

공작기계 결합부의 정강성 Tuning 기법 Static Stiffness Tuning Method of Machine Tool Joint

*김양진¹

*Y. J. Kim(yangjin@kimm.re.kr)¹

¹한국기계연구원 초정밀기계시스템연구소

Key words : Static Stiffness, Tuning Method, Linear Motion Unit, Machine Tool

1. 서론

공작기계에는 다양한 종류의 결합부가 상존하고 있으며, 가장 대표적인 결합부로서 볼트 결합부로 대표되는 고정형 결합부와 안내면과 베어링으로 대표되는 이동형 결합부가 있다. 이 중에서도 이동형 결합부는 공작기계의 모성 원리를 실현하는 가장 중요한 역할을 담당하고 있다.

결합부의 구조적인 특성을 나타내는 가장 중요한 특성 값인 강성 계수와 감쇠 계수는 지금까지 다양한 방법으로 측정되어 왔으며 유한 요소 해석의 발달과 함께 복잡한 구조를 가진 결합부의 강성 계수 역시 계산이 용이해졌다.

이러한 공작기계 결합부의 정강성/동강성을 전자계산기 프로그램을 이용하여 해석할 경우에는 결합부의 금속 접촉부의 특성치가 충분히 해명되어있지 않았기 때문에 해석 결과와 실제의 특성이 일치하지 않았다. 지금까지 볼트 결합부와 안내면 등의 결합부의 동강성에 관한 연구는 많이 이루어져 왔지만¹, 실제로 연구 결과가 공작기계의 설계와 개선에까지는 적용되지는 않았으며, 일부 유한 요소법에 의한 결합부의 해석론이 거론되었을 뿐이었다².

기계장비에 상존하는 여러 결합부의 강성계수 및 감쇠계수는 결합부만을 별개로 생각하였을 때와 기계장비 전체의 관점에서 생각하였을 때, 다른 수치를 가지고 있다. 따라서 기계장비 전체 관점에서 고찰한 각종 결합부의 강성계수 및 감쇠계수로 결합부만의 강성 계수 및 감쇠 계수를 Tuning 할 필요가 있다.

본 연구에서는 기계장비 전체 관점에서 고려한 각종 결합부의 Tuning 방법을 제시한다.

2. 결합부 정강성 Tuning 기법

본 절에서는 공작기계에 상존하는 다양한 종류의 결합부의 정강성을 결합부만의 정강성에서 공

작기계 전체 관점에서 고찰한 정강성으로 Tuning 하는 기법을 소개한다. Tuning 기법은 결합부에 정적 하중을 부여하는 실험과 유한요소해석을 병용하는 방법이다.

결합부의 정강성 Tuning 기법은 다음과 같은 수순으로 진행된다.

1. 실제 가공 상황 하에서의 공작기계 내부의 힘의 흐름을 파악한다. 힘의 흐름이 통과하지 않는 결합부는 Tuning 대상에서 제외하며, 해석을 실행할 때에 고려하지 않는다.
2. 공작기계 전체의 모달 해석을 통해서 동적으로 강한 결합부와 취약한 결합부를 구별한다. 강한 결합부로 판정된 결합부는 Tuning 대상에서 제외한다.
3. Tuning 대상 결합부에 대해서 공작기계 전체 관점에서 정적인 하중을 부여하는 실험을 실행하여 결합부 i 에서의 변위 δ_{ei} 의 값을 얻는다. Tuning 대상 결합부에 정적인 힘을 부과하여도 모든 결합부에서 정적인 변위가 발생할 수는 없기 때문에, Tuning 대상 결합부와 그와 인접하는 결합부 2개를 선정하여 Fig. 1과 같이 총 3개의 정적 변위를 추출한다. δ_{ei} 는 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_{ei} = (\delta_{e1}, \delta_{e2}, \delta_{e3}) \quad (1)$$

4. 결합부의 정강성 k_i 에 대해 유한요소해석을 실행하여 결합부 i 에서의 정강성 k_i 에 대한 δ_{ei} 의 값을 얻는다.

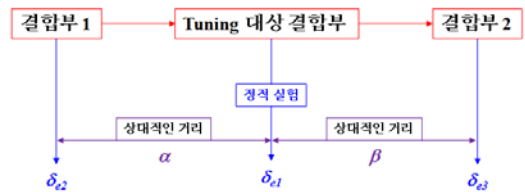


Fig. 1 Machine tool joint for experiment

결합부 정강성 k_i 의 초기값은 매뉴얼 혹은 결합부만의 실험을 통해서 얻어진 정강성의 값을 사용한다. δ_i 는 대상으로 하는 결합부에서의 유한요소해석에 의한 변위값이며 n 개의 결합부가 대상일 경우에 다음과 같이 표현된다.

$$\delta_{ti} = (\delta_{t1}, \delta_{t2}, \delta_{t3}) \quad (2)$$

$$\delta_{ti} = \delta_{ti}(k_i) \quad (3)$$

5. δ_{ei} 와 결합부의 정강성 k_i 에 따른 δ_{ei} 의 값을 평가함수 Δ_s 를 이용하여 비교하여 다음 식 (4)과 같이 차가 0으로 수렴하는 δ_{ei} 의 값과 그에 따른 정강성 k_i 의 값을 정하여 공작기계 전체 관점에서 고찰한 Tuning된 정강성 값 k_{Ti} 의 값으로 결정한다.

$$\Delta_s(\delta_{ti}) = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{\delta_{t2}}{\delta_{e2}} \right) + \left(1 - \frac{\delta_{t1}}{\delta_{e1}} \right) + \frac{1}{\beta} \left(1 - \frac{\delta_{t3}}{\delta_{e3}} \right) < \epsilon \sim 10^{-5} \quad (4)$$

$$\Delta_s(\delta_{ti}) \Rightarrow 0 \quad (5)$$

$$k_i \Rightarrow k_{Ti} \quad (6)$$

상기의 Tuning 기법은 실험과 유한요소해석에서 도출되는 실험값의 차, 즉 평가함수 Δ_s 가 0에 수렴하도록 실험에 의한 변위값 δ_{ei} 를 신뢰하면서 유한요소해석에 의한 변위값 δ_{ti} 를 n 차원 벡터 공간에서 직접 탐색하는 방법이며, 유한요소해석에 의한 변위값 δ_{ti} 를 탐색한 후의 해석에 있어서의 정강성을 공작기계 전체 관점에서 고려한 결합부의 Tuning된 정강성으로 결정하는 방법이다.

3. α & β 의 수학적 동정 방법

상기에서 기술한 정강성 Tuning 기법이 최종적으로 완성되기 위해서는 결합부 간의 상대적인 거리 식 (4)의 α , β 의 값을 동정할 필요가 있다.

α , β 의 값을 동정하는 방법으로는 각 결합부의 좌표계에서 산술적으로 계산하는 방법도 있지만, 본 연구에서는 힘의 흐름과 공작기계 전체의 모달 해석을 통해서 동적으로 강한 결합부를 해석 대상에서 배제하였기 때문에, 공작기계의 형상 창성 이론에 따라서 α , β 의 값을 동정하는 방법을 채택한다.

공작기계 형상 창성 이론 모델이란 공작물에 대한 공구의 상대 운동을 기술하지만, 결합부 간의 상대 거리 α , β 의 값을 수학적으로 동정하기 위해서 Tuning 대상 결합부와 인접하는 결합부를 표현하



Fig. 2 Coordinate system of Machine tool joint
는 좌표계를 Fig. 2와 같이 설정한다.

본 연구에서 Tuning 대상으로 하고 있는 결합부는 주로 베어링(회전 운동 유니트)이나 안내면(직선 운동 유니트)과 같은 이동형 결합부이기 때문에, 힘의 흐름을 따라서 전개되는 Tuning 대상 결합부와 인접하는 결합부 간의 상대 운동 k_1 , k_2 에 따른 동차 변환 행렬 A^{j1} 과 A^{j2} 는 병진 운동 혹은 회전 운동을 나타내는 행렬로 표현할 수 있다. 예를 들어 주축 헤드와 주축 베어링의 경우에는 회전 운동으로 표현될 수 있으며, 베드에 대한 새들의 운동은 직선 운동으로 표현될 수 있다.

최종적으로 동차 변환 행렬의 행렬식의 값을 α , β 의 값으로 동정한다.

4. 결론 및 금후의 일정

공작기계에 상존하는 다양한 종류의 이동형 결합부의 정강성 값을 공작기계 전체 관점에서 고려한 정강성 값으로 Tuning하는 기법을 제시하였다. 본 논문에서 제시한 Tuning 기법은 실험과 유한요소 해석을 병용하는 방법이며, Tuning된 정강성의 값을 n 차원 벡터 공간에서 직접 탐색하는 기법이다.

본 기법을 검증하기 위해서 공작기계 전체 관점에서 고려한 정적 하중을 부여하는 실험이 필요하며, 이에 따른 α , β 의 값을 수학적으로 동정하여 실제 Tuning을 실행할 예정이다.

참고문헌

1. N. Beck et al., "Review of the Research on Fixed and Sliding Joints," Proc. 13th Int. MTDR Conf., 87, 1978.
2. N. Beck et al., "Analysis of Machine Tool Joints by the Finite Element Method," Proc. 14th Int. MTDR Conf., 529, 1974.
3. V. Portman, "Machine Tool Form-Shaping Systems, Theory Development and Design Application," 工作機械形狀創成理論の基礎と応用に関するシンポジウム講演資料集1~47, 1997.