

기전통합 모델링을 기반으로 한 고속공작기계의 예측 설계 Predictive design of high speed machine tools based on integrated modelling

오창원¹, 이창호², 양민양², 길병식¹, 김태원¹, 하재용¹

C. W. Oh¹, C. H. Lee²(lchmtool@kaist.ac.kr), M. Y. Yang², T. W. Gim¹, J. Y. Ha¹

¹두산인프라코어, ²한국과학기술원

Key words : Predictive design, high speed machine tools, multi-flexible body dynamics

1. 서론

최근의 공작기계 시장에서는 높은 주축 회전수와 이송 속도를 가공 운전 영역으로 하는 고생산성의 장비를 점점 더 요구하고 있다. 고속 가공은 다양한 제품들에 있어 가공 표면 품질을 향상시키고, 생산성을 증가시키는 가능성을 의미한다. 이러한 시장의 요구에 대처하고, 경쟁사들보다 먼저 신제품을 적기에 출시하기 위해 공작기계 제조업체들은 보다 진보된 해석기술을 설계 초기 단계에서 적용 중에 있다. 이러한 상황에서 두산은 아래의 새로운 설계 프로세스를 고속 수평형 머시닝센터 개발에 적용하였다. 첫째, 개념 설계 단계에서 축 구성의 정의와 장비 전체 크기를 결정한다. 초기 설계에서 공작기계의 동적거동은 강체 구조와 연결부의 강성만을 이용한 다물체 동역학 모델로 시뮬레이션 된다. NC 제어부와 연동하여 입력 지령이 주어질 경우, 궤적추종오차, 잔류진동, 가속 성능과 같은 운동 정밀도를 평가하게 된다. 우리의 목적은 구조물의 무게와 구동중심과 무게중심간의 거리, 연결부 강성, 구동 메커니즘부의 강성, 서보모터의 용량과 같은 기계 파라미터 변화에 따른 성능에 미치는 영향을 신속히 예측하고 평가하여 설계에 반영할 수 있도록 하는 것이다. 장비의 전체 배치(layout)이 결정되면, 구조물의 최적화를 위한 해석과정은 상세설계 단계에서 진행되어야 한다. 최적 설계는 정/동적 부하조건 하에서 변형 최소화를 통해 가공 정밀도를 극대화시킴과 동시에 구조물의 무게를 경량화 시키는 방향으로 진행된다. 유한요소해석은 위에서 언급한 목표 성능을 평가하기 위한 도구로서 사용된다. 추가적으로 유한 구조물의 다물체 모델과 제어부가 결합된 기전통합 모델이 실제 공작기계의 거동을 보다 정확하게 예측하기 위해서 가상 공작기계로 이용된다.

본 논문에서는 개발된 예측 설계 프로세스를 고속 수평형 머시닝센터 개발에 적용한 사례를 제시하고자 한다.

2. 장비 구성 최적화

공작기계는 여러 구조물들의 조립과 함께 볼스 크류, 커플링, 서보모터 등의 구동 메커니즘과 연결되어 있어 설계 초기 단계에 제품의 성능을 예측하는 것이 쉽지 않다. 개념 설계 단계에서 신속히 장비의 성능을 예측하기 위해 rigid body dynamic simulation을 도입하여 구조물의 크기와 축 구성에 따른 동적 거동을 파악한 후 최종 레이아웃을 결정한다.

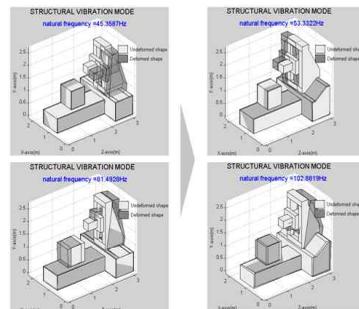


Fig. 1 Configuration optimization results

3. 구조물 최적화

공작기계의 강성은 속도와 정밀도를 향상시키기 위해서 필수적으로 증가시켜야 하는 인자로서, 특히 이송체의 높은 가속 특성 발휘를 위해서는 관성력에 의한 진동 영향을 최소화 시켜야 하며, 이를 위해 이송체의 고유진동수를 증가시켜 외란에 대한 영향을 저감시키는 설계를 해야 한다. 개념 설계단계에서 선정된 레이아웃을 바탕으로 상세 설계 시 각 구조물의 유한요소해석을 통해 최적화 작업을 수행한다. fig.2는 컬럼의 구조물을 최적화

한 예로써, 최적화 후 35%의 무게 경량화와 함께 고유진동수 40%의 증가를 보였다.

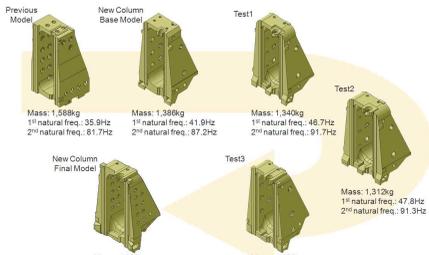


Fig. 2 Column optimization results

4. 기계-제어부 연성 해석

기계 구조물의 최적화 작업이 수행되면, 실제 장비의 거동을 보다 정확히 예측하기 위해 제어부와 결합된 상태에서 동적 거동을 파악하는 것이 무엇보다 중요하다. 특히 높은 가속도를 요구하는 고속 장비의 경우 구동 메커니즘의 최적화가 함께 이루어져야 용이하게 목표 성능을 만족할 수가 있다. 첫째로 구조물의 rigid body 상태에서 구동 메커니즘의 설계 인자 변화에 대한 성능의 영향을 파악하여 구동 메커니즘을 최적화한다. fig.3은 볼스크류 리드 변화에 따른 가속 성능의 영향을 분석한 그래프로써 서보모터 특성을 함께 반영하여 구동 메커니즘을 최적화하였다. 초기 설계 A점의 가속도에서 무게 경량화에 의해 B점, 리드최적화에 의해 C점으로 가속도 성능이 최종 향상되었다.

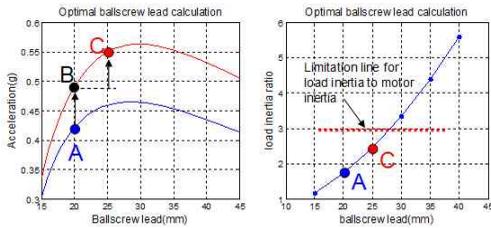


Fig. 3 Column optimization results

둘째로 기계 구조물을 유연체로 모델로 반영하여 이송 시 진동 특성 시뮬레이션을 통해 실제 장비의 거동을 예측하여 진동을 저감시킬 수 있는 방향으로 설계를 진행한다. 설계 목표 값을 만족하지 못할 경우에는 구조물의 강성 보강 피드백 작업이 수행되며, 설계 목표를 만족하게 되면 이후 상세설계가 진행된다. fig.4는 급속 이송 후 정지 시 잔류 진동을 시뮬레이션 한 결과로 새로운 모델이

기존 모델대비 60% 진동이 저감됨을 확인 할 수 있다.

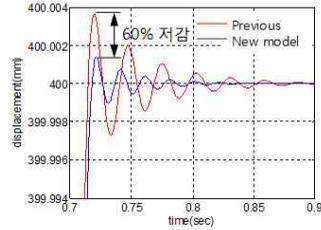


Fig. 4 Residual vibration of tool center point after rapid traverse

5. 시험 결과

시제품 제작 후 개발된 장비의 가속 성능 시험을 통해 기존 대비 가속 성능이 크게 향상됨을 확인 할 수 있었다. 본 설계 프로세스의 제품개발 적용을 통해 설계 시 목표로 한 성능을 만족하는 올바른 설계가 이루어 졌음을 확인할 수 있다.

Previous model	New model
0.54G	0.64G

Time(msec) Time(msec)

Fig. 5 Acceleration/deceleration performance results

6. 결론

제안된 설계 프로세스를 적용하여 기존 장비 대비 향상된 성능의 고속 수평형 머시닝센터를 개발할 수 있었다. 향후 기계-제어 연성모델의 정확성 향상을 통해 가공물의 표면품질 예측 및 가공 공정 최적화까지 가능하도록 기술 개발 예정이다.

참고문헌

- Altintas, Y., Brecher, C., Weck, M., Witt, S., 2005, Virtual Machine Tool, Annals of CIRP, 54/2: 651-674
- Zaeh, M. Siedl, D., Samet, 2007, A New Method for Simulation of Machining Performance by Integrating Finite Element and Multi-body Simulation for Machine Tools, Annals of CIRP, 56/1: 383-386