

다축 공작기계의 강성모델을 통한 정강성 취약부 예측 Prediction of Static Stiffness Weak Point using Compliance Model of Multi-axes Machine Tools

*#이찬홍¹, 김양진¹

*#Chan Hong Lee(chlee@kimm.re.kr)¹, Yang Jin Kim¹

¹한국기계연구원 초정밀기계연구실

Key words : Static Weak Point, Compliance Model, Multi-axes Machine Tools

1. 서론

가공공정의 효율을 극대화하기 위해 공구의 공간적 이동을 신속히 하고, 다양한 가공운동 궤적을 만들어 내는 다축 공작기계의 개발이 붐을 이루고 있다. 그러나 이러한 다축 공작기계의 공구 궤적은 다수의 이송축을 복합하여 만들어 내기 때문에 인간의 머리로 특정 이송축의 운동과 연관 지어 공구경로를 예측할 수 없고, 계산기에 의해서만 분석할 수 있다. 그리고 역으로 임의의 공간 위치에서 절삭력에 의한 공구 처짐도 예측하기 어렵다. 만약, 공작기계 구조나 이송계의 결합 형태 때문에 작업영역 내 위치에 따라 공구 끝단의 강성이 변화한다면, 가공물의 형상오차도 상응하게 나타날 가능성이 높다. 그래서 공작기계 구조물의 방향별 강성을 예측할 수 있는 방법이 있다면, 강성이 낮은 영역에서 가능하면 가공을 피하고, 필요시 강성 보상까지도 가능하다.

본 논문에서는 다축 공작기계의 직선 및 회전 이송 결합부를 스프링으로 변환시켜 장비의 전산 강성 모델을 구축하고, 모션 소프트웨어를 이용해 기계장비의 공구 끝에 X, Y, Z 방향으로 힘을 가하고 작업영역을 연속적으로 이동시킴으로써 공간적 장비의 강성 분포를 계산하여 정적으로 가장 약한 곳을 규명하였다. 이때 공구 끝의 처짐은 3D로 분석하여 한 방향의 절삭력이 다른 수직 방향의 처짐에 미치는 영향을 분석하였다.

2. 다축 공작기계의 강성 모델링화

다축 공작기계의 작업영역 내에서 강성분포를 분석하기 위해서는 장비를 탄성체로 변환시켜야 한다. 장비의 구조물은 탄성체이므로 물리적 특성을 유지시키면 되고, 구조물의 결합부인 LM 안내

면이나 회전축 베어링을 단일 부품의 실험에서 얻은 수직, 수평 또는 반경방향 강성값을 입력시킨다. LM 안내면의 경우, Fig. 2와 같이 실험에 의해 상하 및 측면 방향의 강성을 획득하여 입력시킨다. 그리고 회전 베어링은 반경방향으로 한 개의 스프링으로 모델링할 수도 있지만 축에 가해지는 힘의 방향이 모든 방향에서 이루어질 수 있으므로 8개의 스프링으로 모델링하여 외부 하중에 대비하였다. 회전 베어링의 축방향도 배면조합으로 이루어져 있는 경우가 대부분이므로 축방향으로 2개의 스프링 탄성체로 변환하였다. 모든 구조물의 결합부를 이와 같이 스프링으로 변환해서 공작기계를 강성 모델화 하였다. 이러한 탄성 구조물에 모션 소프트웨어를 이용해 절삭력을 가정한 X, Y, Z 방향의 힘을 가하면 각 방향으로 처짐이 발생하고, Fig. 1과 같이 작업영역에서 경로를 따라 운동하게 하면 힘과 처짐의 관계를 이용하여 작업영역 내의 강성 분포를 자세히 분석할 수 있다.

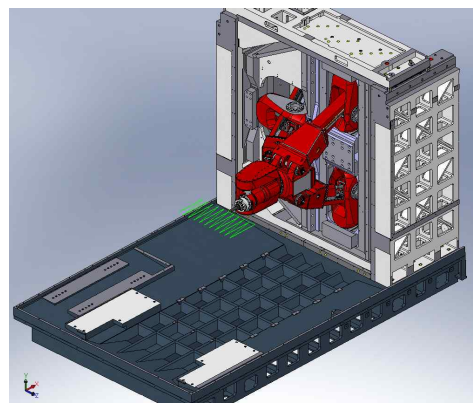


Fig. 1 Tool trajectories of multi-axes machine tools under 1,000 N in Y direction

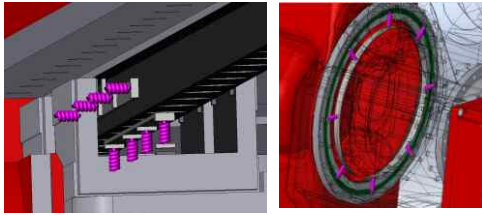


Fig. 2 Compliance model of LM guide and bearing with springs

3. 작업영역에서 Y 및 Z 방향의 처짐 오차 분포

모션 소프트웨어를 이용해서 Fig. 1에서와 같이 Y방향으로 하중을 1,000 N 가하고 주어진 공구경로를 따라 다축 공작기계가 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하면 작업영역 내에서 공구 처짐에 대한 분포를 알 수 있다. 결국 처짐이 가장 큰 곳이 강성이 가장 작은 위치가 된다. 본 연구에서 분석대상은 정적 강성이므로 장비가 가능한 한 낮은 이송속도로 운동을 하여 장비의 관성력으로 인한 추가 처짐이 없도록 시뮬레이션 하였다. 다만 주축대와 주축의 강성은 칼럼 구조물에 비해 상대적으로 낮아서 처짐이 뚜렷하게 나타나고, 위치에 무관하게 일정하므로 작업영역에서의 강성 불균일 분포를 집중 분석하기 위해서 주축대로 인한 정적 처짐 0.5 μm 를 제외하고 표시하였다.

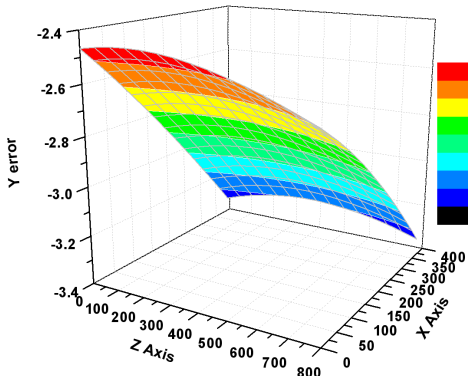


Fig. 3 Static deflection of tool under 1,000 N in Y-Dir.

Fig. 3은 기계의 입장에서 공구 쪽으로 관측한 처짐 곡선으로서 Z축의 0 점이 운동 시작점이라고 할 수 있다. Y방향으로 하중 1,000 N을 가할 때 초기에는 약 2.5 μm 의 처짐이 생겼고, X방향으로 진행할수록 처짐이 커지고 있고, Z방향으로 이동하면 약 1 μm 정도 처짐이 감소하였다가 증가하는 경향을 보인다. 결국 Y방향의 강성이 가장 낮은

곳은 X축의 400 mm 위치에서 Z축의 0과 800 mm 두 곳의 위치가 된다. 이곳의 처짐량은 약 3.4 μm 정도이다.

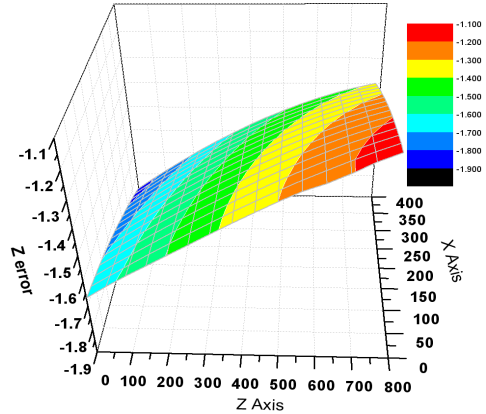


Fig. 4 Static deflection of tool under 1,000 N in Z-Dir.

Fig. 4는 Z방향으로 하중 1000 N을 가할 때 Z방향의 처짐을 나타낸 것으로 초기에는 1.7 μm 이고 X 축이 증가할수록 2 μm 정도 더 처짐이 생긴다. Z축 방향으로 증가하면 0.3 μm 정도 처짐이 감소한다. 결국 Z축이 0 mm이고, X축이 400 mm인 위치가 가장 강성이 작은 곳이다.

4. 결론

1. 공작기계 구조물을 탄성체인 강성모델로 변화시키기 위해서, LM 안내면은 슬라이딩이 가능한 수평 및 수직 스프링 모델로, 그리고 회전 베어링은 반경방향으로 8개의 등간격 스프링 모델로 변환하는 기법을 사용하였다.
2. 공작기계의 강성모델을 기반으로 공구 끝에 하중을 가하고 모션 소프트웨어를 이용하여 운동 궤적을 해석해서 처짐량을 분석하는 연속 계산 기법을 사용하였다.
3. 전산 강성모델과 X, Y, Z방향의 단위 부하를 통해 작업영역에서 최소 강성을 갖는 정적 취약부를 규명하였다.

참고문헌

1. Brecher, C., Manohran, D. and Stephan Witt, W. E., "Structure integrated adaptronical systems for machine tools," Prod. Eng. Res. Devel., Vol. 2, pp. 219-223, 2008.