

# 마찰에 의한 자려 진동 해석 모델 및 실험을 통한 검증

## The experimental verification of the analytical model for the self-excited vibration caused by friction

강원석\* · 박준홍\*\* · 유흥희†

Won Seok Kang, Jun Hong Park, Hong Hee Yoo

### 1. 서 론

마찰 접촉에 의해 발생한 자려 진동은 기계 시스템에서 관찰된다. 마찰 접촉은 종종 원치 않는 자려 진동을 생성한다. 자려 진동이 발생하는 이유는 임의의 두 강체 간의 저속 미끄러짐 현상 및 정상 부하의 변동에 따라 마찰 특성이 감소하기 때문이다. 예를 들어, 바이올린의 현의 진동, 문이 삐걱거리는 소리, 차량용 디스크 브레이크의 스킵 소음과 와인잔의 울림은 우리가 일상 생활에서 쉽게 접할 수 있는 자려 진동의 형태들이다.

기계 시스템에서 부품들 간의 마찰 접촉으로 발생한 자려 진동은 불필요한 기계적 떨림을 유발하고 이는 파괴의 원인이 될 수 있기 때문에 사전에 억제 시켜야만 한다. 따라서 마찰 현상을 실제와 유사하게 묘사한 마찰 모델이 필요로 하게 되었으며 다양한 마찰 모델의 연구가 있었다. 통상적으로 많은 기계 시스템에서 역학적 단순성과 편리함 때문에 쿨롱의 마찰 모델이 사용되고 있다. 하지만 쿨롱 마찰 모델은 힘의 불연속으로 인해 문제가 발생한다. 따라서 현재 대부분의 다물체동역학 해석 프로그램에서는 접촉현상을 모델링 함에 있어 특정한 형태의 연속 마찰 함수를 사용하고 있다. 하지만 연속 마찰 함수를 사용하는 모델은 두 강체가 점착 조건으로 접촉하고 있을 때 저속 미끄러짐 현상이 일어나고 자려 진동 현상 또한 구현하지 못하는 문제점이 있다. 따라서 이러한 문제점을 개선코자 새로운 마찰 모델이 제안되었다. 그러나 제안된 마찰 모델은 기존의 마찰 모델의 문제점을 개선시켰지만, 실험을 통한 검증은 이루어지지 않았다. 따라서 본 논

문에서는 제안된 마찰 모델을 이용하여 마찰 진동자의 거동을 수치해석하고 그 결과를 실험 결과와 비교하여 제안된 마찰 모델의 정확성을 검증하고자 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1 마찰 진동 시스템

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 마찰 진동 시스템의 해석적 모델이다. Fig. 1은 일정한 속도  $v_b$ 로 이동하고 있는 벨트 위에 상자로 구성된 질량  $m$ 을 싣고 있다. 또한 질량은 벨트와 함께 이동하지 못하도록 스프링 상수  $k$ 인 스프링으로 잡아 당기고 있다. 따라서 상자로 구성된 질량은 움직이는 벨트 위에서 진동한다.

Fig. 1에 사용된 마찰 진동 시스템의 운동방정식은 (1)과 같다.

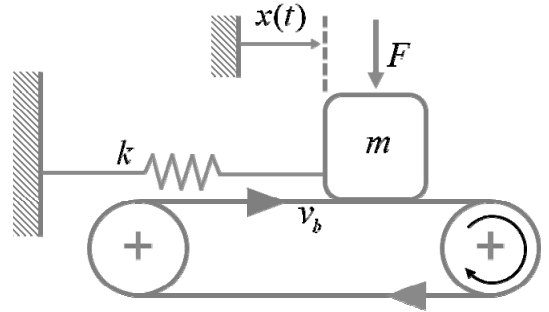


Fig. 1 Model of a friction oscillator

$$m\ddot{x}(t) + kx(t) = F_R(v_r) \quad (1)$$

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

$$v_r = v_b - \dot{x}(t) \quad (3)$$

† 한양대학교 기계공학부

E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr

Tel : 02-2200-0446, Fax : 02-2299-8169

\* 한양대학교 기계공학과

$x(t)$ 는 상자로 구성된 질량의 변위이다. 식 (2)는 마찰력의 함수이며  $F_R(v_r)$ 은 마찰력,  $F$ 는 수직항력이다. 식 (3)은 벨트와 상자로 구성된 질량의 상대속도로 나타낸 함수이다. 여기서  $v_r$ 은 벨트와 상자 사이의 상대속도,  $v_b$ 는 벨트의 속도,  $\dot{x}(t)$ 는 상자의 속도이다.

## 2.2 제안된 마찰 모델

Fig. 2는 자러 진동을 구현한 마찰계수 함수로 식 (4)와 같은 형태의 함수를 사용하여 구현되었다.

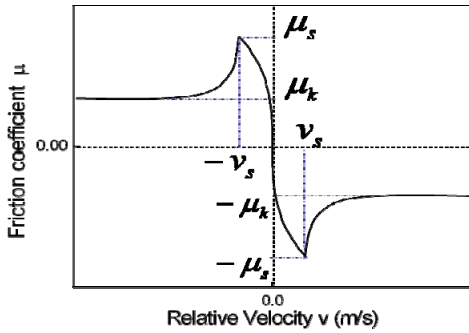


Fig.2 Proposed friction model

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

여기서  $\mu_k$ 와  $\mu_s$ 는 동적 및 정적 마찰계수를 나타내며  $\beta$ 와  $a(>1.0)$ 의 값은 사용자가 결정하는 상수 값이고  $b$ 는 동적 마찰계수, 정적 마찰계수 그리고  $\beta$ 와  $a$  값이 결정되면 계산되는 상수 값이다. 이 매개변수에 따라서 다양한 형태의 마찰 모델의 구현이 가능하다.

## 2.3 실험 장치

Fig. 3은 자러 진동 현상을 구현한 1 자유도 마찰 진동 시스템의 실험적 모델이다. Fig. 3에서 ①은 질량을 가진 상자, ②는 스프링(강성), ③은 고무로 구성된 벨트이다. ④는 벨트에 동력을 전달하는 스테핑 모터이며 ⑤는 스테핑 모터의 제어를 위한

드라이버와 컨트롤러이다. ⑥은 모터의 전원을 공급하는 장치(SMPS)이다.

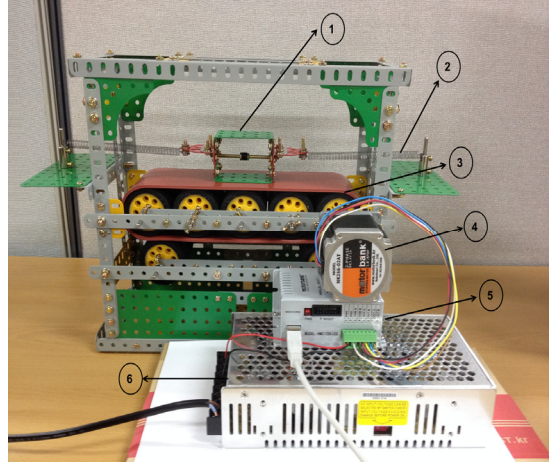


Fig.3 Experimental setup

## 3. 결 론

본 논문에서는 1 자유도 마찰 진동자 모델을 이용하여 수치해석 결과와 실험 결과를 비교하여 자러 진동 구현을 위해 제안된 마찰 모델의 정확성을 검증하였다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국과학기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.(NO. 2011T100200116)