

이송계 정마찰 특성에 대한 실험적 접근 Empirical Study on Static Friction of a Linear Stage

*#정영훈¹, 이승용²

*#Y. H. Jeong (yhjeong@kpu.ac.kr)¹, S. Y. Lee²

¹ 한국산업기술대 기계공학과, ² 한국산업기술대 지식기반에너지대학원 기계시스템공학과

Key words : Static friction; Motor current; Capacitive displacement sensor, Signal synchronization

1. 서론

볼스크류 기반 선형 이송계는 공작기계와 같은 전통적인 생산 제조 설비뿐만 아니라 반도체 공정장비, 초정밀 위치결정 공정 등 다양한 정밀 이송 기능이 요구되는 곳에서 여전히 중요한 역할을 하고 있다. 특히 볼스크류 기반의 선형 이송계에서는 볼스크류와 LM 가이드의 마찰력이 이송저항으로서 주요한 성분으로 자리잡고 있기 때문에 마찰력의 특성을 확인하고 제어 및 운동특성에 미치는 영향을 조절하는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 이송계의 마찰특성을 분석하고 이를 모델링 하기 위해 동마찰과 정마찰 특성을 실험적인 접근을 통해 분석하고자 하였다. 이를 위해 마찰력을 측정하기 위한 실험장치를 구성하고 일반적으로 측정이 곤란한 정마찰을 동기화된 신호를 이용하여 측정하고 분석하였다.

2. 이송계의 마찰

일반적으로 알려진 바와 같이 동마찰은 상대이송이 있는 경우 습동면 사이의 마찰이며, 정마찰은 습동면의 미끄러짐이 발생하기 직전의 마찰력을 의미하며, 조금 더 구체적으로는 최대정지마찰이라고 언급하고 있다. 따라서 동마찰의 측정은 이송계가 일정한 속도로 움직이는 동안 다양한 방법의 측정시스템을 이용하여 측정이 가능하다. 반면 정마찰은 습동면의 이탈(breakaway)가 발생하는 시점을 검출해낼 수 있어야 하기 때문에 측정에 있어서 많은 어려움이 있다.

본 연구에서는 동마찰 특성은 일반적인 이송계가 Stribeck 곡선을 잘 따름을 고려하여

Stribeck 곡선을 실험을 통해 얻고 이를 분석하였다. 일반적인 Stribeck 곡선은 다음의 식과 같이 나타낼 수 있다¹.

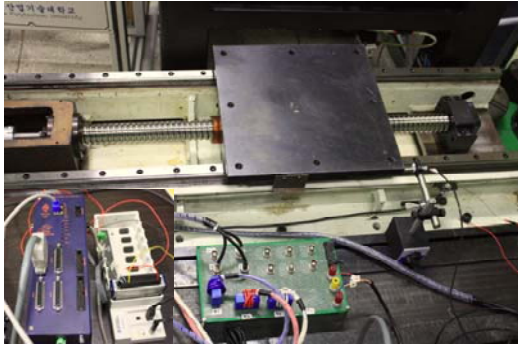
$$F = \frac{v}{|v|} \left(\mu_{Coulomb} + \mu_{viscous} v + \mu_{Stribeck} e^{-(v/v_s)^p} \right) Mg \quad (1)$$

여기서, $\mu_{Coulomb}$, $\mu_{viscous}$, $\mu_{Stribeck}$, v_s 는 각각 쿨롱, 점성, Stribeck 효과 마찰계수와 특성속도이다. 반면 정마찰은 정지상태임을 고려하여 힘의 평행상태를 이용하여 모델링 할 수 있으며, 일반적으로 순간정지마찰력이 최대정지마찰보다 작을 경우 구동력과 동일한 크기의 마찰이 존재하는 것으로 모델링 한다.

3. 실험 및 분석

본 연구에서는 이송계의 동마찰과 정마찰을 분석하기 위해 실험장치를 구성하였다. 우선 마찰력의 크기를 측정하기 위해 모터의 구동토크신호를 이용하였으며, 모터의 회전각은 엔코더 신호로부터 얻었다. 특히 이송계 습동면의 정확한 이탈시점을 얻기 위해 용량형 변위센서를 이용하여 수 나노 이하의 변위를 측정함으로써 이탈을 측정하도록 하고 동시에 이탈시점을 추정하였다. 이상의 신호는 동기화를 통해 이탈시점의 구동토크와 변위각으로부터 최대정지마찰과 그때의 볼스크류의 비틀림을 측정할 수 있도록 하였다. Fig. 1 은 구성된 단축의 이송시스템을 보여준다. 이송시스템은 상용제어기를 이용하여 제어되었으며, 엔코더 신호만을 피드백 신호로 이용하였다.

실험장치를 이용하여 동마찰 특성을 측정하였다. 특히 마찰에서 저속영역에서 점성



(a) linear stage with sensors and a controller



(b) Attachment of a capacitive displacement sensor

Fig. 1 Experimental setup for the measurement of static and dynamic frictions

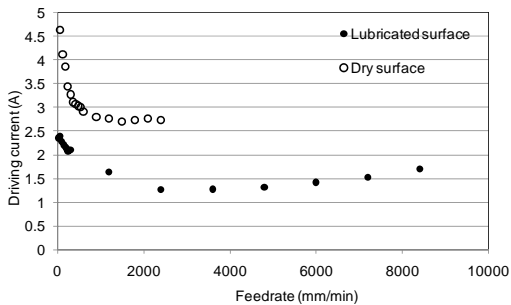


Fig. 2 Stribeck curves for lubricated and dry contact conditions

의 영향을 확인하기 위해 윤활이 이뤄지는 습동면 조건과 그렇지 않은 조건에서 동마찰 특성을 확인하였다. Fig. 2 에서 보인 바와 같이 윤활이 이뤄지지 않은 면에서는 높은 마찰을 가짐을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 3 에서는 마찬가지로 윤활이 이뤄지지 않은 경우 정지 마찰을 실험장치를 이용하여 측정하였으며, 이로부터 최대정지마찰은 동마찰을 나타내는

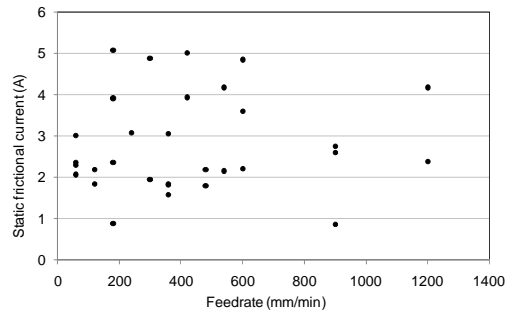


Fig. 3 Motor currents when breakaway occurred for various feedrates (maximum static friction)

Stribeck 곡선의 Y 축 절편과 유사한 값을 가짐을 볼 수 있다. 이로부터 윤활이 이뤄지지 않더라도 일반적으로 알려진 바와 같이 최대정지마찰은 쿨롱마찰과 Stribeck 효과의 합과 상당히 유사함을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 모터의 전류신호와 용량형 변위센서를 이용하여 볼스크류 기반의 선형 이송스테이지의 정마찰과 동마찰 특성을 추정하였다. 특히 최대정마찰 추정을 위해 습동면의 이탈 순간의 모터의 전류를 측정하기 위해 센서들로부터의 신호를 동기화 하였다. 실험결과로부터 윤활이 포함되지 않은 경우에도 동마찰의 쿨롱과 Stribeck 효과에 의한 합이 최대정지마찰과 유사함을 확인하였다.

후기

본 논문은 지식경제부 국가플랫폼기술개발사업으로 지원된 연구임.

참고문헌

1. Armstrong-Helouvry, B., Dupont, P., Canudas, de Wit C., "A Survey of Models, Analysis Tools and Compensation Methods for the Control of Machines with Friction," *Automatica*, **30**, 1083-1138, 1994.