

## 공기압 밸브의 유량계산식 Flow Equations of Pneumatic Valve

지 상 원  
S. W. Ji

### 1. 서 언

공기압 밸브는 공기압 구동장치를 이용한 자동화 시스템의 제어성능을 결정하는 주요 구성요소이다. 그러므로, 설계사양에서 제시한 소정의 동작을 달성하기 위해서는 적절한 유량을 제어할 수 있는 공기압 밸브를 선정해야 하고, 사용자가 공기압 밸브를 선정할 때는 공기압 밸브 제조업체에서 제시하는 카탈로그에 기재된 각종 밸브의 제어가능 유량을 표시하는 계수를 참조하게 된다. 이 때, 제조업체의 카탈로그에 사용되고 있는 공기압 밸브의 제어가능 유량(이하 공기압 밸브 사이즈)을 표시하는 계수로는  $C_v$ ,  $f$ ,  $K_v$ ,  $S$ ,  $C$  등 다양한 계수가 있고, 각 계수를 이용한 유량계산식이 상이하므로 사용자가 각종 계수의 의미 및 각종 계수를 이용한 유량계산식을 정확하게 이해하지 못하고 있으면 적절하지 못한 밸브를 선정할 수도 있다.

본 해설에서는 공기압 밸브 사이즈를 표시하는 각종 계수의 의미와 유량계산식 및 각 계수간의 관계를 소개한다. 본 해설을 통하여 공기압 구동 장치에 익숙하지 못한 사용자도 설계사양을 만족할 수 있는 공기압 밸브 사이즈를 용이하게 선정할 수 있기를 기대한다.

### 2. $C_v$ 를 이용한 유량계산식

#### 2.1 $C_v$ 의 정의

$C_v$ 는 미국에서 주로 사용하는 계수로서 밸브 양단의 차압을 1[PSI]로 유지시킨 상태에서 60[°F]의 물이 밸브를 통과하는 유량을 [gall(US)/min]로 표시할 때 사용된다.

#### 2.2 $C_v$ 의 개념

비압축성 유체(액체)의 오리피스 통과 유량은 다음 식으로 기술된다.

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2g}{r_l} \Delta P} = C_d A \sqrt{\frac{2g}{s_l \cdot r_w} \Delta P} \quad (1)$$

식 (1)에서 사용한 기호는 다음과 같다.

$r_l$ : 액체의 비중량,  $s_l$ : 액체의 비중,  $r_w$ : 물의 비중량,  $C_d$ : 유량계수,  $A$ : 유로 단면적,  $P$ : 압력,  $g$ : 중력 가속도,  $Q$ : 유량

유량 계수  $C_v$ 를 다음 식으로 표기하면

$$C_v = C_d A \sqrt{\frac{2g}{r_w}} \quad (2)$$

$C_v$ 를 이용한 유량식이 다음과 같이 구해진다.

$$Q = C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{s_l}} \quad (3)$$

식 (3)에서 사용한 기호의 단위는 다음과 같다.

$Q$ : [gall[US]/min],  $\Delta P$ : [PSI],  $s_l$ : 물이면 1

식 (3)을 이용하여 유량을 표기하면  $C_v$ 가 1.2일 때 2.1절에 나타낸 상태에서 물이 흐를 때의 유량은 1.2[gall[US]/min]가 된다.

식 (3)을 미터단위계로 환산하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = 0.2271 \cdot C_v \sqrt{\frac{\Delta P}{0.07031 s_l}} \approx \frac{C_v}{1.17} \sqrt{\frac{\Delta P}{s_l}} \quad (4)$$

식 (4)에서 사용한 기호의 단위는 다음과 같다.

$Q$ : [m<sup>3</sup>/h],  $\Delta P$ : [kgf/cm<sup>2</sup>],  $s_l$ : 물이면 1

#### 2.3 $C_v$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식

식 (3)과 (4)는 액체를 작동유체로 하는 밸브의 유량계산식이므로 공기압 밸브에 그대로 적용할 수 없다.  $C_v$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식은 유체의 연속방정식과 식 (4)를 토대로 다음과 같이 유도할 수 있다.

유체의 에너지방정식은 다음 식으로 나타낸다.

$$\frac{10^4 P}{r} + \frac{u^2}{2g} + Z_L = \text{상수} \quad (5)$$

식 (5)에서 사용한 기호는 다음과 같다.

$P$ [kgf/cm<sup>2</sup>]: 압력,  $r$ [kgf/m<sup>3</sup>]: 비중량,  $Z_L$ : 손실수

두,  $u$ [m/s]: 유속,  $g$ [m/s<sup>2</sup>]: 중력가속도  
 식 (5)를 미분하면 다음과 같다.

$$10^4 dP \cdot v + \frac{u \cdot du}{g} + dZ_L = 0, dZ_L = \lambda \frac{u^2}{2g} \quad (6)$$

식 (6)에서 사용한 기호는 다음과 같다.

$v$ [m<sup>3</sup>/kgf]: 비체적,  $\lambda$ : 손실계수

식 (6)에  $1/v^2$ 을 곱하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{10^4 dP}{v} + \frac{u \cdot du}{gv^2} + \lambda \frac{u^2}{2gv^2} = 0 \quad (7)$$

기체의 상태방정식 및 중량유량은 다음 식으로 나타낸다.

$$10^4 P \cdot v = RT \quad (8)$$

$$G_f = \frac{uA}{v} \quad (9)$$

식 (8)과 (9)에 사용한 기호는 다음과 같다.

$R$ [J/(kg · °K)]: 기체상수,  $T$ [°K]: 온도,  $A$ [m<sup>2</sup>]: 유로단면적,  $G_f$ [kgf/s]: 중량유량

식 (8), (9)를 식 (7)에 대입하면 다음 식이 구해진다.

$$\frac{10^8 P \cdot dP}{RT} + \frac{1}{g} \left( \frac{G_f}{A} \right)^2 \frac{du}{u} + \lambda \frac{1}{2g} \left( \frac{G_f}{A} \right)^2 = 0 \quad (10)$$

식 (10)을 밸브 입 · 출구에서 적분하면

$$\int_1^2 \frac{10^8}{RT} P dP + \int_1^2 \frac{1}{g} \left( \frac{G_f}{A} \right)^2 \frac{du}{u} + \lambda \frac{1}{2g} \left( \frac{G_f}{A} \right)^2 = \frac{10^8}{2RT} (P_2^2 - P_1^2) + \frac{1}{g} \left( \frac{G_f}{A} \right)^2 \ln \frac{u_2}{u_1} + \lambda \frac{1}{2g} \left( \frac{G_f}{A} \right)^2 \quad (11)$$

이 되고, 식 (11)을  $G_f$ 에 대하여 정리하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$G_f^2 = \frac{10^8 g A^2 (P_1^2 - P_2^2)}{RT \left( 2 \ln \frac{u_2}{u_1} + \lambda \right)} \quad (12)$$

밸브 입 · 출구부의 유속이 같다고 가정하면( $du=0$ ) 식 (6)을 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$10^4 dP \cdot v + \lambda \frac{u^2}{2g} = 0 \quad (13)$$

식 (13)을  $\lambda$ 에 대하여 정리한 후, 밸브 입 · 출구에서 적분하면 다음 식이 된다.

$$\lambda = 2 \cdot 10^4 \frac{g}{u^2} \frac{1}{r_l} (P_1 - P_2) \quad (14)$$

식 (14)에서  $r_l$ [kgf/m<sup>3</sup>]은 액체의 비중량을 나타낸다. 식 (4)를 유속과 유로단면적을 이용하여 정리하면

$$Q_l = 3600 u A^2 = \frac{C_v}{1.17} \sqrt{\frac{\Delta P}{s_l}} \quad (15)$$

$$\frac{P_1 - P_2}{u^2} \approx \frac{1.8 \cdot 10^7 \cdot s_l \cdot A^2}{C_v^2}$$

가 되고, 식 (15)에 식 (14)를 대입하면

$$g A^2 = \frac{\lambda r_l C_v^2}{3.6 \cdot 10^{11} s_l} \quad (16)$$

이 된다. 식 (16)을 식 (12)에 대입하면

$$G_f^2 = \frac{(P_1^2 - P_2^2) \lambda \cdot r_l \cdot C_v^2}{RT \left( 2 \ln \frac{u_2}{u_1} + \lambda \right) s_l \cdot 3.6 \cdot 10^3} \quad (17)$$

이 된다. 밸브 입 · 출구부의 유속 변화를 무시하여

$\ln \frac{u_2}{u_1} \approx 0$  ( $u_1 \approx u_2$ )로 가정하고,  $s_l = \frac{r_l}{r_w} = \frac{r_l}{1000}$  을

이용하여 식 (17)을 다시 정리하면

$$G_f^2 = \frac{(P_1^2 - P_2^2) C_v^2}{RT \cdot 3.6} \quad (18)$$

이 된다.

273[°K]에서의 공기의 중량유량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$G_f = \frac{Q_g r_g}{3600} = \frac{1.293}{3600} Q_g \quad (19)$$

식 (19)에서 사용한 기호는 다음과 같다.

$G_f$ [kgf/s]: 기체의 중량유량,  $Q_g$ [m<sup>3</sup>/h]: 기체의 체적유량  $r_g$ [kgf/m<sup>3</sup>]: 공기의 비중량

공기의 기체상수 29.27[J/(kg · °K)]와 식 (19)를 식 (18)에 대입하면  $C_v$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_g = 271 C_v \sqrt{(P_1^2 - P_2^2) \frac{1}{T}} = 271 C_v P_1 \sqrt{\left[ 1 - \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^2 \right] \frac{1}{T}} \quad (20)$$

식 (20)은 비음속유동일 때의 유량계산식이므로 임계압력비를 0.528로 설정하여 음속유동일 때의 유량계산식을 구하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{P_2}{P_1} \leq 0.528, Q_g = 230 C_v P_1 \sqrt{\frac{1}{T}} \quad (21)$$

상기한 바와 같이  $C_v$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량은 임계압력비를 0.528로 설정한다면 비음속유동일 때는 식 (20), 음속유동일 때는 식 (21)을 이용하여 계산할 수 있다. 그러나, 식 (20)과 (21)은 식 (13), (15), (17)등에서 알 수 있는바와 같이 밸브 입구와 출구 유체의 유속 변화가 없다고 가정하였고, 또한 액체의 유량식을 이용하여 유도하였으므로 식 (20)과 (21)을 적용할 수 있는 범위는 엄밀하게 표현한다면 공기를 비압축성 유체로 가정할 수 있는 범위(공기의 유속이 음속의 1/3이하 일 때를 비압축성 유동으로 생각한다면  $0.97 \leq P_2/P_1 \leq 1$ 인 범위)에 불과하다.

### 3. $f$ 를 이용한 유량계산식

#### 3.1 $f$ 의 정의

$f$ 는 영국에서 주로 사용하는 계수로서 밸브 양단의 차압을 1[PSI]로 유지시킨 상태에서 60[°F]의 물이 밸브를 통과하는 유량을 [gall(UK)/min]로 표시할 때 사용된다.

#### 3.2 $f$ 의 개념

식 (1)을  $f$ 를 이용하여 표기하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = f \sqrt{\frac{\Delta P}{s_i}} \quad (22)$$

식 (22)에서 사용한 기호의 단위는 다음과 같다.

$Q$ : [gall[UK]/min],  $\Delta P$ : [PSI],  $s_i$ : 물이면 1

식 (22)를 이용하여 유량을 표기하면  $f$ 가 1.2일 때 3.1절에 나타낸 상태에서 물이 흐를 때의 유량은 1.2[gall[UK]/min]가 된다.

$f$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식은 2.3절을 참조하여 유도할 수 있으므로 생략한다.

### 4. $K_v$ 를 이용한 유량계산식

#### 4.1 $K_v$ 의 정의

$K_v$ 는 유럽에서 주로 사용하는 계수로서 밸브 양단의 차압을 1[bar]로 유지시킨 상태에서 60[°F]의

물이 밸브를 통과하는 유량을 [m<sup>3</sup>/h]로 표시할 때 사용된다.

#### 4.2 $K_v$ 의 개념

식 (1)을  $K_v$ 를 이용하여 표기하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{s_i}} \quad (23)$$

식 (23)에서 사용한 기호의 단위는 다음과 같다.

$Q$ : [m<sup>3</sup>/h],  $\Delta P$ : [bar],  $s_i$ : 물이면 1

식 (23)을 이용하여 유량을 표기하면  $K_v$ 가 1.2일 때 4.1절에 나타낸 상태에서 물이 흐를 때의 유량은 1.2[m<sup>3</sup>/h] 이다.

$K_v$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식은 2.3절을 참조하여 유도할 수 있으므로 생략한다.

## 5. $S$ 를 이용한 유량계산식

#### 5.1 $S$ 의 정의

$S$ 는 일본에서 주로 사용하는 계수로서 밸브를 통과하는 실제 공기유량을 근거로 밸브내부 유로의 상태를 이상적인 오리피스로 가정하여 도출한 밸브내부 유로의 단면적(유효단면적)을 의미한다.

#### 5.2 $S$ 의 계측방법

$S$ 를 구하기 위한 계측방법은 JIS B 8375에 다음과 같이 정의되어 있다.

게이지압 500[kPa]로 가압한 용적  $V$ [ℓ]의 용기에 계측하기 위한 밸브를 연결하고, 용기 내부 압력이 200[kPa]이 될 때까지 밸브를  $t$ [s] 동안 동작시켜서 공기를 대기로 방출한 다음에 밸브를 중립위치로 복귀시킨다.  $S$ [mm<sup>2</sup>]는 밸브가 중립 위치로 복귀한 후에 용기내부 압력이 일정압력에 도달하기를 기다린 후  $P$ [kPa]과 이 때의 계측실 내부 온도  $T$ [K]를 계측하여 식 (24)로 산출한다. 단, 용기의 용적  $V$ 는 밸브 동작시간  $t$ 가 약 5초가 되도록 선정한다.

$$S = 12.9 V \frac{1}{t} \cdot \log_{10} \frac{601}{P+101} \cdot \sqrt{\frac{273}{T}} \quad (24)$$

#### 5.3 $S$ 를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식

##### 5.3.1 음속 유동

$P_1/P_s \leq 0.5283$ 일 때의 공기의 중량유량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$G_f = SP_s \sqrt{\frac{\kappa g}{RT_0} \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa-1}}} \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \quad (25)$$

식 (25)에 사용한 기호는 다음과 같다.

$G_f$ [kgf/s]: 중량유량,  $S$ [m<sup>2</sup>]: 유효단면적,  $P_s$ [kgf/m<sup>2</sup>]: 상류압력(절대압력),  $\kappa$ : 비열비,  $g$ [m/s<sup>2</sup>]: 중력가속도,  $R$ [J/(kg°K)]: 기체상수,  $T_0$ [K]: 기준온도,  $T_1$ [K]: 대기온도

식 (25)에  $\kappa=1.4$ ,  $g=9.8$ ,  $R=29.27$ ,  $T_0=273$ 을 대입하면

$$G_f = 2.398 \cdot 10^{-2} SP_s \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \quad (26)$$

이 되고, 273[K]에서의 공기의 비중량( $r_g=1.293$  [kgf/m<sup>3</sup>])을 이용하여 식 (26)을 정리하면 공기의 체적유량  $Q$ [m<sup>3</sup>/s]를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q &= \frac{G_f}{r_g} = \frac{2.398}{1.293} \cdot 10^{-2} SP_s \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \\ &= 1.854 \cdot 10^{-2} SP_s \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \end{aligned} \quad (27)$$

식 (27)을  $Q$ [l/s],  $S$ [mm<sup>2</sup>],  $P$ [kgf/cm<sup>2</sup>]으로 변경하면

$$\begin{aligned} Q &= 10^3 \cdot 1.854 \cdot 10^{-2} \cdot S \cdot 10^{-6} P_s \cdot 10^4 \sqrt{T_0/T_1} \\ &= 1.854 \cdot 10^{-1} \cdot S \cdot P_s \cdot \sqrt{T_0/T_1} \end{aligned} \quad (28)$$

이 되고, 식 (28)을  $Q$ [l/min]로 표기하면

$$Q \approx 11.1 SP_s \sqrt{T_0/T_1} \quad (29)$$

가 된다.

식 (29)를 질량 유량  $G$ [kg/s]로 표기하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} G &= Q \cdot \rho = \left(\frac{10^{-3}}{60}\right) \cdot 1.293 \cdot 11.1 SP_s \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \\ &\approx 2.15 \cdot 10^{-5} \cdot 11.1 SP_s \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \end{aligned} \quad (30)$$

### 5.3.2 아음속 유동

$P_1/P_s > 0.5283$ 일 때의 공기의 중량유량은 다음과 같이 유도된다.

식 (1)과  $S$ 를 이용하여 공기의 중량유량을 구하면 다음 식으로 기술할 수 있다.

$$G_f = Q \cdot r_g = S \sqrt{2gr_g(P_s - P_1)} \quad (31)$$

식 (31)에 사용한 기호는 다음과 같다.

$G_f$ [kgf/s]: 중량유량,  $S$ [m<sup>2</sup>]: 유효단면적,  $P_s$ [kgf/m<sup>2</sup>]: 상류압력(절대압력),  $P_1$ [kgf/m<sup>2</sup>]: 하류압력(절대압력),  $g$ [m/s<sup>2</sup>]: 중력가속도,  $r_g$ [kgf/m<sup>3</sup>]: 공기의 비중량  $P_1 = r_g RT_1$ 이므로 식 (31)은 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$\begin{aligned} G_f &= S \sqrt{2g \frac{P_1}{RT_1} (P_s - P_1)} \\ &= S \sqrt{2g \frac{P_1}{RT_0} (P_s - P_1)} \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \end{aligned} \quad (32)$$

식 (32)에서  $T_0$ [K]는 기준온도를 나타낸다. 식 (32)에  $g=9.8$ ,  $R=29.27$ ,  $T_0=273$ 을 대입하면

$$G_f = 0.0495 S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{T_0/T_1} \quad (33)$$

이 되고, 체적유량은  $G_f/r_g$ 이므로 273[K]에서의 공기의 비중량( $r_g=1.293$  [kgf/m<sup>3</sup>])을 이용하여 식 (33)을 정리하면 공기의 체적유량  $Q$ [m<sup>3</sup>/s]를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q &= \frac{0.0495}{1.293} S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \\ &\approx 0.0383 S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{T_0/T_1} \end{aligned} \quad (34)$$

식 (34)는 비압축성 유량방정식을 이용하여 유도하였으므로 유속이 음속이 되는 유량(식 (27))이  $P_1/P_s = 0.5283$ 에서 일치하지 않으므로 식 (34)의 상수 0.0383을 다음과 같이 수정한다.

수정계수를  $k$ 라고 하면 비압축성 유동과 압축성 유동의 경계영역인  $P_1/P_s = 0.5283$ 의 조건하에서 식 (27)의 결과와 식 (34)의 결과가 일치해야 하므로

$$\begin{aligned} Q &= 0.01854 SP_s \sqrt{T_0/T_1} \\ &= 0.0383k S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{T_0/T_1} \end{aligned} \quad (35)$$

가 성립해야하고,  $P_s = 1.893$ ,  $P_1 = 1$ 을 식 (35)에 대입하면  $k$ 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$k = \frac{0.01854 \cdot 1.893}{0.0383 \cdot \sqrt{0.893}} = 0.9697 \quad (36)$$

식 (36)의 결과를 이용하여 식 (34)를 수정하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Q &= 0.0383 \cdot 0.9697 S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{T_0/T_1} \\ &= 0.03714 S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{T_0/T_1} \end{aligned} \quad (37)$$

식 (37)을  $Q[\ell/s]$ ,  $S[\text{mm}^2]$ ,  $P[\text{kgf/cm}^2]$ 으로 변경하면

$$Q = 0.3714S\sqrt{P_1(P_s - P_1)}\sqrt{T_0/T_1} \quad (38)$$

이 되고, 식 (38)을  $Q[\ell/\text{min}]$ 로 표기하면

$$Q = 22.2S\sqrt{P_1(P_s - P_1)}\sqrt{T_0/T_1} \quad (39)$$

가 된다.

식 (39)를 식 (30)과 동일한 방법을 이용하여 질량유량  $G[\text{kg/s}]$ 로 표기하면 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$G = 2.15 \cdot 10^{-5} \cdot 22.2S\sqrt{P_1(P_s - P_1)}\sqrt{T_0/T_1} \quad (40)$$

## 6. C와 b를 이용한 유량계산식

### 6.1 C와 b의 정의

식 (29)과 (39)는 밸브교축부 양단의 임계압력비를 0.5283으로 가정하고 있지만, 실제로는 임계 압력비가 0.5283이하인 경우가 많다(공기압 유량비례제어 밸브의 임계 압력비는 0.3~0.4정도이다). 그러므로, 밸브의 실제 임계압력비가 0.3인 경우에 식 (29)와 (39)를 이용하여 계산하면 압력비가 0.3~0.528의 사이에서는 실제 유량보다 계산 유량이 많아지게 된다. 이러한 오차를 감소시키기 위하여 제안된 식이 C와 b를 이용한 유량계산식이고, 이 식은 ISO/DIS 6358에 정의되어 있다.

C는 소닉 컨덕턴스(sonic conductance)라고 부르고 밸브교축부를 공기가 음속으로 흐를 때의 공기유량을 밸브 상류압력으로 나눈 값을 의미한다. b는 밸브의 임계압력비(밸브를 통과하는 공기의 유속이 음속과 비음속의 경계가 되는 압력비)를 의미한다.

### 6.2 C와 b를 이용한 공기압 밸브의 유량계산식

#### 6.2.1 음속 유동

$P_1/P_s \leq b$ 일 때의 공기의 유량은 다음 식으로 나타낸다.

$$Q = CP_s\sqrt{T_0/T_1} \quad (41)$$

식 (41)에서 사용한 기호는 다음과 같다.

$Q[\ell/s]$ : 체적유량,  $C[\ell/(s \cdot \text{bar})]$ : 소닉 컨덕턴스,  $P_s[\text{bar}]$ : 상류압력(절대압력),  $T_1[\text{K}]$ : 대기온도,  $T_0[\text{K}]$ : 표준온도(293.15[K])

#### 6.2.2 아음속 유동

$P_1/P_s > b$ 일 때의 공기의 유량은 다음 식으로 나타낸다.

타낸다.

$$Q = C \cdot P_s \sqrt{1 - \left(\frac{P_1}{P_s} - b\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T_1}} \quad (42)$$

식 (42)에서 사용한 기호는 다음과 같다.

$P_1[\text{bar}]$ : 하류압력(절대압력),  $b$ : 임계압력비

## 7. 공기압 밸브 사이즈를 표시하는 각종 계수간의 변환식

### 7.1 $C_v$ 와 $f$ 의 변환식

식 (3)과 식 (22)를 비교하면  $C_v$ 가 1일 때의 유량은 1[gall(US)/min]이고,  $f$ 가 1일 때의 유량은 1[gall(UK)/min]이므로 1[gall[US]/min]=0.8325[gall[UK]/min]임을 생각한다면

$$C_v = 1.2f, f = 0.8325 C_v \quad (43)$$

임을 알 수 있다.

### 7.2 $C_v$ 와 $K_v$ 의 변환식

$\Delta P$ 를 1.02[kgf/cm<sup>2</sup>](=1[bar])로 두고 식 (4)와 (23)을 이용하여 물의 유량을 계산하면

$$\begin{aligned} Q &= \frac{C_v}{1.17} \sqrt{\frac{1.02}{1}} = C_v \cdot 0.863 \\ &= K_v \sqrt{\frac{1.02}{1}} = K_v \cdot 1.01 \end{aligned} \quad (44)$$

가 되므로

$$K_v = 0.854 C_v, 1.17 K_v = C_v \quad (45)$$

임을 알 수 있다.

### 7.3 $C_v$ 와 S의 변환식

식 (4)와 (39)를 이용하여  $C_v$ 와 S를 이용한 유량을 비교하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Q &= 271 C_v P_s \sqrt{\left[1 - \left(\frac{P_1}{P_s}\right)^2\right] \frac{1}{T}} \\ &= 22.092 S P_s \sqrt{\frac{P_1}{P_s} \left(1 - \frac{P_1}{P_s}\right)} \sqrt{\frac{1}{T}} \end{aligned} \quad (46)$$

압력비를 0.99로 설정하여 식 (44)를 계산하면

$$17.39 C_v = S, C_v = 0.0575 S \quad (47)$$

가 된다.

7.4 S와 C의 변환식

식 (29)와 (41)을 비교하면 S와 C의 관계를 다음과 같이 구할 수 있다.

우선 식 (29)를 식 (41)의 기준상태(표준온도 293.15[K], 표준압력 100[kPa])와 동일한 조건(식 (29)에서의 기준상태는 압력은 대기압(101300[Pa]) 온도는 273[K]임)으로 환산하기 위하여 식 (25)~(27)의  $T_0$ 를 293.15[K], 비중량  $r_g$ 를 1.188[kgf/m<sup>3</sup>]로 설정하여 수정한 후, Q를 [ $\ell$ /s]로 환산하면

$$Q = 1.95 \cdot 10^{-1} SP_s \sqrt{T_0/T_1} \quad (48)$$

이 되고, 식 (46)의 압력단위를 [bar]로 수정하면

$$Q = 0.2 SP_s \sqrt{T_0/T_1} \quad (49)$$

이 된다.

식 (41)과 (49)를 비교하면

$$C = 0.2S, S = 5C \quad (50)$$

의 관계가 성립함을 알 수 있다.

8. 결 언

2~6장에 나타난 각종 유량계산식 중 공기압 밸브의 유량계산식에 이용되는 식을 정리하면 다음과 같다.

표 1 공기압 밸브의 유량계산식

C <sub>v</sub> 를 이용한 유량계산식	$P_1/P_s \leq 0.528, Q = 230 C_v P_s \sqrt{1/T}$
	$P_1/P_s > 0.528,$ $Q = 271 C_v P_s \sqrt{\left[1 - \left(\frac{P_1}{P_s}\right)^2\right] \frac{1}{T}}$
	$Q[\text{m}^3/\text{h}], P[\text{kgf}/\text{cm}^2](\text{절대압력}), T[^\circ\text{K}], C_v[\text{m}^{7/2}/\text{kg}^{1/2}]$
S를 이용한 유량계산식	$P_1/P_s \leq 0.528,$ $Q = 11.1 SP_s \sqrt{T_0/T_1}$
	$P_1/P_s > 0.528,$ $Q = 22.2 S \sqrt{P_1(P_s - P_1)} \sqrt{T_0/T_1}$
	$Q[\ell/\text{min}], P[\text{kgf}/\text{cm}^2](\text{절대압력}), T[^\circ\text{K}], S[\text{mm}^2]$
C와 b를 이용한 유량계산식	$P_1/P_s \leq b, Q = CP_s \sqrt{T_0/T_1}$
	$P_1/P_s > b,$ $Q = C \cdot P_s \sqrt{1 - \left(\frac{P_1/P_s - b}{1 - b}\right)^2} \cdot \sqrt{\frac{T_0}{T_1}}$
	$Q[\ell/\text{s}], P[\text{bar}](\text{절대압력}), T[^\circ\text{K}], C[\ell/(\text{s} \cdot \text{bar})]$

7.1~7.4절의 결과를 이용하여 각종 계수간의 관계를 정리하면 다음과 같다.

표 2 공기압 밸브 사이즈를 표시하는 각종 계수간의 관계

C <sub>v</sub>	f	K <sub>v</sub>	S	C
1	0.8325	0.854	17.39	3.478
1.2	1	1.025	20.868	4.174
1.17	0.974	1	20.346	4.069
0.058	0.048	0.05	1	0.2
0.288	0.24	0.246	5	1

참고 문헌

- 1) 日本油空壓學會, "新版油空壓便覽" 오ーム社, 1989.
- 2) 日本油空壓學會, "實用空氣壓ポケットブック" タカラ印刷紙工株式會社, 1990.
- 3) A. Esposito, "Fluid Power with Applications" Prentice-Hall International Inc., 2000.
- 4) DRAFT INTERNAL STANDARD, ISO/DIS 6368.
- 5) R. H. Warring, "Pneumatic Handbook", Trade & Technical Press Ltd., 1982.

[저 자 소 개]



지 상 원

E-mail: remain@kimm.re.kr

Tel: 042-868-7976

1977년 4월 5일생(음)

2004년 부경대학교 기계공학부 기계시스템

전공 학사 과정 졸업, 2006년 부경대학교

제어기계공학과 석사 과정 졸업, 2004년~

현재 한국기계연구원 유공압팀 근무, 유공압시스템학회, 한국 동력기계공학회, 대한기계학회 등의 회원