

마이크로 렌즈 어레이 금형의 가공특성에 관한 연구

A Study on the Machining Characteristics for Micro Lens Array Mold

정재엽*(충남대 대학원), 이동주(충남대), 홍성민(한밭대학교),
제태진, 이응숙(한국기계연구원)

J. Y. Jung*(Graduate School, Chung Nam Nat'l Univ.),
D. J. Lee(Chung Nam Nat'l Univ.), S. M. Hong(Hanbat Nat'l Univ.),
T. J. Je, E. S. Lee(KIMM)

Abstract

Recently, the interest on micro optical parts has increased rapidly with the development of technology related to microsystems. Among the optical parts, micro lens is one of the most broadly used micro parts. To mass-produce the micro lenses, it is very effective to use the mold insert and injection molding process. There are many methods to fabricate the mold insert for micro lenses: electroforming, etching, mechanical micromachining and so on. In this study, we fabricated the mold insert for micro lenses using a micro ball endmill to apply mechanical micromachining method and analyzed the effect of main process parameters such as spindle speed, feed rate, dwell time on the processed surface. Then, using fabricated the mold insert we fabricated the micro lenses through injection molding process.

Key word

Micro lens(마이크로 렌즈), Micro ball endmill(마이크로 볼엔드밀), mold insert(몰드인서트), spindle speed(주축속도), feed rate(이송속도), dwell time(지연시간)

1. 서론

현재, 국가 주력산업(정보통신, 첨단의료기기, 항공/우주 산업 등)의 핵심이 되는 광커넥터, WDM 광통신모듈, 차세대 광정보저장기기, projection display, 광 power regulator, 초미세 물질분석기, 의료용 진단기 등의 차세대 고부가가치 제품 개발의 주요부품인 $\phi 50\mu\text{m}$ 급 마이크로 렌즈 어레이의 초미세화 및 고기능화 개발이 시급하여 고정밀 마이크로 렌즈의 설계 및 생산기술 개발이 요구되고 있다. 이에 반해 미국, 일본, 유럽 등 기술선진국에서는 반도체, 정보통신, 첨단의료기기, 항공/우주 산업 분야에서의 고부가가치 첨단부품 개발에 박차를 가하고 있고, 마이크로 렌즈 어레이를 포함하는 고기능 초미세 마이크로 부품개발을 국가적 차원에서 대규모로 전개하고 있으며 이를 통해 미래 첨단제품의 크기, 성능, 기능, 다양성의 고도화를 추구하고 동시에 자국의 주력산업으로서의 부가가치 극대화를 꾀하고 있다.^[1] 국내 산업체와 국공립 연구소 및 대학 모두가 기술의 필요성을 충분히 인식하고는 있지만 초미세 플라스틱 렌즈 어레이 설계 및 성형기술의 부족으로 그 개발이 지연되고 있다. 따라서 국가경쟁력 향상의 차원에서 정부주도의 투자 및 개발이 시급한 실정이다.^[2]

현재, 마이크로 렌즈 어레이 패턴을 형성하기 위한 방법으로는 reflow법, 식각, 도금, 미세기계

가공 등 여러 가지가 있다. 이 중에서 미세기계가공의 경우, 가장 단순하고 안정된 기술임에도 불구하고 가공표면의 한계와 미세 공구 제작의 어려움 때문에 다른 방법에 비해 현재 많은 관심을 받지 못하고 있는 실정이다. 이에 국내외에서 기계가공을 이용한 미세가공에 관한 연구가 활발히 진행 중이다.^{[1][3][4][5]}

이에 본 연구에서는 비용의 감소와 공정들의 개선을 위해 마이크로 머신에 의한 기계적인 가공방법으로서 마이크로 렌즈 어레이의 기본 실험으로서 R150 μ m 볼 엔드밀을 사용하여 마이크로 렌즈 어레이 몰드를 가공하였다. 또한, 가공결과를 바탕으로 주요공정변수의 가공표면에 대한 영향을 분석하였다. 최종적으로 제작된 마이크로 렌즈 몰드인서트를 직접 금형에 삽입하여 마이크로 렌즈를 성형하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 마이크로 머시닝 시스템

본 실험에 사용된 마이크로 머신은 미세 구조물을 가공하기 위하여 제작된 가공머신으로서 에어베어링 스피들(Air bearing spindle)에 의한 마이크로 드릴링과 밀링이 가능하며 터닝 스피들(Turning spindle)에 의한 마이크로 터닝, 그리고 마이크로 그루브가공도 가능하도록 갖춘 시스템이다. 아래의 Fig. 1은 이러한 마이크로 머신을 보여주고 있으며 Table 1은 가공머신의 구체적인 사양을 나타내었다.^[6]

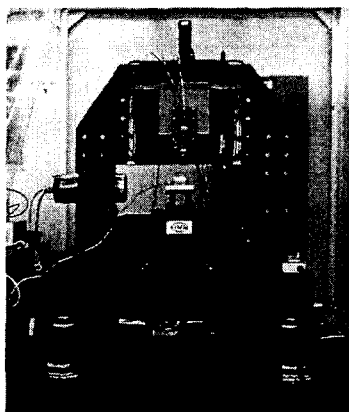


Fig. 1 Micro Machining System

Table 1 Specifications of the micro machining machine

Item		Unit	Specifications
Distance	X/Y/Z Axis	mm	200×200×200
Air bearing spindle	Turning speed	Rpm	Max. 60,000
	Used tool dimension	mm	ϕ 0.1~6.0
Turning spindle	Turning speed	Rpm	Max. 6,000
	Turning rate	μ m	Radius : <0.05, Axis : <0.05
	Strength	N/ μ m	Radius : 190, Axis : 520
Table	Size	mm	220×220
	Allowable weight	N	890
Feed rate	X/Y Axis	mm/min	Max. 45,000
	Z Axis	mm/min	Max. 45,000
Straightforwardness	X Axis	μ m	Horizontal : <0.5, Vertical : <0.6
	Y Axis	μ m	Horizontal : <0.5, Vertical : <0.6
	Z Axis	μ m	Horizontal : <0.0025, Vertical : <0.0025
Strength	X/Y/Z Axis	μ m/mm	Horizontal : <120, Vertical : <250
Repeated precision	X/Y/Z Axis	μ m	<0.1

또한, 마이크로 엔드밀에 의한 마이크로 렌즈 금형의 가공시 발생하는 절삭력을 측정하기 위해 Dynamometer를 설치하였고 이에 따른 사양은 Table 2에 구체적으로 나타내었다. Fig. 2는 가공 실험을 위해 구축된 시스템에 대한 개략도를 나타내고 있다.

Table 2 Measuring instrument of experiment for cutting force and surface roughness

Workpiece Size	15×15×10(mm)
Dynamometer	Kistler Co., 9257A2
Amplifier	Kistler Co., 5019B130
Data Acquisition System	NI 6012E DAQCard-AI-16XE-50

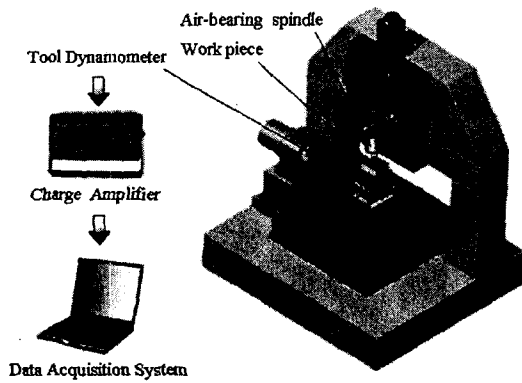


Fig. 2 Experimental apparatus in the micro machining system

2.2 마이크로 볼 엔드밀과 공작물

마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트를 가공하기 위하여 사용된 마이크로 볼 엔드밀의 사양과 형상을 아래의 Table 3과 Fig. 3에 나타내었다.

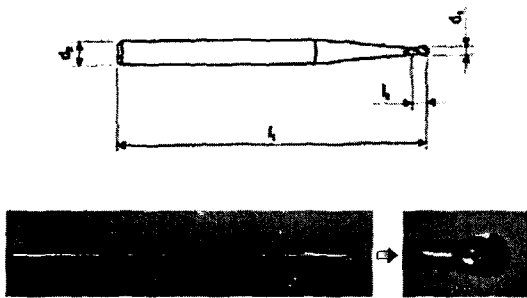


Fig. 3 Carbide micro ball endmill

Table 3 Dimensions of micro ball endmill

Material	Carbide
Helical angle	30°
Number of edge	2EA
Diameter of endmill(d_1)	300 μ m
Length of cut(l_2)	600 μ m
Total Length(l_1)	50mm

마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트 가공에 사용된 금형소재의 성분은 6:4 황동으로서 금형 산업에 폭넓게 사용되고 있으며 아래의 Table 4에 화학적인 성분과 기계적 성질을 나타내었다.

Table 4 Mechanical properties and chemical compositions of workpiece Brass 6:4

Symbol	Composition(%)	Tensile Strength (Kg/mm ²)	Elongation(%)
BsC3	Cu 62-66, Zn, Pb 2.5, Sn 1.0	Fe, Ni, Mn, Al	18 over

3. 마이크로 볼 엔드밀에 의한 마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트 가공

마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트를 가공하기 위해서 에어베어링 스피들(Airbearing spindle)에 R150 μ m 볼 엔드밀을 장착하였다. 마이크로 렌즈의 각각의 중심사이의 거리는 1.35mm로 공구 파손을 감소시키기 위해 절입과 피드(Feed rate)를 적절하게 조건을 선정하였으며 각각의 조건을 16개의 그룹으로 나누어 프로그래밍 하였다. 절삭유로는 기계유(ISO VG8)를 사용하였다. Fig. 4는 마이크로 볼 엔드밀에 의한 마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트의 가공방법을 나타내고 있다.

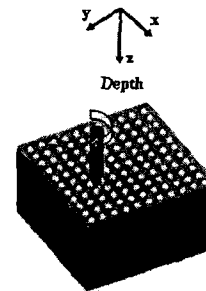


Fig. 4 Schematic of micro ball endmilling for micro lens array mold insert

Fig. 5에서는 마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트를 가공하기 위해 지그위에 고정된 소재를 보여주고 있다.

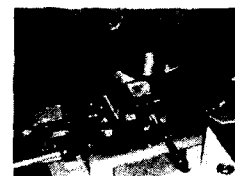


Fig. 5 Experimental Set-Up

아래의 Fig. 6와 Table 5는 각각 조건별 위치와 가공조건을 나타내고 있다. 조건 #1~#4는 스피ndl의 회전수의 변화에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이며, 조건 #5~#8은 이송속도의 변화에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이다. 또한 조건 #9~#11은 지연시간에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이며, #12~#16은 절삭깊이 변화에 따른 직경변화를 알아보기 위한 조건이다.

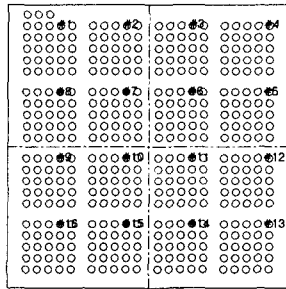


Fig. 6 Condition of experiment for micro ball endmilling

Table 5 Condition of experiment for micro ball endmilling

	Spindle revolution [rpm]	z-axis Feed rate [mm/min]	Dwell time [sec]	Total depth [mm]
#1	30,000	30	0	0.12
#2	40,000	30	0	0.12
#3	50,000	30	0	0.12
#4	60,000	30	0	0.12
#5	40,000	40	0	0.12
#6	40,000	35	0	0.12
#7	40,000	25	0	0.12
#8	40,000	20	0	0.12
#9	40,000	30	1	0.12
#10	40,000	30	2	0.12
#11	40,000	30	3	0.12
#12	40,000	30	0	0.10
#13	40,000	30	0	0.08
#14	40,000	30	0	0.06
#15	40,000	30	0	0.0382
#16	40,000	30	0	0.0086

4. 실험결과 및 고찰

4.1 스피ndl 회전수에 의한 가공결과 분석

스피ndl 회전수에 의한 영향을 알아보기 위해 30,000rpm에서 60,000rpm까지 회전수의 변화를 주어 가공을 하였다. 그 결과 스피ndl 회전수

가 커질수록 반경방향의 chatter 무늬가 커지는 경향을 확인할 수 있었다. Fig. 7은 스피ndl 회전수에 의한 변화를 비교하여 나타내고 있다.

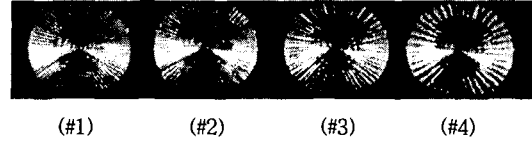


Fig. 7 Comparison of spindle revolution

4.2 이송속도의 변화에 의한 가공결과분석

z축 방향의 이송속도에 따른 가공 표면의 변화를 살펴보기 위해 20, 25, 35, 40mm/min으로 그 값을 설정하고 가공실험을 수행하였다. 가공결과 이송속도의 변화에 따라 생성되는 가공표면은 큰 차이가 없는 것으로 관찰된다. 하지만 25mm/min의 조건에서는 중앙부에서 chatter 무늬가 반이상 없어지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 일정한 범위의 이송속도에서 가공표면에 향상이 일어난다는 것을 의미한다. Fig. 8은 이송속도에 의한 변화를 비교하여 나타내고 있다.

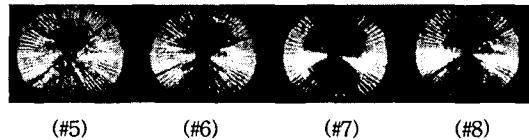


Fig. 8 Comparison of feed rate

4.3 지연시간의 변화에 의한 가공결과 분석

지연시간의 가공표면에 대한 영향을 고찰하기 위해 지연시간을 0, 1, 2, 3초로 설정한 후 각 조건에 대해 가공실험을 수행하였다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 지연시간의 증가함에도 불구하고 가공표면은 유사하게 나타났다. 이는 지연시간이 가공 표면에 큰 영향을 가지지 못함을 의미한다. Fig. 9은 지연시간에 의한 변화를 비교하여 나타내고 있다.

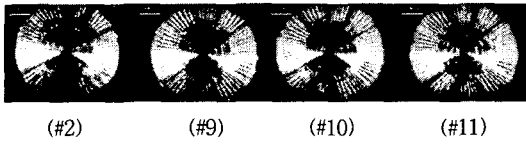


Fig. 9 Comparison of dwell time

Fig. 10은 조건 #10에서의 x방향 절삭력을 측정 한 결과이다. 이 그래프에서 알 수 있듯이 지연시간이 지속되는 동안 절삭력은 거의 측정되지 않았다. 이는 지연시간동안 가공이 일어나지 않았음을 의미하는 것이며 그 결과 지연시간이 가공표면에 큰 영향을 주지 못한 것으로 보인다.

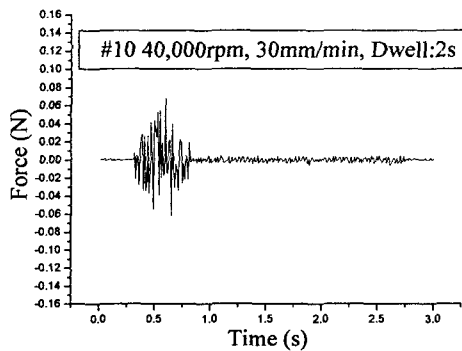


Fig. 10 Cutting force at #10

4.4 절입 깊이에 의한 가공표면의 변화

깊이변화에 의한 마이크로 렌즈의 가공결과 직경이 작아질수록 채터에 의한 영향이 줄어들어 가는 것을 알 수 있었다. 조건 #16의 경우 직경이 $\phi 218\mu\text{m}$, 가공깊이가 $47\mu\text{m}$ 로 양호한 가공면을 얻을 수 있었다. Fig. 11은 절삭 깊이에 따른 가공 표면의 변화를 나타내고 있다.

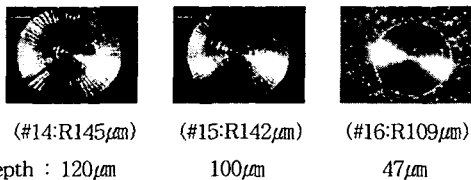


Fig. 11 Comparison of depth

4.5 사출성형 결과 분석

앞에서 제작된 몰드인서트를 이용하여 마이크로 렌즈를 성형하였다. 이를 위해 금형을 제작하였으며 이를 사출 성형기에 장착하였다. Fig. 12는 가공된 마이크로 렌즈 어레이 몰드인서트를 몰드에 삽입한 모습을 나타내고 있다.

Fig. 13은 마이크로 렌즈 어레이 몰드를 미세 사출기에 결합한 상태를 나타내고 있다.



Fig. 12 Micro Lens Array Mold

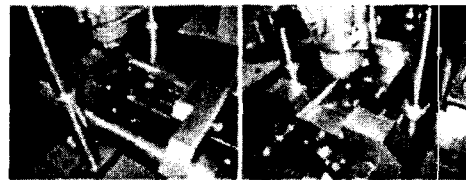


Fig. 13 Experimental Set-Up

Table 6에서는 시사출을 하기 위해 설정된 사출 실험조건을 나타내고 있다.

Table 6 Condition of experiment for injection

성형재료	폴리프로필렌
실린더(상)온도	190℃
실린더(하)온도	205℃
노즐온도	210℃
사출압	500kg/cm ²

Fig. 14는 마이크로 렌즈 어레이 몰드 인서트와 미세 사출기에 의해 성형된 마이크로 렌즈를 나타내고 있다.

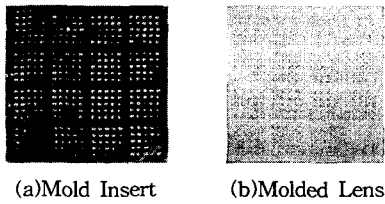


Fig. 14 Micro Lens Array Mold & Molded Lens

Fig. 15는 성형된 마이크로 렌즈를 확대하여 나타낸 그림이다. 이 사진에서 알 수 있듯이 몰드 인서트에서의 가공 표면이 성형된 렌즈에 그대로 전사가 일어난 것을 확인 할 수 있다. 이는 우수한 표면을 가지는 마이크로 렌즈의 성형을 위해서는 몰드인서트의 가공표면의 향상이 매우 중요한 문제가 된다는 것을 확인할 수 있다.

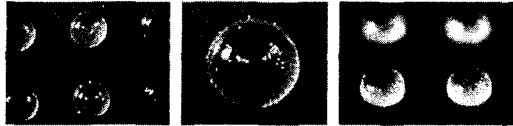


Fig. 15 Molded Lens

5. 결론

본 실험에서는 마이크로 볼 엔드밀을 사용하여 마이크로 렌즈 어레이 몰드를 가공하였다. 가공 후 분석한 결과 스피들 회전수에 의해 가공면에 발생한 채터의 발생이 크게 나타났다. 또한 이송속도는 25mm/min의 조건에서 반경방향의 채터 무늬가 무너지는 경향을 보였으며 지연시간의 효과는 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고 절입깊이가 적을수록 양호한 가공면을 얻을 수 있었다.

또한 제작된 몰드인서트를 이용하여 마이크로 렌즈를 성형하였다. 미세사출성형기에서 성형된 마이크로 렌즈를 분석한 결과 몰드인서트에 나타난 채터무늬가 성형된 렌즈에 그대로 전사된 것을 관찰 할 수 있었다. 이는 가공표면이 성형품에 가지는 절대적인 영향을 보여주는 것으로서 표면이 우수한 마이크로 렌즈 어레이의 성형을 위해서는 공구의 제작단계에서 매우 정밀한 형상 제어가 필요할 것으로 판단된다.

공정조건에 따라 어느 정도의 가공표면의 향

상은 있지만 크게 개선시키는데는 한계가 있는 것으로 보여진다. 따라서 적절한 후가공이나 단결정 다이아몬드 바이트 공구를 이용한 플라이 커팅(Fly Cutting) 방식의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] N. Taniguchi, "NANOTECHNOLOGY", Oxford University Press, 1996
- [2] 이응숙, 제태진, 신영재, 최두선, 이재경, 이현용, 강재훈, "미세금형 가공기술 개발 1단계 보고서", 산업자원부, Aug 2002
- [3] M. Rahman, A. Senthil Kumar, J.R.S. Prakash, "Micro milling of pure copper", Journal of Materials Processing Technology 116(2001) 39-40
- [4] 민승기, 이선우, 이동주, 이응숙, 제태진, 최두선, "마이크로 엔드밀에 의한 미세격벽가공의 가공특성에 관한 연구", 한국공작기계학회 2001년도 추계학술대회, pp.26~31, 2001.
- [5] 고성립, 버 형성원리의 이해와 적정 버 제거 방법의 선택, 기계기술, Vol. 23, No. 7
- [6] 제태진, 이응숙, 최두선, 이선우, 기계적 미세 가공시스템 구성 및 응용 연구, 한국정밀공학회 2001년도 춘계학술대회, pp.934~937, 2001.