

기계적 미세 가공 시스템 구성 및 응용 연구

제태진*, 이응숙*, 최두선*(한국기계연구원), 이선우**(충남대학교)

A Study on the Mechanical Micro Machining System Set-up and Applications

T. J. Je, E. S. Lee, D. S. Choi (KIMM), S. W. Lee (Chung-nam Univ)

ABSTRACT

It is well-known that the micro fabrication technology of micro parts are the high energy beam or silicon-based micro machining method such as LIGA Process, Laser machining, photolithography and etching technology. But, for fabricating complex 3-D structure it is better to use mechanical machining. This machining method by the mechanical machine tool with nanometer accuracy is getting attention in some field-especially micro optics machining such as grating, holographic lens, micro lens array, fresnel lens, encoder disk etc. In this study, we survey the micro fabrication by mechanical cutting method and set up the mechanical micro machining system. And we carried out micro cutting experiments for micro parts with v-shape groove

Key Words mechanical micro machining(기계적미세가공기술), micro cutting fabrication(미세절삭가공공정), cutting method(가공방법), system set-up(시스템구성), applications (가공 예)

1. 서론

회절격자, 프레넬렌즈 등 종래의 미세 형상 광학 부품으로부터 최근 LCD, PDP, 광통신, 전자 부품 등 각종 첨단 산업분야에서 초정밀 미세 가공기술을 기반으로 한 마이크로 형상부품의 수요가 급증하고 있다. 지금까지 이러한 미세 형상부품의 가공에는 주로 마이크로 에칭 또는 MEMS 기술, 고에너지빔을 이용한 LIGA process, Laser 가공에 의한 미세 가공기술 등이 적용되어 왔다.

그러나 최근에는 많은 분야에서 기계가공법에 의한 마이크로 부품개발이 보다 효율적인 방법으로 적용되고 있다. 특히 근년에 개발된 나노메타 정밀도를 갖는 초정밀 가공기의 등장에 의한 미세 가공기술을 크게 발전시키고 있다. 미세 절삭가공기술은 종래의 마이크로 드릴링 외에 초정밀 경면 가공기로 각종 lens나 mirror, 경면 금형을 가공하여왔고 fresnel lens와 같은 미세 3차원 형상 부품 가공에도 적용되어 왔다. 또, 최근에는 4축 또는 6축의 micro machining center를 개발하여 선삭, 밀링, 드릴링, fly cutting 등 복합가공에 의한 micro 구조물들을 가공하고 있고, 기계가공이 어려웠던 micro

encoder groove, grating, holographic lens, micro lens array, 미세 격벽구조물 등 광학용 미세 형상부품의 제작에도 폭 넓게 적용되고 있다.¹⁾

당 연구원은 이러한 기계적 미세 형상부품 가공기술개발을 목표로 초정밀 미세 가공시스템을 구성하고 이를 이용한 각종 마이크로 부품의 가공기술을 개발하고 있다. 현재까지 Shaper 방식에 의한 마이크로 groove 가공시스템 구축을 완료하였고, 1 μ m 피치의 미세 groove 또는 pattern 가공이 가능한 정밀도를 보유하고 있음을 확인하였다. 본 논문에서는 가공대상으로 자주 등장하는 공통적인 미세 형상 구조물과 이들의 가공방법을 조명하고, 당 연구원이 구성한 미세 가공시스템의 소개 및 현재까지의 적용 결과 등 응용방안에 대하여 설명한다.

2. 마이크로 절삭에 의한 미세 형상 창성법

최근의 광학, 통신, PDP, LCD 등 첨단산업에 이용되는 회절격자, 홀로그래프렌즈, 도광판 등 기능성 부품들은 제품표면에 미세 형상의 그루브 구조를 가지고 있다. 이러한 미세 그루브의 기능은 광의 굴절 효과를 이용하기 위한 것이 며, 그루브의 설계형상

과 가공정도에 따라 광학적 특성이 달라진다. 따라서 이러한 미세 그루브의 가공은 매우 중요하다. 본 연구에서는 앞서 언급한 주요 제품들의 그루브에 대한 공통적인 형상을 조사하고 이에 대한 가공법들을 분석하였다. Fig 1, Fig 2, Fig 3, Fig 4에는 이들의 공통적인 형상과 가공법들에 대하여 정리하였다

먼저, Fig. 1은 회전공구에 의한 여러 가지 미세 그루브 가공 예를 보여 주는 것으로서 end-milling 또는 fly cutting에 의한 가공방법들이 추가 된다.

Fig. 2는 micro lens array 형상을 end-milling 또는 fly-cutting 방법으로 가공하는 모습을 나타내고 있다

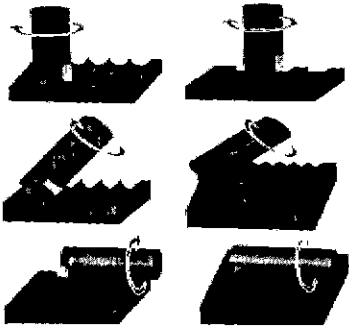


Fig. 1 Groove machining by fly cutting

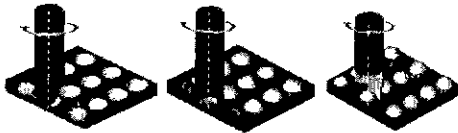


Fig. 2 Lens array cutting method using Z-axis

Fig. 3은 Shaper(평삭)에 의한 마이크로 그루브 가공 방법을 나타낸다. 이 방식은 대부분 2차원 형상의 groove 가공에 이용되지만, 펜 우측그림과 같이 Z-축과의 복합가공으로 Hologram 렌즈와 같은 hybrid 구조의 비구면 형상 groove 가공도 가능하다.



Fig. 3 Groove cutting method by shaping

Fig. 4는 Turning spindle에 의한 groove 가공 방법을 나타내고 있다. 좌측그림은 스펀들에 공작물을 부착하여 프레넬렌즈를 가공하는 방법으로서 기존의 초정밀 비구면 가공기로 적용하고 있다. 우측그림은 그와 정반대 위치인 스펀들에 공구를 부착하고 공구대에 공작물을 부착하여 fly-cutting 방식으로 미세

그루브 또는 홈을 가공하는 방식으로 Z-축을 대신하여 사용하는 방법을 나타낸다.

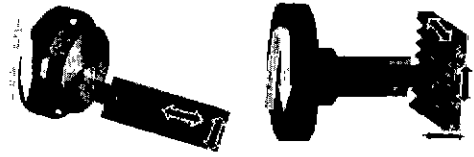


Fig. 4 Groove cutting method by turning spindle

본 연구에서는 이와 같이 다양한 미세 형상에 대응한 마이크로 절삭 가공기술개발을 위해 drilling, end-milling, fly-cutting, shaping, turning 등의 복합적인 절삭 가공이 가능한 기계적 미세 가공시스템을 구성하고자 하였다. 그 결과 현재 shaping에 의한 미세 그루브 가공장치가 완성되어 실제 제품 가공에 적용되고 있다. 또, Z축 스펀들에 의한 부분적 회전공구의 사용이 가능한 상태에 있으며 선삭용 장치도 구성 중에 있다. 이하에 본 시스템의 구성 특성과 동작원리, 실제 가공 예 등에 대하여 설명한다

3. 미세 기계가공시스템의 구성 및 특성

Fig. 5에 현재 구성 중인 미세 기계 가공시스템 (mechanical micro machining system)의 개략도를 나타내었고, Fig. 6은 실제 제작된 시스템의 모습이다.

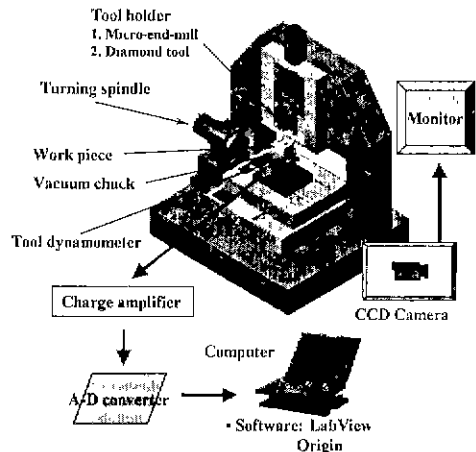


Fig 5 Schematic of micro machining system.

시스템의 특성 사양은 Table 1과 같다. 주요구조는 X-Y-Z의 기본 3축에 turning축이 있고, Z축은 스펀들과 고정 공구대를 교차 사용할 수 있다. 향후 rotary 및 tilting 축을 추가하면 최종적으로 6축 구조의 미세 가공시스템으로 된다. 전체 시스템의 구동에는 8축 동시제어가 가능한 Deltatau사의 PMAC Board Motion controller가 적용되었다.

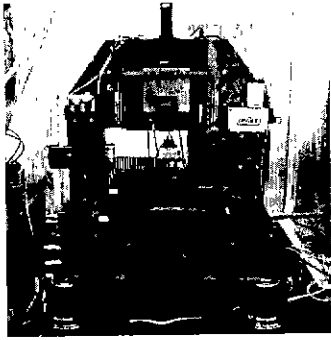


Fig. 6 Micro machining system.

Table 1 Specifications of 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	μm	< 0.05, Axis < 0.05
	Strength	N/μm	Radius 190, Axis 520
Table	Size	mm	220 × 220
	Allowable weight	N	250
Feed rate	X/Y axis	mm/min	Max 43,000 mm/min
	Z axis	mm/min	Max 45,000 mm/min
Straightness	X axis	μm	Horizontal < 0.5, Vertical < 0.5
	Y axis	μm	Horizontal < 0.5, Vertical < 0.5
	Z axis	μm	Horizontal 0.0025, Vertical 0.0025
Strength	X/Y/Z axis	μm/mm	Horizontal < 120, Vertical 250
Repeated precision	X/Y/Z axis	μm	< 1

4. 마이크로 그루브 가공실험 및 적용 예

4.1 실험장치 및 방법

Fig. 7에 Z축에 고정 공구용 fixture를 장착하고 미세 groove를 가공하는 모습을 나타내었고, Fig 8에 본 실험에 사용된 diamond 공구의 형상과 미세 groove의 가공원리를 나타내었다. 본 가공실험에서는 적용제품의 형상에 따라 3가지 형태의 공구가 사용되었고, 그림에는 2가지 공구형상을 보여준다.

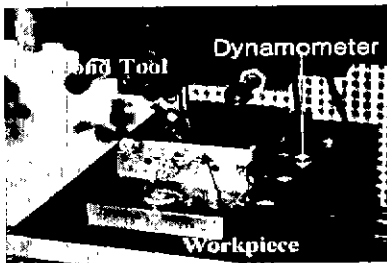


Fig. 7 Cutting equipment by shaping

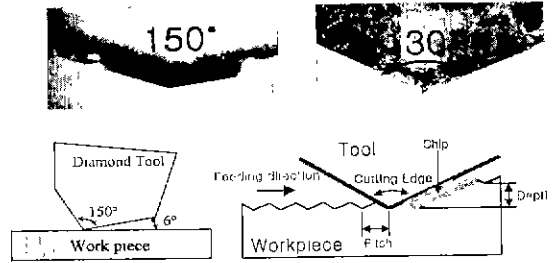


Fig. 8 Diamond tool and machining mechanism

본 실험에서는 가공제품에 따라 요구되는 소재와 공구형상, 가공물의 피치 및 그루브 형상 등에 다소의 차이가 있으나 전체적인 가공법은 유사하여 이들의 가공조건을 종합하여 Table 2에 정리하였다.

Table 2 Specifications of machining system

Cutting tool	Single crystal natural diamond tool 130°, 139°, 150°
Work piece	Al, Acryl(PMMA), Nickel, Brass
Cutting speed	35mm/sec
Depth of cut	20 - 3μm
Groove Pitch	150 - 2μm
Cutting oil	kerosene

4.2 130° 공구를 이용한 미세 가공 실험

Fig. 9는 130° 공구로 Al 판재에 미세 groove를 가공한 형상이다. V형 groove로서 피치가 큰 가공에서는 양호한 표면형상을 볼수 있으나, 피치가 절입보다 적은 영역에서는 비정상이다. 따라서 공구형상 및 가공조건이 조정되어야 미세 형상가공이 가능함을 알수 있다. 수정가공으로 1μm 수준의 미세 선폭가공이 가능하였고, 가공면의 표면조도 측정결과 평균 12.3nmRa의 초정밀로 가공되었음을 확인하였다.

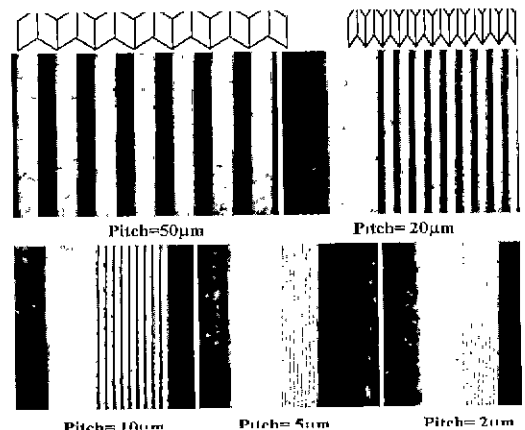


Fig. 9 Machining surface of workpiece(depth 5μm)

4.3 Acryl 가공 실험

Fig.10은 Acryl 가공면의 표면확대사진과 칩형상을 나타낸 것이다. 150° 공구를 사용하여 100 μ m 피치의 미세 groove를 가공한 것으로서 양호한 가공면과 나뉘편을 동시에 나타내었다. 우측의 굽힘 흔적은 공구 끝단의 chatter에 의한 것으로 shaper 방식에 의한 미세 표면 가공시에 가장 주의가 필요한 부분으로 고려되고 있다. 가공면의 거칠기는 최고 7.7nmRa를 달성하였다.

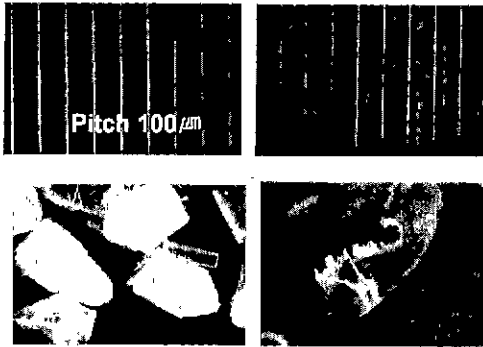


Fig. 10 Machining surface and chip formation of acrylic

4.4 Nickel mold 가공

Nickel 소재를 사용하여 실제 제품적용을 위한 사출성형용 금형코어를 가공하였다. Fig. 11에 가공물의 전체적인 형상과 실제의 Ni 가공표면, 가공표면의 측정 예 등을 나타내었다. 본 제품의 특징은 전체 형상을 비구면 구조로 가공한 것으로, shaping 방식에 의해서도 hologram lens 와 같은 hybrid 구조의 미세 groove 가공이 가능한 것을 확인할 수 있다. 가공표면 거칠기는 6.6nmRa를 달성하였다.

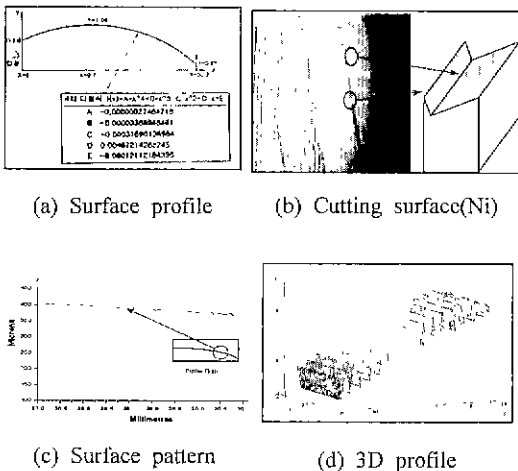


Fig. 11 Surface profile and cutting surface

Fig. 12는 150° 공구를 사용하여 피치 150 μ m, 절삭속도 35mm/s로 가공시의 절삭력 측정 결과이다.

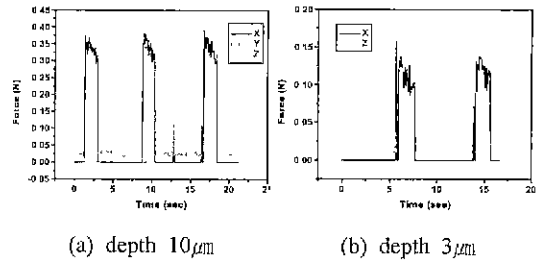
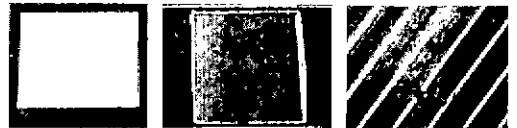


Fig. 12 Cutting Force(Nt)

4.5 Brass mold 가공 및 성형 시험

Fig 13은 황동 소재로 가공한 금형 코어와 금형의 단면 형상 및 이를 이용하여 실제 Acryl 제품을 성형한 결과를 보여 주고 있다



(a) Brass mold (b) Acryl product (c) Surface



(d) Cross section view of mold groove surface
Fig. 13 Brass mold and molding product

5. 결론

본 연구에서는 미세 절삭 가공법과 가공시스템구성, 가공실험 및 적용 법 등에 대한 연구를 수행하여 미세 부품가공에 대한 관련기술을 축적하였다.

후기

본 논문은 과학기술부와 산업자원부 주관의 차세대신기술사업인 Milli-Structure사업 수행 결과의 일부임을 밝혀드립니다..

참고문헌

- 1 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