

자러 진동 구현을 위해 제안된 마찰 모델의 정확성 검증

Accuracy verification of the friction model which is proposed to realize self-excited vibration

최찬규* · 유흥희†

Chan Kyu Choi, Hong Hee Yoo

1. 서 론

자러 진동(Self-excited vibration)현상은 기계 시스템뿐만 아니라 실생활에도 자주 나타나는 현상이다. 예를 들어 바이올린의 현과 활, 디스크 브레이크의 Squeal 현상, 문을 여닫을 때 등 마찰로 인하여 소음과 진동이 발생한다. 기계 시스템에서는 부품 상호간의 마찰이 그 시스템의 감쇠성분으로 작용하여 에너지 소모가 일어나며 또한 불필요한 진동, 소음이 발생하여 좋지 않다. 따라서 기계 시스템 설계시 이러한 마찰에 의한 운동을 정확히 예측하여 불필요한 소음과 진동을 예측하고 줄이는 것이 필요하다. 그러기 위해서는 마찰 현상을 잘 묘사 할 수 있는 마찰 모델이 요구된다.

임의의 두 강체 사이에서 접촉이 일어나면 그 접촉 점에서 마찰력이 작용하여 시스템의 거동에 큰 영향을 미치게 된다. 이 마찰력을 효과적으로 반영하기 위해 다양한 마찰 모델 연구가 있었다. 통상 가장 널리 알려진 마찰 모델이 쿨롱 마찰 모델인데 이 모델을 적용하면 힘의 불연속으로 인해 문제가 발생하며, 따라서 현재 대부분의 다물체동역학 해석 프로그램들은 특정한 형태의 연속 마찰 함수를 사용하고 있다. 하지만 이러한 연속 마찰 모델은 두 강체가 접촉 조건으로 접촉하고 있을 때 저속 미끄럼 현상이 일어나며 또한 자러 진동 현상을 구현하지 못하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위한 연구가 이루어졌고 새로운 마찰 모델이 제안되었다. 그러나 제안된 마찰 모델은 기존 마찰 모델의 문제점을 개선시켰지만 그 모델의 정확성 검증은 이루어지지 않았다. 따라서 본 논문에서는 다양한 마찰 모델의 형태를 다룰 수 있는, 제안된 마찰모델을 이용하여 마찰 진동자의 거동을 수치해석 하고 그 결과를 실제 실험결과와 비교하여 제안된 마찰 모델의 정확성을 검증하였다.

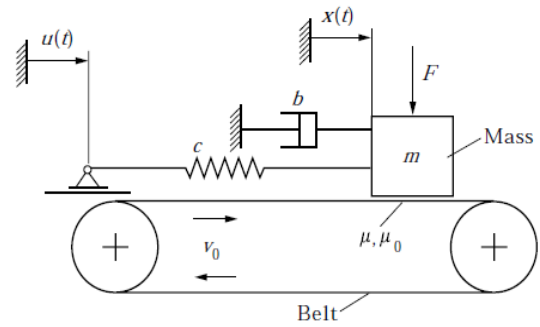


Fig. 1 Model of a friction oscillator

2. 본 론

2.1 마찰 진동자 모델

Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 마찰 진동자(Friction oscillator) 이상화된 모델이며 이 시스템의 운동방정식은 식 (1)과 같다.

$$m\ddot{x}(t) + b\dot{x}(t) + cx(t) = F_R(v_r) + cu_0 \cos\Omega t \quad (1)$$

$$F_R(v_r) = \mu(v_r)|F| \quad (2)$$

$$v_r = v_0 - x(t) \quad (3)$$

여기서, m 은 질량, b 는 댐핑 상수(Damping coefficient), c 는 스프링 상수(Spring coefficient), $u(t) = u_0 \cos\Omega t$ 는 외부 가진(External excitation), v_0 는 벨트 속도, F 는 수직항력, $F_R(v_r)$ 은 마찰력으로써 벨트와 상자의 상대속도의 함수이며 식 (2)와 같다. 그리고 v_r 은 벨트와 상자 사이의 상대속도이다. $v_0 \neq 0, u(t) = 0$ 인 경우를 Pure self excitation 이라 하고, $v_0 \neq 0, u(t) \neq 0$ 인 경우를 Self and external excitation 이라 한다.

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학부

E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr

Tel : (02) 2220-0446, Fax : (02) 2293-5070

* 한양대학교 대학원 기계공학과

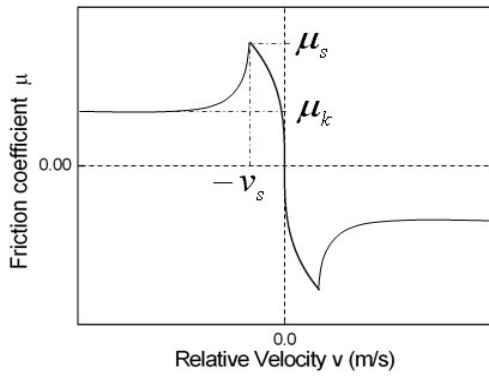


Fig. 2 Proposed friction model

2.2 마찰 모델

일반적으로 마찰 계수는 두 강체의 접촉면의 상대 속도의 함수이다. Fig. 2 는 제안된 마찰 모델이다. 이 모델은 쿨롱 마찰 모델과 같이 힘의 불연속이 일어나는 문제 해결 및 자력 진동 구현을 위해 제안된 모델이다. Fig. 2 의 수학적 모델은 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} \mu &= -a^{(v-b)} - \mu_k, & v < -v_s \\ \mu &= \frac{\mu_s}{(v_s)^\beta} v^\beta, & -v_s \leq v \leq v_s \\ \mu &= a^{-(v+b)} + \mu_k, & v > v_s \end{aligned} \quad (4)$$

β 와 a 의 값은 사용자가 결정하는 상수 값이고 b 는 동적 마찰계수, 정적 마찰계수 그리고 β , a 값이 결정되면 계산되는 상수 값이다. 이 매개변수에 따라서 다양한 형태의 마찰모델 구현이 가능하다.

3. 결 과

3.1 Pure self excitation

Fig. 3 은 실험결과와 제안된 마찰 모델을 사용한 수치해석 결과를 비교한 것이다. 실험결과와 비교하여 수치해석 결과는 상당히 정확한 결과를 준다.

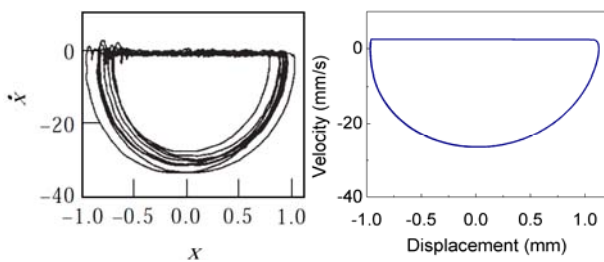


Fig. 3 Phase plane plot for pure self excitation (materials: steel-polyurethane): (a) experimental, (b) simulation result

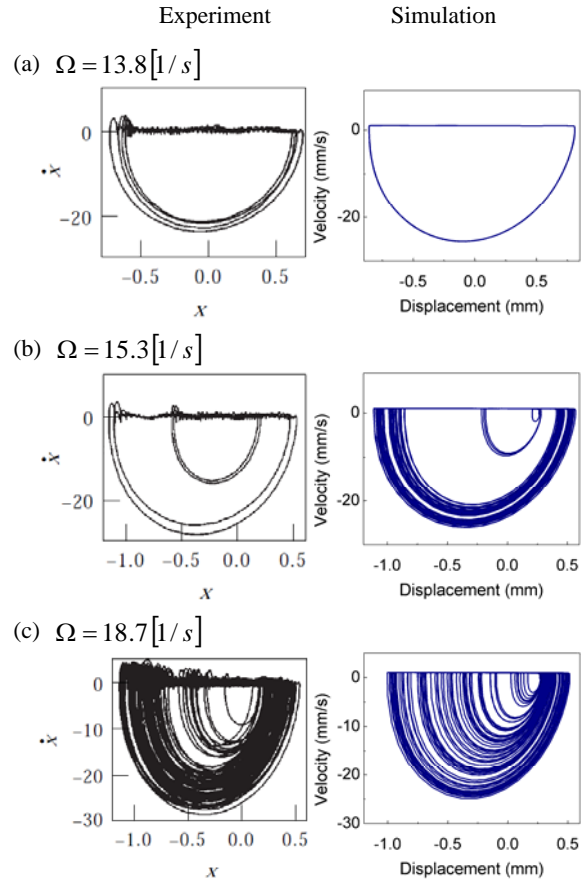


Fig. 4 Phase plane plot for self and external excitation of the friction oscillator

3.2 Self and external excitation

Fig. 4 는 세가지 경우의 가진 주파수에 대한 실험 결과와 제안된 모델을 사용한 수치해석 결과를 비교한 것이다. 추가로 외력이 작용하는 경우에서도 제안된 마찰 모델을 사용한 수치해석 결과는 실험결과와 비교하여 상당히 정확한 결과를 준다.

4. 결 론

본 논문에서는 제안된 마찰모델을 이용한 수치해석 결과와 실험결과를 비교하여 제안된 모델의 정확성을 검증하였다. 제안된 마찰 모델을 이용하면 시스템의 거동 경향을 잘 나타내기 때문에 제안된 모델은 시스템 설계 시 또는 시스템 해석 시 유용하다. 또한 제안된 마찰 모델은 매개변수 튜닝을 이용하여 다양한 종류의 마찰 모델 표현이 가능하기 때문에 그 적용범위가 넓다.

후 기

이 논문은 2010 년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.