

마이크로 금형 가공 및 사출성형에 관한 연구

최두선* · 제태진 · 이응숙 · 신보성

Micro Parts Machining and Injection Molding Technology

D. S. Choi, T. J. Je, E. S. Lee and B. S. Shin

Abstract

As a fundamental study on developing elements with micro shape, micro mold parts machining and experiment of injection molding using it were performed. The ultra precision micro machining system with high functionality was fabricated, and utilized in the machining of micro parts. By using this machining system and micro end-mill tool, a micro circle column structure of high aspect ratio, diameter 60 μm , height 500 μm , was fabricated. And a micro lens molds were fabricated by using ball end-mill tool of 300 μm diameter and diamond fly-cut tool of 150 μm radius.

A micro injection molding machine, which is clamping force 1.75 ton, injection capacity 2.8cc, was fabricated for injection molding experiment using micro molds. The injection molding experiment was performed by using the injection molding machine, micro cylinder structures and lens molds.

This paper introduces these micro machining system and injection molding machine and demonstrates examples of injection molding using fabricated molds.

Key Words : Micro Parts, Micro Machining, Micro Injection Molding

1. 서론

마이크로 샤프트, 마이크로 기어 등의 구동요소와 같이 적절한 강성을 필요로 하는 기능성 마이크로 부품의 제조에는 절삭, 연삭, 방전가공 등 기계적 미세 가공법이 가장 유리하다. 또 마이크로 렌즈와 같은 광학부품의 제조에서도 기계적 가공에 의한 성형용 금형을 만들 수 있다면 활용성이

나 경제성 측면에서 매우 유리하다.

본 연구에서는 이러한 미세 기계가공기술개발의 일환으로 다기능의 초정밀 미세 기계가공시스템을 개발하였고, 절삭 가공법으로 다양한 형상의 마이크로 부품 및 금형 가공실험을 수행하였다.

또한, 마이크로 부품의 사출성형기술을 개발하고자 초소형의 미세 사출성형기를 제작하고 미세

* 한국기계연구원 지능형정밀기계연구부 나노공정그룹
305-343 대전시 유성구 장동 171
www.kimm.re.kr

절삭가공법으로 만들어진 마이크로 부품 및 금형을 이용하여 사출성형실험을 수행하였다.

본 논문에서는 자체 제작된 미세가공시스템 및 초소형사출성형기를 소개하고 이를 이용한 마이크로 금형 가공 및 성형결과를 설명한다.

2. 마이크로 금형가공

2.1 마이크로 머시닝 시스템,

본 연구에 사용된 초정밀 미세 가공시스템의 모습을 Fig.1 에 나타내었다. 시스템의 개략적인 사양은 Table 1 과 같다.

시스템의 주요 구동은 X-Y-Z 의 3 축으로 이루어지며 별도의 터닝(turning) 축이 붙어 있어 선삭 외에 플라이컷팅에 의한 미세 가공을 수행할 수 있다.

Z 축은 앤드밀, 드릴과 같이 회전 스피indle에 공구를 장착하여 가공하는 방식 외에 단인공구를 고정 치구로 장착하여 셰이핑(shaping)가공이 가능하도록 구성되어 있다. 이에 따라 다양한 미세형상의 초정밀 가공이 가능하다.

시스템제어는 PC 기반의 Turbo PMAC board 를 사용하였고, NC data(G code)를 직접 받아 가공을 수행할 수 있는 PMAC-NC Software 를 설치하여 가공 하였다. Fig. 2 는 Z 축에 70,000rpm 의 고속스핀들을 장착하여 미세 앤드밀 공구로 가공하는 모습을 나타내었다. 공작물 밑에는 0.002N 의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하였다.

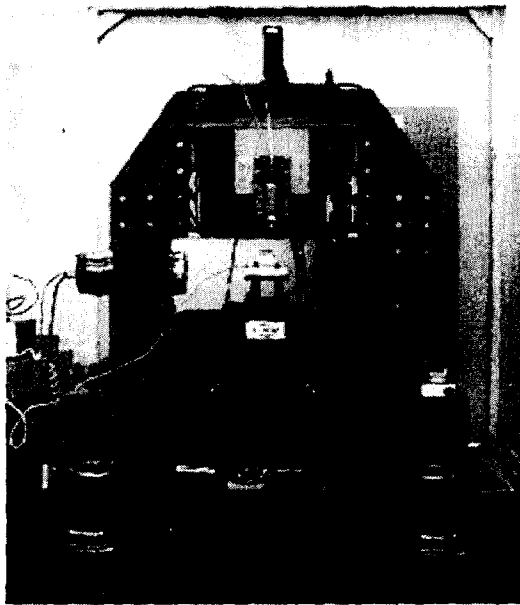


Fig. 1 Carbide micro ball end-mill

Table 1. Specifications of the micro machining system

Item	Unit	Specification
X-Y Axis Stage	Moving Stroke	mm 200×200
	Feeding Speed Range	mm/sec 0.005-22 (Max. 4,500mm/min)
	Min. Incremental Move	nm 5 (1mm=200000cts)
	Position Repeatability	μm 0.05-0.25
Z Axis Slide	Moving Stroke	mm 100 (Lead Screw: 1mm/rev)
	Feeding Speed Range	mm/sec 0.005-22 (Max. 4,500mm/min)
	Min. Incremental Move	nm 40 (1mm=25000cts)
	Position Repeatability	μm 0.3
Z Axis Spindle	Revolution Range	rpm 0-70,000
	Tool Dimension	mm 0.1 ~ 6.0
	Rotational Error	μm < 0.05
Turning Axis Spindle	Turning Revolution	rpm 0-6,000
	Rotational Error	μm < 0.05
	Strength	N/μm Radius: 190, Axis: 520
Table	Size	mm 220 × 220
	Allowable Weight	N 890
Repeated Precision	X/Y/Z 축	μm < 0.1



Fig. 2 Equipment set-up for micro end-milling

2.2 마이크로 샤프트 금형가공

미세 앤드밀링 가공에서 고세장비 마이크로 구조물의 가공은 매우 중요한 분야이다. Fig. 3 에 앤드밀에 의한 마이크로 샤프트의 두가지 가공원리를 나타내었고, Fig. 4 에 실제 가공방법을 나타내었다.

먼저, Fig. 3 의 좌측 그림은 정해진 원의 직경에 따라 원주방향으로 공구를 이송시키며 소정의 깊이까지 미소 절입을 주면서 가공하는 방식으로서 이론적으로는 무한 길이의 샤프트 가공이 가능하나 실제로는 공구의 길이에 의해 제한된다.

Fig. 3 의 우측그림은 가공된 큰 원주를 직경방향으로 절입을 주며 마이크로 직경을 갖는 원주 샤프트를 가공하는 방식으로서, 구조물의 치수를 맞추기 위해서 적용되는 공정이다. 이 경우에는 절삭력에 의해 마이크로 샤프트가 휘어지거나 부러지기 쉬우므로 가공조건 선정에 주의 하여야 한다.

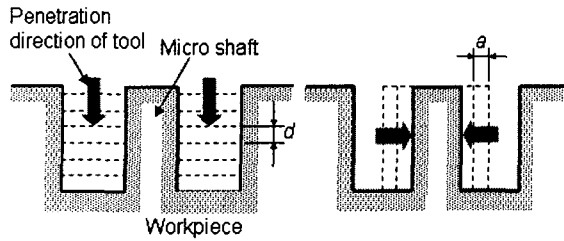


Fig. 3 Principal of micro shaft machining

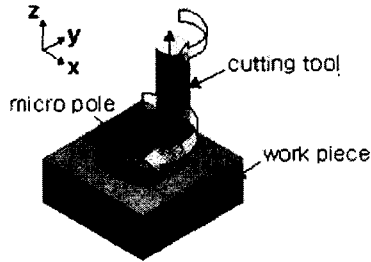


Fig. 4 Machining method

이상과 같은 가공원리에서 Fig. 3의 좌측 가공법을 적용하여 가공한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 이때의 개략적인 가공조건은 Table 2와 같고, Fig. 5에는 본 연구에서 마이크로 샤프트를 가공하기 위해 주로 사용된 직경 200 μm 의 평면 앤드밀을 나타내고 있다.

Fig. 6은 황동소재를 사용하여 높이 300 및 500 μm 직경 500, 100, 50 μm 의 마이크로 샤프트를 공구직경 200 μm 의 평면 앤드밀을 이용하여 가공한 모습을 나타내었다.

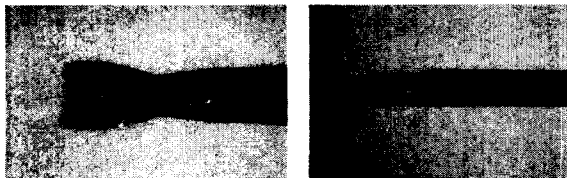


Fig. 5 Feature of micro end-mill

Table 2. Cutting conditions

Cutting tool	$\Phi 200 \mu\text{m}$ flat end-mill
Spindle speed	40,000 rpm
Feed rate	100 mm/min
Z-direction feed	50 mm/min
Work piece	Brass
Cutting oil	Kerosene



(a)



(b)

Fig. 6 Micro shafts made by micromachining system : (a) $h=300 \mu\text{m}$, (b) $h=500 \mu\text{m}$

2.3 마이크로 렌즈 어레이 금형가공

마이크로 렌즈 어레이는 광커넥터, Projection display, 광통신모듈등 여러분야에서 활용되고 있다. 본 연구에서는 미세 가공시스템의 고속 스피들에 마이크로 볼 앤드밀과 다이아몬드 Fly-Cutting 공구를 장착하여 마이크로 렌즈 어레이 금형을 가공하였다. 마이크로 렌즈의 각각의 중심 거리는 0.6mm로 공구의 파손을 줄이기 위해 절입과 피드를 적절하게 조건을 선정하였으며, 각각의 조건을 16개의 그룹으로 나누어 프로그래밍 하였다. Fig. 7에 마이크로 렌즈의 어레이의 가공원리를 나타내었다.

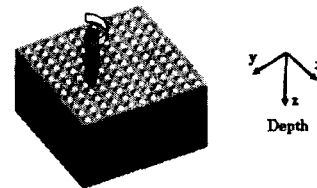


Fig. 7 Principal of micro lens array machining

2.3.1 마이크로 카바이드 볼 앤드밀 가공

먼저 마이크로 카바이드 볼 앤드밀에 의한 마이크로 렌즈 어레이 금형을 가공은 Fig. 8과 같이 R 150 μm 볼 앤드밀을 사용하였으며 주요 사양을 Table 3.에 나타내었다. Fig. 8은 본 연구에 사용된 반경 150 μm 의 카바이드 볼 앤드밀을 나타내고 있다.

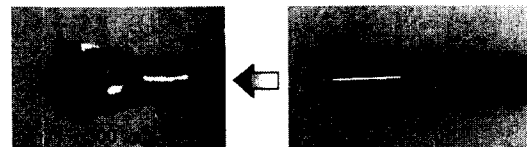


Fig. 8 Feature of carbide micro ball end-mill

Table 3. Dimensions of carbide ball end-mill

Material	Carbide
Helical angle	30°
Number of edge	2EA
Diameter of endmill	300
Flute Length	600
Total Length	50mm

Fig. 9 는 반경 150 μm 의 카바이드 볼 앤드밀공구로 직경 200 μm , 높이 50 μm 로 가공된 마이크로 렌즈 어레이를 가공한 모습을 나타내었다. 본 실험에서 얻어진 마이크로 렌즈 어레이의 금형의 최고 표면조도는 100 nm Ra 정도 였다.

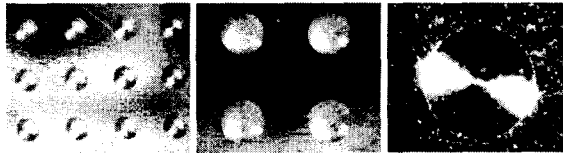


Fig. 9 Micro lens array mold

2.3.2 다이아몬드 Fly-cutting tool 가공

카바이드 볼 앤드밀에서와 같은 방법으로 다이아몬드 Fly-cutting 공구를 이용한 가공 실험을 하였다. 반경 150 μm 의 다이아몬드 Fly-Cutting 공구를 이용해 카바이드 볼 앤드밀에서와 같은 가공조건으로 가공실험을 수행하였다. Fig. 10 에는 주문 제작된 반경 150 μm 의 다이아몬드 Fly-Cutting 공구를 나타내고 있다.



Fig. 10 Feature of diamond fly-cutting tool

Fig. 11 은 반경 150 μm 의 다이아몬드 Fly-cutting 공구를 이용 직경 150 μm , 높이 20 μm 로 가공된 마이크로 렌즈 어레이를 가공한 모습을 나타내었다. 본 실험에서 얻어진 마이크로 렌즈 어레이의 금형의 최고 표면조도는 20 nm Ra 정도 였다.

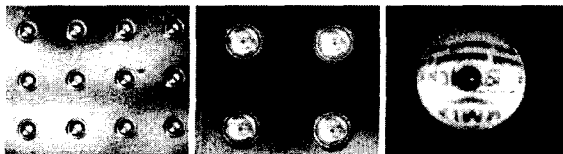


Fig. 11 Micro lens array mold

3. 마이크로 사출성형시스템

3.1 마이크로 사출성형시스템의 구성

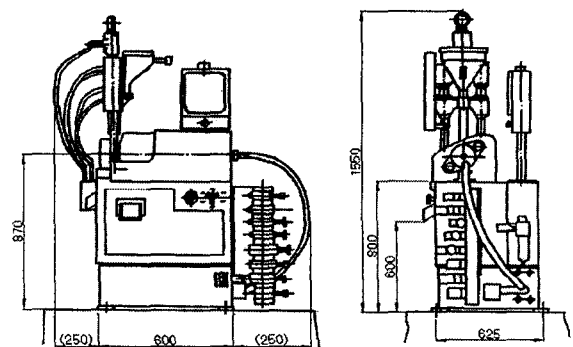
Fig. 12 에 본 연구에 사용된 마이크로 사출성형 시스템의 모습 및 외형도를 나타내었다. Table 4 에는 미세사출성형기의 사양을 정리 하였다.

전체적인 구조는 사출부를 수직으로 세우고 형체부는 수평을 유지하는 수직-수평 혼합식의 구조로 제작되었으며 이에 따라 수지의 Cavity 주입방식은 파팅라인 주입식이 적용되었다. 또한, 작업자의 편의를 위해 앉은 자세로 용이하게 공정을 수행할 수 있도록 설계하였다.

사출방식은 유압실린더를 이용한 in-line screw 식을 채택하였고 실린더부의 효과적인 온도제어를 위해 히터를 실린더부에 두개, 노즐에 하나를 설치하였다. 이렇게 제작된 사출부의 사출압은 1545 kgf/cm^2 이며 2.8cc 의 사출용량을 가진다. 그리고 유압실린더 2 개를 설치하여 사출실린더의 상승과 하강을 구동하도록 설계하였다. 사출 스트로크와 최대 스크류회전속도, 가소화 능력은 각각 25mm, 200rpm, 2.4kg/hr 이다. 스크류의 피치와 유효길이는 각각 12, 153mm 로 설계되었으며 스크류의 피드부, 압축부, 계량부가 각각 79, 36, 38mm 의 구간을 가지고 있다. 그리고 홈깊이와 공급부의 홈깊이는 각각 1.0, 2.5mm 로 설계하였다. 그결과 압축비는 2.16 으로 계산된다.

금형의 개폐와 에젝팅을 위해 두개의 유압실린더를 설치하여 형체부를 구성하였다. 유압실린더에 의해 발생하는 형체결력은 1750 kgf/cm^2 이며 형체스트로크와 에젝터 스트로크는 각각 100mm, 15mm 이다. 고정판과 이동판의 최대 간격(max. open daylight)은 240mm, 두 개의 타이바 사이의 간격은 112mm 로서 사용 가능한 금형의 크기는 70×70mm 이다.

동력장치는 유압모터의 용량 2.2kW, 최대 회로압력은 140 kgf/cm^2 인 유압모터를 이용하는 유압식을 채택하였다.



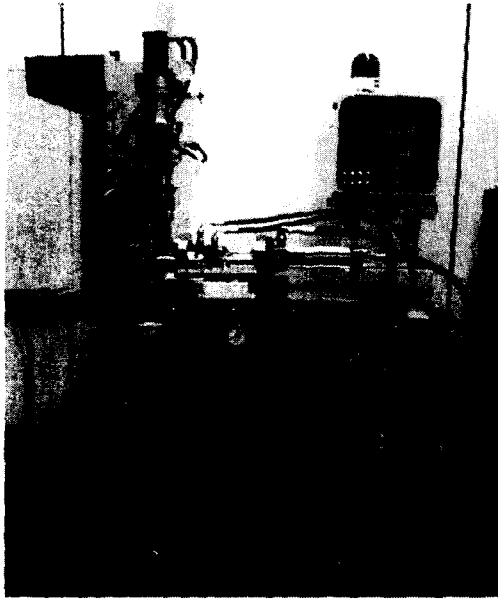


Fig. 12 Micro injection molding machine

Table 4. Dimensions of carbide ball end-mill

Injection unit	Max. stroke volume	2.8 cc
	Injection pressure	Max. 1545 kgf/cm ²
	Screw diameter	12 mm
	Nozzle stroke	25 mm
	Plasticizing capacity	24 kg/hr
	Screw drive	50~200 rpm
Clamping unit	Clamping force	1.75 ton
	Mold dimension	70×70 mm
	Mold opening stroke	100 mm
	Ejector stroke	15mm
Hydraulic unit	Capacity of pump	2.2 kW(3 hp)
	Max. circuit pressure	140 kgf/cm ²
Machine dimension	L850×H1550×W625mm	

3.2 마이크로 부품 사출성형

본 연구에서 제작된 마이크로 샤프트, 마이크로 렌즈 어레이 금형을 이용하여 미세 사출성형기로 미세형상의 마이크로 샤프트 및 마이크로 렌즈 어레이 제품을 제작하였다.

Fig. 13 은 제작된 몰드인서트를 금형의 고정부에 삽입한 모습을 나타내고 있다.

사출에 사용된 수지로 마이크로 렌즈 어레이 및 마이크로 샤프트 성형에 폴리프로필렌을 이용하였다.

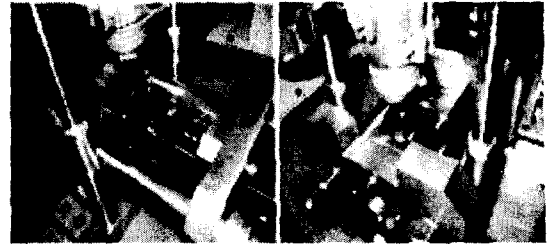


Fig. 13 Experimental Set-Up

폴리프로필렌의 경우는 용융온도가 175 ℃이며 밀도는 0.90 g/cm³이다. 또한 수지의 최대 가공온도는 폴리프로필렌은 300 ℃이다.

공정조건은 폴리프로필렌의 경우, 노즐부의 온도 215 ℃, 금형온도 94 ℃, 사출압 550 kgf/cm²로 설정하였다.

Fig. 14 는 시사출 결과 성형된 미세부품들을 나타내고 있다. Fig. 14 에 (a)는 미소 원주구조물로 높이 500 μm, 외경과 내경이 각각 900, 300 μm이다. (b), (c)는 카바이드 볼 앤드 밀과 다이아몬드 공구로 제작된 각각의 금형으로 사출한 마이크로 렌즈 어레이로 직경이 300 μm이다.

이와 같은 성형결과를 통해 이번 연구에서 설계, 제작된 미세사출성형기로 미소 부품의 성형성을 검증할 수 있었다.

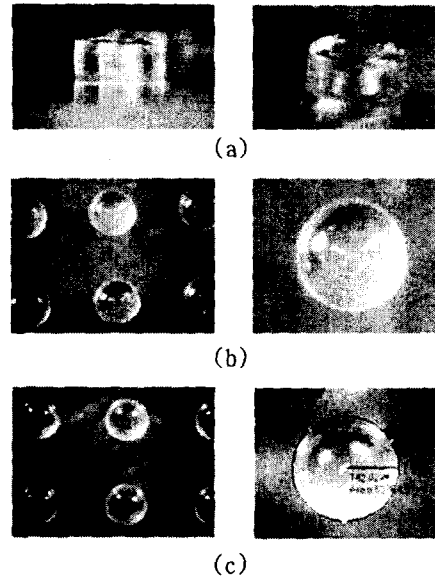


Fig. 14 Micro parts fabricated by micro injection molding machine

4. 결 론

본 논문에서는 마이크로 금형가공기술 및 성형기술개발의 일환으로, 마이크로 앤드밀링 공정에 의한 마이크로 금형의 미세형상가공 방법과 미소형상 부품의 사출성형 방법을 제시하였으며, 그 가공 결과 및 마이크로 부품의 사출성형결과를 보였다.

(1) 미세 앤드밀링 가공을 위한 초정밀 미세가공 시스템을 구축하였다.

(2) 마이크로 샤프트의 가공원리 및 공정을 분석하고 고세장비의 마이크로 샤프트금형을 가공하였다.

(3) 카바이드 볼 앤드밀을 이용하여 마이크로 렌즈 어레이 금형을 가공하였다.

(4) 다이아몬드 Fly-Cutting 공구를 설계제작하여 마이크로 렌즈 어레이 금형을 가공하였다.

(5) 마이크로 샤프트 및 마이크로 렌즈 어레이 금형의 가공기술을 축적하였다.

(6) 미세형상의 부품 제작을 위해 초소형 미세 사출성형 시스템을 구축하였다.

(7) 미소 원주구조물과 마이크로 렌즈 어레이 사출성형을 하였으며, 미소형상부품의 미세사출성형기술을 축적하였다.

(8) 이상과 같은 결과를 종합하여 마이크로 앤드밀링에 의한 고효율적 마이크로 금형가공기술 및 사출성형기술이 개발되었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 및 과학기술부의 연구사업으로 수행된 연구결과임을 밝히며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

(1) T. Je, J. Lee, D. Choi, E. Lee and B. Shin, 2003, "Development of a Micro Machining Technology for

Fabrication of Micro parts", Key Engineering Materials, Vol.238-239, pp.383-388.

(2) R. Wimberger-Friedl, 1999, "Injection Molding of Sub- μm Grating Optical Elements", ANTEC'99, pp. 476~480.

(3) J. Fahrenberg, W. Bier, D. Mass, W. Menz, R. Ruprecht, and W. K. Schomburg, 1995, "A Microvalve System Fabricated by Thermoplastic Molding", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 5, pp. 169~171.

(4) C. Goll, W. Bacher, B. Büstgens, D. Mass, R. Ruprecht, and W. K. Schomburg, 1997, "An Electrostatically Actuated Polymer Microvalve Equipped with a Movable Membrane Electrode", Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 7, pp. 224~226.

(5) Karlheinz Dunkel, Hans-Dieter Bauer, Wolfgang Ehrfeld, Jens Hoffeld, Lutz Weber, Günter Hörcher, and Gottfried Müller, 1998, "Injection-moulded Fibre Ribbon Connectors for Parallel Optical Links Fabricated by the LIGA Technique" Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 8, pp. 301~306.

(6) 제태진, 이응숙, 최두선, 이선우, 2001, "기계적 미세가공시스템구성 및 응용연구", 한국정밀공학회 2001년도춘계학술대회논문집, pp.934~937.

(7) 제태진, 신보성, 박순섭, 2001, "다중 미세 각주 구조물의 사출성형기술 연구", 한국정밀공학회 2001년도 추계학술대회, pp. 1061~1064

(8) 이응숙, 제태진, 신영재, 최두선, 이재경, 이현용, 2002, "미세 금형 가공 기술 개발에 관한 연구", 산업자원부, 한국기계연구원연구보고서,