

마이크로 시스템 구현을 위한 5 축 가공기에 관한 연구

방영봉(서울대 기계항공공학부), 이경민* (서울대 기계항공공학부 대학원), 오승률 (삼성 테크윈)

A study on 5-axis Milling Machine for Micro System Manufacturing

Y. B. Bang (School of Mechanical and Aerospace Eng., S.N.U.), K. M. Lee (School of Mechanical and Aerospace Eng., S.N.U.) and S. R. Oh (Samsung Techwin)

ABSTRACT

As the advance in technology requires micro mechanical systems, the production methods for micro parts are of a great interest of many researchers. Although MEMS is one of the most popular methods, it can only produce 2D microstructures. The micro manufacturing with micro-mill and micro-lathe has a great potential for producing arbitrary 3D shapes and are being researched. In this paper, a PC based 5-axis milling machine with high precision was developed. To evaluate the machine performance, micro ribs and micro columns were machined. The machining experiments of micro impeller and micro turbine blade confirmed the possibility of micro system manufacturing by using the developed milling machine.

Key Words : 5-axis milling machine (5 축 밀링머신), Micro machining (마이크로 가공), Micro structure (마이크로 구조물)

1. 서론

기계 장비와 기술의 발달에 따라 각종 부품들이 소형화 되어가고 있으며, 소형 부품의 제작 방법으로 MEMS 나 LIGA 와 같은 반도체 제조 공정을 이용한 기술이 많이 이용되어 왔다. 그러나 이러한 방법들은 반도체 공정에 기반을 두고 있다는 점으로 인해 임의의 3 차원 형상 부품 생산에는 몇 가지 문제점들을 가지고 있다. 이에, 기존의 절삭 가공을 소형화 하여 다양한 소형 구조물을 가공하는 방법이 연구 되고 있으며 그와 더불어 소형 부품을 기존의 중 대형의 공작기계로 가공함으로써 생기는 과도한 에너지 소비와 작업 공간의 문제 및 정밀도 저하 등을 해결하기 위한 방법의 하나로 작은 부품의 가공을 위한 마이크로 공작기계가 개발되고 있다.

본 연구에서는 이송 시스템의 분해능이 50 nm 인 PC 기반의 소형 5 축 밀링머신을 개발하였으며, 이의 성능을 확인하기 위해 높은 세장비를 갖는 미세 격벽, 마이크로 사각기둥, 원기둥 등 여러 형태의 마이크로 구조물을 가공하였다. 또한 마이크로 임펠러, 마이크로 터빈 블레이드와 같은 3 차원 부품을

들을 가공함으로써 이 가공기를 이용한 마이크로 시스템 구현 가능성을 확인하였다.

2. 5 축 밀링 머신

2.1 5 축 장비의 장점

5 축 가공기는 기존의 3 축 장비들이 가공하기 힘든 복잡한 형상과 경사면, 곡면들을 가공할 수 있다. 또한 한번의 클램핑으로 가공을 마칠 수 있으므로 원하는 면을 가공할 때마다 클램핑 위치가 바뀌는 3 축 장비보다 시간과 오차, 형상에 따른 고정문제 등에 있어 유리하다. 이와 같은 이유로 마이크로 부품가공에 있어서도 5 축 가공기의 사용이 유리하게 된다.

2.2 구성

제작한 시스템은 칼럼형 구조를 갖는 5 축 밀링머신으로서 3 개의 직선 이송 스테이지(X, Y, Z)와 2 개의 회전 스테이지(A, C)로 구성되어 있다 (Fig. 1). 각 스테이지는 마이크로 스텝모터로 구동되며 각 스테이지의 특성은 Table 1 과 같다.

마이크로 부품의 정밀한 가공을 위해 고정밀도

의 스피들이 요구된다. 그리고 스피들이 Z 축과 회전 C 축에 고정되는 구조이므로 스피들이 소형, 경량인 것이 성능면에서 유리하다. 본 연구에서는 NSK 사의 에어 스피들 모터를 사용하였으며 그 사양은 Table 2 와 같다.

모터의 위치제어는 TurboPMAC2 컨트롤러를 사용하여 5 축 동시제어가 가능하며, PC 기반의 시스템을 바탕으로 제작되어 CAD/CAM 등과의 연재가 용이 하도록 한다.

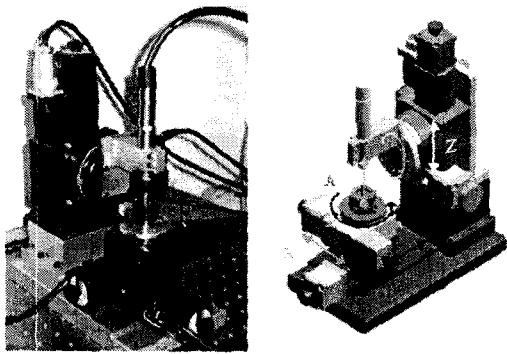


Fig. 1 5-Axis milling machine

Table 1 Specification of the stage

	Travel range (mm)	Resolution (μm)	Max.Velocity (mm/sec)
X	± 10	0.05	10
Y	± 10	0.05	10
Z	± 10	0.05	10
A	360°	0.002	40
C	360°	0.0012	25

Table 2 Specification of air motor spindle

Model	MS-1930R
Speed	20,000 ~ 30,000 rpm
Maximum output	63 W
Mass	171 g
Maximum torque	0.8 kgf·cm
Run out	Max. 2 μm
Maximum air consumption	130 ℓ /min
Proper air pressure	3 ~ 5 kgf / cm^2
Size	Diameter: 19.05 mm Length: 125.6 mm

2.3 성능

성능 확인을 위해, 정전 용량식 캡 센서 (Microsense II)를 이용하여 X, Y, Z 세 축의 분해능을 측정 하였다. 그 결과 50 nm/step 의 분해능을 잘 따라 가는 것을 확인 할 수 있다 (Fig. 2 - 4).

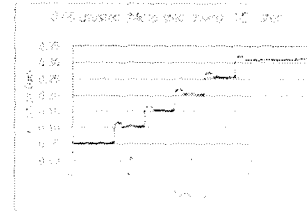


Fig. 2 Measurement of X-axis resolution

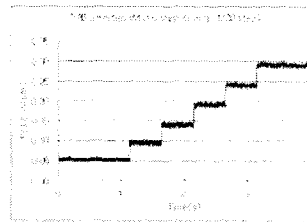


Fig. 3 Measurement of Y-axis resolution

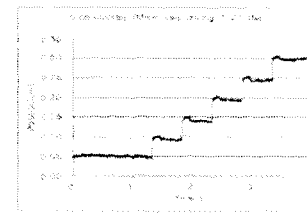


Fig. 4 Measurement of Z-axis resolution

2.4 백래시의 보정

가공기의 X, Y, Z 축의 스테이지는 이송 스크류를 이용하고 있다. 이로 인하여 진행 방향 전환시 백래시가 발생하게 되는데 이는 가공기의 정밀도를 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서, 이에 대한 보정이 필요하다. 정전용량식 캡센서를 이용하여 백래시를 측정하고 이를 컨트롤러를 이용하여 보정하였다. Fig. 5 은 보정을 통해 80 nm 정도의 백래시가 제거된 실험 결과를 보여준다.

Back-lash Compensation

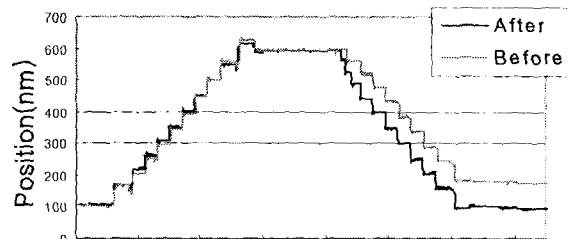


Fig. 5 Backlash measurement and compensation

2.5 Vise

가공물의 크기가 수 mm 이하이며, 가공기의 크기가 소형이므로 가공물의 고정 방법이 문제로 남게 된다. 이 시스템에서는 A 축의 회전 중심을 가공물의 회전 축과 일치시킬 수 있고, 가공물의 착탈이 용이하도록 공작기계용 collet 과 정밀 chuck 을 이용하여 Vise 를 제작하였다.

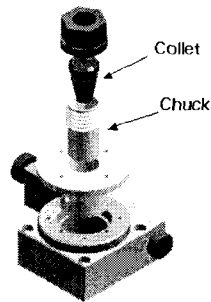


Fig. 6 Designed Vise

3. 가공

3.1 공구

공구는 소형 부품의 가공에 있어 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 Fig. 7 에 나타난 $\phi 100 \mu\text{m}$ (NS, Japan), $\phi 200 \mu\text{m}$ (Micro100, USA) 의 carbide end mill 을 사용하였다.

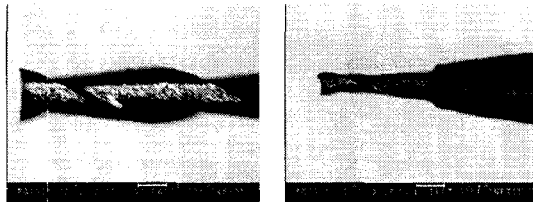


Fig. 7 $\phi 200 \mu\text{m}$, $\phi 100 \mu\text{m}$ flat endmill

3.2 마이크로 구조물 가공

성능 테스트를 위해 미세 격벽과 마이크로 기둥을 가공하였다.

3.2.1 미세 격벽

Fig.8 에서 보듯이 전체 높이를 수 μm 의 층으로 분할하여 한 층을 가공한 후 다음 층을 가공하는 과정을 통해 미세 격벽 가공을 수행하였다. 이를 통해 시스템의 반복 정밀도를 확인할 수 있다. Fig. 9 는 가공된 미세 격벽의 사진이다. 소재로는 $2 \times 2 \text{ mm}$ 의 사각 단면을 갖는 황동을 사용하였다. 벽 사이의 간격은 $200 \mu\text{m}$ 이며 벽의 폭은 $25 \mu\text{m}$, 높이는 $650 \mu\text{m}$ 이다. 미세 격벽의 가공 조건은 Table 3 에

제시 되어있는 바와 같다.

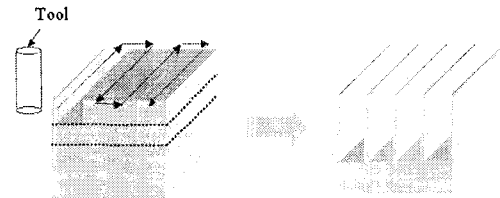


Fig. 8 Machining process of micro rib

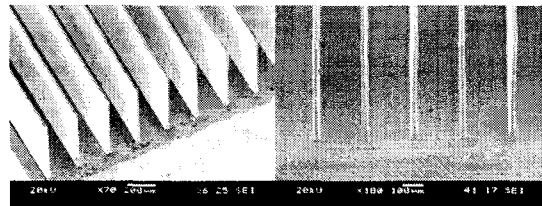


Fig. 9 Micro rib

Table 3. Machining condition for micro rib

Workpiece material	Brass
Spindle speed	25,000 rpm
Cutting depth	$5 \mu\text{m}$
Feedrate	1 mm/s

3.2.2 마이크로 사각 기둥

Table 4 에 제시된 가공 조건으로 폭 $30 \mu\text{m}$, 높이 $320 \mu\text{m}$ 의 사각 기둥을 가공하였다 (Fig. 10).

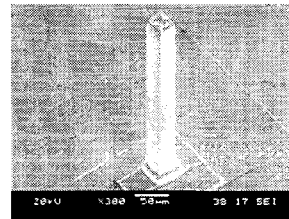


Fig. 10 Micro column ($30 \times 30 \times 320 \mu\text{m}$)

Table 4. Machining condition for micro rib

Micro column	
Workpiece material	Brass
Spindle rpm	25,000
Cutting depth	$5 \mu\text{m}$
Step over	$5 \mu\text{m}$
Feedrate	1mm/s

3.2.3 마이크로 원기둥

Fig. 11 에 나타난 바와 같이 5 축 장비의 회전 A 축을 이용하여, 원호 보간과 같은 복잡한 알고리즘 없이 정밀하게 원기둥을 가공할 수 있다. Fig. 12 는

직경 30 μm , 높이 650 μm 인 원기둥의 가공 결과이다.

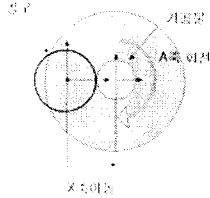


Fig. 11 Machining process of Cylinder shape

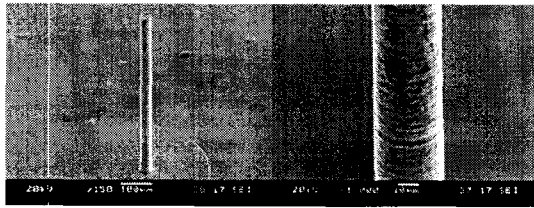


Fig. 12 Micro shaft ($\phi 30 \times 650 \mu\text{m}$) and enlarged view

3.3 마이크로 부품의 가공

3.3.1 마이크로 임펠러와 베이스

마이크로 펌프를 제작을 위한 예비 실험으로 마이크로 임펠러와 베이스를 가공하였다. Fig.13(a)는 임펠러의 대략적인 사이즈와 형상을 Fig.13(b)는 실제 가공 후 베이스에 조립된 모습을 보여주고 있다. 사용한 소재는 황동이며 $\phi 200 \mu\text{m}$ 의 endmill을 사용하였다.

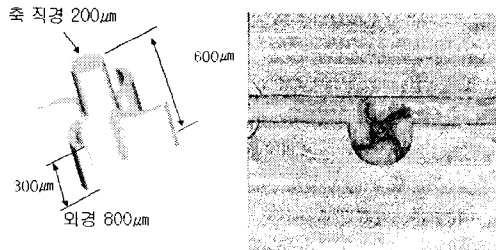


Fig. 13 Micro Impeller & assembled parts

3.3.2 터빈 블레이드 가공

다른 응용 사례로 전체 직경 3.4 mm, 두께 0.3 mm 이며 한 개의 날 길이가 0.35 mm 인 소형 터빈 블레이드를 가공하였다. Fig 14(a)는 전체적인 블레이드의 형상을, Fig 14(b)는 블레이드 날 하나의 형상을 보여주고 있다.

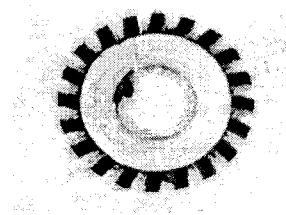


Fig. 14 (a) Micro disc with turbine blades

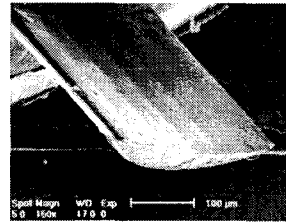


Fig. 14 (b) Micro turbine blade

4. 결론

본 논문에서는 절삭가공을 이용한 마이크로 부품의 가공을 위해 분해능 50 nm/step 을 가지는 고정밀도의 5축 밀링머신을 개발하였다. 이 밀링머신을 사용하여 수십~수백 μm 크기를 가지는 미세 격벽, 마이크로 기둥 등을 가공 하여 성능을 확인 하였으며, 마이크로 임펠러와 마이크로 터빈 블레이드의 가공을 통해 실제 마이크로 시스템의 구현 가능성을 확인하였다.

후기

이 연구는 마이크로 열 시스템 연구 센터의 지원을 받아 수행 되었습니다.

참고문헌

1. Hajime.SUKAWA, Yoshimi TAKEUCHI ,Kiyoshi SAWADA, Tomohiko KAWAI and Yasuhiro SAKAIDA , "Ultraprecision Micro Maching of Structures with high Aspect Ratio" , 일본 정밀공학 회지 in Japanese, Vol.68, NO.11 2002 ,pp1470~1475
2. E.L.J.Bohez , " Five axis milling machine tool kinematics chain design and analysis" , Machine tools & Manufacture 42 (2002), pp 505-520
3. Yuichi Okazaki, Tokio Kitahara. " Development and Evaluation of a Micro-Lathe Equipped with Numerical Control" , 일본정밀공학회지 in Japanese, Vol.67, No.11 , pp1878~1883 ,2001
4. David A.Stephenson, John S. Agapiou, Metal Cutting Theory and practice, 1997