

# 밸브의 종류 및 선정

글/민경화 <한국전력기술(주) 원자력사업단 배관기술부>

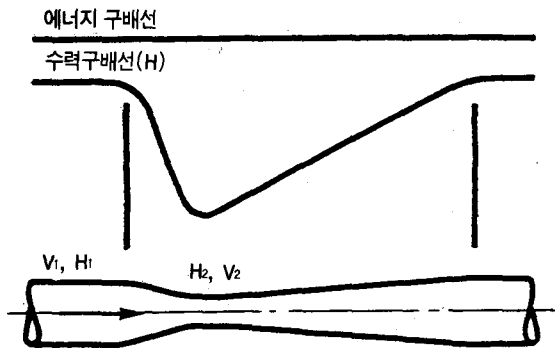
## 3) 제어밸브

### (1) 제어밸브의 유량특성

#### ① 기본이론

제어밸브는 말 그대로 유체계통을 제어하는 요소로서 계통의 압력, 온도 및 유량을 파라미터로 하여 유체계통을 적절히 제어한다. 따라서 주요한 제어 목표는 당연히 물리적 양인 압력과 유량으로 단순화 할 수 있다. 여기에는 유체의 물성, 주위의 환경 및 온도등이 영향을 미치고 있다. 기본적으로 제어밸브의 유량특성은 유체가 공학적 측면으로 압축성 유체와 비압축성 유체로 대별되어 설명할 수 있으며, 아울러 이 두가지 유체가 혼합되어 배관내를 흐르는 二相유체를 고려할 수 있다.

여기서는 우선 제어밸브의 기본이론으로서 유량 특성의 물리적 의미를 간단히 수식으로 표현하여 제어밸브의 유량제어관계를 이해하고자 하는데 목적이 있다.



<그림 1> 교축관에서의 이상적인 에너지 구배

밸브는 제어요소가 구성되어 있는 곳은 전호에서 언급한 바와 같이 밸브의 디스크/시트이다. 이 디스크/시트 부분은 교축되어 있으며 이곳의 교축점의 교축량을 조절함으로써 배관내의 유량과 압력을 조절할 수 있다. 그림 1과 같이 매우 이상적인 유체가 교축점을 지날 때 유체의 에너지 방정식을 적용하면

$$\frac{V_1^2}{2g} + H_1 = \frac{V_2^2}{2g} + H_2, \quad V_2^2 - V_1^2 = 2g(H_1 - H_2)$$

여기서  $V_{1,2}$ =배관내의 유체속도, 첨자 1의 입구배관, 첨자 2는 교축지점

$g$ =중력가속도

$H_{1,2}$ =기준선으로부터의 에너지의 양 (또는 압력 수두)

배관내를 흐르는 유량  $Q$ 는 일정하므로

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2, \quad A_{1,2} = \text{첨자 1, 2 지점의 유로 단면적}$$

$$V_1 = \left(\frac{A_2}{A_1}\right) V_2 = m V_2$$

따라서

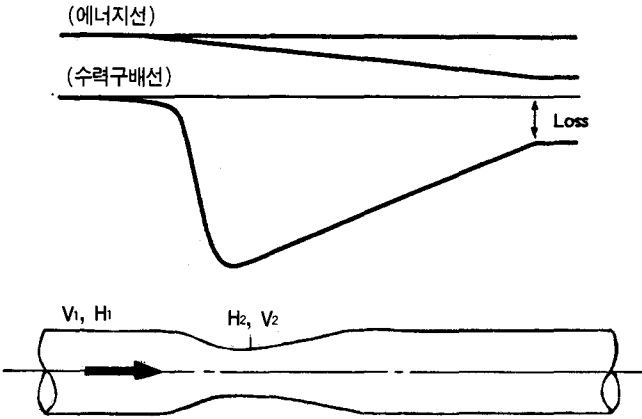
$$V_2^2 - m^2 V_2^2 = 2g(H_1 - H_2)$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2g(H_1 - H_2)}{1 - m^2}}$$

제어유량

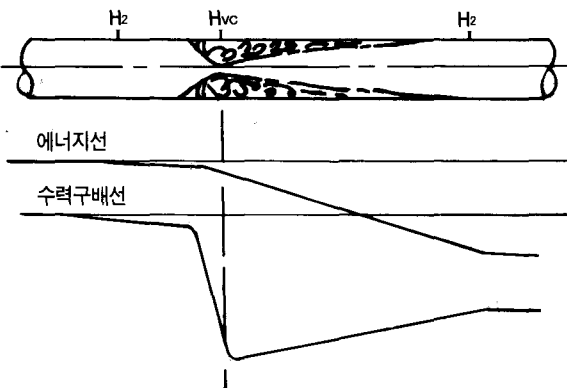
$$Q = A_2 V_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g(H_1 - H_2)}{1 - m^2}}$$

그러나 이 경우는 배관내를 흐르는 유체의 압력 손실을 전혀 고려하지 않은 이상적인 경우임으로 실제와는 다르다. 실제로는 <그림 2>와 같이 손실이



<그림 2> 교축관에서의 압력손실을 고려한 에너지 구배 생기는데 이 손실량은 유체출구의 형상에 따라 경험적으로 결정된다. 이 손실의 정도를 손실계수  $C_L$  이라고 정의하고  $F=1-m^2$ 이라고 하면 출구의 제어 유량은  $Q_c = C_L F A_2 \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$  가 된다.

그런데 실제의 밸브 디스크/시트의 교축은 오리 피스의 교축과 유사하며 이를 정리하면 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 오리피스에서의 에너지 구배

오리피스의 목(Throat) 바로 하단에 생성되는 유로의 최소 단면을 Vena Contracta라고 하는데 이곳에서의 에너지량을  $H_{vc}$ 라고 하고, 또한 이곳에서는 급격한 교축으로 인하여 많은 손실이 일어나게 되

므로 이 손실의 정도를 계산하기 위하여

$$C = C_L (A_{vc} / A_0)$$

를 도입한다. 여기서  $A_{vc}$ 는 Vena Contracta의 유로면적이고  $A_0$ 는 오리피스 교축점의 단면적이다. 실제로  $A_{vc}$ 의 계산은 실험적으로  $C$ 를 측정하여 정할 수밖에 없다.  $H_1, H_{vc}, H_2$ 의 관계를 압력회복계수  $F_L$ 로 표현하면

$$F_L = \frac{H_1 - H_2}{H_1 - H_{vc}}$$

이  $F_L$ 를 고려하여 제어유량의 식을 정리하면

$$Q_c = \frac{C F A_0}{F_L} \sqrt{2g(H_1 - H_2)}$$

으로 표현된다.

이 식을 미국의 공학 단위로 바꾸면

$$Q = \text{갤론/분당}, A_0 = \text{inch}^2,$$

$$H_1 - H_2 = \frac{\Delta P}{G} \text{가 되므로}$$

$$Q_c = 38.0 \frac{C F A_0}{F_L} \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}, G = \text{유체의 비중량}$$

여기서  $C_v = 38.0 \frac{C F A_0}{F_L}$ 라고 하면

$$Q_c = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{G}} \text{가 된다.}$$

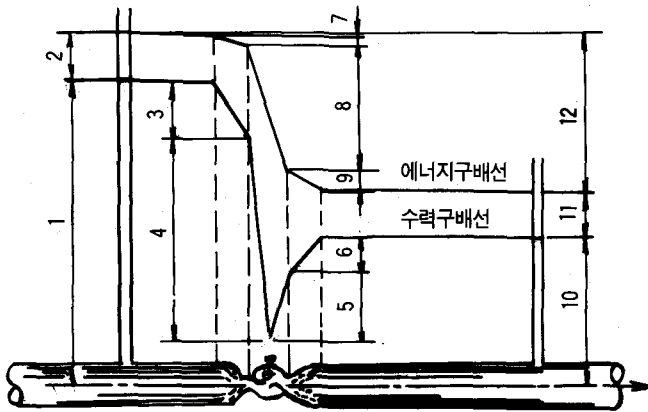
계수  $C_v$ 는 일반적으로 밸브의 유량계수라고 하며 측정을 통하여 구한다. 이 의미는 밸브 전후의 차압 ( $\Delta P$ )이 1Psig에서 1분당 흐르는 유량을 US갤론으로 표시한 값이고 이를 미터단위로 표시하려면 유량( $m^3/$ Hour), 비중(물=1), 차압( $Kgf/cm^2$ )에서 보정계수 1.17를 곱하면 된다.

이상은 유체를 비압축성으로 보았을 때의 경우이고 gas와 같이 유체가 압축성일 경우에는 gas가 압력이 저하되면 팽창이 되므로 팽창계수  $Y$ 를 고려하게 됨으로 더욱 복잡하게 된다.

다음의 <그림 4>는 제어밸브 전후의 에너지 선도를 보여주는 것으로 제어밸브의 역할을 물리적 양으로서 표현한 것이다. 이 그림에서 각 번호는 물리

적 량을 표시한 것이다. 즉,

1. 배관입구 압력 수두,  $\rho_1/\gamma_1$
2. 배관입구 속도 수두,  $V_1^2/2g$
3. 레듀사(감소)에서의 압력(수두)강하량,  $(K_1 + K_{B1})V_1^2/2g$
4. Vena Contracta에서의 압력(수두) 강하량,  $h_v/F_L^2$
5. 압력(수두) 회복량, (4)-(8)
6. 레듀사(확관)에서의 압력(수두) 회복량,  $(K_2 - K_{B2})V_1^2/2g$
7. 레듀사 손실량,  $K_1V_1^2/2g$
8. 밸브에서의 손실량,  $h_v = \frac{890d^4}{C_v^2} \cdot \frac{V^2}{2g}$
9. 레듀사(확관)에서의 손실량,  $K_2V_1^2/2g$
10. 배관출구의 압력수두,  $\rho_2/\gamma_2$
11. 배관출구의 속도 수두,  $V_2^2/2g$
12. 계통총손실,  $h_L = (1)-(10)$



(그림 4) 밸브 및 배관계에 있어서 에너지 구배

② 제어밸브의 유량 특성

제어밸브에 있어서 유량 특성(Flow Characteristics)은 계통의 적절한 운전에 필요한 유량을 안정적으로 제어하기 위하여 밸브의 유량제어 및 수송능력을 밸브의 트립운동량과 유량과의 관계로 표시

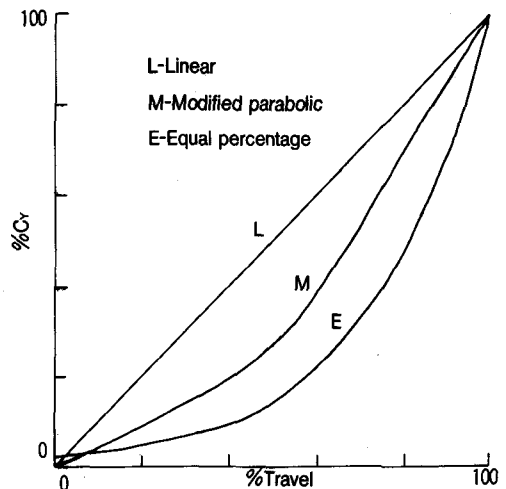
한 것으로 밸브 고유의 유량특성과 밸브 설치후 사용 조건하에서의 유량특성으로 구분할 수 있다.

밸브 고유 유량 특성은 일정한 압력 강하에서의 유량 특성이지만 사용 조건하의 유량 특성은 계통의 유량 변화등의 요인으로 인하여 압력 강하량이 변화하기 때문에 고유유량 특성값과는 다르게 된다.

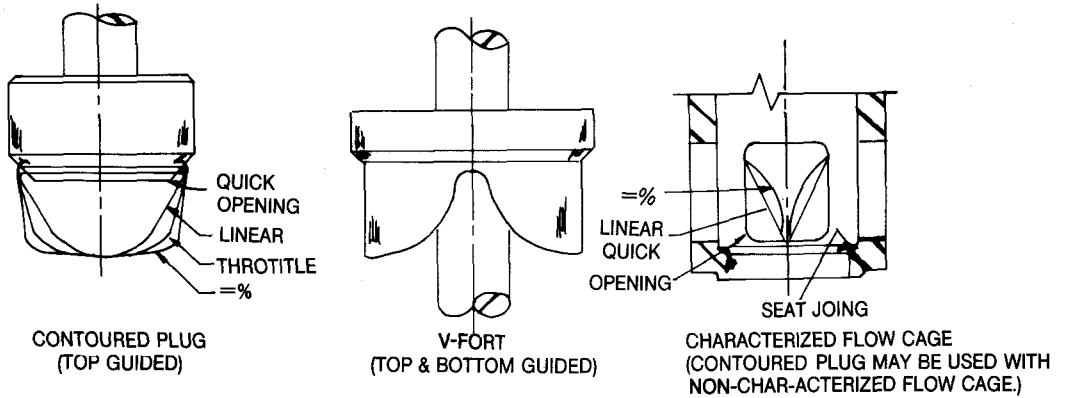
(가) 고유 밸브 유량 특성(Inherent Valve Flow Characteristics)

제어밸브의 유량 특성은 세가지가 있다. 유량 특성이 배관계통의 제어 루프에 밀접한 관계를 갖고 있으므로, 이 제어 루프의 해석에 따라 적절한 유량 특성을 가진 밸브를 선택하여야 한다. 고유 밸브 유량 특성 곡선과 유량 특성 곡선에 따른 프러그와 케이지의 형상은 (그림 5, 6)과 같다.

급개형 특성(Quick Opening Flow Characteristic)의 밸브는 초기의 밸브 스템의 적은 변화에서 거의 선형적인 관계를 가지며 많은 유량을 수송할 수 있는 특성이 있다. 그러나 밸브 스템을 더욱 변화시키면 유량의 변화는 매우 완만해지고 더욱 밸브를 완전히 열 때에는 유량의 변화는 거의 없다. 이러한 특성을 가진 제어 밸브는 주로 유량의 신속한 개폐를 필요로 하는 계통에 적절하다.



(그림 5) 밸브의 이상적인 고유 밸브 유량 특성 곡선



〈그림 6〉 유량특성에 따른 프러그와 케이지의 형상

선형 특성(Linear Flow Characteristic)의 밸브는 스템의 변위량에 따라 유량도 직접적으로 비례하는 것으로 유량과 스템 변위량과의 관계는 일정한 압력 강하를 가진 일정한 구배로 되어 있어서 밸브 이득(Valve Gain)이 일정하여 액체 수위의 제어와 같은 일정한 유량 제어에 효율적이다.

여기서 밸브 이득은 밸브 크기, 모양, 계통, 운전 상태 및 밸브 프러그의 특징에 따라 다르게 된다. 여기서 밸브 이득은 유량의 변화율을 밸브스템의 변위율로 나눈 것이다.

등비율 특성(Equal Percentage Flow Characteristic)는 밸브 스템의 변위량에 따른 유량의 변화가 일정한 등비율 관계를 갖는 것으로 밸브의 개방 초기부터 완전 개방까지의 밸브 스템의 변위량 비율과 이에 따른 유량의 변화량 비율이 일정한 관계를 유지하는 밸브를 말한다.

(나) 사용하의 밸브 유량 특성(Installed Valve Flow Characteristics)

사용하의 밸브 유량 특성은 〈그림 7,8〉과 같이 밸브에 있어서 압력강하비에 따라 다르게 된다. 특성 곡선이 왜곡되는 것은 압력 강하비의 양이 감소할수록 커지며 실험에 의하면 이 압력 강하비는 0.05로 제한된다고 한다. 〈그림 9,10〉의 경우

처럼 펌프 수두와 동적 수두 손실간의 관계는 밸브의 압력 강하비  $P_R$ 로 하여, 밸브에서의 압력 강하가 전체 계통의 동적 수두 손실에 비하여 어느 정도인가를 나타낸다. 그림에서 각 부분의 압력 손실간의 관계는 다음과 같이 표시된다.

$$P_R = \frac{\Delta P_v}{\Delta P_v + \Delta P_{L1} + \Delta P_{L2}} \text{ (밸브압력강하비)} \quad (1)$$

만약 펌프 수두가 일정하다면 간단한 방법으로 사용하의 밸브 유량특성을 구하는 방법이 있다.

$$C_o = \frac{nC_v}{\sqrt{\left(\frac{n}{m}\right)^2 + 1}} \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $C_o$  = 밸브와 배관 관로에 있어서 유량 계수

$C_v$  = 밸브 계수(완전 개방시)

$n$  = (밸브에 있어서 압력 강하/배관 관로에 있어서 압력 강하)<sup>0.5</sup>

$$m = \frac{C}{C_v}$$

$C$  = 밸브 스템의 열림 위치 X에 있어서

밸브 계수

X=밸브 스템의 열림 위치(완전개방에 대한 열림 비)

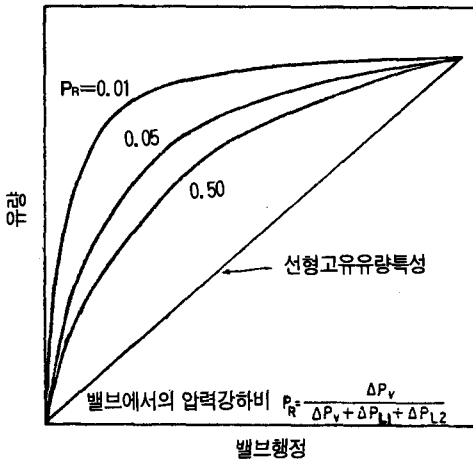
그런데 선형 유량 특성을 갖는 밸브의 경우

$$m = \frac{C}{C_v} = 0.96X + 0.03$$

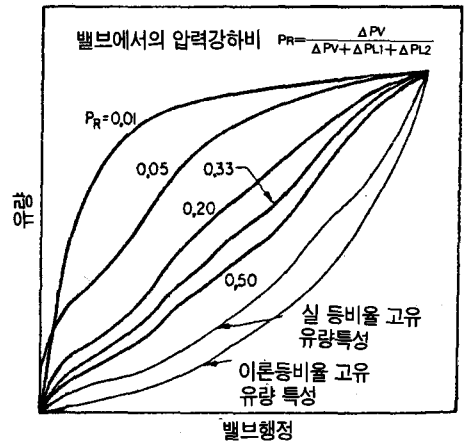
또한 등비율 유량 특성을 갖는 밸브의 경우

$$m = \frac{C}{C_v} = (30)^{X-1}$$

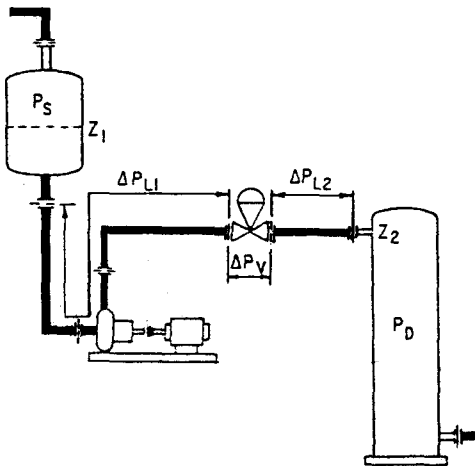
이와 같은 밸브는 일반적으로 계통내의 압력 강하가 크거나 또는 변화하는 곳에서 압력의 제어 또는 그 응용에 널리 사용된다.



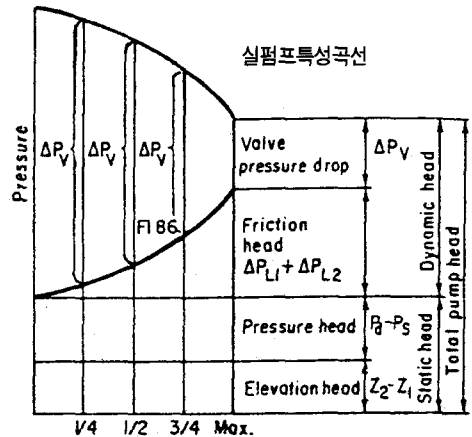
〈그림 7〉 사용하의 선형고유 유량 특성



〈그림 8〉 사용하의 실 등비율 고유 유량 특성



〈그림 9〉 실 펌프 양정 계통



〈그림 10〉 계통 양정의 구분

〈다음호 계속〉