

미세가공 시스템을 이용한 미세 그루브 가공실험

이선우*, 이동주**, 이응숙, 제태진***

Micro-groove Cutting Experiments using Micro-Machining System

Lee Sun-Woo*, Lee Dong-Ju**, Lee Eung-Sug, Je Tae-Jin***

* 충남대학교 대학원, ** 충남대학교 기계공학과,
*** 한국기계연구원(KIMM) 정밀가공그룹

ABSTRACT

The needs for precision machining of micro to milli parts have been increased as the industry require high quality products, especially for the micro-machining of IT products. The ultra-precision machining system is essential for the micro machining of fine structures, which insures machining accuracy, low systematic and random error and repeatability. In this study, we developed micro machining system, which is equipped with air bearing stage for ultra precision machining and also we present the results of V-grooving experiments, conducted by the developed system, to verify the performance of system. The results show that the machined V-grooving had good accuracy with repeatable stability.

Key words: Ultra-precision machining(초정밀 가공), Micro machining system(미세가공기), V-groove machining(V홈가공), Air bearing stage (공기 베어링 스테이지)

1. 서론

최근 첨단산업의 급격한 발전에 따라 광학, 통신, 전자부품 등에서 마이크로 형상부품의 수

요가 급증하고 있다. 또한 이러한 부품들을 제작하는 수단으로서 종래에는 MEMS, Laser, LIGA 등의 미세가공 기술이 많이 사용되어 왔으나, 최근에는 나노급의 위치 정밀도를 갖는 초정밀 공작기계의 출현으로 기계적인 가공법으로도 마이크로 형상부품을 제작할 수 있는 초정밀 미세가공 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 미세형상 부품 중에서 종래의 회절격자, 프레넬렌즈, 홀로그램렌즈 및 PDP, LCD 도광판 등은 미세격벽 구조로 되어있으며, 이들의 가공법에 기계적 미세그루브 가공기술을 적용하고 있다.¹⁾⁻⁴⁾

관련된 연구들을 살펴보면 Shinji Maeda는 저속영역에서 Micro V-groove cutting의 가능여부에 대하여 연구하였고,⁵⁾ FANUC사에서는 ROBO nanoUi라는 장비를 개발하여 diamond공구를 사용한 pitch 1 μ m, depth 30nm의 V-groove cutting실험과, pitch 35 μ m의 사다리꼴 micro groove 가공실험을 수행하였다. 또한, 직경 12mm의 encoder disk를 burr 발생 없이 1 μ m수준의 마이크로격자 groove를 가공실험 하였다.⁶⁾

Naoya Ikawa는 micro-groove 가공실험을 통하여 절삭칩의 유형과 소재의 표면현상을 칩의 두께 100nm에서 1nm까지 비교 고찰하였다.⁷⁾

이와 같은 연구 내용들을 고찰해 볼 때 현재의 기계적 미세가공 기술의 수준은 수미크론에서 서브미크론 수준의 미세형상을 가공하는 수준에 도달한 것으로 보여진다.

본 연구에서는 micro groove 형상구조를 갖는

제품에 대한 가공기술개발을 목표로 shaping, turning, drilling, milling 등 다목적 절삭가공이 가능한 마이크로 복합가공 시스템을 구축하였고, 구성된 시스템을 사용하여 micro V-groove 가공 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 shaping 방식으로 날끝각 130°의 다이아몬드 공구를 사용하여 알루미늄 소재에 pitch 50, 20, 10, 5, 2 μ m의 변화가 가공표면 및 표면거칠기, 절삭력, 절삭칩에 미치는 영향을 고찰하였고, 시스템의 성능평가와 더불어 shaping 방식에 의한 미세그루브 가공기술을 축적하고자 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험 장치

Fig 2.1은 연구를 통하여 구성된 미세가공 시스템의 기본적 구성에 대하여 나타내었다.

Fig 2.2는 실제 구성 완료된 4축 제어형 초정밀 미세가공기의 모습을 나타내었다.

Table 2.1은 미세가공기의 개략적인 제원을 나타내었다.

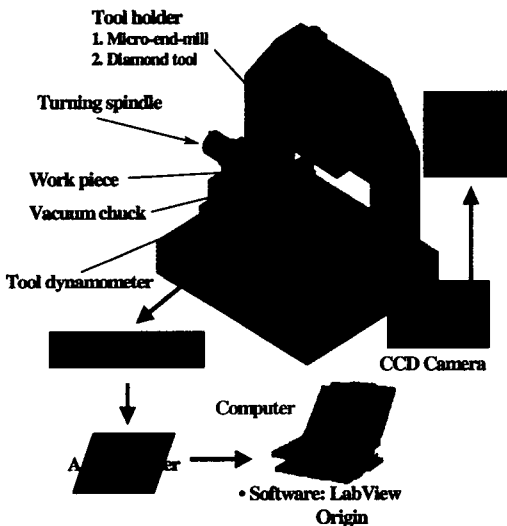


Fig 2.1 Schematic of experimental equipment



Fig 2.2 Photograph of micro-machining system

Table 2.1 Specification of micro-machining system

Item	Unit	Specifications	
Distance	X/Y/Z axis	mm	200×200×100
Milling main spindle	Turning speed	Rpm	Max 60,000
	Tool dimension	mm	0.1 ~ 6.0
Turning main spindle	Turning speed	Rpm	Max 6,000
	Turning rate	μ	: <0.05, Axis:<0.05
	Strength	N/ μ	Radius:190, Axis:520
Table	Size	mm	220×220
	Allowable weight	N	800
Feed rate	X/Y axis	mm/min	Max. 45,000 mm/min
	Z axis	mm/min	Max. 45,000 mm/min
Straightness	X axis	μ	Horizontal: <0.5, Vertical:<0.6
	Y axis	μ	Horizontal: <0.5, Vertical:<0.6
	Z axis	μ	Horizontal :0.0025, Vertical :0.0025
Strength	X/Y/Z axis	μ /mm	Horizontal : <120, Vertical :250
Repeated precision	X/Y/Z axis	μ	<0.1

본 system은 X-Y-Z축의 기본 3축과 터닝축이 부가되어 있고, 향후 로터리 테이블 및 틸팅축을 부착하여 최종 6축의 system를 갖출 계획이다.

X-Y축의 경우 position error 값이 최대 20nm, average velocity error 값이 2% 정도인 air bearing 구조로 되어있고, Z축은 back lash가 없는 lead screw에 보다 높은 하중에도 견딜 수 있도록 측면에 counter valance장치를 부착하였다.

motion controller는 PC를 base로 8축 제어가 가능한 Deltatau사의 PMAC1 Board를 사용하였다.

Fig 2.3은 shaping 방식에 의한 실제 그루브가 공사진이다.

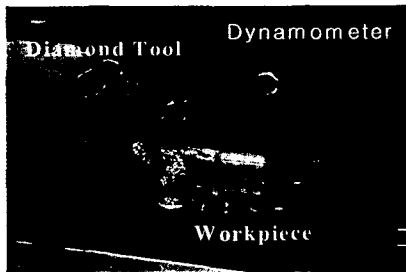


Fig 2.3 System setup for micro groove machining

실험에 사용된 공구동력계는 KISTLER사의 3분력 측정이 가능한 model 9257A를 공작물 아랫부분에 설치하여 절삭력을 측정하였고 측면과 외곽에 CCD camera를 설치하여 가공중의 모습을 확대 또는 축소하여 작업자가 원하는 장소에서 PC monitor 상으로 볼 수 있도록 하였다.

2.2 공구 및 피삭재

Fig 2.4는 실험에 사용된 공구의 형상을 나타내었다.

사용된 공구의 형상은 날끝각 130°, 경사각 0°, 여유각 5° 인 천연 다이아몬드공구이다.

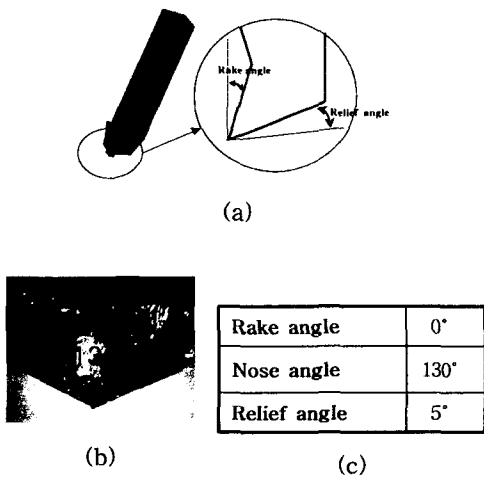


Fig 2.4 Tool dimensions

피삭재로는 Al-6061을 사용하였으며, 시편의 외형치수는 50×50×10mm이다.

Table 2.2는 실험에 사용한 피삭재에 대한 화학

적성분과 기계적 성질을 나타내었다.

Table 2.2 Mechanical properties and chemical compositions of workpiece Al-6061

Composition(%)	State	Tensile strength (psi×10 ³)	Yield strength (psi×10 ³)	HB
Cu 4.5 Si 0.8 Mn 0.8 Mg 0.5	Annealing	18	8	30
	T6 heat treatment	45	40	95

2.3 실험 방법

Fig 2.5는 본 실험에서 수행한 가공방법을 모식적으로 나타낸 것이다.

가공방법은 shaping 방식이며 절삭유로 백등유, 절삭속도는 몇 회의 예비실험을 통하여 최적속도라 판단되는 22 mm/sec를 선정하였다.

가공 program은 하나의 소재상에 pitch 50, 20, 10, 5, 2μm의 groove를 각각 200번 가공하며, 한 지점에서 가공 후 다음 pitch로 이동하여 가공하는 반복가공 방식으로 programming 하였다.

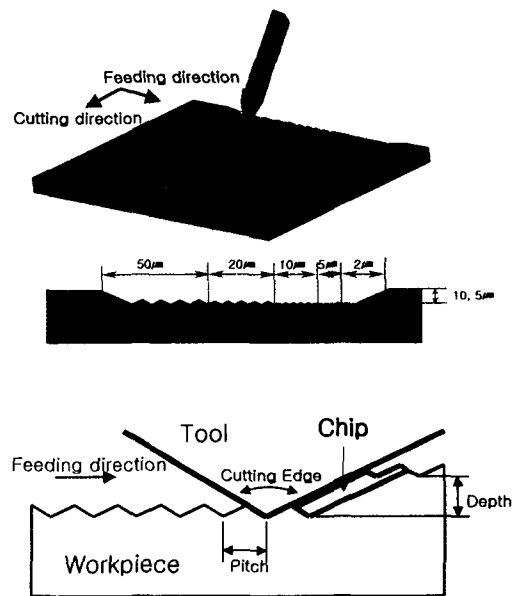


Fig 2.5 Geometrical cutting profile

Table 2.3은 이러한 가공 조건들에 대하여 정리하였다.

Table 2.3 Cutting conditions

Cutting tool	Single crystal natural diamond(130°)
Feed rate	22mm/sec
Pitch	50 μ m, 20 μ m, 10 μ m, 5 μ m, 2 μ m
Depth	10 μ m, 5 μ m
Work piece	Aluminum
Cutting oil	Kerosene

이러한 실험에 있어 공구와 피삭재의 접촉지점을 찾는 것은 매우 어려운 일이다. 본 실험에서는 정확한 산을 얻기 위하여 절입 10 μ m의 전체 가공루프를 2회 행한 뒤(황삭), 3회(정삭)째의 가공 데이터를 기준으로 결과를 고찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공표면과 표면거칠기

Fig 3.1은 micro V-groove 가공실험을 통하여 가공된 알루미늄시편의 사진을 나타내었다.

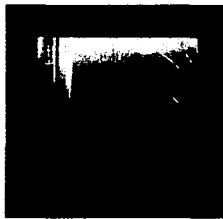
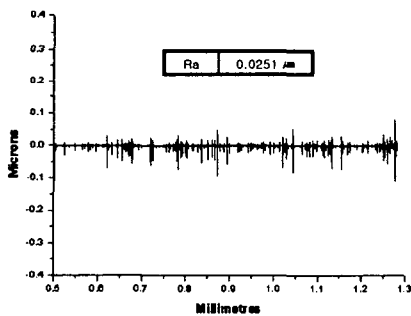
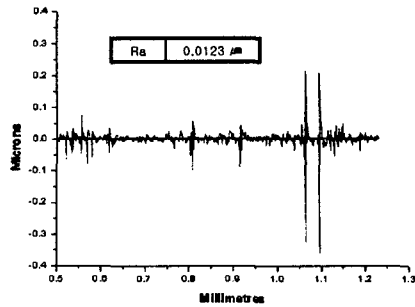


Fig 3.1 Workpiece

Fig 3.2는 가공표면의 거칠기 값을 측정된 그림이다.



(a) Depth 10 μ m



(b) Depth 5 μ m

Fig 3.2 Surface roughness vs. depth(pitch 50 μ m)

Fig 3.2 (a)는 절입 10 μ m일 때의 평균측정값으로 Ra=0.0251 μ m이고, (b)는 절입 5 μ m일 때의 평균측정값으로 Ra=0.0123 μ m이다. 절입 5 μ m에서 표면조도값이 더 좋음을 알 수 있다.

이러한 결과를 통하여 shaping에 의한 micro groove 가공방법으로 나노메타오더의 표면조도를 얻을 수 있으며 절입량의 변화에 따라 표면조도값에 다소 변화가 있음을 알 수 있다.

Fig 3.3은 절입 5 μ m일 때 각각의 pitch에 대한 현미경 사진을 나타냈다. 정확한 pitch 간격, 가공면 형상, 가공표면의 상태 등을 조합해 볼 때 매우 정밀한 미세형상의 그루브가공이 이루어 졌음을 알 수 있다.

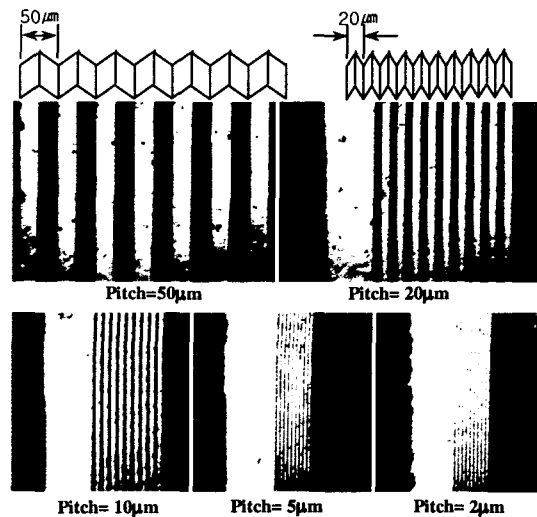


Fig 3.3 Machining surface of workpiece(depth 5 μ m)

3.2 절삭력 고찰

Fig 3.4는 절입 $10\mu\text{m}$ 일 때 각각의 pitch에 대한 미소 절삭력(주분력)을 보여주는 그림이다.

그림에서 주분력(이송방향의 힘)은 pitch가 감소함에 따라 미소하게 작아진 후 $5\mu\text{m}$ 이하에선 급격히 증가하는 현상을 보인다.

이러한 현상은 공구각과 절입, pitch의 부조화로 정상적인 가공이 아닌 비정상적인 요인들의 결과로 판단된다. 따라서 주어진 실험조건으로는 $5\mu\text{m}$ 이하의 가공에 어려움이 있음을 알 수 있다.

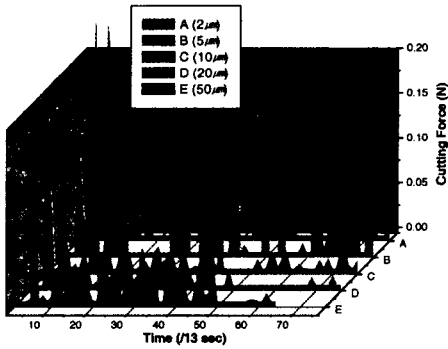


Fig 3.4 Cutting force vs. pitch (depth $10\mu\text{m}$)

Fig 3.5는 pitch $50\mu\text{m}$ 일 때의 주분력과 배분력을 나타낸 그림이다. 주분력이 배분력 (진행방향에 수직인 힘)에 비해 큰 힘이 작용함을 알 수 있다.

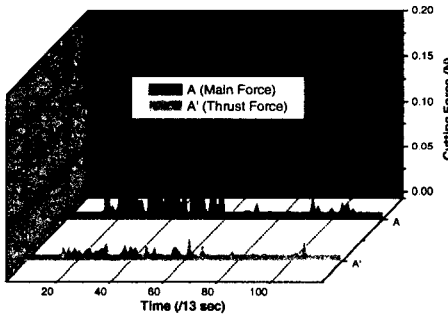


Fig 3.5 Main force & thrust force (pitch $50\mu\text{m}$)

Fig 3.6은 절입 $5\mu\text{m}$ 의 실험에서 나온 절삭력 data이다. 절입 $10\mu\text{m}$ 에서 문제되던 부분이 없어졌고 더 낫은 가공표면을 얻을 수 있었다. 또한, pitch가 작아질수록 절삭력이 작게 작용하는 선형적인 경향을 볼 수 있었다.

또한, 그림에서 앞부분과 뒷부분에 절삭력이 크게 걸리는 것을 볼 수 있다. 이것은 공구가 처음 소재에 닿을 때와 공구가 소재에서 빠져나올 때 나타나는 현상 때문이다.

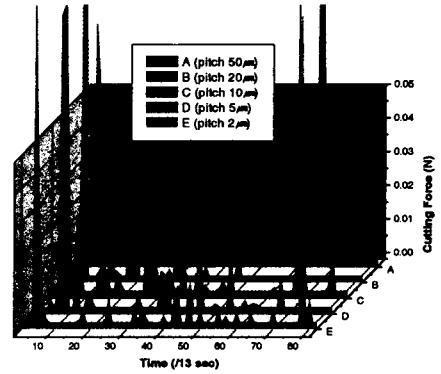


Fig 3.6 Cutting force vs. pitch (depth $5\mu\text{m}$)

Fig 3.7은 pitch $50\mu\text{m}$ 일 때 절입 $10\mu\text{m}$ 과 $5\mu\text{m}$ 에 대한 절삭력 차이를 보여주고 있다. 절입 $5\mu\text{m}$ 일 때의 절삭력이 절입 $10\mu\text{m}$ 일 때에 비하여 1/2정도 작게 나타났다. 주어진 조건에서 절입이 작으면 절삭력도 작아짐을 알 수 있다.

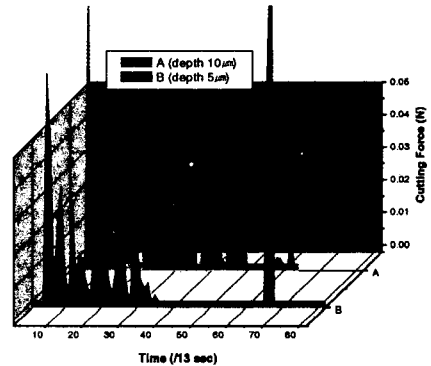


Fig 3.7 Cutting force vs. depth (pitch $50\mu\text{m}$)

3.3 절삭칩의 형상

Fig 3.8은 각각의 pitch에 대한 chip형상을 보여주고 있다.

절삭칩의 경우 pitch 간격이 작아질수록 칩의 두께와 폭이 가늘어짐을 확인 할 수 있다.

또한, $50\sim 10\mu\text{m}$ 까지는 유동형의 칩이 배출되는데 반하여 $5, 2\mu\text{m}$ 에서는 양호하지 못한 칩이 배출됨을 육안으로 확인할 수 있다. 이것은 주어진

조건이 정상적인 groove형상가공에 어려움을 의미한다. 따라서 더욱 미세한 groove형상가공을 위해서는 최적조건을 찾아내는 보강실험이 필요하다.

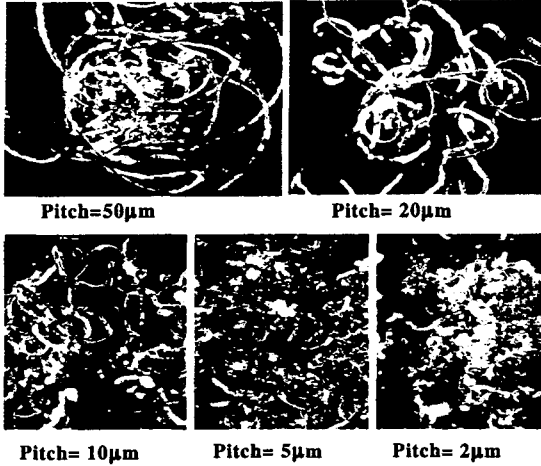


Fig 3.8 Chips vs. pitch

4. 결론

본 연구에서는 기계적 방식에 의한 마이크로형상부품의 가공을 목표로 하여 micro 복합가공 system을 구축하였고, 구성된 system으로 shaping에 의한 micro V-groove 가공실험을 하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) micro V-groove 가공실험을 통하여 현재 구성된 미세가공 system으로 미세그루브가공이 가능함을 확인할 수 있었다.

2) 절입 $10\mu\text{m}$, pitch 간격을 50, 20, 10, 5, $2\mu\text{m}$ 의 변화를 주어 micro V-groove 가공실험을 수행한 결과 pitch $50\sim 10\mu\text{m}$ 까지는 가공표면이나 절삭력, 표면조도에서 좋은 결과를 얻을 수 있었으나, $5\sim 2\mu\text{m}$ 에서는 절삭에 의한 현상보다는 비정상적인 요인에 의하여 좋지 않은 결과가 나타났다.

3) 2차 실험(절입 $5\mu\text{m}$)을 행하여 본 결과 절입 깊이를 줄여 줌으로 문제가 되었던 이상현상을 막을 수 있었다. 또한 표면 조도에서도 더 좋은 결

과를 얻을 수 있었다.

4) 본 실험에 주어진 가공 조건은 $5\mu\text{m}$ 이하의 미세가공에 적용이 어려움을 알았고, 절입을 줄여 주고, 공구의 인선과 날끝각을 더욱 작게 만들어 준다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

5) 본 연구에서는 현재 milling, drilling, grinding, turning을 수행할 수 있는 4축 제어형 초정밀 미세가공 system을 구성하여 기본적인 미세가공을 위한 준비를 하였으며, 다양한 소재의 미소 부품 및 구조물을 대상으로 직, 간접 가공을 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 이웅숙, 신영재, 강재훈, 제태진, 이재경, 이현용, "미세금형 제작을 위한 가공기술개발", 한국정밀공학회 2000년도 춘계학술대회논문집, pp.1047~1050, 2000
- [2] 이재경, 이웅숙, 제태진, 심충진, 조동우, 고태조, "초정밀 경면 절삭 가공 기술 개발", 과학기술처 최종 보고서, 1992.
- [3] 제태진, 이웅숙, 이재경, "초정밀 절삭 가공기술 현황", 금형저널, pp.170~185, 2000.5
- [4] 성철현, 김형철, 김기수, "알루미늄 합금의 고속 미소 선삭에 있어서 표면거칠기 특성", 한국정밀공학회지 제16권 제7호, pp.94~100, 1999. 7.
- [5] Shinji. Maeda, "비회전공구를 사용한 초정밀 마이크로구의 창성", 일본공학회지, Vol.66, No.9, 2000.
- [6] K. Sawada, T. Kawai, H. Terashima, "Ultra-high precision Machining Technology of Micro Structure", The Sixth International Micromachine Symposium, pp.199-202, 2000.9-10.
- [7] Naoya. Ikawa, "Chip Morphology and Minimum Thickness of Cut in Micromachining", JSPE, Vol.59, No.04, pp.141~147, 1993. 4.