

재질 변화에 따른 초정밀가공기용 마이크로 스테이지의 안정성 해석

김재열(조선대 기계공학부), 곽이구*(조선대 대학원), 김항우(송원대학 자동차과),
안재신(조선대 대학원), 김영석(조선대 기계공학부), 김기태(화천기공)

Stability Analysis according to Material Alteration on Micro Stage for Micro Cutting Machine

Jea-Yoel Kim(Mecha. Eng. Dept., CSU), Lee-Ku Kwac(Graduate School., CSU),
Hang-Woo Kim(Automobile Eng. Dept., SWC), Jea-Sin An(Graduate School., CSU),
Jea-Yoel Kim(Mecha. Eng. Dept., CSU), Kee-Tea Kim(Hwacheon Mashine Tool)

ABSTRACT

In this paper, stability of ultra precision unit is analyzed, this unit is the kernel unit precision processing machine. According alteration of shape and material about stability investigation is performed.

Through this stability investigation, trial is reduced in design and manufacture, at the time, we are accumulated foundation data for control.

1. 서 론

21세기로 접어들면서 세계는 산업사회 이후에 지식기반 사회라는 새로운 혁명을 준비하고 있으며, 세계의 관심은 정보기술(Information Technology), 나노기술(Nano Technology), 생명기술(Bio Technology)에 집중되고 있다. 특히 당초 반도체 미세기술을 극복하는 대안으로 연구가 시작된 나노기술은 전자와 정보통신·기계·화학·생명·에너지 등의 거의 모든 산업에 응용할 수 있어 인류 문명을 획기적으로 바꿀 기술로 떠올랐다.⁽¹⁾

특히 기계분야에서 나노테크가 가장 시급하게 이루어져야 될 분야가 초정밀 가공이라 할 수 있다. 최근 전자 산업과 광산업의 급진적인 발전과 발맞춰 이러한 관련기에 필요한 여러 가지 핵심 부품의 초정

밀가공에 대한 필요성이 증대되고 있다.

초정밀 가공기술은 선진국의 기술보호가 가장 심한 분야로 국내에 기술보급이 제대로 이루어지지 않아 관련 핵심 부품의 자체 개발의 한계를 보이며, 외국업체에 개발을 의뢰하거나 외국업체에서 개발된 부품을 응용하는 단계를 벗어나지 못하고 있다. 물론 초정밀가공시스템을 개발하기 위한 요소기술, 시스템 개발기술 등의 연구에 성공한 사례도 있지만 이미 나노미터(nm) 수준의 가공정밀도를 완성한 기술에 뒤떨어지지 않기 위해서는 보다 활발한 연구가 뒷받침되어야 할 것이다.⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

본 논문에서는 이러한 초정밀 가공기의 핵심 유닛이 되는 초정밀 미소절삭장치(Ultra Precision Cutting Unit ; UPCU)의 안정성 검토를 다룬 것으로써 현재의 재질의 변화에 따라 어떠한 경향이 보여지는지를 확인하고자 하였다.

이러한 안정성 검토를 함으로써 유닛 제어의 기초 자료수집의 효과와 유닛 설계 및 제작의 시행착오를 줄일 수 있다.

2. 유한요소 모델링

유한요소해석 모델링은 산업현장에 널리 적용되어지고 있는 상용 유한요소해석 프로그램인 MARC를 활용하였으며, 유한요소해석을 위한 전·후처리(Pre/postprocessing)는 MENTAT를 사용하였다.⁽⁸⁾

모델링은 각 유닛의 재질을 Table 1과 같이

스테이지는 Aluminum, Copper, Spring steel, 툴 홀더 지그는 연강, 툴 홀더는 텅스텐, 바이트 팁은 다이아몬드로 하였으며, 스테이지와 툴 홀더, 바이트 팁은 하나의 강체로 보았다. 그리고 압전 소자의 모델링은 적층형을 하나의 강체로 생각하여 모델링 하였다. 또한 탄성힌지의 형상을 일반적으로 많이 설계되고 있는 Round Type의 형상으로 설계하여 재질변화에 따라 탄성힌지 부분에서 나타나는 응력분포와 변위 특성을 분석함으로써 UPCU의 안전성을 검토하고자 하였다.

Fig.1은MENTAT에서 Round Type의 UPCU를 3차원 모델링 한 것이다.

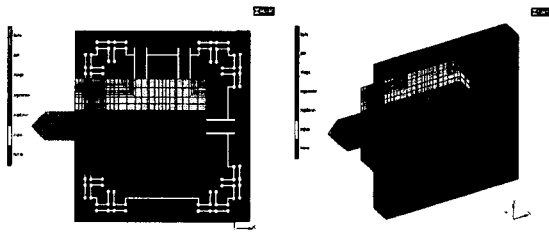


Fig.1 FEM Modeling of Ultra Precision Cutting Unit

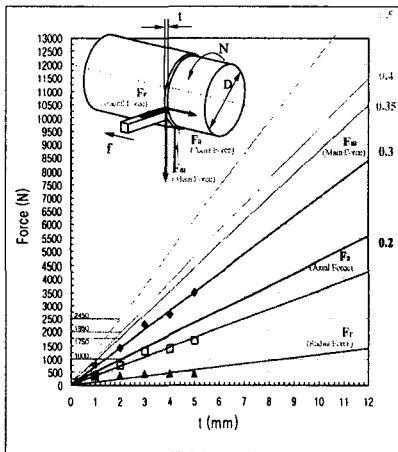


Fig. 2 Cutting Force of Micro Cutting Machine

Table 1 Material Properties

| Unit | Material | E kg/mm ² | ν | ρ kg/mm ³ |
|-------------|------------|----------------------|-------|---------------------------|
| PZT | AE0505D16 | 4,400 | 0.34 | 2.50e-6 |
| Byte Zig | Mild steel | 21,000 | 0.26 | 7.8e-6 |
| Tool Holder | Tungsten | 68,730 | 0.22 | 1.48e-6 |
| Byte Tip | Diamond | 114,550 | 0.20 | 3.50e-6 |

또한 본 시스템은 초정밀가공기에서 사용을 목적으로 하기 때문에 3분력의 절삭력에 대한 안정성이 있어야 한다. 따라서 바이트 팁 부위에 3분력의 힘을 가하여 FEM해석을 하였으며, 그에 대한 근거는 정밀 선반의 바이트 팁 부분에서 직접 측정된 값을 적용하였다. 본 시스템이 초정밀 가공에서 사용되기 때문에 절삭량은 극히 작은 수치이지만, 안전성을 고려하여 최대 2mm까지 절삭한다고 가정하였다. 측정된 값은 Fig.2와 같다.

3. 유한요소 해석결과 및 분석

본 논문에서는 재질의 변화에 따라 초정밀 가공기용 마이크로 스테이지의 안정성이 어떻게 변화하는지를 아래와 같은 두 가지 방법으로 확인하고자 하였다.

1. 재질 변화에 따른 스테이지의 응력 분포
2. 재질 변화에 따른 스테이지의 변위 응답성

3.1 재질 변화에 따른 스테이지의 응력 분포

스테이지의 재질은 Aluminum, Copper, Spring steel을 적용하였다. 일반적으로 사용되는 마이크로 스테이지의 재질은 듀랄루민 이지만, 강도적 측면에서의 해석을 위해 듀랄루민 대신 물성치가 비슷한 알루미늄을 적용하여 해석하였다.

따라서 알루미늄은 연한재질, 스프링강은 강한 재질, 중간적 성질을 가지는 구리 등을 FEM해석에 적용하여 그 특성을 살펴본 것이다.

경계조건은 스테이지 외곽은 고정되어 있으며, PZT는 스테이지만의 안정성 확인을 위해 모델링에서 제외하였으며, 3분력의 절삭력을 바이트 팁 부분에 가중하였다.

Stage 재질에 따른 안전성 검토 결과 힌지 부분에서 응력집중이 발생하였지만 안전계수가 2.86~5.57로 나타났다. 따라서 3가지 재질 모두 힌지 부분에서의 크랙은 발생하지 않으며, 안전하다고 사료된다.

또한 Stage 재질이 강할수록 Stage에 걸리는 최대 전단 응력값은 Aluminium 재질에 비해 2.6%~7.1% 정도 증가함을 확인하였다.

따라서 강도적 측면에서 볼 때 3분력의 절삭력

에 대한 스테이지의 안정성은 강한 재질일수록 안전하지만, 연한재질인 알루미늄에서도 크랙의 염려는 발생하지 않음을 확인하였다. Fig.3~Fig.5는 응력분포에 대한 각 재질의 FEM해석 결과이다. 그리고 Table 2는 그 수치를 나타낸 것이다.

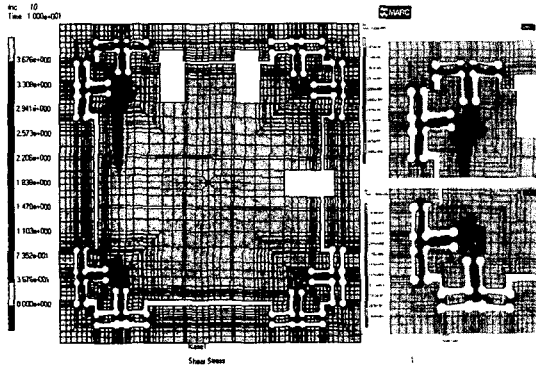


Fig.3 Von-Mises Stress Distribution of Micro Stage(Aluminum)

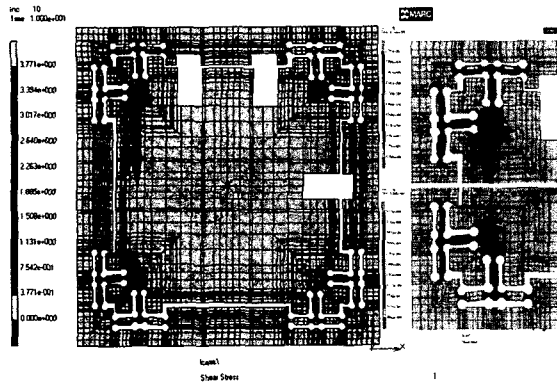


Fig.4 Von-Mises Stress Distribution of Micro Stage(Copper)

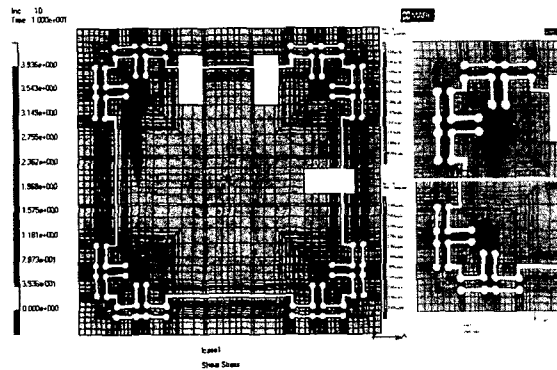


Fig.5 Von-Mises Stress Distribution of Micro Stage(Spring Steel)

Table 2 FEM Data According to material Alteration on Micro Stage

| Hinge Type | | Round(Circle) | | |
|--|------------------------------|--|---------------|----------------|
| PZT load | | 0 | | |
| Byte load | | Radial(25Kg), Axial(100Kg), Main(-140Kg) | | |
| PZT Material properties | Type | Aluminium | Cooper | Spring steel |
| | E(kg/mm ²) | 7,000 | 9,800 | 19,000 |
| | ν | 0.32 | 0.30 | 0.26 |
| | ρ (kg/mm ³) | 2.7e-6 | 8.6e-6 | 7.8e-6 |
| τ_{max} on Stage(kg/mm ²) | | 3.676 | 3.771 | 3.936 |
| Yielding stress(kg/mm ²) | | 21 | 42 | 40 |
| Criterion Factor "Y"(kg/mm ²) | | 7.352 (100%) | 7.54 (102.6%) | 7.872 (107.1%) |
| Safety Factor | | 2.86 | 5.57 | 5.08 |
| Crack | | No | No | No |

3.1 재질 변화에 따른 스테이지의 변위 응답성

다음은 PZT에 85kg의 하중을 가하여 바이트 팁에서의 변위 응답성을 파악한 것이다. 또한 PZT의 가중에 의한 바이트 팁 부분의 변위특성을 알아보기 위해 3분력의 절삭력은 가하지 않은 상태이다. 이것은 재질의 변화에 따라 PZT 입력에 대한 바이트의 응답특성이 어떻게 변화하는지를 파악하고자 한 것이다.

PZT加重에 따른 바이트 팁에서의 변위응답성을 검토한 결과 Stage의 재질이 강할수록 변위응답성이 좋지 않은 것을 확인할 수 있었다.

Table 3에서는 스테이지의 재질 변화에 따른 변위 응답성에 대한 FEM 해석 데이터를 나타내었으며, Fig.6~Fig.8은 재질의 변화에 따른 마이크로 스테이지 및 바이트 팁 부분의 변위 특성을 보여 주고 있다.

해석결과 변위 응답성 측면에서 볼 때 PZT를 이용한 초정밀 가공용 Stage는 강한 재질보다는 연한 재질을 선택하는 것이 변위응답 특성이 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

따라서 강한 재질일수록 PZT에 의한 변위 제어의 스트로크가 줄어고, 더 많은 힘을 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

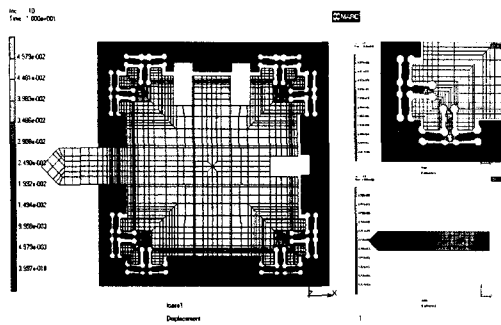


Fig.6 Response of Displacement(aluminum)

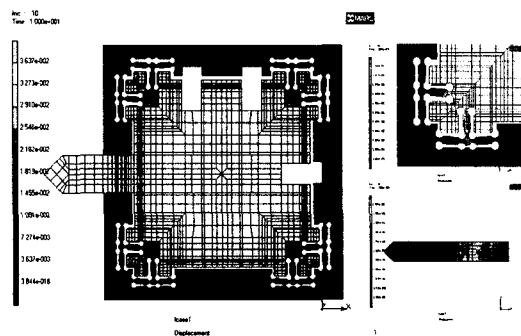


Fig.7 Response of Displacement(Copper)

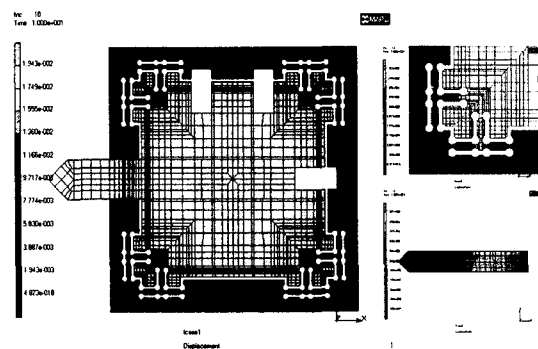


Fig.8 Response of Displacement (Spring Steel)

Table 3 Displacement Response of Byte Tip According to material Alteration on Micro Stage

| Hinge Type | | Round(Circle) | | |
|--------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| PZT load | | 85Kg | | |
| Byte load | | Radial(0Kg), Axial(0Kg), Main(0Kg) | | |
| Displacement of Byte tip | X(μm) | -21.237700 (100%) | -15.5298000 (73.1%) | -8.31574000 (39.2%) |
| | Y(μm) | -41.956700 (100%) | -30.6252000 (73.0%) | -16.33900000 (38.9%) |
| | Z(μm) | +0.163368 (100%) | +0.0785229 (48.1%) | -0.00316555 (1.94%) |

4. 결론

본 논문에서는 초정밀 가공기용 마이크로 스테이지의 설계에서 어떠한 힌지의 재질을 사용해야 될 것인지를 결정하기 위한 것으로서 UPCU의 제작의 시행착오를 줄이기 위하여 FEM 해석을 하였으며, 그 경향을 파악 하고자 하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

1. Aluminum, Copper, Spring Steel의 3가지 재질을 적용하였을 때 모두 크랙은 발생하지 않았으며, 안전함을 확인하였다.

3. PZT의 하중을 가하고 절삭력을 가하지 않았을 경우, 연한 재질이 변위 응답성이 우수함을 확인하였다.

위와 같이 FEM 해석을 통하여 힌지의 재질 선택에 따라 마이크로 스테이지의 안정성 경향이 어떻게 변화하는지의 경향을 확인하였으며, UPCU의 설계 및 제작에 기초 데이터 베이스로 사용할 것이다. 또한 스테이지의 재질을 선택할 때는 재질의 열적 특성 및 힌지의 형상 등의 중요한 요소가 되며, 기타 다양한 조건을 검토하여 재질을 선택하여야 할 것이다.

후 기

본 논문은 과기부 과학재단지정 지역협력 연구센터인 레이저응용신기술연구센터의 2002년도 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

1. 이조원, "10억분의 1nano가 여는 세상 ? 나노기술", 사이언스 어드벤처 제 11회 강연회 2001.
2. H. NAKAZAWA, 1994, "Principles of Precision Engineering", Gordon and Breach Science Publishers, pp. 75~82, pp. 140~167
3. D.Keith Bowen, 1992, "Development in Nanotechnology", Gordon and Breach Science Publishers, pp. 95-129
4. Jae-yeol Kim, Haeng-Nam Lee, Lee-ku Kwac, Jae-ho Han, Young-Tar Cho, Choong-Geug Jun,,

- 2000 , "Control performance evaluation of ultra precision Positioning apparatus", Proceedings of The 2000 International Symposium on Mechatronics and Intelligent Mechanical System for 21 Century, ISIM , pp. 252~255
5. S.T.Smith and D.G.Chetwynd, 1992, "Foundation of Ultra Precision Mechanism Design", Gordon and Breach Science Publishers, pp. 95~128.
 6. Thomas J. R. Hughes, "The Finite Element Method" Prentice-Hall International Editions , p90~91, 1987.
 7. 김재열, 윤성훈, 한재호, 곽이구, 김항우 "유한요소법을 이용한 초정밀 미동스테이지 설계에 관한 연구 (I)", 한국정밀공학회 춘계발표논문집, 2001
 8. MARC Analysis Research Corporation manual, VOLUME A, VOLUME B, VOLUME C, VOLUME D, 1994.
 9. 김정두, "초정밀가공기의 파상도 보정시스템에 관한 연구", 한국정밀공학회지
 10. 곽이구, 김재열, 한재호, "초정밀 X-Y 스테이지의 시뮬레이션 및 제어 성능평가", 한국공작기계학회 춘계학술대회, 2001
 11. 김재열, 이규태, 곽이구, 한재호, 김창현, "Laser Interferometer를 이용한 초정밀위치결정 피드백 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 및 제어성능 평가", 한국공작기계학회지, 11권 1호, pp17~25, 2002