한국소음진동공학회 2008년 추계학술대회논문집, pp.184~185

세장비(細長比)가 큰 가공 소재를 포함한 소형 고속 스핀들 시스템의 고유진동 특성 연구

A study on natural vibration characteristics of small and high speed spindle system with a long work piece

이재훈†·김무수*·박성훈**·이시복**
Jae-hoon Lee, Musu Kim, Seonghun Park and Shibok Lee

Key Words : High speed machining center, Built-in spindle system, Modal analysis, Long work piece

ABSTRACT

Modal analysis is an important and essential process in design of a high speed machining center. Generally, modal analysis of a built-in spindle system has not taken the work piece's shape and dimension into consideration. Since small and long work pieces influence greatly the natural frequency of the entire system, the high speed spindle system which continuously makes small machine parts by long work pieces for improvement of machining time has to consider the machining work pieces. Therefore frequency characteristics of the spindle system with long work pieces are studied in this paper.

1. 서 론

스핀들 시스템의 설계에 있어서 운전속도의 회피를 위해 고유진동특성 해석은 반드시 고려되어야 하는 과정이다. 본 연구의 대상은 소형의 고속 복합 가공기로서 내장형 모터(built-in spindle system)가 추축을 이루며 무인화와 가공재료 공급의 용이 및 리드타임(lead time)의 단축을 위해 직경이 작고 길이가 긴 가공소재가 이용된다. 이 가공 소재는 스핀들 내부의 중공에 장착되어 가공되며 스핀들과 함께 고속으로 회전하게 되므로 전체 스핀들 시스템의 고유진동 특성에 지대한 영향을 준다. 반면 고속 스핀들 시스템이 채용된 머시닝 센터에 대한 기존의 연구들에서는 소재의 길이가 짧고 비교적 큰 직경을 지닌 대상들이 주류를 이루었으므로 이 문제에 대해 거의 거론되지 못했다.[1] 그러므로 본 연구에서는 소재가 포함된 고속 스핀들 시스템을 구성하고 가늘고 긴 소재가 시스템의 진동특성에 미치는 영향을 파악해 보고자 한다.

† 교신저자; 부산대학교 기계공학부
E-mail : lee-jaehoon@daum.net
Tel : (051) 510-3206, Fax : (051)514-7640
* 부산대학교 기계공학부 석사과정
** 부산대학교 기계공학부 교수

2. 고속 스핀들 모델의 특성 및 연구 방향

본 연구의 대상이 되고 있는 모델은 최대가공직경 Ø 7mm, 최대회전속도 20,000RPM급의 CNC 자동선반의 스핀들 시스템이다. 대략적인 외형과 구조를 Fig. 1에 나타내었으며 여기에 나타난 스핀들의 추축은 길이방향으로 350mm가 되지 않는 소형에 해당한다. 이러한 소형 고속 스핀들은 봉재형상의 소형부품들을 가공할 수 있는데 뼈를 고정하는 나사나 치과 및 정형외과용 임플란트를 제조하는데 주로 이용될 수 있다.

이번 연구의 고속 복합가공기는 개발이 아직 완료되지 않았으며 Fig. 1과 같이 스핀들 부 및 내부의 척킹부까지 설계가 되고 시제품 제작이 이루어졌다. 그러므로 소재를 포함한 상태의 고유진동특성은 아직 미완성인 실모델의 문제로 실제 실험을 통해 파악할 수 없다. 그러므로 전산해석을 통해 그 특성을 예측하고 설계를 수정하는 것이 시간과 비

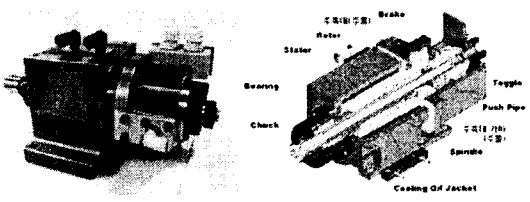
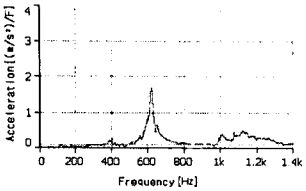


Fig. 1 Built-in spindle system



Mode	Frequency[Hz]
1	401.161
2	639.426
3	1001.341
4	1032.034
5	1050.126
6	1059.985
7	1251.571

(a) Impact test result (b) FEM analysis result

Fig. 2 Results of impact test and FEM analysis

용을 줄일 수 있는 효과적인 방안이라 생각된다. 더하여 소재를 포함한 전체 스핀들 시스템의 진동특성을 파악하기 전에 소재를 포함하지 않은 상태의 유한요소 모델에 대한 고유진동해석을 하여 이 결과를 시제품에 대한 충격 시험(impact test)[2]를 통해 얻은 결과와 비교하는 단계를 거쳐 유한요소모델이 충분한 정도를 가짐을 검증하였다.

3. 유한요소 해석 및 충격 시험 결과

앞서 설명한 바와 같이 소재를 포함한 스핀들 시스템의 고유진동해석을 실시하기 전에 소재가 포함되지 않은 스핀들시스템 모델에 대해 충격 시험을 시제품에서 실시하였다. 이와 더불어 스핀들 시스템의 3D모델을 구성하고 상용 유한요소해석 코드인 Samcef를 이용하여 해석을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 2와 같으며 실제 실험과 전산해석의 결과가 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이는 유한요소모델의 타당성을 잘 뒷받침 해주는 증거가 된다. 지면이 좁은 관계로 충격 시험의 방법이나 전산해석에서의 물성 및 경계조건 및 모드형상은 생략하였다.

4. 가공소재를 고려한 스핀들 시스템의 고유진동 해석 결과

긴 가공소재가 장착되었을 때의 고유진동 특성을 파악하기 위해 충격 시험 결과와 잘 일치했던 앞의 스핀들 유한요소 모델에 가공소재를 포함시키고 다시 한 번 고유진동 해석을 실시하였다. 가공소재는 Ø7mm와 600mm의 길이를 가지고 있으며, 스핀들의 앞쪽에 위치한 척에 의해 강성지지를 받게 된다.

소재를 포함했을 때의 고유진동특성 해석결과가 Fig. 3에 나타나있다. 1차에서 14차까지의 모드형상과 주파수를 나타내었다. 소재가 포함되지 않았던 Fig. 2의 결과와 비교해 보면 소재 고려의 유무에 따른 주파수 특성을 파악할 수 있다. 가늘고 긴 외형을 가진 소재의 특성상 저차 모드에서, 특히 1차에서 6, 7차까지 소재에 지배를 받는 모드형상과 주파수가 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

전체적으로 저주파에서는 소재나 스핀들 내부의 푸쉬-파이프(push pipe)가 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며,

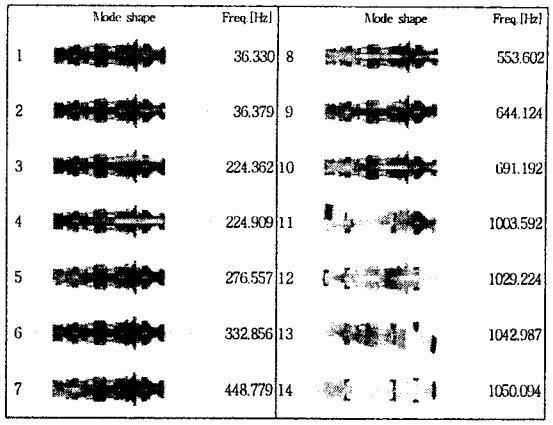


Fig. 3 FEM analysis results of spindle system with long work piece

고주파에서는 스핀들 바깥쪽에 위치한 로터에 의한 영향이 지배적이란 것을 알 수 있다. 또한 스핀들의 운전속도인 20,000RPM을 고려할 때 대략 333Hz의 공진 대역을 회피하여야 하나 6차 모드에서 그와 비슷한 주파수가 나타나고 있어 가공기의 성능에 악영향을 미칠 것으로 생각된다.

그러므로 소재를 지지하는 강성이나 소재 자체의 직경과 길이를 스핀들 시스템의 설계에 적극 반영하지 않으면 충분한 성능의 고속 가공기를 설계하는데 문제가 발생할 것으로 보인다.

5. 결 론

가늘고 긴 소재를 가공하는 스핀들 시스템의 고속화 및 고강성화를 위한 설계 시에 스핀들 자체의 강성과 고유진동 특성 뿐만 아니라 소재의 형상이나 크기의 영향을 설계에 고려해야 함을 알 수 있었다. 향후 가공 소재의 특성에 대응하는 안정적인 가공기의 설계를 위한 스핀들 시스템과 바-피더 지지부의 설계에 대한 연구를 지속적으로 추진 할 것이다.

후 기

본 연구는 한국 산업기술재단에서 주관하는 지역혁신인력양성사업과제의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Maeda, O., Cao, Y., Altintas, Y., 2005, "Expert Spindle Design System", International Journal of Machine Tools & Manufacture. vol. 45, pp.537~548.

(2) Brüel & Kiær Korea, 1986, Vibration & Noise - Principle and Practice, Brüel & Kiær Korea, Seoul.