

한가지 가진기의 부하출력특성에 대한 연구

오명성, 강현상

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《우리는 과학기술강국건설에 박차를 가하여 짧은 기간에 나라의 과학기술발전에서 새로운 비약을 이룩하며 과학으로 흥하는 시대를 열고 사회주의건설에서 혁명적전환을 가져와야 합니다.》(《조선로동당 제7차대회에서 한 중앙위원회사업총화보고》 단행본 38페이지)

진동시효를 위한 가진기를 제작하거나 이미 있는 가진기를 요구되는 대상에 적용할 때 제기되는 중요한 문제의 하나는 가진기의 부하출력을 정확히 결정하고 그것에 알맞는 전동기를 선택하는것이다.

선행연구[1]에서는 진동시효기와 시효대상을 한자유도계로 모형화하여 그것의 진동특성을 해석하고 그것에 기초하여 부하출력과 모멘트를 결정하였으며 선행연구[2]에서는 진동시효에서 가진력이 소재의 피로한계에 주는 영향에 대하여 논의하고 한자유도진동계를 대상으로 하여 부하특성을 연구하였다. 선행연구[3]에서도 잔류응력과 기계적부하의 호상작용을 연구하면서 진동계는 한자유도계로 모형화하고 실험계산을 진행하였다.

우리는 연속계로서의 보의 가진모형을 대상으로 하여 진동특성을 해석하고 가진기의 부하출력특성을 연구하였다.

1. 한자유도가진모형의 부하출력특성

진동시효에 리용되는 한자유도가진모형은 그림 1과 같다.

한자유도가진모형의 진동방정식은 다음과 같다.

$$F(\omega)\sin\omega t = m' \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx$$

여기서 $F(\omega) = me\omega^2$ 이며 e 는 편심거리, m' 는 체계의 총 질량이다.

이로부터 진동계의 정상상태진동은 $x(t) = A\sin(\omega t + \alpha)$ 와 같이 얻어진다. 여기서

$$A = \frac{H}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4q^2\omega^2}}, \quad H = \frac{me\omega^2}{m'}, \quad q = \frac{c}{2m}, \quad \alpha = \text{tg}^{-1}\left(\frac{2q\omega}{\omega^2 - \omega_0^2}\right).$$

정상가진상태에서 전동기에 걸리는 부하출력은 다음과 같다.

$$P(t) = F(\omega)\sin\omega t \frac{dx}{dt} = \frac{m'e^2\omega^5}{2m'\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4q^2\omega^2}} [\sin(2\omega t + \alpha) - \sin\alpha] \quad (1)$$

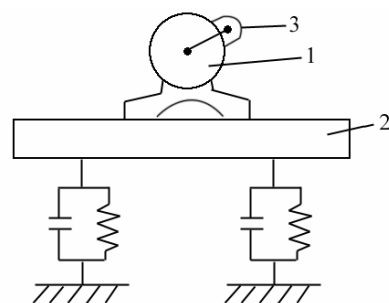


그림 1. 한자유도가진모형
1-전동기, 2-소재, 3-편심질량

부하출력은 주기적으로 변하며 한 주기내에서 평균부하출력은 식 (1)로부터

$$\bar{P} = \frac{a(me)^2 k^5}{(1-k^2)^2 + 4b^2 k^2} \omega$$

이다. 여기서 $a = \frac{q\omega_0}{m'}$, $k = \frac{\omega}{\omega_0}$, $b = \frac{q}{\omega_0}$ 이다.

부하모멘트는 다음과 같다.

$$M(t) = \frac{P(t)}{\omega} = \frac{[F(\omega)]^2}{2m'\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4q^2\omega^2}} [\sin(2\omega t + \alpha) - \sin \alpha] \quad (2)$$

부하모멘트도 주기적으로 변하며 한주기내에서 부하모멘트의 평균값은 식 (2)로부터

$$\bar{M} = a(me)^2 k^5 / [(1-k^2)^2 + 4b^2 k^2].$$

a 와 b 의 값이 일정할 때 me 의 서로 다른 값에 대하여 부하모멘트 \bar{M} 를 결정할수 있다. 가진기에서 전동기부하는 조화진동부하이며 그것은 식 (2)와 같이 전동기각속도에 관계된다.

서로 다른 소재에 대하여 파라메터 a, b, ω 들의 값이 달라져도 평균부하의 곡선형태는 서로 근사하다.

2. 보의 가진모형의 부하출력특성

그림 2와 같이 단순지지된 보의 중심에 가진기에 의한 조화외력이 작용할 때 가로진 동응답은

$$y(x, t) = \sum_{r=1}^{\infty} \frac{2}{\rho FL} \frac{F}{\omega_r^2 - \omega^2} \sin \frac{r\pi}{L} x_1 \sin \frac{r\pi x}{L} \left(\sin \omega t - \frac{\omega}{\omega_r} \sin \omega_r t \right)$$

와 같다. 여기서 ρ 는 보의 밀도, F 는 보의 자름면면적, ω_r 는 r 차고유진동수, x_1 은 가진기의 위치이다.

가진기의 부하출력은

$$\begin{aligned} P(t) &= F(\omega) \sin \omega t \frac{dy(x, t)}{dt} \\ &= \frac{2m^2 e^2 \omega^5}{\rho FL(\omega^2 - \omega_0^2)} (\cos \omega t - \cos \omega_0 t) \sin \omega t \end{aligned}$$

이며 평균부하출력과 부하모멘트는 다음과 같다.

$$\bar{P} = \frac{8m^2 e^2 \omega^7}{\pi \rho FL(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \left(\cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + 1 \right), \quad \bar{M} = \frac{\bar{P}(t)}{\omega} = \frac{8m^2 e^2 \omega^6}{\pi \rho FL(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \left(\cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + 1 \right)$$

진동시효기의 편심량이 $me = 0.3 \text{ kg} \cdot \text{m}$ 이고 가진하려는 보의 기하학적파라메터가 길이 $L = 2 \text{ m}$, 직경 $d = 15 \text{ cm}$ 일 때 가진에 필요한 부하출력과 부하모멘트를 구하자.

보의 축관성모멘트는 $J = \pi d^4 / 64$ 이고 재료력학적특성인 밀도는 $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$, 탄성계수는 $E = 2.1 \times 10^{11} \text{ Pa}$ 로 가정한다.

보의 1고유진동수는 $\omega_0 = 72.01 \text{ Hz}$ 이며 평균가진부하출력을 구하면

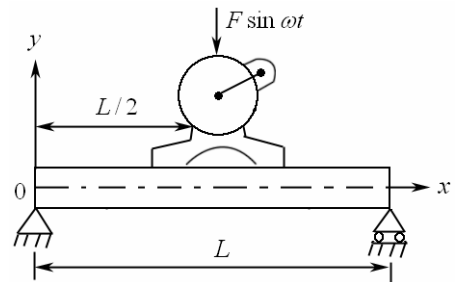


그림 2. 보의 가진모형

$$\bar{P}(t) = 4.156 \cdot 2 \times 10^{-4} \cdot \frac{\omega^7}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \left(\cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + 1 \right)$$

이고 평균가진 부하모멘트는 $\bar{M}(t) = \frac{\bar{P}(t)}{\omega} = 4.156 \cdot 2 \times 10^{-4} \cdot \frac{\omega^6}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \left(\cos \frac{\omega_0}{\omega} \pi + 1 \right)$ 과 같다.

맺는 말

길이가 2m, 직경이 15cm인 보를 1고유진동수근방에서 가진할 때 300W의 출력을 가진 전동기를 리용하여야 하며 이때 전동기에 걸리는 평균부하모멘트는 대략 $3\text{N} \cdot \text{m}$ 라는것을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] 李强 等; 华北工学院学报, **22**, 3, 186, 2001.
- [2] 徐秀娟 等; 北京理工大学学报, **28**, 4, 294, 2008.
- [3] 胡永会 等; 轻金属, **2**, 53, 2011.

주체105(2016)년 9월 5일 원고접수

A Study about Characteristics of Load Power in Exciter

O Myong Song, Kang Hyon Sang

We decided the motor power for VSR(vibration stress relief), researched a method to determine the characteristics of load power in exciter which is required in improving the characteristics of velocity control and verified the efficiency through the computational experiment.

Key words: exciter, load power, load moment