

축방향으로 움직이는 밸브 액추에이터의 동특성

Dynamic Behavior of Axially Moving Valve Actuator

손인수† · 허관도* · 안성진*

In Soo Son, Kwan Do Hur and Sung Jin Ahn

1. 서 론

최근 담수 및 해양 플랜트와 같은 펌핑 시스템 사업에서 대용량 밸브의 사용은 필수적이라 할 수 있다. 이러한 파이프 시스템에서는 수충격(water hammer)과 같은 급격한 압력 변화에 빠르게 대응하기 위하여 릴리프 밸브의 적절한 설계 및 사용은 매우 중요하다. 특히 밸브에서 유체의 방향과 흐름을 제어하기 위하여 필요한 액추에이터의 역할은 매우 크다. 이 연구에서는 설정압력 20 bar 이상에서 개방되고, 16,000 m³/hr에 해당하는 대형 서지 릴리프 밸브 액추에이터의 개발과 관련하여 각 설계변수에 따른 진동특성과 안정성 해석을 수행하고자 한다. 밸브 액추에이터의 해석 모델은 축방향으로 이동되는 보 형상으로 고려하여 해석을 수행하였다. 축방향으로 이동되는 구조물의 안정성에 대한 연구는 대표적으로 Wicket와 Mote에 의한 연구를 들 수 있으며, 현재까지 많은 연구자들에 의하여 축방향으로 이동되는 보의 고유진동수 및 응답특성에 대한 연구들이 수행되어져 오고 있다.

하지만 이들 선행 연구에서는 축방향으로 이동되는 액추에이터 즉, 이동되는 보가 디스크와 같은 부가질량이 존재하는 경우 이동속도 및 부가질량의 영향에 의한 액추에이터의 안정성 및 진동특성에 대한 연구결과는 찾아보기 힘들다. 따라서 이 연구에서는 밸브 액추에이터를 이동되는 보로 모델링하고 유압을 받는 디스크를 부가질량으로 간주하여 이동속도 및 부가질량이 보의 안정성 및 고유진동수에 미치는 영향을 해석하였다.

2. 이론해석

Fig. 1은 서론에서 언급한 바와 같이 밸브 액추에이터를 이동되는 보로 모델링한 것이다. 여기서 L 은 보의 전체 길이를 나타내며, m 과 x_m 은 각각 부가질량과 좌측 고정단에서 부가질량까지의 거리를 나타낸다. v 는 이동되는 보의 이동속도를 의미한다.

Fig. 1에 보인 시스템에서 보와 부가질량의 에너지 식 및 보존력 비보존력에 의한 일을 구하여 확장된 해밀턴 원리에 대입하면 다음과 같이 운동방정식과 경계조건을 각각 구할 수 있다.

$$EIy'''' + (\rho Av^2 - N_x)y'' + mv^2y''(x_m, t) + 2v[\rho Ay' + m\dot{y}'(x_m, t)] + \rho A\ddot{y} + m\ddot{y}(x_m, t) = 0 \quad (1)$$

$$y(0, t) = y_1(t), \quad y'(0, t) = \theta_1(t) \quad (2)$$

$$y(L, t) = y_2(t), \quad y'(L, t) = \theta_2(t) \quad (2)$$

여기서,

$$\dot{y}_m = \left(\frac{\partial y}{\partial x_m} \frac{\partial x_m}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial t} \right) \Bigg|_{x_m = vt} \quad (3)$$

이고, EI 는 탄성계수, ρ 와 A 는 각각 보의 밀도와 단면적을 나타낸다. y 는 보의 횡변위, M 은 굽힘

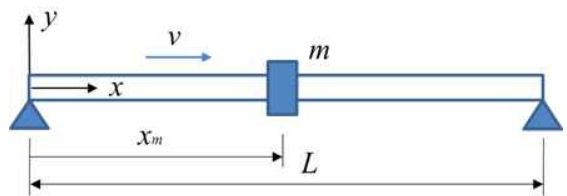


Fig. 1 Axially moving beam with attached mass

† 교신저자; 정회원, 동의대학교 기계공학과
E-mail : isson92@deu.a.ckr
Tel : (051)890-2239, Fax : (051)890-2232
* 동의대학교 기계공학과

모멘트를 의미하며, N_x 는 장력이다. m , L 은 각각 액추에이터에서 유체압력을 받는 디스크의 질량과 보의 전체 길이를 나타낸다. 그리고 아래첨자 1, 2

는 각각 $x = 0$, L 을 의미한다.

3. 수치해석 결과

이론을 통하여 유도한 계의 운동방정식을 이용하여 부가질량을 가지고 축방향으로 이송하는 보의 안정성을 해석하였다. 이 연구에서는 보를 단순지지 보로 가정하여 해석을 수행하였다.

Fig. 2는 부가질량을 가지는 경우 이송속도에 의한 이송되는 보의 허수부 및 실수부 고유치를 도식하여 안정성 판단을 수행한 결과이다. Fig. 3은 부가질량의 크기에 따른 임계유속을 도식한 것이다. 좌굴 불안정을 일으키는 임계유속은 부가질량과 서로 반비례적인 경향을 보인다. 플러터 임계유속은 부가질량의 크기가 3.31kg까지는 1, 2차 모드의 연성에 의해서 발생하며, 그 이후에는 2,3차 모드의 연성에 의해서 플러터 불안정이 일어남을 알 수 있다. Fig. 4에서 부가질량의 위치가 보의 중앙에 위치하는 경우 1차 모드에서 가장 낮은 고유진동수를 나타내며 A부분에서는 거의 동일한 진동수를 가진다. 또 전반적으로 이동속도가 빠를수록 고유진동수는 더 작은 값을 가진다.

4. 결론

이 논문에서는 릴리프 밸브 액추에이터의 안정성 및 고유진동수를 구하였다. 밸브 액추에이터는 이송되는 보로, 액추에이터의 디스크는 부가질량으로 모델링하여 이송속도 및 부가질량의 영향에 의한 보의 안정성을 판단하였다. 부가질량의 크기가 클수록 좌굴 임계유속은 점점 작아지지만, 1, 2차 모드 연성에 의하여 발생하는 플러터 임계유속은 점점 커지며, 특정 크기(이 연구에서는 3.31kg)보다 커지면 2, 3차 모드 연성에 의하여 플러터 불안정이 일어나며, 이 때는 부가질량의 크기와 플러터 임계유속은 서로 반비례적이다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연공동기술개발사업(No.000426980110)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

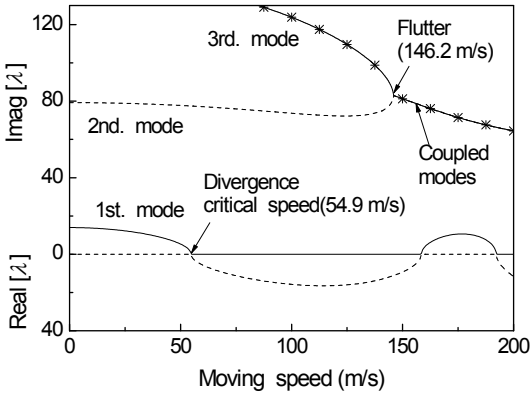


Fig. 2 Lowest three eigenvalues versus moving speed ($m=10$ kg, $x_m=L/2$)

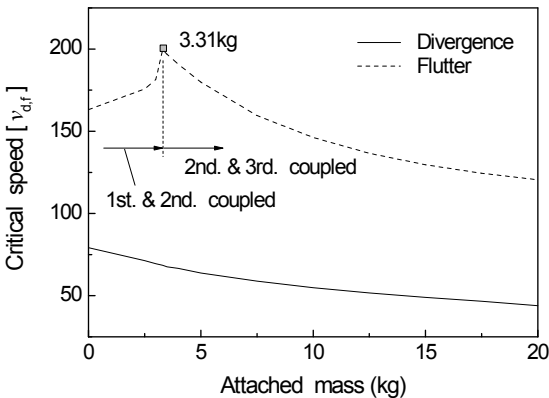


Fig. 3 Critical speed of moving beam as attached mass

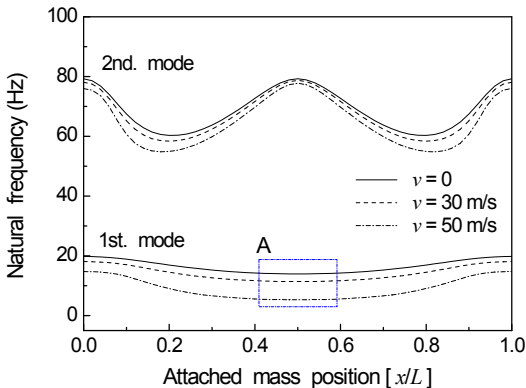


Fig. 4 Natural frequency of moving beam as attached mass position ($m = 10$ kg)