

# 초정밀 공작기계를 이용한 미소부품의 가공특성

이재중\*, 이응숙\*, 제태진\*(한국기계연구원), 이선우\*\* (충남대 기계공학과 대학원)

## Machining Characteristics of Micro-parts using the Ultra-precision Machine Tools

J. J. Lee, E. S. Lee, T. J. Je (KIMM), S. W. Lee (ChungNam Nat'l Univ., Graduate School)

### ABSTRACT

As the application fields of micro parts that are micro endo-scope, PDA, and tele-communication had been extended, there are required the micro machine tools and MEMS in order to machining for those parts. In order to machining of the micro parts, the micro machining center is very effective. The micro machining center had some advantages that are lower cost, higher accuracy, and lower required powers than existing machine tools for machining of micro parts. In this study, in order to analyze the machining characteristics and its application possibility of the developing micro machining center with 60,000rpm rotations, 0.1 $\mu$ m resolutions, and 80x50x50mm sliding unit, the machining experiment had been executed. In this experimental machining,  $\phi$ 0.1~ $\phi$ 0.5mm endmills are used to machining the micro cap and tele-communication's parts. In the future, experimental results will be adapted to the micro-machining center.

**Key Words** · Ultra-precision machine tools(초정밀 공작기계), 미소부품(micro parts), Diamond tool(다이아몬드공구)

### 1. 서론

초소형 정전형 마이크로 모터(직경 120  $\mu$ m)가 U.C. Berkely 에서 개발되면서 전자분야의 반도체 혁명과 같은 기술변천이 기계분야에서도 예상됨에 따라 1990 년도부터 미국, 일본을 중심으로 마이크로 머신 기술을 개발하기 위해 막대한 자금과 인력을 투입하고 있다.

초기 마이크로 머시닝기술은 거의 대부분 반도체공정과 LIGA 공정을 이용한 2차원 형상가공과 크기가 수 $\mu$ m인 미소부품 가공에 중점을 두고 있기 때문에 소형 3차원 형상의 기계적 부품을 고정도, 대량생산을 위해서 필요하다. 또한 소형부품을 기존의 공작기계로 가공함으로써 생기는 과도한 에너지소비, 작업공간 및 자원소비를 줄일 수 있는 방법의 하나로 작은부품은 작은 공작기계에서 가공하기 위해 마이크로 공작기계가 개발되고 있다

최근 10 년동안 초소형 기계부품의 시장은 급속하게 성장하고 있으며, 초소형 기계부품으로는 의

료용 압력센서, 자동차용 가속도센서, 의료용 마이크로밸브 등이 이미 상품화되어 있고, 이외에 컴퓨터 하드디스크용 드라이브 헤드, 잉크젯 노즐, 마이크로 모터 등 그 시장도 폭넓게 증가하고 있다.

최근 일본, 미국의 선진국에서는 초소형 부품을 기존의 반도체 공정이나 LIGA 공정을 사용하지 않고 기계적인 가공방법을 사용하여 제작하는 방법이 연구되고 있다. 국내에서도 최근에 과학기술부사업인 프론티어사업의 하나로 초소형네시경과 정보통신기기인 PDA 시스템을 개발하고 있다. 이와 관련하여 초소형네시경 및 PDA 용 초소형 부품가공을 실현할 수 있는 마이크로 머시닝센터를 확천기공(주)와 한국기계연구원이 공동으로 개발하고 있다.

개발하고자 하는 마이크로 머시닝센터는 기존의 미세 가공기술인 Bulk & Surface Micro-machining, LIGA 기법을 이용하여 가공하는 부품보다는 크고, 기존의 일반적인 기계가공 부품 보다는 작은 수십 mm에서 수십  $\mu$ m 크기의 미세 부품 및 금형가공에 활용하고자 한다 이러한 부품으로는 소형노즐, 통

신기이용 부품 및 초소형 내시경용 부품 등이 있다.

본 논문에서는 개발된 초정밀 공작기계를 이용하여 기계적인 가공방법으로 초소형 부품 및 다양한 형상을 가진 통신부품을 가공하기 위한 일환으로 미소부품 가공에 따른 특성을 분석했고, 초정밀 공작기계의 가공특성 및 마이크로 공작기계의 응용가능성을 분석했다. 실험에 사용된 공구는 주로 다이아몬드 공구를 사용했으며, 실험결과는 향후 마이크로 부품에 대한 기계가공에 적용할 계획이다.

## 2. 실험장치 구성 및 특성

마이크로 부품의 가공특성을 분석하기 위해서 개발시스템과 이송계 및 주축계의 특성이 유사한 소형 공작기계를 사용하여 실험장치를 구성했다. 절삭실험은 초정밀 공작기계를 이용하여 미소부품을 가공형상인 미소 groove 가공특성, 미소절삭복성 및 미소부품의 3차원가공의 타당성 분석을 하기 위해서 절삭실험을 수행했다.

사용된 소형 공작기계의 사양은 다음 Table 1 과 같고, 사용된 공구는 공구날 끝 각이 130° 인 다이아몬드 공구와 볼 엔드밀을 사용했으며, 미소 절삭시 작용하는 절삭력특성을 분석하기 위해서 공구동력계를 사용했고, 알루미늄합금과 아크릴 재질의 가공물을 가공했다. 다음 Fig.1 은 실험장치의 구성도이다. 사용된 소형 공작기계는 별도의 부가장치를 사용해서 스피들유니트와 공구대를 부착할 수 있는 구조로 되어있고, 스피들유니트의 증량과 흔들림을 방지하기 위해서 밸런스 유지장치를 부착했다.

Table 1. Specifications of the high precision machine tools

Items	Specifications
Control Axis	3 axes
Controller	PMAC
Resolution	0.1μm
Materials	Granite
Spindle	Air Turbine
Dynamometer	KISTLER-9257B
XY Stage	Aero static
Z axis	Lead screw

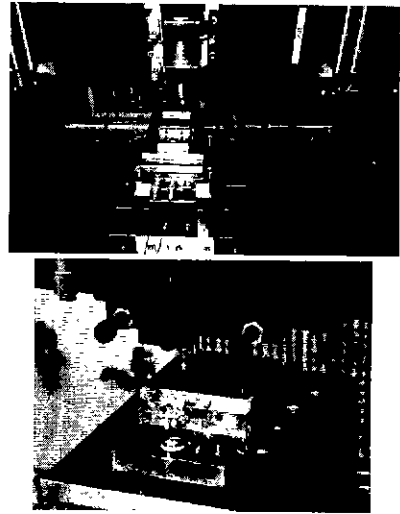


Fig.1 Experimental set-up and detailed shape of machining.

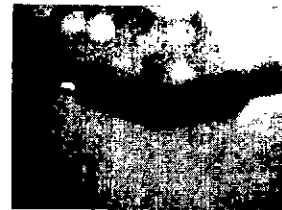
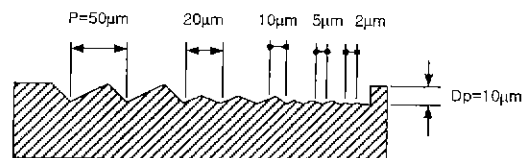


Fig.2 Skeleton shape of the workpiece and detailed shape of cutting tool edge.

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 실험조건

초정밀 소형 공작기계를 이용한 절삭실험은 광 부품가공 및 초소형 부품가공실험을 위해서 다음 Table 2 와 같은 절삭조건을 사용하여 수행했다. 가공방법은 Fig.2와 같이 다이아몬드 공구의 이송피치를 2~50um 까지 다양하게 변화시키면서 이송피치와 절삭깊이에 따른 절삭특성을 분석했고, 절삭가공이 가능한 최소 이송 피치에 대해서 분석했다. 절삭실험은 가공면에 따른 영향을 최소화하기 위해서 가공면의 표면정삭을 한 후 일정한 절삭깊이와

동일한 피치에 대해서 50 회 반복가공을 했다.

Table 2. Cutting Conditions.

Items	Specifications
Feedrate	35mm/sec
Depth of cut	10 $\mu$ m, 20 $\mu$ m
Cutting Tool	Diamond (130°)
Workpiece	Aluminum, Acryle
Pitch	2 $\mu$ m, 5 $\mu$ m, 10 $\mu$ m, 20 $\mu$ m, 50 $\mu$ m
Pattern	V-Groove

### 3.2 실험결과

알루미늄을 절삭했을 때 배출된 칩의 형상은 절삭피치가 작아질수록 스폰지와 같이 매우 미소한 형태의 칩이 발생했고, 피치가 증가할수록 정확한 칩의 형상이 발생했다. 다음 Fig.3 은 절삭피치에 따라 발생한 칩의 형상을 나타내고 있다.

이러한 실험에서 생성된 가공면의 형상은 Fig 4 와 같다. Fig.4 에서 보는 바와 같이 피치가 5 $\mu$ m~50 $\mu$ m 까지는 가공면의 형상이 분명한데 비해서 피치가 2 $\mu$ m 인 경우에는 날의 각이 130°인 공구를 사용함에 따라 정확한 절삭이 되지 않았다.

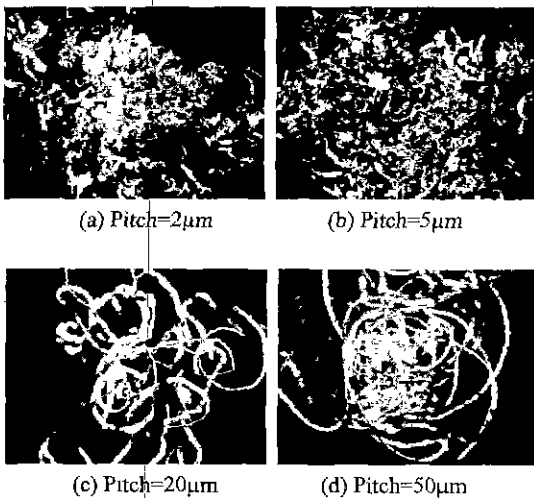


Fig.3 Chip patterns with respect to several pitches

이러한 현상은 공구각이 큰 공구를 사용하여 미소한 피치가공을 할 때 발생한다. 예를 들어, 산술적으로 피치가 10 $\mu$ m 일 때 형성되는 가공면의

Groove 의 깊이가 2.3 $\mu$ m 이고, 피치가 5 $\mu$ m 과 2 $\mu$ m 일 때 Groove 의 깊이가 각각 1.16 $\mu$ m 와 0.47 $\mu$ m 이기 때문에 정확한 절삭이 되지 않는다. 그러나 공구각이 90° 공구를 사용하면 1 $\mu$ m 의 피치로 Groove 의 깊이가 1 $\mu$ m 인 형상가공이 가능하다.

Fig.5 는 공구각이 150°인 다이몬드 공구를 사용하여 아크릴을 이송량 30mm/sec, 절삭깊이 20 $\mu$ m, 이송피치를 150 $\mu$ m 으로 가공했을 때 형성된 가공면과 발생한 절삭칩의 형상을 나타낸 것이다

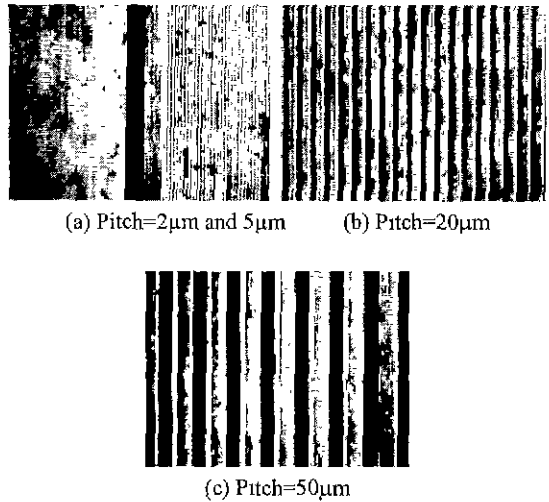


Fig.4 Machined shapes with respect to several pitches.

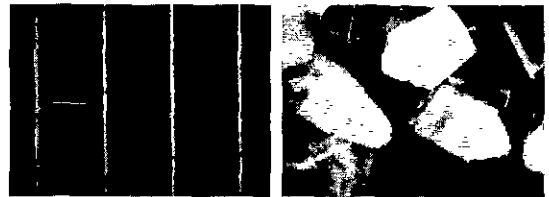


Fig 5 Machined shapes and generated chip patterns of an acryle materials. (Pitch=150 $\mu$ m, feed=30mm/sec, depth of cut=20 $\mu$ m)

다음 Fig.6 은 이러한 절삭실험에서 측정된 절삭력을 나타낸 것으로, 공구 진행방향인 Y 축 방향의 절삭력이 공구 축방향의 절삭력에 비해서 크게 작용하고 있음을 알 수 있다. 또, 피치가 큰 경우보다 피치가 작은 경우에 절삭력이 크게 작용했는데 이러한 실험결과는 피치가 작아짐에 따라 공구의 플랭크면과 가공물이 면접촉 형태로 작용하면서 생기는 마찰력에 의한 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 현재 개발하고 있는 마이크로 머신닝센터와 유사한 정밀도를 가지고 있는 초정밀 소형 공작기계를 사용하여 미소부품가공에 따른 가공특성 및 응용 가능성을 분석하기 위해서 다이아몬드공구를 사용하여 마이크로 부품 및 초소형 통신부품을 대상으로 가공실험을 수행했다. 실험결과 얻은 결론은 다음과 같다

- 1) 공구각이 130°인 다이아몬드 공구를 사용하여 절삭실험을 했을 때 절삭깊이가 10 $\mu\text{m}$ 인 경우, 가공피치 5 $\mu\text{m}$ 까지는 초정밀가공이 가능했고, 가공피치가 2 $\mu\text{m}$ 인 경우는 정확한 가공이 이루어지지 못했는데 이는 절삭공구의 형상에 영향을 받기 때문이다.
- 2) 공구각이 90°인 공구를 사용하여 그루빙가공을 할 경우 깊이가 1 $\mu\text{m}$ 인 가공면 가공이 가능하다.
- 3) 이송축 방향인 Y축 방향의 절삭력은 절삭공구 방향인 Z축 방향에 비해서 매우 크고, 이러한 절삭력은 절삭피치의 크기에 반비례한다.

#### 참고문헌

- 1 Y. Okazaki and T. Kitahara, "NC Micro-lathe to Machine Micro-parts," *American Society for Precision Engineering*, vol 22, pp. 575-578, 2000.
- 2 N. Mishima, et al, "Microfactory and a Design Evaluation Method for Miniature Machine Tools," *American Society for Precision Engineering*, vol. 22, pp. 567-570. 2000.
- 3 V. Fascio, et al, "3D Microstructuring of Glass using Electrochemical Discharge Machining (CEDM)," *The First Korea-Switzerland Joint Symposium-Materials and Interfaces in MEMS Applications*, vol. 1, pp. 5-8, June, 2000.

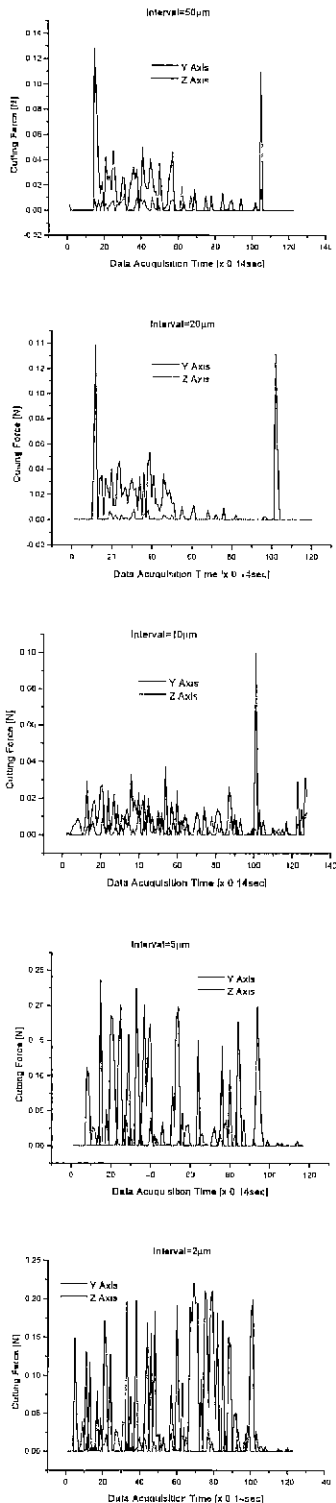


Fig.6 Measured cutting forces in Y and Z axes with respect to several pitches.