

초소형 밀링머신을 이용한 미세절삭 가공

배영호*(영남대 대학원), 고태조(영남대학교), 김희술(영남대학교),
정병묵(영남대학교), 김재건(영남대 대학원)

A Study on the Micro Machining Using Micro Machine

Y. H. Pea* (Mecha. Eng. Dept. YNU), T. J. Ko (Mechanical Eng. Dept., YNU), H. S. Kim (Mechanical Eng. Dept., YNU), B. M. Chung (Mechanical Eng. Dept., YNU), J. G. Kim (Mechanical Eng. Dept., YNU)

ABSTRACT

After the micro turning lathe was developed in the last year by AMR Laboratory, a micro-milling machine is developed for micro machining. This machine is integrated with PZT-driven micro-sliders, micro-linear encoders, air turbine spindle which has maximum 150,000 rpm. It is applicable to milling and drilling machining. This paper shows the possibility of micro machining and characteristics of micro end milling process by using micro machine. A machining of micro barrier ribs using 0.2 mm flat type end mill was achieved by micro-milling machine. As experimental results show the machining capability and positional accuracy of this machine is good enough for machining micro parts.

Key Words : Micro machining (미세절삭), Micro machine (초소형 공작기계), Inchworm (인치웜), Piezo actuator (압전소자)

1. 서론

최근 Meso($10^{-2} \sim 10^{-5}m$)급의 크기를 지닌 미소 부품을 위한 마이크로 머시닝을 위하여 빔 이용 기술이나 전기, 화학적인 기계가공기법이 많이 개발되고 있다. 그러나 이러한 다양한 공정방법의 개발에도 불구하고, 여전히 제품생산의 신뢰성과 생산 속도 및 실현성 때문에 절삭가공에 의한 Micro/Meso 가공에 대한 필요성이 90년대 후반부터 끊임없이 제기되고 있으며, 실현이 되고 있다. 이에 2002년, 본 연구실에서 개발된 초소형 선반에 이어 초소형 밀링머신을 개발하였다. 본 논문에서는 이를 바탕으로 미세 가공에 대한 가능성을 검증하고, 초소형 공작기계 개발을 통해 생산 가공 시스템을 축소, 소형화함으로써 작업 현장의 공간 활용성을 향상시킴과 동시에 미소 부품가공에 대해서 장비, 시설 투자 비용 등을 포함한 소비 에너지와 생산 제조 원가의 절감화를 이루고자 한다.[1]

2. 초소형 공작기계의 개념 설계

초소형 공작기계를 구성하는 부분은 크게 나누

어서 주축계, 이송계, 공구계로 나눌 수가 있다. 이 중에서 소형화를 달성하기 위한 가장 큰 걸림돌은 이송계 부분이 된다. 이러한 초소형 공작기계의 이송계로서 가장 현실적인 방법으로 Piezo actuator가 추천되고 있다. 본 연구에서는 초소형 밀링의 이송계로서 X,Y 축은 2개의 Piezo Actuator를 쓰는 Stepwise 방식과 Z 축은 3개의 Piezo Actuator로 구성되는 Inchworm 방식을 적용하였다.

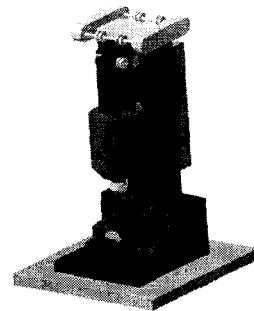


Fig. 1 Micro milling machine

Fig. 1 은 본 연구에서 다루려는 초소형 밀링의 전체 개념도를 보이고 있다.

3. Stepwise Motion 및 Inchworm Motion 의 구동 원리 및 구조

3.1 Stepwise Motion

Stepwise Motion 의 전, 후 방향에 대한 구동원리 및 구조를 Fig.2.(a), (b) 에서 나타내었으며, Fig. 3 에서 제어신호를 도식화하였다. 가이드 내의 슬라이드 구조는 고정부와 구동부로 나뉘어지며 서로 탄성 힌지로써 연결되어있다. Fig 2 에서 보듯이 탄성 힌지를 좌우 대칭으로 설계함으로써 Piezo 의 변위가 슬라이드의 이송에 적합한 구조와 조건을 가지게 하였다. 전, 후 방향의 이송은 두 개의 Piezo 에 순차적으로 변위를 발생시킴으로써 이송이 이루어지며 이를 위해 일정한 타임 스케줄에 따른 두 개의 입력신호를 사용했다. Fig. 2 에서 보여주듯이 단위 사이클당 구동원리는 4 개의 과정으로 구성된다. 구동원리는 초기 상태에서 고정부 Piezo 가 전압을 받아 변위가 발생하고 이로 인해 슬라이드가 양 가이드 사이에 클램핑된다. 다음 단계에서 구동부 Piezo 가 팽창한다. 그리고, 고정부 Piezo 가 수축한 후, 구동부 Piezo 가 수축함으로써 결과적으로 초기 상태에서 일정변위만큼의 이송이 진행되는 것이다.

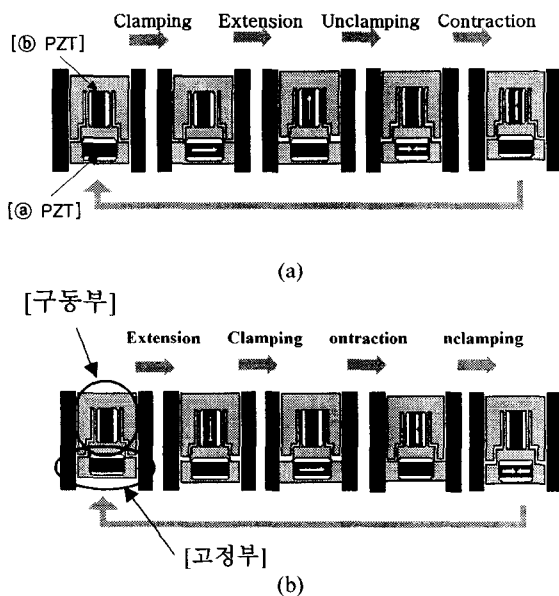


Fig. 2 Stepwise motion of two piezo actuators; (a)Forward, (b)Backward

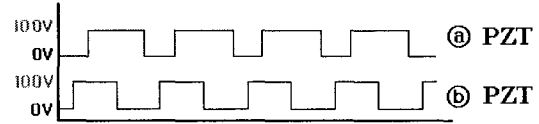


Fig. 3 Signals of two piezoelectric elements for Stepwise motion

3.2 Inchworm Motion

Inchworm Motion 은 두 개의 Piezo 만 사용하는 Stepwise 방식에서 강성을 더 높이기 위해 고안되었다. 즉, Stepwise 방식의 구동부는 볼 플렌저에 의한 예압으로 고정이 되면서 구동 Piezo 가 수축시 수축 변위만큼 고정부를 끌어 당기는 기능을 하지만, Inchworm 방식에서는 구동부의 고정력을 더 높이기 위해 Piezo 에 의한 상위 고정부를 탄성 힌지로써 하나 더 구성하여 Z 축의 이송계로 사용하였으며 Fig. 4, Fig. 5 에 그 구동 원리와 제어 신호를 순차적으로 나타내었다.

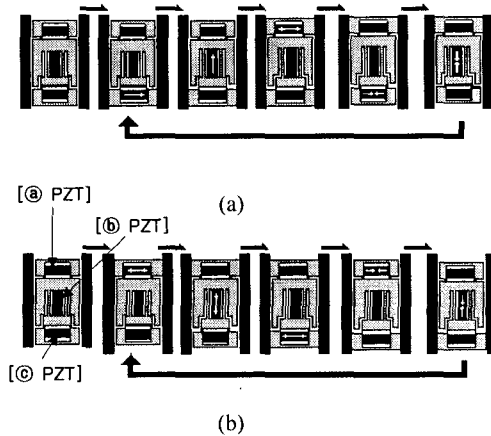


Fig. 4 Inchworm motion of three piezo actuators; (a)Forward, (b)Backward

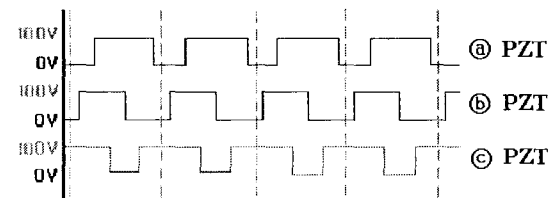


Fig. 5 Signals of three piezoelectric elements for Inchworm motion

4. 이송기구의 설계 및 구동특성

4.1 이송기구의 설계

Stepwise 방식과 Inchworm 방식의 이송 기구의 외형을 3D 모델링 프로그램인 CATIA V5R9로 나타낸 것이 Fig. 6 이다. V 형 가이드에 슬라이드를 조립하여 구동성을 확인하였으나 가이드와 슬라이드 고정부의 간격 조절에 상당한 어려움이 존재하였다. 이를 개선하기 위해 가이드와 슬라이드 고정부 마찰면의 래핑 작업과 가이드를 분리형으로 설계함으로써 일정한 예압을 줄 수 있는 볼 플렌저를 사용하여 슬라이드 고정부와 가이드의 틈새 간격이 1 μm 이내가 되도록 하였다.

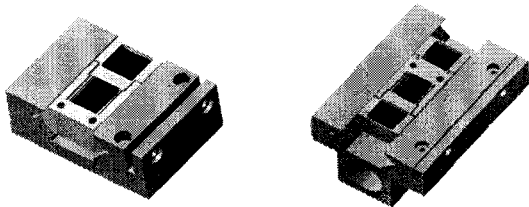
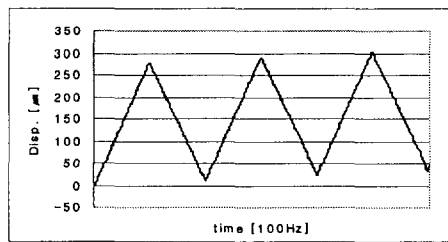


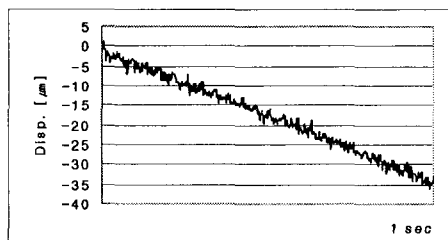
Fig. 6 Modeling of Stepwise and Inchworm apparatus

4.2 Stepwise Motion의 구동특성 평가

Fig. 7 에 초소형 밀링의 XY 축 이송계로 사용된 Stepwise 방식의 구동특성을 나타내었다. 실험은 0.1 μm resolution 을 갖는 Linear Encoder 를 이용하여 측정하였으며 실험조건은 동일한 입력 주파수 100Hz 일 때의 입력전압을 0 과 100 V 로 하여 Open Loop 로 정방향/역방향으로 3 회 반복 이송 시켜 그 결과를 도표 (a) 와 (b) 에 도출하였다.



(a)



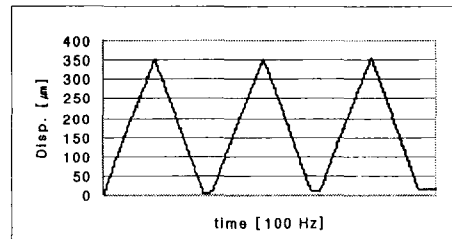
(b)

Fig. 7 Characteristic of Stepwise moving device

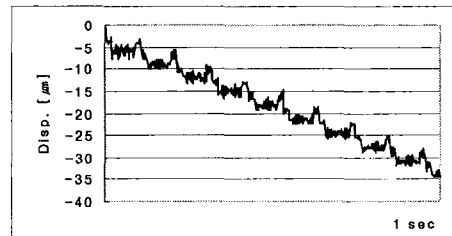
Stepwise 방식의 구동특성은 마찰 구동기에서 나타나는 스텝모션과는 차이가 남을 알 수 있다. 도표(b) 에서 보듯이 stick slip 현상은 크게 나타나지 않았으며 이송이 진행되면서 Piezo Actuator 에 의한 발생변위에 대해 어느 정도의 변위손실이 발생했다. 또한 이송속도는 270 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 이며 이송방향에 따라 약 15 $\mu\text{m}/\text{sec}$ 정도의 속도차이가 나타났다.

4.3 Inchworm Motion의 구동특성 평가

초소형 밀링의 Z 축 이송계로 Inchworm 이송기구의 구동특성을 Fig. 8 에 나타내었으며 실험조건은 전술한 Stepwise 방식과 같다. Fig. 8 의 (a) 에서 보듯이 Inchworm 방식의 이송 속도는 350 $\mu\text{m}/\text{s}$ 이며 이송 방향에 따른 속도 차이는 4 $\mu\text{m}/\text{s}$ 이하로 Stepwise 방식 보다 더 우수한 것을 알 수 있다. 도표 (b) 에서 Inchworm 의 구동특성은 거의 스텝모션에 근접하게 나타났다. 또한 한 이송 스텝 당 6 μm 의 이송이 진행 되었으며 Stepwise 방식에서도 나타나듯이 약 2 μm 정도의 변위 손실이 발생됨을 알 수 있다. 이 변위손실은 Inchworm 메커니즘과 관련한 구동기에서 자주 찾아 볼 수 있는 현상으로 Piezo 가 수축 시 고정부와 구동부의 질량차이에 의한 충격 현상으로 짐작할 수 있다. 이는 Piezo 의 입력신호에 적절한 제어기법을 적용하면서 보정이 가능한 것으로 알려져 있으며 본 논문에서는 현재 이와 관련하여 연구가 진행 중에 있어 제어기법에 대한 자세한 부분은 생략하였다.



(a)



(b)

Fig. 8 Characteristic of Inchworm moving device

5. 시스템 제작 및 가공실험

본 연구에서 개발된 초소형 밀링머신의 사진을 Fig. 9 에 나타내었다. 이 기계는 PC 를 통해 3 축 이송제어가 이루어진다. 주축은 Air Turbine Spindle [Max. 150,000 rpm] 이 장착되어 있으며 이송계로는 전술하였듯이 두 개의 적층형 Piezo Actuator 를 이용한 마찰 구동식 Stepwise 방식을 X,Y 축에 사용하였고 Z 축은 세 개의 Piezo Actuator 를 사용하는 Inchworm 방식을 적용하여 설계하였다. 또한 각축의 Feedback 제어를 위해 0.1 μm resolution 을 갖는 Linear Encoder 를 설치하여 고정밀의 이송이 가능하도록 하였다. 전체 공작기계 사이즈는 69(W) \times 86.5(D) \times 196 (H) mm, 무게는 1.5 kg 이며, XYZ 축에 따른 최대이송거리는 각각 13 \times 8 \times 8 mm이다. 가공 가능한 최대 공작물 사이즈는 15 \times 15 \times 5 mm 이며 마이크로 드릴링과 밀링 작업이 가능하다. Fig. 10 은 주축에 0.2 mm 엔드밀을 장착하여 알루미늄소재에 미세격벽 가공을 실시한 결과를 나타내었다.

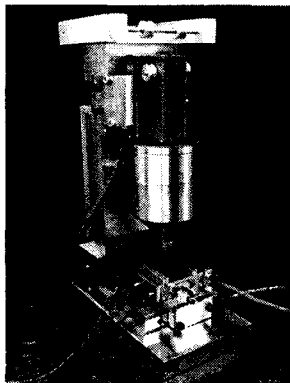


Fig. 9 Photograph of micro milling machine

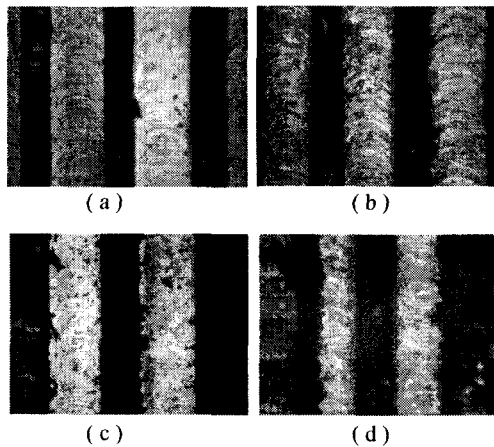


Fig. 10 The barrier machining by micro end milling

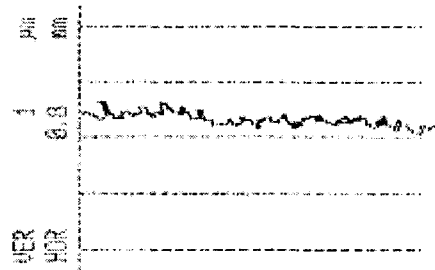


Fig. 11 Surface roughness at the bottom of barrier

Fig. 10 의 미세격벽 가공 실험에서는 실제로 상용화 되는 PDP 의 규격을 감안하여 (a) 와 (b)는 격벽의 폭을 80 μm 하고 격벽 높이를 각각 30 μm , 50 μm 로 가공하였으며 (c)와 (d)는 격벽의 폭이 100 μm 로 하고 격벽 높이가 각각 50, 100 μm 가 되도록 가공하였다. 가공조건은 이송속도를 50 $\mu\text{m}/\text{sec}$, 주축의 회전수를 150,000 rpm 으로 고정하여 모두 동일하게 적용하였다. Fig. 11 은 격벽가공 후 격벽바닥면의 표면 거칠기를 나타낸 것이다. 측정결과, Ra 값이 0.05 μm 정도로 양호한 가공 면의 품질을 얻을 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 Piezo actuator 를 이송계로 사용한 초소형 밀링머신을 개발하여 미세 절삭가공을 수행하였다. 이를 통해 초소형 공작기계를 이용한 미세 절삭가공에 대해 그 가능성을 고찰하였다. 초소형 밀링머신의 주축으로서 150,000 rpm 의 초고속 스피indle에 0.2 mm 엔드밀을 장착하여 미세격벽을 가공하였으며 Fig. 10 에서 보듯이 절삭깊이가 깊어질수록 버(burr)의 발생량이 증가하였다. 이는 절삭력 증가로 인한 것으로 판단된다. 또한 미세격벽 바닥면의 경우 연마가공에서 나타나는 경면과 비슷한 수준의 표면 거칠기를 얻을 수 있었다. 향후 이러한 미세 가공의 특성을 바탕으로 본 연구에서 개발된 초소형 밀링머신에 NC 화를 적용시켜 미세구조물 가공이 가능하도록 연구가 진행될 예정이다.

참고문헌

1. 강재훈, "미래 지향적인 초소형 공장의 전개," 한국공작기계학회 가공기술 세미나, pp. 50-68, 11.2002.
2. 민승기, 이선우, 이동주, 이용숙, 제태진, "마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽가공의 가공특성에 관한 연구," 한국공작기계논문집, Vol.11 No.3, 2002.