타) 용기가 밀폐될 경우, 산소결핍의 가능성을 고려하였는가?

(과) 사용된 탄소의 저장과 운송 취급에 어떤 시스템이 사용되는가?

- (2) HAZOP 위험성평가 기법을 포함한 상세한 위험성 평가에서는 탄소흡착탑에서 가연성 기체가 하류 혹은 순풍에 존재하는지, 혹은 탄소흡착탑에서 화재가 있을 때 도미노 효과가 어디에서 일어나는지에 대한 검토가 필요하다.
- (3) 폭발위험장소를 적절히 분류하고 여기에 사용되는 전기 설비들은 이 분류에 적합하도록 선정하여야 한다.