한국소음진동공학회 2012년 추계학술대회논문집, pp. 223~224

병진운동하는 허브에서 전개하는 보의 동적 거동해석
Dynamic Analysis of the Deploying Beam on the Translating Hub

정진태† · 김병진*
Jintai Chung, Byeongjin Kim

1. 서 론

국내 산업이 발전함에 따라 제품의 생산성 뿐만 아니라 품질 또한 높은 관리기준이 요구되어 지고 있다. 특히 정밀성이 요구되는 첨단부품의 제조공정 중 사출공정은 제품조립 초기단계로 완제품의 품질을 결정하는 중요한 단계이다. 사출공정 중 제품의 안정적인 제거를 수행하는 기구로 취출로봇이 사용된다. 이 로봇은 외팔보의 형태로 동적으로 매우 취약한 형태를 가지고 있지만 사출공정의 특성상 외팔보 구조를 탈피하기 쉽지 않다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 안정적인 취출로봇의 설계를 위하여 단순 모델인 병진운동하는 허브상에서 전개하는 보를 수학적으로 모델링 하고 이에 대한 진동특성을 분석하였다.

2. 본론

2.1 모델링

병진운동하는 허브에서 전개하는 보의 모델링을 위하여 Figure 1과 같이 관성좌표계에서 직진운동하는 허브상에서 시간에 따라 길이가 변하는 외팔보를 모델링 하였다. 보는 오일러-베르누이 보 이론을 적용하였으며 균일한 탄성보로서 탄성계수 E, 단위 길이당 체적 ρ 그리고 단면적 A를 갖는다. 또한 일반적으로 취출로봇의 끝단 부착되는 제품을 잡기 위한 기구물을 표현하기 위해 끝단에 집중질량을 부과하였으며 보와 끝단에 부착된 집중질량은 g의 영향을 받는다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : 031-400-5287, Fax :031-406-6964
* 한양대학교 대학원

허브가 운동함에 따라 보가 변형함에 따라 점 P는 P`로 이동하게 되는데 발생하는 변위를 $u(x,t)$, $v(y,t)$로 표현하였다. 따라서 변형후의 점 $P$`의 위치벡터를 보에 위치한 좌표계로 표현하면 다음과 같다.

$$\mathbf{r}=\begin{cases}(X+x+u)\mathbf{i}+Y\mathbf{j} & \text{for } 0\le y<L-l\\ (X+x+u)\mathbf{i}+(Y+v)\mathbf{j} & \text{for } L-l\le y\le L\end{cases} \quad (1)$$

여기서 **i**와 **j**는 보에 위치한 좌표계로서 축방향과 횡방향 단위벡터를 의미한다. 이를 시간에 대하여 미분하여 속도벡터를 구하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{v}=\frac{\partial \mathbf{r}}{\partial t}=\begin{cases}\left(V_b+\dfrac{\partial u}{\partial t}\right)\mathbf{i}+V_h\mathbf{j} & \text{for } 0\le x<L-l\\ \left(V_b+\dfrac{\partial u}{\partial t}\right)\mathbf{i}+\left(V_h+\dfrac{\partial v}{\partial t}\right)\mathbf{j} & \text{for } L-l\le x\le L\end{cases} \quad (2)$$

이때 V_b는 보의 전개속도이며 V_b는 허브의 이동속도이다.

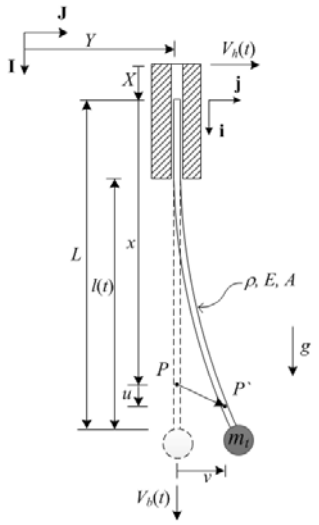

Figure 1 Model of the deploying beam with translating hub

2.1 운동방정식

허브의 이동과 함께 전개하는 보의 운동방정식을 유도하기 위하여 운동에너지와 위치에너지 그리고 보의 끝단에서 보를 밀어주는 힘에 의한 비보전력에 의한 에너지를 다음과 같이 변분을 취하여 표현하였다.

$$\delta T = \rho\int_0^L \left(V_b + \frac{\partial u}{\partial t}\right)\delta\left(\frac{\partial u}{\partial t}\right)dx + \rho\int_{L-l}^{L}\left(V_h + \frac{\partial v}{\partial t}\right)\delta\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)dx + m_t\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)\delta\left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)\Big|_{y=L} \quad (3)$$

$$\delta U = \int_0^L\int_A \sigma_x \delta\varepsilon_x dA dx - \int_0^L \rho g \delta u dx - m_t g\,\delta u\Big|_{y=L} \quad (4)$$

$$\delta W = (\rho L + m_t)\dot{V}_b \delta u\Big|_{x=0} \quad (5)$$

변분을 위한 에너지들을 식(9)와 같이 표현되는 헤밀턴 원리(Hamilton principle)를 이용하여 운동방정식과 경계조건을 얻을 수 있다.

$$\int_{t_1}^{t_2}(\delta T - \delta U + \delta W)dt = 0 \quad (9)$$

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - EA\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \rho(g - \dot{V}_b) \qquad \text{for } 0 \le x \le L \quad (10)$$

$$v = 0 \qquad \text{for } 0 \le x \le L - l \quad (11)$$

$$\rho\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} - EA\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial v}{\partial x}\right) + EI\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} = -\rho\dot{V}_h \qquad \text{for } L - l < x \le L \quad (12)$$

2.3 속도함수에 따른 시간응답 비교

운동방정식을 이산화하여 행렬-벡터형태의 방정식으로 표현한 후 Newmark 시간적분법을 이용하여 보 끝단의 응답을 구하였다. 보의 전개속도와 허브의 이동속도는 서보모터에서 쓰이는 속도함수를 사용하였으며 가속도의 영향을 분석하기 위하여 전체 운동시간에서 가속구간이 차지하는 시간의 비율을 매개변수 α를 도입하여 표현하였다.

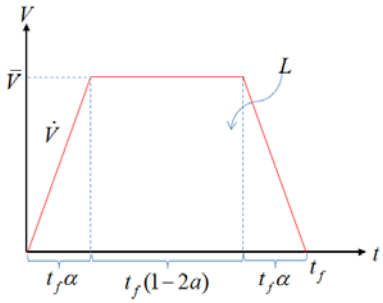

Figure 2 Velocity profile of the beam and hub

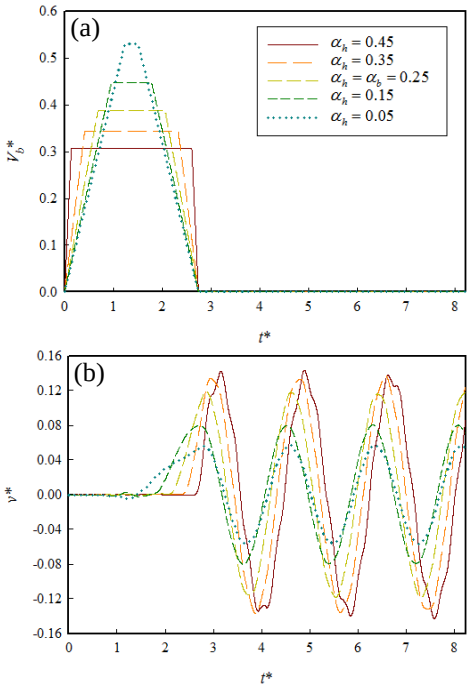

Figure 3 (a) Velocity profile by α variation of the hub, (b) Time responses of the tip deflection of the beam

보가 전개할 때 허브에 작용하는 가속도의 영향을 분석하기 위하여 보의 가속시간비율 α_b를 0.25로 고정하고 허브의 가속시간비율 α_h의 값을 Figure 3 (a)와 같이 변화시켜 시간응답을 구하였다. 그 결과 Figure 3 (b)에서 보는 것과 같이 보의 끝단의 진동은 허브의 감속시작지점에서 커지는 경향을 보이며 진폭은 감속 가속도가 클수록 커지는 것을 확인할 수 있다.,

3. 결 론

병진하는 허브에서 전개하는 보에 대한 운동방정식을 유도하였으며 허브의 가속도가 보의 횡방향 변위에 미치는 영향을 확인하였다. 전개속도함수와 허브이동속도함수 사이의 상관관계 분석을 통해 보 끝단 진동을 저감하는 방한을 모색할 것이다.

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MEST) (No. 2012-0005689).