

공작기계 생산성과 안정성 향상을 위한 가공 진동 저감 기술 개발에 관한 연구

Study on Technology for Machining Vibration Suppression for Enhancement of Productivity and Stability in Machine Tools

*#이강재¹, 이철훈¹, 송진석¹, 단호진¹, 강귀현¹

*#K. J. Lee(kangjae.lee@doosan.com)¹, C. H. Lee¹, J. S. Song¹, H. J. Dan¹, K. H. Kang¹

¹두산인프라코어 (주)

Key words : Machining Vibration Suppression, Chatter, Dynamic Stiffness, Damping Mechanism

1. 서론

가공 중 발생하는 다양한 외란 중에 진동 현상은 정밀도 및 절삭 능력을 저하 시키는 주된 요인이 된다. 특히 특정 주파수 영역에서 안정성을 저하시키는 구조의 진동(Modal Vibration) 과는 다르게 공정 조건, 공작물 및 공구 조건에도 큰 영향을 받는 chatter 진동은 가공 안정성 및 생산성을 심각하게 저하시킨다.

공작기계의 chatter 진동을 저감시키기 위한 연구는 크게 스펙트럼계의 동강성 향상으로 임계절삭깊이 (회전수와 관계없이 chatter 회피를 보장하는 절삭 깊이)를 증가시키는 전략과 가공 안정선도 정량적 평가를 통한 가공 조건 선정 전략으로 진행되어 왔다.

장비가 수행하는 공정의 특성에 따라 추천 전략이 다를 수 있다. 공구 변경이 많아 공구 선단 동특성 및 절삭 메커니즘 변동이 많은 머시닝센터의 금형가공에서는 안정선도를 통한 chatter 회피 전략이 고려될 수 있으며 공구 변동이 상대적으로 적고 가공축 (W-축)이 돌출되어 시스템 동강성 취약부가 발생하는 보링머신의 경우에는 스펙트럼계 동강성을 향상시키는 전략이 바람직하다.

본 연구에서는 보링머신의 밀링가공 시 보링스핀들 돌출로 cantilever 모드와 관계한 chatter 진동을 저감하는 것을 목적으로 하였다. 따라서 스펙트럼계 1 차모드 동강성을 강화시켜 임계절삭깊이를 향상하는 방안을 도출하고자 하였다. 보링 스펙트럼과 밀링스핀들, 기어 동력계로 구성된 보링머신의 스펙트럼계는 매우 복잡하여 chatter 진동에 대한 영향도 평가를

통해 개선이 요구되는 동적 취약부 확인하였다. 동적 취약부에서의 동강성 개선을 위해 크게 기존 주축계 구조를 조정하는 구조 최적화 방안과 댐핑 메커니즘을 적용하는 방안을 함께 고려하였다. 두 가지 방안을 통한 동강성 향상과 이에 따른 chatter 진동 특성 향상을 해석적으로 평가하여 각 방안으로 확보할 수 있는 절삭 성능 향상을 예측하였다.

본 연구의 해석적 평가는 실제하는 장비의 개선을 위한 방안 도출뿐만 아니라 향후 높은 chatter 동강성을 갖는 스펙트럼 설계에도 적용 될 수 있을 것으로 예상된다.

2. 스펙트럼계 구조 최적화

보링스핀들 공구선단의 가진 입력에 대한 보링머신 주요 구조물의 동적 거동을 실험과 해석을 통한 주파수 특성 (Frequency Response Function)으로 분석하여 주요 구조 요소들, 특히 주축계 및 킬럼 연결부에서의 chatter 영향도 평가를 통해 동적 취약부를 그림 1 과 같이 확인하였다. 동강성 개선을 위해 chatter 진동에 영향도가 낮은 구조부를 제외한 해석적 평가 범위를 선정하여 민감도 높은 요소, 연결부 및 지지부의 강성 및 댐핑에 대한 매개 변수 연구를 수행하였다. 주축계의 주요 지지부인 베어링과 부시의 동적 연결계수 및 위치에 대한 해석적 평가를 통해 최대 20% 정도의 동강성 향상 및 절삭깊이 향상이 예상되며 매개 변수 변경으로 발생 가능한 스펙트럼 정강성 변화는 해석으로 97% 이상 확보하여 가공 정밀도 유지도 함께 고려하였다.

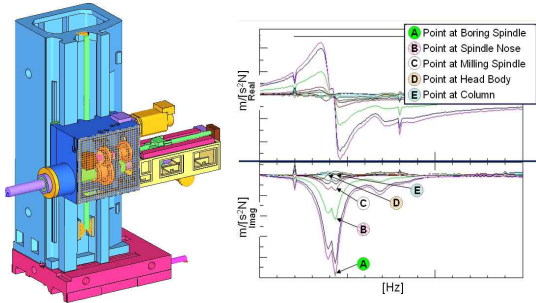


Fig. 1 Evaluation of Contribution Level of Components to Chatter Vibration

시스템 동강성은 강성과 댐핑의 내적으로 평가된다. 연결부 및 지지부에서 필요 이상의 강성 증대는 극단적인 댐핑 저하로 연결되므로 임의적인 강성 증대는 바람직하지 않으며 해석 프로세스로 선정된 최적 동강성 적용이 반드시 필요함을 확인하였다.

3. 댐핑 메커니즘 적용

2 장의 스핀들계에 대한 구조 최적화 방안으로 예상 가능한 동강성 향상은 최대 20% 정도이므로 현저한 동강성 향상을 위해 댐핑 메커니즘을 고려하였다. 진동 저감이 요구되는 시스템에 댐핑 향상을 통한 동강성 개선을 위해 제안되었던 대표적인 댐핑 메커니즘을 선정하여 해석적으로 평가하였다. 진동 운동이 발생하는 접촉면에 마찰력으로써 진동 운동을 빠르게 감쇠시키는 마찰 댐퍼, 회전부 원주 방향으로 위치된 질량 입자를 통해 진동 시 에너지를 소진시키는 충격 댐퍼, 그리고 진동되는 시스템과 유사한 주파수 특성을 갖는 부가 질량-강성-댐핑 시스템을 적용하는 질량 댐퍼를 분석하여 개선 성능을 보링머신에서 해석적으로 평가하였다. 최대 동강성 향상 성능을 확보하기 위해 댐핑 메커니즘이 적용될 최적 위치, 질량, 강성 및 댐핑을 선정하였다. 해석 결과를 통해 질량 댐퍼의 성능이 가장 우수 하였으며 그림 2 와 같이 최대 4 배의 동강성 향상이 가능할 것으로 예상된다.

다만 본 연구에서 고려된 각각의 댐핑 메커니즘은 개선이 요구되는 단점이 있다. 질량 댐퍼의 경우, 현 보링머신 스핀들계의

관심 모드 주파수에 조율된 질량-강성-댐핑 시스템이므로 돌출 길이 변동 등으로 관심 모드 주파수가 변화하게 되면 동강성 향상 성능 저하가 예상된다. 충격 댐퍼 및 마찰 댐퍼의 경우 진동 에너지를 위해 충분한 회전력이 필요한데 고속 스핀들계에서만 효과가 명확해 지며 특히 마찰 댐퍼의 경우, 접촉면의 마찰로 인하여 마모가 발생할 수 있으므로 동강성 뿐만 아니라 정밀도 저하를 유발 시킬 수 있다.

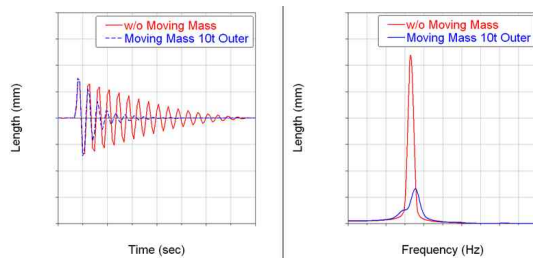


Fig. 2 Settling of Chatter Vibration and Enhancement of Dynamic Stiffness (FRF)

4. 결론

본 연구에서는 가공 중 발생하는 채터 진동 저감 기술 개발에 대한 것으로 동강성 향상을 통해 임계절삭깊이를 증대시키는 것을 목적으로 하였다. 보링머신의 기존 동강성 특성을 최적화 하는 구조 최적화 방안과 추가적인 댐핑 메커니즘 방안을 해석적으로 평가하여 절삭 성능 향상 범위를 예상하였다. 효과적인 채터 저감을 위해 채터 에너지에 직접적으로 영향을 받는 스핀들계의 강성, 특히 댐핑을 향상 시키는 것이 매우 중요하며 댐핑 메커니즘의 적용 시 현저한 동강성의 향상으로 절삭성능이 현격하게 증대되는 것을 예상할 수 있었다.

참고문헌

1. Cyril M. Harris, Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill Professional Publishing, 1995
2. Repeatability Analysis on the Tool Point Dynamics for Investigation on Uncertainty in Milling Stability, Kang-jae Lee, M. Alkan Donmez, IMECE 2007-43480 pp. 477-480