

기계적인 가공방법에 의한 마이크로 렌즈 금형가공

정재엽*(충남대 대학원), 이동주(충남대 기계공학과), 제태진, 최두선,
이응숙(한국기계연구원), 홍성민(한밭대)

The Micro Lens Mold Processing in Mechanical Fabrication Method

J. Y. Jung(Mecha. Eng. Dept. CNU), D. J. Lee(Mechanical Eng. Dept., CNU),
T. J. Jae, D. S. Choi, E. S. Lee(KIMM), S. M. Hong(HNU)

ABSTRACT

As high technology industries such as IT and display have developed, demand for application parts of micro lens and lens array has been extremely increasing. According to these trends, many researchers are studying on the fabrication technology for parts of the micro lens by a variety of methods such as MEMS, Lithography, LIGA and so on.

In this paper, we have performed researches related to ultra precision micro lens, lens array mold and fabrication of Lenticular lens mold for three-dimensional display by using mechanical micro end-milling and fly-cutting fabrication method. Tools used in this research were a diamond tool of R150μm. Cutting conditions set up feed rate, spindle revolution, depth of cut and dwell time as variables. And we analyzed surface quality variation of the processed products according to the cutting conditions, and then carried out experiments to search the optimum conditions.

Through this research, we have confirmed that we can fabricate the ultra precision micro lens mold with surface roughness Ra=20nm and the holographic lens mold by using micro end-milling and fly-cutting fabrication method.

Furthermore, we demonstrated problems happened in the fabrication of the micro lens and established the foundation of experimental study for formulating its improvement plan.

Key Words : Micro lens (마이크로 렌즈), Diamond fly-cutting (다이아몬드 플라이 컷팅), Spindle revolution (주축회전 수), Feed rate (이송속도), Dwell time (지연시간), Lenticular lens (렌티큘러 렌즈)

1. 서론

최근에 Lithography, MEMS, LIGA 프로세스 등의 고에너지 범과 광원을 이용한 마이크로 렌즈 및 금형의 제조가 활발히 전개되고 있다. 그러나 이런한 공정들은 대개 고가의 장비와 여러 공정에 따른 긴 공정시간을 필요로 한다.^[1] 반면에 기계 가공의 경우 단 한번의 가공 공정으로 렌즈 금형을 제작할 수 있다는 장점이 있다. 이에 본 연구에서는 비용감소와 공정 개선을 위해 지금까지 거의 개발되지 않았던 엔드밀링 방식을 이용하여 마이크로 렌즈 금형을 가공하는 기술에 대한 연구를 수행하였다.

직경 500 μm 이하의 마이크로 렌즈 금형의 엔드밀링 방법에는 상용의 볼 엔드밀을 이용

하거나 fly-cutting 용 공구를 제작하여 가공 하는 방법이 있다. 볼 엔드밀에 의한 가공은 렌즈 가공 전용공구가 아니기 때문에 형상이 부정확하고 체터 및 기타요인으로 인해 가공표면의 조도를 향상 시키는 데는 어렵다.^[2] 따라서 본 연구에서는 기계적인 가공방법 중 다이아몬드 fly-cutting 공구를 이용하여 구형 마이크로 렌즈 어레이 금형과 lenticular lens 금형을 효율적으로 가공하는 기술을 개발하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 마이크로 머시닝 시스템

본 연구에 사용된 초정밀 미세 가공시스템의 모습을 Fig. 1 에 나타내었다. 시스템의 주요 구동은

X-Y-Z의 3 축으로 이루어지며 앤드밀링 및 플라이 컷팅에 의한 미세 가공을 수행할 수 있다. 시스템의 제어는 PC 기반의 Turbo PMAC board를 사용하였다. 공작물 밑에는 0.002N의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치하였다.

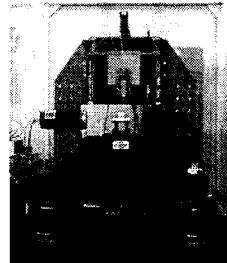


Fig. 1 Micro machining system

2.2 Fly-Cutting 용 공구 설계 제작

본 실험을 위해 설계 제작된 R150 μm 다이아몬드 플라이 컷팅 공구는 형상에 대한 Waviness가 0.27 μm 로 고정밀도로 제작되었으며 Groove 형상가공이 가능하도록 제작되었다. Fig. 2에 설계 제작된 R150 μm 다이아몬드 플라이 컷팅 공구를 나타내고 있으며, Fig. 3에 상세도면을 나타내고 있다.



Fig. 2 Feature of diamond fly-cutting tool

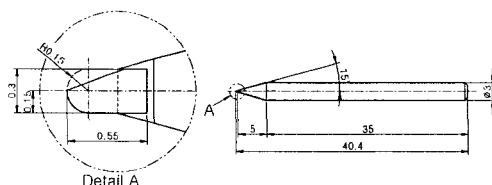


Fig. 3 Drawing of diamond fly-cutting tool

3. 볼 렌즈 금형 가공실험

3.1 가공방법 및 조건

マイクロ 렌즈 금형을 가공하기 위해서 에어 배어링 스픬들에 다이아몬드 플라이 컷팅 공구를 장착하였다. 공구 파손을 감소시키기 위해 절입 속도(Feed rate)를 적절하게 조건을 선정하였으며 각각의 조건을 31개의 그룹으로 나누어 가공 실험을 하였다. 절삭유로는 기계유(ISO VG8)을 사용하였으며 금형 소재는 황동이다. 직경 300 μm 이하의 볼 렌즈를 가공하기 위해 절입 깊이를 여러

조건으로 나누어 가공실험을 하였다. Fig. 4에는 직경별 깊이 변화의 관계를 그림으로 나타내고 있다. Fig. 5는 마이크로 렌즈 금형의 가공 방법과 각 조건별 위치를 나타내고 있다.

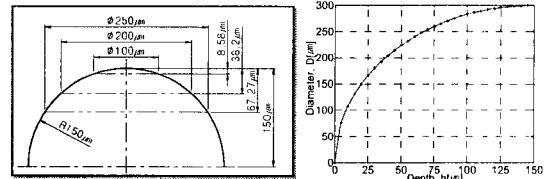


Fig. 4 Relationship between depth of cut and spherical diameter using tool radius R150 μm

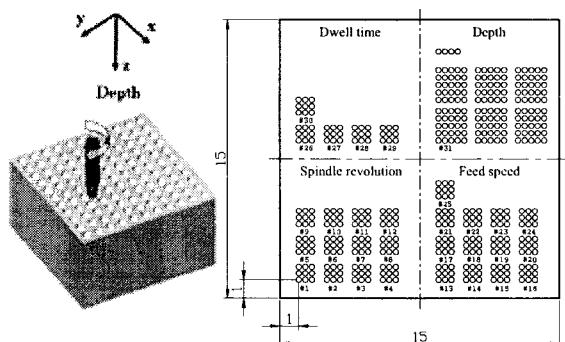


Fig. 5 Schematic for micro lens mold

Table 1은 각각의 가공조건을 나타내고 있다. 조건 #1~#12는 스플린트의 회전수의 변화에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이며, 조건 #13~#25는 이송속도의 변화에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이다. 또한 조건 #25~#30은 지연시간에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이며, #31은 절삭 깊이 변화에 따른 직경과 표면품질 변화를 알아보기 위한 조건이다.

Table 1 Condition of experiment for micro endmilling

	Spindle revolution [rpm]	z-axis Feed speed [mm/min]	Dwell time [sec]	Total depth [mm]	Spindle revolution [rpm]	z-axis Feed speed [mm/min]	Dwell time [sec]	Total depth [μm]	
#1	5,000	25	0	120	#17	40000	5	0	120
#2	10,000	25	0	120	#18	40000	7.5	0	120
#3	15,000	25	0	120	#19	40000	10	0	120
#4	20,000	25	0	120	#20	40000	15	0	120
#5	25,000	25	0	120	#21	40000	20	0	120
#6	30,000	25	0	120	#22	40000	25	0	120
#7	35,000	25	0	120	#23	40000	30	0	120
#8	40,000	25	0	120	#24	40000	35	0	120
#9	45,000	25	0	120	#25	40000	40	0	120
#10	50,000	25	0	120	#26	40000	25	0	120
#11	55,000	25	0	120	#27	40000	25	1	120
#12	60,000	25	0	120	#28	40000	25	2	120
#13	40,000	0.1	0	120	#29	40000	25	3	120
#14	40,000	0.5	0	120	#30	40000	25	4	120
#15	40,000	1	0	120	#31	40000	25	0	23,54,112
#16	40,000	2.5	0	120					

3.2 가공결과

3.2.1 스펀들 회전수 변화에 의한 영향

볼 엔드밀을 이용한 가공에서의 데이터를 바탕으로 Feed speed 를 25mm/min 으로 설정하였다. 스펀들 회전수에 변화에 대한 영향은 5,000rpm 의 낮은 회전수에서 양호한 표면을 얻을 수 있었으며 30,000rpm 에서 체터 무늬가 가장 크게 나타났다. 그리고 그 이상으로 회전수가 증가할수록 체터 무늬가 조금씩 줄어들어 60,000rpm 에서는 표면 품질이 다시 향상되는 현상을 관찰할 수 있었다. 스펀들이 특정 회전수 영역에서 가공면에 반경방향의 체터무늬가 발생되는 문제가 발생하였다. 이는 스펀들의 회전 정밀도에 문제가 있는 것으로 판단된다. 또한 공구 편심으로 인해 렌즈금형 중심에 직경 4 μm 정도의 혹이 발생하는 문제점이 발생 되었다. 공구제작에 있어 보다 더 정밀한 공구제작이 요구된다. Fig. 6 에 #6 번 조건(30,000rpm)에서 가공된 마이크로 렌즈 금형의 SEM 사진을 나타내었다. Fig. 7 에 #12 번 조건(60,000rpm)에서 향상된 가공표면 SEM 사진을 나타내었다.

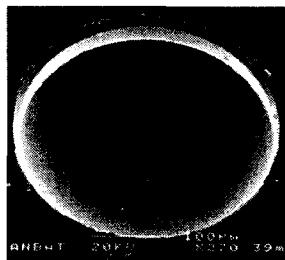


Fig. 6 SEM image of micro lens surface
(#6, 30000rpm, Feed speed : 25mm/min)

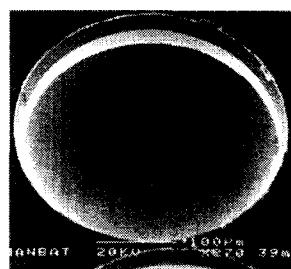


Fig. 7 SEM image of micro lens surface
(#12, 60000rpm, Feed speed : 25mm/min)

절삭력 분석결과 스펀들 회전수가 5,000rpm 에서 30,000rpm 까지는 x 축과 y 축의 절삭력이 급격히 작아지며 30,000rpm 이상에서는 x 축, y 축 모두 거의 변화 없는 상태가 되는 것을 확인할 수 있었다. 그리고, z 축의 경우 회전수에 상관없이 거의 일정한 힘을 받는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 8 에 스펀들

회전수에 대한 절삭력 변화 나타내고 있다.

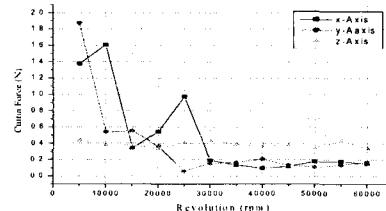


Fig. 8 Comparison of measured cutting force

3.2.2 절입 속도 및 자연시간에 의한 영향

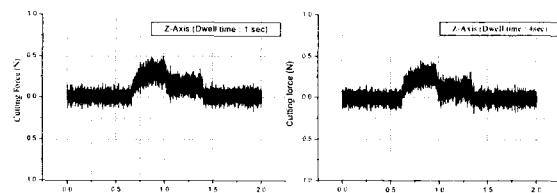
z 축 방향의 절입 속도에 따른 가공 표면의 변화를 알아보기 위해 0.1~40mm/min 으로 가공 조건을 선정하고 가공실험을 수행하였다. 가공 결과 절입 속도 20mm/min 이하에서 반경방향의 체터 무늬가 나타났다. 그리고 Fig. 9 에서와 같이 절입속도가 느릴 경우 전단형 침이 나타났으며, 35mm/min (feedrate: 0.875 $\mu\text{m}/\text{rev}$) 에서 유동형침이 나왔다. 이는 z 축 스테이지 정밀도의 한계로 인해 얇은 침의 경우 전단형의 침이 생성되는 것으로 보인다.



5mm/min(feedrate:0.125 $\mu\text{m}/\text{rev}$) 35mm/min(feed rate: 0.875 $\mu\text{m}/\text{rev}$)

Fig. 9 Comparison of chip

자연시간이 가공표면에 미치는 영향을 알아보기 위해 자연시간을 0~4 초로 설정한 후 가공실험을 수행하였다. 실험결과 자연시간의 증가와 큰 관계 없이 가공 표면은 거의 유사하게 나타났다. 절삭력을 분석결과 자연시간이 증가하여도 0.5 초 후에는 가공되지 않는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 10 은 조건 #27(dwell time : 1초), #30 (dwell time : 4초)에 대한 절삭력을 비교하여 나타내고 있다.



(a) #27 (Dwell time : 1sec) (b) #30 (Dwell time : 4sec)

Fig. 10 Comparison of measured cutting force

3.2.3 가공 깊이 변화에 의한 영향

깊이 변화에 대한 마이크로 렌즈 가공표면의 변화를 알아보기 위해 가공 깊이를 23, 54, 112 μm 의 3 단계로 변화를 주어 가공 실험을 하였다. 가공결과 Fig. 11 에서와 같이 직경이 작아질수록

체터에 의한 영향이 줄어들어 양호한 표면이 만들어졌다. 이는 직경 100 μm 이하의 작은 직경의 볼 렌즈 금형 제작에 있어 표면품질의 향상을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. Fig. 11에 절삭 깊이에 따른 직경변화 및 가공 표면의 상태를 나타내고 있다.

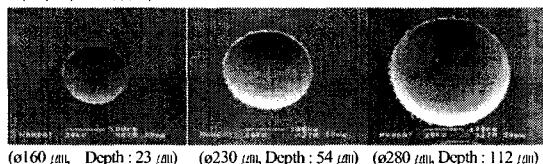


Fig. 11 Machining results of micro lens

Fig. 12는 최종적으로 제작된 마이크로 렌즈 금형 사진과 표면조도 측정기에서 측정된 표면형상 profile 을 나타내고 있다. 측정결과 표면조도는 Ra 20nm 이며, 형상에 대한 Waviness 는 117.5nm 였다.

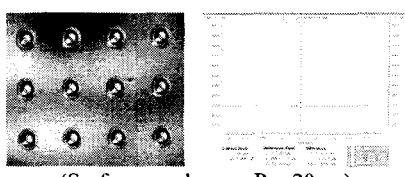


Fig. 12 Image of micro lens array mold and surface profile

4. 렌티큘러 렌즈 금형 가공실험

4.1 가공방법 및 실험조건

마이크로 렌즈 금형 가공의 연장으로 stereoscopic module 의 핵심부품인 렌티큘러 렌즈 금형을 약 평지 100 μm , 높이 9 μm 의 U-groove 형상으로 가공하였다. 가공조건은 40,000rpm, Feed speed 150mm/min, Cut increment 1 μm 이며, 최종 절삭 깊이는 15 μm 이다. 금형 소재는 활동이다. Fig. 13에 가공방법 및 세부형상 도면을 나타내고 있다.

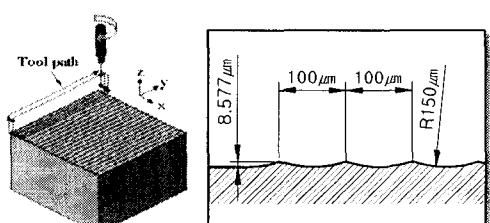


Fig. 13 Schematic for lenticular lens mold

4.2 가공결과

렌티큘러 렌즈 금형 가공실험에서 Fig. 14 와 같이 렌즈 중심 부분에서 폭 13.69 μm 의 공구 이송흔적이 발생하는 것을 관찰하였다. 이송흔적의 원인을 조사한 결과 공구 툴링시 발생하는 오차로

공구 장착에 따라서 최대 Runout 이 약 10 μm 정도 차이가 나는 것을 알 있었다. 공구를 가장 양호한 상태로 고정 했을 때 Runout 이 4.81 μm 로 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 최종적으로 발생되는 4.81 μm 의 오차는 공구의 중심오차로 판단되므로 공구의 수정 제작이 필요한 것으로 보인다. 또한, 공구 고정 방식의 개선이 요구된다.

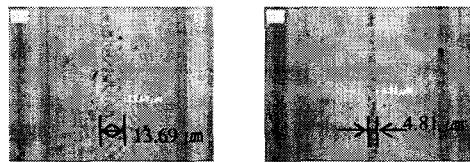


Fig. 14 Tool error and tooling error

이상과 같은 연구를 통하여 최종 가공한 렌티큘러 렌즈 금형을 Fig. 15에 나타내었다.

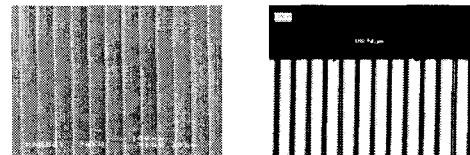


Fig. 15 Image of lenticular lens mold

5. 결론

본 실험에서는 다이아몬드 플라이 컷팅 공구를 이용하여 마이크로 렌즈 금형 및 렌티큘러 렌즈 금형을 가공하였다. 본 연구를 통하여 fly-cutting 가공방법으로 표면거칠기 Ra=20 μm 정도의 초정밀 마이크로 렌즈 금형 및 렌티큘러 렌즈 금형을 제조 할 수 있음을 확인하였다. 또한 회전정밀도가 우수한 공구의 제작 및 공구 고정방법의 중요성을 확인할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부의 차세대신기술개발사업 및 부품소재사업 연구결과의 일부임을 밝히며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

1. S. M. Kim, D. M. Kim, S. I. Kang, and S. h. Ahn, "Replication of micro-optical components by UV-molding process" Proceedings of spie, Vol. 4984, pp. 63-69, 2003.
2. 정재엽, 이동주, 홍성민, 제태진, 이응숙, "마이크로 렌즈 어레이 금형의 가공특성에 관한 연구" 한국 공작 기계학회 2002년도 추계학술대회, pp. 370-375, 2002.