



수소분리 및 정제를 위한 PSA(Pressure Swing Adsorption)시스템 안전성향상에 관한 연구

오상규·이슬기*·이준서**·†마병철***

한국산업안전보건공단, *전남대학교 화학공학과 석박사통합과정,
*전남대학교 화학공학과 석사과정, ***전남대학교 화학공학과 교수
(2021년 10월 7일 접수, 2021년 12월 27일 수정, 2021년 12월 28일 채택)

A Study on the Safety Improvement of PSA System for Hydrogen Separation and Purification

Sang-Gyu Oh · Seul-Gi Lee* · Jun-Seo Lee* · †Byung-Chol Ma*

Korea Occupational Safety and Health Agency, Ulsan 400, Korea

*Dept. of Chemical Engineering, Chonnam National Univ. Gwangju 61186, Korea

(Received October 7, 2021; Revised December 27, 2021; Accepted December 28, 2021)

요약

일반적으로 수소의 정제는 화학적, 물리적인 방법을 통해 수행한다. 여러 종류의 정제방법 중 현재는 정제 용량 및 경제성이 가장 우수한 PSA(Pressure Swing Adsorption)를 이용한 정제방법이 가장 널리 사용되고 있다. 국내도 대부분 PSA를 이용하여 자동차 및 발전용 수소 연료전지 등에 사용하는 수소를 정제하고 있다. 기존 석유화학 단지 중심의 부생수소는 운송 등의 어려움이 있다. 정부는 도시가스 공급망과 연계하여 소비지에서 직접 수소를 생산하는 수소추출기 설치 계획하고 있으며, 기업들도 이와 관련된 연구 및 실증 설비를 속속 설치하고 있는 실정이다. 유럽 등은 최근 PSA와 관련된 안전기준을 마련하여 시공 및 운영단계에서 체계적인 안전관리를 위한 노력을 기울이고 있으나, 국내는 PSA와 관련된 안전기준 마련이 아직까지는 미흡하다. 본 연구에서는 기존 PSA를 운영하고 있는 회사의 설문 및 위험성평가를 통해 기존설비의 문제점을 파악하고, 국외 기술기준에 이를 포함한 국내 기술기준을 작성하여 신규설치 및 기존 운영되고 있는 PSA시스템의 안전을 도모하고자 한다.

Abstract - Hydrogen purification is generally performed through chemical and physical methods. Among various types of purification method PSA(Pressure Swing Adsorption) is widely used with its purification capacity and economic efficiency. In Korea, most of the hydrogen used in automobiles and power generation fuel cells is purified using PSA. Hydrogen produced in petrochemical complexes has difficulties in transportation. The government is planning to install hydrogen extractors that produce hydrogen directly from consumers in connection with the city gas supply chain, and companies are also installing related research and demonstration facilities one after another. Europe and others have recently established safety standards related to PSA and are making efforts for systematic safety management at the construction and operation stage, but domestic safety standards related to PSA are still insufficient. This study aims to identify problems of existing facilities through surveys and risk assessment by companies operating existing PSA, and to prepare domestic technical standards including them in overseas technical standards to promote the safety of new and existing PSA systems.

Key words : PSA, Safety standard

†Corresponding author: anjeon@jnu.ac.kr

Copyright © 2022 by The Korean Institute of Gas

I. 서론

1.1 연구배경

정부는 2019년 수소경제 활성화 로드맵[1] 발표를 통해 부생수소 및 추출수소를 초기 수소경제 이행의 핵심 수소 공급원으로 활용토록 계획하고 있다. 부생수소는 석탄의 건류과정에서 발생하는 부생가스, 탄화수소 수증기 개질반응, NCC(Naphtha cracking center)공장의 열분해가스, 염소제조공장의 소금 전기분해 과정 등에서 발생된다. 또한 추출수소는 천연가스 공급망과 연계되어 개질반응을 통해 생산된다. 그러나 부생수소 및 추출수소 생산을 위해서는 반드시 수소 정제 작업이 필요하며, 정제작업은 생산량 및 경제성 측면에서 대부분 PSA시스템에서 수행한다.

부생수소 설비는 대부분 석유화학 단지 등 공업지역에 설치되어 민간과 상당한 거리를 유지하고 있다. 그러나 향후 대량 설치가 예상되는 추출수소 제조설비는 사용자 인근 도심에 설치되고 이들 설비에서 사고가 발생하는 경우 사회적 영향이 상당할 것으로 예상된다. 따라서 향후 다수의 추출수소 제조설비 설치에 앞서 관련 안전기준 확보가 절실하다.

1.2 연구목적

일반적으로 PSA는 고압으로 운전되며, 내용물이 누설되는 경우 가연성 및 독성으로 인해 중독, 화재, 폭발의 위험이 있다. 따라서 기존에 운영중인 PSA의 사고사례 및 위험성평가를 수행하고, 해외에서 작성된 기술기준을 분석하여 기존 운영 및 향후 설치되는 PSA의 안정적인 운전 및 손상을 예방하기 위한 기술기준을 마련하고자 한다.

II. PSA시스템 설명 및 사고 사례

2.1 PSA시스템의 개요

PSA는 기체 혼합물로부터 특정 성분을 분리하거나 혹은 제거시켜 분리, 정제하는 공정이다. 흡착제로 채워진 흡착탑(Fig. 1. Psa Bed)을 수소가 많이 포함된 원료기체가 고압상태로 통과하고 선택도가 높은 성분(Fig. 1. 제품)들을 우선 흡착하게 되고 선택도가 낮은 성분(Fig. 1. 테일가스)들은 흡착탑 밖으로 배출한다. 흡착된 성분들을 제거하기 위해 흡착탑 내 압력을 떨어뜨려 재생하고 고압 생성물의 일부로 탑을 세척한다. 연속적인 수소 생산을 위해 PSA시스템은 통상적으로 다수의 흡착탑(최소 4개 이상)으로 구성된다. PSA는 순환시간이 5분정도로 극히 짧으며 흡착탑의 크기도 작고 열을 필요로 하지 않기 때문에 경제성이

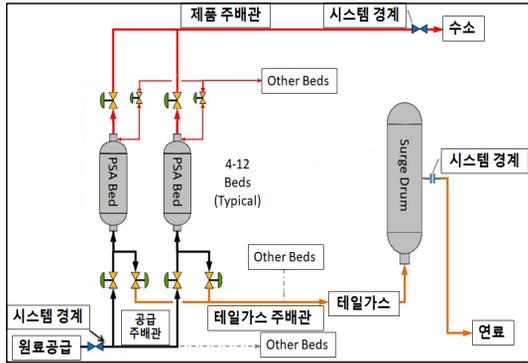


Fig. 1. PSA System schematic

높다.

2.2 PSA시스템 운전

(1) 흡착 (ADSORPTION)

흡착탑(PSA Bed)의 다공성 물질에 원료기체를 통과시켜 CH_4 , CO , CO_2 등의 불순물을 흡착시키고 수소만 통과한다.

(2) 평형 (EQUALIZATION)

흡착의 역할이 끝난 흡착탑은 흡착을 준비 중인 흡착탑 및 퍼지 준비 중인 흡착탑에 압력을 공급한다.

(3) 감압 (BLOW DOWN)

압력평형 작업이 끝난 후 저압 상태가 되면 메탄 등 불순물을 배출한다.

(4) 세정 (PURGE)

평형 압력을 공급받아 퍼지 및 흡착탑 내 불순물을 최종적으로 세정한다.

(5) 재가압 (REPRESSURIZATION)

퍼지 후 최저압력에서 평형단계 흡착탑에서 압력을 공급받아 중압상태 유지 이후 원료기체 공급으로 고압이 되면 흡착단계로 전환한다.

2.3. 사고 사례

국내외 PSA시스템에서 장치 및 배관의 파열과 같은 대형사고가 외부에 보고된 사고사례는 많지 않다. 그러나 기존에 PSA시스템을 운영 중인 회사의 설문에서는 반복적인 조작으로 인한 계기 오작동/오지시/오동작, 공정조절밸브 동작불량 및 간헐적 누출로 인한 가동중지가 발생된 사례가 있었다. Table. 1에는 국내 PSA관련 사고 중 외부에 알려진 2010년 울산에서

발생한 사고내용을 정리하였다.

III. PSA시스템 관련 국외기준

3.1 ISO/TS 19883(First edition/2017-03 ; Safety of pressure swing adsorption systems for

Table. 1. Accident case

발생 년도	장소	피해	사고 내용	사고 원인
2010	울산	1명 사망, 6명 부상	PSA공정에서 1번 흡착탑 정비작업을 마치고 가동준비 중인배관 플랜지에 설치된 맹판에서 Off-gas가 누출되면서 폭발이 발생하고, 주변의 보온재를 덮는 비닐에 화재 발생	부적 절한 맹판 사용

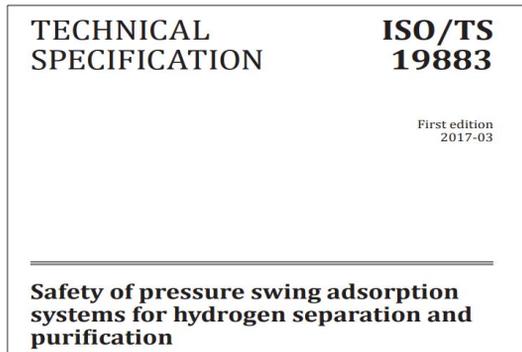


Fig. 2. ISO/TS 19883 Cover

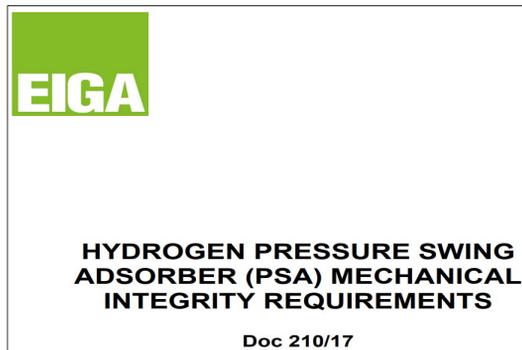


Fig. 3. EIGA Doc 210/17 Cover

hydrogen separation and purification)

PSA시스템의 전반적인 안전기준 및 설비의 안전 사양에 대하여 기술하고 있다.

3.2 EIGA Doc 210/17(Hydrogen pressure swing adsorption(PSA) mechanical integrity)

* EIGA : European industrial gases association

주요 장치의 제작 및 설계단계에 검토해야 할 사항, 정비작업 시 주의 사항, 특히 반복적인 응력에 의한 피로 설계 및 예방방안, 검사방법 등 설비 신뢰성 유지에 대하여 기술하고 있다.

IV. PSA시스템 관련 설문 및 위험성평가

PSA시스템을 도입하여 운영하고 있는 전국 13개 회사(전남 7개사, 울산 3개사, 대산 3개사)에 대해 기술기준 확보여부, 기술기준 도입 필요성 여부, 운영설비의 주요위험성 파악여부, 사고이력을 파악하기 위한 설문 및 체크리스트 형태의 위험성평가를 수행하였다.

4.1 PSA시스템 관련 설문

PSA시스템 기술기준을 가지고 있으나 기술선에서 제공하는 자료로 생산 및 설비 중심인 경우가 다수 있어 안전과 관련된 기술기준 제정이 필요하다는 의견이 다수였다. 또한 PSA시스템의 주요 운전 특성인 반복적인 압력변동으로 인한 흡착탑 및 연결배관 주요

Table. 2. PSA System questionnaire

설문내용	예	아니오	기타
PSA시스템 안전 및 장치 신뢰성 유지를 위해 필요한 기술기준을 가지고 있습니까?	1	5	7(기술 도입선 자료)
PSA시스템 안전 및 장치 신뢰성 유지를 위해 국내 기술기준이 필요하다고 생각합니까?	8	2	3(중간)
기존 운영중인 PSA시스템의 주요 손상기구 및 장기간 사용에 따른 위험요인을 알고 있습니까?	9	4	
운영중인 PSA시스템에서 운전 중 누출, 정비과정에서의 사고가 발생한 이력이 있습니까?			- 계기 오작동/오지시/오동작 공정조절밸브 누출 및 동작불량으로 인한 가동중지

손상기구인 피로(fatigue)와 관련 내용을 인지하지 못해 유지관리시 체계적인 검사가 이루어지고 있지 않은 회사도 4개사가 되어 장기간 운전애 따른 피로 손상가능성이 있는 것으로 파악되었다.

4.2 PSA시스템 체크리스트 위험성평가

체크리스트 위험성평가 질문은 ISO/TS 19883[2, 3]을 기반으로 작성하였으며 총 47개 질문으로 구성하였다.

Table 3. PSA System checklist risk assessment

평가기준
<p>가. 일반적인 위험</p> <ul style="list-style-type: none"> - 누출된 내용물이 산소의 분압을 낮추어 질식의 위험이 있는 장소는 없는가? - 시스템 누설의 위험이 큰 플랜지 등의 실링표면에서의 누출에 대한 위험은 관리되고 있는가? - 잦은 압력변동으로 인한 응력 변화의 영향으로 흠착담, 공정조절밸브, 배관 등에 발생 가능한 피로 균열 예방 대책은 적절한가? - 내부 및 외부에 사용되는 금속 및 비금속 재질은 수소취급 PSA시스템에 적합한가?(관련규격:KS B ISO/TR 15916; 일반적으로 탄소강 사용가능하나, 일부 스테인리스 스틸도 사용)
<p>나. 현장에서의 안전사양</p> <p>일반적인 위험</p> <ul style="list-style-type: none"> - 공급가스에 산소가 유입될 가능성이 있는가?(유입될 가능성이 있는 경우 공급배관에 산소감지기를 설치하여 모니터링 필요하며 안전한 농도이하로 관리필요)
<p>2. 설비 배치</p> <ul style="list-style-type: none"> - PSA시스템 관련된 장치와 설비는 배치는 관련 법규에서 요구하는 안전거리를 확보하고 있는가? - 넓은 수평지대에 설치되는 밸브조작 발판은 밀폐되어 수소 누출시 위험분위기를 형성하지는 않는가? - 컨테이너는 내부에 설치되는 모든 PSA시스템 구성요소 및 배관을 지지하고 보호하는데 충분한 강도, 내구성, 내 부식성 등의 물리적 성질을 가지고 있는가? 또한 컨테이너가 실내에 설치되는 경우 IP 20, 옥외에 설치되는 경우 IP 44 이상의 보호등급을 갖도록 설계되는가?(관련규격:KS C IEC 60529)
<p>3. 건물 및 환기</p> <ul style="list-style-type: none"> - 건물들은 수소에 적합한 폭발위험지역으로 지정되어 있는가?(관련규격:KS C IEC 60079-10-1) - 밀폐된 건물들은 내부폭발에 견딜 수 있도록 설계되어 있거나, 견딜 수 없는 경우 경량지붕/벽/문/창문 등의 압력 방출이 되는 시설이 설치되어 있는가? - 건물들은 환기장치가 설계되고, 환기장치는 가연성

<ul style="list-style-type: none"> 또는 독성가스감지기와 연동되는가? - 환기장치가 폭발위험지역 구분에 영향을 미치는 경우 전기설비가 가동되기 전에 최소 5회 이상의 환기를 할 수 있는가? 대안으로 가스측정기가 설치되고 LEL 25% 이하가 달성되도록 환기가 가능한가? - 운전 외 인원의 보호를 위한 건물내부 출입 및 설비에 접근은 적절한 방법으로 제어되고 되는가? - 소화설비는 상시 접근 가능하도록 준비되고 있는가? - 컨테이너 내부에 설치되는 PSA는 기계적으로 환기되고 있는가? 또한 환기장치의 작동실패를 감지할 유량/압력/환기장치의 전류 등을 측정기가 설치되어 시각 또는 청각 경보를 작동하고, PSA 시스템의 가동중지 가능하도록 연동되어 있는가?
<p>4. 폭발위험 지역 및 등급</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수소취급 PSA시스템과 관계된 모든 지역의 폭발위험지역구분은 KS C IEC 60079-10-1에 적합한가? - 폭발위험지역 내 전기설비의 기기선정 기준은 적합한가?(IIC T1 이상)
<p>5. 정전기 접지</p> <ul style="list-style-type: none"> - 접지는 관련 법규의 요구에 적합하도록 접지는 이루어졌는가?(관련규격:KS C IEC 60204-1/60364-1) - 흠착담 및 저장탱크의 접지는 적절한가?(2.5 m ID 및 50 m³ 보다 큰 장치는 최소 2개소 이상 접지하고, 접지 간 간격은 30 m 이내로 원주방향에 균등하게 배분) - 배관의 접지는 적절한가? <ul style="list-style-type: none"> 가. 단위공정의 입구 및 출구/다른 폭발위험이 있는 경계지역/가지 배관들/모든 80~100 m 직선 배관 나. 100 mm 이내의 평행 배관은 매 20 m 마다 파이프 간 점퍼 설치 다. 수직으로 교차하는 배관이 100 mm 이내인 경우 교차구간에 점퍼 설치
<p>6. 가연성 및 독성가스 감지 경보</p> <ul style="list-style-type: none"> - 가스가 축적되기 쉬운 장소, 시료채취장소, 가스의 물리 화학적 특성/누출원의 형상/공장 배치/지리적 상태/환경 및 온도/운전 및 점검 통로등의 영향에 따라 감지가 쉽게 실행될 수 있는 장소에 감지기는 적절하게 설치되는가?(예 : 진공펌프 또는 압축기의 실 부위, 가스 샘플포트 및 관련분석기, 드레인 및 벤트, 장치 또는 배관 플랜지, 밸브 패킹, PSA 시스템과 관련된 건물 및 컨테이너) - 가연성가스감지기는 폭발하한의 25 % 이하, 독성가스감지기는 허용농도의 25 % 이하의 가스가 감지된 경우 현장에 시각 및 청각의 경보를 작동하고, 조종 또는 운전실에 해당 경보를 발송하는가?
<p>다. 장치 및 배관 사양의 안전</p> <p>1. 흠착담의 안전 사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 설계 및 제작은 압력용기 제작 기준에 적합하고, ASME VIII SEC 2.등 규격에 따른 피로설계가 반영되어 있는가? - 피로설계가 반영되어 있지 않은 경우 피로에 의한 균열발생이 가능한 부위에 대한 주기적 검사를

수소분리 및 정제를 위한 PSA(Pressure Swing Adsorption)시스템 안전성향상에 관한 연구

<p>실시하고 있는가?</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수소 취성을 가속시키는 내용물이 있는가?(황화수소 및 이산화탄소) - 제작시 기하학적 불연속부/표면 결함/용접결함 등의 결함이 발생하지 않도록 관리하고 있는가?(해당부에 국부적인 높은 응력이 부가되어 피로수명 단축가능) - 하부 헤드에 응축수가 존재하여 부식 발생이 가능한가?(부식 및 주기적 압력 변동 발생 가능한 부위에서 피로균열이 진전될 수 있음) - 가스켓은 정상운전 및 가동 및 가동중지 동안의 상태변화에 적절하도록 선정되어 누설을 예방할 수 있는가?
<p>2. 버퍼 탱크의 안전사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 제작은 압력용기 제작기준에 적합한가? - 탱크가 차단되어 격리될 수 있는 경우를 대비하여 각각탱크 안전장치가 설치되는가?
<p>3. 공정용 조절밸브의 안전사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 조절밸브는 밸브 작동기간동안 누설이 최소화 되도록 선정되었는가?(조절밸브의 실폐는 전체 시스템의 기능상실/흡착제 손상/장치 과압을 유발할 수 있음)
<p>4. 배관의 안전사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 흡착탑에 직결되는 배관은 주기적 압력 변동에 의해 발생하는 피로균열/응력/열팽창 및 수축을 고려하여 설계하였는가? - 배관시스템에 질소 퍼지 설비가 설치되고, 퍼지시 필요한 벤트 및 드레인 설비는 적절한가? - 배관지지대의 설계 및 위치는 적절한가? - 연결되는 업스트림 또는 다운스트림의 설계압력이 높거나, 화재 등의 사유로 배관 및 컨테이너의 설계압력을 초과하는 압력이 발생하는 경우에 대비하여 안전밸브가 적절하게 설치되어 있는가?
<p>5. 운전 및 정비시의 안전 고려사항</p> <ul style="list-style-type: none"> - 흡수제 하부 층의 수분이 상부 층으로 올라가는 것을 피하기 위해 퍼지는 상부에서 하부 방향으로 수행되도록 계획되고/설치되는가? - 실내에서 퍼지되는 위치가 있는 경우에 산소결핍 및 가연성의 축적으로 인한 위험을 예방하기 위한 조치가 마련되어 있는가? - 정비 이전에 가연성가스 농도를 폭발하한 25 % 이하로 낮추고, 운전 전에 산소 농도를 최소산소요구농도(Minimum oxygen concentration)의 60 % 이하로 감소시키도록 하는 절차가 마련되어 있는가?
<p>6. 점검 및 시험의 안전사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 반복적 응력이 가해지는 흡착탑 연결 배관의 용접부는 100 % 비파괴 검사가 수행되도록 계획되었는가? - 압력 및 진공시험은 관련 규격에 따라 시행되도록 계획되었는가? - 컨테이너와 건물의 환기 장치는 관련 규격에 따라 시행되도록 계획되었는가?(시간당 공기순환율 및 환기의 효율성 확인)

<p>7. 전기장치의 안전사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수소생산시설에 적합한 폭발위험지역 구분 및 전기설비가 설치되어 있는가? - 모든 금속 외함, 배관, 기초, 철골은 KS C IEC 60204-1/60364-4에 따라 접지 되었는가?
<p>8. 모니터링 장치의 안전사양</p> <ul style="list-style-type: none"> - 관찰 장치의 작동 실패시에 알람 및 가동중지 인터록을 개시하는가? - 공급가스, 흡착탑, 수소제품, 버퍼 탱크, 계장용 공기 등에 압력계는 적절하게 설치되어 있는가? - 산소가 유입되어 가연혼합물을 만들 수 있는 우려가 있는 경우에 산소 분석기를 설치하여 안전한 산소농도 이하로 유지되는지를 감시하고 있는가? - 아래와 같은 경우에 자동적으로 가동중지 되도록 시스템이 구성되어 있는가? <ul style="list-style-type: none"> 가) 압력, 온도, 공급가스의 조성이 경보 설정치를 넘는 경우 나) 운전 중 공정 조절밸브가 작동 실패하여 차단이 불가하거나 누설이 발생하는 경우 다) 공기 중 수소농도가 1 %를 초과한 경우 라) 계장용공기의 압력이 인터록 값에 도달한 경우 마) 공급 가스 또는 진공 탈착 공정 배관의 산소 함량이 허용 가능한 범위를 초과한 경우 바) 버퍼 탱크 압력이 최대 허용가능 설정압력을 초과한 경우 사) 장치 또는 배관에서 누설이 발생한 경우 아) 공기 중 독성가스 농도가 허용값을 초과한 경우

위험성평가결과 도출된 주요 문제점은 아래와 같다.

- (1) 흡착탑 및 배관의 피로 손상과 관련된 내용 이해 미흡
 - 잦은 압력변동으로 인한 응력 변화의 영향으로 흡착탑, 공정조절밸브, 배관 등에 발생 가능한 피로 균열 예방 대책 미흡
 - 흡착탑의 ASME VIII SEC 2. 등 규격에 따른 피로설계가 반영미흡
 - 흡수탑 연결 배관의 용접부 100 % 비파괴 검사가 수행되도록 계획 미흡
- (2) 가연성가스감지기 폭발하한의 25 % 이하 가스 감지된 경우 현장 경보 작동 미흡
- (3) 접지 미흡
 - 100 mm 이내의 평행 배관은 매 20 m 마다 파이프 간 접퍼 설치 미흡
 - 수직으로 교차하는 배관이 100 mm 이내인 경우 교차구간에 접퍼 설치 미흡
- (4) 공기 중 수소농도가 1 % 초과 및 버퍼 탱크 압력 최대 허용가능 설정압력을 초과한 경우 자동정지시스템 구축 미흡

V. 안전기준

안전기준은 ISO/TS 19883을 기반으로 하고, 설문 및 위험성평가지 도출된 주요 위험요인, 2010년 발생된 사고와 관련되어 맹판 작업 관련 주의사항과 같은 내용이 추가로 포함되도록 안전보건공단에서 제정하는 KOSHA GUIDE 작성양식에 맞추어 아래와 같이 작성하였다.

수소분리 정제를 위한 PSA(Pressure Swing Adsorption) 시스템의 안전에 관한 기술지침

1. 목적

PSA 시스템의 설계, 성능보장, 운전에 필요한 안전 사양 및 적용 가능한 설계 특성을 정하는데 사용하는 것을 목적으로 한다.

2. 적용범위

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

3. 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

(가) “PSA Method(pressure swing adsorption method)”란 높은 압력에서 더 많은 불순물을 흡수하고 낮은 압력에서 불순물을 배출하는 고정 흡수제에 의한 선택적 흡수에 장점을 가진 가스 분리 방법이다.

(나) “진공압력변환 흡착(vacuum pressure swing adsorption)”이란 PSA 공법 중 탈착을 진공 압력(진공 펌프 이용)에서 수행하는 흡착공법을 말한다.

(다) “수소 분리 및 정제를 위한 PSA 시스템(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 흡수제가 들어있는 용기로, 보통 수직형 용기이다.

(마) “흡수제(adsorbent)”란 불순물이 포함된 수소 흐름에서 불순물 가스를 흡수하는 고체 물질이다.

(바) “공정조절밸브(process control valves)”란 조

절시스템으로부터의 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 PSA 시스템을 통해 정제되고 남은 가스이다.

(자) “고정형 PSA 시스템(stationary PSA system)”이란 모든 장치 및 배관들이 영구적으로 고정된 기초 구조물위에 설치되는 PSA 시스템을 말한다.

(차) “스키드 마운티드 PSA 시스템(skid-mounted PSA system)”이란 일부 또는 모든 장치 및 배관이 하나 또는 다수의 스키드에 설치되거나, 이동 가능한 기초에 설치되는 PSA 시스템을 말한다.

(카) “화재 이격 거리(fire separation distance)”란 PSA 시스템으로부터 인접 건물들의 화재 전파를 막기 위해 필요한 PSA 시스템과 인접건물과의 거리를 말한다.

(타) “완충 탱크(buffer tank)”란 흡착탑 또는 진공 펌프로부터 탈착된 가스를 저장하는 용기로, 탈착가스의 압력이나 조성의 변동을 최소화 해주는 역할을 한다.

(파) “진공 펌프(vacuum pump)”란 탈착 단계에서 진공 압력을 이용하여 테일가스의 배출을 도와 흡착제의 탈착 및 재생 성능 개선 목적을 수행하는 장치이다.

(하) “컨테이너(container)”란 특수한 외부환경 및 온도 상태의 영향, 또는 소형 수소 PSA 시스템에서 위험한 구성원소들이 사람 또는 가축물의 우발적인 접촉을 피하기 위해 만든 밀폐구조 건축물 또는 구조물을 말한다.

(가) “빌딩(building)”이란 지붕 및 벽을 가지는 구조물로 컨테이너와 유사한 기능을 수행한다.

(냐) “수소 취성(hydrogen embrittlement)”이란 수소 환경에서 금속의 기계적 성질이 저하되는 현상이다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 특별한 규정이 있는 경우를 제외하고는 산업안전보건

법, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 산업안전보건기준에 관한 규칙에서 정의하는 바에 따른다.

4. 기본 사양

4.1 공급 유체 압력

수소 재생 및 정제를 위한 PSA시스템에 공급되는 가스 압력은 0.3 MPa ~ 6.0 MPa 범위이다. 운전압력은 흡수되는 동안의 공급가스 압력과 탈착되는 동안의 대기압 근처 또는 진공압력을 반복한다.

4.2 작동 온도

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

4.3 조립

수소 재생 및 정제를 위한 PSA시스템은 수소제품 사용 마지막 단계 및 수소 처리량을 고려하여 고정형 또는 스킵드마운티드 형태로 할 수 있다.

4.4 재료 특성

4.4.1 공급 흐름 압력

금속 및 비금속 재료들이 PSA시스템 내부 및 외부 부품으로 사용될 수 있다. 재료는 장치의 설계 수명동안 시운전 및 정상운전 상태에서 물리적, 화학적, 열적인 상황에 적합하여야 한다. 재료의 적응성은 KS B ISO/TR 15916(수소 시스템의 안전을 위한 기본적인 고려사항)를 준수하여 평가되어야만 한다.

4.4.2 작동 온도

철계 금속이 PSA시스템 재료로 사용되는 경우 KS B ISO/TR 15916과 관련되어 적합한 고려 및 분석이 수행되어야만 한다. 수소와 접촉하는 비금속 재료는 수소의 투과성이 고려되어야만 한다.

5. PSA시스템의 안전 요구사항

5.1 PSA시스템과 관련된 일반 위험

5.1.1 수소와 관련된 일반 위험

수소는 색이 없고, 냄새가 없으며 높은 가연성이 있다. 낮 동안에 수소의 연소는 거의 육안으로 볼 수 없다. 수소는 공기와 폭발성 혼합물을 형성할 수 있고, 대기 온도 및 압력 조건에서 공기 중 폭발 상/하한의 범위가 4 ~ 75 %이다.

수소는 공기 중 산소를 대체할 수 있고, 높은 수소 농도로 인하여 공기 중 산소 분압이 낮아지는 경우에 질식을 일으킬 수 있다.

5.1.2 시스템 누설과 관련된 일반 위험

수소의 낮은 분자량 및 크기로 인하여 플랜지 및 다

른 막음 표면으로부터 쉽게 누설될 수 있다.(예 : 벤트 밸브 등) 수소는 비중이 낮아 매우 쉽게 부유될 수 있어 넓은 범위에 연소 및 폭발 가스의 형성이 가능하다. 수소는 무색이기 때문에 연소 범위의 크기를 쉽게 식별할 수 없다.

5.1.3 압력과 관련된 위험

PSA공정 운전동안 정상적인 압력 변동은 흡착탑, 공정조절밸브, 배관계통에 응력 변동의 원인으로 작용하여 용기 또는 배관계통의 균열을 유발할 수 있다.

장치 및 배관의 손상은 높은 압력으로 인한 급격한 에너지 방출의 결과를 유발할 수 있다. 충격파로 인해 주변 장치의 손상도 발생할 수 있다.

5.1.4 수소 점화와 관련된 위험

PSA시스템으로부터 누설로 인한 수소의 점화는 에너지/열의 방출 및 폭발을 일으킬 수 있다. 수소연소에 의한 열이 방출될 수 있고, 외부온도 상승으로 인하여 시스템 내부 가스가 팽창할 수 있고, 재료의 특성이 저하될 수 있다. 온도/압력/재료 특성 저하가 복합적으로 증가하면 배관 및 장치의 손상의 원인이 될 수 있다.

5.2 현장에서의 안전 사항

5.2.1 일반적인 위험

PSA시스템의 공급가스로는 천연가스로부터의 합성가스, 암모니아 분해가스, 석탄가스, 암모니아 테일 가스, 메탄올 폐가스, 정유 폐가스 등이 있으며, 수소 함량은 대략 25 % 이상이다. 공급 흐름의 산소 함량은 수소와 같은 가연성 가스의 연소범위로부터 벗어나게 하기 위해 반드시 제한되어야만 한다.

PSA시스템의 관련 적용 가능한 국내 안전 규격, 건설 및 수소분압에 근거한 재료 요구 사항에 따라 위치하여야만 한다. PSA는 운전 수명 동안 기대되는 모든 환경을 고려하여 설계하여야만 한다. PSA 조절시스템은 조절시스템을 통해 실패를 감지하고 안전한 상태로 가도록 설계되어야 한다.

PSA시스템에 화재방호시스템이 고려되어야만 한다. 가능한 화재 방호 방법에는 PSA의 신속한 가동중지(자동 또는 수동), 스프링클러 설비, 일제살수 설비, 건식 소화설비 등이 있다. 소규모 화재는 건식소화기, 이산화탄소 소화기, 질소 또는 스팀에 의해 소화될 수 있다. 물은 수소화제 인접 장치의 냉각에 사용될 수 있다.

5.2.2 배치 고려사항

PSA시스템과 관련된 장치 및 건물의 배치는 화재 이격 거리를 위한 국내 요구사항에 따라야 한다.

배관 및 밸브들이 다층으로 배열되고, 넓은 수평지

역을 덮도록 밸브 스킴드가 설계되는 경우, 발판은 밀폐되는 공간에서 수소의 가연분위기 형성을 막기 위해 스틸 그레이팅으로 제작되어야 한다.

PSA시스템이 컨테이너 내부에 설치되는 경우 시스템 자체/공급가스/제품가스/테일가스로부터 제기되는 모든 예측 가능한 위험을 피하기 위해 설계되고 건설되어야만 한다.

컨테이너는 모든 PSA시스템 구성요소 및 배관의 지지 및 보호를 위한 강도, 안전성, 내구성, 부식저항성, 다른 물리적 특성을 가져야만 한다. 컨테이너는 국내 규격에 따른 저장, 수송, 설치, 최종 위치 상태의 요구를 충족해야 한다.

실내 사용을 목적으로 한 컨테이너는 KS C IEC 60529에 따라 최소 보호 성능 IP 20을 만족하도록 설계되고 시험되어야 한다. 옥외에 사용되는 컨테이너는 KS C IEC 60529에 따라 최소 보호 성능 IP 44를 만족하도록 설계되고 시험되어야 한다.

5.2.3 건물 및 환기

5.2.3.1 일반

소규모 PSA시스템은 건물내부에 설치 가능하다. PSA시스템과 관련된 다른 장치는 하나 또는 다른 독립된 건물 안에 둘러싸는 것이 가능하다. 예로 밸브 스킴드, 탈착된 가스를 위한 진공펌프, 조절 시스템, 분석기를 포함한다.

5.2.3.2 건물

건물은 누출이나 다른 파손에 의한 수소의 잠재적 존재를 고려하여 적절한 위험지역 구분이 설계되어야만 한다.(예 KS C IEC 60079-10-1에 따른 Zone 2)

건물, 구조물 및 장치 사이의 거리는 화재예방거리를 위한 국내 기준을 준수해야만 한다.

밀폐된 건물이 사용된다면 폭발 방호형으로 설계되어야만 한다. 대신에 비 폭발 방호형으로 설치하는 경우 건물 부피와 압력 방출 지역 관련 비율은 국내 규격을 준수해야만 한다. 압력 방출을 위한 지역은 경량 지붕, 벽, 문, 창문으로 가능하다.

5.2.3.3 건물의 환기

건물에는 가연성 또는 독성가스 감지기와 연동되는 환기 장치를 설계하여야만 한다.

제공된 환기가 지역 구분의 형태에 영향을 미치는 경우 해당 지역은 장치에 전기를 공급하기에 앞서 최소한 5회 이상의 공기순환으로 퍼지를 하여야 한다. 대신에 폭발하한의 25 % 이하 농도 달성을 위해 필요한 퍼지량의 조절 가능한 성분 측정 능력을 제공한 경우도 가능하다.

설계에 의해 비 위험지역으로 증명할 수 있는 실내의 분위기 및 관련된 덕트 들의 경우에 퍼지는 필요하지 않다.

필요하지 않은 직원의 건물 출입 및 건물 접근을 막기 위한 적절한 방법이 채택되어야만 한다. 주출입 통로는 해당되는 사양 및 규격에 따라 설치되어야만 한다. 화재방호장치는 쉽게 접근할 수 있어야만 한다.

직원이 출입가능한 모든 건물은 외부로 열리는 비상구를 설치하여야 한다. 자물쇠형의 모든 문은 지체없이 문을 열수 있는 신속한 잠금해제 기구를 구비하여야 한다.

5.2.3.4 컨테이너 내부에 설치되는 PSA시스템

PSA시스템의 컨테이너 덮개는 기계적으로 환기되어야만 한다. 환기의 실패는 유량, 압력, 또는 환기 장치의 전류 등의 측정을 통해 확인하고, 음향 또는 눈으로 확인가능한 알람의 작동 및 PSA시스템의 가동중지를 작동시켜야만 한다. 옥외 사용의도 시스템에서 컨테이너는 KS C 60079-2에 따른 양압으로 환기할 수 있다. 시스템 배기 배출가스내의 모든 가연성 가스 최대 농도는 모든 운전 기간 동안 25 % 이하여야 한다.

5.2.4 폭발위험 지역 및 폭발위험 등급

폭발위험을 가지는 모든 PSA시스템과 관계된 지역 구분의 KS C IEC 60079-10-1에 따라야 한다.

전기기계기구의 폭발 방호 등급은 수소 폭발 혼합물 그룹의 등급 보다 높아야 한다.(IICT1)

폭발위험지역내의 전기장치 및 배선은 KS C IEC 60079-0 및 60079-14에 따라 설정하여 선정되어야만 한다.

5.2.5 정전기 접지

5.2.5.1 일반

PSA시스템은 정전기를 발생시키고 축적할 수 있기 때문에 정전기 위험을 초래할 수 있는 물체에 대해 정전기 접지를 수행해야만 한다. 전용 정전기 접지 커넥터는 KS C IEC 60204-1, 60364-4의 규정의 요건에 따라 접지 저항을 가져야 한다. 다른 접지 장치가 정전기 접지를 위해 사용될 때, 그들의 접지 저항은 국내 규격에 적합하게 선정되어야만 한다.

5.2.5.2 흡착탑 및 완충 탱크

흡착탑, 완충탱크 그리고 다른 고정 압력용기의 둘레에도 정전기 접지를 해야만 한다. 직경이 2.5 m 보다 크거나, 부피가 50 m³ 보다 큰 장치에는 최소 2개소에 접지를 해야 하고, 접지 위치들은 장치의 주변을 따라 균등하게 분배되어 30 m 이내의 간격으로 설치되어야만 한다.

5.2.5.3 배관 계통

정전기 접지는 공정의 입구 및 출구, 다른 폭발 위험을 가지는 경계 지역, 배관 분기점, 직선파이프를 따라 80 m ~ 100 m 마다 설치되어야 한다. 평행한 배관 사이의 실제거리가 100 mm 보다 작은 경우에는 매 20 m 거리마다 하나의 파이프로부터 다른 파이프로의 불꽃의 이동을 예방하기 위해 접피를 설치해야 한다. 교차하는 두 파이프 사이의 거리가 100 mm 미만일 경우 파이프가 교차하는 곳에 접피를 설치하여야 한다.

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 가연성 및 독성가스의 경보 알람

가연성가스 감지기는 공정지역 내에 설치되어야만 한다. 독성가스가 존재하여 누설로 인체의 부상이 가능한 경우에 독성가스 감지기도 설치하여야만 한다.

감지기 설치는 가스가 축적되기 쉬운 장소, 샘플링, 가스의 물리화학적 특성/누출원의 형상/생산지역의 배치/지리학적 상태/환경 및 기온/운전 및 점검 동선에 따라 감지가 쉽게 수행될 수 있는 장소에 위치하여야 한다.

가연성 또는 유독성 가스가 누출되거나 축적될 수 있는 장소의 예

- 진공펌프 또는 압축기의 실 부위
- 가스 샘플포트 및 관련된 분석기
- 드레인 및 벤트
- 장치 또는 배관 플랜지
- 밸브 패킹
- PSA 시스템과 관련된 건물 및 컨테이너

공기 중의 가연성 가스가 폭발하한의 25%일 때, 또는 독성가스 허용농도의 25%에 도달하는 경우 현장에 청각 및 시각의 감지 경보를 작동하여야만 한다. 또한 알람 신호를 조종 또는 운전실에 발송하여야만 한다.

가연성 및 독성가스 감지기 설치 수는 가능한 누출원의 위치 및 환기 상태에 따라야한다.

5.3 장치 및 배관의 안전 사양

5.3.1 일반 사양

흡착탑은 PSA시스템의 주요 구성요소이며, 흡착탑의 성능이 PSA시스템의 성능을 결정한다. 용기의 크기, 내부 구성요소 설계, 흡수제의 선정 및 용량은

수소 회수율 및 제조단가의 최적화, 흡수제의 누설 및 분체 유동화 방지, 설계수명주기 내의 기계적 강도를 보장하기 위해 선정되어야 한다.

5.3.2 흡착탑의 안전 사양

5.3.2.1 일반

PSA시스템 각각의 흡착탑은 주기적으로 운전되며, 일반적으로 10 ~ 20 년의 운전 후에 약 100 만 주기를 견뎌야 한다. 그래서 피로는 고려하여야 할 가장 중요한 손상기구이며, 수소의 존재에 의해 더 악화되어 진다.

피로설계는 ASME Section VIII, Division2, EN 13445, or PD 5500 (1, 2, 5) 와 같은 코드 및 규격에 따라야 한다.

흡착탑은 주어진 압력 및 주기의 수에 따라 설계되며, 특별히 모든 부품들은 상응하는 S-N 커브에 따라 설계된다. 용접부는 피로에 의해 균열이 개시되는 주요한 지역이다.

집중적인 응력 변동을 제외하고 흡착탑의 피로 저항성에 영향을 미치는 주요 변수는 수소 노출에 의한 영향(수소 취성이라 부름), 용접 품질, 제조 품질이다.(예 : 부식피로, 불일치, 피킹)

5.3.2.2 수소 취성

수소 취성 감수성은 재료의 강도 및 수소 환경에 크게 의존한다.

가스 상태의 수소에 의한 취성은 상온부근의 탄소강에서 일반적으로 발생한다. PSA시스템 내의 변동적인 굽힘응력(또는 압력)에 의한 반복적인 피로 기구와 원자 수소 존재에 의한 전위가 복합적으로 작용하여 균열의 성장을 가속시키는 원인이 된다.

수소 순도가 높아질수록 취성효과가 더 발생하기 쉽다. 불순물들(산소 또는 수증기)은 취성 효과를 억제하는 성질을 가지고 있다. 이산화황 및 일산화탄소 또한 억제효과를 가지고 있다. 다른 불순물들(예 : 메탄, 질소)은 기대할만한 효과를 가지고 있지 않은 것으로 보인다. 일부 불순물(예 : 이산화탄소, 특히 황화수소)은 수소 취성을 가속시키는 효과를 가지고 있다.

수소 취성과 관련하여 고려되어야할 변수에는 환경(운전상태), 설계, 표면상태, 금속이 있다. 수소 취성은 응력 크기가 최고 중요하여 응력부식균열과 유사하다. 모든 형태의 응력(열, 압력, 기계적 등)을 PSA 시스템에서는 고려하여야 한다.

5.3.2.3 기하학적 불연속(피킹;Peaking)

기하학적 불연속성은 국부적으로 높은 응력을 유발하여 용기의 피로 수명을 현저하게 감소시킬 수 있

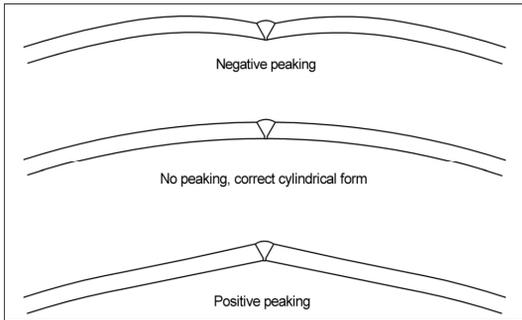


Fig. 4. Peaking

어 또한 중요하다. 기하학적 불연속은 제작 공차(정렬 불일치, 피킹, 원형도 이탈 등)에 의해 발생하는 것을 포함하는 것으로 고정 장치에 아주 중요하다.

피킹은 동체의 길이방향 이음을 따라 위치하는 진 원형태로부터의 이탈이다.

피킹을 계산하기 위해서는 이론적인 원에서부터 거리 델타를 측정해야 한다. 허용 가능한 최대 피킹 크기의 정의를 위해서는 관련 압력용기 규격을 찾아보아야 한다.

5.3.2.4 부식

흡착탑은 하부 헤드에 응축수로 인한 내부 부식 발생이 가능하다.

부식과 압력의 변동 조건에서 부식공이 균열의 시발점이 될 수 있고, 피로에 의해 진전될 수 있다.

5.3.2.5 설계 및 제작

흡착탑의 설계 및 제작은 국내 압력용기 제작기준에 따라야 하며, 반복되는 응력에 의한 충격을 고려하여야 한다. 그렇지 않은 경우 소용변형을 축적으로 인해 용기의 손상 및 파손 발생이 가능하다.

흡착탑의 모든 용접은 최소화되어야 하며, 수행시는 반복되는 응력에 의한 영향을 평가하여야 한다.

가스켓은 정상운전동안 흡착탑으로부터의 누출을 예방하기 위해 선정되어야 하며, 기동 및 정지동안의 상태 변화를 견뎌야만 한다.

5.3.3 완충탱크의 안전사양

완충탱크의 제작은 관련 국내 제작기준의 요구에 따라야 한다. 완충탱크들이 다른 운전압력에 연결되어지는 경우에, 가장 낮은 운전압력을 갖는 완충탱크는 모든 상태에서 과압이 발생되지 않도록 운전되어야 한다. 완충탱크는 탱크로부터 누설이 발생하는 경

우 인접 탱크에 직접적인 충격을 주지 않도록 배치하여야 한다.

각각의 탱크가 고립될 수 있거나 설계압력이 다른 경우에 각각의 완충탱크를 위한 분리된 안전시스템이 설치되어야 한다. 각각의 탱크가 고립될 가능성이 없다면 단독의 안전시스템 사용이 가능하다. 이러한 경우 용기의 설계압력이 동일하거나 또는 안전시스템은 가장 낮은 완충탱크의 설계압력 이하로 압력을 유지하도록 설계되어야 한다.

5.3.4 공정조절밸브의 안전사양

공정조절밸브는 빈번하게 작동한다. 공정조절밸브의 작동실패는 전체 시스템의 기능상실, 흡수제 손상, 또는 장치의 과압을 유발할 수 있다. PSA를 설계하는 단계에서 밸브의 작동기간동안 최소의 누설을 가지는 조절밸브를 선정하도록 고려하여야 한다.

5.3.5 배관의 안전사양

5.3.5.1 일반 사양

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

5.3.5.2 배관 설계

흡착탑에 직접 연결되는 배관(예 : 흡착탑과 공정조절밸브 사이 배관)은 배관에 반복되는 응력(빈번한 압력변화에 의한)으로 인한 충격이 주어지는 것을 고려하여야 한다. 열 수축 및 팽창 구간의 배관은 유연성 계산 및 열 보상 요구를 기반으로 설계하여야 한다.

배관계에는 질소 퍼지 설비를 설치하여야 한다.

배관 지지대는 관련 규격 또는 압력배관 규격에서 제시한 바를 따르도록 위치하여야 한다.

5.3.4.3 압력방출 장치

PSA시스템의 배관 및 장치의 설계압력이 업스트림 및 다운스트림의 설계압력보다 낮거나, 화재 또는 다른 열적 방출 상황이 있다면 압력방출 장치가 PSA시스템의 장치를 보호하기 위해 필요하다. 안전밸브의 일반적인 위치는 공급흐름의 입구 측 차단밸브의 하류이다.(Fig. 5. 참조) 모든 안전밸브는 국내 기준을 준수해야 한다.

5.3.6 운전 및 설비유지관리의 안전 사양

PSA시스템은 가연성 및 독성 가스가 정상운전동안 들어있기 때문에 철저한 퍼지가 설비유지 및 정상가동으로 돌아가기 전에 필수적이다. 이와 같은 이유로 PSA시스템은 퍼지 가능한 충분한 벤트를 가지도

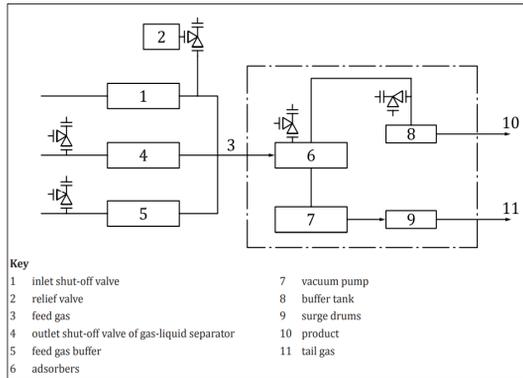


Fig. 5. Example of potential locations relief valves

록 설계하여야만 한다. 사용되지 않는 관(dead legs)은 정체된 가스의 제거가 어렵기 때문에 최소화되도록 하여야 한다.

가스가 흐르는 방향을 고려하여야 한다. 퍼지는 일반적으로 하부층 흡수제의 물이 상부층으로 이동하는 것을 막기 위하여 상부에서 하부 방향으로 수행한다.

PSA시스템은 일반적으로 질소로 퍼지한다. PSA시스템은 배관 및 용기 안으로 질소 공급이 가능한 연결부를 포함하여 설계해야 한다. 또한 흡수제 제거 동안에 질소 퍼지를 용이하게 수행하기 위한 적합한 위치에 연결부를 설계해야 한다.

PSA시스템의 퍼지가 실내에서 이루어지는 부분이 있는 경우 퍼지 동안 주의를 기울여야 한다. 가연성 가스의 축적 및 산소결핍 상태를 막기 위해 건물 및 밀폐 공간내의 산소농도 또는 가연성가스 농도를 측정해야 한다.

설비유지를 수행하기 전에 가연성가스 농도는 LEL농도의 25 % 이하로 감소시켜야만 한다. PSA시스템의 운전 전에는 산소 농도는 최소요구산소농도(MOC : Minimum Oxygen Concentration)의 60 % 이하로 감소시켜야 한다.

진공압력으로 PSA시스템이 운전될 때는 공급유체 내로 공기 유입에 따른 위험이 존재한다.

운전 중 밸브교체 등의 정비 작업을 위해 맹판(Blind Plate)설치가 필요한 경우에는 배관의 규격에 맞는 맹판을 사용하고, 모든 볼트를 규격에 맞게 체결하여 플랜지 접합면으로부터 인화성가스가 누출되지 않도록 하여야 한다.

5.3.7 점검 및 시험 안전사항

5.3.7.1 비파괴 시험

흡착탑에 연결된 배관의 용접부는 주기적 응력을 받기 때문에 100 % 비파괴 시험이 적용되어야 한다.

다. 시험 방법은 관련 국내 요구사항에 따라야 한다. 용접의 등급은 관련 국내 기준에 따라야 한다.

5.3.7.2 압력시험의 원칙

배관의 압력시험에는 수압시험이 권장된다. 배관에 공압을 사용하는 경우의 시험 절차 및 적합한 안전사항은 국내 요구사항에 따라 수행하여야 한다.

계기를 포함한 배관 부분을 시험할 때의 시험 압력은 계기가 제거되지 않는 한 계기의 최대허용 시험압력을 초과하여서는 안 된다.

실제압력이 시험압력을 초과하는 때에는 적용 가능한 국내 규격에 근거하여 시험압력을 계산하여야 한다.

5.3.7.3 압력시험

5.3.7.3.1 시험전의 준비

흡수탑 및 완충탱크에 대한 다양한 적합성 인증서 및 기술도면, 모든 시험기록 및 증명서, 도면, 검사 성적서의 완전성을 시험 전에 확인하여야만 한다. 시험은 앞에서 언급한 인증서 및 서류가 바른 것으로 증명된 이후에 수행되어야만 한다.

육안검사는 PSA시스템이 조립되어 관련 시스템의 치수 확인이 완료된 후에 수행되어야만 한다.

5.3.7.3.2 강도시험

PSA시스템은 국내 용기 및 배관 규격에 따라 시험되어야만 한다. 개별 구성요소의 시험은 허용되어야만 하며, 연결부는 관련 압력용기 규격의 요구사항에 따라야 한다.

5.3.7.3.3 진공시험

강도시험 후에 진공시스템은 24시간 동안 진공을 유지해야 한다. 기밀성과 진공도는 관련 규정에 따라야만 한다.

5.3.7.3.4 컨테이너 환기 시험

PSA시스템을 수용하는 컨테이너 또는 건물의 환기 시스템은 현지 법규 또는 규정을 준수하는지 확인하기 위한 시험을 수행하여야만 한다. 배기팬이 가동된 상태에서 시간당 공기교환율을 확인해야 합니다. 환기의 효율성을 확인하기 위해 가스가 축적되는 위치를 기준으로 인화성 또는 유독성 가스 센서를 배치해야 합니다.

전기 외함의 전기장치 및 전선이 방폭형이 아닌 경우에 전기 회합은 1.0 kPa의 압력시험을 거쳐야 하며, 누설이 없는 경우 적합한 것으로 간주하여야 한다.

5.3.8 전기장치의 안전사양

수소생산지역의 전기시설은 KS C IEC 60079-10-1에 따라 보호되어야 한다. 옥외지역 및 잘 환기되는 건물 내부는 누출 및 다른 파손에 의한 수소의 잠재적 존재를 근거로 구분하여야 한다.(예 Zone 2 per KS C IEC 60079-10-1) 폭발위험지역 내의 전기장치 및 관련 배선은 KS C IEC 60079-0 및 KS C IEC 60079-14에 따라 선정되어 구성되어야 한다.

모든 급속외함, 배관, 기조, 틀은 KS C IEC 60204-1에 따라 접지되어야 한다.

5.3.9 감시장치의 안전사양

5.3.9.1 일반사양

운전기간동안의 주요 변수들은 지속적으로 감시하여야 한다. 작동이 실패한 경우 감시시스템은 경보 및/또는 가동중지 인터록을 개시해야 한다. 계장 설계 및 사양은 KS C IEC 61508 또는 기타 해당 지역 규정 또는 코드의 요구 사항을 준수해야 한다.

5.3.9.2 감시장치

5.3.9.2.1 압력측정 계기

압력 감시 데이터는 제어 시스템의 운전 상태를 결정하는 주요한 근거를 제공합니다. 이들 계기는 적절한 운전의 확인 및 장치의 손상을 확인하기 위해 흡착 및 탈착동안의 압력을 감시한다. 압력은 다음의 위치에서 감시가 가능하다; 공급가스, 흡착탑, 수소 공급, 완충탱크, 계장용 공기, 등.

과압은 PSA 시스템이 아래와 같은 상태에 놓인 것을 나타낸다.

- 다른 운전압력 용기 사이의 개/폐 밸브의 작동실패로 인한 닫힘(Fail to close)
- 조절 제어 밸브가 열리거나 닫히지 않거나 잘못된 위치로 이동
- PSA 시스템 토출 측 차단밸브가 닫힘, 그리고 PSA의 공급이 압축기에 의해 이루어짐

5.3.9.2.2 온도측정 계기

온도 측정은 공급 가스 및 생성물 수소의 계산을 보정하는 데 사용하고, 운전 중 흡착 공정의 감시 또는 제어하는 데 사용할 수 있습니다.

5.3.9.2.3 가스 성분 측정 계기

공급 또는 탈착 가스 흐름에서 위험한 혼합물을 생성하기에 충분한 산소가 포함될 수 있는 조건에서는 산소 농도가 가연성 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

공정조절밸브는 높은 압력 흐름에서 낮은 압력 흐름으로 누설을 예방하기 위해 밸브 위치를 조절시스템으로 보내는 밸브 위치 센서를 설치할 수 있다.

5.3.9.3 자동 가동중지 연동 시스템

PSA 시스템 감시 장치들 중에서 경보 신호가 보내는 경우 조사가 수행되어야 한다. 경보의 원인을 확인해야 하며, 문제를 해결하여 정상운전을 재개하여야 한다.

PSA 시스템의 안전한 운전을 위하여 다음의 상태 중 하나가 발생되는 경우 검사를 위한 가동중지가 가능하다.

- 압력, 온도, 공급가스의 조성이 경보 설정치를 넘는 경우
- 운전 중 공정 조절밸브가 작동 실패 또는 내부 밸브 누설 발생하여 차단이 불가
- 공기 중 수소농도가 1 %를 초과한 경우
- PSA 시스템 전원공급 실패
- 계장용공기의 압력이 인터록 값에 도달한 경우
- 공급 가스 또는 진공 탈착 공정 배관의 산소 함량이 허용 가능한 범위를 초과한 경우
- 완충 탱크 압력이 최대 허용가능 설정압력을 초과한 경우
- 장치 또는 배관에서 누설이 발생한 경우
- 공기 중 독성가스 농도가 허용값을 초과한 경우

PSA 시스템의 안전한 운전을 위해 필요한 경보 및 인터록을 확인하기 위한 위험성 재검토가 수행되어야 한다.

PSA 시스템 또는 상부공정 또는 하부공정의 다른 작동실패들도 PSA 시스템의 가동중지와 연계될 수 있다.

VI. 결론 및 제언

PSA 시스템은 향후 수소사용량 증대와 연계되어 부생수소 생산설비 증대, 도시가스와 연계된 수소생산설비 증대가 예상된다. 해외에서는 최근 PSA와 관련된 기술기준을 제정하여 설계단계에서부터 근본적인 위험성이 경감되도록 노력하고 있으나 국내에서는 아직까지 이러한 노력이 미흡한 편이었다. 따라서 이번 연구에서는 국내 PSA 운영사에서 수행한 위험성 평가, 사고사례, 국외기준이 포함된 기술기준을 작성하였다.

향후 이번엔 작성된 안전기준의 신뢰성 확보 및 사고 발생시 인근 주민들과 건물에 피해를 경감시키기

위한 방호벽 등의 조치를 추가로 연구하여 이를 안전 기준에 포함하는 것이 필요하겠다.

본 연구에서 제시한 기준이 KS 또는 관련기관의 기준으로 신속히 제정되어 기존 설치되어 운영중인 설비의 위험성 재검토를 통한 위험요인 감소대책으로 이어지고, 신규 설치되는 설비는 설계단계에서부터 검토, 반영된다면 PSA시스템의 사고예방에 기여할 뿐 아니라 근로자 및 인근 주민의 안전에 큰 도움이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 전남대학교 화학물질 안전관리 특성화

대학원(사)한국화학물질관리협회) 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사를 드립니다.

REFERENCES

- [1] 수소경제 활성화 로드맵 (2019)
- [2] ISO/TS 18883 Safety of pressure swing adsorption systems for hydrogen separation and purification (2017)
- [3] EIGA Doc 210/17 Hydrogen pressure swing adsorber mechanical integrity requirements(2017)
- [4] KS B ISO/TR 15916 수소시스템의 안전을 위한 기본적인 고려사항(2004)