

KOSHA GUIDE

P - 178 - 2022

수소 분리 및 정제를 위한
압력변환흡착(PSA) 시스템의 안전에
관한 기술지침

2022. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 작성자 : 전남대학교 화학공정안전센터 마병철
한국산업안전보건공단 오상규

- 제 · 개정경과
 - 2022년 9월 화학안전분야 기준제정위원회 심의

- 관련규격 및 자료
 - ISO/TS 19883, “Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification”, 2017
 - EIGA Doc 210/17 “Hydrogen pressure swing adsorber(PSA) mechanical integrity requirements”
 - KOSHA GUIDE P-173, “수소 취급설비의 안전에 관한 기술지침”

- 기술지침의 적용 및 문의

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

공표일자 : 2022년 12월 31일

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

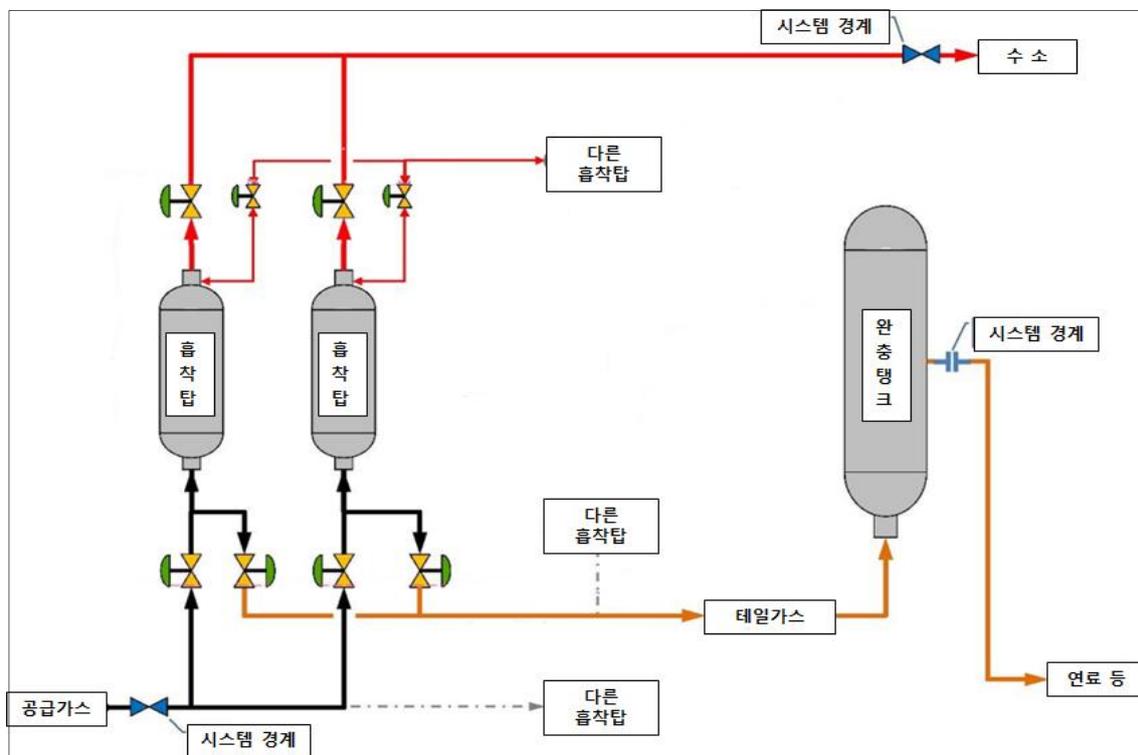
수소 분리 및 정제를 위한 압력변환흡착(PSA) 시스템의 안전에 관한 기술지침

1. 목적

이 지침은 수소분리 및 정제를 목적으로 하는 압력변환흡착(Pressure Swing Adsorption) 시스템(이하 “PSA시스템”이라 한다.)의 설계, 성능보장, 운전 시에 안전을 확보하기 위해 필요한 사항을 정하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 불순물이 포함된 모든 종류의 수소를 공급하여 분리 및 정제하는 고정형 또는 스킵드 위에 설치되는 PSA시스템에 적용한다.



[그림 1] 적용범위 및 PSA시스템 개략도

3. 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

- (가) “PSA 방법 (Pressure swing adsorption method)”이란 높은 압력에서 더 많은 불순물을 흡수하고 낮은 압력에서 불순물을 배출하는 고정 흡착제에 의한 선택적 흡수에 장점을 가진 가스 분리 방법이다.
- (나) “진공압력변환 흡착 (Vacuum pressure swing adsorption)”이란 PSA공법 중 탈착을 진공압력(진공펌프 이용)에서 수행하는 흡착공법을 말한다.
- (다) “수소 분리 및 정제를 위한 PSA시스템 (Pressure swing adsorption system for hydrogen separation and purification)”이란 분리 및 정제를 통하여 불순물이 포함된 수소흐름에서 수소를 생산하는 시스템을 말한다.
- (라) “흡착탑 (Adsorber)”이란 수소 분리 및 정제에 사용되는 흡착제가 들어 있는 용기로, 보통 수직 원통형 용기이다.
- (마) “흡착제 (Adsorbent)”란 불순물이 포함된 수소흐름에서 불순물 가스를 흡수하는 고체 물질이다.
- (바) “공정조절밸브 (Process control valves)”란 조절시스템으로부터의 신호에 의해 유량 조절을 목적으로 열고 닫는 기능을 하는 장치이다.
- (사) “조절시스템 (Control system)”이란 조절밸브의 개폐, 시스템 문제해결, 제품 품질관리, 공정변수의 최적화와 같은 운전을 수행하는 시스템이다.
- (아) “테일 가스 (Tail gas)”란 수소혼합가스에서 PSA시스템을 통해 정제되고 남은 가스이다.
- (자) “고정형 PSA시스템 (Stationary PSA system)”이란 모든 장치 및 배관들이 영구적으로 고정된 기초 구조물 위에 설치되는 PSA시스템을 말한다.

- (차) “스키드장착 PSA시스템 (Skid-mounted PSA system)”이란 일부 또는 모든 장치 및 배관이 하나 또는 다수의 스키드에 설치되거나, 이동 가능한 기초에 설치되는 PSA시스템을 말한다.
- (카) “화재 이격거리 (Fire separation distance)”란 PSA시스템으로부터 인접 건물들의 화재 전파를 막기 위해 필요한 PSA시스템과 인접건물과의 거리를 말한다.
- (타) “완충 탱크 (Buffer tank)”란 흡착탑 또는 진공펌프로부터 탈착된 가스를 저장하는 용기로, 탈착가스의 압력이나 조성의 변동을 최소화 해주는 역할을 한다.
- (파) “진공 펌프 (Vacuum pump)”란 탈착 단계에서 진공압력을 발생시켜 데일가스의 배출을 도와 흡착제의 탈착 및 재생 성능 개선 목적을 수행하는 장치이다.
- (하) “컨테이너 (Container)”란 특수한 외부환경 및 온도 상태의 영향, 또는 소형 수소 PSA시스템에서 위험한 구성 원소들에 사람 등의 우발적인 접촉을 피하기 위해 만든 밀폐된 건축물 또는 구조물을 말한다.
- (가) “빌딩 (Building)”이란 지붕 및 벽을 가지는 구조물로 컨테이너와 유사한 기능을 수행한다.
- (냐) “수소 취성 (Hydrogen embrittlement)”이란 수소환경에서 금속의 기계적 성질이 저하되는 현상이다.
- (2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정의하는 바에 따른다.

4. 기본 사항

4.1 유체압력

- (1) 수소 재생 및 정제를 위한 PSA시스템에 공급되는 가스 압력은 0.3 MPa ~ 6.0 MPa 범위이다.
- (2) 운전압력은 흡착되는 동안의 공급가스 압력과 탈착되는 동안의 대기압 근처(0.03 MPa) 또는 진공압력(-0.09 MPa)을 반복한다.

4.2 운전온도

수소 재생 및 정제를 위한 PSA시스템의 일반적인 운전온도는 5 ~ 40 °C 범위이다

4.3 설치형태

수소 분리 및 정제를 위한 PSA시스템은 수소제품의 최종사용 및 수소 처리량을 고려하여 고정형 또는 스키드장착 형태로 할 수 있다.

4.4 재료 특성

4.4.1 공급흐름 압력

- (1) PSA시스템 내부 및 외부에 사용되는 금속 및 비금속 재료는 장치 설계수명기간 내 시운전 및 정상운전 조건의 물리적, 화학적, 열적 상태에 적합하여야 한다.
- (2) 재료는 KOSHA Guide P-173 및 관련 국내 법규에 적합하여야 한다.

4.4.2 운전 온도

철계 금속이 PSA시스템 재료로 사용되는 경우 KOSHA Guide P-173 및 관련 국내 법규에 적합하여야 한다. 수소와 접촉하는 비금속 재료는 수소의 투과성이 고려되어야 한다.

5. PSA시스템의 안전 요구사항

5.1 PSA시스템과 관련된 일반 위험

5.1.1 수소 관련 일반 위험

- (1) 수소는 색이 없고, 냄새가 없으며 높은 인화성이 있다.
- (2) 낮 동안에 수소의 화염은 거의 육안으로 볼 수 없다.
- (3) 수소는 공기와 폭발성 혼합물을 형성할 수 있고, 대기 온도 및 압력 조건에서 공기 중 폭발범위는 4 ~ 75 volume %이다.
- (4) 수소는 공기 중 산소를 대체할 수 있고, 높은 수소농도로 인하여 공기 중 산소 분압이 낮아지는 경우에 질식을 일으킬 수 있다.

5.1.2 누출 관련 일반 위험

- (1) 수소는 분자량이 낮고 크기가 작아 플랜지 및 다른 막음 표면으로부터 쉽게 누설될 수 있다.(예 : 벤트 밸브 등)
- (2) 수소는 비중이 낮아 매우 쉽게 부유될 수 있어 넓은 범위에 연소 및 폭발 가스의 형성이 가능하다.
- (3) 수소는 무색이기 때문에 누출을 쉽게 식별할 수 없다.

5.1.3 압력 관련 위험

- (1) PSA공정의 정상적인 압력 변동은 흡착탑, 공정조절밸브, 배관계통에 응력 변동의 원인으로 작동하여 용기 또는 배관계통의 균열을 유발할 수 있다.
- (2) 장치 및 배관의 손상은 설비 내부의 높은 압력으로 인해 급격한 에너지 방출의 결과를 유발할 수 있다. 충격파로 주변 장치 손상 발생이 가능하다.

5.1.4 수소 점화 관련 위험

- (1) PSA시스템에서 대기로 수소 누출에 의한 점화는 에너지/열의 방출 및 폭발을 일으킬 수 있다.
- (2) 수소연소에 의해서 열이 방출되고, 외부온도 상승에 의한 시스템 내부 가스

팽창이 가능하고, 재료의 성질이 저하될 수 있다.

- (3) 온도/압력/재료 열화의 증가가 복합적으로 이루어지는 경우 배관 및 장치 손상의 원인이 될 수 있다.

5.2 현장에서의 안전

5.2.1 일반적 위험

- (1) PSA시스템 공급가스로는 천연가스로부터의 합성가스, 암모니아 분해가스, 석탄가스, 코크오븐가스, 암모니아 테일가스, 메탄올 폐가스, 정유 폐가스 등이 있으며, 수소 함량은 대략 25 % 이상이다.
- (2) 공급 흐름의 산소 함량은 수소 등 인화성 가스 연소범위 밖에 있도록 반드시 제한되어야 한다.
- (3) PSA시스템은 수소 분압을 고려한 관련 안전 규격, 건설 및 재료 요구 사항을 따라야 한다.
- (4) PSA시스템은 운전 기간 동안 발생가능한 모든 환경을 고려하여 설계하여야 한다.
- (5) PSA 제어시스템은 제어시스템을 통해 이상을 감지하고 안전한 상태로 가도록 설계되어야 한다.
- (6) PSA시스템은 화재 감지 및 소화설비 설치를 검토한다.
- (7) 화재 감지 설비는 PSA 시스템의 신속한 가동중지(자동 또는 수동)를 위해 연동되어야 한다.
- (8) 소화설비는 스프링클러 설비, 물분무 설비(Deluge 설비), 건식소화설비 등이 있다.
- (9) 초기 화재진압을 위해 건식소화기, 이산화탄소 소화기를 비치한다.

5.2.2 설비배치 고려사항

- (1) PSA시스템과 관련된 장치 및 건물의 배치는 화재 이격거리 만족하기 위해 관련 국내 법규에 따라야 한다.

- (2) 배관 및 밸브들이 다층으로 배열되고, 넓은 수평지역을 덮도록 밸브 스킴드가 설계되는 경우, 발판은 밀폐되는 공간에서 수소의 가연분위기 형성을 막기 위해 스틸 그레이팅으로 제작되어야 한다.
- (3) PSA시스템이 컨테이너 내부에 설치되는 경우, 시스템 자체/공급가스/제품가스/테일가스에서 발생하는 모든 예측 가능한 화재나 폭발 위험을 피하기 위해 설계되고 건설되어야 한다.
- (4) 컨테이너는 모든 PSA시스템 구성요소 및 배관의 지지와 보호를 위해 강도, 안전성, 내구성, 부식저항성, 다른 물리적 특성을 가져야 한다.
- (5) 실내에 사용하는 컨테이너는 KS C IEC 60529에 따라 최소 보호 성능 IP20을 만족하도록 설계 및 시험하여야 한다.
- (6) 옥외에 사용하는 컨테이너는 KS C IEC 60529에 따라 최소 보호 성능 IP44를 만족하도록 설계 및 시험하여야 한다.

5.2.3 건물 및 환기

5.2.3.1 일반

- (1) 소규모 PSA시스템은 건물내부에 설치할 수 있다.
- (2) PSA시스템과 관련된 다른 장치는 하나 또는 다른 독립된 건물 안에 설치하는 것이 가능하다.(예 : 밸브 스킴드, 가스 탈착을 위한 진공펌프, 조절 시스템, 분석기)

5.2.3.2 건물

- (1) 건물은 누출이나 다른 파손에 의한 수소 누출을 고려하여 적절한 폭발 위험지역 구분을 하여야 한다.(KS C IEC 60079-10-1에 따른 구분)
- (2) 건물, 구조물 및 장치 사이 거리는 화재예방을 위한 국내 기준을 준수해야 한다.
- (3) 밀폐된 건물은 폭발 방호형으로 설계되어야 한다. 대신에 비 폭발 방호형으로 설치하는 경우에는 압력방출 면적과 건물 부피 비율은 관련 국내 규격을 준수해야 한다. 압력 방출에 필요한 면적은 경량 지붕, 벽, 문, 창문으로 가능하다.

5.2.3.3 건물의 환기

- (1) 건물은 인화성 또는 독성가스 감지기와 환기장치가 연동되도록 설계하여야 한다.
- (2) 설치된 환기가 지역 구분 형태에 영향을 미치는 경우, 해당 지역은 장치에 전기를 공급하기에 앞서 최소 5회 공기 치환의 방법으로 퍼지를 하여야 한다. 가스의 성분측정을 통해 폭발하한의 25 % 이하 농도로 퍼지량의 조절이 가능한 경우에는 대체가 가능하다.
- (3) 지역 및 관련 덕트가 비위험장소로 설계된 경우 퍼지는 필요하지 않다.
- (4) 관계없는 직원의 건물 출입 및 장치 접근을 막기 위한 적절한 방법이 적용되어야 한다.
- (5) 소화설비는 쉽게 접근할 수 있어야 한다.
- (6) 출입가능한 모든 건물은 외부로 열리는 비상구를 설치하여야 한다.

5.2.3.4 컨테이너 내부에 설치되는 PSA시스템

- (1) 컨테이너 내부의 PSA시스템은 강제환기를 적용하여야 한다.
- (2) 환기 실패는 유량, 압력, 또는 환기장치의 전류 측정 등을 통해 확인할 수 있어야 하고, 음향 또는 눈으로 확인 가능한 알람 및 PSA시스템 가동중지를 기동시켜야 한다.
- (3) 옥외 사용을 목적으로 한 시스템에서 컨테이너는 KS C 60079-2에 따른 양압 환기가 가능하다. 시스템 환기가스 내의 모든 인화성 가스 최대 농도는 전체 운전기간 동안 폭발하한의 25 % 이하여야 한다.

5.2.4 폭발위험장소 및 폭발위험 등급

- (1) PSA시스템의 폭발위험지역장소 구분은 KS C IEC 60079-10-1에 따라야 한다.
- (2) PSA시스템의 장치 근처 옥외 및 환기가 양호한 건물 내부는 누출 및 파손에 따른 수소 누출을 고려하여 폭발위험장소를 구분하여야 한다.(예 : KS C IEC 60079-10-1에 따른 Zone 2)
- (3) 전기기계기구의 방폭 등급은 폭발성 수소혼합물의 등급(II C) 및 그룹(T1) 보다 높게 선정되어야 한다.

- (4) 폭발위험지역내의 전기장치 및 배선은 KS C IEC 60079-0 및 60079-14에 따라 선정 및 구성되어야 한다.

5.2.5 정전기 접지

5.2.5.1 일반

- (1) PSA시스템은 정전기를 발생시키고 축적할 수 있기 때문에 정전기 위험을 초래할 수 있는 물체에 정전기 제거를 위해 접지하여야 한다.
- (2) 전용 정전기 접지 연결구는 KS C IEC 60204-1, 60364-4의 규정에 따른 접지 저항을 가져야 한다. 다른 접지 장치가 정전기 접지를 위해 사용될 때, 그 접지 저항은 관련 국내 기준에 적합하여야 한다.

5.2.5.2 흡착탑 및 완충 탱크

- (1) 흡착탑, 완충탱크 및 다른 고정 압력용기에는 정전기 접지를 하여야 한다.
- (2) 직경이 2.5 m 보다 크거나, 부피가 50 m³ 보다 큰 장치에는 최소 2개소에 접지를 해야 하고, 접지 위치는 장치의 주변을 따라 균등하게 분배되어 30 m 이내의 간격으로 설치하여야 한다.

5.2.5.3 배관 계통

- (1) 정전기 접지는 공정의 입구 및 출구, 다른 폭발 위험을 가지는 경계 지역, 배관 분기점, 직선파이프에서 80 ~ 100 m 마다 설치하여야 한다.
- (2) 평행한 배관사이의 거리가 100 mm 보다 작은 경우, 하나의 배관에서 다른 배관으로 불꽃의 이동을 예방하기 위해 매 20 m 마다 등전위 본딩을 설치하여야 한다.
- (3) 교차하는 두 파이프 사이의 거리가 100 mm 미만일 경우 파이프가 교차하는 곳에 점퍼를 설치하여야 한다.
- (4) 금속 볼트 또는 클램프로 조여진 금속 플랜지에는 추가적인 정전기 본딩의 설치가 필요하지 않다. 그러나 좋은 전도성을 확보하기 위해 최소 4개의 볼트 또는 클램프의 접촉이 요구된다.

5.2.6 인화성 및 독성가스의 경보 알람

- (1) 인화성가스 감지기는 공정지역 내에 설치되어야 한다.
- (2) 독성가스가 존재하여 누설로 근로자 부상이 가능한 경우에는 독성가스 감지기도 설치하여야 한다.
- (3) 감지기는 가스의 물리화학적 특성, 누출원의 형상, 생산지역의 배치, 지리학적 상태, 환경 및 기온, 운전 및 점검 동선에 따라 가스 축적이 용이하고, 감지가 쉽게 될 수 있는 장소에 설치하여야 한다. 인화성 또는 유독성 가스가 누출되거나 축적될 수 있는 장소의 예는 다음과 같다.
 - 진공펌프 또는 압축기의 실 부위
 - 가스 샘플 포트 및 관련 분석기
 - 드레인 및 벤트
 - 장치 또는 배관 플랜지
 - 밸브 패킹
 - PSA 시스템과 관련된 건물 및 컨테이너
- (4) 공기중 가스가 KOSHA Guide P-166(가스누출감지경보기 설치 및 유지보수에 관한 기술지침)에 따른 설정농도(인화성가스 : 폭발하한계 25 %이하, 독성가스 : ERPG-2이하 등)에 도달하는 경우 현장에 청각 및 시각 감지 경보를 작동하여야 한다. 또한 경보 신호를 조종 또는 운전실에 전송하여야 한다.
- (5) 인화성 및 독성가스 감지기 설치 수는 가능한 누출원의 위치 및 환기 상태를 고려하여 KOSHA Guide P-166에 따라 설치하여야 한다.

5.3 장치 및 배관의 안전

5.3.1 일반 사항

- (1) 흡착탑은 PSA시스템의 주요 구성요소이며, 흡착탑 성능이 PSA시스템 성능을 결정한다.
- (2) 용기의 크기, 내부 구성요소 설계, 흡착제의 선정 및 용량은 수소 회수율 및 제조단가의 최적화, 흡착제의 누설 및 분체 유동화 방지, 설계수명주기 내의 기계적 강도를 확보하기 위해 선택되어야 한다.

5.3.2 흡착탑의 안전

5.3.2.1 일반

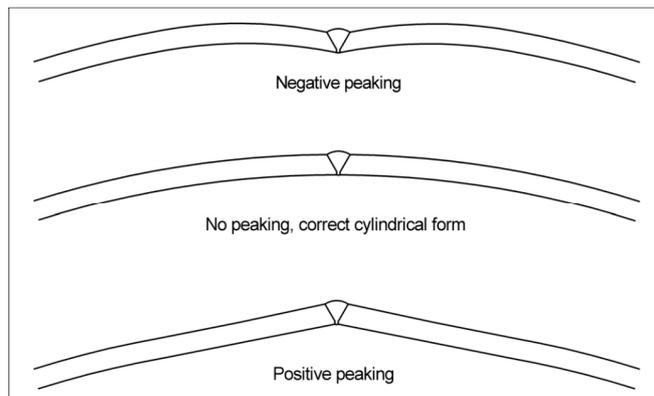
- (1) PSA시스템 개별 흡착탑은 주기적으로 운전되며, 일반적으로 10 ~ 20년 운전
전에 약 백 만회의 순환을 견뎌야 한다. 그래서 피로는 고려하여야 할 가장
중요한 손상기구이며, 수소에 의해 더 악화될 수 있다.
- (2) 흡착탑은 압력 및 순환 횟수에 따라 설계되며, 특히 모든 부품들은 S-N 커
브를 고려하여 설계한다. 용접부는 피로에 의해 균열이 개시되는 주요한 위
치이다.
- (3) 피로설계는 ASME Section VIII, Division2, EN 13445, or PD 5500 [1, 2,
5] 와 같은 코드 및 규격 등에 따라야 한다.
- (4) 집중적인 응력 변동을 제외하고 흡착탑의 피로 저항성에 영향을 미치는 주
요 변수는 수소 노출에 의한 영향(수소 취성), 용접 품질, 제조 품질(부식피
로, 불일치, 피킹 등)이다.

5.3.2.2 수소 취성

- (1) 수소 취성 감수성은 재료의 강도 및 수소 환경에 크게 의존한다.
- (2) 가스 상태의 수소에 의한 취성은 상온부근 탄소강에서 일반적으로 발생한
다. PSA시스템 내의 변동적인 굽힘응력(또는 압력)에 의한 반복적인 피로
기구와 원자 수소 존재에 의한 전위가 복합적으로 작용하여 균열의 성장을
가속시키는 원인이 된다.
- (3) 수소 순도가 높아질수록 취성효과가 더 발생하기 쉽다.
- (4) 불순물(산소 또는 수증기)은 취성 효과를 억제하는 성질을 가지고 있다. 이
산화황 및 일산화탄소 또한 억제효과를 가지고 있다. 메탄, 질소는 별다른
영향을 미치지 않는다. 그러나 일부 불순물(이산화탄소, 특히 황화수소)은
수소 취성을 가속시키는 효과를 가지고 있다.
- (5) 수소 취성과 관련하여 고려되어야 할 변수에는 환경(운전상태), 설계, 표면
상태, 재질이 있다.
- (6) 수소 취성은 응력 크기가 가장 중요하여 응력부식균열과 유사하다. 모든 형
태의 응력(열, 압력, 기계적 등)을 PSA시스템에서는 검토하여야 한다.

5.3.2.3 기하학적 불연속

- (1) 기하학적 불연속은 국부적으로 높은 응력을 유발하여 용기의 피로 수명을 현저하게 감소시킬 수 있어 중요하다.
- (2) 기하학적 불연속은 제작 공차(정열불일치, 피킹, 원형도 이탈 등)에 의해 발생하는 것을 포함하는 것으로 고정 장치에 아주 중요하다.
- (3) 피킹은 동체의 길이방향 이음을 따라 위치하는 진원형태로부터의 이탈이다.
- (4) 피킹을 계산하기 위해서는 이론적인 원에서부터 거리 델타를 측정해야 한다. 허용 가능한 최대 피킹 크기는 압력용기 제작기준에 따라야 한다.



[그림 2] 피킹의 종류

5.3.2.4 부식

- (1) 흡착탑은 하부 헤드에 응축수가 있는 경우 내부 부식 발생이 가능하다.
- (2) 부식과 압력이 변동되는 상태에서 균열은 부식 구멍(Corrosion pit)에서 시작될 수 있고, 피로에 의해 진전될 수 있다.

5.3.2.5 설계 및 제작

- (1) 흡착탑의 설계 및 제작은 국내 압력용기 제작기준에 따라야 하며, 반복되는 응력에 의한 충격을 고려하여야 한다. 그렇지 않은 경우 소성변형의 축적으로 인해 용기의 손상 및 파손이 발생할 수 있다.
- (2) 흡착탑의 모든 용접은 최소화되어야 하며, 용접부는 반복되는 응력에 의한 영향을 평가하여야 한다.

- (3) 가스켓은 누출을 예방하기 위해 정상운전, 가동개시 및 중지 동안의 상태 변화에도 견딜 수 있도록 선정하여야 한다.

5.3.3 완충탱크의 안전

- (1) 완충탱크 제작은 관련 국내 제작기준의 요구에 따라야 한다.
- (2) 완충탱크들이 운전압력이 다른 장치에 연결되는 경우, 가장 낮은 운전압력의 완충탱크는 어떠한 상태에서도 과압이 발생하도록 운전하면 안 된다.
- (3) 완충탱크들은 탱크에서 누설이 발생한 경우 인접 탱크에 직접적인 충격을 주지 않도록 배치하여야 한다.
- (4) 버퍼탱크의 격리가 가능하거나, 설계압력이 다른 경우 각각의 완충탱크에 분리된 안전시스템을 설치하여야 한다.
- (5) 각각의 탱크가 고립될 가능성이 없다면 단독의 안전시스템 사용이 가능하다. 이러한 경우 용기의 설계압력이 동일하거나 또는 안전시스템은 가장 낮은 완충탱크의 설계압력 이하로 압력을 유지하도록 설계하여야 한다.

5.3.4 공정조절밸브의 안전

- (1) 공정조절밸브는 빈번하게 작동한다.
- (2) 공정조절밸브의 작동실패는 전체 시스템의 기능상실, 흡착제 손상, 또는 장치의 과압을 유발할 수 있다.
- (3) PSA를 설계하는 단계에서 밸브의 작동기간동안 최소의 누설을 가지는 조절밸브를 선정하도록 고려하여야 한다.

5.3.5 배관의 안전

5.3.5.1 일반 사항

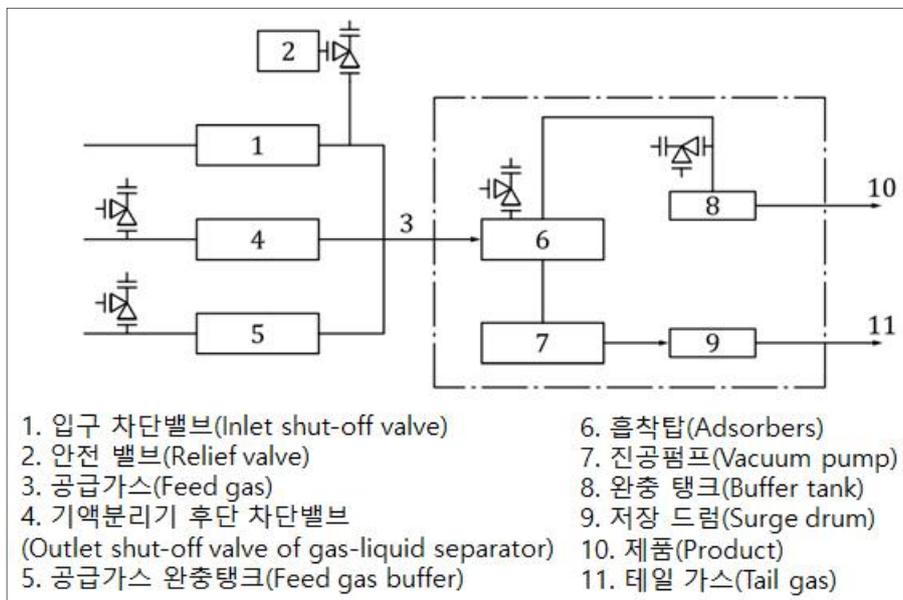
PSA시스템의 배관 및 배관부속품 재질은 관련 국내 또는 국제 압력배관 사양 기준에 따라 선정하여야 한다.

5.3.5.2 배관 설계

- (1) 흡착탑에 직접 연결되는 배관(흡착탑과 공정조절밸브 사이 배관)은 배관에 반복되는 응력(빈번한 압력변동 원인)으로 인한 충격을 강도계산에 고려하여야 한다.
- (2) 열 수축 및 팽창 구간의 배관은 유연성 계산 및 열 보상 요구를 기반으로 설계하여야 한다.
- (3) 배관계에는 질소 퍼지 설비를 설치하여야 한다.
- (4) 배관 지지대는 관련 국내 또는 국제 압력배관 규격에서 제시한 바를 따르도록 설계하고 위치하여야 한다.

5.3.5.3 압력방출 장치

- (1) PSA시스템의 배관 및 장치의 설계압력이 업스트림 및 다운스트림의 설계 압력보다 낮거나, 화재 또는 다른 열 방출 상황이 있다면 PSA시스템 장치를 보호하기 위해 압력방출장치가 필요하다.
- (2) 압력방출장치의 일반적인 위치는 공급흐름의 입구 측 차단밸브 및 완충탱크의 하류이다.([그림 3] 참조)
- (3) 모든 압력방출장치는 국내 기준을 준수해야 한다.



[그림 3] 안전밸브 설치 위치 예시

5.3.6 운전 및 설비유지관리의 안전

- (1) PSA시스템은 정상운전동안 인화성 및 독성 가스를 포함하고 있어 설비정비작업 및 가동개시 전 철저한 퍼지가 필수적이다. 이와 같은 이유로 PSA 시스템은 퍼지 가능한 충분한 벤트를 가지도록 설계하여야 한다.
- (2) 정체구간(Dead legs)은 정체된 가스의 제거가 어렵기 때문에 최소화되도록 하여야 한다.
- (3) 퍼지는 가스가 흐르는 방향을 고려하여야 한다. 퍼지는 일반적으로 하부층 흡착제의 물이 상부층으로 이동하는 것을 막기 위하여 상부에서 하부 방향으로 수행한다.
- (4) PSA시스템은 일반적으로 질소로 퍼지하며, 배관 및 용기 안으로 질소 공급이 가능한 연결부를 포함하여 설계하여야 한다. 또한 흡착제 제거 동안에 질소 퍼지를 용이하게 수행하기 위해 적절한 위치에 연결부를 설계하여야 한다.
- (5) PSA시스템의 퍼지가 실내에서 이루어지는 부분이 있는 경우 퍼지 동안 주의를 기울여야 한다. 인화성 가스의 축적 및 산소결핍 상태를 막기 위해 건물 및 밀폐공간내의 산소농도 또는 인화성가스 농도를 측정해야 한다.
- (6) 설비정비작업을 수행하기 전에 인화성가스의 농도는 폭발하한의 25 % 이하로 감소시켜야 한다.
- (7) PSA시스템의 운전 전에 산소 농도를 최소산소농도(Minimum oxygen concentration, MOC)의 60 % 이하로 감소시켜야 한다.
- (8) 진공압력으로 PSA시스템이 운전될 때에는 공급유체 내로 공기 유입에 따른 위험이 존재한다.
- (9) 운전 중 밸브교체 등의 정비 작업을 위해 맹판 설치가 필요한 경우에는 배관의 규격 및 압력등급에 맞는 맹판을 사용하고, 모든 볼트를 규격에 맞게 체결하여 플랜지 접합면으로부터 인화성가스가 누출되지 않도록 하여야 한다.

5.3.7 점검 및 시험 안전

5.3.7.1 비파괴 검사

흡착탑에 연결된 배관 용접부는 반복응력을 받기 때문에 100 % 비파괴 시험이 적용되어야 한다. 시험 방법은 관련 국내 요구사항에 따라야 한다. 용접 등

급은 관련 국내 기준에 따라야 한다.

5.3.7.2 압력시험의 원칙

- (1) 배관의 압력시험에는 수압시험을 권장한다.
- (2) 압력시험에 공압을 사용하는 경우의 시험 절차 및 적합한 안전 사항은 국내 기준에 따라야 한다.
- (3) 계기를 포함한 배관 부분을 시험할 때의 시험 압력은 계기가 제거되지 않는 한 계기의 최대허용 시험압력을 초과하여서는 안 된다.
- (4) 설계온도가 시험온도보다 높은 경우 적용 가능한 국내 규격에 근거하여 시험압력을 계산하여야 한다.

5.3.7.3 압력시험

5.3.7.3.1 시험전의 준비

- (1) 흡수탑 및 완충탱크에 대한 다양한 적합성 인증서 및 기술도면, 모든 시험 기록 및 증명서, 도면, 검사 성적서가 적정한지 압력시험 전에 확인하여야 한다.
- (2) 시험은 앞에서 언급한 인증서 및 서류가 적정한 것으로 확인된 이후에 수행하여야 한다.
- (3) 육안검사는 PSA시스템 조립 후 관련 시스템의 치수 확인, 배관 및 전기회로의 정확한 연결 확인, 시스템의 일반적인 외형 평가가 완료된 후에 수행하여야 한다.

5.3.7.3.2 강도시험

- (1) PSA시스템은 국내 용기 및 배관 규격에 따라 시험하여야 한다.
- (2) 개별 구성요소의 시험은 적합해야 하고, 연결부는 관련 압력용기 규격의 요구를 따라야 한다.

5.3.7.3.3 진공시험

- (1) 강도시험 후에 진공시스템은 24시간 동안 진공을 유지하여야 한다.
- (2) 기밀성과 진공도는 관련 규정에 따라야 한다.

5.3.7.3.4 컨테이너 환기시험

- (1) PSA시스템이 설치된 컨테이너 또는 건물의 환기 시스템은 국내 관련 법규 또는 규정을 준수하는지 확인하기 위한 시험을 수행하여야 한다.
- (2) 배기팬이 가동된 상태에서 시간당 공기 치환율을 확인하여야 한다.
- (3) 환기의 효율성을 확인하기 위해 가스가 축적되는 위치를 기준으로 인화성 또는 독성 가스 센서를 배치해야 한다.

5.3.8 전기장치의 안전

- (1) 수소생산지역의 전기시설은 폭발위험장소 구분에 적합하여야 한다.
- (2) 옥외지역 및 환기가 잘되는 건물 내부는 누출 및 다른 파손에 의한 수소의 잠재적 누출 가능성을 근거로 구분하여야 한다.
- (3) 폭발위험지역 내의 전기장치 및 관련 배선은 KS C IEC 60079-0 및 KC C IEC 60079-14에 따라 선정되어 구성하여야 한다.
- (4) 모든 금속 외함, 배관, 기초, 틀은 KS C IEC 60204-1 및 KS C IEC 60364-4에 따라 접지하여야 한다.

5.3.9 감시장치의 안전

5.3.9.1 일반사항

- (1) 운전기간 동안의 주요 변수들을 지속적으로 감시하여야 한다.
- (2) 작동이 실패한 경우 감시시스템은 경보 및/또는 가동중지 인터록을 개시해야 한다.
- (3) 계장 설계 및 사양은 국내 관련 기준 요구사항을 준수하여야 한다.

5.3.9.2 감시장치

5.3.9.2.1 압력측정 계기

- (1) 압력 감시 데이터는 제어 시스템의 운전 상태를 결정하는 주요한 근거를 제공하므로, 계기는 적절한 운전의 확인 및 장치의 손상을 확인하기 위해 흡착 및 탈착동안의 압력을 감시한다.
- (2) 압력은 공급가스, 흡착탑, 수소 공급, 완충탱크, 계장용 공기 등배관 등에서 감시가 가능하다.
- (3) PSA시스템에서 과압은 아래와 같은 경우에 발생할 수 있다.
 - (가) 다른 운전압력 용기 사이의 개폐밸브의 작동실패로 인한 닫힘(Fail to close)
 - (나) 조절 제어 밸브가 작동실패로 인해 열리거나, 닫히거나, 잘못된 위치로 이동
 - (다) PSA시스템 토출 측 차단밸브가 닫힘
 - (라) PSA 공급이 압축기에 의해 수행

5.3.9.2.2 온도측정 계기

온도 측정은 공급 가스 및 생성된 수소 유량의 계산을 보정하는 데 사용하고, 운전 중 흡착 공정을 감시 또는 제어하는 데 사용할 수 있다.

5.3.9.2.3 가스 성분 측정 계기

공급 또는 탈착 가스의 흐름에서 위험한 혼합물을 생성하기에 충분한 산소가 포함될 수 있는 경우, 산소농도가 인화성 또는 폭발성 혼합물을 만들지 않도록 PSA 시스템의 공급 가스 및 흡착 가스 배관에 실시간 산소 분석을 수행하여야 한다.

5.3.9.2.4 밸브 위치 센서

높은 압력 흐름에서 낮은 압력 흐름으로 누설을 예방하기 위해 공정조절밸브의 밸브 위치를 제어시스템으로 보내는 밸브 위치 센서(Valve position sensor)를 설치할 수 있다.

5.3.9.3 자동 가동중지 연동 시스템

- (1) PSA 시스템 감시 장치들 중에서 경보 신호를 보내는 경우 조사하여야 한다.
- (2) 경보의 원인을 확인하고, 문제를 해결하여 정상운전을 재개하여야 한다.
- (3) PSA 시스템의 안전한 운전을 위하여 다음의 상태 중 하나가 발생하는 경우 검사를 위해 가동중지할 수 있다.
 - (가) 압력, 온도, 공급가스의 조성이 경보 설정치를 넘는 경우
 - (나) 운전 중 공정 조절밸브가 작동 실패 또는 내부 밸브의 누설 발생하여 차단이 불가
 - (다) 공기 중 수소농도가 1 %를 초과한 경우
 - (라) PSA 시스템의 전원공급 실패
 - (마) 계장용공기의 압력이 인터록 값에 도달한 경우
 - (바) 공급 가스 또는 진공 탈착 공정 배관의 산소 함량이 허용 가능한 범위를 초과한 경우
 - (사) 완충탱크 압력이 최대 허용가능 설정압력을 초과한 경우
 - (아) 장치 또는 배관에서 누설이 발생한 경우
 - (자) 공기 중 독성가스 농도가 허용값을 초과한 경우
- (4) PSA시스템의 안전한 운전을 위해 필요한 경보 및 인터록을 확인하기 위한 위험성 재검토를 수행하여야 한다.
- (5) PSA시스템 또는 상부공정 또는 하부공정의 다른 작동실패들도 PSA시스템의 가동중지와 연계될 수 있다.