

KOSHA GUIDE

D - 42 - 2021

수소 벤트스택 및 벤트배관의 공정설계에 관한 기술지침

2021. 12.

한국산업안전보건공단

안전보건기술지침의 개요

- 제정자 : 김재현
- 개정자 : 김재현, 이수희
- 개정자 : 전남대학교 장 희

○ 제정경과

- 2000년 6월 화학안전분야 기준제정위원회 심의
- 2000년 8월 총괄기준제정위원회 심의
- 2005년 8월 KOSHA Code 화학안전분야 제정위원회 심의
- 2005년 10월 KOSHA Code 총괄제정위원회 심의
- 2021년 11월 화학안전분야 기준제정위원회 심의

○ 관련규격

- CGA G-5.5 1996 : Hydrogen Vent Systems Compressed Gas Association
- Relief Systems Handbook, CYRIL F. PARRY
- API RP 521 : Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems
- NFPA 50A : Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites
- NFPA 50B : Liquified Hydrogen Systems at Consumer Sites
- NASA Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen System
- ISO/TR 15916, "Basic considerations for the safety of hydrogen systems", 2015

○ 기술지침의 적용 및 문의

- 이 기술지침에 대한 의견 또는 문의는 한국산업안전보건공단 홈페이지 (www.kosha.or.kr)의 안전보건기술지침 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 지침 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2021년 12월

제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

수소 벤트스택 및 벤트배관의 공정설계에 관한 기술지침 제안개요

I. 개정이유

가연성 가스인 수소를 취급하는 설비에 대한 관련 ISO/TR 15916 규격이 새로이 제정됨에 따라 관련 사항을 개정함.

II. 개정(안)의 주요 내용

1. 용어의 정의 일부 추가
2. 4장 설계 일반사항 일부 추가

III. 참조된 규격 및 관련자료

- CGA G-5.5 1996 : Hydrogen Vent Systems Compressed Gas Association
- Relief Systems Handbook, CYRIL F. PARRY
- API RP 521 : Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems
- NFPA 50A : Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites
- NFPA 50B : Liquefied Hydrogen Systems at Consumer Sites
- NASA Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen System
- ISO/TR 15916, "Basic considerations for the safety of hydrogen systems", 2015

IV. 제정위원회 심의개요

- 제 안 자: 전남대학교 화학공학부 장 희
- 심 의 일: 2021년 11월
- 주요 수정내용: 용어의 정의 추가, 자구 수정

수소 벤트스택 및 벤트배관의 공정설계에 관한 기술지침

1. 목적

이 지침은 정상운전 또는 비상 운전시 안전밸브 등에서 배출되는 수소를 연소 처리하지 못하고 대기로 방출하는 경우, 벤트스택 및 배관을 설계하는데 필요한 사항을 정하여 대기 중에서 수소 농도가 폭발하한계 이하가 되도록 하여 수소에 의한 화재·폭발을 예방하는데 그 목적이 있다.

2. 적용범위

이 지침은 안전보건규칙 [별표 7] “화학설비 및 그 부속설비의 종류”의 제2호의 화학설비의 부속설비중 수소를 취급하는 벤트스택 및 배관에 적용한다.

3. 용어의 정의

(1) 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.

(가) “벤트스택(Vent stack)”이라 함은 정상운전 또는 비상 운전시 방출된 가스 또는 증기를 소각하지 않고 대기중으로 안전하게 방출시키기 위하여 설치한 설비를 말한다.

(나) “폭연(Deflagration)”이라 함은 화염전파속도가 미반응 매질속에서 음속 이하의 속도로 이동하는 폭발 현상을 말한다.

(다) “폭굉(Detonation)”이라 함은 화염전파속도가 미반응 매질속으로 음속보다 큰 속도로 이동하는 폭발 현상을 말한다.

(라) “최고허용압력(Maximum allowable working pressure)”이라 함은 용기의 제작에 사용된 재료의 두께(부식 여유 제외한다)를 기준으로 하여 산출된 용기 상

부에서의 허용 가능한 최고의 압력을 말한다.

(마) “상온수소가스(Warm hydrogen gas)”라 함은 일반적으로 가스상태의 수소 저장 용기 등에서 발생하는 수소를 말한다.

(바) “저온수소증기(Cold hydrogen vapor)”라 함은 액체 상태의 수소에서 비등된 -253°C 근처의 차가운 수소를 말한다.

(사) “임계속도(Critical velocity)”라 함은 유체를 통하여 전달되는 음의 속도와 동일한 유체의 속도를 말한다.

(아) “공명 점화 (Resonance ignition)”라 함은 파이프 시스템에서 일어날 수 있는 반복적인 충격파의 결과로서 가연성 혼합물의 점화를 말하며, 공진의 구멍에서 음파의 진동은 빠르게 온도를 올릴 수 있는 원인이 되고 만약 입자들이 존재하고 기체 속도가 높다면 훨씬 더 빠르게 높은 값으로 도달하게 된다.

(2) 기타 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에서 특별히 규정하는 경우를 제외하고는 산업안전보건법, 동법 시행령, 동법 시행규칙, 안전보건규칙 및 기타 노동부 고시에서 정하는 바에 따른다.

4. 설계

4.1 일반사항

(1) 벤트스택은 얼음, 바람 및 지진 등에 견딜 수 있도록 설계하여야 한다.

(2) 수소가 벤트되는 경우에는 화재의 가능성이 항상 존재한다. 따라서 벤트스택 끝단에서 화재가 발생하는 경우에도 안전하게 처리될 수 있도록 설계하여야 한다.

(3) 수소가 공기중에서 폭발하면 $2.02 \text{ kg TNT/Nm}^3 \text{ GH}_2$ 의 위험이 있어 가능한 폭발이 일어나지 않도록 하여야 한다.

- (4) 대기 중에서 수소의 점화에너지는 0.017 mJ로 가장 낮고, 연소속도가 1,480 ~ 2,150 m/s로 사소한 마찰, 충격, 정전기 등에 의한 화재폭발의 위험이 크다.
- (5) 특히 벤트스택에서 수소가 방출될 때, 공기와 혼합되어 연소범위를 형성하면 점화에너지가 낮아 정전기 등에 의한 점화가 되어 즉시 폭굉과 충격파가 방출 중에 공명 점화가 발생할 가능성이 높아 불활성 가스와 함께 방출하는 것을 권장된다.
- (6) 수소 벤트시스템에는 수소와 공기의 혼합물이 항상 존재하므로, 폭연과 폭굉의 발생 가능성이 있다. 따라서 폭연과 폭굉의 발생에 대비한 안전대책으로 수소 벤트시스템의 길이와 지름(L/D)의 비율을 낮게하여야 한다.
- (7) 수소 벤트배관에는 질소 등과 같은 불활성 가스 배관을 설치하여 벤트시스템내에서 수소와 공기의 가연성 혼합물이 생기지 않도록 퍼지하여야 하며 또한 수소 벤트스택에서의 화재에 대비하여 질소 등을 소화용 가스로 항상 사용할 수 있도록 하여야 한다. 다만, 저온수소증기를 취급하는 벤트배관에는 헬륨 가스를 퍼지 또는 소화용으로 사용하여야 한다.
- (8) 저온수소증기를 방출시키는 벤트시스템인 경우에는 배관에서의 열수축을 고려하여야 한다.
- (9) 수소 배출원 간의 압력차이가 심하거나 또는 수소 배출원이 다수인 경우에는 하나의 벤트스택 보다는 다수의 벤트스택을 설치하며 이 경우에 벤트스택간의 거리는 최소한 5 m 이상 되어야 한다. 다만, 하나의 벤트스택에 여러 곳에서 배출되는 수소 벤트배관을 연결하는 경우에는 벤트시스템의 특정 부분의 압력이 증가되지 않고 안전밸브 등과 같은 모든 배출원에서 수소가 안전하게 배출되도록 설계한다.
- (10) 벤트배관의 가장 낮은 위치에는 배수설비(Drain)를 설치하여 배관내에서 응축되는 수분을 제거하여야 한다.

4.2 설계압력 및 온도

벤트스택 및 배관의 설계압력은 수소를 취급하는 용기중의 최고허용압력 또는 10 kg/cm^2 중 큰 값을 설계압력으로 한다. 상온수소가스용 벤트스택 및 배관의 설계온도는 최고운전 온도에 10°C 를 더한 수치 또는 최고 운전온도에 1.1을 곱한 수치중 큰 값을 설계온도로 하며, 저온수소증기용 벤트스택 및 배관의 설계온도는 최저운전 온도보다 10 % 이상 낮은 온도를 설계온도로 한다.

4.3 벤트스택 지름

벤트스택의 지름은 허용 가능한 압력손실과 배출 가스가 확산되는데 필요한 최소의 방출속도를 기준으로 결정한다. 또한 벤트되는 수소에 의한 화재, 소음 및 진동을 최소화할 수 있도록 벤트스택에서의 속도가 임계속도를 초과하지 않도록 한다.

- (1) 벤트스택의 지름은 벤트스택과 연결된 안전밸브 등에서 분출되는 수소를 충분히 대기로 방출시킬 수 있도록 결정되어야 한다. 따라서 벤트스택의 끝단으로부터 안전밸브 등의 후단에 걸리는 압력 손실은 안전밸브 설정압력의 10%를 넘지 않도록 하여야 한다. 다만, 후단압력의 영향을 받지 않도록 제작된 안전밸브 (Balanced type)인 경우에는 벤트스택의 끝단으로부터 안전밸브 등의 후단에 걸리는 압력 손실이 안전밸브 설정압력의 50%를 넘지 않도록 하여 벤트스택의 지름을 결정할 수 있다.
- (2) 수동조작 밸브 등을 통하여 수소를 방출하는 경우에는 수소가 대기 중으로 쉽게 확산될 수 있도록 방출속도를 150 m/s 기준하여 벤트스택의 지름을 결정한다.

4.4 벤트스택 높이

수소 벤트스택은 배출되는 수소의 온도에 따라 상온수소가스용 벤트스택과 저온수소증기용 벤트스택으로 구분하여 높이를 결정한다..

4.4.1 상온수소가스용 벤트스택

상온수소가스용 벤트스택의 높이는 다음 각 호의 수치중 가장 큰 수치로 하며, (3)호 및 (4)호에서 말하는 주변 기기 및 주변 건축물의 범위는 <붙임 1>에서 규정한 안

전거리 이내에 설치되어 있는 기기 및 건축물로 한다.

- (1) 방출되는 수소에 의하여 벤트스택 끝단에서 화재가 발생할 수 있으므로 지표면에서의 최대허용 복사열량 $4000 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2$ 를 적용하여 KOSHA GUIDE D-32-2012 "플래어 시스템의 공정설계 기술지침"에 따라 계산한 높이
- (2) 바닥으로부터 3 m
- (3) 주변 기기의 높이에 0.6 m 를 합한 수치
- (4) 주변 건축물의 지붕높이에 1.5 m 를 합한 수치

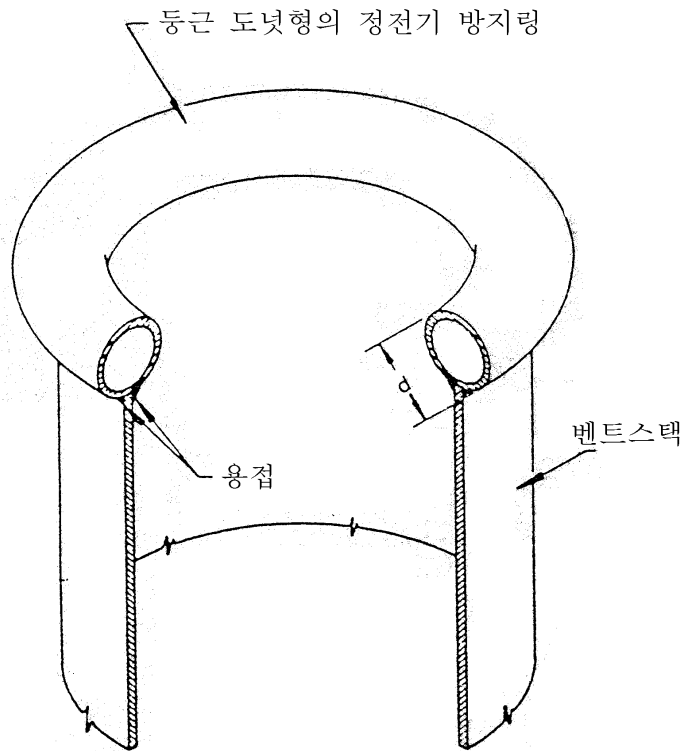
4.4.2 저온수소증기용 벤트스택

저온수소증기를 방출하는 벤트스택의 높이는 다음 각호의 수치중 가장 큰 수치로 한다.

- (1) 바닥에서 수소의 증기운이 형성되지 않도록 확산모델을 이용하여 계산한 높이
- (2) 바닥으로부터 7.5 m

4.5 정전기 방지링

수소 벤트스택의 끝단은 <그림 1>과 같이 둥근 도넛형 모양이 되도록 정전기 방지링을 설치하여 수소벤트에 의한 정전기의 부분 축적을 방지한다. 정전기 방지링의 지름은 <표 1>과 같다.



<그림 1> 정전기 방지링

<표 1> 정전기 방지링의 지름

벤트스택의 지름 D(mm)	정전기 방지링의 지름, d(mm)
$D < 200$	13
$200 \leq D \leq 300$	20
$300 < D$	25

5. 배관 재질

5.1 일반사항

- (1) 배관 및 배관 부속류의 재질은 수소의 압력 및 온도 사용조건에 적합한 것을 선정하여야 한다.
- (2) 배관 및 배관 부속류는 국제적으로 통용되는 배관의 국제규격(ASME B 31.3 등)

에 적합하여야 한다.

- (3) 저온수소증기용 벤트시스템에 사용되는 배관의 재질은 가장 낮은 사용온도에서 요구되는 충격 시험조건을 만족하는 재질이어야 한다.

5.2 배관

- (1) 300계열의 오스테나이트계 스테인레스강은 수소 벤트시스템에 가장 적합한 재질이며, 특히 304 스테인레스강은 상온의 수소에서부터 저온수소증기를 취급하는 경우에 적합하다.
- (2) 킬드강(Killed carbon steel) 재질은 일반적으로 상온 이상의 수소가스를 취급하는 경우에 한하여 제한적으로 사용할 수 있다.
- (3) 일반 탄소강(Unkilled carbon steel), 회주철(Gray iron), 구상흑연주철(Ductile iron) 또는 가단주철(Malleable iron)은 수소 벤트시스템에서 사용하여서는 아니된다.

5.3 배관 부속류의 재질

- (1) 알루미늄, 구리, 황동 및 청동 등과 같이 녹는점이 낮은 재질은 수소 벤트시스템의 부속품 재질로 사용하여서는 아니된다.
- (2) 수소 벤트시스템의 배관 가스킷은 흑연 등과 같이 쉽게 점화되지 않거나 또는 화재시 충분히 견딜 수 있는 재질을 사용하여야 한다.

6. 제작 및 설치

6.1 배관의 이음

- (1) 수소 벤트배관 및 튜브의 이음은 용접을 원칙으로 한다. 다만, 용접이 불가능한 경우에는 나사선, 플랜지 체결 및 기타 적절한 연결 방법을 사용하여 배관을 연

결할 수 있다.

- (2) 나사선 체결방식은 수소 누출의 가능성이 있으므로 가급적 사용을 줄이도록 하여야 하며, 이 연결 방식을 채택하는 경우에는 밀봉용접을 하여 누출을 최소화하여야 한다.
- (3) 하나의 배관 지지대에 여러개의 배관이 설치되는 경우, 수소 벤트배관의 연결 부위는 다른 배관의 연결 부위와 가까이 놓이지 않도록 하여 배관연결 부위에서 동시에 누출이 발생하더라도 가연성 혼합물의 생성을 방지하도록 한다.

6.2 접지 및 본딩

- (1) 수소 벤트배관은 접지를 하고 그 배관은 정전기적으로 연속성(전기저항 1,000 Ω 이하)을 유지하여야 한다.
- (2) 수소 벤트시스템의 플랜지부위 등 배관연결 부위에 정전기적으로 연속성이 유지되지 않는 경우, 정전기적 본딩을 하여야 한다.

6.3 보온

- (1) 저온수소증기를 취급하는 배관 등에는 적절한 보온 설비를 하여 작업자가 저온에 의한 상해를 입지 않도록 하여야 한다.
- (2) 보온 시공을 하는 경우에는 대기중의 공기가 보온재 내부로 유입되어 산소 농도가 높아지지 않도록 불연성 재질을 사용하거나 또는 진공 자켓을 사용한다.

6.4 설치

- (1) 수소 벤트스택을 공정지역으로 부터 이격된 장소에 설치하고자 하는 경우에는 금속재질의 줄(Rope) 또는 철 구조물 등을 사용하여 벤트스택을 지지한다.
- (2) 수소 벤트스택을 공정지역에 설치하고자 하는 경우에는 주변 기기의 지지대 또는 해당 공정의 철골 구조물 등을 활용하여 벤트스택을 지지한다.

<붙임 1> 수소취급설비와 주변 기기 및 건축물과의 안전거리

(단위 : m)

수소취급설비로부터 노출대상 및 형태		수소취급설비의 용량			
대 상		형 태	90 m³ 이하	90~450 m³	450 m³ 이상
건물 및 건축물		목재건물	3	7.5	15
		불연성 재료건물	0	3	7.5
		내화구조	0	0	0
지상의 인화성물질		4000 ℓ 이하	3	7.5	7.5
		4000 ℓ 이상	7.5	15	15
지하의 인화성 물질	4000 ℓ 이하	저장 탱크	3	3	3
		주입구 또는 방출구	7.5	7.5	7.5
	4000 ℓ 이상	저장 탱크	6	6	6
		주입구 또는 방출구	7.5	7.5	7.5
산소탱크 및 수소 이외의 가연성 가스		450 m³ 이하	3	7.5	7.5
		450 m³ 이상	7.5	15	15
가연성 고체		종이 톱밥 등	15	15	15
화기 및 점화원(전기적 점화원 포함)			7.5	7.5	7.5
공기압축기, 에어컨 및 환기시설의 공기흡입구			15	15	15
사무실			7.5	7.5	7.5
주차장			4.5	4.5	4.5

※ 단, 수소저장설비와 대상물과의 사이에 방화벽과 같은 보호구조물이 있는 경우에는 안전거리 적용을 제외할 수 있다.

지침 개정 이력

□ 개정일 : 2021.11.00.

- 개정자 : 전남대학교 화학공학부 장 희
- 개정사유 : 가연성 가스인 수소를 취급하는 설비에 대한 관련 ISO/TR 15916 규격이 새로이 제정됨에 따라 기존의 기술지침을 개정하여 사업장에서 이를 활용토록 하여 근로자의 안전을 도모하기 위함.
- 주요 개정내용
 - 용어의 정의 일부 추가
 - ISO/TR 15916 변경에 따른 4장 설계 일반사항 일부 추가
- 참조된 규격 및 관련자료
 - CGA G-5.5 1996 : Hydrogen Vent Systems Compressed Gas Association
 - Relief Systems Handbook, CYRIL F. PARRY
 - API RP 521 : Guide for Pressure Relieving and Depressuring Systems
 - NFPA 50A : Gaseous Hydrogen Systems at Consumer Sites
 - NFPA 50B : Liquified Hydrogen Systems at Consumer Sites
 - NASA Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen System
 - ISO/TR 15916, "Basic considerations for the safety of hydrogen systems", 2015