

마찰력이 작용하는 계의 Stick 현상 구현을 위한 마찰모델 제안

A friction model to realize stick phenomenon for systems with friction

최찬규* · 유흥희†
 Chan Kyu Choi and Hong Hee Yoo

1. 서 론

마찰력은 대부분의 기계시스템에서 발생한다. 기계 시스템은 마찰력으로 인해 불필요한 에너지 소모가 일어나고, 또한 마찰력은 진동과 소음 발생의 원인이 된다. 그렇기 때문에 기계시스템 설계 및 해석과정에서 마찰력은 반드시 고려해야 하는 요소이다. 이러한 마찰력의 영향을 정확히 예측하고 해석하기 위해서는 마찰 현상을 잘 묘사할 수 있는 마찰모델이 필요하다.

통상 가장 일반적으로 알려진 마찰 모델은 쿨롱 마찰모델(Coulomb's friction model)이다. 쿨롱 마찰 모델은 정지마찰계수와 동마찰계수의 관계가 불연속함수이기 때문에 수치해석 시 적분 불안정과 같은 문제가 발생할 수 있어서 현재 대부분의 다물체 동역학 해석 프로그램들은 특정한 형태의 연속 마찰 함수를 사용하고 있다. 하지만 이러한 연속 마찰 모델은 두 강체가 점착(stick) 조건으로 접촉(contact)하고 있을 때 점착되지 않고 저속 미끄럼 현상이 일어나는 문제점이 있다. 이는 실제 물리현상과는 맞지 않다. 이것을 개선시키기 위하여 개선된 마찰모델이 개발되었다. 기존의 개선된 마찰모델은 저속 미끄럼 현상이 개선되었지만 여전히 미끄러짐 현상은 발생하였다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 마찰 모델을 제안하였다. 제안된 마찰 모델의 개념은 실제 일어나는 현상에 기반한 것으로 다음과 같다. 점착상태에서 접촉면(contact surface)은 외력의 크기에 따라 탄성변형(elastic deformation)이 일어나며 외력에 의한 접촉면의 탄성변형은 탄성한계(elastic limit)를 넘어서지 않는 한 점착상태를 유지한다는 것이다.

제안된 마찰 모델은 기존의 개선된 마찰모델에 비해 저속 미끄러짐 현상이 매우 개선된 결과를 주는 것을 확인하였다.

2. 마찰 모델

2.1 기존의 개선된 마찰모델

저속 미끄럼 현상을 개선시킨 기존의 개선된 마찰모델은 Fig. 1과 같고 식 (1)과 같이 표현된다. 여기서 a , b , β 는 형상 파라미터, v 는 상대속도, μ_s 는 정지마찰계수 그리고 μ_k 는 동마찰계수이다. 기존의 개선된 마찰모델에서 접촉면의 상대속도가 $-v_s < v < v_s$ 인 구간이 점착영역인데 이 마찰 모델의 형태를 보면 알 수 있듯이 접촉면의 상대속도가 존재하여야 마찰력이 존재하게 된다. 이는 점착영역에서 미끄럼 현상이 일어날 수 밖에 없다는 것을 뜻한다.

$$\begin{aligned} \mu &= -a^{(v-b)} - \mu_k, & v < -v_s \\ \mu &= \frac{\mu_s}{(v_s)^\beta} v^\beta, & -v_s \leq v \leq v_s \\ \mu &= a^{-(v+b)} + \mu_k, & v > v_s \end{aligned} \quad (1)$$

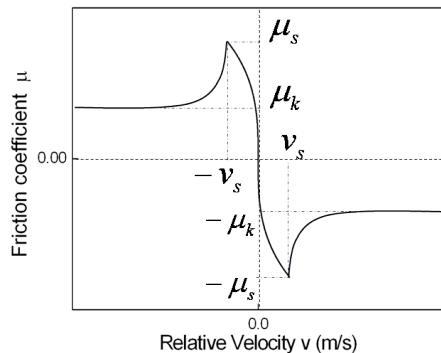


Fig. 1 Improved friction model

† 교신저자; 정희원, 한양대학교 기계공학부
 E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr
 Tel : (02) 2220-0446, Fax : (02) 2293-5070
 * 한양대학교 대학원 기계공학과

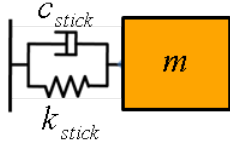


Fig. 2 MCK system for stick region

2.2 제안된 마찰 모델

제안된 마찰 모델은 점착영역에서 Fig. 2와 같이 모델링 되었고 점착영역 이외의 영역에서는 식 (1)과 같다. 기존의 개선된 마찰모델이 단순히 접촉면 상대속도의 함수인 것에 비해 제안된 마찰 모델은 상대속도 그리고 상대변위의 함수이다. 여기에서 k_{stick} 과 c_{stick} 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\mu_s N = k_{stick} e_{lim}, \quad k_{stick} = \frac{\mu_s N}{e_{lim}} \quad (2)$$

$$\mu(x_{rel}) = \frac{\mu_s}{e_{lim}} x_{rel}$$

$$c_{stick} = 2\zeta \sqrt{k_{stick} m} \quad (3)$$

여기서 $\zeta = 0.01$ 이고 e_{lim} 는 탄성한계로 $5\mu m$ 를 이용하였다. 점착영역에서 마찰력은 다음과 같다.

$$F_{stick} = \mu(x_{rel})N + c_{stick} \dot{x}_{rel} \quad (4)$$

3. 수치해석결과

3.1 Friction oscillator

Fig. 3은 friction oscillator를 나타내며 $v_b = 1(m/s)$, $\mu_s = 0.5$, $\mu_k = 0.25$ 를 이용하여 해석한 결과는 Fig. 4와 같다. 결과를 보면 제안된 마찰 모델이 점착영역을 더 잘 표현하는 것을 알 수 있다.

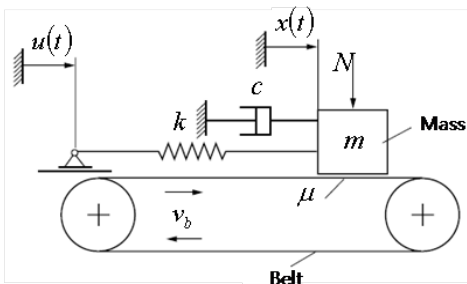


Fig. 3 Friction oscillator

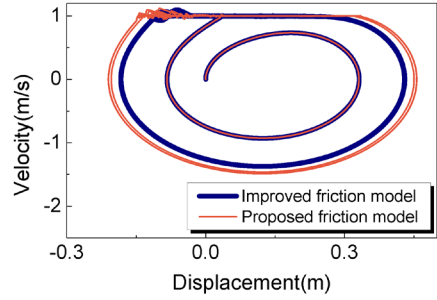


Fig. 4 Phase portrait for friction oscillator

3.2 Mass on inclined surface

Fig. 5에서 $\mu_s = 0.5$ 이고 $\tan \theta = 0.1763$ 이기 때문에 물체는 점착되어 있어야 한다. Fig. 6을 보면 제안된 마찰모델이 점착현상을 잘 나타낸다.

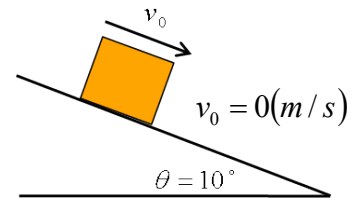


Fig. 5 Mass on inclined surface

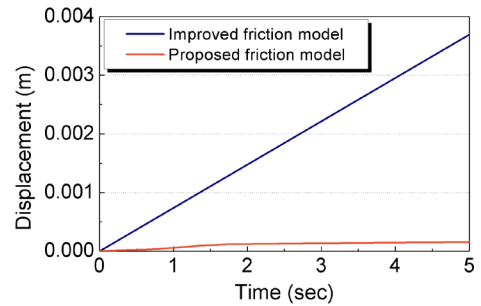


Fig. 6 Displacement of the mass

4. 결 론

본 연구에서는 점착 현상을 구현하기 위한 마찰 모델을 제안하였으며, 제안된 마찰 모델은 점착현상을 개선시킨 기존의 개선된 마찰 모델에 비해 점착 현상을 잘 나타내는 것을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2011년도 2단계 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.