

회전축계에서 발생하는 스틱슬립 현상 연구

Study of stick-slip phenomena on spinning shaft

김보형 † · 정진태 †
B Kim and J Chung

Key Words : Spinning shaft(회전축계), Stick-slip(스티크슬립)

ABSTRACT

This paper investigates the stick-slip phenomena on spinning shaft. The modeling of the shaft is considered only torsional direction with nonlinear friction. The friction is adopted a negative friction-velocity slope. Based on the model, a nonlinear equation of motion is derived and analyze the stick-slip phenomena. In order to analyze the time dependent response, the nonlinear formulations are numerically solved by nonlinear Newmark method. The numerical results reveal the stick-slip phenomena on the spinning shaft system.

기 호 설 명

- L : 회전축계의 길이
- N : 수직항력
- r : 회전축계의 반경
- μ_s : 정마찰 계수
- μ_k : 동마찰 계수
- α : 마찰력 기울기 계수
- v_{rel} : 상대속도

1. 서 론

스티크슬립 현상은 접촉면에서 마찰에 의한 자려진동에 의해 발생된다. 이 때 마찰력은 속도와 비선형성을 가지며 회전체의 상대속도가 증가함에 따라 마찰력이 감소하는 특성을 지닌다. 이러한 스틱슬립 현상은 기계의 불필요한 떨림을 유발시키고 파손시키는 악영향을 끼친다. 이러한 스틱슬립 현상이 발생하는 시스템에 대해 실험적으로 그 원인을 규명하기가 어려움이 따르므로 수학적 모델을 수립하여

스티크슬립 현상을 이해하고자 한다.

본 연구에서는 연속체인 회전축계의 한쪽 끝 단에서 발생하는 스틱슬립 현상에 대해 연구하기 위하여 우선적으로 Hamilton 원리로부터 운동방정식을 수립할 것이다. 이후 시간 적분법을 이용하여 회전축계의 동적 거동을 확인하고 리미트 사이클을 통해 스틱슬립 현상을 확인하고 분석할 것이다.

2. 본 론

2.1 운동방정식 유도

회전축계의 한쪽 끝 단에 마찰이 존재하는 시스템은 Fig.1에 도식화하였다. 축계는 연속체로 모델링하였고 Ω 의 속도로 회전하고 있다. 운동방정식과 경계조건은 Hamilton원리에 의해 다음과 같이 구해진다.

$$\rho J \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} - GJ \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} = f \delta(x-L) \quad (1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x=0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} = 0 \quad \text{at } x=L$$

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031)400-5287, Fax : (031)406-6964
‡ 발표자; 한양대학교 일반대학원 기계공학과

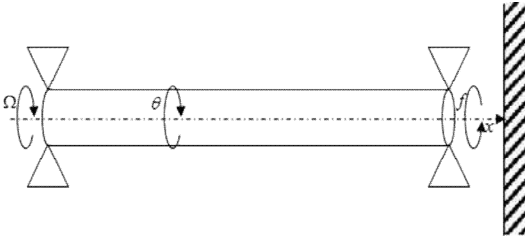


Fig. 1 Spinning shaft with friction

스틱슬립 현상을 구현하기 위해 마찰력은 마찰면에서의 상대속도와 비선형성을 가지게된다. 이러한 음의 기울기를 갖는 마찰력은 다음과 같이 나타난다.

$$f = -\text{sgn}(v_{rel}) \left[\mu_k + (\mu_s - \mu_k) e^{-\alpha |v_{rel}|} \right] N r \quad (3)$$

위의 식은 비선형 Newmark 알고리즘을 사용하여 시간 적분을 실시하였다. 동적 거동을 확인함으로써 스틱슬립 현상의 발생유무 및 특성을 확인할 수 있다.

2.2 스틱슬립 현상 분석

회전속도 Ω 는 5로 일정하게 회전하고 있으며 시간이 지남에 따라 응답 결과는 점점 발산하는 모습을 보이다가 일정 구간에 다다르면 더 이상 발산하지 않고 일정한 값을 유지하게 되는 모습을 Fig.2에서 확인 할 수 있다. 또한 이 응답을 리미트 사이클로 확인을 할 경우 스틱슬립 현상이 발생하는 것을 Fig.3에서 확인 할 수 있다.

3. 결 론

자려진동으로 인해 발생한 스틱슬립 현상을 확인하였다. 차후 댐핑 부과에 대한 효과, 영향도 분석 등을 통해 회전축계에서 발생하는 스틱슬립 현상에 대해 더욱 자세히 관찰할 수 있을것으로 사료된다.

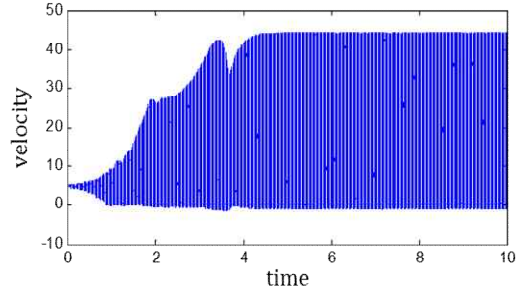


Fig. 2 Velocity time response at $x = L$

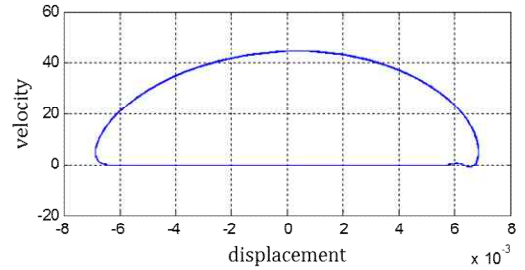


Fig. 3 Limit-cycle at $x = L$

참 고 문 헌

- (1) R. I. Leine, D. H. Van Campen and A. De Kraker, 1998, Stick-Slip Vibrations Induced by Alternate Friction Models, *Nonlinear Dynamics*, Vol. 16, pp. 41-54.
- (2) Singiresu S. Rao, 2007, *Vibration of Continuous Systems*, John Wiley & Sons, Inc. pp. 271-294.
- (3) B. Kim, W. Jung and J. Chung, 2013, Parametric Study for the Squeal Noise Reduction of an Automobile Water Pump, *KSNVE*, Vol. 23, pp. 624-630.
- (4) Zhenguo Zhang, Zhiyi Zhang, Xiuchang Haung and Hongxing Hua, 2014, Stability and transient dynamics of a propeller-shaft system as induced by nonlinear friction acting on bearing-shaft contact interface, *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 333, pp. 6295-6780.