

드레인 오리피스를 갖는 포펫 밸브의 상대 안정도에 관한 연구

A Study on Relative Stability for Poppet Valve with Drain Orifice

윤소남 · 정황훈 · 서정균 · 함영복

S. N. Yun, H. H. Jeong, J. K. Seo and Y. B. Ham

Key Words: Nyquist Criterion(나이키스트 안정 판별법), Poppet Valve(포펫 밸브), Relative Stability(상대 안정도)

Abstract: The poppet valve had used every field area due to high quality of leakage property and response characteristic. But this valve still has terrible disadvantage that is self-exited vibration. This problem affects stability of total system and raises noise. The researcher tries to reduce that self-exited vibration when valve was designed. The stability discriminant is the typical study to improve the performance of the poppet valve.

This paper concerns about stability discriminant that uses poppet valve with a drain orifice. At the first, the mathematical model is computed from poppet valve. After that, the limitation of stability is calculated that based on Nyquist criterion. At the final, the stability discriminant is selected in each condition and the graph that shows stability in the system is drawn by dimensionless quantity.

1. 서론

포펫 밸브는 응답특성과 누설특성이 뛰어나, 압력을 제어하는 목적으로 릴리프 밸브, 감압밸브, 시퀀스 밸브, 언로드 밸브, 카운터 밸브 등의 용도로 사용되어진다. 하지만, 스프링에 지지되어지는 포펫의 자러진동에 의해 소음을 유발시키며, 포펫 밸브를 사용하는 전체 유압시스템의 안정도에 악영향을 끼치는 단점을 가지고 있다. 따라서, 포펫 밸브를 설계하거나 설치하기 위해서는 전체 시스템의 안정도 해석이 선행되어야 하며, 이에 따라 포펫의 형상과 변위, 포펫과 밸브 시트간의 개구 면적, 포펫에 연결된 스프링의 상수에 따른 밸브 안정성과 응답성 향상에 대한 연구가 이미 진행되었다.^{1)~5)}

본 연구에서는 포펫에 직접적으로 힘을 전달하는 밸브실의 압력과 밸브 출구의 압력을 제어하기 위해 드레인 오리피스를 갖는 포펫 밸브 시스템을 구상하

고, 나이키스트 안정 판별법을 이용하여 해당 시스템의 안정도 판별식을 유도하고자 한다. 또한, 유도된 안정도 판별식을 이용하여 포펫 변위와 포펫 각도에 따른 무차원화 그래프를 그리고, 이를통해 전체 포펫 시스템에 대해 고찰하고자 한다.

2. 모델링

Fig. 1는 입구 측 오리피스와 출구 측 오리피스를 갖는 포펫 밸브의 개념도를 나타낸 그림이다. 탱크에

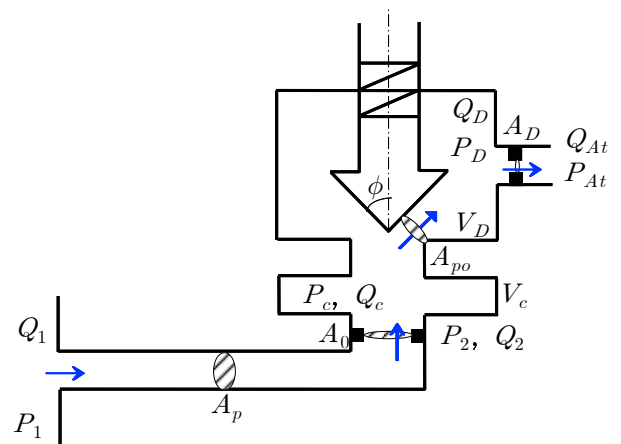


Fig. 1 Poppet valve with inlet and drain orifice

접수일 : 2010년 6월 7일
 윤소남(책임저자) : 한국기계연구원
 E-mail : ysn688@kimm.re.kr
 Tel : 042)868-7155
 정황훈, 서정균, 함영복 : 한국기계연구원

서 전달된 작동유체의 압력과 유량은 관로를 통해 입구 측 오리피스를 거쳐 포켓 밸브에 전달되며, 포켓과 밸브 시트 사이의 오리피스를 거쳐, 출구 측 오리피스로 전달된다.

관로를 지나는 압력과 유량은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.⁶⁾

$$\begin{bmatrix} P_1(s) \\ Q_1(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cosh(\lambda l) & z_0 \sinh(\lambda l) \\ \frac{1}{z_0} \sinh(\lambda l) & \cosh(\lambda l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_2(s) \\ Q_2(s) \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서,

$$\lambda = \frac{\sqrt{s^2 + R_f s}}{a}, \quad R_f = \frac{32\nu}{d_p^2}, \quad a = \frac{1}{\sqrt{\rho\left(\beta + \frac{d_p}{bE}\right)}}$$

$$z_0 = \frac{\rho a^2 \lambda}{A_p s}$$

이다.

탱크에서 전달되는 압력 P_1 과 유량 Q_1 을 이용하여 관로를 지난 후의 압력 P_2 와 유량 Q_2 를 구하면, 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} P_2(s) &= c_{01}P_1(s) + c_{02}Q_1(s) \\ Q_2(s) &= c_{03}P_1(s) + c_{04}Q_1(s) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,

$$c_{01} = \cosh(\lambda l), \quad c_{02} = -\frac{1}{z_0} \sinh(\lambda l),$$

$$c_{03} = -z_0 \sinh(\lambda l), \quad c_{04} = \cosh(\lambda l)$$

이다.

다음으로, 입구 측 오리피스를 지날 때, 오리피스를 거친 압력 P_c 와 유량 Q_c 를 구하면 식(3), 식(4)과 같다.⁷⁾

$$\frac{dP_c}{dt} = \frac{K}{V_c}(Q_2 - Q_c) \quad (3)$$

$$Q_c = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_c)}{\rho}} \quad (4)$$

여기서, C_0 는 입구 측 오리피스의 유량계수이며, A_0 는 입구 측 오리피스의 단면적이다.

입구 측 오리피스를 거친 압력 P_c 와 유량 Q_c 는 포켓과 밸브 시트 사이의 오리피스를 거치게 되며, 이 오리피스를 거친 압력 P_D 와 유량 Q_D 는 식(5), 식(6)과 같다.⁷⁾

$$\frac{dP_D}{dt} = \frac{K}{V_D}(Q_c - Q_D) \quad (5)$$

$$Q_D = C_p A_p \sqrt{\frac{2(P_c - P_D)}{\rho}} \quad (6)$$

여기서, C_p 는 밸브의 유량계수이며, A_p 는 포켓과 밸브 시트 사이의 오리피스 단면적으로 $\pi d_m \sin \phi x_p$ 과 같이 구해진다.

포켓과 밸브 시트 사이의 오리피스를 거친 작동유체는 출구 측 오리피스를 통해 대기 중으로 방출되며, 이 관계를 이용하여 출구 측 오리피스를 거친 압력 P_{At} 과 유량 Q_{At} 는 식(7), 식(8)과 같다.⁷⁾

$$\frac{dP_{At}}{dt} = \frac{K}{V_{At}}(Q_D - Q_{At}) \quad (7)$$

$$Q_{At} = C_D A_D \sqrt{\frac{2(P_D - P_{At})}{\rho}} \quad (8)$$

여기서, C_D 는 출구 측 오리피스의 유량계수이며, A_D 는 출구 측 오리피스의 단면적이다. V_{At} 는 대기압의 체적으로 $V_{At} = \infty$ 와 같으므로, 식(7)의 대기압 P_{At} 의 시간에 대한 변화율은 0이다. 또한, P_{At} 는 대기압이므로, 계기압력은 0이다. 따라서 식(8)은 식(9)와 같이 나타낼 수 있다.⁷⁾

$$Q_{At} = C_D A_D \sqrt{\frac{2P_D}{\rho}} \quad (9)$$

마지막으로, 포켓의 뉴턴 운동방정식을 구하면 식(10)과 같다.

$$m \frac{d^2 x_p}{dt^2} + c_f \frac{dx_p}{dt} + k_0(x_p + x_{p0}) = (A_0 - b x_p) P_c \quad (10)$$

여기서, m 은 포켓의 질량이고, c_f 는 포켓의 점성저항 계수, k_0 는 포켓의 스프링상수이다. x_p 는 포켓의 변위이며, x_{p0} 는 포켓의 초기치 변위이다.

이상에서의 관계로부터 Fig. 1과 같은 포켓 밸브의 관계식은 식(2)~식(6), 식(9), 식(10)과 같다.

주어진 관계식으로부터 포켓 밸브의 전달함수를 구하기 위하여 각 식들을 선형화하고, 라플라스 변환한다.

먼저, 식(3)은 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_{11} s P_c(s) = Q_2(s) - Q_c(s) \quad (11)$$

여기서, $c_{11} = \frac{V_c}{K}$ 이다.

식(4)의 경우, 비선형항을 가지고 있기 때문에 해당 비선형항을 (P_{20} , P_{c0})인 점을 기준으로 Taylor 급수를 이용하여 선형화한 이후, 식(12)와 같이 라플라스 변환을 한다.

$$Q_c(s) = c_{12}P_2(s) - c_{13}P_c(s) \quad (12)$$

여기서, $c_{12} = c_{13} = C_0A_0\sqrt{\frac{1}{2\rho(P_{20} - P_{c0})}}$ 이다.

식(5)를 라플라스변환을 하면 식(13)과 같다.

$$c_{21}sP_D(s) = Q_c(s) - Q_D(s) \quad (13)$$

여기서, $c_{21} = \frac{V_D}{K}$ 이다.

식(6)의 경우에도 비선형항을 가지고 있기 때문에 해당 비선형항을 (x_{p0} , P_{c0} , P_{D0})인 점을 기준으로 Taylor 급수를 이용하여 선형화한 이후, 식(14)와 같이 라플라스 변환을 한다.

$$Q_D(s) = c_{22}X_p(s) + c_{23}P_2(s) - c_{24}P_c(s) \quad (14)$$

여기서,

$$c_{22} = C_p\pi d_m \sin\phi \sqrt{\frac{2(P_{c0} - P_{D0})}{\rho}},$$

$$c_{23} = c_{24} = C_p\pi d_m \sin\phi x_{p0} \sqrt{\frac{1}{2\rho(P_{c0} - P_{D0})}}$$

이다.

식(9)는 라플라스 변환을 통해 식(15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{At}(s) = c_{32}P_D(s) \quad (15)$$

여기서, $c_{32} = C_D A_D \sqrt{\frac{1}{2\rho P_{D0}}}$ 이다.

식(10)은 라플라스 변환을 통해 식(16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$(s^2 + 2\zeta\omega_p s + \omega_p^2)X_p(s) = K_1\omega_p^2 P_c(s) \quad (16)$$

여기서, $\omega_p = \sqrt{\frac{k_e}{m}}$, $\zeta = \frac{c_f}{2\sqrt{k_e m}}$, $K_1 = A_e/k_e$,

$k_e = k_0 + bP_{c0}$, $A_e = A_0 - bx_{p0}$ 이다.

식(2)와 식(11)~식(16)의 관계를 통해 독립변수가 P_1 , Q_1 , P_D , P_c , X_p 인 관계식을 구하면 식(17)과 같다.

$$\begin{aligned} (c_{11}s - c_{24})P_c(s) &= \\ (c_{03} - c_{23}c_{01})P_1(s) + (c_{04} - c_{23}c_{02})Q_1(s) \\ - c_{22}X_p(s) - c_{21}sP_D(s) \end{aligned} \quad (17)$$

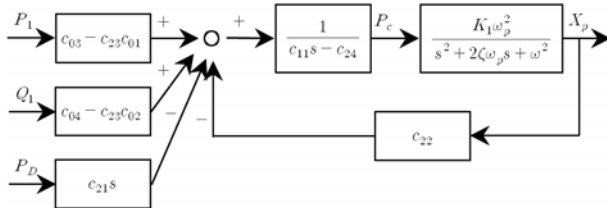


Fig. 2 Block diagram of poppet valve

Fig. 2는 식(17)과 같이 나타낼 수 있는 포켓 밸브의 관계식을 블록선도로 나타낸 것이다.

3. 안정 판별식의 유도

Fig. 2에서 탱크에서 전달되는 압력 P_1 에서 포켓 변위 X_p 까지의 루프전달함수 G_{L1} 를 구하면 식(18)과 같다.

$$G_{L1}(s) = \frac{c_{22}(c_{03} - c_{23}c_{01})}{c_{11}s - c_{24}} \frac{K_1\omega_p^2}{s^2 + 2\zeta\omega_p s + \omega_p^2} \quad (18)$$

여기서, R_f 가 아주 작다는 가정할 때, $\lambda = \frac{s}{a}$,

$z_0 = \frac{\rho a}{A_p}$ 이다.

마찬가지로 Fig. 2에서 탱크에서 전달되는 유량 Q_1 에서 포켓 변위 X_p 까지의 루프전달함수 G_{L2} 를 구하면 식(19)와 같고, 포켓을 거친 압력 P_D 에서 포켓 변위 X_p 까지의 루프전달함수 G_{L3} 를 구하면 식(20)과 같다.

$$G_{L2} = \frac{c_{22}(c_{04} - c_{23}c_{02})}{c_{11}s - c_{24}} \frac{K_1\omega_p^2}{s^2 + 2\zeta\omega_p s + \omega_p^2} \quad (19)$$

$$G_{L3} = -\frac{c_{21}c_{22}}{c_{11}s - c_{24}} \frac{K_1\omega_p^2}{s^2 + 2\zeta\omega_p s + \omega_p^2} \quad (20)$$

Fig. 2에서 포켓 밸브 시스템은 선형이기 때문에 시스템의 출력은 탱크에서 전달되는 압력 P_1 과 유량 Q_1 에 의한 영향과 포켓을 거친 압력 P_D 의 영향을 합한 것과 같으며, 전체 시스템이 안정하기 위해서는 각각의 전달함수가 안정해야 한다. 따라서, 각각의 루프전달함수에 대하여 주파수 전달함수를 구하고, Nyquist 안정 판별법을 이용하여 안정 한계를 구하고자 한다. 구해진 안정 한계를 통해 안정 영역을 확인하고, 이로부터 안정 판별식을 구한다.⁸⁾⁻⁹⁾

라플라스 연산자 s 를 대신하여 $j\omega$ 대입하는 것을 통해 탱크에서 전달되는 압력 P_1 에서 포켓 변위 X_p 까지의 루프전달함수 G_{L1} 의 주파수 전달함수의 크기와 위상을 구하면 식(21), 식(22)와 같다.

$$|G_{L1}(j\omega)| = c_{22}K_1\omega_p^2 \sqrt{\frac{(c_{23}^2 \cos^2\theta + z_0^2 \sin^2\theta)}{d_{g11}}} \quad (21)$$

$$\angle G_{L1}(j\omega) = \tan^{-1}\left(\frac{z_0}{c_{23}}\tan\theta\right) + \tan^{-1}\left(\frac{c_{11}\omega}{c_{24}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{2u_2}{u_1}\right) \quad (22)$$

안정한계를 구하기 위하여 루프전달함수 G_{L1} 의 크기를 1이라고 두고, ϵ 은 충분히 작은 수라고 할 때, $\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$ 이라 가정한다. 또한, 위상이 180° 일 때의 조건을 대입하여, 안정한계를 구하면 식 (23)과 같다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\omega_1}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 + c_{22}K_1) - \sqrt{(4\zeta^2 + c_{22}K_1)^2 - 16\zeta^2}}{2} \\ \left(\frac{\omega_2}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 + c_{22}K_1) + \sqrt{(4\zeta^2 + c_{22}K_1)^2 - 16\zeta^2}}{2} \\ \left(\frac{\omega_3}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 - c_{22}K_1) - \sqrt{(c_{22}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \\ \left(\frac{\omega_4}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 - c_{22}K_1) + \sqrt{(c_{22}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \end{aligned} \quad (23)$$

안정영역을 확인하기에 앞서 구해진 해들의 크기 비교를 통해 해의 위치를 비교한다. 안정한 영역을 확인하기 위하여, ω_1 과 ω_2 의 평균값과 ω_3 과 ω_4 의 평균값을 이용하여 안정영역을 확인한다.

먼저, 크기조건을 정의하면 다음과 같다.

1) ϵ 은 충분히 작은 수라고 가정하고($\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$),

$c_{11}\omega u_1 = 2u_2c_{24}$ (위상조건)이고, ζ 의 값이 $c_{22}K_1 > 4\zeta^2 + 4\zeta \geq 0$ 일 때, ω 가 $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ 범위에 있을 때 안정하다.

여기서, ω_1, ω_2 ($\omega_p \leq \omega_1 \leq \omega_2$)는 안정한계 값으로 식(24)와 같다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\omega_1}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 + c_{22}K_1) - \sqrt{(c_{22}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \\ \left(\frac{\omega_2}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 + c_{22}K_1) + \sqrt{(c_{22}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \end{aligned} \quad (24)$$

2) ϵ 은 충분히 작은 수라고 가정하고($\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$),

$c_{11}\omega u_1 = 2u_2c_{24}$ (위상조건)이고, ζ 의 값이 $c_{22}K_1 > 4\zeta^2 + 4\zeta \geq 0$ 일 때, ω 가 $\omega_3 \leq \omega \leq \omega_4$ 범위에 있을 때 안정하다.

여기서, ω_3, ω_4 ($\omega_p \leq \omega_3 \leq \omega_4$)는 안정한계 값으로 식(25)와 같다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\omega_3}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 - c_{22}K_1) - \sqrt{(c_{22}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \\ \left(\frac{\omega_4}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 - c_{22}K_1) + \sqrt{(c_{22}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \end{aligned} \quad (25)$$

다음으로 위상조건을 확인하면 다음과 같다.

$\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$ 이고, $\omega = \omega_p \sqrt{1 + c_{22}K_1}$ 일 때, 안정이기

위해서는 $c_{11} > \frac{\omega^2}{\omega_p^2}$ 이어야 한다.

마찬가지 방법을 통해 탱크에서 전달되는 유량 Q_1 에서 포켓 변위 X_p 까지의 루프전달함수 G_{L2} 와 포켓을 거친 압력 P_D 에서 포켓 변위 X_p 까지의 루프전달함수 G_{L3} 에 대한 안정 판별식을 구한다.

전달함수 G_{L2} 에 대한 크기 조건은 다음과 같다.

1) ϵ 은 충분히 작은 수라고 가정하고($\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$),

$c_{11}\omega u_1 = 2u_2c_{24}$ (위상조건)이고, ζ 의 값이 $\frac{c_{22}}{c_{24}}K_1 > 4\zeta^2 + 4\zeta \geq 0$ 일 때, ω 가 $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ 범위에 있을 때 안정하다.

여기서, ω_1, ω_2 ($\omega_p \leq \omega_1 \leq \omega_2$)는 안정한계 값으로 식(26)과 같다.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\omega_1}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 + \frac{c_{22}}{c_{24}}K_1) - \sqrt{(\frac{c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \\ \left(\frac{\omega_2}{\omega_p}\right)^2 &= \frac{-(4\zeta^2 - 2 + \frac{c_{22}}{c_{24}}K_1) + \sqrt{(\frac{c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \end{aligned} \quad (26)$$

2) ϵ 은 충분히 작은 수라고 가정하고($\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$),

$c_{11}\omega u_1 = 2u_2c_{24}$ (위상조건)이고, ζ 의 값이 $\frac{c_{22}}{c_{24}}K_1 > 4\zeta^2 + 4\zeta \geq 0$ 일 때, ω 가 $\omega_3 \leq \omega \leq \omega_4$ 범위에 있을 때 안정하다.

여기서, ω_3, ω_4 ($\omega_p \leq \omega_3 \leq \omega_4$)는 안정한계 값으로 식(27)과 같다.

$$\left(\frac{\omega_3}{\omega_p}\right)^2 = \frac{-(4\zeta^2 - 2 - \frac{c_{22}}{c_{24}}K_1) - \sqrt{(\frac{c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2}$$

$$\left(\frac{\omega_4}{\omega_p}\right)^2 = \frac{-(4\zeta^2 - 2 - \frac{c_{22}}{c_{24}}K_1) + \sqrt{(\frac{c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \quad (27)$$

다음으로, 전달함수 G_{L2} 에 대한 위상조건은 다음과 같다.

$\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$ 이고, $\omega = \omega_p \sqrt{1 + \frac{c_{22}}{c_{24}}K_1}$ 일 때, 안정이기 위해서는 $c_{11} > \frac{\omega^2}{\omega_p^2}$ 이어야 한다.

전달함수 G_{L3} 에 대한 크기조건은 다음과 같다.

1) ϵ 은 충분히 작은 수라고 가정하고($\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$),

$c_{11}\omega u_1 = 2u_2c_{24}$ (위상조건)이고, ζ 의 값이 $\frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}$

$K_1 > 4\zeta^2 + 4\zeta \geq 0$ 일 때, ω 가 $\omega_1 \leq \omega \leq \omega_2$ 범위에 있을 때 안정하다.

여기서, $\omega_1, \omega_2(\omega_p \leq \omega_1 \leq \omega_2)$ 는 안정한계 값으로 식(28)과 같다.

$$\left(\frac{\omega_1}{\omega_p}\right)^2 = \frac{-(4\zeta^2 - 2 + \frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1) - \sqrt{(\frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2}$$

$$\left(\frac{\omega_2}{\omega_p}\right)^2 = \frac{-(4\zeta^2 - 2 + \frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1) + \sqrt{(\frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \quad (28)$$

2) ϵ 은 충분히 작은 수라고 가정하고($\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$),

$c_{11}\omega u_1 = 2u_2c_{24}$ (위상조건)이고, ζ 의 값이 $\frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}$

$K_1 > 4\zeta^2 + 4\zeta \geq 0$ 일 때, ω 가 $\omega_3 \leq \omega \leq \omega_4$ 범위에 있을 때 안정하다.

여기서, $\omega_3, \omega_4(\omega_p \leq \omega_3 \leq \omega_4)$ 는 안정한계 값으로 식(29)와 같다.

$$\left(\frac{\omega_3}{\omega_p}\right)^2 = \frac{-(4\zeta^2 - 2 - \frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1) - \sqrt{(\frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2}$$

$$\left(\frac{\omega_4}{\omega_p}\right)^2 = \frac{-(4\zeta^2 - 2 - \frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1) + \sqrt{(\frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1 - 4\zeta^2)^2 - 16\zeta^2}}{2} \quad (29)$$

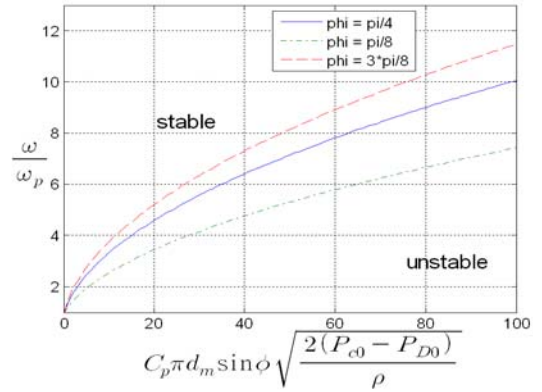
전달함수 G_{L3} 에 대한 위상조건은 다음과 같다.

$\frac{\omega l}{a} \ll \epsilon$ 이고, $\omega = \omega_p \sqrt{1 + \frac{c_{21}c_{22}}{c_{24}}K_1}$ 일 때, 안정

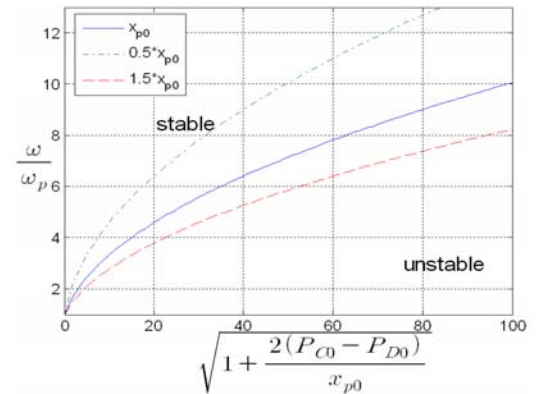
이기 위해서는 $c_{11} > \frac{\omega^2}{\omega_p^2}$ 이어야 한다.

4. 시스템 안정 영역 고찰

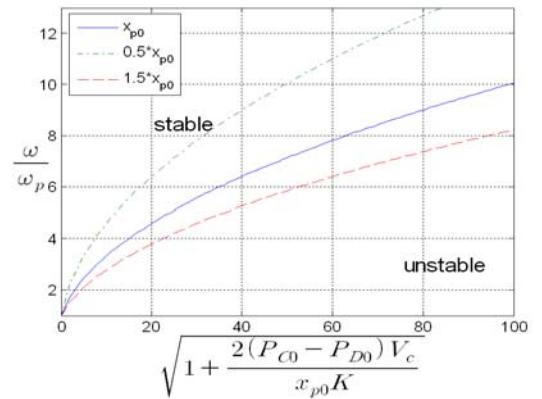
주어진 안정 판별조건으로부터 상대적인 안정도를 판별하기 위하여 각 파라미터들을 무차원량으로 표현하고 이를 그린다. 먼저 루프 전달함수에 대한 주파수 전달함수의 크기 조건으로부터 상대적인 안정



(a) Stability limitation from P_1 to x_D



(b) Stability limitation from Q_1 to x_D



(c) Stability limitation from P_D to x_D

Fig. 3 Stability limitation for gain condition

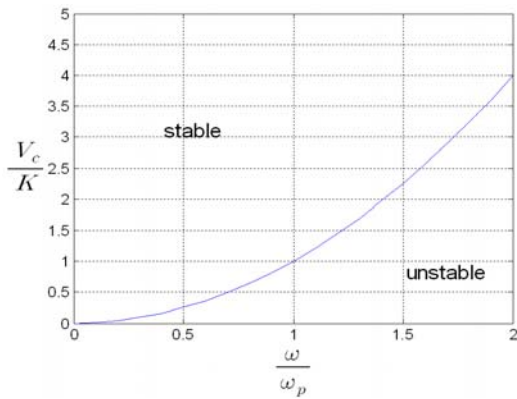


Fig. 4 Stability limitation for phase condition

도를 판별한다. 포펫의 각도는 $\pi/4$ 를 기준으로 $\pi/8$, $\pi/4$, $3\pi/8$ 에 대해 안정도를 판별하였으며, 포펫의 변위는 x_{p0} 를 기준으로 기준 변위의 0.5배와 1.5배에 대하여 안정도를 판별하였다.

Fig. 3은 크기 조건으로부터 포펫 변위와 포펫 각도에 따라 전체 시스템의 안정영역을 무차원량을 사용하여 나타낸 그림이며, Fig. 4는 위상 조건으로부터 전체 시스템의 안정영역을 나타낸 그림이다. 이상에서의 결과로부터 포펫 밸브의 특성을 정리하면 다음과 같다.

가. 포펫의 각도가 기준 각도에 비해 작아질수록 안정영역이 커진다.

나. 포펫의 위치가 밸브 시트에 가까워질수록 시스템은 안정해진다.

다. 주파수의 비가 낮을수록 시스템은 안정해진다.

5. 결론

본 논문에서는 압력 제어를 목적으로 사용되는 포펫 밸브에 대하여 그 안정성을 확인하였다. 이를 위하여 포펫에 직접적으로 힘을 전달하는 밸브실의 압력과 밸브 출구의 압력을 제어하기 위해 드레인 오리피스를 갖는 포펫 밸브 시스템을 구상하였고, 나이키스트 안정 판별법을 이용하여 해당 시스템의 안정도 판별식을 유도하였다. 또한, 유도된 안정도 판별식을 이용하여 포펫 변위와 포펫 각도에 따른 무차원화 그래프를 그리고, 이를 통해 전체 포펫 시스템에 대해 고찰하였다.

참고 문헌

- 1) Ichikawa, C. and Nakamura, K., 1978, "型油壓弁の安定性について", the Journal of the Japen Society of Mechanical Engineers, Vol. 34, No. 257, pp. 91~99.
- 2) Kosima, E., 1983, "壓力制御弁の安定性に關する研究", the Journal of the Japen Society of Mechanical Engineers, Vol. 38, No. 310, pp. 1437~1446.
- 3) Lee, D. Y., Choi, H. Y., Park, J. S. and Koo, J. Y., 2006, "A Study on Stability Improvement of Fuel Metering Unit for Air Breathing Engine", the Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 34, No. 9, pp. 76~81.
- 4) Choi, Y. H., Yun, S. N., Ham, Y. B. and Jo, J. D., 2002, "Characteristics Analysis of Direct-operated Poppet Valve", the 2002 Annual fall conference of the Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 729~732.
- 5) Park, S. H., 2009, "Design and Performance Characteristic Analysis of Servo Valve-type Water Hydraulic Poppet Valve", the Journal of Mechanical Science and Technology, Vol 23, pp. 2468~2478.
- 6) (社)日本油空壓學會, 1989, "新版 油空壓便覽", 옴사, 동경, pp.24~25
- 7) 서용권, 2001, "유압제어공학", 경문사, 서울, pp. 39~45
- 8) 김종식, 2003, "선형제어시스템공학", 청문각, 서울, pp. 195~199
- 9) 양주호, 소명옥, 정병건, 정석권, 김영복, 2006, "자동제어", 두양사, 서울, pp. 267~269