# X-Y 테이블의 마찰력 특성 및 보상

## The characteristics and compensation of friction of X-Y table

박 은 찬, 임 혁, 최 종 호
(Eun-chan Park, Hyuk Lim, Chong-Ho Choi)

**Abstract: This paper analyzes the characteristics of pre-sliding friction of an X-Y table of CNC machining center at velocity reversal, and presents a simple and effective method of friction compensation based on this characteristics. At velocity reversal, a large position tracking error occurs because of the discontinuous change of friction. The relationship betwee n the occurrence time of maximum position tracking error and the acceleration at zero velocity is analyzed by using the spring -like friction model. F urthermore, the experimental observation verifies this relation. From this, the state transition time from pre-sliding regime into sliding regime can be predicted. Using the predicted transition time, the friction can be effectively compensated and the experimental results show its effectiveness.**

**Keywords: Pre-sliding friction, velocity reversal, friction compensation, CNC**

### I. 서론

마찰력은 모든 서보 모터 시스템에서 나타나는 비선형적인 현상으로, 전체 시스템의 정밀도를 저하시키는 가장 큰 요인이다. 특히, 공작 기계를 이용하여 가공을 할 때 테이블의 이동 방향이 바뀌는 경우, 마찰력이 작용하는 방향이 바뀌게 되어 큰 추종 오차가 발생한다. 이러한 마찰력에 의한 오차를 줄이기 위해 마찰력에 대한 모델링이나 보상 방법에 대한 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

마찰력에 의한 현상으로는 물체가 미끄러지기 전에 일어나는 작은 위치 변위 (pre -sliding displacement), 미끄러짐 이후 속도의 증가에 따른 마찰력 크기의 감소 현상(Stribeck effect), 물체에 가해주는 시간당 힘의 변화에 따른 정지 마찰력 크기의 변화, 정지-미끄러짐 (stick-slip)현상 등이 있다 [1]. 마찰력에 의한 이러한 현상을 설명하기 위해 여러 가지 모델이 제시되고 있다 [1] -[4].

그러나, 이러한 모델은 대부분 마찰력을 속도에 대한 함수의 형태로 나타내고 있는데, 속도가 0 일때 마찰력은 불연속적으로 변화한다. 따라서, 운동의 방향이 바뀌는 시점에서 속도가 아주 작은 경우의 마찰력에 대해 정확히 기술할 수 없는 문제점을 가진다. 즉, 정지한 상태에서 미끄러짐이 일어나는 상태까지의 현상에 대해서 명확히 설명할 수 없다.

본 논문에서는 마찰력 보상을 하지 않은 경우, 속도 역전시 발생하는 최대 위치 추종오차 발생 시간을 예측할 수 있는 방법을 제시한다. 제안한 방법에 따르면 별도의 측정 장치 없이 물체가 미끄러짐 이전 상태에서 미끄러짐 상태로 전환하는 시점을 예측할 수 있고, 이 시점을 이용하여 효과적으로 마찰력을 보상할 수 있다. 2 장에서는 이러한 시점을 예측할 수 있는 방법을 제시하고 그 타당성을 기존의 마찰력 모델에 기반하여 분석하고 실험을 통해 확인한다. 3 장에서는 이를 이용한 효과적인 보상 방법을 제시하며 4 장에서 실험 결과를 통해 제시한 보상 방법이 효과적임을 보인다.

### II. 속도 역전시의 마찰력 특성 분석

#### 2.1 마찰력 모델

마찰력은 미끄러짐이 일어나기 전과 이후에 서로 다른 양상으로 나타나는데, 미끄러짐을 기준으로 두 영역으로 구분한다. 마찰력에 따른 현상들을 설명하고 정확한 마찰력 모델을 구성하기 위해서는 미끄러짐 이전 마찰력의 특성을 고려하지 않을 수 없다. 특히, 저속에서의 정확한 추종 문제나 속도의 역전이 있는 경우 미끄러짐 이전 마찰력은 더욱 중요하다. 정지한 물체에 힘을 가하면 미끄러짐이 일어나기 이전 상태에서도 물체는 정지해 있는 것이 아니라, 실제로는 스프링처럼 미세하게 변형된다 [1]. 두 물체의 접촉면의 미소 부분을 살펴보면, 매우 불규칙한 거친 면으로 맞닿아 있다. 이러한 접촉면은 탄력이 있는 강모(bristle)가 서로 엇갈려 있는 것처럼 생각할 수 있는데, 물체에 힘을 가하면 접촉하고 있는 강모가 휘어져 두 물체 사이에서 상대적인 움직임이 생기고 움직인 변위에 비례하는 마찰력이 발생한다 [3]. 물체에 가해준 힘이 최대 정지 마찰력보다 작은 경우, 접촉한 두 물체의 강모가 스프링처럼 작용하여 마찰력이 생기고, 물체에 최대 정지 마찰력보다 더 큰 힘을 주면 스프링이 끊어진 것과 비슷한 이치로 강모가 완전히 휘어져 물체가 미끄러지기 시작한다. 이 구간에서 마찰력은 속도에 의존하기보다는 변위에 의존하여 변화한다.

이러한 미끄러짐 이전 상태의 마찰력 특성을 설명하기 위해 Dahl 은 스프링과 같은 동적인 마찰력 모델을 제시하였다 [2]. Canudas de Wit 는 정지 마찰력을 포함하고 마찰력의 비선형적인 현상들을 잘 설명할 수 있는 새로운 마찰력 모델을 제시하였다 [3]. 또한, Swevers 는 Canudas de Wit 의 모델을 보완하여 미끄러짐 이전 스프링과 같은 미끄러짐 이전 마찰력에 대한 히스테리시스