

미소가공을 위한 마이크로 공작기계 최적설계

황 준*(충주대학교 기계설계공학과), 정의식(한밭대학교 기계공학부),
Steven Y. Liang(Georgia Institute of Technology)

Optimal Design of Micro Machine Tool for Micro Precision Machining

Joon Hwang(Chungju Nat'l Univ.), Eui-Sik Chung(Hanbat Nat'l Univ.), S. Y. Liang(Georgia Tech)

ABSTRACT

This paper presents the results of miniaturized micro milling machine tool development for micro precision machining process. Finite element analysis has been performed to know the relationship between design dimensional variables and structural stiffness in terms of static, dynamic, thermal aspects. Design optimization has been performed to optimize the design variables of micro machine tool to minimize the volume, weight and deformation of machine tool structure and to maximize the stiffness in terms of static, dynamic, and thermal characteristics. This study presents the assessment of the technology incentive for the minimization of machine tool in the quantitative context of static, dynamic stiffness, thermal resistance and thus the accuracy implications.

Key Words : Micro Machine Tool(마이크로 공작기계), Micro Precision Machining(미소가공), Design Optimization(최적설계)

1. 서론

최근, 기술의 급속한 발전에 따라 전자, 항공우주, 바이오산업 등을 중심으로 미소 또는 초미소급(micro or nano scale)의 소재 및 부품과 관련된 수요가 증대될 것으로 기대된다. 이미, 소재분야 및 전자분야를 중심으로 미소급의 MEMS 장치제작을 위한 부품소재기술이 개발되어 적용되기 시작했으며, 한차원 높은 NEMS 장치제작을 위한 기술개발이 21세기의 핵심역량을 키울 수 있는 중점기술로서 인식되기 시작하였다¹.

본 연구에서는 이와 같은 배경에 발맞추어 미소가공을 위한 마이크로 공작기계 개발을 위해, 공작기계 소형화에 따른 구조부 설계변수와 성능과의 상관성에 대한 분석과 최적설계방안을 확립하고, 성능예측을 통한 적용가능성을 평가하여 초정밀 초소형 공작기계 설계기술을 확보하고자 한다.

2. 마이크로 밀링머신 설계

2.1 마이크로 공작기계 요구사항

마이크로 공작기계 개발을 위해서는 구조설계를 위해 적용 재질과 형상, 치수를 결정해야 한다. Reshetov등에 의해 구조의 치수(dimension)와 정밀도(accuracy)는 제공근에 비례하는 경향을 보이는 것으로 보고되었으며, 이러한 이론은 공작기계의 치수결정에 있어 치수효과(size effect)가 있음을 의미한다.

즉, 공작기계의 구조치수는 공작기계의 기본 정밀도에 큰 영향을 미칠 수 있는 주요 설계인자가 되는 것이다.

마이크로 공작기계 구조의 설계변수의 결정에 따라 시스템의 정특성(정강성), 동특성(동강성), 열특성(열강성)은 크게 좌우될 수 있다. 구조물 부재의 형상을 지배하는 구조영역에 대한 각각의 설계특성을 포함하고 있고, 서로의 영향도가 다르기 때문에 통합된 설계의사를 결정한다는 것이 쉽지 않다. 즉, 결정변수 공간에서는 많은 국소적 최적점이 존재하게 되어 기계구조물의 전체 영역에서 완전한 최적해를 구하는 것이 쉽지 않다.

2.2 최적설계변수 및 목적함수 설정

마이크로 밀링머신의 최적설계를 위해 Fig.1의 초기설계모델의 4개 설계변수를 대상으로 하여 설계하한치 및 상한치범위를 설정하였다.

최적화 목적함수로서는 마이크로 밀링머신 구조부의 변형량(deformation)을 대상으로 하여 그 값이 설계치 변화 중에 최소화(minimize) 하는 문제로 설정하였으며, 시뮬레이드 어닐링 방법을 적용하여 초기설계안에 대한 최적화를 수행하였다.

본 연구에서는 최적화 설계기법으로 시뮬레이드 어닐링(SA: Simulated Annealing) 알고리즘을 채택하여 마이크로 밀링머신 구조의 최적설계를 수행하였다. 이 방법은 설계민감도를 사용하지 않고 함수

값만을 이용하여 평가·비교하여 최적치를 구하는 방법으로 적용이 용이하고, 폭넓은 설계공간의 탐색 능력 및 국소해(local optimum) 탈출이 쉬우므로 전역 탐색(global search)을 통한 보다 나은 해를 찾을 가능성이 높은 특성이 있다. 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용하여 초기설계안을 설정하고 초기설계안에 변화치(perturbation)을 가해 후보설계안을 만든 후, 양쪽을 평가·비교하여 더 우수한 쪽을 다음 초기설계안으로 설정하여 설계변수 하한과 상한 값 범위 내에서 목적함수를 만족하는 최적 해를 찾게 된다.

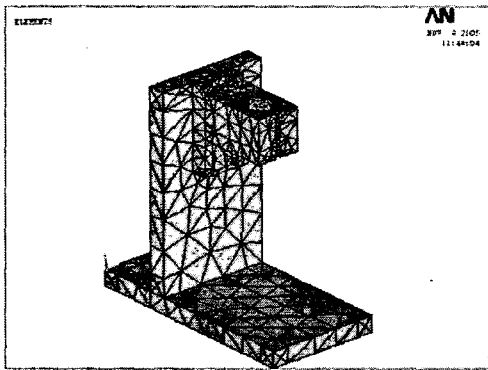


Fig. 1 Finite element model for micro milling machine tool

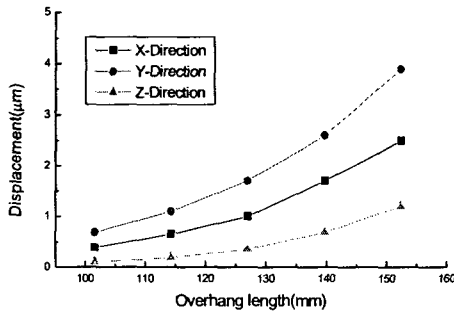


Fig. 2 Effect of overhang length on static displacement of micro machine tool frame

2.3 최적설계 결과 분석

최적화 목적함수가 변형량 최소화이므로 초기설계안과 비교해 볼 때, 설계변수 주축부길이(A)와 컬럼높이(B)는 감소한 반면, 컬럼부 두께(C)와 컬럼부 보강리브 두께(D)가 각각 증가하였다. 또한, Table 1 에는 최적설계 적용 전·후 마이크로 밀링머신의 구조부의 한 정적, 동적, 열적측면에서의 변형량, 강성 및 고유진동수 변화에 대한 분석결과를 요약하여 나타내었다.

분석결과에서 알 수 있는 바와 같이, 초기설계안과 비교하여 최적설계 적용 후 응력해석 결과, 정적 특성 항목에서는 정적 변위가 44% 감소되고, 정강

성은 68% 향상되는 효과를 나타내었다. 또한 동적 강성 항목에서는 구조부의 고유진동수가 초기설계안 대비 41% 향상되어 고 회전 추축회전에 대한 동적 안정성을 높여줄 수 있을 것으로 판단된다. 열적 특성 항목에서는 열변형은 7.5% 감소, 열적 강성은 0.76% 증가하는 결과를 얻을 수 있었다.

3. 마이크로 밀링머신 제작 및 평가

미소가공을 위한 마이크로 밀링머신에 대한 설계 결과를 바탕으로 마이크로 밀링머신을 제작하였으며, 이에 대한 성능평가를 위해 미소절삭가공을 수행하였다. Fig.3에는 100μm 피치원을 갖는 마이크로 기어(micro gear)의 3차원 가공한 결과를 나타내고 있으며, 가공오차는 5% 이내인 것으로 확인되었다. 3차원 공구를 이용한 미소가공을 구현하기 위한 마이크로 밀링머신에 대한 설계와 가공실험을 통해 보다 다양한 형상 제작이 가능할 것으로 기대한다.

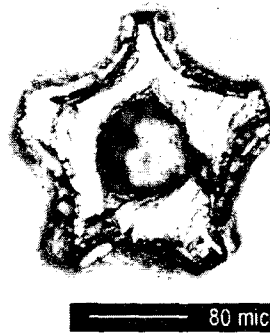


Fig. 3 Micro gear machining test result with micro machine tool

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 밀링머신 개발을 통해 미소가공을 구현하는 연구를 수행하였으며, 이를 위해 설계단계에서는 마이크로 공작기계 구조소형화에 따른 정적, 동적, 열적 측면에서의 강성특성을 예측하고, 구조 설계 변수 최적화를 통한 구조부 강성 개선 방안에 대하여 연구하였다. 또한, 마이크로 밀링머신 제작과 성능평가를 통해 미소가공 부품에 대한 가공을 성공적으로 수행하였다.

후기

본 논문은 2005학년도 충주대학교의 학술연구조성비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Corbett, J., McKeown, P. A., Peggs, G. N., and Whatmore, R., "Nanotechnology: International Developments and Emerging Products," Keynote Paper, Annals of the CIRP, Vol. 49, No. 2, 2002.