KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE

KOSHA GUIDE 기술지원규정

가스폭발 예방을 위한 폭연 방출구 설치에 관한 기술지원규정

C-C-83-2026

한국산업안전보건공단

기술지원규정은 산업안전보건기준에 관한 규칙 등 산업안전보건법령의 요구사항을 이행하는데 참고하거나 사업장 안전·보건 수준향상에 필요한 기술적 권고 규정임

기술지원규정의 개요

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 제·개정경과

- 2009년 9월 화학안전분야 제정위원회 심의
- 2009년 11월 총괄제정위원회 심의
- 2012년 7월 총괄 제정위원회 심의(개정,법규개정조항 반영)
- 2025년 12월 화학안전분야 전문위원회 심의(개정)
- 2026년 1월 표준제정위원회 본위원회 심의(개정)

○ 관련규격 및 자료

- NFPA 68 : Explosion protection by deflagration venting(2007)
- 한국화재보험협회 KFS 720 : 폭발벤팅 기준

○ 관련법규·규칙·고시 등

- 산업안전보건기준에 관한 규칙 제232조(폭발 또는 화재 등의 예방)

○ 기술지원규정의 적용 및 문의

- 이 기술지원규정에 대한 의견 또는 문의는 산업안전포털 홈페이지(portal.kosha.or.kr)의 기술지원규정(KOSHA GUIDE) 소관 분야별 문의처 안내를 참고하시기 바랍니다.
- 동 규정 내에서 인용된 관련규격 및 자료, 법규 등에 관하여 최근 개정본이 있을 경우에는 해당 개정본의 내용을 참고하시기 바랍니다.

공표일자 : 2026년 1월 30일
제 정 자 : 한국산업안전보건공단 이사장

목 차

1. 목적 ····· 1

2. 적용범위 ····· 1

3. 용어의 정의 ····· 1

4. 폭발 또는 화재 등의 예방에 관한 법적 필수사항 ····· 2

5. 폭연 방출구 설계에 관한 일반사항 ····· 3

6. 가스 혼합물 밀폐공간에 설치하는 방출구 면적 설계 ····· 7

7. 배관 등에 설치하는 폭연 방출구 설계 ····· 10

8. 폭연 방출구의 종류와 설치 방법 ····· 11

<부록 1> 계산식에 의한 폭연 방출구 면적 산출의 예 ····· 18

<부록 2> 그래프에 의한 방출구 면적 산출의 예 ····· 19

가스폭발 예방을 위한 폭연 방출구 설치에 관한 기술지원규정

1. 목적

이 규정은「산업안전보건법」제38조(안전상의 조치) 및「산업안전보건기준에 관한 규칙」제232조(폭발 또는 화재 등의 예방)에 따라, 가연성 가스의 폭발로 인한 피해를 최소화하는데 필요한 폭연 방출구의 설치 방법에 관한 규정을 정하는데 목적이 있다.

2. 적용범위

(1) 이 규정은 용기 등 밀폐공간에서 가연성 가스 또는 증기의 폭연(Deflagr-ation) 발생 시 연소가스와 압력을 신속히 밀폐공간 외부로 방출시킴으로써 폭굉(Detonation)을 예방하고, 이로 인한 구조물과 설비의 피해를 최소화 하기 위하여 설치하는 폭연 방출구의 설계 및 설치 방법에 적용한다.

(2) 이 규정은 다음의 경우에는 적용하지 아니한다.

(가) 폭약 등의 폭굉(Detonation)

(나) 가연성 가스(증기 포함)의 개방공간에서의 폭연

(다) 폭주반응용 비상벤트와 압력용기 및 저장탱크 등에 설치된 압력방출 장치

(라) 외부 화재 또는 다른 가열장치에 노출된 용기를 보호하기 위한 장치

3. 용어의 정의

(1) 이 규정에서 사용하는 용어의 뜻은 다음과 같다.

(가) "폭연(Deflagration)"이란 밀폐공간에서 연소속도가 음속보다 느리게 전파하는 폭발을 말한다.

(나) "폭굉(Detonation)"이란 밀폐공간에서 연소속도가 음속보다 빠르게 전파하는 폭발을 말한다.

(다) “폭연지수(Deflagration Index, K)″란 밀폐 설비(체적,V)내에서 연소로 인하여 상승되는 최고 압력상승율($\frac{dP}{dt}$)$_{max}$로부터 계산되며, 가연성 가스 및 인화성 액체(증기)의 폭연지수는 K_G로 나타낸다.

(라) “밀폐공간(Enclosure)”이란 전체가 밀폐되거나 또는 부분적으로 밀폐된 공간(체적)을 가진 밀폐 작업장, 용기, 탱크, 배관 및 덕트 내부 공간 등을 말한다.

(마) “폭연 방출구(Deflagration vent)”란 폭연 발생 시 연소가스와 압력을 밀폐공간으로부터 안전한 외부로 신속히 방출시키기 위하여 설치하는 개방된 통기문, 폐쇄된 창문 및 판넬 등을 말한다. (이하 “방출구”라 한다)

(바) “복합 혼합물(Hybrid mixture)”이란 인화성 가스와 가연성 분진의 혼합물을 말한다. 인화성 가스는 해당 가스가 폭발하한계의 10% 이상 포함된 것을 말한다.

(사) “최대압력(Maximum pressure, P_{max})”이란 인화성 가스 또는 혼합물이 밀폐공간에서 폭연이 발생한 경우 최대로 상승할 수 있는 압력을 말한다.

(아) “감쇄압력(Reduced pressure, P_{red})”이란 밀폐공간으로부터 폭연이 방출되는 동안 밀폐공간에 생성될 수 있는 최대 압력을 말한다.

(자) “방출구 개방압력(Static activation pressure, P_{stat})”이란 압력이 서서히(압력증가율이 10 kPa/min 이하) 증가할 때 방출구 뚜껑이 열리는 압력을 말한다.

(차) “저강도 밀폐공간(Low strength enclosure)”이란 10 kPa(0.1 bar)이하의 압력을 견딜 수 있는 밀폐공간을 말한다.

(타) “고강도 밀폐공간(High strength enclosure)”이란 10 kPa(0.1 bar)를 초과하는 압력을 견딜 수 있는 밀폐공간을 말한다.

(2) 그밖에 용어의 뜻은 이 지침에서 규정하는 경우를 제외하고는「산업안전보건법」, 같은 법 시행령, 같은 법 시행규칙 및 「산업안전보건기준에 관한 규칙」에서 정하는 바에 따른다.

4. 폭발 또는 화재 등의 예방에 관한 법적 필수사항

다음은 산업안전보건법령에 관한 사항으로써 반드시 준수하여야 한다.

산업안전보건기준에 관한 규칙 제232조(폭발 또는 화재 등의 예방)

① 사업주는 인화성 액체의 증기, 인화성 가스 또는 인화성 고체가 존재하여 폭발이나 화재가 발생할 우려가 있는 장소에서 해당 증기·가스 또는 분진에 의한 폭발 또는 화재를 예방하기 위해 환풍기, 배풍기(排風機) 등 환기장치를 적절하게 설치해야 한다.

② 사업주는 제1항에 따른 증기나 가스에 의한 폭발이나 화재를 미리 감지하기 위하여 가스 검지 및 경보 성능을 갖춘 가스 검지 및 경보 장치를 설치해야 한다. 다만, 한국산업표준에 따른 0종 또는 1종 폭발위험장소에 해당하는 경우로서 제311조에 따라 방폭구조 전기기계·기구를 설치한 경우에는 그렇지 않다.

5. 폭연 방출구 설계에 관한 일반사항

5.1 기본 개념

(1) 폭연지수(K)는 밀폐공간(체적,V)에서 연소 시 생성되는 최고 압력상승률로 부터 식(1)과 같이 계산된다. 폭연지수와 최대압력(P_{max})은 방출구 크기 설계에 활용된다.

$$K = \left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} \cdot V^{1/3} \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서,

K : 폭연지수 [bar·m/sec]

$(dP/dt)_{max}$: 최고압력상승률(Maximum rate of pressure)[bar/sec]

V : 용기 체적[㎥]

(2) 폭연지수(K)는 가스인 경우에 K_G, 분진인 경우에 K_{st}라 표기하며, 가장 정확한 값은 실험에 의하여 결정된다.(<별표 1> 참조)

(3) 가스의 폭연지수 K_G의 경우는 실험에 의한 값이며, 실험값이 없는 경우에는 프로판의 K_G값 100 bar·m/sec)를 기준으로 하여 기본연소속도(S_u, Fundamental burning velocity)로부터 유추한다. (각 주요물질의 기본연소속도는 <별표 2> 참조)

5.2 혼합물의 폭연지수

(1) 방출구 설치 시 적용하는 가스 혼합물의 폭연지수(K_G)는 혼합물 조성의 폭연지수 중에 가장 큰 폭연지수를 적용한다.

(2) 복합 혼합물에 방출구를 설치하는 경우에는 혼합물 중 분진의 폭연지수(K_{st}) 실험값을 적용한다. 실험값이 없을 경우에는 프로판의 연소 특성치를 활용하여 P_{max} = 10 bar, K_{st}는 500 bar·m/sec를 적용한다.

5.3 밀폐공간의 강도 설계

5.3.1 밀폐공간 설계의 압력설정 기준

(1) 감쇄압력(P_{red})은 취급 밀폐공간 재질의 극한강도(Ultimate stress, 변형이 일어나지 않는 허용 강도)의 2/3를 초과하지 않아야 한다.

(2) 변형이 허용되지 않을 경우에 감쇄압력(P_{red})은 취급 밀폐공간의 항복응력(Yield strength)의 2/3를 초과하지 않아야 한다.

(3) 밀폐공간의 설계는 압력용기 설계 규정 등을 활용하며, 계산에 따라 최고 허용압력(P_{mawp}, Maximum allowable working pressure)으로 설계한다.

(가) 파열되지는 않으나, 영구변형으로 허용 가능한 밀폐공간을 위한 P_{red}와 P_{mawp}는 식(2)로 나타낸다.

$$P_{red} \leq \left(\frac{2}{3}\right) \cdot F_u \cdot P_{mawp} \cdots\cdots (2)$$

(나) 영구변형으로도 허용이 가능하지 않는 밀폐공간을 위한 P_{red}와 P_{mawp}는 식(3)으로 나타낸다.

$$P_{red} \leq \left(\frac{2}{3}\right) \cdot F_y \cdot P_{mawp} \cdots\cdots (3)$$

여기서

P_{red} = 방출되는 동안 밀폐공간(용기)에 생성되는 최대 압력(bar)

F_u = 압력용기설계 기준에서 용기의 최고 강도와 용기의 허용강도 비율

P_{mawp} = 압력용기설계 기준에 따른 용기의 설계압력(bar)

F_y = 압력용기설계 기준에서 용기 제작 재료의 허용강도와 항복응력의 비율

(다) 주철과 같이 부서지기 쉬운 재질의 경우에는 특별한 보강을 하여야 한다. 보강조치를 하지 않을 경우, 최고허용설계 강도는 극한강도의 25%를 초과해서는 아니 된다.

5.3.2 벽 또는 지붕으로의 방출

(1) 벽이나 지붕으로 방출할 경우에는 작업자나 그 밖의 기계·설비 등 물적인 손상이 없도록 설치하여야 한다.

(2) 방출구로 허용되는 지붕은 허용 압력에서 열리도록 가벼워야 하며, 눈이나 얼음 등에도 불구하고 잘 열릴 수 있도록 관리하여야 한다.

5.4 밀폐공간의 길이와 직경비 및 방출 변수

(1) 일반적으로 폭연은 밀폐공간의 말단에서 방출되도록 설계하여야 하나, 최적의 효과적인 방출구 면적 산출은 밀폐공간의 전 범위에 확산되는 P_{red}에 의하여 결정한다.

(2) 방출구는 밀폐공간의 길이에 따라 하나 이상으로 분산하여 설치할 수 있으며, 크기(면적)는 밀폐공간의 길이(L)와 직경(D)의 비(L/D)에 따라 결정한다.

5.5 방출구 뚜껑(Closure)의 개방

(1) 방출구 뚜껑은 쉽게 열리도록 하여야 한다.

(2) 방출구 뚜껑은 뚜껑의 내외부 부식, 충전물의 축적, 눈이나 얼음 등에도 불구하고 잘 열릴 수 있도록 관리하여야 한다.

(3) 공정내 또는 공정과 연결된 밀폐공간에 설치하는 방출구 뚜껑은 공정에 사용하는 물질 특성에 따라 부식에 강한 재질을 선정하여야 한다.

(4) 방출구 뚜껑은 방출구로부터 내용물 및 압력이 쉽게 방출될 수 있도록 내·외부를 청결하게 관리하여야 한다.

(5) 옥외에 설치하는 방출구의 뚜껑 및 덕트는 빗물이나 그 밖의 부스러기 등이 들어올 수 있으므로 수평으로 설치해서는 아니 된다. 다만, 빗물이 들어오지 못하도록 뚜껑 및 덕트 상부에 보호막을 설치한 경우에는 그러하지 아니하다.

(6) 방출구 뚜껑은 방출구 개방압력(P_{stat})이나 제조자가 정한 압력범위 내에서 열리도록 하여야 한다.

(7) 방출구 뚜껑은 개방압력 이하의 변동 압력에서 열려서는 아니 된다.

5.6 폭연의 영향

(1) 폭연으로 방출구가 열리는 동안에는 설비 내용물과 압력이 구조물, 설비 및 인명에 대하여 피해를 주지 않도록 안전한 외부로 직접 유도하여야 한다.

(2) 방출구는 공기가 유입되는 장소와 떨어진 곳에 설치하여야 하며, 그 이격거리는 화구(Fireball)가 생성되는 길이 이상이 되도록 설계하여야 한다. 화구길이의 계산은 식(10)과 같다.

(3) 방출구는 사무실 건물 및 작업장으로부터 화구길이 이상으로 떨어진 곳에 설치 하여야 한다. 다만, 위험성 평가 결과 전문가의 판단에 따라 그 거리를 줄일 수 있다.

(4) 사무실 건물 및 작업장으로부터 화구길이 이상으로 떨어진 곳에 방출구 설치가 불가능하거나 그 거리를 최소화하기 위해 방호판(Deflector)을 다음 각 호와 같이 설치한다. 화염길이가 길 경우 방호판을 설치하여도 효과가 없기 때문에 밀폐용기의 체적이 20 ㎥ 이하인 경우에만 설치한다.

(가) 방호판의 크기(직경)는 가능한 한 방출구 크기(직경)의 1.75배로 한다.

(나) 방호판은 그림 1과 같이 방출구 각도와 45~60°의 기울기를 갖도록 설치한다.

(다) 방호판 설치는 방출구로부터 방출구 직경(D)의 1.5D 거리에 설치한다.

(라) 방호판은 폭발 시 감쇄압력(P_{red})으로 계산되는 방출압력에 견디어야 한다.

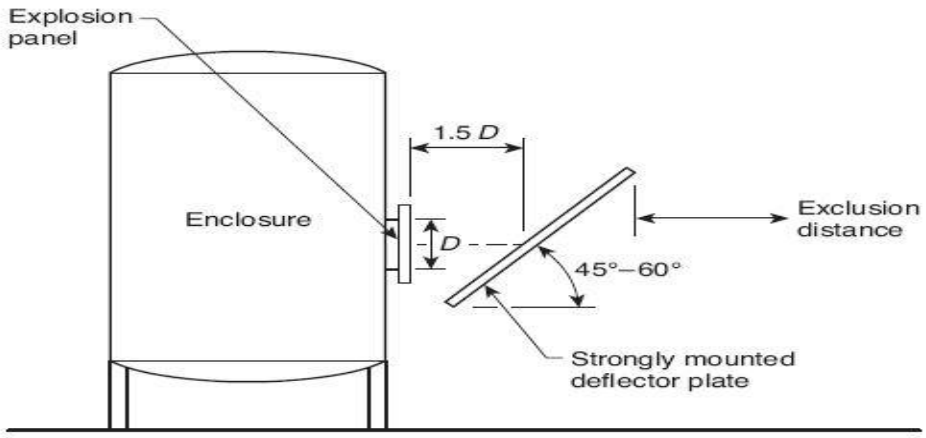
5.7 방출용 덕트

(1) 건물내부의 밀폐공간에 설치된 방출구의 경우, 방출구로부터 옥외까지 유도하도록 방출용 덕트를 설치하여야 한다.

(2) 방출용 덕트의 크기(직경)는 방출구 크기(직경) 이상으로 설계하여야 한다.

(3) 덕트는 불연성 재질로 제작하여야 하며, P_{red} 강도에 견디어야 한다.

(4) 덕트 길이가 길거나 위험성 평가를 실시한 후 필요하면 방출용 덕트 내에 화염방지기를 설치한다.



<그림 1> 용기에 설치된 방출구에 방호판 설치 설계

6. 가스 혼합물 밀폐공간에 설치하는 방출구 면적 설계

6.1 개요

(1) 이 장에서의 방출구 면적 설계는 가연성 가스, 혼합물 또는 미스트를 취급하는 L/D≤5 밀폐공간에 적용한다.

(2) 가연성 미스트는 폭연지수 K_G의 경우에는 실험에 의한 값을 사용하며, 실험값이 없는 경우에는 프로판의 K_G 값 100 bar·m/sec를 기준으로 하여 기본연소 속도(S_u, 프로판 46 ㎝/sec)로부터 유추하여 사용한다.

6.2 저강도 밀폐공간에 설치하는 방출구 설계

(1) 저강도 밀폐공간을 위한 방출구 설계는 P_{red}가 10 kPa(0.1 bar) 이하에 견디는 설비에 적용한다.

(2) 저강도 밀폐공간을 위한 최적 요구 방출구 면적은 식(4)에 의해 구한다.

$$A_v = \frac{C.A_s}{P_{red}^{1/2}} \quad \cdots\cdots (4)$$

여기서

A_v = 방출구 면적(m^2)

C = 방출변수

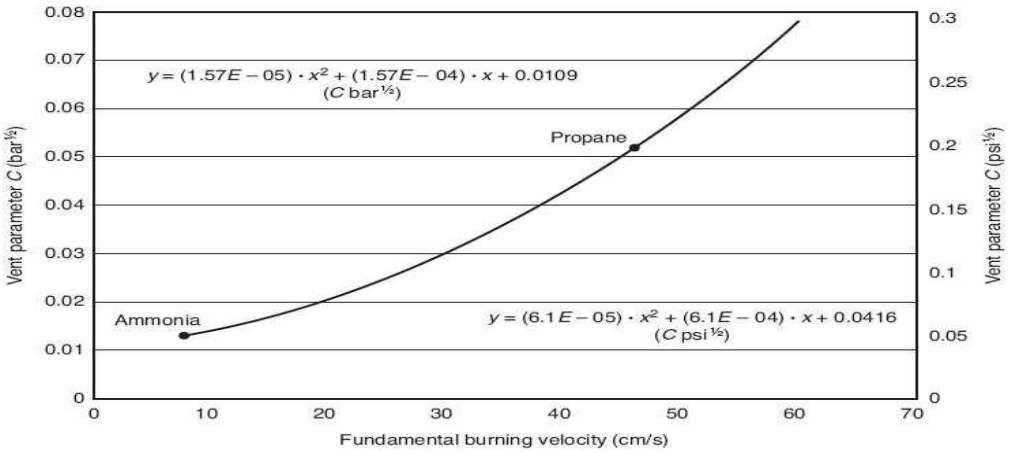
A_s = 용기의 내부 표면적(m^2)

P_{red} = 방출되는 동안의 밀폐공간(용기)에 발생하는 최대 압력(bar)

(가) 방출변수(C)는 기본연소속도(S_u)가 60 ㎝/sec 이하인 경우에 식(5)에 따라 정의한다.

$$C(bar^{1/2}) = 1.57 \times 10^{-5} \cdot (Su)^2 + 1.57 \times 10^{-4} \cdot (Su) + 0.0109 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (5)$$

(나) <그림 2>에서 S_u 값 대비 C 값을 결정하여 사용하며 가연성 증기나 미스트로 S_u값이 60 ㎝/sec 까지 적용이 가능하다.



<그림 2> 방출변수와 기본연소속도의 함수

(3) 방출구 뚜껑의 무게는 K_G가 130 bar·m/sec 인 경우 40 kg/m^{2}로 하고, 그 이하일 경우 이에 상응하는 적은 무게로 설치한다.

6.3 고강도 밀폐공간에 설치하는 방출구 설계

(1) 고강도 밀폐공간을 위한 방출구 설계는 P_{red}가 10 kPa(0.1 bar) 초과에 견디는 설비에 적용한다.

(가) L/D의 값이 2 이하인 경우에는 식(6)에 따라 방출구 면적 A_v를 계산 한다.

$$Av = \{[(0.127) \cdot \log_{10}(K_G) - (0.0567)] \cdot P_{red}^{-0.582}\} \cdot V^{2/3} + [(0.175) \cdot P_{red}^{-0.572}(P_{stat} - 1)] \cdot V^{2/3} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (6)$$

여기서

$K_G \leq 550bar\text{-}m/sec$

$P_{red} \leq 2bar$ 및 최소 $0.05bar > P_{stat}$

$P_{stat} \leq 0.5bar$

$V \leq 1000m^3$

점화전 최초 압력 ≤ 0.2 bar

(나) L/D의 값이 2 이상 5 이하인 경우에는 (가)에서 구한 면적에 식(7)에서 구한 면적을 더한다.

$$\triangle A = [A_v \cdot K_G \cdot (\frac{L}{D}-2)^2] \div 750 \quad \cdots\cdots\cdots\

(3) P'_{red}를 식(8) 또는 식(9)를 이용하여 구한 값을 적용할 수 있다.

(가) 덕트의 길이 3 m 이하인 경우

$$P'_{red} = 0.779 \cdot (P_{red})^{1.161} \quad \cdots\cdots (8)$$

(나) 덕트의 길이 3 m 초과 6 m 이하인 경우

$$P'_{red} = 0.172 \cdot (P_{red})^{1.936} \quad \cdots\cdots (9)$$

6.5 화구크기 계산

(1) 방출된 가연성 가스의 폭연으로부터 위험지역(Hazard zone) 범위의 계산은 식(10)에 따른다.

$$D = 3.1 \cdot \left(\frac{V}{n}\right)^{0.402} \quad \cdots\cdots (10)$$

여기서

D = 화구 직경(방출구로부터 화구의 중심까지의 거리, m)

V = 방출된 용기의 부피(m^3)

n = 설치된 방출구 수

(2) 한 면이 벽면 등으로 막혀 있을 경우에는 화구 크기의 반을 이격거리로 한다.

7. 배관 등에 설치하는 폭연 방출구 설계

7.1 개요

(1) 이 장에서의 방출구 설계는 가연성 가스를 20 kPa(0.2 bar)이하로 운전하는 밀폐공간에 적용한다.

(2) 이 장에서는 배관과 덕트 및 긴 용기(이하 이장에서는 “배관등”이라 한다) 는 L/D>5 이상인 설비에 적용한다.

(3) 이 장에서는 산화제가 포함되어 있지 않은(공기 중) 가스 혼합물에 적용한다.

7.2 방출구 면적 설계

(1) 배관등에 설치하는 방출구는 폭연에서 폭굉으로 전이되는 것을 방지하기 위함이다.

(2) 배관등에 설치하는 각 방출구는 배관의 전면적에 동등하게 설치하여야 한다.

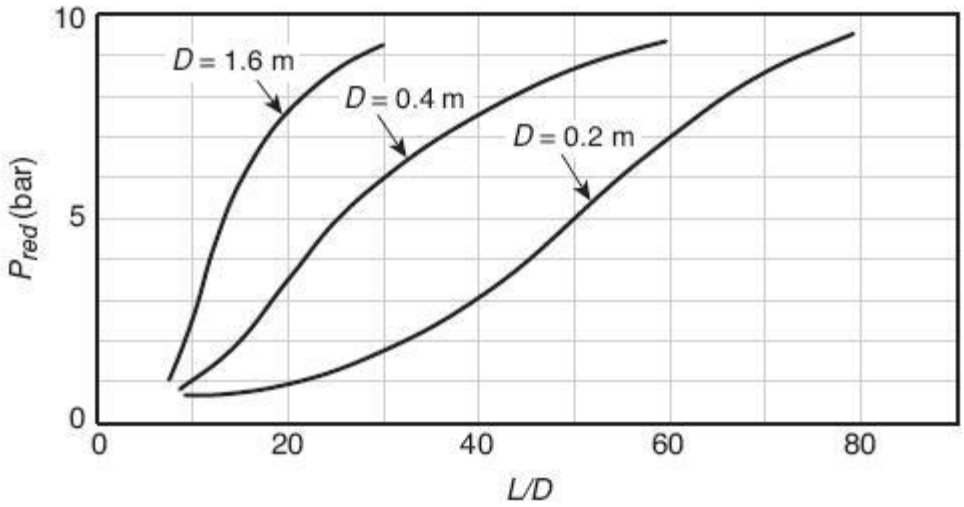
(3) 직경이 2 m 이상이며, L/D > 20이상인 경우에는 방출구를 2개 이상 설치하여야 한다.

(4) 설치되는 방출구 뚜껑의 무게는 12.2 kg/m^2 이하로 한다.

(5) 방출구 뚜껑에 가해지는 폭발 과압은 30 kPa(0.3 bar)이하이어야 한다.

(6) 방출되는 동안의 최고 감쇄압력(P_{red})은 배관등의 재질 항복응력의 50% 이하가 되어야 한다.

(7) 유속이 2 m/sec 이하의 프로판이나 S_u가 60 cm/sec 이하인 인화성 가스 배관 등에 방출구 설계 시 적용하는 P_{red}는 <그림 4>에서 찾을 수 있다.



<그림 4> 직경(D), L/D 와 P_{red}의 결정

8. 폭연 방출구의 종류와 설치 방법

8.1 평시 개방형(Normally open)의 방출구

8.1.1 환기관식 개방구(Louvered opening)

(1) P_{red}의 압력은 환기관식 방출구는 설비의 설계에 따라 계산된다.

(2) 환기관식 방출구를 통한 압력 감소는 가스 흐름 계산에 의하여 결정되며, P_{red}가 적용되어야 한다.

8.1.2 매달린 형태의 방출구(Hangar-type door)

(1) 폭연 위험 물질을 취급하는 실이나 건물의 벽에는 매달린 형태의 방출구나 상부 방출구(Overhead door)를 설치하여야 한다.

(2) 폭연 위험이 있는 물질을 취급하는 공정이나 설비를 운전하는 동안에는 가스가 쉽게 방출될 수 있도록 방출구는 항상 열려 있어야 한다.

(3) 폭연 위험이 있는 공정설비에서 공정이 운전될 때는 문이 항상 열리도록 연동장치를 설치하여야 한다.

8.2 평시 폐쇄형(Normally closed)의 방출구

(1) 방출구 뚜껑을 설계하거나 제조하는 사람은 설치 시에 적용할 수 있도록 뚜껑의 P_{stat}의 값과 허용오차를 기록해 두어야 한다.

(2) P_{stat}는 뚜껑을 조립 고정한 후, 뚜껑 열림이 기계적으로 완전하게 작동하는지를 검사하여야 한다.

(가) 기계적으로 열리도록 하기 위하여 잡아 두는 부품(고리, 스프링, 자석, 마찰력 금구, 파열기구 등)이 필요하다.

(나) 방출구 뚜껑의 현장 조립을 위하여 설계자는 밀폐공간의 표면적, 방출구 면적, 뚜껑 재질, 재질의 무게 P_{red}, P_{stat}, 고리, 금구 부품, 수량 등의 명세를 알려주어야 한다.

(3) 뚜껑은 사용되는 온도 등 운전 조건에 맞도록 설계되어야 한다.

8.3 건물이나 작업실에 설치하는 방출구

(1) 힌지형(hinged) 문, 창문 및 판넬은 계산된 압력 하에서 열리도록 회전 금구로 고정되어 있다.

(가) 산업용 오븐, 건조기, 혼합기에 설치하는 방출구 뚜껑에는 마찰식, 스프링 하중식, 자석식 등이 사용된다.

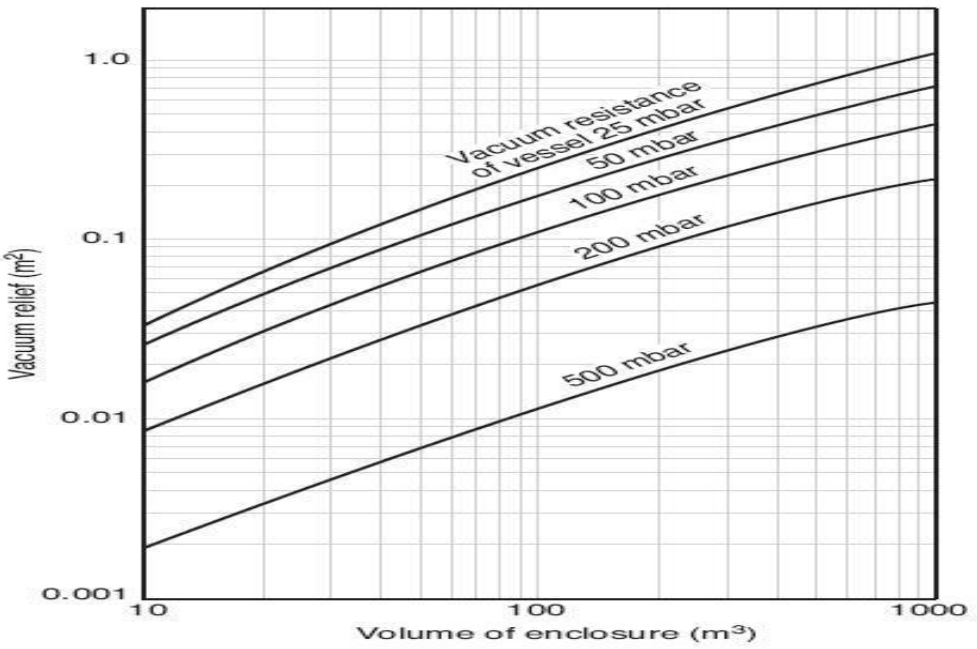
(나) 힌지가 회전되어 뚜껑이 열릴 때에는 압력 방출에 방해 되지 않아야 하며, 작업자가 뚜껑을 여는 경우에도 안전을 위하여 힌지가 탈락되어서는 아니된다.

(2) 뚜껑의 재질은 깨지기 쉽고 날카롭지 아니 한 것을 사용하여야 한다.

8.4 진공 방출용 방출구

(1) 진공 해지용 방출구(Vacuum breaker)는 진공설비의 변형을 방지하기 위하여 설치한다. 진공 방출용 방출구는 P_{red}에 견디도록 충분히 강하게 설치하거나 안전한 곳으로 방출될 수 있도록 열려야 한다.

(2) 진공 방출용 방출구는 <그림 5>에 따라 설계된다.



<그림 5> 진공으로 사용하는 용기와 진공 해지용 방출구 면적

<별표 1>

5L(0.005m^3) 용기에서 인화성 가스 및 액체별의 특성치

Flammable Material	P_{max} (bar)	K_G (bar-m/sec)
Acetophenone[a]	7.6	109
Acetylene	10.6	1415
Ammonia[b]	5.4	10
β-Naphthol[c]	4.4	36
Butane	8.0	92
Carbon disulfide	6.4	105
Diethyl ether	8.1	115
Dimethyl formamide[a]	8.4	78
Dimethyl sulfoxide[a]	7.3	112
Ethane[a]	7.8	106
Ethyl alcohol	7.0	78
Ethyl benzene[a]	7.4	96
Hydrohen	6.8	550
Hydrohen sulfide	7.4	45
Isopropanol[a]	7.8	83
Methane	7.1	55
Methanol[a]	7.5	75
Methylene chloride	5.0	5
Methyl nitrite	11.4	111
Neopentane	7.8	60
Octanol[a]	6.7	95
Octyl chloride[a]	8.0	116
Pentane[a]	7.8	104
Propane	7.9	100
South African crude oil	6.8~7.6	36~62
Toluene[a]	7.8	94

※ 기본적인 점화에너지는 10J, a는 온도를 상승하여 25℃에서 측정, b의 점화에너지는 100~200J, c는 200℃에서 측정

<별표 2>

인화성 가스 및 액체별의 기본연소속도

인화성 가스/액체	기본 연소속도 (cm/sec)	인화성 가스/액체	기본 연소속도 (cm/sec)
Acetone	54	Ethyle acetate	38
Acetylene	166	Ethylene oxide	108
Acrolein	66	Ethylenimine	46
Acrylonitrile	50	Gasoline (100-octane)	40
Allene (propadiene)	87	n-Heptane	46
Benzene	48	Hexadecane	44
n-butyl-	37	1,5-Hexadiene	52
tertbutyl-	39	n-Hexane	46
1,2-dimethyl-	37	1-Hexene	50
1,2,4-trimethyl-	39	1-Hexyne	57
1,2-Butadiene (methylallene)	68	3-Hexyne	53
1,2-Butadiene	64	HFC-23 Difluoromethane	6.7
2,3-dimethyl-	52	HFC-143 1,1,2-Trifluoroethane	13.1
2-methyl-	55	HFC-143a 1,1,1-Trifluoroethane	7.1
n-Butane	45	HFC-152a 1,1-difluoroethane	23.6
2-cycloproyl-	47	Hydrohen	312
2,2-dimethyl-	42	Isopropyl alcohol	41
2,3-dimethyl-	43	Isopropylamine	31
2-methyl-	43	Jet fuel, grade JP-1 (average)	40
2,2,3-trimethyl-	42	Jet fuel, grade JP-4 (average)	41
Butanone	42	Methane	40
1-Butene	51	diphenyl-	35
2-cyclopropyl-	50	Methyl alcohol	56
2,3-dimethyl-	46	1,2-Pentadiene (ethylallene)	61
2-ethyl-	46	cis-1,3-Pentadiene	55
2-methyl-	46	trans-1,3-Pentadiene (piperylene)	54
3-methyl-	49	2-methyl-(cis or trans)	46
2,3-dimethl-2-butene	44	1,4-Pentadiene	55
2-Buten 1-yne (vinylacetylene)	89	2,3-Pentadiene	60
1-Butyne	68	n-Pentane	46
3,3-dimethyl-	56	2,2-dimethyl-	41
2-Butyne	61	2,3-dimethyl-	43
Carbon disulfide	58	2.4-dimethyl-	42
Carbon monoxide	46	2-methyle-	43
Cyclobutane	67	3-methyle-	43
ethyl-	53	2,2,4-trimethyl-	41
isopropyl-	46	1-Pentene	50
methyl-	52	2-methyl-	47
Methylene	61	4-methyl-	48
Cyclohexane	46	cis-2-Pentene	51
methyl	44		
Cyclopentadiene	46		
Cyclopentane	44		
methyl-	42		

<별표 2>

Cyclopropane	56	1-Pentene	63
cis-1,2-dimethyl-	55	4-methyl-	53
trans-1,2-dimethyl-	55	2-Pentyne	61
ethyle-	56	4-methyl-	54
Methyl-	58	Propane	46
1,1,2-trimethyl-	52	2-cyclopropyl-	50
trans-Decalin (decahydronaphthalene)	36	1-deutero-	40
n-Decane	43	1-deutero-2-methyl-	40
1-Decene	44	2-deutero-2-methyl-	40
Diethyl ether	47	2,2-dimethyl-	39
Dimethy ether	54	2-methyl-	41
Ethane	47	2-cyclopropyl-	53
Ethene(ethylene)	80	2-methyl-	44
		Propionaldehyde	58
		Propylene oxide (1,2-epoxypropane)	82
		1-Propyne	82
		Spiropentane	71
		Tetrahydropyran	48
		Tetralin (tetrahydronaphthalene)	39
		Toluene (methylbenzene)	41

※ 본 기본 연소속도(Fundamental burning velocity)는 NACA REPORT 1300, Chemical Engineers` Handbook 5th, Edition, McGraw-Hill, New York, 1973

<부록 1>

계산식에 의한 폭연 방출구 면적 산출의 예

1. 문제

6.0m(L)×9.2m(W)×6.1m(H)의 톨루엔 취급 작업장(내부 표면적 297 m^2)으로 가정한다. 톨루엔은 인화성 강한 액체로써 기본연소속도가 빠르기 때문에 방출구를 설치하여야 한다. 외부의 접합 벽은 폭압에 견디도록 설계되어 있다. 작업장 내부로 접한 3면의 벽 내장재는 5 kPa(P_{red} 값, 0.05 bar)에 견디도록 설계되었다.

여기에 폭연 방출구 설치를 위한 면적은?

2. 답

(1) 방출구 면적 계산은 식(4)로부터

$$A_v = \frac{C.A_s}{P_{red}^{1/2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

(2) 톨루엔의 기본 연소속도 S_u는 별표 2로부터 41cm/sec임을 알 수 있으며, 본문 <그림 2>로부터 C 값이 0.043을 구할 수 있다.

(3) P_{red}는 0.05 bar이므로

$$\text{방출구 면적}(A_v) = \frac{0.043 * 297}{0.05^{1/2}} = 57\ m^2$$

(4) 만약에 내장재를 72 kPa(P_{red} 값, 0.72 bar)에 견디도록 설계되었다면 방출구 면적은 15 m^2로 줄어들 것이다.

<부록 2>

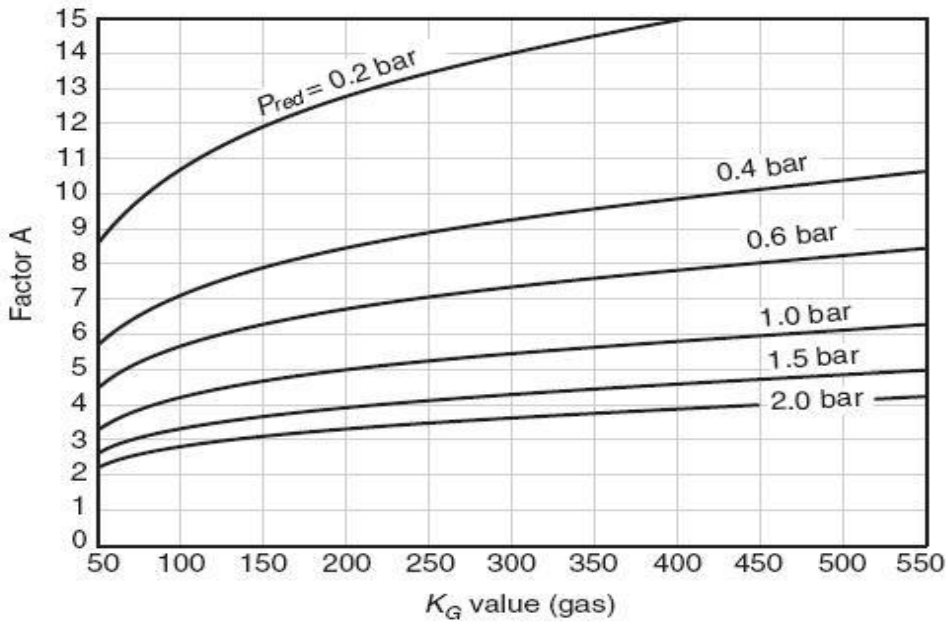
그래프에 의한 방출구 면적 산출의 예

1. 부록 <그림 1>부터 부록 <그림 7>까지는 본문 식(6)과 식(7)을 기반으로 하여 방출구 면적을 결정할 수 있다. 그래프는 방출구 면적을 결정하는 1차 수단이며, 두개의 식에 의해 계산된 방출구 면적이 올바른지 증명하는데 사용된다.

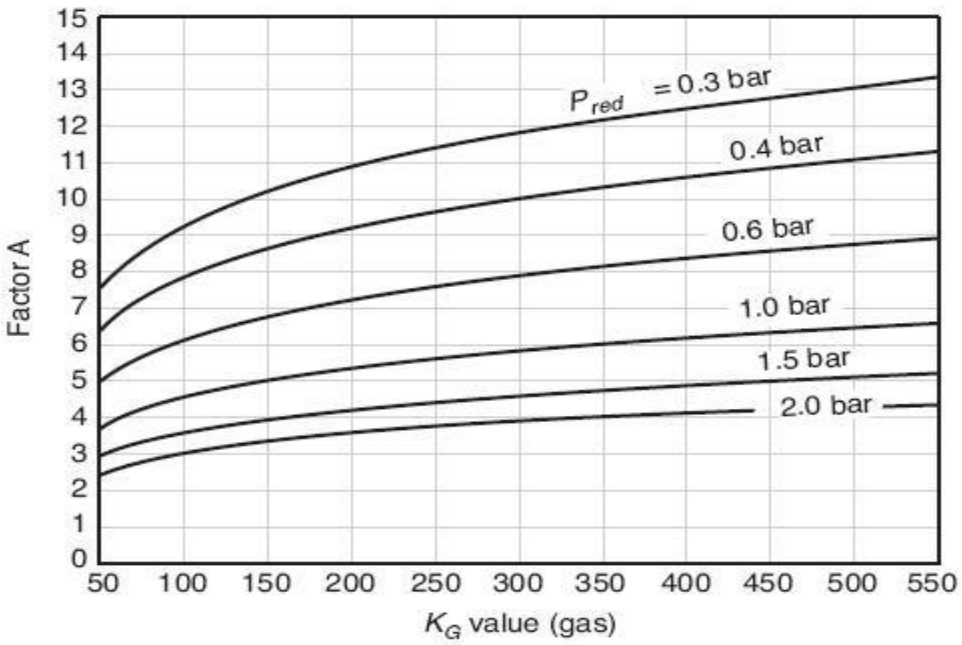
2. 각 Factor 설명

2.1 Factor A

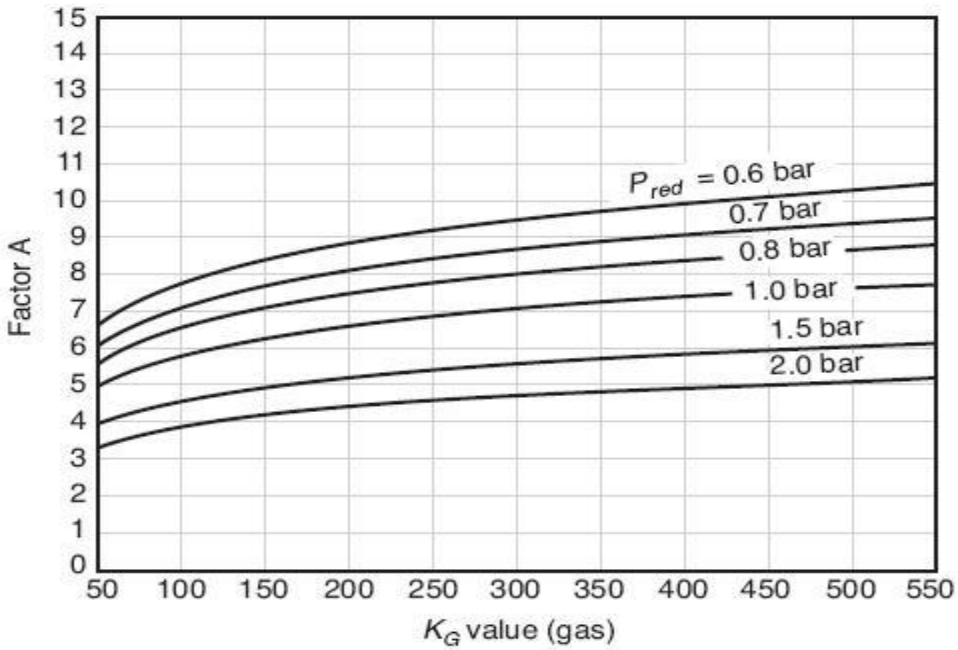
그래프(그림1에서 그림3까지)는 적절한 방출구 개방압력(P_{stat})에 따라 선택된다.
X좌표 K_G 값에 따라 P_{red}과 만나는 점에서 Y좌표의 Factor A를 읽으면 된다.



<그림 1> 가스를 위한 방출구 크기, P_{stat} = 10kPa(0.1bar)



<그림 2> 가스를 위한 방출구 크기, P_{stat} = 20kPa(0.2bar)

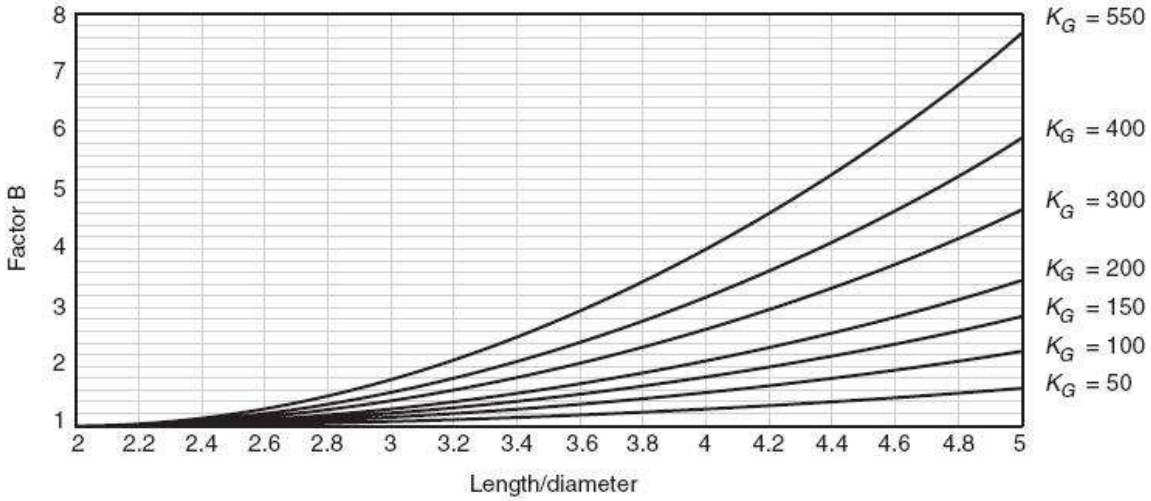


<그림 3> 가스를 위한 방출구 크기, P_{stat} = 50kPa(0.5bar)

2.2 Factor B

만약 용기의 L/D가 2를 초과하고, P_{red}가 2bar이하면 Factor B로 결정한다, <그림 4>를 활용한다. L/D비율에 따라 K_G와 만나는 점에서 Y좌표의 Factor B를 읽으면 된다.

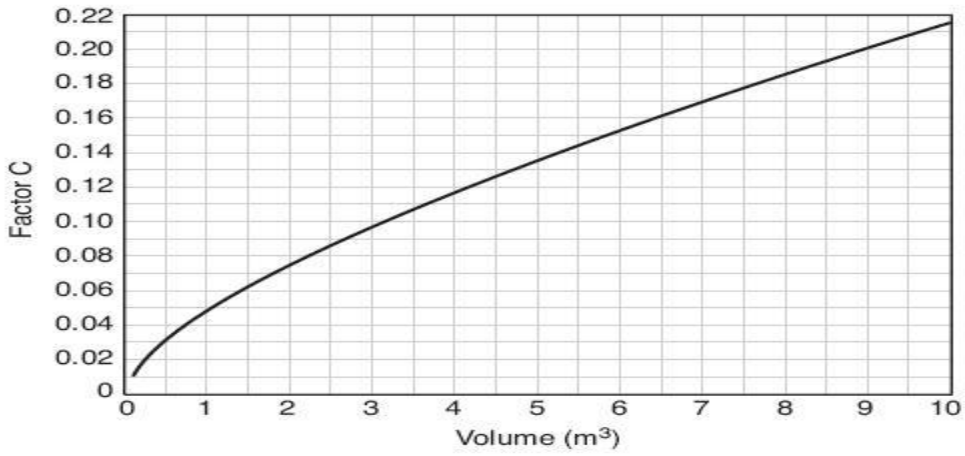
만약 L/D가 2이하인 경우에는 Factor B는 1.0으로 한다. L/D값이 5를 초과한다면 적용할 수 없다.



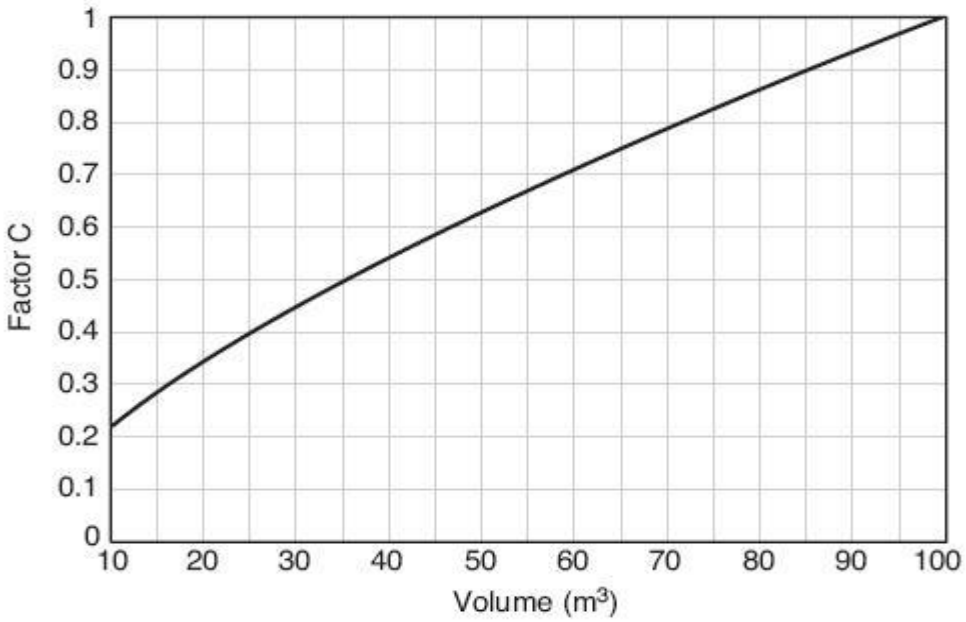
<그림 4> 가스를 취급하는 긴 용기에 적용하는 계수 Factor B

2.3 Factor C

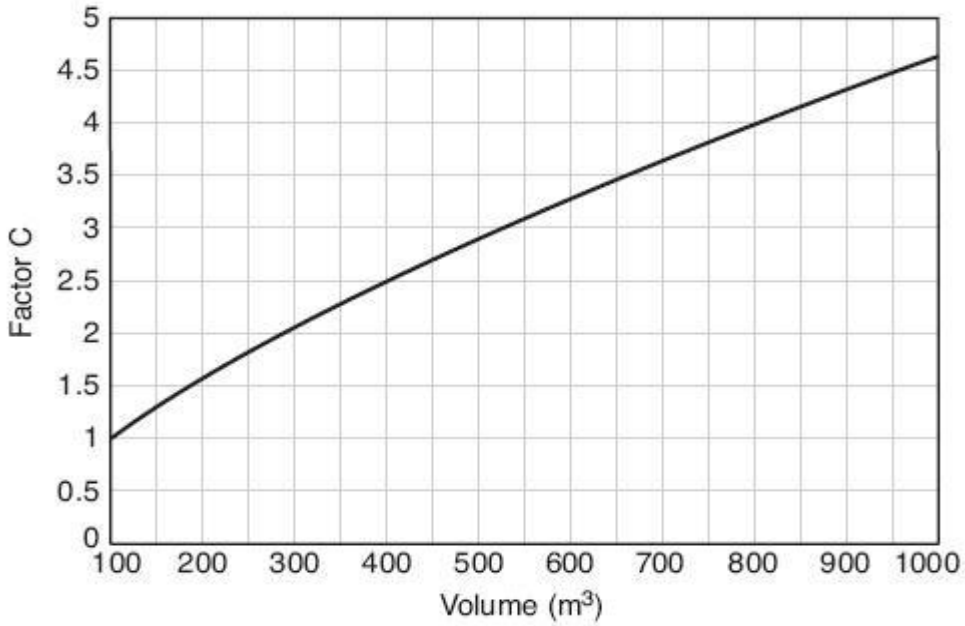
<그림 5>에서 <그림 7>을 활용한다. X좌표의 용기의 체적에 따라 선이 만나는 점에서 Y좌표의 Factor C를 읽으면 된다.



<그림 5> 가스 취급 용기 체적 계수 Factor C($0m^3$~$10m^3$)



<그림 6> 가스 취급 용기 체적 계수 Factor C($10m^3$~$100m^3$)



<그림 7> 가스 취급 용기 체적 계수 Factor C($100m^3$~$1000m^3$)

2.4 각 Factor 사용 방법

방출구 면적 크기는 3개의 Factor의 곱으로 구한다.

$A_v(m^2)$ = Factor A × Factor B × Factor C

2.5 방출구 면적 계산 예

(1) 문제 : 다음과 같은 용기에서 가스 폭연을 예방하기 위해서 필요한 방출구 면적 계산은?

(가) K_G = 150bar-m/sec
(나) P_{stat} = 20kPa(0.2bar)
(다) P_{red} = 40kPa(0.4bar)
(라) V = $30m^3$
(마) L/D = 4.4

(2) 답 : 각 그림에서 Factor A, Factor B, Factor C를 읽는다.

(가) Factor A ≒8.65
(나) Factor B ≒2.15
(다) Factor C ≒0.45

$A_v(m^2)$ = 8.65×2.15×0.45 = $8.37m^2$

기술지원규정 개정 이력

□ 개정일 : 2026. 1. 30.

○ 개정자 : 한국산업안전보건공단 전문기술실

○ 개정사유 : 기술지원규정 법적 필수사항 추가 등

○ 주요 개정내용

- 항목4(폭발 또는 화재 등의 예방에 관한 법적 필수사항) 추가
- 부록1(계산식에 의한 폭연 방출구 면적 산출의 예) 계산식 수정

KOSHA GUIDE
기술지원규정

·규정번호 : C-C-83-2026
·심　　의 : 산업안전보건표준제정위원회
·공 표 일 : 2026. 1. 30.