

## &lt;技術資料&gt;

## 안전밸브설비 설계에 관한 규정 ( I )

## The Design of Safety Valve Installations

趙 星 煥\*

Sung-Hwan Cho

편집자 주 : 본 규정은 대한 기계학회가 공업진흥청의 의뢰를 받아 1977년도에 작성한 “압력배관 기술기준 ( I )”의 부속서중의 하나로서 본 규정에서 기술수준이라고 하는것은 압력배관 기술기준 ( I )을 지칭하는 것이다. 분량관계로 본회에는 그의 일부로서 적용범위 및 정의와 하중에 관한 부분을 실었다. 모우먼트 및 응력계산은 다음호에 게재될 것이다.

## 머 리 말

압력배관 기술기준은 동력배관계통의 설계, 제작, 재료, 설치 및 시험에 대한 규정을 포함하고 있다. 오랜 경험에서 이들 규정은 안전밸브설비에 대해서도 합리적으로 적용할 수 있음을 보여 주었다. 그러나 안전밸브설비의 설계가 압력배관 기술기준의 규칙을 충분히 적용할 수 없는 경우도 있을 수 있다. 따라서 본 부록은 안전밸브설비에 기술기준의 규정을 적용하는 방법을 명백히 하고, 또 예를 들기 위하여 준비되었으며, 설계자에게 설계지침과 별도의 설계방법을 제공한다 다만, 본 부록은 강제성의 규정은 아니다.

## 1. 적용범위 및 정의

## 1.1 적용범위

본 규정의 범위는 다음 절에 정의된 것과 같은 안전밸브설비의 설계에 한정된다. 안전밸브설비에 적용되는 하중은 전체 배관계통의 앵커 또는 말단까지 굽힘모멘트와 응력에 영향을 주며, 이들 하중을 고려하는 것은 설계자의 책임이다. 그러나 본 규정은 전체 배관계통을 취급하지 않으며 주로 안전밸브설비만을 취급한다.

안전밸브설비의 설계에서 (1). 제에 작용하는 모든 하

중 (2). 이 하중에 의해 배관 및 배관부품에 발생하는 힘과 굽힘 모우먼트 (3). 하중과 응력한계 및 (4). 일반 설계관계에 대하여 세심한 주의를 경주하여야 한다. 주헤더, 안전밸브, 밸브 및 파이프 플랜지, 하류배출구 또는 통기관 및 지지장치등과 관련하여 전체 배관계통을 포함한 안전밸브설비내의 모든 부품에 대해 고려되어야 한다. 본 규정의 범위는 모든 부품에 작용하는 모든 하중을 대상으로 한다. 안전밸브가 구조면에서 압력배관 기술기준에 설명된 요구사항에 부응하는 것으로 가정한다.

본 규정은 안전밸브, 릴리프밸브 및 안전-릴리프밸브설비에 모두 적용된다. 그러나 편의상 초과압력에 대한 보호장치를 일반적으로 안전밸브라고 부른다. 릴리프 또는 안전-릴리프밸브의 작동과 관련된 하중은 안전밸브작동과 관련된 하중과는 상당한 차이가 있을 수 있으나 여기에 수록된 규정은 각 형태의 밸브설비에 공통으로 적용된다. 안전밸브의 정의에 관해서는 다음 절을 참조할 것. 본 규정은 설계자를 위하여 해석적이고 기호정의를 위한 도면을 제공하고 있으나, 실제 설계의 테이아웃(드레인, 드립팬 서스펜션, 에어갭, 플랜지, 용접단 및 기타 설계 세부내용은 보여 주지 않음)를 의도하는 것은 아니다.

## 1.2 정의

**안전밸브(safety valve)** : 밸브상류의 정압력에 의해 작동되는 자동압력완화장치이며, 일시에 완전개방되는 특성을 갖는다. 가스 또는 증기용으로 사용된다.

\* 正會員, 陸軍士官學校

**릴리프밸브(relief valve)** : 밸브상류의 정압력에 의해 작동되는 자동압력완화장치이며, 작동압력보다 압력이 증가함에 따라 점점 더 크게 열린다. 주로 액체용으로 사용된다.

**안전-릴리프밸브(safety relief valve)** : 자동압력 작동릴리프장치로서 응용에 따라 안전밸브나 릴리프밸브로 사용될 수 있는 것이다.

**동력-작동압력릴리프밸브(power-actuated pressure relieving valve)** : 압력릴리프장치로서 개폐운동이 전적으로 동력원(전기, 공기, 증기 또는 수력)에 의하여 제어되는 것. 밸브는 대기로 배출하거나 또는 더 낮은 압력의 용기로 배출한다. 배출용량은 하류조건에 따라 영향받을 수 있으며 또 그 효과를 고려하여야 한다. 만약 동력-작동압력릴리프밸브가 다른 제어신호에 응답하도록 위치되더라도 초과압력을 방지하기 위한 제어 임펄스는 압력에만 응답되도록 되어야 하며 다른 어떤 제어기능도 무시되도록 되어야 한다.

**개방송출설비(open discharge installation)** : 유체가 직접 대기로 송출되거나 또는 안전밸브와는 연결되지 않은 통기관으로 송출되는 설비. 그림 1에 유동방향을 제어하기 위하여 밸브송출쪽에 엘보우를 설치한 대표적인 개방송출설비를 보여 주고 있다. 그림 2는 통기관내로 송출되는 대표적인 개방송출계통을 보여준다. 그림 1에서 "l" 및 "m"에 대한 값들은 개방송출계통에 대한 규정을 사용할 수 있는 상한치이다.

**밀폐송출설비(closed discharge installation)** : 안전밸브에 직접 연결된 송출관에 의하여 유출량이 먼지점으로 수송되는 설비. 그림 3은 대표적인 밀폐송출계통을 보여준다.

**안전밸브설비(safety valve installation)** : 안전밸브설비는 그림 1, 2, 3에 보여 준 계통의 부분으로 정의된

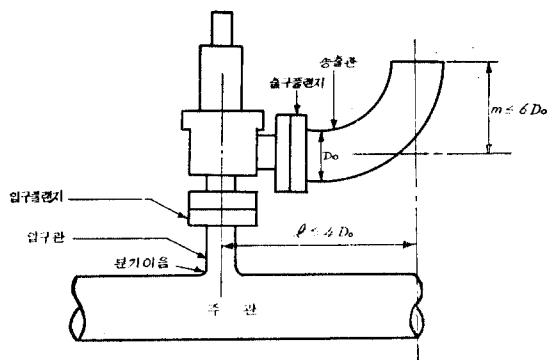


그림 1. 안전밸브설비(개방송출계통)

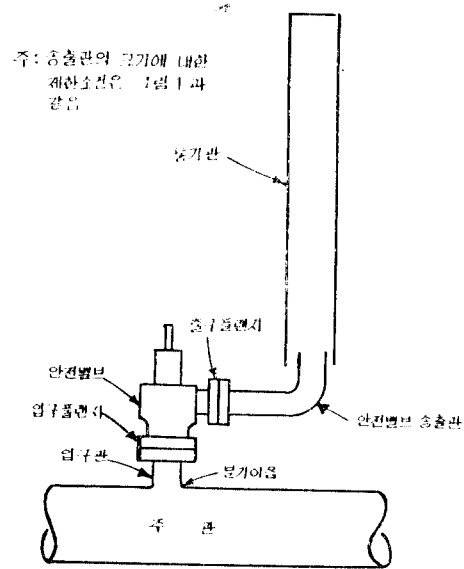


그림 2. 안전밸브설비(통기관이 있는 개방송출계통)

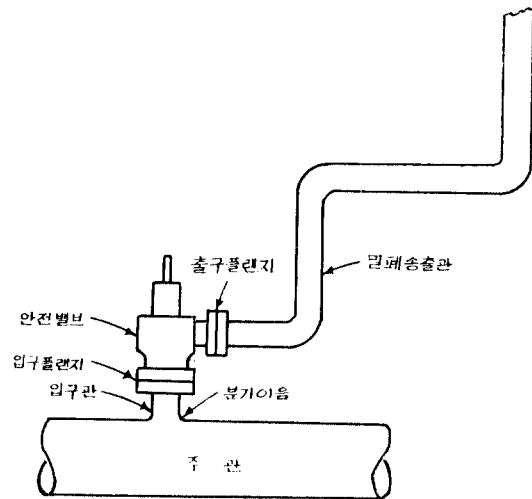


그림 3. 안전밸브 설비(밀폐송출계통)

다. 그것은 주관, 분기이음, 입구관, 밸브, 송출배관 및 통기관을 포함한다. 또 모든 정하중과 동하중에 대해 계통을 지지하는데 사용되는 부품들도 역시 포함한다.

## 2. 하 중

### 2.1 열 팽창

안전밸브설비내의 부품에 작용하는 하중과 배관의 열팽창에 의한 여러 지점에서의 변위는 그 앵커까지 이르는 전체 배관계통을 압력배관 기술기준의 2.5.1에 있는 절차에 따라 해석하여 결정하여야 한다.

2.1.1 개방송출을 가진 설비

개방송출을 가진 안전밸브설비에 대해서는 다음에 설명하는 것과 같은 열팽창에 제한을 주는데서 오는 하중 이외에는 송출엘보우, 밸브, 또는 밸브입구에 작용하는 열팽창하중은 없다. 열팽창에 대한 제한은 드레인관로에 의해 일어날 때도 있으며 또는 구조적인 지지대가 안전밸브리프트와 관련된 반력을 받도록 될 때에 생길 수 있다. 그런 구조적인 지지대의 예가 그림 9(b)에 보여져있다. 그런 제한이 존재할 때에는 열팽창하중과 응력을 계산하여야 하며 또 그 효과가 평가되어야 한다.

2.1.2 밀폐송출을 가진 설비

밀폐송출을 가진 설비의 열팽창과 배압에 의한 하중은 매우 높아서 밸브의 고장, 밸브 또는 플랜지에하의 과도한 누설, 또는 다른 부품에 과도한 응력을 일으키기에 충분할 수도 있다. 열팽창에 의한 하중은 송출과 이 안전밸브작용에 따라 뜨거워지는 경우를 포함하여 모든 중요한 온도 조합에 대하여 계산되어야 한다.

2.2 압 력

안전밸브설비에 작용하는 압력하중은 다음과 같은 두 가지 관점에서 중요하다. 첫째 고려사항은 안전밸브설비의 벽에 작용하는 압력이 압력을 지탱하는 부분의 파열을 방지할 수 있는 막응력을 초과할 수 있다는 점이다. 둘째 고려사항은 송출과 관련된 압력효과가 배관계통전반에 걸쳐 급팽모우먼트를 발생시키는 큰 하중을 계통에 작용시킬 수 있다는 점이다. 이 압력효과들은 2.3에서 취급된다.

안전밸브설비의 모든 부품은 기술기준의 허용응력을 초과하지 않고 설계압력을 견딜 수 있도록 설계되어야 한다. 윤기이음, 입구관 및 입구플랜지는 주관의 설계압력과 같은 압력으로 설계되어야 한다. 송출계통의 설계압력은 안전밸브의 정격과 송출배관의 모양에 따라 달라진다. 개방송출설비와 밀폐송출설비는 설계압력을 결정하는데 있어서 약간 다른 문제를 제공하며 이문제들은 다음에 설명된다.

2.2.1 개방송출설비의 송출엘보우와 통기관에 대한

설계압력과 속도

설계자가 송출엘보우와 통기관내의 설계압력과 속도를 결정하는데에는 몇 가지 방법이 있다. 설계자는 자기가 사용하는 방법이 안전한 결과를 내도록 확실히 하여야 한다. 개방송출설비에 대한 송출엘보우와 통기관내의 설계압력과 속도를 결정하는 한 가지 방법이 다음에 주어지며 보기를 통해 설명한다.

첫째 송출엘보우에 대한 설계압력과 속도를 계산한다.

(1) 송출엘보우출구(그림 5)에서 존재하는 압력,  $P_1$ , 을 결정한다.

$$P_1 = \frac{W}{A_1} \frac{(b-1)}{b} \sqrt{\frac{2(h_0-a)J}{g_c(2b-1)}} \tag{1}$$

(2) 송출엘보우출구(그림 5)에서 존재하는 속도,  $V_1$ , 을 결정한다.

$$V_1 = \sqrt{\frac{2g_c J (h_0 - a)}{(2b - 1)}} \tag{2}$$

위 식에서

$W$  = 실제유량 (kgw/s)

$A_1$  = 송출엘보우의 면적 (cm<sup>2</sup>)

$h_0$  = 안전밸브입구에서의 정체엔탈피 (kcal/kg)

$J$  = 열의 일당량 (427kgw·m/kcal)

$g_c$  = 중력상수 (9.807kg·m/kgw·s<sup>2</sup>)

$P_1$  = 절대압력 (kgw/cm<sup>2</sup> 또는 ata)

$V_1$  = 속도 (m/s)

a와 b의 값은 아테와 같다.

증기 조건	a(kcal/kg)	b
습증기, 건도 9%미만	139.4(251Btu/lb)	11
포화증기, 건도 90% 이상, 1.05ata ≤ P <sub>1</sub> ≤ 70.3ata	457.2(823Btu/lb)	4.33
과열증기, 건도 90% 이상, 70.3ata ≤ P <sub>1</sub> ≤ 140.6ata	461.7 (831Btu/lb)	4.33

이 방법은 압력이 140.6ata(2000 psia)를 초과하는 경우에도 근사적으로 사용될 수 있으나 그 경우에는 다른 방법에 의해 확인하는 것이 바람직하다.

(3) 송출엘보우로 가는 입구에서 안전밸브출구(그림 5)의 압력,  $P_{1a}$  를 결정한다.

(3.1) 송출엘보우내의 관부분에 대한 길이대 지름비 ( $L/D$ )를 결정한다.

$$\Sigma(L/D) = (L/D)_{max}$$

(3.2) 사용될 마찰계수  $f$  를 결정한다. (증기에 대해

서는 난류 관유동에서  $f$ 의 값이 별로 많이 변하지 않으므로 0.013을 근사적으로 사용할 수 있다.)

(3.3) 비열의 비,  $k$ ,를 결정한다. (과열증기에 대해서는  $k=1.3$ , 포화증기에 대해서는  $k=1.1$ 을 사용할 수 있다)

(3.4)  $f\left(\frac{L}{D}\right)_{max}$  을 계산한다.

(3.5) 위에서 구한  $f\left(\frac{L}{D}\right)_{max}$ 의 값을 사용하여 그림 4에서  $P/P^*$ 의 값을 결정한다.

(3.6)  $P_{1a}=P_1(P/P^*)$

(3.7)  $P_{1a}$ 가 송출엘보우의 최대작동압력이다.

둘째로 통기관에 대한 설계압력과 속도를 결정한다.

1. 통기관 출구(그림 6)에서 존재하는 압력,  $P_2$ ,를 결정한다.

2. 통기관 출구(그림 6)에서 존재하는 속도,  $V_3$ ,를 결정한다.

$V_3=V_1$

3. 송출엘보우의 최대작동압력을 계산할 때와 마찬가지로 (3.1)에서 (3.7)까지의 단계를 반복해서 통기관의 최대작동압력을 결정한다.

4. 통기관 입구(그림 6)에서 존재하는 속도,  $V_2$ ,를 결정한다.

(4.1) 단계 (3.4)에서 구한  $f\left(\frac{L}{D}\right)_{max}$ 의 값을 사용하여 그림 4에서  $V/V^*$ 의 값을 결정한다.  $f\left(\frac{L}{D}\right)_{max}$ 의 값이 그림 4의 범위를 벗어나는 경우에는 Keenan과 Kaye의 기체표에서 Fanno 선을 사용하여 범위를 확대할 수 있다.

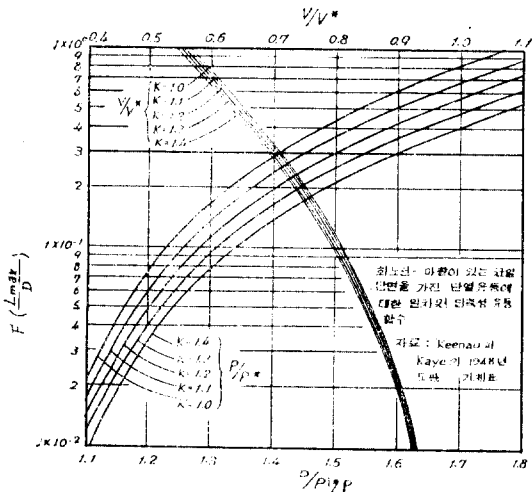


그림 4.

를 확대할 수 있다.

(4.2)  $V_2=V_3 (V/V^*)$ 에서  $V_2$ 를 결정한다.

2.2.2 밀폐송출설비에 대한 압력

정상류에서 밀폐송출관내의 압력은 2.2.1에 설명된 방법으로 결정할 수도 있다. 그러나 안전밸브송출이 비교적 긴 관에 연결되어 갑자기 열리면 정상류 조건에 도달하기까지의 과도흐름의 기간이 있다. 이 과도기간동안에는 압력과 유량이 일정하지 않다. 안전밸브가 최초로 열릴 때 송출관에는 공기가 차 있을 수도 있다. 만약 안전밸브가 증기계통에 설치되어 있다면 밸브로부터의 증기유량이 정상류가 될 때까지 관내에 있던 공기를 일소해야 하며, 밸브출구플랜지에 압력이 증가되고 파동이 송출관 하류로 이동하기 시작하면서 최초로 밸브에서 생긴 압력파는 전파되면서 점점 증강되어 출구에 도달하기 전에 충격파가 될 수도 있다. 이 때문에 밀폐송출관의 설계압력은 정상상태의 작동압력보다 적어도 두배이상 크게 하도록 추천하고 있다

2.3 밸브송출로부터의 반작용력

밸브송출과 관련된 반작용력을 결정하는 것은 배관계통 설계자의 책임이다. 이 힘들은 배관계통내의 여러 지점에서 매우 큰 굽힘모멘트를 발생시켜서 압력경계부분에 중대한 실패를 초래할 수 있다. 송출계통의 형태에 따라 힘의 크기가 크게 다를 수 있기 때문에 각 계통형태에 따라 각각 설명한다.

2.3.1 개방송출계통의 반작용력

(1) 송출엘보우

안전밸브를 개방한 뒤 정상류에 의한 반작용력(F)은

$$F_1 = \frac{WV_1}{g_c} + (P_1 - P_{1a})A_1$$

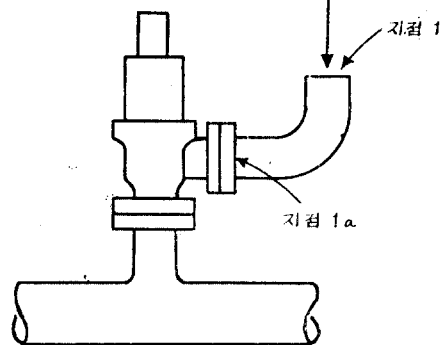


그림 5.

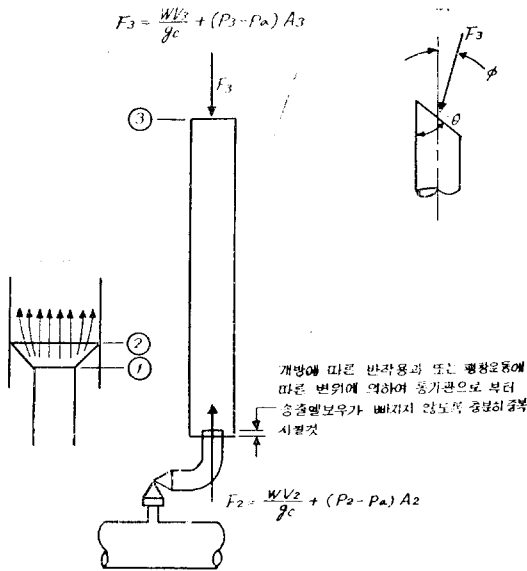


그림 6.

운동량과 압력효과를 모두 포함한다. 반작용력은 그림 5에 보여져 있으며 다음 식에서 계산될 수 있다.

$$F_1 = \frac{W}{g_c} V_1 + (P_1 - P_a) A_1$$

여기서

$F_1$  = 지점 1에서의 반작용력 (kgw)

$W$  = 질량유량, 밸브의 제거용량에 1.11을 곱한 값 (kg/s)

$g_c$  = 중력상수 (9.807 kg·m/kgw·s<sup>2</sup>)

$V_1$  = 지점 1에서의 출구속도 (m/s)

$P_1$  = 지점 1에서의 정압력 (ata)

$A_1$  = 지점 1에서의 출구유동면적 (cm<sup>2</sup>)

$P_a$  = 대기압 (ata)

감자기 작용하는 하중 ( $F$ )의 효과를 고려하여 동하중계수 (DLF)를 적용해야 한다. 3.5.1의 (3)을 참고할 것.

송출엘보우의 출구지점에서의 속도와 압력을 계산하는 방법은 본 규정의 2.2에서 설명한 것과 같다.

### (2) 통기관

그림 6은 안전밸브송출로부터 발생하는 통기관에 작용하는 외력을 보여준다.  $F_2$ 와  $F_3$ 를 결정하는 방법은 앞에서 설명한 것과 같다. 통기관 앵커와 지지장치는 이 두 힘에 의한 모우멘트를 받을 수 있어야 하며 또 수직방향과 수평방향의 비평형력을 견딜 수 있어야 한다.

통기관의 베벨은 수직이 아닌 흐름을 가져온다. 그림에 주어진 공식은 수직흐름에 기준한 것이다. 출구에서의 베벨효과를 고려하면 출구힘이 베벨각  $\theta$ 의 함수인 통기관 송출축과 각  $\phi$ 의 방향으로 작용하게 된다. 통기관의 경사진 꼭대기는 60°의 베벨에 대해 수직에서 약 30°만큼 젯트를 굴절시키며 이것은 통기관 계통에 수평성분의 힘을 발생시킨다.

그림 6에 있는 공식에 사용된 부호는 2.3.1의 (1)에 정의된 것과 같다.

통기관의 크기는 통기관로 입구로 증기가 역분출되지 않도록 되어야 하며, 이 조건을 방지하는 지침으로서 사용될 수 있는 기준은 다음과 같다.

$$\frac{W(V_1 - V_2)}{g_c} > (P_2 - P_1) A_2 - (P_1 - P_a) A_1$$

여기서

$P_a$  = 표준대기압 (ata)

$W$  = 질량유량 (kg/s)

$P_1$ 과  $P_2$  = 국지절대압력 (ata)

$A$  = 면적 (cm<sup>2</sup>)

$g_c$  = 중력상수 (9.807 kg·m/kgw·s<sup>2</sup>)

위의 부등식은 공기가 통기관내로 추출되도록 지점 1에서의 운동량이 지점 2에서의 운동량보다 반드시 커야한다는 것을 의미한다. 만약 지점 1과 지점 2에서의 운동량이 서로 같으면 공기가 통기관내로 추출되지 않는다. 만약 지점 1에서의 운동량이 지점 2에서의 운동량보다 작으면 통기관에서 증기가 역분출(블로우 백) 될 것이다.

통기관의 추출효과는 안전밸브의 실내설비에서 특히 중요하다. 안전밸브작동기간에 상체로부터 통기되는 증기는 통기관을 통해 그 지역에서 제거된다. 그 때문에 지점 1에서의 유체운동량은 지점 2에서의 유체운동량보다 반드시 커야한다.

만약 위의 부등식이 만족되면 역분출은 생기지 않는다. 압력과 속도는 2.2.1에서 계산된 것과 같다.

### 2.3.2 밀폐송출계통의 반작용력

안전밸브가 밀폐배관계통에 송출할 때 정상류조건하에서 배관계통에 작용하는 힘은 저절로 평형되며 배관계통에 중요한 굽힘모우멘트를 발생시키지 않는다. 곧 정상상태의 힘이 송출지점에서만 작용하며 이 힘은 개방송출계통에서 설명한 것과 같이 결정될 수 있다.

둘러 쌓인 배관계통내로 송출하는 릴리프밸브는 릴리프밸브가 열린 후, 수 밀리초(천분의 일초) 동안 잠시 배관계통에 작용하는 비평형력을 발생시킨다. 안

전밸브를 갑자기 개방한 후에 생기는 압력파가 배관계통을 통해 움직여서 안전밸브송출배관과 배관계통의 기타 부분에 굽힘모우멘트를 일으킨다. 그런 경우에는 설계자가 하중의 크기를 계산하고 그 효과를 적절히 평가하여야 한다.

배관설계자가 반드시 고려하여야 할 기타 기계적하중은 다음을 포함한다.

- (1) 둘이상의 밸브가 열릴 때 관에 작용하는 상호작용 하중
- (2) 지진 및 배관계통의 진동에 의한 하중

#### 2.4 기타 기계적하중